NORME INTERNATIONALE
INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
62271-100

Edition 1.2

2006-10

Edition 1:2001 consolidée par les amendements 1:2002 et 2:2006
Edition 1:2001 consolidated with amendments 1:2002 and 2:2006

Appareillage à haute tension –

Partie 100:
Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension

High-voltage switchgear and controlgear –

Part 100:
High-voltage alternating-current circuit-breakers

Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 62271-100:2001+A1:2002+A2:2006

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI (www.iec.ch)**
- **Catalogue des publications de la CEI**

  Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.
- **IEC Just Published**

  Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.
- **Service clients**

  Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

  Email: custserv@iec.ch
  Tél: +41 22 919 02 11
  Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site (www.iec.ch)**
- **Catalogue of IEC publications**

  The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.
- **IEC Just Published**

  This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.
- **Customer Service Centre**

  If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

  Email: custserv@iec.ch
  Tel: +41 22 919 02 11
  Fax: +41 22 919 03 00

.

NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
62271-100

Edition 1.2

2006-10

Edition 1:2001 consolidée par les amendements 1:2002 et 2:2006
Edition 1:2001 consolidated with amendments 1:2002 and 2:2006

Appareillage à haute tension –

Partie 100:
Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension

High-voltage switchgear and controlgear –

Part 100:
High-voltage alternating-current circuit-breakers

© IEC 2006 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE XM

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 16

1 Généralités 22
1.1 Domaine d'application 22
1.2 Références normatives 22
2 Conditions normales et spéciales de service 26
3 Définitions 26
3.1 Termes généraux 26
3.2 Ensembles 32
3.3 Parties d'ensembles 32
3.4 Appareils de connexion 32
3.5 Partie de disjoncteur 38
3.6 Fonctionnement 42
3.7 Grandeurs caractéristiques 46
3.8 Index des définitions 58
4 Caractéristiques assignées 66
4.1 Tension assignée (U_r) 68
4.2 Niveau d'isolement assigné 68
4.3 Fréquence assignée (f_r) 70
4.4 Courant assigné en service continu (I_r) et échauffement 70
4.5 Courant de courte durée admissible assigné (I_k) 70
4.6 Valeur de crête du courant admissible assigné (I_p) 70
4.7 Durée de court-circuit assignée (t_k) 70
4.8 Tension assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture, des circuits auxiliaires et de commande (U_a) 70
4.9 Fréquence assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires 70
4.10 Pression assignée d'alimentation en gaz comprimé pour l'isolement, la manoeuvre et/ou la coupure 70
5 Conception et construction 112
5.1 Prescriptions pour les liquides utilisés dans les disjoncteurs 112
5.2 Prescriptions pour les gaz utilisés dans les disjoncteurs 112
5.3 Raccordement à la terre des disjoncteurs 112
5.4 Equipements auxiliaires 112
5.5 Fermeture dépendante à source d'énergie extérieure 114
5.6 Fermeture à accumulation d'énergie 114
5.7 Manœuvre manuelle indépendante 116
5.8 Fonctionnement des déclencheurs 116
5.9 Verrouillages à basse et à haute pression 118
5.10 Plaques signalétiques 118
5.11 Verrouillages 122
5.12 Indicateur de position 122
5.13 Degrés de protection procurés par les enveloppes 122
5.14 Lignes de fuite 122
5.15 Etanchéité au gaz et au vide 122
5.16 Etanchéité au liquide 122
5.17 Ininflammabilité 122
5.18 Compatibilité électromagnétique 122

CONTENTS

FOREWORD 17

1 General 23
1.1 Scope 23
1.2 Normative references 23
2 Normal and special service conditions 27
3 Definitions 27
3.1 General terms 27
3.2 Assemblies 33
3.3 Parts of assemblies 33
3.4 Switching devices 33
3.5 Parts of circuit-breakers 39
3.6 Operation 43
3.7 Characteristic quantities 47
3.8 Index of definitions 59
4 Ratings 67
4.1 Rated voltage *(U_r)* 69
4.2 Rated insulation level 69
4.3 Rated frequency *(f_r)* 71
4.4 Rated normal current *(I_r)* and temperature rise 71
4.5 Rated short-time withstand current *(I_k)* 71
4.6 Rated peak withstand current *(I_p)* 71
4.7 Rated duration of short circuit *(t_k)* 71
4.8 Rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits *(U_a)* 71
4.9 Rated supply frequency of closing and opening devices and auxiliary circuits 71
4.10 Rated pressures of compressed gas supply for insulation, operation and/or interruption 71
5 Design and construction 113
5.1 Requirements for liquids in circuit-breakers 113
5.2 Requirements for gases in circuit-breakers 113
5.3 Earthing of circuit-breakers 113
5.4 Auxiliary equipment 113
5.5 Dependent power closing 115
5.6 Stored energy closing 115
5.7 Independent manual operation 117
5.8 Operation of releases 117
5.9 Low- and high-pressure interlocking devices 119
5.10 Nameplates 119
5.11 Interlocking devices 123
5.12 Position indication 123
5.13 Degrees of protection by enclosures 123
5.14 Creepage distances 123
5.15 Gas and vacuum tightness 123
5.16 Liquid tightness 123
5.17 Flammability 123
5.18 Electromagnetic compatibility 123

6 Essais de type 126
6.1 Généralités 130
6.2 Essais diélectriques 130
6.3 Essais de tension de perturbation radioélectrique 136
6.4 Mesurage de la résistance du circuit principal 136
6.5 Essais d'échauffement 136
6.6 Essais au courant de courte durée et à la valeur de crête du courant admissible 138
6.7 Vérification du degré de protection 140
6.8 Essais d'étanchéité 140
6.9 Essais de compatibilité électromagnétique 140
6.101 Essais mécaniques et climatiques 140
6.102 Dispositions diverses pour les essais d'établissement et de coupure 164
6.103 Circuits d'essais pour les essais d'établissement et de coupure en court-circuit 204
6.104 Caractéristiques pour les essais de court-circuit 206
6.105 Procédure d'essai en court-circuit 234
6.106 Séquences d'essais de court-circuit fondamentales 238
6.107 Essais au courant critique 248
6.108 Essais de défaut monophasé ou de double défaut à la terre 248
6.109 Essais de défaut proche en ligne 252
6.110 Essais d'établissement et de coupure en discordance de phases 260
6.111 Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs 264
6.112 Exigences spéciales pour les essais de coupure et de fermeture des disjoncteurs de classe E2 292
7 Essais individuels 294
7.1 Essais diélectriques du circuit principal 294
7.2 Essais diélectriques des circuits auxiliaires et de commande 296
7.3 Mesurage de la résistance du circuit principal 296
7.4 Essai d'étanchéité 296
7.5 Contrôles visuels et du modèle 296
8 Guide pour le choix des disjoncteurs selon le service 300
9 Renseignements à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes 320
10 Règles pour le transport, le stockage, l'installation, la manœuvre et la maintenance 326
10.1 Conditions à respecter pendant le transport, le stockage et l'installation 326
10.2 Installation 326
10.3 Fonctionnement 338
10.4 Maintenance 340
11 Sécurité 340

Annexe A (normative) Calcul des tensions transitoires de rétablissement pour les défauts proches en ligne à partir des caractéristiques assignées 446
Annexe B (normative) Tolérances sur les paramètres d'essais lors des essais de type 462
Annexe C (normative) Enregistrement et comptes rendus des essais de type 476
Annexe D (normative) Détermination du facteur de puissance d'un court-circuit 484
Annexe E (normative) Méthode de tracé de l'enveloppe de la tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit et détermination des paramètres représentatifs 488
Annexe F (normative) Méthodes de détermination des ondes de la tension transitoire de rétablissement présumée 496
Annexe G (normative) Raison d'être de l'introduction de disjoncteurs de classe E2 530
Annexe H (informative) Courants d'appel des batteries de condensateurs simples et à gradins 532

6 Type tests 127
6.1 General 131
6.2 Dielectric tests 131
6.3 Radio interference voltage (r.i.v.) tests 137
6.4 Measurement of the resistance of the main circuit 137
6.5 Temperature-rise tests 137
6.6 Short-time withstand current and peak withstand current tests 139
6.7 Verification of the degree of protection 141
6.8 Tightness tests 141
6.9 Electromagnetic compatibility (EMC) tests 141
6.101 Mechanical and environmental tests 141
6.102 Miscellaneous provisions for making and breaking tests 165
6.103 Test circuits for short-circuit making and breaking tests 205
6.104 Short-circuit test quantities 207
6.105 Short-circuit test procedure 235
6.106 Basic short-circuit test-duties 239
6.107 Critical current tests 249
6.108 Single-phase and double-earth fault tests 249
6.109 Short-line fault tests 253
6.110 Out-of-phase making and breaking tests 261
6.111 Capacitive current switching tests 265
6.112 Special requirements for making and breaking tests on class E2 circuit-breakers 293
7 Routine tests 295
7.1 Dielectric test on the main circuit 295
7.2 Dielectric test on auxiliary and control circuits 297
7.3 Measurement of the resistance of the main circuit 297
7.4 Tightness test 297
7.5 Design and visual checks 297
8 Guide to the selection of circuit-breakers for service 301
9 Information to be given with enquiries, tenders and orders 321
10 Rules for transport, storage, installation, operation and maintenance 327
10.1 Conditions during transport, storage and installation 327
10.2 Installation 327
10.3 Operation 339
10.4 Maintenance 341
11 Safety 341

Annex A (normative) Calculation of transient recovery voltages for short-line faults from rated characteristics 447
Annex B (normative) Tolerances on test quantities during type tests 463
Annex C (normative) Records and reports of type tests 477
Annex D (normative) Determination of short-circuit power factor 485
Annex E (normative) Method of drawing the envelope of the prospective transient recovery voltage of a circuit and determining the representative parameters 489
Annex F (normative) Methods of determining prospective transient recovery voltage waves 497
Annex G (normative) Rationale behind introduction of circuit-breakers class E2 531
Annex H (informative) Inrush currents of single and back-to-back capacitor banks 533

Annexe I (informative) Notes explicatives 542
Annexe J (informative) Tolérances sur le courant d'essai et la longueur de ligne en essai de défaut proche en ligne 576
Annexe K (informative) Liste des symboles et abréviations utilisés dans cette norme 580
Annexe L (informative) Notes explicatives à propos de la révision des TTR pour disjoncteurs de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV 592
Annexe M (normative) Exigences pour la coupure de défauts limités par un transformateur pour des disjoncteurs de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV 600

Bibliographie 606

Figure 1 – Oscillogramme type d'un cycle d'établissement-coupure en court-circuit triphasé 342
Figure 2 – Disjoncteur sans résistances intercalaires. Manoeuvres d'ouverture et de fermeture 346
Figure 3 – Disjoncteur sans résistance intercalaire – Cycle de fermeture-ouverture 348
Figure 4 – Disjoncteur sans résistance intercalaire – Refermeture (refermeture automatique) 350
Figure 5 – Disjoncteur avec résistances intercalaires. Manoeuvres d'ouverture et de fermeture 352
Figure 6 – Disjoncteur avec résistances intercalaires – Cycle de fermeture-ouverture 354
Figure 7 – Disjoncteur avec résistances intercalaires – Refermeture (refermeture automatique) 356
Figure 8 – Détermination des courants de court-circuit établi et coupé et du pourcentage de la composante apériodique 358
Figure 9 – Pourcentage de la composante apériodique en fonction de l'intervalle de temps (T_{op} + T_r) pour la constante de temps normale τ_1 et pour les constantes de temps τ_2, τ_3 et τ_4 des applications particulières 360
Figure 10 – Représentation d'une TTR spécifiée à quatre paramètres et d'un segment de droite définissant un retard pour les séquences d'essais T100, T 60, de défaut proche en ligne et en discordance de phases 362
Figure 11 – Représentation d'une TTR spécifiée par un tracé de référence à deux paramètres et par un segment de droite définissant un retard 364
Figure 12a – Circuit de base pour le défaut aux bornes avec TTRI 366
Figure 12b – Représentation de la TTRI et de son influence sur la TTR 366
Figure 13 – Représentation d'un court-circuit triphasé 368
Figure 14 – Représentation de variante à la Figure 13 370
Figure 15 – Circuit de base de défaut proche en ligne 372
Figure 16 – Exemple d'une tension transitoire côté ligne avec un retard et une crête arrondie la montrant construction à effectuer pour obtenir les valeurs u^*_L, t_L et t_{dL} 372
Figure 17 – Séquences d'essais pour les essais à basse et à haute température 374
Figure 18 – Essai à l'humidité 376
Figure 19 – Efforts statiques sur les borne 378
Figure 20 – Directions pour les essais d'efforts statiques sur les bornes 380
Figure 21 – Nombre permis de spécimens pour les essais d'établissement et de coupure, illustration des spécifications de 6.102.2 382
Figure 22 – Définition d'un essai conformément à 3.2.2 de la CEI 60694 384
Figure 23a – Caractéristique de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) 386
Figure 23b – Caractéristique de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) avec l'enveloppe prescrite centrée autour de la courbe de référence (+5 %, –5 %), dans cet exemple la séparation des contacts à lieu à t = 20 ms 386

Annex I (informative) Explanatory notes 543
Annex J (informative) Test current and line length tolerances for short-line fault testing 577
Annex K (informative) List of symbols and abbreviations used in IEC 62271-100 581
Annex L (informative) Explanatory notes on the revision of TRVs for circuit-breakers of rated voltages higher than 1 kV and less than 100 kV 593
Annex M (normative) Requirements for breaking of transformer-limited faults by circuit-breakers with rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV 601

Bibliography 607

Figure 1 – Typical oscillogram of a three-phase short-circuit make-break cycle 343
Figure 2 – Circuit-breaker without switching resistors. Opening and closing operations 347
Figure 3 – Circuit breaker without switching resistors – Close-open cycle 349
Figure 4 – Circuit-breaker without switching resistors – Reclosing (auto-reclosing) 351
Figure 5 – Circuit-breaker with switching resistors. Opening and closing operations 353
Figure 6 – Circuit-breaker with switching resistors – Close-open cycle 355
Figure 7 – Circuit-breaker with switching resistors – Reclosing (auto-reclosing) 357
Figure 8 – Determination of short-circuit making and breaking currents, and of percentage d.c. component 359
Figure 9 – Percentage d.c. component in relation to the time interval (T_{op} + T_r) for the standard time constant τ_1 and for the special case time constants τ_2, τ_3 and τ_4 361
Figure 10 – Representation of a specified four-parameter TRV and a delay line for T100, T60, short-line fault and out-of-phase condition 363
Figure 11 – Representation of a specified TRV by a two-parameter reference line and a delay line 365
Figure 12a – Basic circuit for terminal fault with ITRV 367
Figure 12b – Representation of ITRV in relationship to TRV 367
Figure 13 – Three-phase short-circuit representation 369
Figure 14 – Alternative representation of Figure 13 371
Figure 15 – Basic short-line fault circuit 373
Figure 16 – Example of a line-side transient voltage with time delay and rounded crest showing construction to derive the values u^*_L, t_L and t_{dL} 373
Figure 17 – Test sequences for low and high temperature tests 375
Figure 18 – Humidity test 377
Figure 19 – Static terminal load forces 379
Figure 20 – Directions for static terminal load tests 381
Figure 21 – Permitted number of samples for making, breaking and switching tests, illustrations of the statements in 6.102.2 383
Figure 22 – Definition of a single test specimen in accordance with 3.2.2 of IEC 60694 385
Figure 23a – Reference mechanical travel characteristics (idealised curve) 387
Figure 23b – Reference mechanical travel characteristics (idealised curve) with the prescribed envelopes centered over the reference curve (+5 %, –5 %), contact separation in this example at time t = 20 ms 387

Figure 23c – Caractéristique de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) avec l'enveloppe prescrite déplacée totalement vers la haut par rapport à la courbe de référence (+10 %, –0 %), dans cet exemple la séparation des contacts à lieu à t = 20 ms 388
Figure 23d – Caractéristique de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) avec l'enveloppe prescrite déplacée totalement vers le haut par rapport à la courbe de référence (+0 %, –10 %), dans cet exemple la séparation des contacts à lieu à t = 20 ms..... 388
Figure 24 – Montage d'essai équivalent pour les essais sur éléments séparés d'un disjoncteur ayant plus d'un élément de coupure 390
Figure 25a – Circuit préféré 392
Figure 25b – Circuit utilisé en variante 392
Figure 25 – Mise à la terre des circuits d'essais pour des essais triphasés en court-circuit, facteur de premier pôle 1,5 392
Figure 26a – Circuit préféré 394
Figure 26b – Circuit utilisé en variante 394
Figure 26 – Mise à la terre des circuits d'essais pour des essais triphasés en court-circuit, facteur de premier pôle 1,3 394
Figure 27a – Circuit préféré 396
Figure 27b – Circuit utilisé en variante, n'est pas applicable aux disjoncteurs dont l'isolement entre phases et/ou à la terre est critique (par exemple GIS ou disjoncteurs *dead tank*)..... 396
Figure 27 – Mise à la terre des circuits d'essais pour des essais monophasés en court-circuit, facteur de premier pôle 1,5..... 396
Figure 28a – Circuit préféré 398
Figure 28b – Circuit utilisé en variante, n'est pas applicable aux disjoncteurs dont l'isolement entre phases et/ou à la terre est critique (par exemple GIS ou disjoncteurs *dead tank*)..... 398
Figure 28 – Mise à la terre des circuits d'essais pour des essais monophasés en court-circuit, facteur de premier pôle 1,3 398
Figure 29 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants symétriques lors d'essais effectués en triphasé pour un réseau à neutre non directement à la terre (facteur de premier pôle 1,5) 400
Figure 30 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants symétriques lors d'essais effectués en triphasé pour un réseau à neutre mis directement à la terre (facteur de premier pôle 1,3) 402
Figure 31 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants asymétriques lors d'essais effectués en triphasé pour un réseau à neutre non directement à la terre (facteur de premier pôle 1,5)..... 404
Figure 32 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants asymétriques lors d'essais effectués en triphasé pour un réseau à neutre mis directement à la terre (facteur de premier pôle 1,3) 406
Figure 33 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants symétriques lors d'essais en monophasé effectués en remplacement des conditions triphasées dans un réseau à neutre non directement à la terre (facteur de premier pôle 1,5)..... 408
Figure 34 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants asymétriques lors d'essais en monophasé effectués en remplacement des conditions triphasées dans un réseau à neutre non directement à la terre (facteur de premier pôle 1,5)..... 410
Figure 35 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants symétriques lors d'essais en monophasé effectués en remplacement des conditions triphasées dans un réseau à neutre mis directement à la terre (facteur de premier pôle 1,3)..... 412

Figure 23c – Reference mechanical travel characteristics (idealised curve) with the prescribed envelopes fully displaced upward from the reference curve (+10 %, –0 %), contact separation in this example at time t = 20 ms 389

Figure 23d – Reference mechanical travel characteristics (idealised curve) with the prescribed envelopes fully displaced downward from the reference curve (+0 %, –10 %), contact separation in this example at time t = 20 ms 389

Figure 24 – Equivalent testing set-up for unit testing of circuit-breakers with more than one separate interrupter units 391

Figure 25a – Preferred circuit 393

Figure 25b – Alternative circuit 393

Figure 25 – Earthing of test circuits for three-phase short-circuit tests, first-pole-to-clear factor 1,5 393

Figure 26a – Preferred circuit 395

Figure 26b – Alternative circuit 395

Figure 26 – Earthing of test circuits for three-phase short-circuit tests, first-pole-to-clear factor 1,3 395

Figure 27a – Preferred circuit 397

Figure 27b – Alternative circuit not applicable for circuit-breakers where the insulation between phases and/or to earth is critical (e.g. GIS or dead tank circuit-breakers) 397

Figure 27 – Earthing of test circuits for single-phase short-circuit tests, first-pole-to-clear factor 1,5 397

Figure 28a – Preferred circuit 399

Figure 28b – Alternative circuit, not applicable for circuit-breakers where the insulation between phases and/or to earth is critical (e.g. GIS or dead tank circuit-breakers) 399

Figure 28 – Earthing of test circuits for single-phase short-circuit tests, first-pole-to-clear factor 1,3 399

Figure 29 – Graphical representation of the three valid symmetrical breaking operations for three-phase tests in a non-solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,5) 401

Figure 30 – Graphical representation of the three valid symmetrical breaking operations for three-phase tests in a solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,3) 403

Figure 31 – Graphical representation of the three valid asymmetrical breaking operations for three-phase tests in a non-solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,5) 405

Figure 32 – Graphical representation of the three valid asymmetrical breaking operations for three-phase tests in a solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,3) 407

Figure 33 – Graphical representation of the three valid symmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase conditions in a non-solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,5) 409

Figure 34 – Graphical representation of the three valid asymmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase conditions in a non-solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,5) 411

Figure 35 – Graphical representation of the three valid symmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase conditions in a solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,3) 413

Figure 36 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants asymétriques lors d'essais en monophasé effectués en remplacement des conditions triphasées dans un réseau à neutre mis directement à la terre (facteur de premier pôle 1,3) 414
Figure 37 – Représentation graphique de la fenêtre de coupure et du facteur de tension k_p qui détermine la TTR de chaque pôle, pour des réseaux avec un facteur de premier pôle égal à 1,3 416
Figure 38 – Représentation graphique de la fenêtre de coupure et du facteur de tension k_p qui détermine la TTR de chaque pôle, pour des réseaux avec un facteur premier pôle égal à 1,5 416
Figure 39 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à quatre paramètres et répondant aux conditions imposées pour l'essai de type – Cas de la TTR spécifiée comportant un tracé de référence à quatre paramètres 418
Figure 40 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à deux paramètres et répondant aux conditions imposées pour l'essai de type: cas de la TTR spécifiée comportant un tracé de référence à deux paramètres 420
Figure 41 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à quatre paramètres répondant aux conditions imposées pour l'essai de type – Cas de la TTR spécifiée comportant un tracé de référence à deux paramètres 422
Figure 42 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à deux paramètres répondant aux conditions imposées pour l'essai de type – Cas de la TTR spécifiée comportant un tracé de référence à quatre paramètres 422
Figure 43 – Exemple d'ondes de TTR d'essai présumée et de l'enveloppe de l'ensemble pour des essais en deux parties 424
Figure 44 – Détermination de la tension de rétablissement à fréquence industrielle 426
Figure 45 – Nécessité d'essais additionnels monophasés et exigences d'essais 428
Figure 46 – Circuit de base pour les essais de défaut proche en ligne – TTR présumée du circuit type a) selon 6.109.3: côté alimentation et côté ligne avec temps de retard 430
Figure 47 – Circuit de base pour les essais de défaut proche en ligne – circuit type b1) selon 6.109.3: côté alimentation avec TTRI et côté ligne avec temps de retard 432
Figure 48 – Circuit de base pour les essais de défaut proche en ligne – circuit type b2) selon 6.109.3: côté alimentation avec temps de retard et côté ligne sans temps de retard 434
Figure 49 – Diagramme de décision pour le choix des circuits d'essais de défaut proche en ligne pour les disjoncteurs de classe S2 prévus pour être connectés directement à une ligne aérienne (sans liaison par câble) 436
Figure 50 – Compensation d'un défaut du temps de retard côté alimentation par une augmentation de l'amplitude de la tension côté ligne 438
Figure 51 – Circuit d'essais pour les essais monophasés en discordance de phases 440
Figure 52 – Circuit d'essais avec deux tensions décalées de 120 degrés électriques pour les essais en discordance de phases 440
Figure 53 – Circuit d'essais avec une borne du disjoncteur à la terre pour les essais en discordance de phases (sous réserve de l'accord du constructeur) 442
Figure 54 – Tension de rétablissement pour les essais de coupure de courants capacitifs 444
Figure A.1 – Graphique typique montrant des paramètres de TTR côté ligne et alimentation – Les TTR côté ligne et alimentation ont un temps de retard 460
Figure A.2 – Graphique typique montrant les paramètres de TTR côté ligne et alimentation – Les TTR côté ligne et alimentation ont un temps de retard, la TTR côté alimentation a une TTRI 460
Figure E.1 – Représentation par quatre paramètres d'une tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit – Cas du paragraphe E.2. c) 1) 492
Figure E.2 – Représentation par quatre paramètres d'une tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit – Cas du paragraphe E.2 c) 2) 492

Figure 36 – Graphical representation of the three valid asymmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase conditions in a solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,3) 415

Figure 37 – Graphical representation of the interrupting window and the voltage factor k_p, determining the TRV of the individual pole, for systems with a first-pole-to-clear factor of 1,3 417

Figure 38 – Graphical representation of the interrupting window and the voltage factor k_p, determining the TRV of the individual pole, for systems with a first-pole-to-clear factor of 1,5 417

Figure 39 – Example of prospective test TRV with four-parameter envelope which satisfies the conditions to be met during type test – Case of specified TRV with four-parameter reference line 419

Figure 40 – Example of prospective test TRV with two-parameter envelope which satisfies the conditions to be met during type test: case of specified TRV with two-parameter reference line 421

Figure 41 – Example of prospective test TRV with four-parameter envelope which satisfies the conditions to be met during type-test – Case of specified TRV with two-parameter reference line 423

Figure 42 – Example of prospective test TRV with two-parameter envelope which satisfies the conditions to be met during type-test – Case of specified TRV with four-parameter reference line 423

Figure 43 – Example of prospective test TRV-waves and their combined envelope in two-part test 425

Figure 44 – Determination of power frequency recovery voltage 427

Figure 45 – Necessity of additional single-phase tests and requirements for testing 429

Figure 46 – Basic circuit arrangement for short-line fault testing and prospective TRV-circuit-type a) according to 6.109.3: Source side and line side with time delay 431

Figure 47 – Basic circuit arrangement for short-line fault testing – circuit type b1) according to 6.109.3: Source side with ITRV and line side with time delay 433

Figure 48 – Basic circuit arrangement for short-line fault testing – circuit type b2) according to 6.109.3: Source side with time delay and line side without time delay 435

Figure 49 – Flow-chart for the choice of short-line fault test circuits for class S2 circuit-breakers with direct connection to overhead lines (without intervening cable) 437

Figure 50 – Compensation of deficiency of the source side time delay by an increase of the excursion of the line side voltage 439

Figure 51 – Test circuit for single-phase out-of-phase tests 441

Figure 52 – Test circuit for out-of-phase tests using two voltages separated by 120 electrical degrees 441

Figure 53 – Test circuit for out-of-phase tests with one terminal of the circuit-breaker earthed (subject to agreement of the manufacturer) 443

Figure 54 – Recovery voltage for capacitive current breaking tests 445

Figure A.1 – Typical graph of line and source side TRV parameters – Line side and source side with time delay 461

Figure A.2 – Typical graph of line and source side TRV parameters – Line side and source side with time delay, source side with ITRV 461

Figure E.1– Representation by four parameters of a prospective transient recovery voltage of a circuit – Case E.2 c) 1) 493

Figure E.2 – Representation by four parameters of a prospective transient recovery voltage of a circuit – Case E.2 c) 2) 493

Figure E.3 – Représentation par quatre paramètres d'une tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit – Cas du paragraphe E.2. c) 3) i) 494
Figure E.4 – Représentation par deux paramètres d'une tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit – Cas du paragraphe E.2. c) 3) ii) 494
Figure F.1 – Influence de la réduction de la tension sur la valeur de crête de la TTR 516
Figure F.2 – TTR pour une coupure idéale 516
Figure F.3 – Coupure avec présence d'une tension d'arc 518
Figure F.4 – Coupure avec arrachement prononcé du courant 518
Figure F.5 – Coupure avec courant post-arc 518
Figure F.6 – Relation entre les valeurs du courant et de la TTR apparaissant lors de l'essai, et les valeurs présumées du réseau 520
Figure F.7 – Schéma de l'appareil d'injection de courant à fréquence industrielle 522
Figure F.8 – Séquence de manoeuvres de l'appareil d'injection de courant à fréquence industrielle 524
Figure F.9 – Schéma de l'appareillage d'injection par condensateur 526
Figure F.10 – Séquence de manoeuvres de l'appareil d'injection par condensateur 528
Figure H.1 – Diagramme du circuit de l'exemple 1 534
Figure H.2 – Diagramme du circuit de l'exemple 2 536
Figure H.3 – Equations pour le calcul des courants d'appel de gradins de condensateurs 540
Figure 1 – Combinaisons des paramètres de court-circuit typiques de laboratoires d'essais 566

Figure M.1 – Premier exemple de défaut limité par un transformateur (aussi appelé défaut alimenté par un transformateur) 600
Figure M.2 – Deuxième exemple de défaut limité par un transformateur (aussi appelé défaut au secondaire d'un transformateur) 602

Tableau 24 – Valeurs normales de la TTR pour les disjoncteurs de classe S1 – Tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV – Représentation par deux paramètres 84
Tableau 25 – Valeurs normales de la TTR pour les disjoncteurs de classe S2 – Tensions assignées égales ou supérieures à 15 kV et inférieures à 100 kV – Représentation par deux paramètres 86
Tableau 1b – Valeurs normales de la TTR – Tensions assignées de 100 kV à 170 kV, cas de réseaux à neutre directement à la terre – Représentation par quatre paramètres 88
Tableau 1c – Valeurs normales de la TTR – Tensions assignées de 100 kV à 170 kV, cas de réseaux à neutre non directement à la terre – Représentation par quatre paramètres 90
Tableau 1d – Valeurs normales de la TTR – Tensions assignées supérieures ou égales à 245 kV, cas de réseaux à neutre directement à la terre – Représentation par quatre paramètres 92
Tableau 2 –Valeurs normales des multiplicateurs pour la tension transitoire de rétablissement pour les 2e et 3e pôles à couper à des tensions assignées supérieures à 1 kV 94
Tableau 3 – Valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement initiale – Tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV 96
Tableau 4 – Valeurs normales des caractéristiques de ligne pour les défauts proches en ligne 100

Figure E.3 – Representation by four parameters of a prospective transient recovery voltage of a circuit – Case E.2. c) 3) i) 495

Figure E.4 – Representation by two parameters of a prospective transient recovery voltage of a circuit – Case E.2. c) 3) ii) 495

Figure F.1 – Effect of depression on the peak value of the TRV 517

Figure F.2 – TRV in case of ideal breaking 517

Figure F.3 – Breaking with arc-voltage present 519

Figure F.4 – Breaking with pronounced premature current-zero 519

Figure F.5 – Breaking with post-arc current 519

Figure F.6 – Relationship between the values of current and TRV occuring in test and those prospective to the system 521

Figure F.7 – Schematic diagram of power-frequency current injection apparatus 523

Figure F.8 – Sequence of operation of power-frequency current injection apparatus 525

Figure F.9 – Schematic diagram of capacitance injection apparatus 527

Figure F.10 – Sequence of operation of capacitor-injection apparatus 529

Figure H.1 – Circuit diagram for example 1 535

Figure H.2 – Circuit diagram for example 2 537

Figure H.3 – Equations for the calculation of capacitor bank inrush currents 541

Figure 1 – Typical short-circuit testing station parameter combinations 567

Figure M.1 – First example of transformer-limited fault (also called transformer-fed fault) 601

Figure M.2 – Second example of transformer-limited fault (also called transformer-secondary fault) 603

Table 24 – Standard values of transient recovery voltage for class S1 circuit-breakers – Rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters 85

Table 25 – Standard values of transient recovery voltage for class S2 circuit-breakers – Rated voltage equal to or higher than 15 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters 87

Table 1b – Standard values of transient recovery voltage – Rated voltages of 100 kV to 170 kV for solidly earthed systems – Representation by four parameters 89

Table 1c – Standard values of transient recovery voltage – Rated voltages of 100 kV to 170 kV for non-solidly earthed systems – Representation by four parameters 91

Table 1d – Standard values of transient recovery voltage – Rated voltages 245 kV and above for solidly earthed systems – Representation by four parameters 93

Table 2 – Standard multipliers for transient recovery voltage values for second and third clearing poles for rated voltages above 1 kV 95

Table 3 – Standard values of initial transient recovery voltage – Rated voltages 100 kV and above 97

Table 4 – Standard values of line characteristics for short-line faults 101

Tableau 5 – Valeurs préférentielles de pouvoir de coupure et de pouvoir de fermeture assignés de courants capacitifs 106
Tableau 6 – Indications de la plaque signalétique 120
Tableau 7 – Essais de type 128
Tableau 8 – Nombre de séquences de manœuvres 150
Tableau 9 – Exemples de forces statiques horizontales et verticales pour l'essai avec efforts statiques aux bornes 164
Tableau 10 – Valeurs de courant de crête et durée des alternances de courant au cours de la période d'arc pour le fonctionnement à 50 Hz – Séquence d'essais de court-circuit T100a 196
Tableau 11 – Valeurs de courant de crête et durées des alternances de courant au cours de la période d'arc pour le fonctionnement à 60 Hz – Séquence d'essais de court-circuit T100a 198
Tableau 12 – Fenêtre de coupure pour les essais avec courant symétrique 202
Tableau 26 – Valeurs normales de la TTR présumée pour les disjoncteurs de classe S1 – Tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV – Représentation par deux paramètres 222
Tableau 27 – Valeurs normales de la TTR présumée pour les disjoncteurs de classe S2 – Tensions assignées égales ou supérieures à 15 kV et inférieures à 100 kV – Représentation par deux paramètres 226
Tableau 14a – Valeurs normales de la TTR présumée – Tensions assignées de 100 kV à 800 kV, cas des réseaux à neutre directement à la terre – Représentation par quatre paramètres (T100, T60, OP1 et OP2) ou deux paramètres (T30, T10) 228
Tableau 14b – Valeurs normales de la TTR présumée – Tensions assignées de 100 kV à 170 kV, cas des réseaux à neutre non directement à la terre – Représentation par quatre paramètres (T100, T60, OP1 et OP2) ou deux paramètres (T30, T10) 232
Tableau 15 – Essais non valables 238
Tableau 16 – Paramètres de TTR pour les essais de défaut monophasé et de double défaut à la terre 250
Tableau 17 – Séquences d'essais à effectuer pour vérifier les caractéristiques assignées en discordance de phases 264
Tableau 18 – Séquences d'essais pour la classe C2 276
Tableau 19 – Séquences d'essais pour la classe C1 284
Tableau 20 – Valeurs spécifiées de u_1, $t_{1,\,uc}$ et t_2 290
Tableau 21 – Séquence de manœuvre pour l'essai d'endurance électrique des disjoncteurs de classe E2 prévus pour le cycle de refermeture automatique selon 6.112.2 294
Tableau 22 – Application de la tension lors des essais diélectriques du circuit principal 296
Tableau 23 – Relation entre le facteur de puissance en court-circuit, la constante de temps et la fréquence industrielle 310
Tableau A.1 – Rapport des chutes de tension et de TTR côté alimentation 450
Tableau B.1 – Tolérances sur les paramètres d'essais lors des essais de type 464
Tableau F.1 – Méthodes pour la détermination de la TTR présumée 512
Tableau 1 – Résultats d'une étude des niveaux de défauts de circuits spécifiques pour un poste de transport à 275 kV 568
Tableau J.1 – Pourcentage pratique du courant de défaut proche en ligne 578
Tableau M.1 – Valeurs normales de la TTR inhérente pour T30, cas de disjoncteurs prévus pour être connectés à un transformateur avec une liaison de faible capacité – Tension assignée supérieure à 1 kV et inférieure à 100 kV – Représentation par deux paramètres 604

Table 5 – Preferred values of rated capacitive switching currents 107

Table 6 – Nameplate information 121

Table 7 – Type tests 129

Table 8 – Number of operating sequences 151

Table 9 – Examples of static horizontal and vertical forces for static terminal load test 165

Table 10 – Current peak values and current loop durations during the arcing period for 50 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a 197

Table 11 – Current peak values and current loop durations during the arcing period for 60 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a 199

Table 12 – Interrupting window for tests with symmetrical current 203

Table 26 – Standard values of prospective transient recovery voltage for class S1 circuit-breakers – Rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters 223

Table 27 – Standard values of prospective transient recovery voltage for class S2 circuit-breakers – Rated voltage equal to or higher than 15 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters 227

Table 14a – Standard values of prospective transient recovery voltage – Rated voltages of 100 kV to 800 kV for solidly earthed systems – Representation by four parameters (T100, T60, OP1 and OP2) or two parameters (T30, T10) 229

Table 14b – Standard values of prospective transient recovery voltage – Rated voltages of 100 kV to 170 kV for non-solidly earthed systems – Representation by four parameters (T100, T60, OP1 and OP2) or two parameters (T30 and T10) 233

Table 15 – Invalid tests 239

Table 16 – TRV parameters for single-phase and double earth fault tests 251

Table 17 – Test-duties to demonstrate the out-of-phase rating 265

Table 18 – Class C2 test-duties 277

Table 19 – Class C1 test-duties 285

Table 20 – Specified values of u_1, t_1, u_c and t_2 291

Table 21 – Operating sequence for electrical endurance test on class E2 circuit-breakers intended for auto-reclosing duty according to 6.112.2 295

Table 22 – Application of voltage for dielectric test on the main circuit 297

Table 23 – Relationship between short-circuit power factor, time constant and power frequency 311

Table A.1 – Ratios of voltage-drop and source-side TRV 451

Table B.1 – Tolerances on test quantities for type tests 465

Table F.1 – Methods for determination of prospective TRV 513

Table 1 – Circuit specific fault level study results for 275 kV transmission substation 569

Table J.1 – Actual percentage short-line fault breaking currents 579

Table M.1 – Standard values of prospective transient recovery voltage for T30, for circuit-breakers intended to be connected to a transformer with a connection of small capacitance – Rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters 605

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62271-100 a été établie par le sous-comité 17A: Appareillage à haute tension, du comité d'études 17 de la CEI: Appareillage.

La présente version consolidée de la CEI 62271-100 est issue de la première édition (2001) [documents 17A/589/FDIS et 17A/594/RVD], de son amendement 1 (2002) [documents 17A/625/FDIS et 17A/635/RVD], de son amendement 2 (2006) [documents 17A/754/FDIS et 17A/761/RVD] et des corrigenda 1 (2002) et 2 (2003) de l'amendement 1.

Elle porte le numéro d'édition 1.2.

Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par les amendements 1 et 2.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers

FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62271-100 has been prepared by subcommittee 17A: High-voltage switchgear and controlgear, of IEC technical committee 17: Switchgear and controlgear.

This consolidated version of IEC 62271-100 is based on the first edition (2001) [documents 17A/589/FDIS and 17A/594/RVD] its amendment 1 (2002) [documents 17A/625/FDIS and 17A/635/RVD], its amendment 2 (2006) [documents 17A/754/FDIS and 17A/761/RVD] and corrigenda 1 (2002) and 2 (2003) to amendment 1.

It bears the edition number 1.2.

A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendments 1 and 2.

Cette norme doit être lue conjointement avec la CEI 60694, deuxième édition, publiée en 1996, à laquelle elle fait référence et qui est applicable sauf spécification particulière. Pour faciliter le repérage des prescriptions correspondantes, cette norme utilise un numérotage identique des articles et des paragraphes à celui de la CEI 60694. Les modifications de ces articles et de ces paragraphes ont des références identiques dans les deux documents. Les paragraphes qui n'ont pas d'équivalent dans la CEI 60694 sont numérotés à partir de 101.

Les annexes A, B, C, D, E, F, G et M font partie intégrante de cette norme.

Les annexes H, I, J, K et L sont données uniquement à titre d'information.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de ses amendements ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

This standard shall be read in conjunction with IEC 60694, second edition, published in 1996, to which it refers and which is applicable unless otherwise specified in this standard. In order to simplify the indication of corresponding requirements, the same numbering of clauses and subclauses is used as in IEC 60694. Amendments to these clauses and subclauses are given under the same references whilst additional subclauses are numbered from 101.

Annexes A, B, C, D, E, F, G and M form an integral part of this standard.

Annexes H, I, J, K and L are for information only.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendments will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

NUMÉROTATION COMMUNE DES NORMES TOMBANT SOUS LA RESPONSABILITÉ DU SC 17A ET DU SC 17C

En accord avec la décision prise lors du meeting commun des SC 17A et 17C à Frankfurt (article 20.7 de 17A/535/RM), un système commun de numérotation sera établi pour les normes tombant sous la responsabilité du SC 17A et du SC 17C. La CEI 62271 (avec le titre « Appareillage de haute tension ») constitue la base de la norme commune.

La numérotation des normes suivra le principe suivant :

a) Les normes communes préparées par le SC 17A et le SC 17C commenceront par la CEI 62271-001;

b) Les normes du SC 17A commenceront avec la CEI 62271-100;

c) Les normes du SC 17C commenceront avec la CEI 62271-200;

d) Les guides préparés par le SC 17A et le SC 17C commenceront avec le numéro CEI 62271-300.

Le tableau ci-dessous met en évidence les nouveaux numéros par rapport aux anciens :

Partie	Titre	Ancien numéro
1	Spécifications communes	CEI 60694 CEI 60516
100	Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension	CEI 60056
101	Essais synthétiques	CEI 60427
102	Sectionneurs à courant alternatif et sectionneurs de terre	CEI 60129
103	Interrupteurs pour tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 52 kV	CEI 60265-1
104	Interrupteurs à haute tension de tension assignée égale ou supérieure à 52 kV	CEI 60265-2
105	Combinés interrupteurs-fusibles à haute tension pour courant alternatif	CEI 60420
106	Contacteurs pour courant alternatif haute tension et démarreurs de moteurs à contacteurs	CEI 60470
200	Appareillage sous enveloppe métallique pour tensions assignées inférieures ou égales à 38 kV	CEI 60298
201	Appareillage sous enveloppe métallique pour tensions assignées inférieures ou égales à 52 kV	CEI 60466
202	Postes préfabriqués haute tension/basse tension	CEI 61330
203	Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse pour tensions assignées supérieures à 52,5 kV	CEI 60517 CEI 61259
204	Lignes de transport rigides haute tension à isolation gazeuse de tension assignée égale ou supérieure à 72,5 kV	CEI 61640
300	Guide pour la qualification sismique	CEI 61166
301	Guide pour l'établissement et la coupure de charge inductive	CEI 61233
302	Guide pour la procédure d'essai d'établissement et de coupure de courants de court-circuit pour les disjoncteurs sous enveloppe métallique et à cuve mise à la terre	CEI 61633
303	Utilisation et manipulation de gaz hexafluorure de soufre (SF_6) dans l'appareillage à haute tension	CEI 61634
304	Spécifications complémentaires pour l'appareillage sous enveloppe de 1 kV à 72,5 kV destiné à être utilisé dans des conditions climatiques sévères	CEI 60932
305	Raccordement de câbles pour appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse pour des tensions assignées supérieures à 52 kV	CEI 60859
306	Raccordements directs entre transformateurs de puissance et appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse pour des tensions assignées supérieures à 52 kV	CEI 61639
307	Utilisation de l'électronique et des technologies associées dans les équipements auxiliaires de l'appareillage	CEI 62063
308	Guide pour l'essai de coupure de court-circuit asymétrique	-

COMMON NUMBERING OF STANDARDS FALLING UNDER THE RESPONSIBILITY OF SC 17A AND SC 17C

In accordance with the decision taken at the joint SC 17A/SC 17C meeting in Frankfurt (item 20.7 of 17A/535/RM) a common numbering system will be established of the standards falling under the responsibility of SC 17A and SC 17C. IEC 62271 (with title High-voltage switchgear and controlgear) is the basis of the common standard.

Numbering of the standards will follow the following principle:

a) Common standards prepared by SC 17A and SC 17C will start with IEC 62271-001;

b) Standards of SC 17A will start with IEC 62271-100;

c) Standards of SC 17C will start with number IEC 62271-200;

d) Guides prepared by SC 17A and SC 17C will start with number IEC 62271-300.

The table below relates the new numbers to the old numbers:

Part	Title	Old number
1	Common specifications	IEC 60694 IEC 60516
100	High-voltage alternating current circuit-breakers	IEC 60056
101	Synthetic testing	IEC 60427
102	High-voltage alternating current disconnectors and earthing switches	IEC 60129
103	High-voltage switches for rated voltages above 1 kV and less than 52 kV	IEC 60265-1
104	High-voltage switches for rated voltages of 52 kV and above	IEC 60265-2
105	High voltage alternating current switch-fuse combinations	IEC 60420
106	High-voltage alternating current contactors and contactor based motor-starters	IEC 60470
200	Metal enclosed switchgear and controlgear for rated voltages up to and including 38 kV	IEC 60298
201	Insulation-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages up to and including 52 kV	IEC 60466
202	High-voltage/low voltage prefabricated substations	IEC 61330
203	Gas-insulated metal enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV	IEC 60517 IEC 61259
204	High-voltage gas-insulated transmission lines for rated voltages of 72,5 kV and above	IEC 61640
300	Guide for seismic qualification	IEC 61166
301	Guide for inductive load switching	IEC 61233
302	Guide for short-circuit and switching test procedures for metal-enclosed and dead tank circuit-breakers	IEC 61633
303	Use and handling of sulphur hexafluoride (SF_6)in high-voltage switchgear and controlgear	IEC 61634
304	Additional requirements for enclosed switchgear and controlgear from 1 kV to 72,5 kV to be used in severe climatic conditions	IEC 60932
305	Cable connections for gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV	IEC 60859
306	Direct connection between power transformers and gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV	IEC 61639
307	The use of electronic and associated technologies in auxiliary equipment of switchgear and controlgear	IEC 62063
308	Guide for asymmetrical short-circuit breaking test duty T100a	-

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente norme est applicable aux disjoncteurs à courant alternatif conçus pour l'installation à l'intérieur ou à l'extérieur, et pour fonctionner à des fréquences de 50 Hz à 60 Hz, sur des réseaux de tensions supérieures à 1 000 V.

Elle est applicable uniquement aux disjoncteurs tripolaires pour réseaux triphasés et aux disjoncteurs unipolaires pour réseaux monophasés. Les disjoncteurs bipolaires pour réseaux monophasés et les applications à des fréquences inférieures à 50 Hz font l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

Cette norme est également applicable aux dispositifs de commande des disjoncteurs et à leurs équipements auxiliaires. Toutefois, cette norme ne couvre pas les disjoncteurs comportant un mécanisme de fermeture à manoeuvre dépendante manuelle, car pour ces appareils on ne peut spécifier un pouvoir de fermeture assigné en court-circuit, et une telle manœuvre dépendante manuelle peut être inacceptable pour des raisons de sécurité.

Cette norme ne couvre pas les disjoncteurs destinés aux unités motrices des équipements de traction électrique; ceux-ci sont couverts par la CEI 60077 [4][1)].

Les disjoncteurs d'alternateur installés entre l'alternateur et le transformateur élévateur ne sont pas du domaine de cette norme.

L'établissement et coupure de charge inductive est couvert par la CEI 61233.

Les disjoncteurs ayant une non-simultanéité intentionnelle entre les pôles, à l'exception des disjoncteurs pourvus d'un dispositif de refermeture automatique unipolaire, ne sont pas du domaine de cette norme.

Les disjoncteurs auto-déclenchant au moyen de dispositifs qui ne peuvent être mécaniques ou de dispositifs qui ne peuvent être rendus inopérants ne sont pas du domaine de cette norme.

Les disjoncteurs by-pass installés en parallèle avec des condensateurs série de ligne et leurs dispositifs de protection ne sont pas du domaine de cette norme. Ils sont couverts par la CEI 60143-2 [6].

NOTE Les essais en vue de vérifier le fonctionnement des disjoncteurs dans des conditions anormales font, en principe, l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur. De telles conditions anormales sont, par exemple, celles qui se produisent lorsque la tension est supérieure à la tension assignée du disjoncteur, ce qui peut arriver lors de la perte soudaine de la charge sur des lignes longues ou sur des câbles.

1.2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente norme internationale. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois les parties prenantes aux accords fondés sur la présente norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des normes internationales en vigueur.

---

1) Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers

1 General

1.1 Scope

This International Standard is applicable to a.c. circuit-breakers designed for indoor or outdoor installation and for operation at frequencies of 50 Hz and 60 Hz on systems having voltages above 1 000 V.

It is only applicable to three-pole circuit-breakers for use in three-phase systems and single-pole circuit-breakers for use in single-phase systems. Two-pole circuit-breakers for use in single-phase systems and application at frequencies lower than 50 Hz are subject to agreement between manufacturer and user.

This standard is also applicable to the operating devices of circuit-breakers and to their auxiliary equipment. However, a circuit-breaker with a closing mechanism for dependent manual operation is not covered by this standard, as a rated short-circuit making-current cannot be specified, and such dependent manual operation may be objectionable because of safety considerations.

This standard does not cover circuit-breakers intended for use on motive power units of electrical traction equipment; these are covered by IEC 60077 [4][1)].

Generator circuit-breakers installed between generator and step-up transformer are not within the scope of this standard.

Switching of inductive loads is covered by IEC 61233.

Circuit-breakers with an intentional non-simultaneity between the poles, with the exception of circuit-breakers providing single-pole auto-reclosing, are not within the scope of this standard.

This standard does not cover self-tripping circuit-breakers with mechanical tripping devices or devices which cannot be made inoperative.

By-pass circuit-breakers installed in parallel with line series capacitors and their protective equipment are not within the scope of this standard, these are covered by IEC 60143-2 [6].

NOTE Tests to prove the performance under abnormal conditions should be subject to agreement between manufacturer and user. Such abnormal conditions are, for instance, cases where the voltage is higher than the rated voltage of the circuit-breaker, conditions which may occur due to sudden loss of load on long lines or cables.

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

---

1) Figures in square brackets refer to the bibliography.

CEI 60050(151):1978, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60050(441):1984, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*

CEI 60050(601):1985, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 601: Production, transport et distribution d'énergie électrique – Généralités*

CEI 60050(604):1987, *Vocabulaire Electrotechnique international – Chapitre 604: Production, transport et distribution d'énergie électrique – Exploitation*

CEI 60059:1999, *Caractéristiques des courants normaux de la CEI*

CEI 60060 (toutes les parties), *Technique des essais à haute tension*

CEI 60071-2:1996, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

CEI 60129:1984, *Sectionneurs à courant alternatif et sectionneurs de terre*

CEI 60137:1995, *Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1000 V*

CEI 60255-3:1989, *Relais électriques – Troisième partie: Relais de mesure et dispositifs de protection à une seule grandeur d'alimentation d'entrée à temps dépendant ou indépendant*

CEI 60296:1982, *Spécification des huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillage de connexion*

CEI 60376:1971, *Spécifications et réception de l'hexafluorure de soufre neuf*

CEI 60427:1989, *Essais synthétiques des disjoncteurs à courant alternatif à haute tension*

CEI 60480:1974, *Guide relatif au contrôle de l'hexafluorure de soufre (SF_6) prélevé sur le matériel électrique*

CEI 60529:1989, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (code IP)*

CEI 60694:1996, *Spécifications communes aux normes de l'appareillage à haute tension*

CEI 61233:1994, *Disjoncteurs à haute tension à courant alternatif – Etablissement et coupure de charge inductive*

CEI 61633:1995, *Disjoncteurs à haute tension à courant alternatif – Guide pour la procédure d'essai d'établissement et de coupure de courants de court-circuit et de courants de charge pour les disjoncteurs sous enveloppe métallique et à cuve mise à la terre*

CEI 61634:1995, *Appareillage à haute tension – Utilisation et manipulation du gaz hexafluorure de soufre (SF_6) dans l'appareillage à haute tension*

CEI 62215, *Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension – Guide pour la séquence d'essais T100a de coupure de courants de court-circuit asymétriques* [2]

---

2 A publier.

IEC 60050(151):1978, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050(441):1984, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 441*: *Switchgear, controlgear and fuses*

IEC 60050(601):1985, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*

IEC 60050(604):1987, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

IEC 60059: 1999, IEC *standard current ratings*

IEC 60060: *all parts, High-voltage test techniques*

IEC 60071-2:1996, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*

IEC 60129:1984, *Alternating current disconnectors and earthing switches*

IEC 60137:1995, *Bushings for alternating voltages above 1 000 V*

IEC 60255-3:1989, *Electrical relays – Part 3: Single output energizing quantity measuring relays with dependent or independent time*

IEC 60296:1982, *Specification for unused mineral insulating oils for transformers and switchgear*

IEC 60376:1971, *Specification and acceptance of new sulphur hexafluoride*

IEC 60427:1989, *Synthetic testing of high-voltage alternating current circuit-breakers*

IEC 60480:1974, *Guide to the checking of sulphur hexafluoride (SF_6) taken from electrical equipment*

IEC 60529:1989, *Degrees of protection provided by enclosures (IP code)*

IEC 60694:1996, *Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards*

IEC 61233:1994, *High-voltage alternating current circuit-breakers – Inductive load switching*

IEC 61633:1995, *High-voltage alternating current circuit-breakers – Guide for short-circuit and switching test procedures for metal-enclosed and dead tank circuit-breakers*

IEC 61634:1995, *High-voltage switchgear and controlgear – Use and handling of sulphur hexafluoride (SF_6) in high-voltage switchgear and controlgear*

IEC 62215, *High-voltage alternating current circuit-breakers – Guide for asymmetrical short-circuit breaking test duty T100a* [2]

---

2 To be published

2 Conditions normales et spéciales de service

L'article 2 de la CEI 60694 est applicable.

3 Définitions

Dans le cadre de cette norme internationale, les définitions de la CEI 60050(441) et de la CEI 60694 s'appliquent. Pour faciliter l'utilisation de la norme, certaines d'entre elles ont été rappelées ci-après.

Des définitions additionnelles sont classées conformément à celles de la CEI 60050(441).

3.1 Termes généraux

3.1.101
appareillage
[VEI 441-11-01]

3.1.102
appareillage pour l'intérieur
[VEI 441-11-04]

3.1.103
appareillage pour l'extérieur
[VEI 441-11-05]

3.1.104
courant de court-circuit
[VEI 441-11-07]

3.1.105
réseau à neutre isolé
[VEI 601-02-24]

3.1.106
réseau à neutre directement à la terre
[VEI 601-02-25]

3.1.107
réseau à neutre non directement à la terre
[VEI 601-02-26]

3.1.108
réseau compensé par bobine d'extinction
[VEI 601-02-27]

3.1.109
facteur de défaut à la terre
rapport, en un emplacement défini d'un réseau triphasé (qui sera généralement le point d'installation d'un matériel) et pour un schéma d'exploitation donné de ce réseau, entre la tension efficace la plus élevée à la fréquence du réseau entre une phase saine et la terre pendant un défaut à la terre (affectant une phase quelconque ou plusieurs en un point quelconque du réseau) et la tension efficace entre phase et terre à la fréquence du réseau qui serait obtenue à l'emplacement considéré en l'absence du défaut

2 Normal and special service conditions

Clause 2 of IEC 60694 is applicable.

3 Definitions

For the purpose of this International Standard, the definitions of IEC 60050(441) and IEC 60694 apply. Some of them are recalled here for ease of reference.

Additional definitions are classified so as to be aligned with the classification used in IEC 60050(441).

3.1 General terms

3.1.101
switchgear and controlgear
[IEV 441-11-01]

3.1.102
indoor switchgear and controlgear
[IEV 441-11-04]

3.1.103
outdoor switchgear and controlgear
[IEV 441-11-05]

3.1.104
short-circuit current
[IEV 441-11-07]

3.1.105
isolated neutral system
[IEV 601-02-24]

3.1.106
solidly earthed (neutral) system
[IEV 601-02-25]

3.1.107
impedance earthed (neutral) system
[IEV 601-02-26]

3.1.108
resonant earthed (neutral) system,
arc-suppression-coil-earth (neutral) system
[IEV 601-02-27]

3.1.109
earth fault factor
ratio, at a selected location of a three-phase system (generally the point of installation of an equipment) and for a given system configuration, of the highest r.m.s. phase-to-earth power-frequency voltage on a sound phase during a fault to earth (affecting one or more phases at any point) to the r.m.s. phase-to-earth power-frequency voltage which would be obtained at the selected location without the fault

NOTE 1 Ce facteur est un simple rapport numérique (en général supérieur à l'unité) qui caractérise, d'une façon générale, les conditions de mise à la terre d'un réseau, vues de l'emplacement considéré, indépendamment de la valeur particulière réelle de la tension de fonctionnement à cet emplacement. Le «facteur de défaut à la terre» est le produit par √3 du «facteur de mise à terre» utilisé antérieurement.

NOTE 2 Les facteurs de défaut à la terre sont calculables à partir des impédances de phase du réseau dans les systèmes de composantes symétriques, telles qu'elles sont vues de l'emplacement considéré, en adoptant pour toute machine tournante les réactances subtransitoires.

NOTE 3 Si pour tous les schémas d'exploitation possibles, la réactance homopolaire est inférieure au triple de la réactance directe et que la résistance homopolaire ne dépasse pas la réactance directe, le facteur de défaut à la terre ne dépassera pas 1,4.

3.1.110
température de l'air ambiant
[VEI 441-11-13]

3.1.111
échauffement (d'une partie d'un disjoncteur*)*
écart entre la température de la partie et la température de l'air ambiant

3.1.112
batterie unique de condensateurs
batterie de condensateurs dans laquelle le courant d'appel est limité par l'inductance du réseau d'alimentation et la capacité de la batterie de condensateurs mise sous tension, en l'absence d'autres condensateurs connectés en parallèle au réseau suffisamment près pour accroître de manière appréciable le courant d'appel

3.1.113
batterie de condensateurs à gradins
batterie de condensateurs comportant plusieurs condensateurs ou ensembles de condensateurs reliés chacun au réseau d'alimentation par un appareil de connexion, le courant d'appel d'un élément étant augmenté de façon appréciable par les condensateurs déjà reliés à la source d'alimentation

3.1.114
surtension (dans un réseau)
toute tension entre un conducteur de phase et la terre ou entre deux conducteurs de phase dont la ou les valeurs de crête dépassent la valeur de crête correspondant à la tension la plus élevée pour le matériel
[VEI 604-03-09, modifié]

3.1.115
conditions de la discordance de phases
conditions de circuit anormales de perte ou de manque de synchronisme entre deux éléments d'un réseau électrique situés de chaque côté d'un disjoncteur aux bornes duquel, à l'instant de son fonctionnement, l'angle de déphasage entre les vecteurs tournants, représentant les tensions de part et d'autre de l'appareil, dépasse la valeur normale et peut atteindre 180° (opposition de phases)

3.1.116
en discordance de phases (utilisé comme qualificatif d'une grandeur caractéristique)
terme qualificatif indiquant que la grandeur caractéristique concerne le fonctionnement du disjoncteur dans les conditions de la discordance de phases

3.1.117
essai sur élément
essai effectué sur un élément de fermeture ou de coupure ou sur un groupe d'éléments au courant établi, ou au courant coupé, spécifié pour l'essai du pôle complet d'un disjoncteur et à la fraction appropriée de la tension appliquée, ou de la tension de rétablissement, spécifiée pour l'essai du pôle complet du disjoncteur

NOTE 1 This factor is a pure numerical ratio (generally higher than 1) and characterises in general terms the earthing conditions of a system as viewed from the stated location, independently of the actual operating values of the voltage at that location. The "earth fault factor" is the product of $\sqrt{3}$ and the "factor of earthing" which has been used in the past.

NOTE 2 The earth fault factors are calculated from the phase-sequence impedance components of the system, as viewed from the selected location, using for any rotating machines the subtransient reactance.

NOTE 3 If, for all credible system configurations, the zero-sequence reactance is less than three times the positive sequence reactance and if the zero-sequence resistance does not exceed the positive sequence reactance, the earth fault factor will not exceed 1,4.

3.1.110
ambient air temperature
[IEV 441-11-13]

3.1.111
temperature rise (of a part of a circuit-breaker)
difference between the temperature of the part and the ambient air temperature

3.1.112
single capacitor bank
bank of shunt capacitors in which the inrush current is limited by the inductance of the supply system and the capacitance of the bank of capacitors being energised, there being no other capacitors connected in parallel to the system sufficiently close to increase the inrush current appreciably

3.1.113
multiple (parallel) capacitor bank
back-to-back capacitor bank
bank of shunt capacitors or capacitor assemblies each of them switched independently to the supply system, the inrush current of one unit being appreciably increased by the capacitors already connected to the supply

3.1.114
overvoltage (in a system)
any voltage between one phase and earth or between phases having a peak value or values exceeding the corresponding peak of the highest voltage for equipment

[IEV 604-03-09, modified]

3.1.115
out-of-phase conditions
abnormal circuit conditions of loss or lack of synchronism between the parts of an electrical system on either side of a circuit-breaker in which, at the instant of operation of the circuit-breaker, the phase angle between rotating vectors, representing the generated voltages on either side, exceeds the normal value and may be as much as 180° (phase opposition)

3.1.116
out-of-phase (as prefix to a characteristic quantity)
qualifying term indicating that the characteristic quantity is applicable to operation of the circuit-breaker in out-of-phase conditions

3.1.117
unit test
test made on a making or breaking unit or group of units at the making current or the breaking current, specified for the test on the complete pole of a circuit-breaker and at the appropriate fraction of the applied voltage, or the recovery voltage, specified for the test on the complete pole of the circuit-breaker

3.1.118
alternance; demi-onde
partie de l'onde de courant comprise entre deux passages successifs par zéro du courant

NOTE On distingue une grande alternance (ou demi-onde) d'une petite, selon que l'intervalle de temps entre deux passages par zéro successifs est plus grand ou plus petit que la demi-période de la composante périodique du courant.

3.1.119
défaut proche en ligne (SLF)
court-circuit sur une ligne aérienne à une distance courte, mais appréciable, des bornes du disjoncteur

NOTE En général, cette distance n'est pas supérieure à quelques kilomètres. C'est pour cette raison que ce type de défaut était antérieurement appelé «défaut kilométrique».

3.1.120
facteur de puissance (d'un circuit)
rapport de la résistance à l'impédance à fréquence industrielle d'un circuit équivalent supposé réduit à une inductance et une résistance en série

3.1.121
isolation externe
distances dans l'air atmosphérique et sur les surfaces des isolations solides d'un matériel en contact avec l'atmosphère qui sont soumises aux contraintes diélectriques et à l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres agents externes tels que la pollution, l'humidité, les animaux nuisibles, etc.
[VEI 604-03-02, modifiée]

3.1.122
isolation interne
éléments internes solides, liquides ou gazeux de l'isolation d'un matériel qui sont à l'abri de l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres agents externes
[VEI 604-03-03]

3.1.123
isolation autorégénératrice
isolation qui retrouve intégralement ses propriétés isolantes après une décharge disruptive
[VEI 604-03-04]

3.1.124
isolation non autorégénératrice
isolation qui perd ses propriétés isolantes, ou ne les retrouve pas intégralement après une décharge disruptive
[VEI 604-03-05]

3.1.125
décharge disruptive
phénomène associé à la défaillance de l'isolation sous l'action d'une contrainte électrique et dans lesquels la décharge court-circuite complètement l'isolation en essai, réduisant la tension entre électrodes à une valeur nulle ou presque nulle

NOTE 1 Ce terme s'applique aux claquages diélectriques dans des milieux solides, liquides ou gazeux et à leurs combinaisons.

NOTE 2 Une décharge disruptive dans un diélectrique solide occasionne la perte définitive de la rigidité diélectrique (isolation non autorégénératrice); dans les diélectriques liquides ou gazeux, cette perte peut n'être que momentanée (isolation autorégénératrice).

NOTE 3 Le terme «amorçage» est utilisé lorsque la décharge disruptive se produit dans un diélectrique gazeux ou liquide; le terme «contournement» est utilisé lorsque la décharge disruptive longe la surface d'un diélectrique solide entouré d'un gaz ou d'un liquide isolant; le terme «perforation» est utilisé lorsque la décharge disruptive se produit à travers un diélectrique solide.

3.1.118
loop
part of the wave of the current embraced by two successive current zero crossings

NOTE A distinction is made between a major loop and a minor loop depending on the time interval between two successive current zero crossings being longer or shorter than the half-period of the alternating component of the current.

3.1.119
short-line fault (SLF)
short-circuit on an overhead line at a short, but significant, distance from the terminals of the circuit-breaker

NOTE As a rule this distance is not more than a few kilometres.

3.1.120
power factor (of a circuit)
ratio of the resistance to the impedance at power frequency of an equivalent circuit supposed to be formed by an inductance and a resistance in series

3.1.121
external insulation
distances in air and the surfaces in contact with open air of solid insulation of the equipment, which are subject to dielectric stresses and to the effects of atmospheric and other external conditions such as pollution, humidity, vermin, etc.
[IEV 604-03-02, modified]

3.1.122
internal insulation
internal solid, liquid or gaseous parts of the insulation of equipment, which are protected from the effects of atmospheric and other external conditions
[IEV 604-03-03]

3.1.123
self-restoring insulation
insulation which completely recovers its insulating properties after a disruptive discharge
[IEV 604-03-04]

3.1.124
non-self restoring insulation
insulation which loses its insulating properties, or does not recover them completely, after a disruptive discharge
[IEV 604-03-05]

3.1.125
disruptive discharge
phenomenon associated with the failure of insulation under electric stress, in which the discharge completely bridges the insulation under test, reducing the voltage between the electrodes to zero or nearly to zero

NOTE 1 This term applies to discharges in solid, liquid and gaseous dielectrics and to combinations of these.

NOTE 2 A disruptive discharge in a solid dielectric produces permanent loss of dielectric strength (non-self-restoring insulation); in a liquid or gaseous dielectric, the loss may be only temporary (self-restoring insulation).

NOTE 3 The term "sparkover" is used when a disruptive discharge occurs in a gaseous or liquid dielectric. The term "flashover" is used when a disruptive discharge occurs over the surface of a solid dielectric in a gaseous or liquid medium. The term "puncture" is used when a disruptive discharge occurs through a solid dielectric.

3.1.126
décharge disruptive non maintenue (NSDD)
décharge disruptive entre les contacts d'un disjoncteur à vide pendant la période de tension de rétablissement à fréquence industrielle, provoquant un passage de courant à haute fréquence lié à la capacité parasite au voisinage du disjoncteur

NOTE Les décharges disruptives non maintenues sont interrompues après une ou plusieurs alternances du courant à haute fréquence.

3.1.127
performance en réamorçage
probabilité présumée de réamorçage pendant des coupures de courant capacitif, comme démontré par les essais spécifiés

NOTE Des probabilités chiffrées spécifiques ne peuvent pas être valables durant toute la durée de service du disjoncteur.

3.1.128
réseau à neutre effectivement à la terre
réseau qui est mis à la terre par une impédance suffisamment faible de sorte que pour toutes les conditions de réseaux le rapport entre les composantes directe et homopolaire de la réactance (X_0/X_1) est positif et inférieur à 3, et le rapport entre la composante homopolaire de la résistance et la composante directe de la réactance (R_0/X_1) est positif et inférieur à 1. Normalement ces réseaux sont avec neutre directement à la terre ou mis à la terre à travers une faible impédance

NOTE Pour estimer correctement les conditions de mise à la terre, il ne faut pas seulement prendre en compte les conditions physiques de mise à la terre autour du lieu considéré mais aussi celles de tout le réseau.

3.1.129
réseau à neutre non effectivement à la terre
réseau autre que ceux avec neutre effectivement à la terre, ne remplissant pas les conditions données en 3.1.128. Normalement ces systèmes sont à neutre isolé, à neutre non directement à la terre ou compensés par bobine d'extinction

NOTE Pour estimer correctement les conditions de mise à la terre, il ne faut pas seulement prendre en compte les conditions physiques de mise à la terre autour du lieu considéré mais aussi celles de tout le réseau.

3.2 Ensembles

Pas de définition particulière.

3.3 Parties d'ensembles

Pas de définition particulière

3.4 Appareils de connexion

3.4.101
appareil de connexion
[VEI 441-14-01]

3.4.102
appareil mécanique de connexion
[VEI 441-14-02]

3.4.103
disjoncteur
[VEI 441-14-20]

3.1.126
non-sustained disruptive discharge (NSDD)
disruptive discharge between the contacts of a vacuum circuit-breaker during the power frequency recovery voltage period resulting in a high-frequency current flow which is related to stray capacitance near the interrupter

NOTE Non-sustained disruptive discharges are interrupted after one or a few loops of the high-frequency current.

3.1.127
restrike performance
expected probability of restrike during capacitive current interruption as demonstrated by specified type tests

NOTE Specific numeric probabilities cannot be applied throughout a circuit-breaker service life.

3.1.128
effectively earthed neutral system
system earthed through a sufficiently low impedance such that for all system conditions the ratio of the zero-sequence reactance to the positive-sequence reactance (X_0/X_1) is positive and less than 3, and the ratio of the zero-sequence resistance to the positive-sequence reactance (R_0/X_1) is positive and less than 1. Normally such systems are solidly earthed (neutral) systems or low impedance earthed (neutral) systems

NOTE For the correct assessment of the earthing conditions not only the physical earthing conditions around the relevant location but the total system is to be considered.

3.1.129
non-effectively earthed neutral system
system other than effectively earthed neutral system, not meeting the conditions given in 3.1.128. Normally such systems are isolated neutral systems, high impedance earthed (neutral) systems or resonant earthed (neutral) systems

NOTE For the correct assessment of the earthing conditions not only the physical earthing conditions around the relevant location but the total system is to be considered.

3.2 Assemblies

No particular definitions.

3.3 Parts of assemblies

No particular definitions.

3.4 Switching devices

3.4.101
switching device
[IEV 441-14-01]

3.4.102
mechanical switching device
[IEV 441-14-02]

3.4.103
circuit-breaker
[IEV 441-14-20]

3.4.104
disjoncteur à cuve mise à la terre
[VEI 441-14-25]

3.4.105
disjoncteur à cuve sous tension
[VEI 441-14-26]

3.4.106
Disjoncteur à air
[VEI 441-14-27]

3.4.107
disjoncteur à huile
[VEI 441-14-28]

3.4.108
disjoncteur à vide
[VEI 441-14-29]

3.4.109
disjoncteur à gaz comprimé
[VEI 441-14-30]

3.4.110
disjoncteur à hexafluorure de soufre
disjoncteur à SF_6
[VEI 441-14-31]

3.4.111
disjoncteur à air comprimé
[VEI 441-14-32]

3.4.112
disjoncteur classe E1
disjoncteur avec une endurance électrique de base n'entrant pas dans la catégorie de la classe E2 définie en 3.4.113

3.4.113
disjoncteur classe E2
disjoncteur conçu en sorte que, pendant sa durée de service escomptée, les pièces du circuit principal mises en jeu pour l'établissement et la coupure ne nécessitent aucune maintenance et que les autres pièces ne nécessitent qu'une maintenance minimale (disjoncteur à endurance électrique accrue)

NOTE 1 La maintenance minimale peut comprendre la lubrification, le complément de gaz et le nettoyage des surfaces externes, s'il y a lieu.

NOTE 2 Cette définition ne s'applique qu'aux disjoncteurs dont la tension assignée est supérieure à 1 kV et inférieure ou égale à 52 kV. Voir l'annexe G pour la raison d'être de l'introduction de la classe E2.

3.4.114
disjoncteur classe C1
disjoncteur à faible probabilité de réamorçage pendant la coupure de courant capacitif comme démontré par les essais de type spécifiés

3.4.104
dead tank circuit-breaker
[IEV 441-14-25]

3.4.105
live tank circuit-breaker
[IEV 441-14-26]

3.4.106
air circuit-breaker
[IEV 441-14-27]

3.4.107
oil circuit-breaker
[IEV 441-14-28]

3.4.108
vacuum circuit-breaker
[IEV 441-14-29]

3.4.109
gas-blast circuit-breaker
[IEV 441-14-30]

3.4.110
sulphur hexafluoride circuit-breaker
SF_6 circuit-breaker
[IEV 441-14-31]

3.4.111
air-blast circuit-breaker
[IEV 441-14-32]

3.4.112
circuit-breaker class E1
circuit-breaker with basic electrical endurance not falling into the category of class E2 as defined in 3.4.113

3.4.113
circuit-breaker class E2
circuit-breaker designed so as not to require maintenance of the interrupting parts of the main circuit during its expected operating life, and only minimal maintenance of its other parts (circuit-breaker with extended electrical endurance)

NOTE 1 Minimal maintenance may include lubrication, replenishment of gas and cleaning of external surfaces, where applicable.

NOTE 2 This definition is restricted to distribution circuit-breakers having a rated voltage above 1 kV, and up to and including 52 kV. See annex G for rationale behind introduction of class E2.

3.4.114
circuit-breaker class C1
circuit-breaker with low probability of restrike during capacitive current breaking as demonstrated by specific type tests

3.4.115
disjoncteur classe C2
disjoncteur à très faible probabilité de réamorçage pendant la coupure de courant capacitif comme démontré par les essais de type spécifiés

3.4.116
disjoncteur classe M1
disjoncteur à endurance mécanique ordinaire (essais de type à 2 000 manœuvres mécaniques) n'entrant pas dans la catégorie classe M2 définie en 3.4.117

3.4.117
disjoncteur classe M2
disjoncteur à manœuvres fréquentes pour des exigences de service spéciales et conçu pour ne nécessiter qu'une maintenance limitée comme démontré par des essais de type spécifiques (disjoncteur à endurance mécanique accrue, ayant réalisés 10 000 manœuvres en essais de type mécanique)

NOTE Il est possible de combiner les différentes classes de disjoncteurs: endurance électrique, endurance mécanique et probabilité de réamorçage pendant les coupures de courant capacitif. Pour la désignation de ces disjoncteurs, l'indication des différentes classes se fait suivant l'ordre alphabétique, par exemple C1-M2.

3.4.118
disjoncteur à déclenchement autonome
disjoncteur déclenché par un courant dans le circuit principal, sans l'aide d'aucune source d'énergie auxiliaire

3.4.119
réseau par câbles
réseau dans lequel la TTR pendant la coupure de défaut aux bornes à 100 % du pouvoir de coupure n'excède pas l'enveloppe à deux paramètres dérivée à partir du Tableau 24 de cette norme

NOTE 1 Cette définition est limitée aux réseaux de tensions supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV.

NOTE 2 Les disjoncteurs d'intérieur avec liaisons par câbles sont généralement dans des réseaux par câbles.

NOTE 3 Les disjoncteurs d'extérieur reliés à des lignes aériennes par câbles sont considérés comme étant dans un réseau par câbles si la longueur totale de câbles (ou longueur équivalente lorsque des condensateurs sont présents) connectés sur le côté alimentation aux disjoncteurs est au moins égale à 100 m. Cependant, si dans un cas particulier, avec une longueur de câble inférieure à 100 m, il peut être montré que la TTR obtenue est couverte par l'enveloppe définie à partir du Tableau 24, alors ce réseau est considéré comme étant un réseau par câbles.

NOTE 4 La capacitance des réseaux par câbles du côté alimentation des disjoncteurs provient des câbles et/ou de condensateurs et/ou de jeux de barres isolés.

3.4.120
réseau aérien
réseau dans lequel la TTR pendant la coupure de défauts aux bornes à 100 % du pouvoir de coupure est définie par l'enveloppe à deux paramètres dérivée à partir du Tableau 25 de cette norme et excède l'enveloppe à deux paramètres dérivée à partir du Tableau 24

NOTE 1 Cette définition est limitée aux réseaux de tensions supérieures ou égales à 15 kV et inférieures à 100 kV.

NOTE 2 Dans les réseaux aériens, aucun câble n'est connecté du côté alimentation du disjoncteur, à l'exception possible d'une longueur de câble inférieure à 100 m entre le disjoncteur et le ou les transformateurs d'alimentation.

NOTE 3 Les réseaux avec des lignes aériennes directement connectées au jeu de barre (sans connexion par câbles) sont des exemples typiques de réseaux aériens.

3.4.121
disjoncteur de classe S1
disjoncteur prévu pour une utilisation dans un réseau par câbles

3.4.115
circuit-breaker class C2
circuit-breaker with very low probability of restrike during capacitive current breaking as demonstrated by specific type tests

3.4.116
circuit-breaker class M1
circuit-breaker with normal mechanical endurance (mechanically type tested for 2 000 operations) not falling into the category of class M2 as defined in 3.4.117

3.4.117
circuit-breaker class M2
frequently operated circuit-breaker for special service requirements and designed so as to require only limited maintenance as demonstrated by specific type tests (circuit-breaker with extended mechanical endurance, mechanically type tested for 10 000 operations)

NOTE A combination of the different classes of circuit-breakers with regard to electrical endurance, mechanical endurance and the restrike probability during capacitive current breaking is possible. For the designation of these circuit-breakers the notation of the different classes are combined following an alphabetical order, for example C1-M2.

3.4.118
self-tripping circuit-breaker
circuit-breaker which is tripped by a current in the main circuit without the aid of any form of auxiliary power

3.4.119
cable system
system in which the TRV during breaking of terminal fault at 100 % of short-circuit breaking current does not exceed the two-parameter envelope derived from Table 24 of this standard

NOTE 1 This definition is restricted to systems of rated voltages higher than 1 kV and less than 100 kV.

NOTE 2 Circuit-breakers of indoor substations with cable connection are generally in cable-systems.

NOTE 3 A circuit-breaker in an outdoor substation is considered to be in a cable-system if the total length of cable (or equivalent length when capacitors are also present) connected on the supply side of the circuit-breaker is at least 100 m. However if in an actual case with an equivalent length of cable shorter than 100 m a calculation can show that the actual TRV is covered by the envelope defined from Table 24, then this system is considered as a cable system.

NOTE 4 The capacitance of cable-systems on the supply side of circuit-breakers is provided by cables and/or capacitors and/or insulated bus.

3.4.120
line system
system in which the TRV during breaking of terminal fault at 100 % of short-circuit breaking current is covered by the two-parameter envelope derived from Table 25 of this standard and exceeds the two-parameter envelope derived from Table 24 of this standard

NOTE 1 This definition is restricted to systems of rated voltages equal to or higher than 15 kV and less than 100 kV.

NOTE 2 In line-systems, no cable is connected on the supply side of the circuit-breaker, with the possible exception of a total length of cable less than 100 m between the circuit-breaker and the supply transformer(s).

NOTE 3 Systems with overhead lines directly connected to a busbar (without intervening cable connections) are typical examples of line-systems.

3.4.121
circuit-breaker class S1
circuit-breaker intended to be used in a cable system

3.4.122
disjoncteur de classe S2
disjoncteur prévu pour une utilisation dans un réseau aérien ou dans un réseau par câbles avec une connection directe (sans câble) à des lignes aériennes

3.5 Partie de disjoncteur

3.5.101
pôle
[VEI 441-15-01]

3.5.102
circuit principal
[VEI 441-15-02]

3.5.103
circuit de commande
[VEI 441-15-03]

3.5.104
circuit auxiliaire
[VEI 441-15-04]

3.5.105
contact
[VEI 441-15-05]

3.5.106
pièce de contact
[VEI 441-15-06]

3.5.107
contact principal
[VEI 441-15-07]

3.5.108
contact d'arc
[VEI 441-15-08]

3.5.109
contact de commande
[VEI 441-15-09]

3.5.110
contact auxiliaire
[VEI 441-15-10]

3.5.111
interrupteur auxiliaire
[VEI 441-15-11]

3.5.112
contact à fermeture;
contact «a»
[VEI 441-15-12]

3.4.122
circuit-breaker class S2
circuit-breaker intended to be used in a line-system, or in a cable-system with direct connection (without cable) to overhead lines

3.5 Parts of circuit-breakers

3.5.101
pole
[IEV 441-15-01]

3.5.102
main circuit
[IEV 441-15-02]

3.5.103
control circuit
[IEV 441-15-03]

3.5.104
auxiliary circuit
[IEV 441-15-04]

3.5.105
contact
[IEV 441-15-05]

3.5.106
contact piece
[IEV 441-15-06]

3.5.107
main contact
[IEV 441-15-07]

3.5.108
arcing contact
[IEV 441-15-08]

3.5.109
control contact
[IEV 441-15-09]

3.5.110
auxiliary contact
[IEV 441-15-10]

3.5.111
auxiliary switch
[IEV 441-15-11]

3.5.112
“a” contact;
make contact
[IEV 441-15-12]

3.5.113
contact à ouverture;
contact «b»
[VEI 441-15-13]

3.5.114
contact glissant
[VEI 441-15-15]

3.5.115
contact roulant
[VEI 441-15-16]

3.5.116
déclencheur
[VEI 441-15-17]

3.5.117
chambre d'extinction
[VEI 441-15-18]

3.5.118
indicateur de position
[VEI 441-15-25]

3.5.119
raccord (par boulons ou dispositifs équivalents)
ensemble de pièces conductrices destinées à assurer la continuité permanente d'un circuit lorsqu'elles sont assemblées au moyen de vis, de boulons ou de dispositifs équivalents

3.5.120
borne
composant destiné à raccorder un disjoncteur à des conducteurs extérieurs
[VEI 151-01-03]

3.5.121
élément de fermeture (ou de coupure)
partie d'un disjoncteur qui en elle-même joue le rôle d'un disjoncteur et qui, en série avec un ou plusieurs éléments de fermeture ou de coupure identiques manoeuvrés simultanément, forme le disjoncteur complet

NOTE 1 Les éléments de fermeture et les éléments de coupure peuvent être distincts ou non. Chaque élément peut comporter plusieurs contacts.

NOTE 2 Les moyens utilisés pour la répartition de la tension entre les éléments peuvent différer d'un élément à l'autre.

3.5.122
module (d'un pôle de disjoncteur)
ensemble comprenant généralement des éléments de fermeture ou de coupure, des supports isolants et des parties mécaniques. Il est assemblé électriquement et mécaniquement à d'autres ensembles identiques pour constituer un pôle de disjoncteur

3.5.123
enveloppe
partie d'appareillage procurant un degré de protection spécifié (se reporter à la CEI 60529) du matériel contre les influences externes et un degré de protection spécifié contre l'approche des parties actives ou le contact avec elles ou contre le contact avec des pièces en mouvement
[VEI 441-13-01, modifiée]

3.5.113
"b" contact;
break contact
[IEV 441-15-13]

3.5.114
sliding contact
[IEV 441-15-15]

3.5.115
rolling contact
[IEV 441-15-16]

3.5.116
release
[IEV 441-15-17]

3.5.117
arc control device
[IEV 441-15-18]

3.5.118
position indicating device
[IEV 441-15-25]

3.5.119
connection (bolted or equivalent)
two or more conductors designed to ensure permanent circuit continuity when forced together by means of screws, bolts or the equivalent

3.5.120
terminal
component provided for the connection of a device to external conductors
[IEV 151-01-03]

3.5.121
making (or breaking) unit
part of a circuit-breaker which in itself acts as a circuit-breaker and which, in series with one or more identical and simultaneously operated making or breaking units, forms the complete circuit-breaker

NOTE 1 Making units and breaking units may be separate or combined. Each unit may have several contacts.

NOTE 2 The means controlling the voltage distribution between units may differ from unit to unit.

3.5.122
module
assembly which generally comprises making or breaking units, post-insulators and mechanical parts and which is mechanically and electrically connected to other identical assemblies to form a pole of a circuit-breaker

3.5.123
enclosure
part of switchgear and controlgear providing a specified degree of protection (see IEC 60529) of equipment against external influences and a specified degree of protection against approach to or contact with live parts and against contact with moving parts
[IEV 441-13-01, modified]

3.6 Fonctionnement

3.6.101
manœuvre
[VEI 441-16-01]

3.6.102
cycle de manœuvres
[VEI 441-16-02]

3.6.103
séquence de manœuvres
[VEI 441-16-03]

3.6.104
manœuvre de fermeture
[VEI 441-16-08]

3.6.105
manœuvre d'ouverture
[VEI 441-16-09]

3.6.106
refermeture automatique
[VEI 441-16-10]

3.6.107
manœuvre positive d'ouverture
[VEI 441-16-11]

3.6.108
manœuvre effectuée positivement
[VEI 441-16-12]

3.6.109
manœuvre dépendante manuelle
[VEI 441-16-13]

3.6.110
manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure
[VEI 441-16-14]

3.6.111
manœuvre à accumulation d'énergie
manœuvre de connexion effectuée au moyen d'énergie emmagasinée dans le mécanisme lui-même avant la manœuvre et suffisante pour achever la séquence de manœuvres spécifiée dans des conditions prédéterminées

3.6.112
manœuvre indépendante manuelle
[VEI 441-16-16]

3.6.113
position de fermeture
[VEI 441-16-22]

3.6 Operation

3.6.101
operation
[IEV 441-16-01]

3.6.102
operating cycle
[IEV 441-16-02]

3.6.103
operating sequence
[IEV 441-16-03]

3.6.104
closing operation
[IEV 441-16-08]

3.6.105
opening operation
[IEV 441-16-09]

3.6.106
auto-reclosing
[IEV 441-16-10]

3.6.107
positive opening operation
[IEV 441-16-11]

3.6.108
positively driven operation
[IEV 441-16-12]

3.6.109
dependent manual operation
[IEV 441-16-13]

3.6.110
dependent power operation
[IEV 441-16-14]

3.6.111
stored energy operation
operation by means of energy stored in the mechanism itself prior to the switching operation and sufficient to complete the specified operating sequence under predetermined conditions

3.6.112
independent manual operation
[IEV 441-16-16]

3.6.113
closed position
[IEV 441-16-22]

3.6.114
position d'ouverture
[VEI 441-16-23]

3.6.115
disjoncteur instantané
[VEI 441-16-32]

3.6.116
déclencheur sous courant de fermeture
déclencheur qui permet l'ouverture d'un disjoncteur sans retard intentionnel, pendant une manœuvre de fermeture, si le courant établi dépasse une valeur prédéterminée, et qui est rendu inopérant lorsque le disjoncteur est en position de fermeture

3.6.117
déclencheur à maximum de courant
[VEI 441-16-33]

3.6.118
déclencheur à maximum de courant à retard indépendant
[VEI 441-16-34]

3.6.119
déclencheur à maximum de courant à temps inverse
[VEI 441-16-35]

3.6.120
déclencheur direct à maximum de courant
[VEI 441-16-36]

3.6.121
déclencheur indirect à maximum de courant
[VEI 441-16-37]

3.6.122
déclencheur shunt
[VEI 441-16-41]

3.6.123
déclencheur à minimum de tension
[VEI 441-16-42]

3.6.124
déclencheur à retour de courant (en courant continu seulement)
[VEI 441-16-43]

3.6.125
courant de fonctionnement (d'un déclencheur à maximum de courant)
[VEI 441-16-45]

3.6.126
courant de réglage (d'un déclencheur à maximum de courant)
[VEI 441-16-46]

3.6.127
domaine du courant de réglage (d'un déclencheur à maximum de courant)
[VEI 441-16-47]

3.6.114
open position
[IEV 441-16-23]

3.6.115
instantaneous release
[IEV 441-16-32]

3.6.116
making-current release
release which permits a circuit-breaker to open, without any intentional time delay, during a closing operation, if the making current exceeds a predetermined value, and which is rendered inoperative when the circuit-breaker is in the closed position

3.6.117
over-current release
[IEV 441-16-33]

3.6.118
definite time-delay over-current release
[IEV 441-16-34]

3.6.119
inverse time-delay over-current release
[IEV 441-16-35]

3.6.120
direct over-current release
[IEV 441-16-36]

3.6.121
indirect over-current release
[IEV 441-16-37]

3.6.122
shunt release
[IEV 441-16-41]

3.6.123
under-voltage release
[IEV 441-16-42]

3.6.124
reverse current release (d.c. only)
[IEV 441-16-43]

3.6.125
operating current (of an over-current release)
[IEV 441-16-45]

3.6.126
current setting (of an over-current release)
[IEV 441-16-46]

3.6.127
current setting range (of an over-current release)
[IEV 441-16-47]

3.6.128
dispositif d'antipompage
[VEI 441-16-48]

3.6.129
dispositif de verrouillage
[VEI 441-16-49]

3.6.130
disjoncteur à fermeture empêchée
[VEI 441-14-23]

3.7 Grandeurs caractéristiques

Les figures 1 à 7 illustrent quelques définitions de ce paragraphe.

Les durées, voir les définitions 3.7.133 à 3.7.147, sont exprimées en millisecondes ou en cycles. Lorsqu'elles sont exprimées en cycles, il convient que la fréquence industrielle soit donnée entre guillemets. Dans le cas de disjoncteurs qui possèdent des résistances d'ouverture ou de fermeture, on distingue, si applicable, les durées associées aux contacts qui coupent ou établissent le plein courant et celles qui sont associées aux contacts qui coupent ou établissent le courant limité par les résistances d'ouverture ou de fermeture.

Quand cela n'est pas spécifié, la durée est associée aux contacts qui coupent ou établissent le plein courant.

3.7.101
valeur assignée
valeur d'une grandeur fixée, généralement par le constructeur, pour un fonctionnement spécifié d'un composant, d'un dispositif ou d'un matériel
[VEI 151-04-03]

3.7.102
courant présumé (d'un circuit et relatif à un appareil de connexion ou à un fusible)
[VEI 441-17-01]

3.7.103
valeur de crête du courant présumé
valeur de crête de la première grande alternance du courant présumé pendant la période transitoire qui suit son établissement

NOTE La définition implique que le courant est établi par un disjoncteur idéal, c'est-à-dire dont l'impédance entre les bornes de chaque pôle passe instantanément et simultanément de l'infini à zéro. La valeur de crête peut être différente d'un pôle à l'autre; elle dépend de l'instant d'établissement du courant par rapport à l'onde de tension entre les bornes de chaque pôle.

3.7.104
valeur de crête du courant
valeur de crête de la première grande alternance du courant pendant la période transitoire qui suit son établissement

3.7.105
courant symétrique présumé (d'un circuit à courant alternatif)
[VEI 441-17-03]

3.7.106
valeur maximale de crête du courant présumé (d'un circuit à courant alternatif)
[VEI 441-17-04]

3.6.128
anti-pumping device
[IEV 441-16-48]

3.6.129
interlocking device
[IEV 441-16-49]

3.6.130
circuit-breaker with lock-out preventing closing
[IEV 441-14-23]

3.7 Characteristic quantities

Figures 1 to 7 illustrate some definitions of this subclause.

Time quantities, see definitions 3.7.133 to 3.7.147, are expressed in milliseconds or in cycles. When expressed in cycles, the power frequency should be stated in brackets. In the case of circuit-breakers incorporating switching resistors, a distinction is made, where applicable, between time quantities associated with the contacts switching the full current and the contacts switching the current limited by switching resistors.

Unless otherwise stated, the time quantities referred to are associated with the contacts switching the full current.

3.7.101
rated value
quantity value assigned, generally by a manufacturer, for a specified operating condition of component, device or equipment
[IEV 151-04-03]

3.7.102
prospective current (of a circuit and with respect to a switching device or a fuse)
[IEV 441-17-01]

3.7.103
prospective peak current
peak value of the first major loop of the prospective current during the transient period following initiation

NOTE The definition assumes that the current is made by an ideal circuit-breaker, i.e. with instantaneous and simultaneous transition of its impedance across the terminals of each pole from infinity to zero. The peak value may differ from one pole to another; it depends on the instant of current initiation relative to the voltage wave across the terminals of each pole.

3.7.104
peak current
peak value of the first major loop of current during the transient period following initiation

3.7.105
prospective symmetrical current (of an a.c. circuit)
[IEV 441-17-03]

3.7.106
maximum prospective peak current (of an a.c. circuit)
[IEV 441-17-04]

3.7.107
courant établi présumé (d'un appareil de connexion)
[VEI 441-17-05]

3.7.108
(valeur de crête du) courant établi
valeur de crête de la première grande alternance du courant dans un pôle de disjoncteur pendant la période transitoire qui suit l'instant d'établissement au cours d'une manœuvre de fermeture

NOTE 1 La valeur de crête peut être différente d'un pôle à l'autre et d'une manœuvre à l'autre car elle dépend de l'instant d'établissement du courant par rapport à l'onde de la tension appliquée.

NOTE 2 Lorsqu'une seule valeur (de crête) du courant établi est indiquée pour un circuit polyphasé, il s'agit de la plus grande valeur dans n'importe quelle phase, sauf indication contraire.

3.7.109
courant coupé présumé (d'un appareil de connexion)
courant présumé évalué à l'instant de l'amorçage de l'arc au cours d'une coupure

3.7.110
courant coupé
[VEI 441-17-07]

3.7.111
courant (coupé) critique
valeur de courant coupé, inférieure au pouvoir de coupure assigné en court-circuit, pour laquelle la durée d'arc est la plus longue, et notablement plus longue qu'au pouvoir de coupure assigné en court-circuit. Ce sera considéré comme tel si la durée d'arc la plus courte obtenue dans une des séquences T10, T30 ou T60, est plus longue d'au moins une demi-période que la durée d'arc minimale des séquences adjacentes

3.7.112
pouvoir de coupure
[VEI 441-17-08]

3.7.113
pouvoir de coupure de lignes à vide
pouvoir de coupure dans les conditions de mise hors tension d'une ligne aérienne fonctionnant à vide

3.7.114
pouvoir de coupure de câbles à vide
pouvoir de coupure dans les conditions de mise hors tension de câbles isolés fonctionnant à vide

3.7.115
pouvoir de coupure de batterie de condensateurs
pouvoir de coupure dans les conditions de mise hors tension d'une batterie de condensateurs

3.7.116
pouvoir de fermeture
[VEI 441-17-09]

3.7.117
pouvoir de fermeture de courant d'appel de condensateurs
pouvoir de fermeture dans les conditions de mise sous tension d'une batterie de condensateurs

3.7.107
prospective making current (for a pole of a switching device)
[IEV 441-17-05]

3.7.108
(peak) making current
peak value of the first major loop of the current in a pole of a circuit-breaker during the transient period following the initiation of current during a making operation

NOTE 1 The peak value may differ from one pole to another and from one operation to another as it depends on the instant of current initiation relative to the wave of the applied voltage.

NOTE 2 Where, for a polyphase circuit, a single value of (peak) making current is referred to, this is, unless otherwise stated, the highest value in any phase.

3.7.109
prospective breaking current (for a pole of a switching device)
prospective current evaluated at the instant corresponding to the initiation of the arc during breaking process

3.7.110
breaking current
[IEV 441-17-07]

3.7.111
critical (breaking) current
value of breaking current, less than rated short-circuit breaking current, at which the arcing time is a maximum and is significantly longer than at the rated short-circuit breaking current. It will be assumed that this is the case if the minimum arcing times in any of the test-duties T10, T30 or T60 is one half-cycle or more longer than the minimum arcing times in the adjacent test-duties

3.7.112
breaking capacity
[IEV 441-17-08]

3.7.113
line-charging (line off-load) breaking capacity
breaking capacity for which the specified conditions of use and behaviour include the opening of an overhead line operating at no-load

3.7.114
cable-charging (cable off-load) breaking capacity
breaking capacity for which the specified conditions of use and behaviour include the opening of an insulated cable operating at no-load

3.7.115
capacitor bank breaking capacity
breaking capacity for which the specified conditions of use and behaviour include the opening of a capacitor bank

3.7.116
making capacity
[IEV 441-17-09]

3.7.117
capacitor bank inrush making capacity
making capacity for which the specified conditions of use and behaviour include the closing onto a capacitor bank

3.7.118
pouvoir de fermeture ou de coupure en discordance de phases
pouvoir de fermeture ou de coupure dans les conditions de perte ou de manque de synchronisme entre les éléments d'un réseau électrique situés de chaque côté du disjoncteur lors de sa mise hors ou sous tension

3.7.119
pouvoir de fermeture en court-circuit
[VEI 441-17-10]

3.7.120
pouvoir de coupure en court-circuit
[VEI 441-17-11]

3.7.121
courant de courte durée admissible
[VEI 441-17-17]

3.7.122
valeur de crête du courant admissible
[VEI 441-17-18]

3.7.123
tension appliquée
[VEI 441-17-24]

3.7.124
tension de rétablissement
[VEI 441-17-25]

3.7.125
tension transitoire de rétablissement (TTR)
[VEI 441-17-26]

3.7.126
tension transitoire de rétablissement présumée (d'un circuit)
[VEI 441-17-29]

3.7.127
tension de rétablissement à fréquence industrielle
[VEI 441-17-27]

3.7.128
tension d'arc (valeur de crête)
[VEI 441-17-30]

3.7.129
distance d'isolement
[VEI 441-17-31]

3.7.130
distance d'isolement entre pôles
[VEI 441-17-32]

3.7.118
out-of-phase (making or breaking) capacity
making or breaking capacity for which the specified conditions of use and behaviour include the loss or the lack of synchronism between the parts of an electrical system on either side of the circuit-breaker

3.7.119
short-circuit making capacity
[IEV 441-17-10]

3.7.120
short-circuit breaking capacity
[IEV 441-17-11]

3.7.121
short-time withstand current
[IEV 441-17-17]

3.7.122
peak withstand current
[IEV 441-17-18]

3.7.123
applied voltage
[IEV 441-17-24]

3.7.124
recovery voltage
[IEV 441-17-25]

3.7.125
transient recovery voltage (TRV)
[IEV 441-17-26]

3.7.126
prospective transient recovery voltage (of a circuit)
[IEV 441-17-29]

3.7.127
power frequency recovery voltage
[IEV 441-17-27]

3.7.128
peak arc voltage
[IEV 441-17-30]

3.7.129
clearance
[IEV 441-17-31]

3.7.130
clearance between poles
[IEV 441-17-32]

3.7.131
distance d'isolement à la terre
[VEI 441-17-33]

3.7.132
distance d'isolement entre contacts
[VEI 441-17-34]

3.7.133
durée d'ouverture
durée d'ouverture d'un disjoncteur définie suivant le mode de déclenchement, comme indiqué ci-dessous, tout dispositif de retard faisant partie intégrante du disjoncteur et étant, s'il y a lieu, réglé pour la durée minimale:

a) pour un disjoncteur déclenché par une source quelconque d'énergie auxiliaire, la durée d'ouverture est l'intervalle de temps entre l'instant de mise sous tension du déclencheur, le disjoncteur étant en position de fermeture, et l'instant de séparation des contacts d'arc sur tous les pôles;

b) pour un disjoncteur à déclenchement autonome, la durée d'ouverture est l'intervalle de temps entre l'instant où, le disjoncteur étant en position de fermeture, le courant du circuit principal atteint la valeur de fonctionnement du déclencheur à maximum de courant et l'instant de la séparation des contacts d'arc sur tous les pôles.

NOTE 1 La durée d'ouverture peut varier notablement avec le courant coupé.

NOTE 2 Pour les disjoncteurs à plusieurs éléments de coupure par pôle, l'instant de la séparation des contacts d'arc sur tous les pôles est pris à l'instant de la séparation des contacts du premier élément du dernier pôle.

NOTE 3 La durée d'ouverture comprend la durée de fonctionnement de tout équipement auxiliaire nécessaire au fonctionnement du disjoncteur et qui fait partie intégrante de ce dernier.

3.7.134
durée d'arc (d'un appareil de connexion multipolaire)
intervalle de temps entre l'instant du premier début d'un arc et l'instant de l'extinction finale de l'arc sur tous les pôles
[VEI 441-17-38]

3.7.135
durée de coupure
intervalle de temps entre le début de la durée d'ouverture d'un appareil mécanique de connexion et la fin de la durée d'arc
[VEI 441-17-39, modifié]

3.7.136
durée de fermeture
intervalle de temps entre la mise sous tension du circuit de fermeture, le disjoncteur étant en position d'ouverture, et l'instant où les contacts se touchent dans tous les pôles

NOTE La durée de fermeture comprend la durée de fonctionnement de tout équipement auxiliaire nécessaire au fonctionnement du disjoncteur et qui fait partie intégrante de ce dernier.

3.7.137
durée d'établissement
Intervalle de temps entre la mise sous tension du circuit de fermeture, le disjoncteur étant en position d'ouverture, et l'instant où le courant commence à circuler dans le premier pôle
[VEI 441-17-40, modifié]

NOTE 1 La durée d'établissement comprend la durée de fonctionnement de tout équipement auxiliaire nécessaire au fonctionnement du disjoncteur et qui fait partie intégrante de ce dernier.

NOTE 2 La durée d'établissement, par exemple, peut varier à cause de la variation de la durée de préarc.

3.7.131
clearance to earth
[IEV 441-17-33]

3.7.132
clearance between open contacts
[IEV 441-17-34]

3.7.133
opening time
opening time of a circuit-breaker defined according to the tripping method as stated below and with any time delay device forming an integral part of the circuit-breaker adjusted to its minimum setting:

a) for a circuit-breaker tripped by any form of auxiliary power, the opening time is the interval of time between the instant of energising the opening release, the circuit-breaker being in the closed position, and the instant when the arcing contacts have separated in all poles;

b) for a self-tripping circuit-breaker, the opening time is the interval of time between the instant at which, the circuit-breaker being in the closed position, the current in the main circuit reaches the operating value of the overcurrent release and the instant when the arcing contacts have separated in all poles.

NOTE 1 The opening time may vary with the breaking current.

NOTE 2 For circuit-breakers with more than one interrupting unit per pole, the instant when the arcing contacts have separated in all poles is determined as the instant of contact separation in the first unit of the last pole.

NOTE 3 The opening time includes the operating time of any auxiliary equipment necessary to open the circuit-breaker and forming an integral part of the circuit-breaker.

3.7.134
arcing time (of a multipole switching device)
interval of time between the instant of the first initiation of an arc and the instant of final arc extinction in all poles
[IEV 441-17-38]

3.7.135
break time
interval of time between the beginning of the opening time of a mechanical switching device and the end of the arcing time
[IEV 441-17-39, modified]

3.7.136
closing time
interval of time between energising the closing circuit, the circuit-breaker being in the open position, and the instant when the contacts touch in all poles

NOTE The closing time includes the operating time of any auxiliary equipment necessary to close the circuit-breaker and forming an integral part of the circuit-breaker.

3.7.137
make time
interval of time between energising the closing circuit, the circuit-breaker being in the open position, and the instant when the current begins to flow in the first pole
[IEV 441-17-40, modified]

NOTE 1 The make time includes the operating time of any auxiliary equipment necessary to close the circuit-breaker and forming an integral part of the circuit-breaker.

NOTE 2 The make time may vary, e.g. due to the variation of the pre-arcing time.

3.7.138
durée de préarc
lors d'une manœuvre de fermeture, intervalle de temps entre le début de la circulation de courant dans le premier pôle et l'instant où les contacts se touchent dans tous les pôles pour les conditions triphasées, et l'instant où les contacts du pôle qui voit l'arc se touchent pour les conditions monophasées

NOTE 1 La durée de préarc dépend de la valeur instantanée de la tension appliquée pendant une manœuvre de fermeture spécifique et peut donc varier considérablement.

NOTE 2 Il convient de ne pas confondre cette définition de la durée de préarc d'un disjoncteur avec la définition de la durée de préarc d'un fusible.

3.7.139
durée d'ouverture-fermeture (d'une refermeture automatique)
intervalle de temps entre l'instant de séparation des contacts d'arc dans tous les pôles lors d'une manœuvre d'ouverture, et l'instant où les contacts se touchent dans le premier pôle pendant le cycle de refermeture qui lui fait suite

3.7.140
durée de coupure-établissement (d'une refermeture automatique)
intervalle de temps entre l'extinction finale de l'arc dans tous les pôles lors de la manœuvre d'ouverture, et le premier rétablissement du courant dans l'un quelconque des pôles lors de la manœuvre de fermeture qui lui fait suite

NOTE La durée de coupure-établissement, par exemple, peut varier à cause de la variation de la durée de préarc.

3.7.141
durée de refermeture
intervalle de temps entre le début de la durée d'ouverture et l'instant où les contacts se touchent dans tous les pôles pendant le cycle de refermeture qui lui fait suite

3.7.142
durée de réétablissement (d'une refermeture)
intervalle de temps entre le début de la durée d'ouverture et le premier rétablissement du courant dans l'un quelconque des pôles lors de la manœuvre de fermeture qui lui fait suite

NOTE La durée de réétablissement, par exemple, peut varier à cause de la variation de la durée de préarc.

3.7.143
durée de fermeture-ouverture
intervalle de temps entre l'instant où les contacts se touchent dans le premier pôle pendant une manœuvre de fermeture, et l'instant où les contacts d'arc se sont séparés dans tous les pôles pendant la manœuvre d'ouverture qui lui fait suite
[VEI 441-17-42, modifié]

NOTE Sauf indication contraire, on suppose que le déclencheur d'ouverture incorporé dans le disjoncteur est mis sous tension au moment où les contacts se touchent dans le premier pôle pendant la fermeture. Cela représente la durée de fermeture-ouverture minimale.

3.7.144
durée d'établissement-coupure
intervalle de temps entre le début de la circulation du courant dans le premier pôle pendant une manœuvre de fermeture et la fin de la durée d'arc pendant la manœuvre d'ouverture qui lui fait suite

NOTE 1 Sauf indication contraire, on suppose que le déclencheur d'ouverture du disjoncteur est mis sous tension une demi-période après que le courant commence à circuler dans le circuit principal pendant l'établissement. Il convient de noter que l'utilisation de relais ayant des temps de fonctionnement plus courts peut soumettre le disjoncteur à des courants asymétriques plus élevés que ceux prévus en 6.106.5.

NOTE 2 La durée d'établissement-coupure peut varier à cause de la variation de la durée de préarc.

3.7.138
pre-arcing time
interval of time between the initiation of current flow in the first pole during a closing operation and the instant when the contacts touch in all poles for three-phase conditions and the instant when the contacts touch in the arcing pole for single-phase conditions

NOTE 1 The pre-arcing time depends on the instantaneous value of the applied voltage during a specific closing operation and therefore may vary considerably.

NOTE 2 This definition for pre-arcing time for a circuit-breaker should not be confused with the definition for pre-arcing time for a fuse.

3.7.139
open-close time (during auto-reclosing)
interval of time between the instant when the arcing contacts have separated in all poles and the instant when the contacts touch in the first pole during a reclosing cycle

3.7.140
dead time (during auto-reclosing)
interval of time between final arc extinction in all poles in the opening operation and the first re-establishment of current in any pole in the subsequent closing operation

NOTE The dead time may vary, e.g. due to the variation of the pre-arcing time.

3.7.141
reclosing time
interval of time between the beginning of the opening time and the instant when the contacts touch in all poles during a reclosing cycle

3.7.142
re-make time (during reclosing)
interval of time between the beginning of the opening time and the first re-establishment of current in any pole in the subsequent closing operation

NOTE The re-make time may vary, e.g. due to the variation of the pre-arcing time.

3.7.143
close-open time
interval of time between the instant when the contacts touch in the first pole during a closing operation and the instant when the arcing contacts have separated in all poles during the subsequent opening operation
[IEV 441-17-42, modified]

NOTE Unless otherwise stated, it is assumed that the opening release incorporated in the circuit-breaker is energised at the instant when the contacts touch in the first pole during closing. This represents the minimum close-open time.

3.7.144
make-break time
interval of time between the initiation of current flow in the first pole during a closing operation and the end of the arcing time during the subsequent opening operation

NOTE 1 Unless otherwise stated, it is assumed that the opening release of the circuit-breaker is energised one half-cycle after current begins to flow in the main circuit during making. It should be noted that the use of relays with shorter operating time may subject the circuit-breaker to asymmetrical currents that are in excess of those provided for in 6.106.5.

NOTE 2 The make-break time may vary due to the variation of the pre-arcing time.

3.7.145
durée de pré-insertion
intervalle de temps durant la manœuvre de fermeture d'un pôle quelconque, entre l'instant où les contacts se touchent dans l'élément de fermeture des résistances, et l'instant où les contacts se touchent dans l'élément de coupure principal

NOTE Pour les disjoncteurs ayant des éléments de coupure en série, le temps de pré-insertion est l'intervalle de temps entre l'instant où les derniers contacts se touchent dans un quelconque élément de fermeture des résistances, et l'instant où se touchent les derniers contacts dans un quelconque élément de coupure principal.

3.7.146
durée minimale de l'ordre d'ouverture
durée minimale pendant laquelle la tension d'alimentation auxiliaire est appliquée au dispositif d'ouverture pour assurer l'ouverture complète du disjoncteur

3.7.147
durée minimale de l'ordre de fermeture
durée minimale pendant laquelle la tension d'alimentation auxiliaire doit être appliquée au dispositif de fermeture pour assurer la fermeture complète du disjoncteur

3.7.148
réallumage (d'un appareil mécanique de connexion à courant alternatif)
[VEI 441-17-45]

3.7.149
réamorçage (d'un appareil mécanique de connexion à courant alternatif)
[VEI 441-17-46]

3.7.150
courant en service continu
courant que le circuit principal d'un disjoncteur peut supporter indéfiniment dans des conditions prescrites d'emploi et de fonctionnement

3.7.151
facteur de crête (de la tension transitoire sur la ligne)
rapport entre la variation maximale et la valeur initiale de la tension transitoire par rapport à la terre d'une phase d'une ligne aérienne, après l'interruption d'un courant de défaut proche en ligne

NOTE La valeur initiale de la tension transitoire correspond à l'instant de l'extinction de l'arc dans le pôle considéré.

3.7.152
facteur de premier pôle (d'un réseau triphasé)
lors de l'interruption d'un courant triphasé symétrique quelconque, le facteur de premier pôle est le rapport entre la tension à la fréquence du réseau aux bornes du pôle ayant interrompu le courant alors que le courant circule dans les autres pôles, et la tension à la fréquence du réseau aux bornes du ou des pôles après l'interruption complète

3.7.153
facteur d'amplitude
rapport entre l'amplitude maximale de la tension transitoire de rétablissement et la valeur de crête de la tension de rétablissement à fréquence industrielle

3.7.154
niveau d'isolement
caractéristique définie par une ou deux valeurs de tensions de tenue spécifiée de l'isolation du disjoncteur
[VEI 604-03-47, modifié]

3.7.145
pre-insertion time
interval of time during a closing operation in any one pole between the instant of contact touch in the closing resistor element and the instant of contact touch in the main breaking unit of that pole

NOTE For circuit-breakers having series connected breaking units, the pre-insertion time is defined as the interval of time between the instant of the last contact touch in any closing resistor element and the instant of the last contact touch in any main breaking unit.

3.7.146
minimum trip duration
minimum time the auxiliary power is applied to the opening release to ensure complete opening of the circuit-breaker

3.7.147
minimum close duration
minimum time the auxiliary power is applied to the closing device to ensure complete closing of the circuit-breaker

3.7.148
re-ignition (of an a.c. mechanical switching device)
[IEV 441-17-45]

3.7.149
restrike (of an a.c. mechanical switching device)
[IEV 441-17-46]

3.7.150
normal current
current which the main circuit of a circuit-breaker is capable of carrying continuously under specified conditions of use and behaviour

3.7.151
peak factor (of the line transient voltage)
ratio between the maximum excursion and the initial value of the line transient voltage to earth of a phase of an overhead line after the breaking of a short-line fault current

NOTE The initial value of the transient voltage corresponds to the instant of arc extinction in the pole considered.

3.7.152
first-pole-to-clear factor (in a three-phase system)
when interrupting any symmetrical three-phase current the first-pole-to-clear factor is the ratio of the power frequency voltage across the interrupting pole before current interruption in the other poles, to the power frequency voltage occurring across the pole or the poles after interruption in all three poles

3.7.153
amplitude factor
ratio between the maximum excursion of the transient recovery voltage to the crest value of the power frequency recovery voltage

3.7.154
insulation level
for a circuit-breaker, a characteristic defined by one or two values indicating the insulation withstand voltages
[IEV 604-03-47, modified]

3.7.155
tension de tenue à fréquence industrielle
valeur efficace de la tension sinusoïdale à fréquence industrielle que l'isolation du disjoncteur peut supporter lors d'essais faits dans des conditions spécifiées et pendant une durée spécifiée
[VEI 604-03-40, modifié]

3.7.156
tension de tenue aux ondes de choc
valeur de crête de l'onde de tension de choc normalisée que l'isolation du disjoncteur peut supporter lors d'essais faits dans des conditions spécifiées

NOTE Selon la forme de l'onde, cette expression peut être précisée: «tension de tenue aux chocs de manœuvre» ou «tension de tenue aux chocs de foudre».

3.7.157
pression minimale pour la manœuvre
pression rapportée aux conditions atmosphériques normales de +20 °C et de 101,3 kPa, pouvant être exprimée de façon relative ou absolue, à laquelle et au-dessus de laquelle les caractéristiques assignées d'un disjoncteur sont conservées, et à laquelle un complément de remplissage du dispositif de manœuvre devient nécessaire

NOTE Cette pression est souvent appelée pression de verrouillage (se reporter à 3.6.4.6 de la CEI 60694).

3.7.158
pression minimale pour la coupure et l'isolement
pression pour la coupure et l'isolement, rapportée aux conditions atmosphériques normales de +20 °C et de 101,3 kPa, pouvant être exprimée de façon relative ou absolue, à laquelle et au-dessus de laquelle les caractéristiques assignées d'un disjoncteur sont conservées, et à laquelle un complément de remplissage du fluide de coupure et/ou d'isolement devient nécessaire

NOTE 1 Voir également 3.6.4.5 de la CEI 60694.

NOTE 2 Pour les disjoncteurs avec système à pression scellé (aussi appelé scellé à vie), la pression minimale pour la coupure est celle à laquelle les caractéristiques assignées du disjoncteur sont conservées, en prenant en compte la perte de pression à la fin de la durée de service escomptée.

3.8 Index des définitions

A

Alternance; demi-onde 3.1.118
Appareillage 3.1.101
Appareillage pour l'extérieur 3.1.103
Appareillage pour l'intérieur 3.1.102
Appareil de connexion 3.4.101
Appareil mécanique de connexion 3.4.102

B

Batterie de condensateurs à gradins 3.1.113
Batterie unique de condensateurs 3.1.112
Borne 3.5.120

C

Chambre d'extinction 3.5.117
Circuit auxiliaire 3.5.104
Circuit principal 3.5.102
Circuit de commande 3.5.103
Contact 3.5.105
Contact à fermeture, contact «a» 3.5.112

3.7.155
power frequency withstand voltage
r.m.s. value of sinusoidal power frequency voltage that the circuit-breaker can withstand during tests made under specified conditions and for a specified time
[IEV 604-03-40, modified]

3.7.156
impulse withstand voltage
peak value of the standard impulse voltage wave which the insulation of the circuit-breaker withstands under specified test conditions

NOTE Depending on the shape of wave, the term may be qualified as "switching impulse withstand voltage" or "lightning impulse withstand voltage".

3.7.157
minimum functional pressure for operation
pressure, referred to the standard atmospheric air conditions of +20 °C and 101,3 kPa, which may be expressed in relative or absolute terms, at which and above which rated characteristics of a circuit-breaker are maintained and at which a replenishment of the operating device becomes necessary

NOTE This pressure is often designated as interlocking pressure (refer to 3.6.4.6 of IEC 60694).

3.7.158
minimum functional pressure for interruption and insulation
pressure for interruption and for insulation, referred to the standard atmospheric air conditions of +20 °C and 101,3 kPa, which may be expressed in relative or absolute terms, at which and above which rated characteristics of a circuit-breaker are maintained and at which a replenishment of the interrupting and/or insulating fluid becomes necessary

NOTE 1 See also 3.6.4.5 of IEC 60694.

NOTE 2 For circuit-breakers with a sealed pressure system (also termed sealed-for-life), the minimum functional pressure for interruption is the one at which the rated characteristics of the circuit-breaker are maintained taking into account the pressure drop at the end of the expected operating life.

3.8 Index of definitions

A

"a" contact, make contact 3.5.112
Air-blast circuit-breaker 3.4.111
Air circuit-breaker 3.4.106
Ambient air temperature 3.1.110
Amplitude factor 3.7.153
Anti-pumping device 3.6.128
Applied voltage 3.7.123
Arcing contact 3.5.108
Arcing time 3.7.134
Arc control device 3.5.117
Arc-suppression-coil-earth (neutral) system 3.1.108
Auto-reclosing 3.6.106
Auxiliary circuit 3.5.104
Auxiliary contact 3.5.110
Auxiliary switch 3.5.111

B

Back-to-back capacitor bank 3.1.113
"b" contact, break contact 3.5.113
Break contact 3.5.113
Breaking capacity 3.7.112

Contact à ouverture, contact «b» 3.5.113
Contact auxiliaire 3.5.110
Contact d'arc 3.5.108
Contact de commande 3.5.109
Contact glissant 3.5.114
Contact principal 3.5.107
Contact roulant 3.5.115
Courant coupé 3.7.110
Courant (coupé) critique 3.7.111
Courant coupé présumé (pour un pôle de disjoncteur) 3.7.109
Courant de court-circuit 3.1.104
Courant de courte durée admissible 3.7.121
Courant de fonctionnement (d'un déclencheur à maximum de courant) 3.6.125
Courant de réglage (d'un déclencheur à maximum de courant) 3.6.126
Courant en service continu 3.7.150
Courant établi présumé (d'un appareil de connexion) 3.7.107
Courant présumé (d'un circuit et relatif à un appareil de connexion ou à un fusible) 3.7.102
Courant symétrique présumé (d'un circuit à courant alternatif) 3.7.105
Cycle de manœuvres 3.6.102

D

Déclencheur 3.5.116
Déclencheur à maximum de courant 3.6.117
Déclencheur à maximum de courant à retard indépendant 3.6.118
Déclencheur à maximum de courant à temps inverse 3.6.119
Déclencheur à minimum de tension 3.6.123
Déclencheur à retour de courant (en courant continu seulement) 3.6.124
Déclencheur direct à maximum de courant 3.6.120
Déclencheur indirect à maximum de courant 3.6.121
Déclencheur shunt 3.6.122
Déclencheur sous courant de fermeture 3.6.116
Décharge disruptive 3.1.125
Décharge disruptive non maintenue (NSDD) 3.1.126
Défaut proche en ligne 3.1.119
Discordance de phases (Conditions de la) 3.1.115
(En) Discordance de phases (utilisé comme qualificatif d'une grandeur caractéristique) 3.1.116
Disjoncteur 3.4.103
Disjoncteur à air 3.4.106
Disjoncteur à air comprimé 3.4.111
Disjoncteur à cuve mise à la terre 3.4.104
Disjoncteur à cuve sous tension 3.4.105
Disjoncteur à déclenchement autonome 3.4.118
Disjoncteur à fermeture empêchée 3.6.130
Disjoncteur à gaz comprimé 3.4.109
Disjoncteur à hexafluorure de soufre 3.4.110
Disjoncteur à huile 3.4.107
Disjoncteur à vide 3.4.108

Breaking current 3.7.110
Breaking unit 3.5.121
Break-time 3.7.135

C

Cable-charging (cable off-load) breaking capacity 3.7.114
Cable off-load breaking capacity 3.7.114
Cable system 3.4.119
Capacitor bank breaking capacity 3.7.115
Capacitor bank inrush making capacity 3.7.117
Circuit-breaker 3.4.103
Circuit-breaker class C1 3.4.114
Circuit-breaker class C2 3.4.115
Circuit-breaker class E1 3.4.112
Circuit-breaker class E2 3.4.113
Circuit-breaker class M1 3.4.116
Circuit-breaker class M2 3.4.117
Circuit-breaker class S1 3.4.121
Circuit-breaker class S2 3.4.122
Circuit-breaker with lock-out preventing closing 3.6.130
Clearance 3.7.129
Clearance between open contacts 3.7.132
Clearance between poles 3.7.130
Clearance to earth 3.7.131
Closed position 3.6.113
Close-open time 3.7.143
Closing operation 3.6.104
Closing time 3.7.136
Connection (bolted or the equivalent) 3.5.119
Contact 3.5.105
Contact piece 3.5.106
Control circuit 3.5.103
Control contact 3.5.109
Critical (breaking) current 3.7.111
Current setting (of an over-current release) 3.6.126
Current setting range (of an over-current release) 3.6.127

D

Dead tank circuit-breaker 3.4.104
Dead time (during auto-reclosing) 3.7.140
Definite time-delay over-current release 3.6.118
Dependent manual operation 3.6.109
Dependent power operation 3.6.110
Direct over-current release 3.6.120
Disruptive discharge 3.1.125

E

Earth fault factor 3.1.109
Effectively earthed neutral system 3.1.128
Enclosure 3.5.123
External insulation 3.1.121

F

First-pole-to-clear factor (in a three-phase system) 3.7.152

Disjoncteur Classe E1 3.4.112
Disjoncteur Classe E2 3.4.113
Disjoncteur Classe C1 3.4.114
Disjoncteur Classe C2 3.4.115
Disjoncteur Classe M1 3.4.116
Disjoncteur Classe M2 3.4.117
Disjoncteur de classe S1 3.4.121
Disjoncteur de classe S2 3.4.122
Disjoncteur instantané 3.6.115
Dispositif d'antipompage 3.6.128
Dispositif de verrouillage 3.6.129
Distance d'isolement 3.7.129
Distance d'isolement à la terre 3.7.131
Distance d'isolement entre contacts 3.7.132
Distance d'isolement entre pôles 3.7.130
Domaine du courant de réglage (d'un déclencheur à maximum de courant) 3.6.127
Durée d'arc (d'un appareil de connexion) 3.7.134
Durée de coupure 3.7.135
Durée de coupure-établissement 3.7.140
Durée de fermeture 3.7.136
Durée de fermeture-ouverture 3.7.143
Durée d'établissement 3.7.137
Durée d'établissement-coupure 3.7.144
Durée de pré-insertion 3.7.145
Durée d'ouverture 3.7.133
Durée d'ouverture-fermeture (d'une refermeture automatique) 3.7.139
Durée de préarc 3.7.138
Durée de réétablissement (d'une refermeture) 3.7.142
Durée de refermeture 3.7.141
Durée minimale de l'ordre de fermeture 3.7.147
Durée minimale de l'ordre d'ouverture 3.7.146

E

Echauffement (d'une partie d'un disjoncteur) 3.1.111
Elément de fermeture (ou de coupure) 3.5.121
Essai sur élément 3.1.117
Enveloppe 3.5.123

F

Facteur d'amplitude 3.7.153
Facteur de crête (de la tension transitoire sur la ligne) 3.7.151
Facteur de défaut à la terre 3.1.109
Facteur de premier pôle (d'un réseau triphasé) 3.7.152
Facteur de puissance (d'un circuit) 3.1.120

I

Indicateur de position 3.5.118
Interrupteur auxiliaire 3.5.111
Isolation autorégénératrice 3.1.123

G

Gas-blast circuit-breaker 3.4.109

I

Impedance earthed (neutral) system 3.1.107
Impulse withstand voltage 3.7.156
Independent manual operation 3.6.112
Indirect over-current release 3.6.121
Indoor switchgear and controlgear 3.1.102
Instantaneous release 3.6.115
Insulation level 3.7.154
Interlocking device 3.6.129
Internal insulation 3.1.122
Inverse time-delay over-current release 3.6.119
Isolated neutral system 3.1.105

L

Line-charging (line off-load) breaking capacity 3.7.113
Line off-load breaking capacity 3.7.113
Line system 3.4.120
Live tank circuit-breaker 3.4.105
Loop 3.1.118

M

Main circuit 3.5.102
Main contact 3.5.107
Make-break time 3.7.144
Make contact 3.5.112
Make-time 3.7.137
Making capacity 3.7.116
(Peak) Making current 3.7.108
Making-current release 3.6.116
Making unit 3.5.121
Maximum prospective peak current (of an a.c. circuit) 3.7.106
Mechanical switching device 3.4.102
Minimum close duration 3.7.147
Minimum functional pressure for interruption and insulation 3.7.158
Minimum functional pressure for operation 3.7.157
Minimum trip duration 3.7.146
Module 3.5.122
Multiple (parallel) capacitor bank 3.1.113

N

Non-effectively earthed neutral system 3.1.129
Non-self-restoring insulation 3.1.124
Non-sustained disruptive discharge (NSDD) 3.1.126
Normal current 3.7.150
NSDD 3.1.126

Isolation externe 3.1.121
Isolation interne 3.1.122
Isolation non autorégénératrice 3.1.124

M

Manœuvre 3.6.101
Manœuvre à accumulation d'énergie 3.6.111
Manœuvre de fermeture 3.6.104
Manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure 3.6.110
Manœuvre dépendante manuelle 3.6.109
Manœuvre d'ouverture 3.6.105
Manœuvre effectuée positivement 3.6.108
Manœuvre indépendante manuelle 3.6.112
Manœuvre positive d'ouverture 3.6.107
Module (d'un pôle de disjoncteur) 3.5.122

N

Niveau d'isolement 3.7.153

P

Performance en réamorçage 3.1.127
Pièce de contact 3.5.106
Pôle 3.5.101
Position de fermeture 3.6.113
Position d'ouverture 3.6.114
Pouvoir de coupure 3.7.112
Pouvoir de coupure de câbles à vide 3.7.114
Pouvoir de coupure de batterie de condensateurs 3.7.115
Pouvoir de coupure de lignes à vide 3.7.113
Pouvoir de coupure en court-circuit 3.7.120
Pouvoir de fermeture 3.7.116
Pouvoir de fermeture de courant d'appel de condensateurs 3.7.117
Pouvoir de fermeture en court-circuit 3.7.119
Pouvoir de fermeture ou de coupure en discordance de phases 3.7.118
Pression minimale pour la coupure et l'isolement 3.7.158
Pression minimale pour la manœuvre 3.7.157

R

Raccord (par boulons ou dispositifs équivalents) 3.5.119
Réallumage (d'un appareil de connexion mécanique à courant alternatif) 3.7.148
Réamorçage (d'un appareil de connexion mécanique à courant alternatif) 3.7.149
Refermeture automatique 3.6.106
Réseau à neutre directement à la terre 3.1.106
Réseau à neutre non directement à la terre 3.1.107
Réseau à neutre isolé 3.1.105
Réseau compensé par bobine d'extinction 3.1.108
Réseau aérien 3.4.120
Réseau à neutre effectivement à la terre 3.1.128
Réseau à neutre non effectivement à la terre 3.1.129
Réseau par câbles 3.4.119

O

Oil circuit-breaker	3.4.107
Open-close time (during auto-reclosing)	3.7.139
Opening operation	3.6.105
Opening time	3.7.133
Open position	3.6.114
Operating current (of an over-current release)	3.6.125
Operating cycle	3.6.102
Operating sequence	3.6.103
Operation	3.6.101
Outdoor switchgear and controlgear	3.1.103
Out-of-phase (as prefix to a characteristic quantity)	3.1.116
Out-of-phase (making or breaking) capacity	3.7.118
Out-of-phase conditions	3.1.115
Over-current release	3.6.117
Overvoltage (in a system)	3.1.114

P

Parallel capacitor bank	3.1.113
Peak arc voltage	3.7.128
Peak current	3.7.104
Peak factor (of the line transient voltage)	3.7.151
(Peak) making current	3.7.108
Peak withstand current	3.7.122
Pole	3.5.101
Position indicating device	3.5.118
Positively driven operation	3.6.108
Positive opening operation	3.6.107
Power factor (of a circuit)	3.1.120
Power frequency recovery voltage	3.7.127
Power frequency withstand voltage	3.7.155
Pre-arcing time	3.7.138
Pre-insertion time	3.7.145
Prospective breaking current (for a pole of a circuit-breaker)	3.7.109
Prospective current (of a circuit and with respect to a switching device or a fuse)	3.7.102
Prospective making current (of an a.c. circuit)	3.7.107
Prospective peak current	3.7.103
Prospective symmetrical current (of an a.c. circuit)	3.7.105
Prospective transient recovery voltage (of a circuit)	3.7.126

R

Rated value	3.7.101
Reclosing time	3.7.141
Recovery voltage	3.7.124
Re-ignition (of an a.c. mechanical switching device)	3.7.148
Re-make time (during reclosing)	3.7.142
Release	3.5.116
Resonant earthed (neutral) system	3.1.108
Restrike (of an a.c. mechanical switching device)	3.7.149
Restrike performance	3.1.127
Reverse current release (d.c. only)	3.6.124
Rolling contact	3.5.115

S

Séquence de manœuvres 3.6.103
Surtension 3.1.114

T

Température de l'air ambiant 3.1.110
Tension appliquée 3.7.123
Tension d'arc (valeur de crête) 3.7.128
Tension de rétablissement 3.7.124
Tension de rétablissement à fréquence industrielle 3.7.127
Tension de tenue à fréquence industrielle 3.7.154
Tension de tenue aux ondes de choc 3.7.155
Tension transitoire de rétablissement (TTR) 3.7.125
TTR 3.7.125
Tension transitoire de rétablissement présumée 3.7.126

V

Valeur assignée 3.7.101
Valeur de crête du courant 3.7.104
Valeur de crête du courant admissible 3.7.122
Valeur de crête du courant présumé 3.7.103
Valeur maximale de crête du courant présumé (d'un circuit à courant alternatif) 3.7.106
Valeur de crête du courant établi 3.7.108

4 Caractéristiques assignées

Les caractéristiques d'un disjoncteur, y compris celles de ses dispositifs de commande et de son équipement auxiliaire, qui doivent servir à fixer les caractéristiques assignées sont les suivantes:

Caractéristiques assignées à indiquer pour tous les disjoncteurs

a) tension assignée;

b) niveau d'isolement assigné;

c) fréquence assignée;

d) courant assigné en service continu;

e) courant de courte durée admissible assigné;

f) valeur de crête du courant admissible assigné;

g) durée de court-circuit assignée;

h) tension assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires;

i) fréquence assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires;

j) pressions assignées d'alimentation en gaz comprimé et/ou du circuit hydraulique, pour la manœuvre, la coupure et l'isolement là où cela est applicable;

k) pouvoir de coupure assigné en court-circuit;

l) tension transitoire de rétablissement assignée relative au pouvoir de coupure assigné en court-circuit;

m) pouvoir de fermeture assigné en court-circuit;

n) séquence de manœuvres assignée;

S

Self-restoring insulation 3.1.123
Self-tripping circuit-breaker 3.4.118
SF_6 circuit-breaker 3.4.110
Short-circuit current 3.1.104
Short-circuit breaking capacity 3.7.120
Short-circuit making capacity 3.7.119
Short-line fault 3.1.119
Short-time withstand current 3.7.121
Shunt release 3.6.122
Single capacitor bank 3.1.112
Sliding contact 3.5.114
Solidly earthed (neutral) system 3.1.106
Stored energy operation 3.6.111
Sulphur hexafluoride circuit-breaker 3.4.110
Switchgear and controlgear 3.1.101
Switching device 3.4.101

T

Temperature rise (of a part of a circuit-breaker) 3.1.111
Terminal 3.5.120
Transient recovery voltage (TRV) 3.7.125
TRV 3.7.125

U

Under-voltage release 3.6.123
(Making or breaking) Unit 3.5.121
Unit test 3.1.117

V

Vacuum circuit-breaker 3.4.108

4 Ratings

The characteristics of a circuit-breaker, including its operating devices and auxiliary equipment, that shall be used to determine the ratings are the following:

Rated characteristics to be given for all circuit-breakers

a) rated voltage;

b) rated insulation level;

c) rated frequency;

d) rated normal current;

e) rated short-time withstand current;

f) rated peak withstand current;

g) rated duration of short-circuit;

h) rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary circuits;

i) rated supply frequency of closing and opening devices and of auxiliary circuits;

j) rated pressures of compressed gas supply and/or of hydraulic supply for operation, interruption and insulation, as applicable;

k) rated short-circuit breaking current;

l) transient recovery voltage related to the rated short-circuit breaking current;

m) rated short-circuit making current;

n) rated operating sequence;

o) durées assignées.

Caractéristiques assignées à indiquer dans les cas spécifiés ci-dessous

p) caractéristiques pour défauts proches en ligne liées au pouvoir de coupure assigné en court-circuit, pour les disjoncteurs prévus pour être reliés directement à des lignes aériennes, quel que soit le type de réseau du côté alimentation, de tension assignée égale ou supérieure à 15 kV et de pouvoir de coupure assigné en court-circuit supérieur à 12,5 kA;

q) pouvoir de coupure assigné de lignes à vide, pour les disjoncteurs tripolaires destinés à la mise en et hors circuit des lignes aériennes de transport (obligatoire pour les disjoncteurs de tensions assignées égales ou supérieures à 72,5 kV);

r) pouvoir de coupure assigné de câbles à vide, pour les disjoncteurs tripolaires destinés à la mise en et hors circuit de câbles (obligatoire pour les disjoncteurs de tensions assignées égales ou inférieures à 52 kV).

Caractéristiques assignées à indiquer sur demande

s) pouvoir de coupure assigné en discordance de phases;

t) pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs;

u) pouvoir de coupure assigné de batterie de condensateurs à gradins;

v) pouvoir de fermeture assigné de batterie de condensateurs;

w) pouvoir de fermeture assigné de batterie de condensateurs à gradins.

Les caractéristiques assignées du disjoncteur sont liées à la séquence de manœuvres assignée.

4.1 Tension assignée (U_r)

Le paragraphe 4.1 de la CEI 60694 est applicable.

4.2 Niveau d'isolement assigné

Le paragraphe 4.2 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

Les valeurs normales des tensions de tenue assignées entre bornes du disjoncteur ouvert sont données dans les tableaux 1a, 1b, 2a et 2b de la CEI 60694.

Cependant, dans le cas de disjoncteurs destinés à des manœuvres de synchronisation accompagnées de surtension, l'isolation d'un disjoncteur normal peut être insuffisante. Dans ce cas, on suggère soit l'utilisation d'un disjoncteur normal de tension assignée plus élevée, soit l'utilisation d'un disjoncteur spécial ayant réussi un essai plus sévère en position d'ouverture. Dans ce dernier cas, la tension de tenue à fréquence industrielle assignée sur la distance de sectionnement selon la colonne (3) des tableaux cités ci-dessus, doit être appliquée entre bornes du disjoncteur ouvert. La contrainte de surtension transitoire est prise en compte par la méthode d'essai indiquée en 6.2.7.2. Pour les disjoncteurs d'une tension assignée égale ou supérieure à 300 kV, la valeur normalisée de la tension de tenue à fréquence industrielle assignée et la tension de choc de manœuvre assignée entre contacts ouverts sont indiquées respectivement dans les colonnes (3) et (6) des tableaux 2a et 2b de la CEI 60694.

Lorsqu'un facteur de tension de 1,4 est spécifié pour des essais de manœuvre de courants capacitifs monophasés, l'isolement entre contacts ouverts du disjoncteur peut être insuffisant. Dans ce cas, la valeur de la tension de tenue assignée de courte durée à fréquence industrielle entre contacts ouverts peut passer à 2,8 $U_r / \sqrt{3}$.

o) rated time quantities.

Rated characteristics to be given in the specific cases indicated below

p) characteristics for short-line faults related to the rated short-circuit breaking current, for circuit-breakers designed for direct connection to overhead lines, irrespective of the type of network on the source side, and rated at 15 kV and above and at more than 12,5 kA rated short-circuit breaking current;

q) rated line-charging breaking current, for three-pole circuit-breakers intended for switching over-head transmission lines (mandatory for circuit-breakers of rated voltages equal to or greater than 72,5 kV.

r) rated cable-charging breaking current, for three-pole circuit-breakers intended for switching cables (mandatory for circuit-breakers of rated voltages equal to or less than 52 kV).

Rated characteristics to be given on request

s) rated out-of-phase making and breaking current;

t) rated single capacitor bank breaking current;

u) rated back-to-back capacitor bank breaking current;

v) rated capacitor bank inrush making current;

w) rated back-to-back capacitor bank inrush making current.

The rated characteristics of the circuit-breaker are referred to the rated operating sequence.

4.1 Rated voltage (U_r)

Subclause 4.1 of IEC 60694 is applicable.

4.2 Rated insulation level

Subclause 4.2 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

The standard values of rated withstand voltages across the open circuit-breaker are given in tables 1a, 1b, 2a and 2b of IEC 60694.

However, for circuit-breakers intended for use in synchronising operations simultaneously with a substantial transient or temporary overvoltage, the insulation of a standard circuit-breaker may be insufficient. In such cases it is suggested either to use a standard circuit-breaker having a higher rated voltage or to use a special circuit-breaker, increasing the severity of the test with the circuit-breaker open. In this last case the rated power frequency withstand voltage across the isolating distance according to columns (3) of the tables mentioned above shall be applied across the open circuit-breaker. The transient overvoltage stress is taken into account by the testing method given in 6.2.7.2. For circuit-breakers having a rated voltage equal to or higher than 300 kV, the standard value of rated power frequency withstand voltage and the rated switching impulse withstand voltage across the open switching device are respectively given in columns (3) and (6) of tables 2a and 2b of IEC 60694.

When, for single-phase capacitive current switching tests a test voltage factor of 1,4 is specified, the insulation across the open terminals of the circuit-breaker may be insufficient. In such cases, the value of rated short-duration power-frequency withstand voltage across the open switching device may be increased to 2,8 $U_r/\sqrt{3}$.

4.3 Fréquence assignée *(f_r)*

Le paragraphe 4.3 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

Les valeurs normales de la fréquence assignée aux disjoncteurs à haute tension sont 50 Hz et 60 Hz.

4.4 Courant assigné en service continu (I_r) et échauffement

Le paragraphe 4.4 de la CEI 60694 est applicable.

Si le disjoncteur est muni d'un accessoire branché en série, tel qu'un déclencheur direct à maximum de courant, le courant assigné en service continu de l'accessoire est la valeur efficace du courant que cet accessoire doit être capable de supporter de façon continue sans détérioration à la fréquence assignée, sans que l'échauffement n'excède les valeurs spécifiées dans le tableau 3 de la CEI 60694.

4.5 Courant de courte durée admissible assigné (I_k)

Le paragraphe 4.5 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

Le courant de courte durée admissible assigné est égal au pouvoir de coupure assigné en court-circuit (voir 4.101).

4.6 Valeur de crête du courant admissible assigné (I_p)

Le paragraphe 4.6 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

La valeur de crête du courant admissible assigné est égale au pouvoir de fermeture assigné en court-circuit (voir 4.103).

4.7 Durée de court-circuit assignée (t_k)

Le paragraphe 4.7 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

Il n'est pas nécessaire de spécifier une courte durée de court-circuit assignée pour les disjoncteurs à déclenchement autonome lorsque les considérations suivantes sont applicables. Lorsqu'ils sont connectés à un circuit, ils doivent être capables de supporter un courant égal à leur pouvoir de coupure assigné pendant la durée de coupure. Cette durée de coupure est celle exigée par le disjoncteur dont le dispositif de déclenchement a été réglé à la temporisation maximale et en cohérence avec sa séquence de manœuvre assignée.

NOTE Les déclencheurs directs à maximum de courant comprennent les systèmes de déclenchement autonomes.

4.8 Tension assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture, des circuits auxiliaires et de commande (U_a)

Le paragraphe 4.8 de la CEI 60694 est applicable.

4.9 Fréquence assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires

Le paragraphe 4.9 de la CEI 60694 est applicable.

4.10 Pression assignée d'alimentation en gaz comprimé pour l'isolement, la manoeuvre et/ou la coupure

Le paragraphe 4.10 de la CEI 60694 est applicable.

4.3 Rated frequency (f_r)

Subclause 4.3 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

The standard values for the rated frequency of high voltage circuit-breakers are 50 Hz and 60 Hz.

4.4 Rated normal current (I_r) and temperature rise

Subclause 4.4 of IEC 60694 is applicable.

If the circuit-breaker is fitted with a series connected accessory, such as a direct over-current release, the rated normal current of the accessory is the r.m.s. value of the current which the accessory shall be able to carry continuously without deterioration at its rated frequency, with a temperature rise not exceeding the values specified in table 3 of IEC 60694.

4.5 Rated short-time withstand current (I_k)

Subclause 4.5 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

The rated short-time withstand current is equal to the rated short-circuit breaking current (see 4.101).

4.6 Rated peak withstand current (I_p)

Subclause 4.6 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

The rated peak withstand current is equal to the rated short-circuit making current (see 4.103).

4.7 Rated duration of short circuit (t_k)

Subclause 4.7 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

A rated duration of a short-circuit need not be assigned to a self-tripping circuit-breaker provided that the following applies. When connected in a circuit the prospective breaking current of which is equal to its rated short-circuit breaking current, the circuit-breaker shall be capable of carrying the resulting current for the break-time required. This break time is that required by the circuit-breaker with the overcurrent release set for the maximum time lag when operating in accordance with its rated operating sequence.

NOTE Direct overcurrent releases include integrated tripping systems.

4.8 Rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits (U_a)

Subclause 4.8 of IEC 60694 is applicable.

4.9 Rated supply frequency of closing and opening devices and auxiliary circuits

Subclause 4.9 of IEC 60694 is applicable.

4.10 Rated pressures of compressed gas supply for insulation, operation and/or interruption

Subclause 4.10 of IEC 60694 is applicable.

4.101 Pouvoir de coupure assigné en court-circuit (I_{sc})

Le pouvoir de coupure assigné en court-circuit est la valeur la plus élevée du courant de court-circuit que le disjoncteur doit être capable d'interrompre dans les conditions d'emploi et de fonctionnement fixées dans cette norme. On trouve un tel courant dans un circuit dont la tension de rétablissement à fréquence industrielle correspond à la tension assignée du disjoncteur et dont la tension transitoire de rétablissement est égale à la valeur assignée spécifiée en 4.102. Pour un disjoncteur tripolaire, la composante périodique correspond à un court-circuit triphasé. On doit tenir compte des spécifications de 4.105 concernant les défauts proches en ligne lorsqu'elles s'appliquent.

Le pouvoir de coupure assigné en court-circuit est caractérisé par deux valeurs:

– la valeur efficace de sa composante périodique;

– le pourcentage de la composante apériodique.

NOTE Si la composante apériodique ne dépasse pas 20 %, le pouvoir de coupure assigné en court-circuit est caractérisé seulement par la valeur efficace de sa composante périodique.

Les composantes périodique et apériodique sont déterminées d'après la figure 8.

Le disjoncteur doit pouvoir couper, dans les conditions indiquées ci-dessus et jusqu'à son pouvoir de coupure assigné en court-circuit, tous les courants de court-circuit avec une composante périodique quelconque mais ne dépassant pas la valeur assignée et avec un pourcentage de la composante apériodique quelconque mais ne dépassant pas la valeur spécifiée.

Un disjoncteur normal répond aux caractéristiques suivantes:

a) pour les tensions inférieures ou égales à la tension assignée, le disjoncteur doit être capable de couper son pouvoir de coupure assignée en court-circuit;

b) pour les tensions supérieures à la tension assignée, aucun pouvoir de coupure en court-circuit n'est garanti sauf dans le cas prévu en 4.106.

4.101.1 Composante périodique du pouvoir de coupure assigné en court-circuit

Les valeurs normales de la composante périodique du pouvoir de coupure assignée en court-circuit doivent être choisies dans la série R10 de la CEI 60059.

NOTE La série R10 comprend les nombres 1 – 1,25 – 1,6 – 2 – 2,5 – 3,15 – 4 – 5 – 6,3 – 8 et leurs produits par 10^n.

4.101.2 Composante apériodique du pouvoir de coupure assigné en court-circuit

La valeur du pourcentage de la composante apériodique doit être déterminé comme suit:

– pour un disjoncteur à déclenchement autonome, le pourcentage de la composante apériodique doit correspondre à un intervalle de temps égal à la durée d'ouverture minimale du premier pôle T_{op} du disjoncteur. Le temps T_r dans la formule ci-dessous est égal à 0 ms;

– pour un disjoncteur qui ne peut être déclenché que par une forme quelconque d'énergie auxiliaire, le pourcentage de la composante apériodique doit correspondre à un intervalle de temps égal à la durée d'ouverture minimale du premier pôle T_{op} du disjoncteur à laquelle on ajoutera une demi-période de la fréquence assignée (T_r).

La durée minimale d'ouverture mentionnée ci-dessus est celle spécifiée par le constructeur.

4.101 Rated short-circuit breaking current (I_{sc})

The rated short-circuit breaking current is the highest short-circuit current which the circuit-breaker shall be capable of breaking under the conditions of use and behaviour prescribed in this standard. Such a current is found in a circuit having a power-frequency recovery voltage corresponding to the rated voltage of the circuit-breaker and having a transient recovery voltage equal to the value specified in 4.102. For three-pole circuit-breakers, the a.c. component relates to a three-phase short-circuit. Where applicable, the provisions of 4.105 concerning short-line faults shall be taken into account.

The rated short-circuit breaking current is characterised by two values:

– the r.m.s. value of its a.c. component;

– the percentage d.c. component.

NOTE If the d.c. component does not exceed 20 %, the rated short-circuit breaking current is characterised only by the r.m.s. value of its a.c. component.

For determination of the a.c. and d.c. components, see figure 8.

The circuit-breaker shall be capable of breaking any short-circuit current up to its rated short-circuit breaking current containing any a.c. component up to the rated value and, associated with it, any percentage d.c. component up to that specified, under the conditions mentioned above.

The following applies to a standard circuit-breaker:

a) at voltages below and equal to the rated voltage, it shall be capable of breaking its rated short-circuit breaking current;

b) at voltages above the rated voltage, no short-circuit breaking current is guaranteed except to the extent provided for in 4.106.

4.101.1 AC component of the rated short-circuit breaking current

The standard value of the a.c. component of the rated short-circuit breaking current shall be selected from the R10 series specified in IEC 60059.

NOTE The R10 series comprises the numbers 1 – 1,25 – 1,6 – 2 – 2,5 – 3,15 – 4 – 5 – 6,3 – 8 and their products by 10^n.

4.101.2 DC component of the rated short-circuit breaking current

The value of the percentage d.c. component shall be determined as follows:

– for a self-tripping circuit-breaker, the percentage d.c. component shall correspond to a time interval equal to the minimum opening time of the first opening pole T_{op} of the circuit-breaker. Time T_r in the formula below is to be set to 0 ms;

– for a circuit-breaker which is tripped solely by any form of auxiliary power, the percentage d.c. component shall correspond to a time interval equal to the minimum opening time of the first opening pole T_{op} of the circuit-breaker plus one half-cycle of rated frequency (T_r).

The minimum opening time mentioned above is that specified by the manufacturer.

NOTE 1 La durée d'ouverture minimale est la durée d'ouverture la plus courte attendue par le constructeur pour couvrir l'ensemble des disjoncteurs concernés, quelles que soient les conditions de manœuvres, lors des coupures de courant asymétriques suivant cette norme (séquence de défaut aux bornes T100a). Il convient de la choisir de telle manière que la composante apériodique appliquée dans la séquence T100a, basé entre autres sur cette durée d'ouverture minimale, soit suffisamment grande pour couvrir, par cet essai, tous les disjoncteurs fabriqués dans la vie du produit.

La valeur du pourcentage de la composante apériodique (% dc) peut être tirée de la figure 9 et est basée sur l'intervalle de temps (T_{op} + T_r) et la constante de temps τ utilisés dans la formule:

$$\% \, dc = 100 \times e^{-\frac{T_{op}+T_r}{\tau}}$$

Les graphiques de la composante apériodique en fonction du temps, indiquée dans la figure 9, sont basés sur

a) une constante de temps normale de 45 ms;
b) des constantes de temps pour des applications particulières, suivant la tension assignée du disjoncteur:
   – 120 ms pour les tensions assignées inférieures ou égales à 52 kV;
   – 60 ms pour les tensions assignées à partir de 72,5 kV inférieures ou égales à 420 kV;
   – 75 ms pour les tensions assignées de 550 kV et au-dessus.

Ces constantes de temps pour des applications particulières reconnaissent le fait que la valeur normale peut être inadaptée pour certains réseaux. Elles sont fournies comme valeurs unifiées pour ces besoins de réseaux spéciaux, prenant en compte les caractéristiques des différentes gammes de tensions assignées, par exemple leurs structures de réseau particulières, la conception des lignes etc.

NOTE 2 De plus, des applications spéciales peuvent nécessiter des valeurs encore plus élevées, par exemple pour un disjoncteur proche d'un générateur. Dans ces cas, il convient de préciser la valeur de la composante apériodique spécifiée et toute spécification d'essai additionnelle dans l'appel d'offre.

NOTE 3 Des informations détaillées sur l'usage de la constante de temps normale et sur les valeurs alternatives sont données dans la note d'explication en I.2.1.

4.102 Tension transitoire de rétablissement relative au pouvoir de coupure assigné

La tension transitoire de rétablissement (TTR), associée au pouvoir de coupure assigné en court-circuit conformément à 4.101, est la tension de référence qui constitue la limite de la tension transitoire de rétablissement présumée de circuits que le disjoncteur doit pouvoir couper lors d'un court-circuit à ses bornes.

4.102.1 Représentation des ondes de la TTR

La forme d'ondes des tensions transitoires de rétablissement est variable suivant la configuration des circuits réels.

Dans certains cas, particulièrement dans les réseaux de tensions égales ou supérieures à 100 kV et pour des courants de court-circuit relativement importants par rapport au courant de court-circuit maximal à l'endroit considéré, la tension transitoire de rétablissement comprend une période initiale pendant laquelle la vitesse d'accroissement est élevée, et une période ultérieure pendant laquelle la vitesse d'accroissement est plus réduite. Cette forme d'onde est en général suffisamment bien représentée par une enveloppe constituée de trois segments de droite définis par quatre paramètres. Les méthodes de tracé des enveloppes de la tension transitoire de rétablissement figurent à l'annexe E.

NOTE 1 The minimum opening time is the shortest opening time, which is expected by the manufacturer to cover the entire population of the circuit-breaker concerned under any operational conditions when breaking asymmetrical currents in accordance with this standard (terminal fault test-duty T100a). It should be chosen in such a manner that the d.c. component applied in test-duty T100a, which is based on this minimum opening time among others, is so large, that each circuit-breaker manufactured in the product life time will be covered by this test.

The percentage value of the dc component (% dc) can be derived from figure 9 and is based on the time interval (T_{op} + T_r) and the time constant τ using the formula:

$$\% \text{ dc} = 100 \times e^{-\frac{T_{op}+T_r}{\tau}}$$

The graphs of the d.c. component against time given in figure 9 are based on:

a) standard time constant of 45 ms;

b) special case time constants, related to the rated voltage of the circuit-breaker:
   - 120 ms for rated voltages up to and including 52 kV;
   - 60 ms for rated voltages from 72,5 kV up to and including 420 kV;
   - 75 ms for rated voltages 550 kV and above.

These special case time constant values recognise that the standard value may be inadequate in some systems. They are provided as unified values for such special system needs, taking into account the characteristics of the different ranges of rated voltage, for example their particular system structures, design of lines, etc.

NOTE 2 In addition, some applications may require even higher values, for example if a circuit-breaker is close to a generator. In these circumstances, the required d.c. component and any additional test requirements should be specified in the enquiry.

NOTE 3 More detailed information on the use of the standard time constant and the special case time constants is given in the explanatory note in I.2.1.

4.102 Transient recovery voltage related to the rated short-circuit breaking current

The transient recovery voltage (TRV) related to the rated short-circuit breaking current in accordance with 4.101, is the reference voltage which constitutes the limit of the prospective transient recovery voltage of circuits which the circuit-breaker shall be capable of withstanding under fault conditions.

4.102.1 Representation of TRV waves

The waveform of transient recovery voltages varies according to the arrangement of actual circuits.

In some cases, particularly in systems with a voltage 100 kV and above, and where the short-circuit currents are relatively large in relation to the maximum short-circuit current at the point under consideration, the transient recovery voltage contains first a period of high rate of rise, followed by a later period of lower rate of rise. This waveform is generally adequately represented by an envelope consisting of three line segments defined by means of four parameters. Methods of drawing TRV envelopes are given in annex E.

Dans d'autres cas, particulièrement dans les réseaux de tension inférieure à 100 kV ou bien dans les réseaux de tension supérieure à 100 kV pour des courants de court-circuit relativement faibles par rapport au courant de court-circuit maximal et alimentés au travers de transformateurs, la tension transitoire de rétablissement a une forme proche d'une oscillation amortie à une seule fréquence. Cette forme d'onde est suffisamment bien représentée par une enveloppe constituée par deux segments de droite définis par deux paramètres. Les méthodes de tracé des enveloppes de la tension transitoire de rétablissement figurent à l'annexe E.

Cette représentation par deux paramètres est un cas particulier de la représentation par quatre paramètres.

L'influence de la capacité au lieu d'installation et du côté de l'alimentation du disjoncteur réduit la vitesse d'accroissement de la tension pendant les quelques premières micro-secondes de la TTR. On en tient compte par l'introduction d'un retard.

Il apparaît que chaque période de l'onde de TTR peut influer sur les performances de coupure d'un disjoncteur. Le tout début de la TTR peut être important pour certains types de disjoncteurs. Cette période de la TTR, dénommée TTR initiale (TTRI), est provoquée par une oscillation initiale de faible amplitude due aux réflexions sur la première discontinuité majeure du jeu de barres. Elle est surtout déterminée par la configuration du jeu de barres et par la disposition des appareils au départ de chaque poste. La TTRI est un phénomène physique très semblable au défaut proche en ligne. Par comparaison avec le défaut proche en ligne, la première crête de tension est plutôt basse, mais la durée pour atteindre cette première crête est extrêmement courte et se situe dans les premières microsecondes après le passage à zéro du courant. C'est pourquoi le processus thermique d'interruption peut être influencé.

Si le disjoncteur a un pouvoir de coupure en défaut proche en ligne assigné, les prescriptions de la TTRI sont considérées comme satisfaites si les essais de défaut proche en ligne sont effectués avec une ligne n'introduisant pas de retard (voir 6.104.5.2 et 6.109.3) à moins que les deux bornes ne soient pas identiques d'un point de vue électrique (c'est le cas, par exemple, où une capacité supplémentaire est utilisée, comme mentionné dans la note 4 de 6.109.3). Dans ce cas, on peut utiliser comme alternative des circuits d'essais qui produisent une contrainte de TTR équivalente au disjoncteur.

Etant donné que la TTRI est proportionnelle à l'impédance d'onde des jeux de barres et au courant, les prescriptions la concernant peuvent être négligées pour tous les disjoncteurs ayant un pouvoir de coupure assigné inférieur à 25 kA et pour les disjoncteurs de tension assignée inférieure à 100 kV. De plus, les prescriptions concernant la TTRI peuvent être négligées pour les disjoncteurs installés dans l'appareillage sous enveloppe métallique du fait de la faible impédance d'onde.

4.102.2 Représentation de la TTR

Pour représenter la TTR, les paramètres suivants sont utilisés:

a) Tracé de référence à quatre paramètres (voir figure 10):

u_1 = première tension de référence, en kilovolts;

t_1 = temps mis pour atteindre u_1, en microsecondes;

u_c = seconde tension de référence (valeur de crête de la TTR), en kilovolts;

t_2 = temps mis pour atteindre u_c, en microsecondes.

In other cases, particularly in systems with a voltage less than 100 kV, or in systems with a voltage greater than 100 kV in conditions where the short-circuit currents are relatively small in relation to the maximum short-circuit currents and fed through transformers, the transient recovery voltage approximates to a damped single frequency oscillation. This waveform is adequately represented by an envelope consisting of two line segments defined by means of two parameters. Methods of drawing TRV envelopes are given in annex E.

Such a representation in terms of two parameters is a special case of representation in terms of four parameters.

The influence of local capacitance on the source side of the circuit-breaker produces a slower rate of rise of the voltage during the first few microseconds of the TRV. This is taken into account by introducing a time delay.

It appears that every part of the TRV wave may influence the interrupting capability of a circuit-breaker. The very beginning of the TRV may be of importance for some types of circuit-breakers. This part of the TRV, called initial TRV (ITRV), is caused by the initial oscillation of small amplitude due to reflections from the first major discontinuity along the busbar. The ITRV is mainly determined by the busbar and line bay configuration of the substation. The ITRV is a physical phenomenon which is very similar to the short-line fault. Compared with the short-line fault, the first voltage peak is rather low, but the time to the first peak is extremely short, that is, within the first microseconds after current zero. Therefore the thermal mode of interruption may be influenced.

If the circuit-breaker has a short-line fault rating, the ITRV requirements are considered to be covered if the short-line fault tests are carried out using a line with insignificant time delay (see 6.104.5.2 and 6.109.3) unless both terminals are not identical from an electrical point of view (for instance when an additional capacitance is used as mentioned in note 4 of 6.109.3). In this case test circuits, which produce an equivalent TRV stress across the circuit-breaker may be used as an alternative.

Since the ITRV is proportional to the busbar surge impedance and to the current, the ITRV requirements can be neglected for all circuit-breakers with a rated short-circuit breaking current of less than 25 kA and for circuit-breakers with a rated voltage below 100 kV. In addition the ITRV requirements can be neglected for circuit-breakers installed in metal enclosed gas insulated switchgear (GIS) because of the low surge impedance.

4.102.2 Representation of TRV

The following parameters are used for the representation of TRV:

a) Four-parameter reference line (see figure 10):

u_1 = first reference voltage, in kilovolts;

t_1 = time to reach u_1, in microseconds;

u_c = second reference voltage (TRV peak value), in kilovolts;

t_2 = time to reach u_c, in microseconds.

Les paramètres de la TTR sont définis en fonction de la tension assignée (U_r), du facteur de premier pôle (k_{pp}) et du facteur d'amplitude (k_{af}) comme suit:

$u_1 = 0{,}75 \times k_{pp} U_r \sqrt{\frac{2}{3}}$

t_1 est déterminé à partir de u_1 et de la vitesse d'accroissement spécifiée u_1/t_1 = VATR;

t_1 pour la discordance de phases = $2 \times t_1$ (pour le défaut aux bornes)

$u_c = k_{af} \times k_{pp} U_r \sqrt{\frac{2}{3}}$, où k_{af} est égal à:

– 1,4 pour le défaut aux bornes et le défaut proche en ligne;

– 1,25 pour la discordance de phases.

$t_2 = 4t_1$ pour le défaut aux bornes et le défaut proche en ligne;

t_2 pour la discordance de phases = entre t_2 (pour le défaut aux bornes) et $2 \times t_2$ (pour le défaut aux bornes).

b) Tracé de référence à deux paramètres (voir Figure 11):

u_c = tension de référence (valeur de crête de la TTR), en kV;

t_3 = temps, en µs.

Les paramètres de la TTR sont définis en fonction de la tension assignée (U_r), du facteur de premier pôle (k_{pp}) et du facteur d'amplitude (k_{af}) comme suit:

$$u_c = k_{pp} \times k_{af} \sqrt{(2/3)} \times U_r$$

où k_{af} est égal à

1,4 pour le défaut aux bornes dans le cas de réseaux par câbles;

1,54 pour le défaut aux bornes et le défaut proche en ligne, dans le cas de réseaux aériens;

1,25 pour la discordance de phases;

t_3 pour le circuit d'alimentation du défaut proche en ligne = t_3 (défaut aux bornes);

t_3 pour la discordance de phases = $2 \times t_3$ (défaut aux bornes).

c) Segment définissant le retard de la TTR (voir Figures 10 et 11):

t_d = retard, en microsecondes;

u' = tension de référence, en kilovolts;

t' = temps mis pour atteindre u', en microsecondes.

Le segment définissant le retard commence sur l'axe des temps à la valeur du retard assigné, est parallèle à la première partie du tracé de référence de la TTR assignée et se termine à la valeur de tension u' (correspondant à l'abscisse t').

Pour les tensions inférieures à 100 kV:

t_d = 0,15 × t_3, pour le défaut aux bornes et la discordance de phase dans le cas de réseaux par câbles;

t_d = 0,05 × t_3, pour le défaut aux bornes et le défaut proche en ligne dans le cas de réseaux aériens;

t_d = 0,15 × t_3, pour la discordance de phase dans le cas de réseaux aériens;

u' = u_c/3;

t' est déterminé à partir de t_d et t_3 selon la Figure 11, t' = t_d + t_3/3.

TRV parameters are defined as a function of the rated voltage (U_r), the first-pole-to-clear factor (k_{pp}) and the amplitude factor (k_{af}) as follows:

$$u_1 = 0{,}75 \times k_{pp} U_r \sqrt{\frac{2}{3}}$$

t_1 is derived from u_1 and the specified value of the rate of rise u_1/t_1 = RRRV;

t_1 for out-of-phase = $2 \times t_1$ (for terminal fault)

$u_c = k_{af} \times k_{pp} U_r \sqrt{\frac{2}{3}}$, where k_{af} is equal to:

– 1,4 for terminal fault and short-line fault,

– 1,25 for out-of-phase.

$t_2 = 4t_1$ for terminal fault and short-line fault;

t_2 for out-of-phase = between t_2 (for terminal fault) and $2 \times t_2$ (for terminal fault).

b) Two-parameter reference line (see Figure 11):

u_c = reference voltage (TRV peak value), in kV;

t_3 = time in µs.

TRV parameters are defined as a function of the rated voltage (U_r), the first-pole-to-clear factor (k_{pp}) and the amplitude factor (k_{af}) as follows:

$$u_c = k_{pp} \times k_{af} \sqrt{(2/3)} \times U_r$$

where k_{af} is equal to

1,4 for terminal fault in the case of cable systems;

1,54 for terminal fault and short-line fault, in the case of line systems;

1,25 for out-of-phase;

t_3 for the supply side circuit for short-line fault = t_3 (terminal fault).

t_3 for out-of-phase = $2 \times t_3$ (terminal fault).

c) Delay line of TRV (see Figures 10 and 11):

t_d = time delay, in microseconds;

u' = reference voltage, in kilovolts;

t' = time to reach u', in microseconds

The delay line starts on the time axis at the rated time delay and runs parallel to the first section of the reference line of rated TRV and terminates at the voltage u' (time co-ordinate t').

For rated voltages lower than 100 kV:

$t_d = 0{,}15 \times t_3$, for terminal fault and out-of-phase in the case of cable systems;

$t_d = 0{,}05 \times t_3$, for terminal fault and short-line-fault in the case of line systems;

$t_d = 0{,}15 \times t_3$, for out-of-phase in the case of line systems;

$u' = u_c/3$;

t' is derived from t_d and t_3 according to Figure 11, $t' = t_d + t_3/3$.

Pour les tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV:

t_d = 2 µs pour le défaut aux bornes et le circuit d'alimentation pour le défaut proche en ligne;

t_d = 2 µs à 0,1 × t_1 pour la discordance de phases;

u' = u_1 /2;

t' est déterminé à partir de u', u_1 /t_1 (VATR) et t_d selon la Figure 10, t' = t_d + t_3/VATR.

d) TTRI (voir figure 12b):

u_i = tension de référence (valeur de crête de la TTRI), en kilovolts;

t_i = temps mis pour atteindre u_i, en microsecondes.

La vitesse d'accroissement de la TTRI dépend de la valeur du courant de court-circuit interrompu et son amplitude dépend de la distance à la première discontinuité le long du jeu de barres. La TTRI est définie par la tension u_i et le temps t_i. La forme d'onde inhérente doit suivre une ligne droite, tracée à partir des points 20 % et 80 % de la crête de tension de la TTRI, u_i, et de la vitesse d'accroissement de la TTRI spécifiée.

4.102.3 Valeurs normales de la TTR relative au courant de court-circuit assigné

Les valeurs normales de TTR pour les disjoncteurs tripolaires de tension assignée inférieure à 100 kV correspondent à la représentation par deux paramètres. Les valeurs sont indiquées dans

– le Tableau 24 pour les réseaux par câbles;

– le Tableau 25 pour les réseaux aériens.

Pour les tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV, on utilise la représentation à quatre paramètres. Le tableau 1b donne les valeurs pour les tensions assignées de 100 kV à 170 kV dans le cas de réseaux à neutre directement à la terre. Le tableau 1c donne les valeurs pour les tensions assignées de 100 kV à 170 kV dans le cas de réseaux à neutre non directement à la terre. Le tableau 1d donne les valeurs pour les tensions assignées supérieures ou égales à 245 kV.

Les tableaux indiquent également les valeurs de vitesse d'accroissement, telles que u_c/t_3 et u_1/t_1, pour les représentations à deux et à quatre paramètres respectivement, qui, avec la valeur crête de la TTR u_c peuvent être utilisées pour spécifier les TTR.

Les valeurs des tableaux sont des valeurs présumées. Elles s'appliquent aux disjoncteurs destinés à des réseaux triphasés de transport et de distribution, fonctionnant à des fréquences de 50 Hz ou 60 Hz et comportant des transformateurs, des lignes aériennes et des câbles.

Dans les réseaux monophasés ou lorsque des disjoncteurs sont destinés à des installations où l'on peut rencontrer des conditions plus sévères, les valeurs peuvent être différentes, particulièrement dans les cas suivants:

a) disjoncteurs à proximité d'alternateurs;

b) disjoncteurs directement reliés à des transformateurs fournissant un courant supérieur à 50 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit du disjoncteur, sans capacité supplémentaire appréciable entre le disjoncteur et le transformateur. Cependant, le cas particulier de disjoncteurs de tension assignée inférieure à 100 kV et reliés à un transformateur avec une liaison de faible capacité est traité dans l'Annexe M;

c) disjoncteurs situés dans des postes comportant des réactances de limitation (des informations sont données en 8.103.7 et à l'Article L.5 pour les disjoncteurs de tensions assignées inférieures à 100 kV);

For rated voltages equal or higher than 100 kV:

t_d = 2 µs for terminal fault and for the supply side circuit for short-line fault;

t_d = 2 µs to 0,1 × t_1 for out-of-phase;

u' = u_1/2 ;

t' is derived from u', u_1/t_1 (RRRV) and t_d according to Figure 10, t' = t_d + u'/RRRV.

d) ITRV (see figure 12b):

u_i = reference voltage (ITRV peak), in kilovolts;

t_i = time to reach u_i, in microseconds.

The rate of rise of the ITRV is dependent on the interrupted short-circuit current and its amplitude depends upon the distance to the first discontinuity along the busbar. The ITRV is defined by the voltage u_i and the time t_i. The inherent waveshape shall follow a straight line drawn using the 20 % and the 80 % point of the ITRV peak voltage u_i and the required rate of rise of the ITRV.

4.102.3 Standard values of TRV related to the rated short-circuit breaking current

Standard values of TRV for three-pole circuit-breakers of rated voltages less than 100 kV make use of two parameters. Values are given in:

– Table 24, for cable systems;
– Table 25, for line systems.

For rated voltages of 100 kV and above, four parameters are used. Table 1b gives values for rated voltages of 100 kV up to 170 kV for solidly earthed systems. Table 1c gives values for rated voltages of 100 kV up to 170 kV for non-solidly earthed systems. Table 1d gives values for rated voltages of 245 kV and above.

The tables also indicate values of rate of rise, taken as u_c/t_3 and u_1/t_1, in the two-parameter and four-parameter cases, respectively, which together with TRV peak values u_c may be used for purposes of specification of TRV.

The values given in the tables are prospective values. They apply to circuit-breakers for general transmission and distribution in three-phase systems having service frequencies of 50 Hz or 60 Hz and consisting of transformers, overhead lines and cables.

In the case of single-phase systems or where circuit-breakers are for use in an installation having more severe conditions, the values may be different, particularly for the following cases:

a) circuit-breakers adjacent to generator circuits;
b) circuit-breakers directly connected to transformers without appreciable additional capacitance between the circuit-breaker and the transformer which provides approximately 50 % or more of the rated short-circuit breaking-current of the circuit-breaker. However the special case of circuit-breakers of rated voltage less than 100 kV with a connection of low capacitance to a transformer is covered in Annex M;
c) circuit-breakers in substations with series reactors (information is given in 8.103.7 and in Clause L.5 for circuit-breakers rated less than 100 kV);

d) disjoncteurs utilisés pour lignes compensées série;

e) disjoncteurs situés dans des postes comportant des batteries de condensateurs en gradins.

La tension transitoire de rétablissement correspondante au pouvoir de coupure assigné en court-circuit en cas de défaut aux bornes est utilisée pour les essais de coupure de courant de court-circuit égaux à la valeur assignée. Toutefois, pour les essais de coupure de courant en court-circuit effectués à des valeurs inférieures à 100 % de la valeur assignée, d'autres valeurs de la tension transitoire de rétablissement sont spécifiées (voir 6.104.5). De plus, des exigences complémentaires concernent les disjoncteurs prévus pour être connectés directement à des lignes aériennes, dont la tension assignée est égale ou supérieure à 15 kV et dont le pouvoir de coupure assigné en court-circuit est supérieur à 12,5 kA, et qui peuvent être amenés à fonctionner dans les conditions du défaut proche en ligne (voir 4.105).

d) circuit-breakers used for series compensated lines;

e) circuit-breakers in substations with capacitor banks.

The transient recovery voltage corresponding to the rated short-circuit breaking current when a terminal fault occurs, is used for testing at short-circuit breaking currents equal to the rated value. However, for testing with short-circuit breaking currents less than 100 % of the rated value, other values of transient recovery voltage are specified (see 6.104.5). Further additional requirements apply to circuit-breakers designed for direct connection to overhead lines, rated at 15 kV and above and having rated short-circuit breaking currents exceeding 12,5 kA, which may be operated in short-line fault conditions (see 4.105).

Tableau 24 – Valeurs normales de la TTR pour les disjoncteurs de classe S1 – Tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV – Représentation par deux paramètres

Tension assignée U_r kV	Type d'essai	Facteur de premier pôle k_{pp} p.u.	Facteur d'amplitude k_{af} p.u.	Valeur de crête de la TTR u_c kV	Temps t_3 µs	Temps de retard t_d µs	Tension u' kV	Temps t' µs	VATR [a] u_c/t_3 kV/µs
3,6	Défaut aux bornes	1,5	1,4	6,2	41	6	2,1	20	0,15
	Discordance de phases	2,5	1,25	9,2	82	12	3,1	40	0,11
4,76 [b]	Défaut aux bornes	1,5	1,4	8,2	44	7	2,7	21	0,19
	Discordance de phases	2,5	1,25	12,1	88	13	4,0	43	0,14
7,2	Défaut aux bornes	1,5	1,4	12,3	51	8	4,1	25	0,24
	Discordance de phases	2,5	1,25	18,4	102	15	6,1	49	0,18
8,25 [b]	Défaut aux bornes	1,5	1,4	14,1	52	8	4,7	25	0,27
	Discordance de phases	2,5	1,25	21,1	104	16	7,0	50	0,20
12	Défaut aux bornes	1,5	1,4	20,6	61	9	6,9	29	0,34
	Discordance de phases	2,5	1,25	30,6	122	18	10,2	59	0,25
15 [b]	Défaut aux bornes	1,5	1,4	25,7	66	10	8,6	32	0,39
	Discordance de phases	2,5	1,25	38,3	132	20	12,8	64	0,29
17,5	Défaut aux bornes	1,5	1,4	30	71	11	10,0	34	0,42
	Discordance de phases	2,5	1,25	44,7	142	21	14,9	69	0,31
24	Défaut aux bornes	1,5	1,4	41,2	87	13	13,7	42	0,47
	Discordance de phases	2,5	1,25	61,2	174	26	20,4	84	0,35
25,8 [b]	Défaut aux bornes	1,5	1,4	44,2	91	14	14,7	44	0,49
	Discordance de phases	2,5	1,25	65,8	182	27	21,9	88	0,36
36	Défaut aux bornes	1,5	1,4	61,7	109	16	20,6	53	0,57
	Discordance de phases	2,5	1,25	91,9	218	33	30,6	105	0,42
38 [b]	Défaut aux bornes	1,5	1,4	65,2	109	16	21,7	53	0,60
	Discordance de phases	2,5	1,25	97,0	218	33	32,3	105	0,45
48,3 [b]	Défaut aux bornes	1,5	1,4	82,8	125	19	27,6	60	0,66
	Discordance de phases	2,5	1,25	123	250	38	41,1	121	0,49
52	Défaut aux bornes	1,5	1,4	89,2	131	20	29,7	63	0,68
	Discordance de phases	2,5	1,25	133	262	39	44,2	127	0,51
72,5	Défaut aux bornes	1,5	1,4	124	165	25	41,4	80	0,75
	Discordance de phases	2,5	1,25	185	330	50	61,7	160	0,56

[a] VATR = vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement.

[b] Utilisée en Amérique du Nord.

Table 24 – Standard values of transient recovery voltage for class S1 circuit-breakers – Rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters

Rated voltage U_r kV	Type of test	First-pole-to-clear factor k_{pp} p.u.	Amplitude factor k_{af} p.u.	TRV peak value u_c kV	Time t_3 µs	Time delay t_d µs	Voltage u' kV	Time t' µs	RRRV [a] u_c/t_3 kV/µs
3,6	Terminal fault	1,5	1,4	6,2	41	6	2,1	20	0,15
	Out-of-phase	2,5	1,25	9,2	82	12	3,1	40	0,11
4,76 [b]	Terminal fault	1,5	1,4	8,2	44	7	2,7	21	0,19
	Out-of-phase	2,5	1,25	12,1	88	13	4,0	43	0,14
7,2	Terminal fault	1,5	1,4	12,3	51	8	4,1	25	0,24
	Out-of-phase	2,5	1,25	18,4	102	15	6,1	49	0,18
8,25 [b]	Terminal fault	1,5	1,4	14,1	52	8	4,7	25	0,27
	Out-of-phase	2,5	1,25	21,1	104	16	7,0	50	0,20
12	Terminal fault	1,5	1,4	20,6	61	9	6,9	29	0,34
	Out-of-phase	2,5	1,25	30,6	122	18	10,2	59	0,25
15 [b]	Terminal fault	1,5	1,4	25,7	66	10	8,6	32	0,39
	Out-of-phase	2,5	1,25	38,3	132	20	12,8	64	0,29
17,5	Terminal fault	1,5	1,4	30	71	11	10,0	34	0,42
	Out-of-phase	2,5	1,25	44,7	142	21	14,9	69	0,31
24	Terminal fault	1,5	1,4	41,2	87	13	13,7	42	0,47
	Out-of-phase	2,5	1,25	61,2	174	26	20,4	84	0,35
25,8 [b]	Terminal fault	1,5	1,4	44,2	91	14	14,7	44	0,49
	Out-of-phase	2,5	1,25	65,8	182	27	21,9	88	0,36
36	Terminal fault	1,5	1,4	61,7	109	16	20,6	53	0,57
	Out-of-phase	2,5	1,25	91,9	218	33	30,6	105	0,42
38 [b]	Terminal fault	1,5	1,4	65,2	109	16	21,7	53	0,60
	Out-of-phase	2,5	1,25	97,0	218	33	32,3	105	0,45
48,3 [b]	Terminal fault	1,5	1,4	82,8	125	19	27,6	60	0,66
	Out-of-phase	2,5	1,25	123	250	38	41,1	121	0,49
52	Terminal fault	1,5	1,4	89,2	131	20	29,7	63	0,68
	Out-of-phase	2,5	1,25	133	262	39	44,2	127	0,51
72,5	Terminal fault	1,5	1,4	124	165	25	41,4	80	0,75
	Out-of-phase	2,5	1,25	185	330	50	61,7	160	0,56

[a] RRRV = rate of rise of recovery voltage.

[b] Used in North America.

Tableau 25 – Valeurs normales de la TTR [C] pour les disjoncteurs de classe S2 – Tensions assignées égales ou supérieures à 15 kV et inférieures à 100 kV – Représentation par deux paramètres

Tension assignée U_r kV	Type d'essai	Facteur de 1er pôle k_{pp} p.u.	Facteur d'amplitude k_{af} p.u.	Valeur de crête de la TTR u_c kV	Temps t_3 µs	Temps de retard t_d µs	Tension u' kV	Temps t' µs	VATR [a] u_c/t_3 kV/µs
15 [b]	Défaut aux bornes	1,5	1,54	28,3	31	2	9,4	12	0,91
	Défaut proche en ligne	1	1,54	18,9	31	2	6,3	12	0,61
	Discordance de phases	2,5	1,25	38,3	62	9	12,8	30	0,62
17,5	Défaut aux bornes	1,5	1,54	33,0	34	2	11,0	13	0,97
	Défaut proche en ligne	1	1,54	22,0	34	2	7,3	13	0,65
	Discordance de phases	2,5	1,25	45	68	10	14,9	33	0,65
24	Défaut aux bornes	1,5	1,54	45,3	43	2	15,1	16	1,05
	Défaut proche en ligne	1	1,54	30,2	43	2	10,1	16	0,70
	Discordance de phases	2,5	1,25	61	86	13	20,4	42	0,71
25,8 [b]	Défaut aux bornes	1,5	1,54	48,7	45	2	16,2	17	1,08
	Défaut proche en ligne	1	1,54	32,4	45	2	10,8	17	0,72
	Discordance de phases	2,5	1,25	66	90	14	21,9	44	0,73
36	Défaut aux bornes	1,5	1,54	67,9	57	3	22,6	22	1,19
	Défaut proche en ligne	1	1,54	45,3	57	3	15,1	22	0,79
	Discordance de phases	2,5	1,25	92	114	17	30,6	55	0,81
38 [b]	Défaut aux bornes	1,5	1,54	71,7	59	3	23,9	23	1,21
	Défaut proche en ligne	1	1,54	47,8	59	3	15,9	23	0,81
	Discordance de phases	2,5	1,25	97	118	18	32,3	57	0,82
48,3 [b]	Défaut aux bornes	1,5	1,54	91,1	70	4	30,4	27	1,30
	Défaut proche en ligne	1	1,54	60,7	70	4	20,2	27	0,87
	Discordance de phases	2,5	1,25	123	140	21	41,1	68	0,88
52	Défaut aux bornes	1,5	1,54	98,1	74	4	32,7	28	1,33
	Défaut proche en ligne	1	1,54	65,4	74	4	21,8	28	0,88
	Discordance de phases	2,5	1,25	133	148	22	44,2	72	0,90
72,5	Défaut aux bornes	1,5	1,54	137	93	5	45,6	36	1,47
	Défaut proche en ligne	1	1,54	91,2	93	5	30,4	36	0,98
	Discordance de phases	2,5	1,25	185	186	28	61,7	90	0,99

[a] VATR = vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement.

[b] Utilisée en Amérique du Nord.

[c] Pour les défauts proches en ligne: la TTR et les temps sont ceux du circuit d'alimentation. Le défaut proche en ligne est applicable uniquement aux disjoncteurs prévus pour être connectés directement à des lignes aériennes.

Table 25 – Standard values of transient recovery voltage [c] for class S2 circuit-breakers – Rated voltage equal to or higher than 15 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters

Rated voltage	Type of test	First-pole-to-clear factor	Amplitude factor	TRV peak value	Time	Time delay	Voltage	Time	RRRV [a]
U_r		k_{pp}	k_{af}	u_c	t_3	t_d	u'	t'	u_c/t_3
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
15 [b]	Terminal fault	1,5	1,54	28,3	31	2	9,4	12	0,91
	Short-line fault	1	1,54	18,9	31	2	6,3	12	0,61
	Out-of-phase	2,5	1,25	38,3	62	9	12,8	30	0,62
17,5	Terminal fault	1,5	1,54	33,0	34	2	11,0	13	0,97
	Short-line fault	1	1,54	22,0	34	2	7,3	13	0,65
	Out-of-phase	2,5	1,25	45	68	10	14,9	33	0,65
24	Terminal fault	1,5	1,54	45,3	43	2	15,1	16	1,05
	Short-line fault	1	1,54	30,2	43	2	10,1	16	0,70
	Out-of-phase	2,5	1,25	61	86	13	20,4	42	0,71
25,8 [b]	Terminal fault	1,5	1,54	48,7	45	2	16,2	17	1,08
	Short-line fault	1	1,54	32,4	45	2	10,8	17	0,72
	Out-of-phase	2,5	1,25	66	90	14	21,9	44	0,73
36	Terminal fault	1,5	1,54	67,9	57	3	22,6	22	1,19
	Short-line fault	1	1,54	45,3	57	3	15,1	22	0,79
	Out-of-phase	2,5	1,25	92	114	17	30,6	55	0,81
38 [b]	Terminal fault	1,5	1,54	71,7	59	3	23,9	23	1,21
	Short-line fault	1	1,54	47,8	59	3	15,9	23	0,81
	Out-of-phase	2,5	1,25	97	118	18	32,3	57	0,82
48,3 [b]	Terminal fault	1,5	1,54	91,1	70	4	30,4	27	1,30
	Short-line fault	1	1,54	60,7	70	4	20,2	27	0,87
	Out-of-phase	2,5	1,25	123	140	21	41,1	68	0,88
52	Terminal fault	1,5	1,54	98,1	74	4	32,7	28	1,33
	Short-line fault	1	1,54	65,4	74	4	21,8	28	0,88
	Out-of-phase	2,5	1,25	133	148	22	44,2	72	0,90
72,5	Terminal fault	1,5	1,54	137	93	5	45,6	36	1,47
	Short-line fault	1	1,54	91,2	93	5	30,4	36	0,98
	Out-of-phase	2,5	1,25	185	186	28	61,7	90	0,99

[a] RRRV = rate of rise of recovery voltage.

[b] Used in North America.

[c] For short-line faults: transient recovery voltage and time quantities are those of the supply circuit. Short-line fault is only applicable for circuit-breakers designed for direct connection to overhead lines.

Tableau 1b – Valeurs normales de la TTR [a] –
Tensions assignées de 100 kV à 170 kV, cas de réseaux à neutre directement à la terre –
Représentation par quatre paramètres

Tension assignée	Séquence d'essais	Facteur de premier pôle	Facteur d'amplitude	Première tension de référence	Temps	Valeur de crête de la TTR	Temps	Retard	Tension	Temps	VATR[b]
U_r		K_{pp}	K_{af}	U_1	t_1	u_c	t_2	t_d	u'	t'	u_1/t_1
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
100	Défaut aux bornes	1,3	1,40	80	40	149	160	2	40	22	2
	Défaut proche en ligne	1	1,40	61	31	114	124	2	31	17	2
	Discordance de phases	2	1,25	122	80	204	160-320	2-8	61	48	1,54
123	Défaut aux bornes	1,3	1,40	98	49	183	196	2	49	26	2
	Défaut proche en ligne	1	1,40	75	38	141	152	2	38	21	2
	Discordance de phases	2	1,25	151	98	251	196-392	2-10	75	59	1,54
145	Défaut aux bornes	1,3	1,40	115	58	215	232	2	58	31	2
	Défaut proche en ligne	1	1,40	89	44	166	176	2	44	24	2
	Discordance de phases	2	1,25	178	116	296	232-464	2-12	89	70	1,54
170	Défaut aux bornes	1,3	1,40	135	68	253	272	2	68	36	2
	Défaut proche en ligne	1	1,40	104	52	194	208	2	52	28	2
	Discordance de phases	2	1,25	208	136	347	272-544	2-14	104	81	1,54

[a] Dans le cas de défauts proches en ligne, la TTR et les temps sont ceux du circuit d'alimentation.

[b] VATR = vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement.

Table 1b – Standard values of transient recovery voltage [a] – Rated voltages of 100 kV to 170 kV for solidly earthed systems – Representation by four parameters

Rated voltage	Test-duty	First-pole-to-clear factor	Amplitude factor	First reference voltage	Time	TRV peak value	Time	Time delay	Voltage	Time	RRRV [b]
U_r		k_{pp}	k_{af}	u_1	t_1	u_c	t_2	t_d	u'	t'	u_1/t_1
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
100	Terminal fault	1,3	1,40	80	40	149	160	2	40	22	2
	Short-line fault	1	1,40	61	31	114	124	2	31	17	2
	Out-of-phase	2	1,25	122	80	204	160-320	2-8	61	48	1,54
123	Terminal fault	1,3	1,40	98	49	183	196	2	49	26	2
	Short-line fault	1	1,40	75	38	141	152	2	38	21	2
	Out-of-phase	2	1,25	151	98	251	196-392	2-10	75	59	1,54
145	Terminal fault	1,3	1,40	115	58	215	232	2	58	31	2
	Short-line fault	1	1,40	89	44	166	176	2	44	24	2
	Out-of-phase	2	1,25	178	116	296	232-464	2-12	89	70	1,54
170	Terminal fault	1,3	1,40	135	68	253	272	2	68	36	2
	Short-line fault	1	1,40	104	52	194	208	2	52	28	2
	Out-of-phase	2	1,25	208	136	347	272-544	2-14	104	81	1,54

[a] In case of short-line faults, transient recovery voltage and time quantities are those of the supply circuit.

[b] RRRV = rate of rise of recovery voltage.

**Tableau 1c – Valeurs normales de la TTR [a] –
Tensions assignées de 100 kV à 170 kV, cas de réseaux à neutre non directement à la terre – Représentation par quatre paramètres**

Tension assignée	Séquence d'essais	Facteur de premier pôle	Facteur d'amplitude	Première tension de référence	Temps	Valeur de crête de la TTR	Temps	Retard	Tension	Temps	VATR [b]
U_r		k_{pp}	k_{af}	u_1	t_1	u_c	t_2	t_d	u'	t'	u_1/t_1
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
100	Défaut aux bornes	1,5	1,40	92	46	171	184	2	46	25	2
	Défaut proche en ligne	1	1,40	61	31	114	124	2	31	17	2
	Discordance de phases	2,5	1,25	153	92	255	184-368	2-9	77	55	1,67
123	Défaut aux bornes	1,5	1,40	113	56	211	224	2	56	30	2
	Défaut proche en ligne	1	1,40	75	38	141	152	2	38	21	2
	Discordance de phases	2,5	1,25	188	112	314	224-448	2-11	94	67	1,67
145	Défaut aux bornes	1,5	1,40	133	67	249	268	2	67	35	2
	Défaut proche en ligne	1	1,40	89	44	166	176	2	44	24	2
	Discordance de phases	2,5	1,25	222	134	370	268-536	2-13	111	79	1,67
170	Défaut aux bornes	1,5	1,40	156	78	291	312	2	78	41	2
	Défaut proche en ligne	1	1,40	104	52	194	208	2	52	28	2
	Discordance de phases	2,5	1,25	260	156	434	312-624	2-16	130	94	1,67

[a] Dans le cas de défauts proches en ligne, la TTR et les temps sont ceux du circuit d'alimentation.

[b] VATR = vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement.

Afin d'obtenir les valeurs de VATR et u_c pour les 2e et 3e pôles à couper, un multiplicateur doit être appliqué aux valeurs de VATR et u_c du premier pôle à couper avec le facteur de premier pôle applicable. Les valeurs de ces multiplicateurs sont données dans le tableau 2.

Les multiplicateurs de VATR sont relatifs à u_1/t_1; les temps t_1 and t_2 sont les mêmes pour les premier, deuxième et dernier pôles.

Table 1c – Standard values of transient recovery voltage [a] – Rated voltages of 100 kV to 170 kV for non-solidly earthed systems – Representation by four parameters

Rated voltage	Test-duty	First-pole-to-clear factor	Amplitude factor	First reference voltage	Time	TRV peak value	Time	Time delay	Voltage	Time	RRRV [b]
U_r		k_{pp}	k_{af}	u_1	t_1	u_c	t_2	t_d	u'	t'	u_1/t_1
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs)
100	Terminal fault	1,5	1,40	92	46	171	184	2	46	25	2
	Short-line fault	1	1,40	61	31	114	124	2	31	17	2
	Out-of-phase	2,5	1,25	153	92	255	184-368	2-9	77	55	1,67
123	Terminal fault	1,5	1,40	113	56	211	224	2	56	30	2
	Short-line fault	1	1,40	75	38	141	152	2	38	21	2
	Out-of-phase	2,5	1,25	188	112	314	224-448	2-11	94	67	1,67
145	Terminal fault	1,5	1,40	133	67	249	268	2	67	35	2
	Short-line fault	1	1,40	89	44	166	176	2	44	24	2
	Out-of-phase	2,5	1,25	222	134	370	268-536	2-13	111	79	1,67
170	Terminal fault	1,5	1,40	156	78	291	312	2	78	41	2
	Short-line fault	1	1,40	104	52	194	208	2	52	28	2
	Out-of-phase	2,5	1,25	260	156	434	312-624	2-16	130	94	1,67

[a] In case of short-line faults, transient recovery voltage and time quantities are those of the supply circuit.

[b] RRRV = rate of rise of recovery voltage.

In order to obtain the values of rate of rise of recovery voltage (RRRV) and u_c for the second and third clearing poles, a multiplier shall be applied to the values of RRRV and u_c of the first clearing pole at the relevant first-pole-to-clear factor. The values of these multipliers are given in table 2.

RRRV multipliers are related to u_1/t_1; the times t_1 and t_2 are the same for the first, second and last clearing poles.

Tableau 1d – Valeurs normales de la TTR [a] –
Tensions assignées supérieures ou égales à 245 kV, cas de réseaux à neutre directement à la terre – Représentation par quatre paramètres

Tension assignée	Séquence d'essais	Facteur de premier pôle	Facteur d'amplitude	Première tension de référence	Temps	Valeur de crête de la TTR	Temps	Retard	Tension	Temps	VATR[b]
U_r		k_{pp}	k_{af}	u_1	t_1	u_c	t_2	t_d	u'	t'	u_1/t_1
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
245	Défaut aux bornes	1,3	1,40	195	98	364	392	2	98	51	2
	Défaut proche en ligne	1	1,40	150	75	280	300	2	75	40	2
	Discordance de phases	2	1,25	300	196	500	392-784	2-20	150	117	1,54
300	Défaut aux bornes	1,3	1,40	239	119	446	476	2	119	62	2
	Défaut proche en ligne	1	1,40	184	92	343	368	2	92	48	2
	Discordance de phases	2	1,25	367	238	612	476-952	2-24	184	143	1,54
362	Défaut aux bornes	1,3	1,40	288	144	538	576	2	144	74	2
	Défaut proche en ligne	1	1,40	222	111	414	444	2	111	57	2
	Discordance de phases	2	1,25	443	288	739	576-1152	2-29	222	173	1,54
420	Défaut aux bornes	1,3	1,40	334	167	624	668	2	167	86	2
	Défaut proche en ligne	1	1,40	257	129	480	516	2	129	66	2
	Discordance de phases	2	1,25	514	334	857	668-1336	2-33	257	202	1,54
550	Défaut aux bornes	1,3	1,40	438	219	817	876	2	219	111	2
	Défaut proche en ligne	1	1,40	337	168	629	672	2	168	86	2
	Discordance de phases	2	1,25	674	438	1 123	876-1752	2-44	337	263	1,54
800	Défaut aux bornes	1,3	1,40	637	318	1 189	1 272	2	318	161	2
	Défaut proche en ligne	1	1,40	490	245	914	980	2	245	124	2
	Discordance de phases	2	1,25	980	636	1 633	1272-2544	2-64	490	382	1,54

[a] Dans le cas de défauts proches en ligne, la TTR et les temps sont ceux du circuit d'alimentation.

[b] VATR = vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement.

Table 1d – Standard values of transient recovery voltage [a] – Rated voltages 245 kV and above for solidly earthed systems – Representation by four parameters

Rated voltage	Test-duty	First-pole-to-clear factor	Amplitude factor	First reference voltage	Time	TRV peak value	Time	Time delay	Voltage	Time	RRRV [b]
U_r		k_{pp}	k_{af}	u_1	t_1	u_c	t_2	t_d	u'	t'	u_1/t_1
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	KV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
245	Terminal fault	1,3	1,40	195	98	364	392	2	98	51	2
	Short-line fault	1	1,40	150	75	280	300	2	75	40	2
	Out-of-phase	2	1,25	300	196	500	392-784	2-20	150	117	1,54
300	Terminal fault	1,3	1,40	239	119	446	476	2	119	62	2
	Short-line fault	1	1,40	184	92	343	368	2	92	48	2
	Out-of-phase	2	1,25	367	238	612	476-952	2-24	184	143	1,54
362	Terminal fault	1,3	1,40	288	144	538	576	2	144	74	2
	Short-line fault	1	1,40	222	111	414	444	2	111	57	2
	Out-of-phase	2	1,25	443	288	739	576-1152	2-29	222	173	1,54
420	Terminal fault	1,3	1,40	334	167	624	668	2	167	86	2
	Short-line fault	1	1,40	257	129	480	516	2	129	66	2
	Out-of-phase	2	1,25	514	334	857	668-1336	2-33	257	202	1,54
550	Terminal fault	1,3	1,40	438	219	817	876	2	219	111	2
	Short-line fault	1	1,40	337	168	629	672	2	168	86	2
	Out-of-phase	2	1,25	674	438	1 123	876-1752	2-44	337	263	1,54
800	Terminal fault	1,3	1,40	637	318	1 189	1 272	2	318	161	2
	Short-line fault	1	1,40	490	245	914	980	2	245	124	2
	Out-of-phase	2	1,25	980	636	1 633	1272-2544	2-64	490	382	1,54

[a] In case of short-line faults, transient recovery voltage and time quantities are those of the supply circuit.

[b] RRRV = rate of rise of recovery voltage.

Tableau 2 –Valeurs normales des multiplicateurs pour la tension transitoire de rétablissement pour les 2e et 3e pôles à couper à des tensions assignées supérieures à 1 kV

Facteur de premier pôle	Multiplicateurs			
	2e pôle à couper		3e pôle à couper	
k_{pp}	VATR	u_c	VATR	u_c
Cas de réseaux à neutre directement à la terre				
1,3	0,95	0,98	0,70	0,77
Cas de réseaux à neutre non directement à la terre				
1,5	0,70	0,58	0,70	0,58

Les multiplicateurs du tableau 2 ont été calculés à partir des hypothèses suivantes:

– seuls les défauts triphasés à la terre sont pris en compte;

– la vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement (VATR) à 100 % du courant de court-circuit dépend principalement des lignes aériennes et est calculée comme le produit du di/dt au passage par zéro du courant par l'impédance d'onde équivalente;

– l'impédance d'onde équivalente est calculée à partir des impédances d'onde homopolaire (Z_0) et directe (Z_1) vues aux bornes du disjoncteur. Une valeur approximative de 2 a été prise pour le rapport Z_0/Z_1;

– la valeur de crête de la TTR (u_c) est proportionnelle à la valeur instantanée de la tension à fréquence industrielle à l'instant de coupure.

Voir aussi les figures 13 et 14.

NOTE 1 Les valeurs pour les tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV sont à l'étude.

NOTE 2 Ce tableau est valable pour les séquences d'essais T10, T30, T60, T100s et T100a. En ce qui concerne la séquence d'essais T100a, il faut appliquer la même procédure de réduction comme indiqué dans la CEI 60427 pour le premier pôle à couper. Les valeurs sont une approximation pour les séquences d'essais T10, T30 et T60 et sont sujets à des études supplémentaires.

NOTE 3 Les valeurs sont des valeurs arrondies qui dépendent du rapport Z_0/Z_1 des circuits de TTR, de la constante de temps du système et des tensions assignées.

Table 2 – Standard multipliers for transient recovery voltage values for second and third clearing poles for rated voltages above 1 kV

First-pole-to-clear factor k_{pp}	Multipliers			
	2nd clearing pole		3rd clearing pole	
	RRRV	u_c	RRRV	u_c
For solidly earthed systems				
1,3	0,95	0,98	0,70	0,77
For non-solidly earthed systems				
1,5	0,70	0,58	0,70	0,58

The multipliers of table 2 have been calculated under the following assumptions:

– only three-phase earthed faults are considered;

– the rate of rise of recovery voltage (RRRV) at 100 % short-circuit currents is mainly determined by overhead lines and is calculated as the product of di/dt at current zero and the equivalent surge impedance;

– the equivalent surge impedance is calculated from the zero sequence (Z_0) and positive sequence (Z_1) surge impedances seen from the terminals of the circuit-breaker. For the relation of Z_0/Z_1 a value of approximately 2 has been chosen;

– the peak value of TRV (u_c) is proportional to the instantaneous value of power frequency recovery voltage at interruption.

See also figures 13 and 14.

NOTE 1 Values for rated voltages higher than 1 kV and less than 100 kV are under consideration.

NOTE 2 This table is valid for test-duty T10, T30, T60, T100s and T100a. For test-duty T100a, the same reduction method must be applied as indicated in IEC 60427 for the first clearing pole. The values are an approximation for test-duty T10, T30 and T60 and are subject to further consideration.

NOTE 3 The values are rounded values, depending on Z_0/Z_1 of the TRV circuits, the time constant of the system and the rated voltages.

4.102.4 Valeur normale de la TTRI assignée

Tableau 3 – Valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement initiale – Tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV

Tension assignée	Coefficient multiplicateur servant à déterminer u_i en fonction de la valeur efficace du pouvoir de coupure en court-circuit I_{sc}*		Temps
U_r	f_i		t_i
kV	kV/kA		µs
	50 Hz	60 Hz	
100	0,046	0,056	0,4
123	0,046	0,056	0,4
145	0,046	0,056	0,4
170	0,058	0,070	0,5
245	0,069	0,084	0,6
300	0,081	0,098	0,7
362	0,092	0,112	0,8
420	0,092	0,112	0,8
550	0,116	0,139	1,0
800	0,159	0,191	1,1

NOTE Ces valeurs couvrent à la fois les défauts triphasés et monophasés et sont fondées sur l'hypothèse que le jeu de barres, y compris les éléments qui y sont raccordés (supports, transformateurs de courant et de tension, sectionneurs, etc.) peut être approximativement représenté par une impédance d'onde résultante Z_i d'environ 260 Ω dans le cas d'une tension assignée inférieure à 800 kV et par une impédance d'onde résultante Z_i d'environ 325 Ω dans le cas d'une tension assignée de 800 kV. La relation entre f_i et t_i est alors:

$$f_i = t_i \times Z_i \times \omega \times \sqrt{2}$$

où

$\omega = 2\pi f_r$ est la fréquence angulaire correspondant à la fréquence assignée du disjoncteur.

* Les tensions de crête initiale réelles sont obtenues en multipliant les valeurs de ces colonnes par la valeur efficace du pouvoir de coupure en court-circuit.

4.103 Pouvoir de fermeture assigné en court-circuit

Le pouvoir de fermeture assigné en court-circuit d'un disjoncteur dont les pôles sont manoeuvrés simultanément, voir la figure 8, est celui qui correspond à la tension assignée et à la fréquence assignée. Les valeurs suivantes s'appliquent:

– pour une fréquence assignée de 50 Hz et la valeur normalisée de la constante de temps de 45 ms (voir 4.101.2), le pouvoir de fermeture est égal à 2,5 fois la valeur efficace de la composante périodique de son pouvoir de coupure assigné en court-circuit (voir 4.101);

– pour une fréquence assignée de 60 Hz et la valeur normalisée de la constante de temps de 45 ms (voir 4.101.2), le pouvoir de fermeture est égal à 2,6 fois la valeur efficace de la composante périodique de son pouvoir de coupure assigné en court-circuit (4.101);

– pour toutes les valeurs de la constante de temps des applications particulières (voir 4.101.2), le pouvoir de fermeture est égal à 2,7 fois la valeur efficace de la composante périodique de son pouvoir de coupure assigné en court-circuit, quelle que soit la fréquence assignée du disjoncteur (voir 4.101).

4.102.4 Standard values of ITRV

Table 3 – Standard values of initial transient recovery voltage – Rated voltages 100 kV and above

Rated voltage U_r kV	Multiplying factor to determine u_i as function of the r.m.s. value of the short-circuit breaking current I_{sc}* f_l kV/ kA		Time t_i µs
	50 Hz	60 Hz	
100	0,046	0,056	0,4
123	0,046	0,056	0,4
145	0,046	0,056	0,4
170	0,058	0,070	0,5
245	0,069	0,084	0,6
300	0,081	0,098	0,7
362	0,092	0,112	0,8
420	0,092	0,112	0,8
550	0,116	0,139	1,0
800	0,159	0,191	1,1

NOTE These values cover both three-phase and single-phase faults and are based on the assumption that the busbar, including the elements connected to it (supports, current and voltage transformers, disconnectors, etc.), can be roughly represented by a resulting surge impedance Z_i of about 260 Ω in the case of a rated voltage lower than 800 kV and by a resulting surge impedance Z_i of about 325 Ω in the case of a rated voltage of 800 kV. The relation between f_i and t_i is then:

$$f_i = t_i \times Z_i \times \omega \times \sqrt{2}$$

where

$\omega = 2\,\pi \times f_r$ is the angular frequency corresponding to the rated frequency of the circuit-breaker.

* The actual initial peak voltages are obtained by multiplying the values in these columns by the r.m.s. value of the short-circuit breaking current.

4.103 Rated short-circuit making current

The rated short-circuit making current (see figure 8) of a circuit-breaker having simultaneity of poles is that which corresponds to the rated voltage and the rated frequency. The following values apply:

– for a rated frequency of 50 Hz and the standard value of the time constant of 45 ms (see 4.101.2) it is equal to 2,5 times the r.m.s. value of the a.c. component of its rated short-circuit breaking current (see 4 .101);

– for a rated frequency of 60 Hz and the standard value of the time constant of 45 ms (see 4.101.2) it is equal to 2,6 times the r.m.s. value of the a.c. component of its rated short-circuit breaking current (see 4.101);

– for all special case time constants (see 4.101.2) it is equal to 2,7 times the r.m.s. value of the a.c. component of its rated short-circuit breaking current, independent of the rated frequency of the circuit-breaker (see 4.101).

4.104 Séquence de manœuvres assignée

Les caractéristiques assignées du disjoncteur sont rattachées à la séquence de manœuvres assignée. Il existe deux variantes de séquences de manœuvres assignées correspondant aux formules suivantes:

a) O - t - CO - t' - CO

Sauf spécification contraire:

t = 3 min pour les disjoncteurs qui ne sont pas prévus pour la refermeture automatique rapide;

t = 0,3 s, pour les disjoncteurs prévus pour fonctionner en refermeture automatique rapide (durée de coupure-établissement);

t' = 3 min.

NOTE Au lieu de t' = 3 min, d'autres valeurs: t' = 15 s et t' = 1 min sont aussi utilisées pour les disjoncteurs prévus pour fonctionner en refermeture automatique rapide.

b) CO - t'' - CO

avec:

t'' = 15 s pour les disjoncteurs qui ne sont pas prévus pour la refermeture automatique rapide

où

O représente une manœuvre d'ouverture;

CO représente une manœuvre de fermeture suivie immédiatement (c'est-à-dire sans délai intentionnel) d'une manœuvre d'ouverture;

t, t' et t'' sont les intervalles de temps entre deux manœuvres successives;

il convient que t et t' *soient* toujours exprimés en minutes ou en secondes et que t'' soit toujours exprimé en secondes.

Si la durée de coupure-établissement est réglable, les limites de réglage doivent être spécifiées.

4.105 Caractéristiques pour les défauts proches en ligne

Des caractéristiques pour les défauts proches en ligne sont exigées pour les disjoncteurs de classe S2 prévus pour être reliés directement à des lignes aériennes (sans liaison par câbles) et dont la tension assignée est égale ou supérieure à 15 kV et le pouvoir de coupure assigné en court-circuit supérieur à 12,5 kA. Ces caractéristiques correspondent à la coupure d'un défaut monophasé dans un réseau à neutre à la terre, où le facteur de premier pôle est égal à 1,0.

NOTE Dans cette norme, un essai effectué en monophasé à la tension phase-terre couvre tous les types de défauts proches en ligne (voir Annexe L, Article L.3).

Le circuit correspondant au défaut proche en ligne se compose d'un circuit d'alimentation du côté où le disjoncteur est relié à la source de puissance et d'une ligne courte du côté de la charge (voir Figure 15), il possède les caractéristiques assignées suivantes:

a) caractéristiques du circuit d'alimentation:

- tension égale à la tension phase-terre $U_r/\sqrt{3}$ correspondant à la tension assignée U_r du disjoncteur;
- courant du court-circuit, si l'on réalise un défaut aux bornes, égal au pouvoir de coupure assigné en court-circuit du disjoncteur;
- tension transitoire de rétablissement présumée, pour le défaut en ligne, correspondant aux valeurs normales du:

4.104 Rated operating sequence

The rated characteristics of the circuit-breaker are referred to the rated operating sequence. There are two alternative rated operating sequences as follows:

a) O - t - CO - t' - CO

Unless otherwise specified:

t = 3 min for circuit-breakers not intended for rapid auto-reclosing;

t = 0,3 s for circuit-breakers intended for rapid auto-reclosing (dead time)

t' = 3 min.

NOTE Instead of t' = 3 min, other values: t' = 15 s and t' = 1 min are also used for circuit-breakers intended for rapid auto-reclosing.

b) CO - t'' - CO

with:

t'' = 15 s for circuit-breakers not intended for rapid auto-reclosing

where

O represents an opening operation;

CO represents a closing operation followed immediately (that is, without any intentional delay) by an opening operation;

t, t' and t'' are time intervals between successive operations;

t and t' should always be expressed in minutes or in seconds and

t'' should always be expressed in seconds.

If the dead time is adjustable, the limits of adjustment shall be specified.

4.105 Characteristics for short-line faults

Characteristics for short-line faults are required for class S2 circuit-breakers designed for direct connection to overhead lines (without intervening cable connections) and having a rated voltage of 15 kV and above and a rated short-circuit breaking current exceeding 12,5 kA. These characteristics relate to the breaking of a single-phase earth fault in a system with earthed neutral, where the first-pole-to-clear factor is equal to 1,0.

NOTE In this standard, a single-phase test at phase-to-earth voltage covers all types of short-line fault (see Annex L, Clause L.3).

The short-line fault circuit is composed of a supply circuit on the source side of the circuit-breaker and a short-line on its load side (see Figure 15), with the following characteristics:

e) supply circuit characteristics:

– voltage equal to the phase-to-earth voltage $U_r/\sqrt{3}$ corresponding to the rated voltage U_r of the circuit-breaker;

– short-circuit current, in case of terminal fault, equal to the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker;

– prospective transient recovery voltage, in case of short-line fault, given by the standard values in

- Tableau 25, pour les disjoncteurs dans les réseaux aériens de tensions assignées inférieures à 100 kV;
- Tableau 1b et du Tableau 1c, pour les disjoncteurs de tensions assignées de 100 kV à 170 kV inclus;
- Tableau 1d, pour les disjoncteurs de tensions assignées supérieures ou égales à 245 kV.

– caractéristiques de la TTRI, pour les disjoncteurs de tension assignée supérieure ou égale à 100 kV, déduites du Tableau 3.

b) caractéristiques de la ligne:

– les valeurs normales du facteur de VATR, basées sur une impédance d'onde Z de 450 Ω, du facteur de crête assigné k et du temps de retard côté ligne t_{dL} sont indiquées dans le Tableau 4. Pour la détermination du retard côté ligne et de la vitesse d'accroissement de la tension côté ligne, voir la Figure 16;

– la méthode pour le calcul des tensions transitoires de rétablissement à partir des caractéristiques assignées est donnée dans l'Annexe A.

Tableau 4 – Valeurs normales des caractéristiques de ligne pour les défauts proches en ligne

Tension assignée	Nombre de conducteurs par phase	Impédance d'onde	Facteur de crête	Facteur de VATR		Retard
				50 Hz	60 Hz	
U_r		Z	k	s*		t_{dL}
kV		Ω		(kV/µs)/kA		µs
$15 \leq U_r \leq 38$	1	450	1,6	0,200	0,240	0,1
$48{,}3 \leq U_r \leq 170$	1 à 4	450	1,6	0,200	0,240	0,2
$U_r \geq 245$	1 à 4	450	1,6	0,200	0,240	0,5
NOTE Les valeurs couvrent les cas de défauts en ligne considérés dans cette norme. Pour des lignes très courtes (t_L < 5 t_{dL}), les exigences indiquées dans ce tableau ne peuvent pas être toutes respectées. Les procédures permettant d'aborder le cas des lignes très courtes seront données dans le guide d'application de cette norme (préparé actuellement par le GT CIGRE A3.11)						
* Pour le facteur de VATR s, voir Annexe A.						

4.106 Pouvoir de fermeture et pouvoir de coupure assignés en discordance de phases

Le pouvoir de coupure assigné en discordance de phases est le courant maximal en discordance de phases que le disjoncteur doit pouvoir couper dans les conditions d'utilisation et de fonctionnement prescrites dans cette norme et dans un circuit dont la tension de rétablissement est spécifiée ci-après.

La spécification d'un pouvoir de fermeture et d'un pouvoir de coupure assignés en discordance de phases n'est pas obligatoire. Si un tel pouvoir de coupure est spécifié, ce qui suit est applicable:

a) la tension de rétablissement à fréquence industrielle doit être égale à $2{,}0/\sqrt{3}$ fois la tension assignée pour les réseaux avec neutre directement à la terre et $2{,}5/\sqrt{3}$ fois la tension assignée pour les autres réseaux;

- Table 25, for circuit-breakers in line systems with rated voltages less than 100 kV ;
- Tables 1b and 1c, for circuit-breakers with rated voltages from 100 kV up to and including 170 kV;
- Table 1d, for circuit-breakers with rated voltages 245 kV and above.

– ITRV characteristics for circuit-breakers of 100 kV and above derived from Table 3.

b) line characteristics:

– standard values of the RRRV factor, based on a surge impedance Z of 450 Ω, the peak factor k and the line side time delay t_{dL} are given in Table 4. For determination of the line side time delay and the rate-of-rise of the line side voltage, see Figure 16;

– the method for calculation of transient recovery voltages from the characteristics is given in Annex A.

Table 4 – Standard values of line characteristics for short-line faults

Rated voltage U_r kV	Number of conductors per phase	Surge impedance Z Ω	Peak factor k	RRRV factor 50 Hz I 60 Hz s* (kV/µs)/kA		Time delay t_{dL} µs
$15 \le U_r \le 38$	1	450	1,6	0,200	0,240	0,1
$48{,}3 \le U_r \le 170$	1 to 4	450	1,6	0,200	0,240	0,2
$U_r \ge 245$	1 to 4	450	1,6	0,200	0,240	0,5
NOTE These values cover the short-line faults dealt with in this standard. For very short lines ($t_L < 5t_{dL}$) not all requirements as given in the table can be met. The procedures for approaching very short lines will be given in the application guide to this standard (currently prepared by CIGRE WG A3-11).						
* For the RRRV factor s, see Annex A.						

4.106 Rated out-of-phase making and breaking current

The rated out-of-phase breaking current is the maximum out-of-phase current that the circuit-breaker shall be capable of breaking under the conditions of use and behaviour prescribed in this standard in a circuit having a recovery voltage as specified below.

The specification of a rated out-of-phase making and breaking current is not mandatory. If a rated out-of-phase breaking current is assigned, the following applies:

a) the power frequency recovery voltage shall be 2,0/√3 times the rated voltage for solidly earthed neutral systems and 2,5/√3 times the rated voltage for other systems;

b) la tension transitoire de rétablissement doit être conforme au;

- Tableau 24, pour les disjoncteurs dans les réseaux câblés de tensions assignées inférieures à 100 kV;
- Tableau 25, pour les disjoncteurs dans les réseaux aériens de tensions assignées inférieures à 100 kV;
- Tableau 1b et au Tableau 1c, pour les disjoncteurs de tensions assignées de 100 kV à 170 kV inclus;
- Tableau 1d, pour les disjoncteurs de tensions assignées supérieures ou égales à 245 kV.

c) sauf spécification contraire, le pouvoir de coupure assigné en discordance de phases doit être égal à 25 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit et le pouvoir de fermeture assigné en discordance de phases doit être égal à la valeur de crête du pouvoir de coupure assigné en discordance de phases.

Les conditions normales d'emploi en ce qui concerne les pouvoirs de fermeture et de coupure assignés en discordance de phases sont les suivantes:

- manœuvres d'ouverture et de fermeture effectuées conformément aux instructions données par le constructeur en ce qui concerne la manoeuvre et l'emploi correct du disjoncteur et de son équipement auxiliaire;
- conditions de mise à la terre du neutre du réseau correspondant à celles pour lesquelles le disjoncteur a été essayé;
- absence de défaut de chaque côté du disjoncteur.

4.107 Pouvoir de coupure et pouvoir de fermeture assignés de courants capacitifs

La coupure ou l'établissement de courants capacitifs peut correspondre à une partie ou à toutes les séquences de fonctionnement d'un disjoncteur comme la manœuvre d'une ligne aérienne à vide, d'un câble à vide ou d'une batterie de condensateurs.

Si applicables, les caractéristiques assignées suivantes d'un disjoncteur en manœuvre de courants capacitifs doivent comprendre:

- pouvoir de coupure assigné de lignes à vide;
- pouvoir de coupure assigné de câbles à vide;
- pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs;
- pouvoir de coupure assigné de batteries de condensateurs à gradins;
- pouvoir de fermeture assigné de batterie unique de condensateurs;
- pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins.

Les valeurs préférentielles de pouvoir de coupure et de pouvoir de fermeture assignés de courants capacitifs sont données dans le tableau 5.

La tension de rétablissement en coupure de courants capacitifs dépend de:

- la mise à la terre du système;
- la mise à la terre de la charge capacitive, par exemple câble avec écran, banc de condensateurs, ligne de transport;
- l'influence mutuelle de phases adjacentes de la charge capacitive, par exemple câbles à ceinture, lignes aériennes;
- influence mutuelle de systèmes adjacents avec des lignes aériennes voisines;
- présence d'un ou deux défauts phase-terre.

b) the transient recovery voltage shall be in accordance with:
   - Table 24, for circuit-breakers in cable systems with rated voltages less than 100 kV;
   - Table 25, for circuit-breakers in line systems with rated voltages less than 100 kV;
   - Tables 1b and 1c, for circuit-breakers with rated voltages from 100 kV up to and including 170 kV;
   - Table 1d, for circuit-breakers with rated voltages 245 kV and above.

c) the rated out-of-phase breaking current shall be 25 % of the rated short-circuit breaking current and the rated out-of-phase making current shall be the crest value of the rated out-of-phase breaking current, unless otherwise specified.

   The standard conditions of use with respect to the rated out-of-phase making and breaking current are as follows:
   - opening and closing operations carried out in conformity with the instructions given by the manufacturer for the operation and proper use of the circuit-breaker and its auxiliary equipment;
   - earthing condition of the neutral for the power system corresponding to that for which the circuit-breaker has been tested;
   - absence of a fault on either side of the circuit-breaker.

4.107 Rated capacitive switching currents

Capacitive switching currents may comprise part or all of the operating duty of a circuit-breaker such as the charging current of an unloaded transmission line or cable or the load current of a shunt capacitor bank.

The rating of a circuit-breaker for capacitive current switching shall include, where applicable:

- rated line-charging breaking current;
- rated cable-charging breaking current;
- rated single capacitor bank breaking current ;
- rated back-to-back capacitor bank breaking current;
- rated single capacitor bank inrush making current;
- rated back-to-back capacitor bank inrush making current.

Preferred values of rated capacitive switching currents are given in table 5.

The recovery voltage related to capacitive current switching depends on:

- the earthing of the system;
- the earthing of the capacitive load, for example screened cable, capacitor bank, transmission line;
- the mutual influence of adjacent phases of the capacitive load, for example belted cables, open air lines;
- the mutual influence of adjacent systems of overhead lines on the same route;
- the presence of single or two-phase earth faults.

Deux classes de disjoncteurs sont définis en fonction de leur caractéristique de réamorçage:

– classe C1: à faible probabilité de réamorçage en coupure de courants capacitifs;
– classe C2: à très faible probabilité de réamorçage en coupure de courants capacitifs.

NOTE 1 La probabilité est liée à la performance obtenue pendant les séries d'essais de type spécifiés dans 6.111.

NOTE 2 Un disjoncteur peut être de la classe C2 pour une application (par exemple dans un système à neutre à la terre) et de classe C1 pour une autre application où la contrainte due à la tension rétablie est plus sévère (par exemple dans les systèmes autres qu'à neutre à la terre).

NOTE 3 Les disjoncteurs qui ont une probabilité de réamorçage autre que celle des classes C1 ou C2 ne sont pas couverts par cette norme.

4.107.1 Pouvoir de coupure assigné de lignes à vide

Le pouvoir de coupure assigné de lignes à vide est le courant maximal de lignes à vide que le disjoncteur doit être capable de couper sous sa tension assignée dans les conditions d'utilisation et de fonctionnement prescrites dans cette norme. La spécification d'un pouvoir de coupure assigné de lignes à vide est obligatoire pour les disjoncteurs de tensions assignées supérieures ou égales à 72,5 kV.

4.107.2 Pouvoir de coupure assigné de câbles à vide

Le pouvoir de coupure assigné de câbles à vide est le courant maximal de câbles à vide que le disjoncteur doit être capable de couper sous sa tension assignée dans les conditions d'utilisation et de fonctionnement prescrites dans cette norme. La spécification d'un pouvoir de coupure assigné de câbles à vide est obligatoire pour les disjoncteurs de tensions assignées égales ou inférieures à 52 kV.

4.107.3 Pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs

Le pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs est le courant maximal de batterie unique de condensateurs que le disjoncteur doit être capable de couper sous sa tension assignée dans les conditions d'utilisation et de fonctionnement prescrites dans cette norme. Ce pouvoir de coupure se rapporte à la coupure de batteries de condensateurs shunt lorsqu'aucun condensateur shunt n'est connecté sur le côté source du disjoncteur.

Two classes of circuit-breakers are defined according to their restrike performances:

– class C1: low probability of restrike during capacitive current breaking;
– class C2: very low probability of restrike during capacitive current breaking.

NOTE 1 The probability is related to the performance during the series of type tests stated in 6.111.

NOTE 2 A circuit-breaker can be of class C2 for one kind of application (for example in earthed neutral systems) and of class C1 for another kind of application where the recovery voltage stress is more severe (for example in systems other than earthed neutral systems).

NOTE 3 Circuit-breakers with a restrike probability other than that of class C1 or class C2 are not covered by this standard.

4.107.1 Rated line-charging breaking current

The rated line-charging breaking current is the maximum line-charging current that the circuit-breaker shall be capable of breaking at its rated voltage under the conditions of use and behaviour prescribed in this standard. The specification of a rated line-charging breaking current is mandatory for circuit-breakers of rated voltages equal to or greater than 72,5 kV.

4.107.2 Rated cable-charging breaking current

The rated cable-charging breaking current is the maximum cable-charging current that the circuit-breaker shall be capable of breaking at its rated voltage under the conditions of use and behaviour prescribed in this standard. The specification of a rated cable-charging breaking current is mandatory for circuit-breakers of rated voltages equal to or less than 52 kV.

4.107.3 Rated single capacitor bank breaking current

The rated single capacitor bank breaking current is the maximum capacitor current that the circuit-breaker shall be capable of breaking at its rated voltage under the conditions of use and behaviour prescribed in this standard. This breaking current refers to the switching of a shunt capacitor bank where no shunt capacitors are connected to the source side of the circuit-breaker.

Tableau 5 – Valeurs préférentielles de pouvoir de coupure et de pouvoir de fermeture assignés de courants capacitifs

	Ligne	Câble	Batterie unique de condensateurs	Batterie de condensateurs à gradins		
Tension assignée	**Pouvoir de coupure assigné de lignes à vide**	**Pouvoir de coupure assigné de câbles à vide**	**Pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs**	**Pouvoir de coupure assigné de batterie de condensateurs à gradins**	**Pouvoir de fermeture assigné de batterie de condensateurs à gradins**	**Fréquence du courant d'appel**
U_r kV, eff.	I_l A, eff.	I_c A, eff.	I_{sb} A, eff.	I_{bb} A, eff.	I_{bi} kA, crête	f_{bi} Hz
3,6	10	10	400	400	20	4 250
4,76	10	10	400	400	20	4 250
7,2	10	10	400	400	20	4 250
8,25	10	10	400	400	20	4 250
12	10	25	400	400	20	4 250
15	10	25	400	400	20	4 250
17,5	10	31,5	400	400	20	4 250
24	10	31,5	400	400	20	4 250
25,8	10	31,5	400	400	20	4 250
36	10	50	400	400	20	4 250
38	10	50	400	400	20	4 250
48,3	10	80	400	400	20	4 250
52	10	80	400	400	20	4 250
72,5	10	125	400	400	20	4 250
100	20	125	400	400	20	4 250
123	31,5	140	400	400	20	4 250
145	50	160	400	400	20	4 250
170	63	160	400	400	20	4 250
245	125	250	400	400	20	4 250
300	200	315	400	400	20	4 250
362	315	355	400	400	20	4 250
420	400	400	400	400	20	4 250
550	500	500	400	400	20	4 250
800	900					

NOTE 1 Les valeurs de ce tableau sont choisies dans un but de normalisation.

NOTE 2 Dans des cas réels le courant d'appel peut être calculé à partir de l'annexe H.

NOTE 3 Si des essais de manœuvre de batteries de condensateurs à gradins sont effectués, les essais de manœuvre d'une batterie unique de condensateurs n'est pas exigée.

NOTE 4 En fonction des conditions du système, la valeur de crête du courant d'appel et la fréquence du courant d'appel peuvent être plus élevées ou plus basses que les valeurs préférentielles données ci-dessus, par exemple selon que des réactances de limitation du courant sont utilisées ou non.

Table 5 – Preferred values of rated capacitive switching currents

	Line	Cable	Single capacitor bank	Back-to-back capacitor bank		
Rated voltage	**Rated line-charging breaking current**	**Rated cable-charging breaking current**	**Rated single capacitor bank breaking current**	**Rated back-to-back capacitor bank breaking current**	**Rated back-to-back capacitor bank inrush making current**	**Frequency of the inrush current**
U_r	I_l	I_c	I_{sb}	I_{bb}	I_{bi}	f_{bi}
kV, r.m.s.	A, r.m.s.	A, r.m.s.	A, r.m.s.	A, r.m.s.	kA, peak	Hz
3,6	10	10	400	400	20	4 250
4,76	10	10	400	400	20	4 250
7,2	10	10	400	400	20	4 250
8,25	10	10	400	400	20	4 250
12	10	25	400	400	20	4 250
15	10	25	400	400	20	4 250
17,5	10	31,5	400	400	20	4 250
24	10	31,5	400	400	20	4 250
25,8	10	31,5	400	400	20	4 250
36	10	50	400	400	20	4 250
38	10	50	400	400	20	4 250
48,3	10	80	400	400	20	4 250
52	10	80	400	400	20	4 250
72,5	10	125	400	400	20	4 250
100	20	125	400	400	20	4 250
123	31,5	140	400	400	20	4 250
145	50	160	400	400	20	4 250
170	63	160	400	400	20	4 250
245	125	250	400	400	20	4 250
300	200	315	400	400	20	4 250
362	315	355	400	400	20	4 250
420	400	400	400	400	20	4250
550	500	500	400	400	20	4 250
800	900					

NOTE 1 The values given in this table are chosen for standardization purposes.

NOTE 2 For actual cases, the inrush currents can be calculated based on annex H.

NOTE 3 If back-to-back capacitor switching tests are performed, single capacitor bank switching tests are not required.

NOTE 4 The peak of the inrush current and the inrush current frequency may be higher or lower than the preferred values stated in table 5 depending on system conditions, for example whether or not current limiting reactors are used.

4.107.4 Pouvoir de coupure assigné de batterie de condensateurs à gradins

Le pouvoir de coupure assigné de batterie de condensateurs à gradins est le courant maximal de condensateurs que le disjoncteur doit être capable de couper sous sa tension assignée dans les conditions d'utilisation et de fonctionnement prescrites dans cette norme.

Ce pouvoir de coupure se rapporte à la manœuvre d'une batterie de condensateurs shunt lorsqu'une ou plusieurs batteries de condensateurs sont connectées du côté source du disjoncteur, fournissant un courant d'appel établi égal au pouvoir de fermeture assigné de batterie de condensateurs à gradins.

NOTE Des conditions similaires sont, en principe, applicables à la coupure des câbles.

4.107.5 Pouvoir de fermeture assigné de batterie unique de condensateurs

Le pouvoir de fermeture assigné de batterie unique de condensateurs est la valeur de crête du courant que le disjoncteur doit être capable d'établir sous sa tension assignée et avec une fréquence du courant d'appel appropriée aux conditions de service.

NOTE Dans le cas de batteries uniques de condensateurs, il n'y a pas de valeurs préférentielles spécifiées du pouvoir de fermeture assigné et de la fréquence du courant d'appel. Pour les applications habituelles, le pouvoir de fermeture assigné est dans l'intervalle de 5 kA à 10 kA. Il peut être estimé de manière approximative en utilisant la formule suivante extraite du tableau 1 de ANSI/IEEE, C37.012 [11]:

$$i_{\text{max peak}} \approx \sqrt{2 k I_{\text{sh}} I_{\text{sb}}}$$

avec

$i_{\text{max peak}}$ valeur de crête du courant d'appel;

I_{sh} courant de court-circuit à l'emplacement de la batterie de condensateur, en valeur efficace;

I_{sb} courant de la batterie de condensateurs, en valeur efficace;

k = 1,15, facteur multiplicateur pour tenir compte des tolérances et de la surtension possible.

La fréquence du courant d'appel est dans l'intervalle 200 Hz à 1000 Hz. Elle peut être estimée de manière approximative en utilisant la formule suivante [11]:

$$f_{\text{inrush}} \approx f_{\text{r}} \sqrt{I_{\text{sh}} / I_{\text{sb}}}$$

avec

f_{r} fréquence assignée;

f_{inrush} fréquence du courant d'appel.

Les performances relatives à la fermeture d'une batterie unique de condensateurs sont acquises lorsque le produit du pouvoir de fermeture exigé par la fréquence exigée du courant d'appel ($i_{\text{max peak}}$ x f_{inrush}) est égal ou inférieur au produit de ces valeurs pour l'essai considéré.

4.107.6 Pouvoir de fermeture assigné de batterie de condensateurs à gradins

Le pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins est la valeur de crête du courant que le disjoncteur doit être capable d'établir sous sa tension assignée et avec une fréquence du courant d'appel appropriée aux conditions de service (voir tableau 5).

NOTE La performance relative à la fermeture de batterie de condensateurs à gradins est acquise lorsque le produit du pouvoir de fermeture exigé par la fréquence exigée du courant d'appel ($i_{\text{max peak}}$ x f_{inrush}) est égal ou inférieur au produit de ces valeurs pour l'essai considéré.

4.108 Pouvoir de coupure assigné des faibles courants inductifs

Aucune caractéristique assignée n'est spécifiée. Voir la CEI 61233.

4.107.4 Rated back-to-back capacitor bank breaking current

The rated back-to-back capacitor bank breaking current is the maximum capacitor current that the circuit-breaker shall be capable of breaking at its rated voltage under the conditions of use and behaviour prescribed in this standard.

This breaking current refers to the switching of a shunt capacitor bank where one or several shunt capacitor banks are connected to the source side of the circuit-breaker giving an inrush making current equal to the rated back-to-back capacitor bank inrush making current.

NOTE Similar conditions could apply for switching at substations with cables.

4.107.5 Rated single capacitor bank inrush making current

The rated single capacitor bank inrush making current is the peak value of the current that the circuit-breaker shall be capable of making at its rated voltage and with a frequency of the inrush current appropriate to the service conditions.

NOTE For single capacitor banks, no preferred values for the rated inrush making current and for the frequency of the inrush current are specified. For usual applications, the rated single capacitor bank inrush making current is in the range of 5 kA to 10 kA. It may be roughly estimated using the following formula taken from table 1 of ANSI/IEEE, C37.012 [11]:

$$i_{\text{max peak}} \approx \sqrt{2 k I_{\text{sh}} I_{\text{sb}}}$$

with

$i_{\text{max peak}}$ peak inrush making current;

I_{sh} short-circuit current at the location of the capacitor bank, r.m.s. value;

I_{sb} single capacitor bank current, r.m.s. value;

k = 1,15, multiplier to cover tolerances and possible overvoltage.

The frequency of the inrush current is in the range of 200 Hz to 1 000 Hz. It may be roughly estimated using the following formula [11]:

$$f_{\text{inrush}} \approx f_{\text{r}} \sqrt{I_{\text{sh}} / I_{\text{sb}}}$$

with

f_{r} rated frequency;

f_{inrush} frequency of inrush current.

The single capacitor bank making performance is covered when the product of the required peak inrush making current times the required frequency of the inrush current ($i_{\text{max peak}} \times f_{\text{inrush}}$) is equal to or lower than the product of those values used in the relevant test.

4.107.6 Rated back-to-back capacitor bank inrush making current

The rated back-to-back capacitor bank inrush making current is the peak value of the current that the circuit-breaker shall be capable of making at its rated voltage and with a frequency of the inrush current appropriate to the service conditions (see table 5).

NOTE The back-to-back capacitor bank making performance is covered when the product of the required peak inrush making current times the required frequency of the inrush current ($i_{\text{max peak}} \times f_{\text{inrush}}$) is equal to or lower than the product of those values used in the relevant test.

4.108 Small inductive breaking current

No rating is assigned. See IEC 61233.

4.109 Durées assignées

Se référer aux figures 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7.

Des valeurs assignées peuvent être données pour les durées suivantes:

– durée d'ouverture (à vide);
– durée de coupure;
– durée de fermeture (à vide);
– durée d'ouverture-fermeture (à vide);
– durée de refermeture (à vide);
– durée de fermeture-ouverture (à vide);
– durée de pré-insertion (à vide).

Les durées assignées se rapportent

– à la tension assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de commande (voir 4.8);
– à la fréquence assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires (voir 4.9);
– aux pressions assignées d'alimentation en gaz comprimé pour la manœuvre, pour l'isolement et pour la coupure, si applicable (voir 4.10);
– à la pression assignée d'alimentation hydraulique pour la manœuvre;
– à la température de l'air ambiant de 20 °C ± 5 °C.

NOTE Assigner une durée d'établissement ou une durée d'établissement-coupure n'a habituellement pas d'utilité pratique à cause de la variation de la durée d'arc et de la durée de préamorçage.

4.109.1 Durée de coupure assignée

La durée de coupure maximale déterminée pendant les séquences d'essais T30, T60 et T100s de 6.106.2, 6.106.3 et 6.106.4) ne doit pas dépasser la durée de coupure assignée, le disjoncteur étant manoeuvré d'une part avec la tension et la fréquence d'alimentation auxiliaire à leurs valeurs assignées, et d'autre part avec la valeur assignée de la pression d'alimentation hydraulique ou pneumatique à la température de l'air ambiant de 20 °C ± 5 °C.

NOTE 1 Conformément à 6.102.3.1, il est recommandé d'effectuer les principales séquences d'essais en court-circuit, à l'exception de la séquence T100a, aux valeurs minimales de tension et/ou de pression pour la manœuvre et/ou la coupure. Afin de vérifier la durée de coupure assignée pendant ces séquences d'essais et pour tenir compte du fait que la tension d'alimentation auxiliaire et la pression sont plus basses, il convient de modifier la durée de coupure maximale enregistrée de la façon suivante:

$$t_b \geq t_1 - (t_2 - t_3)$$

où:

t_b est la durée de coupure assignée;

t est la durée de coupure maximale enregistrée pendant les séquences d'essais T30, T60 et T100s;

t_2 est la durée d'ouverture maximale enregistrée à vide avec la tension d'alimentation auxiliaire et les pressions pour la manœuvre et/ou la coupure égales à celles utilisées durant les séquences d'essais T30, T60 et T100s;

t_3 est la durée d'ouverture assignée.

Si la durée de coupure déterminée selon cette procédure dépasse la durée de coupure assignée, la séquence d'essais qui a donné la durée de coupure la plus longue peut être répétée avec la tension et la fréquence d'alimentation auxiliaire et la pression assignée pour la manœuvre et/ou la coupure égales à leurs valeurs assignées.

NOTE 2 Pour les essais en monophasé représentant une manœuvre triphasée, la durée de coupure enregistrée, modifiée conformément à la note 1, peut dépasser la durée de coupure assignée de un dixième de période car les zéros de courant se produisent moins fréquemment dans ces conditions qu'en triphasé.

NOTE 3 Il convient que la durée de coupure pendant un cycle de manœuvre d'établissement-coupure de la séquence d'essais T100s ne dépasse pas, en principe, la durée de coupure assignée de plus d'une demi-période.

4.109 Rated time quantities

Refer to figures 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7.

Rated values may be assigned to the following time quantities:

– opening time (no-load);
– break-time;
– closing time (no-load);
– open-close time (no-load);
– reclosing time (no-load);
– close-open time (no-load);
– pre-insertion time (no-load).

Rated time quantities are based on

– rated supply voltages of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits (see 4.8);
– rated supply frequency of closing and opening devices and of auxiliary circuits (see 4.9);
– rated pressures of compressed gas supply for operation, for insulation and/or interruption, as applicable (see 4.10);
– rated pressure of hydraulic supply for operation;
– an ambient air temperature of 20 °C ± 5 °C.

NOTE Usually it is not practical to assign a rated value of make-time or of make-break time due to the variation of the arcing time and the pre-arcing time.

4.109.1 Rated break-time

The maximum break time determined during terminal fault test-duties T30, T60 and T100s of 6.106.2, 6.106.3 and 6.106.4 with the circuit-breaker operated at auxiliary supply voltage and frequency and pressures of pneumatic or hydraulic supply at their rated values and at an ambient air temperature of 20 °C ± 5 °C shall not exceed the rated break time.

NOTE 1 According to 6.102.3.1 the basic short-circuit test-duties, with the exception of T100a, should be carried out at minimum voltage and/or pressures for operation and/or interruption. In order to verify the rated break time during these test-duties, the recorded maximum break time should be amended to take account of the lower auxiliary supply voltage and pressure as follows:

$$t_b \geq t_1 - (t_2 - t_3)$$

where

t_b is the rated break time;

t_1 is the maximum recorded break time during test-duties T30, T60 and T100s;

t_2 is the maximum recorded opening time on no-load, with auxiliary supply voltage and pressures for operation and/or interruption as used during test-duties T30, T60 and T100s;

t_3 is the rated opening time.

If the break time determined according to this procedure exceeds the rated break time, the test-duty that has given the longest break time may be repeated with auxiliary supply voltage and frequency and pressure for operation and/or interruption at their rated values.

NOTE 2 For single-phase tests simulating a three-phase operation, the recorded break time, amended according to note 1, may exceed the rated break time by one-tenth of a cycle because in these cases the current zeros occur less frequently than in the three-phase case.

NOTE 3 The break time during a make-break operating cycle of test-duty T100s should not exceed the rated break time by more than half-cycle of the power frequency.

4.110 Nombre de manœuvres mécaniques

Un disjoncteur doit être capable d'effectuer le nombre de manœuvres suivant en tenant compte du programme de maintenance spécifié par le constructeur:

Disjoncteur standard (endurance mécanique normale) **classe M1**	2 000 séquences de manœuvres
Disjoncteur pour des exigences spéciales de service (endurance mécanique accrue) **classe M2**	10 000 séquences de manœuvres

4.111 Classification des disjoncteurs en fonction de leur endurance électrique

Les disjoncteurs pour lesquels une endurance électrique est exigée, prévus pour le réenclenchement automatique comme il est d'usage dans les réseaux de lignes aériennes, et pour des tensions assignées inférieures ou égales à 52 kV, font partie de la classe E2 définie en 3.4.113 et sont essayés comme indiqué en 6.112.2 et le tableau 21.

Les disjoncteurs pour lesquels une endurance électrique est exigée, mais prévus pour être utilisés sans réenclenchement automatique, par exemple dans les réseaux avec liaisons par câbles, et pour des tensions assignées inférieures ou égales à 52 kV, font partie de la classe E2 définie en 3.4.113 et sont essayés comme indiqué en 6.112.1.

La classe E2 désigne une endurance électrique accrue.

Les disjoncteurs pour lesquels une endurance électrique n'est pas exigée font partie de la classe E1 définie en 3.4.112 et désignant une endurance électrique de base.

5 Conception et construction

5.1 Prescriptions pour les liquides utilisés dans les disjoncteurs

Le paragraphe 5.1 de la CEI 60694 est applicable.

5.2 Prescriptions pour les gaz utilisés dans les disjoncteurs

Le paragraphe 5.2 de la CEI 60694 est applicable.

5.3 Raccordement à la terre des disjoncteurs

Le paragraphe 5.3 de la CEI 60694 est applicable.

5.4 Equipements auxiliaires

Le paragraphe 5.4 de la CEI 60694 est applicable avec les compléments suivants:

– lorsque des déclencheurs shunt d'ouverture et de fermeture sont utilisés, des mesures appropriées doivent être prises pour éviter d'endommager les déclencheurs quand des ordres sont maintenus en permanence à l'ouverture ou à la fermeture. Par exemple des contacts de commande en série peuvent être utilisés pour que lorsque le disjoncteur est fermé, le contact du déclencheur de fermeture (contact « b » ou contact d'ouverture) est ouvert et le contact de commande du déclencheur d'ouverture (contact « a » ou contact de fermeture) est fermé, et lorsque le disjoncteur est ouvert, le contact de commande du déclencheur d'ouverture est ouvert et le contact de commande du déclencheur de fermeture est fermé;

NOTE 1 Des systèmes autres que des contacts sont possibles et peuvent être utilisés.

4.110 Number of mechanical operations

A circuit-breaker shall be able to perform the following number of operations taking into account the programme of maintenance specified by the manufacturer:

Standard circuit-breaker (normal mechanical endurance) **class M1**	2 000 operating sequences
Circuit-breaker for special service requirements (extended mechanical endurance) **class M2**	10 000 operating sequences

4.111 Classification of circuit-breakers as a function of electrical endurance

Circuit-breakers required to have an electrical endurance capability, intended for auto-reclosing duty, as usual for overhead line networks, and of rated voltages up to and including 52 kV, are classified class E2 as defined in 3.4.113 and tested to 6.112.2 and table 21.

Circuit-breakers required to have an electrical endurance ability, but intended for use without auto-reclosing duty capability, for example in cable-connected networks, and of rated voltages up to and including 52 kV, are classified class E2 as defined in 3.4.113 and tested to 6.112.1.

Class E2 is termed extended electrical endurance.

Circuit-breakers not requiring this electrical endurance capability are classified class E1 as defined in 3.4.112, termed basic electrical endurance.

5 Design and construction

5.1 Requirements for liquids in circuit-breakers

Subclause 5.1 of IEC 60694 is applicable.

5.2 Requirements for gases in circuit-breakers

Subclause 5.2 of IEC 60694 is applicable.

5.3 Earthing of circuit-breakers

Subclause 5.3 of IEC 60694 is applicable.

5.4 Auxiliary equipment

Subclause 5.4 of IEC 60694 is applicable with the following additions:

– where shunt opening and closing releases are used, appropriate measures shall be taken in order to avoid damage on the releases when permanent orders for closing or opening are applied. For example, those measures may be the use of series control contacts arranged so that when the circuit-breaker is closed, the close release control contact ("b" contact or break contact) is open and the open release control contact ("a" contact or make contact) is closed, and when the circuit-breaker is open, the open release control contact is open and the close release control contact is closed;

NOTE 1 Systems other than contacts are possible and may be used.

– pour les déclencheurs shunt de fermeture, des mesures de protection des déclencheurs de fermeture, comme indiqué dans le premier alinéa ci-dessus, doivent fonctionner avant la durée minimale de l'ordre de fermeture (3.7.147) exigée par le disjoncteur, ni après la durée de fermeture assignée;

NOTE 2 Si le courant du déclencheur shunt de fermeture est coupé par le contact de commande, la durée de l'ordre de fermeture doit être, de façon sûre, plus longue que la durée de fermeture assignée.

– pour les déclencheurs shunt d'ouverture, des mesures de protection des déclencheurs d'ouverture, comme indiqué dans le premier alinéa ci-dessus, doivent fonctionner avant la durée minimale de l'ordre d'ouverture (3.7.146) exigée par le disjoncteur et au plus tard 20 ms après la séparation des contacts principaux;

– dans le cas d'exigences de courte durée de fermeture-ouverture, des mesures de protection des déclencheurs d'ouverture, comme indiqué dans le premier alinéa ci-dessus, doivent fonctionner avant que les contacts principaux ne se soient fermés, ni plus d'un demi cycle après la fermeture des contacts principaux;

– lorsque des contacts auxiliaires sont utilisés comme indicateurs de position, ils doivent indiquer la position finale du disjoncteur au repos, ouvert ou fermé. La signalisation doit être maintenue;

– les connexions doivent supporter les contraintes imposées par le disjoncteur, spécialement celles qui sont dues aux efforts mécaniques pendant les manœuvres;

– dans le cas de disjoncteurs pour l'extérieur, tous les équipements auxiliaires, y compris la filerie, doivent être protégés correctement contre la pluie et l'humidité;

– lorsqu'on utilise un équipement de commande particulier pour les disjoncteurs, il doit fonctionner dans les limites spécifiées pour les tensions d'alimentation des circuits auxiliaires et de commande, et pour les fluides de manœuvre et coupure et/ou d'isolement, de plus il doit pouvoir manœuvrer les charges indiquées par le constructeur du disjoncteur;

– les équipements auxiliaires spéciaux tels qu'indicateurs de niveau de liquide, indicateurs de pression, soupapes de sécurité, équipement de remplissage et de vidange, chauffage et contacts de verrouillage, doivent fonctionner dans les limites spécifiées des tensions d'alimentation des circuits auxiliaires et de commande et/ou dans les limites d'utilisation des fluides de manœuvre et de coupure et/ou d'isolement;

– la puissance consommée par les résistances de chauffage à la tension assignée doit avoir la valeur indiquée par le constructeur à ± 10 % près;

– lorsque des dispositifs d'anti-pompage font partie du schéma de commande du disjoncteur et si l'installation en comporte plus d'un, ils doivent agir sur chaque circuit de commande;

– lorsqu'un schéma de contrôle de discordance de phases fait partie du disjoncteur, la position des pôles, ouvert ou fermé, doit être surveillée. En fonction de l'application, la temporisation doit pouvoir être ajustée entre 0,1 s et 3 s.

5.5 Fermeture dépendante à source d'énergie extérieure

Le paragraphe 5.5 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

– un disjoncteur comportant un dispositif de fermeture dépendante à source d'énergie extérieure doit aussi être capable de s'ouvrir immédiatement après la manœuvre de fermeture au pouvoir de fermeture assigné en court-circuit.

5.6 Fermeture à accumulation d'énergie

Le paragraphe 5.6 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant au premier alinéa.

Un disjoncteur comportant un dispositif de fermeture à accumulation d'énergie doit aussi être capable de s'ouvrir immédiatement après la manœuvre de fermeture au pouvoir de fermeture assigné en court-circuit.

– for shunt closing releases the protective measures for the shunt closing releases as mentioned in the first indent above shall operate no sooner than the minimum close duration (3.7.147) provided by the circuit-breaker and no later than the rated closing time;

NOTE 2 If the current of the shunt closing release is interrupted by the control contact, the closing command shall be positively longer than the rated closing time.

– for shunt opening releases the protecting measures for the shunt opening releases as mentioned in the first indent above shall operate no sooner than the minimum trip duration (3.7.146) required by the circuit-breaker and no later than 20 ms after separation of the main contacts;
– for short close-open time requirements the protective measures for the shunt releases as mentioned in the first indent above shall operate no sooner than when main contacts close and no later than one half-cycle after main contacts close;
– where auxiliary switches are used as position indicators, they shall indicate the end position of the circuit-breaker at rest, open or closed. The signalling shall be sustained;
– connections shall withstand the stresses imposed by the circuit-breaker, especially those due to mechanical forces during operations;
– in the case of outdoor circuit-breakers, all auxiliary equipment including the wiring shall be adequately protected against rain and humidity;
– where special items of control equipment are used, they shall operate within the limits specified for supply voltages of auxiliary and control circuits, interrupting and/or insulating and operating media, and be able to switch the loads which are stated by the circuit-breaker manufacturer;
– special items of auxiliary equipment such as liquid indicators, pressure indicators, relief valves, filling and draining equipment, heating and interlock contacts shall operate within the limits specified for supply voltages of auxiliary and control circuits and/or within the limits of use of interrupting and/or insulating and operating media;
– the power consumption of heaters at rated voltage shall be within the tolerance of ± 10 % of the value stated by the manufacturer;
– where anti-pumping devices are part of the circuit-breaker control scheme, they shall act on each control circuit, if more than one is installed;
– where a control scheme of pole discrepancy is part of the circuit-breaker, the position of the poles shall be supervised, open or closed. Depending on the application, the delay time shall be adjustable between 0,1 s and 3 s.

5.5 Dependent power closing

Subclause 5.5 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

– a circuit-breaker arranged for dependent power closing with external energy supply shall also be capable of opening immediately following the closing operation with the rated short-circuit making current.

5.6 Stored energy closing

Subclause 5.6 of IEC 60694 is applicable with the following addition to the first paragraph.

A circuit-breaker arranged for stored energy closing shall also be capable of opening immediately following the closing operation with the rated short-circuit making current.

5.7 Manœuvre manuelle indépendante

Le paragraphe 5.7 de la CEI 60694 ne s'applique pas aux disjoncteurs.

5.8 Fonctionnement des déclencheurs

Le paragraphe 5.8 de la CEI 60694 est applicable avec les compléments suivants:

5.8.101 Déclencheur à maximum de courant

5.8.101.1 Courant de fonctionnement

Un déclencheur à maximum de courant doit porter l'indication de son courant assigné en service continu et de son domaine de courant de réglage.

Dans les limites du domaine du courant de réglage, le déclencheur à maximum de courant doit toujours fonctionner pour des courants supérieurs ou égaux à 110 % du courant de réglage et ne doit jamais fonctionner pour des courants inférieurs ou égaux à 90 % de ce courant de réglage.

5.8.101.2 Durée de manœuvre

Pour un déclencheur à maximum de courant à temporisation inverse, la durée de manœuvre doit être mesurée à partir de l'instant où la surintensité est établie, jusqu'à l'instant où le déclencheur actionne le mécanisme d'ouverture du disjoncteur.

Le constructeur doit fournir des tableaux ou des courbes, chacun avec les tolérances applicables, indiquant la durée de manœuvre en fonction du courant entre deux et six fois le courant de fonctionnement. Ces tableaux ou ces courbes doivent être fournis pour des valeurs limites de réglage du courant de fonctionnement et de la temporisation.

5.8.101.3 Courant de retour à la position initiale

Si le courant dans le circuit principal tombe au-dessous d'une certaine valeur avant que l'intervalle de temps correspondant à la temporisation du déclencheur à maximum de courant se soit écoulé, le déclencheur ne doit pas poursuivre son fonctionnement et doit revenir à sa position initiale.

L'indication correspondante doit être donnée par le constructeur.

5.8.102 Déclencheurs multiples

Si le disjoncteur est équipé avec des déclencheurs multiples de même fonction, un défaut sur un déclencheur ne doit pas influer sur le fonctionnement des autres. Les déclencheurs qui sont utilisés pour la même fonction doivent être physiquement distincts, c’est à dire découplés magnétiquement.

Les disjoncteurs de tension assignée égale ou supérieure à 72,5kV devraient être prévus pour autoriser l'équipement d'un déclencheur additionnel de fermeture et d'un déclencheur additionnel d'ouverture.

5.8.103 Limites de fonctionnement des déclencheurs

La durée minimale d'ouverture des déclencheurs shunt d'ouverture et la durée minimale de commande des déclencheurs shunt de fermeture à la tension d'alimentation assignée ne doit pas être inférieure à 2 ms.

5.7 Independent manual operation

Subclause 5.7 of IEC 60694 is not applicable for circuit-breakers.

5.8 Operation of releases

Subclause 5.8 of IEC 60694 is applicable with the following additions:

5.8.101 Over-current release

5.8.101.1 Operating current

An over-current release shall be marked with its rated normal current and its current setting range.

Within the current setting range, the over-current release shall always operate at currents of 110 % and above of the current setting, and shall never operate at currents of 90 % and below of this current setting.

5.8.101.2 Operating time

For an inverse time delay over-current release, the operating time shall be measured from the instant at which the over-current is established until the instant at which the release actuates the tripping mechanism of the circuit-breaker.

The manufacturer shall provide tables or curves, each with the applicable tolerances, showing the operating time as a function of current, between twice and six times the operating current. These tables or curves shall be provided for extreme current settings together with extreme settings of time delay.

5.8.101.3 Resetting current

If the current in the main circuit falls below a certain value, before the time delay of the over-current release has expired, the release shall not complete its operation and shall reset to its initial position.

The relevant information shall be given by the manufacturer.

5.8.102 Multiple releases

If a circuit-breaker is fitted with more than one release for the same function, a defect in one release shall not disturb the function in the others. Releases used for the same function shall be physically separated, i.e. magnetically decoupled.

For circuit-breakers rated at 72,5 kV and above accommodation should be made for one additional closing and one additional shunt opening release.

5.8.103 Operation limits of releases

For shunt opening releases the minimum trip duration and for shunt closing releases the minimum command duration at rated supply voltage shall not be less than 2 ms.

La tension minimale d'alimentation pour la manœuvre des déclencheurs shunt ne doit pas être inférieure à 20 % de la tension d'alimentation assignée.

5.8.104 Puissance consommée par les déclencheurs

Il convient que la puissance consommée par les déclencheurs shunt, d'ouverture ou de fermeture, d'un disjoncteur tripolaire ne dépasse pas 1 200 VA. Pour certaines conceptions de disjoncteurs, des valeurs plus élevées peuvent être exigées.

5.8.105 Relais intégrés pour disjoncteurs auto-déclenchants

Lorsqu'un relais intégré est utilisé pour des disjoncteurs auto-déclenchants, il doit être conforme à la CEI 60255-3. La grandeur d'alimentation d'entrée est le courant qui traverse les contacts principaux.

5.9 Verrouillages à basse et à haute pression

Le paragraphe 5.9 de la CEI 60694 est remplacé par ce qui suit:

Tous les disjoncteurs à accumulation d'énergie dans des réservoirs à gaz ou dans des accumulateurs oléopneumatiques (voir 5.6.1 de la CEI 60694) et tous les disjoncteurs utilisant un gaz comprimé pour la coupure (voir 5.103), à l'exception des appareils à pression scellés, doivent être équipés d'un dispositif de verrouillage à basse pression, et peuvent aussi être équipés d'un dispositif de verrouillage à haute pression, réglés pour fonctionner aux valeurs limites appropriées de la pression ou à l'intérieur des limites de pression indiquées par le constructeur.

5.10 Plaques signalétiques

Le paragraphe 5.10 de la CEI 60694 est applicable avec les compléments suivants: les plaques signalétiques du disjoncteur et de ses organes de manœuvre doivent porter des indications conformes au tableau 6.

Les bobines des dispositifs de manœuvre doivent porter un repère permettant de retrouver les indications complètes chez le constructeur.

Les déclencheurs doivent porter les indications appropriées.

La plaque signalétique doit être visible dans les positions de service et de montage normales.

The minimum supply voltage for operation of shunt releases shall not be less than 20 % of the rated supply voltage.

5.8.104 Power consumption of releases

The power consumption of shunt closing or opening releases of a three-pole circuit-breaker should not exceed 1 200 VA. For certain circuit-breaker designs higher values may be required.

5.8.105 Integrated relays for self-tripping circuit-breakers

When an integrated relay is used for self-tripping circuit-breakers, it shall comply with IEC 60255-3. The input energising quantity is the current through the main contacts.

5.9 Low- and high-pressure interlocking devices

Subclause 5.9 of IEC 60694 is replaced by the following:

All circuit-breakers having an energy storage in gas receivers or hydraulic accumulators (see 5.6.1 of IEC 60694) and all circuit-breakers except sealed pressure devices, using compressed gas for interruption (see 5.103) shall be fitted with a low-pressure interlocking device, and can also be fitted with a high-pressure interlocking device, set to operate at, or within, the appropriate limits of pressure stated by the manufacturer.

5.10 Nameplates

Subclause 5.10 of IEC 60694 is applicable with the following additions: the nameplates of a circuit-breaker and its operating devices shall be marked in accordance with table 6.

Coils of operating devices shall have a reference mark permitting the complete data to be obtained from the manufacturer.

Releases shall bear the appropriate data.

The nameplate shall be visible in the position of normal service and installation.

Tableau 6 – Indications de la plaque signalétique

	Abrévia-tion	Unité	Disjonc-teur	Dispositif de manœuvre	Condition: marquage seulement si
1	2	3	4	5	6
Constructeur			X	X	
Désignation du type et numéro de série			X	X	
Tension assignée	U_r	kV	X		
Tension de tenue assignée aux chocs de foudre	U_p	kV	X		
Tension de tenue assignée aux chocs de manœuvre	U_s	kV	y		Tension assignée supérieure ou égale à 300 kV
Fréquence assignée	f_r	Hz	y		Les caractéristiques assignées ne sont pas applicables à 50 Hz et 60 Hz
Courant assigné en service continu	I_r	A	X		
Durée de court-circuit assignée	t_k	s	y		Différente de 1 s
Pouvoir de coupure assigné en court-circuit	I_{sc}	kA	X		
Composante continue du pouvoir de coupure assigné en court-circuit		%	y		Supérieure à 20 %
Facteur de premier pôle	k_{pp}		y		Différent de 1,3 pour les tensions assignées 100 kV à 170 kV
Pouvoir de coupure assigné en discordance de phases	I_d	kA	(X)		
Pouvoir de coupure assigné de lignes à vide	I_l	A	y		Tension assignée supérieure ou égale à 72,5 kV
Pouvoir de coupure assigné de câbles à vide	I_c	A	y		Tension assignée inférieure ou égale à 52 kV
Pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs	I_{sb}	A	(X)		
Pouvoir de coupure assigné de batteries de condensateurs à gradins	I_{bb}	A	(X)		
Pouvoir de fermeture assigné de batterie unique de condensateurs	I_{si}	kA	y		Un pouvoir de fermeture assigné de batterie unique de condensateurs est assigné
Pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins	I_{bi}	kA	(X)		
Pression assignée pour la manœuvre	p_{rm}	MPa		(X)	
Pression assignée pour la coupure	p_{re}	MPa	(X)		
Tension assignée d'alimentation des dispositifs de manœuvre pour la fermeture et l'ouverture	U_{op}	V		(X)	
Fréquence assignée d'alimentation des dispositifs de manœuvre pour la fermeture et l'ouverture		Hz		(X)	
Tension assignée d'alimentation des circuits auxiliaires	U_a	V		(X)	
Fréquence assignée d'alimentation des circuits auxiliaires		Hz		(X)	
Masse (y compris l'huile pour les disjoncteurs à huile)	M	kg	y	y	Plus de 300 kg
Masse du fluide pour la coupure	m	kg	y		Si disjoncteur à huile ou gaz
Séquence de manœuvres assignée			X		

Table 6 – Nameplate information

	Abbrevi-ation	Unit	Circuit-breaker	Operating device	Condition: Marking only required if
1	2	3	4	5	6
Manufacturer			X	X	
Type designation and serial number			X	X	
Rated voltage	U_r	kV	X		
Rated lightning impulse withstand voltage	U_p	kV	X		
Rated switching impulse withstand voltage	U_s	kV	y		Rated voltage 300 kV and above
Rated frequency	f_r	Hz	y		Rating is not applicable at both 50 Hz and 60 Hz
Rated normal current	I_r	A	X		
Rated duration of short circuit	t_k	s	y		Different from 1 s
Rated short-circuit breaking current	I_{sc}	kA	X		
DC component of the rated short-circuit breaking current		%	y		More than 20 %
First pole-to-clear factor	k_{pp}		y		Different from 1,3 for rated voltages 100 kV to 170 kV
Rated out-of-phase breaking current	I_d	kA	(X)		
Rated line-charging breaking current	I_l	A	y		Rated voltage equal to or greater than 72,5 kV
Rated cable-charging breaking current	I_c	A	y		Rated voltage equal to or less than 52 kV
Rated single capacitor bank-breaking current	I_{sb}	A	(X)		
Rated back-to-back capacitor bank-breaking current	I_{bb}	A	(X)		
Rated capacitor bank inrush making current	I_{si}	kA	y		Rated capacitor bank inrush making current is assigned
Rated back-to-back capacitor bank inrush making current	I_{bi}	kA	(X)		
Rated filling pressure for operation	p_{rm}	MPa		(X)	
Rated filling pressure for interruption	p_{re}	MPa	(X)		
Rated supply voltage of closing and opening devices	U_{op}	V		(X)	
Rated supply frequency of closing and opening devices		Hz		(X)	
Rated supply voltage of auxiliary circuits	U_a	V		(X)	
Rated supply frequency of auxiliary circuits		Hz		(X)	
Mass (including oil for oil circuit-breakers)	M	kg	y	y	More than 300 kg
Mass of fluid for interruption	m	kg	y		If gas or oil circuit-breakers

Tableau 6 *(suite)*

	Abrévia-tion	Unité	Disjonc-teur	Dispositif de manœuvre	Condition: marquage seulement si
1	2	3	4	5	6
Année de fabrication			X		
Classe de température			y	y	Différente de – 5 °C pour l'intérieur – 25 °C pour l'extérieur
Classe			y		Si différent de E1, C1, M1, S1 pour les tensions assignées inférieures à 100 kV Si différent de E1, C1, M1 pour les tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV
Date de diffusion de la norme de référence			X	X	
X = le marquage de ces valeurs est obligatoire; pour ces valeurs, les indications qui n'apparaissent pas sur la plaque sont supposées avoir une valeur nulle. (X) = le marquage de ces valeurs est facultatif. y = le marquage de ces valeurs dépend des conditions figurant à la colonne 6.					
NOTE Les abréviations de la colonne 2 peuvent être utilisées à la place des termes de la colonne 1. Lorsque les termes de la colonne 1 sont employés, il n'est pas nécessaire de faire apparaître le mot «assigné».					

5.11 Verrouillages

Le paragraphe 5.11 de la CEI 60694 est applicable.

5.12 Indicateur de position

Le paragraphe 5.12 de la CEI 60694 est applicable.

5.13 Degrés de protection procurés par les enveloppes

Le paragraphe 5.13 de la CEI 60694 est applicable.

5.14 Lignes de fuite

Le paragraphe 5.14 de la CEI 60694 est applicable.

5.15 Etanchéité au gaz et au vide

Le paragraphe 5.15 de la CEI 60694 est applicable.

5.16 Etanchéité au liquide

Le paragraphe 5.16 de la CEI 60694 est applicable.

5.17 Ininflammabilité

Le paragraphe 5.17 de la CEI 60694 est applicable.

5.18 Compatibilité électromagnétique

Le paragraphe 5.18 de la CEI 60694 est applicable.

Table 6 *(continued)*

	Abbrevi-ation	Unit	Circuit-breaker	Operating device	Condition: Marking only required if
1	2	3	4	5	6
Rated operating sequence			X		
Year of manufacture			X		
Temperature class			y	y	Different from – 5 °C indoor –25 °C outdoor
Classification			y		If different from E1, C1, M1, S1 for rated voltages less than 100 kV If different from E1, C1, M1 for rated voltages 100 kV and above
Relevant standard with date of issue			X	X	
X = the marking of these values is mandatory; blanks indicate the value zero. (X) = the marking of these values is optional. y = the marking of these values to the conditions in column (6).					
NOTE The abbreviations in column 2 may be used instead of the terms in column 1. When terms in column 1 are used, the word "rated" need not appear.					

5.11 Interlocking devices

Subclause 5.11 of IEC 60694 is applicable.

5.12 Position indication

Subclause 5.12 of IEC 60694 is applicable.

5.13 Degrees of protection by enclosures

Subclause 5.13 of IEC 60694 is applicable.

5.14 Creepage distances

Subclause 5.14 of IEC 60694 is applicable.

5.15 Gas and vacuum tightness

Subclause 5.15 of IEC 60694 is applicable.

5.16 Liquid tightness

Subclause 5.16 of IEC 60694 is applicable.

5.17 Flammability

Subclause 5.17 of IEC 60694 is applicable.

5.18 Electromagnetic compatibility

Subclause 5.18 of IEC 60694 is applicable.

5.101 Prescriptions concernant la simultanéité des pôles pendant des manœuvres simples de fermeture et d'ouverture

S'il n'y a pas de prescription spéciale concernant le fonctionnement simultané des pôles, la différence maximale entre les instants d'entrée en contact à la fermeture ne doit pas dépasser un quart de période de la fréquence assignée.

S'il n'y a pas de prescription spéciale concernant le fonctionnement simultané des pôles, la différence maximale entre les instants de séparation des contacts à l'ouverture ne doit pas dépasser un sixième de cycle de la fréquence assignée. Si un pôle possède plusieurs éléments de coupure connectés en série, la différence maximale entre les instants de séparation des contacts des éléments de coupure en série ne doit pas dépasser un huitième de cycle à la fréquence assignée.

NOTE Pour un disjoncteur ayant des pôles séparés, cette exigence est applicable lorsque ces pôles manœuvrent dans les mêmes conditions; après une manœuvre de refermeture unipolaire, les conditions de fonctionnement des trois mécanismes peuvent ne pas être identiques.

5.102 Prescription générale de fonctionnement

Un disjoncteur muni de ses organes de manœuvre doit pouvoir effectuer sa séquence de manœuvres assignée (4.104) conformément aux indications correspondantes de 5.5 à 5.9 et du paragraphe 5.103, pour toute température ambiante de sa classe comme défini à l'article 2 de la CEI 60694.

Cette prescription n'est pas applicable aux organes de manœuvre manuels auxiliaires; lorsqu'ils sont fournis, ils ne doivent être utilisés que pour l'entretien et pour des manœuvres de secours sur un circuit hors tension.

Les disjoncteurs munis de dispositifs de chauffage doivent être conçus pour autoriser une manœuvre d'ouverture à la température ambiante minimale, définie par la classe de température, lorsque le chauffage ne fonctionne pas pendant une durée minimale de deux heures.

5.103 Limites de pression des fluides pour la manœuvre

Le constructeur doit indiquer les pressions minimales et maximales du fluide pour la manœuvre pour lesquelles le disjoncteur est capable de fonctionner suivant ses caractéristiques assignées et auxquelles les dispositifs de verrouillage à basse et haute pressions doivent être réglés (voir 5.9). Le constructeur doit indiquer les pressions minimales pour la manœuvre et pour la coupure et l'isolement (voir 3.7.157 et 3.7.158).

Le constructeur peut spécifier les limites de pression pour lesquelles le disjoncteur est capable d'effectuer chacune des performances suivantes:

a) la coupure de son pouvoir de coupure assigné en court-circuit, c'est-à-dire une manœuvre «O»;

b) l'établissement de son pouvoir de fermeture assigné en court-circuit, suivi immédiatement de la coupure de son pouvoir de coupure assigné en court-circuit, c'est-à-dire un cycle de manœuvre «CO»;

c) pour les disjoncteurs prévus pour la refermeture automatique rapide: la coupure de son pouvoir de coupure assigné en court-circuit suivie, après un intervalle de temps t de la séquence de manœuvres assignée (4.104), par l'établissement de son pouvoir de fermeture assigné en court-circuit, immédiatement suivi par une nouvelle coupure de son pouvoir de coupure assigné en court-circuit, c'est-à-dire une séquence de manœuvres «O-t-CO».

5.101 Requirements for simultaneity of poles during single closing and single opening operations

When no special requirement with respect to simultaneous operation of poles is stated, the maximum difference between the instants of contacts touching during closing shall not exceed a quarter of a cycle of rated frequency.

When no special requirement with respect to simultaneous operation of poles is stated, the maximum difference between the instants of contacts separating during opening shall not exceed a sixth of a cycle of rated frequency. If one pole consists of more than one interrupter unit connected in series, the maximum difference between the instants of contact separation within these series connected interrupter units shall not exceed an eighth of a cycle of rated frequency.

NOTE For a circuit-breaker having separate poles, the requirement is applicable when these operate in the same conditions; after a single-pole reclosing operation, the conditions of operation for the three mechanisms may not be the same.

5.102 General requirement for operation

A circuit-breaker, including its operating devices, shall be capable of completing its rated operating sequence (4.104) in accordance with the relevant provisions of 5.5 to 5.9 and 5.103 for the whole range of ambient temperatures within its temperature class as defined in clause 2 of IEC 60694.

This requirement is not applicable to auxiliary manual operating devices; where provided, these shall be used only for maintenance and for emergency operation on a dead circuit.

Circuit-breakers provided with heaters shall be designed to permit an opening operation at the minimum ambient temperature defined by the temperature class when the heaters are not operational for a minimum time of 2 h.

5.103 Pressure limits of fluids for operation

The manufacturer shall state the maximum and minimum pressures of the fluid for operation at which the circuit-breaker is capable of performing according to its ratings and at which the appropriate low- and high-pressure interlocking devices shall be set (see 5.9). The manufacturer shall state the minimum functional pressure for operation and interruption (see 3.7.157 and 3.7.158).

The manufacturer may specify pressure limits at which the circuit-breaker is capable of each of the following performances:

a) breaking its rated short-circuit breaking current, i.e. an "O" operation;

b) making its rated short-circuit making current immediately followed by breaking its rated short-circuit breaking current, i.e. a "CO" operating cycle;

c) for circuit-breakers intended for rapid auto-reclosing; breaking its rated short-circuit breaking current followed after a time interval t of the rated operating sequence (4.104) by making its rated short-circuit making current, immediately followed again by breaking its rated short-circuit breaking current, i.e. an "O - t - CO" operating sequence.

Le disjoncteur doit comporter des réserves d'énergie de capacité suffisante pour lui permettre d'accomplir de façon satisfaisante les manœuvres appropriées aux valeurs indiquées des pressions minimales correspondantes.

5.104 Orifice d'évacuation

Les orifices d'évacuation sont des dispositifs qui permettent un échappement de l'huile ou du gaz contenu dans le disjoncteur pendant la manœuvre.

NOTE Cela est applicable aux disjoncteurs à air comprimé et à huile.

Les orifices d'évacuation des disjoncteurs doivent être placés de telle sorte que l'évacuation des vapeurs d'huile, du gaz ou des deux, ne provoque pas d'amorçage électrique et soit dirigée en dehors de toute zone dans laquelle une personne quelconque est susceptible de se trouver. La distance nécessaire de sécurité doit être indiquée par le constructeur.

La construction doit être telle que le gaz ne puisse s'accumuler à un endroit quelconque où l'inflammation peut être provoquée, pendant ou après la manœuvre, par des étincelles dues à la manœuvre normale du disjoncteur ou de ses équipements auxiliaires.

6 Essais de type

L'article 6 de la Publication 60694 de la CEI est applicable avec les compléments suivants:

Les essais de type de disjoncteurs sont donnés dans le tableau 7.

Pour les essais de type, les tolérances sur les grandeurs d'essais sont données dans l'annexe B.

En principe, chaque essai de type doit être effectué sur un disjoncteur à l'état neuf et propre. Dans le cas de disjoncteurs qui utilisent le SF_6 pour l'isolement, la coupure et/ou la manœuvre, la qualité du gaz doit au moins satisfaire aux critères d'acceptation de la CEI 60480.

La responsabilité du constructeur est limitée aux valeurs spécifiées et non aux valeurs obtenues au cours des essais de type.

L'incertitude des mesures effectuées par un oscillographe ou par des équipements équivalents (par exemple enregistreur transitoire), incluant tous ses dispositifs associés, sur les grandeurs qui définissent les caractéristiques assignées (par exemple courant en court-circuit, tension appliquée et tension de rétablissement) doit être comprise entre ±5 % (soit un facteur d'élargissement de 2,0).

NOTE La signification du facteur d'élargissement est donnée dans le Guide ISO sur les incertitudes de mesure (1995) [12].

The circuit-breakers shall be provided with energy storage of sufficient capacity for satisfactory performance of the appropriate operations at the corresponding minimum pressures stated.

5.104 Vent outlets

Vent outlets are devices which allow a deliberate release of pressure in a circuit-breaker during operation.

NOTE This is applicable to air, air-blast and oil circuit-breakers.

Vent outlets of circuit-breakers shall be so situated that a discharge of oil or gas or both will not cause electrical breakdown and is directed away from any location where persons may be present. The necessary safety distance shall be stated by the manufacturer.

The construction shall be such that gas cannot collect at any point where ignition can be caused, during or after operation, by sparks arising from normal operation of the circuit-breaker or its auxiliary equipment.

6 Type tests

Clause 6 of IEC 60694 is applicable with the following additions:

The type tests for circuit-breakers are listed in table 7.

For the type tests, the tolerances on test quantities are given in annex B.

The individual type tests shall, in principle, be performed on a circuit-breaker in a new and clean condition. In case of circuit-breakers using SF_6 for insulation, interruption and/or operation, the quality of the gas shall at least comply with the acceptance levels of IEC 60480.

The responsibility of the manufacturer is limited to the declared rated values and not to those values achieved during the type tests.

The uncertainty of each measurement by oscillograph or equivalent equipment (for example transient recorder), including associated equipment, of the quantities which determine the ratings (for example short-circuit current, applied voltage and recovery voltage) shall be within ±5 % (equal to a coverage factor of 2,0).

NOTE For the meaning of coverage factor, see ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement (1995) [12].

Tableau 7 – Essais de type

Essais de type obligatoires	Paragraphes
Essais diélectriques	6.2
Essais de tension de perturbation radioélectrique	6.3
Mesurage de la résistance du circuit principal	6.4
Essais d'échauffement	6.5
Essais au courant de courte durée et à la valeur de crête du courant admissible	6.6
Essais d'étanchéité	6.8
Essais de compatibilité électromagnétique (CEM)	6.9
Essais mécaniques à température ambiante	6.101.2.1 à 6.101.2.3
Essais d'établissement et de coupure en court-circuit	6.102 à 6.106
Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs: - courants de lignes à vide ($U_r \geq$ 72,5 kV)	6.111.5.1
Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs: - courants de câbles à vide ($U_r \leq$ 52 kV)	6.111.5.2
Essais de type obligatoires, si applicables	**Paragraphes**
Vérification du degré de protection	6.7
Essais d'endurance mécanique accrue pour les disjoncteurs prévus pour des exigences spéciales de service * #	6.101.2.4
Essais à haute et à basse température	6.101.3
Essais à l'humidité	6.101.4
Essais avec des efforts statiques sur les bornes	6.101.6
Essais au courant critique	6.107
Défaut proche en ligne * # ($U_r \geq$ 15 kV et I_{sc} > 12,5 kA, dans le cas d'une connection directe à des lignes aériennes dans des réseaux à neutre à la terre)	6.109
Essais d'établissement et de coupure en discordance de phases *#	6.110
Essais d'endurance électrique (seulement pour les tensions assignées inférieures ou égales à 52 kV) *	6.112
Essais pour vérifier le fonctionnement dans des conditions sévères de formation de glace *#	6.101.5
Essais de défaut monophasé ou biphasé à la terre *#	6.108
Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs – courants de lignes à vide* ($U_r \leq$ 52 kV) – courants de câbles à vide # ($U_r \geq$ 72,5 kV) – courants de batterie unique de condensateur *# – courants de batterie de condensateurs à gradins * #	 6.111.5.1 6.111.5.2 6.111.5.3 6.111.5.3
Manœuvre de réactances shunt et de moteurs *#	CEI 61233*

NOTE Tous les essais de type doivent être effectués en utilisant le nombre de spécimens d'essais spécifié en 6.1.1 de la CEI 60694 et en 6.102.2.

Dans le cas de disjoncteurs de tension assignée inférieure ou égale à 52 kV, un spécimen d'essai supplémentaire peut être utilisé lorsque l'essai est marqué par*. Dans le cas de disjoncteurs de tension assignée supérieure ou égale à 72,5 kV, un spécimen d'essai supplémentaire peut être utilisé lorsque l'essai est marqué par # .

Table 7 – Type tests

Mandatory type tests	Subclauses
Dielectric tests	6.2
Radio interference voltage tests	6.3
Measurement of the resistance of the main circuit	6.4
Temperature-rise tests	6.5
Short-time withstand current and peak withstand current tests	6.6
Tightness tests	6.8
EMC tests	6.9
Mechanical operation test at ambient temperature	6.101.2.1 to 6.101.2.3
Short-circuit current making and breaking tests	6.102 to 6.106
Capacitive current switching tests: line-charging current breaking tests ($U_r \geq$ 72,5 kV)	6.111.5.1
Capacitive current switching tests: cable-charging current breaking tests ($U_r \leq$ 52 kV)	6.111.5.2
Mandatory type tests, where applicable	**Subclauses**
Verification of the degree of protection	6.7
Extended mechanical endurance tests on circuit-breakers for special service conditions *#	6.101.2.4
Low and high temperature tests	6.101.3
Humidity test	6.101.4
Static terminal load tests	6.101.6
Critical current tests	6.107
Short-line fault tests * # ($U_r \geq$ 15 kV and I_{sc} > 12,5 kA, in case of direct connection to overhead lines in systems with earthed neutral)	6.109
Out-of-phase making and breaking tests *#	6.110
Electrical endurance tests (only for rated voltages of 52 kV and below) *#	6.112
Test to prove operation under severe ice conditions *#	6.101.5
Single-phase and double earth fault tests *#	6.108
Capacitive current switching tests: – line-charging current breaking tests* ($U_r \leq$ 52 kV) – cable-charging current breaking tests # ($U_r \geq$ 72,5 kV) – single capacitor bank switching tests *# – back-to-back capacitor bank switching tests *#	 6.111.5.1 6.111.5.2 6.111.5.3 6.111.5.3
Switching of shunt reactors and motors *#	IEC 61233 *

NOTE All type tests shall be carried out using the number of test samples specified in 6.1.1 of IEC 60694 and in 6.102.2. Where, in the case of circuit-breakers with a rated voltage of up to and including 52 kV, the test is marked by*, an additional test sample is allowed for the marked test.

Where, in the case of circuit-breakers with a rated voltage of 72,5 kV and above, the test is marked by #, an additional test sample is allowed for the marked test.

6.1 Généralités

6.1.1 Groupement des essais

Le paragraphe 6.1.1 de la CEI 60694 est applicable.

6.1.2 Informations pour l'identification des spécimens d'essai

Le paragraphe 6.1.2 de la CEI 60694 est applicable.

6.1.3 Informations à inclure dans les rapports d'essais

Le paragraphe 6.1.3 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

D'autres détails, concernant les enregistrements et les rapports d'essais de type d'établissement ou coupure de courant, et de tenue au courant de courte durée et à la valeur de crête du courant admissible, sont donnés à l'annexe C.

6.2 Essais diélectriques

6.2.1 Conditions de l'air ambiant pendant les essais

Le paragraphe 6.2.1 de la CEI 60694 est applicable.

6.2.2 Modalité des essais sous pluie

Le paragraphe 6.2.2 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

NOTE Pour les disjoncteurs à cuve mise à la terre, les essais sous pluies peuvent être omis lorsque les traversées ont été essayées au préalable suivant la norme CEI applicable.

6.2.3 Etat du disjoncteur pendant les essais diélectriques

Le paragraphe 6.2.3 de la CEI 60694 est applicable.

6.2.4 Conditions de réussite aux essais

Le paragraphe 6.2.4 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

Le disjoncteur a réussi les essais aux chocs si les conditions suivantes sont remplies:

a) le nombre des décharges disruptives ne doit pas dépasser deux pendant chaque série de 15 chocs;
b) aucune décharge disruptive ne doit se produire sur l'isolation non auto-régénératrice.

Cela est vérifié par au moins cinq chocs sans décharge disruptive après le dernier choc de la série de 15 chocs, pendant laquelle s'est produit la dernière décharge disruptive. Si ce choc est l'un des cinq derniers d'une série de 15 chocs, des chocs supplémentaires doivent être effectués.

Si des décharges disruptives se produisent et si, pour quelle raison que ce soit, la preuve que les décharges disruptives étaient exclusivement sur l'isolation auto-régénératrice ne peut être donnée, le disjoncteur doit être démonté après les essais diélectriques et inspecté. Si des perforations de l'isolation non auto-régénératrice sont observées, le disjoncteur n'a pas satisfait aux essais.

NOTE 1 Pour les disjoncteurs d'appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse essayés avec des traversées qui ne font pas partie du disjoncteur, les amorçages sur les traversées d'essais ne devraient pas être pris en compte.

6.1 General

6.1.1 Grouping of tests

Subclause 6.1.1 of IEC 60694 is applicable.

6.1.2 Information for identification of specimens

Subclause 6.1.2 of IEC 60694 is applicable.

6.1.3 Information to be included in type test reports

Subclause 6.1.3 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

Further details relating to records and reports of type tests for making, breaking and short-time current performance are given in annex C.

6.2 Dielectric tests

6.2.1 Ambient air conditions during tests

Subclause 6.2.1 of IEC 60694 is applicable.

6.2.2 Wet test procedure

Subclause 6.2.2 of IEC 60694 is applicable with the following note:

NOTE In the case of dead tank circuit-breakers, when the bushings have been previously tested according to the relevant IEC standard, tests under wet conditions can be omitted.

6.2.3 Condition of circuit-breaker during dielectric tests

Subclause 6.2.3 of IEC 60694 is applicable.

6.2.4 Criteria to pass the test

Subclause 6.2.4 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

The circuit-breaker has passed the impulse tests if the following conditions are fulfilled:

a) the number of disruptive discharges shall not exceed two for each series of 15 impulses;

b) no disruptive discharges on non-self-restoring insulation shall occur.

This is verified by at least five impulses without disruptive discharge following that impulse out of the series of 15 impulses, which caused the last disruptive discharge. If this impulse is one of the last five out of the series of 15 impulses, additional impulses shall be applied.

If disruptive discharges occur and, for any reason, evidence cannot be given during testing that the disruptive discharges were on self-restoring insulation, after the completion of the dielectric tests the circuit-breaker shall be dismantled and inspected. If punctures of non-self-restoring insulation are observed, the circuit-breaker has failed the test.

NOTE 1 For GIS circuit-breakers tested with test bushings which are not part of the circuit-breaker, flashover across the test bushings should be disregarded.

NOTE 2 La détermination de la localisation des décharges disruptives devrait être faite par le laboratoire en utilisant des moyens de détection suffisants, comme par exemple photographies, enregistrements vidéo, inspection interne, etc.

6.2.5 Application de la tension d'essai et conditions d'essai

Le paragraphe 6.2.5 de la CEI 60694 est applicable.

6.2.6 Essais des disjoncteurs de $U_r \leq 245$ kV

Le paragraphe 6.2.6 de la CEI 60694 est applicable.

6.2.6.1 Essais de tension à fréquence industrielle

Le paragraphe 6.2.6.1 de la CEI 60694 est applicable avec la note suivante:

NOTE Dans le cas de disjoncteurs à cuve mise à la terre, les essais sous pluie peuvent être omis lorsque les traversées ont été essayées au préalable suivant la norme CEI applicable.

6.2.6.2 Essais de tension de choc de foudre

Le paragraphe 6.2.6.2 de la CEI 60694 est applicable.

6.2.7 Essais des disjoncteurs de $U_r > 245$ kV

Le paragraphe 6.2.7 de la CEI 60694 est applicable.

6.2.7.1 Essais de tension à fréquence industrielle

Le paragraphe 6.2.7.1 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

La procédure d'essai qui suit la méthode en variante est plus sévère que celle qui suit la méthode préférentielle.

6.2.7.2 Essais de tension de choc de manœuvre

Le paragraphe 6.2.7.2 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

Pour les disjoncteurs d'usage extérieur, les essais à sec sont effectués seulement à la polarité positive. Le disjoncteur étant en position de fermeture, on applique une tension d'essai égale à la tension de tenue assignée par rapport à la terre, pour chaque condition d'essai du tableau 9 de la CEI 60694.

Le disjoncteur étant en position d'ouverture, on applique une tension d'essai égale à la tension de tenue assignée par rapport à la terre, pour chaque condition d'essai du tableau 9 de la CEI 60694.

Pour les disjoncteurs prévus pour des applications spéciales (selon 4.2), une seconde série d'essais doit être effectuée avec les tensions d'essai de la colonne (6) du tableau 2a ou 2b de la CEI 60694. Pour chaque condition d'essai du tableau 11 de la CEI 60694, une borne doit être alimentée à la tension de choc de manœuvre et la borne opposée à la tension à fréquence industrielle.

Sous réserve de l'approbation du fabricant, l'essai avec le disjoncteur ouvert peut être effectué en évitant d'utiliser la source de tension à fréquence industrielle. Cette série d'essais consiste en une application, à chaque borne à tour de rôle, d'impulsions à une tension égale à la somme de la tension de choc de manœuvre et de la valeur de crête indiquée à la colonne (6) des tableaux 2a et 2b dans la CEI 60694, la borne opposée étant reliée à la masse.

NOTE 2 The determination of the location of the observed disruptive discharges should be carried out by the laboratory using sufficient detection means, for example, photographs, video recordings, internal inspection, etc.

6.2.5 Application of test voltage and test conditions

Subclause 6.2.5 of IEC 60694 is applicable.

6.2.6 Tests of circuit-breakers of $U_r \leq 245$ kV

Subclause 6.2.6 of IEC 60694 is applicable.

6.2.6.1 Power-frequency voltage tests

Subclause 6.2.6.1 of IEC 60694 is applicable with the following note:

NOTE In the case of dead tank circuit-breakers, when the bushings have been previously tested according to the relevant IEC standard, tests under wet conditions can be omitted.

6.2.6.2 Lightning impulse voltage test

Subclause 6.2.6.2 of IEC 60694 is applicable.

6.2.7 Tests of circuit-breakers of $U_r > 245$ kV

Subclause 6.2.7 of IEC 60694 is applicable.

6.2.7.1 Power-frequency voltage tests

Subclause 6.2.7.1 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

The test procedure following the alternative method is more severe than the test procedure following the preferred method.

6.2.7.2 Switching impulse voltage tests

Subclause 6.2.7.2 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

For outdoor circuit-breakers dry tests shall be performed using voltage of positive polarity only. With the circuit-breaker closed, the test voltage equal to the rated withstand voltage to earth shall be applied for each test condition of table 9 of IEC 60694.

With the circuit-breaker open, the test voltage equal to the rated withstand voltage to earth shall be applied for each test condition of table 9 of IEC 60694.

A second test series, with the test voltages according to column 6 of tables 2a and 2b of IEC 60694, shall be performed for circuit-breakers intended for special applications as stated in 4.2. For each test condition of table 11 of IEC 60694, one terminal shall be energised with switching impulse voltage and the opposite terminal with power-frequency voltage.

Subject to the manufacturer's approval, the test with the circuit-breaker open can be performed avoiding the use of the power-frequency voltage source. This test series consists of the application, to each terminal in turn, of impulses at a voltage equal to the sum of the switching impulse voltage and the peak value stated in column (6) of tables 2a and 2b in IEC 60694, the opposite terminal being earthed.

Le point b) de 6.2.5.2 de la CEI 60694 doit être pris en compte. En général, cet essai est plus sévère que celui de la procédure d'essais spécifiée.

6.2.7.3 Essais de tension de choc de foudre

Le paragraphe 6.2.7.3. de la CEI 60694 s'applique avec l'addition suivante:

Le disjoncteur étant en position de fermeture, on applique une tension d'essai égale à la tension de tenue assignée par rapport à la terre, pour chaque condition d'essai du tableau 9 de la CEI 60694.

Le disjoncteur étant en position d'ouverture, on applique une tension d'essai égale à la tension de tenue assignée sur l'appareil ouvert, pour chaque condition d'essai du tableau 11 de la CEI 60694.

Sous réserve de l'approbation du constructeur, l'essai avec le disjoncteur ouvert peut être effectué en évitant d'utiliser la source de tension à la fréquence industrielle. Cette série d'essais applique à chaque borne à tour de rôle (ou sur une borne si la disposition des bornes est symmétrique par rapport à la base), 15 chocs consécutifs à une tension égale à la somme de la tension de tenue au choc de foudre et de la valeur de crête indiquée à la colonne (8) du tableau 2a ou 2b de la CEI 60694, la borne opposée étant reliée à la terre. Les points a) et b) de la CEI 60694 doit être pris en compte. En général, cet essai est plus sévère que celui de la procédure d'essais spécifiée.

6.2.8 Essais de pollution artificielle

Le paragraphe 6.2.8 de la Publication 60694 de la CEI est applicable.

6.2.9 Essais de décharges partielles

Le paragraphe 6.2.9 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

La réalisation d'essais de décharges partielles sur le disjoncteur complet n'est normalement pas demandée. Toutefois, pour les disjoncteurs comportant des éléments auxquels s'applique une norme particulière de la CEI prévoyant des mesurages de décharges partielles (par exemple les traversées, voir la CEI 60137), le constructeur doit prouver que ces éléments ont satisfait aux essais de décharges partielles prévus par la norme particulière de la CEI.

6.2.10 Essais des circuits auxiliaires et de commande

Le paragraphe 6.2.10 de la CEI 60694 est applicable.

6.2.11 Essais de tension comme vérification d'état

Le paragraphe 6.2.11 de la CEI 60694 s'applique avec le complément suivant:

Lorsqu'après des essais de fermeture, d'ouverture ou de coupure (voir 6.102.9) ou après des essais mécaniques ou climatiques (voir 6.102.1.4) un essai de tension est réalisé à des fins de contrôle, les conditions suivantes doivent s'appliquer.

Pour les disjoncteurs ayant un arrangement asymétrique des pièces de passage du courant les connexions doivent être interverties. Les essais complets doivent être effectués une fois pour chaque disposition des connexions.

– Disjoncteurs avec $U_r \leq 72{,}5$ kV

  Un essai de tension à la fréquence industrielle de 1 minute doit être effectué. La tension d'essai doit être égale à 80 % de la valeur indiquée dans le tableau 1a, colonne (2) de la CEI 60694.

Item b) of 6.2.5.2 of IEC 60694 shall be taken into account. In general, this test is more severe than that following the specified test procedure.

6.2.7.3 Lightning impulse voltage tests

Subclause 6.2.7.3 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

With the circuit-breaker closed, the test voltage equal to the rated withstand voltage to earth shall be applied for each test condition of table 9 of IEC 60694.

With the circuit-breaker open, the test voltage equal to the rated withstand voltage across the open switching device shall be applied for each test condition of table 11 of IEC 60694.

Subject to the manufacturer's approval, the test with the circuit-breaker open can be performed avoiding the use of the power-frequency voltage source. This test series applies to each terminal in turn (or on one terminal if the arrangement of the terminals is symmetrical with respect to the base), 15 consecutive impulses at a voltage equal to the sum of the rated lightning impulse withstand voltage and the peak value stated in column (8) of tables 2a and 2b of IEC 60694, the opposite terminal being earthed. Item a) and item b) of 6.2.5.2 of IEC 60694 shall be taken into account. In general, this test is more severe than that following the specified test procedure.

6.2.8 Artificial pollution tests

Subclause 6.2.8 of IEC 60694 is applicable.

6.2.9 Partial discharge tests

Subclause 6.2.9 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

Partial discharge tests are not normally required to be performed on the complete circuit-breaker. However, in the case of circuit-breakers using components for which a relevant IEC standard exists, including partial discharge measurements (for example, bushings, see IEC 60137), evidence shall be produced by the manufacturer showing that those components have passed the partial discharge tests as laid down in the relevant IEC standard.

6.2.10 Tests on auxiliary and control circuits

Subclause 6.2.10 of IEC 60694 is applicable.

6.2.11 Voltage test as a condition check

Subclause 6.2.11 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

Where after making, breaking or switching tests (see 6.102.9) or where after mechanical or environmental tests (see 6.101.1.4) a voltage test is performed as a condition check, the following conditions shall apply:

For circuit-breakers with an asymmetrical current path, the connections shall be reversed. The complete tests shall be carried out once for each arrangement of the connections.

– Circuit-breakers with $U_r \leq 72{,}5$ kV

  A 1 min power-frequency voltage test shall be performed. The test voltage shall be 80 % of the value in table 1a, column (2) of IEC 60694.

– Disjoncteurs avec 72,5 kV < U_r ≤ 245 kV

  Un essai de tension de choc doit être effectué. La valeur de crête de la tension de choc doit être égale à 60 % de la valeur la plus élevée applicable du tableau 1a, colonne (4) de la CEI 60694.

– Disjoncteurs avec 300 kV ≤ U_r ≤ 420 kV

  Un essai de tension de choc doit être effectué. La valeur de crête de la tension de choc doit être égale à 80 % de la tension de tenue au choc de manœuvre indiquée au tableau 2a de la CEI 60694. La tension de tenue au choc de manœuvre peut être prise soit dans la colonne (4) soit dans la colonne (6) de ce tableau. La valeur de référence pour la vérification d'état doit être prise dans la même colonne.

– Disjoncteurs avec 550 kV ≤ U_r ≤ 800 kV

  Un essai de tension de choc doit être effectué. La valeur de crête de la tension de choc doit être égale à 90 % de la tension de tenue au choc de manœuvre indiquée au tableau 2a de la CEI 60694. La tension de tenue au choc de manœuvre peut être prise, soit dans la colonne (4), soit dans la colonne (6) de ce tableau. La valeur de référence pour la vérification d'état doit être prise dans la même colonne.

Lorsqu'un essai de tension de choc doit être effectué, cinq chocs de chaque polarité doivent être appliqués. Le disjoncteur doit être considéré comme ayant réussi l'essai, s'il ne se produit aucune décharge disruptive.

Pour l'essai de tension de choc, on peut utiliser les équipements d'essai du laboratoire de puissance. La forme d'onde de la tension de choc doit être, soit un choc de manœuvre normal, soit une forme d'onde conforme à la tension transitoire de rétablissement spécifiée pour le défaut aux bornes T10. Pour les essais avec la forme d'onde conforme à T10, des tolérances de –10 % et +200 % sont autorisées sur le temps t_3.

NOTE 1 Quel que soit l'état du disjoncteur, la comparaison des essais a montré qu'il n'y a pratiquement pas de différence dans le comportement des disjoncteurs, à l'état neuf ou usagé, quand l'essai est effectué avec des chocs de manœuvre normalisés ou avec des impulsions de type TTR avec une forme d'onde conforme au défaut aux bornes T10.

NOTE 2 Si l'essai est effectué avec des impulsions de type TTR avec la forme d'onde T10, l'équivalence avec l'impulsion de choc de manœuvre est maintenue si les règles suivantes sont appliquées:

– l'amortissement de la tension transitoire devrait être tel que la deuxième crête de l'oscillation de la tension transitoire ne dépasse pas 80 % de la première;

– environ 2,5 ms après la crête, la valeur réelle de la tension de rétablissement devrait être de l'ordre de 50 % de la valeur de crête.

6.3 Essais de tension de perturbation radioélectrique

Le paragraphe 6.3 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

Les essais peuvent être effectués sur un pôle du disjoncteur dans les deux positions de fermeture et d'ouverture. Pendant les essais le disjoncteur doit être équipé de tous les accessoires tels que condensateurs de répartition, anneaux de garde, connecteurs HT, etc., qui peuvent influencer la performance de tension de perturbation radioélectrique.

6.4 Mesurage de la résistance du circuit principal

Le paragraphe 6.4 de la CEI 60694 est applicable.

6.5 Essais d'échauffement

6.5.1 Etat du disjoncteur en essai

Le paragraphe 6.5.1 de la CEI 60694 est applicable.

– Circuit-breakers with 72,5 kV < U_r ≤ 245 kV

  An impulse voltage test shall be performed. The crest value of the impulse voltage shall be 60 % of the highest relevant value in table 1a, column (4) of IEC 60694.

– Circuit-breakers with 300 kV ≤ U_r ≤ 420 kV

  An impulse voltage test shall be performed. The crest value of the impulse voltage shall be 80 % of the rated switching impulse withstand voltage given in table 2a of IEC 60694. The rated switching impulse withstand voltage may be taken either from column (4) or from column (6) of this table. The reference value for the condition check shall be taken from the same column.

– Circuit-breakers with 550 kV ≤ U_r ≤ 800 kV

  An impulse voltage test shall be performed. The crest value of the impulse voltage shall be 90 % of the rated switching impulse withstand voltage given in table 2a of IEC 60694. The rated switching impulse withstand voltage may be taken either from column (4) or from column (6) of this table. The reference value for the condition check shall be taken from the same column.

Where an impulse voltage test shall be carried out, five impulses of each polarity shall be applied. The circuit-breaker shall be considered to have passed the test if no disruptive discharge occurs.

For the impulse voltage test, the synthetic testing equipment of the power laboratory may be applied. The waveshape of the impulse voltage shall be either a standard switching impulse or a waveshape according to the TRV specified for terminal fault T10. For the test with the waveshape according to T10, timing tolerances of –10 % and +200 % on time t_3 are permitted.

NOTE 1 Comparative tests have shown that there are almost no differences in the behaviour of the circuit-breakers, both in new and in worn conditions, when testing is performed with standard switching impulses or with TRV impulses with a waveshape in accordance with terminal fault T10, respectively.

NOTE 2 If the tests are performed using the TRV impulse with a T10 waveshape, equivalence is maintained to the standard switching impulse if the following rules are applied:

– the damping of the TRV should be such that the second peak of the TRV oscillation is not higher than 80 % of the first one;

– about 2,5 ms after the peak the actual value of the recovery voltage should be in the range of 50 % of the peak value.

6.3 Radio interference voltage (r.i.v.) tests

Subclause 6.3 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

Tests may be performed on one pole of the circuit-breaker in both closed and open position. During the tests the circuit-breaker shall be equipped with all accessories such as grading capacitors, corona rings, HV connectors, etc., which may influence the radio interference voltage performance.

6.4 Measurement of the resistance of the main circuit

Subclause 6.4 of IEC 60694 is applicable.

6.5 Temperature-rise tests

6.5.1 Conditions of the circuit-breaker to be tested

Subclause 6.5.1 of IEC 60694 is applicable.

6.5.2 Disposition de l'appareil

Le paragraphe 6.5.2 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

Dans le cas d'un disjoncteur non muni d'accessoires branchés en série, l'essai doit être effectué avec le courant assigné en service continu du disjoncteur.

Dans le cas d'un disjoncteur muni d'accessoires branchés en série possédant une gamme de courants assignés en service continu, il doit être procédé aux essais suivants:

a) un essai sur le disjoncteur muni d'accessoires ayant un courant assigné en service continu égal à celui du disjoncteur, et effectué au courant assigné en service continu du disjoncteur;
b) une série d'essais sur le disjoncteur muni des accessoires prévus, et effectués avec des courants égaux au courant assigné en service continu de chaque accessoire.

NOTE Si les accessoires peuvent être retirés du disjoncteur, et s'il est évident que l'échauffement du disjoncteur et des accessoires ne s'affectent pas mutuellement de façon appréciable, l'essai en b) ci-dessus peut être remplacé par une série d'essais sur les seuls accessoires.

6.5.3 Mesurage de la température et de l'échauffement

Le paragraphe 6.5.3 de la CEI 60694 est applicable.

6.5.4 Température de l'air ambiant

Le paragraphe 6.5.4 de la CEI 60694 est applicable.

6.5.5 Essais d'échauffement des équipements auxiliaires et de commande

Le paragraphe 6.5.5 de la CEI 60694 est applicable.

6.5.6 Interprétation des essais d'échauffement

Le paragraphe 6.5.6 de la CEI 60694 est applicable

6.6 Essais au courant de courte durée et à la valeur de crête du courant admissible

Le paragraphe 6.6 de la CEI 60694 est applicable.

6.6.1 Disposition du disjoncteur et du circuit d'essai

Le paragraphe 6.6.1 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

Si le disjoncteur est équipé de déclencheurs directs à maximum de courant, ceux-ci doivent être disposés en essai avec la bobine correspondant au courant de fonctionnement minimal réglée pour fonctionner au courant maximal et au temps de retard maximal; la bobine doit être reliée au côté source du circuit d'essai. Si le disjoncteur peut être utilisé sans déclencheurs directs à maximum de courant, il doit également être essayé sans eux.

Pour d'autres disjoncteurs à déclenchement autonome, le déclencheur à maximum de courant doit être disposé en essai avec les réglages correspondant au fonctionnement au courant maximal et au temps de retard maximal. Si le disjoncteur peut être utilisé sans déclencheur, il doit également être essayé sans eux.

6.5.2 Arrangement of the equipment

Subclause 6.5.2 of IEC 60694 is applicable with the following additions:

For a circuit-breaker not fitted with series connected accessories, the test shall be made with the rated normal current of the circuit-breaker.

For a circuit-breaker fitted with series connected accessories having a range of rated normal currents, the following tests shall be made:

a) a test of the circuit-breaker fitted with the series connected accessories having a rated normal current equal to that of the circuit-breaker, and made at the rated normal current of the circuit-breaker;

b) a series of tests of the circuit-breaker fitted with the intended accessories, and made with currents equal to the rated normal current of each accessory.

NOTE If the accessories can be removed from the circuit-breaker, and if it is evident that the temperature rise of the circuit-breaker and of the accessories do not appreciably influence each other, test b) above may be replaced by a series of tests on the accessories alone.

6.5.3 Measurement of the temperature and the temperature rise

Subclause 6.5.3 of IEC 60694 is applicable.

6.5.4 Ambient air temperature

Subclause 6.5.4 of IEC 60694 is applicable.

6.5.5 Temperature-rise tests of the auxiliary and control equipment

Subclause 6.5.5 of IEC 60694 is applicable.

6.5.6 Interpretation of the temperature-rise tests

Subclause 6.5.6 of IEC 60694 is applicable.

6.6 Short-time withstand current and peak withstand current tests

Subclause 6.6 of IEC 60694 is applicable.

6.6.1 Arrangement of the circuit-breaker and of the test circuit

Subclause 6.6.1 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

If the circuit-breaker is fitted with direct over-current releases, these shall be arranged for test with the coil of the minimum operating current set to operate at the maximum current and maximum time delay; the coil shall be connected to the source side of the test circuit. If the circuit-breaker can be used without direct over-current releases, it shall also be tested without it.

For other self-tripping circuit-breakers, the over-current release shall be arranged for test with the settings to operate at the maximum current and maximum delay time. If the circuit-breaker can be used without the release, it shall also be tested without it.

6.6.2 Valeurs du courant d'essai et de sa durée

Le paragraphe 6.6.2 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

Pour les disjoncteurs à déclenchement autonome, la séquence de manœuvres assignée, limitée aux seules manœuvres d'ouverture, doit être effectuée. La moyenne des valeurs efficaces des composantes périodiques du courant coupé pour l'ensemble des phases et des manœuvres doit être considérée comme étant la valeur efficace du courant de courte durée admissible bien qu'il soit possible d'utiliser des valeurs de courant présumé lorsque l'essai est effectué à la tension assignée.

6.6.3 Comportement du disjoncteur au cours de l'essai

Le paragraphe 6.6.3 de la CEI 60694 est applicable.

6.6.4 Etat du disjoncteur après l'essai

Le paragraphe 6.6.4 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

Après les essais des disjoncteurs à déclenchement autonome, l'état du disjoncteur doit être conforme à 6.102.9 et il doit être montré que le déclencheur à maximum de courant est encore capable de fonctionner correctement. Un essai d'injection à 110 % du courant minimum de déclenchement, tel qu'il est déclaré par le constructeur, constitue une démonstration satisfaisante.

6.7 Vérification du degré de protection

6.7.1 Vérification de la codification IP

Le paragraphe 6.7.1 de la CEI 60694 s'applique à toutes les parties des disjoncteurs qui sont accessibles en service normal.

6.7.2 Essai aux impacts mécaniques

Le paragraphe 6.7.2 de la CEI 60694 s'applique.

6.8 Essais d'étanchéité

Le paragraphe 6.8 de la CEI 60694 s'applique.

6.9 Essais de compatibilité électromagnétique

Le paragraphe 6.9 de la CEI 60694 s'applique.

6.101 Essais mécaniques et climatiques

6.101.1 Dispositions diverses pour les essais mécaniques et climatiques

6.101.1.1 Caractéristiques de déplacement mécanique de référence

Au début des essais de type, les caractéristiques mécaniques du déplacement du contact mobile du disjoncteur doivent être déterminées, par exemple, en enregistrant les courbes à vide. Ces courbes serviront de référence. Le but de ces caractéristiques de déplacement mécanique de référence est de caractériser le comportement mécanique du disjoncteur. Des essais similaires sont requis avant et/ou après d'autres essais incluant les essais d'environnement, de fermeture, de coupure et de commutation et lors des essais individuels et de mise en service, si applicable.

6.6.2 Test current and duration

Subclause 6.6.2 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

For self-tripping circuit-breakers, the rated operating sequence confined to opening operations only shall be performed. The average of the r.m.s. values of the a.c. components of the breaking current in all phases and operations shall be considered as the r.m.s. value of the short-time current except that where the test is made at rated voltage, prospective current values may be used.

6.6.3 Behaviour of the circuit-breaker during test

Subclause 6.6.3 of IEC 60694 is applicable.

6.6.4 Conditions of the circuit-breaker after test

Subclause 6.6.4 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

After the tests of self-tripping circuit-breakers, the conditions of the circuit-breaker shall comply with 6.102.9, and it shall be demonstrated that the over-current release is still in order to operate correctly. A primary injection test at 110 % of the minimum tripping current, as declared by the manufacturer, is a satisfactory demonstration.

6.7 Verification of the degree of protection

6.7.1 Verification of the IP coding

Subclause 6.7.1 of IEC 60694 is applicable to all parts of circuit-breakers which are accessible in normal service.

6.7.2 Mechanical impact test

Subclause 6.7.2 of IEC 60694 is applicable.

6.8 Tightness tests

Subclause 6.8 of IEC 60694 is applicable.

6.9 Electromagnetic compatibility (EMC) tests

Subclause 6.9 of IEC 60694 is applicable.

6.101 Mechanical and environmental tests

6.101.1 Miscellaneous provisions for mechanical and environmental tests

6.101.1.1 Reference mechanical travel characteristics

At the beginning of the type tests, the mechanical travel characteristics of the circuit-breaker shall be established, for example, by recording no-load travel curves. These curves will serve as the reference mechanical travel characteristics. The purpose of these reference mechanical travel characteristics is to characterise the mechanical behaviour of the circuit-breaker. Similar tests are required before and/or after other tests including environmental, making, breaking and switching tests and at the time of routine testing and commissioning tests, if applicable.

Les caractéristiques fonctionnelles suivantes doivent être enregistrées:

– caractéristiques de déplacement mécanique pendant l'ouverture et la fermeture;
– le capteur utilisé pour l'enregistrement des caractéristiques de déplacement mécanique doit être installé à un endroit approprié où ces caractéristiques de déplacement mécanique pourront être obtenues de la meilleure manière possible, soit directement soit indirectement. La position sera notée dans le rapport d'essais. La courbe de caractéristique de déplacement mécanique peut être enregistrée de manière continue ou discrète. Dans ce dernier cas, au moins 20 valeurs seront enregistrées pour la course complète;
– durée de fermeture;
– durée d'ouverture;

Les caractéristiques de déplacement mécanique de référence peuvent être enregistrées par exemple pendant un essai à vide effectué avec la séquence de manœuvre assignée, O - t - CO ou CO pour respectivement la séquence de manœuvre assignée O - t - CO – t' - CO ou CO – t'' - CO, aux tensions d'alimentation assignées des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de commande, à la pression de fonctionnement assignée et pour facilité d'essais, à la pression de fonctionnement minimale pour la coupure. L'essai à vide de référence peut être n'importe quel essai à vide effectué pendant un essai de type individuel.

Les caractéristiques de déplacement mécanique de référence doivent être utilisées pour confirmer que les différents spécimens d'essais utilisés durant les essais de type mécaniques, de fermeture, de coupure et de commutation sont identiques au niveau mécanique. Tous les spécimens d'essais utilisés durant les essais de type mécaniques, de fermeture, de coupure et de commutation doivent avoir une caractéristique de déplacement mécanique à l'intérieur des enveloppes décrites ci-dessous. Lorsque, en raison des différentes méthodes de mesures utilisées dans divers laboratoires, une comparaison directe des enveloppes ne peut pas être faite, le constructeur doit être capable de démontrer la correspondance des enveloppes.

Les caractéristiques de déplacement mécanique de référence serviront à déterminer les limites des écarts acceptables au-dessus et au-dessous de la courbe de référence. A partir de la courbe de référence, deux courbes enveloppe seront établies de l'instant de la séparation des contacts pour l'ouverture et de l'entrée en contact pour la fermeture jusqu'à la fin de la course du contact. La distance des deux enveloppes par rapport à la course originale sera de plus ou moins 5 % de la course totale comme montrée sur la figure 23b. Dans le cas de disjoncteurs ayant une course totale inférieure ou égale à 20 mm, la distance entre les deux enveloppes et la courbe d'origine doit être ±2 mm. Il est reconnu que pour certaines conceptions de disjoncteurs ces méthodes ne sont pas appropriées. Dans de tels cas le constructeur doit justifier la méthode et les limites utilisées.

Les figures 23a et 23b illustrent une manœuvre d'ouverture. Elles sont idéalisées, et ne montrent pas la variation en terme de profil causée par la friction des contacts ou les amortissements en fin de course. En particulier, il est important de noter que les effets d'amortissement ne sont pas montrés dans ces diagrammes. Les oscillations produites en fin de course dépendent de l'efficacité de l'amortissement du système d'entraînement. L'allure de ces oscillations peut être une fonction délibérée de la conception ou au contraire causée par une mauvaise conception, une mauvaise fabrication ou un assemblage ou ajustement incorrect. Par conséquent, il faut absolument que tous les écarts de la courbe en fin de course, hors marge de tolérance par rapport à l'enveloppe, soient clairement détaillés et interprétés avant d'être rejetés ou acceptés par rapport aux courbes de référence. En général, pour qu'elles soient acceptées, il convient que toutes les courbes soient à l'intérieur des enveloppes.

The following operating characteristics shall be recorded:

– mechanical travel characteristics for opening and closing operation;
– the sensor used for the record of the mechanical travel characteristics shall be mounted at a suitable location making it possible to provide the mechanical travel characteristics at best, either directly or indirectly. The location shall be stated in the test report. The mechanical travel characteristics curve may be recorded continuously or discretely. In the latter case, at least 20 discrete values shall be given for the complete stroke;
– closing time;
– opening time.

The reference mechanical travel characteristics shall be produced during a no-load test made with the operating sequence O - t - CO or CO for the rated operating sequence O - t - CO – t' - CO or CO – t'' - CO respectively at rated supply voltage of operating devices and of auxiliary and control circuits, rated functional pressure for operation and, for convenience of testing, at the minimum functional pressure for interruption. The reference no-load test may be taken from any appropriate no-load test being part of an individual type test.

The reference mechanical travel characteristics shall be used to confirm that the different test samples used during the mechanical, making, breaking and switching type tests behave mechanically in a similar way. All test samples used for mechanical, making, breaking and switching type tests shall have a mechanical travel characteristic within the following described envelopes. When, due to variable measuring methods at different laboratories, a direct comparison between the envelopes cannot be made, the manufacturer shall be able to show evidence that the envelopes correspond.

The reference mechanical travel characteristics shall be used for determining the limits of the allowable deviations over or under this reference curve. From this reference curve, two envelope curves shall be drawn from the instant of contact separation for opening and contact touch for closing to the end of the contact travel. The distance of the two envelopes from the original course shall be ±5 % of the total stroke as shown in figure 23b. In case of circuit-breakers with a total stroke of 20 mm or less the distance of the two envelopes from the original course shall be ±2 mm. It is recognised that for some designs of circuit-breakers these methods are inappropriate. In such cases, the manufacturer shall justify the method and limits used.

The series of figures 23a to 23d are for illustrative purposes and only illustrate the opening operation. They are idealised, and do not show the variation in profile caused by the friction effect of the contacts or the end of travel damping. In particular, it is important to note that the effects of damping are not shown in these diagrams. The oscillations produced at the end of travel are dependent upon the efficiency of the damping of the drive system. The shape of these oscillations may be a deliberate function of the design or be caused by poor design, manufacture, assembly or adjustment. Therefore, it is important that any variations in the curve at the end of the stroke, which are outside the tolerance margin given by the envelope, are fully explained and understood before they are rejected or accepted as showing equivalence with the reference curves. In general, all curves should fall within the envelopes for acceptance.

Les enveloppes peuvent être déplacées dans un plan vertical jusqu'à ce que l'une des courbes couvre la courbe de référence. Cela donne des tolérances maximales par rapport à la caractéristique de déplacement mécanique de référence de –0 %, +10 % et –10 %, +0 %, respectivement comme montré par les figures 23c et 23d. Le déplacement de l'enveloppe peut être utilisé seulement une fois pour la procédure complète pour obtenir un écart total maximal de 10 % par rapport à la caractéristique de référence.

La durée d'ouverture et la durée de fermeture enregistrées lors de l'essai de référence à vide doivent être utilisées comme durée de référence. Les écarts acceptables par rapport à ces durées de référence correspondent aux tolérances données par le constructeur, mais ne peuvent excéder plus ou moins 10 lorsque les essais sont effectués à la tension assignée d'alimentation.

6.101.1.2 Essais de composants

Lorsque l'essai du disjoncteur complet n'est pas pratique, des essais de composants peuvent être acceptés comme essais de type. Il convient que le constructeur détermine les composants à soumettre aux essais.

Les composants sont des sous-ensembles fonctionnels séparés qui peuvent être manœuvrés indépendamment du disjoncteur complet (par exemple pôle, unité de coupure, organe de manœuvre).

Lors des essais de composants, le constructeur doit apporter la preuve que les contraintes mécanique et climatique exercée sur le composant pendant les essais ne sont pas inférieurs à celles que subit le même composant lors de l'essai du disjoncteur complet. Les essais de composants doivent couvrir les différents types de composants du disjoncteur complet, à condition qu'ils soient applicables aux dits composants. Les conditions des essais de type de composants doivent être les mêmes que celles qui pourraient être utilisées pour le disjoncteur complet.

Les pièces des équipements auxiliaires et des équipements de commande, fabriquées en conformité avec des normes particulières, doivent être conformes à celles-ci. Le bon fonctionnement de telles pièces doit être vérifiée et en liaison avec le bon fonctionnement des autres pièces du disjoncteur.

6.101.1.3 Caractéristiques et réglages du disjoncteur à enregistrer avant et après les essais

Avant et après les essais, les caractéristiques et réglages de fonctionnement suivants doivent être enregistrés ou évalués:

a) durée de fermeture;

b) durée d'ouverture;

c) intervalle de temps entre les unités d'un pôle;

d) intervalle de temps entre les pôles (pour un essai multipolaire);

e) durée de recharge du dispositif fonctionnel;

f) consommation du circuit de commande;

g) consommation des dispositifs de déclenchement, enregistrement possible de l'intensité des déclencheurs;

h) durée de l'impulsion de commande d'ouverture et de fermeture;

i) étanchéité, le cas échéant;

j) densités ou pressions des gaz, le cas échéant;

k) résistance du circuit principal;

The envelopes can be moved in the vertical direction until one of the curves covers the reference curve. This gives maximum tolerances over the reference mechanical travel characteristics of –0 %, +10 % and –10 %, +0 %, respectively as shown in figures 23c and 23d. The displacement of the envelope can be used only once for the complete procedure in order to get a maximum total deviation from the reference characteristic of 10 %.

The opening time and the closing time recorded in the reference no-load test shall be used as reference closing and reference opening time. The allowable deviations from these reference times correspond to the tolerances given by the manufacturer, but shall not exceed ±10 %, when performed at rated control voltage.

6.101.1.2 Component tests

When testing of a complete circuit-breaker is not practicable, component tests may be accepted as type tests. The manufacturer should determine the components which are suitable for testing.

Components are separate functional sub-assemblies which can be operated independently of the complete circuit-breaker (for example, pole, breaking unit, operating mechanism).

When component tests are made, the manufacturer shall prove that the mechanical and environmental stresses on the component during the tests are not less than those applied to the same component when the complete circuit-breaker is tested. Component tests shall cover all different types of components of the complete circuit-breaker, provided that the particular test is applicable to the component. The conditions for the component type tests shall be the same as those which could be employed for the complete circuit-breaker.

Parts of auxiliary and control equipment which have been manufactured in accordance with relevant standards shall comply with these standards. The proper function of such parts in connection with the function of the other parts of the circuit-breaker shall be verified.

6.101.1.3 Characteristics and settings of the circuit-breaker to be recorded before and after the tests

Before and after the tests, the following operating characteristics or settings shall be recorded and evaluated:

a) closing time;

b) opening time;

c) time spread between units of one pole;

d) time spread between poles (if multi-pole tested);

e) recharging time of the operating device;

f) consumption of the control circuit;

g) consumption of the tripping devices, possible recording of the current of the releases;

h) duration of opening and closing command impulse;

i) tightness, if applicable;

j) gas densities or pressures, if applicable;

k) resistance of the main circuit;

l) graphique temps/déplacement;

m) autres caractéristiques et réglages importants, spécifiés par le fabricant.

Les caractéristiques de fonctionnement ci-dessus doivent être enregistrées:

– la tension d'alimentation assignée et la pression assignée de remplissage pour la manœuvre;

– la tension d'alimentation maximale et la pression maximale de remplissage pour la manœuvre;

– la tension d'alimentation maximale et la pression minimale pour la manœuvre;

– la tension d'alimentation minimale et la pression minimale pour la manœuvre;

– la tension d'alimentation minimale et la pression maximale de remplissage pour la manœuvre.

6.101.1.4 Etat du disjoncteur pendant et après les essais

Pendant et après les essais, l'état du disjoncteur doit lui permettre de fonctionner normalement, de conduire son courant nominal normal, d'ouvrir et de fermer son courant assigné de courte durée et de maintenir les valeurs de tension conformément à son niveau d'isolation assignée.

En général, ces prescriptions sont satisfaites si

– pendant les essais, le disjoncteur fonctionne sur commande et ne fonctionne pas sans commande;

– après les essais, les caractéristiques mesurées selon 6.101.1.3 se situent dans les tolérances données par le fabricant;

– après les essais, aucune pièce, y compris les contacts, ne montre d'usure excessive;

– après les essais, les contacts plaqués sont tels qu'une couche du matériau de placage reste sur la zone de contact. Si ce n'est pas le cas, les contacts doivent être considérés comme nus et les prescriptions d'essai ne sont remplies que si l'échauffement des contacts pendant l'essai d'échauffement (selon 6.5) ne dépasse pas la valeur admise pour les contacts nus;

– pendant et après les essais, une distorsion quelconque des parties mécaniques n'affecte pas négativement le fonctionnement du disjoncteur ou n'empêche pas le montage correct des pièces de remplacement;

– après les essais, les propriétés isolantes du disjoncteur en position ouverte sont pour l'essentiel au même niveau qu'avant les essais. Un contrôle visuel du disjoncteur après les essais est en général suffisant pour vérifier les propriétés isolantes. Pour les disjoncteurs scellés à vie, l'essai de tension comme vérification d'état suivant 6.2.11 peut être nécessaire.

6.101.1.5 Condition des équipements auxiliaires et de commande pendant et après les essais

Pendant et après les essais, les conditions suivantes pour les équipements auxiliaires et de commande doivent être respectées:

– pendant les essais, il convient de prendre des précautions pour empêcher tout échauffement excessif;

– pendant les essais, un jeu de contacts (contacts auxiliaires travail et repos) doit être disposé pour commuter le courant des circuits à commander (voir 5.4);

– pendant et après les essais, les équipements auxiliaires et de commande doivent remplir leurs fonctions;

l) time-travel chart;

m) other important characteristics or settings as specified by the manufacturer.

The above operating characteristics shall be recorded at

– rated supply voltage and rated filling pressure for operation;
– maximum supply voltage and maximum filling pressure for operation;
– maximum supply voltage and minimum functional pressure for operation;
– minimum supply voltage and minimum functional pressure for operation;
– minimum supply voltage and maximum filling pressure for operation.

6.101.1.4 Condition of the circuit-breaker during and after the tests

During and after the tests, the circuit-breaker shall be in such a condition that it is capable of operating normally, carrying its rated normal current, making and breaking its rated short-circuit current and withstanding the voltage values according to its rated insulation level.

In general, these requirements are fulfilled if

– during the tests, the circuit-breaker operates on command and does not operate without command;
– after the tests, the characteristics measured according to 6.101.1.3 are within the tolerances given by the manufacturer;
– after the tests, all parts, including contacts, do not show undue wear;
– after the tests, coated contacts are such that a layer of coating material remains at the contact area. If this is not the case, the contacts shall be regarded as bare and the test requirements are fulfilled only if the temperature rise of the contacts during the temperature-rise test (according to 6.5) does not exceed the value permitted for bare contacts;
– during and after the tests, any distortion of mechanical parts is not such that it adversely affects the operation of the circuit-breaker or prevents the proper fitting of any replacement part;
– after the tests the insulating properties of the circuit-breaker in the open position shall be in essentially the same condition as before the tests. Visual inspection of the circuit-breaker after the tests is usually sufficient for verification of the insulating properties. In the case of circuit-breakers with sealed-for-life interrupter units, a voltage test as a condition check in accordance with 6.2.11 may be necessary.

6.101.1.5 Condition of the auxiliary and control equipment during and after the tests

During and after the tests, the following conditions for the auxiliary and control equipment shall be fulfilled:

– during the tests, care should be taken to prevent undue heating;
– during the tests, a set of contacts (both make and break auxiliary contacts) shall be arranged to switch the current of the circuits to be controlled (see 5.4);
– during and after the tests, the auxiliary and control equipment shall fulfil its functions;

– pendant et après les essais, la capacité des circuits auxiliaires des interrupteurs auxiliaires et des équipements de commande ne doit pas être diminuée. En cas de doute, les essais selon 6.2.10 de la CEI 60694 doivent être effectués;
– pendant et après les essais, la résistance de contact des interrupteurs auxiliaires ne doit pas être affectée négativement. L'échauffement lors du transit du courant assigné ne doit pas dépasser les valeurs spécifiées (voir tableau 3 de la CEI 60694).

6.101.2 Essai de fonctionnement mécanique à la température de l'air ambiant

6.101.2.1 Généralités

L'essai de fonctionnement mécanique doit être effectué à la température de l'air ambiant à l'emplacement d'essai. Il convient d'enregistrer cette température de l'air ambiant dans le rapport d'essai. Les équipements auxiliaires formant partie intégrante des dispositifs de manœuvre sont inclus.

L'essai de fonctionnement mécanique comporte 2 000 séquences de manœuvres.

A l'exception des disjoncteurs équipés de déclencheurs à maximum de courant, l'essai doit être effectué sans tension ni courant dans le circuit principal.

Pour les disjoncteurs équipés de déclencheurs à maximum de courant, environ 10 % du nombre total de séquences de manœuvres doivent être effectués avec le dispositif d'ouverture alimenté par le courant du circuit principal. Ce courant est le courant minimal nécessaire pour faire fonctionner le déclencheur à maximum de courant. Pour ces essais, le courant alimentant les déclencheurs à maximum de courant peut être fourni par une source à basse tension appropriée.

Pendant l'essai, la lubrification est autorisée conformément aux instructions du constructeur, mais aucun réglage mécanique ni maintenance d'aucune sorte n'est permis.

6.101.2.2 Etat du disjoncteur avant l'essai

Le disjoncteur destiné aux essais doit être monté sur son propre support et son mécanisme de commande doit être manœuvré de la façon indiquée. Il doit être essayé selon son dispositif de manœuvre de la façon suivante:

Un disjoncteur multipolaire manœuvré par un seul dispositif de manœuvre, et/ou dont tous les pôles sont montés sur un châssis commun, doit être essayé comme une unité complète.

Les essais doivent être effectués à la pression assignée de remplissage pour la coupure conformément à 6.101.1.3, point j).

Un disjoncteur multipolaire dans lequel chaque pôle ou même chaque colonne est manœuvré par un dispositif séparé doit, de préférence, être essayé comme un disjoncteur multipolaire complet. Cependant, l'on peut, pour des raisons de commodité ou de limitation de l'emplacement d'essai, effectuer les essais sur un seul pôle, à condition que ce pôle soit, pour l'ensemble des essais, équivalent au disjoncteur multipolaire complet; ou tout au moins qu'il ne soit pas dans une condition plus favorable que ce disjoncteur multipolaire, en ce qui concerne par exemple:

– les caractéristiques de déplacement mécanique de référence
– la puissance et la robustesse du mécanisme de fermeture et d'ouverture;
– la rigidité de la structure.

– during and after the tests, capability of the auxiliary circuits of the auxiliary switches and of the control equipment shall not be impaired. In case of doubt, the tests according to 6.2.10 of IEC 60694 shall be performed;
– during and after the tests, the contact resistance of the auxiliary switches shall not be affected adversely. The temperature rise when carrying the rated current shall not exceed the specified values (see table 3 of IEC 60694).

6.101.2 Mechanical operation test at ambient air temperature

6.101.2.1 General

The mechanical operation test shall be made at the ambient air temperature of the test location. The ambient air temperature should be recorded in the test report. Auxiliary equipment forming part of the operating devices shall be included.

The mechanical operation test shall consist of 2 000 operating sequences.

Except for circuit-breakers fitted with over-current releases the test shall be made without voltage on or current in the main circuit.

For circuit-breakers fitted with over-current releases, approximately 10 % of the operating sequences shall be performed with the opening device energised by the current in the main circuit. The current shall be the minimum current necessary to operate the over-current release. For these tests, the current through over-current releases may be supplied from a suitable low-voltage source.

During the test, lubrication is allowed in accordance with the manufacturer's instructions, but no mechanical adjustment or other kind of maintenance is allowed.

6.101.2.2 Condition of the circuit-breaker before the test

The circuit-breaker for test shall be mounted on its own support and its operating mechanism shall be operated in the specified manner. It shall be tested according to its type as follows:

A multipole circuit-breaker actuated by a single operating device and/or with all poles mounted on a common frame shall be tested as a complete unit.

Tests shall be conducted at the rated filling pressure for interruption according to 6.101.1.3, item j).

A multipole circuit-breaker in which each pole or even each column is actuated by a separate operating device should be tested preferably as a complete multipole circuit-breaker. However, for convenience, or owing to limitations of the dimensions of the test bay, one single-pole unit of the circuit-breaker may be tested, provided that it is equivalent to, or not in a more favourable condition than, the complete multipole circuit-breaker over the range of tests, for example in respect of

– reference mechanical travel characteristics;
– power and strength of closing and opening mechanism;
– rigidity of structure.

6.101.2.3 Description de l'essai de la classe M1 de disjoncteurs

Le disjoncteur doit être essayé conformément au tableau 8

Tableau 8 – Nombre de séquences de manœuvres

Séquence de manœuvres	Tension d'alimentation et pression de service	Nombre de séquences de manœuvres	
		Disjoncteurs pour réenclenchement automatique	Disjoncteurs sans réenclenchement automatique
C - t_a - O - t_a	Minimale	500	500
	Assignée	500	500
	Maximale	500	500
O - t - CO - t_a - C - t_a	Assignée	250	–
CO - t_a	Assignée	–	500

O = ouverture;

C = fermeture;

CO = manœuvre de fermeture immédiatement suivie (c'est-à-dire sans temporisation délibérée) d'une manœuvre d'ouverture;

t_a = durée entre deux manœuvres qui est nécessaire pour rétablir les conditions initiales et/ou empêcher un échauffement excessif des pièces du disjoncteur (cette durée peut être différente selon le type de fonctionnement);

t = 0,3 s pour les disjoncteurs destinés à un réenclenchement automatique rapide, sauf spécification contraire.

6.101.2.4 Essais d'endurance mécanique accrue sur les disjoncteurs de classe M2 en cas d'exigences spéciales de service

En cas d'exigences spéciales de service dans le cas de disjoncteurs fréquemment actionnés, des essais d'endurance mécanique poussée peuvent être effectués, comme suit.

Les essais doivent être effectués selon 6.101.1, 6.101.2.1, 6.101.2.2 et 6.101.2.3 avec l'addition suivante:

– les essais doivent consister en 10 000 séquences de manœuvres comprenant cinq fois la série pertinente d'essais spécifiée au tableau 8;

– entre les séries d'essais spécifiés, certaines interventions de maintenance, lubrification et réglage mécanique par exemple, sont autorisées et elles doivent être effectuées conformément aux instructions du fabricant. Il n'est pas permis de changer les contacts;

– le programme de maintenance pendant les essais doit être défini par le fabricant avant les essais et consigné dans le procès-verbal d'essai.

6.101.2.5 Critères d'acceptation pour les essais de manœuvre mécanique

Les critères donnés ci-après sont applicables aux essais de manœuvre mécanique des disjoncteurs de classe M1 et M2

a) Avant et après tout le programme d'essai, les manœuvres suivantes doivent être effectuées:

   – cinq cycles de fermeture-ouverture à la tension d'alimentation assignée des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de contrôle et/ou à la pression de manœuvre assignée;

   – cinq cycles de fermeture-ouverture à la tension d'alimentation minimale des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de contrôle et/ou à la pression de manœuvre minimale;

6.101.2.3 Description of the test on class M1 circuit-breakers

The circuit-breaker shall be tested in accordance with table 8.

Table 8 – Number of operating sequences

Operating sequence	Supply voltage and operating pressure	Number of operating sequences	
		Circuit-breakers for auto-reclosing	Circuit-breakers not for auto-reclosing
C - t_a - O - t_a	Minimum	500	500
	Rated	500	500
	Maximum	500	500
O - t - CO - t_a - C - t_a	Rated	250	-
CO - t_a	Rated	-	500

O = opening;

C = closing;

CO = a closing operation followed immediately (i.e., without any intentional time-delay) by an opening operation;

t_a = time between two operations which is necessary to restore the initial conditions and/or to prevent undue heating of parts of the circuit-breaker (this time can be different according to the type of operation);

t = 0,3 s for circuit-breakers intended for rapid auto-reclosing, if not otherwise specified.

6.101.2.4 Extended mechanical endurance tests on class M2 circuit-breakers for special service requirements

For special service requirements in the case of frequently operated circuit-breakers, extended mechanical endurance tests may be carried out, as follows.

The tests shall be made according to 6.101.1, 6.101.2.1, 6.101.2.2 and 6.101.2.3 with the following addition:

– the tests shall consist of 10 000 operating sequences comprising five times the relevant test series specified in table 8;
– between the test series specified, some maintenance, such as lubrication and mechanical adjustment, is allowed, and shall be performed in accordance with the manufacturer's instructions. Change of contacts is not permitted;
– the programme of maintenance during the tests shall be defined by the manufacturer before the tests and recorded in the test report.

6.101.2.5 Acceptance criteria for the mechanical operation tests

The criteria given below apply for mechanical operation tests on class M1 and class M2 circuit-breakers.

a) Before and after the total test programme, the following operations shall be performed:
   – five close-open operating cycles at the rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits and/or the rated pressure for operation;
   – five close-open operating cycles at the minimum supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits and/or the minimum pressure for operation;

– cinq cycles de fermeture-ouverture à la tension d'alimentation maximale des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de contrôle et/ou à la pression de manœuvre maximale.

Pendant ces cycles de manœuvres, les caractéristiques de fonctionnement (voir 6.101.1.3) doivent être consignées et évaluées. Il n'est pas nécessaire de publier tous les oscillogrammes enregistrés. Cependant pour chaque condition d'essai donnée ci-dessus, au moins un oscillogramme doit être inclus dans le rapport d'essai.

En outre, les vérifications et mesures suivantes doivent être effectuées (voir 10.2.102):

– mesures des pressions de fluide caractéristiques et des consommations pendant les manoeuvres, le cas échéant;
– vérification de la séquence de manœuvre assignée;
– contrôle de certaines manoeuvres spécifiques, le cas échéant.

La variation entre les valeurs moyennes de chaque paramètre mesuré avant et après les essais d'endurance mécanique poussée doit se situer dans les tolérances données par le fabricant.

b) Après chaque série de 2 000 séquences de manœuvres, on doit enregistrer les caractéristiques de fonctionnement significatives a), b), c), d) et l) de 6.101.1.3.

c) Après la totalité du programme d'essai, l'état du disjoncteur doit être conforme à 6.101.1.4.

6.101.3 Essais à haute et à basse températures

6.101.3.1 Généralités

Il n'est pas nécessaire d'exécuter les deux essais successivement et l'ordre dans lequel ils sont effectués est arbitraire. Pour les disjoncteurs d'intérieur de classe –5 °C et pour les disjoncteurs d'extérieur de classe –10 °C, l'essai à basse température n'est pas exigé.

Pour les disjoncteurs sous enveloppe unique ou les disjoncteurs sous enveloppes multiples à organe de manœuvre commun, les essais doivent être effectués en tripolaire. Pour les disjoncteurs sous enveloppes multiples à pôles indépendants (séparés), il est permis d'effectuer l'essai d'un pôle complet.

Du fait des limitations des installations d'essai, les disjoncteurs sous enveloppes multiples peuvent être essayés, suivant une ou plusieurs des variantes suivantes à condition que le disjoncteur, dans sa disposition pour les essais, ne soit pas placé dans des conditions plus favorables que les conditions normales pour le fonctionnement mécanique (voir 6.101.2.2):

a) longueur réduite d'isolement par rapport à la terre;
b) distance réduite entre pôles;
c) nombre réduit de modules.

Si des sources de chaleur sont exigées, elles doivent être en service.

Les alimentations des liquides ou des gaz nécessaires pour la manœuvre du disjoncteur sont à la température de l'air ambiant à moins que la conception du disjoncteur n'exige une source de chaleur pour ces alimentations.

Pendant l'essai aucune maintenance, remplacement de pièces, lubrification ou réglage du disjoncteur n'est autorisé.

NOTE Afin de déterminer les caractéristiques de température, le vieillissement, etc., des essais de plus longue durée que ceux spécifiés dans les paragraphes suivants peuvent être nécessaires.

– five close-open operating cycles at the maximum supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits and/or the maximum pressure for operation.

During these operating cycles, the operating characteristics (see 6.101.1.3) shall be recorded and evaluated. It is not necessary to publish all the oscillograms recorded. However, at least one oscillogram for each set of conditions given above shall be included in the test report.

In addition, the following checks and measurements shall be performed (see 10.2.102):

– measurements of characteristic operating fluid pressures and consumption during operations, if applicable;
– verification of the rated operating sequence;
– checks of certain specific operations, if applicable.

The variation between the mean values of each parameter measured before and after the extended mechanical endurance tests shall be within the tolerances given by the manufacturer.

b) After each series of 2 000 operating sequences the operating characteristics a), b), c), d), e) and l) in 6.101.1.3 shall be recorded.

c) After the total test programme the condition of the circuit-breaker shall be in accordance with 6.101.1.4.

6.101.3 Low and high temperature tests

6.101.3.1 General

The two tests need not be performed in succession, and the order in which they are made is arbitrary. For class –5 °C indoor circuit-breakers and for class –10 °C outdoor circuit-breakers, no low temperature test is required.

For single enclosure circuit-breakers or multi-enclosure circuit-breakers with a common operating device, three-pole tests shall be made. For multi-enclosure circuit-breakers with independent poles, testing of one complete pole is permitted.

Owing to limitations of the test facilities, multi-enclosure type circuit-breakers may be tested using one or more of the following alternatives provided that the circuit-breaker in its testing arrangement is not in a more favourable condition than normal condition for mechanical operation (see 6.101.2.2):

a) reduced length of phase-to-earth insulation;
b) reduced pole spacing;
c) reduced number of modules.

If heat sources are required, they shall be in operation.

Liquid or gas supplies for circuit-breaker operation are to be at the test air temperature unless the circuit-breaker design requires a heat source for these supplies.

No maintenance, replacement of parts, lubrication or readjustment of the circuit-breaker is permissible during the tests.

NOTE In order to determine the material temperature characteristics, ageing, etc., tests of longer duration than those specified in the following subclauses may be necessary.

En variante des méthodes données dans cette norme, un constructeur peut établir la conformité aux conditions de fonctionnement pour un type de disjoncteur bien connu, en fournissant une documentation sur l'expérience satisfaisante en réseau, au moins en un lieu où les températures de l'air ambiant sont fréquemment égales ou supérieures à la température maximale de l'air ambiant spécifiée de 40 °C et au moins en un endroit avec une expérience satisfaisante sur le terrain avec une température ambiante minimale spécifiée en fonction de la classe du disjoncteur (voir l'article 2 de la CEI 60694).

6.101.3.2 Mesurage de la température de l'air ambiant

La température de l'air ambiant de l'environnement proche d'essai doit être mesurée à mi-hauteur du disjoncteur et à une distance de 1 m de celui-ci.

L'écart maximal de température le long de la hauteur du disjoncteur ne doit pas excéder 5 K.

6.101.3.3 Essai à basse température

Le schéma représentant les séquences d'essais et l'indication des points d'application des essais spécifiés sont donnés dans la figure 17a.

Si l'essai à basse température est effectué immédiatement après l'essai à haute température, l'essai à basse température peut commencer après la fin du point u) de l'essai à haute température, en omettant les points a) et b) suivants.

a) Le disjoncteur en essai est réglé conformément aux instructions du constructeur.

b) Les caractéristiques et les réglages du disjoncteur doivent être consignés selon 6.101.1.3 et à une température ambiante de 20 °C ± 5 °C (T_A). L'essai d'étanchéité (le cas échéant) doit être effectué selon 6.8.

c) Le disjoncteur en position fermée, la température de l'air doit être abaissée à la température ambiante minimale appropriée (T_L), selon la classe de disjoncteur, comme indiqué dans 2.1.1, 2.1.2 et 2.2.3 de la CEI 60694. Le disjoncteur doit être maintenu en position fermée pendant 24 h après stabilisation de la température ambiante à T_L.

d) Pendant cette période de 24 h où le disjoncteur est en position fermée à la température T_L, un essai d'étanchéité doit être effectué (le cas échéant). Une augmentation du taux de fuite est acceptable, à condition qu'il revienne à sa valeur initiale quand le disjoncteur est ramené à la température ambiante T_A et qu'il est thermiquement stable. L'augmentation temporaire du taux de fuite ne doit pas dépasser le taux de fuite temporaire admis du tableau 12 de la CEI 60694.

e) Après avoir été soumis pendant 24 h à la température T_L, le disjoncteur doit être ouvert, puis fermé aux valeurs assignées de la tension d'alimentation et de la pression de fonctionnement. Les durées d'ouverture et de fermeture doivent être enregistrées afin de déterminer les caractéristiques de fonctionnement à basse température. Il convient, si cela est possible, d'enregistrer la vitesse des contacts.

f) Le comportement à basse température du disjoncteur et de ses systèmes d'alarme et de verrouillage doit être vérifié en interrompant l'alimentation de tous les dispositifs de chauffage, y compris les éléments de chauffage pour l'anti-condensation, pendant une durée t_x. Pendant cette période, le déclenchement d'une alarme est acceptable mais pas celui du verrouillage. A la fin de cette période t_x, un ordre d'ouverture doit être donné à la valeur de la tension assignée d'alimentation et à la pression de fonctionnement. Le disjoncteur doit alors s'ouvrir. Le temps d'ouverture doit être enregistré (et les caractéristiques du déplacement mécanique pendant l'ouverture mesurées si cela est possible) afin d'évaluer la capacité d'interruption.

   Le constructeur doit indiquer la valeur de t_x (pas moins de 2 h) pendant lequel le disjoncteur peut encore fonctionner malgré l'absence de chauffage. En l'absence d'une telle déclaration, la valeur préférentielle doit être de 2 h.

g) Le disjoncteur doit être laissé en position d'ouverture pendant 24 h.

As an alternative approach to the methods in this standard, a manufacturer may establish compliance with performance requirements for an established circuit-breaker family by documenting satisfactory circuit-breaker field experience in at least one location with ambient air temperatures frequently at or above the specified maximum ambient air temperature of 40 °C, and at least one location with satisfactory field experience in specified minimum ambient air temperature depending on the class of the circuit-breaker (see clause 2 of IEC 60694).

6.101.3.2 Measurement of ambient air temperature

The ambient air temperature of the immediate test environment shall be measured at half the height of the circuit-breaker and at a distance of 1 m from the circuit-breaker.

The maximum temperature deviation over the height of the circuit-breaker shall not exceed 5 K.

6.101.3.3 Low temperature test

The diagram of the test sequences and identification of the application points for the tests specified are given in figure 17a.

If the low temperature test is performed immediately after the high temperature test, the low temperature test can proceed after completion of item u) of the high temperature test. In this case items a) and b) are omitted.

a) The test circuit-breaker shall be adjusted in accordance with the manufacturer's instructions.

b) Characteristics and settings of the circuit-breaker shall be recorded in accordance with 6.101.1.3 and at an ambient air temperature of 20 °C ± 5 °C (T_A). The tightness test (if applicable) shall be performed according to 6.8.

c) With the circuit-breaker in the closed position, the air temperature shall be decreased to the appropriate, minimum ambient air temperature (T_L), according to the class of the circuit-breaker as given in 2.1.1, 2.1.2 and 2.2.3 of IEC 60694. The circuit-breaker shall be kept in the closed position for 24 h after the ambient air temperature stabilises at T_L.

d) During the 24 h period with the circuit-breaker in the closed position at temperature T_L, a tightness test shall be performed (if applicable). An increased leakage rate is acceptable, provided that it returns to the original value when the circuit-breaker is restored to the ambient air temperature T_A and is thermally stable. The increased temporary leakage rate shall not exceed the permissible temporary leakage rate of table 12 of IEC 60694.

e) After 24 h at temperature T_L, the circuit-breaker shall be opened and closed at rated values of supply voltage and operating pressure. The opening time and the closing time shall be recorded to establish low temperature operating characteristics. Contact velocity should be recorded if feasible.

f) The low temperature behaviour of the circuit-breaker and its alarms and lock-out systems shall be verified by disconnecting the supply of all heating devices, including also the anti-condensation heating elements, for a duration t_x. During this interval, occurrence of the alarm is acceptable but lock-out is not. At the end of the interval t_x, an opening order, at rated values of supply voltage and operating pressure, shall be given. The circuit-breaker shall then open. The opening time shall be recorded (and the mechanical travel characteristics measured, if feasible) to allow assessment of the interrupting capability.

   The manufacturer shall state the value of t_x (not less than 2 h) up to which the circuit-breaker is still operable without auxiliary power to the heaters. In the absence of such a statement, the preferred value shall be equal to 2 h.

g) The circuit-breaker shall be left in the open position for 24 h.

h) Pendant cette période de 24 h où le disjoncteur est en position ouverte à la température T_L, un essai d'étanchéité doit être effectué (le cas échéant). Une augmentation du taux de fuite est acceptable, à condition qu'il revienne à sa valeur initiale quand le disjoncteur est ramené à la température ambiante T_A et qu'il est thermiquement stable. L'augmentation temporaire du taux de fuite ne doit pas dépasser le taux de fuite temporaire admis du tableau 12 de la CEI 60694.

i) A l'issue de la période de 24 h, 50 manœuvres de fermeture et 50 manœuvres d'ouverture doivent être effectuées, aux valeurs assignées de la tension d'alimentation et de la pression de fonctionnement, le disjoncteur étant maintenu à la température T_L. Un intervalle d'au moins 3 min doit être observé pour chaque cycle ou séquence. Les premières manœuvres de fermeture et d'ouverture sont enregistrées afin de déterminer les caractéristiques de fonctionnement à basse température. Il convient, si cela est possible, d'enregistrer la vitesse des contacts. Après la première manœuvre de fermeture (C) et la première manœuvre d'ouverture (O), trois cycles opératoires CO (sans temporisation délibérée) doivent être effectués. Les manoeuvres supplémentaires doivent être effectuées par des séquences de manœuvres C - t_a - O - t_a (t_a est défini dans le tableau 8).

j) Après réalisation des 50 manœuvres de fermeture et des 50 manœuvres d'ouverture, la température de l'air doit être augmentée à la température de l'air ambiant T_A, avec une vitesse de variation d'environ 10 K par heure.

   Pendant la période de transition de la température, le disjoncteur doit être soumis alternativement aux séquences opératoires C - t_a - O - t_a - C et O - t_a - C - t_a - O aux valeurs nominales de tension d'alimentation et de pression de service. Il convient d'effectuer les séquences de manœuvres alternées à 30 min d'intervalle, afin que le disjoncteur reste dans les positions d'ouverture et de fermeture pendant ces périodes de 30 mm entre les séquences de manœuvres.

k) Après stabilisation thermique du disjoncteur à la température de l'air ambiant T_A, on doit vérifier à nouveau les réglages du disjoncteur, les caractéristiques de fonctionnement et d'étanchéité, comme aux points a) et b), afin de les comparer avec les caractéristiques initiales.

   La fuite cumulée pendant la séquence complète de l'essai à basse température depuis le point b) jusqu'au point j) ne doit pas être telle que la pression de blocage soit atteinte (atteindre la pression d'alarme est autorisé).

6.101.3.4 Essai à haute température

Le schéma représentant les séquences d'essais et l'indication des points d'application des essais spécifiés sont donnés dans la figure 17b.

Si l'essai à haute température est effectué immédiatement après l'essai à basse température, l'essai à haute température peut commencer après la fin du point j) de l'essai à basse température, en omettant les points k) et l) suivants.

l) Le disjoncteur en essai est réglé conformément aux instructions du constructeur.

m) Les caractéristiques et les réglages du disjoncteur doivent être enregistrés conformément à 6.101.1.3 et à une température de l'air ambiant de 20 °C ± 5 °C (T_A). L'essai d'étanchéité (s'il est applicable) est effectué selon 6.8.

n) Le disjoncteur étant en position de fermeture, la température de l'air doit être augmentée à la valeur appropriée de la température d'air ambiant maximale (T_H), correspondant à la limite supérieure de la température d'air ambiant donnée dans 2.1.1, 2.1.2 et 2.2.3 de la CEI 60694. Le disjoncteur dit être maintenu en position de fermeture pendant 24 h après stabilisation de la température de l'air ambiant à T_H.

NOTE L'influence du rayonnement solaire n'est pas prise en considération.

o) Pendant la période de 24 h durant laquelle le disjoncteur est en position de fermeture à la température T_H, un essai d'étanchéité doit être effectué (s'il est applicable). Un taux de fuite accru est acceptable pourvu qu'il reprenne sa valeur initiale lorsque le disjoncteur est ramené à la température de l'air ambiant T_A et qu'il est thermiquement stable. Le taux de fuite accru temporairement ne doit pas excéder trois fois la valeur admissible spécifiée au tableau 12 de la CEI 60694.

h) During the 24 h period with the circuit-breaker in the open position at temperature T_L, a tightness test shall be performed (if applicable). An increased leakage rate is acceptable, provided that it returns to the original value when the circuit-breaker is restored to the ambient air temperature T_A and is thermally stable. The increased temporary leakage rate shall not exceed the permissible temporary leakage rate of table 12 of IEC 60694.

i) At the end of the 24 h period, 50 closing and 50 opening operations shall be made at rated values of supply voltage and operating pressure with the circuit-breaker at temperature T_L. At least a 3 min interval shall be allowed for each cycle or sequence. The first closing and opening operation shall be recorded to establish low temperature operating characteristics. Contact velocity should be recorded if feasible. Following the first closing operation (C) and the first opening operation (O) three CO operating cycles (no intentional time delay) shall be performed. The additional operations shall be made by performing C - t_a - O - t_a operating sequences (t_a is defined in table 8).

j) After completing the 50 opening and 50 closing operations, the air temperature shall be increased to ambient air temperature T_A at a rate of change of approximately 10 K per hour.

During the temperature transition period the circuit-breaker shall be subjected to alternate C - t_a - O - t_a - C and O - t_a - C - t_a - O operating sequences at rated values of supply voltage and operating pressure. The alternate operating sequences should be made at 30 min intervals so that the circuit-breaker will be in open and closed positions for 30 min periods between the operating sequences.

k) After the circuit-breaker has stabilised thermally at ambient air temperature T_A, a recheck shall be made of the circuit-breaker settings, operating characteristics and tightness as in Items a) and b) for comparison with the initial characteristics.

The accumulated leakage during the complete low temperature test sequence from item b) to item j) shall not be such that lock-out pressure is reached (reaching alarm pressure is allowed).

6.101.3.4 High-temperature test

The diagram of the test sequence and identification of the application points for the tests specified are given in figure 17b.

If the high temperature test is performed immediately after the low temperature test, the high temperature test can proceed after completion of item j) of the low temperature test. In this case, items k) and l) below are omitted.

l) The test circuit-breaker shall be adjusted in accordance with the manufacturer's instructions.

m) Characteristics and settings of the circuit-breaker shall be recorded in accordance with 6.101.1.3 and at an ambient air temperature of 20 °C ± 5 °C (T_A). The tightness test (if applicable) shall be performed according to 6.8.

n) With the circuit-breaker in the closed position, the air temperature shall be increased to the appropriate, maximum ambient air temperature (T_H), according to the upper limit of ambient air temperature as given in 2.1.1, 2.1.2 and 2.2.3 of IEC 60694. The circuit-breaker shall be kept in the closed position for 24 h after the ambient air temperature stabilises at T_H.

NOTE The influence of solar radiation is not considered.

o) During the 24 h period with the circuit-breaker in the closed position at the temperature T_H, a tightness test shall be performed (if applicable). An increased leakage rate is acceptable, provided that it returns to the original value when the circuit-breaker is restored to the ambient air temperature T_A and is thermally stable. The increased temporary leakage rate shall not exceed the permissible temporary leakage rate of table 12 of IEC 60694.

p) Après avoir été soumis pendant 24 h à la température T_H, le disjoncteur doit être ouvert, puis fermé aux valeurs assignées de la tension d'alimentation et de la pression de fonctionnement. Les durées d'ouverture et de fermeture doivent être enregistrées afin de déterminer les caractéristiques de fonctionnement à haute température. Il convient, si cela est possible, d'enregistrer la vitesse des contacts.

q) Le disjoncteur doit être ouvert et laissé en position d'ouverture pendant 24 h à la température T_H.

r) Pendant la période de 24 heures durant laquelle le disjoncteur est en position d'ouverture à la température T_H, un essai d'étanchéité est effectué (si cela est applicable). Un taux de fuite accru est acceptable pourvu qu'il reprenne sa valeur initiale lorsque le disjoncteur est ramené à la température de l'air ambiant T_A et qu'il est thermiquement stable. Le taux de fuite temporairement accru ne doit pas excéder le taux de fuite temporairement admissible du tableau 12 de la CEI 60694.

s) A l'issue de la période de 24 h, 50 manœuvres de fermeture et 50 manœuvres d'ouverture doivent être effectuées, aux valeurs assignées de la tension d'alimentation et de la pression de fonctionnement, le disjoncteur étant maintenu à la température T_H. Un intervalle d'au moins 3 min doit être observé pour chaque cycle ou séquence. Les premières manœuvres de fermeture et d'ouverture doivent être enregistrées afin de déterminer les caractéristiques de fonctionnement à haute température. Il convient, si cela est possible, d'enregistrer la vitesse des contacts.

   Après la première manœuvre de fermeture (C) et la première manœuvre d'ouverture (O), trois cycles opératoires CO (sans temporisation délibérée) doivent être effectués. Les s supplémentaires doivent être effectuées par des séquences opératoires C - t_a - O - t_a (t_a est défini dans le tableau 8).

t) Après réalisation des 50 manœuvres de fermeture et des 50 manœuvres d'ouverture, la température de l'air doit être ramenée à la température de l'air ambiant T_A, avec une vitesse de variation d'environ 10 K/h.

   Pendant la période de variation de température, le disjoncteur doit être soumis à des séquences de manœuvres alternées C - t_a - O - t_a - C et O - t_a - C - t_a - O, aux valeurs assignées de la tension d'alimentation et de la pression de fonctionnement. Il convient d'effectuer les séquences de manœuvres alternées à 30 min d'intervalle, afin que le disjoncteur reste dans les positions d'ouverture et de fermeture pendant des périodes de 30 min entre les séquences de manœuvres.

u) Après stabilisation thermique du disjoncteur à la température de l'air ambiant T_A, on doit vérifier à nouveau les réglages du disjoncteur, les caractéristiques de fonctionnement et d'étanchéité comme aux points k) et l), afin de les comparer avec les caractéristiques initiales.

   La fuite cumulée pendant la séquence complète de l'essai à haute température depuis le point l) jusqu'au point t) ne doit pas être telle que la pression de blocage soit atteinte (atteindre la pression d'alarme est autorisé).

6.101.4 Essai à l'humidité

6.101.4.1 Généralités

L'essai d'humidité ne doit pas s'appliquer aux équipements destinés à être directement exposés à des précipitations, par exemple les pièces primaires des disjoncteurs d'extérieur. L'essai doit être effectué sur les disjoncteurs ou sur les composants des disjoncteurs, lorsqu'en raison de changements brusques de la température, de la condensation risque de se produire sur les surfaces isolantes qui sont sous contrainte galvanique continue. C'est principalement l'isolation de la filerie secondaire des disjoncteurs d'intérieur. Il n'est pas non plus nécessaire lorsque des moyens effectifs contre la condensation sont prévus, par exemple, armoires de commande avec système de chauffage anti-condensation.

En appliquant la procédure d'essai décrite en 6.101.4.2, la tenue de l'objet sous essai, surtout des composants de disjoncteur, aux effets de l'humidité qui peuvent produire de la condensation sur la surface de l'échantillon, est déterminée de façon accélérée.

p) After 24 h at the temperature T_H, the circuit-breaker shall be opened and closed at rated values of supply voltage and operating pressure. The opening time and the closing time shall be recorded to establish high temperature operating characteristics. Contact velocity should be recorded if feasible.

q) The circuit-breaker shall be opened and left open for 24 h at the temperature T_H.

r) During the 24 h period with the circuit-breaker in the open position at the temperature T_H, a tightness test shall be performed (if applicable). An increased leakage rate is acceptable, provided that it returns to the original value when the circuit-breaker is restored to the ambient air temperature T_A and is thermally stable. The increased temporary leakage rate shall not exceed the permissible temporary leakage rate of table 12 of IEC 60694.

s) At the end of the 24 h period, 50 closing and 50 opening operations shall be made at rated values of supply voltage and operating pressure with the circuit-breaker at the temperature T_H. An interval of at least 3 min shall be allowed for each cycle or sequence. The first closing and opening operation shall be recorded to establish high temperature operating characteristics. Contact velocity should be recorded if feasible.

   Following the first closing operation (C) and the first opening operation (O) three CO operation cycles (no intentional time delay) shall be performed. The additional operations shall be made by performing C - t_a - O - t_a operating sequences (t_a is defined in table 8).

t) After completing the 50 opening and 50 closing operations, the air temperature shall be decreased to ambient air temperature T_A, at a rate of change of approximately 10 K/h.

   During the temperature transition period, the circuit-breaker shall be subjected to alternate C - t_a - O - t_a - C and O - t_a - C - t_a - O operating sequences at rated values of supply voltage and operating pressure. The alternate operating sequences should be made at 30 min intervals so that the circuit-breaker will be in the open and closed positions for 30 min periods between the operating sequences.

u) After the circuit-breaker has stabilised thermally at ambient air temperature T_A, a recheck shall be made of the circuit-breaker settings, operating characteristics and tightness as in items k) and l) for comparison with the initial characteristics.

   The accumulated leakage during the complete high temperature test sequence from item l) to item t) shall not be such that lock-out pressure is reached (reaching alarm pressure is allowed).

6.101.4 Humidity test

6.101.4.1 General

The humidity test shall not be applied on equipment which is designed to be directly exposed to precipitation, for example primary parts of outdoor circuit-breakers. The test shall be performed on circuit-breakers or circuit-breaker components, where due to sudden changes of the temperature condensation may occur on insulating surfaces which are continuously stressed by voltage. This is mainly the insulation of the secondary wiring of indoor installed circuit-breakers. It is also not necessary where effective means against condensation are provided, for example control cubicles with anti-condensation heaters.

Applying the test procedure described in 6.101.4.2, the withstand of the test object, primarily circuit-breaker components, to humidity effects, which may produce condensation on the surface of the test specimen, is determined in an accelerated manner.

6.101.4.2 Procédure d'essai

L'objet soumis à l'essai doit être disposé dans une enceinte d'essai contenant de l'air en circulation et dans laquelle la température et l'humidité doivent suivre le cycle indiqué ci-dessous:

Pendant environ la moitié du cycle, les surfaces de l'objet sous essai doivent être humides, et elles doivent être sèches pendant l'autre moitié. Pour ce faire, le cycle d'essai consiste en une période t_4 à basse température de l'air (T_{min} = 25 °C ± 3 °C) et une période t_2 à haute température de l'air (T_{max} = 40 °C ± 2 °C) à l'intérieur de l'enceinte d'essai. Ces deux périodes doivent être de durée égale. La production de brouillard doit être maintenue pendant la moitié du cycle (voir figure 18) où la température basse de l'air est appliquée.

Le début de la production de brouillard coïncide en principe avec le début de la période à basse température. Cependant, pour humidifier les surfaces verticales des matériaux avec une constante de temps thermique élevée, il peut être nécessaire de commencer la production de brouillard plus tard pendant la période à basse température.

La durée du cycle d'essai dépend des caractéristiques thermiques des objets en essai et elle doit être suffisamment longue, à haute température comme à basse température pour permettre de mouiller et de sécher toutes les surfaces isolantes. Pour obtenir ces conditions, il convient d'injecter de la vapeur directement dans l'enceinte d'essai ou de pulvériser de l'eau chaude; l'élévation de température de 25 °C à 40 °C peut être obtenue par l'apport de chaleur provenant de la vapeur ou de l'eau pulvérisée ou, si nécessaire, avec un chauffage supplémentaire. Des cycles préliminaires doivent être effectués avec l'objet sous essai placé dans l'enceinte d'essai afin d'observer et de vérifier ces conditions.

NOTE Pour les composants à basse tension des disjoncteurs à haute tension ayant en général des constantes de temps inférieures à 10 min, la durée des intervalles de temps donnés à la figure 18 sont: t_1 = 10 min, t_2 = 20 min, t_3 = 10 min et t_4 = 20 min.

Le brouillard s'obtient par pulvérisation continue ou intermittente de 0,2 l à 0,4 l d'eau (avec les caractéristiques de résistivité données ci-dessous) à l'heure et par mètre cube de volume de l'enceinte d'essai. Le diamètre des gouttelettes doit être inférieur à 10 μm; il est possible d'obtenir ce type de brouillard avec des atomiseurs mécaniques. La direction de pulvérisation doit être telle que les surfaces de l'objet en essai ne sont pas directement arrosées. L'eau ne doit pas goutter du plafond sur l'objet en essai. Pendant la production du brouillard, l'enceinte d'essai doit être fermée et aucune circulation d'air pulsé supplémentaire n'est autorisée.

L'eau utilisée pour créer l'humidité doit être telle que l'eau collectée dans l'enceinte d'essai ait une résistivité égale ou supérieure à 100 Ωm et qu'elle ne contienne ni sel (NaCl) ni quelconque élément corrosif.

La température et l'humidité relative de l'air dans l'enceinte d'essai doivent être mesurées dans le voisinage immédiat de l'objet en essai et elles doivent être enregistrées pendant toute la durée de l'essai. Aucune valeur d'humidité relative n'est spécifiée pendant la baisse de la température, cependant, l'humidité doit être supérieure à 80 % pendant la période où la température est maintenue à 25 °C. L'air doit circuler afin d'obtenir une répartition uniforme de l'humidité dans l'enceinte d'essai.

Le nombre de cycles doit être de 350.

Pendant et après l'essai, les caractéristiques de fonctionnement des objets en essai ne doivent pas être affectées. Les circuits auxiliaires et de commande doivent résister à une tension à fréquence industrielle de 1 500 V pendant 1 min. Il est recommandé d'indiquer le degré de corrosion éventuel dans le procès-verbal des essais.

6.101.4.2 Test procedure

The test object shall be arranged in a test chamber containing circulating air and in which the temperature and humidity shall follow the cycle given below:

During about half of the cycle the surfaces of the test object shall be wet, and dry during the other half. To obtain this result the test cycle consists of a period t_4 with low air temperature (T_{min} = 25 °C ± 3 °C) and a period t_2 with high air temperature (T_{max} = 40 °C ± 2 °C) inside the test chamber. Both periods shall be equal in time. The generation of fog shall be maintained for that half of the cycle (see figure 18) in which the low air temperature is applied.

The beginning of fog generation coincides in principle with the beginning of the low air temperature period. However, to wet the vertical surfaces of materials with a high thermal time constant, it may be necessary to start the fog generation later within the low air temperature period.

The duration of the test cycle depends on the thermal characteristics of the test objects, and shall be sufficiently long, both at high and low temperature, to cause wetting and drying of all insulation surfaces. In order to obtain these conditions, steam should be injected directly into the test chamber or heated water should be atomised; the rise from 25 °C to 40 °C may be obtained with the provision of heat coming from the steam or atomised water or, if necessary, by additional heaters. Preliminary cycles shall be carried out with the test object placed in the test chamber in order to observe and to check these conditions.

NOTE For low-voltage components of high-voltage circuit-breakers, usually having time constants smaller than 10 min, the duration of the time intervals given in figure 18 are: t_1 = 10 min, t_2 = 20 min, t_3 = 10 min and t_4 = 20 min.

The fog is obtained by the continuous or periodical atomisation of 0,2 l to 0,4 l of water (with the resistivity characteristics given below) per hour and per cubic metre of test chamber volume. The diameter of the droplets shall be less than 10 μm; such a fog may be obtained by mechanical atomisers. The direction of the spraying shall be such that the surfaces of the test object are not directly sprayed. No water shall drop from the ceiling upon the test object. During the fog generation the test chamber shall be closed and no additional forced air-circulation is permitted.

The water used to create the humidity shall be such that the water collected in the test chamber has a resistivity equal to or greater than 100 Ωm and contains neither salt (NaCl) nor any corrosive element.

The temperature and the relative humidity of the air in the test chamber shall be measured in the immediate vicinity of the test object and shall be recorded for the whole duration of the test. No value of relative humidity is specified during the drop in temperature; however, the humidity shall be above 80 % during the period when the temperature is maintained at 25 °C. The air shall be circulated in order to obtain uniform distribution of the humidity in the test chamber.

The number of cycles shall be 350.

During and after the test, the operating characteristics of the test objects shall not be affected. The auxiliary and control circuits shall withstand a power frequency voltage of 1 500 V for 1 min. The degree of corrosion, if any, should be indicated in the test report.

6.101.5 Essai pour vérifier le fonctionnement dans des conditions sévères de formation de glace

L'essai dans des conditions sévères de formation de glace est applicable seulement aux disjoncteurs d'extérieur ayant des parties mobiles externes et pour lesquels il a été spécifié une classe d'épaisseur de glace de 10 mm ou 20 mm. L'essai doit être effectué dans les conditions décrites dans la CEI 60129.

6.101.6 Essai avec efforts statiques sur les bornes

6.101.6.1 Généralités

L'essai avec efforts statiques sur les bornes est effectué pour démontrer que le disjoncteur fonctionne correctement quand des contraintes résultant de la glace, du vent et du raccordement des conducteurs lui sont appliquées.

L'essai avec efforts statiques sur les bornes est applicable seulement aux disjoncteurs d'extérieur de tension assignée égale ou supérieure à 52 kV.

Il n'est pas nécessaire d'effectuer des essais si le constructeur peut prouver par le calcul que le disjoncteur peut supporter les contraintes.

La couche de glace et la pression de vent sur le disjoncteur doivent être conformes aux indications de 2.1.2 de la CEI 60694.

Quelques exemples d'efforts dus à des conducteurs flexibles et tubulaires raccordés (ne comprenant pas les efforts dus au vent ou à la glace ou les efforts dynamiques sur le disjoncteur lui-même) sont donnés à titre de guide dans le tableau 9.

L'effort de traction dû aux conducteurs raccordés est supposé s'appliquer à l'extrémité de la borne du disjoncteur.

Les efforts F_{shA}, F_{shB} et F_{sv} (voir figure 19) résultant respectivement des actions simultanées de la glace, du vent et des conducteurs raccordés sont définis comme efforts statiques assignés sur les bornes.

6.101.6.2 Essais

Les essais doivent être effectués à la température de l'air ambiant du local d'essai.

De préférence, il convient de faire les essais sur au moins un pôle complet du disjoncteur. Si le constructeur peut prouver qu'il n'y a pas d'interaction des forces entre les différentes colonnes d'un pôle, l'essai d'une seule colonne est suffisant. Il suffit d'essayer, à l'effort statique assigné sur les bornes, une seule borne des disjoncteurs qui sont symétriques par rapport à l'axe vertical du centre du pôle. Pour les disjoncteurs qui ne sont pas symétriques, chaque borne doit être essayée.

Les essais doivent être effectués séparément, en premier lieu avec un effort horizontal, F_{shA}, appliqué dans l'axe longitudinal des bornes (direction A de la figure 20), en second lieu avec un effort horizontal, F_{shB}, appliqué successivement dans deux directions orthogonales à l'axe longitudinal des bornes (directions B_1, et B_2 de la figure 20), en troisième lieu avec un effort vertical, F_{sv}, appliqué successivement dans deux directions (directions C_1, et C_2 de la figure 20). Pour éviter l'application d'un effort spécial représentant l'effort du vent qui s'appliquerait au centre du disjoncteur, cet effort de vent peut être appliqué à la borne (voir figure 19) et réduit en amplitude proportionnellement à l'augmentation du bras de levier (le moment de flexion à la partie la plus basse du disjoncteur est, en principe, le même).

6.101.5 Test to prove the operation under severe ice conditions

The test under severe ice conditions is applicable only to outdoor circuit-breakers having moving external parts and for which a class of 10 mm or 20 mm of ice thickness is specified. The test shall be performed under the conditions described in IEC 60129.

6.101.6 Static terminal load test

6.101.6.1 General

The static terminal load test is performed to demonstrate that the circuit-breaker operates correctly when loaded by stresses resulting from ice, wind and connected conductors.

The static terminal load test is applicable only to outdoor circuit-breakers having rated voltages of 52 kV and above.

If the manufacturer, using calculations, can prove that the circuit-breaker can withstand the stresses, tests need not be performed.

Ice coating and wind pressure on the circuit-breaker shall be in accordance with 2.1.2 of IEC 60694.

Some examples of forces due to flexible and tubular connected conductors (not including wind or ice load or the dynamic loads on the circuit-breaker itself) are given as a guide in table 9.

The tensile force due to the connected conductors is assumed to act at the outermost end of the circuit-breaker terminal.

For simultaneous action of ice, wind and connected conductors, the resultant terminal forces, F_{shA}, F_{shB} and F_{sv} respectively (see figure 19) are defined as rated static terminal loads.

6.101.6.2 Tests

The tests shall be made at the ambient air temperature of the test room.

The tests should be made on at least one complete pole of the circuit-breaker. If the manufacturer can prove that there is no interaction between different columns in the pole, it is sufficient to test only one column. For circuit-breakers which are symmetrical about the pole unit vertical centreline, only one terminal need be tested with the rated static terminal load. For circuit-breakers which are not symmetrical, each terminal shall be tested.

Tests shall be made separately, firstly with a horizontal force, F_{shA}, applied in longitudinal axis of the terminal (direction A in figure 20), secondly with a horizontal force, F_{shB}, applied in two directions successively at 90° from the longitudinal axis of the terminals (directions B_1 and B_2 in figure 20) and thirdly, with a vertical force, F_{sv} applied in two directions successively (directions C_1 and C_2 in figure 20). To avoid the need to apply a special force representing the force of wind acting at the circuit-breaker's centre of application of pressure, this wind load may be applied at the terminal (see figure 19) and reduced in magnitude in proportion to the longer lever arm (the bending moment at the lowest part of the circuit-breaker should be the same).

Deux cycles de manœuvres doivent être effectués pour chacun des cinq essais d'efforts sur les bornes.

Tableau 9 – Exemples de forces statiques horizontales et verticales pour l'essai avec efforts statiques aux bornes

Gamme de tensions assignées	Gamme de courants assignés	Effort statique horizontal F_{th}		Effort statique vertical (vers le haut ou vers le bas) F_{tv}
U_r	I_r	Longitudinal F_{thA}	Transversal F_{thB}	
kV	A	N	N	N
52 – 72,5	800 – 1250	500	400	500
52 – 72,5	1 600 – 2 500	750	500	750
100 – 170	1 250 – 2 000	1 000	750	750
100 – 170	2 500 – 4 000	1 250	750	1 000
245 – 362	1 600 – 4 000	1 250	1 000	1 250
420 – 800	2 000 – 4 000	1 750	1 250	1 500

6.102 Dispositions diverses pour les essais d'établissement et de coupure

Les paragraphes suivants sont applicables à tous les essais d'établissement et de coupure, sauf spécification contraire dans les articles correspondants.

Lorsque applicable, avant le début des essais, le fabricant doit donner les valeurs des

– conditions minimales de fonctionnement du mécanisme d'entraînement garantissant la séquence de manœuvres assignée (par exemple, la pression minimale pour la manœuvre dans le cas d'un mécanisme oléopneumatique);
– conditions minimales de fonctionnement des dispositifs de coupure garantissant la séquence de manœuvres assignée (par exemple, la pression minimale pour l'interruption dans le cas d'un disjoncteur au SF_6).

6.102.1 Généralités

Les disjoncteurs doivent être capables d'établir et de couper tous les courants de court-circuit, symétriques et asymétriques, jusqu'à et incluant leur pouvoir de coupure assigné en court-circuit: cela est vérifié lorsque les disjoncteurs établissent et coupent les courants triphasés symétriques et asymétriques spécifiés compris entre 10 % (ou les valeurs plus faibles de courant spécifiées en 6.107.2 si 6.107.1 est applicable) et 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit à la tension assignée.

De plus, les disjoncteurs prévus pour être utilisés sur un réseau à neutre à la terre, ou pour un fonctionnement unipolaire, doivent établir et couper les courants de court-circuit monophasés compris entre 10 % (ou les valeurs plus faibles de courant spécifiées en 6.107.2 si 6.107.1 est applicable) et 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit à la tension phase-terre $\left(U_r / \sqrt{3}\right)$.

Les disjoncteurs, auxquels des caractéristiques de coupure de courants capacitifs ont été assignés, doivent être capables de couper des courants capacitifs jusqu'à et y compris le pouvoir de coupure assigné de courants capacitifs à un niveau de tension jusqu'à et y compris la tension spécifiée (voir 6.111.7). Cela est démontré lorsque les disjoncteurs coupent le courant capacitif assigné de coupure à la tension d'essai spécifiée.

Two operating cycles shall be performed for each of the five terminal load tests.

Table 9 – Examples of static horizontal and vertical forces for static terminal load test

Rated voltage range	Rated current range	Static horizontal force F_{th}		Static vertical force (vertical axis-upward and downward)
U_r	I_r	Longitudinal F_{thA}	Transversal F_{thB}	F_{tv}
kV	A	N	N	N
52 – 72,5	800 – 1 250	500	400	500
52 – 72,5	1 600 – 2 500	750	500	750
100 – 170	1 250 – 2 000	1 000	750	750
100 – 170	2 500 – 4 000	1 250	750	1 000
245 – 362	1 600 – 4 000	1 250	1 000	1 250
420 – 800	2000 – 4 000	1 750	1 250	1 500

6.102 Miscellaneous provisions for making and breaking tests

The following subclauses are applicable to all making and breaking tests unless otherwise specified in the relevant clauses.

Where applicable, prior to the commencement of the tests, the manufacturer shall declare the values of

– minimum conditions of the operating mechanism guaranteeing the rated operating sequence (for example the minimum functional pressure for operation in case of a hydraulic operating mechanism);

– minimum conditions of the interrupting device guaranteeing the rated operating sequence (for example the minimum functional pressure for interruption in case of a SF_6 circuit-breaker).

6.102.1 General

Circuit-breakers shall be capable of making and breaking all short-circuit currents, symmetrical and asymmetrical, up to and including the rated short-circuit breaking currents: this is demonstrated, when the circuit-breakers make and break the specified three-phase symmetrical and asymmetrical currents between 10 % (or such lower currents as specified in 6.107.2 if 6.107.1 is applicable) and 100 % of the rated short-circuit breaking current at rated voltage.

In addition, circuit-breakers intended to be used in an earthed neutral system or for single-pole operation shall make and break single-phase short-circuit currents between 10 % (or such lower currents as specified in 6.107.2 if 6.107.1 is applicable) and 100 % of the rated short-circuit breaking current at phase-to-earth voltage ($U_r/\sqrt{3}$).

Circuit-breakers to which any capacitive current switching rating has been assigned shall be capable of switching capacitive currents up to and including the rated capacitive switching current at a voltage level up to and including the specified one (see 6.111.7). This is demonstrated when the circuit-breakers switch the rated capacitive switching current at the specified test voltage.

Les prescriptions concernant l'établissement et la coupure en triphasé sont vérifiées de préférence avec des circuits triphasés.

Si les essais sont effectués dans un laboratoire, la tension appliquée, le courant, la tension transitoire de rétablissement et la tension de rétablissement à fréquence industrielle peuvent être obtenus à partir d'une source unique de puissance (essais directs) ou à partir de plusieurs sources de telle sorte que la totalité du courant, ou sa majeure partie, soit obtenue à partir d'une source, et que la tension transitoire de rétablissement, ou sa majeure partie, soit obtenue à partir d'une ou de plusieurs autres sources séparées (essais synthétiques).

Si, par suite des limitations des installations d'essais, les caractéristiques de court-circuit du disjoncteur ne peuvent pas être vérifiées comme indiqué ci-dessus, plusieurs méthodes utilisant les méthodes d'essais directs ou synthétiques peuvent être employées seules ou combinées, en fonction du type de disjoncteur:

a) essais unipolaires (voir 6.102.4.1);

b) essais sur éléments séparés (voir 6.102.4.2);

c) essais en plusieurs parties (voir 6.102.4.3).

6.102.2 Nombre de spécimens d'essai

Le paragraphe 6.1.1 de CEI 60694 s'applique avec les additions suivantes:

La pratique recommandée pour les essais d'établissement et de coupure en court-circuit et de manœuvre (incluant les défauts aux bornes, les défauts proches en ligne, manœuvres en discordance de phases et sur courants capacitifs lorsque applicables) est qu'un seul spécimen d'essais devrait être utilisé. Lorsque requis, une remise en état est admise et devrait être effectuée tel que permis entre chacune des séquences d'essais dans le cas des essais en court-circuit et entre chaque série d'essais pour les essais autres que ceux en court-circuit. Le fabricant doit fournir au laboratoire d'essais la liste des pièces qui peuvent être remises en état durant les essais.

Cependant, il est reconnu que dans le cas où plusieurs séquences d'essais sont réalisées dans la même station d'essais durant une seule période d'essais, les restrictions données au paragraphe précédent peuvent causer des contraintes économiques. Dans ces circonstances, il est permis d'utiliser jusqu'à deux spécimens d'essais pour réaliser tous les essais mentionnés ci-avant. Dans un tel cas, l'identification des deux spécimens d'essais doit être réalisée selon les prescriptions de 6.1.2 de CEI 60694; de plus, les caractéristiques de déplacement mécanique des deux spécimens doivent être selon les tolérances données en 6.101.1.1.

A titre de concession supplémentaire, limitée aux disjoncteurs ayant des mécanismes d'entraînement indépendants pour chacun des pôles, essayés au complet en monophasé, des chambres de coupures supplémentaires jusqu'à un maximum de deux pôles peuvent être utilisées en plus des deux spécimens d'essais.

Si des essais sont effectués sur un ou des éléments séparés d'un pôle, le nombre total d'éléments impliqués dans un essai individuel, considérant les prescriptions 6.102.4.2.3, est considéré comme étant un spécimen d'essais. Dans ce cas, deux spécimens d'essais avec leur mécanisme de manœuvre respectif et jusqu'à deux spécimens d'essais supplémentaires (éléments de coupure appropriés) peuvent être utilisés.

La figure 21 illustre le nombre de spécimens permis pour les essais d'établissement et de coupure. La définition d'un spécimen d'essais selon le paragraphe 3.2.2 de CEI 60694 est montrée à la figure 22.

Three-phase making and breaking requirements should preferably be proved in three-phase circuits.

If the tests are carried out in a laboratory, the applied voltage, current, transient and power-frequency recovery voltages may all be obtained from a single power source (direct tests) or from several sources where all of the current, or a major portion of it, is obtained from one source, and the transient recovery voltage is obtained wholly or in part from one or more separate sources (synthetic tests).

If, due to limitations of the testing facilities, the short-circuit performance of the circuit-breaker cannot be proved in the above way, several methods employing either direct or synthetic test methods may be used either singly or in combination, depending on the circuit-breaker type:

a) single-pole testing (see 6.102.4.1);

b) unit testing (see 6.102.4.2);

c) multi-part testing (see 6.102.4.3).

6.102.2 Number of test specimens

Subclause 6.1.1 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

As a recommended practice for the performance of short-circuit making and breaking tests and of switching tests (including terminal fault, short-line fault, out-of-phase and capacitive current switching tests where applicable), a unique test specimen should be used. Where required, maintenance is allowed and should be performed as permitted, between each individual test-duty in the case of short-circuit tests and between each test series in the case of other than short-circuit tests. The manufacturer shall provide a statement to the testing laboratory of those parts that may be renewed during the tests.

It is, however, recognised that in the case of several test-duties being carried out in the same testing station during one occupation, the restrictions given in the previous paragraph may cause economic constraints. Under these circumstances, it is allowed to use up to two test specimens for the performance of all the above-mentioned tests. In such a case, full identification of the two test specimens according to 6.1.2 of IEC 60694 shall be carried out; in addition, the mechanical travel characteristics of the two specimens shall be within the tolerances given in 6.101.1.1.

As a further allowance limited to circuit-breakers having independent operating mechanisms for each pole, tested single phase and full pole, in addition to the two test specimens, supplementary interrupting units of up to two poles may be used.

If tests are carried out as unit tests on one or more units of a pole, the total number of units involved in the individual test, taking the provisions of 6.102.4.2.3 into account, is considered as one test specimen. In this case, two test specimens with their associated operating mechanisms and up to two additional test specimens (appropriate interrupting units) may be used.

In figure 21 the permitted number of test specimens for making, breaking and switching tests is illustrated, and in figure 22 the definition of a test specimen in accordance with 3.2.2 of IEC 60694 is illustrated.

Cette concession supplémentaire est permise à condition que l'inspection de l'équipement après les essais montre qu'il n'y a pas eu de dommage significatif aux pièces non interchangeables, ce qui pourrait diminuer la capacité du disjoncteur à tenir la série complète d'essais de type sans changement de ces pièces non interchangeables. Si ce n'est pas le cas, les essais doivent être répétés en utilisant le même spécimen et en ne remplaçant que les pièces interchangeables, telles qu'indiquées dans la liste du fabricant.

Lorsque des essais supplémentaires non obligatoires sont réalisés, l'utilisation de spécimens d'essais supplémentaires, en plus du nombre spécifié ci-dessus, est permise (voir tableau 7).

6.102.3 Disposition du disjoncteur pour les essais

6.102.3.1 Généralités

Le disjoncteur à essayer doit être monté sur son propre support ou sur un support équivalent. Un disjoncteur fourni comme partie intégrante d'une cellule doit être monté sur son propre support, dans la cellule complète comprenant les équipements de sectionnement et les évents faisant partie de la cellule et, lorsque cela est possible, les jeux de barres et les principales connexions.

Son dispositif de commande doit être actionné dans les conditions spécifiées et, en particulier, si le mécanisme est à commande électrique ou à ressorts, le solénoïde de fermeture ou les déclencheurs shunt de fermeture et les déclencheurs shunt d'ouverture doivent être alimentés à leurs tensions minimales garantissant une manœuvre réussie (85 % de la tension assignée pour le solénoïde de fermeture ou les déclencheurs shunts de fermeture, 85 % de la tension assignée en c.a. ou 70 % en c.c. pour les déclencheurs d'ouverture). Pour obtenir un contrôle stable des manœuvres d'ouverture et de fermeture lors de la séquence d'essais T100a, des essais d'établissement et d'interruption de courants capacitifs et des essais monophasés spécifiés en 6.108, les déclencheurs doivent être alimentés à la tension maximale de commande. Pour les mécanismes pneumatiques ou oléopneumatiques, ils doivent être alimentés à la pression minimale pour la manœuvre, tel que décrit en 3.7.157, au début de la séquence de manœuvres assignée tel que spécifié en 4.104, à moins d'indications contraires dans les articles particuliers. Dans les cas où les séquences d'essais ou les limitations de la station d'essais résultent en des séquences comprenant des manœuvres séparées O, séquences de manœuvres CO et O - t - CO , la procédure suivante s'applique:

a) avant les essais d'établissement et de coupure, et partant de la pression minimale pour la manœuvre définie en 3.7.157, toutes les pressions durant la séquence de manœuvres assignée effectuée à vide doivent être enregistrées;

b) les valeurs enregistrées doivent être comparées avec les valeurs minimales garanties par le fabricant pour les manoeuvres séparées réussies O, CO et O - t - CO;

c) les essais doivent être réalisés à la pression pour la manœuvre ajustée à la valeur minimale résultant de a) et b) ci-dessus, quelle que soit la plus basse, pour la manœuvre correspondante dans la séquence d'essais; les valeurs de pression doivent être indiquées dans le rapport d'essais.

Les dispositifs de verrouillage associés aux pressions doivent être rendus inopérants durant les essais s'ils interfèrent avec l'objectif de l'essai.

On doit démontrer que le disjoncteur fonctionne correctement à vide lorsqu'il est manoeuvré dans les conditions ci-dessus, tel que spécifié en 6.102.6. La pression du gaz comprimé utilisé pour la coupure doit être ajustée à sa valeur minimale telle que définie en 3.7.157.

Le disjoncteur doit être essayé selon son type tel que spécifié en 6.102.3.2 et 6.102.3.3.

The additional allowance is permitted, provided that inspection of the equipment after the tests shows that there is no undue damage to the non-renewable parts which could impair the capability of the circuit-breaker to withstand the complete series of type tests without change of its non-renewable parts. Should this not be the case, the tests shall be repeated using the same specimen with only replacement of the renewable parts as declared by the manufacturer.

Where additional non-mandatory tests are performed, the use of additional test specimens, exceeding the number specified above, is allowed (see table 7).

6.102.3 Arrangement of circuit-breaker for tests

6.102.3.1 General

The circuit-breaker under test shall be mounted on its own support or on an equivalent support. A circuit-breaker supplied as an integral part of an enclosed unit shall be assembled on its own supporting structure and enclosure, complete with any disconnecting features, with vent outlets forming part of the unit and, where practicable, with main connections and busbars.

Its operating device shall be operated in the manner specified and in particular, if it is electrically or spring operated, closing solenoid or shunt closing releases and shunt opening releases shall be supplied at their respective minimum voltages guaranteeing successful operation (85 % of the rated voltage for the closing solenoid or shunt closing releases, 85 % of the rated voltage if a.c. or 70 % if d.c. for the opening release). To facilitate consistent control of the opening and closing operation, the releases shall be supplied at the maximum operating voltage for test-duty T100a, capacitive current switching tests and the single-phase test specified in 6.108. For pneumatically or hydraulically operated devices, it shall be operated at the minimum functional pressure for operation, as per 3.7.157, at commencement of the rated operating sequence, as per 4.104, unless otherwise specified in the relevant clauses. In cases where test-duty or test station limitations allow for operating sequences consisting of separate O operations, CO and O - t - CO operating sequences, the following procedure applies:

a) before performing making, breaking and switching tests and starting from the minimum functional pressure for operation as per 3.7.157, all the pressures during the rated operating sequence carried out at no-load shall be recorded;
b) the recorded values shall be compared with the minimum values declared by the manufacturer as guaranteeing successful operations as separate O, CO and O - t - CO;
c) tests shall be carried out at the pressure for operation set at the minimum value resulting from a) and b) above, whatever is the lower, for the corresponding operation in the test-duty; the pressure values shall be reported in the test report.

Interlocking devices associated with pressure interlocks shall be made inoperative during the tests, if they interfere with the intent of the test.

It shall be shown that the circuit-breaker will operate satisfactorily under the above conditions at no-load as specified in 6.102.6. The pressure of the compressed gas for interruption, if any, shall be set at its minimum functional value according to 3.7.157.

The circuit-breaker shall be tested according to its type as specified in 6.102.3.2 and 6.102.3.3.

6.102.3.2 Disjoncteur à enveloppe unique

Un disjoncteur tripolaire ayant tous ses contacts d'arc dans une enveloppe unique doit être essayé comme un disjoncteur tripolaire complet à l'aide d'un circuit triphasé en prenant en compte la CEI 61633.

Les raisons sont les suivantes:

– possibilité de décharge disruptive entre pôles ou à la terre due à l'influence des gaz d'échappement;
– différences possibles de l'état du fluide d'extinction (pressions, températures, niveaux de pollution, etc.);
– plus grande influence entre phases due aux efforts électrodynamiques en cas de défaut triphasé;
– possibilité de contraintes différentes sur le mécanisme d'entraînement.

6.102.3.3 Disjoncteur à enveloppes multiples

Un disjoncteur tripolaire constitué de trois appareils de connexions unipolaires indépendants peut être essayé en monophasé conformément à 6.102.4.1. Le fabricant doit prouver par des essais la conformité à 5.101.

Un disjoncteur tripolaire dont les pôles ne sont pas complètement indépendants doit être essayé de préférence comme un disjoncteur tripolaire complet. Cependant, pour des raisons de limitation des possibilités d'essais dont on dispose, on peut essayer un seul pôle du disjoncteur, à condition que ce pôle soit, pour toute la gamme d'essais, en particulier, pour les contraintes électriques et mécaniques appliquées durant les essais, équivalent au disjoncteur tripolaire complet ou tout au moins qu'il ne soit pas dans une situation plus favorable que ce disjoncteur tripolaire, en ce qui concerne

– les caractéristiques de déplacement mécanique lors d'une manœuvre de fermeture (pour la méthode d'évaluation, voir 6.102.4.1);
– les caractéristiques de déplacement mécanique lors d'une manœuvre d'ouverture (pour la méthode d'évaluation, voir 6.102.4.1);
– la disponibilité du fluide d'extinction;
– la puissance et la robustesse des dispositifs de fermeture et d'ouverture;
– la rigidité de la structure.

6.102.3.4 Disjoncteurs à déclenchement autonome

Pour les disjoncteurs à déclenchement autonome, en considérant les prescriptions de 6.103.4, le déclencheur à maximum de courant doit être rendu inopérant durant les essais d'établissement, de coupure et de manœuvre et le déclencheur de courant ou les transformateurs de courant doivent être raccordés du côté sous tension du circuit d'essais.

6.102.4 Conditions générales concernant les méthodes d'essais

6.102.4.1 Essais unipolaires d'un pôle de disjoncteur tripolaire

Selon cette méthode, un pôle d'un disjoncteur tripolaire est essayé en monophasé en lui appliquant le même courant et pratiquement la même tension à fréquence industrielle que subirait le pôle le plus sollicité durant l'établissement et la coupure en triphasé par le disjoncteur tripolaire complet dans des conditions correspondantes.

Dans les cas où la conception du disjoncteur permet des essais unipolaires pour représenter des conditions triphasées et où le disjoncteur est muni d'un mécanisme d'entraînement unique pour tous les pôles, un ensemble tripolaire complet doit être fourni pour les essais.

6.102.3.2 Common enclosure type

A three-pole circuit-breaker having all its arcing contacts supported within a common enclosure shall be tested as a complete three-pole circuit-breaker in three-phase circuits, taking IEC 61633 into account.

The reasons are as follows:

– possibility of disruptive discharge between poles or to earth due to the influence of exhaust gases;
– possible differences in the conditions of the extinguishing medium (pressures, temperatures, pollution levels, etc.);
– greater influence between phases due to electrodynamic forces in the case of a three-phase fault;
– possible different stresses on the operating mechanism.

6.102.3.3 Multi-enclosure type

A three-pole circuit-breaker consisting of three independent single-pole switching devices can be tested single-phase according to 6.102.4.1. The manufacturer shall give testing evidence to show compliance with 5.101.

A three-pole circuit-breaker not having completely independent switching devices should be tested as a complete three-pole circuit-breaker. However, owing to limitation of available testing facilities, one single-pole of the circuit-breaker may be tested, provided that it is with regard to the mechanical and electrical conditions applied during the tests equivalent to, or not in a more favourable condition than, the complete three-pole circuit-breaker over the range of tests in respect of

– mechanical travel characteristics in a making operation (for the evaluation method, see 6.102.4.1);
– mechanical travel characteristics in a breaking operation (for the evaluation method, see 6.102.4.1);
– availability of arc-extinguishing medium;
– power and strength of closing and opening devices;
– rigidity of structure.

6.102.3.4 Self-tripping circuit-breakers

For self-tripping circuit-breakers, subject to the provisions of 6.103.4, the over-current release shall be inoperative during making, breaking and switching tests and the over-current release or the current transformers shall be connected to the live side of the test circuit.

6.102.4 General considerations concerning testing methods

6.102.4.1 Single-phase testing of a single pole of a three-pole circuit-breaker

According to this method, a single-pole of a three-pole circuit-breaker is tested single-phase, applying to the pole the same current and substantially the same power-frequency voltage which would be impressed upon the most highly stressed pole during three-phase making and breaking by the complete three-pole circuit-breaker under corresponding conditions.

In those cases where the circuit-breaker design permits single-pole testing to simulate three-phase conditions and the circuit-breaker is equipped with one operating mechanism for all poles a complete three-pole assembly shall be supplied for the tests.

Pour les essais en court-circuit, de façon à établir si la conception du disjoncteur permet les essais en monophasé pour simuler les conditions triphasées, des essais de vérification consistant en une manœuvre de fermeture sur un courant asymétrique et symétrique et en une manœuvre de coupure doivent être réalisés. De plus, on doit vérifier que les caractéristiques de fonctionnement du disjoncteur à essayer en monophasé sont conformes aux prescriptions de 6.101.1.1.

L'essai de vérification pour la coupure consiste à effectuer un essai d'interruption de courant de court-circuit triphasé au même niveau de courant que celui prescrit pour la séquence d'essais T100s, sans TTR, à une tension d'essais convenable et avec la durée d'arc la plus longue prévue pour le dernier pôle qui coupe le courant.

L'essai de vérification pour la fermeture consiste en deux manœuvres triphasées de fermeture dans les mêmes conditions que celles données en 6.104.2. Pour une des manœuvres de fermeture, le plein courant symétrique et la durée de préamorçage maximale doivent être obtenus dans un pôle. Pour l'autre manœuvre de fermeture, l'asymétrie maximale doit être obtenue sur un pôle; dans ce cas, la manœuvre de fermeture doit être effectuée à une tension réduite convenable.

Durant ces essais de vérification pour l'établissement et la coupure, la courbe de déplacement des contacts est enregistrée. Elle doit être utilisée comme référence pour la procédure suivante (voir figure 23a). Le capteur utilisé pour l'enregistrement du déplacement des contacts doit être monté à un endroit approprié permettant d'obtenir au mieux le déplacement des contacts, soit directement soit indirectement.

A partir de cette courbe de déplacement des contacts, deux enveloppes doivent être tracées depuis l'instant de séparation des contacts jusqu'à la fin du déplacement des contacts. La distance des deux enveloppes et la courbe de déplacement originale doit être de ±5 % du déplacement total évalué lors de l'essai de vérification en triphasé (voir figure 23b).

Durant l'essai monophasé sous les mêmes conditions (séquence d'essais T100s avec la durée d'arc la plus longue et la durée de préamorçage la plus longue), la courbe de déplacement des contacts doit être enregistrée. Si la courbe de déplacement des contacts durant l'essai en monophasé est à l'intérieur des enveloppes des caractéristiques de déplacement mécanique, de l'instant de séparation des contacts jusqu'à la fin du déplacement des contacts pour la manœuvre d'ouverture, et de l'instant d'entrée en contact des contacts jusqu'à la fin du déplacement des contacts pour la manœuvre de fermeture des essais triphasés, alors les essais en monophasé représentant les conditions triphasées sont valables.

Les enveloppes peuvent être déplacées verticalement jusqu'à ce qu'une des courbes couvre la courbe de référence. Ceci donne des tolérances maximales respectives sur la courbe de référence de déplacement des contacts de –0 %, +10 % et de +0 %, –10 % (voir figure 23c et 23d). Le déplacement de l'enveloppe ne peut être fait qu'une seule fois pour la procédure complète de façon à obtenir une déviation totale maximale de 10 % de la courbe de référence.

NOTE Pour obtenir des caractéristiques adéquates de déplacement des contacts des pôles individuels, selon la conception (manoeuvre monopolaire ou tripolaire), il peut être nécessaire de faire des ajustements par exemple, en utilisant des fonctions de transfert.

Il convient de porter une attention particulière aux émissions de produits causées par l'arc. Si on considère que de telles émissions sont, par exemple, susceptibles d'affaiblir la distance d'isolement avec les pôles adjacents, cela doit alors être vérifié en utilisant des écrans métalliques reliés à la terre (voir paragraphe 6.102.8).

For short-circuit tests in order to establish whether the circuit-breaker permits single-phase tests to simulate three-phase conditions, verification tests consisting of an asymmetrical and a symmetrical making operation and a breaking operation shall be performed. Furthermore, it shall be checked that the operating characteristics of the circuit-breaker to be single-phase tested correspond to the provisions of 6.101.1.1.

The verification test for breaking consists of performing a three-phase short-circuit breaking test at the same current level as prescribed for test-duty T100s, without TRV with any convenient test voltage, and with the longest expected arcing time in the last-pole-to-clear.

The verification test for making consists of two three-phase making operations under the same conditions as given in 6.104.2. In one making operation full symmetrical current and the maximum prearcing time shall be achieved in one pole. In the other making operation the maximum asymmetry shall be achieved in one pole; in this case the making operation may be performed at a convenient reduced voltage.

During these verification tests for making and breaking, the course of the contact travel is recorded. It shall be used as a reference for the following procedure (see figure 23a). The sensor for picking up the course of the contact travel shall be mounted at a suitable location making it possible for providing the course of the contact travel at best, either directly or indirectly.

From this reference course, two envelope curves shall be drawn from the instant of contact separation to the end of the contact travel. The distance of the two envelopes from the original course shall be ±5 % of the total travel evaluated from the three-phase verification test (see figure 23b).

During a single-phase test under the same conditions (test-duty T100s with the longest arcing time and the longest pre-arcing time) the course of the contact travel shall be recorded. If the course of the contact travel in the single-phase test is within the envelopes of the mechanical travel characteristics from the instant of contact separation to the end of the contact travel for the opening operation and from the instant of contact touch to the end of the contact travel for the closing operation of the three-phase tests, single-phase tests for representing three-phase conditions are valid.

The envelopes can be moved in the vertical direction until one of the curves covers the reference curve. This gives maximum tolerances over the reference contact travel curve of –0 %, +10 % and +0 %, –10 % respectively (see figures 23c and 23d). The displacement of the envelope can be done only once for the complete procedure in order to get a maximum total deviation from the reference curve of 10 %.

NOTE To achieve the correct contact travel characteristics of the individual poles, depending on the design (single-phase or three-phase operated), it may be necessary to make adjustments, for example by using transfer functions.

Special attention should be paid to the emission of arc products. If it is considered that such emission would, for example, be likely to impair the insulation distance to adjacent poles, then this shall be checked, using earthed metallic screens (see 6.102.8).

6.102.4.2 Essais sur éléments séparés

Certains disjoncteurs sont construits par montage en série d'éléments identiques de coupure ou de fermeture, la répartition de tension entre les éléments de chaque pôle étant souvent améliorée par l'utilisation d'impédances parallèles.

Ce type de construction permet de vérifier les caractéristiques de coupure ou de fermeture d'un disjoncteur en effectuant les essais sur un ou plusieurs éléments.

Les exigences de 6.101.1.1, 6.102.3 et 6.102.4.1 s'appliquent aussi aux essais sur éléments séparés. Étant donné que l'on doit fournir au moins un pôle complet pour les essais de vérification sur un ou plusieurs éléments, les résultats des essais se rapportent seulement au type de pôle spécifique considéré.

Les situations suivantes peuvent être rencontrées.

a) Le pôle du disjoncteur est composé d'éléments (ou d'assemblage d'éléments) qui sont actionnés séparément et n'ont pas de liens communs en ce qui concerne le fluide extincteur de l'arc.

   Dans ce cas, les essais par éléments séparés sont acceptables. Cependant, il convient que l'influence mutuelle des forces électrodynamiques du courant sur les éléments et sur l'arc à l'intérieur de ceux-ci soit considérée (voir figure 24). Cela peut être effectué en remplaçant la deuxième chambre de coupure par un conducteur de forme équivalente.

b) Le pôle du disjoncteur est composé d'éléments (ou d'assemblage d'éléments) qui sont actionnés séparément mais ont un lien commun en ce qui concerne le fluide extincteur de l'arc.

   Dans ce cas, les essais par éléments séparés sont acceptables seulement si les éléments qui ne sont pas essayés sont soumis à l'arc durant l'essai (par exemple utilisé comme disjoncteur auxiliaire lors d'essais synthétiques).

c) Le pôle du disjoncteur est composé d'éléments (ou d'assemblage d'éléments) qui ne sont pas opérés séparément.

   Dans ce cas, les essais par éléments séparés sont acceptables seulement si les caractéristiques de déplacement mécanique pour l'essai sur élément séparé et pour l'essai sur le pôle complet sont les mêmes. La procédure donnée en 6.102.4.1 pour les essais en monophasé de disjoncteurs tripolaires doit être appliquée en conséquence. De plus, l'influence des forces électrodynamiques (voir aussi le point a) ci-dessus) doit être considérée.

   Cependant, si les éléments qui ne sont pas essayés sont soumis à l'arc durant l'essai (par exemple, utilisé comme disjoncteur auxiliaire lors d'essais synthétiques), les exigences relatives aux caractéristiques de déplacement mécanique sont considérées comme étant rencontrées. Dans ce cas, l'exigence pour les disjoncteurs dont les éléments ont un lien commun en ce qui concerne le fluide extincteur de l'arc (voir aussi le point b) ci-dessus) est rencontrée en même temps.

d) Pour les courants d'essais égaux ou inférieurs à 60 % du pouvoir assigné en court-circuit, les essais par éléments séparés sont acceptables si le volume du fluide extincteur de l'arc de l'élément en essai est proportionnel à la partie applicable d'un ensemble d'éléments ayant le même fluide extincteur de l'arc.

   Les caractéristiques de déplacement mécanique pour les essais sur l'élément séparé et pour les essais sur le pôle complet doivent être les mêmes. La procédure donnée en 6.102.4.1 pour les essais en monophasé de disjoncteurs tripolaires doit être appliquée en conséquence.

Quand on effectue des essais sur éléments séparés, il est essentiel que ceux-ci soient identiques et que la répartition statique de tension pour le type d'essai (par exemple défauts aux bornes, défauts proches en ligne, en discordance de phases, etc.) soit connue.

6.102.4.2 Unit testing

Certain circuit-breakers are constructed by assembling identical breaking or making units in series, the voltage distribution between the units of each pole often being improved by the use of parallel impedances.

This type of design enables the breaking or making performance of a circuit-breaker to be tested by carrying out tests on one or more units.

The requirements of 6.101.1.1, 6.102.3 and 6.102.4.1 also apply for unit testing. Since therefore at least a complete pole assembly has to be made available for the verification tests on one or more units, the test results relate only to this specific pole design.

The following situations can be distinguished

a) The circuit-breaker pole consists of units (or assemblies of units) which are separately operated and which have no mutual connections for the arc extinguishing medium.

   In this case unit testing is acceptable. However, the mutual influence through the electrodynamic forces of the current on the units and the arc in the units should be taken into account (see figure 24). This may be done by substitution of the second interrupter unit by a conductor with equivalent shape.

b) The circuit-breaker pole consists of units (or assemblies of units) which are separately operated but which have a mutual connection for the arc extinguishing medium.

   In this case, unit testing is only acceptable if the units not under test arc during the test (e.g. used as auxiliary circuit-breaker in synthetic tests).

c) The circuit-breaker pole consists of units (or assemblies of units) which are not separately operated.

   In this case, unit testing is only acceptable if the mechanical travel characteristics for the single-unit testing and for full-pole testing are the same. The procedure as given in 6.102.4.1 for single-pole testing of a three-pole circuit-breaker shall be applied accordingly. Moreover, the influence of electrodynamic forces (see also item a) above) shall be covered.

   However, if the units not under test arc during the test (for example, used as auxiliary circuit-breaker in synthetic tests), the requirements related to the mechanical travel characteristics are considered to be covered. In this case, the requirement for circuit-breakers, which have mutual connections for the extinguishing medium between units (see also item b) above) is covered at the same time.

d) For test currents equal to or less than 60 % of the rated short-circuit current, single-unit testing is permissible if the arc extinguishing medium volume of the single unit under test is proportional to the applicable part of one assembly of units having the same arc extinguishing medium.

   The mechanical travel characteristics for single-unit testing and for full-pole testing shall be the same. The procedure given in 6.102.4.1 for single-pole testing of a three-pole circuit-breaker shall be applied accordingly.

When carrying out unit tests it is essential that the units are identical and that the static voltage distribution for the type of test (for example terminal faults, short-line fault, out-of-phase, etc.) is known.

6.102.4.2.1 Similitude des éléments

Les éléments du disjoncteur doivent être identiques dans leur forme, leurs dimensions et leurs conditions de fonctionnement; seuls les dispositifs de répartition de tension peuvent différer d'un élément à l'autre. En particulier, les conditions suivantes doivent être remplies.

a) *Fonctionnement des contacts*

L'ouverture des contacts d'un pôle pour les essais de coupure, ou la fermeture des contacts d'un pôle pour les essais d'établissement, doivent être telles que l'intervalle de temps entre l'instant de l'ouverture ou de la fermeture des contacts de l'élément qui manœuvre le premier et de ceux de l'élément qui manœuvre le dernier ne soit pas supérieur à un huitième de période de la fréquence assignée. On doit utiliser les pressions et tensions de commande assignées pour déterminer cet intervalle de temps.

b) *Alimentation en fluide d'extinction*

Dans le cas de disjoncteurs utilisant un fluide d'extinction provenant d'une source extérieure, l'alimentation de chaque élément doit être pratiquement indépendante de l'alimentation des autres éléments et le positionnement des canalisations d'alimentation doit être tel que tous les éléments soient pratiquement alimentés ensemble et de manière identique.

6.102.4.2.2 Répartition de la tension

La tension d'essai est déterminée en analysant la répartition de tension entre les éléments du pôle.

La répartition de la tension entre les éléments d'un pôle, qui dépend de l'influence de la terre, doit être déterminée pour les conditions particulières d'essais utilisées pour des essais unipolaires:

– Pour les conditions correspondant au défaut aux bornes, voir les points c) et d) de 6.103.3 et les figures 27a, 27b, 28a et 28b;

NOTE 1 Le circuit d'essais montré aux figures 27b et 28b n'est pas applicable pour les disjoncteurs dont l'isolation entre phases et/ou à la terre est critique (par exemple, GIS et disjoncteurs à cuve mise à la terre). Des méthodes d'essais appropriées pour ces disjoncteurs sont présentées dans CEI 61633.

– pour les conditions correspondant au défaut proche en ligne voir 6.109.3;

– pour les conditions en discordance de phases voir 6.110.1 et les figures 51, 52 et 53;

– pour les conditions correspondant à la manœuvre de courants capacitifs voir 6.111.3, 6.111.4 et 6.111.5.

Lorsque les éléments ne sont pas disposés de façon symétrique, la répartition de la tension doit être également déterminée en inversant les connexions.

La répartition de la tension est déterminée soit par des mesures ou par des calculs. Les valeurs utilisées dans les calculs doivent résulter de la mesure des capacités parasites du disjoncteur. Ces calculs et mesures vérifiant les hypothèses utilisées dans les calculs incombent au constructeur.

Si le disjoncteur est muni de résistances en parallèle, la répartition de la tension doit être calculée ou mesurée statiquement à une fréquence équivalente à celle de la TTR.

NOTE 2 On considère que la fréquence équivalente est égale à $1/(2t_1)$ dans le cas d'une TTR à quatre paramètres et à $1/(2t_3)$ dans le cas d'une TTR à deux paramètres (voir figures 39 et 40).

Pour les essais de défaut proche en ligne sur éléments séparés, la répartition de la tension doit être calculée ou mesurée statiquement en considérant une tension du côté ligne à la fréquence fondamentale d'oscillation de la ligne et une tension du côté source à la fréquence équivalente de la TTR du défaut aux bornes, le point commun aux deux tensions étant au potentiel de la terre.

6.102.4.2.1 Identical nature of the units

The units of the circuit-breaker shall be identical in their shape, in their dimensions and in their operating conditions; only the devices for controlling the voltage distribution among units may be different. In particular, the following conditions shall be fulfilled.

a) *Operation of contacts*

The opening, in breaking tests, or the closing, in making tests, of the contacts of one pole shall be such that the time interval between the opening or closing of the contacts of the unit which is first to operate and the contacts of the unit which is last to operate is not more than one-eighth of a cycle of rated frequency. Rated operating pressures and voltages shall be used to determine this time interval.

b) *Supply of the arc-extinguishing medium*

For a circuit-breaker using a supply of arc-extinguishing medium from a source external to the units, the supply to each unit shall, for all practical purposes, be independent of the supply to the other units, and the arrangement of the supply pipes shall be such as to ensure that all units are fed essentially together and in an identical manner.

6.102.4.2.2 Voltage distribution

The test voltage is determined by analysing the voltage distribution between the units of the pole.

The voltage distribution between units of a pole, as affected by the influence of earth, shall be determined for the relevant test conditions laid down for tests on one pole:

– for terminal fault conditions see items c) and d) of 6.103.3 and figures 27a, 27b, 28a and 28b;

NOTE 1 The test circuit shown in figures 27b and 28b is not applicable for circuit-breakers where the insulation between phases and/or to earth is critical (for example GIS or dead tank circuit-breakers). Appropriate testing methods for those circuit-breakers are presented in IEC 61633.

– for short-line fault conditions see 6.109.3;

– for out-of-phase conditions see 6.110.1 and figures 51, 52 and 53;

– for capacitive current switching conditions see 6.111.3, 6.111.4 and 6.111.5.

Where the units are not symmetrically arranged, the voltage distribution shall be determined also with reverse connections.

The voltage distribution is determined either by measurement or by calculation. Values used in the calculations shall be supported by measurements of the stray capacitances of the circuit-breaker. Such calculations and supporting measurements verifying the assumptions used in the calculations are the responsibility of the manufacturer.

If the circuit-breaker is fitted with parallel resistors, the voltage distribution shall be calculated or measured statically at the equivalent frequency involved in the TRV.

NOTE 2 The equivalent frequency is considered to be $1/(2t_1)$ in the case of four parameters or $1/(2t_3)$ in the case of two parameters (see figures 39 and 40).

For short-line fault unit tests, the voltage distribution shall be calculated or measured statically on the basis of a voltage on the line side at the fundamental frequency of the line oscillation and a voltage on the source side at the equivalent frequency of the TRV for terminal faults, the common point of the two voltages being at earth potential.

Si la répartition de la tension est réalisée à l'aide de condensateurs uniquement, elle peut être calculée ou mesurée à la fréquence industrielle.

On doit tenir compte des tolérances de fabrication des résistances et des condensateurs. Le constructeur doit indiquer la valeur de ces tolérances.

NOTE 3 On peut tenir compte du fait que la répartition de la tension est plus favorable lors des essais de coupure dans des conditions de discordance de phases et de courants capacitifs que lors des essais de coupure de défauts aux bornes ou proches en ligne. C'est également le cas lorsque, exceptionnellement, des essais doivent être effectués dans des conditions de défauts isolés de la terre dans des réseaux à neutre à la terre.

NOTE 4 On n'a pas tenu compte de l'influence de la pollution dans la détermination de la répartition de la tension. Dans certains cas, la pollution peut modifier cette répartition de la tension.

6.102.4.2.3 Conditions à remplir pour les essais sur éléments séparés

Lors d'essais sur un seul élément, la tension d'essai doit être la tension de l'élément le plus sollicité du pôle complet du disjoncteur, déterminée conformément à 6.102.4.2.2. Dans les conditions de défaut proche en ligne, l'élément de référence est celui qui est le plus sollicité à l'instant de la première crête de la tension transitoire du côté ligne.

Lors des essais d'un groupe d'éléments, la tension apparaissant aux bornes de l'élément le plus sollicité du groupe doit être égale à celle de l'élément le plus sollicité du pôle, les deux étant déterminées conformément à 6.102.4.2.2.

Au cours des essais sur éléments séparés, l'isolation à la terre n'est pas contrainte à la pleine tension qui apparaît pendant un essai de coupure effectué sur le disjoncteur complet. Pour certains types de disjoncteurs, tels les disjoncteurs dont les pôles sont contenus dans des enveloppes métalliques, il est par conséquent nécessaire de prouver que l'isolation à la terre est capable de supporter cette pleine tension après l'interruption du courant de court-circuit assigné avec le temps d'arc maximal pour tous les éléments. Il convient de tenir compte aussi de l'influence des gaz d'échappement.

La CEI 61633 doit être prise en compte.

6.102.4.3 Essais en plusieurs parties

S'il n'est pas possible de répondre simultanément à toutes les prescriptions de la TTR pour une séquence d'essais donnée, l'essai peut être effectué en deux parties successives, tel que montré à la figure 43.

Dans la première partie, la partie initiale de la TTR doit ne pas traverser le segment de droite définissant le temps de retard et doit être conforme au tracé de référence spécifié jusqu'au point défini par la tension u_1 et le temps t_1.

Dans la seconde partie, le point défini par la tension u_c et le temps t_2 doit être atteint.

Le nombre d'essais pour chacune des parties doit être le même que celui requis pour la séquence d'essais et les durées d'arc pour chacune des parties doivent être conformes aux exigences de 6.102.10. Les durées d'arc des essais formant une partie de l'essai en plusieurs parties doivent être les mêmes avec une tolérance de ±1 ms. De plus, si la durée d'arc minimale dans une des parties diffère de celle établie dans l'autre partie de plus de 1 ms alors la durée d'arc maximale associée à la plus longue des durées d'arc minimales doit être utilisée pour les deux parties.

Le disjoncteur peut être remis en état entre la première partie et la deuxième partie selon les prescriptions de 6.102.9.5.

Dans des cas exceptionnels, il peut être nécessaire d'effectuer l'essai avec plus de deux parties. Dans ces cas, les principes évoqués ci-dessus doivent être appliqués.

If only capacitors are used, the voltage distribution may be calculated or measured at power frequency.

The manufacturing tolerances for resistors and capacitors shall be taken into account. The manufacturer shall state the value of these tolerances.

NOTE 3 It may be taken into account that the voltage distribution is more favourable during the out-of-phase and capacitive current breaking tests than during the terminal or short-line fault tests. This also applies when, in exceptional cases, tests have to be performed under the conditions of unearthed faults in earthed neutral systems.

NOTE 4 The influence of pollution is not considered in determining voltage distribution. In some cases, pollution may affect this voltage distribution.

6.102.4.2.3 Requirements for unit testing

When testing a single unit, the test voltage shall be the voltage of the most highly stressed unit of the complete pole of the circuit-breaker, determined in accordance with 6.102.4.2.2. For short-line fault conditions, the unit referred to is that most highly stressed at the specified time of the first peak of the line side transient voltage.

When testing a group of units, the voltage appearing at the terminals of the most highly stressed unit of the group shall be equal to the voltage of the most highly stressed unit of the pole, both determined in accordance with 6.102.4.2.2.

During unit testing, the insulation to earth is not stressed with the full voltage occurring during a breaking operation of the complete circuit-breaker. For certain types of circuit-breakers, such as circuit-breakers in metal enclosures, it is therefore necessary to prove that the insulation to earth is capable of withstanding this full voltage, after interruption of the rated short-circuit current in all units with maximum arcing time. The influence of exhaust gases should also be taken into account.

IEC 61633 shall be taken into account.

6.102.4.3 Multi-part testing

If all TRV requirements for the given test-duty cannot be met simultaneously, the test may be carried out in two successive parts, as illustrated in figure 43.

In the first part the initial portion of the TRV shall not cross the straight line defining the delay time and shall meet the specified reference line up to the voltage u_1 and the time t_1.

In the second part, the voltage u_c and the time t_2 shall be attained.

The number of tests for each part shall be the same as the number required for the test-duty, and the arcing times for each part shall meet the requirements of 6.102.10. The arcing times in separate tests forming part of one multi-part test shall be the same with a margin of ±1 ms. Moreover if the minimum arcing time in one part differs from that established in the other part by more than 1 ms then the maximum arcing time associated with the longer of the two minimum arcing times shall be used for both parts.

The circuit-breaker may be re-conditioned between the first part and the second part in accordance with 6.102.9.5.

In rare cases, it may be necessary to perform the test in more than two parts. In such cases, the principles stated above shall be applied.

6.102.5 Essais synthétiques

Les méthodes d'essais synthétiques peuvent être appliquées aux essais d'établissement de coupure et de manœuvre demandés en 6.106 à 6.111. Les méthodes et techniques d'essais synthétiques sont décrites dans CEI 60427.

6.102.6 Manœuvres à vide avant les essais

Avant d'entreprendre les essais d'établissement et de coupure, des manœuvres et séquences de manœuvres à vide (O, CO et O - t - CO) doivent être effectuées et les caractéristiques de fonctionnement du disjoncteur doivent être enregistrées. Les caractéristiques telles que les durées de fermeture et d'ouverture doivent être enregistrées.

De plus, il doit être démontré que le comportement mécanique du disjoncteur, ou du spécimen en essai, soit conforme aux caractéristiques de déplacement mécanique de référence demandées en 6.101.1.1. Pour cet essai, les conditions fonctionnelles données en 6.101.1.1 s'appliquent. Après un changement de contacts ou n'importe quel type de remise en état, ces caractéristiques de déplacement mécanique doivent être confirmées à nouveau en répétant ces essais à vide.

Dans le cas d'un disjoncteur muni d'un déclencheur sous courant de fermeture, on doit montrer que celui-ci ne fonctionne pas au cours des essais à vide.

La pression du fluide servant à l'interruption doit être réglée à sa valeur minimale telle que définie en 3.7.158.

Dans le cas de disjoncteurs à commande électrique ou à ressorts, les manœuvres doivent être faites en alimentant le solénoïde de fermeture ou les déclencheurs shunt de fermeture à 100 % et 85 % de la tension d'alimentation assignée du dispositif de fermeture, et les déclencheurs shunt d'ouverture à 100 % et 85 % de la tension d'alimentation assignée dans le cas de courant alternatif ou à 100 % et 70 % de la tension d'alimentation assignée dans le cas de courant continu.

Dans le cas des dispositifs de fermeture et d'ouverture à commande pneumatique ou oléopneumatique, les manœuvres doivent être faites dans les conditions suivantes:

a) à la pression du fluide pour la manœuvre ajustée à sa valeur minimale telle que définie en 3.7.157 avec les déclencheurs shunt d'ouverture alimentés à 85 % en courant alternatif ou à 70 % en courant continu, et avec les déclencheurs shunt de fermeture alimentés à 85 % de la tension d'alimentation assignée;
b) à la pression du fluide pour la manœuvre ajustée à sa valeur de pression nominale telle que définie en 4.10 avec les déclencheurs shunt alimentés à la tension d'alimentation assignée.

6.102.7 Mécanismes d'entraînement différents

Si le disjoncteur est destiné à être utilisé avec différents types de mécanismes d'entraînement, une série séparée de séquences d'essais de court-circuit doit être effectuée pour chaque type de mécanisme, à moins qu'il ne soit montré que le changement de mécanisme n'affecte pas les performances de la partie commune, particulièrement en ce qui concerne les caractéristiques d'ouverture et de fermeture du disjoncteur.

Si cela peut être montré de manière satisfaisante, on n'exige qu'une seule série complète de séquences d'essais de court-circuit effectuée avec un des mécanismes différents, mais le défaut aux bornes T100s doit être répété avec chacun des mécanismes différents.

6.102.5 Synthetic tests

Synthetic testing methods can be applied for making, breaking and switching tests as required in 6.106 to 6.111. Synthetic testing techniques and methods are described in IEC 60427.

6.102.6 No-load operations before tests

Before commencing making and breaking tests, no-load operations and no-load operating sequences (O, CO and O - t - CO) shall be made and details of the operating characteristics of the circuit-breaker recorded. Details such as closing time and opening time shall be recorded.

In addition, it shall be demonstrated that the mechanical behaviour of the circuit-breaker, or sample under test, conforms to that of the reference mechanical travel characteristics required in 6.101.1.1. For this test the operational conditions stated in 6.101.1.1 apply. After a change of contacts or any kind of maintenance, these mechanical travel characteristics shall be reconfirmed by repeating these no-load tests.

For a circuit-breaker fitted with a making current release, it shall be shown that this does not operate on no-load.

The pressure of the fluid for interruption shall be set at its minimum functional value according to 3.7.158.

For electrically or spring-operated circuit-breakers, operations shall be made with the closing solenoid or shunt-closing releases energised at 100 % and 85 % of the rated supply voltage of the closing device and with the shunt-opening release energised at 100 % and 85 % in the case of a.c., and 100 % and 70 % in the case of d.c. of the rated supply voltage.

For pneumatic or hydraulic operating devices, the operations shall be made under the following conditions:

a) pressure of the fluid for operation set at its minimum functional value as per 3.7.157 with the shunt opening releases energised at 85 % in case of a.c., 70 % in case of d.c. and with the shunt closing releases energised at 85 % of the rated supply voltage.
b) pressure of the fluid for operation set at its rated value as per 4.10 with the shunt releases energised at the rated supply voltage.

6.102.7 Alternative operating mechanisms

If the circuit-breaker is designed for use with alternative operating mechanisms, a separate series of short-circuit test-duties shall be made for each type of mechanism, unless it can be shown that the change of mechanism does not affect the performance of the common portion, particularly with regard to the opening and closing characteristics of the circuit-breaker.

If this can be satisfactorily shown, only a single complete series of short-circuit test-duties is required using one of the alternative mechanisms, but terminal fault T100s shall be repeated with all other alternative mechanisms.

La démonstration de l'équivalence d'un mécanisme d'entraînement différent doit être effectuée en réalisant les essais de vérification suivants.

a) Sur chaque disjoncteur (avec le mécanisme d'entraînement original et avec le mécanisme d'entraînement différent), un cycle de manœuvres à vide de fermeture-ouverture doit être effectué. Pour chacun des deux essais, la courbe de déplacement des contacts doit être enregistrée. La courbe de déplacement des contacts obtenue durant l'essai avec le mécanisme d'origine doit être utilisée comme référence (voir figure 23a). Les courbes obtenues avec le mécanisme d'entraînement différent durant l'ouverture et la fermeture doivent être situées entre les deux enveloppes telles que décrites en 6.101.1.1 de l'instant de séparation des contacts ou de l'entrée en contact des contacts, respectivement, jusqu'à la fin du déplacement des contacts.

b) Sur les deux disjoncteurs, on doit effectuer un essai de coupure selon la séquence d'essais T100s, sans TTR, à n'importe quelle tension d'essais convenable, et avec la durée d'arc maximale. L'essai doit être évalué selon la méthode décrite sous a) ci-dessus.

NOTE Il est suffisant d'effectuer l'essai de vérification sous b) avec une fréquence (50 Hz ou 60 Hz).

6.102.8 Comportement du disjoncteur pendant les essais

Pendant les essais d'établissement et de coupure, le disjoncteur ne doit pas

– présenter de signes de fatigue;
– monter d'interaction nuisible entres les pôles;
– nuire aux équipements adjacents du laboratoire;
– montrer un comportement qui pourrait mettre en danger un opérateur.

Pour les disjoncteurs conçus pour laisser échapper le milieu extincteur à l'atmosphère durant les essais d'établissement et de coupure, les exigences décrites ci-dessus sont considérées comme remplies à condition que

– pour les disjoncteurs à l'huile, il n'y a pas d'émission extérieure de flammes et les gaz produits, ainsi que l'huile entraînée par ces gaz, doivent être canalisés et dirigés loin des conducteurs sous tension et des emplacements où des personnes peuvent se trouver;
– pour les autres types de disjoncteurs, tels qu'à air comprimé ou à isolation dans l'air, il y a des émissions extérieures de flammes, de gaz et/ou de particules métalliques. Si ces émissions sont appréciables, on peut demander que les essais soient effectués avec des écrans métalliques placés au voisinage des parties sous tension et séparées de ces dernières par une distance de sécurité spécifiée par le constructeur. Les écrans doivent être isolés de la terre, mais y sont reliés par un dispositif convenable permettant de déceler tout passage d'un courant de fuite significatif à la terre. Il ne doit pas avoir de courant de fuite significatif dans la structure métallique du disjoncteur ou dans les écrans si l'appareil en est muni lors des essais.

NOTE 1 S'il n'y a pas d'autres dispositifs disponibles, il convient que les parties mises à la terre, etc., soient raccordées à la terre au travers un fusible consistant en un fil de cuivre de 0,1 mm de diamètre et d'une longueur de 5 cm. Il n'y a pas eu de courant de fuite significatif si le fil fusible est intact après les essais.

Si des échecs surviennent sans être persistants ou causés par un défaut de conception mais plutôt par des erreurs d'assemblage ou d'entretien, les déficiences peuvent être corrigées et la séquence d'essais concernée peut être répétée sur le même disjoncteur. Dans ces cas, le rapport d'essais doit mentionner les essais invalides.

Une décharge disruptive non maintenue (NSDD, pour les disjoncteurs à vide seulement, voir 3.1.126) peut survenir durant la période d'application de la tension de rétablissement suivant une coupure. Les décharges survenant durant l'application de la TTR ne sont pas considérées comme étant des NSDD. Les décharges sont considérées NSDD si elles surviennent après un quart de période à fréquence industrielle après l'interruption du courant dans les deux derniers pôles qui coupent. Les décharges qui surviennent avant cette période sont considérées comme formant partie du processus d'extinction de l'arc.

Evidence of the equivalence of an alternative operating mechanism shall be produced by use of the following verification tests.

a) On each of the circuit-breakers (with an original operating mechanism and with an alternative operating mechanism) a no-load close-open operating cycle shall be performed. For each of the tests the course of the contact stroke shall be recorded. The course of the contact stroke during the test with the original mechanism shall be used as the reference (see figure 23a). The curves obtained during opening and closing with the alternative operating mechanism shall be within the two envelope curves as described in 6.101.1.1 from the instant of contact separation or contact touch respectively to the end of the contact travel.

b) On each of the circuit-breakers a breaking operation according to test-duty T100s, without TRV at any convenient test voltage, and with the longest arcing time shall be performed. The test shall be evaluated according to the method prescribed under a) above.

NOTE It is sufficient to perform the verification test under b) with one frequency (50 Hz or 60 Hz).

6.102.8 Behaviour of circuit-breaker during tests

During making and breaking tests, the circuit-breaker shall not

– show signs of distress;

– show harmful interaction between poles;

– show harmful interaction with adjacent laboratory equipment;

– exhibit behaviour which could endanger an operator.

For circuit-breakers which are designed to have discharge of interrupting medium to atmosphere during the making and breaking tests, the above requirements are considered to have been met, provided

– for oil circuit-breakers, there is no outward emission of flame, and the gases produced, together with the oil carried with the gases, shall be conducted from the circuit-breaker and directed away from all live conductors and locations where persons may be present;

– for other types of circuit-breakers, such as air blast or air break, there is an outward emission of flame, gas and/or metallic particles. If such emissions are appreciable it may be required that the tests shall be made with metallic screens placed in the vicinity of the live parts and separated from them by a safety clearance distance which the manufacturer shall specify. The screens shall be insulated from earth but connected thereto by a suitable device to indicate any significant leakage current to earth. There shall be no indication of significant leakage currents to the circuit-breaker earthed structure, or screens when fitted, during the tests.

NOTE 1 If no other devices are available, the earthed parts, etc. should be connected to earth through a fuse consisting of a copper wire of 0,1 mm diameter and 5 cm long. No significant leakage is assumed to have occurred if this fuse wire is intact after the test.

If faults occur which are not persistent or due to defect in design, but rather are due to errors in assembly or maintenance, the faults can be rectified and the circuit-breaker subjected to the repeated test-duty concerned. In those cases, the test report shall include reference to the invalid tests.

Non-sustained disruptive discharges (NSDD, for vacuum circuit-breakers only, see 3.1.126) may occur during the recovery voltage period following a breaking operation. Discharges during the TRV period are not considered to be a NSDD. Discharges are considered NSDD(s) if they occur later than one-quarter of a cycle of the power frequency after current interruption in the last two poles to clear. Earlier discharges are considered to form part of the arc extinguishing process.

Lors des essais de manœuvre de courants capacitifs avec un circuit d'essais triphasé à neutre isolé, une décharge qui survient après un quart de cycle et jusqu'à un demi-cycle à fréquence industrielle après l'interruption du courant sera traitée comme un réamorçage et non comme une NSDD.

NOTE 2 Une note explicative est donnée en I.3.

Si une NSDD survient:

– un maximum de trois NSDDs sont permis durant la série entière d'essais de type en court-circuit incluant toutes les séquences d'essais répétées ou reprises;
– dans le cas des essais de manœuvre de courants capacitifs, un nombre maximal de NSDDs égal à un neuvième du nombre total d'essais de coupure est permis durant chacune des séries d'essais individuelles, par exemple, essais de manœuvres de courants de lignes à vide;
– dans tous les cas, lorsqu'il y a une répétition du phénomène lors d'un même essai, elles doivent être comptées individuellement;
– l'établissement d'un courant à fréquence industrielle causé par une NSDD n'est pas permis même si cela résulte en un seul demi-cycle de courant;
– le rapport d'essais doit mentionner si des NSDD ont été observées et dire pour quelles séquences d'essais elles sont survenues.

6.102.9 Etat du disjoncteur après les essais

6.102.9.1 Généralités

Le disjoncteur peut être examiné après chaque séquence d'essais. Ses parties mécaniques et ses isolateurs doivent être pratiquement dans le même état qu'avant la séquence d'essais. Un contrôle visuel suffit en général à la vérification des propriétés d'isolation. En cas de doute, l'essai de contrôle de l'état conformément à 6.2.11 suffit à démonter les propriétés d'isolation.

Pour les disjoncteurs comportant des sous-ensembles interrupteurs scellés à vie, l'essai de contrôle de l'état est obligatoire sauf dans les conditions indiquées en 6.102.9.4.

6.102.9.2 Etat après une séquence d'essais de court-circuit

Après chaque série d'essais de court-circuit, le disjoncteur doit être capable d'établir et de couper son courant assigné en service continu sous sa tension assignée, alors que ses possibilités de fermeture et de coupure en court-circuit peuvent être réduites. Après la séquence d'essais L_{90}, un essai de contrôle d'état selon 6.2.11 doit être effectué. Si l'essai L_{90} n'est pas effectué, l'essai de contrôle d'état doit être effectué après l'essai T100s.

Les contacts principaux doivent être dans un état tel, en particulier en ce qui concerne l'usure due à l'arc, la surface de contact, la pression et la liberté de mouvement, qu'ils puissent supporter le courant assigné en service continu du disjoncteur sans que leur échauffement dépasse de plus de 10 K les valeurs spécifiées pour ces contacts dans le tableau 3 de 4.4.2 de la CEI 60694.

NOTE L'expérience montre qu'une augmentation de la chute de tension aux bornes du disjoncteur ne peut être considérée comme une preuve certaine d'un accroissement de l'échauffement.

On ne considère les contacts comme «recouverts d'argent» que si une couche d'argent subsiste aux points de contact après l'une quelconque des séquences d'essais de court-circuit; dans le cas contraire, les contacts sont considérés comme «non recouverts d'argent» (voir 4.4.3, point 6, de la CEI 60694).

During capacitive current switching tests in a three-phase test circuit with isolated neutral, a discharge which occurs later than one-quarter of a cycle and up to one half-cycle of the power frequency after current interruption will be treated as a restrike and is not considered to be a NSDD.

NOTE 2 An explanatory note is given in I.3.

If a NSDD occurs

– a maximum of three occurrences of NSDDs are permitted during the entire type test series of short-circuit tests including any test-duties which are repeated or restarted.
– in case of capacitive current switching tests a maximum number of NSDDs corresponding to one-ninth of the number of breaking operations is permitted during the individual test series, for example line-charging current switching tests;
– in any case, when there are multiple occurrences of the phenomenon during one test, they shall be counted individually;
– resumption of the power frequency current triggered by a NSDD is not allowed, even though it may only result in a single loop of current flow;
– the test report shall include reference to the NSDDs and test-duty in which they occurred.

6.102.9 Condition of circuit-breaker after tests

6.102.9.1 General

The circuit-breaker may be inspected after any test-duty. Its mechanical parts and insulators shall be in essentially the same condition as before the test-duty. Visual inspection is usually sufficient for verification of the insulating properties. In case of doubt, the condition checking test according to 6.2.11 is sufficient to prove the insulation properties.

For circuit-breakers with sealed-for-life interrupter units, the condition checking test is mandatory, except as stated in 6.102.9.4.

6.102.9.2 Condition after a short-circuit test-duty

After each short-circuit test-duty, the circuit-breaker shall be capable of making and breaking its rated normal current at the rated voltage, although its short-circuit making and breaking performance may be impaired. After test-duty L_{90} a condition checking test according to 6.2.11 shall be performed. If test-duty L_{90} is not performed, the condition checking test shall be carried out after test-duty T100s.

The main contacts shall be in such a condition, in particular with regard to wear, contact area, pressure and freedom of movement, that they are capable of carrying the rated normal current of the circuit-breaker without their temperature rise exceeding by more than 10 K the values specified for them in table 3 of IEC 60694.

NOTE Experience shows that an increase of the voltage drop across the circuit-breaker cannot alone be considered as reliable evidence of an increase in temperature rise.

Contacts shall be considered as "silver-faced" only if there is still a layer of silver at the contact points after any of the short-circuit test-duties; otherwise, they shall be treated as "not silver-faced" (see 4.4.3, point 6 of IEC 60694).

Pour contrôler le fonctionnement du disjoncteur après essais, des manœuvres à vide doivent être effectuées s'il est prévu de faire un changement de contacts ou toute autre maintenance après les séquences d'essais. Ces essais doivent être comparés avec les manoeuvres correspondantes effectuées suivant 6.102.6 et ne doivent pas montrer de changements significatifs.

6.102.9.3 Etat après une série d'essais de court-circuit

Pour vérifier le fonctionnement du disjoncteur après essais, des manœuvres de fermeture et d'ouverture à vide doivent être effectuées à la suite d'une série complète d'essais de court-circuit. Ces manœuvres à vide doivent être comparées avec les manœuvres correspondantes effectuées conformément à 6.102.6 et ne doivent pas montrer de différences significatives. Les prescriptions de 6.101.1.1 doivent être remplies. La fermeture et l'accrochage mécanique du disjoncteur doivent se faire d'une manière satisfaisante.

Il est admis que les pouvoirs de fermeture, de coupure et de tenue de courte durée du courant de court-circuit assigné soient modifiés, mais la dégradation des composants du circuit principal du courant ne doit pas réduire l'intégrité des composants isolants ou des composants de support mécanique du disjoncteur. Pour les contacts principaux, 6.102.9.2 s'applique.

Aucun critère ne peut être donné quant au niveau de dégradation acceptable de l'isolation par fluide (gaz, huile, air, etc.) car leur rigidité exigée est liée aux critères de conception de chaque type de disjoncteur différent.

6.102.9.4 Etat après une série d'essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs

Le disjoncteur doit, après avoir subi la série d'essais de commutation de courant de charge de la ligne, de charge du câble et de la batterie de condensateurs spécifiée en 6.111.9 et avant remise en état, pouvoir fonctionner de manière satisfaisante à tout courant d'établissement et de coupure jusqu'à son courant d'établissement et de coupure assigné en service continu sous la tension assignée.

En outre, le disjoncteur doit être capable de conduire son courant normal assigné avec un échauffement ne dépassant pas l'échauffement autorisé au tableau 3 de 4.4.2 de la CEI 60694. Pour les disjoncteurs de classe C2, l'échauffement ne doit pas dépasser les valeurs permises par le tableau 3 de CEI 60694 de plus de 10 K.

Aucune trace de perforation, de contournement ou de cheminement ne doit être observée sur les matériaux isolants internes. Seule une usure modérée des pièces des dispositifs de contrôle d'arc exposées aux arcs est autorisée.

La dégradation des composants du circuit principal de courant ne doit pas réduire l'intégrité du dit circuit.

Si au cours des essais d'établissement et de coupure de courant capacitif un réamorçage se produit, l'essai de contrôle de l'état diélectrique conformément à 6.2.11 doit être effectué avant le contrôle visuel, à condition que la tension de rétablissement crête soumise à essai pendant les essais de commutation de courant capacitif soit inférieure à la tension crête de l'essai de contrôle de l'état diélectrique spécifié. Le contrôle visuel subséquent doit ensuite démontrer que le réamorçage s'est produit uniquement sur les contacts d'arc. Aucune détérioration telle que perforation ou traces permanentes d'arc ne doit être observée sur les matériaux isolants internes. L'usure des parties des dispositifs de contrôle d'arc est permise si elle n'affecte pas l'intégrité de la capacité de coupure. En outre, l'examen de l'intervalle isolant entre les contacts principaux, s'ils sont différents des contacts d'arc, ne doit révéler aucune trace de réamorçage.

In order to check the operation of the circuit-breaker after testing, no-load operations shall be made, if change of contacts or other kinds of maintenance are intended to be performed after the test-duty. These shall be compared with the corresponding operations made in accordance with 6.102.6 and shall show no significant change.

6.102.9.3 Condition after a short-circuit test series

In order to check the operation of the circuit-breaker after test, no-load closing and opening operations shall be made at the completion of the entire series of short-circuit tests. These shall be compared with the corresponding operations made in accordance with 6.102.6 and shall show no significant change. The requirements of 6.101.1.1 shall be fulfilled. The circuit-breaker shall close and latch satisfactorily.

It is recognised that the rated short-circuit current making, breaking and carrying capability will have been impaired, but degradation of the components in the current-carrying path shall not reduce the integrity of the insulating or the mechanically supporting components of the circuit-breaker. With regard to the main contacts the relevant provisions of 6.102.9.2 apply.

No criteria can be given for the acceptable level of degradation for the fluid insulation (gas, oil, air etc.) as their required strength is linked to the design criteria of each individual type of circuit-breaker.

6.102.9.4 Condition after a capacitive current switching test series

The circuit-breaker shall, after performing the line-charging, cable-charging and capacitor bank current switching test series specified in 6.111.9, and before reconditioning, be capable of operating satisfactorily at any making and breaking current up to its rated short-circuit making and breaking current at rated voltage.

In addition the circuit-breaker shall be capable of carrying its rated normal current with a temperature rise not in excess of the temperature rise permitted by table 3 of IEC 60694. In case of class C2 circuit-breakers the temperature rise shall not exceed the values permitted by table 3 of IEC 60694 by more than 10 K.

There shall be no evidence of puncture, flashover or tracking of the internal insulating materials, except that moderate wear of the parts of arc control devices exposed to the arc is permissible.

Degradation of the components in the current carrying path shall not reduce the integrity of the normal current carrying path.

If, during the capacitive current switching tests, one restrike occurred, the dielectric condition checking test according to 6.2.11 shall be performed before visual inspection, provided that the tested peak recovery voltage during the capacitive current switching tests is lower than the peak voltage of the specified dielectric condition checking test. The subsequent visual inspection shall demonstrate that the restrike occurred between the arcing contacts only. There shall be no evidence of puncture, flashover or permanent tracking of internal insulating materials. Wear of the parts of arc control devices exposed to the arc is permissible as long as it does not impair the breaking capability. Moreover, the inspection of the insulating gap between the main contacts, if they are different from the arcing contacts, shall not show any trace of a restrike.

Si aucun réamorçage ne s'est produit pendant les essais de commutation de courant capacitif, le contrôle visuel suffit. L'essai de contrôle de l'état diélectrique conformément à 6.2.11 ne doit pas être effectué.

Si d'autres essais sont effectués sur le même pôle, l'essai de contrôle de l'état diélectrique doit être effectué après les essais capacitifs. Si aucun amorçage ne s'est produit pendant les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs, il n'est pas nécessaire d'effectuer cet essai de contrôle de l'état diélectrique, ce dernier peut être effectué après des essais additionnels.

NOTE Si le disjoncteur échoue pendant ces essais additionnels, la procédure peut rendre invalide la série d'essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs.

Pour les disjoncteurs à unités d'interruption scellées à vie, l'essai de contrôle de l'état diélectrique conformément à 6.2.11 doit être effectué, qu'un réamorçage se soit produit ou non au cours de l'essai, à condition que la tension crête de rétablissement appliquée pendant les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs soit inférieure à la tension crête de l'essai de contrôle de l'état diélectrique.

6.102.9.5 Remise en état après une séquence d'essais de court-circuit et d'autres séries d'essais

Il est admis qu'à la suite d'une séquence d'essais de court-circuit ou d'autres séries d'essais, il peut être nécessaire de procéder à la maintenance du disjoncteur en vue de le remettre dans l'état initial spécifié par le constructeur. Par exemple, il est admis qu'il soit nécessaire de

a) réparer ou de remplacer les contacts d'arc ainsi que toute autre pièce interchangeable recommandée par le constructeur;
b) filtrer ou de remplacer l'huile ou tout autre fluide d'extinction et d'y ajouter la quantité nécessaire pour rétablir son niveau normal ou sa densité;
c) nettoyer l'isolation interne pour la débarrasser des dépôts provenant de la décomposition du fluide d'extinction.

Le disjoncteur de classe E2 ne doit pas être remis en état pendant les séquences d'essais de court-circuit standard, décrites en 6.106.

6.102.10 Démonstration des durées d'arc

La séquence d'exécution des trois manœuvres de coupure valables doit être telle que la dernière manœuvre de coupure produise une durée d'arc moyenne. Les procédures décrites ci-après servent à l'ajustement des durées d'arc présumées. Les durées d'arc réelles peuvent être différentes des durées d'arc présumées. Les essais sont valables si les durées d'arc sont en accord avec les tolérances indiquées dans l'annexe B.

Pour les disjoncteurs ayant une séquence de manœuvres CO - t'' - CO, un CO doit démontrer la durée d'arc minimale et le second doit démontrer la durée d'arc maximale.

Les essais de défaut T100a en 6.102.10.1.2, 6.102.10.2.1.2 et 6.102.10.2.2.2 se composent de trois manœuvres valables indépendantes de la séquence de fonctionnement assignée. Après le nombre de manœuvres prévu conformément à la séquence de fonctionnement assignée, le disjoncteur peut être remis en état conformément à 6.102.9.5.

NOTE Les durées d'arc prescrites par le présent paragraphe couvrent de manière adéquate l'effet de la non-simultanéité non intentionnelle des pôles du disjoncteur.

If no restrike occurred during the capacitive current switching tests visual inspection is sufficient. The dielectric condition checking test according to 6.2.11 shall not be performed.

Where further tests are performed on the same pole, the dielectric condition checking test shall be performed after the capacitive current switching test. If no restrike occurred during the capacitive current switching test, this dielectric condition checking test need not be performed, and the condition checking test may be performed after the additional tests.

NOTE If the circuit-breaker fails during the additional tests, this procedure may make the capacitive current switching tests invalid.

For circuit-breakers with sealed-for-life interrupter units, the dielectric condition checking test according to 6.2.11 shall be performed, whether a restrike occurs during testing or not, provided that the tested peak recovery voltage during the capacitive current switching tests is lower than the peak voltage of the specified dielectric condition checking test.

6.102.9.5 Reconditioning after a short-circuit test-duty and other test series

It may be necessary to carry out maintenance work on the circuit-breaker after performing a short-circuit test-duty or other test series in order to restore it to the original condition specified by the manufacturer. For example, it may be necessary to

a) repair or replace the arcing contacts and any other renewable parts recommended by the manufacturer;
b) renew or filter of the oil, or any other extinguishing medium, and add any quantity of the medium necessary to restore its normal level or density;
c) remove deposit, caused by the decomposition of the extinguishing medium, from internal insulation.

A class E2 circuit-breaker shall not be reconditioned during the basic short-circuit test-duties, given in 6.106.

6.102.10 Demonstration of arcing times

It is preferred that the sequence for performing the three valid breaking operations is such that the last breaking operation results in a medium arcing time. The procedures described in this subclause are relevant for the adjustment of prospective arcing times. The actual arcing times may vary from the prospective ones. Tests are valid as long as the actual arcing times are within the tolerances given in annex B.

For circuit-breakers with the rated operating sequence CO - t'' - CO, one CO shall demonstrate the minimum arcing time and the other one shall demonstrate the maximum arcing time.

The terminal fault tests T100a in 6.102.10.1.2, 6.102.10.2.1.2 and 6.102.10.2.2.2 consist of three valid operations independent of the rated operating sequence. After the number of operations provided for in accordance with the rated operating sequence the circuit-breaker may be reconditioned in accordance with 6.102.9.5.

NOTE The arcing times prescribed in this subclause are adequate to cover the effect of the unintentional non-simultaneity of the circuit-breaker poles.

6.102.10.1 Essais triphasés

Les procédures sont données ci-après pour des essais directs. Lorsque des essais synthétiques sont effectués, il est nécessaire de démontrer la durée d'arc minimale du premier pôle qui coupe avant de débuter la séquence. La méthode de détermination de la durée d'arc minimale est donnée en 6.102.10.2.

6.102.10.1.1 Séquence d'essais T10, T30, T60, T100s, T100s(b), OP1 et OP2

Pour ces séquences d'essais, l'ordre d'ouverture doit être avancé d'environ 40 degrés électriques (40°) entre chaque manœuvre d'ouverture. Pour la séquence T100s(b) voir la note de 6.106.

Une représentation graphique des trois manœuvres valables de coupure pour un facteur de premier pôle égal à 1,5 est donné par la figure 29 et pour un facteur de premier pôle égal à 1,3 par la figure 30.

6.102.10.1.2 Séquence d'essais T100a

Etant donné que la sévérité des essais de cette séquence peut varier beaucoup en fonction de l'instant de séparation des contacts, une procédure a été mise au point pour aboutir à une contrainte correcte du disjoncteur en essai. L'objectif est d'arriver à une série de trois essais valables. L'instant d'établissement du court-circuit est modifié de 60° entre chaque essai afin de transférer successivement sur chaque phase la composante apériodique requise à l'instant de séparation des contacts.

De plus, on cherche à obtenir au moins une fois au cours de la série d'essais la condition de première phase qui coupe dans la phase soumise à la composante apériodique requise afin de répondre aux exigences de la TTR. Cet essai est valable si le courant est interrompu dans cette phase à l'issue d'un arc durant une grande alternance complète ou la plus grande partie de celle-ci. Etant donné que certains disjoncteurs ne couperont pas à l'issue de la grande alternance, l'essai est encore valable si l'arc se prolonge durant la petite alternance suivante. Cependant, si le disjoncteur coupe dans la phase soumise à la composante apériodique requise après une grande alternance réduite ou après une petite alternance sans que l'arc soit produit durant la grande alternance précédente ou la plus grande partie de celle-ci, l'essai n'est pas considéré comme valable.

La procédure est la suivante.

Pour la première manœuvre valable, l'établissement du court-circuit et le réglage de l'ordre d'ouverture doivent être tels que

– la composante apériodique requise à l'instant de séparation des contacts est obtenue dans une phase;
– l'extinction de l'arc se produit dans la même phase avec la valeur requise de composante apériodique, à l'issue d'une grande alternance (ou la plus grande partie possible de cette alternance) dans le cas de la première phase qui coupe ou à l'issue d'une grande alternance allongée (ou de la plus grande partie possible de cette alternance) dans le cas de l'une des dernières phases qui coupent.

Pour la deuxième manœuvre valable, l'instant d'établissement du court-circuit est avancé de 60 degrés et le réglage de l'ordre d'ouverture doivent être tels que

– si la première manœuvre était valable parce que l'extinction de l'arc s'est produite sur la phase avec la composante de courant continu requise après une grande alternance, l'ordre d'ouverture est avancé de 130° par rapport au premier essai valable;
– si la première manœuvre était valable parce que l'extinction de l'arc s'est produite sur la phase avec la composante de courant continu requise après une grande alternance allongée, l'ordre d'ouverture est avancé de 25° par rapport au premier essai valable.

6.102.10.1 Three-phase tests

The procedures given below are for direct tests. Where synthetic tests are performed it is necessary to establish the minimum arcing time for the first phase to clear before starting the sequence. The method of establishing this minimum arcing time is given in 6.102.10.2.

6.102.10.1.1 Test-duty T10, T30, T60, T100s, T100s(b), OP1 and OP2

For these tests the tripping impulse shall be advanced by 40 electrical degrees (40°) between each opening operation. For T100s(b), see note in 6.106.

A graphical representation of the three valid breaking operations for the first-pole-to-clear factor 1,5 is given in figure 29 and for the first-pole-to-clear factor 1,3 in figure 30.

6.102.10.1.2 Test-duty T100a

Since the severity of the tests for this test-duty can vary widely depending on the moment of contact separation, a procedure has been developed in order to arrive at realistic stresses on the circuit-breaker under test. The intention is to arrive at a series of three valid tests. The initiation of the short-circuit changes 60° between tests in order to transfer the required d.c. component at the moment of contact separation from phase to phase.

Furthermore it is the intention to have, at least once during the test series, a first-phase-to-clear condition in the phase with the required d.c. component in order to comply with the TRV requirements. This test is valid if, in this phase, the current is interrupted after arcing during a full major loop, or the greatest possible part thereof. Since some circuit-breakers will not clear after a major loop, a test is still valid if arcing goes on during a subsequent minor loop. However, if the circuit-breaker clears in the phase with the required d.c. component after a foreshortened major loop, or after a minor loop without arcing during a preceding major loop, or the greatest possible part thereof, the test shall be considered invalid.

The procedure is as follows.

For the first valid operation the initiation of short circuit and the setting of the control of the tripping impulse shall be such that

– the required d.c. component at contact separation is obtained in one phase;
– arc extinction occurs in the phase with the required d.c. component after a major loop (or the greatest possible part of that loop) in the case of the first-phase-to-clear or after a major extended loop (or the greatest possible part of that loop) in the case of one of the last phases-to-clear.

For the second valid operation, the initiation of short circuit shall be advanced by 60° and the setting of the control of the tripping impulse shall be as follows:

– if the first operation was valid because the arc extinction occurred in the phase with the required d.c. component after a major loop, the setting of the control of the tripping impulse shall be advanced by 130° with respect to the first valid operation;
– if the first operation was valid because the arc extinction occurred in the phase with the required d.c. component after a major extended loop, then the setting of the control of the tripping impulse shall be advanced by 25° with respect to the first valid operation.

Pour la troisième manœuvre, la procédure de la deuxième manœuvre peut être répétée. L'instant d'établissement du court-circuit doit être avancé de 60° par rapport au deuxième essai et l'ordre d'ouverture doit être réglé comme suit:

– si la deuxième manœuvre était valable parce que l'extinction de l'arc s'est produite sur la phase avec la composante de courant continu requise après une grande alternance, l'ordre d'ouverture est avancé de 130° par rapport au deuxième essai valable;
– si la deuxième manœuvre était valable parce que l'extinction de l'arc s'est produite sur la phase avec la composante apériodique requise après une grande alternance allongée, l'ordre d'ouverture doit être avancé de 25° par rapport au deuxième essai valable.

Une représentation graphique des trois manœuvres valables de coupure pour un facteur de premier pôle égal à 1,5 est donné par la figure 31 et pour un facteur de premier pôle égal à 1,3 par la figure 32.

Si les caractéristiques du disjoncteur ne sont pas constantes, il peut être nécessaire d'utiliser d'autres procédures pour réaliser les trois manoeuvres valables. Si les caractéristiques du disjoncteur ne permettent pas de réaliser les essais suivants les exigences ci-dessus, le nombre de manœuvres doit être étendu pour démontrer que, dans ce cas particulier, les conditions d'essais les plus sévères ont été réalisées. Il convient de ne pas faire subir plus de six manœuvres d'ouverture au disjoncteur pour l'obtention des exigences ci-dessus. Il est possible de remplacer les pièces d'usure du disjoncteur avant ces manœuvres supplémentaires.

6.102.10.2 Essais monophasés en substitution des essais triphasés

Les procédures données ci-après sont partiellement dérivées des méthodes d'essais synthétiques. Lorsque des essais directs sont effectués la procédure utilisée pour démontrer la durée d'arc minimale peut conduire à un essai valable avec la durée d'arc maximale ou avec une durée d'arc plus longue que la durée d'arc maximale.

L'objet des essais monophasés suivants est de satisfaire aux conditions du premier pôle qui coupe et du dernier pôle qui coupe avec un circuit d'essai et pour chaque séquence d'essais.

Les procédures suivantes sont applicables si toutes les manœuvres de la séquence de manœuvres assignée satisfont aux exigences de 5.101. Dans le cas contraire, les tableaux 10, 11 et 12 doivent être utilisés avec prudence.

6.102.10.2.1 Systèmes à neutre autre que solidement mis à la terre

6.102.10.2.1.1 Séquence d'essais T10, T30, T60, T100s, T100s(b), OP1 et OP2

La première manœuvre de coupure valable doit démontrer la coupure avec une durée d'arc la plus courte possible. La durée d'arc résultante est définie comme la durée d'arc minimale ($t_{\text{arc min}}$). Elle est obtenue lorsqu'un retard supplémentaire à la séparation des contacts par rapport à une alternance de courant conduit à une coupure au zéro suivant du courant. Cette durée d'arc minimale est obtenue en changeant le réglage de l'ordre d'ouverture par pas de 18° environ ($d\alpha$).

La deuxième manœuvre de coupure valable doit démontrer la coupure avec la durée d'arc maximale. La durée d'arc maximale requise est désignée par $t_{\text{arc max}}$, elle est définie par

$$t_{\text{arc max}} \geq t_{\text{arc min}} + T\,\frac{150^\circ \quad d\alpha}{360^\circ}$$

où

$t_{\text{arc min}}$ est la durée d'arc minimale obtenue à partir de la première manœuvre valable;

$d\alpha$ = 18°;

T est une période de la fréquence du courant.

For the third operation, the procedure for the second operation may be repeated. The initiation of short-circuit shall be advanced by 60° with respect to the second operation and the setting of the control of the tripping impulse shall be as follows:

– if the second operation was valid because the arc extinction occurred in the phase with the required d.c. component after a major loop, the setting of the control of the tripping impulse shall be advanced by 130° with respect to the second operation;
– if the second operation was valid because the arc extinction occurred in the phase with the required d.c. component after a major extended loop, the setting of the control of the tripping impulse shall be advanced by 25° with respect to the second operation.

A graphical representation of the three valid breaking operations for the first-pole-to-clear factor 1,5 is given in figure 31 and for the first-pole-to-clear factor 1,3 in figure 32.

If the characteristics of the circuit-breaker are not constant, it may be necessary to use other procedures to achieve the three valid operations described above. If it is not possible to achieve the above requirements because of the characteristics of the circuit-breaker, the number of operations shall be extended to prove that, in this particular case, the most severe test conditions have been achieved. The circuit-breaker should not be subjected to more than six opening operations when attempting to meet the above requirements. The circuit-breaker may have its renewable parts replaced before the extended operations.

6.102.10.2 Single-phase tests in substitution for three-phase conditions

The procedures given below are partly derived from synthetic test methods. Where direct tests are performed the procedure for establishing a minimum arcing time might result in a valid test with maximum arcing time or with an arcing time in excess of the maximum arcing time.

The aim of the following single-phase tests is to satisfy the conditions of the first-pole-to-clear and the last pole-to-clear for each test-duty in one test circuit.

The following procedures are applicable if all operations of the rated operating sequence fulfil the requirements of 5.101. If not, caution shall be exercised when using the following tables 10, 11 and 12.

6.102.10.2.1 Systems other than solidly earthed

6.102.10.2.1.1 Test-duties T10, T30, T60, T100s and T100s(b), OP1 and OP2

The first valid breaking operation shall demonstrate interruption with an arcing time as small as possible. The resultant arcing time is known as the minimum arcing time ($t_{\text{arc min}}$). This is established when any extra delay in the contact separation with respect to the current waveform results in interruption at the next current zero. This minimum arcing time is found by changing the setting of the tripping impulse by steps of 18° ($\mathrm{d}\alpha$).

The second valid breaking operation shall demonstrate interruption with the maximum arcing time. The required maximum arcing time is known as $t_{\text{arc max}}$ and is determined by:

$$t_{\text{arc max}} \geq t_{\text{arc min}} + T\,\frac{150° - \mathrm{d}\alpha}{360°}$$

where

$t_{\text{arc min}}$ is the minimum arcing time obtained from the first valid operation;

$\mathrm{d}\alpha$ = 18°;

T is one period of the power frequency.

Elle est normalement obtenue en avançant l'ordre d'ouverture d'au moins (150° - $d\alpha$) par rapport à la première manœuvre de coupure valable.

La troisième manœuvre de coupure valable doit démontrer la coupure avec une durée d'arc approximativement égale à la valeur moyenne de celles des première et deuxième manœuvres de coupure. La durée d'arc est définie comme étant la durée d'arc moyenne ($t_{\text{arc med}}$), elle est donnée par:

$$t\text{arc med} = (t\text{arc max} + t\text{arc min})/2$$

L'ordre d'ouverture de la troisième manœuvre de coupure valable doit être retardé de 75° (±18°) par rapport à celle de la deuxième manœuvre de coupure valable.

La figure 33 donne une représentation graphique des trois manœuvres de coupure valables.

6.102.10.2.1.2 Séquence d'essais T100a

a) Durées d'arc

La première manœuvre de coupure valable doit démontrer l'interruption à la fin de la petite alternance avec une durée d'arc aussi petite que possible. La durée d'arc résultante est définie comme la durée d'arc minimale ($t_{\text{arc min}}$). Elle est obtenue lorsqu'un retard de séparation supplémentaire des contacts par rapport au passage à zéro du courant entraîne la coupure au passage à zéro suivant après une grande alternance du courant. Cette durée d'arc minimale est trouvée en modifiant le réglage de l'ordre d'ouverture par pas d'environ 18° ($d\alpha$).

La deuxième manœuvre de coupure valable doit démontrer le fonctionnement avec la durée d'arc maximale, la durée d'arc maximale $t_{\text{arc max}}$ est déterminée de la manière suivante:

$$t_{\text{arc max}} \geq t_{\text{arc min}} + \Delta t_1 - T\,\frac{30° + d\alpha}{360°}$$

où l'intervalle de temps Δt_1 est la durée de la grande alternance des tableaux 10 et 11.

L'intervalle de temps Δt_1 est fonction de la constante de temps du circuit (τ), de la fréquence assignée du système et du temps d'ouverture du disjoncteur. L'intervalle de temps Δt_1 doit être égal ou supérieur à la durée de la grande alternance suivante (sur la forme de courant asymétrique requise) qui se produira après la somme du temps de relais de la protection du système et du temps d'ouverture du disjoncteur.

L'interruption doit survenir après une grande alternance ou après la petite alternance subséquente si le disjoncteur n'interrompt pas le courant après la grande alternance. Ceci est obtenu en retardant l'ordre d'ouverture par rapport à la première manoeuvre d'interruption valable.

Les tableaux 10 et 11 prennent en compte un temps relais de 0,5 cycles de la fréquence assignée (10 ms à 50 Hz et 8,3 ms à 60 Hz). Si le disjoncteur n'a pas coupé après la grande alternance requise et coupe après la petite alternance suivante, la durée d'arc maximale requise est prolongée par la durée de la petite alternance suivante Δt_2 des tableaux 10 et 11.

La troisième manœuvre de coupure valable doit être effectuée avec une durée d'arc comprise approximativement entre celles des première et deuxième manœuvres de coupure valables. Cette durée d'arc est définie comme la durée d'arc moyenne ($t_{\text{arc med}}$) et est donnée par:

$$t_{\text{arc med}} = (t_{\text{arc max}} + t_{\text{arc min}})/2$$

Cette coupure doit également se produire après une grande alternance ou après la petite alternance suivante si le disjoncteur n'a pas coupé après la grande alternance requise.

This is normally achieved by setting the tripping impulse at least (150° – dα) earlier than that of the first valid breaking operation.

The third valid breaking operation shall demonstrate interruption with an arcing time which is approximately equal to the average value of those of the first and second valid breaking operations. This arcing time is known as the medium arcing time ($t_{\text{arc med}}$) and is determined by

$$t_{\text{arc med}} = (t_{\text{arc max}} + t_{\text{arc min}})/2$$

The tripping impulse for the third valid breaking operation shall be delayed by 75° (± 18°) from that of the second valid breaking operation.

Figure 33 gives a graphical representation of the three valid breaking operations.

6.102.10.2.1.2 Test-duty T100a

a) Arcing times

The first valid breaking operation shall demonstrate interruption at the end of the minor loop with an arcing time as small as possible. The resultant arcing time is known as the minimum arcing time ($t_{\text{arc min}}$). This is established when any extra delay in the contact separation with respect to the current waveform results in interruption at the next current zero which will be at the end of a major loop. This minimum arcing time is found by changing the setting of the tripping impulse by steps of 18° (dα).

The second valid breaking operation shall demonstrate interruption with the maximum arcing time. The required maximum arcing time $t_{\text{arc max}}$ is determined by:

$$t_{\text{arc max}} \geq t_{\text{arc min}} + \Delta t_1 - T\frac{30° + \text{d}\alpha}{360°}$$

where the time interval Δt_1 is the duration of the major loop given in tables 10 and 11.

The time interval Δt_1 is a function of the system circuit time constant (τ), the rated frequency of the system and the opening time of the circuit-breaker. The time interval Δt_1 shall be equal to or greater than the duration of the subsequent major loop (on the appropriate asymmetrical current waveform) which will occur after a time made up of the sum of the relay time of the system protection and the opening time of the circuit-breaker.

Interruption shall occur after a major loop or after the subsequent minor loop if the circuit-breaker failed to interrupt after the required major loop. This is achieved by setting the tripping impulse later than that of the first valid breaking operation.

Tables 10 and 11 consider a relay time of one half-cycle of the rated frequency (10 ms at 50 Hz and 8,3 ms at 60 Hz). If the circuit-breaker fails to interrupt after the required major loop and interrupts after the subsequent minor loop, the required maximum arcing time is extended by the duration of the appropriate minor loop (Δt_2) given in tables 10 and 11.

The third valid breaking operation shall demonstrate interruption with an arcing time which is approximately equal to the average value of those of the first and second valid breaking operations. This arcing time is known as the medium arcing time ($t_{\text{arc med}}$) and is determined by

$$t_{\text{arc med}} = (t_{\text{arc max}} + t_{\text{arc min}})/2$$

This interruption shall also occur after a major loop or after the subsequent minor loop if the circuit-breaker failed to interrupt after the required major loop.

L'ordre d'ouverture de la troisième manœuvre de coupure valable doit être retardée par rapport à celui de la deuxième manœuvre de coupure valable afin d'obtenir cette durée d'arc.

La figure 34 donne une représentation graphique des trois manœuvres de coupure valables.

b) Courant de court-circuit pendant la période d'arc

Si la constante de temps du circuit d'essai est différente de la constante de temps spécifiée, les manœuvres de coupure sont valables si les conditions suivantes sont remplies:

– le courant de court-circuit présumé crête au cours de la dernière alternance précédant la coupure doit être compris entre 90 % et 110 % de la valeur requise;

– la durée présumée de l'alternance de courant de court-circuit précédant la coupure doit être comprise entre 90 % et 110 % de la valeur requise.

Les tableaux 10 et 11 donnent les valeurs requises du courant de court-circuit crête et des durées d'alternance qui doivent être atteintes par la dernière alternance précédant la coupure.

Tableau 10 – Valeurs de courant de crête et durée des alternances de courant au cours de la période d'arc pour le fonctionnement à 50 Hz – Séquence d'essais de court-circuit T100a

	Temps d'ouverture ms	**τ = 45 ms**		**τ = 60 ms**		**τ = 75 ms**		**τ = 120 ms**	
		$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms
Grande alternance	$0 < t \leq 12{,}5$	1,51	13,5	1,61	14,0	1,67	15,0	1,78	15,5
	$12{,}5 < t \leq 33{,}0$	1,33	12,5	1,44	13,0	1,51	13,5	1,66	14,5
	$33{,}0 < t \leq 53{,}5$	1,21	11,5	1,31	12,0	1,39	12,5	1,56	14,0
	ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_2 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_2 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_2 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_2 ms
Petite alternance	$0 < t \leq 12{,}5$	0,36	5,5	0,28	5,0	0,23	4,5	0,16	3,5
	$12{,}5 < t \leq 33{,}0$	0,59	7,0	0,49	7,0	0,41	6,0	0,28	5,0
	$33{,}0 < t \leq 53{,}5$	0,74	8,5	0,63	8,0	0,55	6,5	0,40	6,0

$\hat{I}$ = valeur unitaire (p.u.) du courant de crête par rapport à la valeur de crête du courant de court-circuit.

Δt_1 = durée de la grande alternance (arrondie à 0,5 ms).

Δt_2 = durée de la petite alternance (arrondie à 0,5 ms).

τ = constante de temps du circuit du système.

Toutes les valeurs du tableau 10 ont été calculées avec un temps de relais de protection de 10 ms.

The tripping impulse for the third valid breaking operation shall be delayed from that of the second valid breaking operation in order to achieve this arcing time.

Figure 34 gives a graphical representation of the three valid breaking operations.

b) Short-circuit current during arcing interval

If the time constant of the test circuit is different from the specified time constant, breaking operations are valid if the following conditions are met:

– the prospective peak short-circuit current during the last loop prior to the interruption shall be between 90 % and 110 % of the required value;

– the prospective duration of the short-circuit current loop prior to the interruption shall be between 90 % and 110 % of the required value.

Tables 10 and 11 give required values of the peak short-circuit current and loop durations that should be attained by the last loop prior to the interruption.

Table 10 – Current peak values and current loop durations during the arcing period for 50 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a

	Opening time	τ = 45 ms		τ = 60 ms		τ = 75 ms		τ = 120 ms	
	ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms
Major loop	$0 < t \leq 12{,}5$	1,51	13,5	1,61	14,0	1,67	15,0	1,78	15,5
	$12{,}5 < t \leq 33{,}0$	1,33	12,5	1,44	13,0	1,51	13,5	1,66	14,5
	$33{,}0 < t \leq 53{,}5$	1,21	11,5	1,31	12,0	1,39	12,5	1,56	14,0
	ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_2 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_2 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_2 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_2 ms
Minor loop	$0 < t \leq 12{,}5$	0,36	5,5	0,28	5,0	0,23	4,5	0,16	3,5
	$12{,}5 < t \leq 33{,}0$	0,59	7,0	0,49	7,0	0,41	6,0	0,28	5,0
	$33{,}0 < t \leq 53{,}5$	0,74	8,5	0,63	8,0	0,55	6,5	0,40	6,0

$\hat{I}$ p.u. value of the peak current related to the peak value of the short-circuit current.

Δt_1 duration of major loop (rounded to 0,5 ms).

Δt_2 duration of minor loop (rounded to 0,5 ms).

τ system circuit time constant.

All values in table 10 have been calculated with a protection relay time of 10 ms.

Tableau 11 – Valeurs de courant de crête et durées des alternances de courant au cours de la période d'arc pour le fonctionnement à 60 Hz – Séquence d'essais de court-circuit T100a

	Temps d'ouverture ms	**τ = 45 ms**		**τ = 60 ms**		**τ = 75 ms**		**τ = 120 ms**	
		$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms
Grande alternance	$0 < t \leq 10{,}0$	1,57	11,0	1,66	12,0	1,72	12,5	1,81	13,5
	$10{,}0 < t \leq 27{,}5$	1,39	10,0	1,50	11,0	1,57	11,5	1,70	12,5
	$27{,}5 < t \leq 44{,}5$	1,27	9,5	1,38	10,5	1,46	11,0	1,61	12,0
	ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_2 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_2 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_2 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_2 ms
Petite alternance	$0 < t \leq 10{,}0$	0,31	5,0	0,2 4	4,0	0,20	3,5	0,13	2,5
	$10{,}0 < t \leq 27{,}5$	0,52	6,0	0,42	5,0	0,36	4,5	0,24	3,5
	$27{,}5 < t \leq 44{,}5$	0,67	6,5	0,57	6,0	0,49	6,0	0,34	4,5

$\hat{I}$ = valeur unitaire (p.u.) du courant de crête par rapport à la valeur de crête du courant de court-circuit.

Δt_1 = durée de la grande alternance (arrondie à 0,5 ms).

Δt_2 = durée de la petite alternance (arrondie à 0,5 ms).

τ = constante de temps du circuit du système.

Toutes les valeurs du tableau 11 ont été calculées avec un temps de relais de protection de 8,3 ms.

NOTE La constante de temps du système τ = 45 ms est la valeur normalisée; 60 ms 75 ms et 120 ms sont des valeurs spéciales selon 4.101.2.

6.102.10.2.2 Systèmes avec neutre directement à la terre, y compris essais de défaut proche en ligne

6.102.10.2.2.1 Séquence d'essais T10, T30, T60, T100s et T100s(b), OP1 et OP2, L_{90}, L_{75} et L_{60}

La procédure permettant d'obtenir les trois manœuvres de coupure valables est la même que celle décrite pour les systèmes à neutre isolé, avec les modifications suivantes:

La durée d'arc maximale requise doit être

$$t_{\text{arc max}} \geq t_{\text{arc min}} + T\,\frac{180^{o} - d\alpha}{360^{o}}$$

On procède normalement en avançant l'ordre d'ouverture d'au moins (180° – $d\alpha$) par rapport à celui de la première manœuvre de coupure valable.

La troisième manœuvre de coupure valable doit démontrer la coupure avec une durée d'arc approximativement égale à la valeur moyenne de celles des première et deuxième manœuvres de coupure. La durée d'arc est définie est donnée par

$$t_{\text{arc med}} = (t_{\text{arc max}} + t_{\text{arc min}})/2$$

La troisième manœuvre de coupure valable est obtenue en retardant l'ordre d'ouverture de 90° (±18°) par rapport à celui de la deuxième manœuvre de coupure valable.

La figure 35 donne la représentation graphique des trois manœuvres de coupure valables.

Table 11 – Current peak values and current loop durations during the arcing period for 60 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a

	Opening time	τ = 45 ms		τ = 60 ms		τ = 75 ms		τ = 120 ms	
	ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_1 ms
Major loop	$0 < t \leq 10{,}0$	1,57	11,0	1,66	12,0	1,72	12,5	1,81	13,5
	$10{,}0 < t \leq 27{,}5$	1,39	10,0	1,50	11,0	1,57	11,5	1,70	12,5
	$27{,}5 < t \leq 44{,}5$	1,27	9,5	1,38	10,5	1,46	11,0	1,61	12,0
	ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_2 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_2 ms	$\hat{I}$ p.u.	Δt_2 ms	$\hat{I}$ p.u.	$\Delta t2$ ms
Minor loop	$0 < t \leq 10{,}0$	0,31	5,0	0,24	4,0	0,20	3,5	0,13	2,5
	$10{,}0 < t \leq 27{,}5$	0,52	6,0	0,42	5,0	0,36	4,5	0,24	3,5
	$27{,}5 < t \leq 44{,}5$	0,67	6,5	0,57	6,0	0,49	6,0	0,34	4,5

$\hat{I}$ p.u. value of the peak current related to the peak value of the short-circuit current.

Δt_1 duration of major loop (rounded to 0,5 ms).

Δt_2 duration of minor loop (rounded to 0,5 ms).

τ system circuit time constant.

All values in table 11 have been calculated with a protection relay time of 8,3 ms.

NOTE The system circuit time constant τ = 45 ms is the standard time constant, τ = 60 ms, 75 ms and 120 ms are the special case time constants according to 4.101.2.

6.102.10.2.2 Solidly earthed neutral systems including short-line fault tests

6.102.10.2.2.1 Test-duties T10, T30, T60, T100s and T100s(b), OP1 and OP2, L_{90}, L_{75} and L_{60}

The procedure to obtain the three valid breaking operations is the same as the one described for isolated neutral systems, with the following modifications:

The required maximum arcing time shall be:

$$t_{\text{arc max}} \geq t_{\text{arc min}} + T\,\frac{180° - \mathrm{d}\alpha}{360°}$$

This is normally achieved by having the tripping impulse at least (180° – dα) earlier than that of the first valid breaking operation.

The third valid breaking operation shall demonstrate interruption with an arcing time which is approximately equal to the average value of those of the first and second valid breaking operations. This arcing time is determined by

$$t_{\text{arc med}} = (t_{\text{arc max}} + t_{\text{arc min}})/2$$

The third valid breaking operation is achieved by having the tripping impulse 90° (±18°) later than that of the second valid breaking operation.

Figure 35 gives the graphical representation of the three valid breaking operations.

6.102.10.2.2.2 Séquence d'essais T100a

La procédure permettant d'obtenir les trois manœuvres de coupure valables est la même que celle décrite pour les systèmes à neutre isolé avec les modifications suivantes.

La durée d'arc maximale requise doit être

$$t_{\text{arc max}} \geq t_{\text{arc min}} + \Delta t_1 - T \times \frac{d\alpha}{360°}$$

où Δt_1 est donné dans les tableaux 10 et 11.

La figure 36 donne la représentation graphique des trois manœuvres de coupure valables.

6.102.10.2.3 Procédure modifiée dans les cas où le disjoncteur n'a pas coupé au cours d'un essai à durée d'arc moyenne

6.102.10.2.3.1 Essais de coupure avec courant symétrique

Si le disjoncteur n'a pas coupé au zéro de courant prévu pendant l'essai de coupure avec courant symétrique et durée d'arc moyenne, deux essais supplémentaires sont nécessaires.

a) Essais directs

Deux cas doivent être considérés:

– Pour k_{pp} = 1,3 (systèmes à neutre directement à la terre)

Si le disjoncteur n'a pas coupé avec la durée d'arc présumée mais au passage par zéro suivant du courant, la durée d'arc obtenue est appelée durée d'arc maximale «ultime» $t_{\text{arc ult max}}$. Cet essai est valable si le disjoncteur est capable de couper pendant un essai supplémentaire avec une nouvelle durée d'arc minimale qui est 18° plus longue que la durée d'arc moyenne présumée. Dans ce cas, cet essai supplémentaire suffit avec une synchronisation de l'ordre d'ouverture avancé de 18°.

– Pour k_{pp} = 1,5 (systèmes à neutre non directement à la terre)

Si le disjoncteur n'a pas coupé avec la durée d'arc présumée et au passage par zéro suivant du courant, deux essais supplémentaires sont nécessaires:

i) un essai avec la «nouvelle durée d'arc minimale» $t_{\text{arc new min}}$, qui doit être 18° plus longue que la durée d'arc moyenne présumée;

ii) un autre essai avec la «nouvelle durée d'arc maximale», qui doit être 150° plus longue que la «nouvelle durée d'arc minimale». Cet essai peut nécessiter l'utilisation d'un circuit de réallumage forcé au passage par zéro précédent du courant.

b) Essais synthétiques

Le premier essai supplémentaire valable doit démontrer la coupure avec la «nouvelle durée d'arc minimale» $t_{\text{arc new min}}$. C'est le cas lorsque une avance supplémentaire de l'instant de séparation des contacts par rapport à celui de l'essai à durée d'arc moyenne, donne lieu à une coupure réussie. La «nouvelle durée d'arc minimale» est trouvée en changeant la synchronisation de l'ordre d'ouverture par pas d'environ 18° (dα).

La deuxième manœuvre de coupure valable doit démontrer l'ouverture avec la durée d'arc maximale «ultime» $t_{\text{arc ult max}}$ définie comme:

$$t_{\text{arc ult max}} \geq t_{\text{arc new min}} + T\,\frac{150° - \text{d}\alpha}{360°} \text{ si } k_{\text{pp}} = 1{,}5$$

$$t_{\text{arc ult max}} \geq t_{\text{arc new min}} + T\,\frac{180° - \text{d}\alpha}{360°} \text{ si } k_{\text{pp}} = 1{,}3 \text{ ou } 1{,}0$$

6.102.10.2.2.2 Test-duty T100a

The procedure to obtain the three valid breaking operations is the same as the one described for isolated neutral systems, with the following modifications.

The required maximum arcing time shall be

$$t_{\text{arc max}} \geq t_{\text{arc min}} + \Delta t_1 - T \times \frac{\mathrm{d}\alpha}{360°}$$

where Δt_1 is given in tables 10 and 11.

Figure 36 gives the graphical representation of the three valid breaking operations.

6.102.10.2.3 Modified procedure in cases where the circuit-breaker failed to interrupt during a test with a medium arcing time

6.102.10.2.3.1 Breaking test with symmetrical current

If the circuit-breaker does not interrupt at the expected current zero during a breaking test with symmetrical current with a medium arcing time then it is necessary to perform one or two additional tests.

a) Direct tests

Two cases shall be considered:

– For k_{pp} = 1,3 (systems with solidly earthed neutral)

If the circuit-breaker does not interrupt with the prospective medium arcing time but at a subsequent current zero, the arcing time on such a test would be known as the "ultimate maximum arcing time" $t_{\text{arc ult max}}$. This test is valid if the circuit-breaker is able to interrupt during an additional test with the "new minimum arcing time", which shall be 18° longer than the prospective medium arcing time. In this case this single additional test is sufficient with the setting of the tripping impulse advanced by 18°.

– For k_{pp} = 1,5 (systems with non-solidly earthed neutral)

If the circuit-breaker has not interrupted with the prospective medium arcing time and at the subsequent current zero, two additional tests are necessary:

i) one with the "new minimum arcing time" $t_{\text{arc new min}}$, which shall be 18°longer than the prospective medium arcing time,

ii) another one with the "new maximum arcing time", which shall be 150° longer than the "new minimum arcing time". This test may necessitate a forced re-ignition circuit at the preceding current zero crossing.

b) Synthetic tests

The first valid additional test shall demonstrate interruption at the "new minimum arcing time" $t_{\text{arc new min}}$. This is found when any extra advancement in contact separation with respect to the current waveform from that for the test at medium arcing time results in a successful interruption. The "new minimum arcing time" is found by changing the setting of the tripping impulse by steps of 18° (dα).

The second valid breaking operation shall demonstrate interruption with the "ultimate maximum arcing time" $t_{\text{arc ult max}}$ which is:

$$t_{\text{arc ult max}} \geq t_{\text{arc new min}} + T\frac{150° - \mathrm{d}\alpha}{360°} \quad \text{if } k_{\text{pp}} = 1{,}5$$

$$t_{\text{arc ult max}} \geq t_{\text{arc new min}} + T\frac{180° - \mathrm{d}\alpha}{360°} \quad \text{if } k_{\text{pp}} = 1{,}3 \text{ or } 1{,}0$$

où

$t_{\text{arc new min}}$ est la «nouvelle durée d'arc minimale»;

$t_{\text{arc ult max}}$ est la durée d'arc maximale «ultime»;

dα = 18°.

Si le disjoncteur n'interrompt par le courant lors du deuxième essai supplémentaire, il est permis d'effectuer des travaux de maintenance sur le disjoncteur conformément à 6.102.9.5 et de reprendre la séquence d'essais en commençant par une durée d'arc minimale supérieure à la durée d'arc moyenne à laquelle la défaillance s'est produite.

6.102.10.2.3.2 Essais de coupure avec courant asymétrique

Si au cours des essais de coupure avec courants asymétriques (séquence d'essais T100a), le disjoncteur ne coupe pas au passage par zéro du courant après une grande alternance et avec la durée d'arc moyenne, il doit couper après la petite alternance suivante.

6.102.10.2.4 Essais combinant les conditions des systèmes à neutre isolé et à la terre

Les deux états, à savoir celui des systèmes à neutre isolé (6.102.10.2.1) et celui des systèmes à neutre à la terre (6.102.10.2.2) peuvent être combinés en une seule série d'essais. La tension transitoire et la tension à fréquence industrielle à utiliser doivent être celles applicables à un système à neutre isolé et les durées d'arc doivent être celles applicables à un système à neutre à la terre.

6.102.10.2.5 Séparation des séquences d'essais en séries d'essai en tenant compte de la TTR exacte de chaque pôle qui s'ouvre

Il est admis que les essais en monophasé effectués en lieu et place de conditions triphasées sont plus sévères que les essais en triphasé du fait que la durée d'arc du dernier pôle qui coupe est utilisée avec la TTR du premier pôle qui coupe. Le constructeur peut également décider de diviser chaque séquence d'essais en deux ou trois séries d'essais séparées, chaque série d'essais démontrant une coupure réussie avec les durées d'arc minimale, maximale et moyenne pour chaque pôle qui s'ouvre avec sa TTR associée. Les multiplicateurs standards pour les valeurs de TTR pour les deuxièmes et troisièmes pôles qui coupent pour les tensions assignées au-dessus de 72,5 kV sont donnés au tableau 2.

La remise en état du disjoncteur après chaque série d'essais est autorisée et doit être conforme aux exigences de 6.102.9.5.

En supposant que la simultanéité des pôles pendant toutes les manœuvres de la séquence de manœuvres assignée est dans la tolérance de 5.101, pour les essais avec courant symétrique la fenêtre de coupure pour chaque phase est comprise dans l'intervalle donné dans le tableau 12 où l'instant de coupure du premier pôle qui coupe avec une durée d'arc minimale est prise comme référence. Une représentation graphique de la fenêtre de coupure et du facteur de tension k_{p}, qui détermine la TTR de chaque pôle, est donnée par la figure 37 pour les systèmes avec facteur de premier pôle égal à 1,3, et par la figure 38 pour les systèmes avec facteur de premier pôle égal à 1,5.

Tableau 12 – Fenêtre de coupure pour les essais avec courant symétrique

Facteur de premier pôle qui coupe	Premier pôle qui coupe °	Deuxième pôle qui coupe °	Troisième pôle qui coupe °
1,5	0 – 42	90 – 132	90 – 132
1,3	0 – 42	77 – 119	120 – 162

where

$t_{\text{arc new min}}$ is the "new“ minimum arcing time;

$t_{\text{arc ult max}}$ is the "ultimate“ maximum arcing time;

dα = 18°.

If the circuit-breaker fails during the second additional test, it is permissible to carry out maintenance work on the circuit-breaker according to 6.102.9.5 and repeat the test-duty by starting with a minimum arcing time which is greater than the failed medium arcing time.

6.102.10.2.3.2 Breaking test with asymmetrical current

If the circuit-breaker does not interrupt at the expected current zero after a major loop, during a breaking test with asymmetrical current (test-duty T100a) and with a medium arcing time, then it shall interrupt after the subsequent minor loop.

6.102.10.2.4 Tests combining the conditions for isolated and earthed neutral systems

Both conditions, isolated neutral systems (6.102.10.2.1) and earthed neutral systems (6.102.10.2.2), may be combined in one test series. The transient and power frequency voltages to be used shall be those applicable to an isolated neutral system and the arcing times shall be those applicable to an earthed neutral system.

6.102.10.2.5 Splitting of test-duties in test series taking into account the associated TRV for each pole-to-clear

It is recognised that single-phase tests in substitution of three-phase conditions are more severe than three-phase tests because the arcing time of the last-pole-to-clear is used together with the TRV of the first-pole-to-clear. As an alternative, the manufacturer may choose to split each test-duty into two or three separate test series, each test series demonstrating a successful interruption with the minimum, maximum and medium arcing time for each pole-to-clear with its associated TRV. The standard multipliers for the TRV values for the second and third clearing poles for rated voltages above 72,5 kV are given in table 2.

Reconditioning of the circuit-breaker after each test series is permitted and shall comply with the requirements of 6.102.9.5.

Assuming that the simultaneity of poles during all operations of the rated operating sequence is within the tolerances of 5.101, for tests with symmetrical current the interrupting window for each phase is within the band stated in table 12, if the instant of interruption for the first clearing pole with the minimum arcing time is taken as reference. A graphical representation of the interrupting window and the voltage factor k_{p}, determining the TRV of the individual pole, is given in figure 37 for systems with a first-pole-to-clear factor of 1,3 and in figure 38 for systems with a first-pole-to-clear factor of 1,5.

Table 12 – Interrupting window for tests with symmetrical current

First-pole-to-clear factor	First clearing pole °	Second clearing pole °	Third clearing pole °
1,5	0 – 42	90 – 132	90 – 132
1,3	0 – 42	77 – 119	120 – 162

6.103 Circuits d'essais pour les essais d'établissement et de coupure en court-circuit

6.103.1 Facteur de puissance

Le facteur de puissance de chaque phase est déterminé suivant l'une des méthodes indiquées dans l'annexe D.

Le facteur de puissance d'un circuit triphasé est considéré comme étant la moyenne des facteurs de puissance de chaque phase.

Lors des essais, cette valeur ne doit pas être supérieure à 0,15.

Le facteur de puissance d'une phase quelconque ne doit pas s'écarter de la moyenne de plus de 25 % de celle-ci.

6.103.2 Fréquence

Les disjoncteurs doivent être essayés à la fréquence assignée, avec une tolérance de $\pm$8 %.

Toutefois, pour des raisons de commodité d'essai, des écarts sur la tolérance ci-dessus sont permis; par exemple, lorsque les disjoncteurs dont la fréquence assignée est de 50 Hz sont essayés à 60 Hz et vice versa, il convient d'interpréter les résultats avec précaution et de tenir compte de toutes les données significatives telles que le type du disjoncteur et le type d'essai effectué.

6.103.3 Mise à la terre du circuit d'essai

Les connexions à la terre du circuit d'essai pour les essais d'établissement et de coupure en court-circuit doivent être conformes aux prescriptions suivantes et doivent, dans tous les cas, figurer sur le schéma du circuit d'essai faisant partie du rapport d'essai (voir le point g) de C.2.4).

a) Essais en triphasé d'un disjoncteur tripolaire, facteur de premier pôle 1,5:

   Le disjoncteur (avec son bâti mis à la terre comme en service) doit être branché dans un circuit ayant le point neutre de l'alimentation isolé et le point de court-circuit mis à la terre comme indiqué sur la figure 25a, ou vice versa comme indiqué sur la figure 25b, si l'essai ne peut être effectué que de cette dernière façon.

   Ces circuits d'essai donnent un facteur de premier pôle de 1,5.

   Conformément à la figure 25a, le neutre du circuit d'alimentation peut être mis à la terre par l'intermédiaire d'une résistance. La valeur de cette résistance est aussi élevée que possible et, exprimée en ohms, n'est en aucun cas inférieure à U/10, ou U est la valeur numérique, exprimée en volts, de la tension entre phases du circuit d'essai.

   Quand un circuit d'essai conforme à la figure 25b est utilisé, il est reconnu que dans le cas d'un défaut à la terre sur une borne du disjoncteur en essai, le courant de terre résultant peut être dangereux. En conséquence, il est permis de relier le neutre du circuit d'alimentation à la terre par l'intermédiaire d'une impédance appropriée.

b) Essais en triphasé d'un disjoncteur tripolaire, facteur de premier pôle 1,3:

   Le disjoncteur (avec son bâti mis à la terre comme en service) doit être branché dans un circuit d'essai ayant le point neutre de l'alimentation mis à la terre par une impédance appropriée et le point de court-circuit mis à la terre comme indiqué sur la figure 26a, ou vice versa comme indiqué sur la figure 26b, si l'essai ne peut être effectué que de cette dernière façon.

   On doit choisir l'impédance reliée au point neutre en accord avec un facteur de premier pôle de 1,3. En supposant Z_0 = 3,25 Z_1 la valeur correcte de l'impédance entre le point neutre et la terre est 0,75 fois l'impédance de phase.

6.103 Test circuits for short-circuit making and breaking tests

6.103.1 Power factor

The power factor in each phase shall be determined in accordance with one of the methods described in annex D.

The power factor of a three-phase circuit shall be taken as the average of the power factors in each phase.

During the tests, this average value shall not exceed 0,15.

The power factor of any phase shall not vary from the average by more than 25 % of the average.

6.103.2 Frequency

Circuit-breakers shall be tested at rated frequency with a tolerance of ±8 %.

However, for convenience of testing, some deviations from the above tolerance are allowable; for example, when circuit-breakers rated at 50 Hz are tested at 60 Hz and vice versa, care should be exercised in the interpretation of the results, taking into account all significant facts such as the type of the circuit-breaker and the type of test performed.

6.103.3 Earthing of test circuit

The connections to earth of the test circuit for short-circuit making and breaking tests shall be in accordance with the following requirements and shall, in all cases, be indicated in the diagram of the test circuit included in the test report (see item g) of C.2.4).

a) Three-phase tests of a three-pole circuit-breaker, first-pole-to-clear factor 1,5:

   The circuit-breaker (with its structure earthed as in service) shall be connected in a test circuit having the neutral point of the supply isolated and the short-circuit point earthed as shown in figure 25a, or vice versa as shown in figure 25b, if the test can only be made in the latter way.

   These test circuits give a first-pole-to-clear factor of 1,5.

   In accordance with figure 25a, the neutral of the supply source may be earthed through a resistor, the resistance of which is as high as possible and, expressed in ohms, in no case less than $U/10$, where U is the numerical value in volts of the voltage between lines of the test circuit.

   When a test circuit according to figure 25b is used, it is recognised that in case of an earth fault at one terminal of the test circuit-breaker, the resulting earth current could be dangerous. It is consequently permitted to connect the supply neutral to earth through an appropriate impedance.

b) Three-phase tests of a three-pole circuit-breaker, first-pole-to-clear factor 1,3:

   The circuit-breaker (with its structure earthed as in service) shall be connected in a test circuit having the neutral point of the supply connected to earth by an appropriate impedance and the short-circuit point earthed as shown in figure 26a, or vice versa as shown in figure 26b, if the test can only be made in the latter way.

   The impedance in the neutral connection shall be selected appropriate to a first-pole-to-clear factor of 1,3. Assuming $Z_0 = 3{,}25 \cdot Z_1$ the appropriate value of the impedance in the neutral connection is 0,75 times the phase impedance.

NOTE 1 Pour les disjoncteurs destinés à être utilisés dans des systèmes à facteur de premier pôle inférieur à 1,3, il peut être nécessaire d'abaisser la valeur de l'impédance entre le neutre et la terre pour remplir les conditions de courant de coupure dans les deuxième et troisième pôles. Pour les trois pôles la TTR devra faire l'objet du plus grand soin.

NOTE 2 Le circuit d'essai montré par la figure 26b n'est pas applicable aux disjoncteurs où l'isolement entre pôles et/ou à la terre est critique (par exemple GIS ou disjoncteurs Dead tank). Des méthodes d'essai appropriées à ces disjoncteurs sont présentées dans CEI 61633.

c) Essais en monophasé d'un pôle séparé d'un disjoncteur tripolaire, facteur de premier pôle 1,5.

Le circuit d'essai et le bâti du disjoncteur doivent être connectés comme cela est indiqué sur la figure 27a, de façon que la différence de tension entre les pièces sous tension et le bâti soit, après la coupure, la même que celle qui existerait sur le pôle du disjoncteur tripolaire qui coupe le premier, s'il avait été essayé complet sur le circuit d'essai indiqué sur la figure 25a.

Le circuit d'essai recommandé est donné à la figure 27a. Dans le cas où les équipements d'essai sont limités, le circuit de la figure 27b peut être utilisé.

NOTE 3 Le circuit d'essai montré par la figure 27b n'est pas applicable aux disjoncteurs où l'isolement entre pôles et/ou à la terre est critique (par exemple GIS ou disjoncteurs Dead tank). Des méthodes d'essai appropriées à ces disjoncteurs sont présentées dans la CEI 61633.

d) Essais en monophasé d'un pôle séparé d'un disjoncteur tripolaire, facteur de premier pôle 1,3.

Le circuit d'essai et le bâti du disjoncteur doivent être connectés comme indiqué sur la figure 28a, de façon que la différence de tension entre les pièces sous tension et le bâti soit, après la coupure, approximativement la même que celle qui existerait sur le pôle du disjoncteur tripolaire qui coupe le premier, s'il avait été essayé complet sur le circuit d'essai indiqué sur la figure 26a.

Le circuit d'essai recommandé est donné à la figure 28a. Dans le cas où les équipements d'essai sont limités, le circuit de la figure 28b peut être utilisé.

NOTE 4 Le circuit d'essai montré par la figure 26b n'est pas applicable aux disjoncteurs où l'isolement entre pôles et/ou à la terre est critique (par exemple GIS ou disjoncteurs Dead tank). Des méthodes d'essai appropriées à ces disjoncteurs sont présentées dans CEI 61633.

e) Essais en monophasé d'un disjoncteur unipolaire:

Le circuit d'essai et le bâti du disjoncteur doivent être connectés de façon que la différence de tension entre les pièces sous tension et la terre dans le disjoncteur soit la même, après la coupure, que dans les conditions de service normales. Le rapport d'essai doit faire mention des connexions adoptées.

6.103.4 Raccordement du circuit d'essai au disjoncteur

Dans le cas où les dispositions matérielles d'un côté du disjoncteur ne sont pas semblables à celles qui existent de l'autre côté, le côté sous tension du circuit d'essai doit être relié, lors de l'essai, au côté du disjoncteur dont le raccordement conduit aux conditions les plus sévères, en ce qui concerne la tension par rapport à la terre, sauf dans le cas où l'alimentation du disjoncteur s'effectue par construction toujours du même côté.

Lorsque le type de raccordement conduisant aux conditions les plus sévères ne peut pas être démontré de manière satisfaisante, les séquences d'essais T10 et T30 (6.106.1 et 6.106.2) doivent être effectuées en alimentant sur des connexions différentes, de même que pour les séquences d'essais T100s et T100a. Si la séquence d'essais T100a n'est pas effectuée, la séquence d'essais T100s doit être effectuée avec l'alimentation sur chacune des deux connexions.

6.104 Caractéristiques pour les essais de court-circuit

6.104.1 Tension appliquée avant les essais d'établissement en court-circuit

Pour les essais d'établissement en court-circuit du paragraphe 6.106.4, la tension appliquée doit être la suivante.

NOTE 1 For circuit-breakers to be used in systems with a first-pole-to-clear factor lower than 1,3, it may be necessary to lower the value of the impedance between the neutral point and the earth to satisfy the breaking current conditions in the second and third pole-to-clear. Care should be taken for the TRVs for all three poles.

NOTE 2 The test circuit shown in figure 26b is not applicable for circuit-breakers where the insulation between phases and/or to earth is critical (for example GIS or dead tank circuit-breakers). Appropriate testing methods for those circuit-breakers are presented in IEC 61633.

c) Single-phase tests of a single pole of a three-pole circuit-breaker with a first-pole-to-clear factor 1,5:

   The test circuit and the circuit-breaker structure shall be connected as in figure 27a, so that the voltage conditions between live parts and the structure after arc extinction are the same as those which would exist in the first-pole-to-clear of a three-pole circuit-breaker if tested in the test circuit shown in figure 25a.

   The preferred test circuit is shown in figure 27a. Where there are limitations on test station equipment, then the circuit shown in figure 27b may be used.

NOTE 3 The test circuit shown in figure 27b is not applicable for circuit-breakers where the insulation between phases and/or to earth is critical (for example GIS or dead tank circuit-breakers). Appropriate testing methods for those circuit-breakers are presented in IEC 61633.

d) Single-phase tests of a single pole of a three-pole circuit-breaker with a first-pole-to-clear factor 1,3:

   The test circuit and the circuit-breaker structure shall be connected as in figure 28a, so that the voltage conditions between live parts and the structure after arc extinction are approximately the same as those that would exist in the first-pole-to-clear of a three-pole circuit-breaker if tested in the test circuit shown in figure 26a.

   The preferred test circuit is shown in figure 28a. Where there are limitations on test station equipment, then the circuit shown in figure 28b may be used.

NOTE 4 The test circuit shown in figure 28b is not applicable for circuit-breakers where the insulation between phases and/or to earth is critical (for example GIS or dead tank circuit-breakers). Appropriate testing methods for those circuit-breakers are presented in IEC 61633.

e) Single-phase tests of a single-pole circuit-breaker:

   The test circuit and the circuit-breaker structure shall be connected so that the voltage conditions between live parts and earth within the circuit-breaker after arc extinction reproduce the service voltage conditions. The connections used shall be indicated in the test report.

6.103.4 Connection of test circuit to circuit-breaker

Where the physical arrangement of one side of the circuit-breaker differs from that of the other side, the live side of the test circuit shall be connected for testing to that side of the circuit-breaker which gives the more severe conditions with respect to voltage to earth, unless the circuit-breaker is especially designed for feeding from one side only.

Where it cannot be demonstrated satisfactorily which connection gives the more severe conditions, test-duties T10 and T30 (6.106.1 and 6.106.2) shall be made with opposite connections, and likewise for test-duties T100s and T100a. If test-duty T100a is omitted, test-duty T100s shall be made with each of the two connections.

6.104 Short-circuit test quantities

6.104.1 Applied voltage before short-circuit making tests

For the short-circuit making tests of 6.106.4, the applied voltage shall be as follows.

a) Pour les essais en triphasé d'un disjoncteur tripolaire, la valeur moyenne des tensions appliquées entre phases doit être au moins égale à la tension assignée $U_r / \sqrt{3}$ et ne doit pas excéder cette valeur de plus de 10 % sans l'accord du constructeur.

   Les différences entre la valeur moyenne des tensions appliquées et les tensions appliquées sur chacun des pôles ne doivent pas dépasser 5 %.

b) Pour les essais en monophasé d'un disjoncteur tripolaire, la tension appliquée doit être au moins égale à la valeur de tension entre phase et terre $U_r / \sqrt{3}$ et ne doit pas excéder cette valeur de plus de 10 % sans l'accord du constructeur.

NOTE Avec l'accord du constructeur et pour des raisons de commodité d'essais, il est permis d'appliquer une tension égale à la tension entre phase et terre multipliée par le facteur de premier pôle (1,3 ou 1,5) du disjoncteur.

   Lorsque le disjoncteur peut avoir la possibilité d'un cycle de refermeture unipolaire et que l'écart de temps maximal entre les temps de contact des pôles lors de la manœuvre de fermeture tripolaire dépasse un quart de période de la fréquence assignée (voir la note de 5.101), la tension appliquée doit être égale à la tension entre phase et terre multipliée par le facteur de premier pôle (1,3 ou 1,5) du disjoncteur.

c) Pour un disjoncteur unipolaire, la tension appliquée doit être au moins égale à la tension assignée et ne doit pas excéder cette valeur de plus de 10 % sans l'accord du constructeur.

   Lorsque des essais synthétiques sont effectués, la CEI 60427 s'applique, voir aussi 6.106.4.1 a), 6.106.44.2 a) et 6.106.4.3.

6.104.2 Courant établi en court-circuit

6.104.2.1 Généralités

La capacité d'un disjoncteur à établir le courant de court-circuit assigné est démontrée par la séquence d'essais T100s (voir 6.106.4).

Le disjoncteur doit être capable d'établir le courant avec préamorçage de l'arc en tout point de l'onde de tension. Deux cas extrêmes sont spécifiés ci-dessous (voir figure 1):

– établissement à la crête de l'onde de tension, produisant un courant de court-circuit symétrique et l'arc de préamorçage le plus long;

– établissement au zéro de l'onde de tension, sans préamorçage, produisant un courant de court-circuit asymétrique.

La procédure d'essai décrite ci-dessous démontre la capacité du disjoncteur à remplir les deux conditions suivantes:

a) le disjoncteur peut établir un courant symétrique résultant d'un préamorçage initié à la crête de la tension appliquée. Ce courant doit être égal à la composante symétrique du courant assigné de coupure de court-circuit (voir 4.101);

b) le disjoncteur peut établir un courant pleinement asymétrique. Ce courant sera le courant assigné de fermeture de court-circuit (voir 4.103);

   Un disjoncteur doit être capable de fonctionner à des tensions inférieures à sa tension assignée (voir le point a) de 4.101) à laquelle il établit réellement le plein courant asymétrique. La valeur limite inférieure, si applicable, doit être indiquée par le constructeur.

NOTE 1 Le courant de court circuit est considéré comme symétrique, si l'initiation du courant se situe à plus ou moins 15° de la valeur crête de la tension appliquée.

NOTE 2 Pour des disjoncteurs ayant un préamorçage supérieur à 10 ms, plus de deux fermetures peuvent être nécessaires pour démontrer les conditions les plus difficiles.

NOTE 3 En raison d'une non-simultanéité non intentionnelle entre les pôles, les instants de contacts durant la fermeture peuvent être différents et provoquer des courants d'établissement plus importants dans un pôle (voir aussi 5.101). C'est particulièrement le cas si dans un pôle, le courant commence à circuler environ un quart de cycle après les deux autres pôles, prouvant qu'il n'y a pas de préamorçage. Un essai non réussi pour un disjoncteur durant un tel événement est considéré comme une séquence d'essais non satisfaisante.

a) For three-phase tests on a three-pole circuit-breaker, the average value of the applied voltages phase-to-phase shall not be less than the rated voltage U_r and shall not exceed this value by more than 10 % without the consent of the manufacturer.

The differences between the average value and the applied voltages of each pole shall not exceed 5 %.

b) For single-phase tests on a three-pole circuit-breaker, the applied voltage shall not be less than the phase-to-earth value $U_r / \sqrt{3}$ and shall not exceed this value by more than 10 % without the consent of the manufacturer.

NOTE With the manufacturer's consent it is permissible, for convenience of testing, to apply a voltage equal to the product of the phase-to-earth voltage and the first-pole-to-clear factor (1,3 or 1,5) of the circuit-breaker.

Where the circuit-breaker can be arranged for a single-pole reclosing cycle and the maximum time difference between the contacts touching in a subsequent three-pole closing operation exceeds one-quarter of a cycle of rated frequency (compare with the note of 5.101), the applied voltage shall be the product of the phase-to-earth voltage and the first-pole-to-clear factor (1,3 or 1,5) of the circuit-breaker.

c) For a single-pole circuit-breaker, the applied voltage shall not be less than the rated voltage and shall not exceed this value by more than 10 % without the consent of the manufacturer.

When performing synthetic tests IEC 60427 applies, see also 6.106.4.1 a), 6.106.4.2 a) and 6.106.4.3.

6.104.2 Short-circuit making current

6.104.2.1 General

The ability of the circuit-breaker to make the rated short-circuit making current is proven in test-duty T100s (see 6.106.4).

The circuit-breaker shall be able to make the current with pre-strike of the arc occurring at any point on the voltage wave. Two extreme cases are specified as follows (see figure 1):

– making at the peak of the voltage wave, leading to a symmetrical short-circuit current and the longest pre-striking arc;
– making at the zero of the voltage wave, without pre-striking, leading to a fully asymmetrical short-circuit current.

The test procedure as outlined below aims to demonstrate the ability of the circuit-breaker to fulfil the following two requirements:

a) the circuit-breaker can close against a symmetrical current as a result of the pre-arcing commencing at a peak of the applied voltage. This current shall be the symmetrical component of the rated short-circuit breaking current (see 4.101);
b) the circuit-breaker can close against a fully asymmetrical short-circuit current. This current shall be the rated short-circuit making current (see 4.103).

A circuit-breaker shall be able to operate at voltages below its rated voltage (see item a) of 4.101) at which it actually makes with a fully asymmetrical current. The lower limit of voltage, if any, shall be stated by the manufacturer.

NOTE 1 The short-circuit current is considered to be symmetrical, if the current flow commences within ± 15 ° of the peak value of the applied voltage.

NOTE 2 For circuit-breakers having a pre-arcing time exceeding 10 ms, more than two making operations may be necessary to meet the most onerous condition.

NOTE 3 Due to unintentional non-simultaneity of poles, the instants of contact touching during closing may differ such as to provoke an even higher peak making current in one pole (see also 5.101). This is particularly the case if, in one pole, the current begins to flow about one-quarter of a cycle later than in the other two poles, provided that there is no pre-arcing. Failure of the circuit-breaker during such an event is considered a failure of a circuit-breaker to satisfy the test-duty.

6.104.2.2 Procédure d'essai

6.104.2.2.1 Essais triphasés

Pour les essais triphasés d'un disjoncteur tripolaire, il est admis que les exigences mentionnées en a) et b) ci-dessus sont couvertes de façon adéquate par la séquence d'essais T100s.

Le contrôle du temps doit être tel que le courant de fermeture assigné en court-circuit est obtenu dans au moins un des deux cycles de fermeture-ouverture (CO) de la séquence d'essais T100s.

Quand un disjoncteur présente un préarc tel que le courant de fermeture assigné en court-circuit n'est pas atteint pendant le premier cycle de manœuvres CO de la séquence d'essais T100s et, même après avoir ajusté les temps, il n'est pas atteint pendant le second cycle de manœuvres CO, une troisième cycle de manœuvres CO doit être effectué à une tension réduite. Avant ce cycle de manœuvres, le disjoncteur peut être remis en état.

6.104.2.2.2 Essais monophasés

Pour les essais monophasés, les séquences d'essai T100s ou T100s(a) doivent être réalisées de manière telle que l'exigence du point a) de 6.104.2.1 soit obtenue lors d'une manœuvre de fermeture, et celle de b) de 6.104.2.1 dans l'autre manœuvre. L'ordre de ces manœuvres n'est pas spécifié. Si pendant les séquences T100s ou T100s (a) (voir la note en 6.106) une des exigences des points a) et b) n'a pas été vérifiée de façon adéquate, un cycle de manœuvres CO additionnel est nécessaire. Avant ce cycle de manœuvres, le disjoncteur peut être reconditionné.

Suivant les résultats obtenus pendant les séquences T100s ou T100s(a) normales, le cycle de manœuvres CO additionnel doit

– vérifier les exigences du point a) ou b) de 6.104.2.1, ou
– démontrer l'évidence que les courants de fermeture en court-circuit obtenus sont représentatifs des conditions rencontrées en service avec les caractéristiques de préarc du disjoncteur.

Si pendant les séquences T100s ou T100s(a) le courant de fermeture assigné en court-circuit n'a pas été atteint à cause des caractéristiques du disjoncteur, l'essai FO additionnel peut être effectué à une tension appliquée plus faible.

Si pendant les séquences T100s ou T100s(a) on n'obtient pas de courant symétrique, comme spécifié au point a) ci-dessus, l'essai FO additionnel peut être réalisé à une tension appliquée avec les tolérances établies en 6.104.1.

6.104.3 Courant coupé en court-circuit

Le courant en court-circuit que doit couper un disjoncteur doit être déterminé à l'instant de la séparation des contacts, conformément aux indications de la figure 8, et doit être exprimé par les deux valeurs suivantes:

– la moyenne des valeurs efficaces des composantes périodiques sur tous les pôles;
– la valeur en pourcentage de la composante apériodique du courant la plus élevée obtenue sur l'un quelconque des pôles.

La différence entre la moyenne des valeurs efficaces des composantes périodiques et les valeurs obtenues sur chaque pôle ne doit pas dépasser 10 % de la valeur moyenne.

Alors que le courant coupé en court-circuit est mesuré à l'instant de la séparation des contacts, l'aptitude du disjoncteur à la coupure est déterminée entre autres facteurs par le courant qui est finalement interrompu dans la dernière alternance de l'arc. Le décrément de la composante périodique du courant de court-circuit peut par conséquent être très important,

6.104.2.2 Test procedure

6.104.2.2.1 Three-phase tests

For three-phase tests on a three-pole circuit-breaker it is assumed that the requirements outlined in a) and b) above are adequately demonstrated during the test-duty T100s.

The control of the timing shall be such that at least in one of the two close-open (CO) cycles of test-duty T100s the rated short-circuit making current is obtained.

Where a circuit-breaker exhibits pre-arcing to such an extent that the rated short-circuit making current is not attained during the first CO operating cycle of test-duty T100s and, even after adjustment of the timing, the rated short-circuit making current is not achieved during the second CO operating cycle, a third CO operating cycle shall be carried out at reduced voltage. Before this operating cycle, the circuit-breaker may be reconditioned.

6.104.2.2.2 Single-phase tests

For single-phase tests, test-duty T100s or T100s(a) shall be carried out in such a way that the requirement outlined in a) of 6.104.2.1 is met in one and that of b) of 6.104.2.1 in the other closing operation. The sequence of these operations is not specified. If during test-duty T100s or T100s(a) (see note at 6.106) one of the requirements outlined in a) and b) has not been adequately demonstrated, an additional CO operating cycle is necessary. Before this operating cycle the circuit-breaker may be reconditioned.

The additional CO operating cycle shall, depending on the results obtained during the normal test-duty T100s or T100s(a), demonstrate either

– requirements in a) or b) of 6.104.2.1, or
– evidence that the short-circuit making currents attained are representative of the conditions to be met in service due to the pre-arcing characteristics of the circuit-breaker.

If, during the test-duty T100s or T100s(a), the rated short-circuit making current has not been attained due to the characteristics of the circuit-breaker, the additional CO test may be made at a lower applied voltage.

If during the test-duty T100s or T100s(a) no symmetrical current has been obtained, as required in a) above, the additional CO test may be made at an applied voltage within the margins stated in 6.104.1.

6.104.3 Short-circuit breaking current

The short-circuit current to be interrupted by a circuit-breaker shall be determined at the instant of contact separation in accordance with figure 8, and shall be stated in terms of the following two values:

– the average of the r.m.s. values of the a.c. components in all phases;
– the percentage value of the maximum d.c. component in any phase.

The r.m.s. value of the a.c. component in any phase shall not vary from the average by more than 10 %.

Although the short-circuit breaking current is measured at the instant corresponding to contact separation, the breaking performance of the circuit-breaker is determined, among other factors, by the current which is finally interrupted in the last loop of arcing. The decrement of the a.c. component of the short-circuit current is therefore very important, particularly when

en particulier pour les disjoncteurs dont la durée d'arc s'étend sur plusieurs alternances de courant. Pour éviter une réduction des contraintes, il est recommandé d'utiliser un décrément de la composante périodique du courant de court-circuit tel qu'à l'instant correspondant à l'extinction finale de l'arc principal sur le dernier pôle qui coupe, la composante périodique du courant présumé soit au moins à 90 % de la valeur correspondant à la séquence d'essais. Ceci doit être prouvé par un enregistrement du courant présumé avant le début des essais.

Si les caractéristiques du disjoncteur sont telles que le courant de court-circuit est réduit à une valeur inférieure à celle du courant présumé coupé, ou si l'oscillogramme ne permet pas de tracer correctement l'enveloppe des ondes de courant, la valeur moyenne du courant présumé coupé en court-circuit sur tous les pôles, mesurée sur l'oscillogramme du courant présumé à l'instant correspondant à la séparation des contacts, doit être utilisée comme étant le courant coupé en court-circuit.

On peut déterminer l'instant de la séparation des contacts selon l'expérience de la station d'essais et le type de l'appareil en essai par diverses méthodes, par exemple par l'enregistrement de la course des contacts pendant l'essai, par l'enregistrement de la tension d'arc ou par un essai à vide sur le disjoncteur.

6.104.4 Composante apériodique du courant coupé en court-circuit

Pour les disjoncteurs dont la durée d'ouverture est telle que la composante apériodique ne peut être contrôlée, par exemple les disjoncteurs munis de déclencheurs directs à maximum de courant et préparés pour l'essai comme indiqué en 6.102.3, la composante apériodique peut être supérieure à celle spécifiée pour les séquences d'essais T10, T30, T60 et T100s en 6.106.

Les disjoncteurs doivent être considérés comme ayant satisfait à la séquence d'essais T100a, même si le pourcentage de la composante apériodique au cours d'une manœuvre d'ouverture est inférieur à la valeur spécifiée, à condition que la moyenne des pourcentages des composantes apériodiques au cours des manœuvres d'ouverture de la séquence d'essais dépasse le pourcentage spécifié de la composante apériodique. Dans tous les essais de la séquence, le pourcentage de la composante apériodique doit être supérieur à 90 % de la valeur spécifiée.

Si l'oscillogramme d'une quelconque coupure ne permet pas de dessiner l'enveloppe de courant de façon satisfaisante, on doit prendre comme valeur de composante apériodique à la séparation des contacts pendant l'essai sa valeur présumée dans la mesure où les instants d'initiation des courts-circuits sont comparables. Le pourcentage de composante apériodique doit être mesuré à partir de l'oscillogramme du courant présumé, à l'instant correspondant à la séparation des contacts.

6.104.5 Tension transitoire de rétablissement (TTR) pour les essais de coupure de court-circuit

6.104.5.1 Généralités

La TTR présumée du circuit d'essai doit être déterminée par des méthodes telles que les appareils servant à générer et mesurer l'onde de la TTR soient sans influence pratique sur celle-ci. Elle doit être mesurée aux bornes auxquelles le disjoncteur sera relié avec tous les dispositifs de mesure nécessaires, tels que les diviseurs de tension, etc. Des méthodes appropriées sont décrites dans l'annexe F (voir aussi 6.104.6). Dans les cas où la mesure n'est pas possible, par exemple dans certains laboratoires synthétiques, on admet un calcul de la TTR présumée. Des indications figurent à l'annexe F.

Pour les circuits triphasés, la TTR présumée se réfère au pôle qui coupe le premier, c'est-à-dire à la tension aux bornes d'un pôle ouvert, les deux autres pôles étant fermés, suivant le circuit d'essai correspondant, comme spécifié en 6.103.3.

La courbe de la TTR présumée pour les essais est représentée par son enveloppe tracée comme l'indique l'annexe E, et par sa partie initiale.

testing those circuit-breakers which arc for several loops of current. To obviate an easement of duty, the decrement of the a.c. component of the short-circuit current should be such that at a time corresponding to the final extinction of the main arc in the last pole to clear, the a.c. component of the prospective current is not less than 90 % of the appropriate value for the test-duty. This shall be proven by a record of the prospective current before commencing the tests.

If the characteristics of the circuit-breaker are such that it reduces the short-circuit current value below the prospective breaking current, or if the oscillogram is such that the current wave envelope cannot be drawn successfully, the average prospective short-circuit breaking current in all phases shall be used as the short-circuit breaking current and shall be measured from the oscillogram of prospective current at a time corresponding to the instant of contact separation.

The instant of contact separation can be determined according to the experience of the testing station and the type of apparatus under test by various methods, for instance, by recording the contact travel during the test, by recording the arc voltage or by a test on the circuit-breaker at no-load.

6.104.4 DC component of short-circuit breaking current

For circuit-breakers which operate in opening times preventing the control of the d.c. component, for example self-tripping circuit-breakers when in a condition for test as set out in 6.102.3, the d.c. component may be greater than that specified for test-duties T10, T30, T60 and T100s of 6.106.

Circuit-breakers shall be considered to have satisfied test-duty T100a, even if the percentage d.c. component in one opening operation is less than the specified value, provided that the average of the percentage d.c. components of the opening operations of the test-duty exceeds the specified percentage d.c. component. In any one test of the test-duty, the d.c. component shall not be less than 90 % relative to the specified value.

If the oscillogram of any breaking operation is such that the current wave envelope cannot be drawn successfully, then provided that the instants of initiation of short-circuits are comparable, the prospective percentage d.c. component shall be taken as the percentage d.c. component at contact separation during the test. The percentage d.c. component shall be measured from the oscillogram of the prospective current at a time corresponding to the instant of contact separation.

6.104.5 Transient recovery voltage (TRV) for short-circuit breaking tests

6.104.5.1 General

The prospective TRV of the test circuits shall be determined by such a method as will produce and measure the TRV wave without significantly influencing it. It shall be measured at the terminals to which the circuit-breaker will be connected with all necessary test-measuring devices, such as voltage dividers, etc. Suitable methods are described in annex F (see also 6.104.6). In such cases where a measurement is not possible, for instance in some synthetic circuits, a calculation of the prospective TRV is allowed. Guidance is given in annex F.

For three-phase circuits, the prospective TRV refers to the first-pole-to-clear, i.e. the voltage across one open pole with the other two poles closed, with the appropriate test circuit arranged as specified in 6.103.3.

The prospective TRV for the test is represented by its envelope, drawn as shown in annex E, and by its initial portion.

La TTR spécifiée pour les essais est représentée par un tracé de référence, un segment définissant le retard et une enveloppe de tension transitoire de rétablissement initial (TTRI) de la même façon que la TTR relative au courant de court-circuit assigné, conformément à 4.102.2 et aux figures 10, 11 et 12.

Les paramètres de la TTR sont définis ci-dessous en fonction de la tension assignée (U_r), du facteur de premier pôle(k_{pp}) et du facteur d'amplitude (k_{af}). Les valeurs réelles de k_{pp} et de k_{af} sont indiquées dans les Tableaux 24 et 25, 1b, 1c, 26, 27, 14a et 14b. Pour les disjoncteurs de tension assignée supérieure ou égale à 100 kV, correspondant à des réseaux dont le neutre est habituellement mis effectivement à la terre, le facteur de premier pôle k_{pp} est égal à 1,3 comme indiqué dans le Tableau 14a. Dans le cas de réseaux 100 kV à 170 kV dont le neutre est mis non-effectivement à la terre, le facteur de premier pôle k_{pp} est égal à 1,5 comme indiqué dans le Tableau 14b.

a) *Pour les tensions assignées inférieures à 100 kV*

On utilise un tracé de référence de la TTR présumée à deux paramètres pour toutes les séquences d'essais.

– Dans le Tableau 26, pour les disjoncteurs de réseaux par câbles.

La valeur de crête de la TTR est $u_c = k_{pp} \times k_{af} \sqrt{(2/3)} \times U_r$ où k_{af} est égal à 1,4 pour la séquence d'essais T100, 1,5 pour la séquence T60, 1,6 pour la séquence T30, 1,7 pour la séquence T10 et 1,25 pour la coupure en discordance de phase.

Le temps t_3 pour la séquence T100 est déduit du Tableau 24. Le temps t_3 pour les séquences T60, T30 et T10 est obtenu en multipliant le temps t_3 pour la séquence T100 par 0,44 (pour T60), 0,22 (pour T30) et 0,22 (pour T10).

– Dans le Tableau 27, pour les disjoncteurs de réseaux aériens.

La valeur de crête de la TTR est $u_c = k_{pp} \times k_{af} \sqrt{(2/3)} \times U_r$ où k_{af} est égal à 1,54 pour la séquence d'essais T100, 1,65 pour la séquence T60, 1,74 pour la séquence T30, 1,8 pour la séquence T10 et 1,25 pour la coupure en discordance de phase.

Le temps t_3 pour la séquence T100 est déduit du Tableau 25. Le temps t_3 pour les séquences T60, T30 et T10 est obtenu en multipliant le temps t_3 pour la séquence T100 par 0,67 (pour T60), 0,40 (pour T30) et 0,40 (pour T10).

– Le temps de retard t_d pour la séquence T100 est 0,15 × t_3 pour les réseaux par câbles, 0,05 × t_3 pour les réseaux aériens, 0,05 × t_3 pour le circuit d'alimentation du défaut proche en ligne.

– Le temps de retard t_d est 0,15 × t_3 pour les séquences T60, T30 et T10 et pour la coupure en discordance de phases.

– La tension $u' = u_c/3$.

– Le temps t' est déterminé à partir de u', t_3 et t_d selon la Figure 11, $t' = t_d + t_3/3$.

b) *Pour les tensions assignées de 100 kV à 800 kV*

On utilise un tracé de référence de la TTR présumée à quatre paramètres pour les séquences T100 et T60, pour le circuit d'alimentation du défaut proche en ligne L_{90} et L_{75} et pour les séquences d'essais en discordance de phases OP1 et OP2, et à deux paramètres pour les séquences T30 et T10.

– La première tension de référence: $u_1 = 0{,}75 \times k_{pp} U_r \sqrt{\frac{2}{3}}$

– Le temps t_1 est déterminé à partir de u_1 et de la valeur spécifiée de la vitesse d'accroissement u_1/t_1.

The TRV specified for the test is represented by a reference line, a delay line and initial transient recovery voltage (ITRV) envelope in the same manner as the TRV related to the rated short-circuit breaking current in accordance with 4.102.2 and figures 10, 11 and 12.

TRV parameters are defined as follows as a function of the rated voltage (U_r), the first-pole-to-clear factor (k_{pp}) and the amplitude factor (k_{af}). The actual values of k_{pp} and k_{af} are stated in Tables 24, 25, 1b, 1c, 26, 27, 14a and 14b. The first-pole-to-clear factor k_{pp} is 1,3 as listed in Table 14a for all circuit-breakers rated 100 kV and above where systems are usually effectively earthed. For non-effectively earthed systems from 100 kV to 170 kV, k_{pp} = 1,5 as listed in Table 14b.

a) *For rated voltages less than 100 kV*

A representation by two parameters of the prospective TRV is used for all test-duties.

– In Table 26, for circuit-breakers in cable systems.

TRV peak value $u_c = k_{pp} \times k_{af} \sqrt{(2/3)} \times U_r$ where k_{af} is equal to 1,4 for test-duty T100, 1,5 for test-duty T60, 1,6 for test duty T30 and 1,7 for test duty T10, 1,25 for out-of-phase breaking.

Time t_3 for test-duty T100 is taken from Table 24. Time t_3 for test-duties T60, T30 and T10 is obtained by multiplying the time t_3 for test-duty T100 by 0,44 (for T60), 0,22 (for T30) and 0,22 (for T10).

– In Table 27, for circuit-breakers in line systems.

TRV peak value $u_c = k_{pp} \times k_{af} \sqrt{(2/3)} \times U_r$ where k_{af} is equal to 1,54 for test-duty T100 and the supply side circuit for short-line fault, 1,65 for test-duty T60, 1,74 for test duty T30 and 1,8 for test duty T10, 1,25 for out-of-phase breaking.

Time t_3 for test-duty T100 is taken from Table 25. Time t_3 for test-duties T60, T30 and T10 is obtained by multiplying the time t_3 for test-duty T100 by 0,67 (for T60), 0,40 (for T30) and 0,40 (for T10).

– Time delay t_d for test-duty T100 is 0,15 × t_3 for cable systems, 0,05 × t_3 for line systems, 0,05 × t_3 for the supply side circuit for short-line fault.

– Time delay t_d is 0,15 × t_3 for test-duties T60, T30 and T10 and for out-of-phase breaking.

– Voltage $u'=u_c/3$.

– Time t' is derived from u', t_3 and t_d according to Figure 11, $t' = t_d + t_3/3$.

b) *For rated voltage from 100 kV to 800 kV*

A representation by four parameters of the prospective TRV is used for test-duties T100 and T60, and the supply circuit of SLF for test duties L_{90} and L_{75} and for out-of-phase test duties OP1 and OP2 and by two parameters for test-duties T30 and T10.

– First reference voltage $u_1 = 0{,}75 \times k_{pp} U_r \sqrt{\frac{2}{3}}$

– Time t_1 is derived from u_1 and the specified value of the rate of rise u_1/t_1.

– La valeur de crête de la TTR: $u_c = k_{pp} \times k_{af} U_r \sqrt{\frac{2}{3}}$

où k_{af} est égal à 1,4 pour la séquence T100 et pour le circuit d'alimentation du défaut proche en ligne, 1,5 pour la séquence T60, 1,54 pour la séquence T30, 0,9 × 1,7 pour la séquence T10 et 1,25 pour la coupure en discordance de phases.

– Le temps t_2 est égal à $4t_1$ pour la séquence T100 et pour le circuit d'alimentation du défaut proche en ligne et entre t_2 (pour T100) et $2t_2$ (pour T100) pour la coupure en discordance de phases. Le temps t_2 est égal à $6t_1$ pour la séquence T60.

– Pour les séquences T30 et T10, le temps t_3 est déduit de u_c et de la valeur spécifiée de la vitesse d'accroissement u_c/t_3.

– Le retard t_d est entre 2 µs et $0{,}28t_1$ pour la séquence T100, entre 2 µs et $0{,}3t_1$ pour la séquence T60, entre 2 µs et $0{,}1t_1$ pour OP1 et OP2. Le retard est $0{,}15t_3$ pour les séquences T30 et T10. Pour le circuit d'alimentation du défaut proche en ligne, le retard est de 2 µs. Les valeurs de t_d à utiliser pour les essais sont données de 6.104.5.2 à 6.104.5.5.

– La tension u' = $u_1/2$ pour les séquences T100 et T60, pour le circuit d'alimentation du défaut proche en ligne et pour la coupure en discordance de phases, et $u_c/3$ pour les séquences T30 et T10.

– Le temps t' est déduit de u', u_1/t_1 et t_d pour les séquences T100, T60, pour le circuit d'alimentation du défaut proche en ligne et pour la coupure en discordance de phases, selon la figure 10; et de u', u_c/t_3 et t_d pour les séquences T30 et T10 selon la figure 11.

L'onde de la TTR présumée du circuit d'essai doit être conforme aux deux exigences suivantes:

– Exigence a)

Son enveloppe ne doit jamais être située en dessous du tracé de référence spécifié.

NOTE 1 Il est précisé que l'accord du constructeur est nécessaire pour fixer de combien l'enveloppe peut dépasser le tracé de référence spécifié (voir 6.104); ce point est particulièrement important lorsqu'on utilise des enveloppes à deux paramètres alors que des tracés de référence à quatre paramètres ont été spécifiés, et lorsqu'on utilise des enveloppes à quatre paramètres alors que des tracés de référence à deux paramètres ont été spécifiés.

NOTE 2 Pour la commodité des essais, les séquences T100 et T60 pour les tensions assignées de 100 kV et au-dessus peuvent être réalisées avec une TTR à deux paramètres si la vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement correspond à la valeur normale u_1/t_1 et la valeur de crête de tension à la valeur normale u_c. Cette procédure requiert le consentement du constructeur.

– Exigence b)

Sa partie initiale doit satisfaire les exigences de la TTRI spécifiée. La TTRI doit être considérée comme un défaut proche en ligne. Par conséquent, il est nécessaire de mesurer le circuit de TTRI indépendamment du circuit d'alimentation, d'une manière inhérente. La TTRI est définie par la valeur de crête u_i et par le temps correspondant t_i (figure 12b). La forme d'onde présumée doit suivre un segment de ligne droite de référence du point de démarrage de la TTRI au point défini par u_i et t_i. La forme d'onde de TTRI inhérente doit suivre le tracé de référence de 20 % à 80 % de la valeur crête de TTRI. Des écarts par rapport au tracé de référence sont permis lorsque l'amplitude de la TTRI est soit inférieure à 20 %, soit supérieure à 80 % de la valeur de crête de la TTRI spécifiée. Elle ne doit pas être significativement plus grande que le tracé de référence mentionné ci-dessus. Si 80 % de la valeur ne peut être atteinte sans augmenter de manière significative la vitesse d'accroissement de la TTRI, il est préférable d'accroître la valeur de crête u_i au-dessus de la valeur spécifiée pour atteindre le point 80 %. La vitesse d'accroissement de la TTRI ne doit pas augmenter car cela correspondrait à un changement d'impédance et donc à un changement important de la sévérité de l'essai.

Il est nécessaire de faire les séquences T100a, T100s et L_{90} avec les conditions de TTRI. Dans les cas où le disjoncteur a une caractéristique assignée de défaut proche en ligne, l'exigence de TTRI est considérée comme étant satisfaite si les essais de défaut proche en ligne sont réalisés avec une ligne introduisant un retard insignifiant (voir 6.104.5.2).

– TRV peak value $u_c = k_{pp} \times k_{af} U_r \sqrt{\frac{2}{3}}$

where k_{af} is equal to 1,4 for test-duty T100 and for the supply side circuit for SLF, 1,5 for test-duty T60, 1,54 for test-duty T30, 0,9 × 1,7 for test-duty T10, and 1,25 for out-of-phase breaking.

– Time t_2 is equal to $4t_1$ for test-duty T100 and for the supply side circuit for short-line fault and between t_2 (for T100) and $2t_2$ (for T100) for out-of-phase breaking. Time t_2 is equal to $6t_1$ for T60.

– For test-duties T30 and T10, time t_3 is derived from u_c and the specified value of the rate of rise u_c/t_3.

– Time delay t_d is between 2 µs and $0{,}28t_1$ for test-duty T100, between 2 µs and $0{,}3t_1$ for test-duty T60, between 2 µs and $0{,}1t_1$ for test duty OP1 and OP2. Time delay is $0{,}15t_3$ for test-duty T30 and T10. For the supply side circuit for short-line fault the time delay is equal to 2 µs. The relevant value of t_d to be used for testing is given in 6.104.5.2 to 6.104.5.5.

– Voltage u' = $u_1/2$ for test-duties T100 and T60 and the supply side for SLF and out-of-phase breaking, and $u_c/3$ for test-duties T30 and T10.

– Time t' is derived from u', u_1/t_1 and t_d for test-duties T100, T60 and the supply circuit for SLF and out-of-phase breaking, and according to figure 10; and from u', u_c/t_3 and t_d for test-duties T30 and T10 according to figure 11.

The prospective transient recovery voltage wave of the test circuit shall comply with the following two requirements:

– Requirement a)

Its envelope shall at no time be below the specified reference line.

NOTE 1 It is stressed that the extent by which the envelope may exceed the specified reference line requires the consent of the manufacturer (see 6.104); this is of particular importance in the case of two-parameter envelopes when four-parameter reference lines are specified, and in the case of four-parameter envelopes when two-parameter reference lines are specified.

NOTE 2 For convenience of testing it is allowed to carry out test-duties T100 and T60 for rated voltages 100 kV and above with a two parameter TRV provided that the rate of rise of recovery voltage corresponds to the standard value u_1/t_1 and the peak value to the standard value u_c. This procedure requires the consent of the manufacturer.

– Requirement b)

Its initial portion shall fulfil the specified ITRV requirements. The ITRV has to be handled like a short-line fault. Consequently, it is necessary to measure the ITRV circuit independently of the source side in an inherent way. The ITRV is defined by the peak value u_i and the time coordinate t_i (figure 12b). The inherent waveshape shall mostly follow a straight line reference line drawn from the beginning of the ITRV to the point defined by u_i and t_i. The inherent ITRV waveshape shall follow this reference line from 20 % to 80 % of the required ITRV peak value. Deviations from the reference line are permitted for the ITRV amplitude below 20 % and above 80 % of the specified ITRV peak value. It shall not be significantly higher than the above-mentioned reference line. If the 80 % value cannot be reached without significant increase of the rate of rise of the ITRV, it is preferred to raise the peak value u_i above the specified value in order to reach the 80 % point. The rate of rise of the ITRV shall not be increased, because this would be connected to a change of the impedance and thus to an essential change of the severity of the test.

Testing under ITRV conditions is necessary for test-duties T100a, T100s and L_{90}. If the circuit-breaker has a short-line fault rating, the ITRV requirements are considered to be covered if the short-circuit fault tests are carried out using a line with insignificant time delay (see 6.104.5.2).

Puisque la TTRI est proportionnelle à l'impédance d'onde du jeu de barres et au courant, l'exigence de TTRI peut être négligée dans le cas des disjoncteurs installés dans des appareillages sous enveloppe métallique isolés au gaz parce que l'impédance d'onde est faible et pour tous les disjoncteurs de pouvoir de coupure assigné en court-circuit inférieur à 25 kA. De même, pour les disjoncteurs de tension assignée inférieure à 100 kV à cause des faibles dimensions des jeux de barres.

6.104.5.2 Séquences d'essais T100s et T100a

Pour les tensions assignées inférieures à 100 kV, les valeurs normales spécifiées sont indiquées dans

– le Tableau 26, pour les disjoncteurs pour réseaux par câbles,
– le Tableau 27, pour les disjoncteurs pour réseaux aériens.

Pour les tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV, les valeurs normales spécifiées sont indiquées dans les Tableaux 14a et 14b.

Les tracés de référence, segments définissant le retard et TTRI spécifiés sont les valeurs normales indiquées dans les Tableaux 24, 25, 1b, 1c, 1d, 2 et 3.

En ce qui concerne la TTRI, si un essai est effectué avec une TTR suivant le contour du tracé de référence spécifié en 6.104.5.1, point b), et indiqué à la Figure 12b, il est admis que le disjoncteur est contraint de la même façon qu'avec une TTRI définie selon 6.104.5.1, point b), et Figure 12b.

Par suite de limitations du laboratoire d'essai, il peut être impossible de répondre complètement à l'exigence du point b) de 6.104.5.1 en ce qui concerne le retard t_d spécifié dans les Tableaux 1b, 1c ou 1d. Lorsque des essais de défaut proche en ligne sont également effectués, toute déficience de ce genre de la TTR du circuit d'alimentation doit être compensée par une augmentation de la première crête de la tension, côté ligne (voir 6.109.3). Le retard du circuit d'alimentation doit être aussi faible que possible, mais ne doit en aucun cas dépasser les valeurs indiquées entre parenthèses dans les Tableaux 27 ou 14a ou 14b.

Lorsque des essais de défaut proche en ligne sont également effectués, il peut être commode de combiner les exigences de TTRI et les exigences du défaut proche en ligne, du côté ligne. Si la TTRI est combinée avec la tension transitoire d'une ligne courte introduisant le retard t_{dL} spécifié dans le tableau 4, la contrainte totale est pratiquement égale à la contrainte due à une ligne courte n'introduisant qu'un retard insignifiant. Par conséquent, les prescriptions de la TTRI des séquences d'essais T100s et T100a sont considérées comme satisfaites si les séquences d'essais de défaut proche en ligne sont effectuées avec une ligne courte n'introduisant qu'un retard insignifiant t_{dL} (voir 6.109.3) à moins que les deux bornes ne soient pas identiques du point de vue électrique (comme c'est le cas par exemple, quand une capacité additionnelle est utilisée comme il est indiqué dans la note 4 de 6.109.3).

6.104.5.3 Séquence d'essais T60

Pour les tensions assignées inférieures à 100 kV, les valeurs normales spécifiées sont indiquées dans

– le Tableau 26, pour les disjoncteurs pour réseaux par câbles,
– le Tableau 27 pour les disjoncteurs pour réseaux aériens.

Pour les tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV, les valeurs normales spécifiées sont indiquées dans les Tableaux 14a et 14b.

Since the ITRV is proportional to the busbar surge impedance and to the current, the ITRV requirements can be neglected for circuit-breakers installed in metal-enclosed, gas-insulated switchgear (GIS) because of the low surge impedance, and for all circuit-breakers with a rated short-circuit breaking current of less than 25 kA. The same applies to circuit-breakers with a rated voltage below 100 kV because of the small dimensions of the busbars.

6.104.5.2 Test-duties T100s and T100a

For rated voltages less than 100 kV, the specified standard values are given in

– Table 26 for circuit-breakers in cable systems,

– Table 27 for circuit-breakers in line systems.

For rated voltages of 100 kV and above, the specified standard values are given in Tables 14a and 14b.

The specific reference lines, delay lines and ITRV are given by the standard values in Tables 24, 25, 1b, 1c, 1d, 2 and 3.

With reference to ITRV, if a test is made with a TRV following the straight reference line specified in requirement b) of 6.104.5.1 and shown in Figure 12b, it is assumed that the effect on the circuit-breaker is similar to that of any ITRV defined in requirement b) of 6.104.5.1 and Figure 12b.

Owing to limitations of the testing station, it may not be feasible to comply with the requirement of item b) of 6.104.5.1 with respect to the time delay t_d as specified in Tables 1b, 1c or 1d. Where short-line fault duties are also to be performed, any such deficiency of the TRV of the supply circuit shall be compensated by an increase of the voltage excursion to the first peak of the line-side voltage (see 6.109.3). The time delay of the supply circuit shall be as small as possible, but shall in any case not exceed the values given in brackets in Table 27 or Table 14a or Table 14b.

Where short-line fault duties are also to be performed, it may be convenient to combine the ITRV and SLF requirements in the line-side circuit. When the ITRV is combined with the transient voltage of a short line having a time delay t_{dL} as specified in table 4, the total stress is, for practical considerations, equal to the stress of a short line with insignificant delay. Therefore, the ITRV requirements for test-duties T100s and T100a are considered to be covered when the short-line fault duties are performed using the short line with insignificant time delay t_{dL} (see 6.109.3) unless both terminals are not identical from an electrical point of view (for instance, where an additional capacitance is used as mentioned in note 4 of 6.109.3).

6.104.5.3 Test duty T60

For rated voltages less than 100 kV, the specified standard values are given in

– Table 26 for circuit-breakers in cable systems,

– Table 27 for circuit-breakers in line systems.

For rated voltages of 100 kV and above, the specified standard values are given in Table 14a and Table 14b.

6.104.5.4 Séquence d'essais T30

a) Pour les tensions assignées inférieures à 100 kV, les valeurs normales spécifiées sont indiquées dans

– le Tableau 26, pour les disjoncteurs pour réseaux câblés,

– le Tableau 27 pour les disjoncteurs pour réseaux aériens.

En essais directs ou synthétiques, il peut être difficile d'obtenir les faibles valeurs de t_3. Il convient d'utiliser le plus petit temps que l'on puisse atteindre sans être inférieur aux valeurs spécifiées. Les valeurs utilisées doivent être consignées dans le rapport d'essai.

b) Pour les tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV, les valeurs normales spécifiées sont indiquées dans les Tableaux 14a et 14b.

NOTE L'apport des transformateurs au courant de court-circuit est relativement plus important pour les faibles valeurs de courant de court-circuit comme dans T30 et T10. Cependant, la plupart des réseaux ont un neutre directement à la terre pour les tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV. Pour des réseaux et transformateurs à neutre directement à la terre, le facteur de premier pôle de 1,3 est applicable pour toutes les séquences d'essais. Dans des réseaux de tension assignée de 100 kV à 170 kV inclus, des transformateurs à neutre non directement à la terre sont en service, même si le reste du réseau peut avoir un neutre directement à la terre. Ces réseaux sont considérés comme étant des cas particuliers est sont couverts dans les Tableaux 1c et 14b où les TTR spécifiées pour toutes les séquences d'essais sont basées sur un facteur de premier pôle égal à 1,5. Pour les tensions assignées supérieures à 170 kV, tous les réseaux et leurs transformateurs sont considérés comme ayant des neutres directement à la terre.

6.104.5.5 Séquence d'essais T10

a) Pour les tensions assignées inférieures à 100 kV, les valeurs normales spécifiées sont indiquées dans

– le Tableau 26, pour les disjoncteurs pour réseaux par câbles,

– le Tableau 27 pour les disjoncteurs pour réseaux aériens.

b) Pour les tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV, les valeurs normales spécifiées sont indiquées dans les Tableaux 14a et 14b. Le temps t_3 est fonction de la fréquence naturelle des transformateurs.

En essais directs ou synthétiques, il peut être difficile d'obtenir les faibles valeurs de t_3. Il convient d'utiliser le plus petit temps que l'on puisse atteindre sans être inférieur aux valeurs spécifiées. Les valeurs utilisées doivent être consignées dans le rapport d'essai.

6.104.5.6 Séquences d'essais OP1 et OP2

Pour les tensions assignées inférieures ou égales à 72,5 kV, les valeurs normales spécifiées sont indiquées dans le tableau 24 et le tableau 25.

Pour les tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV, les valeurs normales spécifiées sont indiquées dans les tableaux 14a et 14b. Deux valeurs des temps t_d et t' sont données. Elles indiquent les limites inférieures et supérieures des valeurs qui peuvent être utilisées pour les essais.

6.104.6 Mesurage de la TTR pendant l'essai

Au cours d'un essai en court-circuit, les caractéristiques du disjoncteur telles que la tension d'arc, la conductivité post-arc et la présence éventuelle de résistances de coupure affecteront la tension transitoire de rétablissement. En conséquence, la tension transitoire de rétablissement d'essai différera plus ou moins, selon les caractéristiques du disjoncteur, de l'onde de TTR présumée du circuit d'essai sur lequel sont fondées les conditions de fonctionnement.

A moins que l'influence propre du disjoncteur soit sans importance et que le courant coupé comprenne une composante apériodique insignifiante, il est recommandé que les enregistrements relevés au cours des essais ne soient pas utilisés pour évaluer les caractéristiques de la tension transitoire de rétablissement présumée du circuit; il convient d'effectuer ceci plutôt par d'autres moyens tels que ceux décrits dans l'annexe F.

La TTR pendant l'essai doit être enregistrée.

6.104.5.4 Test duty T30

a) For rated voltages less than 100 kV, the specified standard values are given in

– Table 26 for circuit-breakers in cable systems,

– Table 27 for circuit-breakers in line systems.

In direct or synthetic testing, it may be difficult to meet the small values of time t_3. The shortest time that can be met should be used but not less than the values specified. The values used shall be stated in the test report.

b) For rated voltages of 100 kV and above, the specified standard values are given in Tables 14a and 14b.

NOTE The contribution of transformers to the short-circuit current is relatively larger at smaller values of short-circuit current as in T30 and T10 conditions. However, most systems have effectively earthed neutrals at ratings of 100 kV and above. With the system and transformer neutrals effectively earthed, the first-pole-to-clear factor of 1,3 is applicable for all test duties. In some systems for rated voltages of 100 kV up to and including 170 kV, transformers with non-effectively earthed neutrals are in service, even though the rest of the system may have effectively earthed neutrals. Such systems are considered special cases and are covered in Tables 1c and 14b where the TRVs specified for all test duties are based on a first-pole-to-clear factor of 1,5. For rated voltages above 170 kV, all systems and their transformers are considered to have effectively earthed neutrals.

6.104.5.5 Test duty T10

a) For rated voltages less than 100 kV, the specified standard values are given in

– Table 26 for circuit-breakers in cable systems,

– Table 27 for circuit-breakers in line systems.

b) For rated voltages of 100 kV and above, the specified standard values are given in Tables 14a and 14b. The time t_3 is a function of the natural frequency of transformers.

In direct or synthetic testing, for rated voltages 1 kV and above, it may be difficult to meet the small values of time t_3. The shortest time that can be met should be used but not less than the values specified. The values used shall be stated in the test report.

6.104.5.6 Test-duties OP1 and OP2

For rated voltages up to and including 72,5 kV, the specified standard values are given in table Table 24 and Table 25.

For rated voltages of 100 kV and above, the specified standard values are given in tables 14a and 14b. Two values of time, t_d and t', are given. They indicate the lower and the upper limits that should be used for testing.

6.104.6 Measurement of transient recovery voltage during test

During a short-circuit test, the circuit-breaker characteristics such as arc voltage, post-arc conductivity and presence of s125witching resistors (if any) will affect the transient recovery voltage. Thus, the test transient recovery voltage will differ from the prospective TRV-wave of the test circuit upon which the performance requirements are based to a degree depending upon the characteristics of the circuit-breaker.

Unless the modifying effect of the circuit-breaker is not significant and the breaking current does not contain a significant d.c. component, records taken during tests should not be used for assessing the prospective transient recovery voltage characteristics of the circuit; rather, this should be done by other means, as described in annex F.

The transient recovery voltage during the test shall be recorded.

Tableau 26 – Valeurs normales de la TTR présumée pour les disjoncteurs de classe S1 – Tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV – Représentation par deux paramètres

Tension assignée U_r kV	Séquence d'essais	Facteur de 1er pôle k_{pp} p.u.	Facteur d'ampli-tude k_{af} p.u.	Valeur de crête de la TTR u_c kV	Temps t_3 µs	Temps de retard t_d µs	Tension u' kV	Temps t' µs	VATR[a] u_c/t_3 kV/µs
3,6	T100	1,5	1,4	6,2	41	6	2,1	20	0,15
	T60	1,5	1,5	6,6	18	3	2,2	9	0,37
	T30	1,5	1,6	7,1	9	1,4	2,4	4,4	0,79
	T10	1,5	1,7	7,5	9	1,4	2,5	4,4	0,83
4,76 [b]	T100	1,5	1,4	8,2	44	7	2,7	21	0,19
	T60	1,5	1,5	8,7	19	3	2,9	9	0,46
	T30	1,5	1,6	9,3	10	1,5	3,1	5	0,93
	T10	1,5	1,7	9,9	10	1,5	3,3	5	0,99
7,2	T100	1,5	1,4	12,3	51	8	4,1	25	0,24
	T60	1,5	1,5	13,2	22	3	4,4	11	0,60
	T30	1,5	1,6	14,1	11	2	4,7	5	1,28
	T10	1,5	1,7	15,0	11	2	5,0	5	1,36
8,25 [b]	T100	1,5	1,4	14,1	52	8	4,7	25	0,27
	T60	1,5	1,5	15,2	23	3	5,1	11	0,66
	T30	1,5	1,6	16,2	11	2	5,4	6	1,47
	T10	1,5	1,7	17,2	11	2	5,7	6	1,56
12	T100	1,5	1,4	20,6	61	9	6,9	29	0,34
	T60	1,5	1,5	22,0	27	4	7,3	13	0,81
	T30	1,5	1,6	23,5	13	2	7,8	6	1,81
	T10	1,5	1,7	25,0	13	2	8,3	6	1,92
15 [b]	T100	1,5	1,4	25,7	66	10	8,6	32	0,39
	T60	1,5	1,5	27,6	29	4	9,2	14	0,95
	T30	1,5	1,6	29,4	15	2	9,8	7	1,96
	T10	1,5	1,7	31,2	15	2	10,4	7	2,08
17,5	T100	1,5	1,4	30,0	71	11	10,0	34	0,42
	T60	1,5	1,5	32,1	31	5	10,7	15	1,04
	T30	1,5	1,6	34,3	16	2	11,4	8	2,14
	T10	1,5	1,7	36,4	16	2	12,1	8	2,28

Table 26 – Standard values of prospective transient recovery voltage for class S1 circuit-breakers – Rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters

Rated voltage	Test duty	First-pole-to-clear factor	Amplitude factor	TRV peak value	Time	Time delay	Voltage	Time	RRRV [a]
U_r		k_{pp}	k_{af}	u_c	t_3	t_d	u'	t'	u_c/t_3
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
3,6	T100	1,5	1,4	6,2	41	6	2,1	20	0,15
	T60	1,5	1,5	6,6	18	3	2,2	9	0,37
	T30	1,5	1,6	7,1	9	1,4	2,4	4,4	0,79
	T10	1,5	1,7	7,5	9	1,4	2,5	4,4	0,83
4,76 [b]	T100	1,5	1,4	8,2	44	7	2,7	21	0,19
	T60	1,5	1,5	8,7	19	3	2,9	9	0,46
	T30	1,5	1,6	9,3	10	1,5	3,1	5	0,93
	T10	1,5	1,7	9,9	10	1,5	3,3	5	0,99
7,2	T100	1,5	1,4	12,3	51	8	4,1	25	0,24
	T60	1,5	1,5	13,2	22	3	4,4	11	0,60
	T30	1,5	1,6	14,1	11	2	4,7	5	1,28
	T10	1,5	1,7	15,0	11	2	5,0	5	1,36
8,25 [b]	T100	1,5	1,4	14,1	52	8	4,7	25	0,27
	T60	1,5	1,5	15,2	23	3	5,1	11	0,66
	T30	1,5	1,6	16,2	11	2	5,4	6	1,47
	T10	1,5	1,7	17,2	11	2	5,7	6	1,56
12	T100	1,5	1,4	20,6	61	9	6,9	29	0,34
	T60	1,5	1,5	22,0	27	4	7,3	13	0,81
	T30	1,5	1,6	23,5	13	2	7,8	6	1,81
	T10	1,5	1,7	25,0	13	2	8,3	6	1,92
15 [b]	T100	1,5	1,4	25,7	66	10	8,6	32	0,39
	T60	1,5	1,5	27,6	29	4	9,2	14	0,95
	T30	1,5	1,6	29,4	15	2	9,8	7	1,96
	T10	1,5	1,7	31,2	15	2	10,4	7	2,08
17,5	T100	1,5	1,4	30,0	71	11	10,0	34	0,42
	T60	1,5	1,5	32,1	31	5	10,7	15	1,04
	T30	1,5	1,6	34,3	16	2	11,4	8	2,14
	T10	1,5	1,7	36,4	16	2	12,1	8	2,28

Tableau 26 *(suite)*

Tension assignée U_r kV	**Séquence d'essais**	**Facteur de 1er pôle** k_{pp} p.u.	**Facteur d'ampli-tude** k_{af} p.u.	**Valeur de crête de la TTR** u_c kV	**Temps** t_3 µs	**Temps de retard** t_d µs	**Tension** u' kV	**Temps** t' µs	**VATR[a]** u_c/t_3 kV/µs
24	T100	1,5	1,4	41	87	13	13,7	42	0,47
	T60	1,5	1,5	44,1	38	6	14,7	19	1,16
	T30	1,5	1,6	47,0	19	3	15,7	9	2,47
	T10	1,5	1,7	50	19	3	16,7	9	2,63
25,8 [b]	T100	1,5	1,4	44,2	91	14	14,7	44	0,49
	T60	1,5	1,5	47,4	40	6	15,8	18	1,19
	T30	1,5	1,6	50,6	20	3	16,9	10	2,53
	T10	1,5	1,7	53,7	20	3	17,9	10	2,69
36	T100	1,5	1,4	61,7	109	16	20,6	53	0,57
	T60	1,5	1,5	66,1	48	7	22	23	1,38
	T30	1,5	1,6	70,5	24	3,6	23,5	12	2,94
	T10	1,5	1,7	75,0	24	3,6	25	12	3,13
38 [b]	T100	1,5	1,4	65,2	109	16	21,7	53	0,60
	T60	1,5	1,5	69,8	48	7	23,3	23	1,45
	T30	1,5	1,6	74,5	24	3,6	24,8	12	3,1
	T10	1,5	1,7	79,1	24	3,6	26,4	12	3,3
48,3 [b]	T100	1,5	1,4	82,8	125	19	27,6	60	0,66
	T60	1,5	1,5	88,7	55	8	29,6	27	1,61
	T30	1,5	1,6	94,6	28	4	31,5	13	3,38
	T10	1,5	1,7	101	28	4	33,5	13	3,61
52	T100	1,5	1,4	89,2	131	20	29,7	63	0,68
	T60	1,5	1,5	95,5	58	9	31,8	28	1,65
	T30	1,5	1,6	102	29	4	34	14	3,52
	T10	1,5	1,7	108	29	4	36,1	14	3,72
72,5	T100	1,5	1,4	124	165	25	41,4	80	0,75
	T60	1,5	1,5	133	73	11	44,4	35	1,82
	T30	1,5	1,6	142	36	5	47,4	18	3,94
	T10	1,5	1,7	151	36	5	50,3	18	4,19

[a] VATR = vitesse d'accroissement de rétablissement de tension.

[b] Utilisée en Amérique du Nord.

Table 26 *(continued)*

Rated voltage	Test duty	First-pole-to-clear factor	Amplitude factor	TRV peak value	Time	Time delay	Voltage	Time	RRRV [a]
U_r		k_{pp}	k_{af}	u_c	t_3	t_d	u'	t'	u_c/t_3
kV		p.u.	p.u	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
24	T100	1,5	1,4	41	87	13	13,7	42	0,47
	T60	1,5	1,5	44,1	38	6	14,7	19	1,16
	T30	1,5	1,6	47,0	19	3	15,7	9	2,47
	T10	1,5	1,7	50	19	3	16,7	9	2,63
25,8 [b]	T100	1,5	1,4	44,2	91	14	14,7	44	0,49
	T60	1,5	1,5	47,4	40	6	15,8	18	1,19
	T30	1,5	1,6	50,6	20	3	16,9	10	2,53
	T10	1,5	1,7	53,7	20	3	17,9	10	2,69
36	T100	1,5	1,4	61,7	109	16	20,6	53	0,57
	T60	1,5	1,5	66,1	48	7	22	23	1,38
	T30	1,5	1,6	70,5	24	3,6	23,5	12	2,94
	T10	1,5	1,7	75,0	24	3,6	25	12	3,13
38 [b]	T100	1,5	1,4	65,2	109	16	21,7	53	0,60
	T60	1,5	1,5	69,8	48	7	23,3	23	1,45
	T30	1,5	1,6	74,5	24	3,6	24,8	12	3,1
	T10	1,5	1,7	79,1	24	3,6	26,4	12	3,3
48,3 [b]	T100	1,5	1,4	82,8	125	19	27,6	60	0,66
	T60	1,5	1,5	88,7	55	8	29,6	27	1,61
	T30	1,5	1,6	94,6	28	4	31,5	13	3,38
	T10	1,5	1,7	101	28	4	33,5	13	3,61
52	T100	1,5	1,4	89,2	131	20	29,7	63	0,68
	T60	1,5	1,5	95,5	58	9	31,8	28	1,65
	T30	1,5	1,6	102	29	4	34	14	3,52
	T10	1,5	1,7	108	29	4	36,1	14	3,72
72,5	T100	1,5	1,4	124	165	25	41,4	80	0,75
	T60	1,5	1,5	133	73	11	44,4	35	1,82
	T30	1,5	1,6	142	36	5	47,4	18	3,94
	T10	1,5	1,7	151	36	5	50,3	18	4,19

[a] RRRV = rate of rise of recovery voltage.

[b] Used in North America.

Tableau 27 – Valeurs normales de la TTR [c] présumée pour les disjoncteurs de classe S2 – Tensions assignées égales ou supérieures à 15 kV et inférieures à 100 kV – Représentation par deux paramètres

Tension assignée U_r kV	Séquence d'essais	Facteur de 1er pôle k_{pp} p.u.	Facteur d'amplitude k_{af} p.u.	Valeur de crête de la TTR u_c kV	Temps t_3 µs	Temps de retard t_d µs	Tension u' kV	Temps t' µs	VATR [a] u_c/t_3 kV/µs
15 [b]	T100	1,5	1,54	28,3	31	2 (5)	9,4	12 (15)	0,91
	T60	1,5	1,65	30,3	21	3	10,1	10	1,44
	T30	1,5	1,74	32,0	12,5	2	10,7	6	2,56
	T10	1,5	1,80	33,1	12,5	2	11,0	6	2,67
17,5	T100	1,5	1,54	33,0	34	2 (5)	11,0	13 (17)	0,97
	T60	1,5	1,65	35,3	23	3	11,8	11	1,53
	T30	1,5	1,74	37,3	14	2	12,4	7	2,66
	T10	1,5	1,8	38,6	14	2	12,9	7	2,76
24	T100	1,5	1,54	45,3	43	2 (6)	15,1	16 (21)	1,05
	T60	1,5	1,65	48,4	29	4	16,1	14	1,67
	T30	1,5	1,74	51,2	17	3	17,0	8	3,01
	T10	1,5	1,8	52,9	17	3	17,6	8	3,11
25,8 [b]	T100	1,5	1,54	48,7	45	2 (7)	16,2	17 (22)	1,08
	T60	1,5	1,65	52,1	30	5	17,4	15	1,74
	T30	1,5	1,74	55,0	18	3	18,3	9	3,06
	T10	1,5	1,8	56,9	18	3	19,0	9	3,16
36	T100	1,5	1,54	67,9	57	3 (9)	22,6	22 (28)	1,19
	T60	1,5	1,65	72,7	38	6	24,2	18	1,91
	T30	1,5	1,74	76,7	23	3	25,6	11	3,33
	T10	1,5	1,8	79,4	23	3	26,5	11	3,45
38 [b]	T100	1,5	1,54	71,7	59	3 (9)	23,9	23 (29)	1,22
	T60	1,5	1,65	76,8	40	6	25,6	19	1,92
	T30	1,5	1,74	81,0	24	4	27,0	11,9	3,38
	T10	1,5	1,8	83,8	24	4	28,0	11,9	3,49
48,3 [b]	T100	1,5	1,54	91,1	70	4 (11)	30,4	27 (34)	1,30
	T60	1,5	1,65	97,5	47	7	32,5	23	2,07
	T30	1,5	1,74	103	28	4	34,3	13,5	3,68
	T10	1,5	1,8	107	28	4	35,5	13,5	3,82
52	T100	1,5	1,54	98,1	74	4 (11)	32,7	28 (36)	1,33
	T60	1,5	1,65	105	50	7	35,0	24	2,10
	T30	1,5	1,74	111	30	4	36,9	14	3,70
	T10	1,5	1,8	115	30	4	38,3	14	3,83
72,5	T100	1,5	1,54	137	93	5 (14)	45,6	36 (45)	1,47
	T60	1,5	1,65	146	62	9	48,8	30	2,35
	T30	1,5	1,74	155	37	6	51,5	18	4,19
	T10	1,5	1,8	160	37	6	53,3	18	4,32

Table 27 – Standard values of prospective transient recovery voltage[c] for class S2 circuit-breakers – Rated voltage equal to or higher than 15 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters

Rated voltage	Test duty	First-pole-to-clear factor	Ampli-tude factor	TRV peak value	Time	Time delay	Voltage	Time	RRRV [a]
U_r		k_{pp}	k_{af}	u_c	t_3	t_d	u'	t'	u_c/t_3
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
15 [b]	T100	1,5	1,54	28,3	31	2 (5)	9,4	12 (15)	0,91
	T60	1,5	1,65	30,3	21	3	10,1	10	1,44
	T30	1,5	1,74	32,0	12,5	2	10,7	6	2,56
	T10	1,5	1,80	33,1	12,5	2	11,0	6	2,67
17,5	T100	1,5	1,54	33,0	34	2 (5)	11,0	13 (17)	0,97
	T60	1,5	1,65	35,3	23	3	11,8	11	1,53
	T30	1,5	1,74	37,3	14	2	12,4	7	2,66
	T10	1,5	1,8	38,6	14	2	12,9	7	2,76
24	T100	1,5	1,54	45,3	43	2 (6)	15,1	16 (21)	1,05
	T60	1,5	1,65	48,4	29	4	16,1	14	1,67
	T30	1,5	1,74	51,2	17	3	17,0	8	3,01
	T10	1,5	1,8	52,9	17	3	17,6	8	3,11
25,8 [b]	T100	1,5	1,54	48,7	45	2 (7)	16,2	17 (22)	1,08
	T60	1,5	1,65	52,1	30	5	17,4	15	1,74
	T30	1,5	1,74	55,0	18	3	18,3	9	3,06
	T10	1,5	1,8	56,9	18	3	19,0	9	3,16
36	T100	1,5	1,54	67,9	57	3 (9)	22,6	22 (28)	1,19
	T60	1,5	1,65	72,7	38	6	24,2	18	1,91
	T30	1,5	1,74	76,7	23	3	25,6	11	3,33
	T10	1,5	1,8	79,4	23	3	26,5	11	3,45
38 [b]	T100	1,5	1,54	71,7	59	3 (9)	23,9	23 (29)	1,22
	T60	1,5	1,65	76,8	40	6	25,6	19	1,92
	T30	1,5	1,74	81,0	24	4	27,0	11,9	3,38
	T10	1,5	1,8	83,8	24	4	28,0	11,9	3,49
48,3 [b]	T100	1,5	1,54	91,1	70	4 (11)	30,4	27 (34)	1,30
	T60	1,5	1,65	97,5	47	7	32,5	23	2,07
	T30	1,5	1,74	103	28	4	34,3	13,5	3,68
	T10	1,5	1,8	107	28	4	35,5	13,5	3,82
52	T100	1,5	1,54	98,1	74	4 (11)	32,7	28 (36)	1,33
	T60	1,5	1,65	105	50	7	35,0	24	2,10
	T30	1,5	1,74	111	30	4	36,9	14	3,70
	T10	1,5	1,8	115	30	4	38,3	14	3,83
72,5	T100	1,5	1,54	137	93	5 (14)	45,6	36 (45)	1,47
	T60	1,5	1,65	146	62	9	48,8	30	2,35
	T30	1,5	1,74	155	37	6	51,5	18	4,19
	T10	1,5	1,8	160	37	6	53,3	18	4,32

Tableau 27 *(suite)*

[a] VATR = vitesse d'accroissement de rétablissement de tension.

[b] Utilisé en Amérique du Nord.

[c] Lorsque deux valeurs de temps t_d et t' sont données pour le défaut aux bornes (T100), les valeurs entre parenthèses peuvent être utilisées si des essais de défaut en ligne sont aussi effectués. Si cela n'est pas le cas, les valeurs les plus faibles de t_d et t' sont applicables.

Tableau 14a – Valeurs normales de la TTR présumée – Tensions assignées de 100 kV à 800 kV, cas des réseaux à neutre directement à la terre – Représentation par quatre paramètres (T100, T60, OP1 et OP2) ou deux paramètres (T30, T10)

Tension assignée	Séquence d'essais	Facteur de premier pôle	Facteur d'amplitude	Première tension de référence	Temps	Valeur de crête de la TTR	Temps	Retard	Tension	Temps	Vitesse d'accroissement
U_r		k_{pp}	K_{af}	u_1	t_1	u_c	t_2 ou t_3	t_d	u'	t'	u_1/t_1 u_c/t_3
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
100	T100	1,3	1,40	80	40	149	160	2-(11)	40	22-31	2
	T60	1,3	1,50	80	27	159	162	2-8	40	15-21	3
	T30	1,3	1,54	-	-	163	33	5	54	16	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	162	23	3	54	11	7
	OP1-OP2	2	1,25	122	80	204	160-320	2-8	61	42-48	1,54
123	T100	1,3	1,40	98	49	183	196	2-(14)	49	26-38	2
	T60	1,3	1,50	98	33	196	198	2-10	49	18-26	3
	T30	1,3	1,54	-	-	201	40	6	67	19	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	200	29	4	67	14	7
	OP1-OP2	2	1,25	151	98	251	196-392	2-10	75	51-59	1,54
145	T100	1,3	1,40	115	58	215	232	2-(16)	58	31-45	2
	T60	1,3	1,50	115	38	231	228	2-12	58	21-31	3
	T30	1,3	1,54	-	-	237	47	7	79	23	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	235	34	5	78	16	7
	OP1-OP2	2	1,25	178	115	296	232-464	2-12	89	60-70	1,54
170	T100	1,3	1,40	135	68	253	272	2-(19)	68	36-53	2
	T60	1,3	1,50	135	45	271	270	2-14	68	25-36	3
	T30	1,3	1,54	-	-	278	56	8	93	27	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	276	39	6	92	19	7
	OP1-OP2	2	1,25	208	135	347	272-544	2-14	104	70-82	1,54
245	T100	1,3	1,40	195	98	364	392	2-(27)	98	51-76	2
	T60	1,3	1,50	195	65	390	390	2-20	98	35-52	3
	T30	1,3	1,54	-	-	400	80	12	133	39	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	398	57	9	133	27	7
	OP1-OP2	2	1,25	300	195	500	392-784	2-20	150	99-117	1,54

Table 27 *(continued)*

[a] RRRV = rate of rise of recovery voltage.

[b] Used in North America.

[c] Where two values of the times t_d and t' are given, separated by brackets (T100), the one in brackets can be used if short-line fault tests are also made. If this is not the case, the lower values of t_d and t' apply.

Table 14a – Standard values of prospective transient recovery voltage – Rated voltages of 100 kV to 800 kV for solidly earthed systems – Representation by four parameters (T100, T60, OP1 and OP2) or two parameters (T30, T10)

Rated voltage	Test-duty	First-pole-to-clear factor	Amplitude factor	First reference voltage	Time	TRV peak value	Time	Time delay	Voltage	Time	Rate-of-rise
U_r		k_{pp}	k_{af}	u_1	t_1	u_c	t_2 or t_3	t_d	u'	t'	u_1/t_1 u_c/t_3
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
100	T100	1,3	1,40	80	40	149	160	2-(11)	40	22-31	2
	T60	1,3	1,50	80	27	159	162	2-8	40	15-21	3
	T30	1,3	1,54	-	-	163	33	5	54	16	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	162	23	3	54	11	7
	OP1-OP2	2	1,25	122	80	204	160-320	2-8	61	42-48	1,54
123	T100	1,3	1,40	98	49	183	196	2-(14)	49	26-38	2
	T60	1,3	1,50	98	33	196	198	2-10	49	18-26	3
	T30	1,3	1,54	-	-	201	40	6	67	19	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	200	29	4	67	14	7
	OP1-OP2	2	1,25	151	98	251	196-392	2-10	75	51-59	1,54
145	T100	1,3	1,40	115	58	215	232	2-(16)	58	31-45	2
	T60	1,3	1,50	115	38	231	228	2-12	58	21-31	3
	T30	1,3	1,54	-	-	237	47	7	79	23	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	235	34	5	78	16	7
	OP1-OP2	2	1,25	178	116	296	232-464	2-12	89	60-70	1,54
170	T100	1,3	1,40	135	68	253	272	2-(19)	68	36-53	2
	T60	1,3	1,50	135	45	271	270	2-14	68	25-36	3
	T30	1,3	1,54	-	-	278	56	8	93	27	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	276	39	6	92	19	7
	OP1-OP2	2	1,25	208	136	347	272-544	2-14	104	70-82	1,54
245	T100	1,3	1,40	195	98	364	392	2-(27)	98	51-76	2
	T60	1,3	1,50	195	65	390	390	2-20	98	35-52	3
	T30	1,3	1,54	-	-	400	80	12	133	39	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	398	57	9	133	27	7
	OP1-OP2	2	1,25	300	196	500	392-784	2-20	150	99-117	1,54

Tableau 14a *(suite)*

Tension assignée	Séquence d'essais	Facteur de premier pôle	Facteur d'amplitude	Première tension de référence	Temps	Valeur de crête de la TTR	Temps	Retard	Tension	Temps	Vitesse d'accroissement
U_r		k_{pp}	K_{af}	u_1	t_1	u_c	t_2 ou t_3	t_d	u'	t'	u_1/t_1 u_c/t_3
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
300	T100	1,3	1,40	239	119	446	476	2-(33)	119	62-93	2
	T60	1,3	1,50	239	80	478	480	2-24	119	42-64	3
	T30	1,3	1,54	-	-	490	98	15	163	47	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	487	70	10	162	34	7
	OP1-OP2	2	1,25	367	238	612	476-952	2-24	184	121-143	1,54
362	T100	1,3	1,40	288	144	538	576	2-(40)	144	74-112	2
	T60	1,3	1,50	288	96	576	576	2-29	144	50-77	3
	T30	1,3	1,54	-	-	592	118	18	197	57	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	588	84	13	196	41	7
	OP1-OP2	2	1,25	443	288	739	576-1152	2-29	222	146-173	1,54
420	T100	1,3	1,40	334	167	624	668	2-(47)	167	86-130	2
	T60	1,3	1,50	334	111	669	666	2-33	167	58-89	3
	T30	1,3	1,54	-	-	687	137	21	229	66	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	682	97	15	227	47	7
	OP1-OP2	2	1,25	514	334	857	668-1336	2-33	257	169-200	1,54
550	T100	1,3	1,40	438	219	817	876	2-(61)	219	111-171	2
	T60	1,3	1,50	438	146	876	876	2-44	219	75-117	3
	T30	1,3	1,54	-	-	899	180	27	300	87	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	893	128	19	298	62	7
	OP1-OP2	2	1,25	674	438	1 123	876-1752	2-44	337	221-263	1,54
800	T100	1,3	1,40	637	318	1 189	1 272	2-(89)	318	161-248	2
	T60	1,3	1,50	637	212	1 274	1 272	2-64	318	108-170	3
	T30	1,3	1,54	-	-	1 308	262	39	436	126	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	1 299	186	28	433	90	7
	OP1-OP2	2	1,25	980	636	1 633	1272-2544	2-64	490	320-382	1,54

NOTE Lorsque deux valeurs de temps t_d et t' sont données pour le défaut aux bornes (T100), séparées par des parenthèses, la valeur entre parenthèses peut être utilisée si des essais de défaut en ligne sont aussi effectués. Si cela n'est pas le cas, la valeur qui précède les parenthèses est applicable.

Quand deux valeurs de t_d et de t' sont données pour le défaut aux bornes T60 et les séquences d'essais en discordance de phases OP1 et OP2, elles indiquent les limites inférieures et supérieures à utiliser pour l'essai. Il convient que les valeurs de retard t_d et de temps t' durant l'essai ne soient ni plus faibles que les limites inférieures respectives, ni plus élevées que les limites supérieures respectives.

Table 14a *(continued)*

Rated voltage	Test-duty	First-pole-to-clear factor	Amplitude factor	First reference voltage	Time	TRV peak value	Time	Time delay	Voltage	Time	Rate-of-rise
U_r		k_{pp}	k_{af}	u_1	t_1	u_c	t_2 or t_3	t_d	u'	t'	u_1/t_1 u_c/t_3
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
300	T100	1,3	1,40	239	119	446	476	2-(33)	119	62-93	2
	T60	1,3	1,50	239	80	478	480	2-24	119	42-64	3
	T30	1,3	1,54	-	-	490	98	15	163	47	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	487	70	10	162	34	7
	OP1-OP2	2	1,25	367	238	612	476-952	2-24	184	121-143	1,54
362	T100	1,3	1,40	288	144	538	576	2-(40)	144	74-112	2
	T60	1,3	1,50	288	96	576	576	2-29	144	50-77	3
	T30	1,3	1,54	-	-	592	118	18	197	57	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	588	84	13	196	41	7
	OP1-OP2	2	1,25	443	288	739	576-1152	2-29	222	146-173	1,54
420	T100	1,3	1,40	334	167	624	668	2-(47)	167	86-130	2
	T60	1,3	1,50	334	111	669	666	2-33	167	58-89	3
	T30	1,3	1,54	-	-	687	137	21	229	66	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	682	97	15	227	47	7
	OP1-OP2	2	1,25	514	334	857	668-1336	2-33	257	169-200	1,54
550	T100	1,3	1,40	438	219	817	876	2-(61)	219	111-171	2
	T60	1,3	1,50	438	146	876	876	2-44	219	75-117	3
	T30	1,3	1,54	-	-	899	180	27	300	87	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	893	128	19	298	62	7
	OP1-OP2	2	1,25	674	438	1 123	876-1752	2-44	337	221-263	1,54
800	T100	1,3	1,40	637	318	1189	1 272	2-(89)	318	161-248	2
	T60	1,3	1,50	637	212	1274	1 272	2-64	318	108-170	3
	T30	1,3	1,54	-	-	1308	262	39	436	126	5
	T10	1,3	0,9×1,7	-	-	1299	186	28	433	90	7
	OP1-OP2	2	1,25	980	636	1633	1272-2544	2-64	490	320-382	1,54

NOTE Where two values of times t_d and t' are given for terminal fault test duty T100, separated by brackets, the one in brackets can be used if short-line fault tests are also made. If this is not the case, thetimes before the brackets apply.

Where two values of times t_d and t' are given for terminal fault test duties T60 and out-of-phase test duties OP1 and OP2, those indicate the lower and upper limits which should be used for testing. The time delay t_d and the time t' during testing should not be shorter than their respective lower limits and should not be longer than their respective upper limits.

**Tableau 14b – Valeurs normales de la TTR présumée –
Tensions assignées de 100 kV à 170 kV, cas des réseaux à neutre non directement à la terre –
Représentation par quatre paramètres (T100, T60, OP1 et OP2) ou deux paramètres (T30, T10)**

Tension assignée	Séquence d'essais	Facteur de premier pôle	Facteur d'amplitude	Première tension de référence	Temps	Valeur de crête de la TTR	Temps	Retard	Tension	Temps	Vitesse d'accroissement
U_r		k_{pp}	K_{af}	u_1	t_1	u_c	t_2 ou t_3	t_d	u'	t'	u_1/t_1 u_c/t_3
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
100	T100	1,5	1,40	92	46	171	184	2-(13)	46	25-36	2
	T60	1,5	1,50	92	31	184	186	2-9	46	17-24	3
	T30	1,5	1,54	-	-	189	38	6	63	18	5
	T10	1,5	0,9×1,7	-	-	187	27	4	62	13	7
	OP1-OP2	2,5	1,25	153	92	255	184-368	2-9	77	48-55	1,67
123	T100	1,5	1,40	113	56	211	224	2-(16)	56	30-44	2
	T60	1,5	1,50	113	38	226	226	2-11	56	21-30	3
	T30	1,5	1,54	-	-	232	46	7	77	22	5
	T10	1,5	0,9×1,7	-	-	230	33	5	77	16	7
	OP1-OP2	2,5	1,25	188	112	314	224-448	2-11	94	58-67	1,67
145	T100	1,5	1,40	133	67	249	268	2-(19)	67	35-52	2
	T60	1,5	1,50	133	44	266	264	2-13	67	24-36	3
	T30	1,5	1,54	-	-	273	55	8	91	26	5
	T10	1,5	0,9×1,7	-	-	272	39	6	91	19	7
	OP1-OP2	2,5	1,25	222	134	370	268-536	2-13	111	68-79	1,67
170	T100	1,5	1,40	156	78	291	312	2-(22)	78	41-61	2
	T60	1,5	1,50	156	52	312	312	2-16	78	28-42	3
	T30	1,5	1,54	-	-	321	64	10	107	31	5
	T10	1,5	0,9×1,7	-	-	319	46	7	106	22	7
	OP1-OP2	2,5	1,25	260	156	434	312-624	2-16	130	80-94	1,67

NOTE Lorsque deux valeurs de temps t_d et t' sont données pour le défaut aux bornes (T100), séparées par des parenthèses, la valeur entre parenthèses peut être utilisée si des essais de défaut en ligne sont aussi effectués. Si cela n'est pas le cas, la valeur qui précède les parenthèses est applicable.

Quand deux valeurs de t_d et de t' sont données pour le défaut aux bornes T30 et T60 et les séquences d'essais en discordance de phases OP1 et OP2, elles indiquent les limites inférieures et supérieures à utiliser pour l'essai. Il convient que les valeurs de retard t_d et de temps t' lors de l'essai ne soient ni plus faibles que les limites inférieures respectives, ni plus élevées que les limites supérieures respectives.

6.104.7 Tension de rétablissement à fréquence industrielle

La tension de rétablissement à fréquence industrielle du circuit d'essai peut être indiquée en pourcentage de la tension de rétablissement à fréquence industrielle spécifiée ci-après. Elle ne doit pas être inférieure à 95 % de la valeur spécifiée et doit être maintenue pendant au moins 0,3 s.

Pour les circuits d'essais synthétiques, les détails et les tolérances figurent dans la norme CEI 60427.

Table 14b – Standard values of prospective transient recovery voltage – Rated voltages of 100 kV to 170 kV for non-solidly earthed systems – Representation by four parameters (T100, T60, OP1 and OP2) or two parameters (T30 and T10)

Rated voltage	Test-duty	First-pole-to-clear factor	Amplitude factor	First reference voltage	Time	TRV peak value	Time	Time delay	Voltage	Time	Rate-of-rise
U_r		k_{pp}	k_{af}	u_1	t_1	u_c	t_2 or t_3	t_d	u'	t'	u_1/t_1 u_c/t_3
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
100	T100	1,5	1,40	92	46	171	184	2-(13)	46	25-36	2
	T60	1,5	1,50	92	31	184	186	2-9	46	17-24	3
	T30	1,5	1,54	-	-	189	38	6	63	18	5
	T10	1,5	0,9×1,7	-	-	187	27	4	62	13	7
	OP1-OP2	2,5	1,25	153	92	255	184-368	2-9	77	48-55	1,67
123	T100	1,5	1,40	113	56	211	224	2-(16)	56	30-44	2
	T60	1,5	1,50	113	38	226	228	2-11	56	21-30	3
	T30	1,5	1,54	-	-	232	46	7	77	22	5
	T10	1,5	0,9×1,7	-	-	230	33	5	77	16	7
	OP1-OP2	2,5	1,25	188	112	314	224-448	2-11	94	58-67	1,67
145	T100	1,5	1,40	133	67	249	268	2-(19)	67	35-52	2
	T60	1,5	1,50	133	44	266	264	2-13	67	24-36	3
	T30	1,5	1,54	-	-	273	55	8	91	26	5
	T10	1,5	0,9×1,7	-	-	272	39	6	91	19	7
	OP1-OP2	2,5	1,25	222	134	370	268-536	2-13	111	68-79	1,67
170	T100	1,5	1,40	156	78	291	312	2-(22)	78	41-61	2
	T60	1,5	1,50	156	52	312	312	2-16	78	28-42	3
	T30	1,5	1,54	-	-	321	64	10	107	31	5
	T10	1,5	0,9×1,7	-	-	319	46	7	106	22	7
	OP1-OP2	2,5	1,25	260	156	434	312-624	2-16	130	80-94	1,67

NOTE Where two values of times t_d and t' are given for terminal fault test duty T100, separated by brackets, the one in brackets can be used if short-line fault tests are also be made. If this is not the case, then the times before the brackets apply.

Where two values of times t_d and t' are given for terminal fault test duties T30 and T60 and out-of-phase test duties OP1 and OP2, those indicate the lower and upper limits which should be used for testing. The time delay t_d and the time t' during testing should not be shorter than their respective lower limits and should not be longer than their respective upper limits.

6.104.7 Power frequency recovery voltage

The power frequency recovery voltage of the test circuit may be stated as a percentage of the power frequency recovery voltage specified below. It shall not be less than 95 % of the specified value and shall be maintained for at least 0,3 s.

For synthetic test circuits, details and tolerances are given in IEC 60427.

Pour les séquences d'essais de court-circuit fondamentales du paragraphe 6.106, la tension de rétablissement à fréquence industrielle doit être fixée comme suit, compte tenu de la valeur minimale de 95 % indiquée ci-dessus:

a) Pour les essais en triphasé d'un disjoncteur tripolaire, la valeur moyenne de la tension de rétablissement à fréquence industrielle est égale à la tension assignée U_r du disjoncteur divisée par $\sqrt{3}$.

   Il convient que la tension de rétablissement à fréquence industrielle de l'un quelconque des pôles ne diffère pas de plus de 20 % de la valeur moyenne à la fin du temps durant lequel elle est maintenue.

   Pour les réseaux mis à la terre, il doit être vérifié qu'une régénération diélectrique insuffisante sur un pôle ne conduit pas à une durée d'arc plus longue et donc à une défaillance éventuelle. L'essai monophasé (6.108) doit être utilisé comme démonstration.

b) Pour les essais en monophasé d'un disjoncteur tripolaire, la tension de rétablissement à fréquence industrielle est égale au produit de la valeur phase-terre $U_r / \sqrt{3}$ par le facteur de premier pôle (1,3 ou 1,5); la tension de rétablissement à fréquence industrielle peut être ramenée à $U_r / \sqrt{3}$ après une durée égale à une période de la fréquence assignée.

c) Pour un disjoncteur unipolaire, la tension de rétablissement à fréquence industrielle est égale à la tension assignée U_r du disjoncteur.

La tension de rétablissement à fréquence industrielle doit être mesurée entre les bornes du pôle, dans chaque phase du circuit d'essai. Sa valeur efficace est déterminée sur l'oscillogramme au cours de l'intervalle de temps compris entre une demi-période et une période de la fréquence d'essai après l'extinction finale de l'arc comme indiqué à la figure 44. On doit mesurer la distance verticale (respectivement V_1, V_2 et V_3) entre la crête de la seconde demi-onde et une ligne droite tracée entre les crêtes des demi-ondes précédentes et suivantes et cette distance (divisée par $2\sqrt{2}$ et multipliée par le coefficient d'étalonnage convenable) donne la valeur efficace de la tension de rétablissement à fréquence industrielle enregistrée.

6.105 Procédure d'essai en court-circuit

6.105.1 Intervalle de temps entre les essais

Les essais fondamentaux en court-circuit et, s'il y a lieu, en défaut proche en ligne comprennent les séries de séquences d'essais spécifiés aux paragraphes 6.106 et 6.109.

Les intervalles de temps entre les manœuvres individuelles d'une séquence d'essais doivent être les intervalles de temps de la séquence de manœuvres assignée du disjoncteur, indiqués en 4.104, sous réserve de la disposition suivante:

A cause de limitation du laboratoire d'essais, il peut ne pas être possible d'obtenir l'intervalle de temps de 15 s, 1 min ou 3 min de la séquence de manœuvres assignée. Dans de tels cas, l'intervalle peut être porté à 10 min, l'essai restant valable; il se peut même que des intervalles plus longs que 10 min soient nécessaires. Un intervalle de temps prolongé ne doit pas être dû à une manoeuvre défectueuse du disjoncteur. L'intervalle de temps réel entre les manœuvres doit être noté dans le rapport d'essais. S'il est plus grand que 10 min, la raison d'un tel retard doit être enregistrée dans le rapport d'essais.

Dans le cas des disjoncteurs ayant une séquence de manœuvres assignée de O - t - CO - t' - CO où t' peut avoir différentes valeurs, l'essai peut être effectué avec l'intervalle de temps t' le plus court. L'essai est considéré couvrir toutes les séquences de manœuvres assignées avec des intervalles de temps t' supérieurs. Cela rend possible de combiner les essais pour réaliser les séquences assignées de manœuvres 4.104 a) et b). L'intervalle de temps réel doit être enregistré.

For the basic short-circuit test-duties of 6.106, the power frequency recovery voltage shall be as follows, subject to the 95 % minimum stated above:

a) For three-phase tests on a three-pole circuit-breaker, the average value of the power frequency recovery voltage shall be equal to the rated voltage U_r of the circuit-breaker divided by $\sqrt{3}$.

   The power frequency recovery voltage of any pole should not deviate by more than 20 % from the average value at the end of the time for which it is maintained.

   For an earthed neutral system, it shall be proved that the insufficient build-up of dielectric strength in one pole will not lead to prolonged arcing and possible failure. The single-phase test (6.108) shall be applied as a demonstration.

b) For single-phase tests on a three-pole circuit-breaker, the power frequency recovery voltage shall be equal to the product of the phase-to-earth value $U_r/\sqrt{3}$ and the first-pole-to-clear factor (1,3 or 1,5); the power frequency recovery voltage may be reduced to $U_r/\sqrt{3}$ after an interval of one cycle of rated frequency.

c) For a single-pole circuit-breaker, the power frequency recovery voltage shall be equal to the rated voltage U_r of the circuit-breaker.

The power frequency recovery voltage shall be measured between terminals of a pole in each phase of the test circuit. Its r.m.s. value shall be determined on the oscillogram within the time interval of one half-cycle and one cycle of test frequency after final arc extinction, as indicated in figure 44. The vertical distance *(*V_1*,* V_2 and V_3 respectively) between the peak of the second half-wave and the straight line drawn between the respective peaks of the preceding and succeeding half-waves shall be measured, and this, when divided by $2\sqrt{2}$ and multiplied by the appropriate calibration factor, gives the r.m.s. value of the power frequency recovery voltage recorded.

6.105 Short-circuit test procedure

6.105.1 Time interval between tests

The basic short-circuit tests and, if applicable, short-line fault tests, consist of the series of test-duties specified in 6.106 and 6.109.

The time intervals between individual operations of a test sequence shall be the time intervals of the rated operating sequence of the circuit-breaker, given in 4.104, subject to the following provision:

Due to test plant limitations, it may not be possible to achieve the 15 s, 1 min or 3 min time interval of the rated operating sequence. In such cases the time interval may be extended to 10 min without the test being disqualified; time intervals even longer than 10 min may be required. Prolonged time intervals shall not be due to faulty operation of the circuit-breaker. The actual time interval between operations shall be stated in the test report. If it is longer than 10 min the reason for such a delay shall be recorded in the test report.

For circuit-breakers with a rated operating sequence of O - t - CO - t' - CO rated for different time intervals of t', the test may be performed with the shortest time interval t'. This test is considered to cover all rated operating sequences with longer t' time intervals. This makes it possible to combine the testing for rated operating sequences according to 4.104 a) and b). The actual time interval shall be recorded.

6.105.2 Application d'une source d'énergie auxiliaire aux déclencheurs d'ouverture – Essais de coupure

La source d'énergie auxiliaire doit être appliquée aux déclencheurs d'ouverture après le début du court-circuit, mais si cela est impossible à cause des limites du laboratoire d'essais, elle peut être appliquée avant le début du court-circuit (sous réserve que les contacts ne commencent pas leur course avant le début du court-circuit).

6.105.3 Application d'une source d'énergie auxiliaire aux déclencheurs d'ouverture – Essais d'établissement-coupure

Au cours des essais d'établissement-coupure, la source d'énergie auxiliaire ne doit pas être appliquée aux déclencheurs d'ouverture avant que le disjoncteur ait atteint sa position de fermeture. Au cours des cycles de manœuvres de fermeture-ouverture de la séquence d'essais T100s, 6.106.4, la source d'énergie ne doit pas être appliquée avant qu'au moins une demi-période ne se soit écoulée depuis l'instant de fermeture des contacts. Il est admis de retarder l'ouverture du disjoncteur pour que la composante apériodique ne dépasse pas la valeur admissible.

6.105.4 Accrochage à la fermeture sur court-circuit

Un disjoncteur est accroché quand les contacts dans lesquels circule le courant principal ont atteint une position de fermeture stable et complète et que cette position est maintenue jusqu'à un déclenchement intentionnel, mécanique ou électrique. A moins que le disjoncteur ne soit équipé d'un déclencheur sous courant de fermeture, ou d'un dispositif équivalent, on doit vérifier qu'il s'accroche correctement, sans hésitation exagérée lorsqu'il y a une décroissance négligeable de la composante périodique du courant au cours de la fermeture.

La capacité du disjoncteur à s'accrocher en fermeture sur court-circuit peut être vérifiée dans la séquence d'essais T100s (voir 6.106.4) ou dans l'essai de vérification de fermeture (voir 6.102.4.1). Pendant cet essai, les exigences suivantes s'appliquent

– pour les essais triphasés de disjoncteur tripolaire, il convient de choisir l'angle de fermeture pour que la crête du courant de fermeture soit appliquée au pôle le plus éloigné du dispositif de commande;
– pour les essais monophasés d'un disjoncteur tripolaire, on doit essayer le pôle le plus éloigné du dispositif de commande, en série avec les deux autres pôles connectés en parallèle.

NOTE En cas d'essai monophasé, on prendra soin de contraindre le pôle le plus éloigné du mécanisme, de la même manière que pour un essai triphasé, par rapport à la tension appliquée au pôle, instant de préamorçage et courant dans le pôle.

Si les caractéristiques du laboratoire d'essais sont telles qu'il est impossible de réaliser les séquences d'essai T100s dans les limites spécifiques de tension appliquée indiquées en 6.104.1, on doit répéter l'essai à une tension réduite en utilisant un circuit donnant le pouvoir de fermeture assigné, avec une décroissance négligeable de la composante périodique.

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour déterminer qu'un disjoncteur a fermé avec accrochage, par exemple

– par un enregistrement adéquat du déplacement des contacts auxiliaires ou principaux;
– par vérification visuelle de la position accrochée après l'essai de fermeture;
– par l'enregistrement de l'action du dispositif de détection de l'accrochage (par exemple un microcontact installé sur le dispositif de commande de façon adéquate).

La méthode employée pour vérifier l'efficacité de l'accrochage doit être enregistrée dans le rapport d'essais.

6.105.2 Application of auxiliary power to the opening release – Breaking tests

Auxiliary power shall be applied to the opening release after the initiation of the short-circuit, but when due to test plant limitations this is impracticable the power may be applied before the initiation of the short-circuit (with the limitation that contacts shall not start to move before the initiation of the short-circuit).

6.105.3 Application of auxiliary power to the opening release – Make-break tests

In make-break tests, auxiliary power shall not be applied to the opening release before the circuit-breaker has reached the closed position. In the closing-opening operating cycles of test-duty T100s (see 6.106.4), the power shall not be applied until at least one half-cycle has elapsed from the instant of contact make. It is permissible to delay the circuit-breaker opening so that the permissible d.c. component is not exceeded.

6.105.4 Latching on short-circuit

A circuit-breaker is latched when the main current-carrying contacts have achieved a stationary, fully engaged position at closing and this position is maintained until intentionally released, either mechanically or electrically. Unless the circuit-breaker is fitted with a making current release, or equivalent device, it shall be verified that it latches satisfactorily without undue hesitation when there is negligible decrement of the a.c. component of the current during the closing period.

The ability of the circuit-breaker to latch on short-circuit making current may be verified in test-duty T100s (see 6.106.4) or in the verification test for making (see 6.102.4.1). During this test the following applies:

– for three-phase tests on a three-pole circuit-breaker, the closing angle should be chosen in order to stress the pole most remote from the drive with the peak making current;
– for single-phase tests on a three-pole circuit-breaker, the pole most remote from the mechanism shall be tested in series with the other two poles connected in parallel.

NOTE If a single-phase test is carried out, care should be taken to stress the pole most remote from the mechanism in the same way as during a three-phase test in respect to applied voltage across the pole, moment of pre-strike and current through the pole.

If the characteristics of the test plant are such that it is impossible to carry out test-duty T100s within the specified limits of the applied voltage stated in 6.104.1, the test shall be repeated at reduced voltage using a test circuit which gives the rated short-circuit making current, with negligible decrement of the a.c. component.

Several methods may be used to establish whether a circuit-breaker has closed and latched, for example:

– by proper recording the auxiliary contacts or the contact travel;
– by visually checking the latching position after the performance of the making test;
– by recording the action of the device in order to detect latching (for example a micro-switch suitably fitted to the mechanism).

The method employed to prove satisfactory latching shall be recorded in the test report.

6.105.5 Essais non valables

Dans le cas d'essais non valables, il peut devenir nécessaire d'effectuer un plus grand nombre d'essais de court-circuit supérieur à celui qu'exige cette norme. Un essai non valable est un essai au cours duquel au moins un paramètre d'essai spécifié par la norme n'est pas atteint. Ceci comprend, par exemple, les courants, les tensions, les temps de même que les exigences sur l'onde (si spécifié) et les particularités complémentaires des essais synthétiques comme la manœuvre correcte du disjoncteur auxiliaire et le temps d'injection correct.

L'écart par rapport à la norme peut rendre l'essai plus ou moins sévère. Quatre cas de figure sont envisagés dans le tableau 15.

La partie non valable d'une séquence d'essais peut être répétée sans reconditionnement du disjoncteur. En cas de défaillance du disjoncteur au cours de cet essai supplémentaire, le disjoncteur peut être reconditionné et la séquence d'essais complète répétée. Dans ces cas, le rapport d'essai doit comprendre la référence à l'essai non valable.

NOTE Dans une séquence à réenclenchement rapide, le O - *t* - CO est considéré comme une partie, et le CO suivant est considéré comme une autre partie.

Un disjoncteur de classe E2 peut être reconditionné, mais dans ce cas, la série d'essai complète doit être refaite.

Si l'enregistrement d'une manœuvre ne peut pas être produit pour des raisons techniques, cette manœuvre est considérée comme valable dans la mesure où il peut être démontré que le disjoncteur n'a pas été en défaut et que les valeurs d'essai spécifiées étaient conformes.

Tableau 15 – Essais non valables

Conditions d'essais par rapport aux normes	Disjoncteur	
	Réussit	Echoue
Plus sévère	Essai valable, résultat accepté	Essais à refaire avec les paramètres corrects Modification de la conception du disjoncteur non nécessaire
Moins sévère	Essai à refaire avec les paramètres corrects Modification de la conception du disjoncteur non nécessaire	Le disjoncteur n'a pas réussi l'essai. Une modification de la conception du disjoncteur est nécessaire pour améliorer la fermeture, la coupure ou la capacité de manœuvre Essai à refaire avec le disjoncteur modifié

6.106 Séquences d'essais de court-circuit fondamentales

Les séries d'essais en court-circuit fondamentales doivent comprendre les séquences d'essais T10, T30, T60, T100s et T100a, suivant ce qui est spécifié ci-après.

Les courants coupés ne peuvent pas s'écarter des valeurs spécifiées de plus de 20 % en ce qui concerne les valeurs spécifiées pour les séquences d'essais T10 et T30 et de 10 % pour la séquence d'essais T60.

La valeur de crête du courant de court-circuit au cours des essais de coupure des séquences d'essais T100s, T100s(b) et T100a ne doit pas dépasser 110 % du pouvoir de fermeture assigné en court-circuit du disjoncteur.

NOTE Pour les cas mentionnés en 6.106.4, il peut être nécessaire de séparer les essais d'établissement et de coupure de la séquence T100s. Dans ce cas, la partie limitée aux essais d'établissement est désignée T100s(a) et celle des essais de coupure T100s(b).

6.105.5 Invalid tests

In the case of an invalid test, it may become necessary to perform a greater number of short-circuit tests than are required by this standard. An invalid test is one where one or more of the test parameters demanded by the standard is not met. This includes, for example, current, voltage and time factors as well as point-on-wave requirements (if specified) and the additional features in synthetic testing such as correct auxiliary circuit-breaker operation and correct injection time.

The deviation from the standard could make the test less or more severe. Four different cases are considered in table 15.

The invalid part of the test-duty may be repeated without reconditioning of the circuit-breaker. However, in the case of a failure of the circuit-breaker during such additional tests, or at the discretion of the manufacturer, the circuit-breaker may be reconditioned and the complete test-duty repeated. In those cases the test report shall include reference to the invalid test.

NOTE In a rapid, auto-reclosing duty cycle, the O - *t* - CO is regarded as one part, and an ensuing CO is regarded as another part.

A class E2 circuit-breaker may be reconditioned, but in this event the entire test series shall be repeated.

If any record of an individual operation cannot be produced for technical reasons, this individual operation is not considered invalid, provided that evidence can be given in another manner that the circuit-breaker did not fail and the required testing values were fulfilled.

Table 15 – Invalid tests

Test conditions related to standard	Circuit-breaker	
	Passes	Fails
More severe	Test valid, result accepted	Test to be repeated with correct parameters Modification of the design of the circuit-breaker not required
Less severe	Test to be repeated with correct parameters Modification of the design of the circuit-breaker not required	Circuit-breaker failed the test. Modification of the design of the circuit-breaker required, aiming for improvement of the making, breaking or switching capability. Tests to be re-started on the modified circuit-breaker

6.106 Basic short-circuit test-duties

The basic short-circuit test series shall consist of test-duties T10, T30, T60, T100s and T100a, as specified below.

The breaking current may deviate from the specified values by not more than 20 % of the specified values for test-duties T10 and T30 and by not more than 10 % for test-duty T60.

The peak short-circuit current during the breaking-current tests of test-duties T100s, T100s(b) and T100a shall not exceed 110 % of the rated short-circuit making current of the circuit-breaker.

NOTE In the cases explained in 6.106.4, it may be necessary to separate the making and breaking tests of test-duty T100s. In this case, the part consisting of the making operations is designated T100s(a) and the part consisting of the breaking operations is designated T100s(b).

Pour faciliter les essais, il est permis de supprimer les manœuvres de fermeture avant toute manœuvre d'ouverture lors des séquences d'essais T10, T30, T60. Les intervalles de temps entre les manœuvres de coupure doivent être les intervalles de temps de la séquence de manœuvres assignée du disjoncteur (voir 6.105.1).

6.106.1 Séquence d'essais T10

La séquence d'essais T10 se compose de la séquence de manœuvres assignée à 10 % du courant de court-circuit assigné avec une composante continue inférieure à 20 % et une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle telles que spécifiées en 6.104.5.5 et 6.104.7 (voir également les Tableaux 26, 27, 14a et 14b).

6.106.2 Séquence d'essais T30

La séquence d'essais T30 se compose de la séquence de manœuvres assignée à 10 % du courant de court-circuit assigné avec une composante continue inférieure à 20 % et une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle telles que spécifiées en 6.104.5.4 et 6.104.7 (voir également les Tableaux 26, 27, 14a et 14b).

6.106.3 Séquence d'essais T60

La séquence d'essais T60 se compose de la séquence de manœuvres assignée à 10 % du courant de court-circuit assigné avec une composante continue inférieure à 20 % et une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle telles que spécifiées en 6.104.5.3 et 6.104.7 (voir également les Tableaux 26, 27, 14a et 14b).

6.106.4 Séquence d'essais T100s

La séquence d'essais T100s se compose de la séquence de manœuvres assignée à 100 % du courant de court-circuit assigné en tenant compte de 6.104.3, et avec

– une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle telles que spécifiées dans les Tableaux 26, 27, 14a, 14b et 6.104.7, et
– 100 % du pouvoir de fermeture assigné en court-circuit en tenant compte de 6.104.2, et
– une tension appliquée telle que spécifiée en 6.104.1.

Pour cette séquence d'essais, le pourcentage de la composante continue ne doit pas excéder 20 %.

Lors de l'exécution des essais monophasés sur un pôle de disjoncteur tripolaire, ou lorsque les caractéristiques de la station d'essais sont telles qu'il est impossible de réaliser la séquence d'essais T100s en respectant les limites spécifiées de la tension appliquée en 6.104.1, du pouvoir de fermeture en 6.104.2, du pouvoir de coupure en 6.104.3 et de la tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle en 6.104.5.2 et 6.104.7 en prenant également en considération 6.105.3 et 6.105.4, les essais d'établissement et de coupure de la séquence d'essais T100s peuvent être faits comme suit:

6.106.4.1 Cas où la constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai est égale à la valeur spécifiée

Lorsque la constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai est égale à la valeur spécifiée en 4.101.2, la méthode alternative pour effectuer la séquence d'essais T100s décrite ci-dessus est la suivante:

a) essais d'établissement, séquence d'essais T100s(a)

La séquence C - t' - C ou C - t'' - C doit être effectuée à la place de la séquence de manœuvre assignée, respectivement O - t - CO - t' - CO ou CO - t'' - CO, avec lors de la première manœuvre de fermeture, un courant symétrique égal au pouvoir de coupure assigné

For test-duties T10, T30 and T60, it is permissible to omit the making operation before any breaking operation for convenience in testing. The time intervals between the individual breaking operations, shall be the time intervals of the rated operating sequence of the circuit-breaker (see 6.105.1).

6.106.1 Test duty T10

Test-duty T10 consists of the rated operating sequence at 10 % of the rated short-circuit breaking current with a d.c. component of less than 20 % and a transient and power frequency recovery voltage as specified in 6.104.5.5 and 6.104.7 (see also Tables 26, 27, 14a and 14b).

6.106.2 Test duty T30

Test-duty T30 consists of the rated operating sequence at 30 % of the rated short-circuit breaking current with a d.c. component of less than 20 % and a transient and power frequency recovery voltage as specified in 6.104.5.4 and 6.104.7 (see also Tables 26, 27, 14a and 14b).

6.106.3 Test duty T60

Test-duty T60 consists of the rated operating sequence at 60 % of the rated short-circuit breaking current with a d.c. component of less than 20 % and a transient and power frequency recovery voltage as specified in 6.104.5.3 and 6.104.7 (see also Tables 26, 27, 14a, 14b).

6.106.4 Test duty T100s

Test-duty T100s consists of the rated operating sequence at 100 % of the rated short-circuit breaking current, taking account of 6.104.3, and with

– a transient and power frequency recovery voltage as specified in Tables 26, 27, 14a, 14b and 6.104.7, and
– 100 % of the rated short-circuit making current, taking account of 6.104.2, and
– an applied voltage as specified in 6.104.1.

For this test-duty, the percentage d.c. component shall not exceed 20 %.

When making single-phase tests on one pole of a three-pole circuit-breaker, or when the characteristics of the test plant are such that it is impossible to carry out T100s within the specified limits of applied voltage in 6.104.1, making current in 6.104.2, breaking current in 6.104.3 and transient and power frequency recovery voltages in 6.104.5.2 and 6.104.7, taking account also of 6.105.3 and 6.105.4, the making and breaking tests in test-duty T100s may be made separately as follows:

6.106.4.1 Time constant of the d.c. component of the test circuit equal to the specified value

Where the time constant of the d.c. component of the test circuit is equal to the specified value as defined by 4.101.2, the alternative for performing test-duty T100s described above is as follows:

a) making tests, test-duty T100s(a)

The sequence C - t' - C or C - t'' - C shall be carried out for the rated operating sequence O - t - CO - t' - CO or CO - t'' - CO respectively, with the first closing operation against a symmetrical current equal to the rated short-circuit breaking current and the second closing operation against the rated short-circuit making current according to 6.104.2. The first closing operation shall be carried out at the applied voltage specified in 6.104.1;

et lors de la seconde fermeture, le pouvoir de fermeture assigné selon 6.104.2. La première manœuvre de fermeture doit être effectuée à la tension appliquée définie en 6.104.1;

b) essais de coupure, séquence d'essais T100s(b)

Ces manœuvres de fermeture, détaillées en a), doivent être suivies de O - t - CO - t' - CO ou de CO - t'' - CO pour les séquences de manœuvre assignées respectivement O - t -CO - t' - CO ou CO - t'' - CO, à 100 % du pouvoir de coupure assigné et avec une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle selon les exigences de 6.104.5.2 et 6.104.7.

Pendant cette séquence d'essais, on applique les exigences suivantes:

– la maintenance n'est pas admise entre a) et b);

– la seconde manœuvre de a) peut être omise si une des manœuvres de fermeture de b) est telle que le pouvoir de fermeture assigné est atteint;

– pour les essais synthétiques, la CEI 60427 s'applique.

6.106.4.2 Cas où la constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai est inférieure à la valeur spécifiée

Lorsque la constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai est inférieure à la valeur spécifiée en 4.101.2, la méthode alternative décrite ci-dessus pour effectuer la séquence d'essai T100s est la suivante:

a) essais d'établissement, séquences d'essais T100s(a)

Une seule manœuvre de fermeture avec le pouvoir de fermeture assigné selon 6.104.2 doit être effectuée. Cette manœuvre de fermeture peut être effectuée à tension réduite avec les tolérances indiquées en 6.104.2;

b) essais de coupure, séquence d'essais T100s(b)

Cette manœuvre de fermeture doit être suivie de O - t - CO - t' - CO ou de CO - t'' - CO pour les séquences de manœuvres assignées respectivement O - t - CO - t' - CO ou CO - t'' - CO, à 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit, à la tension appliquée spécifiée en 6.104.1 et avec une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle selon 6.104.5.2 et 6.104.7 Dans cette seconde partie, une des manœuvres de fermeture doit être telle que soit établi un courant symétrique égal au pouvoir de coupure assigné en court-circuit.

NOTE Du fait que la constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai est plus faible que la valeur spécifiée utilisée pour le pouvoir de coupure assigné en court-circuit, il sera nécessaire que la valeur symétrique du courant pendant a) soit plus grande que la valeur assignée. De même, pendant b), la crête de courant, déjà vérifiée pendant a), sera plus faible que le pouvoir de fermeture assigné en court-circuit.

Pendant cette séquence d'essais, on applique les exigences suivantes:

– la maintenance n'est pas admise entre a) et b);

– pour les essais synthétiques, la CEI 60427 s'applique.

6.106.4.3 Constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai supérieure à la valeur spécifiée

Lorsque la constante de temps de la composante apériodique du courant délivré par le circuit d'essai est supérieure à la valeur spécifiée définie en 4.101.2, la méthode alternative de réalisation de la séquence d'essais T100s, décrite précédemment, est définie comme suit:

a) La séquence O - t - CO - t' - CO ou CO - t'' - CO doit être effectuée, respectivement pour les séquences de manœuvres assignées O - t - CO - t' - CO ou CO - t'' - CO, avec 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit sous la tension appliquée spécifiée en 6.104.1 et avec la tension transitoire de rétablissement et la tension de rétablissement à fréquence industrielle spécifiées en 6.104.5.2 et 6.104.7. Pendant cette séquence, une des manœuvres de fermeture doit être telle que le disjoncteur établisse un courant symétrique égal au pouvoir de coupure assigné en court-circuit, et l'autre manœuvre de

b) breaking tests, test-duty T100s(b)

These closing operations detailed in a) shall be followed by O - t - CO - t' - CO or CO - t'' - CO for the rated operating sequence O - t - CO - t' - CO or CO - t'' - CO respectively, at 100 % of the rated short-circuit breaking current and with a transient and power frequency recovery voltage as specified in 6.104.5.2 and 6.104.7.

During this test sequence, the following applies:

– no maintenance is allowed between a) and b);
– the second closing operation of a) can be omitted, provided that during b) one of the closing operations is such that the rated short-circuit making current is achieved;
– for synthetic testing IEC 60427 applies.

6.106.4.2 Time constant of the d.c. component of the test circuit less than the specified value

Where the time constant of the d.c. component of the test circuit is less than the specified value as defined by 4.101.2, the alternative for performing test-duty T100s described above is as follows:

a) making tests, test-duty T100s(a)

A single closing operation against the rated short-circuit making current according to 6.104.2 shall be performed. This closing operation may be performed at reduced voltage with the limitations stated in 6.104.2;

b) breaking tests, test-duty T100s(b)

This closing operation shall be followed by O - t - CO - t' - CO or CO - t'' - CO for the rated operating sequence O - t - CO - t' - CO or CO - t'' - CO respectively, at 100 % of the rated short-circuit breaking current, at the applied voltage specified in 6.104.1 and with a transient and power frequency recovery voltage as specified in 6.104.5.2 and 6.104.7. In this second part, one of the closing operations shall be such that it closes against a symmetrical current equal to the rated short-circuit breaking current.

NOTE Due to the smaller time constant of the d.c. component of the test circuit with respect to the specified value used for the rated short-circuit breaking current, the symmetrical value of the current during a) will need to be greater than the rated value. During b), for the same reason, the current peak, already demonstrated during a), will be smaller than the rated short-circuit making current.

During this test sequence the following applies:

– no maintenance is allowed between a) and b);
– for synthetic testing IEC 60427 applies.

6.106.4.3 Time constant of the d.c. component of the test circuit greater than the specified value

Where the time constant of the d.c. component of the test circuit is greater than the specified value as defined by 4.101.2, the alternative for performing test-duty T100s described above is as follows:

a) The sequence O - t - CO - t' - CO or CO - t'' - CO shall be carried out for rated operating sequence O - t - CO - t' - CO or CO - t'' - CO respectively, at 100 % of the rated short-circuit breaking current, at the applied voltage specified in 6.104.1 and with a transient and power frequency recovery voltage as specified in 6.104.5.2 and 6.104.7. During this sequence, one of the closing operations shall be such that the circuit-breaker closes against a symmetrical current equal to the rated short-circuit breaking current, and the

fermeture doit être faite avec la pleine valeur du courant asymétrique. Etant donné que la constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai est plus grande que la valeur spécifiée en 4.101.2, la valeur de crête du courant pendant la fermeture asymétrique sera plus grande que la valeur assignée du courant établi en court-circuit. Par suite, la manœuvre de fermeture peut être réalisée en synchronisant l'ordre par rapport à l'onde de tension de manière à obtenir la valeur de crête requise du courant établi en court-circuit. La performance de la procédure d'essai a) est cependant soumise à l'accord du constructeur.

NOTE 1 Etant donné que la valeur de crête du courant est supérieure pendant la fermeture avec courant asymétrique, il n'est pas exigé de manœuvre séparée de fermeture avec la valeur de crête du courant établi en court circuit suivant 6.104.2.

b) En variante, la séquence a) peut être effectuée avec une première manœuvre de fermeture avec établissement d'un courant symétrique égal au pouvoir de coupure assigné en court-circuit et une seconde manœuvre de fermeture à vide, c'est-à-dire, O - t - CO - t' - O ou CO - t'' - O respectivement pour les séquences de manœuvres assignées O - t - CO - t' - CO ou CO - t'' - CO, avec 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit sous la tension appliquée spécifiée en 6.104.1 et avec la tension transitoire de rétablissement et la tension de rétablissement à fréquence industrielle spécifiées en 6.104.5.2 et 6.104.7.

   Dans ce cas, la démonstration de la capacité du disjoncteur à effectuer la séquence de manœuvres assignée sera faite en répétant la séquence d'essais a) avec les exigences correspondantes, et avec un courant symétrique inférieur au pouvoir de coupure assigné en court-circuit, tel que la valeur de crête du courant établi en court-circuit soit obtenue pendant une des manœuvres de fermeture. Pendant cette séquence répétée, les manœuvres de fermeture peuvent être faites sous tension réduite, avec les limites définies en 6.104.2.

NOTE 2 Dans la mesure où la capacité d'un disjoncteur à fermer avec la valeur de crête du courant établi en court-circuit est démontrée pendant la séquence répétée, il n'est pas exigé de manœuvre séparée de fermeture avec la valeur de crête du courant établi assigné en court circuit suivant 6.104.2.

Pendant cette séquence d'essais, ce qui suit s'applique:

– lorsque la séquence b) est adoptée, il est permis d'effectuer une remise en état de l'appareil avant de répéter la séquence de manœuvres assignée;
– dans le cas d'essais synthétiques la CEI 60427 s'applique.

6.106.4.4 Constante de temps faible de la composante alternative du circuit d'essai

Lorsque la constante de temps du circuit d'essai est faible, il peut être impossible d'effectuer la séquence de manœuvre assignée sans appliquer des contraintes excessives au disjoncteur. Dans ce cas il est permis d'effectuer séparément les essais d'établissement et de coupure de la séquence d'essais T100s comme suit:

a) essais d'établissement, séquence d'essais T100s(a)

   C – t' - C dans le cas d'une séquence de manœuvres assignée O - t - CO – t' - CO,

   C - t'' - C dans le cas d'une séquence de manœuvres assignée CO - t'' - CO

   avec le courant établi spécifié en 6.104.2 et la tension appliquée spécifiée en 6.104.1. Pour l'intervalle de temps entre les essais, 6.105.1 s'applique.

b) essais de coupure, séquence d'essais T100s(b)

   La procédure d'essai dépend de la séquence de manœuvres assignée.

   – Dans le cas d'une séquence de manœuvres assignée O - t - CO – t' - CO, les manœuvres de fermetures de la séquence T100s(a) doivent être suivies de la séquence d'essais O - t - CO – t' - CO à 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit spécifié en 6.104.3 et avec une tension transitoire de rétablissement et une tension de rétablissement à fréquence industrielle spécifiées en 6.104.5.2 et 6.104.7. Pour l'intervalle de temps entre les essais, 6.105.1 s'applique.

other one against a full asymmetrical current. Due to the larger time constant of the d.c. component of the test circuit with respect to the specified value as per 4.101.2, the current peak during the asymmetrical closing will be larger than the rated short-circuit making current. Therefore, the closing operation may be controlled by use of point on wave control to obtain the required rated short-circuit making current. The performance of the test procedure a) is, however, subject to the consent of the manufacturer;

NOTE 1 Because of the larger peak of the current during the asymmetrical closing, a separate closing operation against the rated short-circuit making current according to 6.104.2 is not required.

b) Alternatively the above sequence a) can be performed with the first closing operation against a symmetrical current equal to the rated short-circuit breaking current and the second closing operation at no load, i.e. O - t - CO - t' - O or CO - t'' - O for the rated operating sequence O - t - CO - t' - CO or CO - t'' - CO respectively, at 100 % of the rated short-circuit breaking current, at the applied voltage specified in 6.104.1 and with a transient and power frequency recovery voltage as specified in 6.104.5.2 and 6.104.7.

In this case evidence of the ability of the circuit-breaker to perform the rated operating sequence will be demonstrated by repeating the test sequence a), with relevant requirements, and with a symmetrical current smaller than the rated short-circuit breaking current in such a manner that the rated short-circuit making current is obtained in one of the closing operations. During this repeated duty, the closing operations may be performed at reduced voltage with the limitations stated in 6.104.2.

NOTE 2 Since the ability of the circuit-breaker to close against the rated short-circuit making current is proven during the repeated duty, a separate closing operation against the rated short-circuit making current according to 6.104.2 is not required.

During this test sequence the following applies:

– where sequence b) is adopted, maintenance before repetition of the rated operating sequence is permitted;
– for synthetic testing IEC 60427 applies.

6.106.4.4 Time constant of the a.c. component of the test circuit is small

Where the time constant of the a.c. component of the test circuit is small, it may be impossible to test the rated operating sequence without overstressing the circuit-breaker extensively. In such cases it is permitted to split the making and the breaking tests in test-duty T100s as follows:

a) Making tests, test-duty T100s(a)

C – t' - C in case of a rated operating sequence O - t - CO – t' - CO,

C - t'' - C in case of a rated operating sequence CO - t'' - CO

with the making current as specified in 6.104.2 and the applied voltage as specified in 6.104.1. For the time interval between the individual tests 6.105.1 applies.

b) Breaking tests, test-duty T100s(b)

The testing procedure depends upon the rated operating sequence.

– In case of a rated operating sequence O - t - CO – t' - CO the closing operations of test-duty T100s(a) shall be followed by the testing sequence O - t - CO – t' - CO at 100 % of the rated short-circuit breaking current as specified in 6.104.3 and with a transient and power frequency recovery voltage as specified in 6.104.5.2 and 6.104.7. For the time interval between the individual tests 6.105.1 applies.

La séquence de manœuvres O - t - CO (partie initiale de la séquence de manœuvres assignée O - t - CO - t' - CO) peut être démontrée par deux essais. Dans ce cas les considérations suivantes s'appliquent:

Lors du premier essai, la première manœuvre d'ouverture doit être essayée à 100 % du pouvoir de coupure assignée en court-circuit spécifié en 6.104.3 et avec une tension transitoire de rétablissement et une tension de rétablissement à fréquence industrielle spécifiées en 6.104.5.2 et 6.104.7. Les manœuvres suivantes de fermeture et d'ouverture doivent être essayées avec un courant établi et une tension appliquée ou un courant coupé, une tension transitoire de rétablissement et une tension de rétablissement à fréquence industrielle aussi proches que possible des valeurs spécifiées pour la séquence d'essais T100s.

Lors du second essai, un cycle de manœuvres CO doit être effectué avec la manœuvre d'ouverture à 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit spécifié en 6.104.3 et avec une tension transitoire de rétablissement et une tension de rétablissement à fréquence industrielle spécifiées en 6.104.5.2 et 6.104.7. Ce cycle de manœuvres CO doit être précédé d'une manœuvre d'ouverture à vide pour compléter la séquence de manœuvres O - t - CO.

– Dans le cas d'une séquence de manœuvres assignée CO - t'' - CO, les manœuvres de fermeture de la séquence T100s(a) doivent être suivies de la séquence d'essais CO - t'' - CO à 100 % du pouvoir de coupure assignée en court-circuit comme spécifié en 6.104.3 et avec une tension transitoire de rétablissement et une tension rétablie à fréquence industrielle comme spécifiées en 6.104.5.2 et 6.104.7. Pour l'intervalle de temps entre les essais, 6.105.1 s'applique.
– Lorsqu'une manœuvre de fermeture de la séquence d'essais T100s(b) satisfait aux exigences de a) ci-dessus, les manœuvres de fermeture de la séquence d'essais T100s(a) peut être omises. Pour la séquence d'essais T100s(b), il peut être nécessaire d'effectuer une synchronisation de la fermeture afin ne pas dépasser les contraintes à appliquer au disjoncteur. Pour les manœuvres de fermeture, les exigences spécifiées en 6.104.1 et 6.104.2 peuvent être négligées.

Aucune remise en état n'est permise entre les séquences d'essais T100s(a) et T100s(b). L'accord du constructeur est nécessaire lorsque cette procédure d'essai conduit à des contraintes qui en pratique dépassent les limites spécifiées dans le tableau B.1.

6.106.5 Séquence d'essais T100a

La séquence d'essais T100a ne s'applique qu'aux disjoncteurs pour lesquels l'intervalle de temps qui est égal à la durée d'ouverture minimale T_{op} du disjoncteur, déclarée par le constructeur, plus un demi cycle T_r à la fréquence assignée, est tel que la composante apériodique à l'instant de séparation des contacts est supérieure à 20 % (voir 4.101.2).

La séquence d'essais T100a se compose de trois manœuvres d'ouverture avec des intervalles de temps en accord avec 6.105.1, à 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit avec un pourcentage de composante apériodique égal à la valeur assignée appropriée spécifiée en 4.101 et avec des tensions de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle telles que spécifiées en 6.104.5.2 et 6.104.7 (voir 6.104.6). (Pour les références aux tableaux, voir 6.106.4.)

Lorsque la constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai est différente de celle spécifiée pour les disjoncteurs, il convient d'effectuer T100a conformément à la CEI 62215[3].

---

3 A publier.

The operating sequence O - t - CO (initial part of the rated operating sequence O - t - CO - t' - CO) may be demonstrated by two tests. In this case the following applies:

In the first test the first opening operation shall be tested at 100 % of the rated short-circuit breaking current as specified in 6.104.3 and with a transient and power frequency recovery voltage as specified in 6.104.5.2 and 6.104.7. The subsequent closing and opening operations shall be tested with making current and applied voltage or breaking current and transient and power frequency recovery voltage respectively as close as possible to the values specified for test-duty T100s.

In the second test an additional CO operating cycle shall be performed with the opening operation at 100 % of the rated short-circuit breaking current as specified in 6.104.3 and with a transient and power frequency recovery voltage as specified in 6.104.5.2 and 6.104.7. This CO operating cycle shall be preceded by a no-load opening operation to complete the operating sequence O - t - CO.

– In case of a rated operating sequence CO – t'' - CO the closing operations of test-duty T100s(a) shall be followed by the testing sequence CO – t'' - CO at 100 % of the rated short-circuit breaking current as specified in 6.104.3 and with a transient and power frequency recovery voltage as specified in 6.104.5.2 and 6.104.7. For the time interval between the individual tests 6.105.1 applies.

– Where a closing operation in test-duty T100s(b) fulfils the requirements given in a) above, the respective closing operation in test-duty T100s(a) may be omitted. In order to not overstress the circuit-breaker controlled closing may be necessary in test-duty T100s(b). For the closing operations the requirements specified in 6.104.1 and 6.104.2 may not be fulfilled.

No maintenance is allowed between the test-duties T100s(a) and T100s(b). When this testing procedure results in actual stresses exceeding the limits specified in table B.1 the consent of the manufacturer is necessary.

6.106.5 Test-duty T100a

Test-duty T100a shall be applied only to circuit-breakers having a time interval equal to the minimum opening time T_{op} of the circuit-breaker, as stated by the manufacturer, plus one half-cycle of rated frequency T_r, such that the d.c. component at the instant of contact separation is greater than 20 % (see 4.101.2).

Test-duty T100a consists of three opening operations at time intervals t' in accordance with 6.105.1 at 100 % of the rated short-circuit breaking current with a percentage d.c. component equal to the appropriate rated value specified in 4.101, and the prospective transient and power frequency recovery voltages as specified in 6.104.5.2 and 6.104.7 (see also 6.104.6). (For table references see 6.106.4).

Where the d.c. time constant of the test circuit is different from that specified for the circuit-breaker, T100a should be performed in accordance with IEC 62215.[3]

[3] To be published

6.107 Essais au courant critique

6.107.1 Cas d'application

Ces essais sont des essais en court-circuit complémentaires des séquences d'essais de court-circuit fondamentales couvertes par le paragraphe 6.106 et ne sont applicables qu'aux disjoncteurs qui ont un courant critique. On considère que c'est le cas si une des durées d'arc minimales obtenues au cours des séquences d'essai T10, T30 ou T60 est supérieure d'un demi-cycle, ou plus, par rapport aux durées d'arc minimales des séquences d'essais adjacentes. Dans le cas d'essais triphasés les durées d'arc des trois phases doivent être prises en compte.

6.107.2 Courant d'essai

Si applicable, le fonctionnement du disjoncteur vis-à-vis du courant critique doit faire l'objet de deux séquences d'essais.

Le courant d'essai pour ces deux séquences d'essais doit être égal à la moyenne du courant coupé spécifié pour la séquence d'essais pendant laquelle les durées d'arc augmentées ont été obtenues (voir 6.107.1) et du courant coupé:

a) spécifié pour la séquence d'essais avec le courant immédiatement supérieur, pour une séquence d'essais, et

b) spécifié pour la séquence d'essais avec le courant immédiatement inférieur, pour l'autre séquence d'essais.

Dans le cas de durées d'arc prolongées pendant la séquence T10, les essais au courant critique doivent être effectués avec un courant égal à 20 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit pour une séquence d'essais et avec un courant égal à 5 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit pour l'autre séquence d'essais.

6.107.3 Séquence d'essais au courant critique

La séquence d'essais au courant critique se compose de la séquence de manœuvres assignée avec le courant défini en 6.107.2 et avec un pourcentage de composante apériodique inférieur à 20 %. La tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle doit être celle qui est associée à la séquence d'essais fondamentale en court-circuit ayant le courant coupé spécifié immédiatement supérieur au courant critique.

La séquence d'essais au courant critique peut être effectuée sur un disjoncteur remis en état.

6.108 Essais de défaut monophasé ou de double défaut à la terre

6.108.1 Cas d'application

Les disjoncteurs doivent être capables de couper les courants de court-circuit sur un pôle qui peuvent se produire dans deux différents cas:

– cas de défauts monophasés dans des réseaux à neutre directement à la terre ou,

– cas de doubles défauts à la terre dans des réseaux à neutre non directement à la terre, c'est-à-dire avec des défauts à la terre sur deux phases différentes, l'un se produisant en amont du disjoncteur et l'autre en aval du disjoncteur.

En fonction de la condition de mise à la terre du neutre du réseau dans lequel le disjoncteur sera utilisé, du type d'organe de manœuvre (unipolaire ou tripolaire) et selon que le disjoncteur a été testé en essais T100s monophasés ou triphasés, des essais de coupure monophasés additionnels peuvent être nécessaires (voir figure 45).

6.107 Critical current tests

6.107.1 Applicability

These tests are short-circuit tests additional to the basic short-circuit test-duties covered by 6.106 and are applicable only to circuit-breakers which have a critical current. It shall be assumed that this is the case if the minimum arcing times in any of the test-duties T10, T30 or T60 is one half-cycle or more longer than the minimum arcing times in the adjacent test-duties. For three-phase tests the arcing times of all three phases shall be taken into account.

6.107.2 Test current

Where applicable, the behaviour of the circuit-breaker with respect to the critical current shall be tested in two test-duties.

The test currents for these two test-duties shall be equal to the average of the breaking current corresponding to the test-duty in which the prolonged arcing times occurred (see 6.107.1) and:

a) the breaking current corresponding to the next higher breaking current for one test-duty; and
b) the breaking current corresponding to the next lower breaking current for the other test-duty.

In the case of prolonged arcing times in test-duty T10, the critical current tests shall be performed at a current of 20 % of the rated short-circuit breaking current for one test-duty and at a current of 5 % of the rated short-circuit breaking current for the other one.

6.107.3 Critical current test-duty

The critical current test-duty consists of the rated operating sequence at the current according to 6.107.2 with a d.c. component less than 20 %. The transient and power frequency recovery voltage shall be that associated with the basic short-circuit test-duty having the breaking current the next higher to the critical current.

The critical current test-duty may be performed on a reconditioned circuit-breaker.

6.108 Single-phase and double-earth fault tests

6.108.1 Applicability

Circuit-breakers shall be capable of clearing single-pole the short-circuit currents which may occur in two different cases:

– in solidly earthed neutral systems in case of single-phase faults or,
– in non-solidly earthed neutral systems in case of double earth faults, i.e. earth faults on two different phases, one of which occurs on one side of the circuit-breaker and the other one on the other side.

Depending on the neutral earthing condition of the system in which the circuit-breaker is intended to be used, on the circuit-breaker operating mechanism design (single pole or three pole operated) and on whether the circuit-breaker was tested single-phase or three-phase in test-duty T100s, additional single-phase breaking tests may be necessary (see figure 45).

Ces essais ont pour but de démontrer

– que le disjoncteur est capable d'interrompre un courant de défaut en unipolaire avec les paramètres appropriés;
– que le fonctionnement des disjoncteurs ayant un organe de manœuvre tripolaire, et munis d'un déclencheur d'ouverture commun aux trois pôles, n'est pas influencé défavorablement par l'apparition d'efforts non équilibrés produits dans le cas d'un courant de défaut monophasé.

L'essai de coupure d'un défaut monophasé doit être effectué sur un pôle d'extrémité, alors que l'essai de coupure d'un double défaut à la terre peut être effectué sur n'importe quel pôle.

NOTE Si deux essais de coupure monophasée sont effectués pour un disjoncteur d'usage général et muni d'un organe de manœuvre tripolaire, les essais peuvent être effectués sur deux phases différentes afin de ne pas trop contraindre le pôle en essai.

6.108.2 Courant d'essai et tension de rétablissement

Le courant coupé et la tension de rétablissement pour les essais additionnels de coupure monophasée sont présentés dans la figure 45.

Le pourcentage de composante apériodique du courant coupé ne doit pas dépasser 20 % de la composante périodique. La tension transitoire de rétablissement doit satisfaire aux exigences des points a) et b) de 6.104.5.1. Les valeurs normalisées sont déduites des valeurs de u_1, t_1, u_c et t_3 données dans les Tableaux 24, 25, 1b et 1c. Les valeurs à utiliser pour les essais de défaut monophasé et de double défauts à la terre sont données dans le Tableau 16 et sont marquées par l'indice ($_{sp}$):

Tableau 16 – Paramètres de TTR pour les essais de défaut monophasé et de double défaut à la terre

Régime de neutre	Tension assignée					
	U_r < 100 kV TTR à 2 paramètres		U_r ≥ 100 kV TTR à 4 paramètres			
	$U_{c,sp}$	$t_{3,sp}$	$u_{1,sp}$	$t_{1,sp}$	$u_{c,sp}$	$t_{2,sp}$
Directement à la terre	$1{,}4 \times U_r \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$	$t_3 \times u_{c,sp} / u_c$	$0{,}75\, U_r \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$	$t_1 \times u_{1,sp} / u_1$	$1{,}87 \times u_{1,sp}$	$4t_{1,sp}$
Non directement à la terre	$1{,}4 \times U_r \sqrt{2}$		$0{,}75 U_r \times \sqrt{2}$			

Les autres paramètres sont reliés à $u_{1,sp}$, $u_{c,sp}$, $t_{1,sp}$ et $t_{3,sp}$ comme défini en 6.104.5.1 pour la séquence d'essais T100. Si nécessaire, on peut mettre à profit les dispositions de 6.104.5.2 relatives aux limitations dues aux stations d'essais.

6.108.3 Séquence d'essais

La séquence d'essais, pour chacun des deux cas de défaut spécifiés, doit comprendre un seul essai de coupure. Le courant doit être appliqué à travers le pôle extrême qui donne la contrainte maximale sur le mécanisme de couplage entre pôles.

La durée d'arc pendant la manœuvre de coupure ne doit pas être plus courte que la valeur suivante t_a:

$$t_a \geq t_{a100s} + 0{,}7 \times T/2$$

These tests are intended to demonstrate

– that the circuit-breaker is able to clear a single-pole fault current at relevant parameters;
– for circuit-breakers having a common operating mechanism for all three poles and being fitted with a common opening release, that the operation of the circuit-breaker is not adversely affected by unbalanced forces produced in the case of a single-phase fault current.

The test for single-phase fault shall be performed on an outer pole, while the test for double earth fault can be performed on any pole.

NOTE If two single-phase tests are carried out on a circuit-breaker with a three-pole common operating mechanism, the test may be carried out on two different poles to prevent overstressing of one pole.

6.108.2 Test current and recovery voltage

The breaking current and the recovery voltage for the additional single-phase breaking tests are as shown in figure 45.

The d.c. component of the breaking current shall not exceed 20 % of the a.c. component. The transient recovery voltage shall meet the requirements of items a) and b) of 6.104.5.1. Standard values are derived from u_1, t_1, u_c and t_3 of Tables 24, 25, 1b and 1c. The values to be used for single-phase and double earth fault tests are given in Table 16 marked by the index ($_{sp}$):

Table 16 – TRV parameters for single-phase and double earth fault tests

System neutral	Rated voltage					
	U_r < 100 kV 2-parameter-TRV		U_r ≥ 100 kV 4-parameter-TRV			
	$u_{c,sp}$	$t_{3,sp}$	$u_{1,sp}$	$t_{1,sp}$	$u_{c,sp}$	$t_{2,sp}$
Solidly earthed	$1{,}4 \times U_r \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$	$t_3 \times u_{c,sp} / u_c$	$0{,}75 U_r \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$	$t_1 \times u_{1,sp} / u_1$	$1{,}87 \times u_{1,sp}$	$4 t_{1,sp}$
Non-solidly earthed	$1{,}4 \times U_r \sqrt{2}$		$0{,}75 U_r \times \sqrt{2}$			

The other parameters are related to $u_{1,sp}$, $u_{c,sp}$, $t_{1,sp}$ and $t_{3,sp}$ as defined in 6.104.5.1 for test-duty T100. Where necessary, advantage may be taken of the provisions of 6.104.5.2 concerning test plant limitations.

6.108.3 Test-duty

The test-duty for each of the two specified fault cases shall consist of one single breaking operation. The current shall be applied in that outer pole which gives the maximum stress on the inter-pole coupling mechanism.

The arcing time during the breaking operation shall not be shorter than the following value t_a:

$$t_a \geq t_{a100s} + 0{,}7 \times T/2$$

où

t_{a100s} – est le minimum des durées d'arc du premier pôle qui coupe pendant les trois manœuvres de coupure de la séquence d'essais T100s, si la séquence d'essais de défaut aux bornes T100s est faite en triphasé;

– est la durée d'arc minimale de la séquence d'essais de défaut aux bornes T100s, si la séquence d'essais T100s est faite en monophasé.

T est la durée d'une période à fréquence industrielle.

Pour réduire le nombre d'essais, il est permis de remplacer les deux essais applicables par un seul essai, sous réserve que les deux conditions d'essais soient respectées simultanément. Cette possibilité est permise seulement avec l'accord du constructeur.

6.109 Essais de défaut proche en ligne

6.109.1 Cas d'application

Les essais de défaut proche en ligne sont des essais de court-circuit complémentaires des séquences d'essais de court-circuit fondamentales couvertes par 6.106. Ces essais doivent être faits pour déterminer la capacité d'un disjoncteur à couper des courants de court-circuit dans des conditions de défaut proche en ligne, caractérisées par une tension transitoire de rétablissement qui est la combinaison d'une composante côté alimentation et d'une composante côté ligne.

Les essais de défaut proche en ligne ne sont applicables qu'aux disjoncteurs de classe S2 prévus pour être directement raccordés à des lignes aériennes, quel que soit le type de réseau du côté alimentation, et ayant une tension assignée supérieure ou égale à 15 kV et un pouvoir de coupure assigné en court-circuit supérieur à 12,5 kA.

6.109.2 Courant d'essai

Le courant d'essai doit tenir compte des impédances côté alimentation et côté ligne. L'impédance côté alimentation doit être celle correspondant approximativement à 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit I_{sc} et à la valeur phase-terre de la tension assignée U_r.

Des valeurs normalisées d'impédance côté ligne sont spécifiées et correspondent à une réduction de la composante périodique du courant coupé assigné en court-circuit de:

– 90 % (L_{90}) et 75 % (L_{75}) pour les disjoncteurs de tension assignée égale ou supérieure à 48,3 kV;

– 75 % (L_{75}) pour les disjoncteurs de tension assignée supérieure ou égale à 15 kV et inférieure à 48,3 kV.

Lors d'un essai, la longueur de ligne représentée sur le côté charge du disjoncteur peut être différente de la longueur de ligne correspondant aux courants égaux à 90 % et 75 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.

Pour les tensions assignées supérieures ou égales à 48,3 kV, il est admis de s'écarter de ces longueurs théoriques de –20 % à 0 % pour les essais à 90 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit et de ±20 % pour les essais à 75 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.

Pour les tensions assignées supérieures ou égales à 15 kV et inférieures à 48,3 kV, il est admis de s'écarter de cette longueur théorique de –20 % à 0 % pour les essais à 75 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.

where

t_{a100s} – is the minimum of the arcing times of first-poles-to-clear during the three breaking operations of test-duty T100s, if terminal fault test-duty T100s is tested in three-phase;

– is the minimum arcing time of terminal fault test-duty T100s, if terminal fault test-duty T100s is tested in single-phase.

T is the duration of one period of power frequency

To reduce the amount of testing, it is allowed to replace the two applicable tests by one test, provided that both test conditions are met simultaneously. This allowance is permitted only with the consent of the manufacturer.

6.109 Short-line fault tests

6.109.1 Applicability

Short-line fault tests are short-circuit tests additional to the basic short-circuit test-duties covered by 6.106. These tests shall be made to determine the ability of a circuit-breaker to break short-circuit currents under short-line fault conditions characterised by a transient recovery voltage as a combination of the source and the line side components.

Short-line fault tests are applicable only to class S2 circuit-breakers designed for direct connection to overhead lines, irrespective of the type of network on the source side, having a rated voltage of 15 kV and above and a rated short-circuit breaking current exceeding 12,5 kA.

6.109.2 Test current

The test current shall take into account the source and line side impedances. The source side impedance shall be that corresponding to approximately 100 % rated short-circuit breaking current I_{sc} and the phase-to-earth value of the rated voltage U_r.

Standard values of the line side impedance are specified corresponding to a reduction of the a.c. component of the rated short-circuit breaking current to:

– 90 % (L_{90}) and 75 % (L_{75}) for circuit-breakers with a rated voltage equal to or higher than 48,3 kV,
– 75 % (L_{75}) for circuit-breakers with a rated voltage 15 kV and above and less than 48,3 kV.

In a test, the line length represented on the line side of a circuit-breaker may differ from the length of the line corresponding to currents equal to 90 % and 75 % of the rated short-circuit breaking current.

For rated voltages equal or higher than 48,3 kV, tolerances on these standardised lengths are –20 % and 0 % for tests at 90 % of the rated short-circuit breaking current and ±20 % for tests at 75 % of the rated short-circuit breaking current.

For rated voltages equal and higher than 15 kV and less than 48,3 kV, tolerances on these standardised lengths are 0 % and –20 % for tests at 75 % of the rated short-circuit breaking current.

Ces tolérances de longueur de ligne donnent les écarts suivants possibles des courants de court-circuit:

– L_{90} avec un écart de 0 %: I_L = 90 % de $I_{sc;}$
– L_{90} avec un écart de –20 %: I_L = 92 % de $I_{sc;}$
– L_{75} avec un écart de +20 %: I_L = 71 % de $I_{sc;}$
– L_{75} avec un écart de 0 %: I_L = 75 % of I_{sc};
– L_{75} avec un écart de –20 %: I_L = 79 % de $I_{sc.}$

Pour le cas indiqué en 6.109.4, point c), une autre séquence d'essais (L_{60}) à 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit est exigée. Il est admis de s'écarter de cette longueur théorique de ± 20 %. Il en résulte les valeurs possibles suivantes du courant de court-circuit:

– L_{60} avec un écart de +20 %: I_L= 55 % de $I_{sc;}$
– L_{60} avec un écart de –20 %: I_L = 65 % de $I_{sc.}$

Pour plus d'information, voir l'Annexe J et l'Article L.3.

6.109.3 Circuit d'essai

Le circuit d'essai doit être monophasé et comprendre un circuit d'alimentation et un circuit côté ligne (voir figures 46, 47 et 48). Les exigences fondamentales sont données en 4.105.

Concernant le temps de retard du côté alimentation et du côté ligne et les exigences de TTRI (voir 4.102.1), deux exigences principales sont spécifiées et doivent être distinguées:

a) côté alimentation: avec temps de retard (t_d) et sans TTRI;
côté ligne: avec temps de retard (t_{dL});

b1) côté alimentation: avec temps de retard (t_d) et avec TTRI;
côté ligne: avec temps de retard (t_{dL});

b2) côté alimentation: avec temps de retard (t_d) et sans TTRI;
côté ligne: avec temps de retard négligeable (t_{dL}).

La représentation de la TTRI du côté alimentation peut être négligée si l'oscillation de tension côté ligne a un temps de retard négligeable (voir 6.104.5.2). Une oscillation de tension avec un temps de retard côté ligne inférieur à 100 ns est considérée comme étant un retard négligeable.

NOTE 1 Dans le cas d'utilisation d'un circuit d'alimentation sans TTRI et un temps de retard négligeable côté ligne, dans les limites de la spécification mais proche de 100 ns, en fonction des caractéristiques assignées du disjoncteur la tension aux bornes du disjoncteur au temps t_i peut être inférieure dans une certaine mesure à celle qui serait obtenue avec un circuit d'alimentation avec TTRI et un temps de retard côté ligne.

Prenant en compte ce qui précède, trois types de circuits d'essais caractérisés par leurs temps de retard peuvent être utilisés:

– circuit SLF a): côté alimentation avec un temps de retard (t_d) et côté ligne avec un temps de retard (t_{dL}) (voir A4.1); circuit de la figure 46;
– circuit SLF d1): côté alimentation avec TTRI et côté ligne avec un temps de retard (t_{dL}) (voir A4.1); circuit de la figure 47;
– circuit SLF d2): côté alimentation avec un temps de retard (t_d) et côté ligne un temps de retard négligeable (t_{dL}) (voir A4.3); circuit de la figure 48.

These tolerances for the line lengths give the following deviations of the short-circuit currents:

- L_{90} at 0 % deviation: I_L = 90 % of I_{sc};
- L_{90} at –20 % deviation: I_L = 92 % of I_{sc};
- L_{75} at +20 % deviation: I_L = 71 % of I_{sc};
- L_{75} at 0 % deviation: I_L = 75 % of I_{sc};
- L_{75} at –20 % deviation: I_L = 79 % of I_{sc}.

For the case stated in 6.109.4, item c) another test (L_{60}) at 60 % of the rated short-circuit breaking current is required. The tolerance on the corresponding standardised line length is ±20 %. This results in the following deviations of the short-circuit current:

- L_{60} at +20 % deviation: I_L = 55 % of I_{sc};
- L_{60} at –20 % deviation: I_L = 65 % of I_{sc}.

For further information see Annex J and Clause L.3.

6.109.3 Test circuit

The test circuit shall be single-phase and consists of a supply circuit and a line circuit (see figures 46, 47 and 48). The basic requirements are given in 4.105.

Regarding the time delays on the source side and on the line side and the ITRV (see 4.102.1), two main requirements are specified and shall be distinguished:

a) source side: with time delay *(t_d)* and without ITRV;

line side: with time delay *(t_{dL})*;

b1) source side: with time delay *(t_d)* and with ITRV;

line side: with time delay *(t_{dL})*;

b2) source side: with time delay *(t_d)* and without ITRV;

line side: with insignificant time delay *(t_{dL})*.

The representation of the ITRV on the source side can be neglected if a line side oscillation without a time delay is used (see 6.104.5.2). A line side time delay not greater than 100 ns is considered as an insignificant time delay.

NOTE 1 If no ITRV on the source side and insignificant time delay on the line side is used, within the specified limits yet close to 100 ns, depending on the ratings of the circuit-breaker the voltage across the circuit-breaker at the time t_i may be lower to some extent than in the case of the source side with ITRV and the line side with time delay.

Taking this into account, three types of test circuits characterised by their time delays are applicable for testing:

- circuit SLF a): source side with time delay *(t_d)* and line side with time delay *(t_{dL})* (see A.4.1); circuit shown in figure 46.
- circuit SLF d1): source side with ITRV and line side with time delay *(t_{dL})* (see A.4.2); circuit shown in figure 47.
- Circuit SLF d2): source side with time delay *(t_d)* and line side with insignificant time delay *(t_{dL})* (see A.4.3); circuit shown in figure 48.

Le circuit a) doit être utilisé seulement dans le cas où il n'y a pas d'exigences de TTRI. Le circuit b2) peut être utilisé en remplacement du circuit b1) sauf si les deux bornes ne sont pas électriquement identiques (par exemple si une capacité additionnelle est utilisée comme indiqué dans la note 4 de 6.109.3).

Pour choisir le circuit d'essai, voir l'organigramme figure 49.

Les autres caractéristiques des circuits d'alimentation et côté ligne doivent être en accord avec les explications et les calculs donnés dans l'annexe A.

Si les exigences de tension rétablie du côté alimentation ne peuvent pas être respectées en raison des limitations du laboratoire d'essais, un défaut du temps de retard côté alimentation peut être compensé par un accroissement de l'amplitude de la tension côté ligne. La valeur accrue $U_{L,mod}$* est calculée comme suit (voir aussi les figures 16 et 50):

$$t_d < t'_d \leq t_L \qquad u_{L,mod}{}^* = u_L{}^* + L_f \times \text{VATR} \times (t'_d - t_d)$$

$$t_d < t_L \leq t'_d \qquad u_{L,mod}{}^* = u_L{}^* + L_f \times \text{VATR} \times (t_L - t_d)$$

où:

VATR est la pente exigée de la vitesse de rétablissement de tension côté alimentation (kV/µs)

L_f est le facteur de courant de défaut en ligne I_L/I_{sc} (0,9 ou 0,75 ou 0,6);

t_d est le temps de retard exigé côté alimentation (µs);

t'_d est le temps de retard réel côté alimentation (µs);

t_L est le temps jusqu'à la crête de tension u_L* de la tension transitoire côté ligne (µs);

u_L* est la valeur exigée de la tension rétablie, en valeur crête, côté ligne (kV);

$u_{L,mod}$* est la valeur ajustée de la tension rétablie, en valeur crête, côté ligne (kV).

Si les essais sont effectués sur un disjoncteur avec une borne à la terre, comme cela peut être le cas en essais synthétiques, des mesures ou des calculs de facteurs de répartition de tension entre le côté ligne et le côté alimentation doivent être faits. L'élément le plus contraint par l'oscillation de tension côté ligne est le moins contraint par l'oscillation côté alimentation. Il est reconnu que la contrainte la plus importante est celle qui est produite par la ligne. Les facteurs de répartition de tension doivent être comme suit:

– essais par éléments séparés: facteurs calculés ou mesurés sur l'élément situé du côté ligne;
– essais sur plusieurs éléments: facteurs calculés ou mesurés sur les éléments situés du côté ligne. Il faut s'assurer que les facteurs appliqués ne contraignent pas excessivement le disjoncteur en raison de la répartition de tension entre les éléments essayés. Une nouvelle mesure ou calcul peut être nécessaire pour la portion de disjoncteur à essayer.

La mesure de la TTR présumée doit être faite avec la ligne reliée au circuit réel de manière à prendre en compte les effets dus aux diviseurs de tension, aux capacités parasites et aux inductances du circuit d'essai.

Une capacité additionnelle peut être introduite soit côté ligne ou côté alimentation du disjoncteur, soit en parallèle au disjoncteur pour ajuster les temps de retard des différentes parties du circuit.

NOTE 2 Le terme «réel» s'entend comme distinct de la valeur nominale (90 %, 75 % or 60 %); l'utilisation du courant présumé coupé en court-circuit conformément à 6.104.3 n'est pas proscrite.

NOTE 3 Si une capacité additionnelle est ajoutée pour ajuster le temps de retard de la ligne à la valeur normalisée donnée dans le tableau 4, la vitesse d'accroissement de tension côté ligne va atteindre sa valeur normalisée ($du_L/dt = -s \times I_L$) après la réduction due au retard introduit par cette capacité additionnelle.

Circuit a) shall only be used in the case where no ITRV requirements apply. Circuit b2) can be used as a substitute for the circuit b1) unless both terminals are not identical from an electrical point of view (for instance where an additional capacitance is used as mentioned in note 4 of 6.109.3).

For the choice of test circuit, see flow chart diagram, figure 49.

Other characteristics of the source side and the load side of the test circuit shall be in line with the explanations and calculations given in annex A.

If the TRV requirements of the source side cannot be met due to testing station limitations, a deficiency of the time delay of the source side TRV can be compensated by an increase of the excursion of the line side voltage. The increased value $u_{L,mod}$* is calculated as follows (see also figure 16 and figure 50):

$$t_d < t'_d \leq t_L \qquad u_{L,mod}{}^* = u_L{}^* + L_f \times \text{RRRV} \times (t'_d - t_d)$$

$$t_d < t_L \leq t'_d \qquad u_{L,mod}{}^* = u_L{}^* + L_f \times \text{RRRV} \times (t_L - t_d)$$

where

RRRV is the required rate of rise of recovery voltage of the source side (kV/µs);

L_f is the SLF current factor I_L/I_{sc} (0,9 or 0,75 or 0,6);

t_d is the required time delay of the source side (µs);

t'_d is the actual time delay of the source side (µs);

t_L is the time to the peak voltage u_L* of the line side transient voltage (µs);

u_L* is the required peak voltage across the line (kV);

$u_{L,mod}$* is the adjusted peak voltage across the line (kV).

If the tests are carried out on a circuit-breaker with one terminal earthed, as may be the case during synthetic testing, measurements or calculations of voltage distribution factors of line and source side oscillations shall be carried out. The higher stressed unit from the line side oscillation is the lower stressed unit from the source side oscillation. It is recognised that the more significant stress is due to the line. The voltage distribution factors shall be as follows:

– unit tests: factors calculated or measured on the line side unit;
– multi-unit tests: factors calculated or measured on the multi-unit next to the line-side. Attention should be paid that the factors to be applied do not overstress the circuit-breaker because of the voltage distribution within the multi-unit. A new measurement or calculation may be required for the portion to be tested.

The measurement of the prospective TRV shall be carried out with the line connected to the actual circuit in order to take into account all the effects due to voltage dividers, stray capacitances and inductances of the test circuit.

An extra capacitance may be applied at the line side or at the source side of the circuit-breaker or across the circuit-breaker in order to adjust the time delays of the individual sections of the test circuit.

NOTE 2 The term 'actual' is used as distinct from the nominal value (90 %, 75 % or 60 %); the use of prospective short-circuit breaking current in accordance with 6.104.3 is not precluded.

NOTE 3 If an extra capacitance is applied in order to adjust the time delay of the line to the standard value given in table 4, the rate of rise of the line side TRV will reach its standard value ($du_L/dt = -s \times I_L$) after the decay of the delaying effect of this extra capacitance.

NOTE 4 Lorsque la capacité de coupure du disjoncteur n'est pas suffisante pour obtenir la coupure d'un défaut proche en ligne, une capacité additionnelle en tête de ligne ou en parallèle aux éléments de coupure d'un disjoncteur peut être utilisée, à la fois pendant l'essai et en service. De cette manière la contrainte sur le disjoncteur est réduite. Il convient que la valeur et l'emplacement de cette capacité additionnelle soient indiqués dans le rapport d'essais.

Dans le cas de capacités additionnelles de valeur élevée, l'impédance d'onde de la ligne et le temps de retard côté ligne peuvent sembler être diminués, en raison de l'effet de cette capacité additionnelle. Cependant, la valeur correcte de l'impédance d'onde de la ligne elle-même (par avance ajustée en accord avec les valeurs normalisées données dans le tableau 4) reste inchangée. Dans la mesure où la période de réduction de l'effet de retard dû à la capacité additionnelle peut être plus longue que le temps à la première crête de la tension de rétablissement côté ligne, la valeur plus faible de la vitesse d'accroissement de tension peut être mal interprétée comme étant due à une valeur diminuée de l'impédance d'onde de ligne. Par conséquent, les valeurs du temps de retard et de l'impédance d'onde évaluées pour la ligne reliée à la capacité additionnelle ne sont pas significatives pour l'essai.

Dans le rapport d'essais, il est recommandé d'indiquer la TTR spécifiée se rapportant aux caractéristiques assignées du disjoncteur et, à des fins de comparaison, la tension présumée du circuit d'essai utilisé.

6.109.4 Séquences d'essais

Les essais de défaut proche en ligne doivent être des essais monophasés. La série de séquences d'essais est spécifiée ci-dessous. Chacune d'entre elles se compose de la séquence de manœuvres assignée. Pour faciliter les essais, les manœuvres de fermeture peuvent être effectuées à vide.

Le circuit d'essai doit être en accord avec 6.109.3.

Pour ces séquences d'essais, le pourcentage de composante apériodique à l'instant de séparation des contacts doit être inférieur à 20 % de la composante périodique.

Les séquences d'essais correspondant aux courants d'essais suivant 6.109.2 sont comme suit:

a) Séquence d'essais L_{90}

   Au courant de L_{90} donné en 6.109.2 et avec la tension transitoire de rétablissement présumée appropriée.

   Cette séquence d'essais est obligatoire uniquement pour les disjoncteurs de tension assignée supérieure ou égale à 48,3 kV.

b) Séquence d'essais L_{75}

   Au courant de L_{75} donné en 6.109.2 et avec la tension transitoire de rétablissement présumée appropriée.

c) Séquence d'essais L_{60}

   Au courant de L_{60} donné en 6.109.2 et avec la tension transitoire de rétablissement présumée appropriée.

Cette séquence d'essais est obligatoire seulement pour les disjoncteurs de tension assignée supérieure ou égale à 48,3 kV et seulement si la durée d'arc minimale obtenue pendant la séquence d'essais L_{75} dépasse d'un quart de cycle, ou plus, la durée d'arc minimale déterminée pendant la séquence d'essais L_{90}.

NOTE 4 Where the breaking capability of the circuit-breaker is not sufficient to interrupt a short-line fault, an additional capacitance at the line side of the circuit-breaker or parallel to the breaking unit(s) may be used, both during the test and in service. In this way, the stress on the circuit-breaker is facilitated. The value and the location of this additional capacitance used during the tests should be stated in the test report.

For a large additional capacitance, the surge impedance of the line and the line side time delay may seem to be reduced, caused by the effect of this additional capacitance. However, the correct value of the surge impedance of the line itself (in advance adjusted in accordance with the standard values given in table 4) remains unchanged. Since the period of the decay of the delaying effect of the additional capacitance may be longer than the time to the first peak of the line side TRV, the lower rate of rise at the rising slope of the TRV may be misinterpreted as a decreased surge impedance of the line. Therefore, the values of the time delay and the surge impedance evaluated for the line in connection with the additional capacitance are not relevant to the test.

The test report should show the specified transient recovery voltage appropriate to the rating of the circuit-breaker, and, for comparative purposes, the prospective transient recovery voltage of the test circuit used.

6.109.4 Test-duties

The short-line fault tests shall be single-phase tests. The series of test-duties is specified below. Each test-duty consists of the rated operating sequence. For convenience of testing, the closing operations may be performed as no-load operations.

The test circuit shall be in accordance with 6.109.3.

For these test-duties, the percentage d.c. component at the instant of contact separation shall be less than 20 % of the a.c. component.

The test-duties related to test currents according to 6.109.2 are as follows:

Test-duty L_{90}

a) At the current for L_{90} given in 6.109.2 and the appropriate prospective transient recovery voltage.

   This test duty is only mandatory for circuit-breakers with a rated voltage equal to or higher than 48,3 kV.

b) Test-duty L_{75}

   At the current for L_{75} given in 6.109.2 and the appropriate prospective transient recovery voltage.

c) Test-duty L_{60}

   At the current for L_{60} given in 6.109.2 and the appropriate prospective transient recovery voltage.

This test-duty is mandatory only for circuit-breakers with a rated voltage equal to or higher than 48,3 kV and only if the minimum arcing time obtained during test-duty L_{75} is a quarter of a cycle or more longer than the minimum arcing time determined during test-duty L_{90}.

6.109.5 Essais de défaut proche en ligne avec une source d'essai de court-circuit de puissance réduite

Lorsque la puissance de court-circuit maximale disponible dans la station d'essais n'est pas suffisante pour réaliser les essais de défaut proche en ligne sur un pôle complet de disjoncteur, on peut effectuer des essais par éléments séparés (voir 6.102.4.2).

Les essais de défaut proche en ligne peuvent également être effectués à une tension à fréquence industrielle réduite, les dispositions de 6.109.3 étant moins sévères. Ces dispositions doivent être respectées le mieux possible et, pour la tension transitoire de rétablissement, au moins jusqu'à trois fois le temps spécifié pour la première crête côté ligne. Cette méthode est utilisée si les essais fondamentaux de court-circuit indiqués en 6.106 ont été satisfaisants et en supposant que la contrainte diélectrique sur le disjoncteur au voisinage de la valeur de crête de la TTR est indépendante des contraintes appliquées immédiatement après le passage par zéro du courant. Cette méthode d'essai peut également être utilisée en combinaison avec les essais par éléments séparés.

Si les essais de défaut proche en ligne sont effectués avec une tension réduite à fréquence industrielle et si la durée d'arc maximale selon 6.102.10.2.2.1 obtenue dans les conditions de défaut proche en ligne, et pour toute séquence d'essais, dépasse de plus de 2 ms celle qui a été obtenue lors de la séquence d'essais T100s, une manœuvre d'ouverture avec la durée d'arc maximale du défaut proche en ligne doit être effectuée en appliquant les conditions d'essais du défaut aux bornes T100s. Les paramètres de TTR pour cette manœuvre additionnelle peuvent être réduits aux valeurs correspondant à un facteur de premier pôle égal à 1,0 comme cela est habituel pour les essais de défaut proche en ligne. On considérera que le disjoncteur a réussi les essais de défaut proche en ligne uniquement, si le courant a été interrompu avec succès pendant cette manœuvre additionnelle d'ouverture.

6.110 Essais d'établissement et de coupure en discordance de phases

6.110.1 Circuit d'essai

Le facteur de puissance du circuit d'essai ne doit pas dépasser 0,15.

Les essais sont réalisés généralement avec un circuit d’essais monophasé. Par suite, ce paragraphe ne considère que la procédure d’essais monophasés.

NOTE Il est permis d’effectuer des essais triphasés en remplacement d’essais monophasés. Lorsque des essais triphasés sont effectués, il convient que la procédure d’essais fasse l’objet d’un accord entre le constructeur et l’utilisateur.

Il convient de disposer le circuit d'essai de telle façon que chaque côté du disjoncteur soit soumis à la moitié environ de la tension appliquée et de la tension de rétablissement (voir figure 51).

S'il n'est pas possible d'adopter ce circuit dans la station d'essais, il est admis d'utiliser, avec l'accord du constructeur, deux tensions égales décalées de 120° au lieu de 180°, à condition que la tension totale aux bornes du disjoncteur corresponde à celle indiquée en 6.110.2 (voir figure 52).

La réalisation d'essais avec mise à la terre d'une borne du disjoncteur n'est admise qu'avec l'accord du constructeur (voir figure 53).

6.109.5 Short-line fault tests with a test supply of limited power

When the maximum short-circuit power available at a testing plant is not sufficient to make the short-line fault tests on a complete pole of a circuit-breaker, it may be possible to make unit tests (see 6.102.4.2).

Short-line fault tests may also be made at reduced power frequency voltage, the provisions of 6.109.3 being relaxed. These provisions shall be met as well as possible and, for the transient recovery voltage at least up to three times the specified time of the first line side peak. This method is used if the basic short-circuit tests in 6.106 have been satisfactory, it being assumed that the dielectric strength of the circuit-breaker near the peak value of transient recovery voltage is independent of stresses applied immediately after current zero. The test method may also be used in combination with unit tests.

If short-line fault tests are performed at reduced power frequency voltage and in any one short-line fault test-duty the maximum arcing time according to 6.102.10.2.2.1 is more than 2 ms longer than the maximum arcing time achieved in test-duty T100s, a single opening operation with the maximum arcing time achieved in the short-line fault tests shall be performed, applying the test conditions of terminal fault T100s. The TRV parameters for this additional operation may be reduced to values corresponding to a first-pole-to-clear factor 1,0, as usual for short-line fault testing. The circuit-breaker is considered to have passed the short-line fault test only, if the current is interrupted successfully in this additional opening operation.

6.110 Out-of-phase making and breaking tests

6.110.1 Test circuit

The power factor of the test circuit shall not exceed 0,15.

Usually the tests are carried out in a single-phase test circuit. This subclause therefore concerns single-phase test procedures only.

NOTE Instead of single-phase tests, three-phase tests are permissible. Where three-phase tests are performed, the test procedure should be agreed upon between the manufacturer and user.

The test circuit should be so arranged that approximately one half of the applied voltage and of the recovery voltage is on each side of the circuit-breaker (see figure 51).

If it is not practicable to use this circuit in the testing station, it is permissible, with the agreement of the manufacturer, to use two identical voltages separated in phase by 120° instead of 180°, provided that the total voltage across the circuit-breaker is as stated in 6.110.2 (see figure 52).

Tests with one terminal of the circuit-breaker earthed are permissible, with the agreement of the manufacturer (see figure 53).

6.110.2 Tensions d'essais

La tension appliquée et la tension de rétablissement à la fréquence industrielle doivent avoir l'une des valeurs suivantes:

a) $2{,}0/\sqrt{3}$ fois la tension assignée pour les disjoncteurs destinés à être utilisés dans des réseaux à neutre directement à la terre;

b) $2{,}5/\sqrt{3}$ fois la tension assignée pour les disjoncteurs destinés à être utilisés dans des réseaux à neutre non directement à la terre.

La tension transitoire de rétablissement doit être conforme aux indications de 4.106.

6.110.3 Séquences d'essais

Le tableau 17 indique les séquences d'essais à effectuer.

Au cours des manœuvres d'ouverture de chaque séquence d'essais, la composante apériodique du courant coupé doit être inférieure à 20 % de la composante périodique.

Pour la manœuvre de fermeture du cycle de fermeture-ouverture de la séquence d'essais OP2:

– la tension à fréquence industrielle doit être $2U_{\mathrm{r}}/\sqrt{3}$,

– la fermeture doit se produire dans les limites de ±15° de la valeur de crête de la tension appliquée.

La manœuvre de fermeture doit produire un courant symétrique avec la durée de pré-amorçage maximale. Le courant établi doit être égal à la valeur assignée du courant établi en discordance de phases. La composante continue du courant coupé n'est pas spécifiée. Pour la définition des temps d'arc, voir 6.102.10.2.1 et 6.102.10.2.2.

Si pendant l'établissement à la valeur de crête de la tension appliquée la durée de pré-amorçage n'est pas de manière significative plus longue d'un quart de cycle à fréquence industrielle, en raison des limitations possibles des moyens d'essais, il est permis de remplacer le cycle de manœuvres CO de la séquence d'essais OP2 par la séquence de manœuvres suivante:

– C sous la pleine tension et avec le courant établi maximal possible;

– CO avec C à vide;

– O - O.

6.110.2 Test voltages

The applied voltage and the power frequency recovery voltage shall have one of the following values:

a) 2,0/√3 times the rated voltage for circuit-breakers intended to be used in earthed neutral systems;

b) 2,5/√3 times the rated voltage for circuit-breakers intended to be used in systems other than earthed neutral systems.

The transient recovery voltage shall be in accordance with 4.106.

6.110.3 Test-duties

The test-duties to be made are indicated in table 17.

For the opening operations of each test-duty, the d.c. component of the breaking current shall be less than 20 % of the a.c. component.

For the closing operation of the close-open cycle of test-duty OP2:

– the power frequency voltage shall be $2U_r/\sqrt{3}$;

– the making shall occur within ±15° of the peak value of the applied voltage.

The closing operation shall produce a symmetrical current with the longest pre-arcing time. The making current shall be equal to the rated out-of-phase making current. The d.c. component of the breaking current is not specified. For arcing times, see 6.102.10.2.1 and 6.102.10.2.2.

If the pre-arcing time when making at the peak value of the applied voltage is not significantly longer than a quarter of a cycle of the power frequency, due to possible limitations of the testing facilities it is allowed to replace the CO operating cycle of OP2 by the following sequence:

– C at full voltage and maximum making current available;

– CO with C at no-load;

– O - O.

Tableau 17 – Séquences d'essais à effectuer pour vérifier les caractéristiques assignées en discordance de phases

Séquence d'essais	Séquence de manœuvres	Courant coupé en pour-cent du pouvoir de coupure assigné en discordance de phases
OP1	O - O - O	30
OP2	CO - O - O ou en alternance C* - C**O - O - O C* = C sous pleine tension C** = C à vide	100
NOTE 1 Pour les disjoncteurs équipés de résistances de fermeture, la capacité thermique des résistances peut être essayée séparément. NOTE 2 La séquence d'essais OP1 peut ne pas être effectuée sur les disjoncteurs dont les caractéristiques d'arc ne nécessitent pas les essais au courant critique de 6.107.1 pour un courant inférieur à celui associé à la séquence T10 de défaut aux bornes.		

6.111 Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs

6.111.1 Cas d'application

Les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs sont applicables à tous les disjoncteurs auxquels une ou plusieurs des caractéristiques suivantes ont été assignées:

– pouvoir de coupure assigné de lignes à vide;
– pouvoir de coupure assigné de câbles à vide;
– pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs;
– pouvoir de coupure assigné de batteries de condensateurs à gradins;
– pouvoir de fermeture assigné de batterie unique de condensateurs;
– pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins.

Les valeurs recommandées pour les pouvoirs assignés d'établissement et de coupure de courants capacitifs sont données au tableau 5.

NOTE 1 La détermination des surtensions lors de l'enclenchement et de l'interruption de courants capacitifs n'est pas couverte par cette norme.

NOTE 2 Une note explicative concernant l'établissement et l'interruption de courants capacitifs est donnée en I.4.

6.111.2 Généralités

Les réallumages sont permis durant les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs. Deux classes de disjoncteurs sont définies selon leur performance relative au réamorçage:

Table 17 – Test-duties to demonstrate the out-of-phase rating

Test-duty	Operating sequence	Breaking current in per cent of the rated out-of-phase breaking current
OP1	O - O - O	30
OP2	CO - O - O or alternatively C* - C**O - O - O C* = C at full voltage C** = C at no-load	100
NOTE 1 For circuit-breakers fitted with closing resistors, the thermal capability of the closing resistors may be tested separately. NOTE 2 Test-duty OP1 may be omitted for those circuit-breakers whose arcing characteristics are such that critical current tests according to 6.107.1 at a current level lower than that one associated with terminal fault T10 are not required.		

6.111 Capacitive current switching tests

6.111.1 Applicability

Capacitive current switching tests are applicable to all circuit-breakers to which one or more of the following ratings have been assigned:

– rated line-charging breaking current;
– rated cable-charging breaking current;
– rated single-capacitor bank breaking current;
– rated back-to-back capacitor bank breaking current;
– rated single capacitor bank inrush making current;
– rated back-to-back capacitor bank inrush making current.

Preferred values of rated capacitive switching currents are given in table 5.

NOTE 1 The determination of overvoltages when switching capacitor currents is not covered by this standard.

NOTE 2 An explanatory note on capacitive current switching is given in I.4.

6.111.2 General

Re-ignitions during the capacitive current switching tests are permitted. Two classes of circuit-breakers are defined according to their restrike performances:

– classe C1: faible probabilité de réamorçage lors de l'interruption de courants capacitifs, tel que démontré par des essais de type spécifiques (6.111.9.2);

– classe C2: très faible probabilité de réamorçage lors de l'interruption de courants capacitifs, tel que démontré par des essais de type spécifiques (6.111.9.1).

NOTE 1 Le niveau de probabilité est relié à la performance obtenue lors des séries d'essais de type.

NOTE 2 Les phénomènes qui surviennent suite à un réamorçage ou un réallumage ne sont pas représentatifs des conditions de service, étant donné que les circuits d'essais ne reproduisent pas de manière adéquate les conditions de tensions apparaissant suite à de tels événements.

Pour les essais en laboratoire, les lignes et les câbles peuvent être partiellement ou complètement remplacés par des circuits artificiels avec des éléments concentrés: condensateurs, réactances, résistances.

La fréquence du circuit d'essais doit être la fréquence assignée avec une tolérance de ±2 %.

NOTE 3 Des essais effectués à 60 Hz peuvent être considérés pour démontrer les caractéristiques de coupure à 50 Hz.

NOTE 4 Des essais effectués à 50 Hz peuvent être considérés pour démontrer les caractéristiques de coupure à 60 Hz sous réserve que, pendant les premières 8,3 ms, la tension aux bornes du disjoncteur ne soit pas inférieure à celle qui existerait dans un essai à 60 Hz à la tension spécifiée. Si des réamorçages surviennent après 8,3 ms, à une tension instantanée supérieure à celle qui apparaîtrait lors d'un essai à 60 Hz à la tension spécifiée, il convient que la série d'essais soit répétée à 60 Hz.

NOTE 5 La spécification du circuit d'essais peut être remplacée par une spécification de la tension de rétablissement.

6.111.3 Caractéristiques des circuits d'alimentation

Le circuit d'essais doit remplir les exigences suivantes:

a) les caractéristiques du circuit d'essais doivent être telles que la variation de tension à la fréquence industrielle, lors de l'établissement et de l'interruption du courant, soit inférieure à 2 % pour la séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1) et inférieure à 5 % pour la séquence d'essais 2 (LC2, CC2 et BC2). Lorsque la variation de tension est supérieure aux valeurs spécifiées, il est permis, en variante, d'effectuer les essais avec la tension de rétablissement spécifiée (6.111.10) ou des essais synthétiques.

b) l'impédance du circuit d'alimentation ne doit pas être trop basse au point que son courant de court-circuit excède le pouvoir de coupure assigné en court-circuit du disjoncteur.

Pour les essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide, de câbles à vide, ou de batteries uniques de condensateurs, la tension transitoire de rétablissement présumée du circuit d'alimentation doit ne pas être plus sévère que la tension transitoire de rétablissement spécifiée en 6.104.5.2 pour la séquence d'essais en court-circuit T100.

Pour les essais de coupure de courants de batteries de condensateurs à gradins, la capacité du circuit d'alimentation et l'impédance entre les condensateurs du côté alimentation et du côté charge doivent être telles qu'elles donnent le pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins lors de l'essai à 100 % du pouvoir de coupure assigné de batteries de condensateurs à gradins.

NOTE 1 Si le disjoncteur est prévu pour être utilisé sur un réseau ayant une longueur appréciable de câbles du côté source d'alimentation, il convient d'utiliser un circuit d'alimentation comprenant cette capacité additionnelle associée.

NOTE 2 Pour les essais au pouvoir de coupure et de fermeture de batteries de condensateurs à gradins où des essais séparés d'établissement sont exécutés, on peut, pour les essais de coupure, choisir un circuit d'alimentation avec une capacité plus faible. Il convient toutefois de ne pas choisir une capacité trop faible afin que la tension transitoire de rétablissement du circuit d'alimentation ne dépasse pas celle qui est spécifiée pour la séquence d'essais en court-circuit de 6.104.5.2.

– class C1: low probability of restrike during capacitive current breaking as demonstrated by specific type tests (6.111.9.2);
– class C2: very low probability of restrike during capacitive current breaking as demonstrated by specific type tests (6.111.9.1).

NOTE 1 The probability is related to the performance during the series of type tests.

NOTE 2 Phenomena occurring after a restrike or a re-ignition event are not representative of service conditions as the test circuit does not adequately reproduce the post-event voltage conditions.

In laboratory tests the lines and cables may be partly or fully replaced by artificial circuits with lumped elements of capacitors, reactors or resistors.

The test circuit frequency shall be the rated frequency with a tolerance of ± 2 %.

NOTE 3 Tests at 60 Hz may be considered to prove the breaking characteristics at 50 Hz.

NOTE 4 Tests at 50 Hz may be considered to prove the characteristics at 60 Hz, provided that the voltage across the circuit-breaker is not less during the first 8,3 ms than it would be during a test at 60 Hz with the specified voltage. If restrikes occur after 8,3 ms, due to the instantaneous voltage being higher than it would be during a test at 60 Hz with the specified voltage, the test-duty should be repeated at 60 Hz.

NOTE 5 The specification of the circuits may be replaced by a specification of the recovery voltage.

6.111.3 Characteristics of supply circuits

The test circuit shall fulfil the following requirements:

a) the characteristics of the test circuit shall be such that the power frequency voltage variation, when switching, shall be less than 2 % for test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1) and less than 5 % for test-duty 2 (LC2, CC2 and BC2). Where the voltage variation is higher than the values specified, it is alternatively permissible to perform tests with the specified recovery voltage (6.111.10) or synthetic tests;
b) the impedance of the supply circuit shall not be so low that its short-circuit current exceeds the rated short-circuit current of the circuit-breaker.

For line-charging, cable-charging or single capacitor bank current switching tests the prospective transient recovery voltage of the supply circuit shall be no more severe than the transient recovery voltage specified for short-circuit T100 in 6.104.5.2.

For back-to-back capacitor bank breaking current tests, the capacitance of the supply circuit and the impedance between the capacitors on the supply and load sides shall be such as to give the rated capacitor bank inrush making current when testing with 100 % of the rated back-to-back capacitor bank breaking current.

NOTE 1 If a circuit-breaker is intended to be used in a system with appreciable lengths of cable on the supply side, a supply circuit incorporating appropriate additional capacitance should be used.

NOTE 2 For back-to-back capacitor bank switching current tests where separate making tests are performed, a lower capacitance of the supply circuit may be chosen for the breaking tests. The capacitance should, however, not be so low that the prospective transient recovery voltage of the supply side exceeds that specified for short-circuit in 6.104.5.2.

6.111.4 Mise à la terre du circuit d'alimentation

Pour les essais monophasés en laboratoire, l'une ou l'autre des bornes du circuit d'alimentation peut être mise à la terre. Toutefois, quand il est nécessaire d'assurer une répartition adéquate de la tension entre les éléments du disjoncteur, un autre point du circuit d'alimentation peut être mis à la terre.

Pour les essais en triphasé, la mise à la terre doit être indiquée ci-après:

a) pour les essais d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs, le point neutre du circuit d'alimentation doit être mis à la terre. Pour les batteries de condensateurs avec neutre mis à la terre, l'impédance homopolaire doit ne pas excéder le triple de l'impédance en séquence directe. Pour les batteries de condensateurs à neutre isolé, ce ratio n'est pas pertinent;

b) pour les essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide et de câbles à vide, la mise à la terre du circuit d'alimentation doit correspondre, en principe, aux conditions de mise à la terre des circuits sur lesquels le disjoncteur sera utilisé:

   – pour les essais en triphasé d'un disjoncteur prévu pour utilisation dans des réseaux à neutre à la terre, le point neutre du circuit d'alimentation doit être mis à la terre et son impédance homopolaire doit ne pas excéder le triple de l'impédance en séquence directe;

   – pour les essais en triphasé d'un disjoncteur prévu pour utilisation dans des réseaux à neutre isolé ou compensés par bobine d'extinction, le point neutre du circuit d'alimentation doit être isolé.

NOTE Pour des raisons de commodité de réalisation des essais, un autre circuit d'essais peut être utilisé à condition que le laboratoire d'essais puisse démontrer que des valeurs équivalentes de tensions de rétablissement seront obtenues. Par exemple, un circuit d'essais avec le neutre du circuit d'alimentation mis à la terre et une batterie de condensateurs à neutre isolé peuvent être remplacés, dans plusieurs cas, par un circuit d'essais dont le neutre du circuit d'alimentation est isolé et le neutre de la batterie de condensateurs mis à la terre.

De plus, il convient de porter une attention particulière à l'influence des condensateurs utilisés pour l'ajustement de la TTR du circuit d'alimentation sur les valeurs de la tension de rétablissement, particulièrement pour des courants capacitifs de faible amplitude. Le tableau 20 donne les valeurs requises de la tension de rétablissement.

6.111.5 Caractéristiques du circuit capacitif à établir et à couper

Les caractéristiques du circuit capacitif doivent être telles qu'avec tous les dispositifs de mesurage nécessaires, y compris les diviseurs de tension, la chute de tension aux bornes du disjoncteur ne dépasse pas 10 % à la fin d'un intervalle de temps de 300 ms après l'extinction définitive de l'arc.

Lorsque le circuit d'essais n’est pas capable de fournir la tension de rétablissement pendant 300 ms, la capacité de tenue du disjoncteur doit être démontrée d'une autre façon. Cette démonstration peut être effectuée en appliquant la tension de rétablissement requise, sans courant, une période à fréquence industrielle assignée après la séparation des contacts. Par exemple, la tension de rétablissement demandée peut être obtenue en appliquant une tension à composante continue sur une borne et une tension à composante alternative sur l'autre borne pendant la durée requise. Le nombre d'applications de tension doit être le même que le nombre de manœuvres d’ouverture de la séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1), réparti de manière égale entre les deux polarités. Lorsque les essais d’établissement et de coupure de courants capacitifs sont effectués en triphasé, cet essai diélectrique additionnel doit être effectué sur chacune des trois phases.

6.111.4 Earthing of the supply circuit

For single-phase laboratory tests, either terminal of the single-phase supply circuit can be earthed. However, when it is necessary to ensure that the correct voltage distribution exists between the units of the circuit-breaker, another point of the supply circuit may be connected to earth.

For three-phase tests the earthing shall be as follows:

a) for capacitor bank current switching tests, the neutral of the supply circuit shall be earthed. For capacitor banks with earthed neutral, the zero sequence impedance shall be no more than three times its positive sequence impedance. For isolated capacitor banks this ratio is not relevant;

b) for line-charging and cable-charging current switching tests, the earthing of the supply circuit shall, in principle, correspond to the earthing conditions in circuits for which the circuit-breaker is to be used:

   – for three-phase tests of a circuit-breaker intended for use in earthed neutral systems, the neutral point of the supply circuit shall be earthed and its zero sequence impedance shall be no more than three times its positive sequence impedance;

   – for three-phase tests of a circuit-breaker intended for use in isolated neutral and resonant earthed systems the neutral point of the supply side shall be isolated.

NOTE For convenience of testing, an alternative test circuit can be used as long as the testing authority can prove that equivalent values of the recovery voltage will be obtained, for example a test circuit with an earthed neutral system and an isolated capacitor bank can be replaced, in many cases, by a test circuit with an isolated neutral system and an earthed capacitor bank.

Moreover, attention should be given to the influence of TRV control capacitors on the values of the recovery voltage especially for low capacitive currents. Table 20 gives values of the required recovery voltage.

6.111.5 Characteristics of the capacitive circuit to be switched

The characteristics of the capacitive circuit shall, with all necessary measuring devices such as voltage dividers included, be such that the decay of the voltage across the circuit-breaker does not exceed 10 % at the end of an interval of 300 ms after final arc extinction.

Where the test circuit is unable to supply the recovery voltage for 300 ms, the withstand ability of the circuit-breaker shall be demonstrated in another way. This demonstration can be done by performing an additional test without current, applying the required recovery voltage one cycle of the power frequency after contact separation. The required recovery voltage can be obtained by applying, for example, a d.c. voltage at one terminal and an a.c. voltage to the other terminal for the required time duration. The number of voltage applications shall be the same as the number of opening operations in test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1), evenly distributed among the two polarities. Where the capacitive current switching tests are performed three-phase, this additional dielectric test shall be carried out on each of the three phases.

6.111.5.1 Essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide

Il y a trois possibilités:

a) essais en triphasé où il est possible d'utiliser des lignes en parallèle ou de remplacer partiellement ou complètement la ligne triphasée réelle par une batterie de condensateurs concentrée. La capacité résultante en séquence directe doit être approximativement égale à deux fois la capacité en séquence homopolaire pour les tensions assignées égales ou supérieures à 52 kV et trois fois la capacité en séquence homopolaire pour les tensions assignées inférieures à 52 kV;

b) essais en monophasé dans un circuit triphasé, avec deux phases du circuit capacitif reliées directement au circuit d'alimentation triphasé et une phase reliée au circuit d'alimentation par le pôle du disjoncteur en essai;

c) essais de laboratoire en monophasé, où il est permis de remplacer partiellement ou complètement les lignes réelles par des batteries de condensateurs concentrées et d'utiliser tout couplage en parallèle des conducteurs de phases avec courant de retour par la terre ou par un conducteur.

Lorsqu'on utilise des condensateurs pour simuler les lignes aériennes, une résistance non inductive, dont la valeur n'est pas supérieure à 5 % de l'impédance capacitive, peut être raccordée en série avec les condensateurs. Des valeurs plus élevées peuvent influer exagérément sur la tension de rétablissement. Si, la résistance étant connectée, la valeur de crête du courant d'appel est encore trop élevée, une autre impédance (par exemple du type LR) peut être utilisée à la place de la résistance, sous réserve que le courant et la tension à l'instant de la coupure, et la tension de rétablissement, ne diffèrent pas sensiblement des valeurs spécifiées.

Il faut être prudent lorsqu'on utilise de telles impédances étant donné qu'elles peuvent causer une surtension après un réallumage, ce qui peut donner lieu à d'autres réallumages ou à des réamorçages.

6.111.5.2 Essais d'établissement et de coupure de courants de câbles à vide

Des condensateurs peuvent être utilisés pour simuler des câbles à champ radial et des câbles à ceinture. Pour des essais en triphasé représentant des câbles à ceinture à trois âmes, la capacité en séquence directe doit être approximativement le double de la capacité en séquence homopolaire.

Lorsqu'on utilise des condensateurs pour simuler les câbles, une résistance non inductive, dont la valeur n'est pas supérieure à 5 % de l'impédance capacitive, peut être raccordée en série avec les condensateurs. Des valeurs plus élevées peuvent influer exagérément sur la tension de rétablissement. Si, la résistance étant connectée, la valeur de crête du courant d'appel est encore trop élevée, une autre impédance (par exemple du type LR) peut être utilisée à la place de la résistance, sous réserve que le courant et la tension à l'instant de la coupure, et la tension de rétablissement, ne diffèrent pas sensiblement des valeurs spécifiées.

Il faut être prudent lorsqu'on utilise de telles impédances étant donné qu'elles peuvent causer une surtension après un réallumage, ce qui peut donner lieu à d'autres réallumages ou à des réamorçages.

NOTE Une courte ligne aérienne peut être utilisée en série avec un câble pour les essais à condition que le courant de ligne à vide ne dépasse pas 1 % du courant de câble à vide.

6.111.5.1 Line-charging current switching tests

There are three possibilities:

a) three-phase tests, where it is permissible to use parallel lines or to partly, or fully, replace the real three-phase line with concentrated capacitor banks. The resulting positive sequence capacitance shall be approximately twice the zero sequence capacitance for rated voltages 52 kV and above, and three times the zero sequence capacitance for rated voltages less than 52 kV;

b) single-phase tests in a three-phase test circuit with two phases of the capacitive circuit connected directly to the three-phase supply circuit and one phase connected to the supply circuit through the circuit-breaker pole to be tested;

c) single-phase laboratory tests, where it is allowed to replace partly or fully the real lines by concentrated capacitor banks and to use any parallel connection of the conductors in the individual phases with the return current through earth or through a conductor.

When capacitors are used to simulate overhead lines a non-inductive resistor of a maximum value of 5 % of the capacitive impedance may be inserted in series with the capacitors. Higher values may unduly influence the recovery voltage. If, with this resistor connected, the peak inrush current is still unacceptably high, then an alternative impedance (for example LR) may be used instead of the resistor, provided that the current and voltage conditions at the instant of breaking and the recovery voltage do not differ significantly from the specified values.

Caution is needed when using such alternative impedances, since this impedance can generate an overvoltage after re-ignition, which may lead to further re-ignitions or restrikes.

6.111.5.2 Cable-charging current switching tests

Capacitors may be used to simulate screened and belted cables. For three-phase tests representing three-core belted cables, the positive sequence capacitance shall be approximately twice the zero sequence capacitance.

When capacitors are used to simulate cables, a non-inductive resistor of a maximum value of 5 % of the capacitive impedance may be inserted in series with the capacitors. Higher values may unduly influence the recovery voltage. If, with this resistor connected, the peak inrush current is still unacceptably high, then an alternative impedance (for example LR) may be used instead of the resistor, provided that the current and voltage conditions at the instant of breaking and the recovery voltage do not differ significantly from the specified values.

Caution is needed when using such alternative impedances, since this impedance can generate an overvoltage after re-ignition, which may lead to further re-ignitions or restrikes.

NOTE A short overhead line may be used in series with a cable for the tests, provided the line charging current does not exceed 1 % of the cable charging current.

6.111.5.3 Essais d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs

Le neutre des condensateurs doit être isolé, sauf pour les tensions assignées égales ou supérieures à 52 kV; dans ce cas, les conditions de mise à la terre des condensateurs en essai doivent être les mêmes que lorsque les condensateurs sont en service si le disjoncteur est prévu pour être utilisé dans des réseaux à neutre à la terre.

6.111.6 Forme d'onde du courant

La forme d'onde du courant à interrompre devrait être aussi voisine que possible d'une sinusoïde. Cette condition est considérée comme remplie si le rapport de la valeur efficace du courant à la valeur efficace de la composante fondamentale ne dépasse pas 1,2.

Le courant à interrompre ne doit pas passer par zéro plus d'une fois par demi période à fréquence industrielle.

6.111.7 Tension d'essai

Pour des essais directs en triphasé et pour des essais en monophasé avec le circuit capacitif à couper suivant la disposition du point b) de 6.111.5.1, la tension d'essai mesurée entre les phases au niveau du disjoncteur immédiatement avant l'ouverture ne doit pas être inférieure à la tension assignée U_r du disjoncteur.

Pour les essais directs en monophasé en laboratoire, la tension mesurée au niveau du disjoncteur immédiatement avant l'ouverture ne doit pas être inférieure au produit de $U_r / \sqrt{3}$ par le facteur de tension capacitif k_c suivant:

a) **1,0** pour les essais correspondant au service normal dans les réseaux à neutre à la terre sans influence mutuelle significative entre phases voisines du circuit capacitif, typiquement des batteries de condensateurs à neutre mis à la terre et des câbles à champ radial.

b) **1,2** pour les essais sur les câbles à ceinture et pour les essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide suivant le point c) de 6.111.5.1, correspondant aux conditions normales de service dans les réseaux à neutre à la terre pour les tensions assignées égales ou supérieures à 52 kV.

c) **1,4** pour les essais correspondant à

   – la coupure dans les conditions normales de service dans des réseaux autres qu'à neutre à la terre;

   – la coupure de courants de batteries de condensateurs à neutre isolé.

   De plus, le facteur **1,4** s'applique pour les essais sur câbles à ceinture et pour les essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide suivant le point c) de 6.111.5.1, correspondant aux conditions normales de service dans les réseaux à neutre à la terre pour les tensions assignées inférieures à 52 kV.

Lorsque la vérification du pouvoir de coupure de courants capacitifs en présence de défauts phase-terre ou de défauts biphasés à la terre est requise, les facteurs suivants s'appliquent (voir aussi 6.111.9.3 pour les courants d'essais).

d) **1,4** pour les essais correspondant à la coupure en présence de défauts monophasés ou biphasés à la terre dans un réseau à neutre à la terre.

e) **1,7** pour les essais correspondant à la coupure dans les réseaux autres qu'à neutre à la terre en présence de défauts monophasés ou biphasés à la terre.

Pour les essais sur éléments séparés, la tension d'essai doit être choisie de façon à correspondre à l'élément le plus contraint du pôle de disjoncteur.

6.111.5.3 Capacitor bank current switching tests

The neutral of the capacitor shall be isolated except that, for rated voltages equal to or above 52 kV, the earthing conditions of the test capacitor shall be the same as for the capacitor when in service if the circuit-breaker is intended for use in earthed neutral systems.

6.111.6 Waveform of the current

The waveform of the current to be broken should, as nearly as possible, be sinusoidal. This condition is considered to be complied with if the ratio of the r.m.s. value of the current to the r.m.s. value of the fundamental component does not exceed 1,2.

The current to be interrupted shall not go through zero more than once per half-cycle of power frequency.

6.111.7 Test voltage

For direct three-phase tests and for single-phase tests with the capacitive circuit to be switched according to the arrangement in item b) of 6.111.5.1, the test voltage measured between the phases at the circuit-breaker location immediately prior to opening shall be not less than the rated voltage U_r of the circuit-breaker.

For direct single-phase laboratory tests, the test voltage measured at the circuit-breaker location immediately before the opening shall be not less than the product of $U_r/\sqrt{3}$ and the following capacitive voltage factor k_c:

a) **1,0** for tests corresponding to normal service in earthed neutral systems without significant mutual influence of adjacent phases of the capacitive circuit, typically capacitor banks with earthed neutral and screened cables.

b) **1,2** for tests on belted cables and for line-charging current switching tests according to item c) of 6.111.5.1 corresponding to normal service conditions in earthed neutral systems for rated voltages 52 kV and above.

c) **1,4** for tests corresponding to

   – breaking during normal service conditions in systems other than earthed neutral systems;

   – breaking of capacitor banks with isolated neutral.

   Moreover, the factor **1,4** will be applied for tests on belted cables and for line-charging current switching according to item c) of 6.111.5.1 corresponding to normal service conditions in earthed neutral systems for rated voltages less than 52 kV.

Where verification of capacitive current switching is required in presence of single or two-phase earth faults, the following factors apply (see also 6.111.9.3 for the test currents).

d) **1,4** for tests corresponding to breaking in the presence of single or two-phase earth faults in earthed neutral systems;

e) **1,7** for tests corresponding to breaking in systems other than earthed neutral systems in the presence of single or two-phase earth faults.

For unit tests, the test voltage shall be chosen to correspond to the most stressed unit of the pole of the circuit-breaker.

La tension d'essai à fréquence industrielle et la tension continue résultant de la charge résiduelle sur le circuit capacitif doivent être maintenues pendant une durée d'au moins 0,3 s après la coupure.

NOTE 1 Les facteurs de tension indiqués ci-dessus en b) et c) sont applicables aux lignes de construction monoterne. Les exigences relatives aux essais d'établissement et de coupure des lignes comportant plusieurs circuits ne peuvent être supérieures qu'à ces facteurs.

NOTE 2 Quand la non simultanéité de séparation des contacts entre les différents pôles du disjoncteur dépasse un sixième de période de la fréquence assignée, il est recommandé d'accroître le facteur de tension ou d'effectuer seulement des essais en triphasé.

6.111.8 Courant d'essais

Les valeurs recommandées de courants capacitifs assignés sont données au tableau 5.

6.111.9 Séquences d'essais

Les séquences d'essais de chaque série d'essais doivent être effectuées sur un spécimen sans aucune remise en état. Les abréviations suivantes s'appliquent:

– courant de lignes à vide, séquence d'essais 1 LC1
– courant de lignes à vide, séquence d'essais 2 LC2
– courant de câbles à vide, séquence d'essais 1 CC1
– courant de câbles à vide, séquence d'essais 2 CC2
– courant de batteries de condensateurs, séquence d'essais 1 BC1
– courant de batteries de condensateurs, séquence d'essais 2 BC2

6.111.9.1 Conditions d'essais pour les disjoncteurs de classe C2

6.111.9.1.1 Séquences d'essais pour la classe C2

Les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs pour les disjoncteurs de classe C2 doivent être effectués après avoir réalisé, comme essais de conditionnement, la séquence d'essais T60 (T60 est fonction du pouvoir de coupure assigné en court-circuit du disjoncteur). Le montage d'essais devrait être tel que la condition du disjoncteur ne soit pas perturbée entre les essais. Cependant, si ce n'est pas possible et que les règles de sécurité locales exigent la dépressurisation pour pouvoir avoir accès à la cellule d'essais, il est alors permis de diminuer la pression dans le disjoncteur à condition que le même gaz soit réutilisé lors du remplissage suivant du disjoncteur.

En variante, les essais de préconditionnement peuvent être effectués comme suit:

– même courant d'essai que la séquence d'essais T60;
– essais à basse tension sans application de la TTR spécifiée;
– trois essais d'ouverture;
– durées d'arc: les mêmes que celles obtenues lors de la séquence d'essais T60 ou celles annoncées par le constructeur pour la séquence d'essais T60;
– essais aux conditions de manœuvres assignées ou minimales.

NOTE 1 Pour des considérations pratiques, pour les disjoncteurs de tensions assignées inférieures à 52 kV, le constructeur peut choisir d'ajouter d'autres séquences d'essais à la séquence d'essais T60 comme essais de conditionnement.

NOTE 2 Si plusieurs essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs sont effectués, par exemple, essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide, de câbles à vide et de batteries de condensateurs sans aucune remise en état du disjoncteur, alors les essais de préconditionnement selon la séquence d'essais T60 ne doivent être effectués qu'une seule fois, et ce, avant tout essai d'établissement et de coupure de courants capacitifs.

The power frequency test voltage and the d.c. voltage resulting from the trapped charge on the capacitive circuit shall be maintained for a period of at least 0,3 s after breaking.

NOTE 1 The voltage factors in b) to c) above are applicable to single circuit line construction. Switching test requirements for multiple circuit overhead line constructions may be greater than these factors.

NOTE 2 When the non-simultaneity of contact separation in the different poles of the circuit-breaker exceeds one sixth of the cycle of the rated frequency, it is recommended to raise further the voltage factor or to make only three-phase tests.

6.111.8 Test current

Preferred values of rated capacitive currents are specified in table 5.

6.111.9 Test-duties

The test-duties of each test series shall be performed on one specimen without any maintenance. The following abbreviations apply:

– line-charging current, test-duty 1 LC1
– line-charging current, test-duty 2 LC2
– cable-charging current, test-duty 1 CC1
– cable-charging current, test-duty 2 CC2
– capacitor bank current, test-duty 1 BC1
– capacitor bank current, test-duty 2 BC2

6.111.9.1 Test conditions for class C2 circuit-breakers

6.111.9.1.1 Class C2 test-duties

Capacitive current switching tests for class C2 circuit-breakers shall be made after performing test-duty T60 as a preconditioning test (T60 is related to the rated breaking capability of the circuit-breaker). The test arrangement should be such that no interference with the circuit-breaker between the tests is necessary. However, if this is not possible and local safety rules require depressurising to enter the test cell, it is allowed to decrease the pressure in the circuit-breaker provided that the gas is reused when refilling the circuit-breaker.

As an alternative, the preconditioning test may consist of the following:

– same current as test-duty T60;
– low voltage and no specified TRV;
– three opening operations;
– arcing time: as for T60 or expected T60 arcing time values given by the manufacturer;
– rated or lock-out conditions.

NOTE 1 For practical reasons, for circuit-breakers rated less than 52 kV, the manufacturer may choose to add other test-duties to the T60 preconditioning tests.

NOTE 2 If several capacitive current switching tests, for instance line-charging, cable-charging and capacitor bank current switching tests, are performed with the same circuit-breaker without reconditioning, the T60 preconditioning tests must be performed only once at the beginning of the capacitive current switching test.

Les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs comprennent les séquences d'essais spécifiées au tableau 18.

Tableau 18 – Séquences d'essais pour la classe C2

Séquence d'essais	Tension appliquée aux déclencheurs	Pression des fluides pour la manœuvre et la coupure	Courant d'essai en pourcentage du pouvoir de coupure assigné de courants capacitifs %	Type de manœuvre ou séquence de manœuvres
1: LC1, CC1et BC1	Tension maximale	Pression minimale	10 à 40	O
2: LC2, CC2et BC2	Tension maximale	Pression assignée	Non inférieur à 100	O et CO ou CO
NOTE 1 Les essais sont effectués avec la tension maximale des déclencheurs de façon à obtenir un meilleur contrôle lors des manœuvres d'ouverture. NOTE 2 Pour des raisons de commodité de réalisation des essais, les cycles de manœuvres CO peuvent être effectuées au cours de la séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1).				

Pour les disjoncteurs dont les éléments de coupure sont scellés à vie, la pression minimale pour l'interruption est remplacée par la pression nominale pour l'interruption moins la chute de pression due aux fuites durant la vie de l'appareil. Pour les disjoncteurs à vide, les conditions de pression pour l'interruption ne sont pas applicables.

Pour les essais d'établissement-coupure, les contacts du disjoncteur doivent ne pas être séparés tant que subsistent des courants transitoires. Pour obtenir cela, le temps entre les manœuvres de fermeture et d'ouverture peut être ajusté mais doit demeurer le plus près possible de la durée de fermeture-ouverture telle que définie en 3.7.143.

Aucune charge appréciable ne doit subsister sur les circuits capacitifs avant les manœuvres d'établissement.

Pour tous les essais d'établissement de batteries de condensateurs, la fermeture doit survenir dans les limites de 15° de la crête de la tension appliquée (sur une phase pour les essais en triphasé). Lorsque il est applicable, le courant établi doit être au moins égal au pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins.

Lorsque, en raison des limitations de la station d'essais, il n'est pas possible de satisfaire aux prescriptions d'un cycle de manœuvre CO, il est alors permis, pour satisfaire les exigences de la séquence d'essais 2 (LC2, CC2 et BC2), d'effectuer une série séparée d'essais d'établissement suivie d'une série d'essais comportant des manœuvres CO.

La série séparée d'essais d'établissement doit comprendre les conditions suivantes:

– le même nombre de manœuvres;
– lorsque il est applicable, le courant établi doit être égal au pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins;
– la tension d'essais doit être la même que celle de la séquence d'essais 2 (LC2, CC2 et BC2);
– la fermeture doit survenir dans les limites de 15° de la crête (sur une même phase pour les essais en triphasé).

Après la série séparée d'essais d'établissement, les cycles de manœuvres CO, suivant la même procédure des essais d'établissement séparés, doivent être réalisés avec des manœuvres de fermeture à vide.

The capacitive current switching tests shall consist of the test-duties as specified in table 18.

Table 18 – Class C2 test-duties

Test-duty	Operating voltage of the releases	Pressure for operation and interruption	Test current as percentage of the rated capacitive breaking current %	Type of operation or operating sequence
1: LC1, CC1 and BC1	Maximum voltage	Minimum functional pressure	10 to 40	O
2: LC2, CC2 and BC2	Maximum voltage	Rated pressure	Not less than 100	O and CO or CO
NOTE 1 The tests are performed at maximum operating voltage of the releases in order to facilitate consistent control of the opening operation. NOTE 2 For convenience of testing, CO operating cycles may be performed in test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1).				

For sealed-for-life fluid circuit-breakers, the minimum functional pressure is replaced by the rated pressure for interruption less the pressure drop due to leakage during life duration. For vacuum circuit-breakers the pressure conditions for interruption are not applicable.

For make-break tests, the contacts of the circuit-breaker shall not be separated until the transient currents have subsided. To achieve this, the time between the closing and the opening operations may need to be adjusted but shall remain as close as possible to the close-open time as defined in 3.7.143.

No appreciable charge shall remain on the capacitive circuits before the making operations.

For all capacitor bank making operations, the making shall occur within 15° of the peak value of applied voltage (on one phase for three-phase tests). When applicable, the making current shall be at least equal to the rated back-to-back capacitor bank inrush making current.

Where due to limitations of the test plant it is not possible to comply with the requirements during the CO operating cycles, then it is permitted to perform the requirements of test-duty 2 (LC2, CC2 and BC2) as a series of separate making tests followed by a series of CO tests.

The separate making tests of this test series shall comprise the following:

– the same number of operations;
– when applicable, the making current shall be equal to the rated back-to-back capacitor bank inrush making current;
– the test voltage shall be the same as for test-duty 2 (LC2, CC2 and BC2);
– closing shall occur within 15° of the peak value (on the same phase for three-phase tests).

After the separate making operations, the CO operating cycles, following the same procedure for the separate making tests described previously, shall be performed with no-load conditions on the closing.

NOTE 3 Lors de l'établissement et de la coupure de courants capacitifs, la manœuvre d'ouverture dans un cycle de manœuvres CO n'est pas influencée par le préamorçage lors de la manœuvre de fermeture précédente mais peut être affectée par le comportement du fluide utilisé pour l'interruption lors d'une manœuvre de fermeture (par exemple, différences locales de densité, turbulences, mouvement du fluide). Par conséquent, les manœuvres de fermeture et d'ouverture peuvent être séparées comme mentionné ci-dessus si on considère seulement les contraintes électriques, mais ne peuvent l'être si on considère la dynamique du fluide d'extinction. Une manœuvre de fermeture à vide précédant la manœuvre d'ouverture est donc nécessaire pour ces raisons.

L'amortissement présumé du courant d'appel lors de manœuvres de batteries de condensateurs à gradins, c'est-à-dire le rapport entre la deuxième crête et la première crête de même polarité, doit être égal ou supérieur à 0,75 pour les disjoncteurs de tensions assignées inférieures à 52 kV et égal ou supérieur à 0,85 pour les disjoncteurs de tensions assignées égales ou supérieures à 52 kV.

Pour les manœuvres d'ouverture, la durée d'arc minimale est déterminée en faisant varier le moment de la séparation des contacts lors de l'ouverture par intervalles d'environ 6°. Par cette méthode, il peut être nécessaire d'effectuer plusieurs essais pour démontrer la durée d'arc minimale et la durée d'arc maximum.

NOTE 4 Avec l'accord du constructeur, des tensions supérieures à la limite maximale des tensions d'alimentation des déclencheurs peuvent être utilisées durant ces essais de façon à obtenir des durées d'ouverture et de fermeture stables.

Si une durée d'arc maximum est obtenue au lieu de la durée d'arc minimale visée, l'essai est valable et doit être inclus dans le nombre total d'essais requis. Lors d'un tel événement, les actions suivantes sont nécessaires:

– avancer l'ordre d'ouverture de 6° et répéter l'essai. Le nouveau réglage doit être conservé pour les autres essais avec la durée d'arc minimale;
– faire un essai d'ouverture en moins de façon à obtenir le même nombre total d'essais.

Le nombre de manœuvres avec la durée d'arc minimale, demandé en 6.111.9.1.2, 6.111.9.1.3, 6.111.9.1.4 et 6.111.9.1.5, doit être obtenu même si le nombre total de manœuvres est dépassé.

Un réallumage suivi par une interruption à un zéro de courant ultérieur doit être considéré comme une coupure avec une durée d'arc longue.

L'ordre recommandé pour les séquences d'essais d'établissement et de coupure de lignes à vide et de câbles à vide est le suivant:

– essais de court-circuit selon la séquence d'essais T60 (obligatoire au début de la série d'essais);
– essais de coupure de courants capacitifs, séquence d'essais 1 (LC1 ou CC1);
– essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs, séquence d'essais 2 (LC2 ou CC2).

L'ordre obligatoire pour les séquences d'essais d'établissement et de coupure de batteries de condensateurs (uniques ou à gradins) est le suivant:

– essais de court-circuit selon la séquence d'essais T60;
– essais d'établissement et coupure de courants capacitifs, séquence d'essais 2 (BC2);
– essais de coupure de courants capacitifs, séquence d'essais 1 (BC1).

Pour chacune des séquences d'essais, l'ordre des manœuvres tel qu'indiqué de 6.111.9.1.2 à 6.111.9.1.5 est suggéré mais non obligatoire.

Pour les disjoncteurs ayant un arrangement asymétrique des pièces de passage de courant, le raccordement des bornes au circuit d'essais doit être inversé entre la séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1) et la séquence d'essais 2 (LC2, CC2 et BC2).

NOTE 3 When switching capacitive currents, the opening operation in a CO operating cycle is not influenced by the pre-arc of the preceding closing operation but may be impacted by the actual behaviour of the fluid for interruption caused by the closing operation (for example, local differences in density, turbulence, fluid motion). Therefore, the closing and the opening operations may be separated as mentioned above with regard to the electrical stress but not with regard to the motion conditions of the fluid for interruption. A no-load closing operation prior to the opening operation is necessary for these reasons.

The prospective damping factor for the inrush current during back-to-back switching, i.e. the ratio between the second peak and the first peak of the same polarity, shall be equal to or greater than 0,75 for circuit-breakers having a rated voltage less than 52 kV and equal to or greater than 0,85 for circuit-breakers having a rated voltage equal to or greater than 52 kV.

For opening operations, the minimum arcing time is determined by changing the setting of the contact separation on opening by periods of approximately 6°. Using this method, several tests may be necessary to demonstrate the minimum arcing time and the maximum arcing time.

NOTE 4 In order to obtain more consistent opening and closing times of the circuit-breaker, by agreement of the manufacturer voltages even higher than the relevant upper tolerance limit of the supply voltages of the operating devices may be applied during these tests.

If a maximum arcing time is obtained instead of an expected minimum arcing time this is a valid test and shall be included in the count for the total requirement. In such an event, the following will be necessary:

– advance the setting of the control of the tripping impulse by 6° and repeat the test. The new setting shall be kept for other tests at minimum arcing time;
– make one less opening operation to retain the overall total count of tests.

The number of operations at minimum arcing time as stated in 6.111.9.1.2, 6.111.9.1.3, 6.111.9.1.4 and 6.111.9.1.5 shall be achieved, even if the specified total number of operations is exceeded.

A re-ignition followed by interruption at a later current zero shall be treated as a breaking operation with long arcing time.

The preferred order for the line-charging or cable-charging current switching tests is as follows:

– terminal fault T60 (mandatory at the beginning);
– capacitive current switching, test-duty 1 (LC1 or CC1);
– capacitive current switching, test-duty 2 (LC2 or CC2).

The mandatory order for capacitor bank (single or back-to-back) current switching tests is as follows:

– terminal fault T60;
– capacitive current switching, test-duty 2 (BC2);
– capacitive current switching, test-duty 1 (BC1).

Within each test-duty, the order of the operations as written in 6.111.9.1.2 to 6.111.9.1.5 is suggested but not mandatory.

For circuit-breakers with a non-symmetrical current path, the terminal connections shall be reversed between test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1) and test-duty 2 (LC2, CC2 and BC2).

Lorsque les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs sont effectués pour une certaine valeur assignée ou un type d'application (par exemple établissement et coupure de courants de lignes à vide), l'essai peut être aussi valable pour une valeur assignée différente ou un autre type d'application (par exemple établissement et coupure de courants de câbles à vide) sans essai additionnel à condition que les valeurs spécifiées soient couvertes par ces essais en tenant compte des tolérances spécifiées.

6.111.9.1.2 Essais triphasés d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide et de câbles à vide

Chacune des séquences d'essais doit comprendre un total de 24 manœuvres ou cycles de manœuvres effectués comme suit:

Séquence d'essais 1 (LC1 et CC1):

– 4 O distribuées dans une polarité (intervalle: 15°);
– 6 O avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
– 4 O distribuées dans l'autre polarité (intervalle: 15°);
– 6 O avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
– essais additionnels distribués pour obtenir 24 O (intervalle: 15°).

Séquence d'essais 2 (LC2 et CC2):

– 4 CO distribuées dans une polarité (intervalle: 15°);
– 6 CO avec la durée d'arc minimale une polarité;
– 4 CO distribuées dans l'autre polarité (intervalle: 15°);
– 6 CO avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
– essais additionnels distribués pour obtenir 24 CO (intervalle: 15°).

Pendant ces essais, toutes les durées d'arc minimales doivent être obtenues sur la même phase.

Les manœuvres C peuvent être effectuées à vide. Dans ce cas, une série d'essais d'établissement séparée selon 6.111.9.1.1 doit être effectuée.

NOTE Si, à cause de la durée d'ouverture du disjoncteur, il n'est pas possible d'obtenir un contrôle précis du moment de la séparation des contacts, alors l'exigence d'obtenir les durées d'arc minimales sur la même phase peut être omise.

6.111.9.1.3 Essais monophasés d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide et de câbles à vide

Chacune des séquences d'essais doit comprendre un total de 48 manœuvres ou cycles de manœuvres effectués comme suit:

Séquence d'essais 1 (LC1 et CC1):

– 12 O distribuées dans une polarité (intervalle: 15°);
– 6 O avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
– 12 O distribuées dans l'autre polarité (intervalle: 15°);
– 6 O avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
– essais additionnels distribués pour obtenir 48 O (intervalle: 15°).

Where the capacitive current switching tests are performed for a certain rating or type of application (e.g. line-charging current switching test) the test may be valid also for a different rating or another type of application (e.g. cable-charging current switching test) without additional testing, if the specified values are covered by these tests taking the stated tolerances into account.

6.111.9.1.2 Three-phase line-charging and cable-charging current switching tests

Each test-duty shall comprise a total of 24 operations or operating cycles as follows:

Test-duty 1 (LC1 and CC1):

– 4 O, distributed on one polarity (step: 15°);
– 6 O at minimum arcing time on one polarity;
– 4 O, distributed on the other polarity (step: 15°);
– 6 O at minimum arcing time on the other polarity;
– additional tests to achieve 24 O, distributed (step: 15°).

Test-duty 2 (LC2 and CC2):

– 4 CO, distributed on one polarity (step: 15°);
– 6 CO at minimum arcing time on one polarity;
– 4 CO, distributed on the other polarity(step: 15°);
– 6 CO at minimum arcing time on the other polarity;
– additional tests to achieve 24 CO, distributed (step: 15°).

During these tests, all minimum arcing times shall occur on the same phase.

The C operations may be no-load operations. In this case a series of separate making tests according to 6.111.9.1.1 shall be performed.

NOTE If the opening time of the circuit-breaker prevents accurate control of contact separation, the requirement for minimum arcing times to be on the same phase can be ignored.

6.111.9.1.3 Single-phase line-charging and cable-charging current switching tests

Each test-duty shall comprise a total requirement of 48 operations or operating cycles as follows:

Test-duty 1 (LC1 and CC1):

– 12 O, distributed on one polarity (step: 15°);
– 6 O at minimum arcing time on one polarity;
– 12 O, distributed on the other polarity (step: 15°);
– 6 O at minimum arcing time on the other polarity;
– additional tests to achieve 48 O, distributed (step:15°).

Séquence d'essais 2 (LC2 et CC2):

– 6 O et 6 CO distribuées dans une polarité (intervalle: 30°);
– 3 O et 3 CO avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
– 6 O et 6 CO distribuées dans l'autre polarité (intervalle: 30°);
– 3 O et 3 CO avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
– essais additionnels distribués pour obtenir 24 O et 24 CO (intervalle: 30°).

Les manœuvres C peuvent être effectuées à vide. Dans ce cas, une série d'essais d'établissement séparée, selon 6.111.9.1.1, doit être effectuée.

6.111.9.1.4 Essais triphasés d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs (uniques ou à gradins)

La séquence d'essais 1 (BC1) doit comprendre un total de 24 essais O. La séquence d'essais 2 (BC2) doit comprendre un total de 80 essais CO comme suit:

Séquence d'essais 1 (BC1):

– 4 O distribuées dans une polarité (intervalle: 15°);
– 6 O avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
– 4 O distribuées dans l'autre polarité (intervalle: 15°);
– 6 O avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
– essais additionnels distribués pour obtenir 24 O (intervalle: 15°).

Séquence d'essais 2 (BC2):

– 4 CO distribuées dans une polarité (intervalle: 15°);
– 32 CO avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
– 4 CO distribuées dans l'autre polarité (intervalle: 15°);
– 32 CO avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
– essais additionnels distribués pour obtenir 80 CO (intervalle: 15°).

Durant ces essais, toutes les durées d'arc minimales doivent être obtenues sur la même phase.

Les manœuvres C peuvent être effectuées à vide. Dans ce cas, une série d'essais d'établissement séparée, selon 6.111.9.1.1, doit être effectuée.

NOTE Si, à cause de la durée d'ouverture du disjoncteur, il n'est pas possible d'obtenir un contrôle précis du moment de la séparation des contacts, alors l'exigence d'obtenir les durées d'arc minimales sur la même phase peut être omise.

6.111.9.1.5 Essais monophasés d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs (unique ou à gradins)

La séquence d'essais 1 (BC1) doit comprendre un total de 48 essais O. La séquence d'essais 2 (BC2) doit comprendre un total de 120 essais CO.

Séquence d'essais 1 (BC1):

– 12 O distribuées dans une polarité (intervalle: 15°);
– 6 O avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
– 12 O distribuées dans l'autre polarité (intervalle: 15°);
– 6 O avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
– essais additionnels distribués pour obtenir 48 O (intervalle: 15°).

Test-duty 2 (LC2 and CC2):

– 6 O and 6 CO, distributed on one polarity (step 30°);
– 3 O and 3 CO at minimum arcing time on one polarity;
– 6 O and 6 CO, distributed on the other polarity (step: 30°);
– 3 O and 3 CO at minimum arcing time on the other polarity;
– additional tests to achieve 24 O and 24 CO, distributed (step:30°).

The C operations may be no-load operations. In this case a series of separate making tests according to 6.111.9.1.1 shall be performed.

6.111.9.1.4 Three-phase capacitor bank (single or back-to-back) current switching tests

Test-duty 1 (BC1) shall comprise a total of 24 O tests. Test-duty 2 (BC2) shall comprise a total of 80 CO tests as follows:

Test-duty 1 (BC1):

– 4 O, distributed on one polarity (step:15°);
– 6 O at minimum arcing time on one polarity;
– 4 O, distributed on the other polarity (step: 15°);
– 6 O at minimum arcing time on the other polarity;
– additional tests to achieve 24 O, distributed (step: 15°).

Test-duty 2 (BC2):

– 4 CO, distributed on one polarity (step 15°);
– 32 CO at minimum arcing time on one polarity;
– 4 CO, distributed on the other polarity (step: 15°);
– 32 CO at minimum arcing time on the other polarity;
– additional tests to achieve 80 CO, distributed (step:15°).

During these tests, all minimum arcing times shall be obtained on the same phase.

The C operations may be no-load operations. In this case a series of separate making tests according to 6.111.9.1.1 shall be performed.

NOTE If the opening time of the circuit-breaker prevents accurate control of contact separation, the requirement for minimum arcing times to be on the same phase can be ignored.

6.111.9.1.5 Single-phase capacitor bank (single or back-to-back) current switching tests

Test-duty 1 (BC1) shall comprise a total of 48 O tests. Test-duty 2 (BC2) shall comprise a total of 120 CO tests.

Test-duty 1 (BC1):

– 12 O, distributed on one polarity (step: 15°);
– 6 O at minimum arcing time on one polarity;
– 12 O, distributed on the other polarity(step: 15°);
– 6 O at minimum arcing time on the other polarity;
– additional tests to achieve 48 O, distributed (step: 15°).

Séquence d'essais 2 (BC2):

– 12 CO distribuées dans une polarité (intervalle: 15°);
– 42 CO avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
– 12 CO distribuées dans l'autre polarité (intervalle: 15°);
– 42 CO avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
– essais additionnels distribués pour obtenir 120 CO (intervalle: 15°).

Les manœuvres C peuvent être effectuées à vide. Dans ce cas, une série d'essais d'établissement séparée, selon 6.111.9.1.1, doit être effectuée.

6.111.9.2 Conditions d'essais pour les disjoncteurs de classe C1

6.111.9.2.1 Séquences d'essais pour la classe C1

Les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs pour les disjoncteurs de classe C1 doivent comprendre les séquences d'essais spécifiées dans le tableau 19 sans essais de conditionnement (6.111.9.1.1).

Pour les essais d'établissement-coupure, les contacts du disjoncteur doivent ne pas être séparés tant que subsistent des courants transitoires. Pour obtenir cela, le temps entre les manœuvres de fermeture et d'ouverture peut être ajusté mais doit demeurer le plus près possible de la durée de fermeture-ouverture telle que définie en 3.7.143.

Aucune charge appréciable ne doit subsister sur les circuits capacitifs avant les manœuvres d'établissement.

Pour tous les essais d'établissement de batteries de condensateurs, la fermeture doit survenir dans les limites de ±15° de la crête de la tension appliquée (sur une phase pour les essais en triphasé). Lorsqu'il est applicable, le courant établi doit être au moins égal au pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins.

Lorsque, à cause des limitations de la station d'essais, il n'est pas possible de satisfaire aux prescriptions d'un cycle de manœuvres CO, il est alors permis, pour satisfaire les exigences de la séquence d'essais 2 (LC2, CC2 et BC2), d'effectuer une série séparée d'essais d'établissement suivie par une série d'essais comportant des manœuvres CO.

Tableau 19 – Séquences d'essais pour la classe C1

Séquence d'essais	Tension appliquée aux déclencheurs	Pression des fluides pour la manœuvre et l'interruption	Courant d'essai en pourcentage du pouvoir de coupure assigné de courants capacitifs %	Type de manœuvre ou de séquence de manœuvres
1: LC1, CC1 et BC1	Tension maximale	Pression assignée	10 à 40	O
2: LC2, CC2 et BC2	Tension maximale	Pression assignée [a]	Non inférieur à 100	CO
NOTE 1 Les essais sont effectués avec la tension maximale des déclencheurs de façon à obtenir un meilleur contrôle lors des manœuvres d'ouverture. NOTE 2 Pour des raisons de commodité de réalisation des essais, des manœuvres CO peuvent être effectuées dans la séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1).				
[a] Si applicable, la pression pour la manœuvre et la coupure doit être la pression minimale de fonctionnement pour au moins trois cycles de manœuvres CO, une à la durée d'arc minimale et deux à la durée d'arc maximale.				

Test-duty 2 (BC2):

– 12 CO, distributed on one polarity (step: 15°);
– 42 CO at minimum arcing time on one polarity;
– 12 CO, distributed on the other polarity (step: 15°);
– 42 CO at minimum arcing time on the other polarity;
– Additional tests to achieve 120 CO, distributed (step: 15°).

The C operations may be no-load operations. In this case a series of separate making tests according to 6.111.9.1.1 shall be performed.

6.111.9.2 Test conditions for class C1 circuit-breakers

6.111.9.2.1 Class C1 test-duties

The capacitive current switching tests for class C1 circuit-breakers shall consist of test-duties as specified in table 19 without preconditioning (6.111.9.1.1).

For the make-break tests, the contacts of the circuit-breaker shall not be separated until the transient currents have subsided. To achieve this, the time between the closing and opening operations may need to be adjusted but shall remain as close as possible to the close-open time as defined in 3.7.143.

No appreciable charge shall remain on the capacitive circuits before the making operations.

For all capacitor bank making operations, the making shall occur within ±15° of the peak value of applied voltage (on one phase for three-phase tests). When applicable, the making current shall be at least equal to the back-to-back capacitor bank inrush making current.

Where, due to limitations of the test plant, it is not possible to comply with the requirements during the CO operating cycles, then it is permitted to perform the requirements of test-duty 2 (LC2, CC2 and BC2) as a series of separate making tests followed by a series of CO tests.

Table 19 – Class C1 test-duties

Test-duty	Operating voltage of the releases	Pressure for operation and interruption	Test current as percentage of rated capacitive switching current %	Type of operation or operating sequence
1: LC1, CC1 and BC1	Maximum voltage	Rated pressure	10 to 40	O
2: LC2, CC2 and BC2	Maximum voltage	Rated pressure [a]	Not less than 100	CO
NOTE 1 The tests are performed at maximum operating voltage of the releases in order to facilitate consistent control of the opening operation. NOTE 2 For convenience of testing, CO operating cycles may be performed in test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1).				
[a] If applicable, pressure for operation and interruption shall be at the minimum functional pressure conditions for at least three CO operating cycles, one at the minimum arcing time and two at the maximum arcing time.				

La série séparée d'essais d'établissement doit comprendre:

– le même nombre de manœuvres;
– lorsqu'il est applicable, le courant établi doit être égal au pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins;
– la tension d'essais doit être la même que celle de la séquence d'essais 2;
– la fermeture doit survenir dans les limites de 15° de la crête (sur une même phase pour les essais en triphasé).

Après la série séparée d'essais d'établissement, les cycles de manœuvres CO, suivant la même procédure que celle des essais d'établissement séparés, doivent être réalisés avec des manœuvres de fermeture à vide.

NOTE 1 Lors de l'établissement et de la coupure de courants capacitifs, la manœuvre d'ouverture dans un cycle de manœuvres CO n'est pas influencée par le préamorçage lors de la manœuvre de fermeture précédante mais peut être affectée par le comportement du fluide utilisé pour l'interruption lors d'une manœuvre de fermeture (par exemple, différences locales de densité, turbulences, mouvement du fluide). Par conséquent, les manœuvres de fermeture et d'ouverture peuvent être séparées si on considère seulement les contraintes électriques, mais ne peuvent l'être si on considère la dynamique du fluide d'extinction. Une manœuvre de fermeture à vide précédant la manœuvre d'ouverture est donc nécessaire pour ces raisons.

L'amortissement présumé du courant d'appel lors de manœuvres de batteries de condensateurs à gradins, c'est-à-dire le rapport entre la deuxième crête et la première crête de même polarité, doit être égal ou supérieur à 0,75 pour les disjoncteurs de tensions assignées inférieures à 52 kV et égal ou supérieur à 0,85 pour les disjoncteurs de tensions assignées égales ou supérieures à 52 kV.

Pour les manœuvres d'ouverture, la durée d'arc minimale est déterminée en variant le moment de la séparation des contacts lors de l'ouverture par intervalles d'environ 6°. Par cette méthode, il peut être nécessaire d'effectuer plusieurs essais pour démontrer la durée d'arc minimale et la durée d'arc maximale.

NOTE 2 Avec l'accord du constructeur, des tensions supérieures à la limite maximale des tensions d'alimentation des déclencheurs peuvent être utilisées durant ces essais de façon à obtenir des durées d'ouverture et de fermeture stables.

Si une durée d'arc maximale est obtenue au lieu de la durée d'arc minimale visée, l'essai est valable et doit être inclus dans le nombre total d'essais requis. Lors d'un tel événement, les actions suivantes sont nécessaires:

– avancer l'ordre d'ouverture de 6° et répéter l'essai. Le nouveau réglage doit être conservé pour les autres essais avec la durée d'arc minimale;
– faire un essai d'ouverture de moins de façon à obtenir le même nombre total d'essais.

Le nombre de manœuvre et de cycles de manœuvres avec la durée d'arc minimale indiquée en 6.111.9.2.2 doit être obtenu, même si le nombre total de manœuvre est dépassé.

Un réallumage suivi par une interruption à un zéro de courant ultérieur doit être considéré comme une coupure avec une durée d'arc longue.

Pour chacune des séquences d'essais, l'ordre des manœuvres, comme indiqué en 6.111.9.2.2, est suggéré mais non obligatoire.

Pour les disjoncteurs ayant un arrangement asymétrique des pièces portant le courant, le raccordement des bornes au circuit d'essais doit être inversé entre la séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1) et la séquence d'essais 2 (LC2, CC2 et BC2).

The separate making tests of this test series shall comprise:

– the same number of operations;
– when applicable, the making current shall be equal to the rated back-to-back capacitor bank inrush making current;
– the test voltage shall be the same as for test-duty 2;
– closing shall occur within 15° of the peak value (on the same phase for three-phase tests).

After the separate making operations, the CO operating cycles, following the same procedure for the separate making tests described previously, shall be performed with no-load conditions on the closing.

NOTE 1 When switching capacitive currents, the opening operation in a CO operating cycle is not influenced by the pre-arc of the preceding closing operation but may be impacted by the actual behaviour of the fluid for interruption caused by the closing operation (for example local differences in density, turbulence, fluid motion). Therefore, the closing and opening operations may be separated as mentioned above with regard to the electrical stress but not with regard to the motion conditions of the fluid for interruption. A no-load closing operation prior to the opening operation is necessary for these reasons.

The prospective damping factor for the inrush current during back-to-back switching, i.e. the ratio between the second peak and the first peak of the same polarity, shall be equal to or greater than 0,75 for circuit-breakers having a rated voltage less than 52 kV and equal to or greater than 0,85 for circuit-breakers having a rated voltage equal to or greater than 52 kV.

For opening operations, the minimum arcing time is determined by changing the setting of the contact separation on opening by periods of approximately 6°. Using this method, several tests may be necessary to demonstrate the minimum arcing time and the maximum arcing time.

NOTE 2 In order to obtain more consistent opening and closing times of the circuit-breaker, by agreement of the manufacturer voltages even higher than the relevant upper tolerance limit of the supply voltages of the operating devices may be applied during these tests.

If a maximum arcing time is obtained instead of an expected minimum arcing time, this is a valid test and shall be included in the count for the total requirement. In such an event the following will be necessary:

– advance the setting of the control of the tripping impulse by 6° and repeat the test. The new setting shall be kept for other tests at minimum arcing time;
– make one less opening operation to retain the overall total count of tests.

The number of operations and operating cycles at minimum arcing time as stated in 6.111.9.2.2 shall be achieved, even if the specified total number of operations is exceeded.

A re-ignition followed by interruption at a later current zero shall be treated as a breaking operation with a long arcing time.

Within each test-duty, the order of the operations as written in 6.111.9.2.2 is suggested but not mandatory.

For circuit-breakers with a non-symmetrical current path, the terminal connections shall be reversed between test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1) and test-duty 2 (LC2, CC2 and BC2).

Lorsque les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs sont effectués pour une certaine valeur assignée ou un type d'application (par exemple établissement et coupure de courants de lignes à vide), l'essai est aussi valable pour une valeur assignée différente ou un autre type d'application (par exemple établissement et coupure de courants de câbles à vide) sans essai additionnel à condition que les valeurs spécifiées soient couvertes par ces essais en tenant compte des tolérances spécifiées.

6.111.9.2.2 Essais monophasés et triphasés d'établissement et de coupure de courants capacitifs

La séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1) doit comprendre un total de 24 essais O. La séquence d'essais 2 (LC2, CC2 et BC2) doit comprendre un total de 24 essais CO.

Séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1)

– 6 O distribuées dans une polarité (intervalle: 30°);
– 3 O avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
– 3 O avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
– 6 O avec la durée d'arc maximale dans l'autre polarité;
– essais additionnels distribués pour obtenir 24 O (intervalle: 30°).

Séquence d'essais 2 (LC2, CC2 et BC2)

– 6 CO distribuées dans une polarité (intervalle: 30°);
– 3 CO avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
– 3 CO avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
– 6 CO avec la durée d'arc maximale dans l'autre polarité;
– essais additionnels distribués pour obtenir 24 CO (intervalle: 30°).

Les manœuvres C peuvent être effectuées à vide. Dans ce cas, une série d'essais d'établissement séparée selon 6.111.9.2.1 doit être effectuée.

L'ordre recommandé pour les séquences d'essais est le suivant:

– établissement et coupure de courants capacitifs, séquence d'essais 1 (LC1 ou CC1 ou BC1);
– établissement et coupure de courants capacitifs, séquence d'essais 2 (LC2 ou CC2 ou BC2).

6.111.9.3 Conditions d'essais correspondant à la coupure en présence de défauts à la terre

a) Lignes et câbles

Lorsque des essais correspondant à l'établissement et à la coupure de courants de lignes à vide et de câbles à vide en présence de défauts à la terre sont requis, les conditions suivantes s'appliquent:

Les essais en monophasé en laboratoire doivent être effectués à une tension telle qu'indiquée en 6.111.7 et à un courant capacitif égal à

– 1,25 fois le pouvoir de coupure assigné de courant capacitif dans les réseaux à neutre à la terre;
– 1,7 fois le pouvoir de coupure assigné de courant capacitif dans les réseaux autres qu'à neutre à la terre.

Where the capacitive current switching tests are performed for a certain rating or type of application (e.g. line-charging current switching test), the test is valid also for a different rating or another type of application (e.g. cable-charging current switching test) without additional testing, if the specified values are covered by these tests taking the stated tolerances into account.

6.111.9.2.2 Single-phase and three-phase capacitive current switching tests

Test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1) shall comprise a total of 24 O tests. Test-duty 2 (LC2, CC2 and BC2) shall comprise a total of 24 CO tests.

Test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1):

– 6 O, distributed on one polarity (step: 30°);
– 3 O at minimum arcing time on one polarity;
– 3 O at minimum arcing time on other polarity;
– 6 O at maximum arcing time on the other polarity;
– additional tests to achieve 24 O, distributed (step: 30°).

Test-duty 2 (LC2, CC2 and BC2):

– 6 CO, distributed on one polarity (step: 30°);
– 3 CO at minimum arcing time on one polarity;
– 3 CO at minimum arcing time on the other polarity;
– 6 CO at maximum arcing time on the other polarity;
– additional tests to achieve 24 CO, distributed (step: 30°).

The C operations may be no-load operations. In this case a series of separate making tests according to 6.111.9.2.1 shall be performed.

The preferred order for the tests is the following:

– capacitive current switching, test-duty 1 (LC1 or CC1 or BC1);
– capacitive current switching, test-duty 2 (LC2 or CC2 or BC2).

6.111.9.3 Test conditions corresponding to breaking in the presence of earth faults

a) Lines and cables

Where tests corresponding to switching of line and cable charging currents in the presence of earth faults are required, the following shall apply:

Single-phase laboratory tests shall be made with a test voltage as given in 6.111.7 and a capacitive current equal to

– 1,25 times the rated capacitive breaking current in earthed neutral systems;
– 1,7 times the rated capacitive breaking current in systems other than earthed neutral systems.

Les procédures d'essais sont données en 6.111.9.1 et 6.111.9.2, à l'exception du nombre total d'essais qui est divisé par deux pour chacune des séquences d'essais applicables.

NOTE Si les essais correspondant à la coupure en présence de défauts à la terre sont effectués en utilisant le nombre de manœuvres prescrit en 6.111.9.1 ou 6.111.9.2 respectivement, alors ces essais couvrent les exigences données en 6.111.9.1 ou 6.111.9.2 et les essais de 6.111.9.1 ou 6.111.9.2 n'ont pas besoin d'être effectués.

b) Batteries uniques de condensateurs

Les essais ne sont pas nécessaires pour les batteries de condensateurs dans les réseaux à neutre de la terre.

La manœuvre de batteries de condensateurs à neutre à la terre dans les réseaux autres qu'à neutre à la terre peut entraîner des contraintes plus élevées. Comme cela n'est pas une condition normale de réseau, ces exigences d'essais ne sont pas considérées dans cette norme.

c) Batteries de condensateurs à gradins

Comme cela n'est pas une condition normale de réseau, ces exigences d'essais ne sont pas considérées dans cette norme.

6.111.10 Essais avec TTR spécifiée

En variante à l'utilisation des circuits d'essais décrits en 6.111.3, les essais d'établissement et de coupure peuvent être effectués en utilisant des circuits produisant une tension de rétablissement présumée conforme aux prescriptions suivantes:

– l'enveloppe de la tension de rétablissement présumée est définie par:

$u'_c \geq u_c$

$t'_2 \leq t_2$

– de plus, la partie initiale de la tension de rétablissement présumée doit rester en-dessous de la droite joignant l'origine au point u_1 et t_1.

Les valeurs spécifiées de u_1, t_1, u_c et t_2 sont données dans le tableau 20.

Tableau 20 – Valeurs spécifiées de u_1, t_1, u_c et t_2

Séquences d'essais	Valeurs de la tension de rétablissement de la Figure 54 en fonction de la valeur crête de la tension d'essai		Coordonnées de temps de la Figure 54	
	u_c p.u.	u_1 p.u.	t_1	t_2 (ms)
1	≥ 1,98	≤ 0,02k_{af}*	≥ t_1 ou t_3 de 4.102.3 pour le défaut aux bornes	8,7 ms pour 50 Hz
2	≥ 1,95	≤ 0,05k_{af}*		7,3 ms pour 60 Hz
NOTE Pour les essais synthétiques en monophasé, la tension de rétablissement présumée est calculée en se basant sur la tension d'essai correspondante d'un essai direct en monophasé.				
* k_{af} = facteur d'amplitude = 1,4 (voir Tableaux 24, 1b et 1c) pour les disjoncteurs de classe S1.				
* k_{af} = facteur d'amplitude = 1,54 (voir Tableau 25) pour les disjoncteurs de classe S2.				

6.111.11 Critères de réussite des essais

6.111.11.1 Généralités

Le disjoncteur a réussi les essais si les conditions suivantes sont remplies:

a) le comportement du disjoncteur pendant l'établissement et la coupure des courants capacitifs de toutes les séquences d'essais prescrites satisfait aux conditions données en 6.102.8;

Test procedures are as given in 6.111.9.1 and 6.111.9.2, except that the total number of tests required is divided by two for each relevant test-duty.

NOTE If the tests corresponding to breaking in the presence of earth faults are carried out using the number of operations stated in 6.111.9.1 or 6.111.9.2, respectively, these tests cover the requirements given in 6.111.9.1 or 6.111.9.2 and the tests to 6.111.9.1 or 6.111.9.2 do not need to be performed.

b) Single capacitor banks

Tests are not necessary for capacitor banks in earthed neutral systems.

Switching earthed neutral capacitor banks on systems other than earthed neutral systems can result in higher stresses. As this is not a normal system condition, such test requirements are not considered in this standard.

c) Back-to-back capacitor banks

As this is not a normal system condition, such test requirements are not considered in this standard.

6.111.10 Tests with specified TRV

As an alternative to using the test circuits defined in 6.111.3, switching tests may be performed in circuits which fulfil the following requirements for the prospective recovery voltage:

– with the envelope of the prospective test recovery voltage defined as

$u'_c \geq u_c$

$t'_2 \leq t_2$

– in addition the initial part of the prospective recovery voltage shall remain below the line from the origin to the point defined by u_1 and t_1.

Specified values of u_1, t_1, u_c and t_2 are given in table 20.

Table 20 – Specified values of u_1, t_1, u_c and t_2

Test-duties	Recovery voltage values of Figure 54 in relation to the peak value of the test voltage		Time values of Figure 54	
	u_c p.u.	u_1 p.u.	t_1	t_2
1	≥ 1,98	≤ 0,02k_{af} *	≥ t_1 or t_3 in 4.102.3 for terminal fault	8,7 ms for 50 Hz
2	≥ 1,95	≤ 0,05k_{af} *		7,3 ms for 60 Hz
NOTE For single-phase synthetic tests the prospective recovery voltage is calculated based on the test voltage of the corresponding single-phase direct test.				
* k_{af} = amplitude factor = 1,4 (see Tables 24, 1b and 1c) for class S1 circuit-breakers. * k_{af} = amplitude factor = 1,54 (see Table 25) for class S2 circuit-breakers.				

6.111.11 Criteria to pass the test

6.111.11.1 General

The circuit-breakers shall have successfully passed the tests if the following conditions are fulfilled:

a) the behaviour of the circuit-breaker during making and breaking of the capacitive currents in all prescribed test-duties fulfils the conditions given in 6.102.8;

b) aucun réamorçage ne se produit pendant les séquences d'essais 1 (LC1 ou CC1 ou BC1) et 2 (LC2 ou CC2 ou BC2); ou, si un réamorçage se produit durant les séquences d'essais complètes 1 et 2, alors les séquences d'essais 1 et 2 doivent être répétées sur le même appareil et ce, sans remise en état. Aucun réamorçage ne doit survenir durant les séries d'essais additionnelles. Il ne doit se produire aucun contournement extérieur et aucun contournement phase-terre. Si des NSDD se produisent, I.4 s'applique.

c) l'état du disjoncteur après la série d'essais correspond aux conditions données en 6.102.9.4. Si aucun réamorçage n'est survenu durant les séquences d'essais 1 et 2, une inspection visuelle est suffisante.

6.111.11.2 Critère pour reclasser en classe C1 un disjoncteur essayé avec les exigences de la classe C2

Un disjoncteur essayé selon le programme d'essais défini pour la classe C2 peut être qualifié comme un disjoncteur de classe C1 si les exigences des points a) et c) susmentionnés sont remplies et si au moins une des conditions suivantes est rencontrée:

a) le critère de réussite pour la classe C2 est rempli;

b) le nombre total de réamorçages durant les essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide (LC1 et LC2) ou de câbles à vide (CC1 et CC2) n'est pas supérieur à:

   – deux dans la première série de manœuvre, c'est-à-dire 96 dans le cas d'essais monophasés et 48 dans le cas d'essais triphasés, voir 6.111.9.1.2 et 6.111.9.1.3 (sans effectuer la répétition de la série d'essais) ou

   – un durant la première série de manœuvre, c'est-à-dire 96 dans le cas d'essais monophasés et 48 dans le cas d'essais triphasés, voir 6.111.9.1.2 et 6.111.9.1.3 sans tenir compte du nombre de réamorçages observés durant la répétition de la série d'essais.

c) le nombre total de réamorçages durant les essais d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs (BC1 et BC2) n'est pas supérieur à:

   – cinq dans la première série de manœuvre, c'est-à-dire 168 dans le cas d'essais monophasés et 104 dans le cas d'essais triphasés, voir 6.111.9.1.4 et 6.111.9.1.5 (sans effectuer la répétition de la série d'essais) ou

   – un durant la première série de manœuvre, c'est-à-dire 168 dans le cas d'essais monophasés et 104 dans le cas d'essais triphasés, voir 6.111.9.1.4 et 6.111.9.1.5 sans tenir compte du nombre de réamorçages observés durant la répétition de la série d'essais.

6.112 Exigences spéciales pour les essais de coupure et de fermeture des disjoncteurs de classe E2

6.112.1 Disjoncteurs de classe E2 non prévus pour le cycle de refermeture automatique

L'endurance électrique des disjoncteurs qui ne sont pas prévus pour être utilisés avec le cycle de refermeture automatique (ex. les disjoncteurs de réseaux à liaisons par câbles) est démontrée en effectuant les séquences d'essais fondamentales décrites en 6.106 sans maintenance intermédiaire. Des essais supplémentaires ne sont pas exigés.

6.112.2 Disjoncteurs de classe E2 prévus pour le cycle de refermeture automatique

Les disjoncteurs prévus pour effectuer le cycle de refermeture automatique, ce qui est le cas habituellement des disjoncteurs de réseaux aériens, doivent effectuer la séquence d'essais d'endurance électrique conformément au tableau 21 en suivant l'ordre spécifié et en complément des séquences d'essais fondamentales de 6.106 qui doivent être effectuées sans maintenance intermédiaire.

b) either no restrikes occurred during test-duties 1 (LC1 or CC1 or BC1) and 2 (LC2 or CC2 or BC2), or, if one restrike occurs during the complete test-duties 1 and 2, then both test-duties shall be repeated on the same apparatus without any maintenance. No restrike shall occur during the extended series of tests. External flashover and phase-to-ground flashover shall not occur. If NSDDs occur I.4 applies;

c) the condition of the circuit-breaker after the test series corresponds to the conditions given in 6.102.9.4. If no restrike occurred during test-duties 1 and 2, visual inspection is sufficient.

6.111.11.2 Criteria for reclassification of a circuit-breaker tested to the class C2 requirements as a class C1 circuit-breaker

A circuit-breaker tested in accordance with the class C2 test program can be qualified as a class C1 circuit-breaker if the requirements of items a) and c) above are fulfilled and if at least one of the following conditions is met:

a) the criteria for class C2 to pass the test are fulfilled;

b) the total number of restrikes during line charging current switching tests (LC1 and LC2) or cable charging current switching tests (CC1 and CC2) is not greater than

   – two in the first series of operations, i.e. 96 in case of single-phase tests and 48 in case of three-phase tests, see 6.111.9.1.2 and 6.111.9.1.3 (no repetition series is carried out) or

   – one during the first test series of operations, i.e. 96 in case of single-phase tests and 48 in case of three-phase tests, see 6.111.9.1.2 and 6.111.9.1.3 regardless of the number of restrikes observed during the repetition of the test series;

c) the total number of restrikes during capacitor bank switching tests (BC1 and BC2) is not greater than:

   – five in the first series of operations, i.e. 168 in case of single-phase tests and 104 in case of three-phase tests, see 6.111.9.1.4 and 6.111.9.1.5 (no repetition series is carried out) or,

   – one during the first test series of operations, i.e. 168 in case of single-phase tests and 104 in case of three-phase tests, see 6.111.9.1.4 and 6.111.9.1.5 regardless of the number of restrikes observed during the repetition of the test series.

6.112 Special requirements for making and breaking tests on class E2 circuit-breakers

6.112.1 Class E2 circuit-breakers intended for use without auto-reclosing duty

The electrical endurance capability of circuit-breakers, which are intended to be used without auto-reclosing duty, for example in cable-connected networks, is demonstrated by performing the basic short-circuit test-duties of 6.106 without intermediate maintenance. Additional tests are not required.

6.112.2 Class E2 circuit-breakers intended for auto-reclosing duty

Circuit-breakers intended for auto-reclosing duty, as usual for overhead-line networks, shall perform an electrical endurance test in accordance with, and in the order specified in, table 21 in addition to the basic short-circuit test-duties of 6.106, which shall be carried out without intermediate maintenance.

La séquence d'essais doit être réalisée sur un disjoncteur propre à l'état neuf, identique à celui qui a été soumis aux séquences d'essais fondamentales décrites en 6.106. Aucune maintenance intermédiaire ne doit être effectuée. Les paramètres d'essai doivent être conformes aux indications de 6.106, en tenant compte des exceptions suivantes:

a) dans le cas de disjoncteurs à gaz, les essais doivent être réalisés à la pression assignée pour l'isolement et/ou la manœuvre et avec la tension d'alimentation assignée, des dispositifs de fermeture et d'ouverture d'une part, et, d'autre part, des circuits auxiliaires et de commande;

b) les valeurs de t doivent être choisies de manière à favoriser le bon déroulement des essais;

c) il convient que l'intervalle de temps minimal entre les séquences de manœuvre soit établi par le constructeur.

Les durées d'arc doivent être aléatoires pour les essais à 10 % et à 30 %. Leur réglage doit être fait conformément à 6.102.10 pour les essais à 60 % et à 100 %.

L'état du disjoncteur après l'essai doit correspondre aux conditions de 6.102.9.2 et 6.102.9.3.

Tableau 21 – Séquence de manœuvre pour l'essai d'endurance électrique des disjoncteurs de classe E2 prévus pour le cycle de refermeture automatique selon 6.112.2

Courant d'essai(pourcentage du courant de court-circuit assigné) %	Séquence de manœuvre	Nombre de séquences de manœuvre (liste 1) [a]	Nombre de séquences de manœuvre (liste 2) [a]
10	O	84	12
	O - 0,3 s - CO	14	6
	O - 0,3 s - CO - t - CO	6 [b]	4 [b]
30	O	84	12
	O - 0,3 s - CO	14	6
	O - 0,3 s - CO - t - CO	6 [b]	4 [b]
60	O	2	8
	O - 0,3 s - CO - t - CO	2 [b]	8 [b]
100 (symétrique)	O - 0,3 s - CO - t - CO	2 [b]	4 [b]

[a] La liste 1 est privilégiée. La liste 2 peut être utilisée pour les disjoncteurs utilisés pour les réseaux solidement mis à la terre.

[b] Lorsque l'échantillon n'est pas remis en état après les séquences d'essais de court-circuit fondamentales décrites en 6.106, on peut tenir compte des essais déjà réalisés pour établir le nombre de séquences de manœuvre additionnelles à effectuer pour se conformer aux exigences de ce tableau. En pratique, cela signifie de réduire par 1 les chiffres marqués par [b].

7 Essais individuels

L'article 7 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

7.1 Essais diélectriques du circuit principal

Le paragraphe 7.1 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant:

Pour des disjoncteurs construits par montage en série d'éléments identiques de coupure et de fermeture, la tension d'essai à appliquer aux bornes de chacun des éléments en position d'ouverture est la fraction la plus élevée de la tension de tenue totale résultant de la répartition réelle de la tension à fréquence industrielle déterminée sur le disjoncteur complètement ouvert et avec une borne mise à la terre.

The test shall be carried out on a circuit-breaker, which is in a clean and new condition and identical to that which has been submitted to the basic short-circuit tests, given in 6.106. No intermediate maintenance shall be carried out. The test parameters shall be in accordance with 6.106 except as follows:

a) in the case of gas-filled circuit-breakers, the test shall be made at the rated pressure for insulation and/or operation and at the rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits;
b) the values of *t* shall be chosen for convenience of testing;
c) the minimum time interval between operating sequences should be stated by the manufacturer.

Arcing times shall be at random for the 10 % and 30 % tests. Adjustment of the arcing times shall be made in accordance with 6.102.10 for the 60 % and 100 % tests.

The condition of the circuit-breaker after the test shall comply with 6.102.9.2 and 6.102.9.3.

Table 21 – Operating sequence for electrical endurance test on class E2 circuit-breakers intended for auto-reclosing duty according to 6.112.2

Testing current (percentage of rated short-circuit breaking current) %	Operating sequences	Number of operating sequences (list 1) [a]	Number of operating sequences (list 2) [a]
10	O	84	12
	O - 0,3 s - CO	14	6
	O - 0,3 s - CO - *t* - CO	6 [b]	4 [b]
30	O	84	12
	O - 0,3 s - CO	14	6
	O - 0,3 s - CO - *t* - CO	6 [b]	4 [b]
60	O	2	8
	O - 0,3 s - CO - *t* - CO	2 [b]	8 [b]
100 (symmetrical)	O - 0,3 s - CO - *t* - CO	2 [b]	4 [b]

[a] List 1 is preferred. List 2 may be used as an alternative for circuit-breakers used for solidly earthed systems.

[b] When no reconditioning is made on the sample after the basic short-circuit test sequences in 6.106, the test already carried out may be taken into account in determining the number of additional operating sequences required to satisfy the requirements of table 21. In practice, this means reducing these figures marked [b] by 1.

7 Routine tests

Clause 7 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

7.1 Dielectric test on the main circuit

Subclause 7.1 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

In the case of circuit-breakers constructed by assembling identical breaking and making units in series, the test voltage to be applied across each single unit, when open, shall be the higher fraction of the total withstand voltage resulting from actual power-frequency voltage distribution with the circuit-breaker fully open and one terminal earthed.

En se référant à la figure 2 de la CEI 60694 qui représente un schéma de disjoncteur tripolaire, la tension d'essai doit être appliquée conformément au tableau 22.

Tableau 22 – Application de la tension lors des essais diélectriques du circuit principal

Condition d'essai n°	Disjoncteur	Tension appliquée à	Terre connectée à
1	Fermé	AaCc	BbF
2	Fermé	Bb	AaCcF
3	Ouvert	ABC	abcF
NOTE Si l'isolation entre pôles est de l'air à pression atmosphérique, les conditions d'essai 1 et 2 peuvent être combinées, la tension d'essai étant appliquée entre toutes les parties du disjoncteur connectées ensemble et le support.			

7.2 Essais diélectriques des circuits auxiliaires et de commande

Le paragraphe 7.2 de la CEI 60694 est applicable.

7.3 Mesurage de la résistance du circuit principal

Le paragraphe 7.3 de la CEI 60694 est applicable.

7.4 Essai d'étanchéité

Le paragraphe 7.4 de la CEI 60694 est applicable.

7.5 Contrôles visuels et du modèle

Le paragraphe 7.5 de la CEI 60694 s'applique avec le complément suivant:

Le disjoncteur doit être contrôlé afin de vérifier sa conformité avec la spécification de la commande.

Les points suivants doivent être contrôlés, lorsque cela s'applique:

– langue et indications portées sur les plaques signalétiques;
– identification des équipements auxiliaires;
– couleur et qualité de la peinture et protection contre la corrosion des surfaces métalliques;
– valeurs des résistances et des condensateurs reliés au circuit principal.

7.101 Essais de fonctionnement mécanique

Les essais de fonctionnement mécanique doivent comprendre:

a) à la tension maximale spécifiée d'alimentation des dispositifs de manœuvre et des circuits auxiliaires et de contrôle et à la pression maximale spécifiée d'alimentation (si cela est applicable):
   – cinq manœuvres de fermeture;
   – cinq manœuvres d'ouverture.
b) à la tension minimale spécifiée d'alimentation des dispositifs de manœuvre et des circuits auxiliaires et de contrôle et à la pression minimale spécifiée d'alimentation (si cela est applicable):
   – cinq manœuvres de fermeture;
   – cinq manœuvres d'ouverture.

With reference to figure 2 of IEC 60694, which shows a diagram of a three-pole circuit-breaker, the test voltage shall be applied, according to table 22.

Table 22 – Application of voltage for dielectric test on the main circuit

Test condition No.	Circuit-breaker	Voltage applied to	Earth connected to
1	Closed	AaCc	BbF
2	Closed	Bb	AaCcF
3	Open	ABC	abcF
NOTE If the insulation between poles is air at atmospheric pressure, test conditions nos. 1 and 2 may be combined, the test voltage being applied between all parts of the main circuit connected together and the base.			

7.2 Dielectric test on auxiliary and control circuits

Subclause 7.2 of IEC 60694 is applicable.

7.3 Measurement of the resistance of the main circuit

Subclause 7.3 of IEC 60694 is applicable.

7.4 Tightness test

Subclause 7.4 of IEC 60694 is applicable.

7.5 Design and visual checks

Subclause 7.5 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

The circuit-breaker shall be checked to verify its compliance with the order specification.

The following items shall be checked as applicable:

– the language and data on the nameplates;
– identification of any auxiliary equipment;
– the colour and quality of paint and corrosion protection of metallic surfaces;
– the values of the resistors and capacitors connected to the main circuit.

7.101 Mechanical operating tests

Mechanical operating tests shall include the following:

a) at maximum supply voltage of operating devices and of auxiliary and control circuits and maximum pressure for operation (if applicable):
   – five closing operations;
   – five opening operations.
b) at specified minimum supply voltage of operating devices and of auxiliary and control circuits and minimum functional pressure for operation (if applicable):
   – five closing operations;
   – five opening operations.

c) à la tension assignée d'alimentation des dispositifs de manœuvre et des circuits auxiliaires et de contrôle et à la pression assignée d'alimentation (si cela est applicable);

   – cinq cycles de manœuvres de fermeture-ouverture, le mécanisme de déclenchement étant commandé par la fermeture des contacts principaux;

   – de plus, pour les disjoncteurs prévus pour la refermeture automatique rapide (voir paragraphe 4.104), cinq cycles de manœuvres d'ouverture-fermeture O - t - C où t est au plus égal à la durée spécifiée pour la séquence de manœuvres assignée.

Il convient que les essais de fonctionnement mécanique soient de préférence effectués sur le disjoncteur complet; cependant, lorsque les disjoncteurs sont assemblés et transportés en éléments séparés, les essais individuels de série peuvent être faits sur les composants conformément aux prescriptions du paragraphe 6.101.1.2. Dans ce cas, le constructeur doit délivrer un programme d'essais de mise en service, pour confirmer la compatibilité des éléments séparés et des composants lorsqu'ils forment le disjoncteur complet. Un guide pour les essais de réception est donné en 10.2.101.

Lors de toutes les séquences de manœuvres prescrites, on doit effectuer les mesures suivantes et enregistrer les manœuvres d'ouverture et de fermeture:

– le mesurage des durées de manœuvres;
– le mesurage de la consommation du fluide pendant la manœuvre, par exemple la différence de pression (si cela est applicable).

Le comportement mécanique doit être conforme à celui du prototype utilisé pour les essais de type. Un cycle de manœuvre à vide, par exemple, comme décrit en 6.101.1.1, peut être effectué pour enregistrer les diagrammes espace-temps à l'issue des essais individuels. Lorsque cela est fait, la courbe doit se situer dans l'enveloppe définie lors du tracé de référence de la caractéristique de déplacement mécanique, en 6.101.1.1, depuis la séparation des contacts jusqu'à la fin de leur course.

Lorsque les essais mécaniques individuels sont effectués sur des sous-ensembles, les caractéristiques de déplacement mécanique de référence réalisée à la fin des essais de mise en service sur site doivent être conformes, comme ci-dessus.

Si les mesures sont effectuées sur le site, le constructeur doit établir la procédure de mesure préférentielle. Si d'autres procédures sont utilisées, les résultats peuvent être différents et la comparaison avec la course instantanée des contacts impossible à réaliser.

Les caractéristiques de déplacement mécanique peuvent être enregistrées directement à l'aide d'un capteur de déplacement ou d'un dispositif équivalent sur le système de contact du disjoncteur, ou à un autre emplacement de la liaison motrice des contacts où il y a une connexion directe, et où on peut obtenir une image représentative de la course des contacts. On doit, de préférence, réaliser des caractéristiques de déplacement mécanique continues, comme sur la figure 23 a). Lorsque les mesures sont effectuées sur le site, d'autres méthodes peuvent être employées pour enregistrer des points de la course pendant une manœuvre.

Dans ces cas, le nombre de points enregistrés doit être suffisant pour pouvoir déterminer le temps et la vitesse des contacts lors de leur séparation et/ou de leur toucher, ainsi que le temps de la course totale.

Après l'achèvement des séquences de manœuvres prescrites, les essais et inspections suivants doivent être exécutés (si cela est applicable):

– vérification des raccordements;
– les contacts auxiliaires ou de commande doivent indiquer de manière satisfaisante les positions d'ouverture ou de fermeture du disjoncteur;
– tous les équipements auxiliaires doivent fonctionner correctement aux limites des tensions d'alimentation des dispositifs de commande et des circuits auxiliaires et de commande, et/ou des pressions des fluides pour la manoeuvre;

c) at rated supply voltage of operating devices and of auxiliary and control circuits and rated pressure for operation (if applicable):

   – five close-open operating cycles with the tripping mechanism energised by the closing of the main contacts;

   – moreover, for circuit-breakers intended for rapid auto-reclosing (see 4.104), five open-close operating cycles O - t - C where t shall be not more than the time interval specified for the rated operating sequence.

Mechanical operating tests should be made on the complete circuit-breaker. However, when circuit-breakers are assembled and shipped as separate units, routine tests may be performed on components according to 6.101.1.2. In such cases, the manufacturer shall produce a programme of commissioning tests for use at site to confirm the compatibility of such separate units and components when assembled as a circuit-breaker. A guide for commissioning tests is given in 10.2.101.

For all required operating sequences the following shall be performed and records made of the closing and opening operations:

– measurement of operating times;

– where applicable, measurement of fluid consumption during operations, for example pressure difference.

Proof shall be given that the mechanical behaviour conforms to that of the test specimen used for type testing. For example, a no-load operating cycle, as described in 6.101.1.1, can be performed to record the no-load travel curves at the end of the routine tests. Where this is done, the curve shall be within the prescribed envelope of the reference mechanical travel characteristic, as defined in 6.101.1.1, from the instant of contact separation to the end of the contact travel.

Where the mechanical routine tests are performed on sub-assemblies, the reference mechanical travel characteristics shall be confirmed to be correct, as above, at the end of the commissioning tests on site.

If the measurement is performed on site, the manufacturer shall state the preferred measuring procedure. If other procedures are used, the results may be different and the comparison of the instantaneous contact stroke may be impossible to achieve.

The mechanical travel characteristics can be recorded directly, using a travel transducer or similar device on the circuit-breaker contact system or at other convenient locations on the drive to the contact system where there is a direct connection, and a representative image of the contact stroke can be achieved. The mechanical travel characteristics shall be preferably a continuous curve as shown in figure 23 a). Where the measurements are taken on site, other methods may be applied which record points of travel during the operating period.

In these circumstances, the number of points recorded shall be sufficient to derive the time to, and contact speed at, contact touch and contact separation, together with the total travel time.

After completion of the required operating sequences, the following tests and inspections shall be performed (if applicable):

– connections shall be checked;

– the control and/or auxiliary switches shall correctly indicate the open and closed positions of the circuit-breaker;

– all auxiliary equipment shall operate correctly at the limits of supply voltage of operating devices and of auxiliary and control circuits and/or pressures for operation.

De plus, les essais et inspections suivants doivent être effectués (si cela est applicable):

– mesurage des résistances des dispositifs de chauffage (s'il en existe) et des bobines de commande;
– inspection de la filerie de commande, des circuits de chauffage et des équipements auxiliaires et contrôle du nombre des contacts auxiliaires, conformément à la spécification de commande;
– inspection de l'armoire de commande (systèmes électrique, mécanique, pneumatique et hydraulique);
– temps de réarmement;
– caractéristiques fonctionnelles de la soupape de sécurité;
– fonctionnement des verrouillages électriques, mécaniques, pneumatiques ou hydrauliques et des dispositifs de signalisation;
– fonctionnement du dispositif d'anti-pompage;
– caractéristiques générales du matériel, dans les tolérances indiquées des tensions d'alimentation de commande;
– inspection des bornes de mise à la terre du disjoncteur.

Pour les disjoncteurs à déclenchement autonome, les déclencheurs ou les relais doivent être réglés au repère minimal sur l'échelle de réglage du courant.

Il doit être montré que les déclencheurs à maximum de courant provoquent correctement l'ouverture du disjoncteur pour un courant dans le circuit principal n'excédant pas 110 % du courant de déclenchement minimal correspondant à la valeur de réglage figurant sur l'échelle de réglage du courant. Un essai d'injection secondaire peut être réalisé comme méthode alternative.

Pour ces essais, le courant traversant les déclencheurs à maximum de courant ou les transformateurs de courant peut être fourni par une source à basse tension convenable.

Pour les disjoncteurs équipés de déclencheurs d'ouverture à minimum de tension, il doit être montré que le disjoncteur s'ouvre et peut être fermé lorsque des tensions comprises entre les limites spécifiées sont appliquées aux déclencheurs (voir 5.8.4 de la CEI 60694).

Si des réglages sont requis pendant les essais de fonctionnement mécanique, la séquence complète des essais doit être répétée après les réglages.

8 Guide pour le choix des disjoncteurs selon le service

8.101 Généralités

Un disjoncteur convenable pour un certain emploi en service est choisi dans les meilleures conditions en considérant les valeurs assignées individuelles qu'exigent les conditions en charge normale et en cas de défaut.

La liste complète des caractéristiques assignées est indiquée à l'article 4. Les paragraphes dont la référence figure ci-dessous traitent des caractéristiques assignées individuelles suivantes.

Furthermore the following tests and inspections shall be made (if applicable):

– measurement of the resistance of heaters (if fitted) and of the control coils;
– inspections of the wiring of the control, heater and auxiliary equipment circuits and checking of the number of auxiliary contacts, in accordance with the order specification;
– inspection of control cubicle (electrical, mechanical, pneumatic and hydraulic systems);
– recharging duration(s);
– functional performance of pressure relief valve;
– operation of electrical, mechanical, pneumatic or hydraulic interlocks and signalling devices;
– operation of anti-pumping device;
– general performance of equipment within the required tolerance of the supply voltage;
– inspection of earthing terminals of the circuit-breaker.

For self-tripping circuit-breakers, the releases or the relays shall be set at the minimum calibration mark on the scale of current settings.

It shall be shown that the over-current releases or relays correctly initiate the opening of the circuit-breaker with the current through the main circuit not exceeding 110 % of the minimum tripping current corresponding to the value set on the scale of current settings. A secondary injection test may be used as an alternative.

For these tests, the current through over-current releases, or through current transformers, may be supplied from a suitable low-voltage source.

For circuit-breakers fitted with under-voltage opening releases, it shall be shown that the circuit-breaker opens and can be closed when voltages within the specified limits are applied to the releases (see 5.8.4 of IEC 60694).

If adjustments are required during the mechanical operating tests, the complete test sequence shall be repeated following the adjustments.

8 Guide to the selection of circuit-breakers for service

8.101 General

A circuit-breaker suitable for a given duty in service is best selected by considering the individual rated values required by load conditions and fault conditions.

The complete list of rated characteristics is given in clause 4. The following individual ratings are dealt with in this clause.

Type de caractéristiques	*Paragraphe*
Tension assignée	8.102.1
Niveau d'isolement assigné	8.102.2
Fréquence assignée	8.102.3
Courant assigné en service continu	8.102.4
Pouvoir de coupure assigné en court-circuit	8.103.1
Tension transitoire de rétablissement assignée dans le cas de défaut aux bornes	8.103.2
Pouvoirs de coupure et de fermeture assignés en discordance de phases	8.103.3
Pouvoir de fermeture assigné en court-circuit	8.103.4
Séquence de manœuvres assignée	8.103.5
Durée de court-circuit assignée	8.103.6
Classe d'endurance électrique (E1 ou E2 (avec/sans refermeture automatique)), s'il y a lieu	8.104

Pour les caractéristiques assignées qui ne sont pas traitées dans le présent article, on pourra se référer, s'il y a lieu, à l'article 4 comme précisé ci-après:

Type de caractéristiques	*Paragraphe*
Courant de courte durée admissible assigné	4.5
Valeur de crête du courant admissible assigné	4.6
Tension assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de commande	4.8
Fréquence assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires	4.9
Pressions assignées d'alimentation en gaz comprimé pour la manœuvre et pour la coupure	4.10
Caractéristiques assignées pour les défauts proches en ligne	4.105
Performance de réamorçage pendant les essais de coupure de courant capacitifs (classe C1 ou C2)	4.107
Caractéristiques des conditions de manœuvre capacitives (par exemple conditions de mise à la terre, type de charge, ...)	4.107
Pouvoir de coupure assigné de lignes à vide	4.107.1
Pouvoir de coupure assigné de câbles à vide	4.107.2
Pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs	4.107.3
Pouvoir de coupure assigné de batteries de condensateurs à gradins	4.107.4
Pouvoir de fermeture assigné de batterie unique de condensateurs	4.107.5
Pouvoir de fermeture assigné de batterie unique de condensateurs à gradins	4.107.6
Nombre de manœuvres mécaniques (classe M1 ou M2)	4.110

D'autres paramètres sont à considérer lors du choix d'un disjoncteur, par exemple:

Conditions atmosphériques et climatiques locales	8.102.5
Emploi à altitudes élevées	8.102.6
Durée d'ouverture	8.103.1
Pouvoir de coupure de faibles courants inductifs	4.108

Il est recommandé de déterminer les contraintes imposées par les conditions en cas de défaut auxquelles un disjoncteur doit faire face, en calculant les courants de court-circuit au lieu où l'installation du disjoncteur est prévue dans le réseau, selon une méthode de calcul reconnue.

Type of rating and characteristic	*Subclause*
Rated voltage	8.102.1
Rated insulation level	8.102.2
Rated frequency	8.102.3
Rated normal current	8.102.4
Rated short-circuit breaking current	8.103.1
Transient recovery voltage for terminal faults	8.103.2
Rated out-of-phase making and breaking current	8.103.3
Rated short-circuit making current	8.103.4
Rated operating sequence	8.103.5
Rated duration of short-circuit	8.103.6
Classification as for electrical endurance (class E1 or E2 (with/without auto-reclosing duty)), where applicable	8.104

For rated characteristics not dealt with in clause 8, reference should, if applicable, be made to clause 4 as follows:

Type of rating and characteristic	*Subclause*
Rated short-time withstand current	4.5
Rated peak withstand current	4.6
Rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits	4.8
Rated supply frequency of operating devices and auxiliary circuits	4.9
Rated pressures of compressed gas supply for insulation, operation and/or interruption	4.10
Characteristics for short-line faults	4.105
Restrike performance during capacitive current switching (class C1 or C2)	4.107
Characteristics as for capacitive switching conditions (for example earthing conditions, type of capacitive load, etc.)	4.107
Rated line-charging breaking current	4.107.1
Rated cable-charging breaking current	4.107.2
Rated single capacitor bank breaking current	4.107.3
Rated back-to-back capacitor bank breaking current	4.107.4
Rated single capacitor bank inrush making current	4.107.5
Rated back-to-back capacitor bank inrush making current	4.107.6
Number of mechanical operations (class M1 or M2)	4.110

Other parameters to be considered when selecting a circuit-breaker are, for example:

Local atmospheric and climatic conditions	8.102.5
Use at high altitudes	8.102.6
Opening time	8.103.1
Small inductive breaking current	4.108

The duty imposed by the fault conditions with which a circuit-breaker is required to deal should be determined by calculating the fault currents at the place where the circuit-breaker is to be located in the system, in accordance with some recognised method of calculation.

Lorsque l'on procède au choix d'un disjoncteur, il est recommandé de tenir compte du futur développement probable du réseau dans son ensemble, de telle sorte que le disjoncteur puisse convenir, non seulement pour les besoins immédiats, mais aussi pour les exigences futures.

Les disjoncteurs ayant satisfait aux essais de type correspondant à une combinaison de valeurs assignées (c'est-à-dire la tension, le courant en service continu, les pouvoirs de fermeture et de coupure) conviennent pour toutes valeurs assignées inférieures (à l'exception de la fréquence assignée) sans essais supplémentaires. La manœuvre des charges inductives (courants magnétisants de transformateurs, moteurs à haute tension et réactances shunt) sont spécifiées dans la CEI 61233.

NOTE Certains types de défauts se présentant en service, tels que les défauts évolutifs et certaines conditions de service telles que la commande de fours à arc, ne sont pas pris en considération dans la présente norme et, de ce fait, il est recommandé de les considérer comme des conditions spéciales et de faire intervenir un accord entre constructeur et utilisateur.

Cela est également applicable aux disjoncteurs utilisés pour toutes manœuvres conduisant à l'apparition d'une tension de rétablissement à fréquence industrielle supérieure à celle qui correspond à la tension assignée du disjoncteur, ce qui peut être le cas en certains points du réseau, et, en particulier, à l'extrémité de longues lignes. Dans ce cas particulier, il est recommandé que la valeur du courant qui doit être coupé à la tension la plus élevée susceptible d'apparaître aux bornes du disjoncteur lors de son ouverture, fasse l'objet d'un accord similaire.

8.102 Choix des valeurs assignées pour les conditions de service

8.102.1 Choix de la tension assignée

Il convient de choisir la tension assignée du disjoncteur au moins égale à la tension la plus élevée du réseau à l'endroit où le disjoncteur doit être installé.

Il convient de choisir la tension assignée d'un disjoncteur parmi les valeurs normales indiquées en 4.1 de la CEI 60694.

Pour le choix de la tension assignée, il est recommandé de tenir compte également des niveaux d'isolement correspondants, spécifiés en 4.2 (voir également 8.102.2).

8.102.2 Coordination des isolements

Il convient de choisir le niveau d'isolement assigné d'un disjoncteur suivant 4.2.

Les valeurs de ces tableaux s'appliquent à la fois aux disjoncteurs pour l'intérieur et aux disjoncteurs pour l'extérieur. Il convient de spécifier dans l'appel d'offres si le disjoncteur doit être du type intérieur ou du type extérieur.

La coordination des isolements dans un réseau électrique a pour but de réduire les dommages causés aux équipements électriques par les surtensions et de tendre à localiser les amorçages (lorsque l'on ne peut pas, économiquement, les éviter) en des points où ils ne causeront aucun dégât.

Il convient de prendre des précautions pour limiter les surtensions sur les bornes des disjoncteurs à des valeurs fixées inférieures au niveau d'isolement (voir la CEI 60071-2).

Lorsqu'un disjoncteur est prévu pour être placé dans un endroit nécessitant un niveau d'isolement supérieur, il convient de le spécifier dans l'appel d'offres (voir 9.101).

Pour les disjoncteurs destinés à des manœuvres de synchronisation alors que des surtensions de manœuvre importantes peuvent se produire simultanément, se reporter à 4.2 et 6.2.7.2.

When selecting a circuit-breaker, due allowance should be made for the likely future development of the system as a whole, so that the circuit-breaker may be suitable not merely for immediate needs but also for the requirements of the future.

Circuit-breakers which have satisfactorily completed type tests for a combination of rated values (i.e. voltage, normal current, making and/or breaking current) are suitable for any lower rated values (with the exception of rated frequency) without further testing. Switching of inductive loads (magnetising currents of transformers, high-voltage motors and shunt reactors) are specified in IEC 61233.

NOTE Some fault conditions such as evolving faults and some service conditions such as switching of arc furnaces are not dealt with in this standard and should therefore be considered as special conditions for which agreement should be reached between manufacturer and user.

The same is applicable to circuit-breakers used for any operation leading to a power-frequency recovery voltage higher than that corresponding to the rated voltage of the circuit-breaker, which may be the case at certain points of the system and, in particular, at the end of long lines. In this particular case, the value of current to be interrupted at the highest voltage which may occur across the terminals of the circuit-breaker when opening should be subject to a similar agreement.

8.102 Selection of rated values for service conditions

8.102.1 Selection of rated voltage

The rated voltage of the circuit-breaker should be chosen so as to be at least equal to the highest voltage of the system at the point where the circuit-breaker is to be installed.

The rated voltage of a circuit-breaker should be selected from the standard values given in 4.1 of IEC 60694.

In selecting the rated voltage the corresponding insulation levels specified in 4.2 should also be taken into account (see also 8.102.2).

8.102.2 Insulation coordination

The rated insulation level of a circuit-breaker should be selected according to 4.2.

The values in the tables stated there apply to both indoor and outdoor circuit-breakers. It should be specified in the enquiry whether the circuit-breaker is to be of indoor or outdoor type.

The insulation coordination in an electrical system serves to minimise damage to the electrical equipment due to overvoltages and tends to confine flashovers (when these cannot be economically avoided) to points where they will cause no damage.

Precautions should be taken to limit the overvoltages on the terminals of the circuit-breaker to stated values below the insulation level (see IEC 60071-2).

Where a circuit-breaker is required for a position necessitating a higher insulation level, this should be specified in the enquiry (see 9.101).

For circuit-breakers intended for use in synchronising operation when a substantial switching surge may simultaneously occur, refer to 4.2 and 6.2.7.2.

Lors du choix de disjoncteurs, il est également nécessaire de considérer leur comportement au regard de phénomènes transitoires et des surtensions. L'expérience montre que des effets néfastes de phénomènes transitoires et le risque de surtensions dans certains cas critiques peuvent être minimisés par

– le choix approprié du type de disjoncteur;
– des changements du circuit ou l'emploi d'équipement complémentaire pour l'amortissement et la limitation des phénomènes transitoires (circuits RC, parasurtenseurs, résistances non linéaires, etc.).

Ces précautions doivent être discutées avec le constructeur pour chaque cas. On peut convenir d'essais spéciaux pour l'évaluation de la solution retenue.

8.102.3 Fréquence assignée

Il convient de consulter le constructeur si un disjoncteur doit être utilisé à une fréquence autre que sa fréquence assignée (voir 4.3 de la CEI 60694).

Lorsque des disjoncteurs de caractéristiques 50 Hz sont essayés à 60 Hz et vice versa, il convient d'être attentif dans l'interprétation des résultats d'essais, en prenant en compte tous les faits intéressants tels que le type de disjoncteur et le type d'essai effectué.

8.102.4 Choix du courant assigné en service continu

Il convient que le courant assigné en service continu d'un disjoncteur soit choisi parmi les valeurs normales indiquées en 4.4.

Il convient de noter que les disjoncteurs n'ont aucune capacité de surintensité continue spécifiée. De ce fait, lorsqu'on choisit un disjoncteur, il est recommandé que son courant assigné en service continu convienne pour tous les courants de charge qui peuvent se produire en service. Lorsque des surintensités intermittentes, fréquentes et importantes sont prévisibles, il convient de consulter le constructeur.

8.102.5 Conditions atmosphériques et climatiques locales

Les conditions atmosphériques et climatiques normales pour les disjoncteurs sont indiquées dans l'article 2.

On fait une distinction entre les disjoncteurs des classes «moins 5 intérieur», «moins 15 intérieur», «moins 25 intérieur», «moins 10 extérieur», «moins 25 extérieur» et «moins 40 extérieur», qui correspondent à différentes températures minimales de l'air ambiant. Il convient de consulter le constructeur si le disjoncteur est destiné à être installé dans un endroit où la température de l'air ambiant peut descendre au-dessous de –25 °C pour un disjoncteur pour l'intérieur ou au-dessous de –40 °C pour un disjoncteur pour l'extérieur, ou dans des endroits où la température de l'air ambiant peut dépasser 40 °C (ou si la valeur moyenne sur une période de 24 h dépasse 35 °C).

Pour les disjoncteurs pour l'extérieur, les conditions atmosphériques dans certaines zones sont défavorables du fait de la fumée, des vapeurs chimiques, des projections salines ou d'autres conditions analogues. Lorsque l'existence de telles conditions défavorables est connue, il convient d'apporter une attention particulière à la réalisation des parties du disjoncteur, particulièrement des isolateurs, qui sont normalement exposées à l'atmosphère.

Le comportement d'un isolateur dans de telles atmosphères dépend aussi de la fréquence des manoeuvres de lavage ou de nettoyage et de la fréquence du lavage naturel par la pluie. Comme la qualité d'un isolateur, dans de telles conditions, dépend de nombreux facteurs, il n'est pas possible de donner des définitions précises des atmosphères normalement et fortement polluées. L'expérience dans la zone où l'isolateur doit être employé constitue le meilleur guide.

When selecting circuit-breakers for service, it is also necessary to take into account their characteristics in respect of transient phenomena and overvoltages. Experience shows that the unfavourable effects of transient phenomena and the risk of overvoltages for certain critical cases of application can be minimised by

– appropriate selection of the type of circuit-breaker;
– changes in the system or the use of additional equipment for damping and limiting transient phenomena (RC circuits, overvoltage arresters, non-linear resistances, etc.).

These precautions shall be discussed with the manufacturer for individual cases. Special tests can be agreed for evaluating the selected solution.

8.102.3 Rated frequency

The manufacturer should be consulted if a circuit-breaker is to be used at any frequency other than its rated frequency (see 4.3 of IEC 60694).

When circuit-breakers rated 50 Hz are tested at 60 Hz and vice versa, care should be exercised in the interpretation of the test results, taking into account all significant facts such as the type of circuit-breaker and the type of test performed.

8.102.4 Selection of rated normal current

The rated normal current of a circuit-breaker should be selected from the standard values given in 4.4.

It should be noted that circuit-breakers have no specified continuous over-current capability. When selecting a circuit-breaker therefore, the rated normal current should be such as to make it suitable for any load current that may occur in service. Where intermittent over-currents are expected to be frequent and severe, the manufacturer should be consulted.

8.102.5 Local atmospheric and climatic conditions

The normal atmospheric and climatic conditions for circuit-breakers are given in clause 2.

A distinction is made between classes "minus 5 indoor", "minus 15 indoor", "minus 25 indoor", "minus 10 outdoor", "minus 25 outdoor" and "minus 40 outdoor" circuit-breakers, these being suitable for differing minimum ambient air temperatures. The manufacturer should be consulted if a circuit-breaker is to be located where the ambient air temperature may fall below –25 °C for an indoor circuit-breaker, and below –40 °C for an outdoor circuit-breaker, or where the temperature may exceed 40 °C (or if the 24 h average value exceeds 35 °C).

For outdoor circuit-breakers, the atmospheric conditions in certain areas are unfavourable on account of smoke, chemical fumes, salt-laden spray and the like. Where such adverse conditions are known to exist, special consideration should be given to the design of those parts of the circuit-breaker, especially the insulators, normally exposed to the atmosphere.

The performance of an insulator in such atmospheres also depends on the frequency of washing or cleaning operations and on the frequency of natural washing by rain. Since the performance of an insulator under such conditions is dependent on so many factors, it is not possible to give precise definitions of normal and heavily polluted atmospheres. Experience in the area where the insulator is to be used is the best guide.

Si un disjoncteur doit être placé à un endroit où la pression due au vent excède 700 Pa, il convient de consulter le constructeur.

Trois classes différentes de disjoncteurs sont spécifiées en ce qui concerne la couche de glace. Ces classes correspondent à une couche de glace n'excédant pas 1 mm, 10 mm et 20 mm respectivement. Si un disjoncteur doit être placé dans un endroit où des couches de glace dépassant 20 mm sont prévisibles, il convient qu'un accord intervienne entre constructeur et utilisateur en ce qui concerne la possibilité pour le disjoncteur de fonctionner correctement dans de telles conditions.

S'il y a lieu, il convient de prendre en compte les niveaux de qualification sismique auxquels il est fait référence en 2.2.4 de la CEI 60694.

Pour les installations intérieures, les conditions d'humidité sont données en 2.1.1e) de la CEI 60694. Lors du choix d'un disjoncteur, il est recommandé d'indiquer les cas où des valeurs d'humidité importantes sont prévues et où la condensation peut se produire. Il convient de trouver un accord entre constructeur et utilisateur quant à la responsabilité et au degré de précautions nécessaire contre l'apparition de condensation indiquée dans la note 3 de 2.1.1 e) de la CEI 60694.

Pour les disjoncteurs pour l'intérieur, il convient de consulter le constructeur pour toutes conditions spéciales de service, par exemple lors de la présence de vapeurs chimiques, d'une atmosphère agressive, de projections salines, etc.

8.102.6 Emploi à des altitudes élevées

Les conditions normales de service spécifiées dans l'article 2 de la CEI 60694 se rapportent à des disjoncteurs prévus pour être utilisés à des altitudes ne dépassant pas 1 000 m.

Pour des installations à des altitudes supérieures à 1 000 m, le paragraphe 2.2.1 de la CEI 60694 est applicable.

8.103 Choix des valeurs assignées pour les conditions de fonctionnement sur défaut

8.103.1 Choix du pouvoir de coupure assigné en court-circuit

Comme il est indiqué en 4.101, le pouvoir de coupure assigné en court-circuit s'exprime par deux valeurs:

a) la valeur efficace de sa composante périodique;

b) le pourcentage de la composante apériodique (voir les explications en I.2).

Le pourcentage de la composante apériodique varie en fonction du temps à partir du début du court-circuit. Lorsque le disjoncteur est conforme aux prescriptions normales indiquées en 4.101.2, le pourcentage de la composante apériodique que peut supporter le disjoncteur n'est pas inférieur à la valeur prévue par la figure 9, pour l'intervalle de temps correspondant à la plus petite durée d'ouverture possible du disjoncteur, à laquelle s'ajoute, pour un disjoncteur dont l'ouverture est provoquée uniquement par une énergie auxiliaire, une durée minimale de fonctionnement du relais d'une demi-période de la fréquence assignée. Les courbes de la figure 9 correspondent à une composante périodique constante et à un facteur de puissance en court-circuit donnés dans le tableau 23, correspondant à la valeur normale de constante de temps de la composante apériodique τ = 45 ms et aux valeurs pour les applications particulières respectives de 60 ms, 75 ms et 120 ms.

Des essais effectués avec une constante de temps de la composante apériodique plus élevée couvrent des essais avec une constante de temps plus faible, si la composante périodique est la même, ou supérieure, et si les conditions de TTR associées sont celles de la plus faible constante de temps.

The manufacturer should be consulted when the circuit-breaker is to be located where the wind pressure exceeds 700 Pa.

Three different classes of circuit-breakers are specified with regard to ice-coating. These classes correspond to an ice-coating not exceeding 1 mm, 10 mm and 20 mm. If a circuit-breaker is to be located where an ice-coating exceeding 20 mm is expected, agreement should be reached between manufacturer and user as to the ability of the circuit-breaker to perform correctly under such conditions.

Where applicable, the seismic qualification levels referred to in 2.2.4 of IEC 60694 should be taken into account.

For indoor installations, the humidity conditions are given in 2.1.1e) of IEC 60694. When selecting the circuit-breaker for service, it is recommended to indicate the cases, where the high values of humidity are expected and condensation can occur. The responsibility and the amount of precaution to be taken against the occurrence of condensation mentioned in note 3 of 2.1.1e) of IEC 60694 should be agreed between the manufacturer and user.

For indoor circuit-breakers, the manufacturer should be consulted for any special service conditions, for example when chemical fumes, aggressive atmosphere, salt laden spray, etc., are present.

8.102.6 Use at high altitudes

The normal service conditions specified in clause 2 of IEC 60694 provide for circuit-breakers intended for use at altitudes not exceeding 1 000 m.

For installation at altitudes above 1 000 m, 2.2.1 of IEC 60694 is applicable.

8.103 Selection of rated values for fault conditions

8.103.1 Selection of rated short-circuit breaking current

As stated in 4.101, the rated short-circuit breaking current is expressed by two values:

a) the r.m.s. value of its a.c. component;

b) the percentage d.c. component (for explanations, see I.2).

The percentage d.c. component varies with time from the incidence of the short-circuit. When the circuit-breaker meets the standard requirements stated in 4.101.2, the percentage d.c. component that the circuit-breaker can deal with is defined by the values given in figure 9, at the end of the time interval corresponding to the shortest possible opening time of the circuit-breaker plus, for a circuit-breaker to be tripped solely by a form of auxiliary power, a minimum relay time of one half-cycle of rated frequency. The curves in figure 9 are based on a constant a.c. component and on the short-circuit power factors stated in table 23, corresponding to the standard time constant τ = 45 ms and the special case time constants 60 ms, 75 ms and 120 ms, respectively.

Tests with a higher d.c. component cover tests at lower d.c. component, provided that the a.c. component is the same or greater and the TRV conditions associated with the lower d.c. component are met.

Tableau 23 – Relation entre le facteur de puissance en court-circuit, la constante de temps et la fréquence industrielle

Constante de temps τ ms	Facteur de puissance en court-circuit cos φ	
	50 Hz	**60 Hz**
45	0,071	0,059
60	0,053	0,044
75	0,042	0,035
120	0,026	0,022

Lorsque le point d'utilisation est électriquement suffisamment éloigné des machines tournantes, la diminution de la composante périodique est négligeable et il est seulement nécessaire de vérifier que, dans le cas du 50 Hz, le facteur de puissance en court-circuit n'est pas inférieur à 0,071 pour la constante de temps normale de τ = 45 ms et que le retard minimal de l'équipement de protection n'est pas inférieur à une demi-période de la fréquence assignée. Dans ces conditions, il suffit que le pouvoir de coupure assigné en court-circuit du disjoncteur choisi ne soit pas inférieur à la valeur efficace du courant de court-circuit à l'endroit où le disjoncteur doit être installé.

Les séquences d'essais de court-circuit fondamentales (6.106) avec les essais au courant critique (6.107) et s'il y a lieu, les essais de défaut proche en ligne (6.109) ont été choisis pour démontrer que le disjoncteur est capable de couper toutes les valeurs du courant jusqu'au pouvoir de coupure assigné en court-circuit. Par conséquent, dans les cas où le courant de court-circuit présumé est inférieur, il n'est pas nécessaire d'effectuer une série d'essais de court-circuit basée sur un pouvoir de coupure assigné en court-circuit inférieur.

Dans certains cas, le pourcentage de la composante apériodique peut être supérieur aux valeurs normales indiquées à la figure 9. Par exemple, lorsque les disjoncteurs sont près de centres de production, la composante périodique peut décroître plus rapidement que dans le cas normal. Le courant de court-circuit peut ainsi ne pas passer par zéro pendant un certain nombre de périodes. Dans ce cas, la contrainte du disjoncteur peut être réduite, par exemple en retardant son ouverture, ou en insérant par l'intermédiaire d'un autre disjoncteur un dispositif d'amortissement supplémentaire et en ouvrant les disjoncteurs successivement. Si on ne peut pas adopter les valeurs normales du pourcentage de la composante apériodique, il convient de spécifier le pourcentage désiré dans l'appel d'offres et il est recommandé que les essais fassent l'objet d'un accord entre constructeur et utilisateur; l'attention est attirée sur le point b) de 8.103.2.

NOTE Le zéro de courant peut être avancé sous l'effet de la tension d'arc du disjoncteur et/ou des coupures de courant de court-circuit sur les autres phases à des zéros de courant antérieurs. Dans ce cas, les disjoncteurs normaux conviennent avec, sous réserve, une investigation particulière.

Il convient que le pouvoir de coupure assigné en court-circuit soit choisi parmi les valeurs normales indiquées en 4.101.1.

8.103.2 Choix de la tension transitoire de rétablissement (TTR) assignée dans le cas de défaut aux bornes, du facteur de premier pôle et des caractéristiques assignées pour les défauts proches en ligne

Il est recommandé que la tension transitoire de rétablissement (TTR) présumée du réseau ne dépasse pas le tracé de référence représentant la tension transitoire de rétablissement assignée, spécifiée pour le disjoncteur; il est recommandé que cette onde traverse le segment de droite spécifié, définissant le retard, au voisinage du zéro de la tension, mais ne le retraverse pas ensuite (voir 4.102.2). Des valeurs normales sont indiquées en 6.104.5.

NOTE 1 Les tensions transitoires de rétablissement qui apparaissent lors de la coupure des courants de court-circuit les plus élevés ne sont pas forcément plus sévères que celles qui peuvent apparaître dans d'autres cas. Par exemple, la vitesse d'accroissement de la tension transitoire de rétablissement peut être plus élevée lors de la coupure de courants de court-circuit plus faibles.

Table 23 – Relationship between short-circuit power factor, time constant and power frequency

Time constant τ ms	Short-circuit power factor cos φ	
	50 Hz	**60 Hz**
45	0,071	0,059
60	0,053	0,044
75	0,042	0,035
120	0,026	0,022

When the location of the installation is sufficiently remote electrically from rotating machines, the decrement of the a.c. component is negligible and it is only necessary to verify that in the case of 50 Hz the short-circuit power factor is not less than 0,071 for the standard time constant τ = 45 ms and the minimum relay time of the protective equipment is not less than one half-cycle of the rated frequency. In these conditions, it is sufficient that the selected circuit-breaker has a rated short-circuit breaking current not less than the r.m.s. value of the short-circuit current at the point where the circuit-breaker is to be installed.

The basic short-circuit test-duties (6.106), together with the critical current tests (6.107) and, where applicable, short-line fault tests (6.109), have been chosen to prove the circuit-breaker for all values of current up to the rated short-circuit breaking current. Therefore, for situations where the prospective short-circuit current is lower, it is not necessary to perform a short-circuit test series based on a lower rated short-circuit breaking current.

In some cases, the percentage d.c. component may be higher than the values given in figure 9. For instance, when circuit-breakers are close to centres of generation, the a.c. component may decrease more quickly than in the normal case. The short-circuit current may then not have a current zero for a number of cycles. In such circumstances the duty of the circuit-breaker can be eased, for example, by delaying its opening, or by connecting an additional damping device with another circuit-breaker and opening the circuit-breakers in sequence. If the standard values of percentage d.c. component cannot be adhered to, the required percentage should be specified in the enquiry and testing should be subject to agreement between manufacturer and user. Attention is drawn to item b) of 8.103.2.

NOTE The current zero can be advanced by the effects of the arc voltages of the circuit-breaker and/or the interruptions of the short-circuit currents in the other phases with earlier current zeros. For such circumstances, standard circuit-breakers are applicable, subject to careful investigation.

The rated short-circuit breaking current should be selected from the standard values given in 4.101.1.

8.103.2 Selection of rated transient recovery voltage (TRV) for terminal faults, first-pole-to-clear factor and characteristics for short-line faults

The prospective transient recovery voltage (TRV), of the system should not exceed the reference line representing the rated transient recovery voltage specified for the circuit-breaker; it should cross the specified delay line close to zero voltage but should not re-cross it later (see 4.102.2). Standard values are shown in 6.104.5.

NOTE 1 The transient recovery voltages which appear when breaking the highest short-circuit currents are not necessarily more severe than those which appear in other cases. For example, the rate-of-rise of transient recovery voltage may be higher when breaking smaller short-circuit currents.

Dans la gamme de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV, et pour couvrir tous les types de réseaux (distribution, industriels et transport) et dans un but de standardisation, deux types de réseaux sont définis:

– Réseaux par câbles (voir 3.4.119);
– Réseaux aériens (voir 3.4.120)

Les considérations qui suivent devraient permettre de faciliter le choix par l'utilisateur de la classe de disjoncteurs de tension assignée supérieure à 1 kV et inférieure à 100 kV:

– les valeurs normales de la TTR spécifiée dans l'édition 1.1 (éd. 1 + A1) de la CEI 62271-100 peuvent encore être exigées en spécifiant la classe S1 (ces valeurs normales de TTR sont données dans le Tableau 24);
– pour couvrir tous les cas de réseaux par câbles et aériens, à l'exception de ceux mentionnés en a), b) et c) ci-dessous, la classe S2 de disjoncteurs doit être spécifiée (les valeurs normales de TTR sont données dans le Tableau 25).

NOTE 2 Dans les cas particuliers où la longueur de câble(s) (ou la longueur équivalente si des condensateurs sont aussi présents) du côté alimentation du disjoncteur est entre 20 m et 100 m, le réseau est considéré comme étant un réseau aérien sauf si un calcul peut montrer que la TTR du réseau considéré est couverte par l'enveloppe définie par le Tableau 24. Si la TTR est couverte, le réseau est considéré comme étant un réseau par câbles.

Les valeurs normalisées indiquées pour les tensions assignées inférieures à 100 kV sont applicables à un facteur de premier pôle de 1,5. Pour les tensions assignées 100 kV à 800 kV, le facteur de premier pôle applicable est 1,3 car la plupart des réseaux de tension supérieures ou égales à 100 kV ont un neutre effectivement à la terre. Pour les tensions assignées de 100 kV à 170 kV, le choix d'un facteur de premier pôle de 1,3 ou 1,5 est pour les cas spéciaux d'application dans les réseaux avec un neutre non effectivement à la terre ou dans les réseaux compensés par bobine d'extinction(voir également la note de 6.104.5.4).

Le facteur de premier pôle k_{pp} = 1,3 correspond à un réseau à neutre effectivement à la terre où des défauts triphasés isolés de la terre sont considérés comme fortement improbables. Il est recommandé d'utiliser le facteur de premier pôle 1,5 pour les applications à des réseaux à neutre non effectivement à la terre. Un facteur de premier pôle de 1,5 peut être nécessaire pour les applications à des réseaux à neutre effectivement à la terre lorsqu'on ne peut pas négliger la probabilité de défauts triphasés isolés de la terre et pour les applications à des réseaux autres qu'à neutre effectivement à la terre.

Il ne sera généralement pas nécessaire de prendre en considération d'autres tensions transitoires de rétablissement, étant donné que les valeurs normalisées spécifiées couvrent la majorité des cas pratiques.

Toutefois, des conditions plus sévères peuvent se produire dans certains cas, par exemple:

a) Lorsqu'un court-circuit se produit près d'un transformateur mais sur le côté opposé au disjoncteur et qu'il n'y a pas de capacité additionnelle appréciable entre le transformateur et le disjoncteur. Dans ce cas la valeur de crête ainsi que la vitesse d'accroissement de la tension transitoire de rétablissement peuvent dépasser les valeurs spécifiées dans la présente norme.

   NOTE 3 Il est également recommandé de prêter attention au choix d'un disjoncteur installé au primaire d'un transformateur et pouvant avoir à couper le courant correspondant à un court-circuit au secondaire.

   Pour les disjoncteurs de tensions assignées inférieures à 100 kV, ces cas sont couverts dans l'Annexe M.

   NOTE 4 Pour les disjoncteurs de tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV, des valeurs de TTR pour les défauts alimentés par un transformateur sont proposés dans ANSI C37.06.1 [16] pour vitesses rapides de rétablissement de tension.

b) Les disjoncteurs utilisés au voisinage de réactances de limitation peuvent rencontrer des problèmes de coupure à cause de la fréquence propre élevée de ces réactances (voir 8.103.7).

In the range of rated voltages higher than 1 kV and less than 100 kV, in order to cover all types of networks (distribution, industrial and sub-transmission) and for standardisation purposes, two types of systems are defined:

– cable systems (see 3.4.119);

– line systems (see 3.4.120).

The following considerations should facilitate the choice by the user of the class of circuit-breaker for rated voltages higher than 1 kV and less than 100 kV:

– standard values of TRVs specified in edition 1.1 (ed.1 + A1) of IEC 62271-100 can still be required by specifying class S1 (these standard values of TRVs are given in Table 24);

– to cover all cases of cable systems and line systems, except those mentioned in a) , b) and c) below, class S2 of circuit-breakers has to be specified (standard values of TRVs are given in Table 25).

NOTE 2 In the special cases where the total length of cable (or equivalent length when capacitors are also present) on the supply side of the circuit-breaker is between 20 m and 100 m, the system is considered as a line system except if a calculation can show that the actual TRV is covered by the envelope defined from Table 24. If the TRV is covered the system is then considered as a cable system.

The standard values given for rated voltages below 100 kV are applicable to a first-pole-to-clear factor 1,5. For rated voltages 100 kV to 800 kV, the first-pole-to-clear factor is 1,3 since most systems at 100 kV and above are effectively earthed. For rated voltages 100 kV to 170 kV, a choice of a first-pole-to-clear factor 1,5 is provided for those special cases with non-effectively earthed neutrals (see also the Note in 6.104.5.4).

The first-pole-to-clear factor k_{pp} = 1,3 is based on a system with effectively earthed neutral where three-phase faults not involving earth are considered highly improbable. For applications in non-effectively earthed neutral systems, the first-pole-to-clear factor 1,5 should be used. For applications in systems with effectively-earthed neutral in cases where the probability of three-phase faults not involving earth cannot be disregarded, and for applications in systems other than with effectively-earthed neutral systems, a first-pole-to-clear factor of 1,5 may be necessary.

Generally it will not be necessary to consider alternative transient recovery voltages as the standard values specified cover the majority of practical cases.

More severe conditions may occur in some cases, for example:

a) One case is when a short-circuit occurs close to a transformer but on the opposite side to the circuit-breaker and where there is no appreciable additional capacitance between the transformer and the circuit-breaker. In this case both the peak voltage and rate-of-rise of transient recovery voltage may exceed the values specified in this standard.

   NOTE 3 Care should also be taken when selecting a circuit-breaker for the primary side of a transformer which may have to interrupt a short circuit on the secondary side.

   For circuit-breakers with rated voltages less than 100 kV, such cases are covered in Annex M.

   NOTE 4 For circuit-breakers with rated voltages 100 kV and higher, values for TRVs for transformer limited faults are proposed in ANSI C37.06.1 [16] for fast transient recovery voltage rise times.

b) Circuit-breakers being used next to current-limiting reactors may fail to interrupt due to the high natural frequency of these reactors (see 8.103.7).

c) Dans le cas d'un court-circuit intéressant les disjoncteurs proches de générateurs, la vitesse d'accroissement de la tension transitoire de rétablissement peut dépasser les valeurs spécifiées dans la présente norme.

Dans ces cas, il peut être nécessaire de prévoir un accord entre le constructeur et l'utilisateur sur des caractéristiques spéciales de la tension transitoire de rétablissement.

Les défauts proches en ligne sont applicables seulement pour les disjoncteurs prévus pour être reliés directement à des lignes aériennes (sans liaison par câble) et dont la tension assignée est égale ou supérieure à 15 kV et le pouvoir de coupure assigné en court-circuit supérieur à 12,5 kA. Lorsque les disjoncteurs sont prévus pour des installations dans lesquelles il est nécessaire de spécifier des caractéristiques assignées pour les défauts proches en ligne, il convient que l'impédance d'onde et le facteur de crête de la ligne sur laquelle ils seront utilisés ne dépassent pas les valeurs normales des caractéristiques assignées de la ligne indiquées au Tableau 4. De même, il convient que le retard ne soit pas inférieur à la valeur correspondante indiquée dans ce même tableau. Cependant, si tel n'est pas le cas, il est encore possible qu'un disjoncteur normal convienne, spécialement si le courant de court-circuit du réseau est inférieur au pouvoir de coupure assigné en court-circuit du disjoncteur. Cette possibilité peut être confirmée en calculant la TTR présumée pour les défauts proches en ligne à partir des caractéristiques assignées, par la méthode indiquée dans l'Annexe A et en la comparant à la TTR présumée déduite des caractéristiques réelles du réseau.

Si l'on prévoit des caractéristiques spéciales pour le défaut proche en ligne, il convient qu'elles fassent l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

8.103.3 Choix des caractéristiques en cas de discordance de phases

Les exigences de la présente norme couvrent la grande majorité des applications des disjoncteurs destinés à effectuer des manœuvres lors de discordances de phases. Pour faire apparaître des conditions plus sévères que celles qui sont couvertes par les essais de cette norme, il faudrait réunir simultanément plusieurs circonstances défavorables et, comme les manœuvres lors de discordances de phases sont rares, il ne serait pas économique de concevoir les disjoncteurs pour les conditions les plus extrêmes.

Il convient de prendre en compte les caractéristiques réelles de réseau lorsqu'on prévoit de fréquentes manœuvres en discordance de phases ou lorsque des contraintes sévères sont probables.

Il peut parfois être nécessaire d'utiliser un disjoncteur spécial ou un disjoncteur de tension assignée supérieure. En variante, on peut réduire, dans divers réseaux, la sévérité des contraintes dues aux manœuvres en discordance de phases en utilisant des relais possédant des éléments coordonnés sensibles à l'impédance pour déterminer l'instant de déclenchement, de façon à ce que la coupure survienne soit notablement après, soit notablement avant l'instant où l'angle de phase atteint 180°.

Une vitesse d'accroissement plus élevée que celle qui est spécifiée dans les Tableaux 24, 25, 1b, 1c et 1d peut être obtenue si une borne du disjoncteur est reliée à un transformateur. Les disjoncteurs essayés conformément à cette norme sont considérés comme répondant à cette exigence de vitesse d'accroissement plus élevée à condition qu'ils aient subi avec succès les essais de la séquence T30 des séries d'essai en court-circuit fondamentales (voir 6.106.2).

c) In the case of a short-circuit on circuit-breakers close to generators, the rate-of-rise of transient recovery voltage may exceed the values specified in this standard.

In such cases it may be necessary for special TRV characteristics to be agreed between manufacturer and user.

Short-line fault tests are applicable only to circuit-breakers designed for direct connection to overhead lines, irrespective of the type of network on the source side, having a rated voltage of 15 kV and above and a rated short-circuit breaking current exceeding 12,5 kA. When circuit-breakers are required for installations necessitating the assignment of rated characteristics for short-line faults, the line on which they are to be used should have a surge impedance and peak-factor not greater than, and a time delay not less than, the standard values of rated line characteristic given in Table 4. However, if this should not be the case, it is still possible that a standard circuit-breaker is suitable, especially if the short-circuit current of the system is less than the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker. This can be established by calculating the prospective TRV for short-line faults from the rated characteristics by the method given in Annex A and comparing this with the prospective TRV derived from the actual characteristics of the system.

If special characteristics for short-line faults are required, they should be agreed between manufacturer and user.

8.103.3 Selection of out-of-phase characteristics

The requirements of this standard cater for the great majority of applications of circuit-breakers intended for switching during out-of-phase conditions. Several circumstances would have to be combined to produce a severity in excess of those covered by the tests of the standard and, as switching during out-of-phase conditions is rare, it would be uneconomical to design circuit-breakers for the most extreme conditions.

The actual system conditions should be considered when frequent out-of-phase switching is expected or where excessive stresses are probable.

A special circuit-breaker, or one rated at a higher voltage, may sometimes be required. As an alternative solution, the severity of out-of-phase switching duty is reduced in several systems by using relays with coordinated impedance-sensitive elements to control the tripping instant, so that interruption will occur either substantially after or substantially before the instant the phase angle reaches 180°.

A higher rate of rise than specified in Tables 24, 25, 1b, 1c and 1d may occur when one circuit-breaker terminal is transformer-connected. Circuit-breakers tested in accordance with this standard are considered to comply with this higher rate-of-rise requirement, provided they have satisfied test-duty T30 of the basic short-circuit test series (see 6.106.2).

8.103.4 Choix du pouvoir de fermeture assigné en court-circuit

Comme indiqué en 4.103, le pouvoir de fermeture assigné en court-circuit d'un disjoncteur correspond à sa tension assignée et dépend de la fréquence assignée et de la constante de temps du réseau. Pour une fréquence assignée de 50 Hz et pour la constante de temps normale τ = 45 ms, il doit être égal à 2,5 fois (c'est-à-dire approximativement à 1,8 $\sqrt{2}$ fois) la composante périodique du pouvoir de coupure assigné en court-circuit. Pour une fréquence assignée de 60 Hz et pour la constante de temps normale τ = 45 ms, il doit être égal à 2,6 fois la composante périodique du pouvoir de coupure assigné en court-circuit du disjoncteur.

Dans les cas des constantes de temps spéciales, telles que définies en 4.101.2 (60 ms, 75 ms ou 120 ms), prenant en compte les explications de I.2, le pouvoir de fermeture assigné doit être de 2,7 fois la composante périodique du pouvoir de coupure assigné du disjoncteur, pour 50 Hz et 60 Hz quelque soit la fréquence assignée.

Il est recommandé que le pouvoir de fermeture assigné en court-circuit du disjoncteur choisi ne soit pas inférieur à la plus grande valeur de crête du courant de court-circuit prévu au point d'application.

Dans certains cas, par exemple, lorsque des moteurs à induction sont électriquement proches, la valeur maximale de crête du courant de défaut peut être supérieure à la composante périodique du courant de court-circuit multipliée par les facteurs ci-dessus. Dans de tels cas, il est recommandé d'éviter une construction spéciale et de choisir un disjoncteur normal possédant un pouvoir de fermeture assigné en court-circuit convenable.

8.103.5 Séquence de manœuvres en service

Il convient que la séquence de manœuvres assignée d'un disjoncteur soit l'une des séquences de manœuvres indiquées en 4.104. Sauf spécification contraire, les valeurs des intervalles de temps indiquées en 4.104 sont applicables et les séquences de manœuvres assignées à prévoir sont les suivantes:

a) O - 3 min - CO - 3 min - CO;

b) CO - 15 s - CO;

c) O - 0,3 s - CO - 3 min - CO (pour les disjoncteurs prévus pour la refermeture automatique rapide.)

NOTE Au lieu de 3 min, d'autres durées de 15 s (pour les tensions assignées inférieures ou égales à 52 kV) et 1 min sont aussi utilisées pour les disjoncteurs prévus pour la refermeture automatique rapide. La durée à choisir dépend en principe d'exigences du réseau telles que la continuité de service.

Si le pouvoir de coupure en court-circuit du disjoncteur au cours d'une séquence de refermeture automatique est inférieur au pouvoir de coupure assigné en court-circuit, il convient que cela soit spécifié par le constructeur.

Lorsque la séquence de manœuvres en service est plus sévère que celle qui est prévue par la présente norme, il convient que cette séquence soit spécifiée par l'utilisateur dans son appel d'offres et/ou dans sa commande, de telle sorte que le constructeur puisse modifier d'une manière appropriée les caractéristiques assignées du disjoncteur. Comme exemples de disjoncteurs pour des séquences spéciales, on peut citer ceux pour la commande des fours à arc, des chaudières à électrodes et, dans certains cas, d'installations de redresseurs. Le fonctionnement unipolaire d'un disjoncteur multipolaire, par exemple en vue d'une fermeture et d'une ouverture en monophasé, constitue aussi un emploi spécial.

8.103.4 Selection of rated short-circuit making current

As stated in 4.103, the rated short-circuit making current shall correspond to the rated voltage and is related to the rated frequency and the d.c. time constant of the system. For a rated frequency of 50 Hz and based on the standard time constant τ = 45 ms, it shall be 2,5 times (i.e. approximately 1,8$\sqrt{2}$ times) the a.c. component of the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker. For a rated frequency of 60 Hz and based on the standard time constant τ = 45 ms, it shall be 2,6 times the a.c. component of the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker.

If one of the special case d.c. time constants (60 ms, 75 ms or 120 ms) stated in 4.101.2 applies, taking the explanations given in I.2 into account, the rated short-circuit making current shall be 2,7 times the a.c. component of the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker, for both 50 Hz and 60 Hz whatever the rated frequency.

The selected circuit-breaker should have a rated short-circuit making current not less than the highest peak value of the short-circuit currents expected at the application point.

In some cases, for example when induction motors are electrically close, the maximum peak value of the fault current may be more than the a.c. component of the short-circuit current multiplied by the factors given above. In such cases, a special design should be avoided and a standard circuit-breaker having a suitable rated short-circuit making current should be selected.

8.103.5 Operating sequence in service

The rated operating sequence of a circuit-breaker should be one of the operating sequences given in 4.104. Unless otherwise specified, the values of the time intervals given in 4.104 apply and the rated operating sequences provided for are as follows:

a) O - 3 min - CO - 3 min - CO;

b) CO - 15 s - CO;

c) O - 0,3 s - CO - 3 min - CO (for circuit-breakers intended for rapid auto-reclosing).

NOTE Instead of 3 min, other time intervals, namely 15 s for rated voltages less than or equal to 52 kV and 1 min are also used for circuit-breakers intended for rapid auto-reclosing. The interval to be chosen depends in principle upon system requirements such as continuity of service.

If the short-circuit current, which the circuit-breaker is capable of breaking on auto-reclosing, is less than the rated short-circuit breaking current, this should be specified by the manufacturer.

When the operating sequence in service is more severe than is provided for in this standard, this should be specified by the user in his enquiry and/or order in such a way that the manufacturer may modify the rating of the circuit-breaker appropriately. Examples of circuit-breakers for special duty are those used for controlling arc furnaces, electrode boilers and, in certain cases, rectifiers. Single-pole operation of a multipole circuit-breaker, for example with a view to single-phase making and breaking, is also a special duty.

8.103.6 Choix de la durée de court-circuit assignée

La valeur normale de la durée de court-circuit assignée (4.7 de la CEI 60694) est égale à 1 s.

Si, toutefois, une durée inférieure ou supérieure est nécessaire, il est recommandé de choisir parmi les valeurs de 0,5 s, 2 s ou 3 s comme la valeur assignée.

Pour les durées de court-circuit supérieures à la durée assignée, la relation entre le courant et le temps est, sauf indication contraire du constructeur, donnée par la formule suivante:

$$I^2 \times t = \text{constante}$$

Une durée de court-circuit doit être assignée aux disjoncteurs à déclenchement autonome seulement si la temporisation maximum est supérieure à la durée présumée. Dans ce cas, elle doit être définie de la même manière que ci-dessus.

8.103.7 Défaut avec réactance de limitation

En raison de la très faible capacitance inhérente à un certain nombre de réactances, la fréquence naturelle des tensions transitoires concernant ces réactances peut être très grande. Un disjoncteur installé immédiatement en série avec ce type de réactance devra subir une TTR à fréquence élevée en coupure de défaut aux bornes (la réactance étant du côté alimentation du disjoncteur) ou dans le cas de coupure d'un défaut en aval de la réactance (réactance du côté charge du disjoncteur). La fréquence de la TTR résultante excède généralement nettement les valeurs normalisées.

Dans de tels cas, il est nécessaire de prendre des mesures de correction, comme le montage de condensateurs en parallèle aux réactances ou connectées à la terre. . Ces mesures de correction sont disponibles, efficaces et économiques. Il est fortement recommandé de les utiliser, à moins qu'il puisse être démontré par des essais que le disjoncteur est capable d'interrompre les défauts avec une haute fréquence de la TTR requise.

Il est recommandé que la méthode de correction soit telle que la vitesse de rétablissement de la TTR pour le courant de défaut limité par la réactance série, soit réduite à une valeur inférieure à celle des valeurs normalisées données dans les Tableaux 26 ou 27, en fonction des valeurs assignées du disjoncteur. Il doit être considéré que le courant de défaut peut être proche de 100 % du pouvoir de coupure du disjoncteur.

Compte tenu des considérations qui précèdent, il n'y a pas de valeurs normalisées de TTR et il n'est pas exigé de séquence d'essais particulières pour ce type de défaut.

8.104 Choix de l'endurance électrique pour les réseaux de tension assignée supérieure à 1 kV et jusqu'à 52 kV inclus

Les disjoncteurs de classe E2 sont définis en 3.4.113. La capacité d'endurance électrique pour ce service est démontrée par la réalisation de la séquence d'essais en court-circuit de 6.106, sans maintenance intermédiaire. Cette endurance électrique est suffisante pour les disjoncteurs utilisés sur des réseaux câblés où la refermeture automatique n'est pas exigée.

Pour les conditions d'utilisation plus sévères sur les réseaux de lignes aériennes où la refermeture automatique est nécessaire, on recommande l'utilisation d'un disjoncteur à faible maintenance, capable de satisfaire aux exigences d'endurance électrique définies en 6.112.

8.103.6 Selection of rated duration of short-circuit

The standard value of rated duration of short-circuit (4.7 of IEC 60694) is 1 s.

If, however, a lower or higher duration is necessary, the recommended values of 0,5 s, 2 s and 3 s should be selected as the rated value.

For short-circuit durations greater than the rated duration, the relation between current and time, unless otherwise stated by the manufacturer, is in accordance with the formula:

$$I^2 \times t = \text{constant}$$

For self-tripping circuit-breakers, a rated duration of short-circuit shall be assigned only if the maximum time-lag is greater than the prospective one. In such a case, it shall be defined as above.

8.103.7 Series reactor faults

Due to the very small inherent capacitance of a number of series reactors, the natural frequency of transients involving these reactors can be very high. A circuit-breaker installed immediately in series with such type of reactor will face a high frequency TRV when clearing a terminal fault (reactor at supply side of circuit-breaker) or clearing a fault behind the reactor (reactor at load side of circuit-breaker). The resulting TRV frequency generally exceeds by far the standardised TRV values.

In these cases, it is necessary to take mitigation measures, such as the application of capacitors in parallel to the reactors or connected to earth. The available mitigation measures are very effective and cost efficient. It is strongly recommended to use them, unless it can be demonstrated by tests that a circuit-breaker can successfully clear faults with the required high frequency TRV.

The mitigation method should be such that the rate-of-rise of TRV for the fault current, as limited by the series reactor, is reduced to a value lower than the standard values given in Tables 26 or 27, depending on the circuit-breaker ratings. It has to be considered that the fault current can be close to 100 % of the rating of the circuit-breaker.

Based on the preceding considerations, no rated values of TRV and no special test duty are specified for this fault case.

8.104 Selection for electrical endurance in networks of rated voltage above 1 kV and up to and including 52 kV

A circuit-breaker class E2 is defined in 3.4.113. Its electrical endurance capability for such service is demonstrated by performing the short-circuit test-duties of 6.106 without intermediate maintenance. This electrical endurance is considered to be sufficient for circuit-breakers used on cable-connected networks where auto-reclosing is not required.

For the more severe conditions of use on an overhead-line connected network, including auto-reclosing duty, a low-maintenance circuit-breaker capable of meeting the electrical endurance requirements specified in 6.112 is recommended.

8.105 Choix de la manœuvre de courant capacitif

Lorsque des batteries de condensateurs sont installées dans des sous-stations où des câbles sont déjà présents, et vice versa, on sera attentif aux exigences des courants d'appel pour le disjoncteur manoeuvrant ces circuits. Cette exigence peut être semblable à celle détaillée en 4.107.4.

9 Renseignements à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes

9.101 Renseignements à donner dans les appels d'offres et les commandes

En faisant un appel d'offres ou en passant commande d'un disjoncteur, il est recommandé à l'utilisateur de fournir les renseignements suivants:

a) caractéristiques propres au réseau, c'est-à-dire tensions nominale et la plus élevée, fréquence, nombre de phases, et modalités de mise à la terre du neutre;

b) conditions en service comprenant les températures minimale et maximale de l'air ambiant, cette dernière, si elle est supérieure à la valeur normale; l'altitude, si elle est supérieure à 1 000 m; et toutes conditions spéciales susceptibles d'exister ou de se produire, par exemple l'exposition inhabituelle à la vapeur d'eau, à l'humidité, aux vapeurs chimiques, aux atmosphères explosives, à une poussière excessive ou à l'air salin (voir 8.102.5 et 8.102.6);

c) caractéristiques du disjoncteur

Il est recommandé de donner les renseignements suivants:

Type de caractéristiques	Référence
1) le nombre de pôles	
2) la classe: pour l'intérieur ou pour l'extérieur	
3) la tension assignée	8.102.1
4) le niveau d'isolement assigné s'il existe un choix entre différents niveaux d'isolement correspondant à une tension assignée donnée, ou, s'il est différent du niveau normal, le niveau d'isolement demandé	8.102.2
5) la fréquence assignée	8.102.3
6) le courant assigné en service continu	8.102.4
7) le pouvoir de coupure assigné en court-circuit	8.103.1
8) le facteur de premier pôle	8.103.2
9) si elle diffère de la valeur normale, la tension transitoire de rétablissement demandée pour les défauts aux bornes	8.103.2
10) si elles diffèrent des valeurs normales, les caractéristiques demandées pour les défauts en ligne	8.103.2
11) s'il diffère de la valeur normale, le pouvoir de fermeture demandé en court-circuit	8.103.4
12) la séquence de manœuvres assignée	8.103.5
13) si elle diffère de la valeur normale, la durée admissible du courant de court-circuit désirée	8.103.6
14) la durée de coupure	4.109
15) s'il y a lieu, la performance de réamorçage pendant les essais de coupure de courant capacitifs (classe C1 ou C2)	4.107
16) s'il y a lieu, les caractéristiques des conditions de manœuvre capacitives (par exemple conditions de mise à la terre, type de charge, ...)	4.107
17) s'il y a lieu, le pouvoir de coupure assigné de lignes à vide	4.107.1
18) s'il y a lieu, le pouvoir de coupure assigné de câbles à vide	4.107.2
19) s'il y a lieu, le pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs	4.107.3
20) s'il y a lieu, le pouvoir de coupure assigné de batteries de condensateurs à gradins	4.107.4
21) s'il y a lieu, le pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs	4.107.5
22) s'il y a lieu, le pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins	4.107.6
23) s'il y a lieu, les pouvoirs de coupure et de fermeture assignés en discordance de phases	4.106
24) les essais de type spécifiés sur demande spéciale (voir par exemple pollution artificielle et perturbations radioélectriques, etc.)	6.2.8 et 6.3
25) la fréquence de manœuvre (classe M1 ou M2)	4.110
26) s'il y a lieu, la caractéristique d'endurance électrique (classe E1 ou E2, avec ou sans exigence de réenclenchement)	4.111
27) s'il y a lieu, le pouvoir de coupure assigné des faibles courants inductifs	4.108
28) s'il y a lieu, tout essai au-delà des essais de type, de série et de réception	

8.105 Selection for capacitive current switching

Caution is required where capacitor banks are to be installed at substations where cables are already installed, and vice versa, as this can inflict back-to-back switching duties on the controlling circuit-breakers for these circuits. The back-to-back duty may be similar to that detailed in subclause 4.107.4.

9 Information to be given with enquiries, tenders and orders

9.101 Information to be given with enquiries and orders

When enquiring for or ordering a circuit-breaker, the following particulars should be supplied by the enquirer:

a) particulars of systems, i.e. nominal and highest voltages, frequency, number of phases and details of neutral earthing;

b) service conditions including minimum and maximum ambient air temperatures, altitude if over 1 000 m and any special conditions likely to exist or arise, for example unusual exposure to water vapour, moisture, fumes, explosive gases, excessive dust or salt air (see 8.102.5 and 8.102.6);

c) characteristics of circuit-breaker

The following information should be given:

	Type of information	Reference
1)	number of poles	
2)	class: indoor or outdoor	8.102.1
3)	rated voltage	8.102.2
4)	rated insulation level where a choice exists between different insulation levels corresponding to a given rated voltage, or, if other than standard, the desired insulation level	8.102.3
5)	rated frequency	8.102.4
6)	rated normal current	8.103.1
7)	rated short-circuit breaking current	8.103.2
8)	first-pole-to-clear factor	8.103.2
9)	if other than standard, desired transient recovery voltage for terminal faults	8.103.2
10)	if other than standard, desired characteristics for short-line faults	8.103.4
11)	if other than standard, desired short-circuit making current	8.103.5
12)	rated operating sequence	8.103.6
13)	if other than standard, desired duration of short-circuit	4.109
14)	break-time	4.107
15)	if applicable, restrike performance during capacitive current switching (class C1 or C2)	4.107
16)	if applicable, characteristics for capacitive switching conditions (for example, earthing conditions, type of capacitive load, etc.)	4.107.1
17)	if applicable, rated line-charging breaking current	4.107.2
18)	if applicable, rated cable-charging breaking current	4.107.3
19)	if applicable, rated single capacitor bank breaking current	4.107.4
20)	if applicable, rated back-to-back capacitor bank breaking current	4.107.5
21)	if applicable, rated single capacitor bank inrush making current	4.107.6
22)	if applicable, rated back-to-back capacitor bank inrush making current	4.106
23)	if applicable, rated out-of-phase making and breaking current	6.2.8 and 6.3
24)	the type tests specified under special request (for example artificial pollution and radio interference, etc.)	4.110
25)	the frequency of mechanical operations (class M1 or M2)	4.111
26)	if applicable, characteristic for electrical endurance (class E1 or E2 (with/without auto-reclosing duty))	4.108
27)	if applicable, small inductive breaking current	
28)	if applicable, any test exceeding the standardised type, routine and commissioning tests	

d) caractéristiques du mécanisme de commande du disjoncteur et de l'équipement associé, en particulier:

   1) le mode de commande, manuel ou par une source d'énergie;

   2) le nombre et le type des contacts auxiliaires de réserve;

   3) la tension assignée d'alimentation et la fréquence assignée d'alimentation;

   4) le nombre de dispositif de déclenchement, si plus d'un;

   5) le nombre de dispositif d'enclenchement, si plus d'un.

e) prescriptions relatives à l'utilisation de gaz comprimé et prescriptions relatives à la construction et aux essais des réservoirs de pression.

NOTE Il est recommandé au demandeur de donner des renseignements sur toutes les conditions spéciales, non énumérées précédemment, qui pourraient avoir une influence sur la soumission ou la commande (voir aussi la note en 8.101).

9.102 Renseignements à donner avec les soumissions

Lorsque le demandeur désire connaître les caractéristiques techniques d'un disjoncteur, il est recommandé au constructeur de donner les renseignements suivants (ceux qui sont applicables) avec les notices descriptives et les plans:

a) valeurs assignées et caractéristiques:

	Type d'information	Référence
1)	le nombre de pôles	
2)	la classe: pour l'intérieur ou pour l'extérieur, température, couche de glace	8.102.5
3)	la tension assignée	8.102.1
4)	le niveau d'isolement assigné	8.102.2
5)	la fréquence assignée	8.102.3
6)	le courant assigné en service continu	8.102.4
7)	le pouvoir de coupure assigné en court-circuit	8.103.1
8)	le facteur de premier pôle	8.103.2
9)	la tension transitoire de rétablissement assignée pour les défauts aux bornes	8.103.2
10)	les caractéristiques assignées pour les défauts proches en ligne	8.103.2
11)	le pouvoir de fermeture assigné en court-circuit	8.103.4
12)	la séquence de manœuvres assignée	8.103.5
13)	la durée de court-circuit assignée	8.103.6
14)	la durée d'ouverture, la durée de coupure, et la durée de fermeture assignées	4.109
15)	la performance de réamorçage pendant les essais de coupure de courant capacitifs (classe C1 ou C2)	4.107
16)	les caractéristiques des conditions de manœuvre capacitives	4.107
17)	le pouvoir de coupure de lignes à vide	4.107.1
18)	le pouvoir de coupure de câbles à vide	4.107.2
19)	le pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs	4.107.3
20)	le pouvoir de coupure assigné de batteries de condensateurs à gradins	4.107.4
21)	le pouvoir de fermeture assigné de batterie unique de condensateurs	4.107.5
22)	le pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins	4.107.6
23)	les pouvoirs de coupure et de fermeture assignés en discordance de phases	4.106
24)	les essais de type spécifiés sur demande spéciale (par exemple pollution artificielle et perturbations radioélectriques, etc.)	6.2.8 et 6.3
25)	classe M1 ou M2 pour l'endurance mécanique	4.110
26)	classe E1 ou E2 (avec ou sans réenclenchement) pour l'endurance électrique	4.111
27)	disjoncteurs de classe S1, S2 (disjoncteurs de tensions assignées inférieures à 100 kV)	6.104.5 4.108
28)	le pouvoir de coupure de faibles courants inductifs	

d) characteristics of the operating mechanism of circuit-breaker and associated equipment, in particular:
   1) method of operation, whether manual or power;
   2) number and type of spare auxiliary switches;
   3) rated supply voltage and rated supply frequency;
   4) number of releases for tripping, if more than one;
   5) number of releases for closing, if more than one.

e) requirements concerning the use of compressed gas and requirements for design and tests of pressure vessels.

NOTE The enquirer should give information of any special conditions not included above, that might influence the tender or order (see also the note in 8.101).

9.102 Information to be given with tenders

When the enquirer requests technical particulars of a circuit-breaker, the following information (those which are applicable) should be given by the manufacturer, with the descriptive matter and drawings:

a) rated values and characteristics:

	Type of information	Reference
1)	number of poles	
2)	class: indoor or outdoor, temperature, ice-coating	8.102.5
3)	rated voltage	8.102.1
4)	rated insulation level	8.102.2
5)	rated frequency	8.102.3
6)	rated normal current	8.102.4
7)	rated short-circuit breaking current	8.103.1
8)	first-pole-to-clear factor	8.103.2
9)	transient recovery voltage for terminal faults	8.103.2
10)	characteristics for short-line faults	8.103.2
11)	rated short-circuit making current	8.103.4
12)	rated operating sequence	8.103.5
13)	rated duration of short-circuit	8.103.6
14)	rated opening time, rated break-time and rated closing time	4.109
15)	restrike performance during capacitive current switching (Class C1 or C2)	4.107
16)	characteristics for capacitive current switching conditions	4.107
17)	rated line-charging breaking current	4.107.1
18)	rated cable-charging breaking current	4.107.2
19)	rated single capacitor bank breaking current	4.107.3
20)	rated back-to-back capacitor bank breaking current	4.107.4
21)	rated single capacitor bank inrush making current	4.107.5
22)	rated back-to-back capacitor bank inrush making current	4.107.6
23)	rated out-of-phase making and breaking current	4.106
24)	the type tests specified under special request (for example artificial pollution and radio interference, etc.)	6.2.8 and 6.3
25)	class M1 or class M2 for mechanical endurance	4.110
26)	class E1 or class E2 (with/without auto-reclose) for electrical endurance	4.111
27)	class S1, S2 circuit-breakers (circuit-breakers with rated voltage less than 100 kV)	6.104.5
28)	small inductive breaking current	4.108

b) essais de type

certificat ou rapport sur demande;

c) détails constructifs

Les détails suivants sont requis s'il y a lieu, suivant la conception:

1) masse du disjoncteur complet sans le fluide d'isolation, de coupure et de manœuvre;
2) masse/volume de fluide pour l'isolation, sa qualité et la gamme opératoire, y compris la valeur minimum de fonctionnement;
3) masse/volume de fluide pour la coupure (si le fluide est différent de celui de 2) et/ou 4)), sa qualité et la gamme opératoire, y compris la valeur minimum de fonctionnement;
4) masse/volume de fluide pour la manœuvre (si le fluide est différent de celui de 2) et/ou 4)), sa qualité et la gamme opératoire, y compris la valeur minimum de fonctionnement;
5) la qualification en étanchéité;
6) masse/volume de fluide par pôle, à remplir jusqu'à un niveau suffisant pour empêcher toute dégradation de composant interne pendant le stockage et le transport;
7) nombre d'éléments de coupure en série par pôles;
8) distances minimales dans l'air:
   – entre pôles;
   – à la terre;
   – limites du périmètre de sécurité pendant une manœuvre de coupure pour les disjoncteurs munis d'un dispositif d'évacuation à l'extérieur des gaz ionisés ou des flammes;
9) toute autre disposition spéciale pour assurer le maintien des caractéristiques assignées du disjoncteur aux températures extrêmes de l'air ambiant prescrites (par exemple, chauffage, refroidissement);

d) mécanisme de commande d'un disjoncteur et équipement associé:

1) type du dispositif de fermeture;
2) si le disjoncteur convient pour la manœuvre à déclenchement libre ou à déclenchement conditionné et s'il est prévu avec un dispositif de verrouillage à fermeture empêchée;
3) tension assignée d'alimentation et/ou pression du mécanisme de fermeture, avec ses limites si elles diffèrent ou dépassent les valeurs spécifiées en 9.102c)4);
4) courant requis à la tension assignée d'alimentation pour fermer le disjoncteur;
5) énergie nécessaire à la fermeture du disjoncteur, par exemple mesurée en chute de pression;
6) tension assignée d'alimentation du déclencheur shunt d'ouverture;
7) courant requis à la tension assignée d'alimentation pour le déclencheur shunt d'ouverture;
8) nombre et type des contacts auxiliaires de réserve;
9) courant requis à la tension assignée d'alimentation par les autres auxiliaires;
10) réglage des dispositifs de verrouillage à haute et à basse pression;
11) le nombre de dispositif de déclenchement, si plus d'un;
12) le nombre de dispositif d'enclenchement, si plus d'un;

b) type tests:

certificate or report on request;

c) constructional features:

The following details are required where they are applicable to the design:

1) mass of complete circuit-breaker without fluids for insulation, interruption and operation;
2) mass/volume of fluid for insulation, its quality and operating range, including the minimum functional value;
3) mass/volume of fluid for interruption (where different fluid to items 2) and/or 4)), its quality and operating range, including the minimum functional value;
4) mass/volume of fluid for operation (where different fluid to items 2) and/or 3)), its quality and operating range, including the minimum functional value;
5) tightness qualification;
6) mass/volume of fluids per pole to fill to a level sufficient to prevent deterioration of internal components during storage and transportation;
7) number of units in series per pole;
8) minimum clearances in air:
   – between poles;
   – to earth;
   – the safety boundaries during a breaking operation, for circuit-breakers with an external exhaust for ionised gasses or flame;
9) any special arrangements (for example heating or cooling) to maintain the rated characteristics of the circuit-breaker at the required temperatures of the ambient air;

d) operating mechanism of circuit-breaker and associated equipment:

1) type of operating mechanism;
2) whether the circuit-breaker is suitable for trip-free or fixed trip operation and whether it is provided with a lock-out device preventing closing;
3) rated supply voltage and/or pressure of closing mechanism, pressure limits where different to or expanding data required in c) 4) of 9.102;
4) current required at rated supply voltage to close the circuit-breaker;
5) energy expended to close the circuit-breaker, for example measured as a fall in pressure;
6) rated supply voltage of shunt opening release;
7) current required at rated supply voltage for shunt opening release;
8) number and type of spare auxiliary switches;
9) current required at rated supply voltage by other auxiliaries;
10) setting of high and low pressure interlocking devices;
11) number of releases for tripping, if more than one;
12) number of releases for closing, if more than one;

e) Encombrement maximal et autres renseignements:

Il est recommandé au constructeur de donner les renseignements nécessaires concernant l'encombrement maximal du disjoncteur et les renseignements détaillés nécessaires à l'établissement de la fondation.

Il est recommandé de donner des renseignements généraux concernant la maintenance du disjoncteur et de ses raccordements.

10 Règles pour le transport, le stockage, l'installation, la manœuvre et la maintenance

L'article 10 de la CEI 60694 est applicable avec les compléments suivants:

10.1 Conditions à respecter pendant le transport, le stockage et l'installation

Le paragraphe 10.1 de la CEI 60694 est applicable.

10.2 Installation

Les paragraphes 10.2.1 à 10.2.4 de la CEI 60694 sont applicables avec le complément suivant:

10.2.101 Guide pour les essais de mise en service

Après l'installation du disjoncteur et l'achèvement de tous les raccordements, il convient d'effectuer les essais de mise en service. L'objet de tels essais est de contrôler que le transport et le stockage n'ont pas endommagé le disjoncteur. De plus, quand une grande partie de l'assemblage et/ou du réglage est exécutée sur le site comme indiqué en 7.101, les essais sont nécessaires pour vérifier la compatibilité des sous ensembles et contrôler la qualité du travail et les caractéristiques fonctionnelles dépendant de ce travail.

En complément des exigences de 10.2.102, un nombre minimal de 50 manœuvres à vide doit être fait à la mise en service du disjoncteur lorsque de grands sous-ensembles sont assemblés sur site sans essais de routine antérieurs sur le disjoncteur complet. Ces manœuvres doivent être faites après l'assemblage, les raccordements et les vérifications et après l'exécution du programme d'essais de mise en service. Ces manœuvres peuvent comprendre des manœuvres différées d'essais de routine faisant partie du programme d'essais de mise en service seulement lorsqu'elles sont faites après l'exécution des réglages sur site et des contrôles d'étanchéité. Le but de ces essais est de réduire les cas de mauvais fonctionnement et de défaut peu de temps après la mise en service du disjoncteur.

Le constructeur doit établir un programme d'essais et de vérifications à la mise en service. La répétition du programme complet d'essais individuels, déjà effectué en usine, doit être évitée dans la mesure où le but des essais de mise en service est de confirmer

– l'absence de dommage;
– la compatibilité d'éléments séparés;
– que le montage est correctement effectué;
– qu'après assemblage le disjoncteur a des performances correctes.

En général, cela est obtenu lorsque le programme d'essais de mise en service se compose, sans y être limité, du programme donné dans 10.2.102. Les résultats des essais doivent être enregistrés dans un compte rendu d'essais.

e) overall dimensions and other information:

The manufacturer should give the necessary information as regards the overall dimensions of the circuit-breaker and details necessary for the design of the foundation.

General information regarding maintenance of the circuit-breaker and its connections should be given.

10 Rules for transport, storage, installation, operation and maintenance

Clause 10 of IEC 60694 is applicable, with the following additions:

10.1 Conditions during transport, storage and installation

Subclause 10.1 of IEC 60694 is applicable.

10.2 Installation

Subclauses 10.2.1 to 10.2.4 of IEC 60694 are applicable, with the following addition:

10.2.101 Guide for commissioning tests

After a circuit-breaker has been installed and all connections have been completed, commissioning tests are recommended to be performed. The purpose of these tests is to confirm that transportation and storage have not damaged the circuit-breaker. In addition, when a large part of the assembly and/or of the adjustment is performed on site, as identified in 7.101, the tests are required to confirm compatibility of the sub-components and the satisfactory nature of both the site work and the functional characteristics dependent upon it.

In addition to the requirements of 10.2.102, a minimum of 50 no-load operations shall be performed on site on the circuit-breaker where major sub-assemblies are combined at site without previous routine tests on the complete circuit-breaker. These operations shall be performed after assembly, all connections and checks having been made and the programme of commissioning tests having been completed. These operations may include deferred routine test operations forming part of the commissioning programme only where they are made after all site adjustments and tightness checks are complete. The purpose of these tests is to reduce occurrences of maloperation and failure early in the operational life of the circuit-breaker.

The manufacturer shall produce a programme of site commissioning checks and tests. Repetition of the full programme of routine tests, already performed in the factory, shall be avoided as the purpose of commissioning tests is for confirmation of

– absence of damage;
– compatibility of separate units;
– correct assembly;
– correct performance of the assembled circuit-breaker.

In general, this is achieved when the commissioning tests include, but are not limited to, the programme given in 10.2.102. The results of the tests shall be recorded in a test report.

10.2.102 Programme d'essais et de vérifications à la mise en service

10.2.102.1 Vérifications après montage

Le paragraphe 10.2.101 exige que le constructeur établisse un programme d'essais et de vérifications à la mise en service; il convient que celui-ci soit basé sur, sans y être limité, le programme d'essais et de vérifications donné ici.

10.2.102.1.1 Vérification générale

– vérification de l'assemblage, conformément aux dessins et aux instructions du constructeur;

– vérification de l'étanchéité du disjoncteur, des serrages, des systèmes hydrauliques et des dispositifs de commande;

– vérification que l'isolation externe et, si cela s'applique, l'isolation interne, sont propres et non endommagées;

– vérification de la peinture et de la protection contre la corrosion;

– vérification de la propreté des dispositifs de commande, en particulier des déclencheurs de manœuvre;

– vérification que le raccordement à la terre est complet et suffisant jusqu'à et y compris l'interface avec le réseau de mise à la terre du poste;

et si applicable:

– enregistrement du nombre de manœuvres indiqué par le ou les compteurs à la livraison;

– enregistrement du nombre de manœuvres indiqué par le ou les compteurs à l'issue des essais de mise en service;

– enregistrement du nombre de manœuvres indiqué par le ou les compteurs lors de la première alimentation par le réseau.

10.2.102.1.2 Vérification des circuits électriques

– Conformité au schéma de filerie.

– Fonctionnement correct de la signalisation (positions, alarmes, verrouillages, etc.).

– Fonctionnement correct du chauffage et de l'éclairage.

10.2.102.1.3 Vérification du ou des fluides d'isolement et/ou d'extinction

Huile	Type, tenue diélectrique (CEI 60296), niveau
SF_6	Vérification de la pression de remplissage/de la densité et de la qualité, pour confirmer les niveaux d'acceptation, respectivement, de la CEI 60376, de la CEI 60480 et CEI 61634. Cette vérification de la qualité n'est pas exigée pour les appareils scellés et dans le cas de gaz neuf provenant de bouteilles scellées. Une vérification du point de rosée et du niveau total d'impuretés doit être effectué pour confirmer les critères d'acceptation du constructeur
Mélanges gazeux	La qualité doit être confirmée avant alimentation par le réseau
Air comprimé	Qualité (si cela est applicable) et pression

10.2.102 Commissioning checks and test programme

10.2.102.1 Checks after installation

Subclause 10.2.101 requires the manufacturer to produce a programme of commissioning checks and tests. This should be based on, but is not limited to, the programme of checks and tests given here.

10.2.102.1.1 General checks

– assembly conforms to manufacturer's drawings and instructions;
– tightness of circuit-breaker, its fastenings, fluid systems and control devices;
– external insulation and, where applicable, internal insulation are undamaged and clean;
– paint and other corrosion protection are sound;
– operating devices, especially operating releases, are free from contamination;
– adequacy and integrity of the earth connection up to and including the interface with the substation earthing system;

and, where applicable:

– record the number on the operations counter(s) at delivery;
– record the number on the operations counter(s) at completion of all site testing;
– record the number on the operations counter(s) at first energisation.

10.2.102.1.2 Checks of electrical circuits

– conformity to the wiring diagram;
– correct operation of signalling (position, alarms, lockouts, etc.);
– correct operation of heating and lighting.

10.2.102.1.3 Checks of the insulation and/or extinguishing fluid(s)

Oil	Type, dielectric strength (IEC 60296), level
SF_6	Filling pressure/density, and quality checks, to confirm the acceptance levels of IEC 60376, IEC 60480 and IEC 61634. These quality checks are not required on sealed equipment and new gas used from sealed bottles. A dewpoint check and a check of the total impurities shall be carried out to confirm the manufacturer's acceptance levels
Gas mixtures	Quality to be confirmed prior to energisation
Compressed air	Quality (if applicable) and pressure

10.2.102.1.4 Vérification du ou des fluides de manœuvre, en cas de remplissage ou de complément sur site

Huile hydraulique	Niveau et, à moins d'un accord contraire, confirmation que l'humidité contenue est suffisamment faible pour éviter une corrosion interne ou d'autres dommages au système hydraulique
Azote	Pression de remplissage, et pureté (par exemple sans oxygène ou avec 1 % de gaz traceur)

10.2.102.1.5 Manœuvres de mise en service

Confirmation doit être donnée que le programme d'essais et de vérifications de mise en service exigé en 7.101 a été effectué et, si applicable, complété par les 50 manœuvres additionnelles exigées en 10.2.101.

10.2.102.2 Essais mécaniques et mesurages

10.2.102.2.1 Mesurages des pressions caractéristiques du fluide d'isolement et/ou de coupure (si applicable)

10.2.102.2.1.1 Généralités

Les mesurages suivants doivent être faits afin de les comparer à la fois avec les valeurs enregistrées en essais individuels et avec celles garanties par le constructeur. Ces valeurs servent de référence pour les futures maintenances et d'autres vérifications, et permettront de déceler une dérive éventuelle des caractéristiques de fonctionnement.

Ces mesurages comprennent, si applicable, une vérification du fonctionnement des dispositifs d'alarme et de verrouillage (manostat, relais, transducteurs, etc.).

10.2.102.2.1.2 Mesurages à effectuer

a) Si applicable, mesurages à la montée en pression:
   - valeur de désactivation du verrouillage d'ouverture/déclenchement;
   - valeur de désactivation du verrouillage de fermeture;
   - valeur de désactivation du verrouillage de refermeture automatique;
   - valeur de disparition de l'alarme de basse pression.

b) Si applicable, mesurages à la baisse de pression:
   - valeur d'apparition de l'alarme de basse pression;
   - valeur d'activation du verrouillage de refermeture automatique;
   - valeur d'activation du verrouillage de fermeture;
   - valeur d'activation du verrouillage d'ouverture.

10.2.102.2.2 Mesurages des pressions caractéristiques du fluide de commande (si applicable)

10.2.102.2.2.1 Généralités

Il convient que les mesurages suivants (liste à adapter suivant les cas) soient en principe effectués pour être comparés à la fois aux valeurs enregistrées lors des essais individuels et aux valeurs garanties par le constructeur. Ces valeurs peuvent servir de référence lors des contrôles ultérieurs (maintenance) et permettront de déceler une dérive éventuelle des caractéristiques de fonctionnement.

10.2.102.1.4 Checks on operating fluid(s), where filled or added to on site

Hydraulic oil	Level and, unless otherwise agreed, confirmation that the moisture content is sufficiently low to prevent internal corrosion or other damage to the hydraulic system
Nitrogen	Filling pressure and purity (for example oxygen free or 1 % tracer gas)

10.2.102.1.5 Site operations

Confirmation shall be given that the programme of commissioning checks and tests required by 7.101 has been completed and, where applicable, extended by the additional 50 operations required by 10.2.101.

10.2.102.2 Mechanical tests and measurements

10.2.102.2.1 Measurements of the characteristic insulating and/or interrupting fluid pressures (where applicable)

10.2.102.2.1.1 General

The following measurements shall be taken in order to compare them with the values both recorded during the routine tests and guaranteed by the manufacturer. These values serve as the reference for future maintenance and other checks and will enable any drift in operating characteristics to be detected.

These measurements involve a check of the operation of the alarm and lockout devices (pressure switches, relays, transducers, etc.) where applicable.

10.2.102.2.1.2 Measurements to be taken

a) Where applicable, on rising pressure:
   - the reset value of the opening/tripping lockout;
   - the reset value of the closing lockout;
   - the reset value of the auto-reclosing lockout;
   - disappearance of the low-pressure alarm.

b) Where applicable, on dropping pressure:
   - appearance of low-pressure alarm;
   - operating value of lockout of the auto-reclosing feature;
   - operating value of lockout of the closing;
   - operating value of lockout of the opening.

10.2.102.2.2 Measurements of characteristic operating fluid pressures (if applicable)

10.2.102.2.2.1 General

The following measurements (list to be adapted as necessary) should be taken, in order to compare them with the values both recorded during routine tests and guaranteed by the manufacturer. These values may serve as a reference during later checks (maintenance) and will enable any drift in operating characteristics to be detected.

Ces mesurages impliquent une vérification de la manœuvre des dispositifs de verrouillage et d'alarme (pressostats, relais, etc.).

10.2.102.2.2.2 Mesurages à effectuer

a) A la montée en pression, avec le dispositif de gonflage (pompe, compresseur, vanne commandée, etc.) en service:
   – valeur de désactivation du verrouillage d'ouverture;
   – valeur de désactivation du verrouillage de fermeture;
   – valeur de désactivation du verrouillage de refermeture automatique (si applicable);
   – valeur de disparition de l'alarme de basse pression;
   – valeur d'arrêt du dispositif de regonflage;
   – valeur d'ouverture de la soupape de sûreté (si applicable).

NOTE Les mesurages peuvent être combinés avec le mesurage des temps de regonflage du dispositif de commande (voir 10.2.102.2.5.2).

b) A la descente en pression, le dispositif de gonflage étant maintenu hors service:
   – valeur de fermeture de la soupape de sûreté (si applicable);
   – valeur de démarrage du dispositif de regonflage;
   – valeur d'apparition de l'alarme de basse pression;
   – valeur d'activation du verrouillage de refermeture automatique (si applicable);
   – valeur d'activation du verrouillage de fermeture;
   – valeur d'activation du verrouillage d'ouverture.

Dans le cas d'une commande hydraulique, il convient d'indiquer, avant le début des essais, la pression de prégonflage des accumulateurs à la température de l'air ambiant.

10.2.102.2.3 Mesurage des consommations lors des manœuvres (si applicable)

Le dispositif de gonflage étant hors service et la réserve individuelle à la pression de démarrage du dispositif de gonflage, il convient d'évaluer les consommations lors de chacune des manœuvres ou séquences suivantes:

– O tripolaire;
– C tripolaire;
– O - 0,3 s - CO tripolaire (si applicable).

Il convient de noter la pression stabilisée après chaque manœuvre ou séquence de manœuvre.

10.2.102.2.4 Vérification de la séquence assignée de fonctionnement

Il convient de vérifier la faculté du disjoncteur à effectuer sa séquence de fonctionnement assignée. Il convient de vérifier que les essais soient effectués en principe avec les dispositifs de recharge en service, à la tension d'alimentation sur le site et, si cela est applicable, en partant de la pression de démarrage du dispositif de gonflage comme en 10.2.102.2.3.

Il convient de démontrer la coordination entre les niveaux d'intervention du dispositif de verrouillage et les valeurs minimales de pression mesurées pendant la séquence de manœuvres assignée.

La tension d'alimentation sur le site est la tension en charge disponible sur le disjoncteur à partir de la source normale sur le site, et elle devra être compatible avec la tension d'alimentation assignée des circuits auxiliaires et de commande.

The measurements involve a check of the operation of the lockout or alarm devices (pressure switches, relays, etc.).

10.2.102.2.2.2 Measurements to be taken

a) On a rise in pressure with the pumping device (pump, compressor, controlled valve, etc.) in service:
   - the reset value of the opening lockout;
   - the reset value of the closing lockout;
   - the reset value of the auto-reclosing lockout (if applicable);
   - disappearance of the low-pressure alarm;
   - cut-off of the pumping device;
   - opening of the safety valve (if applicable).

NOTE The measurements may be combined with the measurements of the recharging time of the operating mechanism (see 10.2.102.2.5.2).

b) On a drop in pressure with the pumping device switched off:
   - closing of the safety valve (if applicable);
   - starting of the pumping device;
   - appearance of the low-pressure alarm;
   - lockout of the auto-reclosing (if applicable);
   - lockout of the closing;
   - lockout of the opening.

In the case of a hydraulic control, the pre-inflation pressure of the accumulators should be indicated together with the ambient air temperature before the tests are performed.

10.2.102.2.3 Measurement of consumption during operations (if applicable)

With the pumping device switched off and the individual reservoir at the cut-in pressure of the pumping device, the consumption during each of the following operations or sequences should be evaluated:

– O three-pole;
– C three-pole;
– O - 0,3 s - CO three-pole (if applicable).

The steady-state pressure after each operation or operating sequence should be noted.

10.2.102.2.4 Verification of the rated operating sequence

The ability of the circuit-breaker to perform its specified rated operating sequence should be verified. The tests should be performed with the recharging device in service, with site supply voltage and, if applicable, starting with the cut-in pressure of the pumping device, as in 10.2.102.2.3.

Evidence should be given to demonstrate the coordination between the interlocking device intervention levels and the minimum pressures for operation measured during the rated operating sequence.

The site supply voltage is the on-load voltage available at the circuit-breaker from the normal site supply and should be compatible with the rated supply voltage of auxiliary and control circuits.

10.2.102.2.5 Mesurages des durées

10.2.102.2.5.1 Durées caractéristiques du disjoncteur

a) Durées de fermeture et d'ouverture, écart de simultanéité

Il convient d'effectuer les mesurages suivants à la pression maximale (arrêt du dispositif de gonflage) et à la tension d'alimentation sur le site, mesurée aux bornes de l'équipement avec plein passage du courant:

– durée de fermeture de chaque pôle, écart de simultanéité des pôles et, lorsque cela est possible, écarts de simultanéité des éléments de coupure ou des groupes d'éléments d'un même pôle;
– durée d'ouverture de chaque pôle, écart de simultanéité des pôles et, lorsque cela est possible, écart de simultanéité des éléments de coupure ou des groupes d'éléments d'un même pôle.

Dans le cas de bobines de déclenchement multiples, il convient de toutes les essayer et d'enregistrer les temps pour chacune d'elles.

Il convient d'enregistrer la tension d'alimentation avant et pendant les manœuvres. Il convient aussi d'enregistrer l'instant d'alimentation du relais de commande tripolaire, s'il existe, de manière à déterminer le temps total en fonctionnement tripolaire (temps du relais plus durée de fermeture ou d'ouverture).

Lorsque le disjoncteur est pourvu de résistances de fermeture ou d'ouverture, il convient d'en enregistrer les durées d'insertion.

b) Fonctionnement des contacts de commande et des contacts auxiliaires

On détermine la position dans le temps du fonctionnement de l'un des contacts auxiliaires et de commande de chaque sorte (à fermeture et à ouverture) par rapport à celui des contacts principaux, à la fermeture et à l'ouverture du disjoncteur.

10.2.102.2.5.2 Durée de réarmement de l'organe de commande

a) Organe de commande fonctionnant avec un fluide

Il convient de mesurer le temps de fonctionnement du dispositif de gonflage (pompe, compresseur, vanne commandée)

– entre la pression minimale et la pression maximale (démarrage et arrêt du dispositif de gonflage);
– lors des manœuvres ou séquences de manœuvres suivantes, en partant chaque fois de la pression minimale (démarrage du dispositif de gonflage):
  – C tripolaire;
  – O tripolaire;
  – O - 0,3 s - CO tripolaire (si applicable).

b) Organe de commande à ressort

Il convient de mesurer la durée de fonctionnement du moteur pour le réarmement, à la tension d'alimentation sur le site.

10.2.102.2.5 Measurement of time quantities

10.2.102.2.5.1 Characteristic time quantities of the circuit-breaker

a) Closing and opening times, time spread

The following measurements should be made at maximum pressure (cut-off of pumping device) and at the supply voltage, measured at the terminals of the equipment with full current flowing:

– closing time of each pole, time spread of the poles and when possible time spread of the breaking units or groups of units of each pole;
– opening time of each pole, time spread of the poles and when possible time spread of the breaking units or groups of units of each pole.

In the case of multiple trip coils, all should be tested and the times recorded for each.

The supply voltage before and during the operations should be recorded. Furthermore the instant at which the three-pole control relay, if any, is energised should also be recorded to enable calculation of the total time in three-pole operation (relay time plus closing or opening time).

When the circuit-breaker is provided with resistor closing or opening units, the resistor insertion times should be recorded.

b) Operation of control and auxiliary contacts

The timing of the operation of one of each kind (make and break) of control and auxiliary contacts should be determined in relation to the operation of the main contacts, on closing and on opening of the circuit-breaker.

10.2.102.2.5.2 Recharging time of the operating mechanism

a) Fluid-operated mechanism

The operation time of the pumping device (pump, compressor, control valve, etc.) should be measured:

– between minimum and maximum pressure (cut-in and cut-off of the pumping device);
– during the following operations or operating sequence, starting each time with minimum pressure (cut-in of the pumping device):
  – C three-pole;
  – O three-pole;
  – O - 0,3 s - CO three-pole (if applicable).

b) Spring-operated mechanism

The recharging time of the motor after a closing operation should be measured at the site supply voltage.

10.2.102.2.6 Enregistrement des caractéristiques de déplacement mécanique

Comme exigé par 7.101, un enregistrement des caractéristiques de déplacement mécanique peut être fait lorsque le montage complet du disjoncteur a été fait pour la première fois sur site ou si tout ou partie des essais individuels sont effectués sur site. L'enregistrement doit confirmer la qualité du fonctionnement par comparaison avec la caractéristique de déplacement mécanique qui a été obtenue pendant les essais de référence à vide détaillés en 6.101.1.1.

10.2.102.2.7 Vérification de certains fonctionnements particuliers

10.2.102.2.7.1 Refermeture automatique à la pression minimale pour la manœuvre (si applicable)

Le dispositif de gonflage étant hors service, il convient de réduire la pression automatique de commande jusqu'à la valeur de verrouillage de refermeture automatique et d'effectuer une séquence de manœuvres de refermeture automatique (dans les conditions du site, il peut être nécessaire d'utiliser une temporisation externe pour donner l'ordre de refermeture). Il convient d'effectuer cet essai à la tension d'alimentation de l'équipement avec plein passage du courant et d'enregistrer la tension d'alimentation avant et pendant les manœuvres. Il convient de relever la pression finale et de s'assurer qu'il existe une marge de sécurité suffisante jusqu'à la pression de verrouillage de l'ouverture de manière à se prémunir contre des variations de pression transitoires et d'une dérive éventuelle des pressostats.

En cas de doute, on peut réaliser une variante de l'essai ci-dessus en partant d'une pression plus basse que celle du verrouillage de la refermeture automatique (contact court-circuité). Il convient de vérifier ensuite qu'une ouverture est encore possible.

10.2.102.2.7.2 Fermeture à la pression minimale pour la manœuvre (si applicable)

Le dispositif de gonflage étant hors service, il convient de réduire la pression de commande jusqu'à la valeur de verrouillage de fermeture et d'effectuer une manœuvre de fermeture. Il convient d'effectuer cet essai à la tension d'alimentation de l'équipement avec plein passage du courant. Il convient d'enregistrer la tension d'alimentation avant et pendant les manœuvres et de relever la pression finale et de s'assurer qu'il existe une marge de sécurité suffisante jusqu'à la pression minimale pour la manœuvre d'ouverture.

En cas de doute, on peut réaliser une variante à l'essai ci-dessus en partant d'une pression plus basse que celle du verrouillage de la fermeture (contact court-circuité). Il convient de vérifier ensuite qu'une ouverture est encore possible.

10.2.102.2.7.3 Ouverture à la pression minimale pour la manœuvre (si applicable)

Le dispositif de gonflage étant hors service, il convient de diminuer la pression de commande jusqu'à la valeur de verrouillage de l'ouverture et d'effectuer une manœuvre d'ouverture. Il convient d'effectuer cet essai à la tension d'alimentation de l'équipement avec plein passage du courant. Il convient d'enregistrer la tension d'alimentation avant et pendant les manœuvres et de relever la pression finale.

10.2.102.2.7.4 Simulation d'une fermeture sur défaut et vérification du dispositif d'anti-pompage

Il convient de mesurer la durée pendant laquelle le disjoncteur reste fermé pendant un cycle de manœuvres CO, le circuit de déclenchement étant mis sous tension par la fermeture du contact auxiliaire.

Cet essai permet également de vérifier le fonctionnement du dispositif d'anti-pompage et l'absence de fonctionnement anormal de la commande pour toute cause mécanique, hydraulique ou pneumatique provoquée par la rapidité de l'envoi de l'ordre d'ouverture.

10.2.102.2.6 Record of mechanical travel characteristics

As required by 7.101, a record can be made of the mechanical travel characteristics where the circuit-breaker has been assembled as a complete circuit-breaker for the first time on site or where all or part of the routine tests are performed on site. The record shall confirm satisfactory performance by comparison with the reference mechanical travel characteristics obtained during the reference no-load tests detailed in 6.101.1.1.

10.2.102.2.7 Checks of certain specific operations

10.2.102.2.7.1 Auto-reclosing at the minimum functional pressure for operation (if applicable)

With the pumping device out of service, the control pressure should be lowered to the lockout value for auto-reclosing and an auto-reclosing operating sequence be carried out (under site conditions it may be necessary to use a separate timing device to initiate reclosure). The test should be conducted at the supply voltage of the equipment with full current flowing. The supply voltage before and during the operations should be recorded. The final pressure should be noted and it should be ensured that there is sufficient safety margin to the minimum functional pressure for operation for opening, as a guard against pressure switch deviation and pressure transients.

In case of doubt, an alternative test to the one described above may be performed, starting with a lower pressure than the minimum functional pressure for operation for auto-reclosing (short-circuited contact). It should then be verified that an opening operation is still possible.

10.2.102.2.7.2 Closing at the minimum functional pressure for operation (if applicable)

With the pumping device out of service, the control pressure should be lowered as far as the lockout value for closing and a closing operation be carried out. The test should be conducted at the supply voltage of the equipment with full current flowing. The supply voltage before and during the operations should be recorded. The final pressure should be noted and a sufficient safety margin ensured to the minimum functional pressure for operation for opening.

In case of doubt, an alternative test to the one described above may be performed, starting with a lower pressure than the minimum functional pressure for operation for closing (short-circuited contact). It should then be verified that an opening operation is still possible.

10.2.102.2.7.3 Opening at the minimum functional pressure for operation (if applicable)

With the pumping device out of service, the control pressure should be lowered as far as the lockout value for opening and an opening operation be carried out. The test should be conducted at the supply voltage of the equipment with full current flowing. The supply voltage before and during the operations should be recorded. The final pressure should be noted.

10.2.102.2.7.4 Simulation of fault-making operation and check of anti-pumping device

Measurement should be taken of the time during which the circuit-breaker remains closed on a CO operating cycle with the trip circuit energised by the closing of the auxiliary contact.

The test also allows checking of the anti-pumping device operation and the absence of mal-function for any mechanical, hydraulic or pneumatic reasons, caused by the rapid application of the opening command.

Afin de vérifier l'efficacité du dispositif d'anti-pompage, il convient de maintenir l'ordre de fermeture pendant 1 s à 2 s.

NOTE Un essai d'anti-pompage simplifié peut également être effectué à l'aide de la commande locale. Dans ce cas, on donne et on maintient un ordre de fermeture, immédiatement suivi d'un ordre d'ouverture.

10.2.102.2.7.5 Comportement du disjoncteur sur ordre de fermeture, lorsqu'un ordre d'ouverture est déjà présent

Il convient de contrôler que le disjoncteur satisfasse aux prescriptions techniques sur ordre de fermeture, un ordre d'ouverture étant préalablement appliqué et maintenu.

10.2.102.2.7.6 Envoi d'un ordre d'ouverture simultanément sur les deux déclencheurs (si applicable)

Il peut arriver que les deux déclencheurs (normal et secours) soient alimentés simultanément (ou quasi simultanément).

Il convient de s'assurer qu'il n'existe pas d'interférence mécanique, hydraulique ou pneumatique dans les fonctionnements, surtout si les déclencheurs n'agissent pas au même niveau.

10.2.102.2.7.7 Protection de discordance de pôles (si applicable)

Il convient de vérifier la protection contre la discordance de pôles par l'un des essais suivants:

– le disjoncteur étant ouvert, le déclencheur de fermeture d'un pôle est alimenté et on vérifie que le pôle se ferme, puis s'ouvre;
– le disjoncteur étant fermé, le déclencheur d'ouverture d'un pôle est alimenté et on vérifie que les deux autres pôles s'ouvrent ensuite.

10.2.102.3 Essais et mesurages électriques

10.2.102.3.1 Essais diélectriques

Des essais diélectriques des circuits auxiliaires doivent être effectués pour confirmer que le transport et le stockage du disjoncteur n’ont pas endommagé ces circuits. Cependant, il est reconnu que de tels circuits contiennent des composants qui peuvent être endommagés par l’application de la pleine tension d’essai pendant la durée complète de l’essai. Pour éviter ce problème, et pour éviter le retrait temporaire de connexions éprouvées, le fournisseur doit donner le détail du processus d’essai qui démontre que des dommages ne se sont pas produits, ainsi que la méthode d’enregistrement des résultats de ce processus d’essai.

Pour les essais diélectriques du circuit principal de disjoncteurs sous enveloppe métallique, la CEI 60298 [8] et la CEI 60517 [9] sont applicables.

10.2.102.3.2 Mesurage de la résistance des circuits principaux

Le mesurage de la résistance des circuits principaux n'est nécessaire que si les éléments de coupure ont été assemblés sur le site. La mesure doit être faite avec un courant continu, conformément à 7.3 de la CEI 60694.

10.3 Fonctionnement

Le paragraphe 10.3 de la CEI 60694 est applicable.

The closing command should be maintained for 1 s to 2 s in order that the anti-pumping device can be checked for effective operation.

NOTE A simplified anti-pumping test may also be executed, using the local control. In this case, a closing command is applied and maintained, while a consecutive opening command is applied.

10.2.102.2.7.5 Behaviour of the circuit-breaker on a closing command while an opening command is already present

It should be verified that the circuit-breaker meets the technical specifications in the presence of a closing command when previously an opening command is applied and maintained.

10.2.102.2.7.6 Application of an opening command on both releases simultaneously (if applicable)

It may happen that both releases (normal and emergency) are energised simultaneously (or virtually simultaneously).

It should be ensured that the operations are not subject to any mechanical, hydraulic or pneumatic interference, particularly if the releases do not operate at the same level.

10.2.102.2.7.7 Protection against pole discrepancy (if applicable)

Protection against pole discrepancy should be checked by either of the following tests:

– with the circuit-breaker open, the closing release of one of the poles shall be energised and a check carried out to see that it closes and then opens;
– with the circuit-breaker closed, the opening release of one of the poles shall be energised and a check carried out to see that the other two poles open.

10.2.102.3 Electrical tests and measurements

10.2.102.3.1 Dielectric tests

Dielectric tests on auxiliary circuits shall be performed to confirm that transportation and storage of the circuit-breaker have not damaged these circuits. However, it is recognised that such circuits contain vulnerable sub-components and the application of the full testing voltage for the full duration can cause damage. In order to avoid this, and to avoid the temporary removal of proven connections, the supplier shall detail the test process that demonstrates that damage has not occurred as well as the method of recording the results from this test process.

For dielectric tests on the main circuit of metal-enclosed switchgear and controlgear, IEC 60298 [8] and IEC 60517 [9] are applicable.

10.2.102.3.2 Measurement of the resistance of the main circuit

Measurement of the resistance of the main circuit need only be made if interrupting units have been assembled on site. The measurement shall be made with a direct current in accordance with 7.3 of IEC 60694.

10.3 Operation

Subclause 10.3 of IEC 60694 is applicable.

10.4 Maintenance

Le paragraphe 10.4 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant.

De plus, il est recommandé au constructeur de donner des renseignements concernant la maintenance des disjoncteurs à la suite:

a) des manœuvres sur court-circuit;

b) des manœuvres en service normal.

Il convient que ces renseignements comprennent le nombre de manœuvres selon les points a) et b) après lequel il y a lieu de réviser le disjoncteur.

Les paragraphes 10.4.1 à 10.4.3 de la CEI 60694 sont applicables. Les vérifications exigées en 10.2.102.1.3 s'appliquent.

10.4.101 Résistances et condensateurs

Pour la vérification des résistances et des condensateurs, il est recommandé d'indiquer les tolérances permises sur les valeurs.

11 Sécurité

L'article 11 de la CEI 60694 est applicable avec le complément suivant.

Il convient d'identifier dans le manuel d'instructions du disjoncteur tout risque connu d'impact chimique et sur l'environnement.

10.4 Maintenance

Subclause 10.4 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

In addition, the manufacturer should give information regarding the maintenance of circuit-breakers following

a) short-circuit operations;

b) operations in normal service.

This information should include the number of operations according to items a) and b) after which the circuit-breaker is to be overhauled.

Subclauses 10.4.1 to 10.4.3 of IEC 60694 are applicable. The checks required in 10.2.102.1.3 apply.

10.4.101 Resistors and capacitors

When checking resistors and capacitors, allowed variations of the values should be given.

11 Safety

Clause 11 of IEC 60694 is applicable with the following addition:

Any known chemical and environmental impact hazards should be identified in the circuit-breaker handbook/manual.

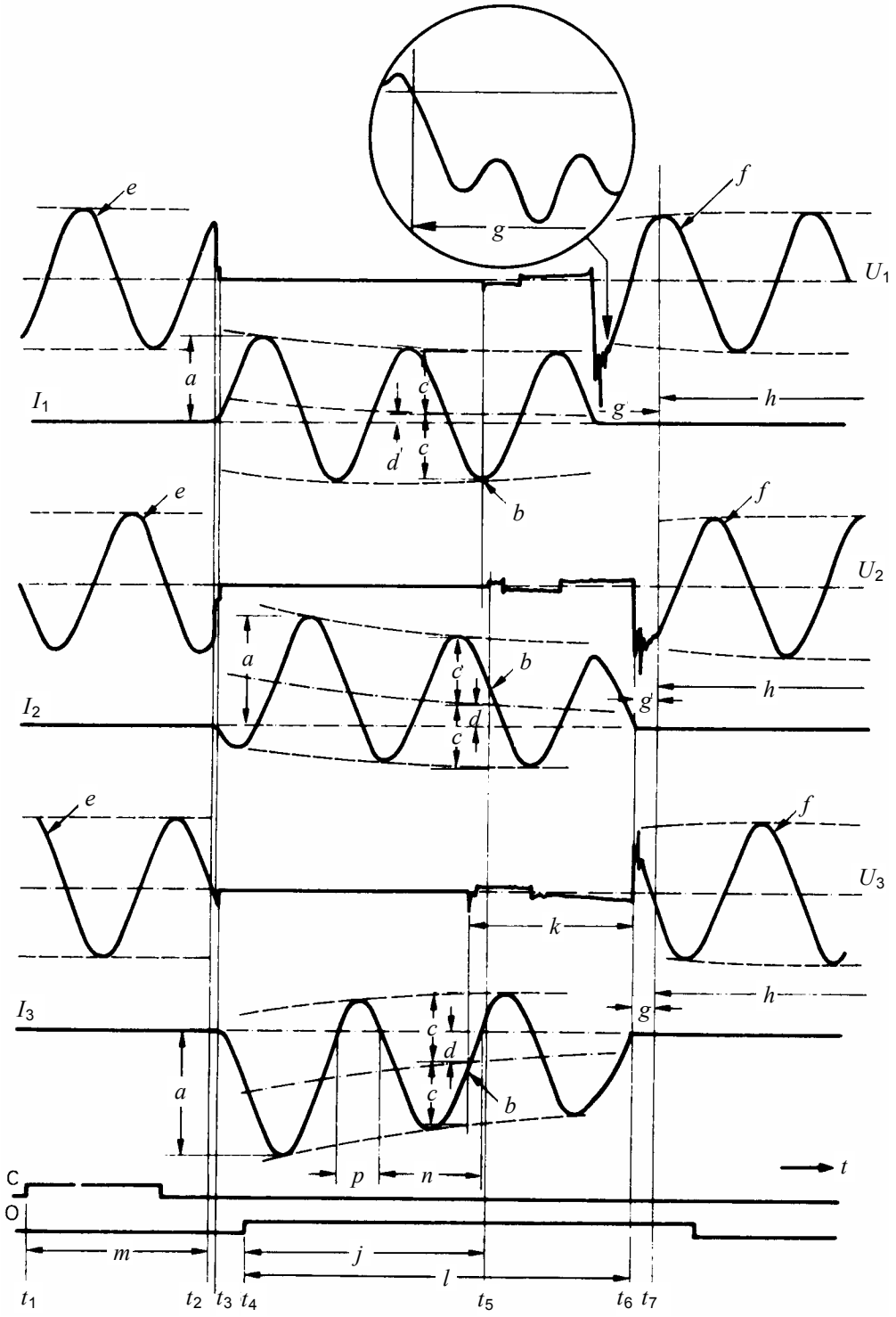


Figure 1 – Oscillogramme type d'un cycle d'établissement-coupure en court-circuit triphasé

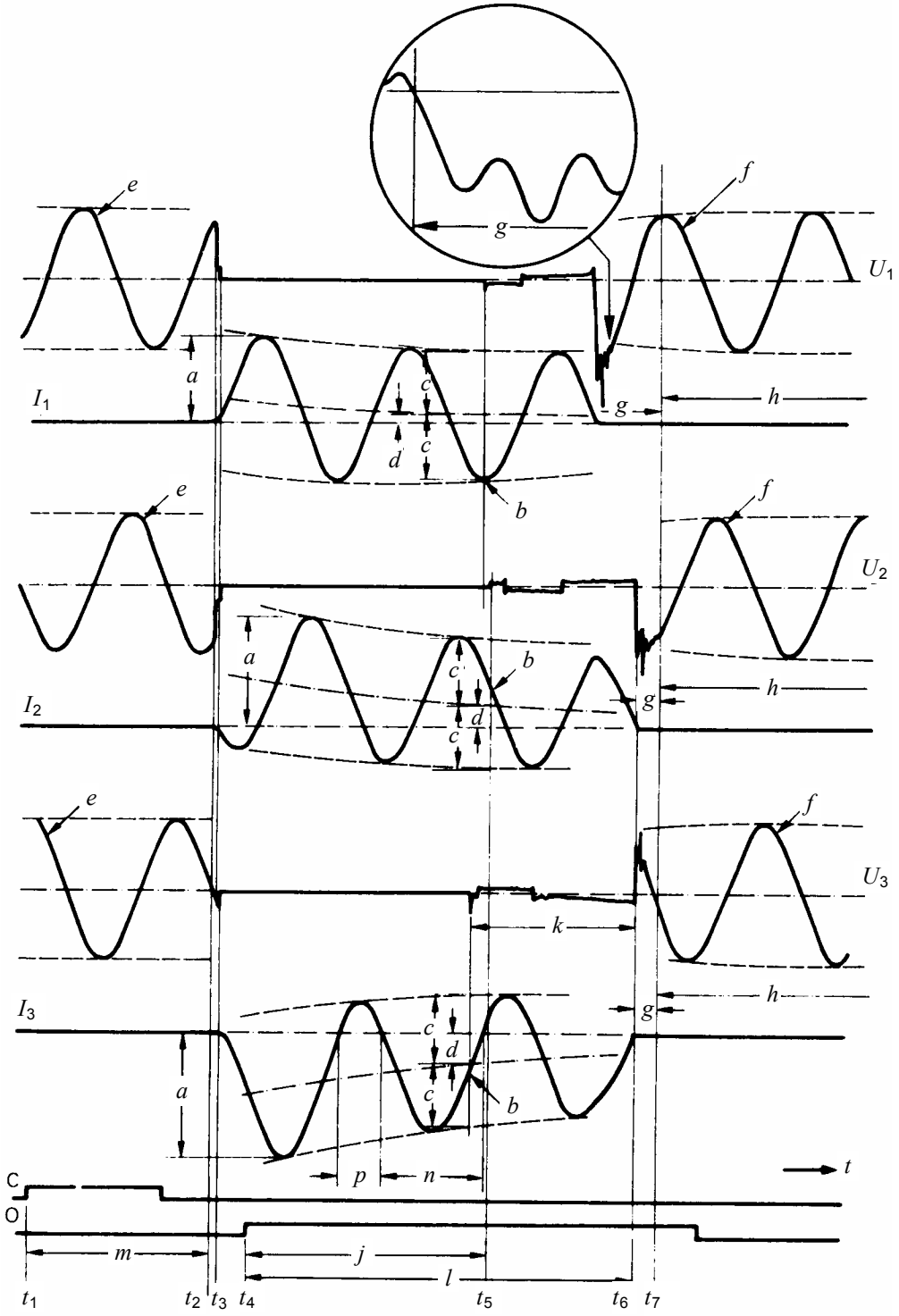


Figure 1 – Typical oscillogram of a three-phase short-circuit make-break cycle

Légende de la figure 1:

U_1 tension entre les bornes du premier pôle qui coupe

I_1 courant dans le premier pôle qui coupe

U_2 , U_3 tension entre les bornes des deux autres pôles

I_2 , I_3 courant dans les deux autres pôles

C commande de fermeture, par exemple tension aux bornes du circuit de fermeture

O commande d'ouverture, par exemple tension aux bornes du déclencheur d'ouverture

t_1 instant du début de la manceuvre de fermeture

t_2 instant ou le courant commence à circuler dans le circuit principal

t_3 instant ou le courant est établi sur tous les pôles

t_4 instant de mise sous tension du déclencheur d'ouverture

t_5 instant de la séparation des contacts d'arc (ou de l'amorcage de l'arc) sur tous les pôles

t_6 instant de l'extinction finale de l'arc sur tous les pôles

t_7 instant de la disparition des phénoménes transitoires de tension dans le dernier pôle qui coupe

a (valeur de crête du) courant établi

b courant coupé

c valeur de crête de la composante périodique

d composante apériodique

e tension appliquée

f tension de rétablissement

g tension transitoire de rétablissement

h tension de rétablissement à fréquence industrielle

j durée d'ouverture

k durée d'arc

l durée de coupure

m durée d'établissement

n grande alternance

p petite alternance

Notes concernant les figures 2 à 7 suivantes:

NOTE 1 En pratique, il se produira une dispersion des durées entre les courses des contacts des trois pôles. Pour plus de clarté sur les figures, la course des contacts est indiquée avec une seule ligne pour les trois pôles.

NOTE 2 En pratique, il se produira une dispersion entre le début ainsi qu'entre la fin de la circulation du courant dans les trois pôles. Pour plus de clarté sur les figures, le début ainsi que la fin de la circulation du courant sont indiqués avec une seule ligne pour les trois pôles.

Legend to figure 1:

U_1	voltage across the terminals of the first pole to clear
I_1	current in the first pole to clear
U_2, U_3	voltage across the terminals of the two other poles
I_2, I_3	current in the two other poles
C	closing command, e.g. voltage across the terminals of the closing circuit
O	opening command, e.g. voltage across the terminals of the opening release
t_1	the instant of initiation of the closing operation
t_2	the instant when the current begins to flow in the main circuit
t_3	the instant when the current is established in all poles
t_4	the instant of energizing the opening release
t_5	the instant when the arcing contacts have separated (or instant of initiation of the arc) in all poles
t_6	the instant of final arc extinction in all poles
t_7	the instant when the transient voltage phenomena have subsided in the last pole to clear
a	(peak) making current
b	breaking current
c	peak value of the alternating component
d	direct current component
e	applied voltage
f	recovery voltage
g	transient recovery voltage
h	power frequency recovery voltage
j	opening time
k	arcing time
l	break time
m	make time
n	major loop
p	minor loop

Notes to the following figures 2 to 7:

NOTE 1 In practice, there will be a time spread between the travel of the contacts of the three poles. For clarity the travel of the contacts in the figures is indicated with a single line for all three poles.

NOTE 2 In practice, there will be a time spread between both the start and end of current flow in the three poles. For clarity, both the start and end of current flow in the figures is indicated with a single line for all three poles.

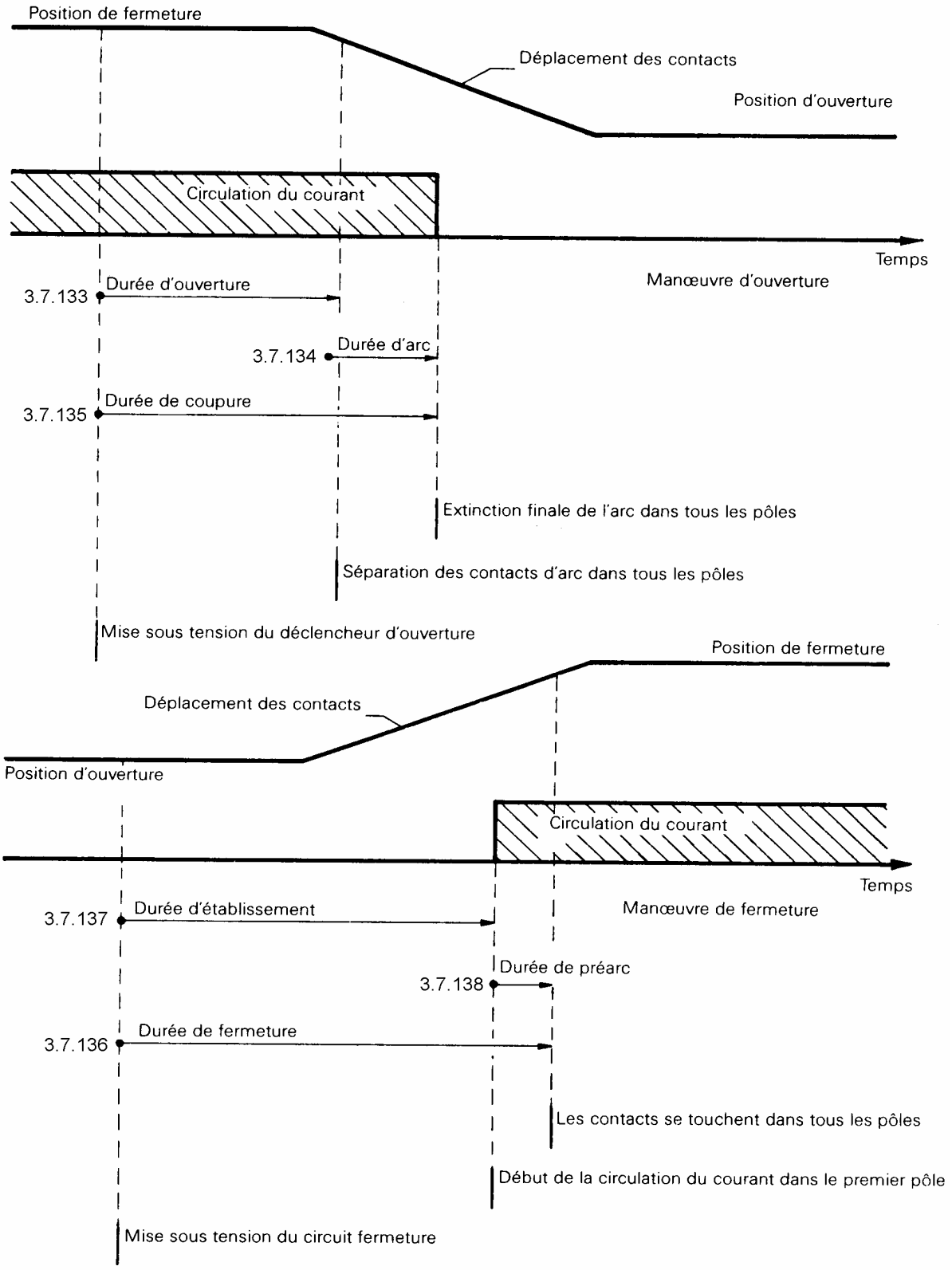


Figure 2 – Disjoncteur sans résistances intercalaires. Manoeuvres d'ouverture et de fermeture

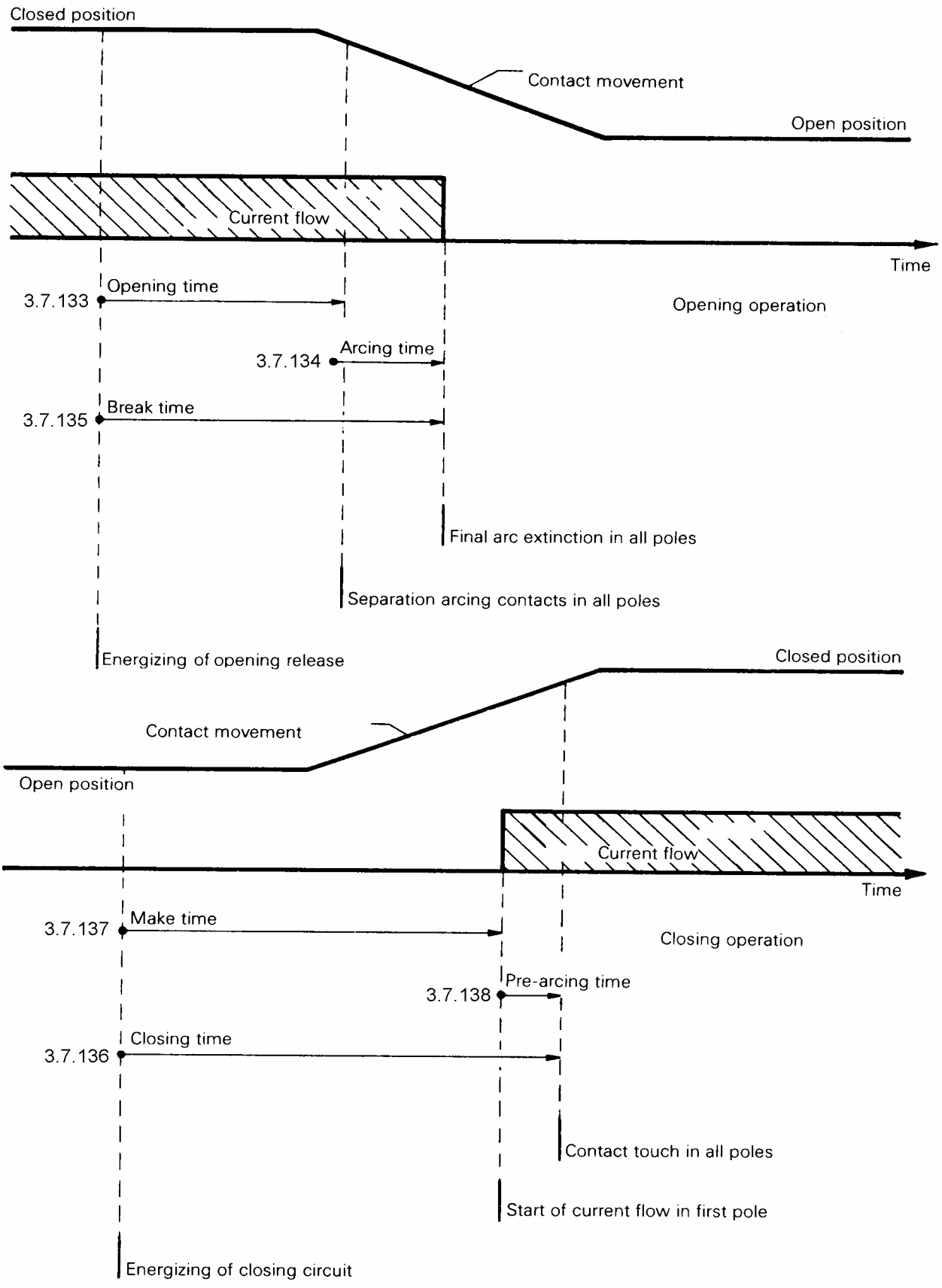


Figure 2 – Circuit-breaker without switching resistors. Opening and closing operations

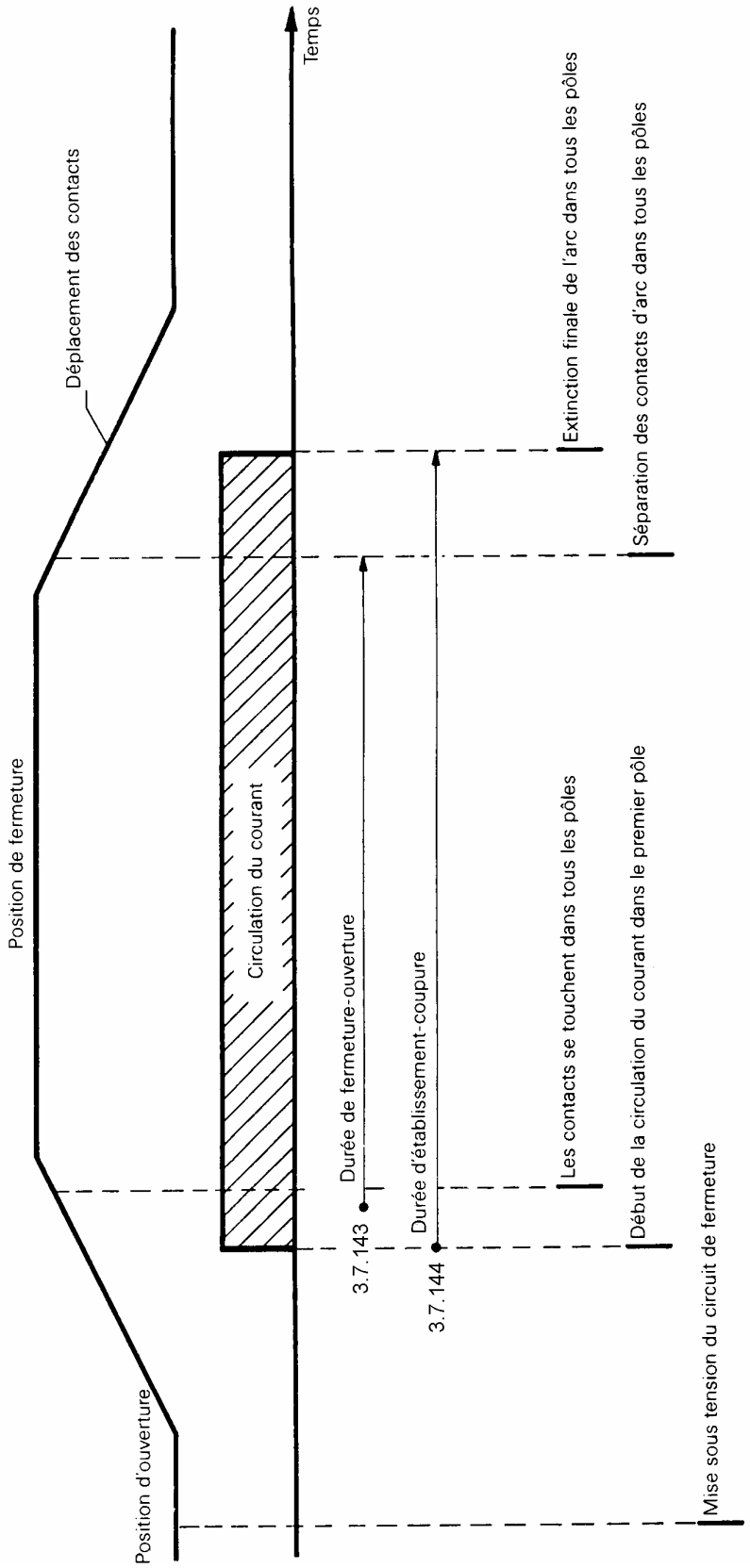


Figure 3 – Disjoncteur sans résistance intercalaire – Cycle de fermeture-ouverture

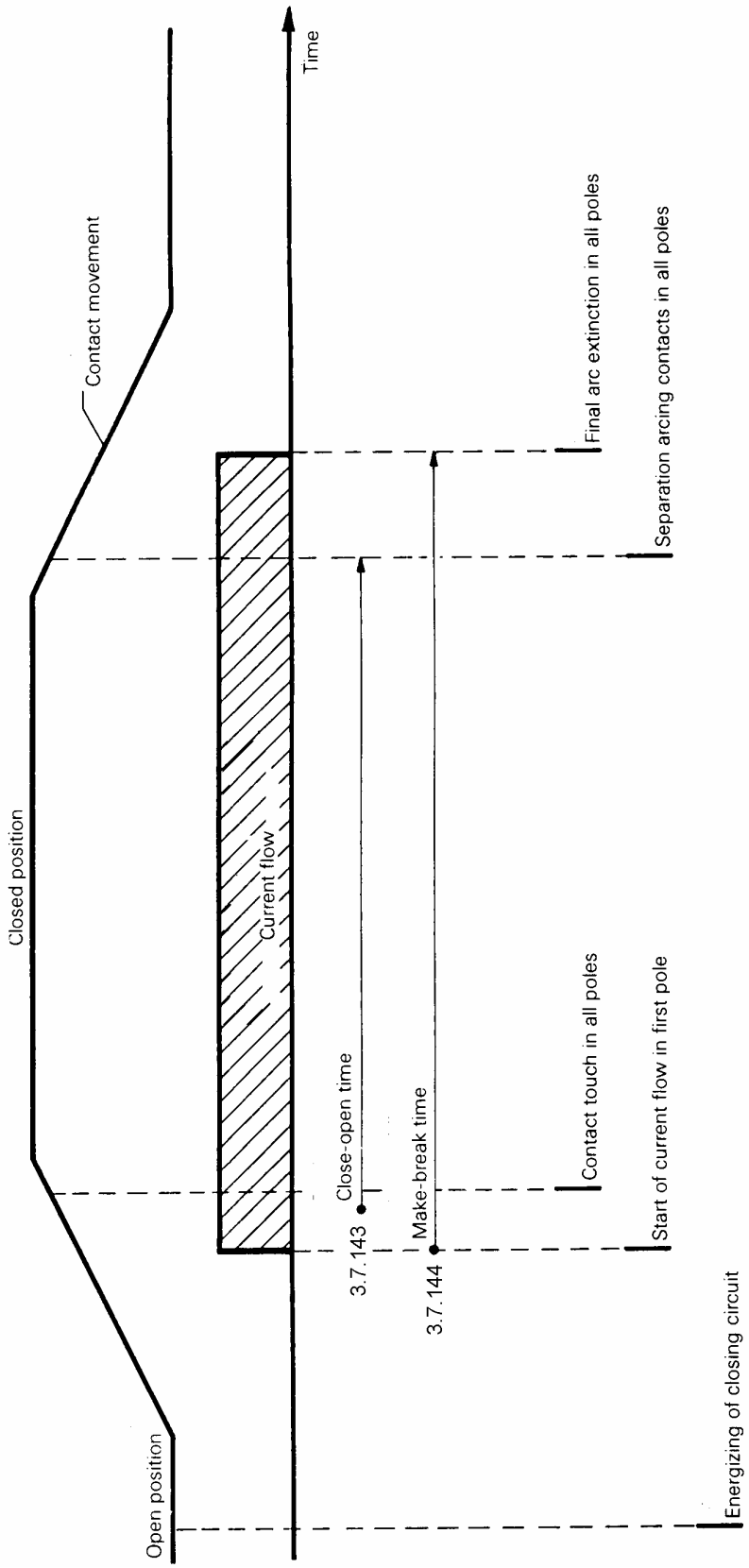


Figure 3 – Circuit breaker without switching resistors – Close-open cycle

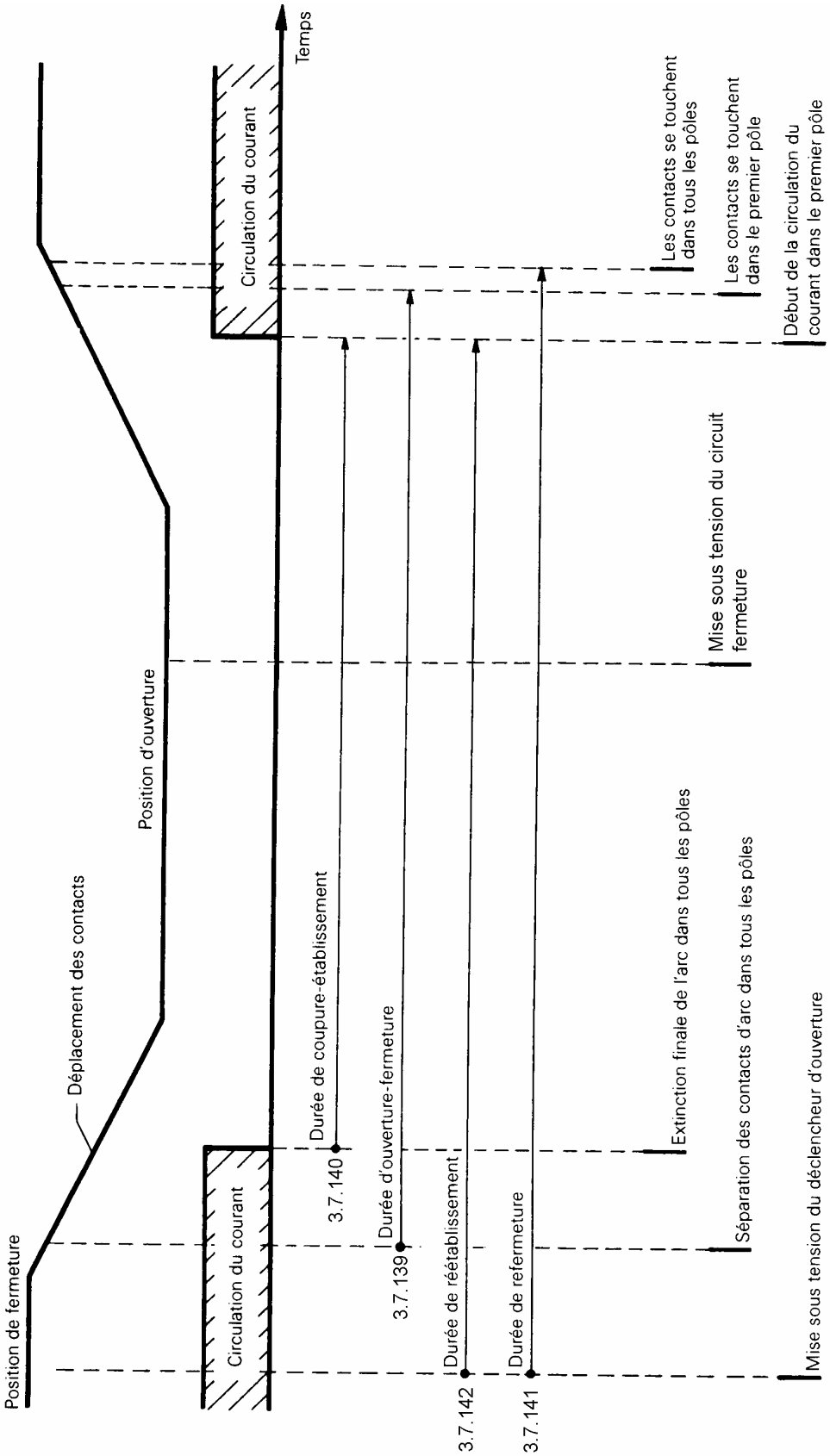


Figure 4 – Disjoncteur sans résistance intercalaire – Refermeture (refermeture automatique)

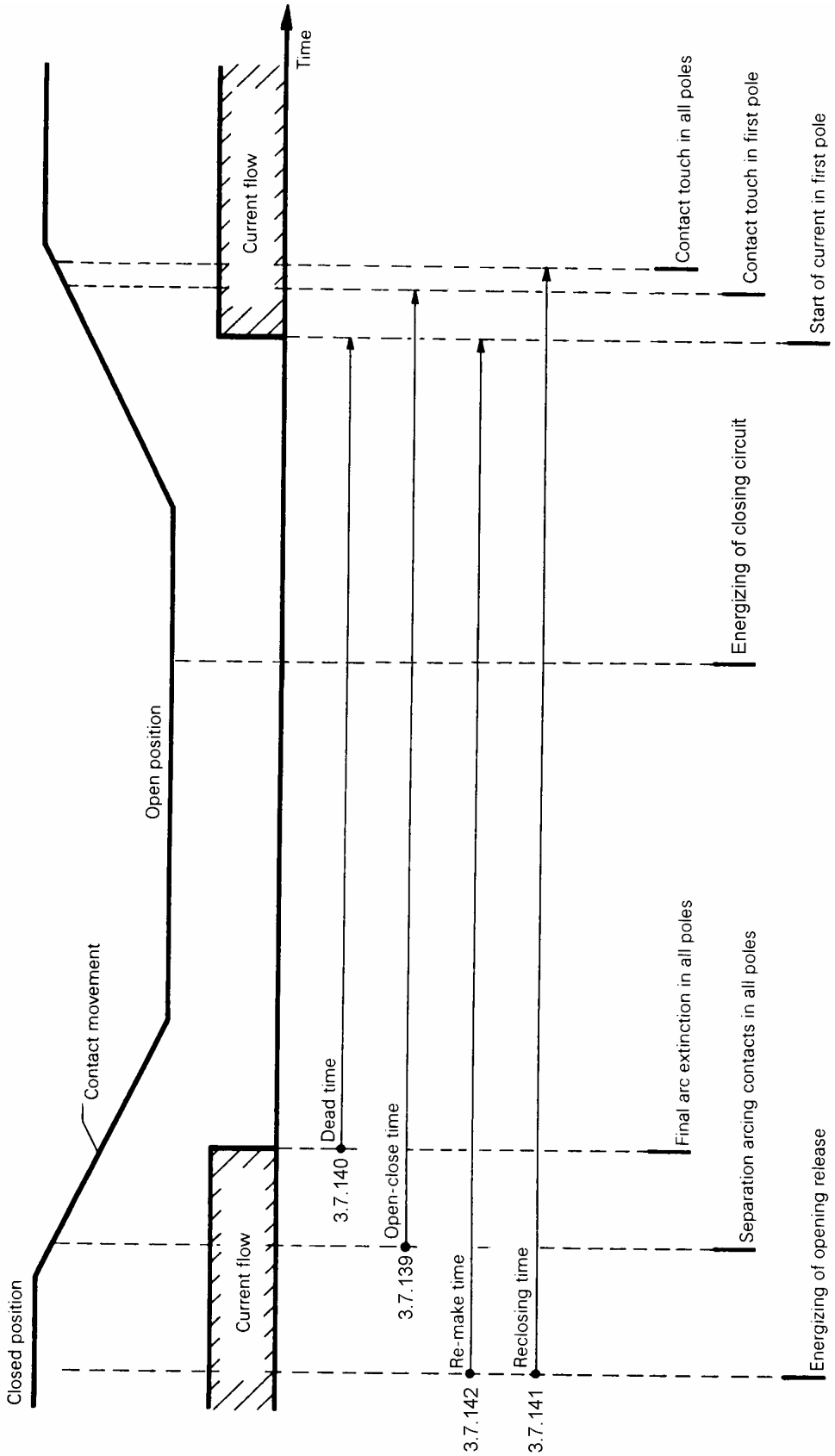


Figure 4 – Circuit-breaker without switching resistors – Reclosing (auto-reclosing)

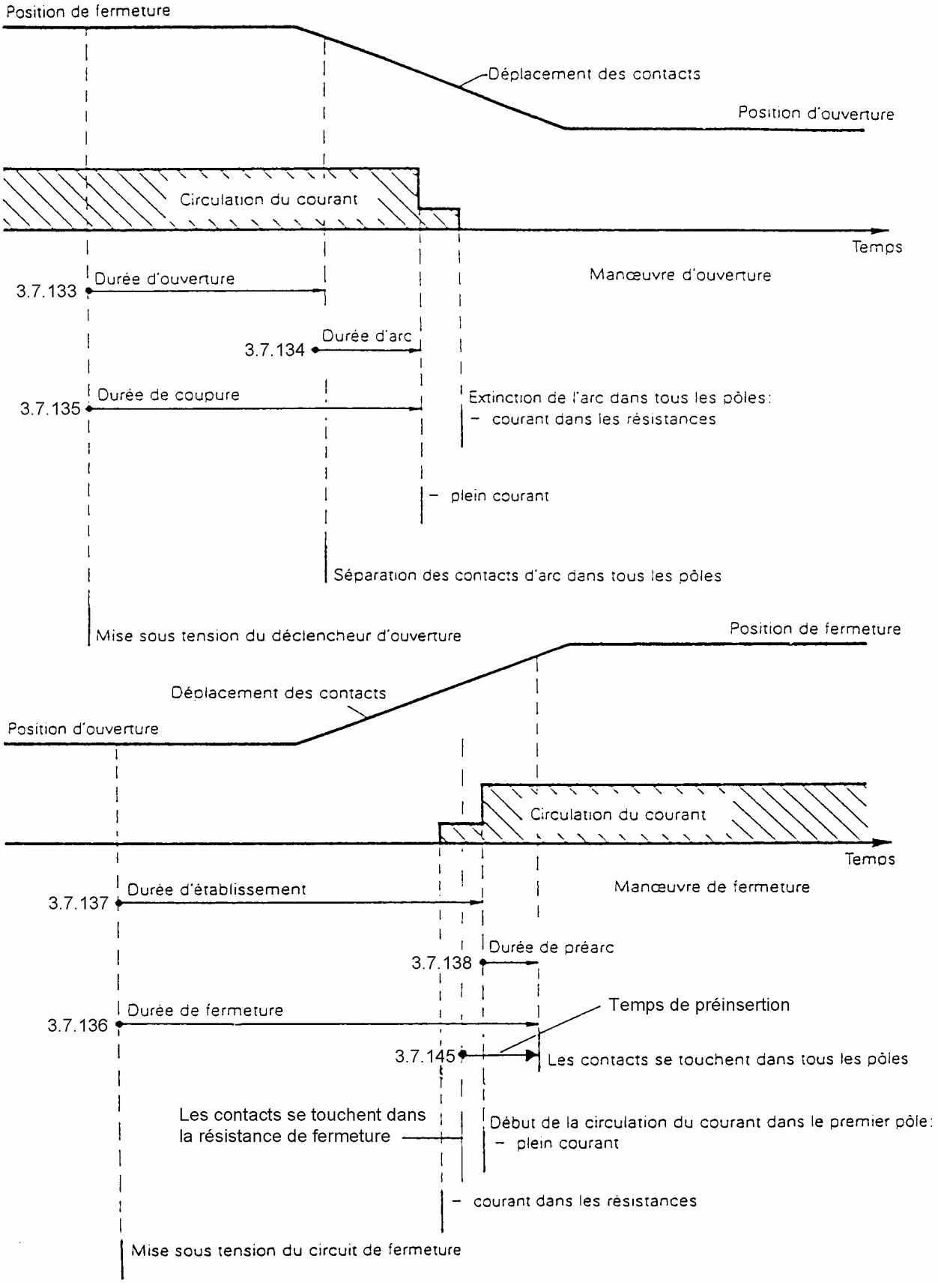


Figure 5 – Disjoncteur avec résistances intercalaires. Manoeuvres d'ouverture et de fermeture

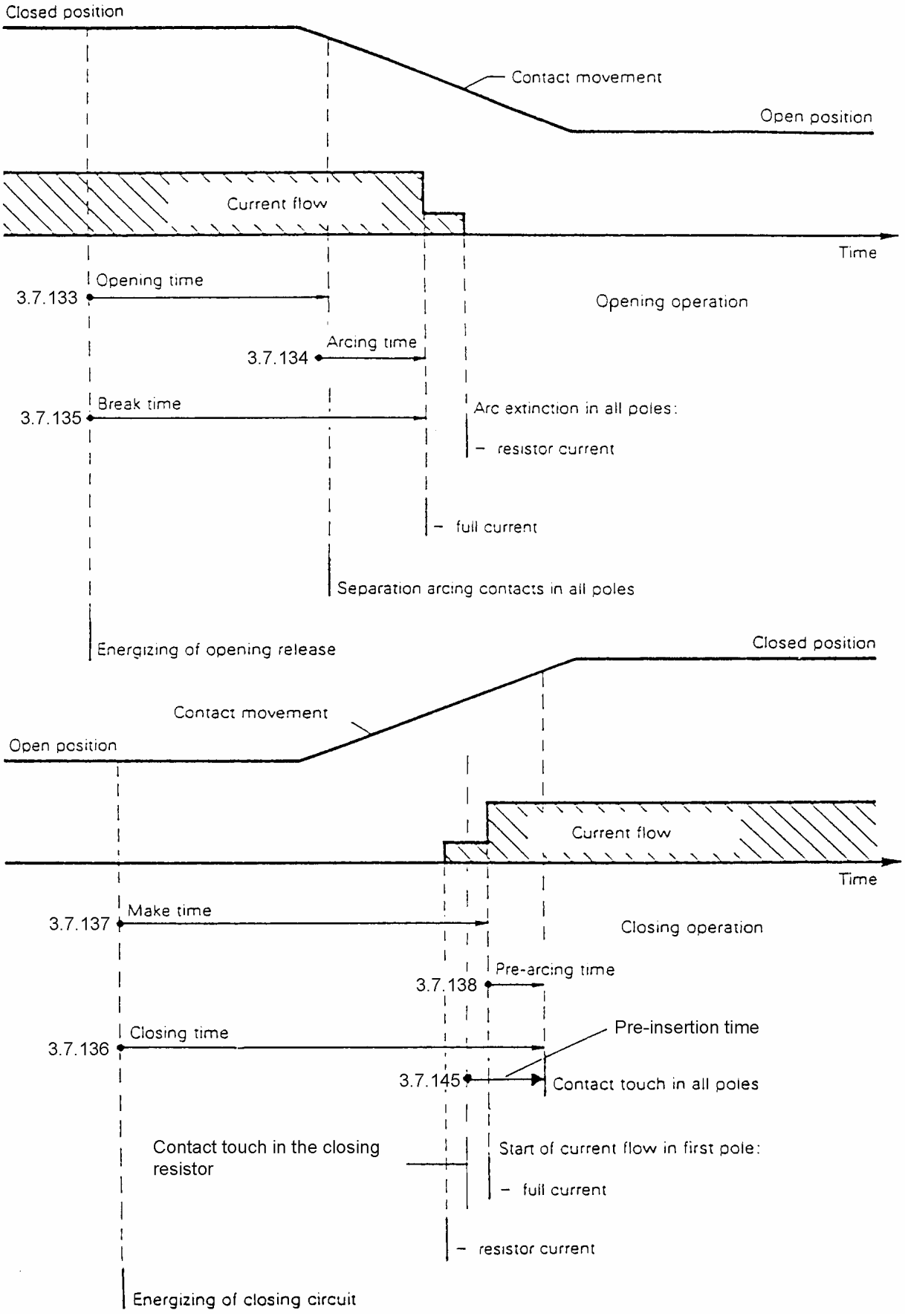


Figure 5 – Circuit-breaker with switching resistors. Opening and closing operations

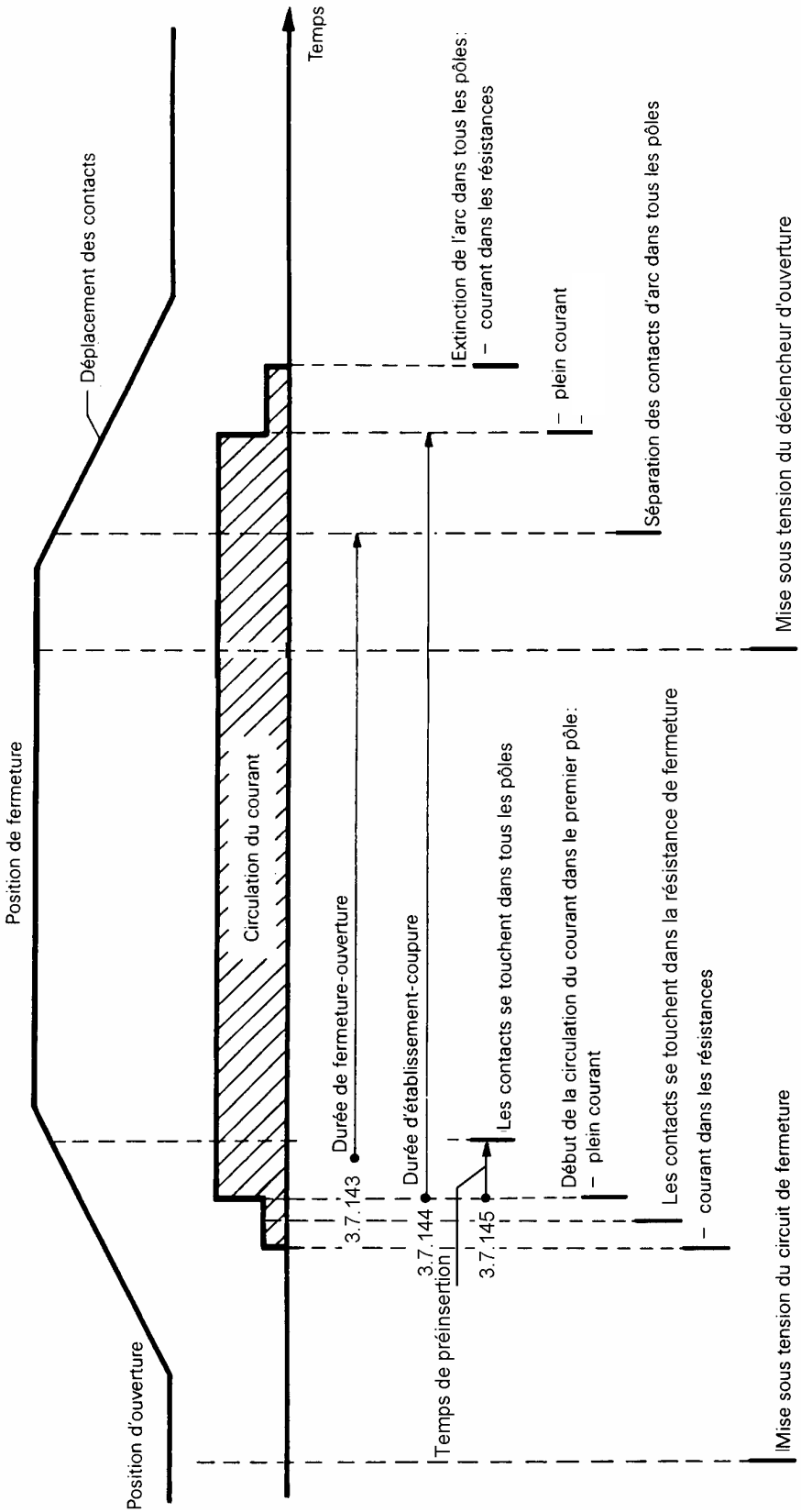


Figure 6 – Disjoncteur avec résistances intercalaires – Cycle de fermeture-ouverture

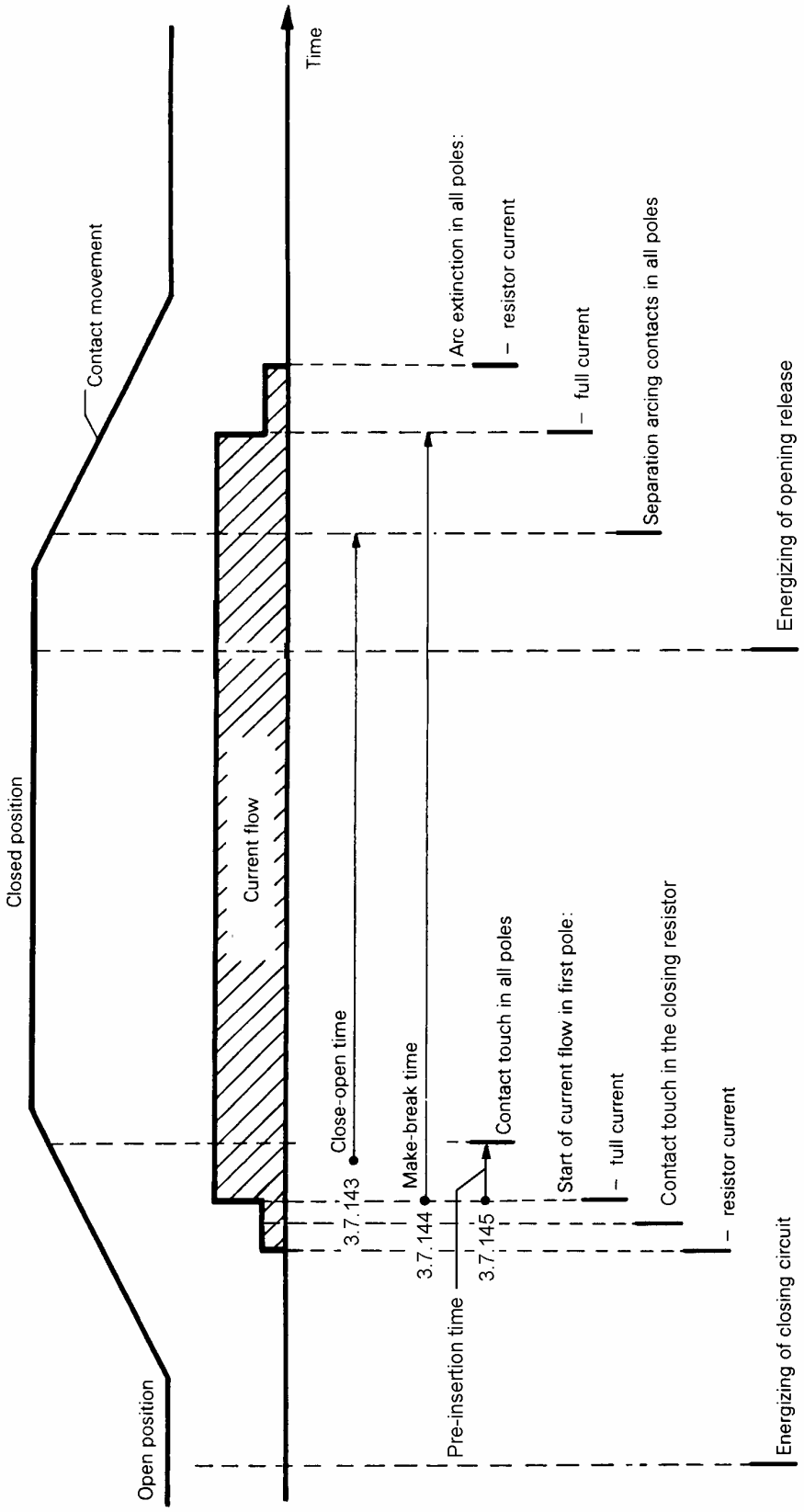


Figure 6 – Circuit-breaker with switching resistors – Close-open cycle

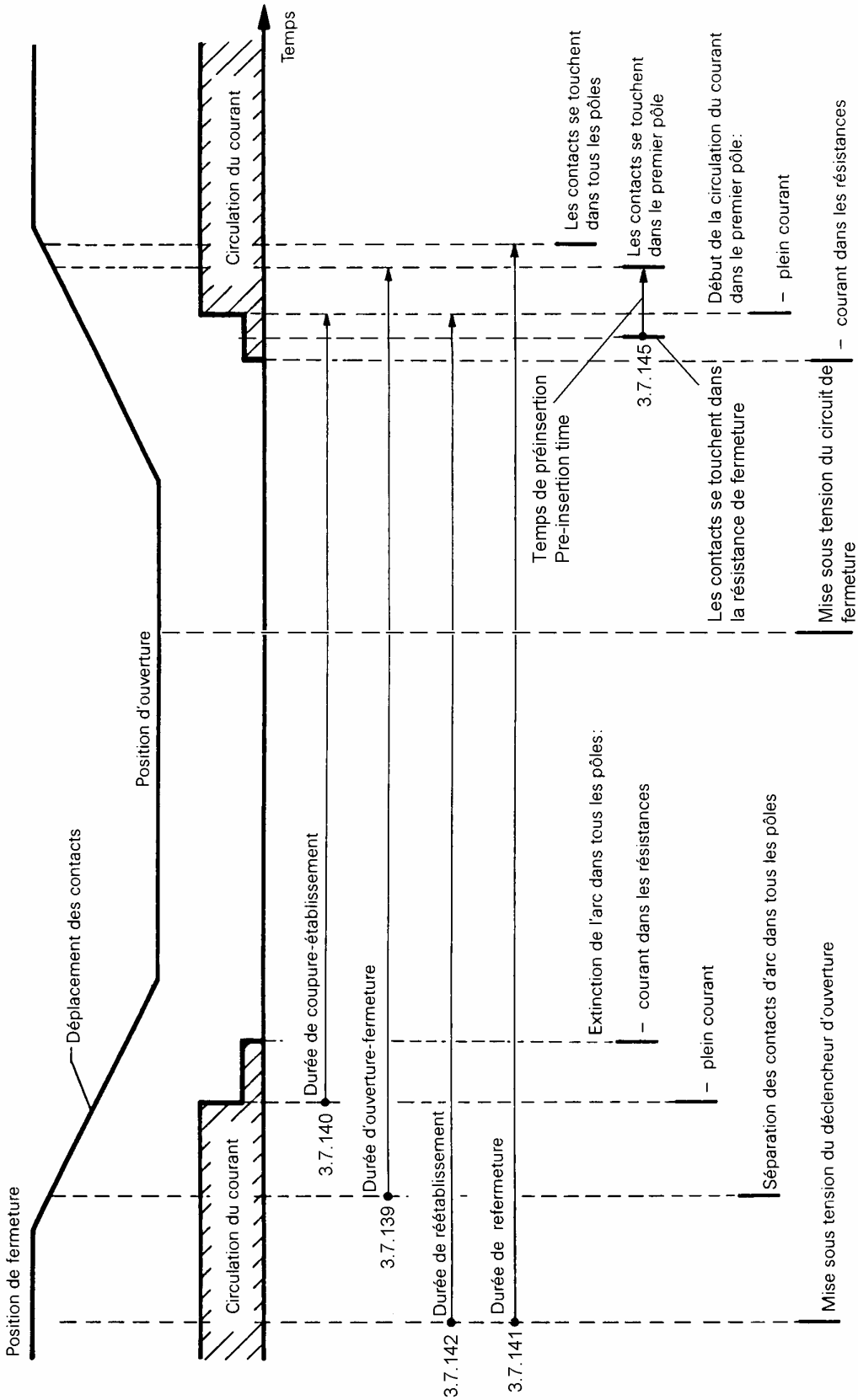


Figure 7 – Disjoncteur avec résistances intercalaires – Refermeture (refermeture automatique)

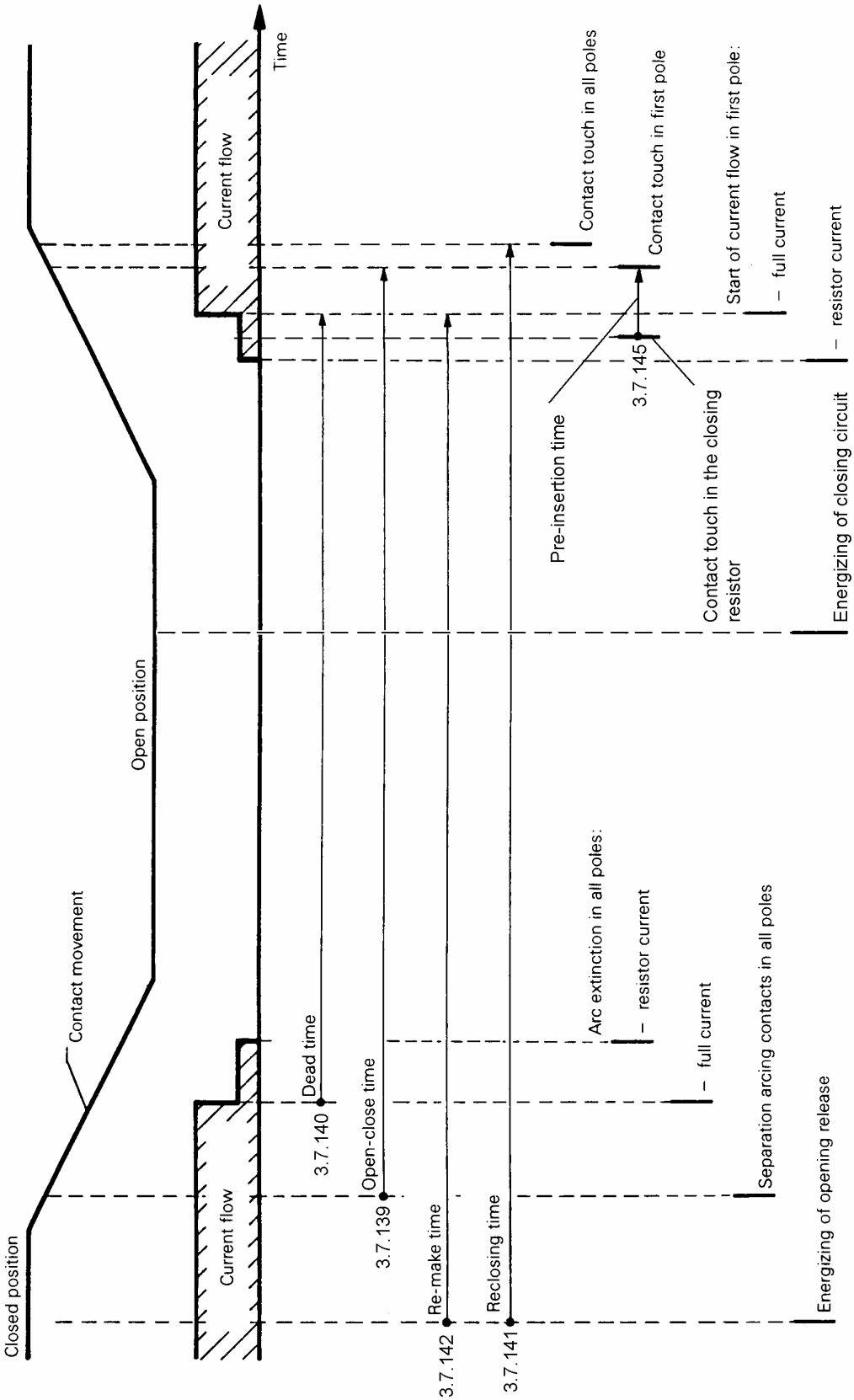
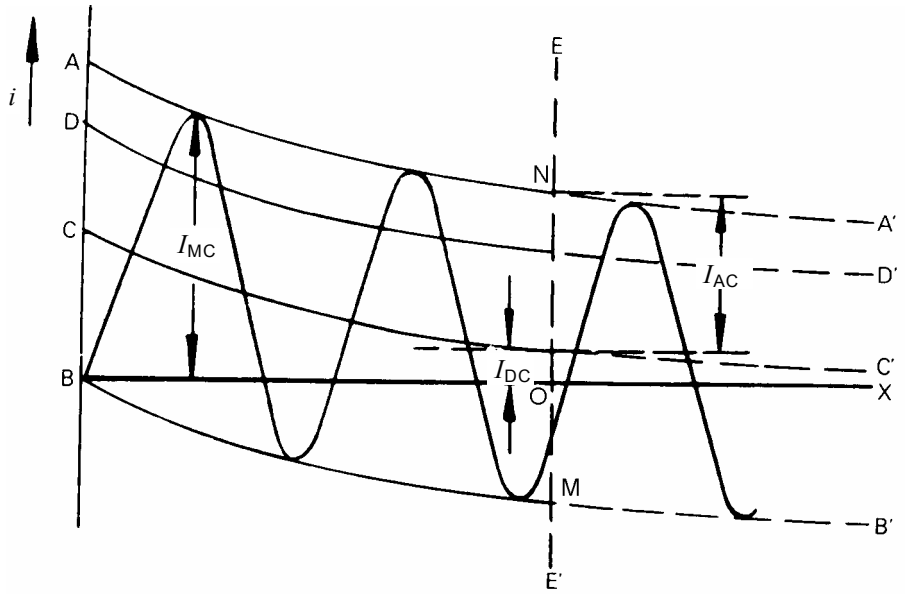


Figure 7 – Circuit-breaker with switching resistors – Reclosing (auto-reclosing)



AA' }
BB' } enveloppe de l'onde de courant

BX ligne de zéro

CC' déplacement de la ligne de zéro de l'onde de courant à chaque instant

DD' valeur efficace de la composante périodique du courant à chaque instant, mesurée à partir de CC'

EE' instant de la séparation des contacts (amorçage de l'arc)

I_{MC} courant établi

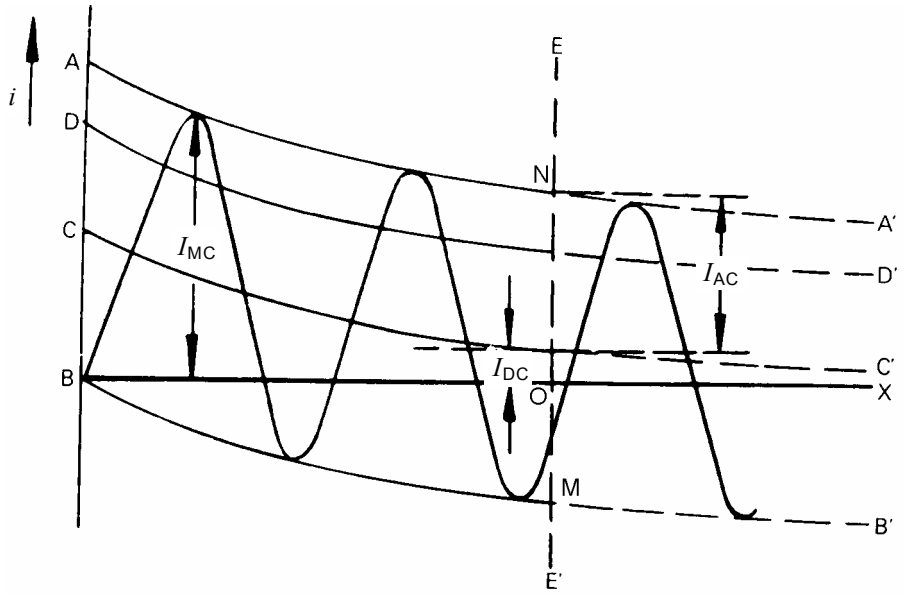
I_{AC} valeur de crête de la composante périodique du courant au moment EE'

$\frac{I_{AC}}{\sqrt{2}}$ valeur efficace de la composante périodique du courant au moment EE'

I_{DC} composante apériodique du courant au moment EE'

$\frac{I_{DC}}{I_{AC}} \cdot 100 = \frac{\overline{ON} - \overline{OM}}{\overline{MN}} \cdot 100$ pourcentage de la composante apériodique

Figure 8 – Détermination des courants de court-circuit établi et coupé et du pourcentage de la composante apériodique



AA', BB' } envelope of current-wave

BX normal zero line

CC' displacement of current-wave zero-line at any instant

DD' r.m.s. value of the a.c. component of current at any instant, measured from CC'

EE' instant of contact separation (initiation of the arc)

I_{MC} making current

I_{AC} peak value of a.c. component of current at instant EE'

$\frac{I_{AC}}{\sqrt{2}}$ r.m.s. value of the a.c. component of current at instant EE'

I_{DC} d.c. component of current at instant EE'

$\frac{I_{DC}}{I_{AC}} \cdot 100 = \frac{\overline{ON} - \overline{OM}}{\overline{MN}} \cdot 100$ percentage value of the d.c. component

Figure 8 – Determination of short-circuit making and breaking currents, and of percentage d.c. component

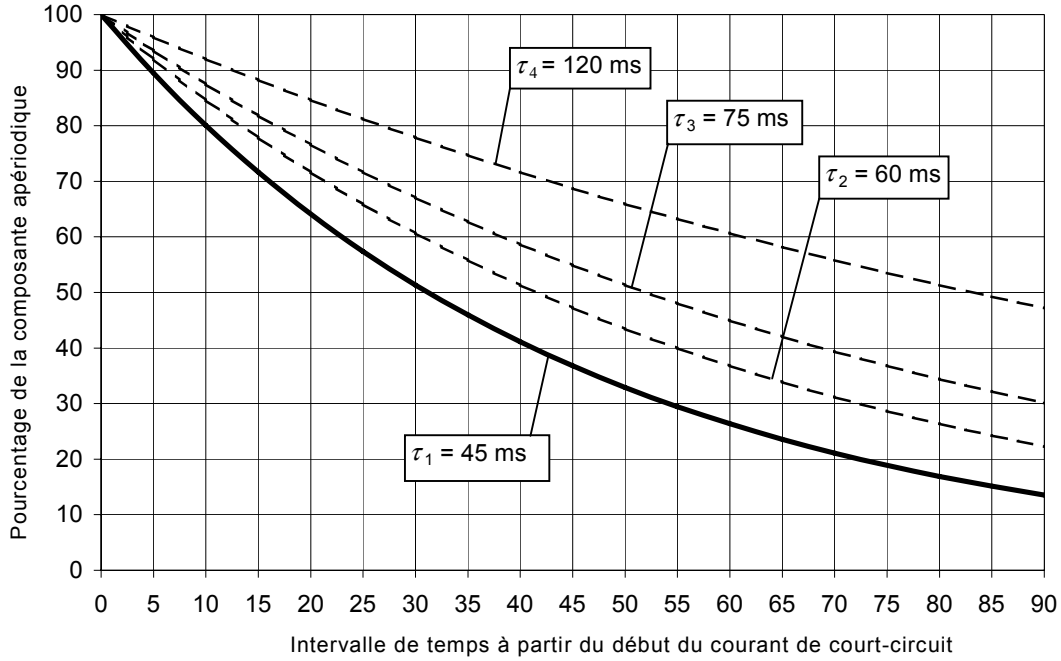


Figure 9 – Pourcentage de la composante apériodique en fonction de l'intervalle de temps (T_{op} + T_r) pour la constante de temps normale τ_1 et pour les constantes de temps τ_2, τ_3 et τ_4 des applications particulières

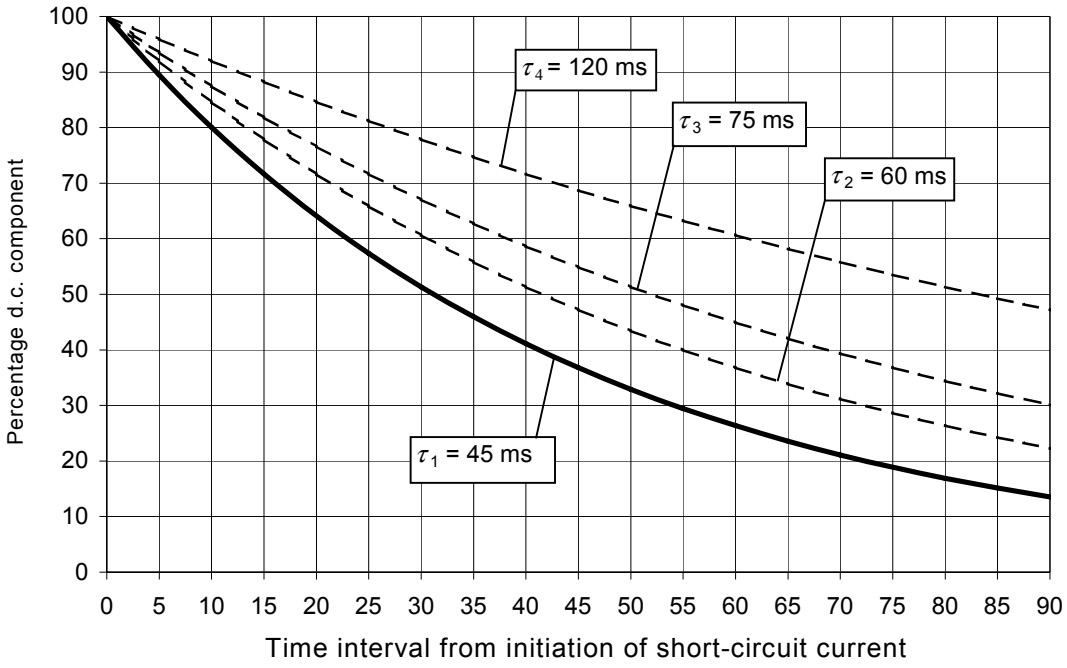


Figure 9 – Percentage d.c. component in relation to the time interval (T_{op} + T_r) for the standard time constant τ_1 and for the special case time constants τ_2, τ_3 and τ_4

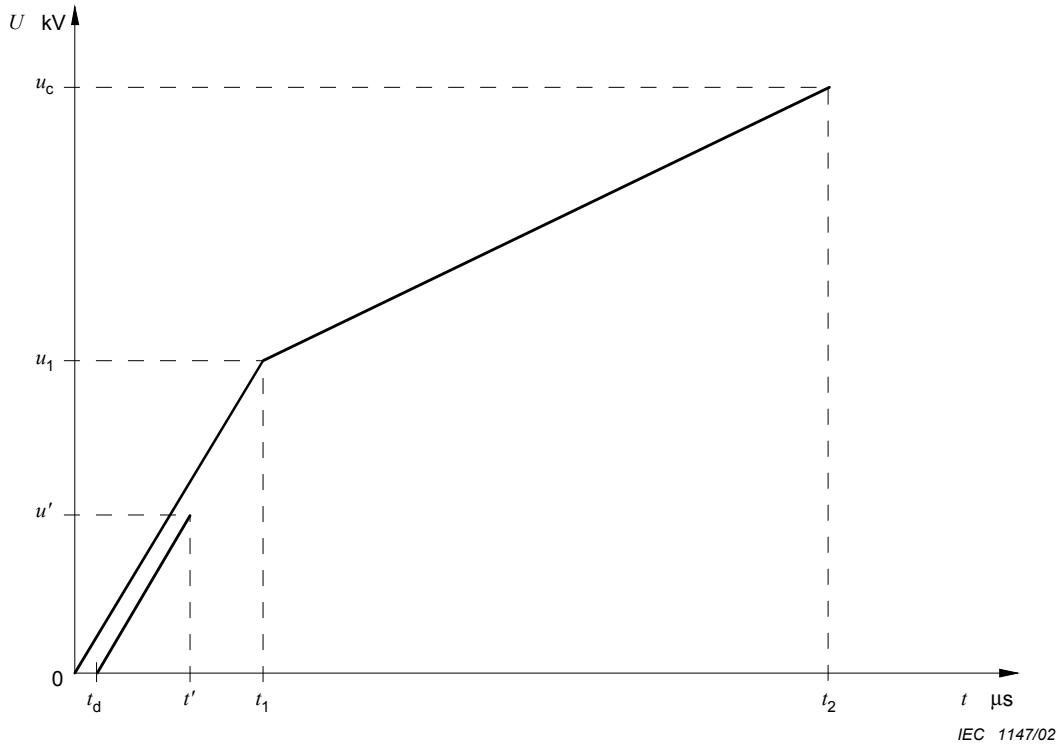


Figure 10 – Représentation d'une TTR spécifiée à quatre paramètres et d'un segment de droite définissant un retard pour les séquences d'essais T100, T 60, de défaut proche en ligne et en discordance de phases

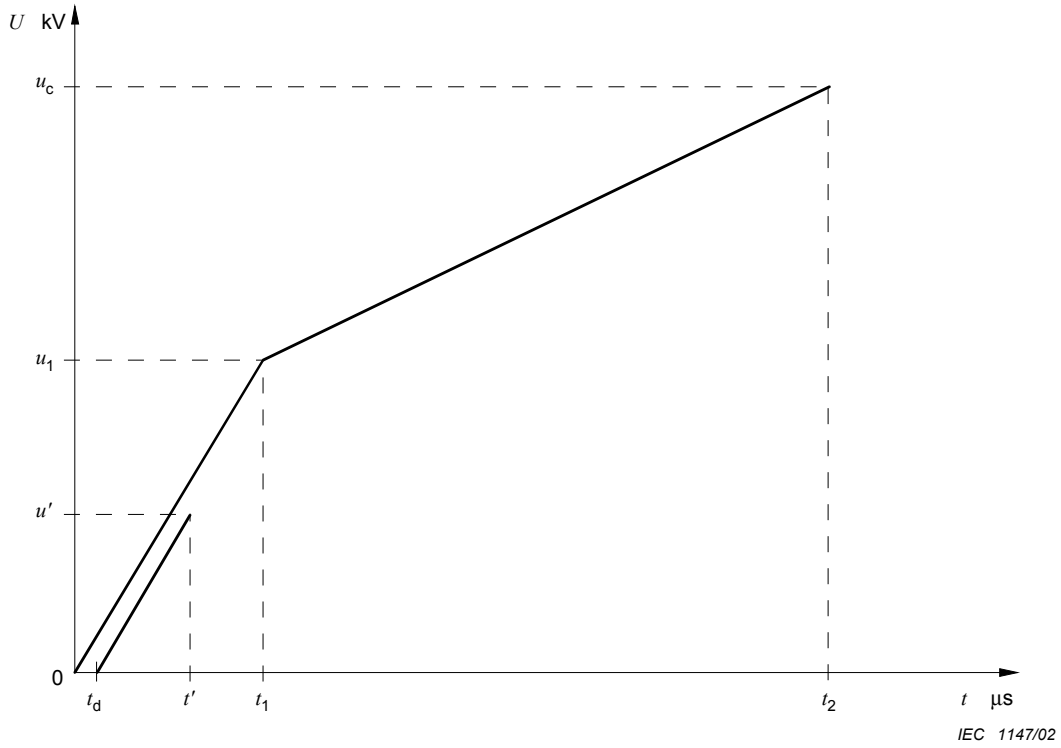


Figure 10 – Representation of a specified four-parameter TRV and a delay line for T100, T60, short-line fault and out-of-phase condition

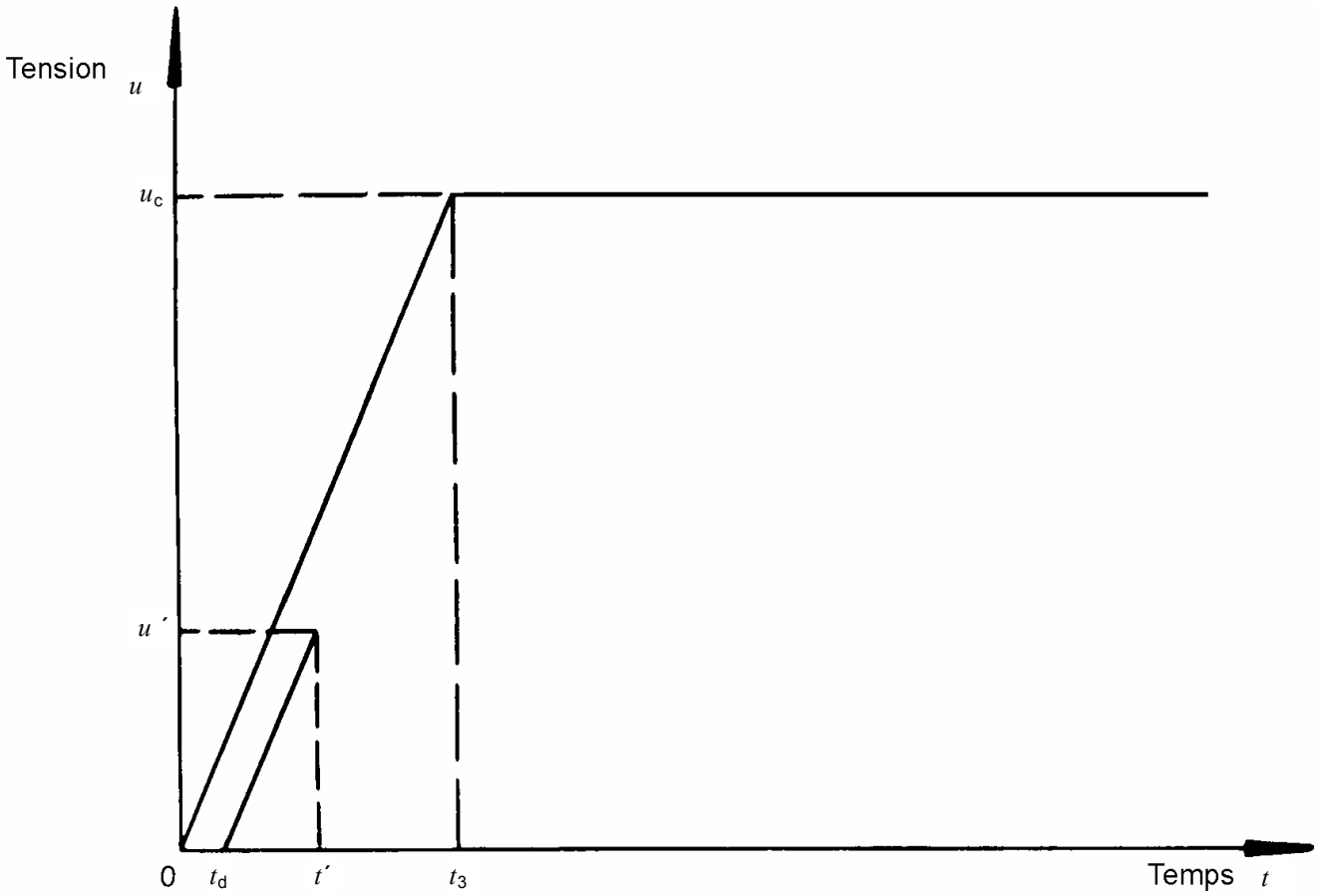


Figure 11 – Représentation d'une TTR spécifiée par un tracé de référence à deux paramètres et par un segment de droite définissant un retard

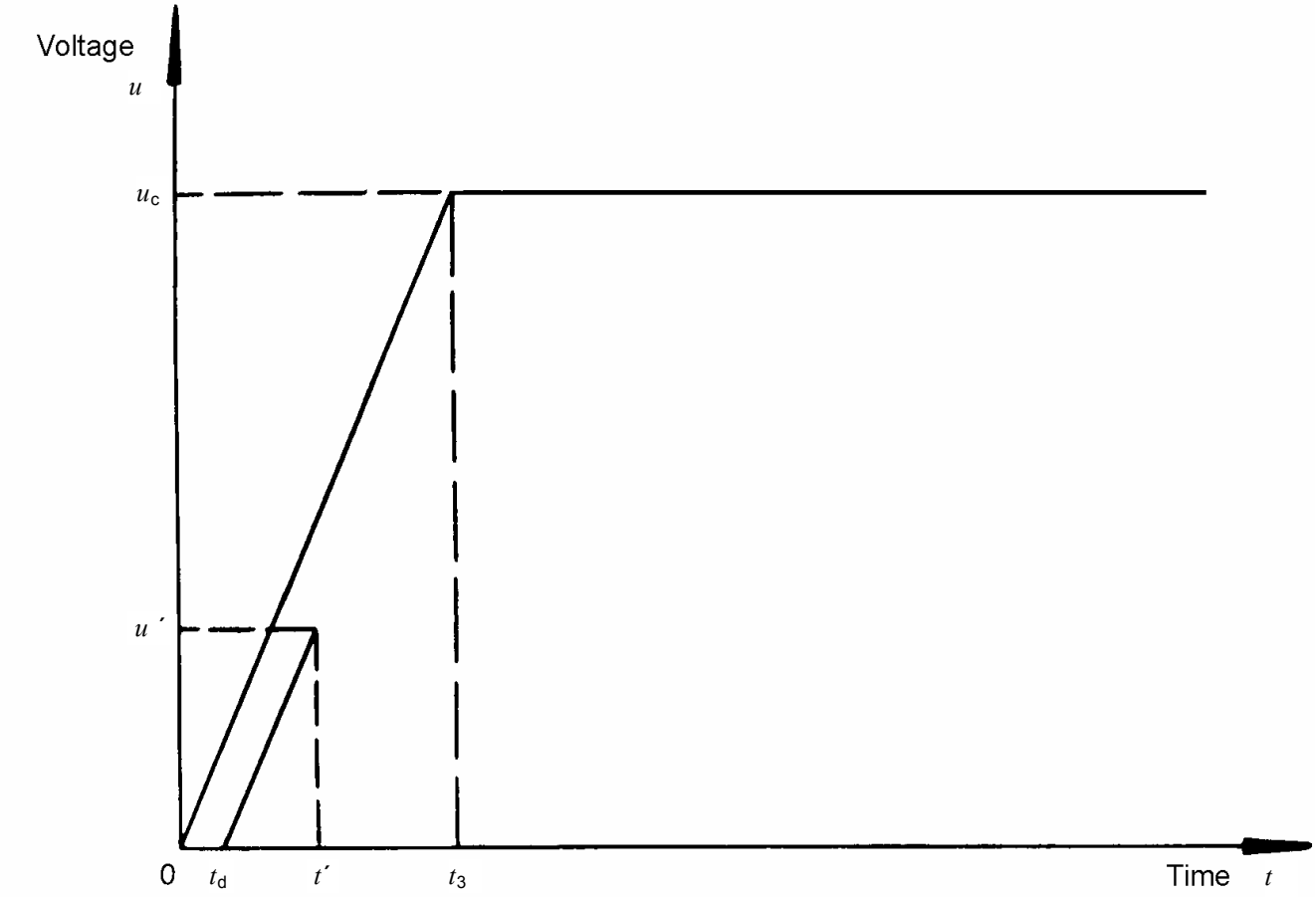
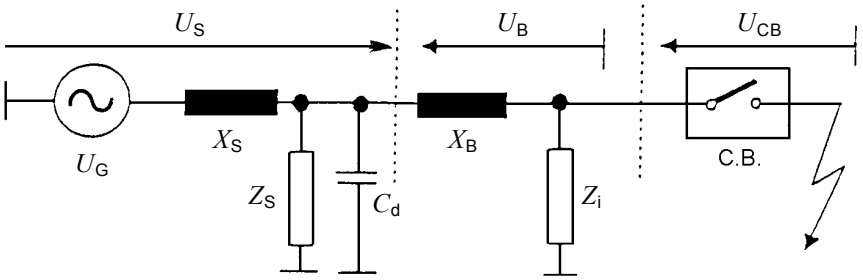


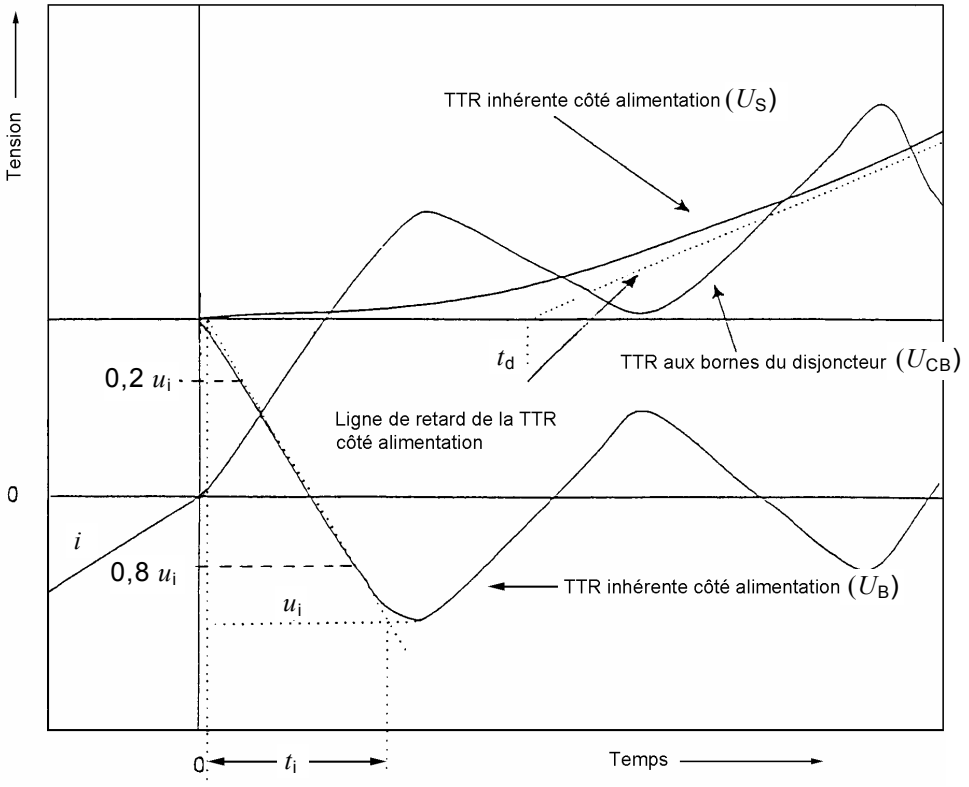
Figure 11 – Representation of a specified TRV by a two-parameter reference line and a delay line



C.B. disjoncteur
U_G tension d'alimentation
U_B tension aux bornes du jeu de barre
U_{CB} tension aux bornes du disjoncteur
U_S tension aux bornes de la réactance côté alimentation
C_d capacité de temps de retard côté alimentation
Z_S éléments de réglage de la TTR côté alimentation
Z_i éléments de réglage de la TTRI
X_S réactance à fréquence industrielle côté alimentation
X_B réactance du jeu de barre à fréquence industrielle

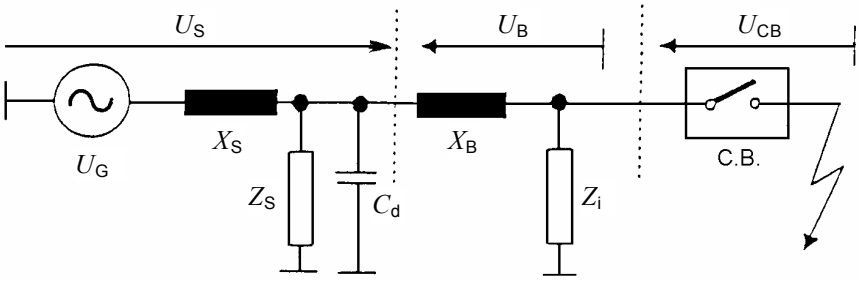
NOTE Si une inductance concentrée est utilisée pour X_S, les éléments de réglage de la TTRI peuvent être connectés en parallèle à cette inductance.

Figure 12a – Circuit de base pour le défaut aux bornes avec TTRI



u_i tension crête de la TTRI
t_i paramètre temporel de la TTRI

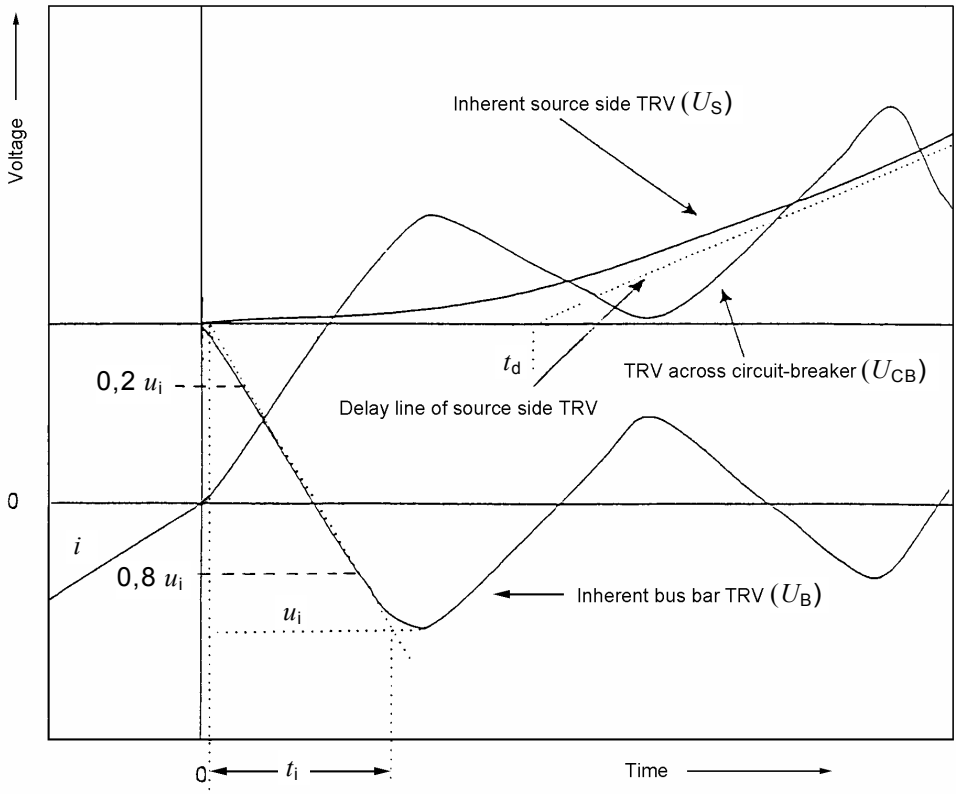
Figure 12b – Représentation de la TTRI et de son influence sur la TTR



C.B.	circuit-breaker	C_a	time delaying source side capacitance
U_G	supply side voltage	Z_s	source side TRV control components
U_B	bus voltage	Z_i	ITRV controlling components
U_{CB}	voltage across circuit-breaker	X_S	power frequency source side reactance
U_s	voltage across source side reactance	X_B	power frequency busbar reactance

NOTE If a lumped inductance is used as X_S, the ITRV controlling components may be connected in parallel to this inductance.

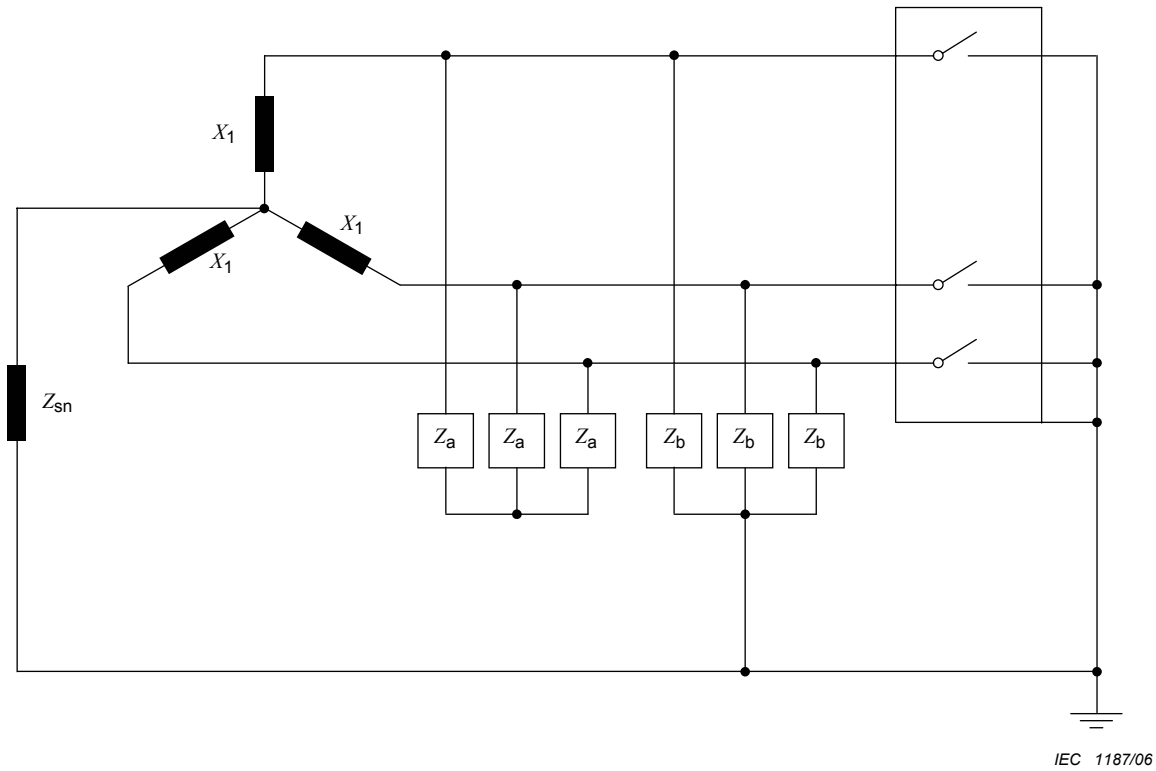
Figure 12a – Basic circuit for terminal fault with ITRV



u_i peak voltage of ITRV

t_i time co-ordinate of ITRV

Figure 12b – Representation of ITRV in relationship to TRV



Légende

Z_{sn}	impédance de neutre de la source
X_1	composante directe de la réactance de court-circuit
Z_a	impédance entre phases de court-circuit
Z_b	impédance phase-terre de court-circuit

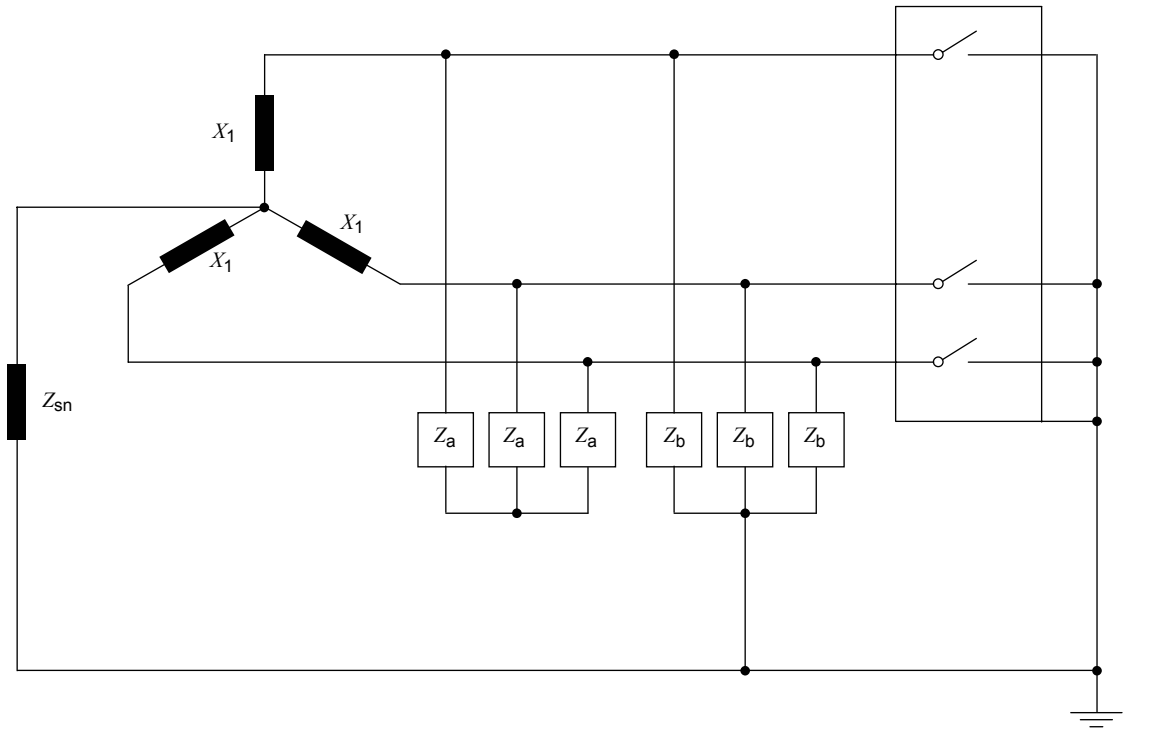
Z_{sn} très supérieure à X_1 pour un facteur de 1er pôle égal à 1,5

Z_{sn} $0{,}75X_1$ pour un facteur de 1er pôle égal à 1,3

Pour $Z_0/Z_1 \approx 2$: $Z_a = Z_b = 2Z_1$

avec Z_0 composante homopolaire de l'impédance de court-circuit du circuit d'alimentation

Figure 13 – Représentation d'un court-circuit triphasé



Key

Z_{sn}	source neutral impedance
X_1	positive sequence short-circuit reactance
Z_a	phase-to-phase impedance of TRV circuit
Z_b	phase-to-ground impedance of TRV circuit

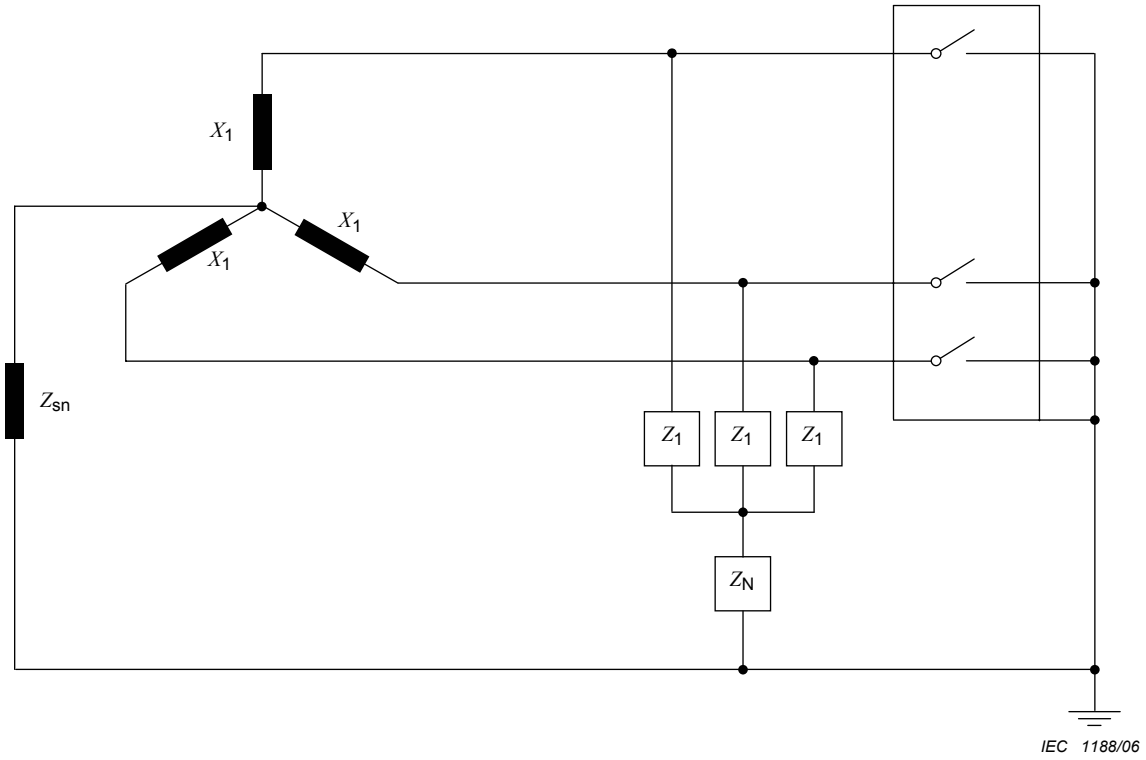
Z_{sn} much larger than X_1 for first-pole-to-clear factor of 1,5

Z_{sn} 0,75 X_1 for first-pole-to-clear factor of 1,3

For $Z_0/Z_1 \approx 2$: $Z_a = Z_b = 2Z_1$

with Z_0 zero sequence component of short-circuit impedance on supply side

Figure 13 – Three-phase short-circuit representation



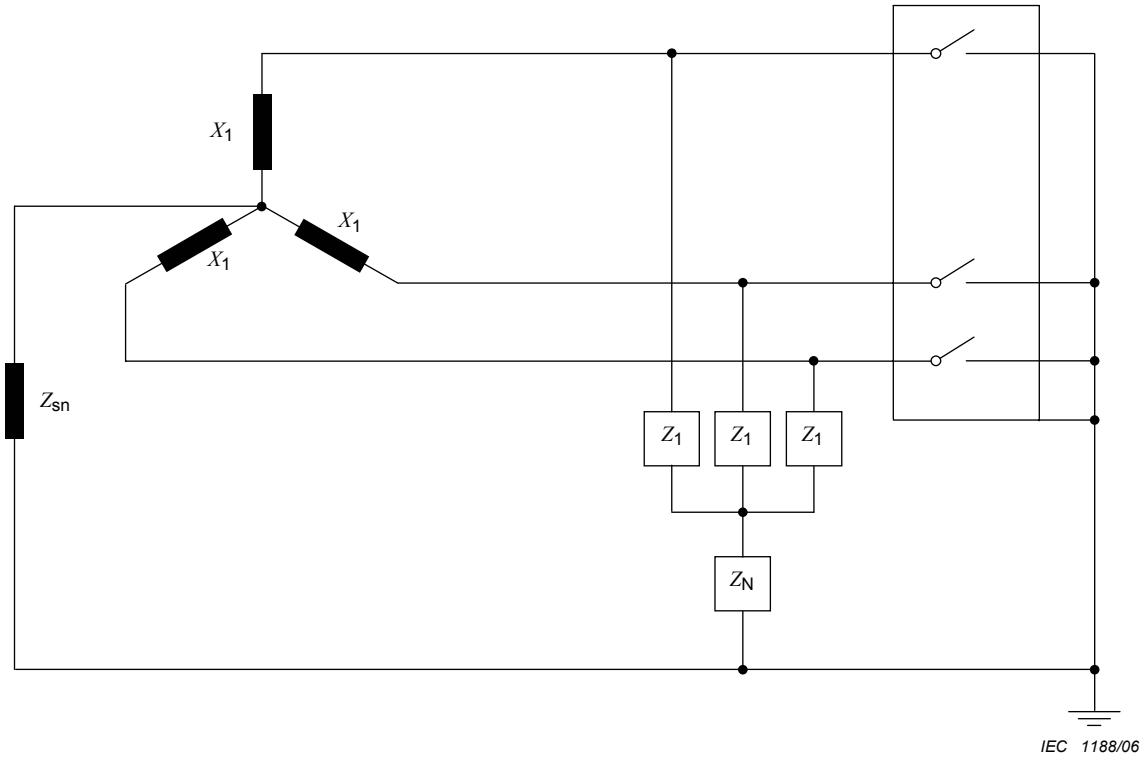
Légende

Z_{sn}	impédance de neutre de la source
X_1	composante directe de la réactance de court-circuit
Z_1	impédance phase-neutre du circuit de TTR
Z_N	impédance de neutre du circuit de TTR

Pour $\frac{Z_0}{Z_1} = 2$ $\qquad Z_N = \frac{Z_1}{3}$

avec Z_0 composante homopolaire de l'impédance de court-circuit du circuit d'alimentation

Figure 14 – Représentation de variante à la Figure 13



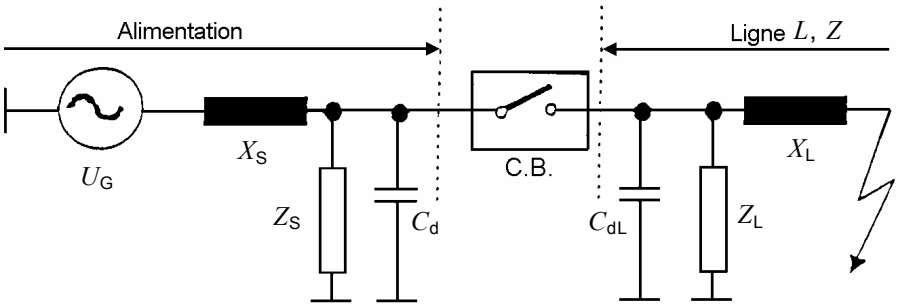
Key

Z_{sn}	source neutral impedance
X_1	positive sequence short-circuit reactance
Z_1	phase-to-neutral impedance of TRV circuit
Z_N	neutral impedance of TRV circuit

For $\frac{Z_0}{Z_1} = 2$ $\quad Z_N = \frac{Z_1}{3}$

with Z_0 zero sequence of short-circuit impedance on supply side

Figure 14 – Alternative representation of Figure 13



U_G tension d'alimentation, valeur phase-terre
X_s réactance à fréquence industrielle côté alimentation
Z_s éléments de réglage de la TTR côté alimentation
C_a capacité de temps de retard côté alimentation
C.B. disjoncteur
X_L réactance à fréquence industrielle côté ligne
Z_L éléments de réglage de la TTR côté ligne
C_{dL} capacité de temps de retard côté ligne
Z impédance d'onde de la ligne
L longueur de ligne jusqu'au défaut

Figure 15 – Circuit de base de défaut proche en ligne

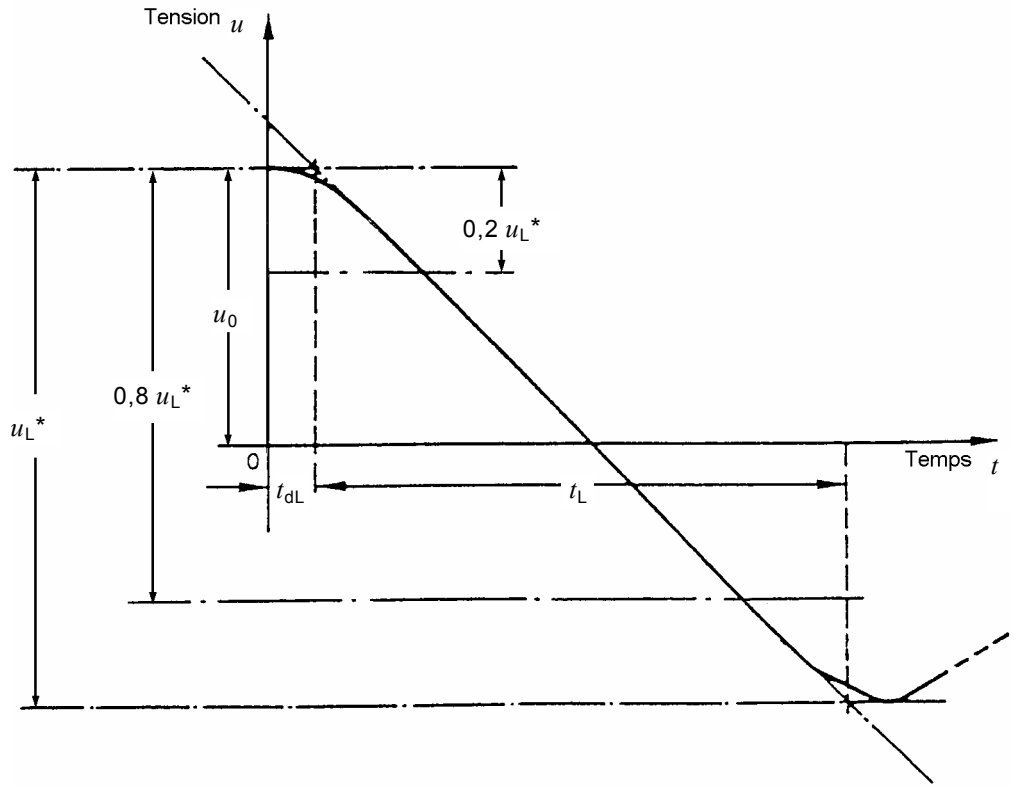
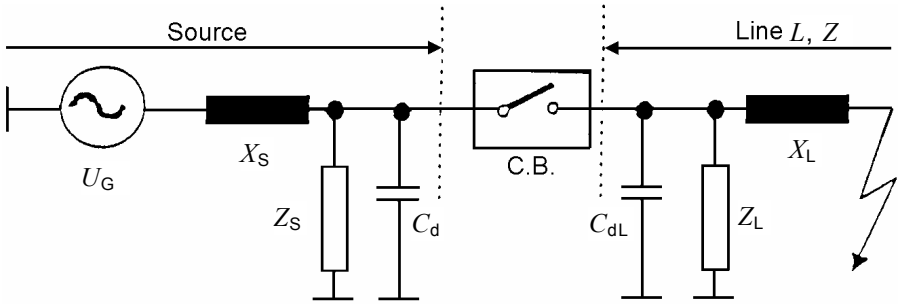


Figure 16 – Exemple d'une tension transitoire côté ligne avec un retard et une crête arrondie la montrant construction à effectuer pour obtenir les valeurs u*$_L$, t_L et t_{dL}



U_G	supply voltage, phase to earth value	X_L	power frequency line side reactance
X_S	power frequency source side reactance	Z_L	line side TRV controlling components
Z_S	source side TRV controlling components	C_{dL}	time delaying line side capacitance
C_a	time delaying source side capacitance	Z	surge impedance of line
C.B.	circuit-breaker	L	length of line to fault

Figure 15 – Basic short-line fault circuit

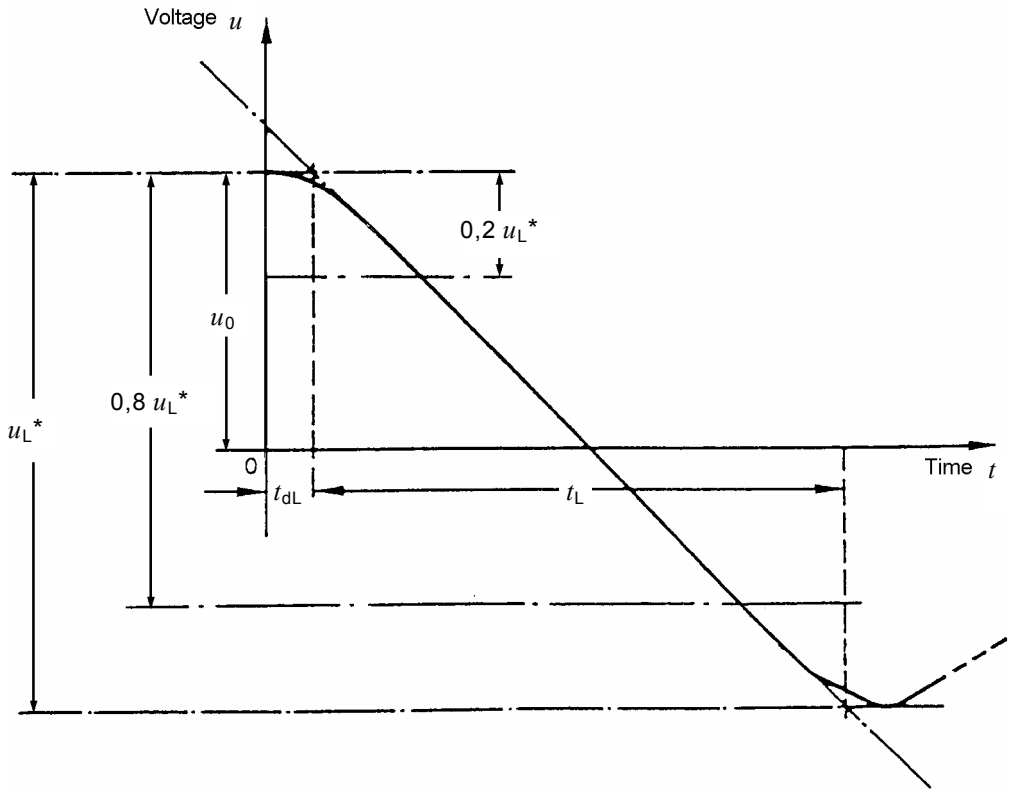
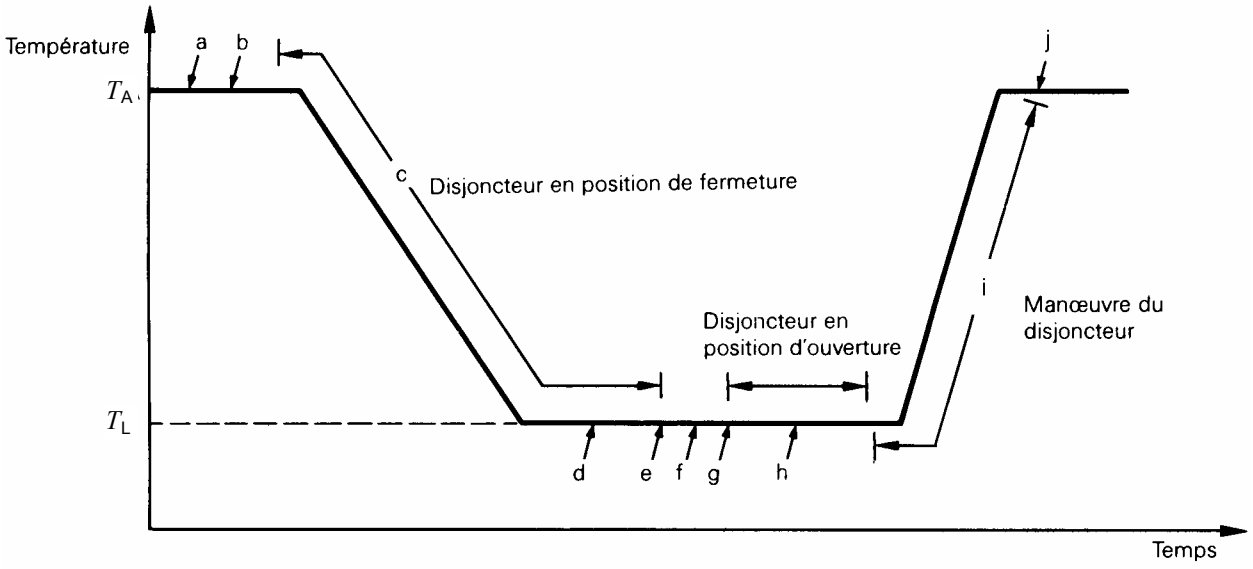
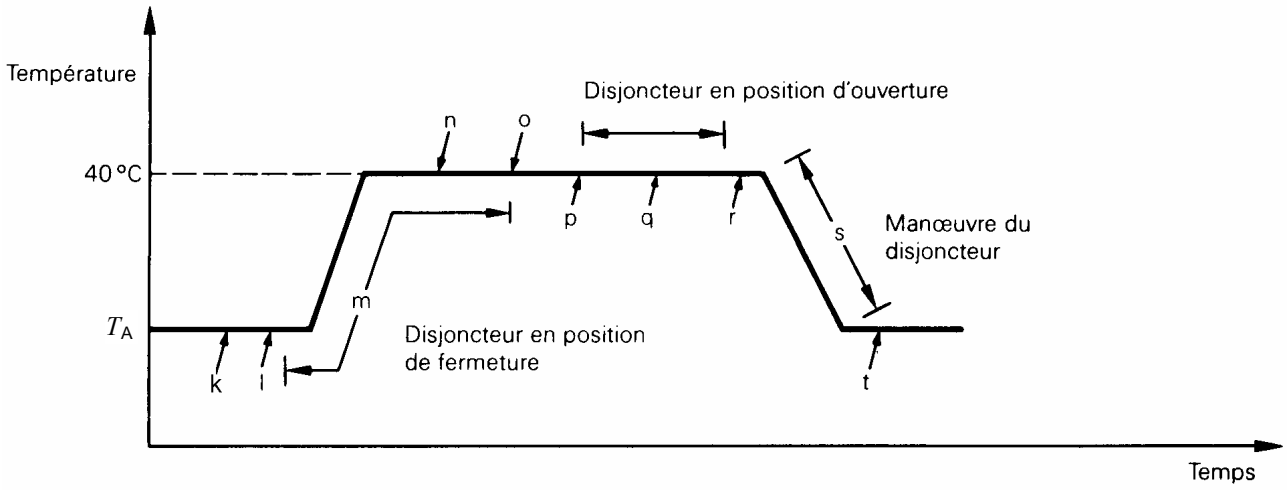


Figure 16 – Example of a line-side transient voltage with time delay and rounded crest showing construction to derive the values u^*_L, t_L and t_{dL}



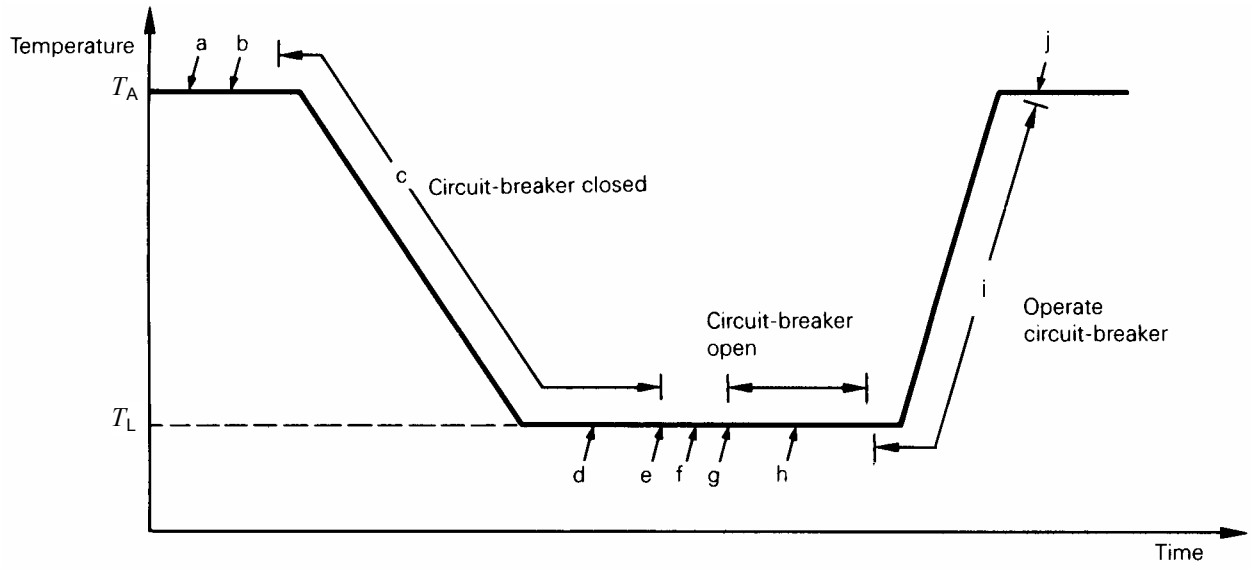
a) Essai à basse température



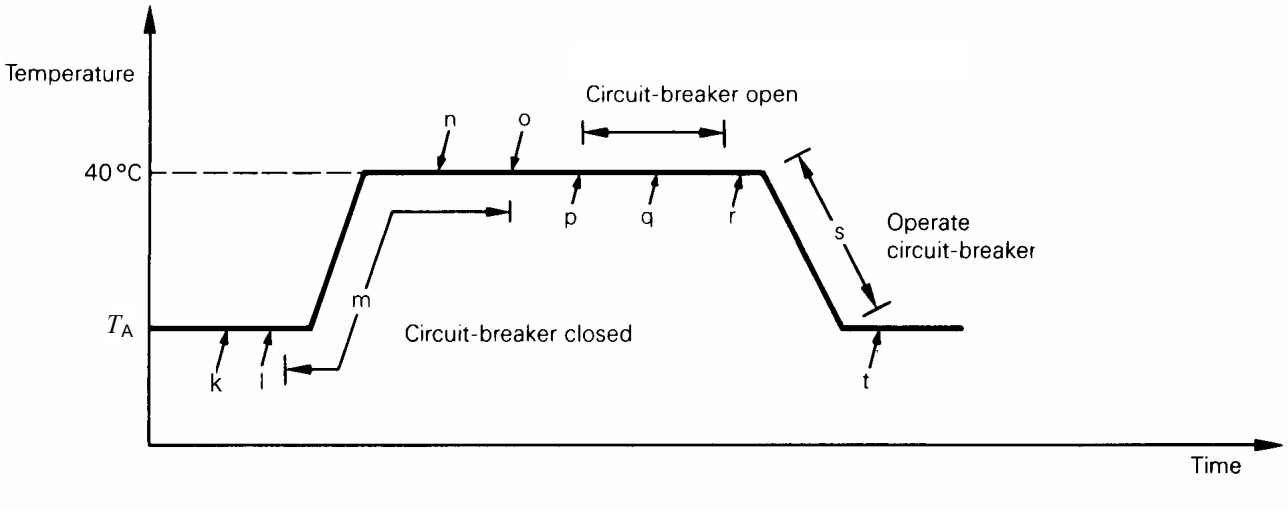
b) Essai à haute température

NOTE Les lettres a à t repèrent les points d'application des essais spécifiés en 6.101.3.3 et 6.101.3.4.

Figure 17 – Séquences d'essais pour les essais à basse et à haute température



a) Low temperature test



b) High temperature test

NOTE Letters a to t identify application points of tests specified in 6.101.3.3 and 6.101.3.4.

Figure 17 – Test sequences for low and high temperature tests

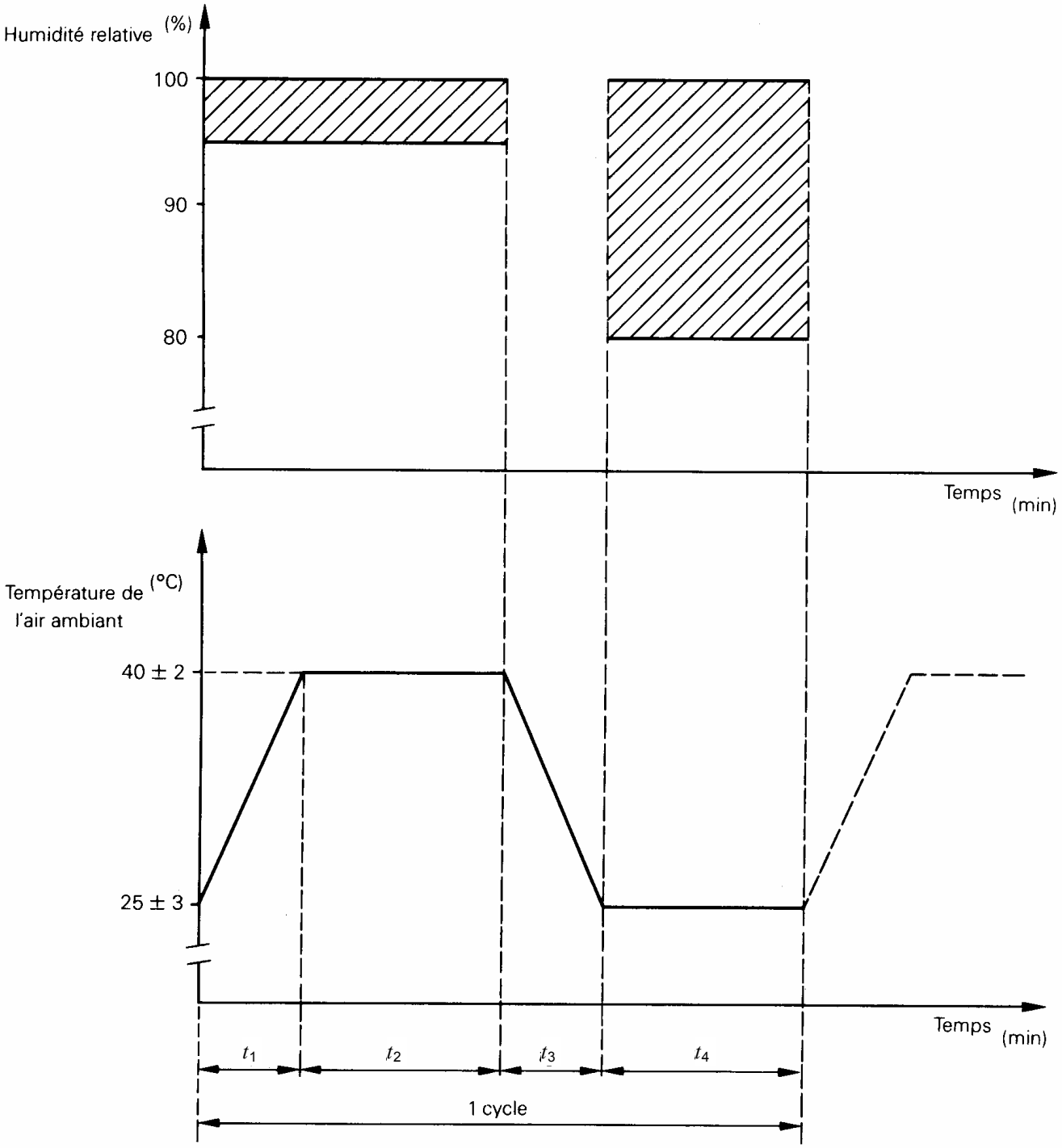


Figure 18 – Essai à l'humidité

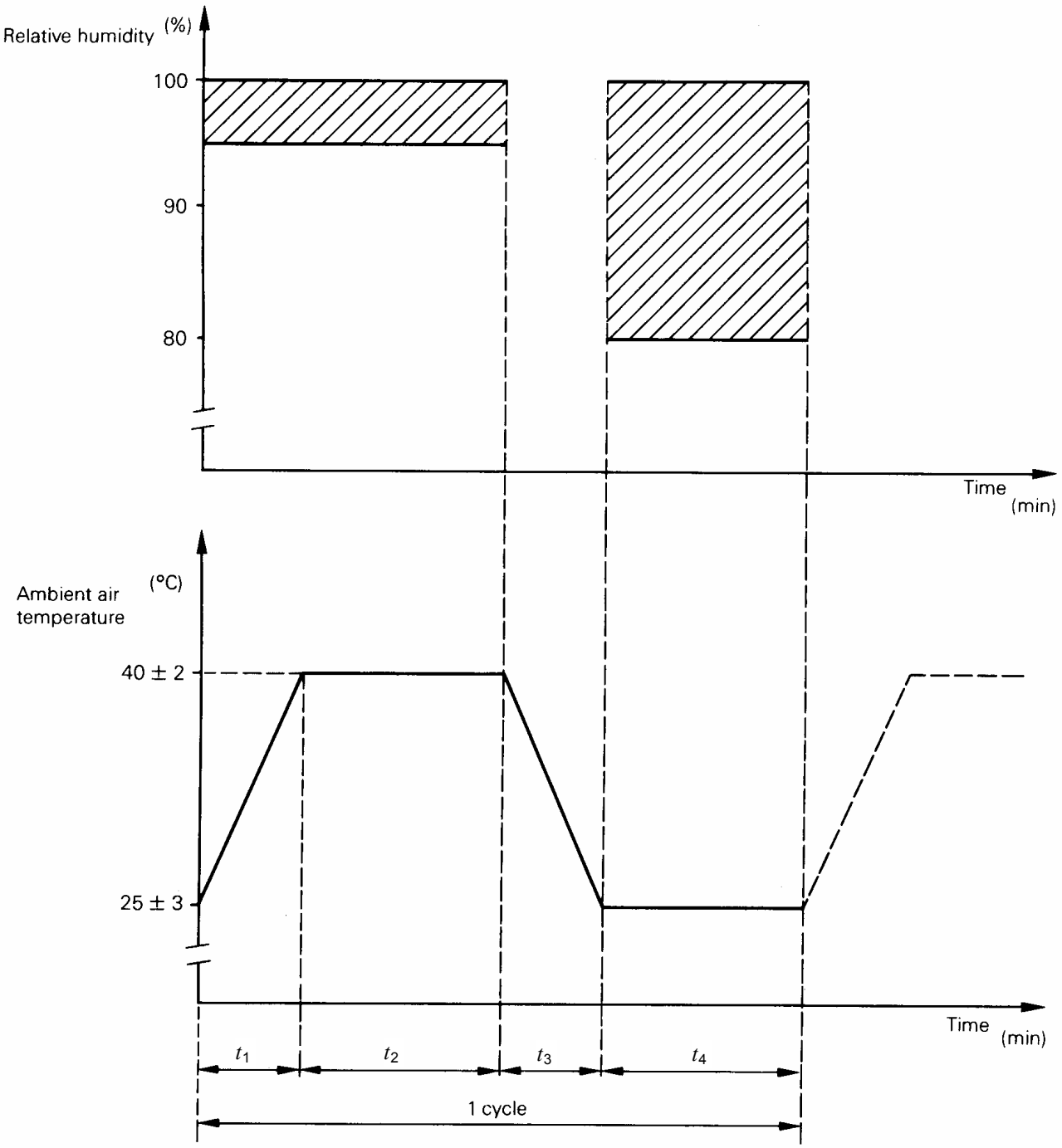
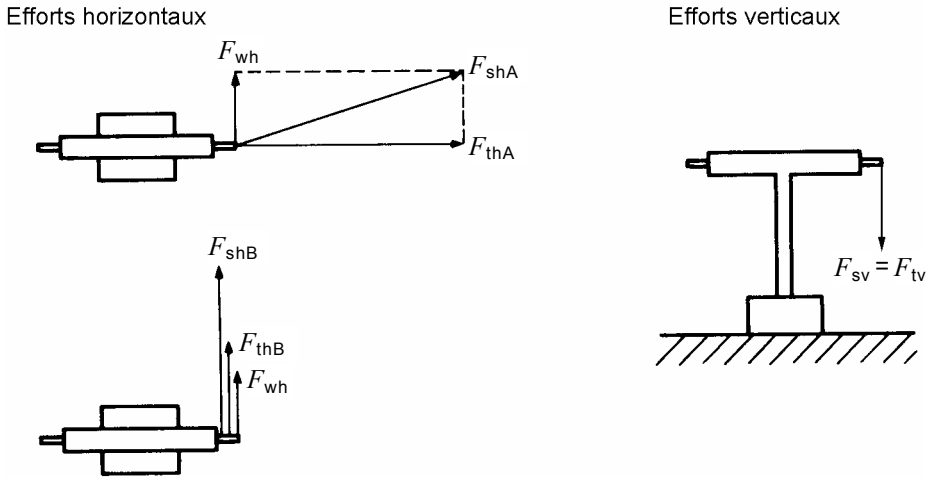


Figure 18 – Humidity test



F_{thA} effort horizontal de traction dû aux conducteurs raccordés (direction A)

F_{thB} effort horizontal de traction dû aux conducteurs raccordés (direction B)

F_{tv} effort vertical de traction dû aux conducteurs raccordés (direction C)

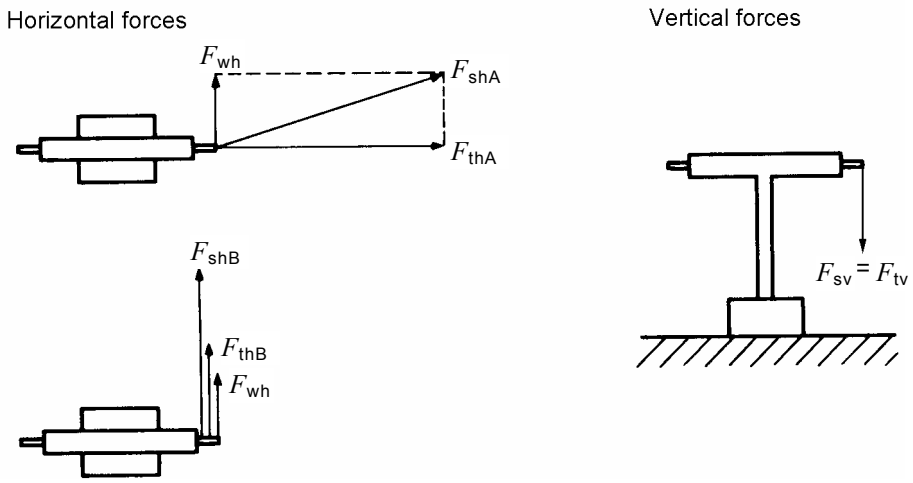
F_{wh} effort horizontal sur le disjoncteur, dû à la pression du vent sur ce disjoncteur revêtu de glace

F_{shA}, F_{shB}, F_{sv} efforts statiques assignés sur borne (efforts résultants)

NOTE Voir la figure 20 pour les directions A, B et C.

Figure 19 – Efforts statiques sur les borne

	Horizontal	**Vertical**	**Remarques**
Efforts dus au poids mort, au vent et à la glace sur le conducteur raccordé	F_{thA}, F_{thB}	F_{tv}	Selon tableau 9
Force due au vent et à la glace sur le disjoncteur*	F_{wh}	O	Calculé par le constructeur
Effort résultant	F_{shA}, F_{shB}	F_{sv}	
* L'effort horizontal sur le disjoncteur, dû au vent, peut être déplacé depuis le centre de poussée vers la borne et son amplitude réduite proportionnellement à l'augmentation du bras de levier. (Le moment de flexion sur la partie la plus basse du disjoncteur est en principe le même.)			



F_{thA} tensile horizontal force due to connected conductors (direction A)

F_{thB} tensile horizontal force due to connected conductors (direction B)

F_{tv} tensile vertical force due to connected conductors (direction C)

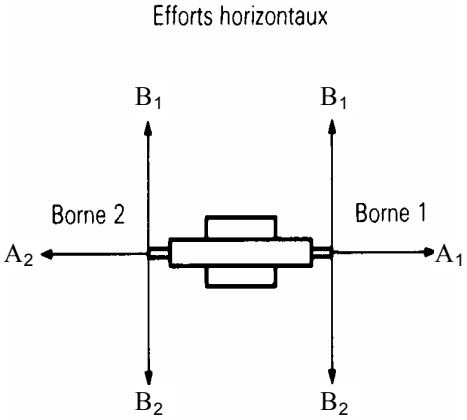
F_{wh} horizontal force on circuit-breaker due to wind pressure on ice-coated circuit-breaker

F_{shA}, F_{shB}, F_{sv} rated static terminal load (resultant forces)

NOTE Refer to figure 20 for directions A, B and C.

Figure 19 – Static terminal load forces

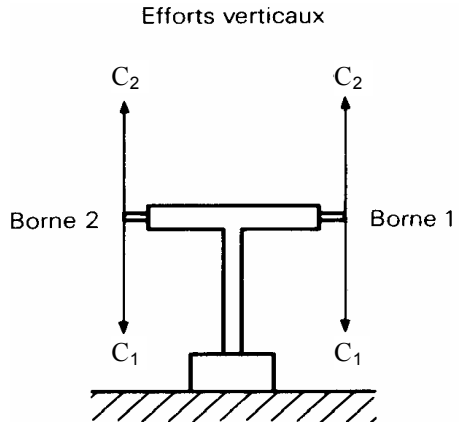
	Horizontal	Vertical	Remark
Forces due to dead weight, wind and ice on connected conductor	F_{thA}, F_{thB}	F_{tv}	According to table 9
Forces due to wind and ice on circuit-breaker*	F_{wh}	O	Calculated by manufacturer
Resultant force	F_{shA}, F_{shB}	F_{sv}	
* The horizontal force on the circuit-breaker, due to wind, may be moved from the centre of pressure to the terminal and reduced in magnitude in proportion to the longer lever arm. (The bending moment at the lowest part of the circuit-breaker should be the same.)			



Direction des efforts: A_1, B_1, B_2 pour la borne 1

Direction des efforts: A_2, B_1, B_2 pour la borne 2

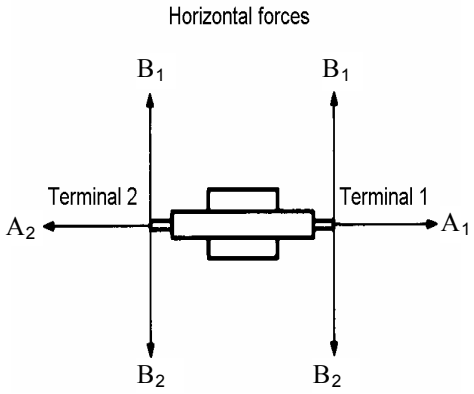
Efforts horizontaux d'essais: F_{shA} et F_{shB} (voir figure 19)



Direction des efforts: C_1, C_2 sur la borne 1
Direction des efforts: C_1, C_2 sur la borne 2
Efforts verticaux d'essais (dans les deux directions): F_{sv} (voir figure 19)

NOTE Il suffit d'essayer un seul côté des disjoncteurs s'ils sont symétriques par rapport à l'axe vertical central du pôle.

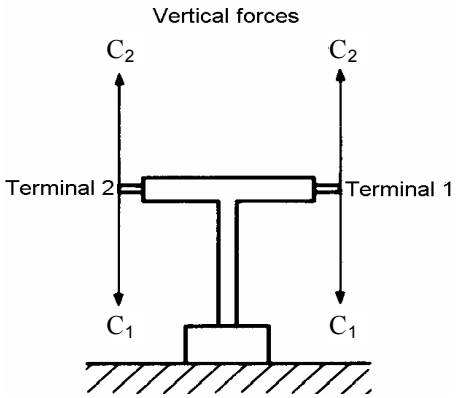
Figure 20 – Directions pour les essais d'efforts statiques sur les bornes



Force directions: A_1, B_1, B_2 for Terminal 1

Force directions: A_2, B_1, B_2 for Terminal 2

Horizontal test forces: F_{shA} and F_{shB} (see figure 19)



Force directions: C_1, C_2, for Terminal 1

Force directions: C_1, C_2, for Terminal 2

Vertical test forces (both directions): F_{sv} (see figure 19)

NOTE For circuit-breakers which are symmetrical about the pole unit vertical centreline, only one terminal needs to be tested.

Figure 20 – Directions for static terminal load tests

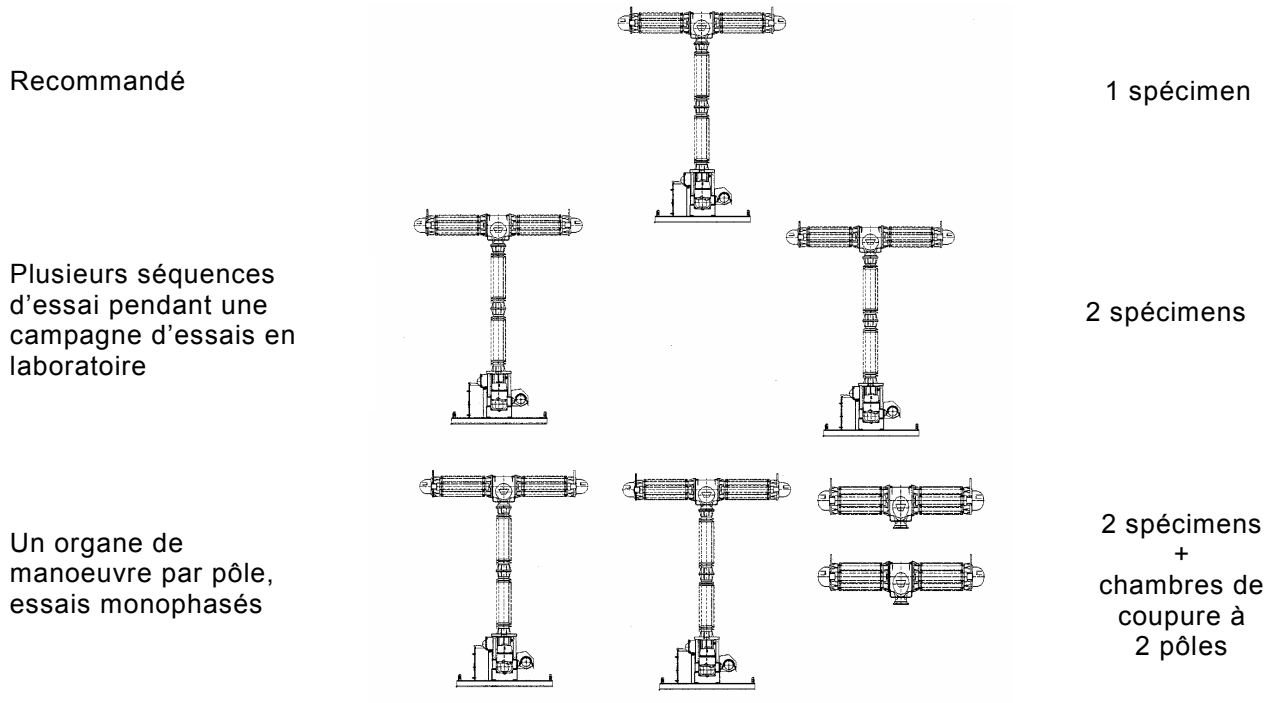


Figure 21 – Nombre permis de spécimens pour les essais d'établissement et de coupure, illustration des spécifications de 6.102.2

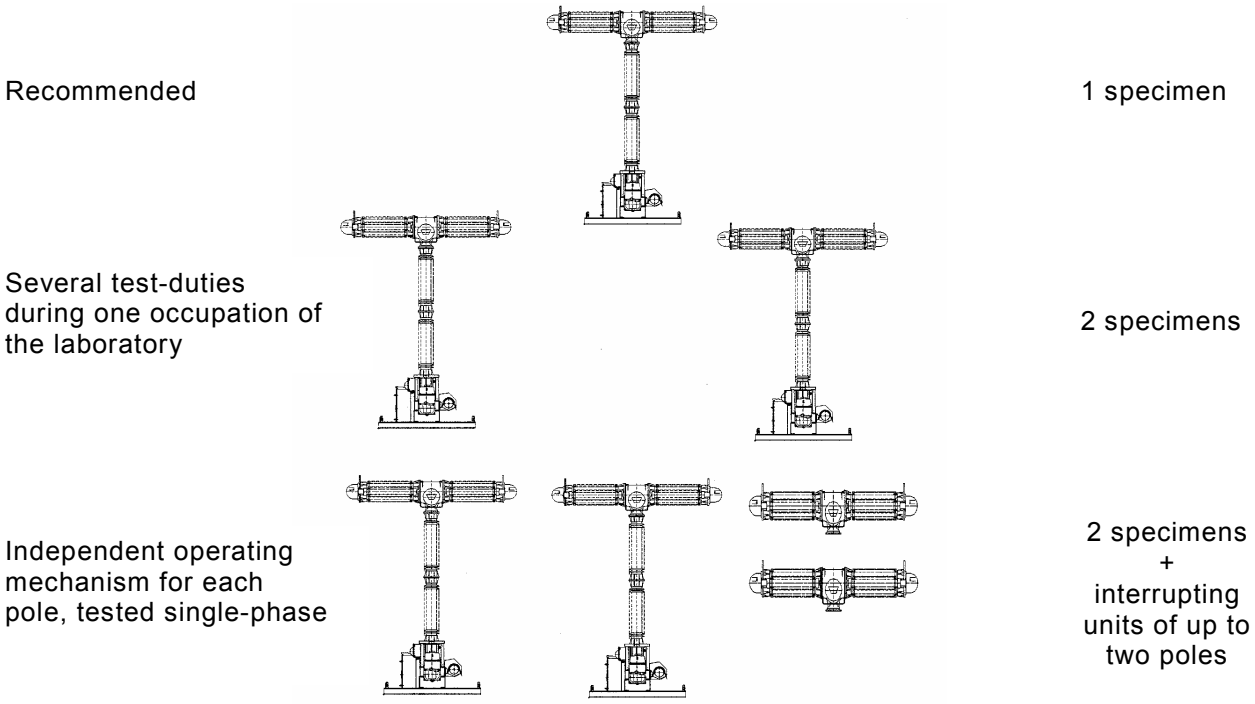


Figure 21 – Permitted number of samples for making, breaking and switching tests, illustrations of the statements in 6.102.2

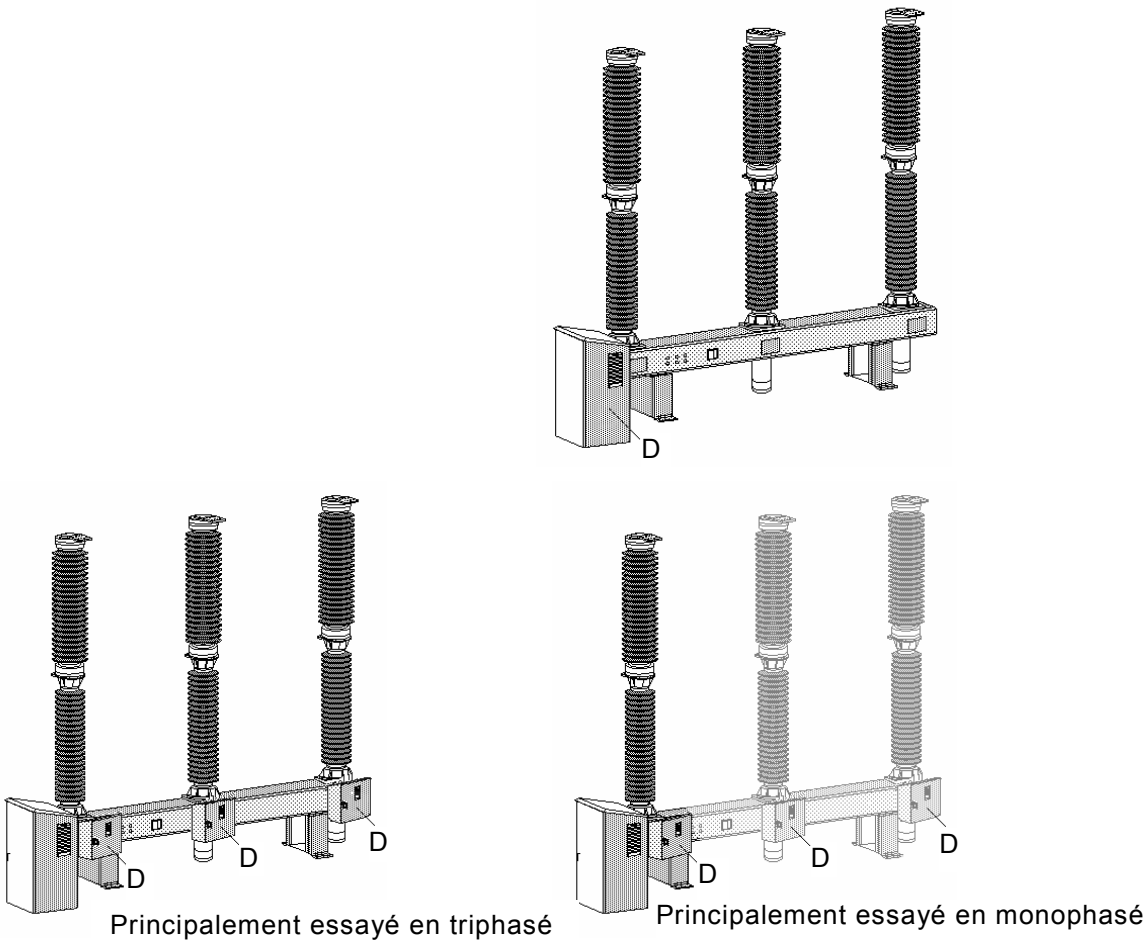


Figure 22 – Définition d'un essai conformément à 3.2.2 de la CEI 60694

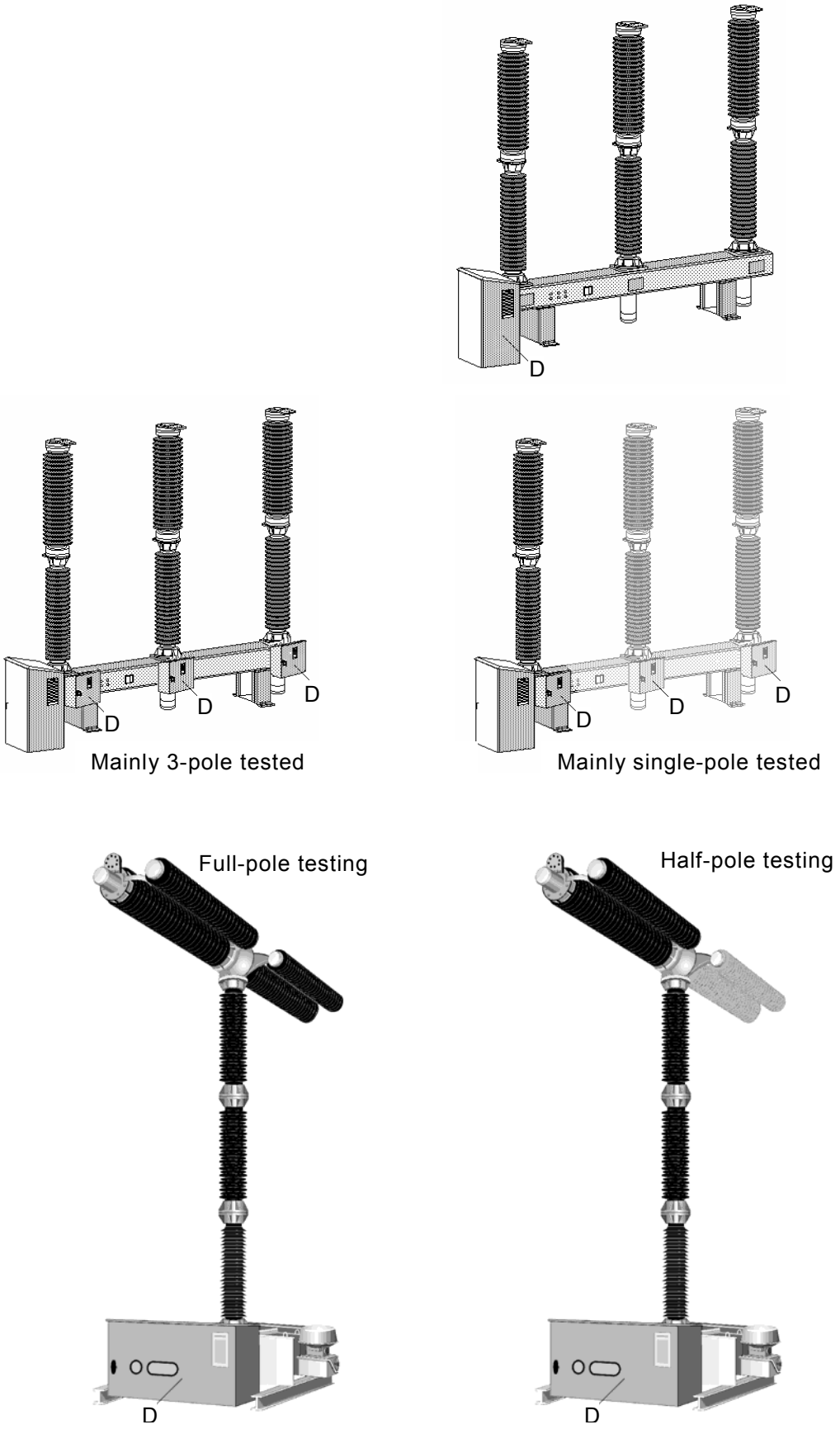


Figure 22 – Definition of a single test specimen in accordance with 3.2.2 of IEC 60694

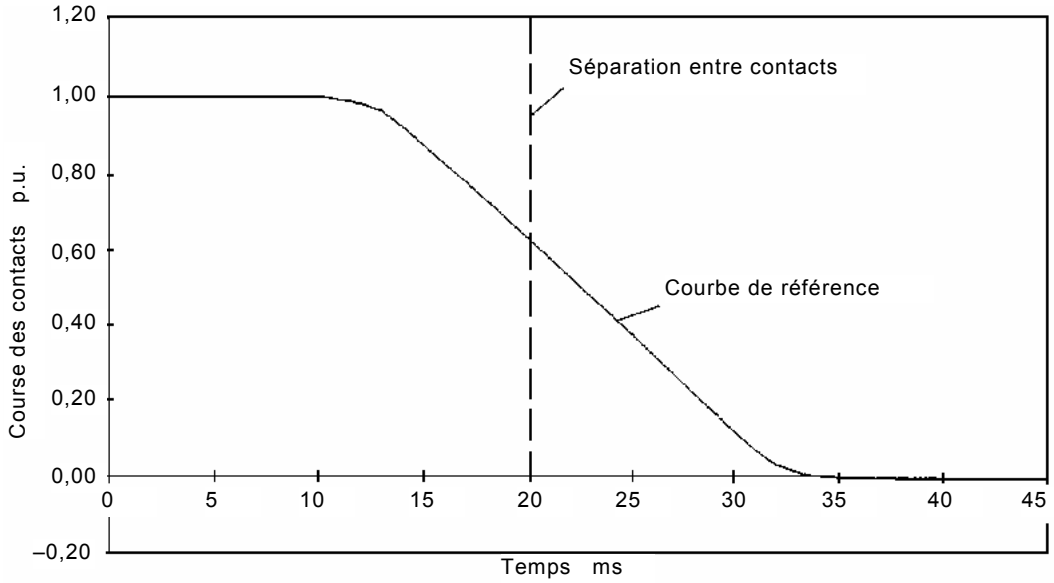


Figure 23a – Caractéristique de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée)

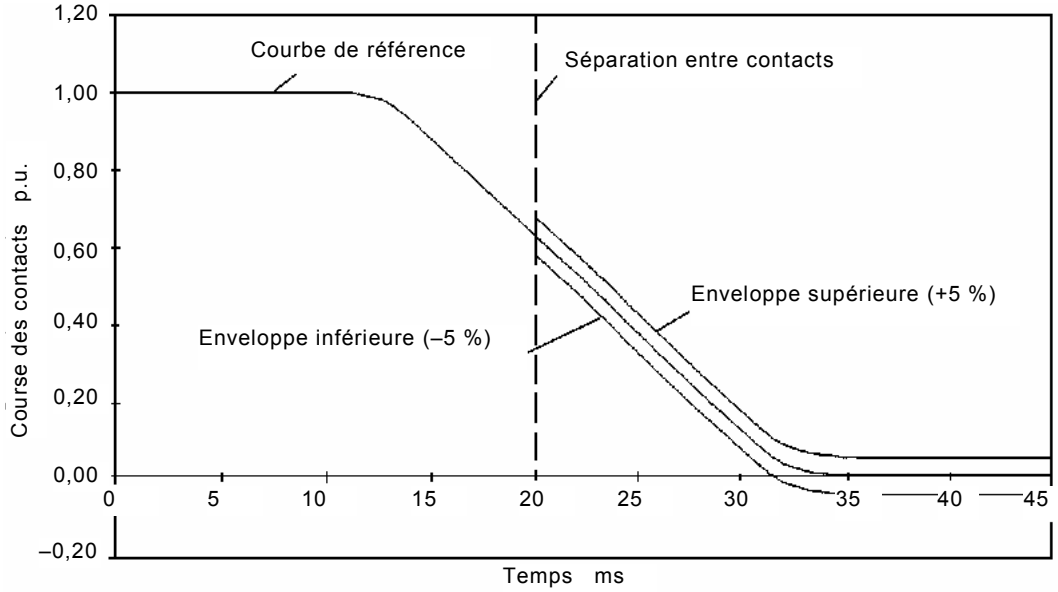


Figure 23b – Caractéristique de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) avec l'enveloppe prescrite centrée autour de la courbe de référence (+5 %, –5 %), dans cet exemple la séparation des contacts à lieu à t = 20 ms

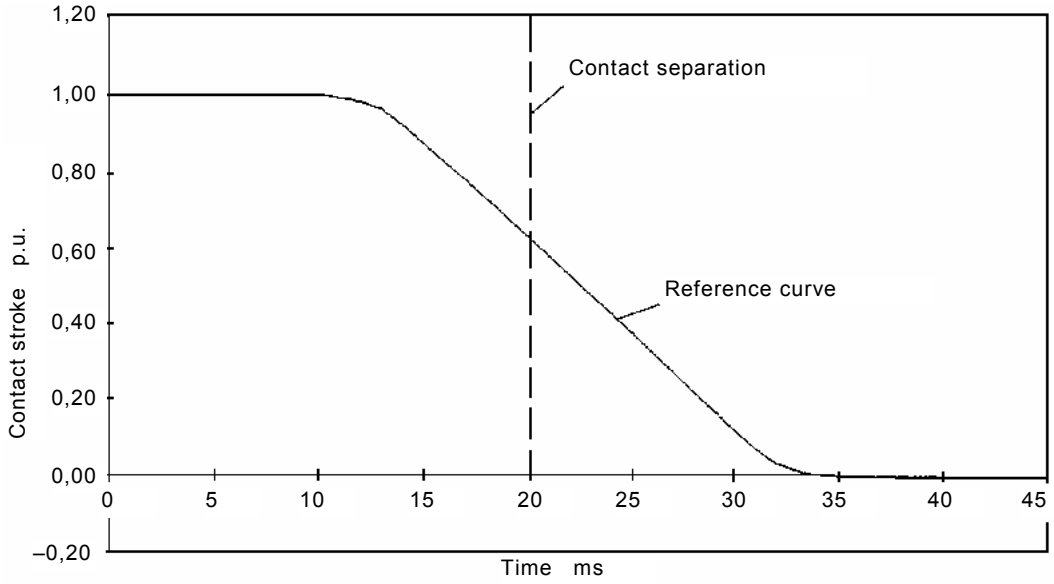


Figure 23a – Reference mechanical travel characteristics (idealised curve)

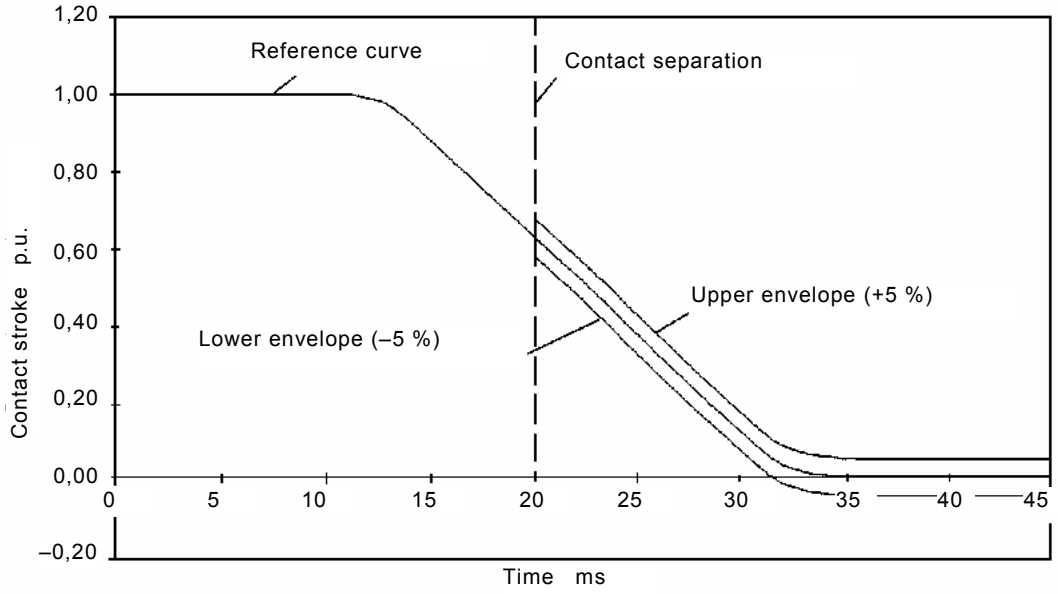


Figure 23b – Reference mechanical travel characteristics (idealised curve) with the prescribed envelopes centered over the reference curve (+5 %, –5 %), contact separation in this example at time t = 20 ms

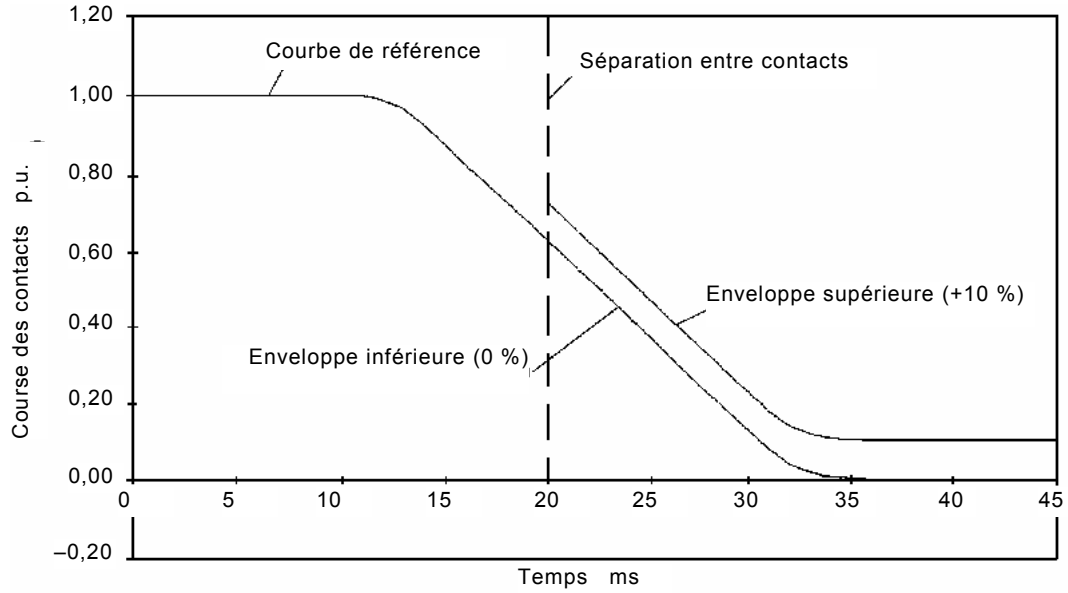


Figure 23c – Caractéristique de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) avec l'enveloppe prescrite déplacée totalement vers la haut par rapport à la courbe de référence (+10 %, –0 %), dans cet exemple la séparation des contacts à lieu à *t* = 20 ms

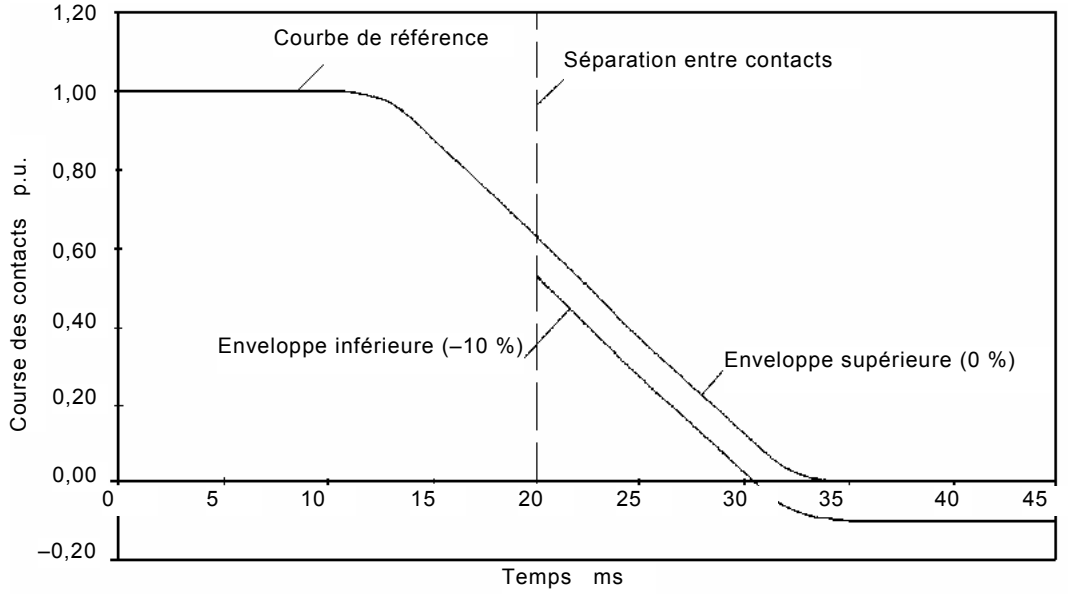


Figure 23d – Caractéristique de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) avec l'enveloppe prescrite déplacée totalement vers le haut par rapport à la courbe de référence (+0 %, –10 %), dans cet exemple la séparation des contacts à lieu à *t* = 20 ms

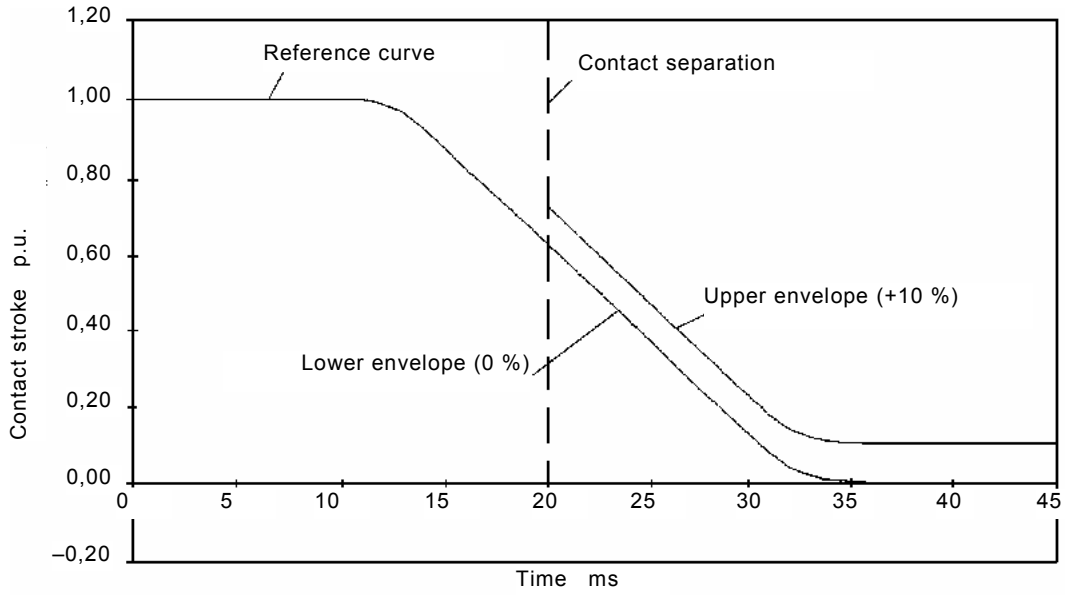


Figure 23c – Reference mechanical travel characteristics (idealised curve) with the prescribed envelopes fully displaced upward from the reference curve (+10 %, –0 %), contact separation in this example at time t = 20 ms

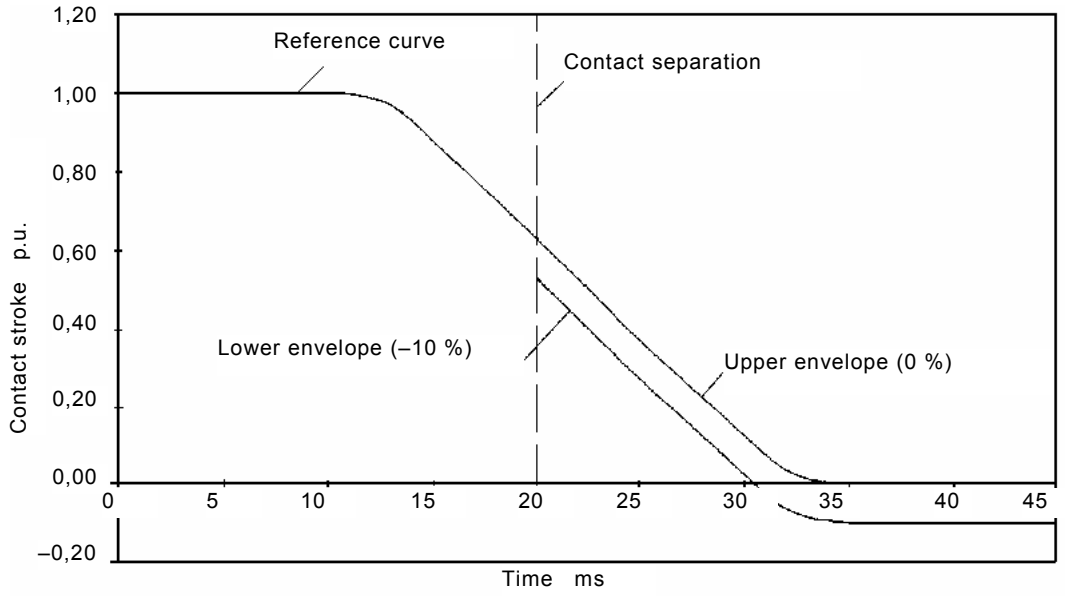
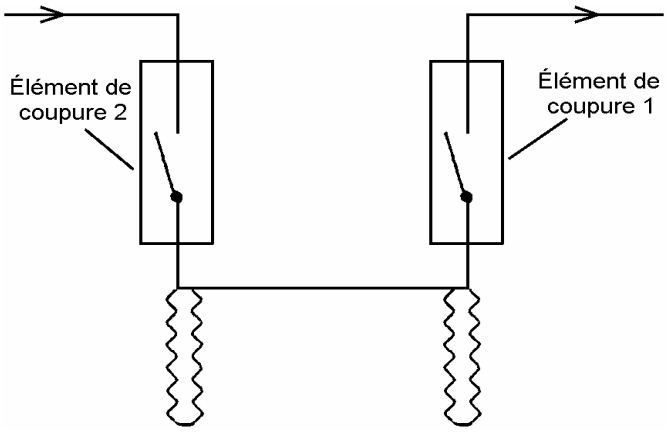


Figure 23d – Reference mechanical travel characteristics (idealised curve) with the prescribed envelopes fully displaced downward from the reference curve (+0 %, –10 %), contact separation in this example at time t = 20 ms

Pôle de disjoncteur avec deux chambres de coupure séparées en série.



Montage d'essai équivalent pour des essais sur éléments séparés; le second élément de coupure est remplacé par un conducteur de forme équivalente.

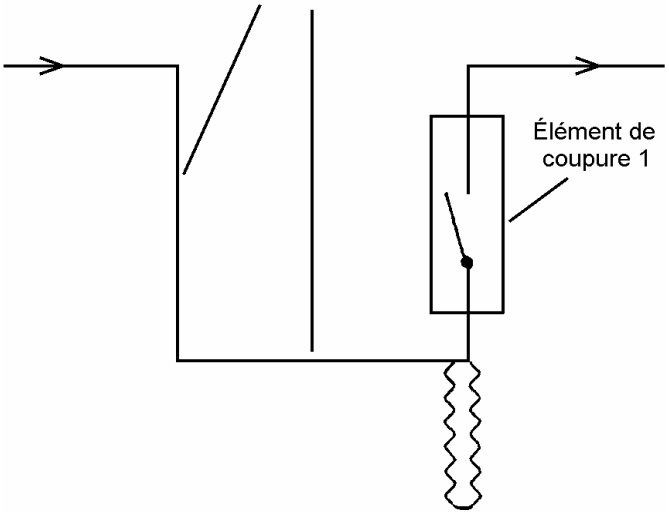
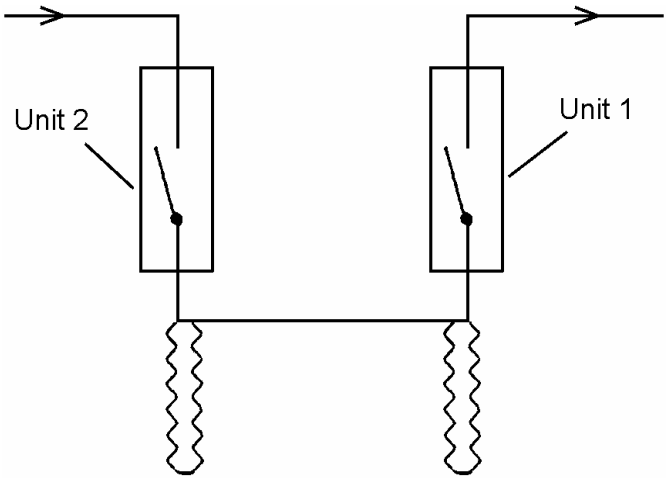


Figure 24 – Montage d'essai équivalent pour les essais sur éléments séparés d'un disjoncteur ayant plus d'un élément de coupure

Pole of a circuit-breaker with two separate interrupter units in series.



Equivalent testing set-up for unit testing; second interrupter unit is substituted by a conductor of equivalent shape.

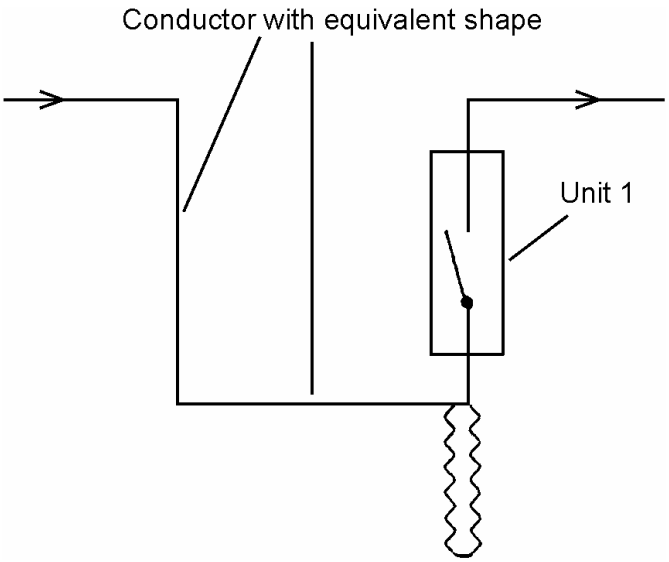


Figure 24 – Equivalent testing set-up for unit testing of circuit-breakers with more than one separate interrupter units

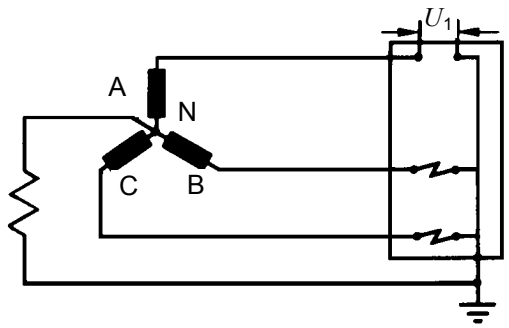


Figure 25a – Circuit préferé

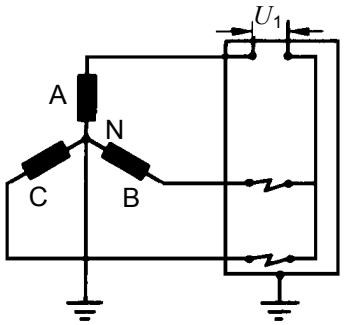
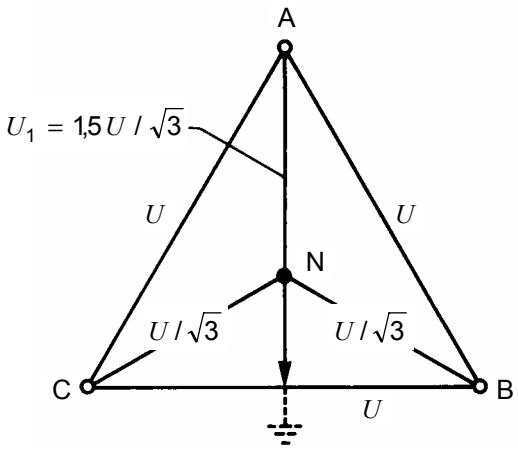


Figure 25b – Circuit utilisé en variante



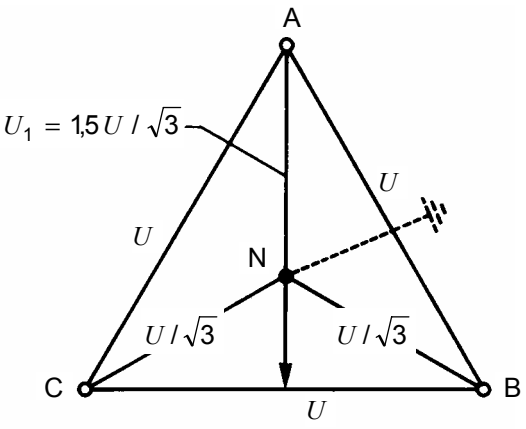


Figure 25 – Mise à la terre des circuits d'essais pour des essais triphasés en court-circuit, facteur de premier pôle 1,5

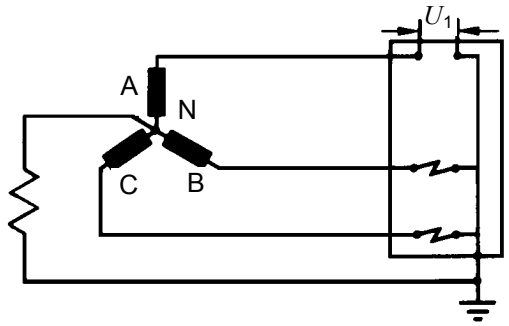


Figure 25a – Preferred circuit

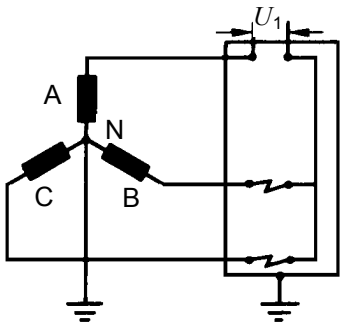


Figure 25b – Alternative circuit

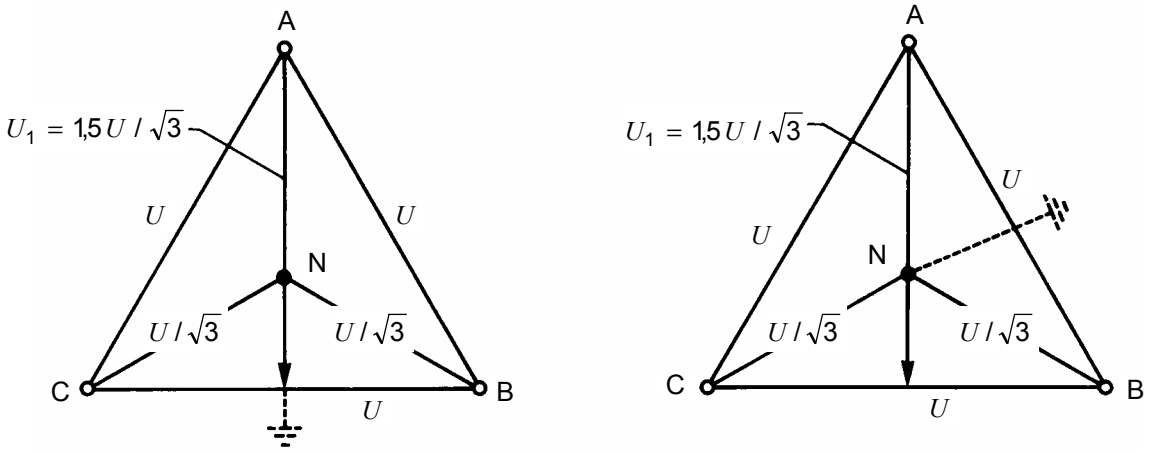


Figure 25 – Earthing of test circuits for three-phase short-circuit tests, first-pole-to-clear factor 1,5

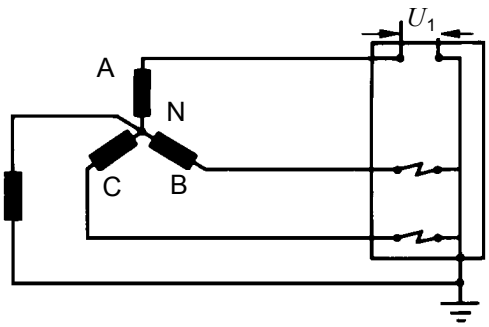


Figure 26a – Circuit préféré

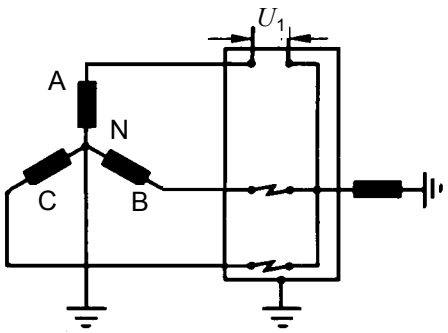


Figure 26b – Circuit utilisé en variante

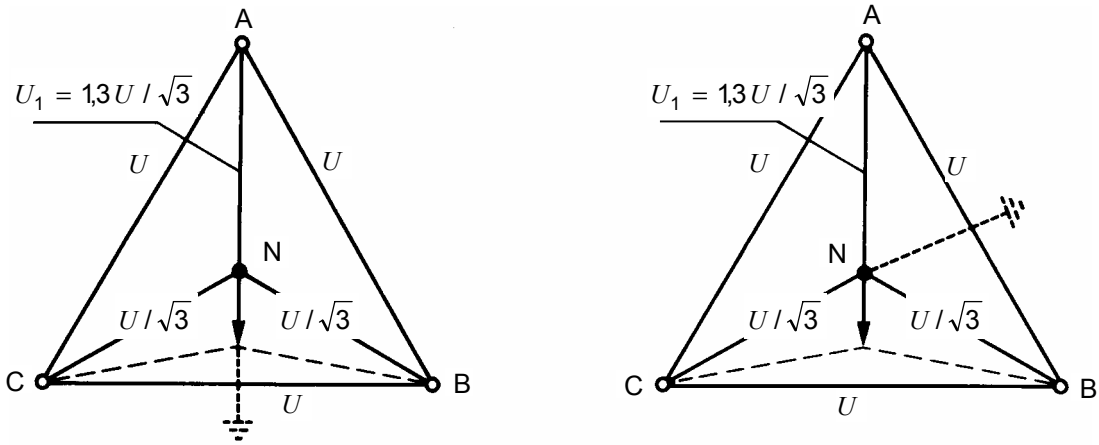


Figure 26 – Mise à la terre des circuits d'essais pour des essais triphasés en court-circuit, facteur de premier pôle 1,3

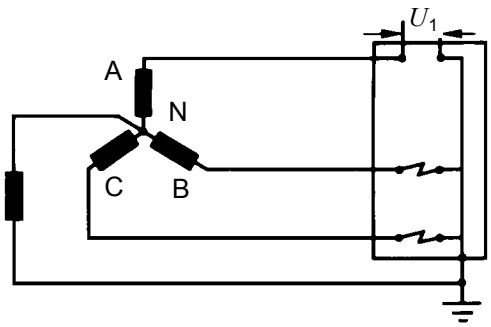


Figure 26a – Preferred circuit

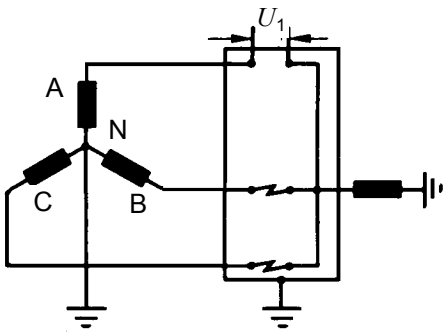
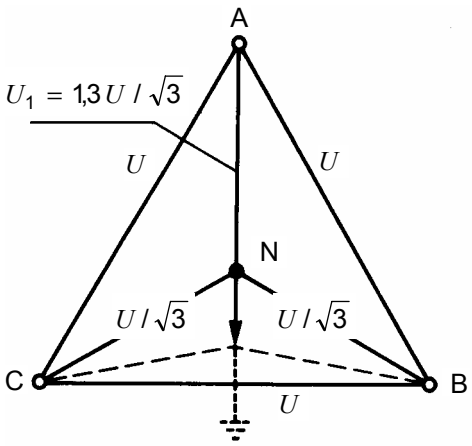


Figure 26b – Alternative circuit



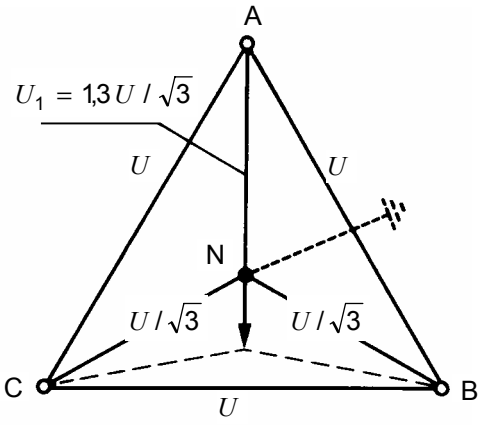


Figure 26 – Earthing of test circuits for three-phase short-circuit tests, first-pole-to-clear factor 1,3

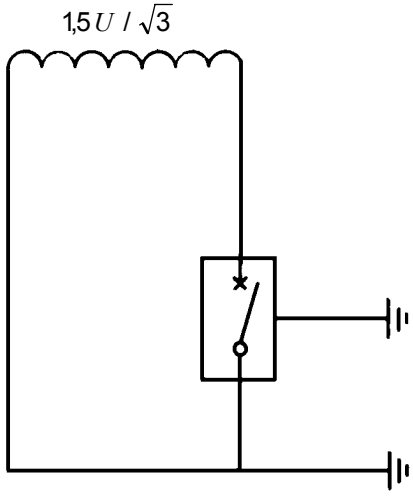


Figure 27a – Circuit préféré

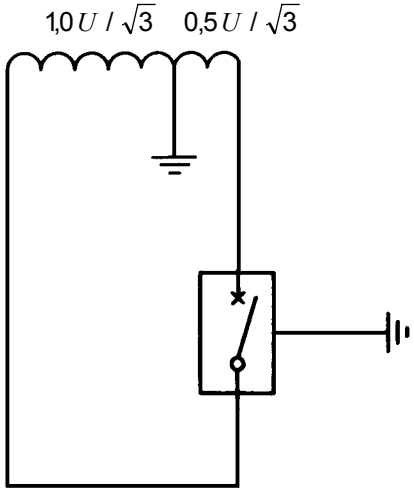


Figure 27b – Circuit utilisé en variante, n'est pas applicable aux disjoncteurs dont l'isolement entre phases et/ou à la terre est critique (par exemple GIS ou disjoncteurs *dead tank*)

Figure 27 – Mise à la terre des circuits d'essais pour des essais monophasés en court-circuit, facteur de premier pôle 1,5

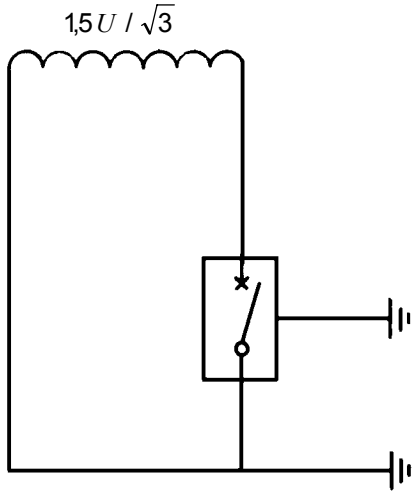


Figure 27a – Preferred circuit

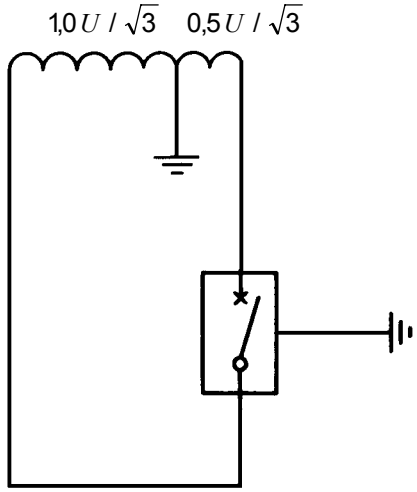


Figure 27b – Alternative circuit not applicable for circuit-breakers where the insulation between phases and/or to earth is critical (e.g. GIS or dead tank circuit-breakers)

Figure 27 – Earthing of test circuits for single-phase short-circuit tests, first-pole-to-clear factor 1,5

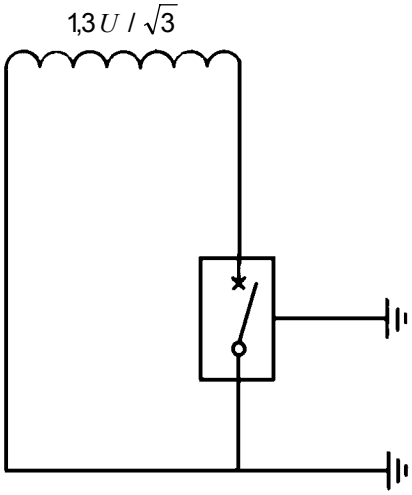


Figure 28a – Circuit préféré

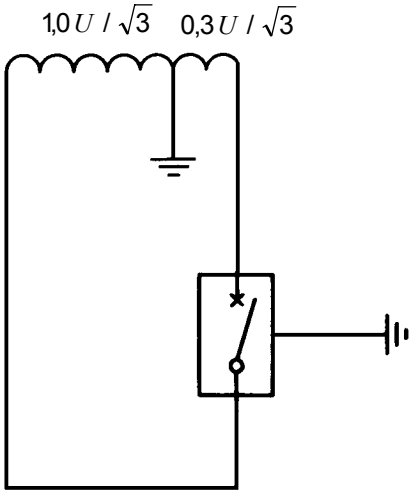


Figure 28b – Circuit utilisé en variante, n'est pas applicable aux disjoncteurs dont l'isolement entre phases et/ou à la terre est critique (par exemple GIS ou disjoncteurs *dead tank*)

Figure 28 – Mise à la terre des circuits d'essais pour des essais monophasés en court-circuit, facteur de premier pôle 1,3

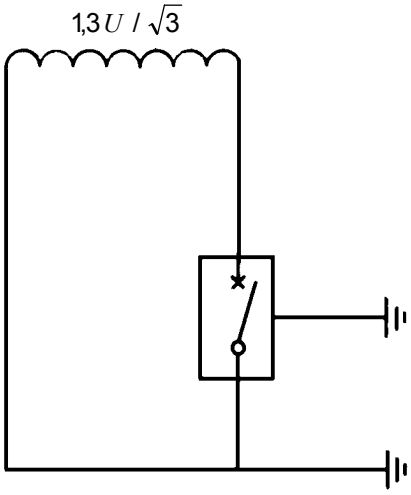


Figure 28a – Preferred circuit

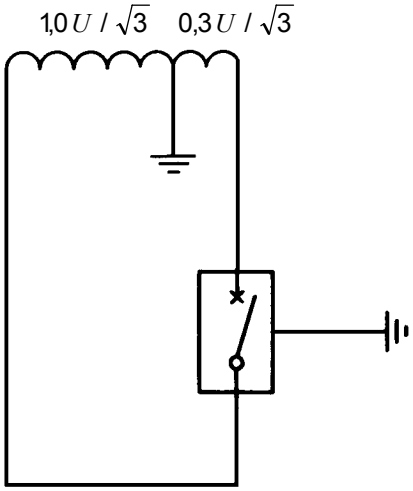
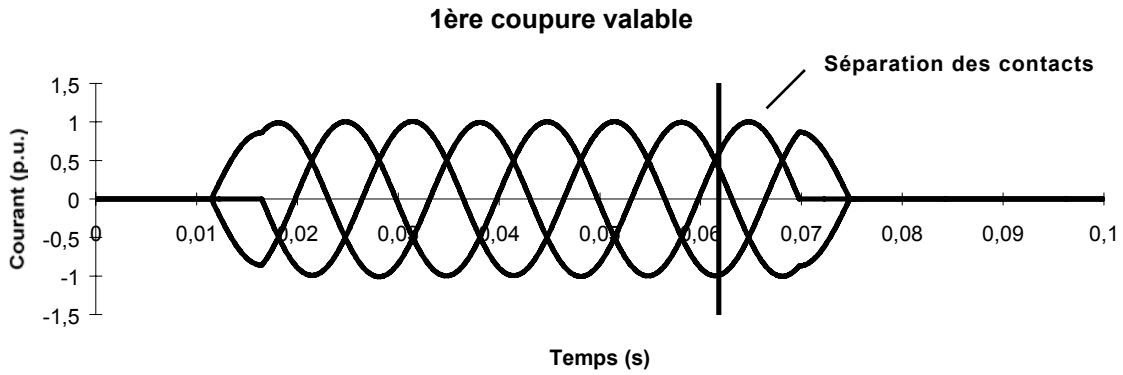
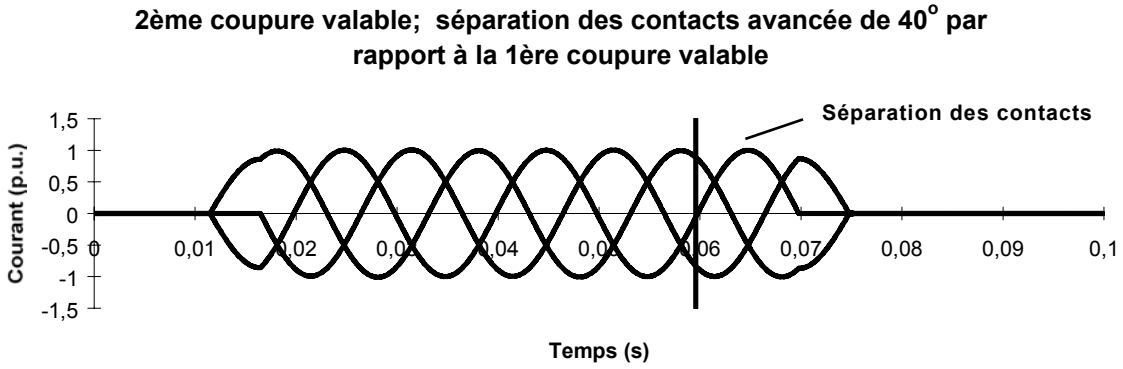


Figure 28b – Alternative circuit, not applicable for circuit-breakers where the insulation between phases and/or to earth is critical (e.g. GIS or dead tank circuit-breakers)

Figure 28 – Earthing of test circuits for single-phase short-circuit tests, first-pole-to-clear factor 1,3





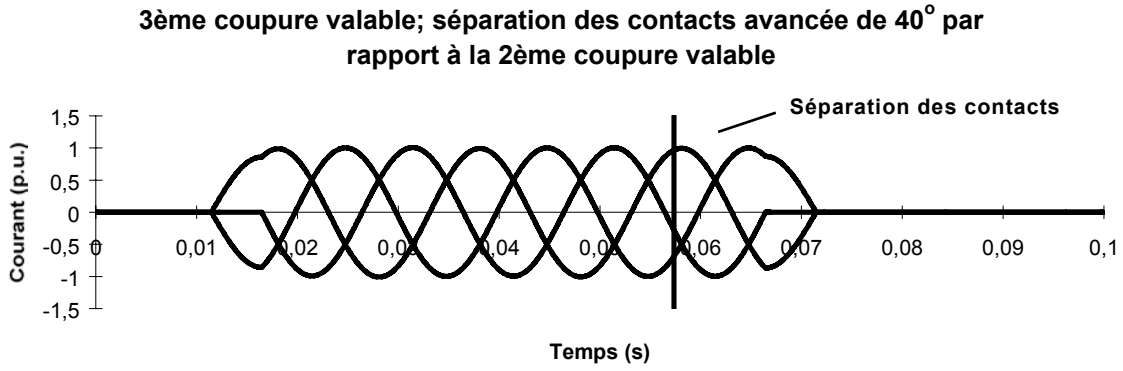


Figure 29 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants symétriques lors d'essais effectués en triphasé pour un réseau à neutre non directement à la terre (facteur de premier pôle 1,5)

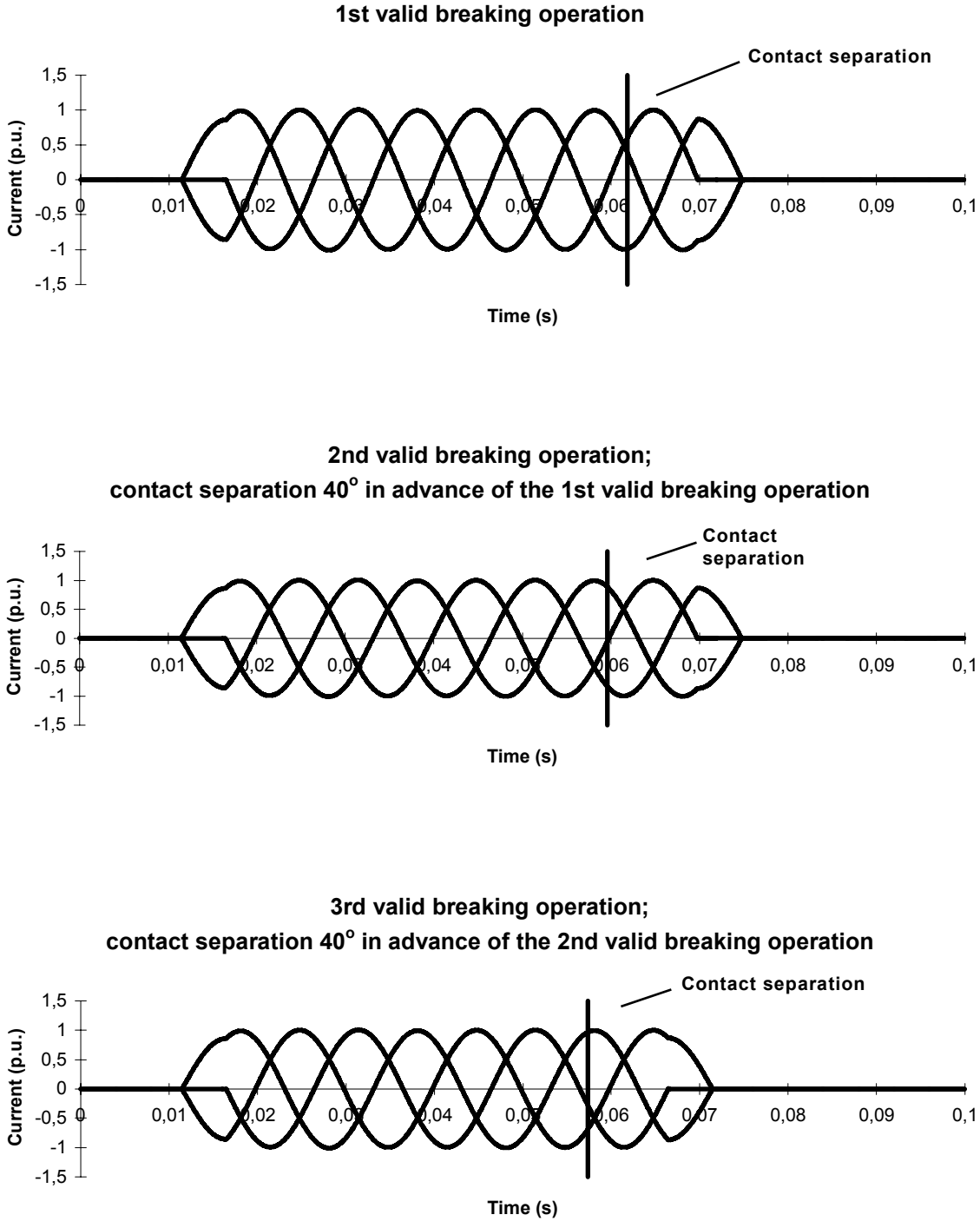
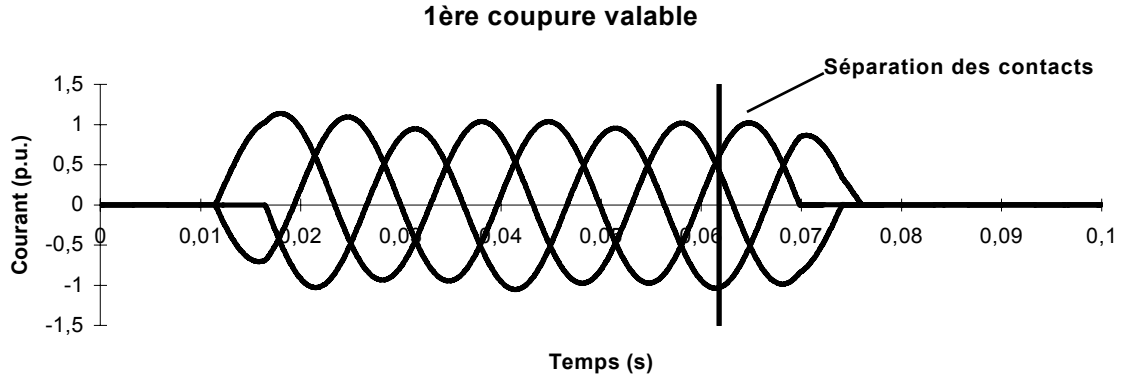
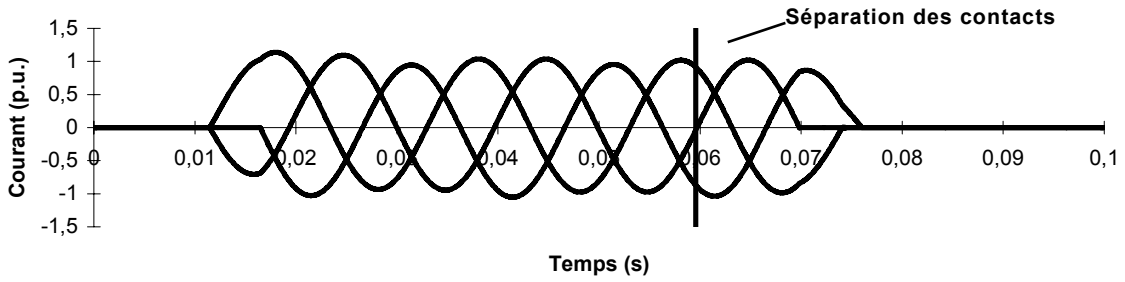


Figure 29 – Graphical representation of the three valid symmetrical breaking operations for three-phase tests in a non-solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,5)





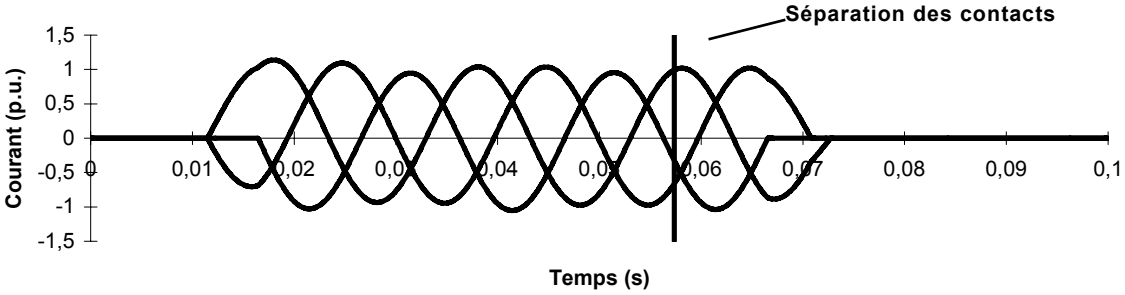


Figure 30 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants symétriques lors d'essais effectués en triphasé pour un réseau à neutre mis directement à la terre (facteur de premier pôle 1,3)

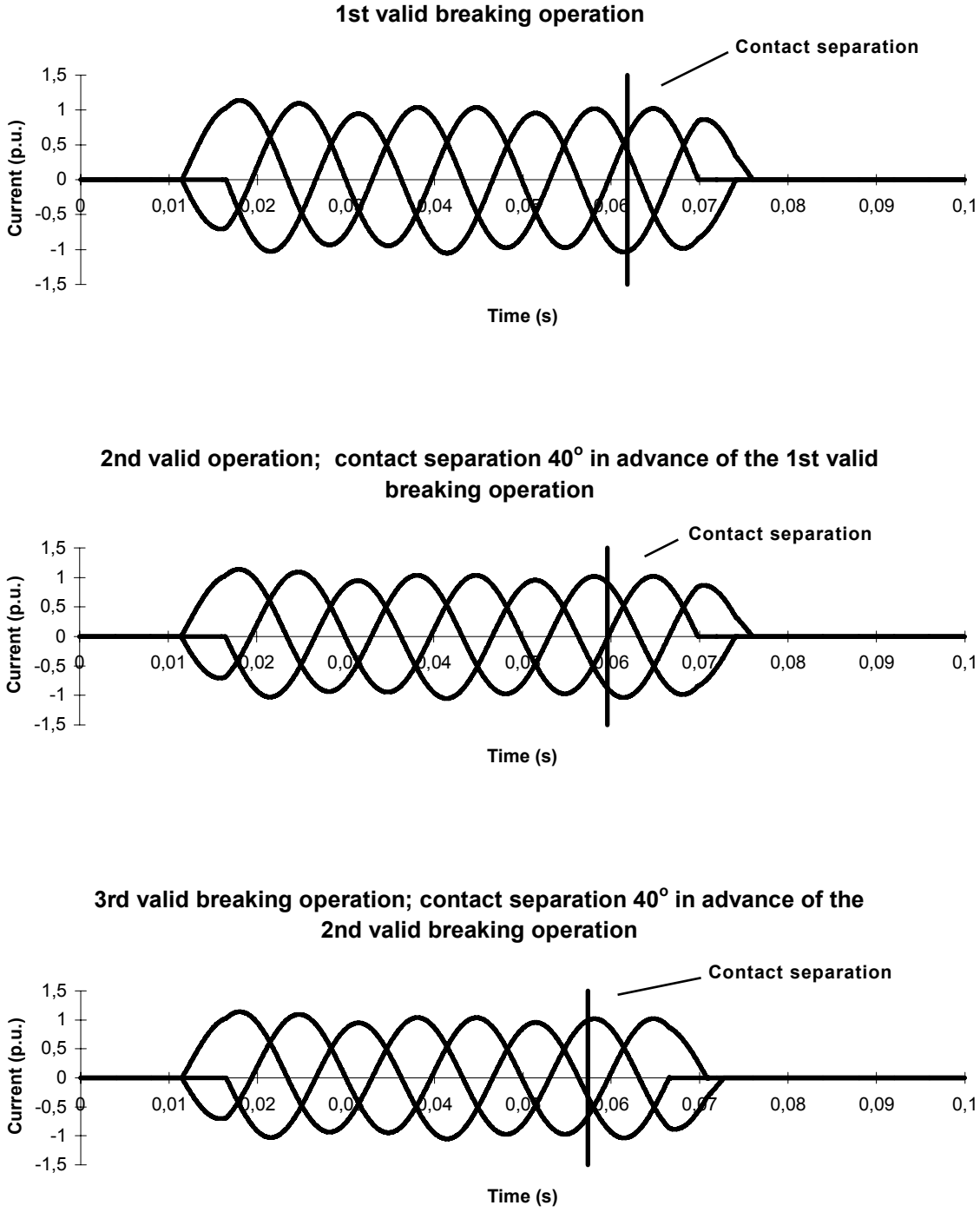
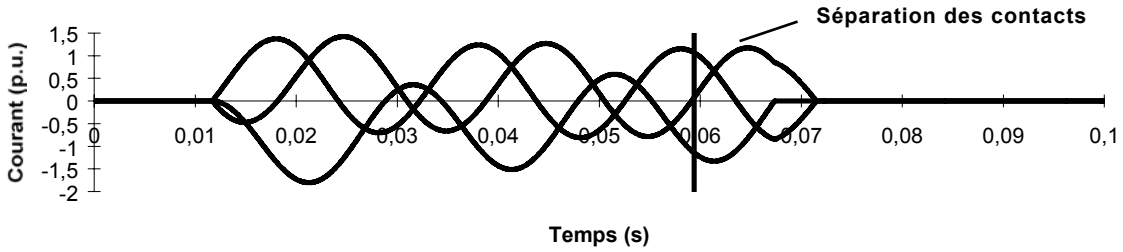
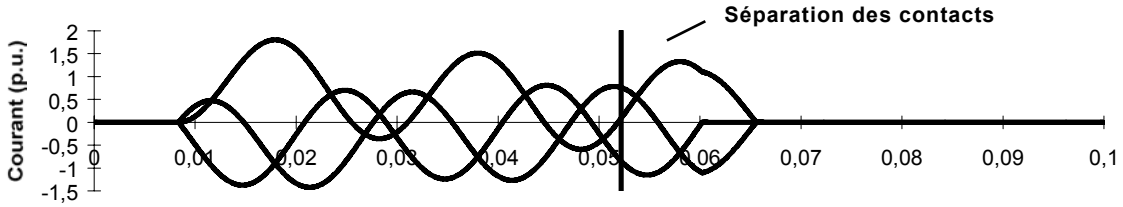


Figure 30 – Graphical representation of the three valid symmetrical breaking operations for three-phase tests in a solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,3)

1ère coupure valable; premier pôle qui coupe sur une grande alternance avec le niveau de c.c. requis à la séparation des contacts

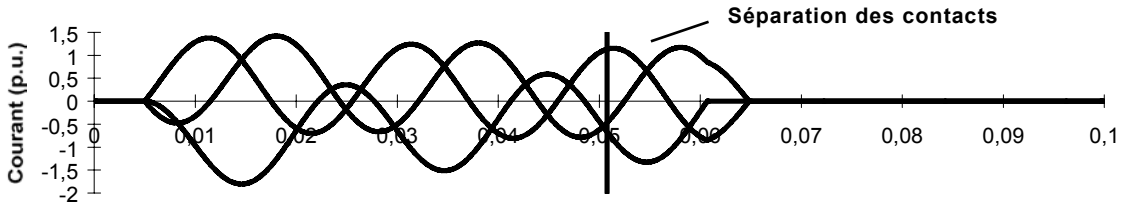


2ème coupure valable; un des derniers pôles qui coupe sur une grande alternance allongée avec le niveau de c.c. requis à la séparation des contacts



initiation du courant avancée de 60° par rapport à la première coupure; séparation des contacts avancée de 130° par rapport à la première coupure

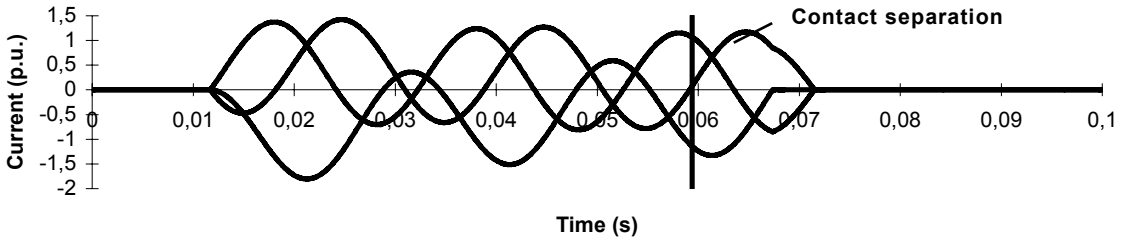
3ème coupure valable; premier pôle qui coupe sur une grande alternance avec le niveau de c.c. requis à la séparation des contacts



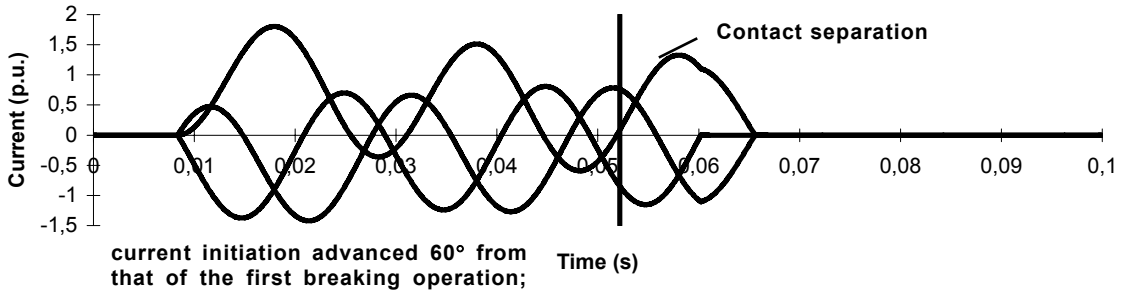
initiation du courant avancée de 60° par rapport à la deuxième coupure; séparation des contacts avancée de 25° par rapport à la deuxième coupure

Figure 31 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants asymétriques lors d'essais effectués en triphasé pour un réseau à neutre non directement à la terre (facteur de premier pôle 1,5)

1st valid breaking operation; first pole-to-clear on a major loop with the required d.c. level at contact separation

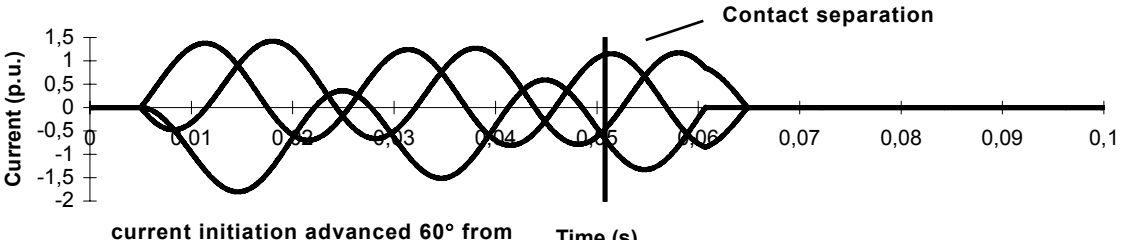


2nd valid breaking operation; one of the last pole-to-clear on an extended major loop with the required d.c. level at contact separation



current initiation advanced 60° from that of the first breaking operation; contact separation advanced 130° from that of the first breaking operation

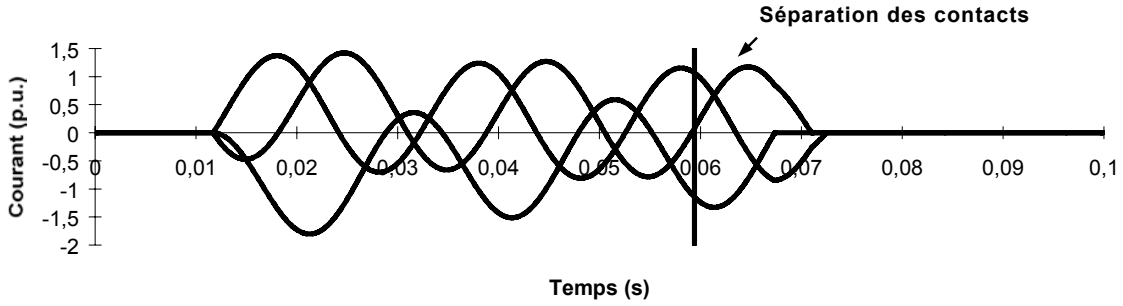
3rd valid breaking operation; first pole-to-clear on a major loop with the required d.c. level at contact separation



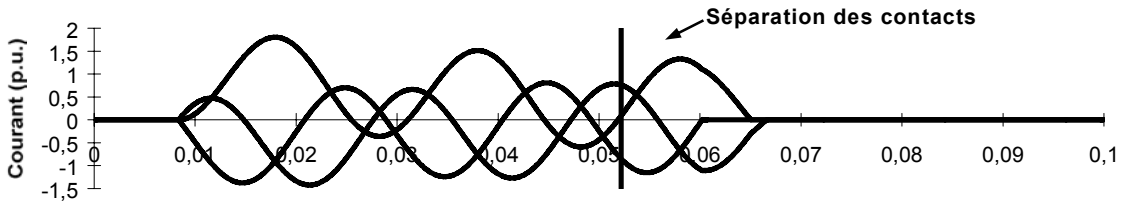
current initiation advanced 60° from that of the second breaking operation; contact separation advanced 25° from that of the second breaking operation

Figure 31 – Graphical representation of the three valid asymmetrical breaking operations for three-phase tests in a non-solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,5)

1ère coupure valable; premier pôle qui coupe sur une grande alternance avec le niveau de c.c. requis à la séparation des contacts

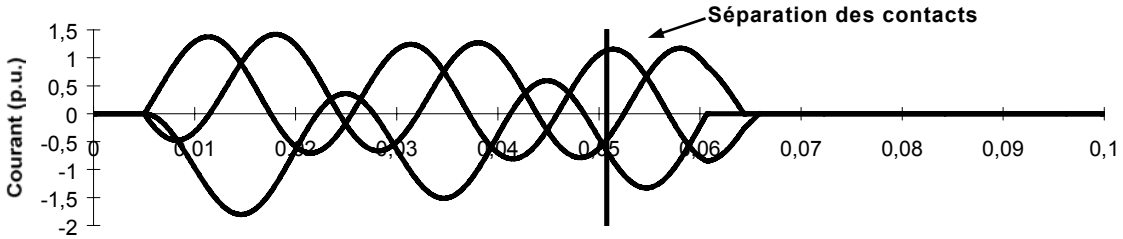


2ème coupure valable; deuxième pôle qui coupe après une grande alternance allongée avec le niveau de c.c. requis à la séparation des contacts



initiation du courant avancée de 60° par rapport à la première coupure; séparation des contacts avancée de 130° par rapport à la première coupure.

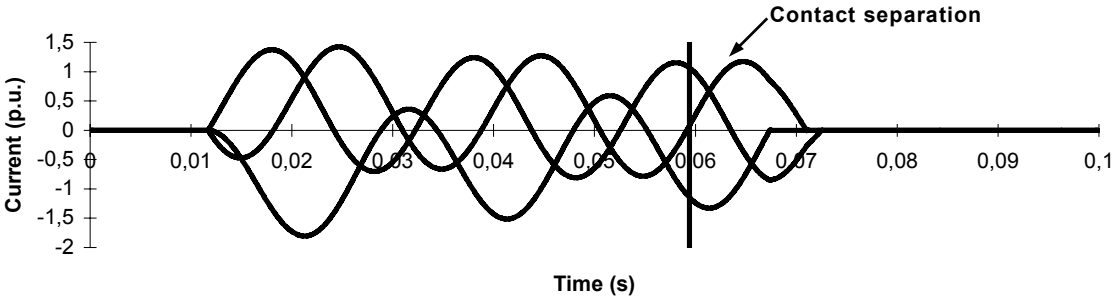
3ème coupure valable; premier pôle qui coupe après une grande alternance avec le niveau de c.c. requis à la séparation des contacts



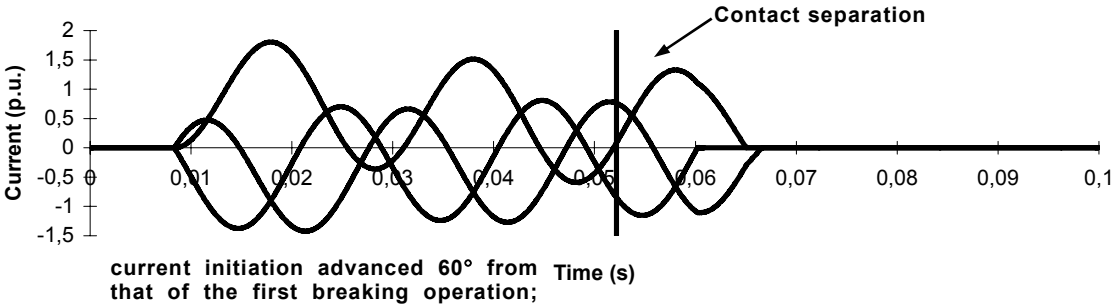
initiation du courant avancée de 60° par rapport à la deuxième coupure; séparation des contacts avancée de 25° par rapport à la deuxième coupure

Figure 32 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants asymétriques lors d'essais effectués en triphasé pour un réseau à neutre mis directement à la terre (facteur de premier pôle 1,3)

1st valid breaking operation; first pole-to-clear on a major loop with the required d.c. level at contact separation

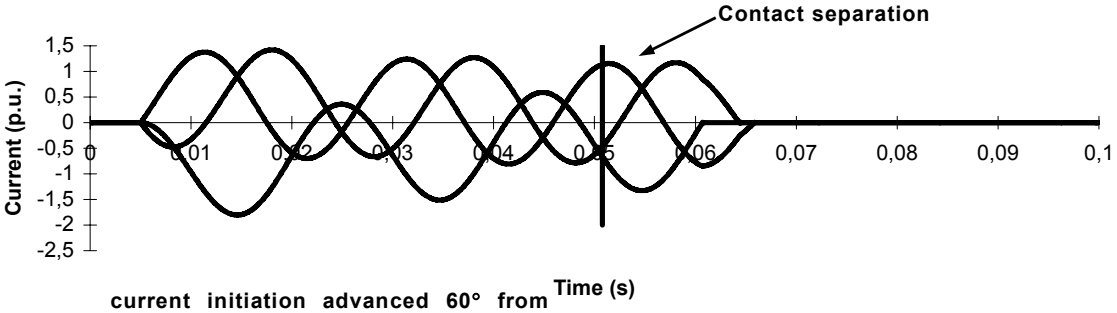


2nd valid breaking operation; second pole-to-clear after an extended major loop with the required d.c. level at contact separation



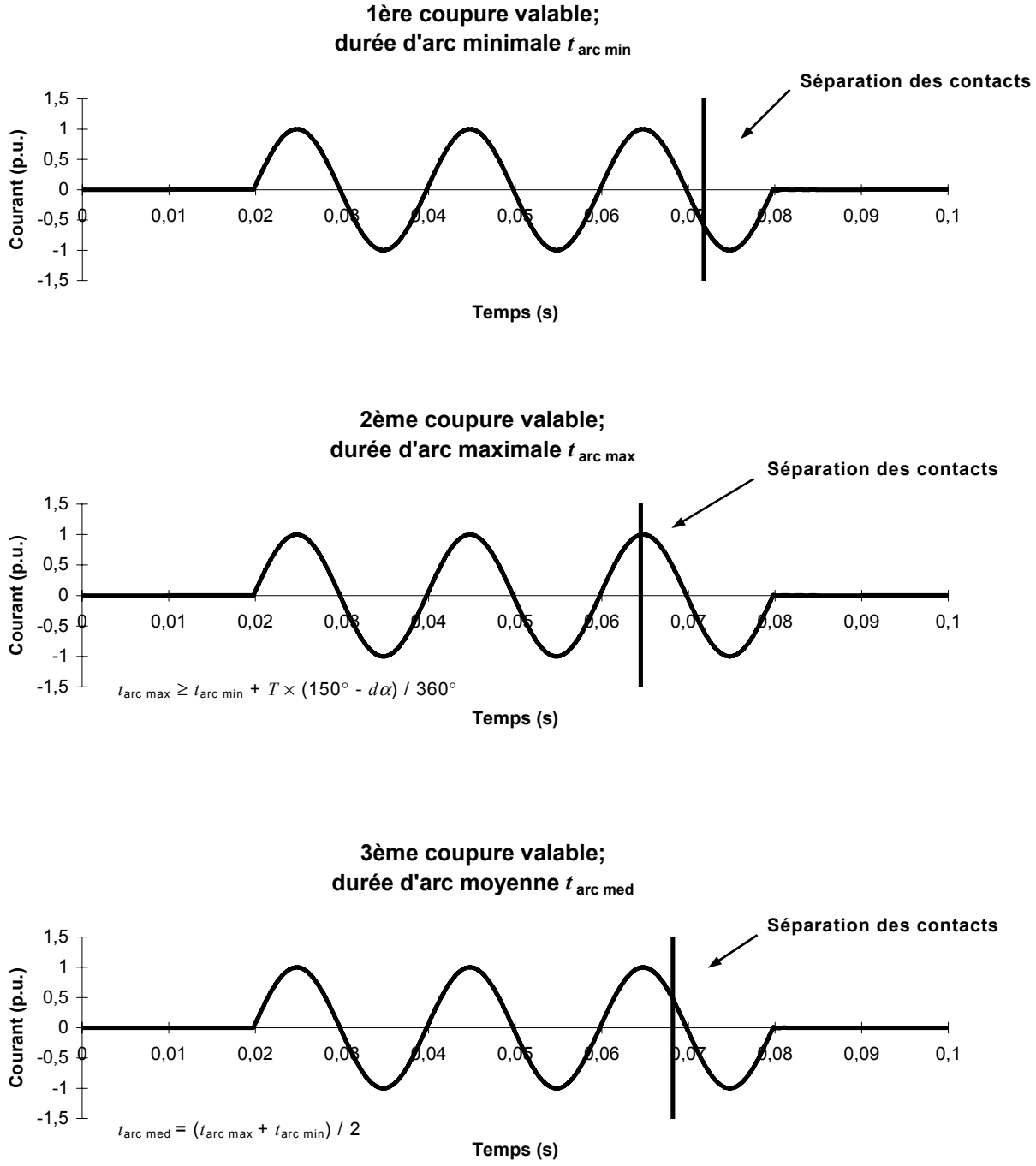
current initiation advanced 60° from that of the first breaking operation; contact separation advanced 130° from that of the first breaking operation

3rd valid breaking operation; first pole-to-clear after a major loop with the required d.c. level at contact separation



current initiation advanced 60° from that of the second breaking operation; contact separation advanced 25° from that of the second breaking operation

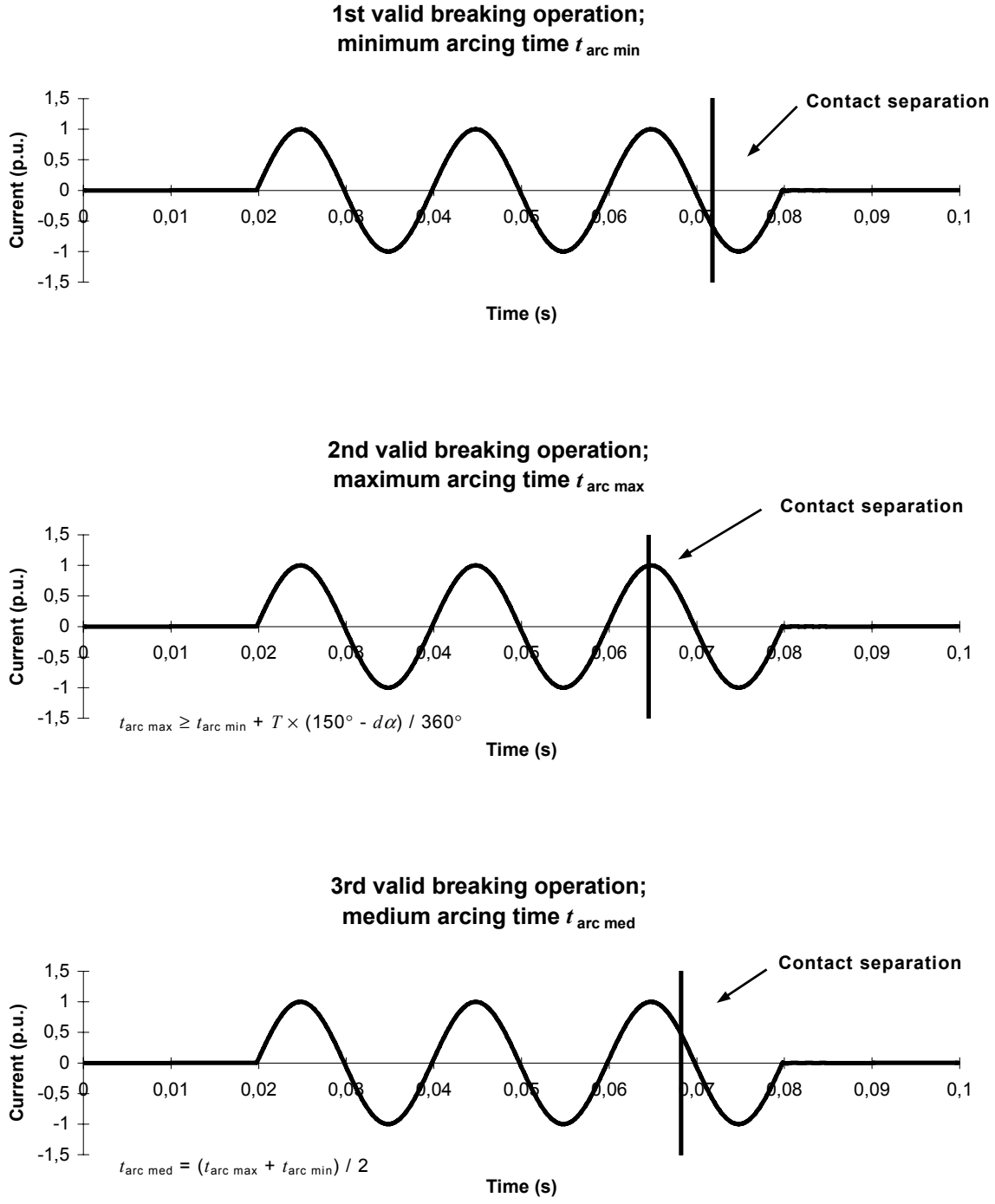
Figure 32 – Graphical representation of the three valid asymmetrical breaking operations for three-phase tests in a solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,3)



$d\alpha$ = 18°

NOTE La polarité du courant peut être inversée.

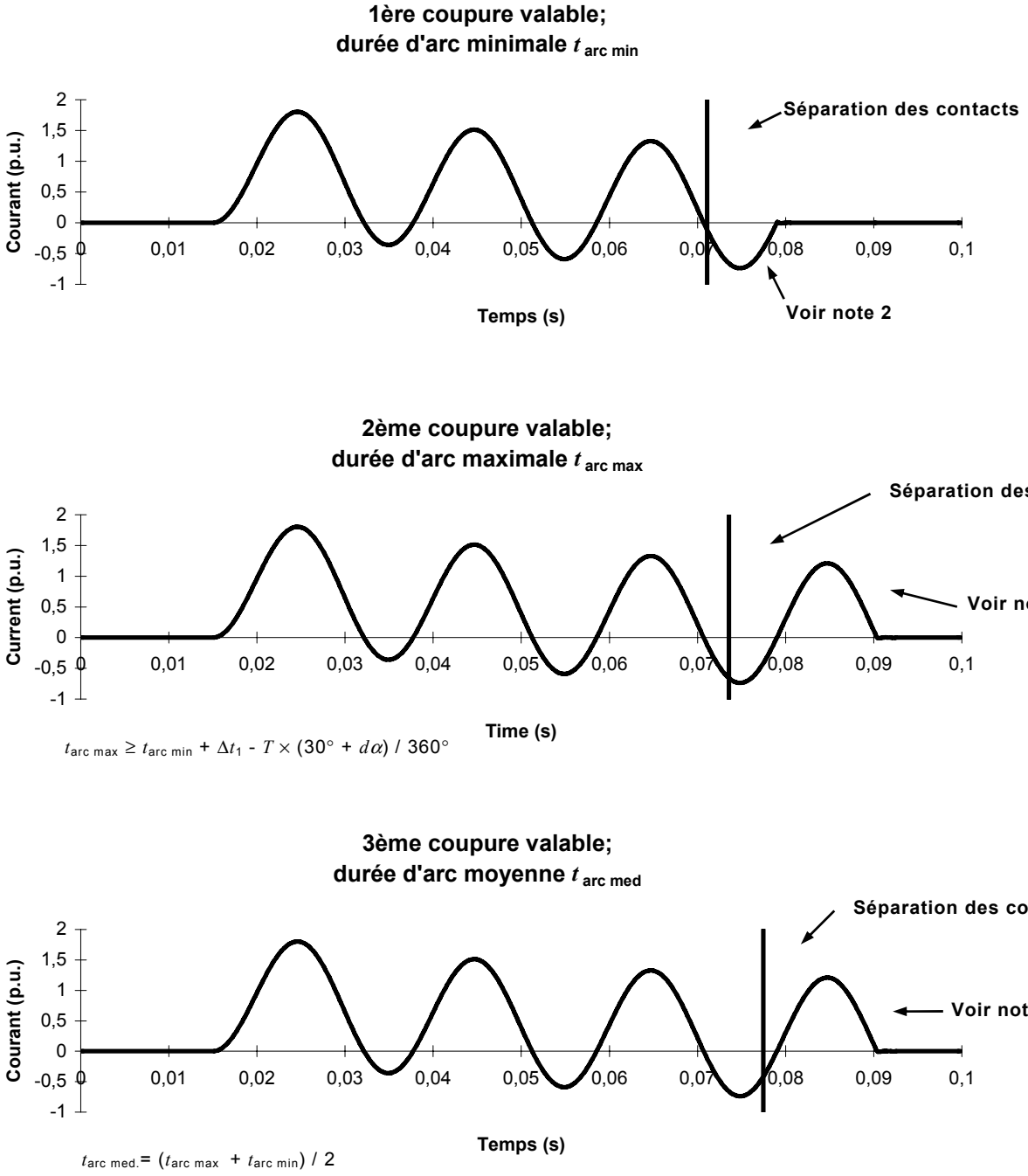
Figure 33 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants symétriques lors d'essais en monophasé effectués en remplacement des conditions triphasées dans un réseau à neutre non directement à la terre (facteur de premier pôle 1,5)



$d\alpha$ = 18°

NOTE The polarity of the current may be reversed.

Figure 33 – Graphical representation of the three valid symmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase conditions in a non-solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,5)

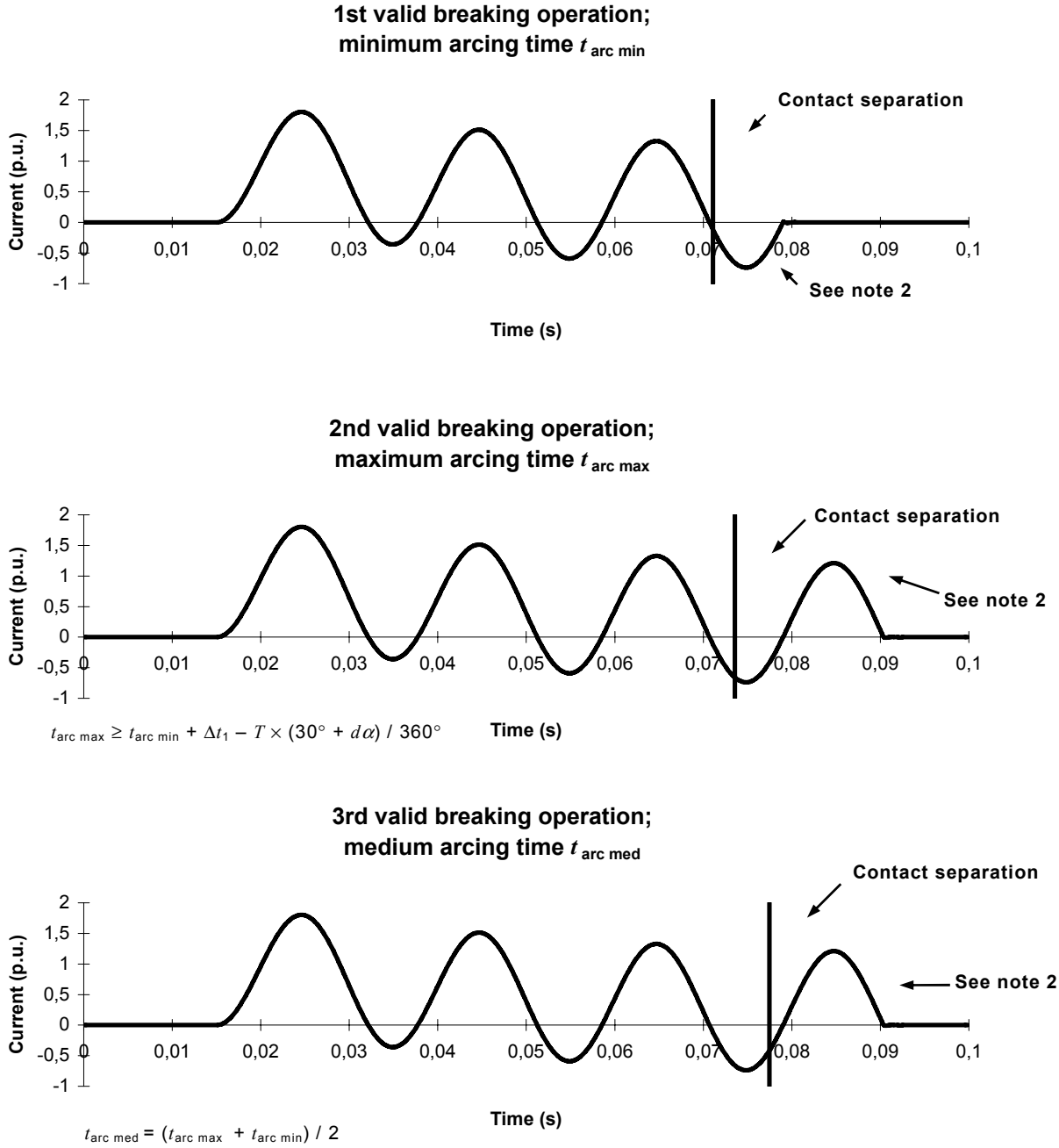


$d\alpha$ = 18°

NOTE 1 La polarité du courant peut être inversée.

NOTE 2 Il faut que l'amplitude et la durée de la dernière demi alternance de courant rencontrent les critères énoncés en 6.102.10.

Figure 34 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants asymétriques lors d'essais en monophasé effectués en remplacement des conditions triphasées dans un réseau à neutre non directement à la terre (facteur de premier pôle 1,5)

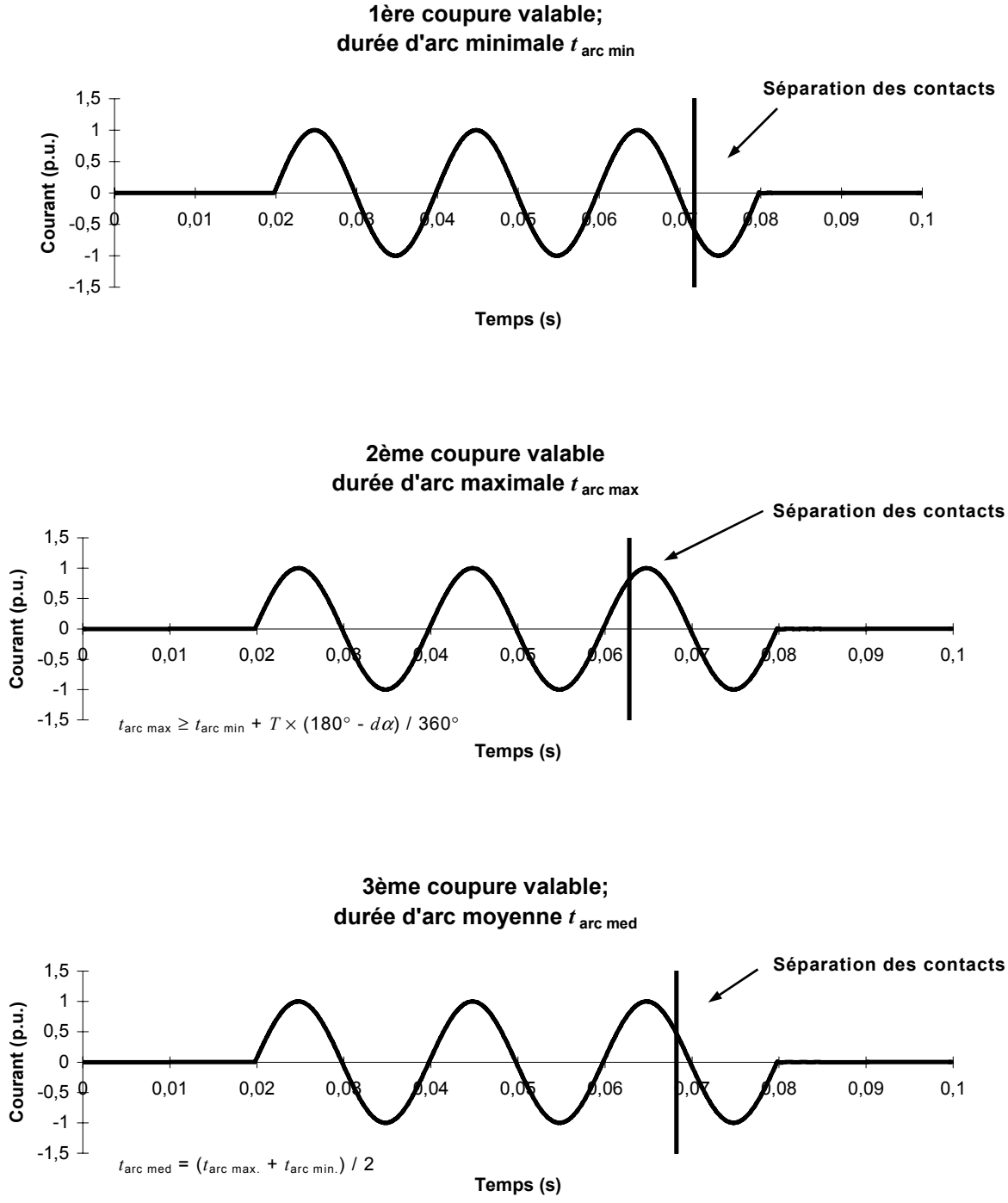


$d\alpha$ = 18°

NOTE 1 The polarity of the current may be reversed.

NOTE 2 The amplitude and the duration of the last current loop must meet the criteria stated in 6.102.10.

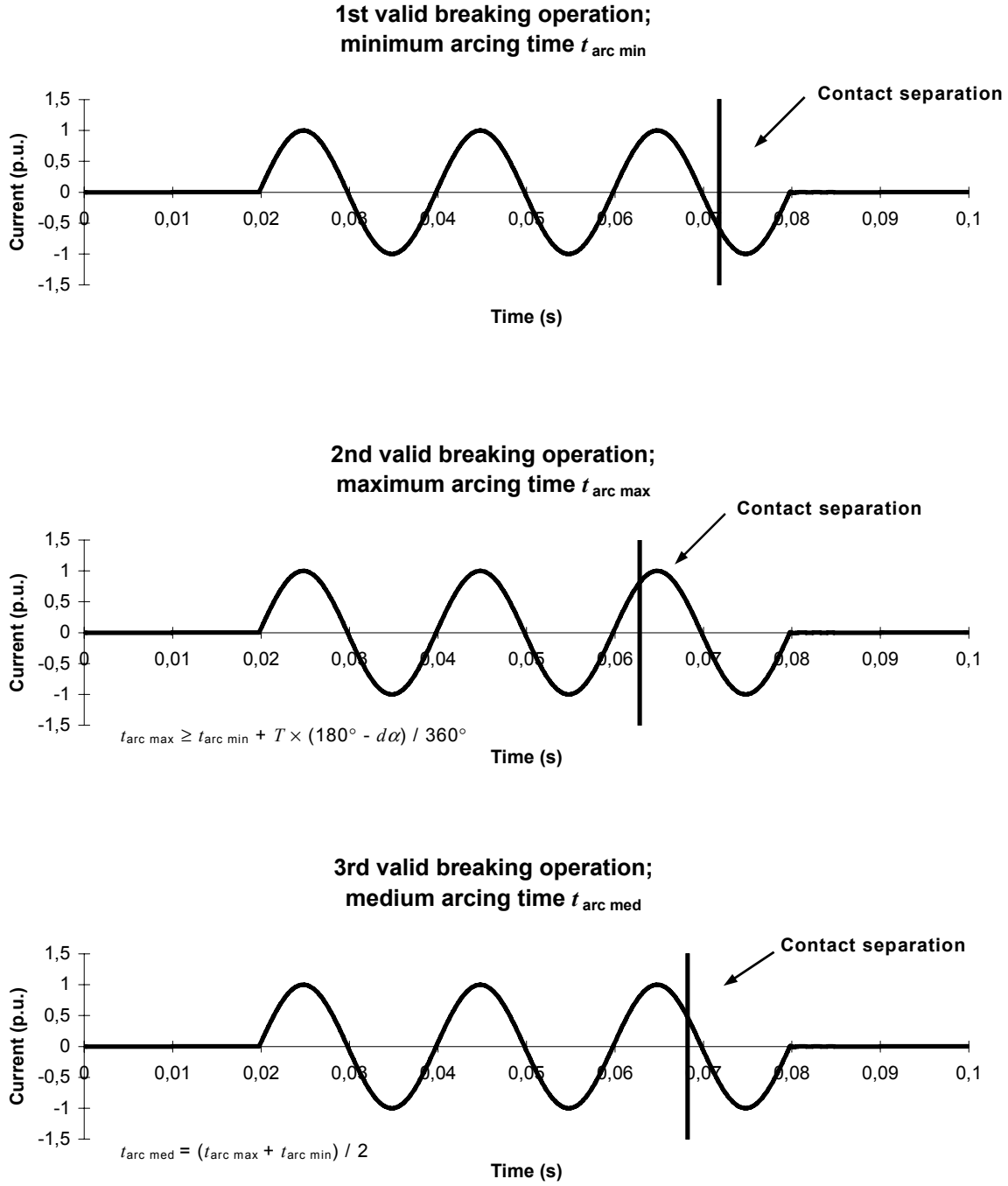
Figure 34 – Graphical representation of the three valid asymmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase conditions in a non-solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,5)



$d\alpha$ = 18°

NOTE La polarité du courant peut être inversée.

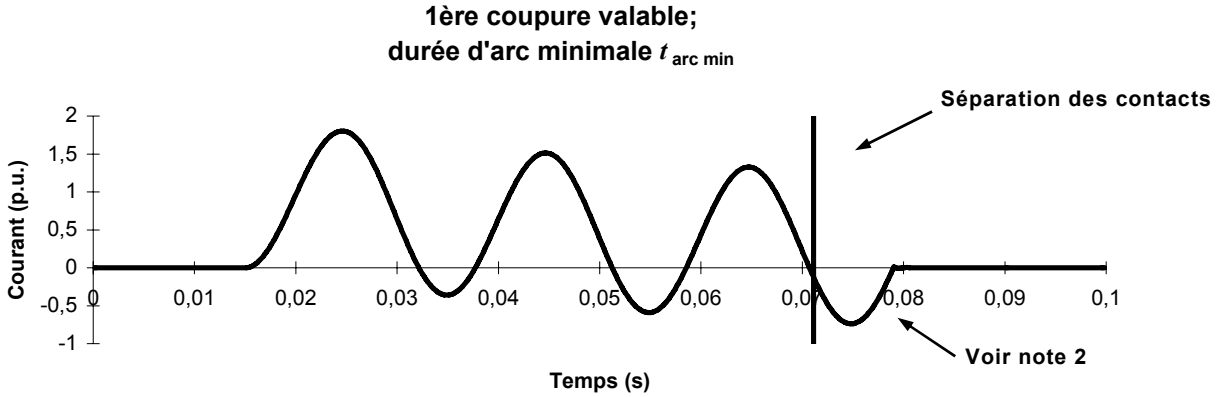
Figure 35 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants symétriques lors d'essais en monophasé effectués en remplacement des conditions triphasées dans un réseau à neutre mis directement à la terre (facteur de premier pôle 1,3)

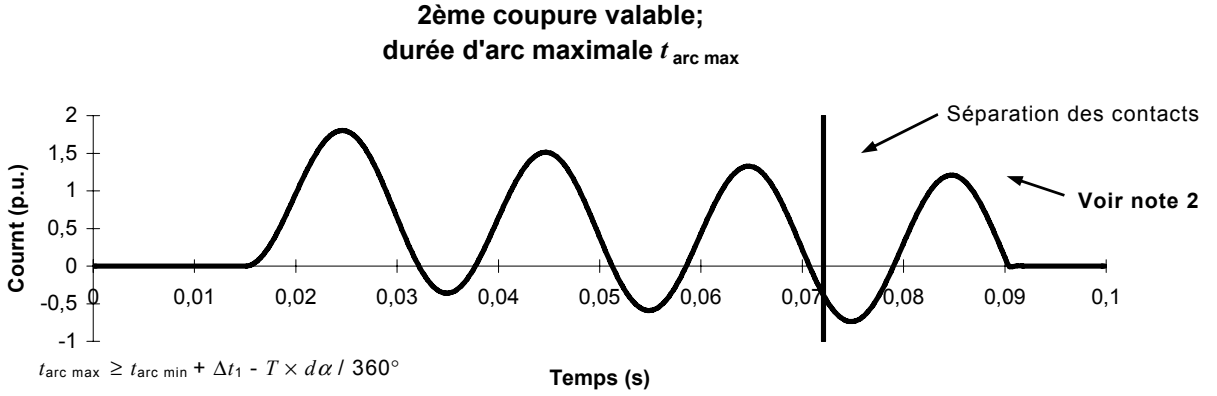


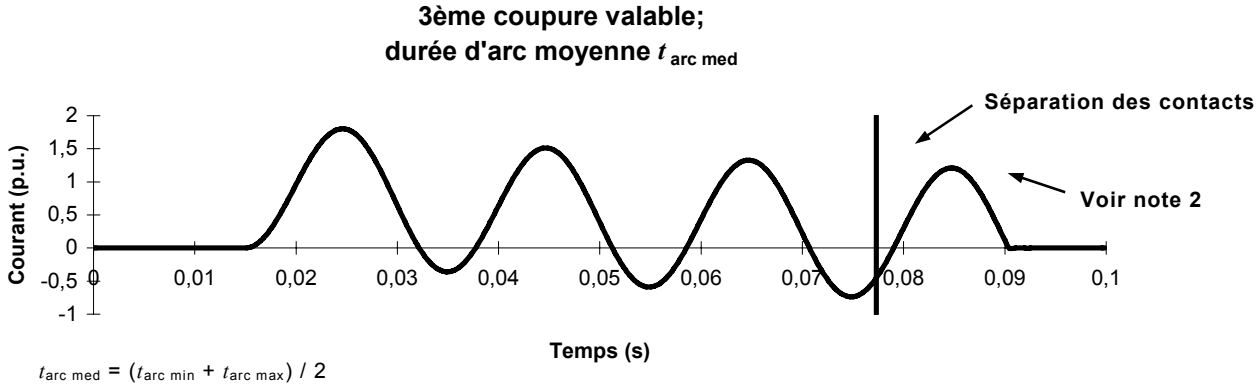
$d\alpha$ = 18°

NOTE The polarity of the current may be reversed.

Figure 35 – Graphical representation of the three valid symmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase conditions in a solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,3)





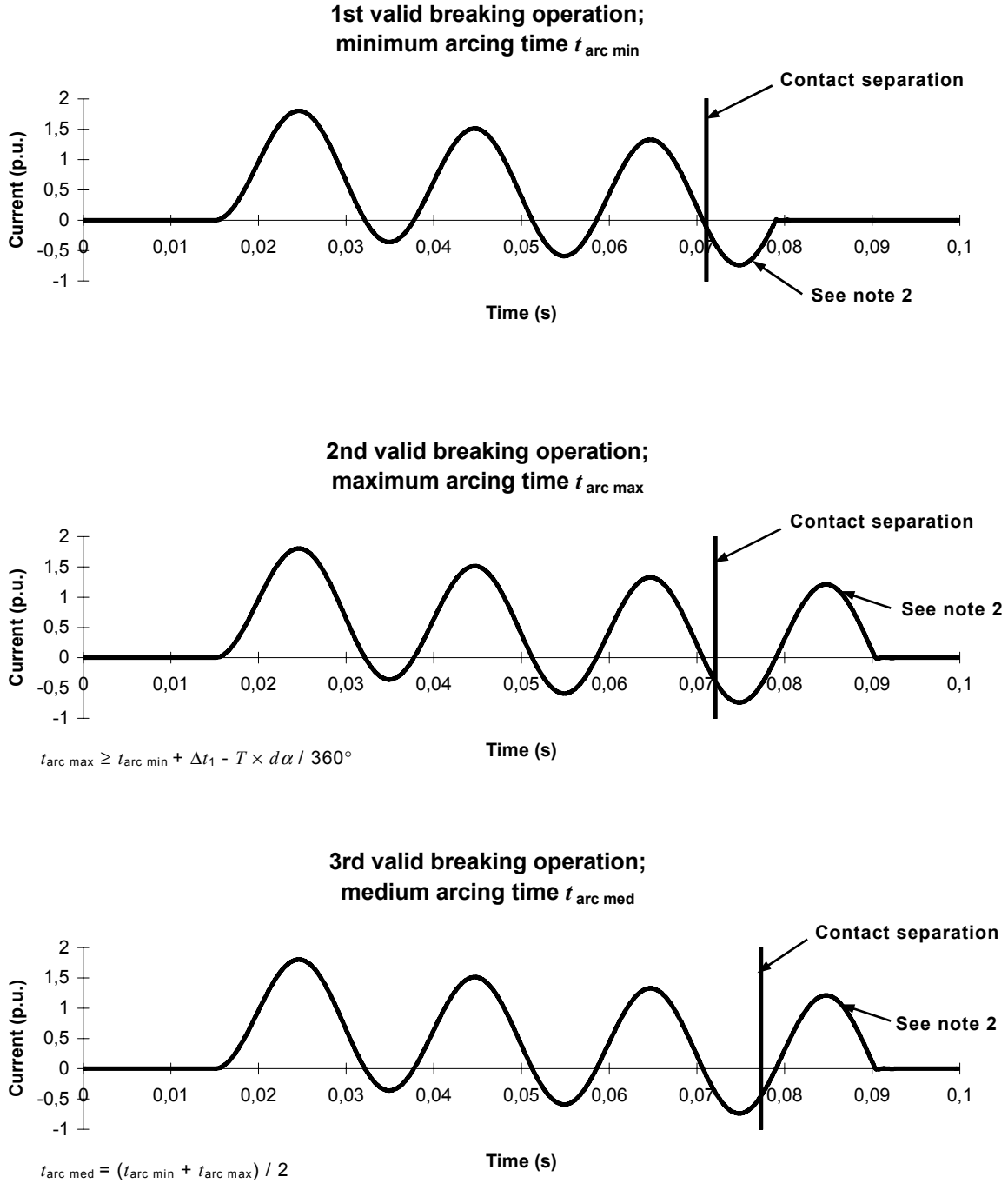


$d\alpha = 18°$

NOTE 1 La polarité du courant peut être inversée.

NOTE 2 Il faut que l'amplitude et la durée de la dernière demi alternance de courant rencontrent les critères énoncés en 6.102.10.

Figure 36 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants asymétriques lors d'essais en monophasé effectués en remplacement des conditions triphasées dans un réseau à neutre mis directement à la terre (facteur de premier pôle 1,3)



$d\alpha = 18°$

NOTE 1 The polarity of the current may be reversed.

NOTE 2 The amplitude and the duration of the last current loop must meet the criteria stated in 6.102.10.

Figure 36 – Graphical representation of the three valid asymmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase conditions in a solidly earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,3)

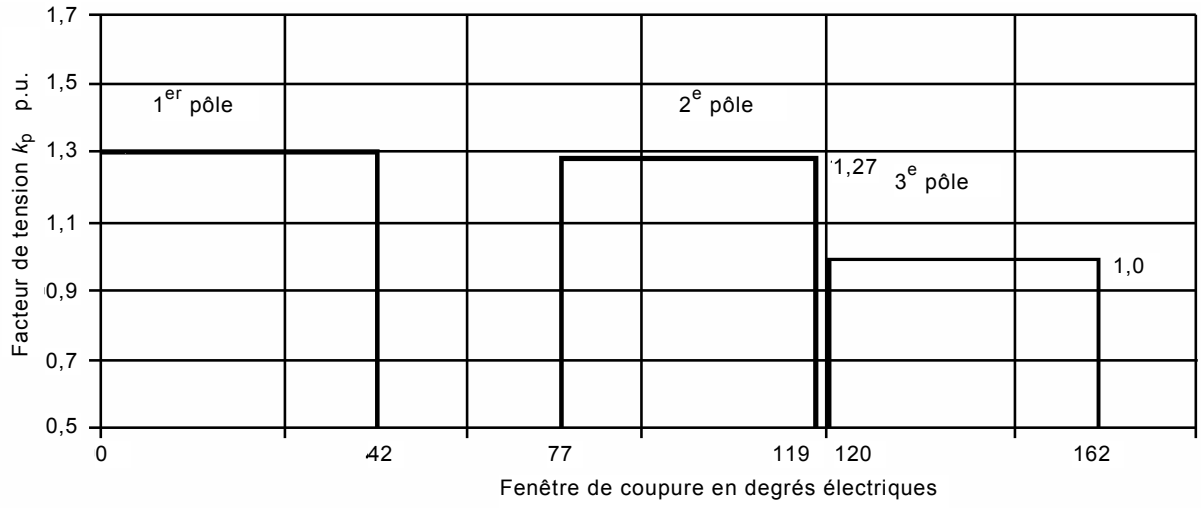


Figure 37 – Représentation graphique de la fenêtre de coupure et du facteur de tension k_p qui détermine la TTR de chaque pôle, pour des réseaux avec un facteur de premier pôle égal à 1,3

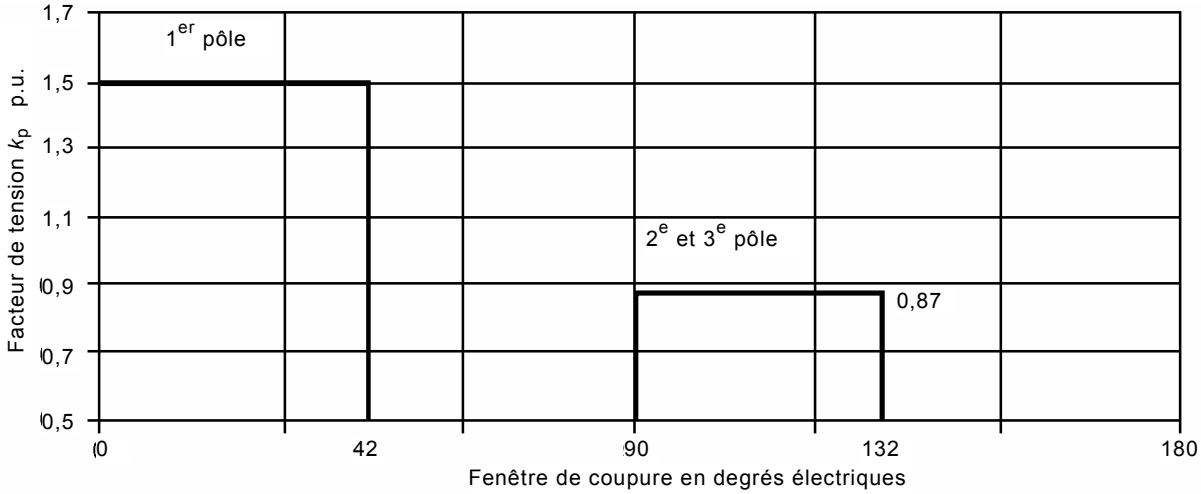


Figure 38 – Représentation graphique de la fenêtre de coupure et du facteur de tension k_p qui détermine la TTR de chaque pôle, pour des réseaux avec un facteur premier pôle égal à 1,5

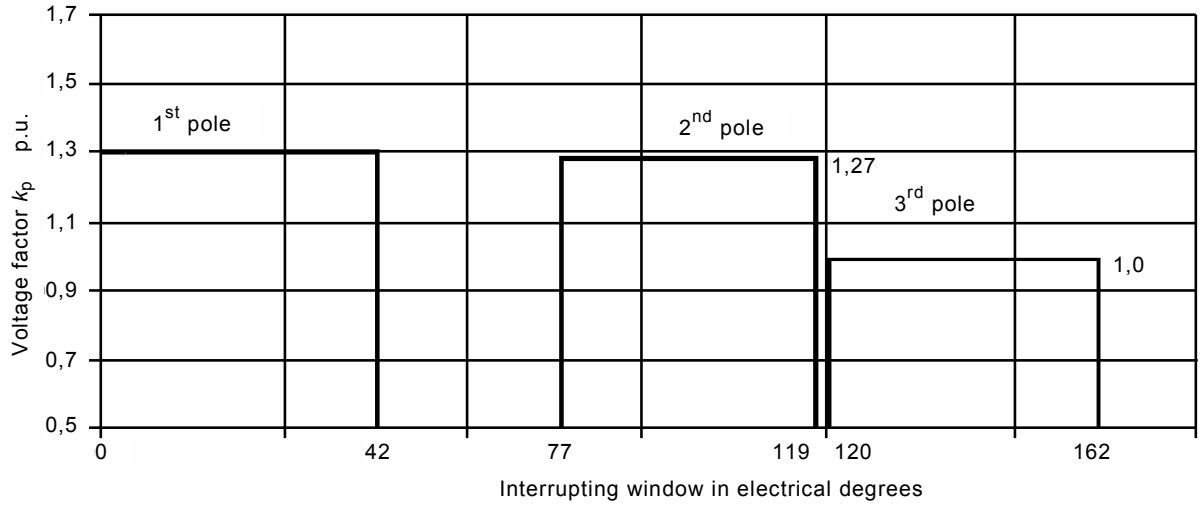


Figure 37 – Graphical representation of the interrupting window and the voltage factor k_p, determining the TRV of the individual pole, for systems with a first-pole-to-clear factor of 1,3

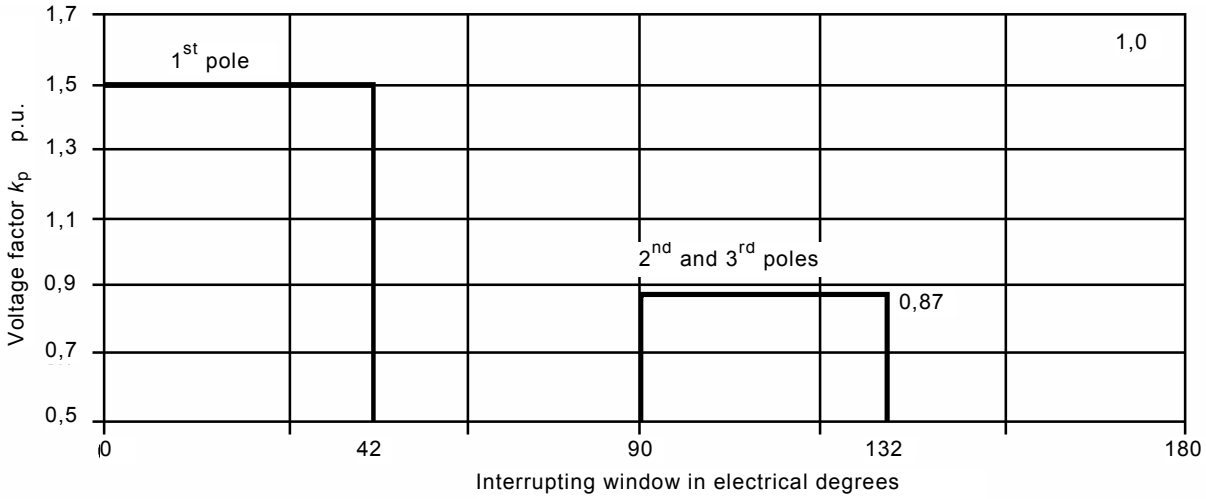


Figure 38 – Graphical representation of the interrupting window and the voltage factor k_p, determining the TRV of the individual pole, for systems with a first-pole-to-clear factor of 1,5

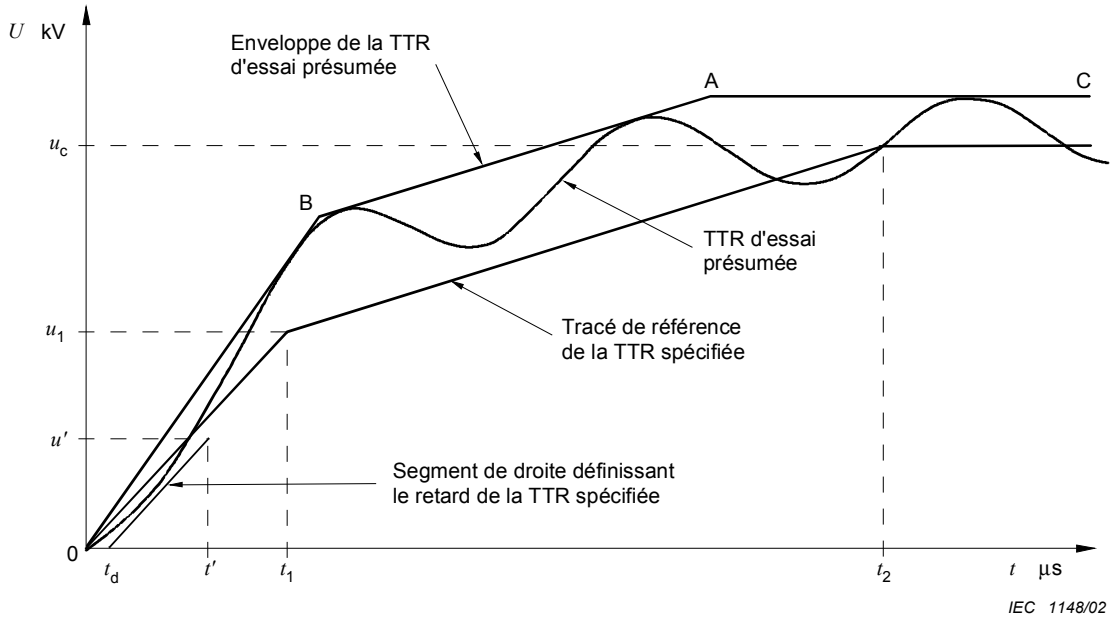


Figure 39 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à quatre paramètres et répondant aux conditions imposées pour l'essai de type – Cas de la TTR spécifiée comportant un tracé de référence à quatre paramètres

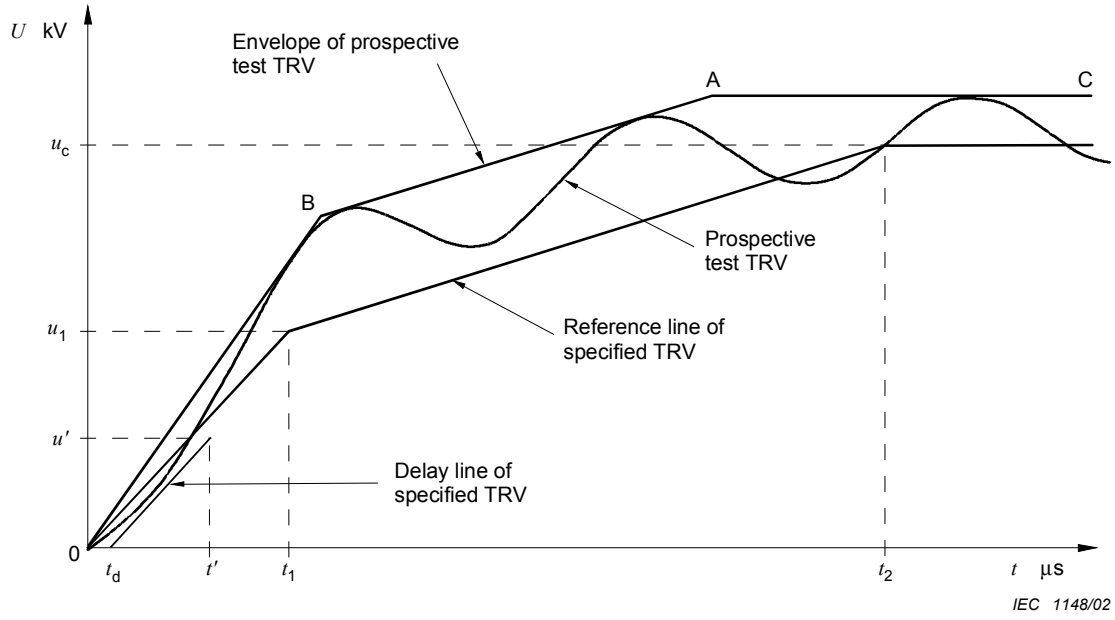


Figure 39 – Example of prospective test TRV with four-parameter envelope which satisfies the conditions to be met during type test – Case of specified TRV with four-parameter reference line

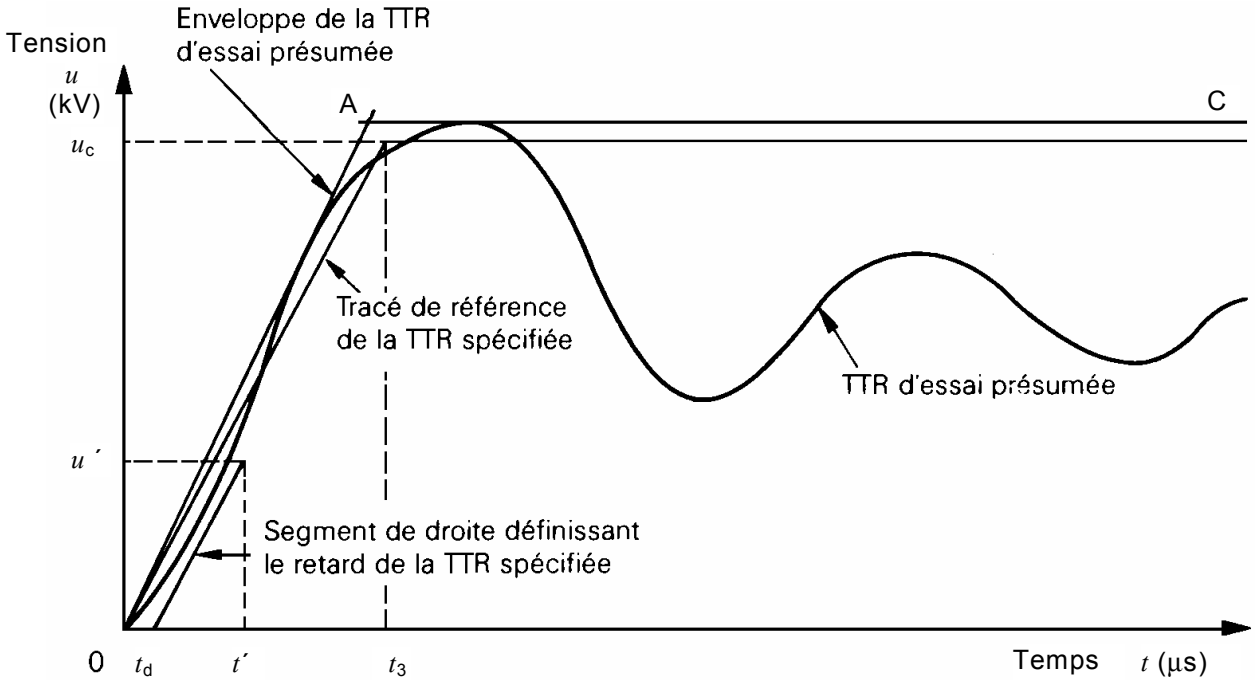


Figure 40 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à deux paramètres et répondant aux conditions imposées pour l'essai de type: cas de la TTR spécifiée comportant un tracé de référence à deux paramètres

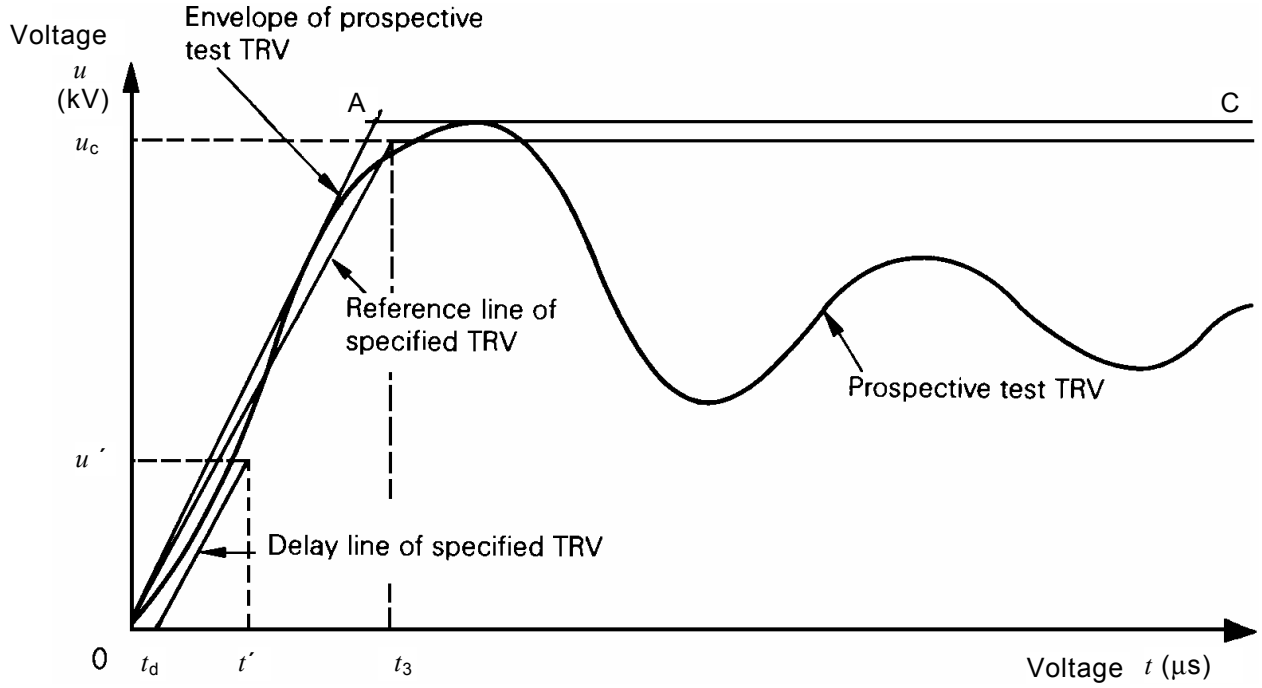


Figure 40 – Example of prospective test TRV with two-parameter envelope which satisfies the conditions to be met during type test: case of specified TRV with two-parameter reference line

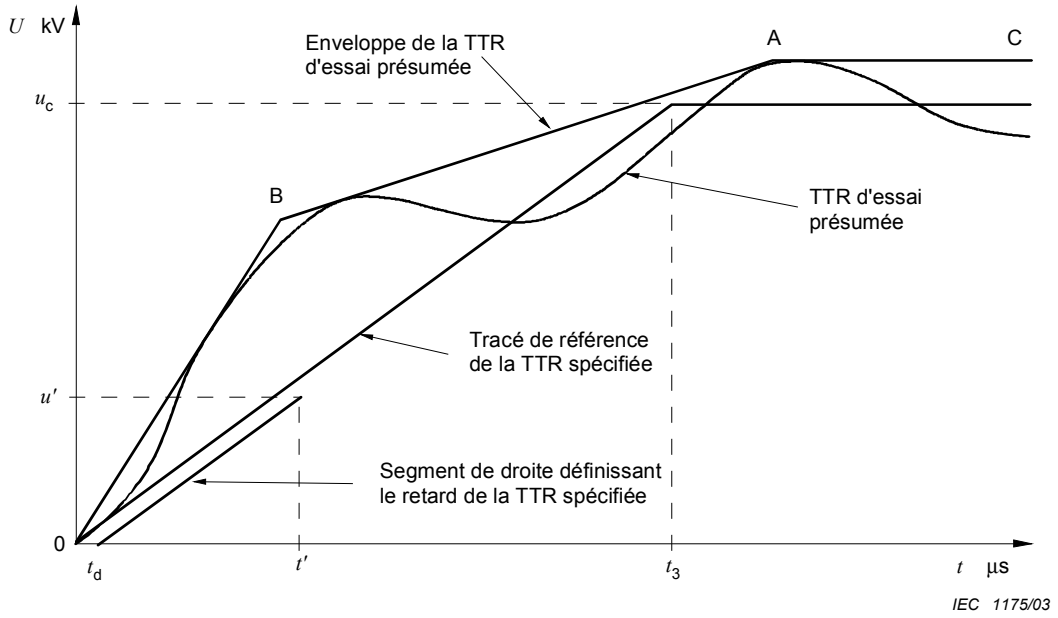


Figure 41 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à quatre paramètres répondant aux conditions imposées pour l'essai de type – Cas de la TTR spécifiée comportant un tracé de référence à deux paramètres

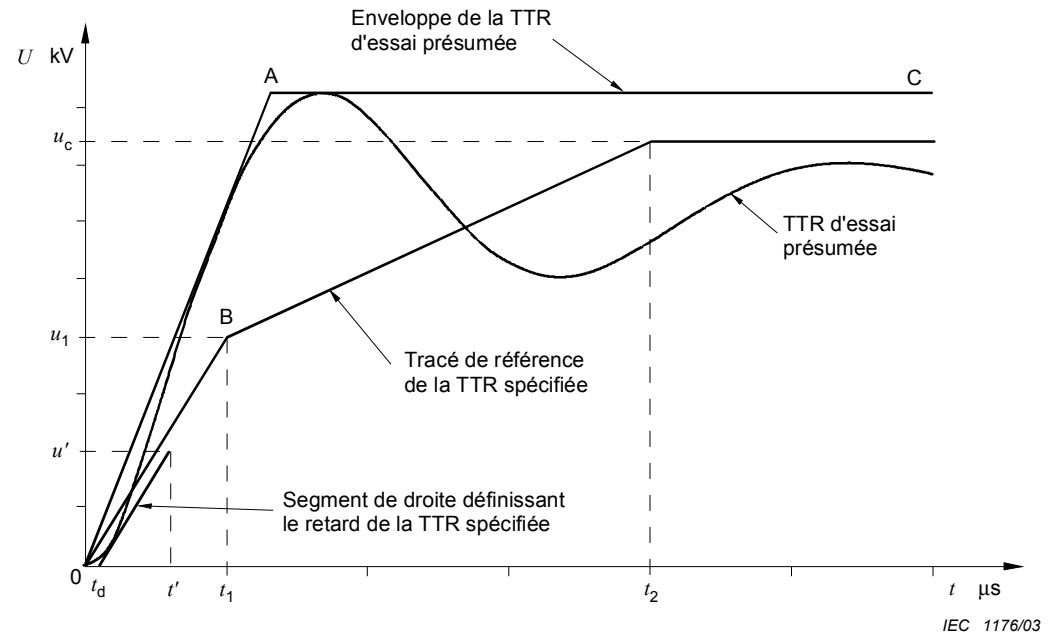


Figure 42 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à deux paramètres répondant aux conditions imposées pour l'essai de type – Cas de la TTR spécifiée comportant un tracé de référence à quatre paramètres

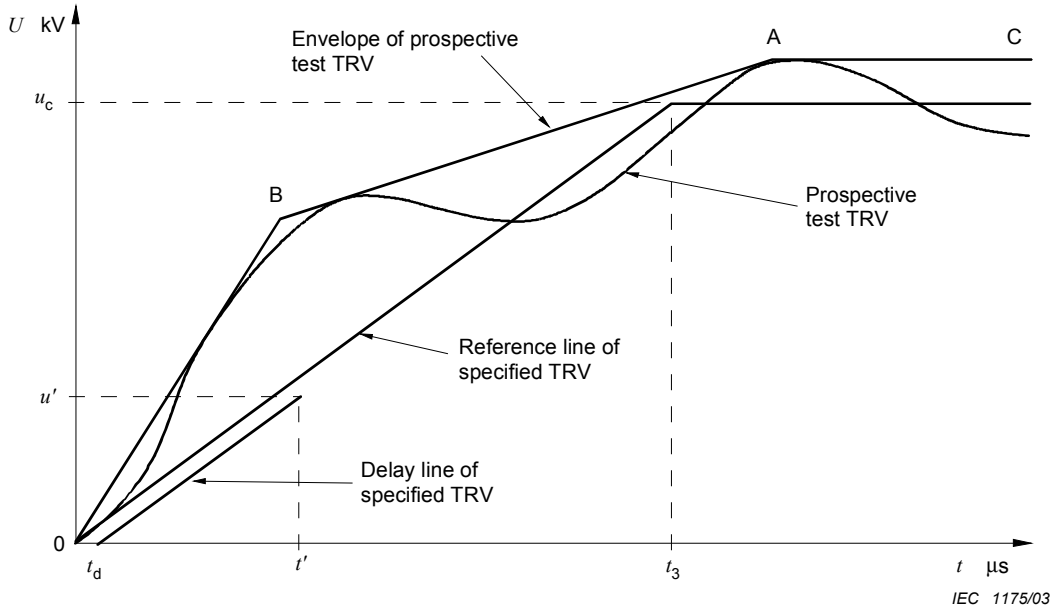


Figure 41 – Example of prospective test TRV with four-parameter envelope which satisfies the conditions to be met during type-test – Case of specified TRV with two-parameter reference line

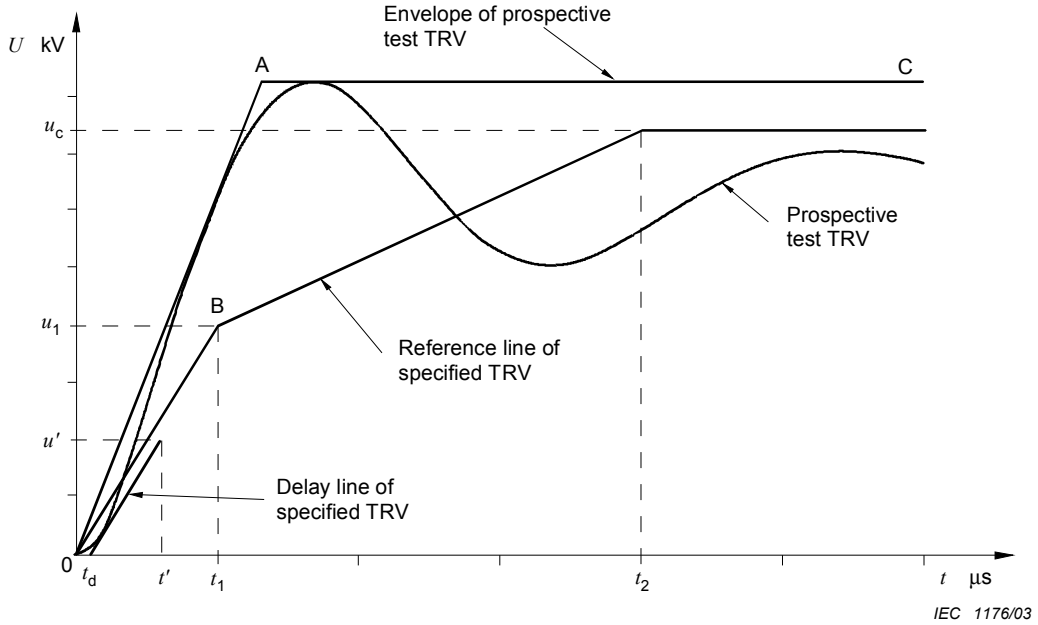


Figure 42 – Example of prospective test TRV with two-parameter envelope which satisfies the conditions to be met during type-test – Case of specified TRV with four-parameter reference line

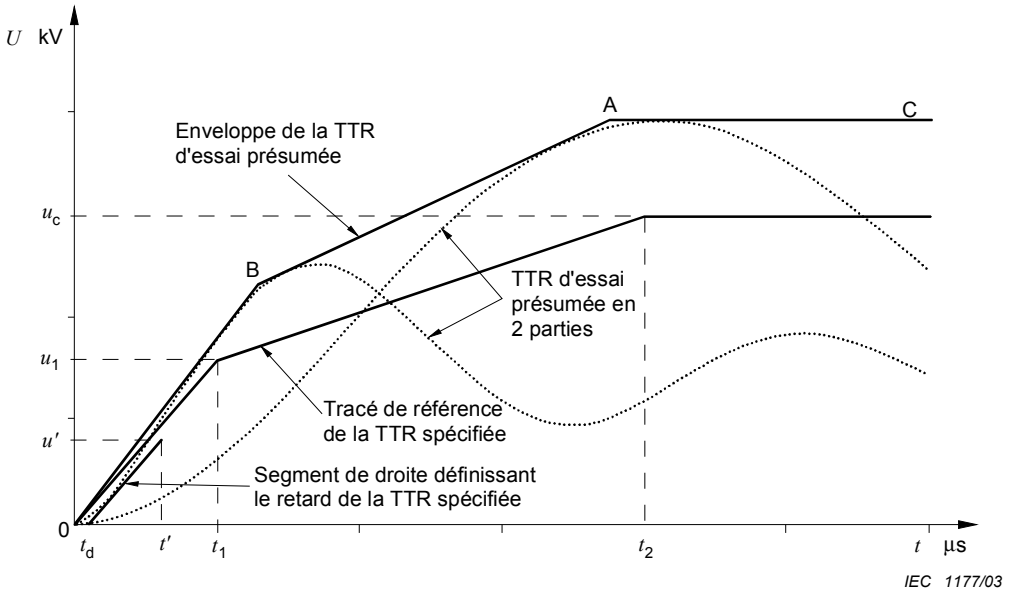


Figure 43 – Exemple d'ondes de TTR d'essai présumée et de l'enveloppe de l'ensemble pour des essais en deux parties

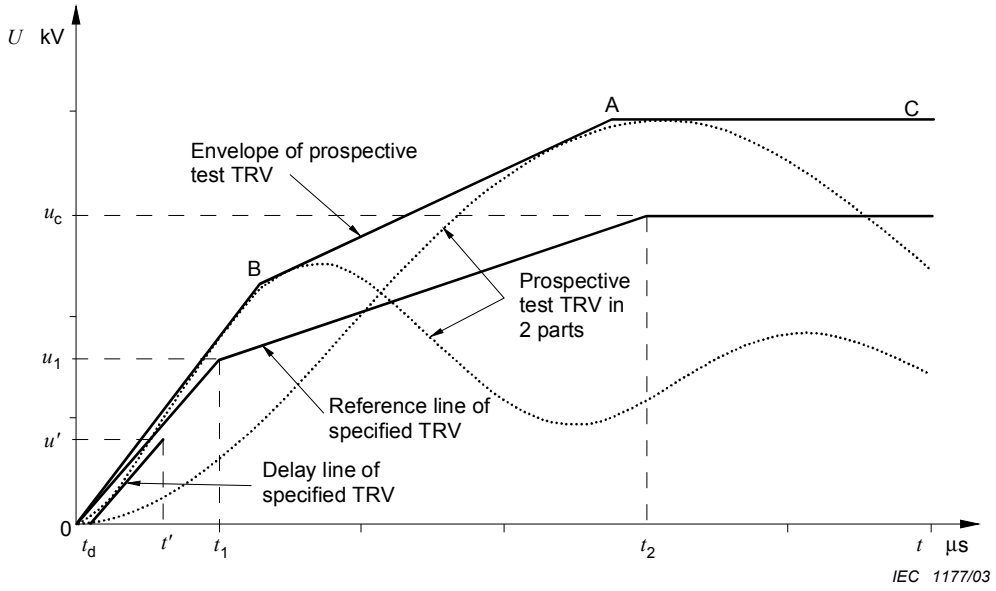
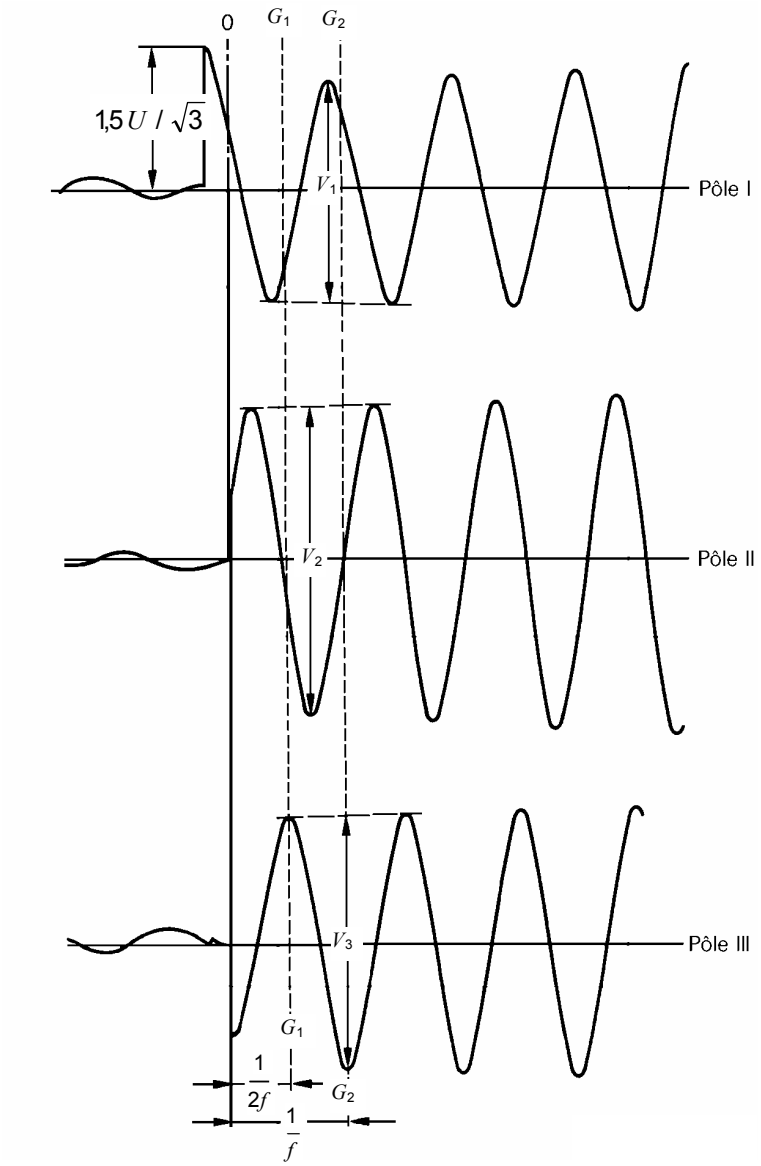


Figure 43 – Example of prospective test TRV-waves and their combined envelope in two-part test



Pole I = premier pôle qui coupe

OO = instant de l'extinction finale de l'arc sur toutes les phases

G_1G_1 = instant $\frac{1}{2f}$ depuis OO

G_2G_2 = instant $\frac{1}{f}$ depuis OO

f = fréquence de l'essai

$\frac{V_1}{2\sqrt{2}}$ = valeur de la tension de rétablissement à fréquence industrielle du pôle I

$\frac{V_2}{2\sqrt{2}}$ = valeur de la tension de rétablissement à fréquence industrielle du pôle II

$\frac{V_3}{2\sqrt{2}}$ = valeur de la tension de rétablissement à fréquence industrielle du pôle III

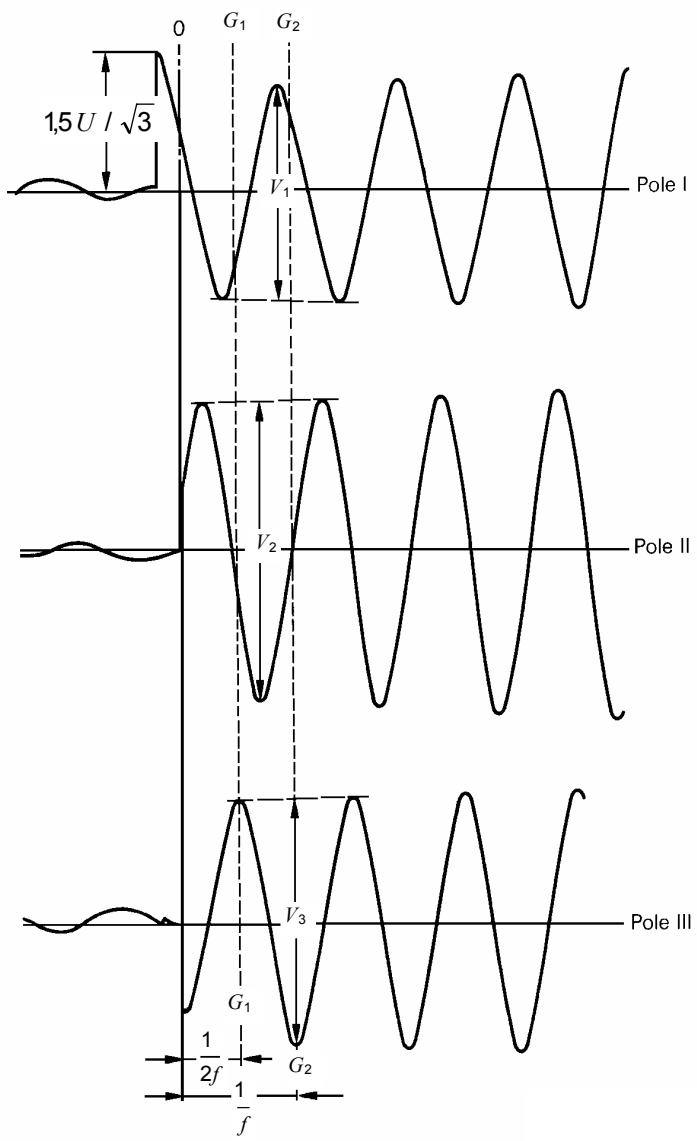
Sur le pôle III, une crête de tension se produit exactement à l'instant G_1G_1. Dans un tel cas, on effectue la mesure à l'instant G_2G_2 qui suit.

Valeur moyenne des tensions de rétablissement à fréquence industrielle des pôles I, II et III

$$= \frac{\frac{V_1}{2\sqrt{2}} + \frac{V_2}{2\sqrt{2}} + \frac{V_3}{2\sqrt{2}}}{3}$$

L'exemple montre les trois tensions obtenues pendant un essai sur un disjoncteur tripolaire dans un circuit d'essai triphasé ayant un de ses points neutres isolé (voir figure 25a ou 25b, et par conséquent produisant sur le premier pôle qui coupe un accroissement momentané de 50 % de la tension de rétablissement, comme cela est indiqué sur le pôle I.

Figure 44 – Détermination de la tension de rétablissement à fréquence industrielle



Pole I = first pole to clear

OO = instant of final arc-extinction on all phases

G_1G_1 = instant $\frac{1}{2f}$ from OO

G_2G_2 = instant $\frac{1}{f}$ from OO

f = test frequency

$\frac{V_1}{2\sqrt{2}}$ = value of power frequency recovery voltage of Pole I

$\frac{V_2}{2\sqrt{2}}$ = value of power frequency recovery voltage of Pole II

$\frac{V_3}{2\sqrt{2}}$ = value of power frequency recovery voltage of Pole III

In Pole III a voltage peak occurs exactly at instant G_1G_1. In such event measurement is made at later instant G_2G_2.

Average value of the power frequency recovery voltages of poles I, II and III

$$= \frac{\frac{V_1}{2\sqrt{2}} + \frac{V_2}{2\sqrt{2}} + \frac{V_3}{2\sqrt{2}}}{3}$$

The example illustrates three voltages obtained during a test upon a three-pole circuit breaker in a three-phase test circuit having one of it's neutral points insulated, see figure 25a or 25b, thus producing momentarily in the first-pole-to-clear a 50 % increase in the recovery voltage, as shown in pole I.

Figure 44 – Determination of power frequency recovery voltage

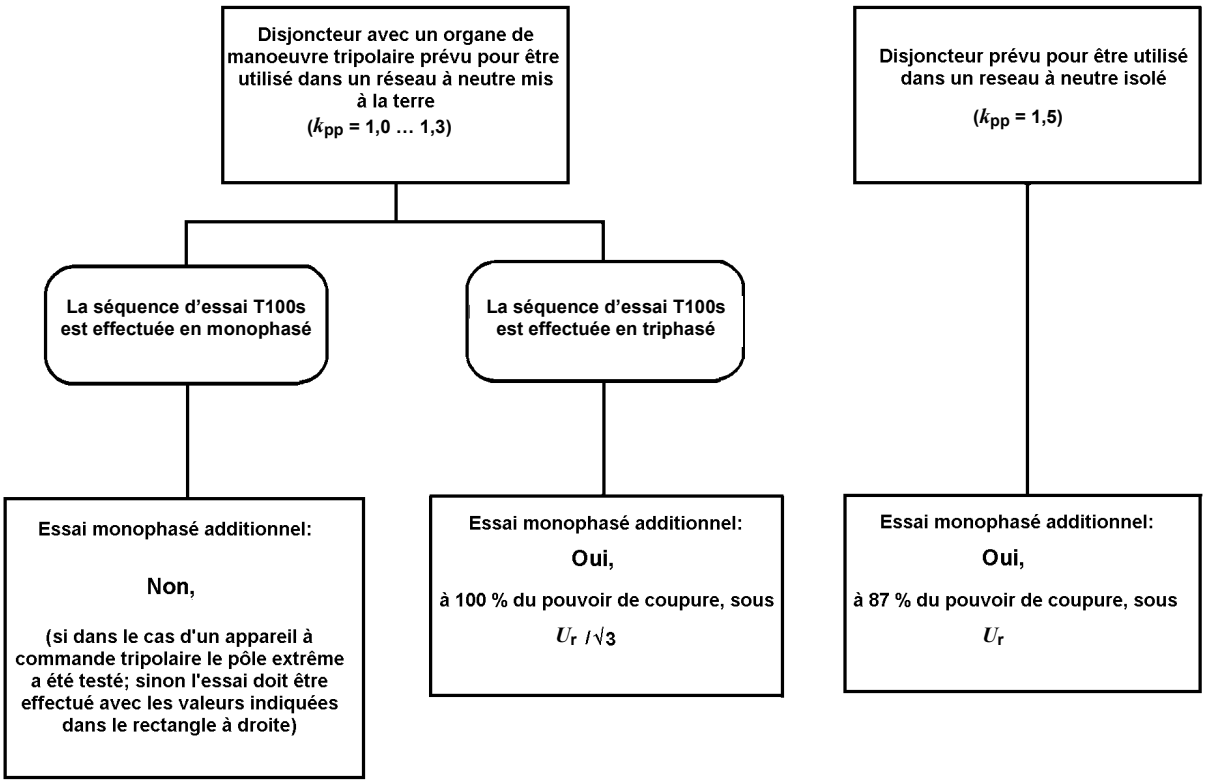


Figure 45 – Nécessité d'essais additionnels monophasés et exigences d'essais

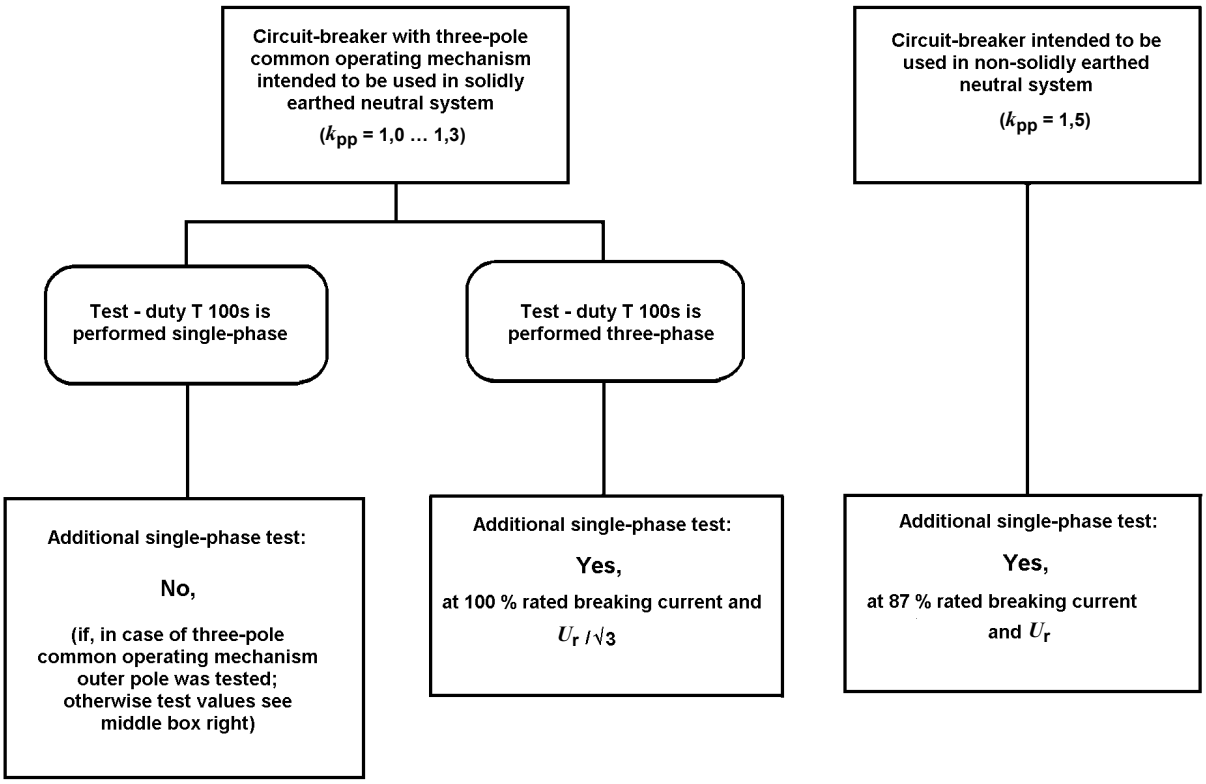
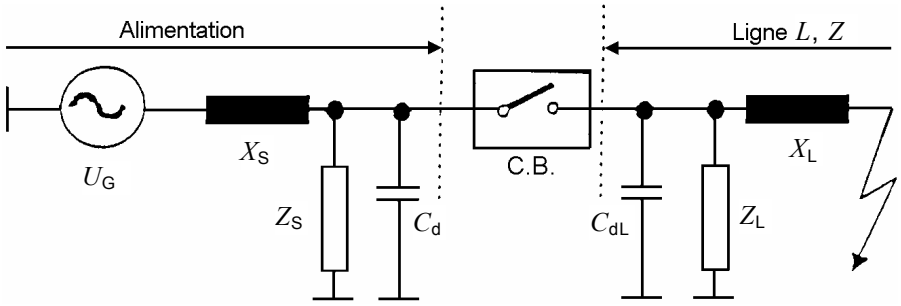
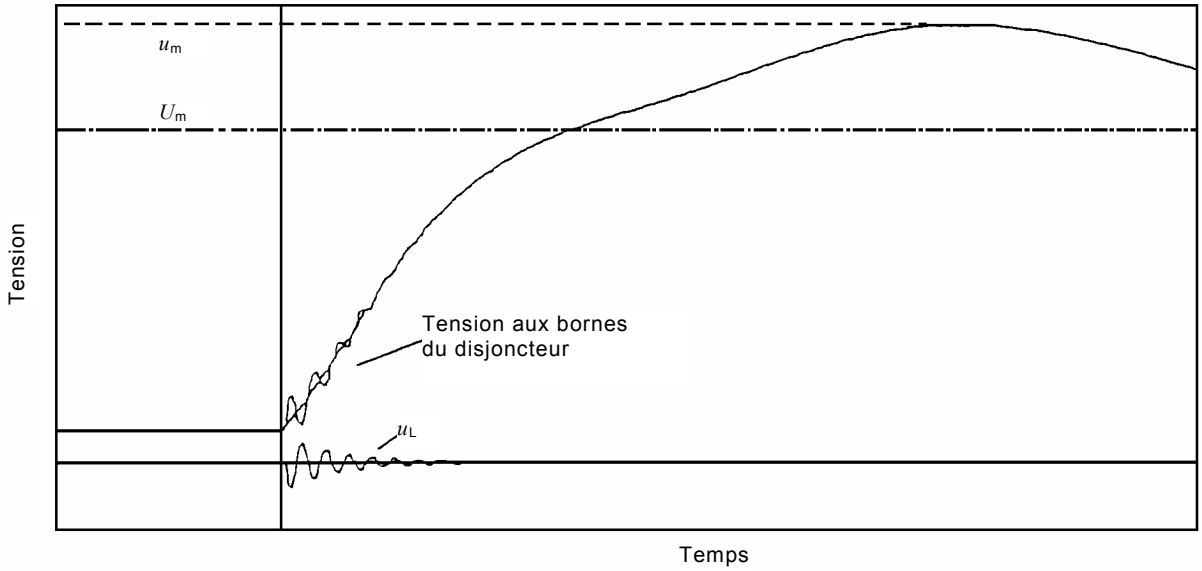


Figure 45 – Necessity of additional single-phase tests and requirements for testing



U_G Tension d'alimentation, valeur phase terre
X_S Réactance à fréquence industrielle côté alimentation
Z_S Éléments de réglage de la TTR côté alimentation
C_d Capacité de retard côté alimentation
C.B. Disjoncteur
X_L Réactance à fréquence industrielle, côté ligne
Z_L Éléments de réglage de la TTR côté ligne
C_{dL} Capacité de retard, côté ligne
Z Impédance d'onde de la ligne
L Longueur de ligne en défaut



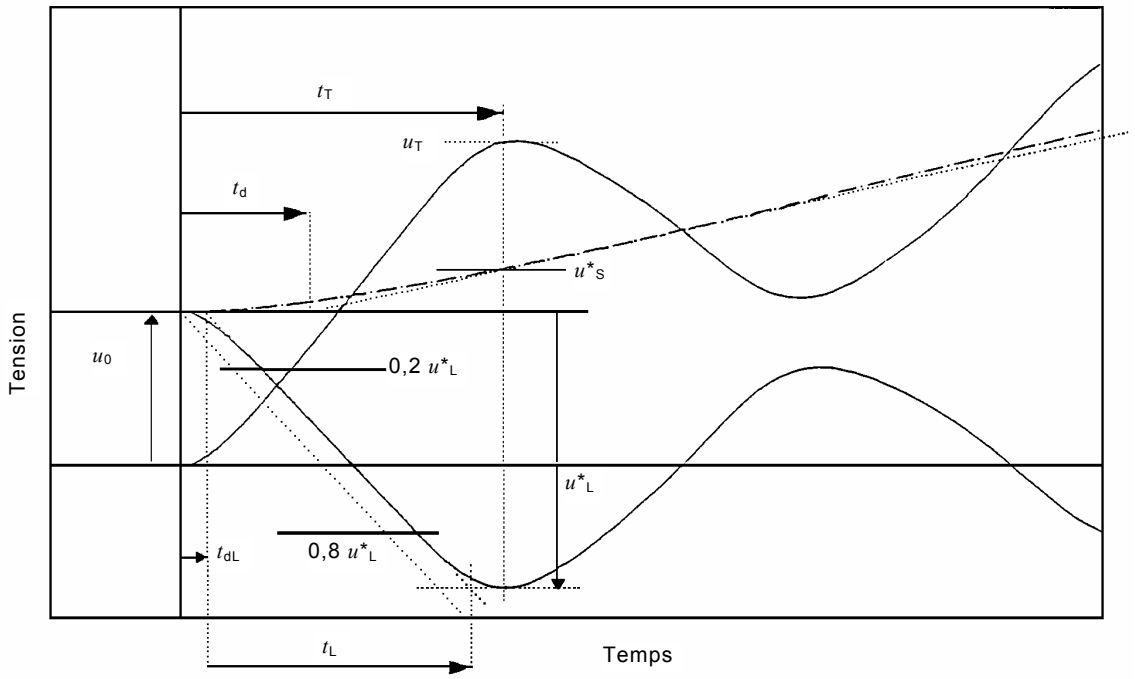
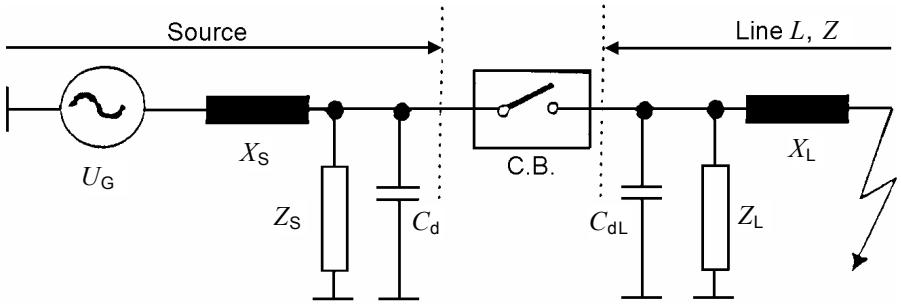


Figure 46 – Circuit de base pour les essais de défaut proche en ligne – TTR présumée du circuit type a) selon 6.109.3: côté alimentation et côté ligne avec temps de retard



U_G	Supply voltage, phase to earth value	X_L	Power frequency line side reactance
X_S	Power frequency source side reactance	Z_L	Line side TRV controlling components
Z_S	Source side TRV controlling components	C_{dL}	Time delaying line side capacitance
C_d	Time delaying source side capacitance	Z	Surge impedance of line
C.B.	Circuit-Breaker	L	Length of line to fault

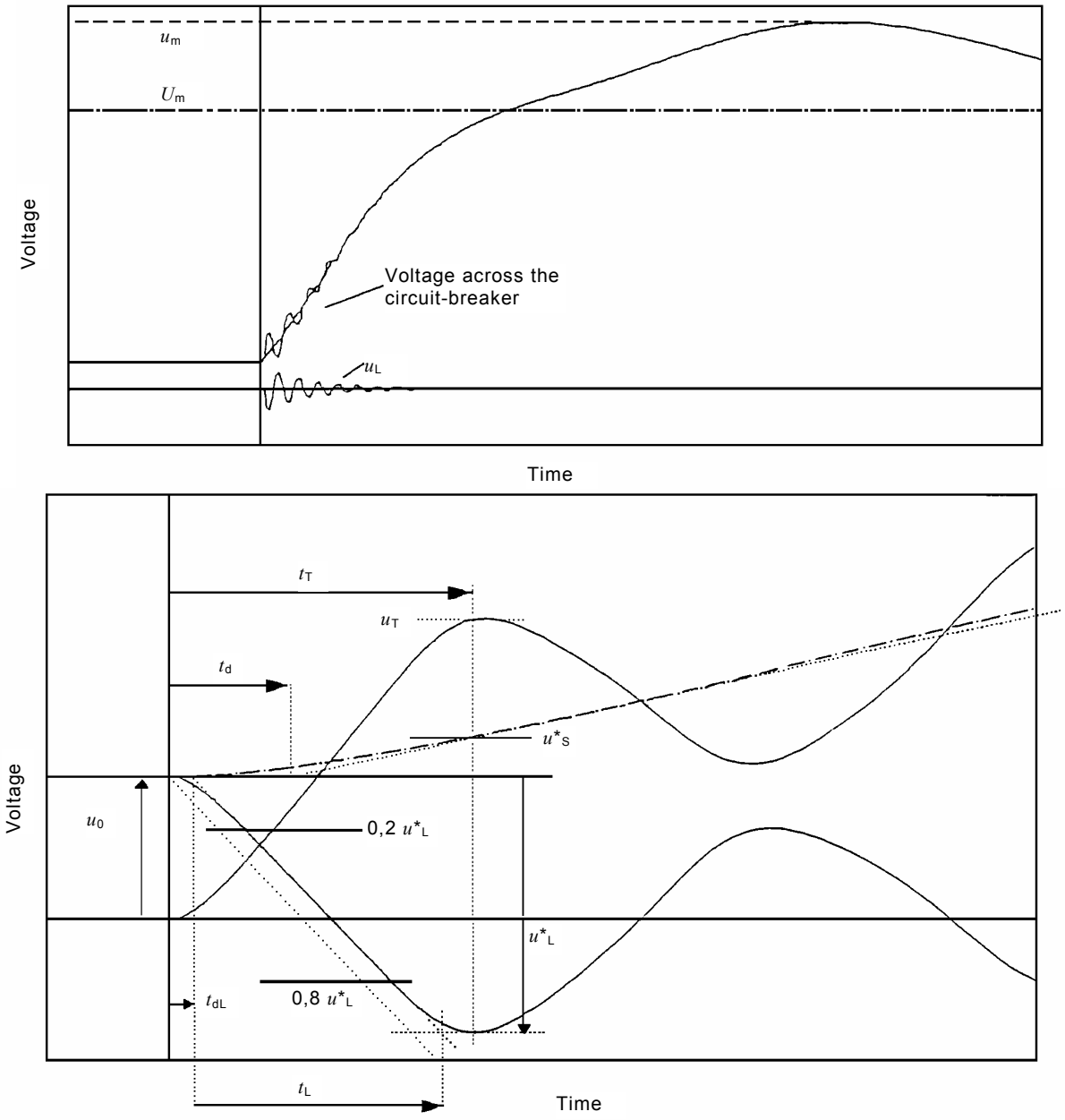
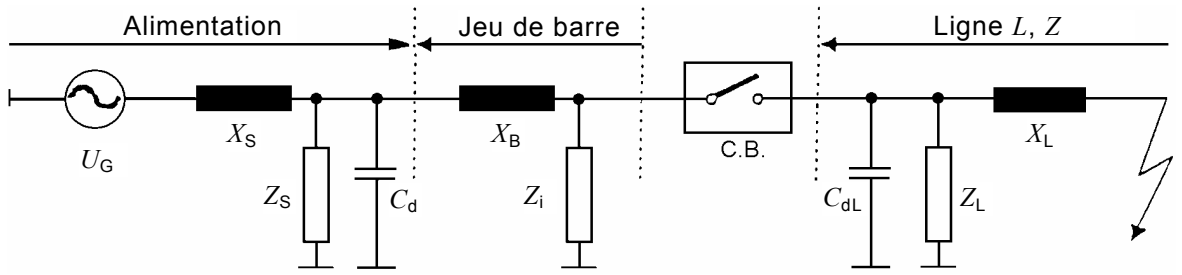


Figure 46 – Basic circuit arrangement for short-line fault testing and prospective TRV-circuit-type a) according to 6.109.3: Source side and line side with time delay



U_G Tension d'alimentation, valeur phase terre
X_S Réactance à fréquence industrielle côté alimentation
Z_S Éléments de réglage de la TTR côté alimentation
C_d Capacité de retard côté alimentation
C.B. Disjoncteur
X_B Réactance à fréquence industrielle du jeu de barre
Z_i Élements de réglage de la TTR
X_L Réactance à fréquence industrielle, côté ligne
Z_L Éléments de réglage de la TTR côté ligne
C_{dL} Capacité de retard côté ligne
Z Impédance d'onde de la ligne
L Longueur de ligne en défaut

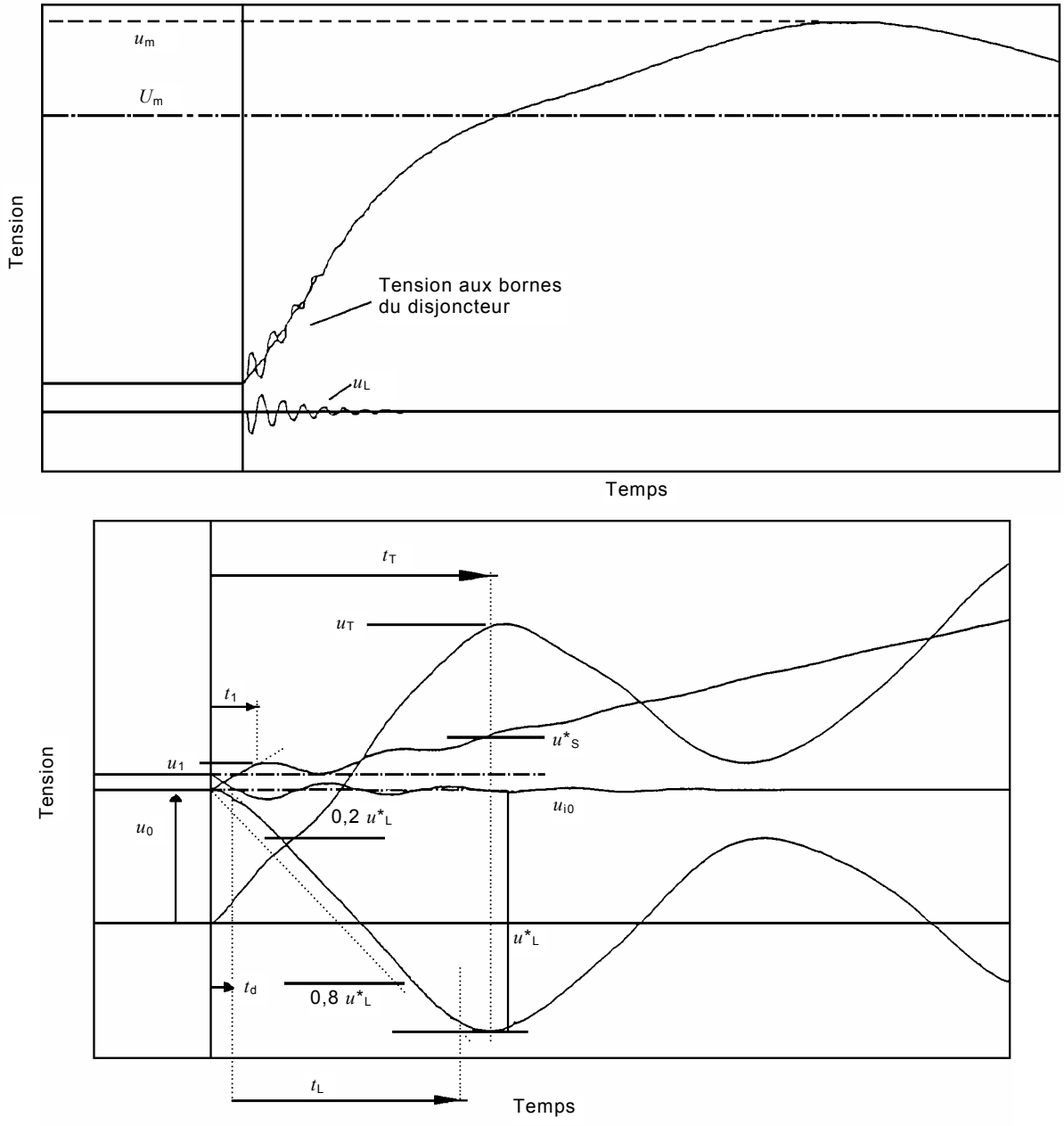
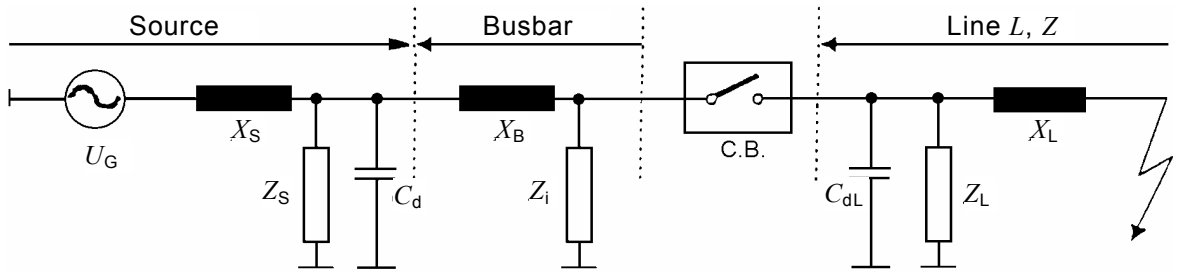
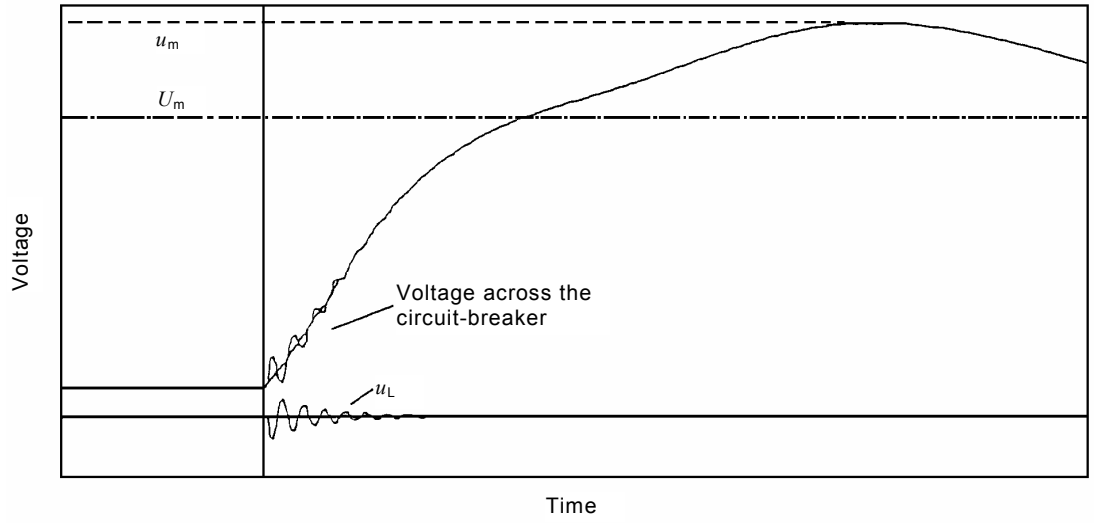


Figure 47 – Circuit de base pour les essais de défaut proche en ligne – circuit type b1) selon 6.109.3: côté alimentation avec TTRI et côté ligne avec temps de retard



U_G	Supply voltage, phase to earth value	Z_i	ITRV controlling components
X_S	Power frequency source side reactance	X_L	Power frequency line side reactance
Z_S	Source side TRV controlling components	Z_L	Line side TRV controlling components
C_d	Time delaying source side capacitance	C_{dL}	Time delaying line side capacitance
C.B.	Circuit-Breaker	Z	Surge impedance of line
X_B	Power frequency busbar reactance	L	Length of line to fault



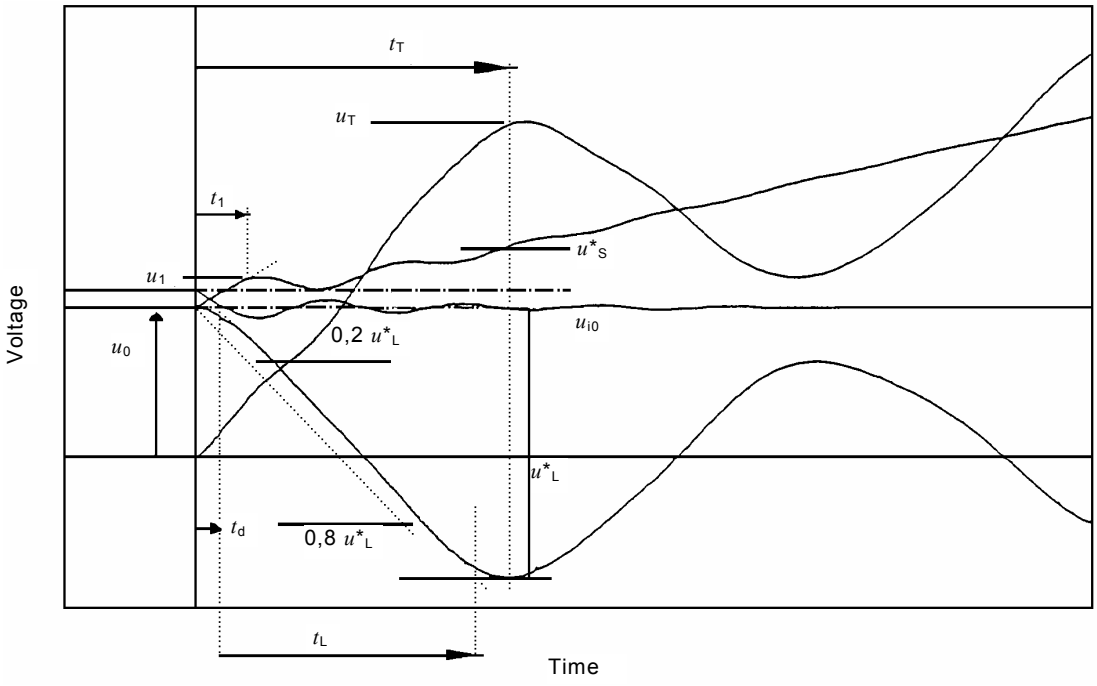
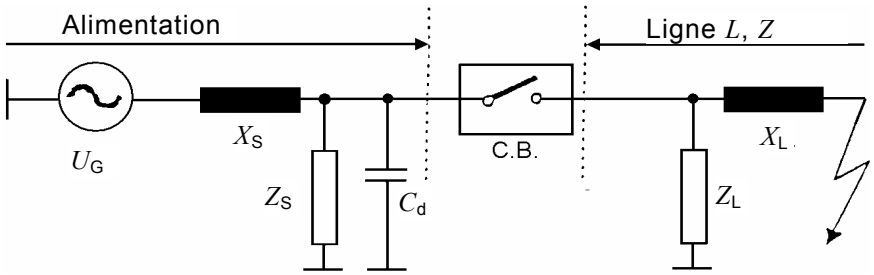


Figure 47 – Basic circuit arrangement for short-line fault testing – circuit type b1) according to 6.109.3: Source side with ITRV and line side with time delay



U_G Tension d'alimentation, valeur phase terre

X_S Réactance à fréquence industrielle côté alimentation

Z_S Éléments de réglage de la TTR côté alimentation

C_d Capacité de retard côté alimentation

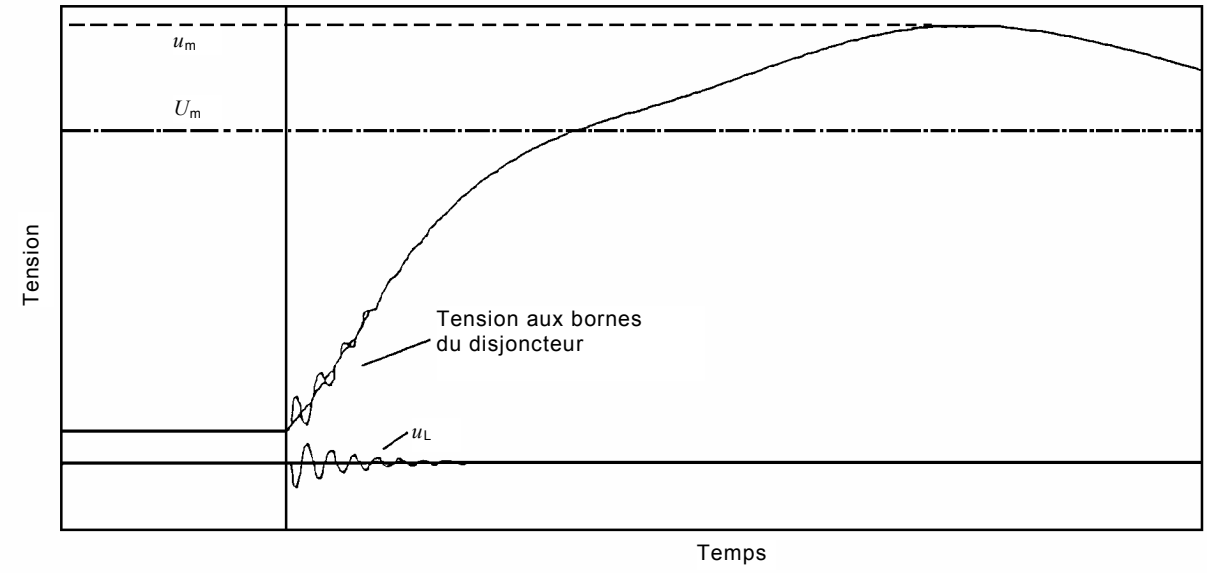
C.B. Disjoncteur

X_L Réactance à fréquence industrielle côté ligne

Z_L Éléments de réglage de la TTR côté ligne

Z Impédance d'onde de la ligne

L Longueur de ligne en défaut



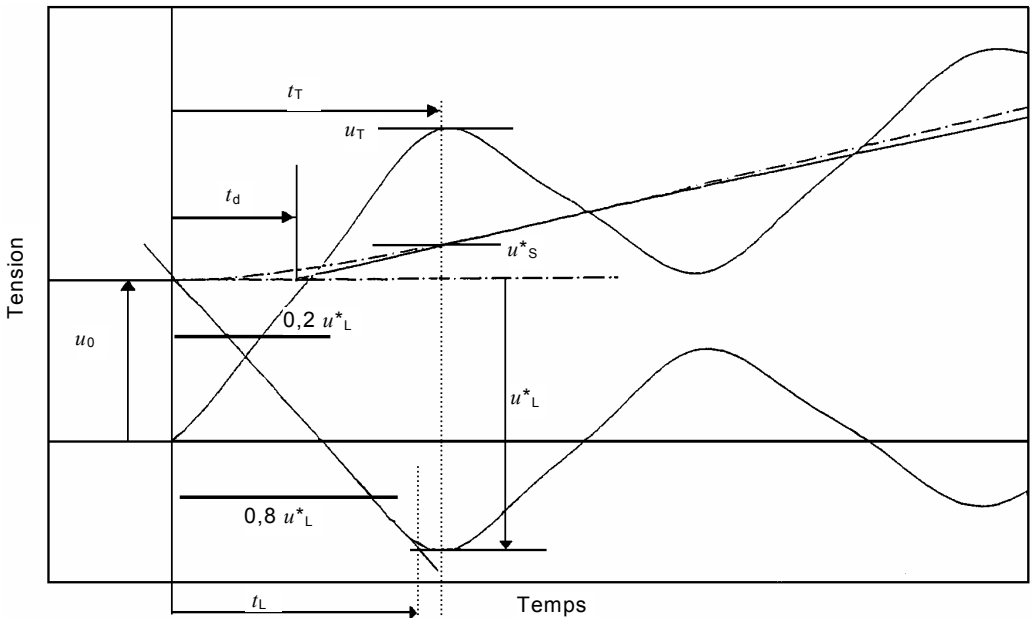
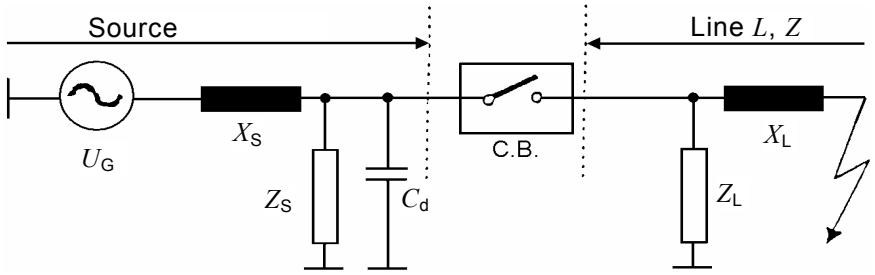
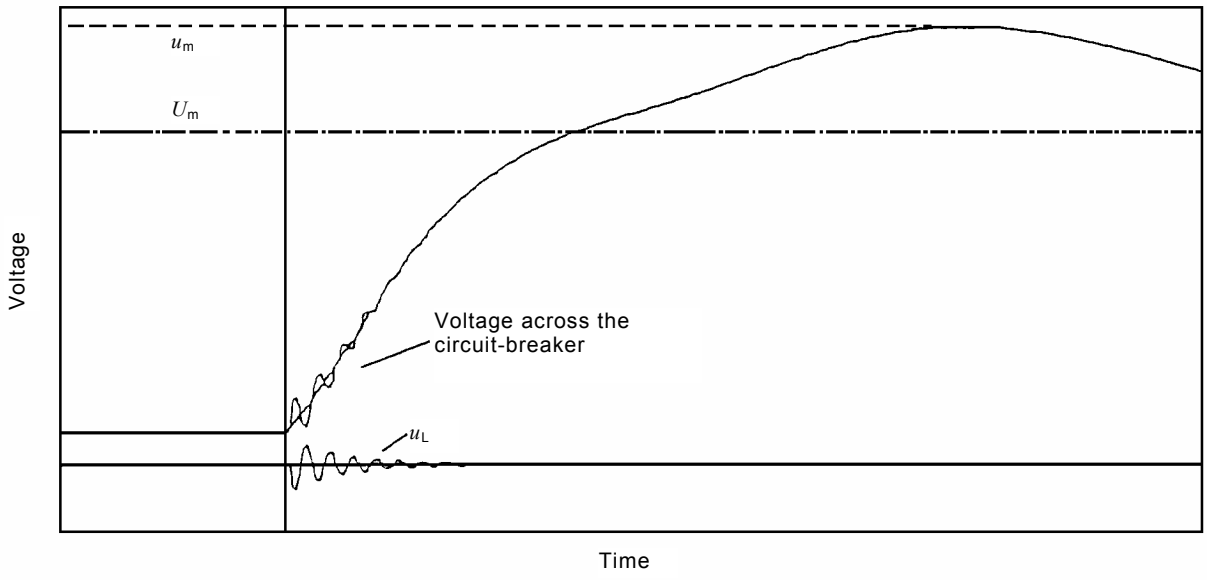


Figure 48 – Circuit de base pour les essais de défaut proche en ligne – circuit type b2) selon 6.109.3: côté alimentation avec temps de retard et côté ligne sans temps de retard



U_G	Supply voltage, phase to earth value	X_L	Power frequency line side reactance
X_S	Power frequency source side reactance	Z_L	Line side TRV controlling components
Z_S	Source side TRV controlling components	Z	Surge impedance of line
C_d	Time delaying source side capacitance	L	Length of line to fault
C.B.	Circuit-Breaker		



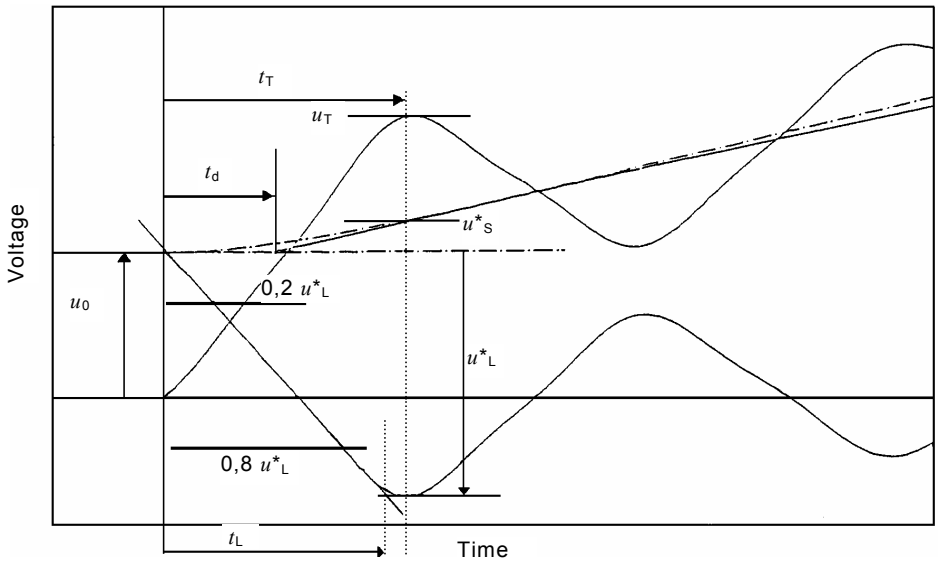


Figure 48 – Basic circuit arrangement for short-line fault testing – circuit type b2) according to 6.109.3: Source side with time delay and line side without time delay

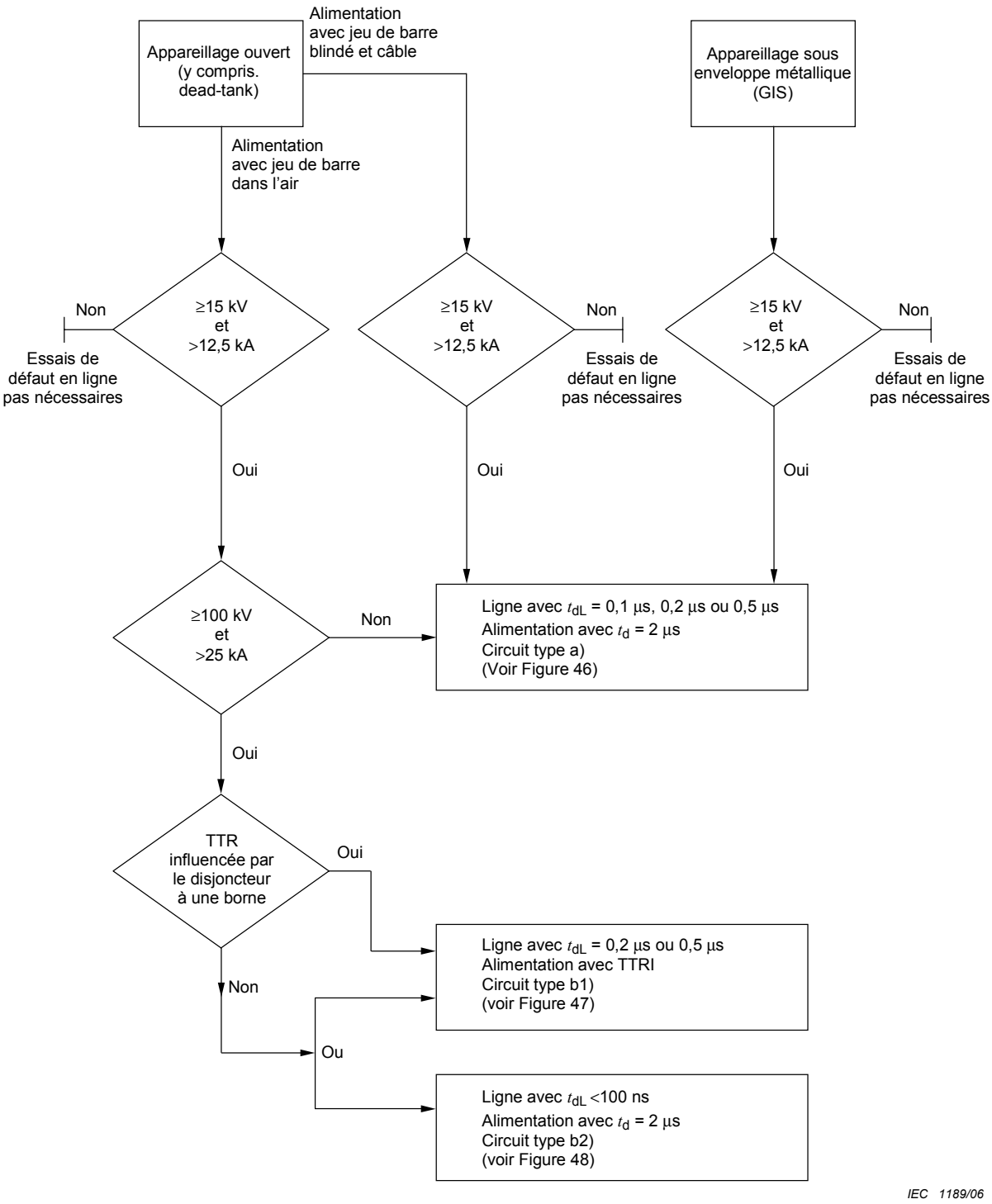


Figure 49 – Diagramme de décision pour le choix des circuits d'essais de défaut proche en ligne pour les disjoncteurs de classe S2 prévus pour être connectés directement à une ligne aérienne (sans liaison par câble)

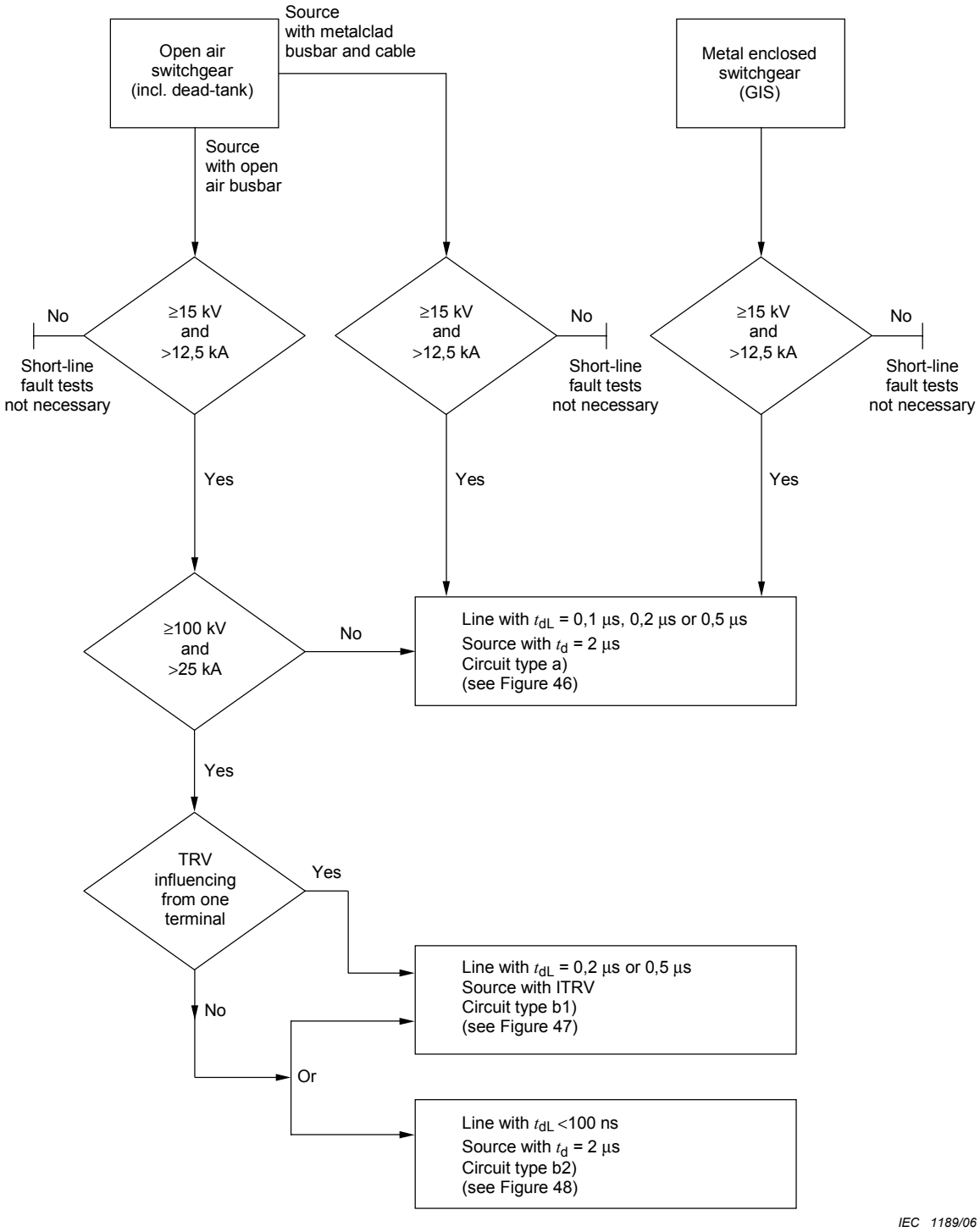


Figure 49 – Flow-chart for the choice of short-line fault test circuits for class S2 circuit-breakers with direct connection to overhead lines (without intervening cable)

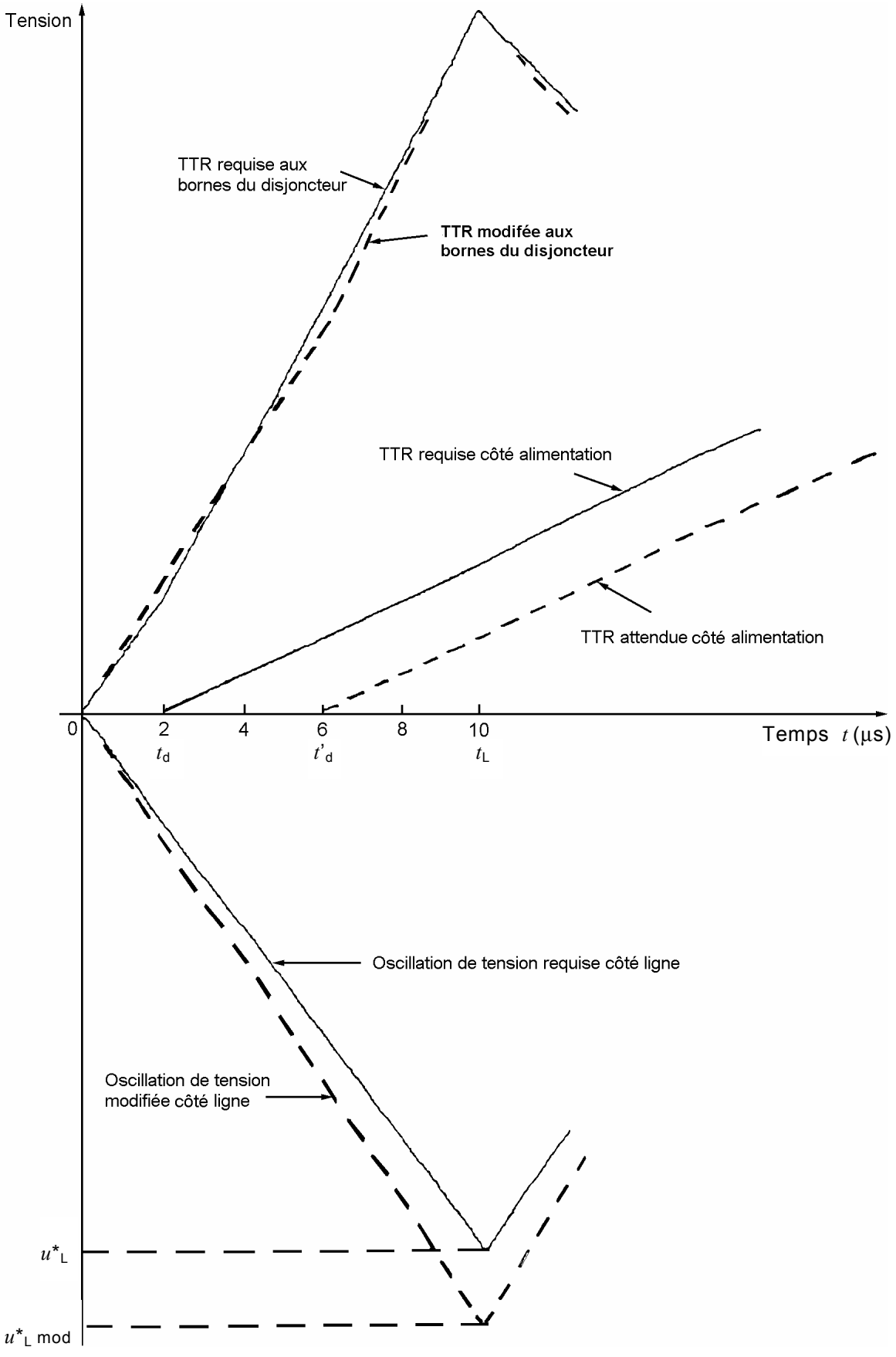


Figure 50 – Compensation d'un défaut du temps de retard côté alimentation par une augmentation de l'amplitude de la tension côté ligne

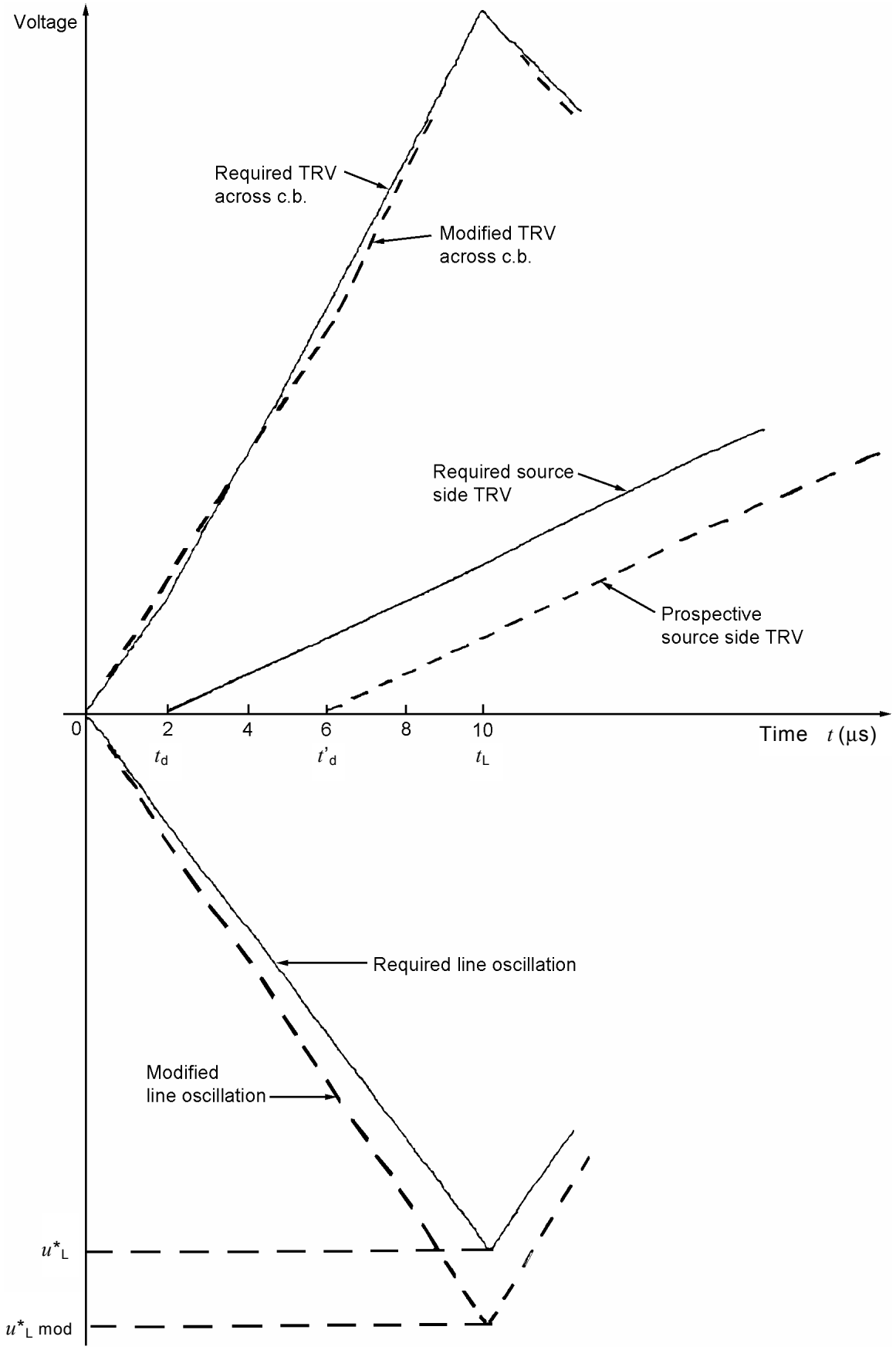
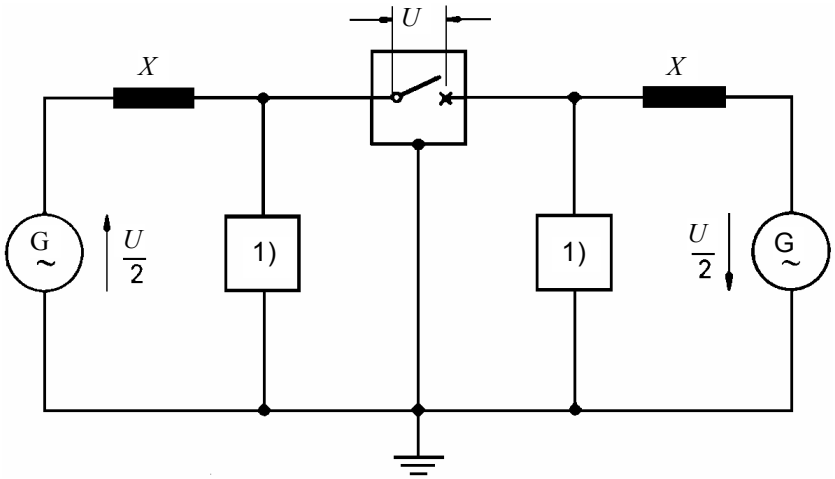
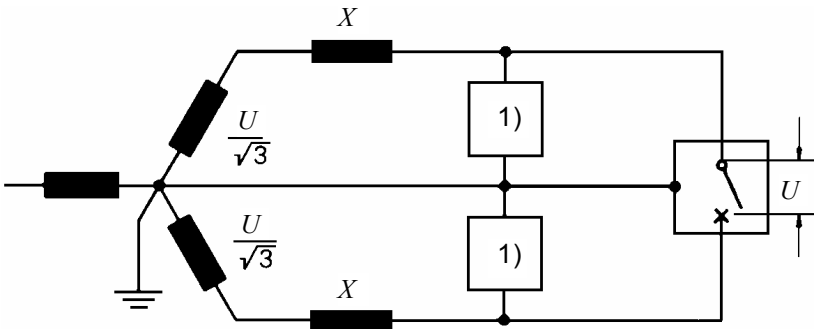


Figure 50 – Compensation of deficiency of the source side time delay by an increase of the excursion of the line side voltage



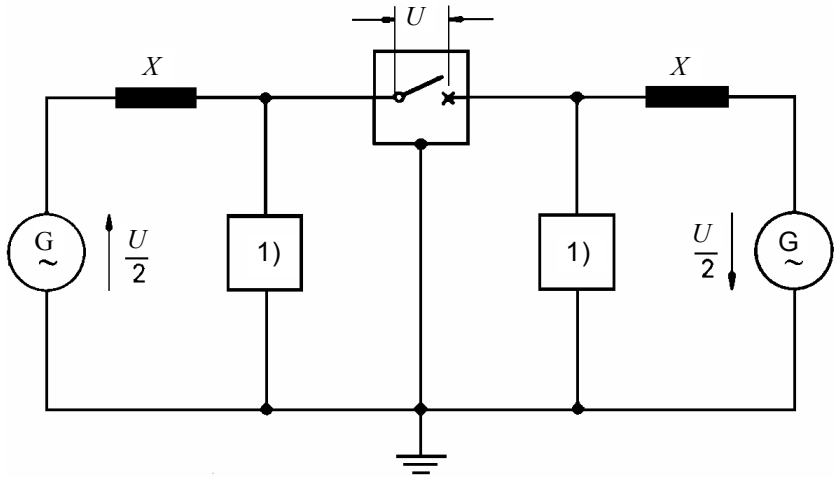
1) Les carrés représentent des combinaisons de capacités et de résistances.

Figure 51 – Circuit d'essais pour les essais monophasés en discordance de phases



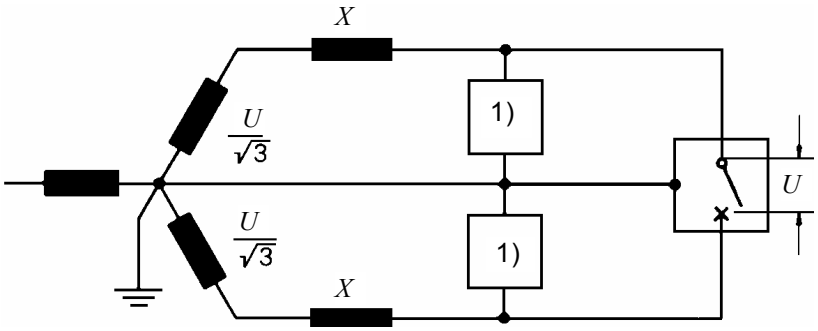
1) Les carrés représentent des combinaisons de capacités et de résistances.

Figure 52 – Circuit d'essais avec deux tensions décalées de 120 degrés électriques pour les essais en discordance de phases



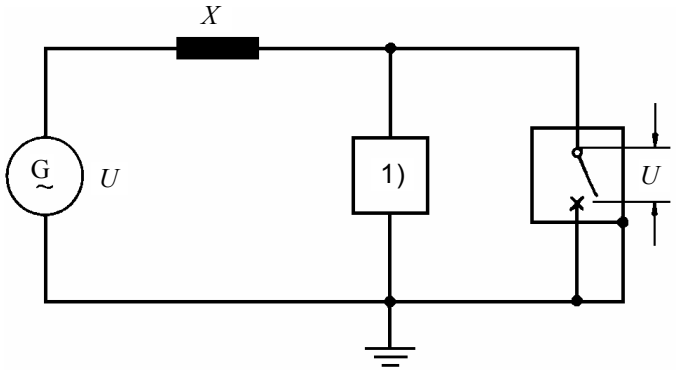
1) The squares represent combinations of capacitances and resistances.

Figure 51 – Test circuit for single-phase out-of-phase tests



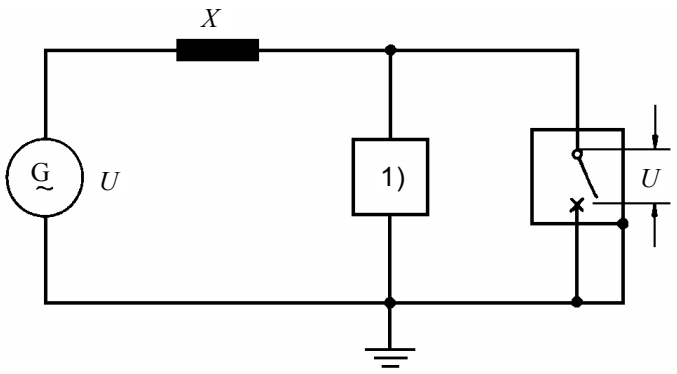
1) The squares represent combinations of capacitances and resistances.

Figure 52 – Test circuit for out-of-phase tests using two voltages separated by 120 electrical degrees



1) Le carré représente des combinaisons de capacités et de résistances.

Figure 53 – Circuit d'essais avec une borne du disjoncteur à la terre pour les essais en discordance de phases (sous réserve de l'accord du constructeur)



1) The square represents combinations of capacitances and resistances.

Figure 53 – Test circuit for out-of-phase tests with one terminal of the circuit-breaker earthed (subject to agreement of the manufacturer)

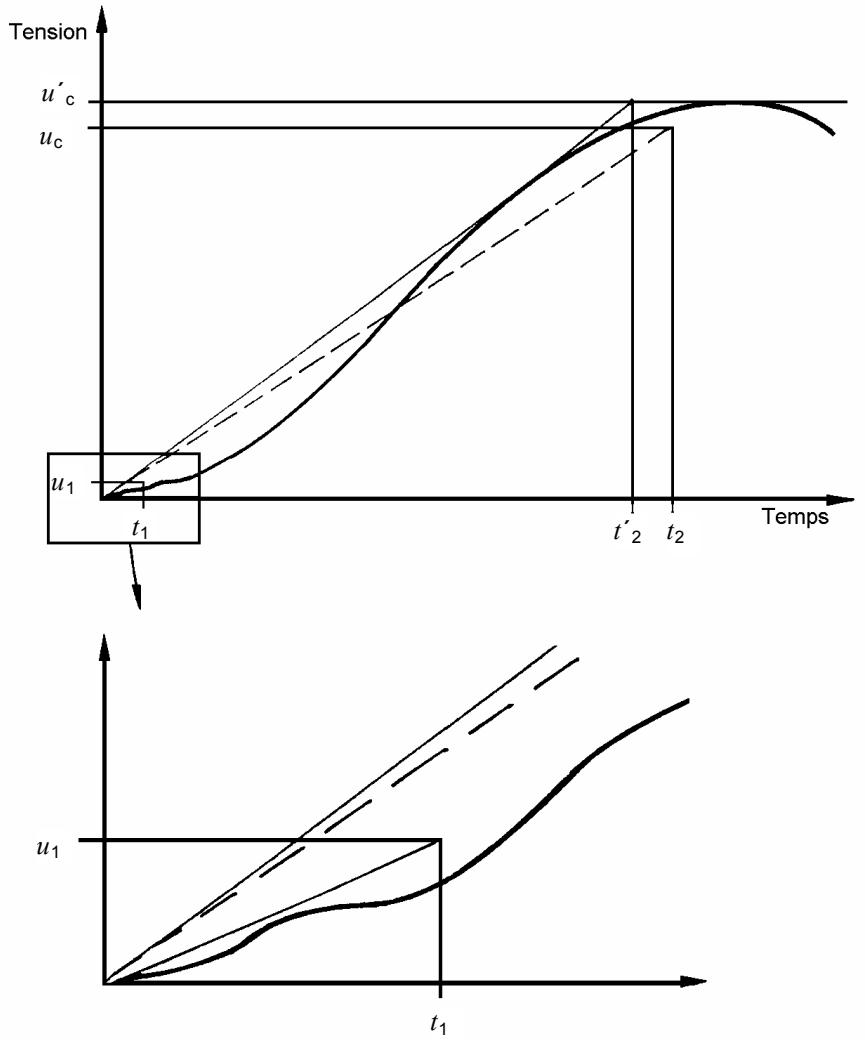


Figure 54 – Tension de rétablissement pour les essais de coupure de courants capacitifs

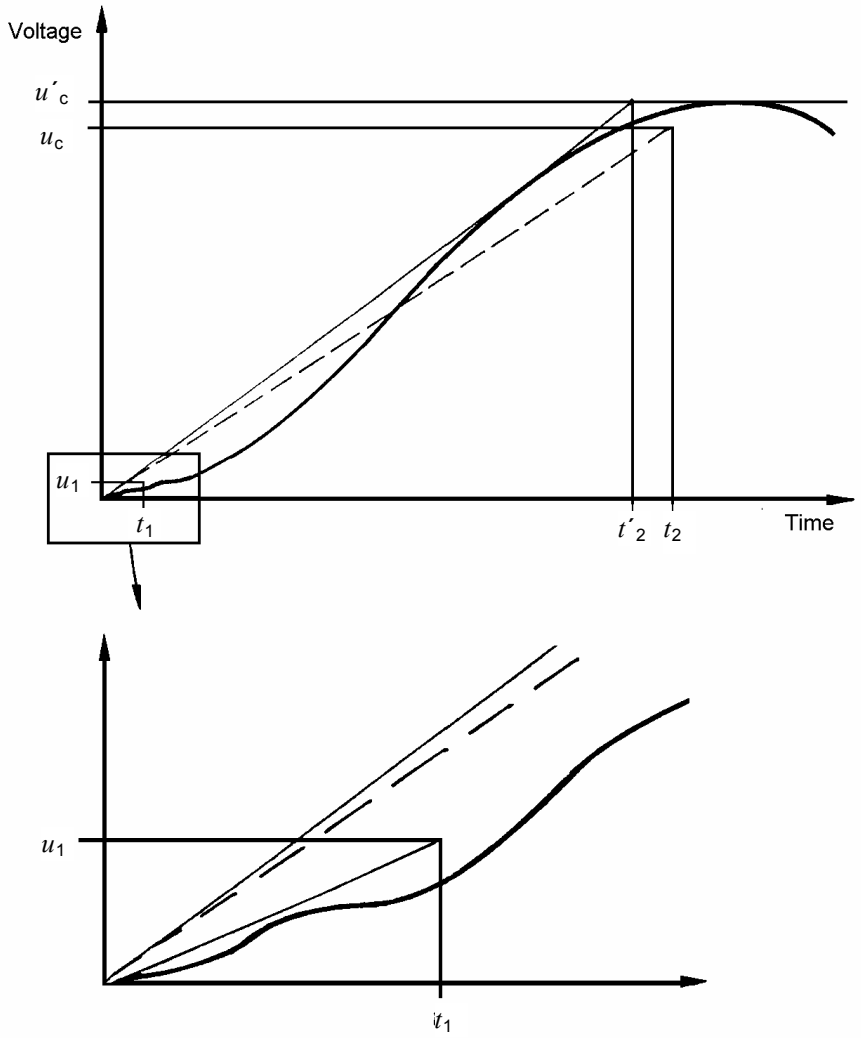


Figure 54 – Recovery voltage for capacitive current breaking tests

Annexe A
(normative)

Calcul des tensions transitoires de rétablissement pour les défauts proches en ligne à partir des caractéristiques assignées

A.1 Introduction

Pour les caractéristiques assignées et les essais, il a été décidé de considérer seulement le cas d'un défaut proche en ligne monophasé, à la terre, sur un réseau à neutre à la terre et avec un facteur de premier pôle de 1,0, ce cas correspondant à une sévérité suffisante pour couvrir d'autres cas, à l'exception de cas particuliers où les paramètres du réseau peuvent être plus sévères que les valeurs normales.

Le circuit monophasé simplifié peut alors être représenté comme l'indiquent les figures 46, 47 et 48.

Pendant le court-circuit, la tension d'alimentation U_G est

$$U_G = U_r / \sqrt{3} \quad \text{(A.1)}$$

où U_r est la tension assignée du disjoncteur.

Cette tension U_G engendre un courant I_L dans un circuit comprenant les réactances X_S , X_B (si tel est le cas) et X_L en série.

Les réactances sont définies comme suit:

- X_S: réactance du côté alimentation;
- X_B: réactance des jeux de barres du côté alimentation;
- X_L: réactance du côté ligne.

Les inductances correspondantes sont

$$L_S = X_S/\omega \quad \text{(A.2a)}$$

$$L_B = X_B/\omega \quad \text{(A.2b)}$$

$$L_L = X_L/\omega \quad \text{(A.2c)}$$

La valeur efficace de la chute de tension du côté alimentation, en ne considérant pas X_B à cause de sa contribution négligeable, est

$$U_S = I_L \times X_S = U_G \frac{I_L}{I_{sc}} \quad \text{(A.3)}$$

où

I_{sc} est le pouvoir de coupure assigné en court-circuit;

I_L est le courant de défauts proches en ligne.

Annex A
(normative)

Calculation of transient recovery voltages for short-line faults from rated characteristics

A.1 Basic approach

For rating and testing purposes, it has been decided to consider only a short-line fault occurring from one phase to earth in a system having the neutral earthed and with a first-pole-to-clear factor of 1,0, the severity of this being sufficient to cover other cases, except in special circumstances where the system parameters may be more severe than the standard values.

The simplified single-phase circuit can be represented as shown in figures 46, 47 and 48.

During the short-circuit, the driving supply voltage U_G is

$$U_G = U_r / \sqrt{3} \quad \text{(A.1)}$$

where U_r is the rated voltage of the circuit-breaker.

This voltage U_G drives the current I_L through the circuit consisting of the reactances X_S, X_B (if any) and X_L in series.

The reactances are defined as follows:

– X_S source side reactance;
– X_B busbar reactance on source side;
– X_L line side reactance.

The corresponding inductances are

$$L_S = X_S/\omega \quad \text{(A.2a)}$$

$$L_B = X_B/\omega \quad \text{(A.2b)}$$

$$L_L = X_L/\omega \quad \text{(A.2c)}$$

The r.m.s. value of the voltage drop on the source side, not considering X_B because of its negligible contribution, is

$$U_S = I_L \times X_S = U_G \frac{I_L}{I_{SC}} \quad \text{(A.3)}$$

where

I_{sc} is the rated short-circuit breaking current;

I_L is the short-line fault breaking current.

La valeur efficace de la chute de tension le long de la ligne est

$$U_{\mathrm{L}} = I_{\mathrm{L}} \times X_{\mathrm{L}} = U_{\mathrm{G}} \left(1 - \frac{I_{\mathrm{L}}}{I_{\mathrm{sc}}}\right) \qquad \text{(A.4)}$$

A l'instant où le courant est interrompu, la chute de tension induite aux bornes de l'inductance du côté ligne est:

$$u_0 = U_{\mathrm{L}} \sqrt{2} = L_{\mathrm{L}} \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \qquad \text{(A.5a)}$$

et pour un courant symétrique:

$$u_0 = \omega \times L_{\mathrm{L}} \times I_{\mathrm{L}} \sqrt{2} \qquad \text{(A.5b)}$$

Cette chute de tension revient à zéro par l'intermédiaire d'un régime transitoire comportant des ondes mobiles qui se réfléchissent le long de la ligne entre le disjoncteur et l'endroit du défaut, générant ainsi une tension transitoire côté ligne ayant la forme d'une oscillation amortie en dents de scie [4)].

A l'instant où le courant est interrompu, la chute de tension induite aux bornes de l'inductance du côté alimentation est:

$$u_{\mathrm{X}} = U_{\mathrm{X}} \sqrt{2} = L_{\mathrm{S}} \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \qquad \text{(A.6a)}$$

et pour un courant symétrique:

$$u_{\mathrm{X}} = \omega \times L_{\mathrm{S}} \times I_{\mathrm{L}} \sqrt{2} \qquad \text{(A.6b)}$$

Cette chute de tension revient à zéro par l'intermédiaire d'une série d'oscillations. Elle est superposée à la tension d'alimentation, les deux formant la tension du côté alimentation u_{S} du disjoncteur.

La valeur crête de la tension induite totale U_{m} à l'instant de l'interruption du courant est

$$U_{\mathrm{m}} = u_0 + u_{\mathrm{X}} = (L_{\mathrm{L}} + L_{\mathrm{S}}) \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \qquad \text{(A.7a)}$$

et pour un courant symétrique:

$$U_{\mathrm{m}} = \omega (L_{\mathrm{L}} + L_{\mathrm{S}}) I_{\mathrm{L}} \sqrt{2} = U_{\mathrm{G}} \sqrt{2} = U_{\mathrm{r}} \sqrt{2} / \sqrt{3} \qquad \text{(A.7b)}$$

La tension du côté alimentation du disjoncteur est la différence entre la tension d'alimentation et la chute de tension dans la réactance X_{S}. La tension transitoire de rétablissement assignée résultante pour les défauts proches en ligne apparaissant aux bornes du disjoncteur est la différence entre la tension transitoire du côté alimentation u_{S} et la tension transitoire du côté ligne u_{L} telle que montrée à la figure A.1.

Le rapport entre la tension u_0 à l'instant de l'interruption et la valeur crête U_{m} de la tension d'alimentation est déterminé par le rapport des chutes de tension au travers de l'inductance du côté ligne et de l'inductance du côté alimentation, donc

$$u_0 / U_{\mathrm{m}} = u_0 / (u_0 + u_{\mathrm{X}}) / \; L_{\mathrm{L}} / (L_{\mathrm{L}} + L_{\mathrm{S}}) = 1 \; I_{\mathrm{L}} / I_{\mathrm{SC}} \qquad \text{(A.8)}$$

Cette équation est montrée au tableau A.1 pour les valeurs normales des rapports de courants pour les défauts proches en ligne.

[4)] En pratique, la forme d'onde en dents de scie est modifiée jusqu'à un certain point par un retard dû aux capacités concentrées présentes aux bornes du disjoncteur (capacités des transformateurs de tension, transformateurs de courant, etc.); de plus, la partie supérieure de l'oscillation est légèrement arrondie.

The r.m.s. value of the voltage drop along the line is

$$U_{\mathrm{L}} = I_{\mathrm{L}} \times X_{\mathrm{L}} = U_{\mathrm{G}} \left(1 - \frac{I_{\mathrm{L}}}{I_{\mathrm{sc}}}\right) \tag{A.4}$$

At the instant when the current is interrupted, the induced voltage drop across the line inductance is:

$$u_0 = U_{\mathrm{L}} \sqrt{2} = L_{\mathrm{L}} \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \tag{A.5a}$$

and for a symmetrical current:

$$u_0 = \omega \times L_{\mathrm{L}} \times I_{\mathrm{L}} \sqrt{2} \tag{A.5b}$$

This voltage drop returns to zero by a series of travelling waves reflected back and forth along the line between the circuit-breaker and the location of the fault, generating a transient voltage across the line in the form of a decaying saw-tooth oscillation[4)].

At the instant when the current is interrupted, the induced voltage drop across the source side inductance is:

$$u_{\mathrm{x}} = U_{\mathrm{x}} \sqrt{2} = L_{\mathrm{S}} \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \tag{A.6a}$$

and for a symmetrical current:

$$u_{\mathrm{x}} = \omega \times L_{\mathrm{S}} \times I_{\mathrm{L}} \sqrt{2} \tag{A.6b}$$

This voltage drop returns to zero by a series of oscillations. It is superimposed to the driving source voltage, both forming the source side voltage u_{S} of the circuit-breaker.

The crest value U_{m} of the total induced voltage at the instant of current interruption is:

$$U_{\mathrm{m}} = u_0 + u_{\mathrm{x}} = (L_{\mathrm{L}} + L_{\mathrm{S}}) \frac{di}{dt} \tag{A.7a}$$

and for a symmetrical current:

$$U_{\mathrm{m}} = \omega (L_{\mathrm{L}} + L_{\mathrm{S}}) I_{\mathrm{L}} \sqrt{2} = U_{\mathrm{G}} \sqrt{2} = U_{\mathrm{r}} \sqrt{2} / \sqrt{3} \tag{A.7b}$$

The voltage at the source side terminals of the circuit-breaker is the difference between the driving supply voltage and the voltage drop across the reactance X_{S}. The resulting specified transient recovery voltage for short-line faults appearing across the circuit-breaker is the difference between the source side transient voltage u_{S} and the line side transient voltage u_{L} as shown in figure A.1.

The ratio between the voltage u_0 at the instant of breaking and the crest value U_{m} of the driving voltage is determined by the ratio of voltage drops across the line-side inductance and the source-side inductance, hence

$$u_0 / U_{\mathrm{m}} = u_0 / (u_0 + u_{\mathrm{x}}) = L_{\mathrm{L}} / (L_{\mathrm{L}} + L_{\mathrm{S}}) = 1 - I_{\mathrm{L}} / I_{\mathrm{SC}} \tag{A.8}$$

This relation is shown in table A.1 for the standard ratios of short-line fault currents.

---

4) In practice the saw-tooth waveform is in some degree modified by a time delay, due to lumped capacitances present at the terminals of the circuit-breaker (capacitances of voltage transformers, current transformers, etc.); in addition, the top of the oscillation is slightly rounded.

Tableau A.1 – Rapport des chutes de tension et de TTR côté alimentation

U_r	I_L/I_{SC}	u_0/U_m	u_m/U_m
< 100 kV	0,90	0,10	1,49
	0,75	0,25	1,41
	0,60	0,40	1,32
≥ 100 kV	0,90	0,10	1,36
	0,75	0,25	1,30
	0,60	0,40	1,24

A.2 Tension transitoire côté ligne

La valeur crête u_L* de la première crête de la tension transitoire de la ligne est obtenue en multipliant la valeur u_0 par le facteur de crête k.

$$u_L{}^* = ku_0 = kL_L \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \tag{A.9}$$

Le temps t_L est obtenu à partir de la vitesse d'accroissement $\mathrm{d}u_L/\mathrm{d}t$ de la tension transitoire u_L de la ligne et de la valeur crête u_L* de la tension transitoire de la ligne:

$$\frac{\mathrm{d}u_L}{\mathrm{d}t} = -sI_L = -Z\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \tag{A.10}$$

donc:

$$t_L = \frac{u_L{}^*}{\frac{\mathrm{d}u_L}{\mathrm{d}t}} = \frac{u_L{}^*}{sI_L} = k\frac{L_L}{Z} \tag{A.11}$$

où

s est le facteur de VATR (kV/µs/kA);

Z est l'impédance d'onde de la ligne;

f est la fréquence assignée.

Les caractéristiques assignées de la ligne Z, k *et* s sont données au tableau 4 (voir 4.105).

NOTE La longueur approximative de la ligne, correspondant à un défaut en ligne donné, peut être obtenu par la formule suivante:

$$L = c\, t_L/2 \tag{A.12}$$

où c est la vitesse de propagation des ondes mobiles qui est supposée être égale à: c = 0,3 km/µs (A.13)

A.3 Tension transitoire côté alimentation

La courbe de la tension transitoire côté alimentation, depuis la valeur initiale u_0 jusqu'à la valeur de crête u_m, peut être obtenue à partir des Tableaux 25, 1b, 1c et 1d. On utilise directement les temps t_1, t_2, t_3 *et* t_d donnés dans ces tableaux. La tension u_1 des Tableaux 25, 1b, 1c et 1d, qui est égale à la tension induite totale U_m à l'instant de l'interruption du courant n'est pas modifiée, mais la valeur de crête u_c de la TTR résulte en une valeur plus faible u_m:

$$u_m = u_0 + k_{af}u_X \tag{A.14}$$

donc

$$u_m / U_m = (u_0 + k_{af}u_X) / U_m \tag{A.15a}$$

Table A.1 – Ratios of voltage-drop and source-side TRV

U_r	I_L/I_{SC}	u_0/U_m	u_m/U_m
< 100 kV	0,90	0,10	1,49
	0,75	0,25	1,41
	0,60	0,40	1,32
≥ 100 kV	0,90	0,10	1,36
	0,75	0,25	1,30
	0,60	0,40	1,24

A.2 Transient voltage on line side

The peak value u_L* of the first peak of the transient voltage across the line is obtained by multiplying the value u_0 by the peak factor k.

$$u_L{}^* = ku_0 = kL_L \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \tag{A.9}$$

The time t_L is obtained from the rate-of-rise $\mathrm{d}u_L/\mathrm{d}t$ of the transient voltage u_L across the line and the peak value u_L* of the transient voltage across the line:

$$\frac{\mathrm{d}u_L}{\mathrm{d}t} = -sI_L = -Z\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \tag{A.10}$$

then

$$t_L = \frac{u_L{}^*}{\frac{\mathrm{d}u_L}{\mathrm{d}t}} = \frac{u_L{}^*}{sI_L} = k\frac{L_L}{Z} \tag{A.11}$$

where

s is the RRRV factor (kV/μs/ kA);

Z is the surge impedance of the line;

f is the rated frequency.

The rated line characteristics Z, k and s are given in table 4 (see 4.105).

NOTE The approximate length of line corresponding to a given short-line fault can be obtained by the formula:

$$L = c\ t_L/2 \tag{A.12}$$

where c is the speed of the travelling wave propagation assumed to be equal to: c = 0,3 km/μs (A.13)

A.3 Transient voltage on source side

The course of the source-side transient voltage from the initial value u_0 to the peak value u_m can be derived from Tables 25, 1b, 1c and 1d. The time co-ordinates t_1, t_2, t_3 and t_d given in these tables can be used directly. The voltage u_1 in Tables 25, 1b, 1c and 1d equalling the total induced voltage U_m at the instant of the current interruption is not affected, but the TRV peak value u_c results in a lower value u_m:

$$u_m = u_0 + k_{af}u_x \tag{A.14}$$

then

$$u_m/U_m = (u_0 + k_{af}u_x)/U_m \tag{A.15a}$$

et en utilisant l'équation (A.8)

$$u_m / U_m = 1 + (k_{af} - 1) I_L / I_{sc} \quad \text{(A.15b)}$$

comme donné au tableau A.1.

La vitesse d'accroissement de la TTR du/dt_{SLF} du côté alimentation est réduite par rapport à la valeur assignée pour le défaut aux bornes T100 du/dt_{TF}. Pour une forme d'onde à quatre paramètres, elle est:

$$\frac{du}{dt_{SLF}} = \frac{U_m - u_0}{t_1} = \frac{du}{dt_{TF}} \times \frac{I_L}{I_{sc}} \quad \text{(A.16)}$$

La valeur de crête u_m de la tension transitoire de rétablissement du côté alimentation est également la valeur crête de la tension transitoire de rétablissement aux bornes du disjoncteur à condition que l'oscillation de la tension de la ligne soit amortie à zéro au temps t_2 (ou t_3), ce qui est généralement le cas.

La partie la plus importante de la tension transitoire de rétablissement résultante se situe jusqu'à la première crête u_L* de la tension transitoire du côté ligne qui est atteinte après le temps t_T:

– côté ligne avec temps de retard (voir figures 46 et 47):

$$t_T = 2t_{dL} + t_L \quad \text{(A.17a)}$$

– côté ligne sans temps de retard (voir figure 48):

$$t_T = t_{dL} + t_L \quad \text{(A.17b)}$$

NOTE Contrairement à la procédure habituelle utilisée pour définir les tensions transitoires de rétablissement par leurs enveloppes, la forme réelle de l'onde est utilisée pour évaluer la tension totale aux bornes du disjoncteur à l'instant où la tension du côté ligne atteint sa valeur crête u_L*. Cette procédure modifiée est utilisée parce que la méthode des enveloppes conduirait à une valeur de tension intermédiaire dans la pente ascendante de la TTR légèrement avant la crête et non pas à la crête réelle de la TTR de la tension totale aux bornes du disjoncteur, laquelle est pertinente pour l'évaluation des conditions d'essai. La méthode des enveloppes est relativement satisfaisante à condition que les TTR ne soient pas formées par la superposition de deux ou plusieurs composantes. Cependant, dans le cas présent, lorsque la TTR totale est évaluée aux bornes du disjoncteur, la somme des trois différentes composantes est considérée: la TTR du côté alimentation, la TTRI du côté alimentation et la TTR du côté ligne.

Pour le calcul de la contribution du côté alimentation u_S* au temps t_T , deux cas différents doivent être distingués:

– sans exigence de TTRI (voir figure A.1)

$$u_s^* = \left(\frac{du}{dt}\right)_{SLF} \times (t_T - t_d) \quad \text{(A.18)}$$

et

$$u_T = u_L^* + u_s^* \quad \text{(A.19)}$$

– avec exigences de TTRI (voir figure A.2)

$$u_s^* = u_{i0}\left(\frac{du}{dt}\right)_{SLF} \times (t_T - t_d) \quad \text{(A.20)}$$

et encore

$$u_T = u_{L*} + u_{S*} \quad \text{(A.21)}$$

and using equation (A.8)

$$u_{\mathrm{m}} / U_{\mathrm{m}} = 1 + (k_{\mathrm{af}} - 1) I_{\mathrm{L}} / I_{\mathrm{sc}} \qquad \text{(A.15b)}$$

as given in table A.1.

The rate of rise of the source side TRV du/dt_{SLF} is lowered related to the standard value for terminal fault T100 du/dt_{TF}. For a four parameter wave shape it is

$$\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}\right)_{\mathrm{SLF}} = \frac{U_{\mathrm{m}} - u_0}{t_1} = \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}\right)_{\mathrm{TF}} \times \frac{I_{\mathrm{L}}}{I_{\mathrm{SC}}} \qquad \text{(A.16)}$$

The peak value u_{m} of the source-side transient recovery voltage is also the peak value of the transient recovery voltage across the circuit-breaker provided that the voltage oscillation on the line has been damped to zero by the time t_2 (or t_3), as is generally the case.

The most important part of the resulting transient recovery voltage is up to the first peak value u_{L}* of the transient voltage across the line which is reached by the time t_{T}:

- line with time delay (see figures 46 and 47): $t_{\mathrm{T}} = 2t_{\mathrm{dL}} + t_{\mathrm{L}}$ (A.17a)

- line without time delay (see figure 48): $t_{\mathrm{T}} = t_{\mathrm{dL}} + t_{\mathrm{L}}$ (A.17b)

NOTE In contrast to the usual procedure for defining transient recovery voltages by their envelopes, for the evaluation of the total voltage across the circuit-breaker at the instant, when the line side voltage reaches its first peak u_{L}*, the actual waveshape is used. This modified procedure is applied because the envelope method would result in an intermediate voltage value in the rising slope of the TRV shortly before the peak, but not in the real crest value of the total voltage across the circuit-breaker, which is relevant for the assessment of the testing conditions. The envelope method is quite satisfactory, provided TRVs are not superimposed by two or more components. However, in the present case where the complete TRV is evaluated across the circuit-breaker, the sum of three different components is considered: the source side TRV, the ITRV of the source side and the line side TRV.

For the calculation of the source-side contribution u_{s}* at the time t_{T} two different cases shall be distinguished:

– without ITRV requirements (see figure A.1)

$$u_{\mathrm{s}}^{*} = \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}\right)_{\mathrm{SLF}} \times (t_{\mathrm{T}} - t_{\mathrm{d}}) \qquad \text{(A.18)}$$

and

$$u_{\mathrm{T}} = u_{\mathrm{L}}^{*} + u_{\mathrm{s}}^{*} \qquad \text{(A.19)}$$

– with ITRV requirements (see figure A.2):

$$u_{\mathrm{s}}^{*} = u_{\mathrm{i0}} \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}\right)_{\mathrm{SLF}} \times (t_{\mathrm{T}} - t_{\mathrm{d}}) \qquad \text{(A.20)}$$

and again

$$u_{\mathrm{T}} = u_{\mathrm{L}*} + u_{\mathrm{S}*} \qquad \text{(A.21)}$$

Pour les exigences de TTRI (comme données au tableau 3), les équations suivantes s'appliquent:

$$u_{\mathrm{i}} = f_{\mathrm{i}} I_{\mathrm{L}} = k_{\mathrm{i}} L_{\mathrm{B}} \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \qquad \text{(A.22)}$$

où

k_{i} = 1,4 (facteur crête);

f_{i} est le facteur multiplicatif du tableau 3.

Donc, la chute de tension du jeu de barres u_{i0} devient

$$u_{\mathrm{i0}} = u_{\mathrm{i}} / k_{\mathrm{i}} \qquad \text{(A.23)}$$

et l'inductance du jeu de barres est

$$L_{\mathrm{B}} = u_{\mathrm{i0}} / (\mathrm{d}i / \mathrm{d}t) \qquad \text{(A.24)}$$

A.4 Exemples de calculs

Comme exemples de calculs, trois cas typiques de circuits d'essais (voir 6.109.3) sont calculés. Les résultats sont donnés de A.4.1 à A.4.3:

– côté alimentation et côté ligne avec retard (A.4.1);
– côté alimentation avec TTRI et côté ligne avec retard (A.4.2);
– côté alimentation avec retard et côté ligne sans retard (A.4.3).

For ITRV requirements (as given in table 3), the following formulas apply:

$$u_{\mathrm{i}} = f_{\mathrm{i}} I_{\mathrm{L}} = k_{\mathrm{i}} L_{\mathrm{B}} \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \qquad \text{(A.22)}$$

where

k_{i} = 1,4 (peak factor);

f_{i} is the multiplying factor according to table 3.

Then the bus-bar voltage drop u_{i0} becomes

$$u_{\mathrm{i}0} = u_{\mathrm{i}} / k_{\mathrm{i}} \qquad \text{(A.23)}$$

and the bus-bar inductance

$$L_{\mathrm{B}} = u_{\mathrm{i}0} / (\mathrm{d}i / \mathrm{d}t) \qquad \text{(A.24)}$$

A.4 Examples of calculations

As examples of calculations the three basic types of test circuits (see 6.109.3) are calculated. The results are given in A.4.1 to A.4.3:

– source side and line side with time delay (A.4.1);
– source side with ITRV and line side with time delay (A.4.2);
– source side with time delay and line side without time delay (A.4.3).

A.4.1 Côté alimentation et côté ligne avec retard (L_{90} et L_{75} pour 245 kV, 50 kA, 50 Hz)

Paramètres	Équation	Paramètres d'essai		
		Unité	L_{90}	L_{75}
Côté alimentation; fréquence industrielle				
Tension assignée U_r	---	kV	245	245
Pouvoir assigné en court-circuit I_{SC}	---	kA	50	50
Fréquence assignée f_r	---	Hz	50	50
Tension d'alimentation U_G	A.1	kV	141,5	141,5
Réactance du côté alimentation X_S	---	Ω	2,83	2,83
Inductance du côté alimentation L_S	A.2a	mH	9,01	9,01
Côté ligne; fréquence industrielle				
Ligne spécifiée	---	%	90	75
Pouvoir de coupure de défauts proches en ligne I_L	---	kA	45	37,5
di/dt à l'interruption du courant	---	A/µs	20	16,7
Tension du côté ligne U_L	A.4	kV	14,2	35,4
Réactance du côté ligne X_L	---	Ω	0,316	0,944
Inductance du côté alimentation L_L	A.2c	mH	1,0	3,0
Paramètres de la TTR du côté ligne				
Tension à l'interruption du courant u_0	A.8	kV	20	50
Facteur de crête k	---	p.u.	1,6	1,6
Valeur de la première crête de la TTR du côté ligne u_L*	A.9	kV	32	80
Retard t_{dL}	---	µs	0,5	0,5
Vitesse d'accroissement de la TTR du côté ligne du_L/dt	A.10	kV/µs	9	7,5
Impédance d'onde spécifiée de la ligne Z	---	Ω	450	450
Temps de montée t_L	A.11	µs	3,56	10,7
Paramètres de la TTR du côté alimentation				
Retard t_d	---	µs	2	2
Vitesse d'accroissement au pouvoir de coupure assigné en court-circuit I_{SC} (du/dt)$_{TF}$	---	kV/µs	2	2
Vitesse d'accroissement au pouvoir de coupure de défaut proche en ligne I_L (du/dt)$_{SLF}$	A.16	kV/µs	1,8	1,5
Tension à l'interruption du courant u_x	A.6 a	kV	180	150
Tension transitoire crête u_m	A.14	kV	272	260
Facteur transitoire u_m/U_m	A.15a	p.u.	1,36	1,3
Première crête totale aux bornes du disjoncteur				
Coordonnée de temps de la première crête t_T	A.17a	µs	4,56	11,7
Contribution du côté alimentation u_S* à la TTR au temps t_T	A.18	kV	4,6	14,6
Tension de la première crête u_T	A.19	kV	36,6	94,6

A.4.1 Source side and line side with time delay (L_{90} and L_{75} for 245 kV, 50 kA, 50 Hz)

Parameters	Equation	Test parameters		
		Unit	L_{90}	L_{75}
Power frequency source side				
Rated voltage U_r	---	kV	245	245
Rated short-circuit current I_{sc}	---	kA	50	50
Rated frequency f_r	---	Hz	50	50
Driving supply voltage U_G	A.1	kV	141,5	141,5
Source side reactance X_S	---	Ω	2,83	2,83
Source side inductance L_S	A.2a	mH	9,01	9,01
Power frequency line side				
Specified line setting	---	%	90	75
Short-line fault breaking current I_L	---	kA	45	37,5
di/dt at the instant of current interruption	---	A/µs	20	16,7
Line side voltage U_L	A.4	kV	14,2	35,4
Line side reactance X_L	---	Ω	0,316	0,944
Line side inductance L_L	A.2c	mH	1,0	3,0
TRV parameters on line side				
Voltage at the instant of current interruption u_0	A.8	kV	20	50
Peak factor k	---	p.u.	1,6	1,6
Peak value of first peak of line side TRV u_L*	A.9	kV	32	80
Time delay t_{dL}	---	µs	0,5	0,5
Rate-of-rise of line side TRV du_L/dt	A.10	kV/µs	9	7,5
Specified line surge impedance Z	---	Ω	450	450
Rise time t_L	A.11	µs	3,56	10,7
TRV parameters on source side				
Time delay t_d	---	µs	2	2
Rate of rise at rated short-circuit breaking current I_{sc} (du/dt)$_{TF}$	---	kV/µs	2	2
Rate of rise at short-line fault breaking current I_L (du/dt)$_{SLF}$	A.16	kV/µs	1,8	1,5
Voltage at instant of current interruption u_X	A.6a	kV	180	150
Transient peak voltage u_m	A.14	kV	272	260
Transient factor u_m/U_m	A.15a	p.u.	1,36	1,3
Total first peak across the circuit-breaker				
Time coordinate to first peak t_T	A.17a	µs	4,56	11,7
Source side contribution u_S* to TRV at time t_T	A.18	kV	4,6	14,6
First peak voltage u_T	A.19	kV	36,6	94,6

A.4.2 Côté alimentation avec TTRI et côté ligne avec retard (L_{90} pour 245 kV, 50 kA, 50 Hz)

Paramètres	Équation	Paramètres d'essai	
		Unité	L_{90}
Côté alimentation; fréquence industrielle	Même que dans A.4.1		
Côté ligne; fréquence industrielle	Même que dans A.4.1		
Paramètres de la TTR du côté ligne	Même que dans A.4.1		
Paramètres de la TTR du côté alimentation	Même que dans A.4.1		
Paramètres de la TTRI du côté alimentation			
Coordonnée de temps t_i	Tableau 3	µs	0,6
Facteur multiplicatif f_i	Tableau 3	kV/kA	0,069
Tension crête initiale u_i	A.22	kV	3,1
Chute de tension dans le jeu de barres u_{i0}	A.23	kV	2,21
Inductance du jeu de barres L_B	A.24	µH	111
Première crête totale aux bornes du disjoncteur			
Coordonnée de temps de la première crête t_T	A.17a	µs	4,56
Contribution du côté alimentation u_S * à la TTR au temps t_T	A.20	kV	6,8
Tension de la première crête u_T	A.21	kV	38,8

A.4.3 Côté alimentation avec retard et côté ligne sans retard (L_{90} pour 245 kV, 50 kA, 50 Hz) – Calculs effectués en utilisant une méthode simplifiée

Paramètres	Équation	Paramètres d'essai	
		Unité	L90
Côté alimentation; fréquence industrielle (l'inductance du jeu de barre est négligée)	Même que dans A.4.1		
Côté ligne; fréquence industrielle	Même que dans A.4.1		
Paramètres de la TTR du côté ligne	Même que dans A.4.1		
Paramètres de la TTR du côté alimentation	Même que dans A.4.1		
Première crête totale aux bornes du disjoncteur			
Coordonnée de temps de la première crête t_T	A.17	µs	4,06
Contribution du côté alimentation u_S* à la TTR au temps t_T	A.18	kV	3,7
Tension de la première crête u_T	A.19	kV	35,7

A.4.2 Source side with ITRV, line side with time delay (L_{90} for 245 kV, 50 kA, 50 Hz)

Parameter	Equation	Test parameters	
		Unit	L_{90}
Power frequency source side	Same as in A.4.1		
Power frequency line side	Same as in A.4.1		
TRV parameters on line side	Same as in A.4.1		
TRV parameters on source side	Same as in A.4.1		
ITRV parameters on source side			
Time coordinate t_i	Table 3	µs	0,6
Multiplying factor f_i	Table 3	kV/kA	0,069
Initial peak voltage u_i	A.22	kV	3,1
Bus-bar voltage drop u_{i0}	A.23	kV	2,21
Bus inductance L_B	A.24	µH	111
Total first peak voltage across the circuit-breaker			
Time coordinate t_T to first peak	A.17a	µs	4,56
Source side contribution u_S* to TRV at time t_T	A.20	kV	6,8
First peak voltage u_T	A.21	kV	38,8

A.4.3 Source side with time delay, line side without time delay (L_{90} for 245 kV, 50 kA, 50 Hz) – Calculation carried out using a simplified method

Parameter	Equation	Test parameters	
		Unit	L_{90}
Power frequency source side (bus inductance neglected)	Same as in A.4.1		
Power frequency line side	Same as in A.4.1		
TRV parameters on line side	Same as in A.4.1		
TRV parameters on source side	Same as in A.4.1		
Total first peak voltage across the circuit-breaker			
Time coordinate t_T to first peak	A.17b	µs	4,06
Source side contribution u_S* to TRV at time t_T	A.18	kV	3,7
First peak voltage u_T	A.19	kV	35,7

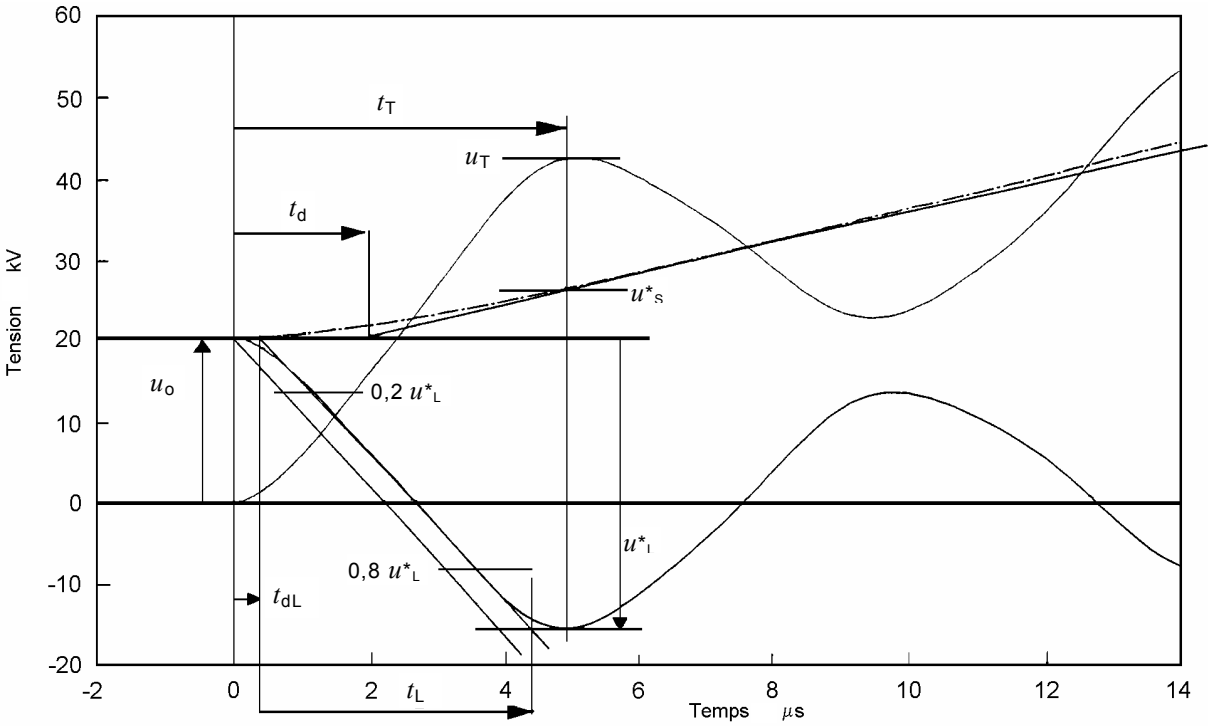


Figure A.1 – Graphique typique montrant des paramètres de TTR côté ligne et alimentation – Les TTR côté ligne et alimentation ont un temps de retard

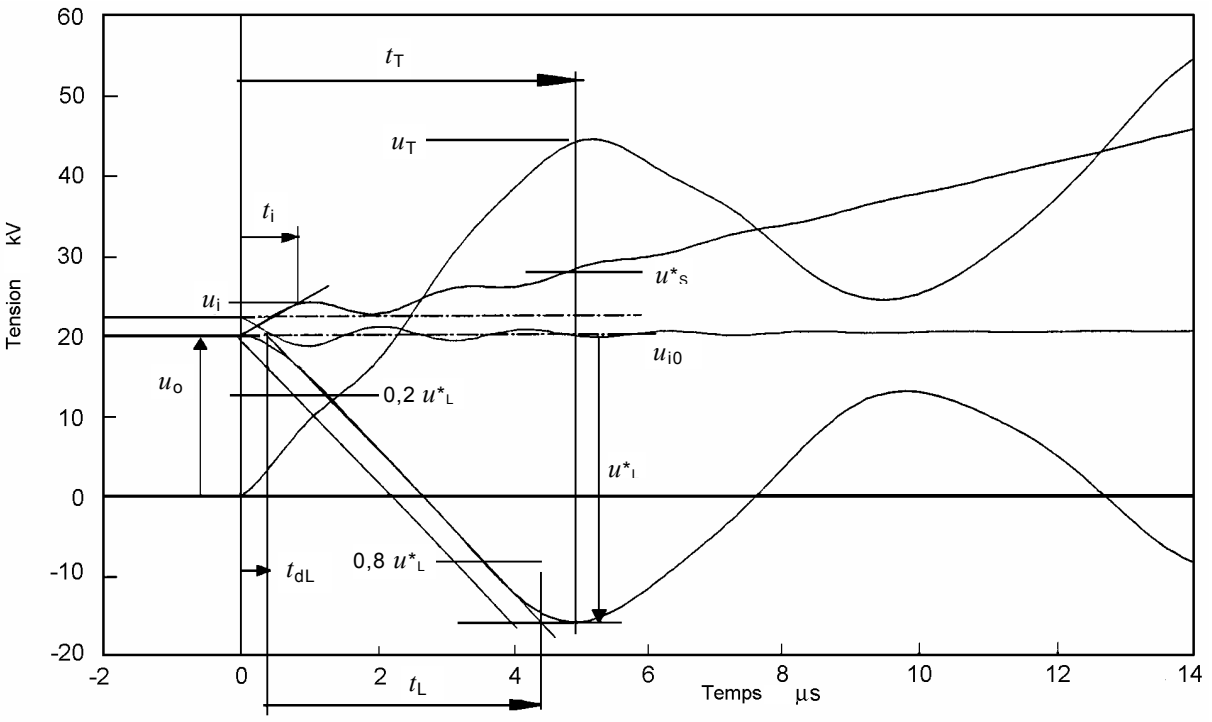


Figure A.2 – Graphique typique montrant les paramètres de TTR côté ligne et alimentation – Les TTR côté ligne et alimentation ont un temps de retard, la TTR côté alimentation a une TTRI

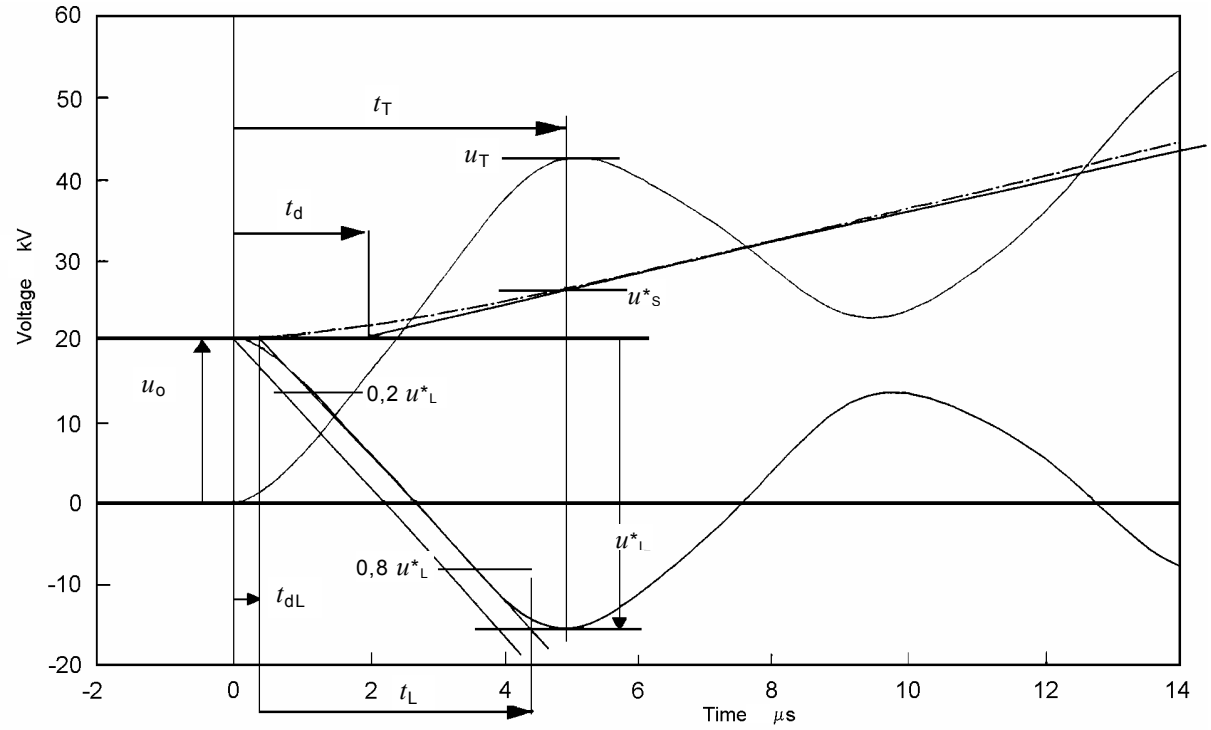


Figure A.1 – Typical graph of line and source side TRV parameters – Line side and source side with time delay

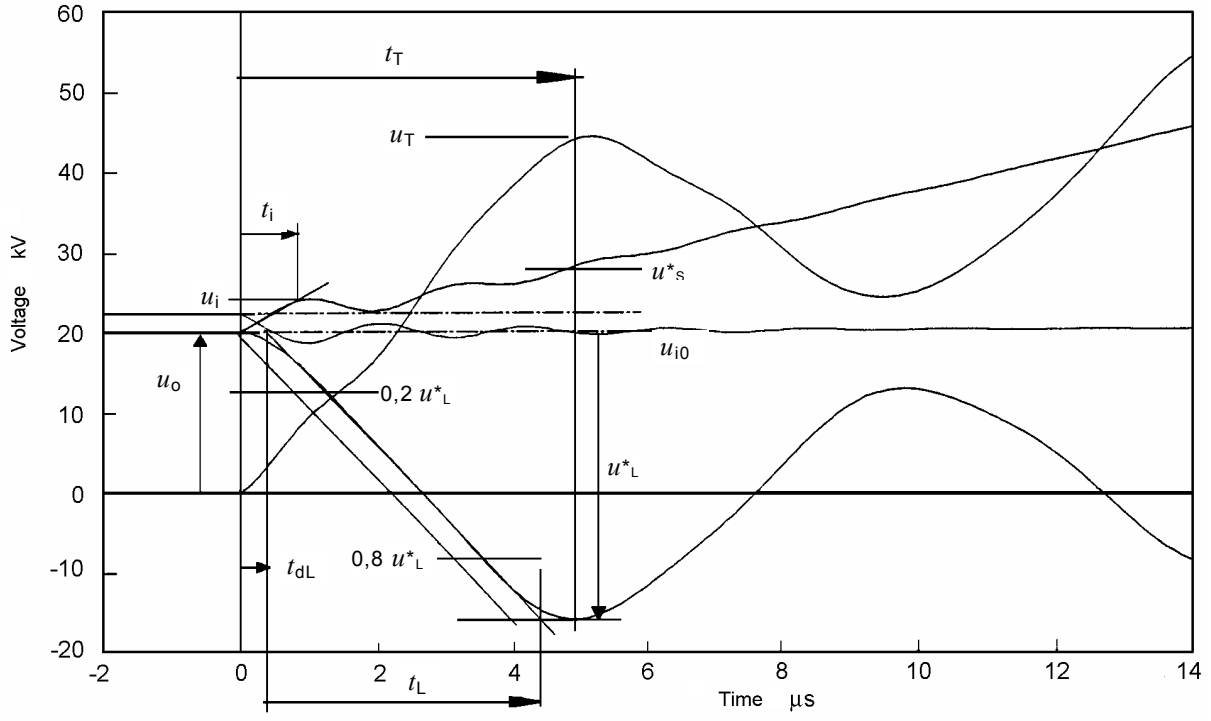


Figure A.2 – Typical graph of line and source side TRV parameters – Line side and source side with time delay, source side with ITRV

Annexe B
(normative)

Tolérances sur les paramètres d'essais lors des essais de type

Durant les essais de type, les types de tolérances suivantes peuvent être normalement distingués:

– tolérances sur les paramètres d'essais qui déterminent directement les contraintes appliquées à l'objet d'essais;
– tolérances sur les caractéristiques et sur le comportement de l'objet d'essais avant et après un essai;
– tolérances sur les conditions d'essais;
– tolérances sur les paramètres des dispositifs de mesure qui seront utilisés.

Dans le tableau B.1, seules les tolérances sur les paramètres d'essais ont été considérées.

Une tolérance est définie comme étant l'intervalle de la valeur d'essai spécifiée dans cette norme à l'intérieur duquel il convient que la valeur mesurée en essai se trouve pour que l'essai soit valable. Dans certains cas (voir 6.105.5 et tableau 15), l'essai peut rester valable même si la valeur mesurée est hors tolérance.

Tout écart dû à l'imprécision de la mesure sur la valeur mesurée durant l'essai par rapport à la valeur réelle n'est pas pris en considération.

Les règles de base pour l'application des tolérances sur les paramètres d'essais durant les essais de type sont les suivantes:

a) les stations d'essais doivent tenter, dans la mesure du possible, d'obtenir les valeurs d'essais spécifiées;
b) les tolérances spécifiées sur les paramètres d'essais doivent être respectées par les stations d'essais. Des contraintes plus élevées que celles données par les tolérances spécifiées peuvent être appliquées au disjoncteur seulement avec le consentement du constructeur. Des contraintes moins élevées rendent l'essai invalide;
c) lorsque cette norme, ou la norme applicable, ne donne aucune tolérance sur un paramètre d'essais, les essais de type doivent être réalisés à des valeurs pas moins sévères que celles spécifiées. La limite supérieure des contraintes est sujette au consentement du constructeur;
d) si pour n'importe quel paramètre d'essais, seulement une limite est donnée, alors l'autre limite est considérée comme étant le plus près possible de la valeur spécifiée.

Annex B
(normative)

Tolerances on test quantities during type tests

During type tests, the following types of tolerances may normally be distinguished:

– tolerances on test quantities which directly determine the stress of the test object;
– tolerances concerning features or the behaviour of the test object before and after the test;
– tolerances on test conditions;
– tolerances concerning parameters of measurement devices to be applied.

In the following table B.1, only tolerances on test quantities are considered.

A tolerance is defined as the range of the test value specified in this standard within which the measured test value should lie for a test to be valid. In certain cases (see 6.105.5 and table 15) the test may remain valid even if the measured value falls outside the tolerance.

Any deviation of the measured test value and the true test value caused by the uncertainty of the measurement are not taken into account in this respect.

The basic rules for application of tolerances on test quantities during type tests are as follows:

a) testing stations shall aim wherever possible for the test values specified;
b) the tolerances on test quantities specified shall be observed by the testing station. Higher stresses of the circuit-breaker exceeding those tolerances are permitted only with the consent of the manufacturer. Lower stresses render the test invalid;
c) where, for any test quantity, no tolerance is given within this standard, or the standard to be applied, the type test shall be performed at values not less severe than specified. The upper stress limits are subject to the consent of the manufacturer;
d) if, for any test quantity, only one limit is given, the other limit shall be considered to be as close as possible to the specified value.

Tableau B.1 – Tolérances sur les paramètres d'essais lors des essais de type

Paragraphe	Identification de l'essai	Paramètre d'essais	Valeur d'essais spécifiée	Tolérance d'essais/limites des valeurs d'essais	Référence à
6.2	Essais diélectriques				
6.2.6.1 et 6.2.7.1	Essais de tension à fréquence industrielle	Tension d'essais (valeur efficace)	Tension de tenue assignée de courte durée à fréquence industrielle	± 1 %	CEI 60694, CEI 60060
		Fréquence	--	45 Hz à 65 Hz	CEI 60060
		Forme d'onde	Valeur de crête/valeur efficace = $\sqrt{2}$	± 5 %	
6.2.6.2 et 6.2.7.3	Essais de tension de choc de foudre	Valeur crête	Tension de tenue assignée aux chocs de foudre	± 3 %	
		Durée du front	1,2 µs	± 30 %	
		Durée jusqu'à la mi-valeur	50 µs	± 20 %	
6.2.7.2	Essais à la tension de choc de manœuvre	Valeur de crête	Tension de tenue assignée aux chocs de manœuvre	± 3 %	
		Durée du front	250 µs	± 20 %	
		Durée jusqu'à la mi-valeur	2 500 µs	± 60 %	
6.2.11	Essais de tension pour vérification de l'état utilisant une onde de surtension de manœuvre normale				
		Valeur de crête de la surtension de manœuvre	Voir 6.2.11	± 3 %	CEI 60060
		Durée du front	250 µs	± 20 %	
		Durée jusqu'à la mi-valeur	2 500 µs	± 60 %	
	Utilisation d'un circuit de TTR de T10	Valeur de crête de la surtension de manœuvre	Voir 6.2.11	± 3 %	
		Temps à la crête	Valeur normalisée pour T10 (voir tableau 14)	$^{+200}_{-10}$ %	
6.3	Essais de tension de perturbation radioélectrique	Tension d'essais	Voir 6.3 de CEI 60694	± 1 %	CEI 60060
6.4	Mesure de la résistance du circuit principal	Courant d'essais c.c., I_{DC}	--	50 A ≤ I_{DC} ≤ courant assigné en service continu	CEI 60694

Table B.1 – Tolerances on test quantities for type tests

Subclause	Designation of the test	Test quantity	Specified test value	Test tolerances/ limits of test values	Reference to
6.2	Dielectric tests				
6.2.6.1 and 6.2.7.1	Power-frequency voltage tests	Test voltage (r.m.s. value)	Rated short-duration power-frequency withstand voltage	± 1 %	IEC 60694, IEC 60060
		Frequency	--	45 Hz to 65 Hz	IEC 60060
		Wave shape	Peak value / r.m.s. value = $\sqrt{2}$	± 5 %	
6.2.6.2 and 6.2.7.3	Lightning impulse voltage tests	Peak value	Rated lightning impulse withstand voltage	± 3 %	
		Front time	1,2 µs	± 30 %	
		Time to half-value	50 µs	± 20 %	
6.2.7.2	Switching impulse voltage tests	Peak value	Rated switch impulse withstand voltage	± 3 %	
		Front time	250 µs	± 20 %	
		Time to half-value	2 500 µs	± 60 %	
6.2.11	Voltage test as condition check using standard switching impulse voltage				
		Peak value of switching impulse voltage	See 6.2.11	± 3 %	IEC 60060
		Front time	250 µs	± 20 %	
		Time of half-value	2 500 µs	± 60 %	
	Using TRV circuit of T10	Peak value of switching impulse voltage	See 6.2.11	± 3 %	
		Time to peak	Standard value for T10 (see table 14)	$^{+200}_{-10}$ %	
6.3	Radio interference voltage tests	Test voltage	See 6.3 of IEC 60694	± 1 %	IEC 60060
6.4	Measurement of the resistance of the main circuit	DC test current I_{DC}	--	50 A ≤ I_{DC} ≤ rated normal current	IEC 60694

Tableau B.1 *(suite)*

Paragraphe	Identification de l'essai	Paramètre d'essais	Valeur d'essais spécifiée	Tolérance d'essais/limites des valeurs d'essais	Référence à
6.5	Essais d'échauffement	Vitesse de l'air ambiant	--	≤0,5 m/s	CEI 60694
		Fréquence du courant d'essais	Fréquence assignée	$^{+2}_{-5}$ %	
		Courant d'essais	Courant assigné en service continu	$^{+2}_{0}$ % Ces limites doivent être observées seulement durant les deux dernières heures d'essai.	
		Température de l'air ambiant T	--	+ 10 °C < T < 40 °C	
6.6	Essais au courant de courte durée et à la valeur crête du courant admissible	Fréquence du courant d'essais	Fréquence assignée	± 10 %	CEI 60694
		Courant crête (dans une des phases extérieures)	Valeur de crête du courant admissible assigné	$^{+5}_{0}$ %	
		Moyenne de la composante c.a. du courant lors d'un essai en triphasé	Courant de courte durée admissible assigné	± 5 %	
		Composante c.a. du courant dans n'importe quel phase/valeur moyenne du courant	1	± 10 %	
		Durée du courant de court-circuit	Durée de court-circuit assignée	Voir tolérances pour I^2t	
		Valeur du I^2t	Valeur I^2t assignée	$^{+10}_{0}$ %	
6.101.3	Essais à haute et à basse températures	Variation de la température de l'air ambiant le long de la hauteur de l'objet d'essais	--	≤ 5 K	
		Température de l'air ambiant pour l'enregistrement des caractéristiques avant l'essai	20 °C	± 5 K	
		Températures maximales et minimales de l'air ambiant durant les essais	Selon la classe du disjoncteur (voir CEI 60694)	± 3 K	
6.101.4	Essais d'humidité	Température minimale pour un cycle	25 °C	± 3 K	
		Température maximale pour un cycle	40 °C	± 2 K	
6.101.6	Guide pour l'essai avec efforts statiques sur les bornes	Forces	Tel que spécifié en 6.101.6	$^{+10}_{0}$ %	

Table B.1 *(continued)*

Subclause	Designation of the test	Test quantity	Specified test value	Test tolerances/ limits of test values	Reference to
6.5	Temperature-rise tests	Ambient air velocity	--	≤ 0,5 m/s	IEC 60694
		Test current frequency	Rated frequency	$^{+2}_{-5}$ %	
		Test current	Rated normal current	$^{+2}_{0}$ % These limits shall be kept only for the last two hours of the testing period.	
		Ambient air temperature T	--	+ 10 °C < T < 40 °C	
6.6	Short-time withstand current and peak withstand current tests	Test frequency	Rated frequency	± 10 %	IEC 60694
		Peak current (in one of the outer phases)	Rated peak withstand current	$^{+5}_{0}$ %	
		Average of a.c. component of three-phase test current	Rated short-time withstand current	± 5 %	
		AC component of test current in any phase/average	1	± 10 %	
		Short-circuit current duration	Rated short-circuit duration	See tolerances for I^2t	
		Value of I^2t	Rated value I^2t	$^{+10}_{0}$ %	
6.101.3	Low and high temperature tests	Deviation of ambient air temperature over height of test object	--	≤ 5 K	
		Ambient air temperature for recording characteristics before test	20 °C	± 5 K	
		Minimum and maximum ambient air temperature during tests	According to class of circuit-breaker (see IEC 60694)	± 3 K	
6.101.4	Humidity test	Minimum temperature of a cycle	25 °C	± 3 K	
		Maximum temperature of a cycle	40 °C	± 2 K	
6.101.6	Guide for static terminal load test	Forces	As specified in 6.101.6	$^{+10}_{0}$ %	

Tableau B.1 *(suite)*

Paragraphe	Identification de l'essai	Paramètre d'essais	Valeur d'essais spécifiée	Tolérance d'essais/limites des valeurs d'essais	Référence à
6.102	Dispositions diverses pour les essais d'établissement, de coupure et de manœuvre	Durée d'arc maximale à contrôler Durée d'arc moyenne à contrôler	Valeur d'essais spécifiée	± 0,5 ms ± 1 ms	
6.103	Circuits d'essais pour les essais d'établissement et de coupure en court-circuit	Facteur de puissance (valeur moyenne)	--	≤ 0,15	
		Facteur de puissance dans n'importe quelle phase/valeur moyenne	--	± 25 %	
		Fréquence	Fréquence assignée	± 8 %	
6.104	Caractéristiques pour les essais de court-circuit				
6.104.1	Tension appliquée avant les essais d'établissement en court-circuit	Tension appliquée	Voir 6.104.1	$^{+10}_{0}$ %	
		Tension appliquée sur chaque phase/valeur moyenne (trois phases)	1	± 5 %	
6.104.3	Courant coupé en court-circuit	Composante c.a. dans n'importe quelle phase/valeur moyenne	1	± 10 %	
		Composante c.a. du courant présumé à l'extinction finale de l'arc dans le dernier pôle à interrompre	Courant coupé spécifié pour la séquence d'essais applicable	≥ 90 %	
6.104.4	Composante apériodique du courant coupé en court-circuit	Composante c.c. pour T10, T30, T60, T100s	-- Pour les disjoncteurs dont l'ouverture ne peut être contrôlée	≤ 20 % ≥ 20 %	
		Composante c.c. pour T100a	Voir 6.104.2	≥ 90 % de la valeur spécifiée	
		Valeur moyenne de la composante c.c. pour T100a	Courant coupé (voir 6.401.2)	≥ 100 % de la valeur spécifiée	
6.104.5	Tension transitoire de rétablissement (TTR) pour les essais de défauts aux bornes	Valeur crête de la TTR: - pour disjoncteurs ≤ 52 kV - pour disjoncteurs > 52 kV	 Voir tableaux 26 et 27 Voir tableaux 26, 27 et 14	 $^{+10}_{0}$ % $^{+5}_{0}$ %	
		Vitesse d'accroissement de la TTR: - pour disjoncteurs ≤ 52 kV - pour disjoncteurs > 52 kV	 Voir tableaux 26 et 27 Voir tableaux 26, 27 et 14	 $^{+15}_{0}$ % [1)] $^{+8}_{0}$ %	
		Retard t_d	Voir tableaux 26, 27 et 14	± 20 %	

Table B.1 *(continued)*

Subclause	Designation of the test	Test quantity	Specified test value	Test tolerances/ limits of test values	Reference to
6.102	Miscellaneous provisions for making, breaking and switching tests	Maximum arcing time to be controlled Medium arcing time to be controlled	Specified test value	± 0,5 ms ± 1 ms	
6.103	Test circuits for short circuit making and breaking tests	Power factor (average)	--	≤ 0,15	
		Power factor of any phase / average	--	± 25 %	
		Frequency	Rated frequency	± 8 %	
6.104	Short-circuit test quantities				
6.104.1	Applied voltage before short-circuit making tests	Applied voltage	See 6.104.1	$^{+10}_{0}$ %	
		Applied phase voltage / average (three-phase)	1	± 5 %	
6.104.3	Short-circuit breaking current	AC component of any phase / average	1	± 10 %	
		AC component of the prospective current at final arc extinction in last-pole-to-clear	Specified breaking current for the relevant test-duty	≥ 90 %	
6.104.4	DC component of short-circuit breaking current	DC component in T10, T30, T60, T100s	-- For circuit-breakers preventing controlled opening	≤ 20 % ≥ 20 %	
		DC component in T100a	See 6.104.2	≥ 90 % of specified value	
		Average d.c. component T100a	Breaking current (see 6.401.2)	≥ 100 % of specified value	
6.104.5	Transient recovery voltage (TRV) for terminal fault tests	Peak value of TRV: - for circuit-breakers ≤ 52 kV - for circuit-breakers > 52 kV	 See tables 26 and 27 See tables 26, 27 and 14	 $^{+10}_{0}$ % $^{+5}_{0}$ %	
		Rate of rise of TRV: - for circuit-breakers ≤ 52 kV - for circuit-breakers > 52 kV	 See table 26 and 27 See tables 26, 27 and 14	 $^{+15}_{0}$ % [1)] $^{+8}_{0}$ %	
		Time delay t_d	See tables 26, 27 and14	± 20 %	

Tableau B.1 *(suite)*

Paragraphe	Identification de l'essai	Paramètre d'essais	Valeur d'essais spécifiée	Tolérance d'essais/limites des valeurs d'essais	Référence à
6.104.7	Tension de rétablissement à fréquence industrielle (TR)	Tension de rétablissement à fréquence industrielle	Valeurs spécifiées en 6.104.7	± 5 %	
		TR de n'importe quel pôle à la fin de l'application/valeur moyenne	1	± 20 %	
6.106	Séquences d'essais de court-circuit fondamentales	Courant coupé pour T10	10 % du courant de court-circuit assigné	± 20 %	
		Courant coupé pour T30	30 % du courant de court-circuit assigné	± 20 %	
		Courant coupé pour T60	60 % du courant de court-circuit assigné	± 10 %	
		Courant coupé pour T100s et T100a	100 % du courant de court-circuit assigné	$^{+5}_{0}$ %	
		Courant de court-circuit crête pour T100s et T100a	Pouvoir de fermeture assigné en court-circuit	$^{+10}_{0}$ %	
		Composante c.c. du courant coupé pour T10, T30, T60, T100s	≤ 20 %, voir exceptions en 6.104.4	Limite supérieure 25 %	
		Composante c.c. du courant coupé pour T100a	Conformément à 4.101.2	Moyenne de la composante c.c. des essais individuels pas inférieure à la valeur spécifiée; tolérance des essais individuels –10 % (une fois), +5 %	
6.107	Essais au courant critique	Courant coupé	Voir 6.107.2	± 20 %	
		Composante c.c. du courant coupé	≤ 20 %	Limite supérieure 25 %	
6.108	Essais de défaut monophasé ou biphasé à la terre	Courant coupé	Voir figure 45	$^{+5}_{0}$ %	
		Composante apériodique du courant coupé	≤ 20 %	Limite supérieure 25 %	
		Valeur crête de la TTR: - pour disjoncteurs ≤ 52 kV - pour disjoncteurs > 52 kV	Voir 6.108.2 et tableaux 13 et 14	 $^{+10}_{0}$ % $^{+5}_{0}$ %	
		Vitesse d'accroissement de la TTR: - pour disjoncteurs ≤ 52 kV - pour disjoncteurs > 52 kV	Voir 6.108.2 et tableaux 13 et 14	 $^{+15}_{0}$ % $^{+8}_{0}$ %	

Table B.1 *(continued)*

Subclause	Designation of the test	Test quantity	Specified test value	Test tolerances/ limits of test values	Reference to
6.104.7	Power frequency recovery voltage (RV)	Power frequency recovery voltage	Specified values according to 6.104.7	± 5 %	
		RV of any pole at the end of the time / average	1	± 20 %	
6.106	Basic short-circuit test-duty	Breaking current in T10	10 % of rated short-circuit breaking current	± 20 %	
		Breaking current in T30	30 % of rated short-circuit breaking current	± 20 %	
		Breaking current in T60	60 % of rated short-circuit breaking current	± 10 %	
		Breaking current in T100s and T100a	100 % of rated s.-c. breaking current	$^{+5}_{0}$ %	
		Peak short-circuit current in T100s and T100a	Rated short-circuit making current	$^{+10}_{0}$ %	
		DC component of breaking current in T10, T30, T60, T100s	≤ 20 %, exceptions see 6.104.4	Upper limit 25 %	
		DC component of breaking current in T100a	According to 4.101.2	Average of the d.c components of the individual tests not less than the specified value; tolerance of the individual tests –10 % (once), +5 %	
6.107	Critical current tests	Breaking current	See 6.107.2	± 20 %	
		DC component of breaking current	≤ 20 %	Upper limit 25 %	
6.108	Single-phase and double earth fault tests	Breaking current	See figure 45	$^{+5}_{0}$ %	
		DC component of breaking current	≤ 20 %	Upper limit 25 %	
		Peak value of TRV: - for circuit-breakers ≤ 52 kV - for circuit-breakers > 52 kV	See 6.108.2 and tables 13 and 14	 $^{+10}_{0}$ % $^{+5}_{0}$ %	
		Rate of rise of TRV – for circuit-breakers ≤ 52 kV – for circuit-breakers > 52 kV	See 6.108.2 and tables 13 and 14	 $^{+15}_{0}$ % $^{+8}_{0}$ %	

Tableau B.1 *(suite)*

Paragraphe	Identification de l'essai	Paramètre d'essais	Valeur d'essais spécifiée	Tolérance d'essais/limites des valeurs d'essais	Référence à
6.109	Essais de défaut proche en ligne	Composante c.c. du courant coupé	≤ 20 %	Limite supérieure 25 %	
		Courant coupé pour L_{90}	90 % du courant de court-circuit assigné	90 % à 92 %	
		Courant coupé pour L_{75}	75 % du courant de court-circuit assigné	71 % à 79 %	
		Courant coupé pour L_{60}	60 % du courant de court-circuit assigné	55 % à 65 %	
		Impédance d'onde	450 Ω	± 3 %	
		Valeur crête de la tension côté ligne		$^{+20}_{0}$ %	
		Vitesse d'accroissement de la tension côté ligne	Voir tableau 4 et annexe A	$^{+5}_{0}$ %	
		Retard t_{dl}		$^{0}_{-10}$ %	
6.110	Essais d'établissement et de coupure en discordance de phases	Facteur de puissance	--	≤ 0,15	
		Composante c.c. du courant coupé	≤ 20 %	Limite supérieure 25 %	
		Tension appliquée et tension de rétablissement à fréquence industrielle	Telles que spécifiées en 6.110.2	± 5 %	
		Valeur crête de la TTR:			
		- pour disjoncteurs ≤ 52 kV	Voir tableaux 24 et 25	$^{+10}_{0}$ %	
		- pour disjoncteurs > 52 kV	Voir tableaux 24, 25, 1b et 1c	$^{+5}_{0}$ %	
		Vitesse d'accroissement de la TTR:			
		- pour disjoncteurs ≤ 52 kV	Voir tableaux 24 et 25	$^{+15}_{0}$ %	
		- pour disjoncteurs > 52 kV	Voir tableaux 24, 25, 1b et 1c	$^{+8}_{0}$ %	
		Moment de la fermeture pour OP2	À la crête de la tension appliquée dans un pôle	± 15°	
		Courant coupé pour OP1	30 % du pouvoir de coupure assigné en discordance de phases	± 20 % de la valeur spécifiée	
		Courant coupé pour OP2	100 % du pouvoir de coupure assigné en discordance de phases	$^{+10}_{0}$ %	

Table B.1 *(continued)*

Subclause	Designation of the test	Test quantity	Specified test value	Test tolerances/ limits of test values	Reference to
6.109	Short-line fault tests	DC component of breaking current	≤ 20 %	Upper limit 25 %	
		Breaking current L_{90}	90 % of rated short-circuit breaking current	90 % to 92 %	
		Breaking current L_{75}	75 % of rated short-circuit breaking current	71 % to 79 %	
		Breaking current L_{60}	60 % of rated short-circuit breaking current	55 % to 65 %	
		Surge impedance	450 Ω	± 3 %	
		Peak value of line side voltage		$^{+20}_{0}$ %	
		Rate of rise of line side voltage	See table 4 and annex A	$^{+5}_{0}$ %	
		Time delay t_{dl}		$^{0}_{-10}$ %	
6.110	Out-of-phase making and breaking tests	Power factor	--	≤ 0,15	
		DC component of breaking current	≤ 20 %	Upper limit 25 %	
		Applied voltage and power frequency recovery voltage	As specified in 6.110.2	± 5 %	
		Peak value of TRV:			
		- for circuit-breakers ≤ 52 kV	See tables 24 and 25	$^{+10}_{0}$ %	
		- for circuit-breakers > 52 kV	See tables 24, 25, 1b and 1c	$^{+5}_{0}$ %	
		Rate of rise of TRV:			
		- for circuit-breakers ≤ 52 kV	See table 24 and 25	$^{+15}_{0}$ %	
		- for circuit-breakers > 52 kV	See tables 24, 25, 1b and 1c	$^{+8}_{0}$ %	
		Instant of closing in OP2	At crest of applied voltage in one pole	± 15°	
		Breaking current for OP1	30 % of rated out-of-phase breaking current	± 20 % of specified value	
		Breaking current for OP2	100 % of rated out-of-phase breaking current	$^{+10}_{0}$ %	

Tableau B.1 *(suite)*

Paragraphe	Identification de l'essai	Paramètre d'essais	Valeur d'essais spécifiée	Tolérance d'essais/limites des valeurs d'essais	Référence à
6.111	Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs	Variation de la tension à fréquence industrielle - pour LC1, CC1, BC1 - pour LC2, CC2, BC2		 ≤ 2 % ≤ 5 %	
		Décroissance de la tension de rétablissement 300 ms après l'extinction de l'arc		≤ 10 %	
		Valeur efficace du courant/valeur efficace du courant à la fréquence fondamentale	--	≤ 1,2	
		Tension d'essais	Telle que spécifiée en 6.111.7	$^{+3}_{0}$ %	
		Fréquence de la tension de rétablissement	Fréquence assignée	± 2 %	
		Courant coupé/pouvoir de coupure assigné de courants capacitifs	LC1, CC1, BC1 LC2, CC2, BC2	10 % à 40 % ≥ 100 %	
		Amortissement du courant d'appel	Disjoncteurs < 52 kV	≥ 0,75	
			Disjoncteurs ≥ 52 kV	≥ 0,85	
		Établissement et interruption de courants de batteries de condensateurs dos-à-dos: valeur crête du courant d'appel	BC2	± 10 %	
		Établissement et interruption de courants de batteries de condensateurs dos-à-dos: fréquence du courant d'appel	BC2	± 10 %	
Annexe M	Tension transitoire de rétablissement (TTR) pour T30, pour les disjoncteurs de tension assignée inférieure à 100 kV prévus pour être connectés à un transformateur par une liaison de faible capacitance	Valeur crête de la TTR	Voir Tableau M.1	$^{+10}_{0}$ %	
		Vitesse d'accroissement de la TTR		$^{+5}_{-10}$ %	

[1] Si pour T10 et T30 la limite supérieure est dépassée alors la plus petite valeur possible doit être utilisée.

NOTE Le paramètre le plus important pour les essais de défaut proche en ligne est la forme d'onde de la tension du côté ligne et non pas l'impédance d'onde de la ligne.

Table B.1 *(continued)*

Subclause	Designation of the test	Test quantity	Specified test value	Test tolerances/ limits of test values	Reference to
6.111	Capacitive current switching tests	Power frequency voltage variation: – for LC1, CC1, BC1 – for LC2, CC2, BC2		 ≤ 2 % ≤ 5 %	
		Voltage decay of recovery voltage 300 ms after arc extinction		≤ 10 %	
		R.m.s value / r.m.s. value of fundamental component	--	≤ 1,2	
		Test voltage	As specified in 6.111.7	$^{+3}_{0}$ %	
		Frequency of the recovery voltage	Rated frequency	± 2 %	
		Breaking current / rated capacitive breaking current	LC1, CC1, BC1 LC2, CC2, BC2	10 % to 40 % ≥ 100 %	
		Damping factor of inrush current	Circuit-breakers < 52 kV	≥ 0,75	
			Circuit-breakers ≥ 52 kV	≥ 0,85	
		Back-to-back current switching: peak value of inrush making current	BC2	± 10 %	
		Back-to-back current switching: frequency of inrush making current	BC2	± 10 %	
Annex M	Transient recovery voltage (TRV) for T30, for circuit-breakers of rated voltage less than 100 kV intended to be connected to a transformer with a connection of small capacitance	Peak value of TRV	See Table M.1	$^{+10}_{0}$ %	
		Rate of rise of TRV		$^{+5}_{-10}$ %	

[1] If for T10 and T30 the upper limit is exceeded, the smallest value possible shall be used.

NOTE The priority parameter for short-line fault testing is the waveshape of the line side voltage and not the surge impedance of the line.

Annexe C
(normative)

Enregistrement et comptes rendus des essais de type

C.1 Renseignements et résultats à enregistrer

Toutes les informations utiles et résultats concernant les essais de type doivent être contenus dans le compte rendu d'essais de type.

Des enregistrements oscillographiques, conformément aux prescriptions de C.2, doivent être faits pour toutes les manœuvres en court-circuit et doivent être inclus dans le compte rendu d'essais de type.

Le compte rendu d'essais de type doit inclure une déclaration relative à l'incertitude des systèmes de mesure utilisés pour les essais. Cette déclaration doit se référer aux procédures internes du laboratoire avec lesquelles le suivi de l'incertitude de mesure est effectué.

Le compte rendu d'essais de type doit préciser comment s'est comporté le disjoncteur pendant chaque séquence d'essais et l'état du disjoncteur après chaque séquence d'essais, dans la mesure où un examen est effectué à ce stade, et à la fin des séries de séquences d'essais. Ce relevé doit comprendre les points suivants:

a) état du disjoncteur donnant le détail de tous les remplacements et réglages faits, ainsi que l'état des contacts, des dispositifs de contrôle de l'arc, de l'huile (y compris la quantité perdue) et l'indication de toutes détériorations aux écrans de protection de l'arc, enveloppes, supports isolants et traversées;
b) description du fonctionnement durant la séquence d'essais, y compris les observations concernant l'émission d'huile, de gaz ou de flammes.

C.2 Renseignements à fournir dans les comptes rendus

C.2.1 Généralités

a) date des essais;
b) référence au numéro du compte rendu;
c) numéros des essais;
d) numéros des oscillogrammes.

C.2.2 Appareillage essayé

Le paragraphe 6.1.3 de la CEI 60694 est applicable.

C.2.3 Caractéristiques assignées du disjoncteur, incluant celles des mécanismes d'entraînement et des équipements auxiliaire

Les valeurs des caractéristiques assignées spécifiées à l'article 4 ainsi que la durée d'ouverture minimale doivent être données par le constructeur.

Annex C
(normative)

Records and reports of type tests

C.1 Information and results to be recorded

All relevant information and results of type tests shall be included in the type test report.

Oscillographic records in accordance with C.2 shall be made of all short-circuit operations and included in the type test report.

The type test report shall include a statement concerning the uncertainty of the measurement systems used for the tests. This statement shall refer to internal procedures of the laboratory through which traceability of the measuring uncertainty is established.

The type test report shall include a statement of the performance of the circuit-breaker during each test-duty and of the condition of the circuit-breaker after each test-duty, in so far as an examination is made, and at the end of the series of test-duties. The statement shall include the following particulars:

a) condition of circuit-breaker, giving details of any replacements or adjustments made and condition of contacts, arc control devices, oil (including any quantity lost), statement of any damage to arc shields, enclosures, insulators and bushings;
b) description of performance during test-duty, including observations regarding emission of oil, gas or flame.

C.2 Information to be included in type test reports

C.2.1 General

a) date of tests;
b) reference of report number;
c) test numbers;
d) oscillogram numbers.

C.2.2 Apparatus tested

Subclause 6.1.3 of IEC 60694 is applicable.

C.2.3 Rated characteristics of circuit-breaker, including its operating devices and auxiliary equipment

The values of rated characteristics specified in clause 4 and the minimum opening time shall be given by the manufacturer.

C.2.4 Conditions de l'essai (pour chaque série d'essais)

a) nombre de pôles;
b) facteur de puissance;
c) fréquence, en hertz;
d) neutre du générateur (mis à la terre ou isolé);
e) neutre du transformateur (mis à la terre ou isolé);
f) point où est fait le court-circuit ou neutre du côté charge (mis à la terre ou isolé);
g) schéma du circuit d'essais y compris la ou les liaisons à la terre;
h) détails des raccordements du disjoncteur au circuit d'essais (par exemple orientation);
i) pression du fluide pour l'isolation et/ou l'interruption;
j) pression du fluide pour la manœuvre.

C.2.5 Essais d'établissement et de coupure en court-circuit

a) séquence de manœuvres et intervalles de temps;
b) tension appliquée, en kV;
c) courant établi (valeur de crête), en kA;
d) courant coupé:
   1) valeur efficace de la composante c.a., en kA, pour chacune des phases ainsi que la valeur moyenne;
   2) pourcentage de la composante c.c.;
e) tension de rétablissement à fréquence industrielle, en kV;
f) tension transitoire de rétablissement présumée;
   1) conformément à la prescription a) de 6.104.5.1; les tensions et les coordonnées de temps peuvent être indiquées;
   2) conformément à la prescription b) de 6.104.5.1;
g) durée d'arc, en millisecondes;
h) durée d'ouverture, en millisecondes;
i) durée de coupure, en millisecondes;

   Lorsqu'applicable, on indique les durées de coupure jusqu'à l'instant de l'extinction de l'arc principal et jusqu'à l'instant de la coupure du courant dans la résistance.
j) durée de fermeture, en millisecondes;
k) durée d'établissement, en millisecondes;
l) comportement du disjoncteur durant les essais, incluant, lorsqu'applicable, l'émission de flammes, gaz, huile ou l'occurrence de NSDD, etc.,
m) état après les essais;
n) pièces remplacées ou remises à neuf durant les essais.

C.2.6 Essai au courant de courte durée admissible

a) courant
   1) valeur efficace, en kA;
   2) valeur de crête, en kA;
b) durée, en secondes;

C.2.4 Test conditions (for each series of tests)

a) number of poles;
b) power factor;
c) frequency, in Hz;
d) generator neutral (earthed or isolated);
e) transformer neutral (earthed or isolated);
f) short-circuit point or load side neutral (earthed or isolated);
g) diagram of test circuit including connection(s) to earth;
h) details of connection of circuit-breaker to the test circuit (e.g. orientation);
i) pressure of fluid for insulation and/or interruption;
j) pressure of fluid for operation.

C.2.5 Short-circuit making and breaking tests

a) operating sequence and time intervals;
b) applied voltage, in kV;
c) making current (peak value), in kA;
d) breaking current:
    1) r.m.s. value of a.c. component in kA for each phase and average;
    2) percentage d.c. component;
e) power frequency recovery voltage, in kV;
f) prospective transient recovery voltage;
    1) compliance with requirement a) of 6.104.5.1; voltage and time coordinates may be quoted;
    2) compliance with requirement b) of 6.104.5.1;
g) arcing time, in ms;
h) opening time, in ms;
i) break time, in ms;

    Where applicable, break-times up to the instant of extinction of the main arc and up to the instant of the breaking of resistance current shall be given;
j) closing time, in ms;
k) make time, in ms;
l) behaviour of circuit-breaker during tests, including, where applicable, emission of flame, gas, oil or occurrence of NSDDs, etc;
m) condition after tests;
n) parts renewed or reconditioned during the tests.

C.2.6 Short-time withstand current test

a) current
    1) r.m.s. value, in kA,
    2) peak value, in kA;
b) duration, in s;

c) comportement du disjoncteur durant les essais;

d) état après les essais;

e) résistance du circuit principal avant et après les essais, en μΩ.

C.2.7 Manœuvre à vide

a) avant les essais d'établissement et de coupure (voir 6.102.6.1);

b) après les essais d'établissement et de coupure (voir 6.102.9.3).

C.2.8 Essais d'établissement et de coupure en discordance de phases

a) courant coupé dans chaque phase, en kA;

b) courant établi dans chaque phase, en kA;

c) tension aux bornes de chaque phase, en kV;

d) tension transitoire de rétablissement présumée;

e) durée d'arc, en millisecondes;

f) durée d'ouverture, en millisecondes;

g) durée de coupure, en millisecondes;

h) durée de fermeture, en millisecondes;

i) durée d'établissement, en millisecondes;

j) durée du courant dans la résistance (si applicable), en millisecondes;

k) comportement du disjoncteur durant les essais incluant, lorsqu'applicable, l'émission de flammes, gaz, huile ou l'occurrence de NSDD, etc.,

l) état après les essais.

C.2.9 Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs

a) tension d'essai, en kV;

b) courant coupé dans chaque phase, en A;

c) courant établi dans chaque phase, en kA;

d) valeurs crêtes de la tension entre phase et la terre, en kV:

   1) du côté alimentation du disjoncteur;

   2) du côté charge du disjoncteur;

e) nombre de réamorçages (s'il y en a);

f) détails concernant le réglage du déclenchement synchrone, durée d'arc en millisecondes;

g) durée de fermeture, en millisecondes;

h) durée d'établissement, en millisecondes;

i) comportement du disjoncteur pendant les essais;

j) état du disjoncteur après les essais.

C.2.10 Relevés oscillographiques et autres enregistrements

Les oscillogrammes doivent représenter la totalité de la manœuvre. Les grandeurs suivantes doivent être enregistrées. Certaines de ces grandeurs peuvent être enregistrées séparément et plusieurs oscillographes utilisant différentes échelles de temps peuvent être nécessaires:

c) behaviour of circuit-breaker during tests;

d) condition after tests;

e) resistance of the main circuit before and after tests, in μΩ.

C.2.7 No-load operation

a) before making and breaking tests (see 6.102.6.1);

b) after making and breaking tests (see 6.102.9.3).

C.2.8 Out-of-phase making and breaking tests

a) breaking current in each phase, in kA;

b) making current in each phase, in kA;

c) voltage across each phase, in kV;

d) prospective transient recovery voltage;

e) arcing time, in ms;

f) opening time, in ms;

g) break-time, in ms;

h) closing time, in ms;

i) make-time, in ms;

j) duration of resistor current (where applicable), in ms;

k) behaviour of circuit-breaker during tests including, where applicable, emission of flame, gas, oil or occurrence of NSDDs, etc;

l) condition after tests.

C.2.9 Capacitive current switching tests

a) test voltage, in kV;

b) breaking current in each phase, in A;

c) making current in each phase, in kA;

d) peak values of the voltage between phase and earth, in kV:

   1) supply side of circuit-breaker;

   2) load side of circuit-breaker;

e) number of restrikes (if any);

f) details of point-on-wave setting, arcing time in ms;

g) closing time, in ms;

h) make time, in ms;

i) behaviour of circuit-breaker during tests;

j) condition after tests.

C.2.10 Oscillographic and other records

Oscillograms shall record the whole of the operation. The following quantities shall be recorded. Certain of these quantities may be recorded separately from the oscillograms, and several oscillographs with different time scales may be necessary:

a) tension appliquée;

b) courant dans chaque pôle;

c) tension de rétablissement (tension du côté alimentation et du côté charge du disjoncteur pour les essais de courants capacitifs);

d) courant dans la bobine de fermeture;

e) courant dans la bobine d'ouverture;

f) échelles d'amplitude et de temps appropriées pour la précision demandée;

g) caractéristiques de déplacement mécanique (si applicable).

Tous les cas pour lesquels les prescriptions de cette norme ne sont pas strictement respectées et toutes les dérogations doivent être explicitement mentionnés au début du compte rendu d'essais.

a) applied voltage;

b) current in each pole;

c) recovery voltage (voltages on supply and load side of circuit-breaker for charging current tests);

d) current in closing coil;

e) current in opening coil;

f) amplitude and timing scale appropriate for the required accuracy;

g) mechanical travel characteristics (where applicable).

All cases in which the requirements of this standard are not strictly complied with and all deviations shall be explicitly mentioned at the beginning of the test report.

Annexe D
(normative)

Détermination du facteur de puissance d'un court-circuit

Il n'existe pas de méthode permettant de déterminer avec précision le facteur de puissance d'un court-circuit, mais pour l'application de cette norme, la détermination du facteur de puissance de chaque phase du circuit d'essai pourra être faite avec une précision suffisante en utilisant la plus appropriée des deux méthodes suivantes.

D.1 Méthode I – Détermination d'après la composante apériodique

L'angle φ (angle de phase entre le vecteur de tension et le vecteur de courant) peut être déterminé d'après la courbe de la composante apériodique de l'onde d'un courant asymétrique, entre l'instant d'initiation du court-circuit et l'instant de la séparation des contacts, comme indiqué ci-après:

D.1.1 Equation de la composante apériodique

L'équation de la composante apériodique est:

$$i_{\mathrm{d}} = I_{\mathrm{d0}} \times e^{-\frac{R}{L}t} = I_{\mathrm{d0}} \times e^{-\frac{t}{\tau}}$$

où

i_{d} est la valeur de la composante c.c. à tout instant;

I_{d0} est la valeur initiale de la composante apériodique;

$\tau = L/R$ est la constante de temps du circuit, en secondes;

t est l'intervalle de temps, en secondes, entre i_{d} et I_{d0};

e est la base des logarithmes népériens.

La constante de temps L/R peut être déterminée d'après la formule ci-dessus comme suit:

a) mesurer la valeur de I_{d0} au moment du court-circuit et la valeur de i_{d} à tout autre moment t, avant la séparation des contacts;

b) déterminer la valeur de $e^{-Rt/L}$ en divisant i_{d} par I_{d0};

c) d'après les valeurs e^{-x}, déterminer la valeur de $-x$ correspondant au rapport $i_{\mathrm{d}}/I_{\mathrm{d0}}$;

d) la valeur x représente alors Rt/L, *d'où* L/R peut être déterminée.

D.1.2 Angle de phase φ

Déterminer l'angle de phase φ selon

$$\varphi = \arctan\left(\omega \frac{L}{R}\right)$$

où ω est 2π fois la fréquence réelle.

Annex D
(normative)

Determination of short-circuit power factor

There is no method by which the short-circuit power factor can be determined with precision, but, for the purpose of this standard, the determination of the power factor in each phase of the test circuit may be made with sufficient accuracy by whichever of the two following methods is the more appropriate.

D.1 Method I – Calculation from d.c. component

The angle φ (phase angle between voltage vector and current vector) may be determined from the curve of the d.c. component of an asymmetrical current wave between the moment of short-circuit initiation and the moment of contact separation, as shown below:

D.1.1 Formula for the d.c. component

The formula for the d.c. component is as follows:

$$i_{\mathrm{d}} = I_{\mathrm{d0}} \times e^{-\frac{R}{L}t} = I_{\mathrm{d0}} \times e^{-\frac{t}{\tau}}$$

where

i_{d} is the value of the d.c. component at any instant;

I_{d0} is the initial value of the d.c. component;

$\tau = L/R$ is the time constant of the circuit, in seconds;

t is the time interval, in seconds, between i_{d} and I_{d0};

e is the base of Napierian logarithms.

The time constant L/R can be ascertained from the above formula as follows:

a) measure the value of I_{d0} at the instant of short-circuit and the value of i_{d} at any other time *t* before contact separation;

b) determine the value of $e^{-Rt/L}$ by dividing i_{d} by I_{d0};

c) from values of e^{-x} determine the value of $-x$ corresponding to the ratio $i_{\mathrm{d}}/I_{\mathrm{d0}}$;

d) the value x then represents Rt/L, from which L/R can be determined.

D.1.2 Phase angle φ

Determine the phase angle φ from:

$$\varphi = \arctan\left(\omega \frac{L}{R}\right)$$

where ω is 2π times the actual frequency.

D.2 Méthode II – Détermination avec un générateur pilote

Lorsqu'un générateur pilote est monté sur le même arbre que celui du générateur d'essais, la tension du générateur pilote peut être comparée sur l'oscillogramme, du point de vue de l'angle de phase, d'abord avec celle du générateur d'essais et ensuite avec le courant du générateur d'essais.

La différence d'angle de phase entre la tension du générateur pilote et celle du générateur principal d'une part, et entre la tension du générateur pilote et le courant du générateur principal d'autre part, donne l'angle de phase entre la tension et le courant du générateur d'essai, à partir duquel on peut déterminer le facteur de puissance.

D.2 Method II – Determination with pilot generator

When a pilot generator is used on the same shaft as the test generator the voltage of the pilot generator on the oscillogram may be compared in phase, first with the voltage of the test generator and then with the current of the test generator.

The difference between the phase angles between pilot generator voltage and main generator voltage on the one hand, and pilot generator voltage and test generator current on the other hand gives the phase angle between the voltage and current of the test generator, from which the power factor can be determined.

Annexe E
(normative)

Méthode de tracé de l'enveloppe de la tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit et détermination des paramètres représentatifs

E.1 Introduction

Une onde de tension transitoire de rétablissement peut se présenter sous différentes formes, aussi bien oscillatoires que non oscillatoires.

L'onde peut être définie au moyen d'une enveloppe constituée de trois segments de droite consécutifs; lorsque l'onde correspond sensiblement à une oscillation amortie à une seule fréquence, l'enveloppe, elle-même, se réduit à deux segments de droite consécutifs. Dans tous les cas, il convient que l'enveloppe reflète d'aussi près que possible la forme réelle de la tension transitoire de rétablissement. La méthode décrite ici permet d'atteindre ce résultat dans la majorité des cas pratiques avec une approximation suffisante.

NOTE Néanmoins, on peut rencontrer certains cas pour lesquels la construction proposée conduirait à des paramètres manifestement plus sévères que la représentation par une courbe de la tension transitoire de rétablissement. En principe, de tels cas sont considérés comme des exceptions et, en conséquence, font l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur ou le laboratoire d'essais.

E.2 Tracé de l'enveloppe

La méthode suivante est utilisée pour construire les segments de droite formant l'enveloppe de la courbe de la tension transitoire de rétablissement présumée.

a) Le premier segment de droite passe par l'origine O, est tangent à la courbe et ne coupe pas (voir figures E.1 à E.3, segment OB et figure E.4, segment OA).

   Dans le cas de courbes dont la partie initiale présente une concavité vers la gauche, le point de contact est souvent au voisinage de la première crête (voir figures E.1 et E.2, segment OB).

   Si la concavité est vers la droite, comme dans le cas d'une courbe exponentielle, le point de contact est au voisinage de l'origine (voir figure E.3, segment OB).

b) Le deuxième segment de droite est une ligne horizontale tangente à la courbe au point correspondant à la crête la plus élevée (voir figures E.1 à E.4, segment AC).

c) Le troisième segment de droite est tangent à la courbe en un ou plusieurs points situés entre les deux premiers points de contact et ne coupe pas la courbe.

   Trois cas peuvent se présenter pour le tracé de ce dernier segment de droite.

   1) On peut tracer un seul segment qui touche la courbe en deux points (ou, éventuellement, en plus que deux points).

      Dans ce cas, il fait partie de l'enveloppe (voir figure E.1, segment BA).

      On obtient ainsi l'enveloppe à quatre paramètres O, B, A, C.

   2) On peut tracer plusieurs segments susceptibles de toucher la courbe en deux points (ou, éventuellement, en plus de deux points) sans la couper.

      Dans ce cas, le segment à utiliser pour former l'enveloppe est celui qui touche la courbe en un seul point situé de telle façon que les aires de chaque côté de ce point, comprises entre la courbe et l'enveloppe, soient sensiblement égales (voir figure E.2, segment BA).

      On obtient ainsi l'enveloppe à quatre paramètres O, B, A, C.

Annex E
(normative)

Method of drawing the envelope of the prospective transient recovery voltage of a circuit and determining the representative parameters

E.1 Introduction

A transient recovery voltage wave may assume different forms, both oscillatory and non-oscillatory.

The wave may be defined by means of an envelope made up of three consecutive line segments; when the wave approaches that of a damped oscillation at one single frequency, the envelope resolves itself into two consecutive line segments. In all cases, the envelope should reflect as closely as possible the actual shape of the transient recovery voltage. The method described here enables this aim to be achieved in the majority of practical cases with sufficient approximation.

NOTE Nevertheless, some cases may arise where the proposed construction would lead to parameters quite obviously more severe than would be justified by the transient recovery voltage curve. Such cases should be dealt with as exceptions and, as a consequence, form the subject of an agreement between the manufacturer and user or the test laboratory.

E.2 Drawing the envelope

The following method is used for constructing the line segments forming the envelope of the prospective transient recovery voltage curve.

a) The first line segment passes through the origin O, is tangential to the curve and does not cut the curve (see figures E.1 to E.3, segment OB and figure E4, segment OA).

   In the case of curves whose initial portion is concave towards the left, the point of contact is often in the vicinity of the first peak (see figures E.1 and E.2, segment OB).

   If the concavity is towards the right, as in the case of an exponential curve, the point of contact is near the origin (see figure E.3, segment OB).

b) The second line segment is a horizontal line tangential to the curve at its highest peak (see figures E.1 to E.4, segment AC).

c) The third line segment is tangential to the curve at one or more points situated between the first two points of contact, and does not cut the curve.

   There are three possible cases for drawing this latter line segment.

   1) One single line segment can be drawn touching the curve at two points (or possibly at more than two points).

      In this case, it forms part of the envelope (see figure E.1, segment BA).

      The four-parameter envelope O, B, A, C, is then obtained.

   2) Several segments can be drawn which touch the curve at two points (or possibly at more than two points) without cutting it.

      In this case, the segment to be used for the envelope is that which touches the curve at one point only, situated so that the areas on either side of this point between the curve and the envelope are approximately equal (see figure E.2, segment BA).

      The four-parameter envelope O, B, A, C is then obtained.

3) On ne peut tracer aucun segment susceptible de toucher la courbe en plus d'un point sans la couper.

   Dans ce cas, il convient de faire la distinction suivante.

   i) Le point de contact du premier segment de droite et la crête la plus élevée sont relativement éloignés l'un de l'autre. C'est le cas typique d'une courbe exponentielle ou d'une courbe approximativement exponentielle.

      Dans ce cas, le segment de droite doit être tangent à la courbe en un point tel que les aires de part et d'autres de ce point, comprises entre la courbe et l'enveloppe, soient approximativement égales comme pour le cas c) 2) (voir figure E.3, segment BA).

      On obtient ainsi l'enveloppe à quatre paramètres O, B, A, C.

   ii) Le point de contact du premier segment de droite et la crête la plus élevée sont relativement voisins l'un l'autre.

      C'est le cas d'une courbe représentant une oscillation amortie à une seule fréquence ou d'une courbe de forme similaire.

      Dans ce cas, on ne trace pas un troisième segment de droite et on adopte une représentation par deux paramètres correspondant aux deux premiers segments de droite (voir figure E.4).

      On obtient ainsi l'enveloppe à deux paramètres O, A, C.

E.3 Détermination des paramètres

Les paramètres représentatifs sont, par définition, les coordonnées des points d'intersection des segments de droite constituant l'enveloppe.

Lorsque l'enveloppe est formée de trois segments de droite, les quatre paramètres u_1, t_1, u_c et t_2 indiqués dans les figures E.1, E.2 et E.3 peuvent être obtenus en prenant les coordonnées des points d'intersection B et A.

Lorsque l'enveloppe n'est formée que de deux segments de droite, les deux paramètres u_c et t_3 indiqués sur la figure E.4 peuvent être obtenus en prenant les coordonnées du point d'intersection A.

3) No segment can be drawn touching the curve at more than one point without cutting it.

   In this case, the following distinction should be made.

   i) The point of contact of the first line segment and the highest peak are comparatively far apart from each other. This is typically the case for an exponential curve or a curve approximating to an exponential.

      In this case, the line segment shall be tangential to the curve at a point such that the areas on either side of this point between the curve and the envelope are approximately equal, as in case c)2) of E.2 (see figure E.3, segment BA).

      The four-parameter envelope O, B, A, C is then obtained.

   ii) The point of contact of the first line segment and the highest peak are comparatively close to each other.

      This is the case for a curve representing a damped oscillation of single frequency or a curve of similar shape.

      In this case, a third line segment is not drawn, and representation by two parameters, corresponding to the first two line segments, is adopted (see figure E.4).

      The two-parameter envelope O, A, C is then obtained.

E.3 Determination of parameters

The representative parameters are, by definition, the coordinates of the points of intersection of the line segments constituting the envelope.

When the envelope is composed of three line segments, the four parameters u_1, t_1, u_c and t_2 shown in figures E.1, E.2 and E.3 can be obtained as coordinates of the points of intersection B and A.

When the envelope is composed of two line segments only, the two parameters u_c and t_3 shown in figure E.4 can be obtained as coordinates of the point of intersection A.

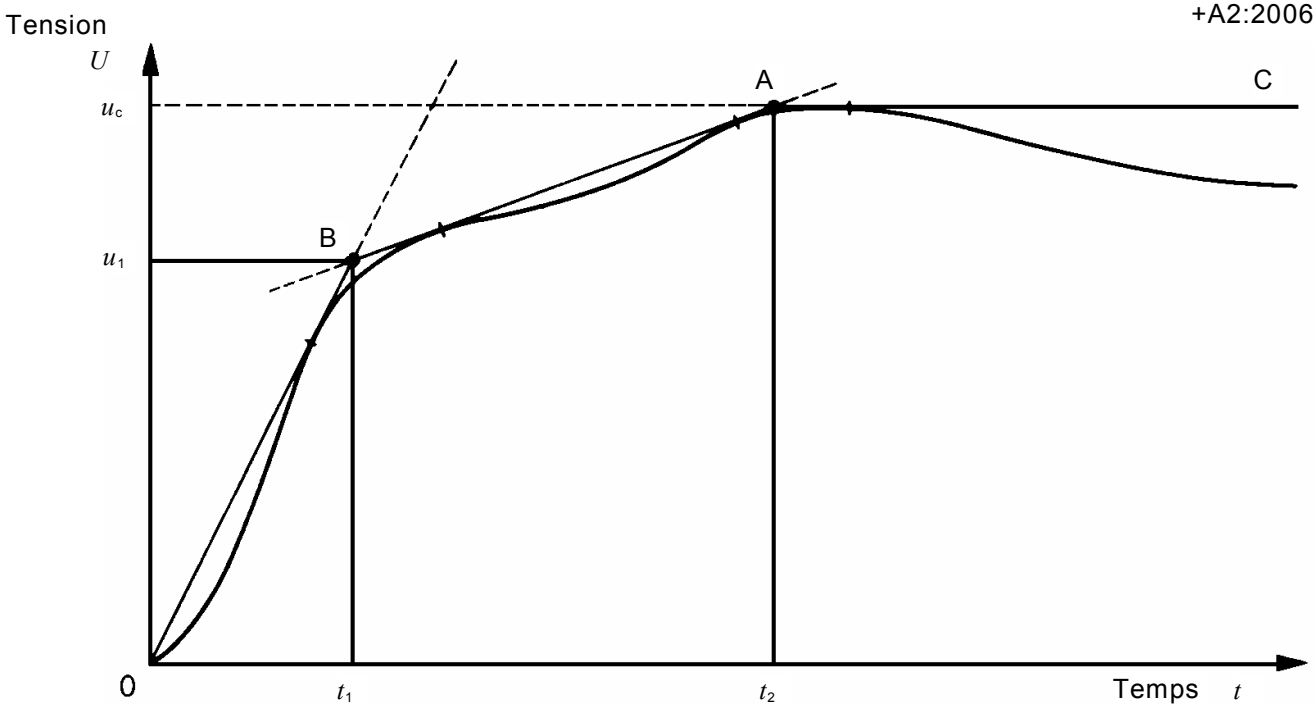


Figure E.1 – Représentation par quatre paramètres d'une tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit – Cas du paragraphe E.2. c) 1)

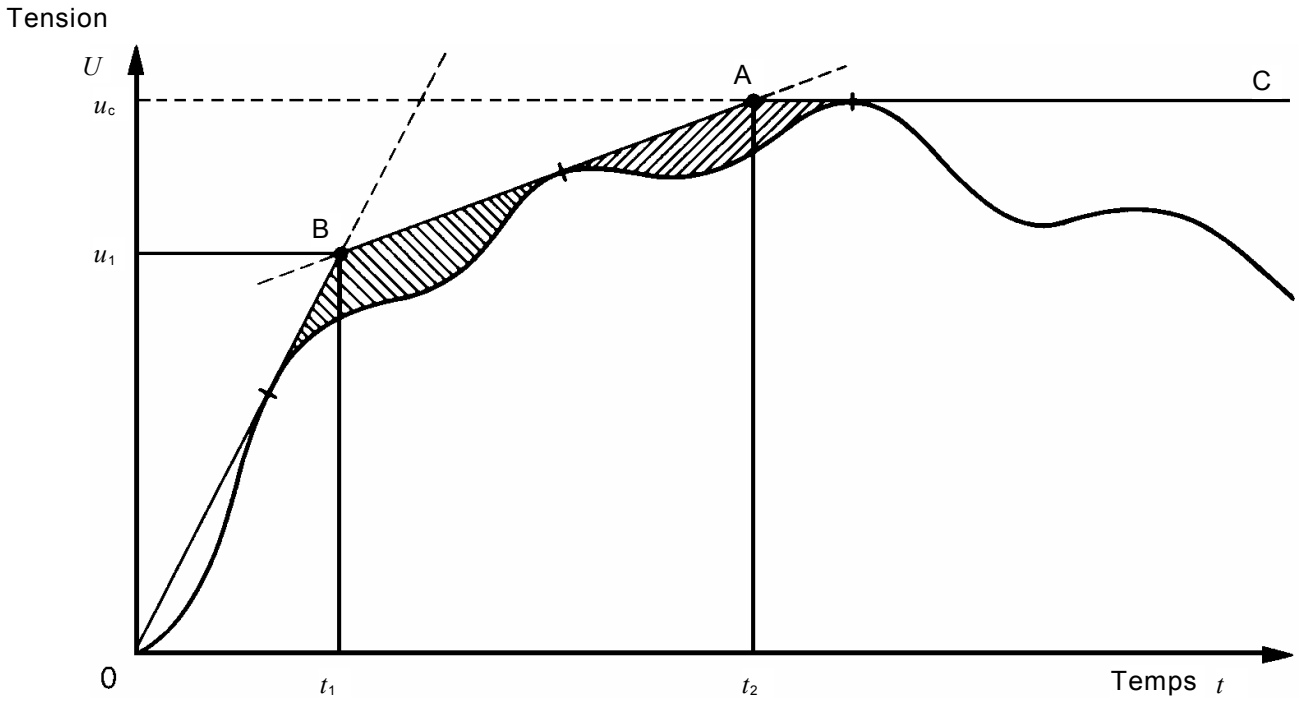


Figure E.2 – Représentation par quatre paramètres d'une tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit – Cas du paragraphe E.2 c) 2)

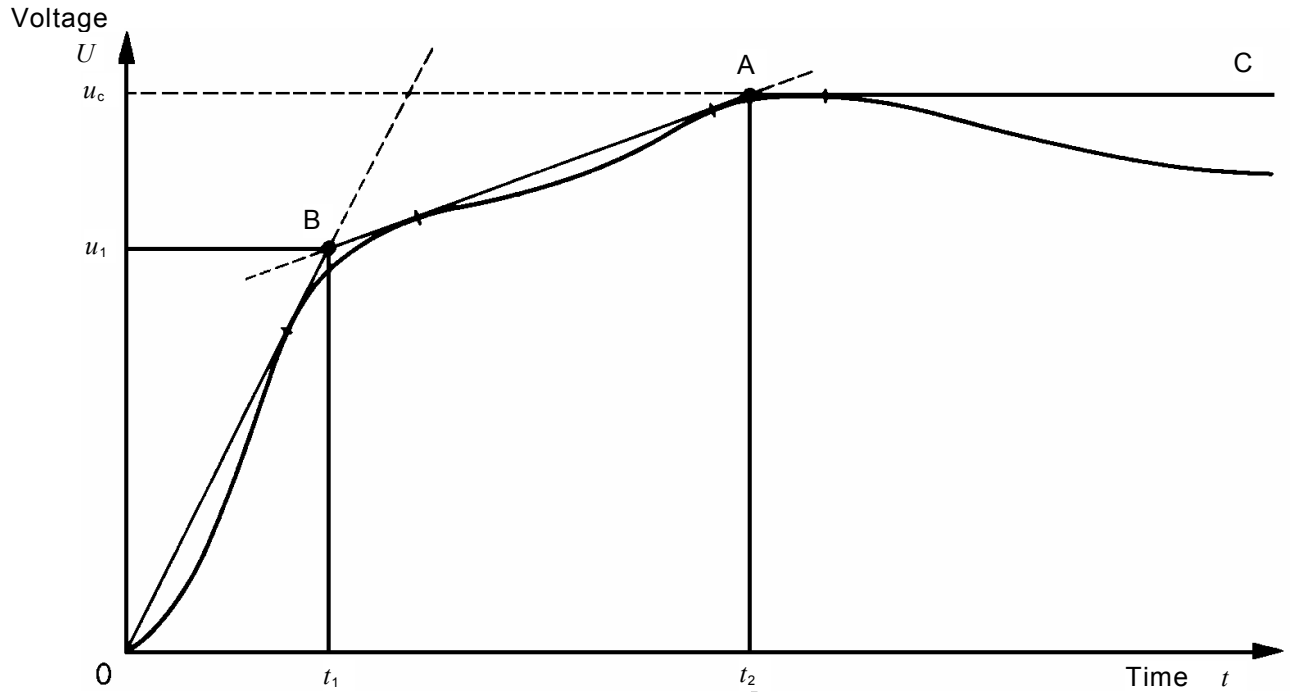


Figure E.1– Representation by four parameters of a prospective transient recovery voltage of a circuit – Case E.2 c) 1)

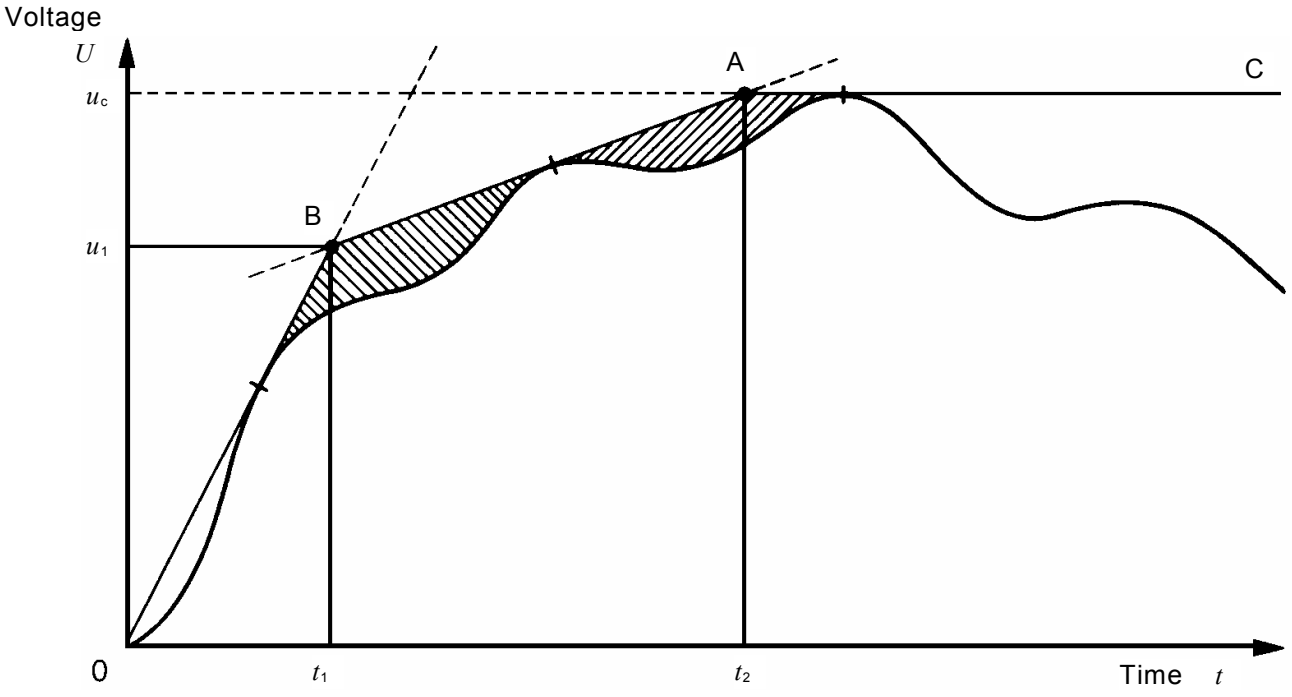


Figure E.2 – Representation by four parameters of a prospective transient recovery voltage of a circuit – Case E.2 c) 2)

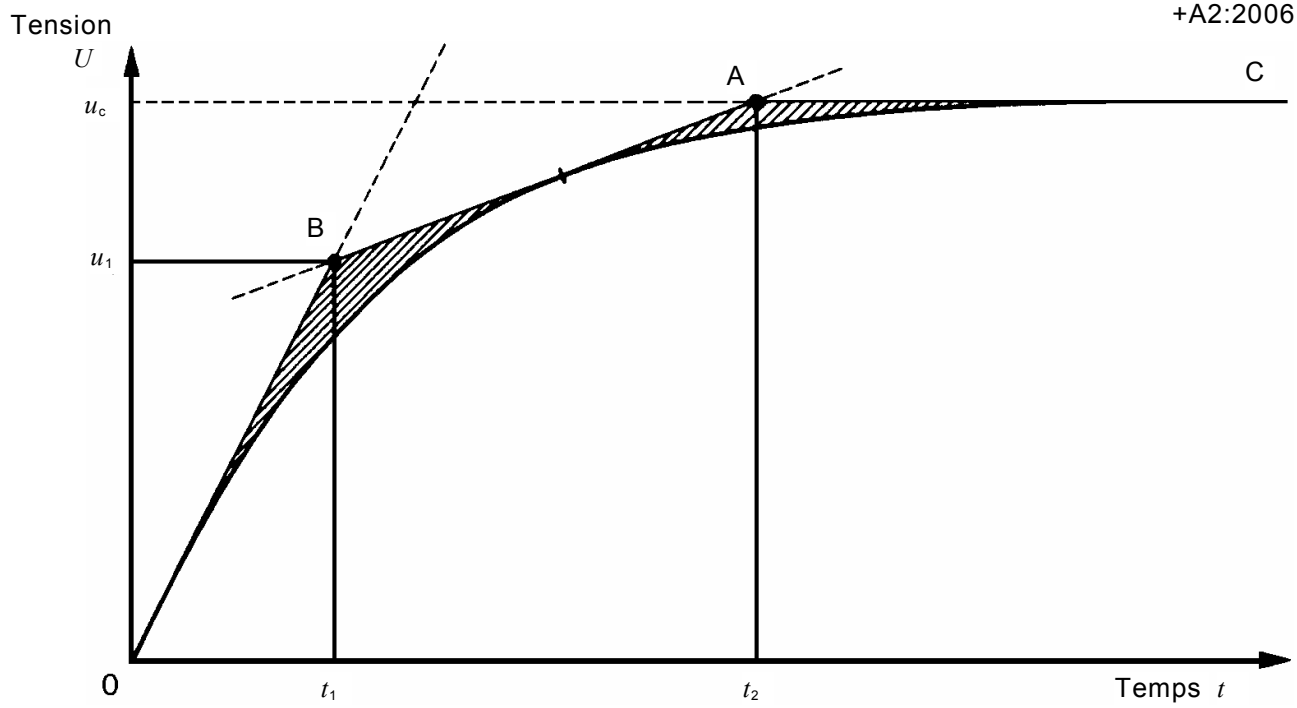


Figure E.3 – Représentation par quatre paramètres d'une tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit – Cas du paragraphe E.2. c) 3) i)

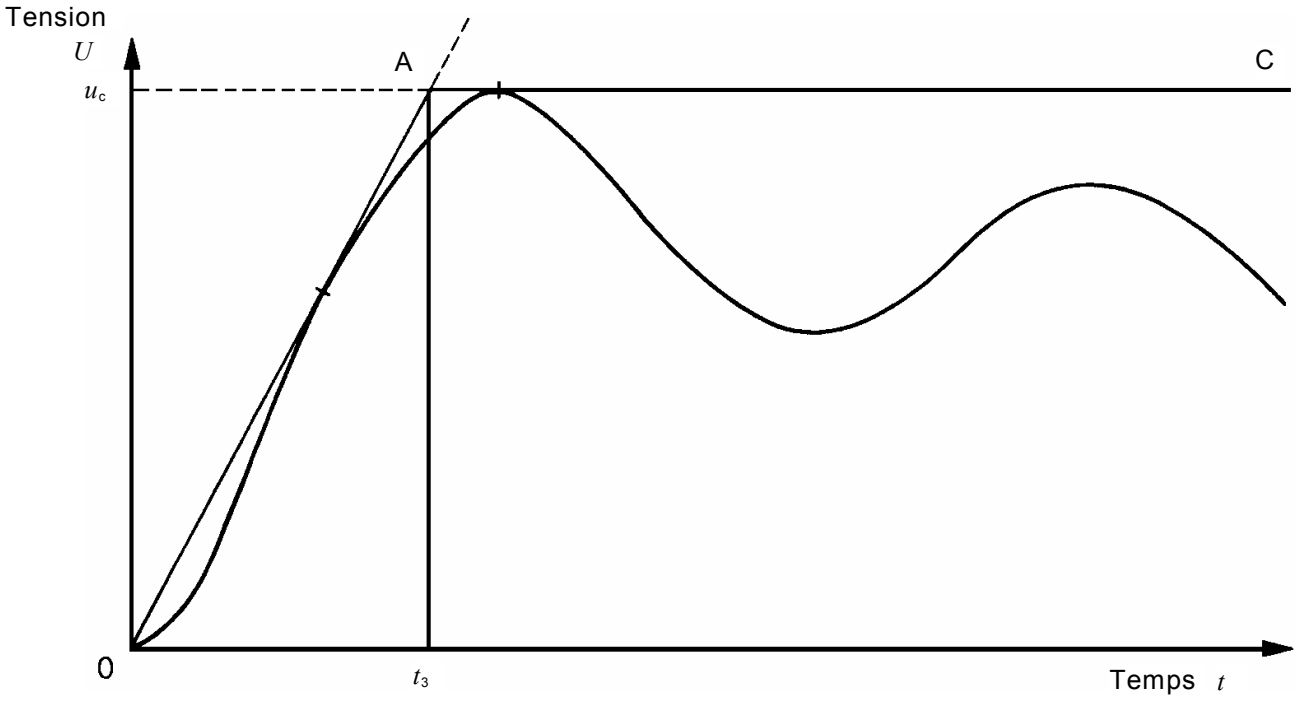


Figure E.4 – Représentation par deux paramètres d'une tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit – Cas du paragraphe E.2. c) 3) ii)

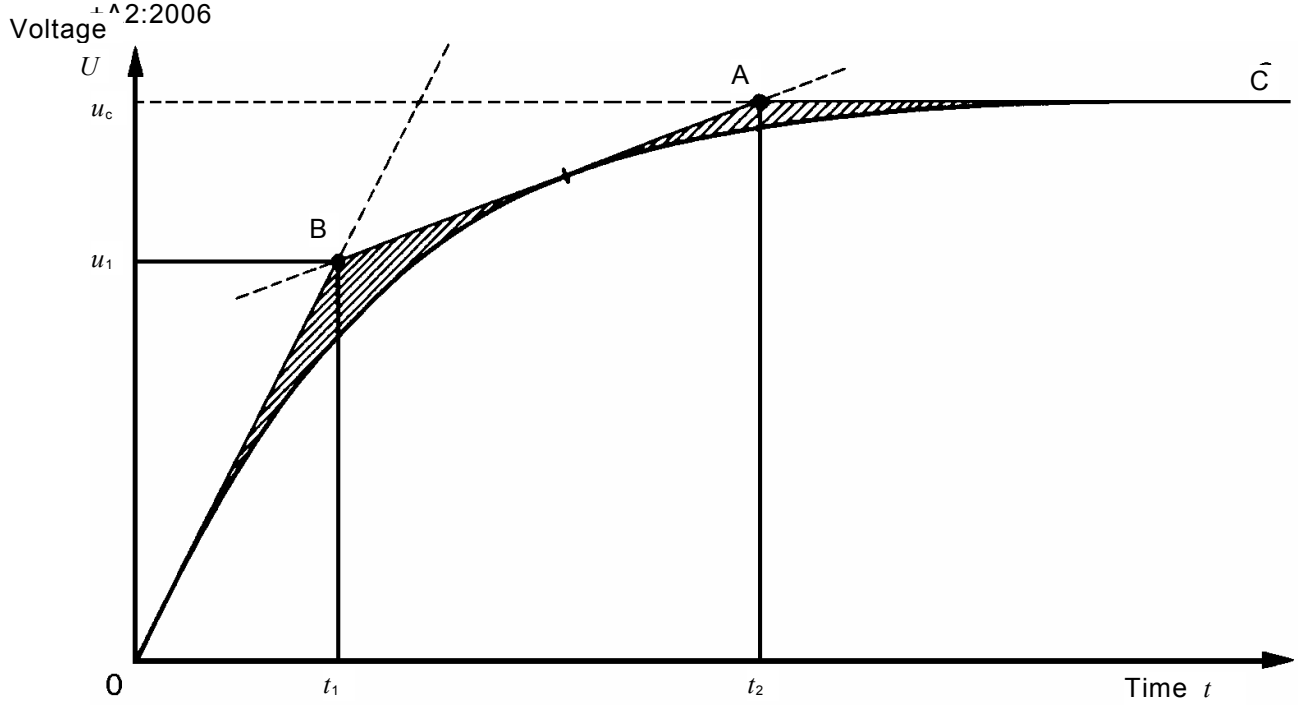


Figure E.3 – Representation by four parameters of a prospective transient recovery voltage of a circuit – Case E.2. c) 3) i)

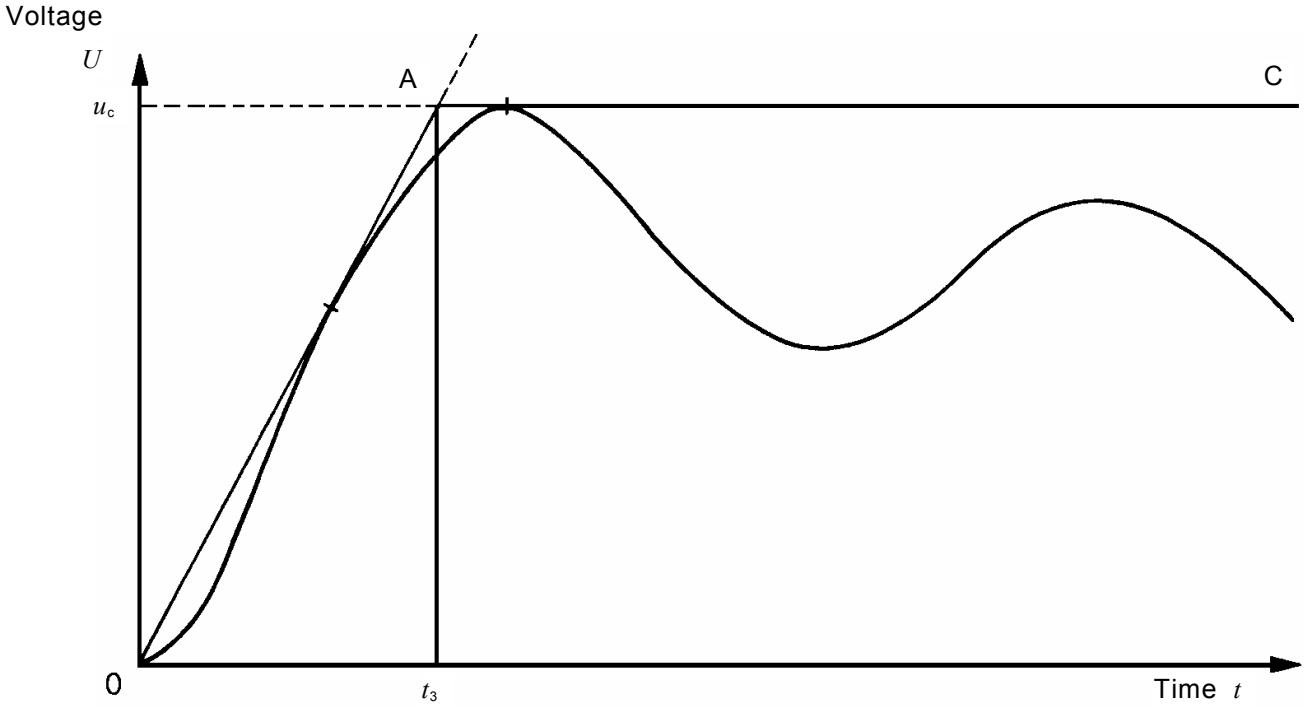


Figure E.4 – Representation by two parameters of a prospective transient recovery voltage of a circuit – Case E.2. c) 3) ii)

Annexe F
(normative)

Méthodes de détermination des ondes de la tension transitoire de rétablissement présumée

F.1 Introduction

Les formes de l'onde de la tension transitoire de rétablissement (TTR) consécutives à la coupure de courants de court-circuit dépendent de deux groupes de facteurs principaux qui sont: ceux dépendant des caractéristiques du circuit (inductance, capacité, résistance, impédance d'onde, etc.) et ceux provenant des caractéristiques du disjoncteur (tension d'arc, conductivité post-arc, condensateurs et résistances intercalaires, etc.).

Des méthodes sont recommandées pour déterminer la forme de l'onde de la TTR produite seulement par les caractéristiques du circuit, celle-ci étant la «TTR présumée».

Étant donné que tout dispositif de mesure a une influence sur la forme de l'onde de la TTR présumée, des précautions convenables et éventuellement des corrections sont nécessaires.

Des méthodes sont disponibles pour l'évaluation de la TTR présumée des circuits des stations d'essais de court-circuit ainsi que pour les réseaux, et les méthodes recommandées sont énumérées et décrites brièvement en tenant compte des caractéristiques de la TTR qui sont spécifiées pour les valeurs assignées et pour les essais.

L'expérience des stations d'essais et des réseaux a montré qu'après la coupure d'un courant de court-circuit, non seulement une oscillation à une seule ou à plusieurs fréquences se superpose à l'onde de tension à fréquence industrielle, mais qu'il existe également des composantes à caractère exponentiel d'amplitude et de durée importantes. Ces composantes ont des constantes de temps qui dépendent des caractéristiques des éléments du circuit, par exemple alternateurs, transformateurs, lignes, etc. Ces composantes exponentielles ont pour effet de rendre la valeur de crête de la TTR et sa vitesse d'accroissement inférieures à celles qui existeraient si seules les composantes oscillatoires s'étaient superposées à la tension à fréquence industrielle. Cela est montré à la figure F.1 et il convient que toute méthode de mesure tienne compte de cette influence.

Les mesures ont montré que l'inductance des divers éléments du circuit variait avec la fréquence, causé par l'effet d'écran des courants de Foucault à l'intérieur des conducteurs, de la terre et des circuits magnétiques. En même temps que d'autres facteurs qui tendent à réduire les tensions instantanées, cela introduit une constante de temps variant de quelques centaines de microsecondes pour certains alternateurs jusqu'à quelques dizaines de microsecondes pour les transformateurs, les valeurs exactes dépendant de la conception du matériel particulier et de la fréquence des composantes de la TTR. Dans certains cas, il peut en résulter une réduction de la valeur de crête de la TTR atteignant 25 %.

Il est donc important de tenir compte de ces facteurs pour l'évaluation de la TTR présumée d'une station d'essais ou d'un réseau et de donner des indications relatives aux méthodes recommandées.

Quelle que soit la méthode utilisée, les valeurs réelles de la TTR présumée mesurées dans la station d'essais doivent être conformes aux valeurs spécifiées dans la présente norme.

Annex F
(normative)

Methods of determining prospective transient recovery voltage waves

F.1 Introduction

The waveforms of the transient recovery voltage (TRV) resulting from the breaking of short-circuit currents depend on two main groups of factors, namely: those dependent on the circuit characteristics (inductance, capacitance, resistance, surge impedance, etc.), and those arising from the circuit-breaker characteristics (arc voltage, post-arc conductivity, capacitors and switching resistors, etc.).

Methods are recommended for determining the waveform of the TRV as produced solely by the circuit characteristics, this being the "prospective TRV".

Since any measuring device will have some effect upon the waveform of the prospective TRV, suitable precautions and, possibly, corrections are necessary.

Methods are available for the evaluation of the prospective TRV of both short-circuit test plant circuits and power systems, and the recommended methods are enumerated and briefly described, taking into account the TRV characteristics which are specified for rating and testing.

Experience on testing plants and also on systems has shown that following the breaking of a short-circuit current, not only is a single or multi-frequency oscillation superimposed on the power-frequency voltage wave, but exponential components of substantial size and duration are also present. The latter have time constants which are dependent upon the characteristics of the components of the circuit, for example generators, transformers, lines, etc. These exponential components have the effect of depressing the peak value of the TRV and the rate-of-rise to below those which would have occurred if the oscillatory components alone had been superimposed on the power-frequency voltage. This is shown in figure F.1 and any method used for measurement should take this effect into account.

Measurements have shown that the inductance of the various circuit components varies with frequency, owing to the screening effects of eddy currents within the conductors, the earth and the magnetic circuits. Together with other factors tending to reduce instantaneous voltages, this introduces a time constant varying from hundreds of microseconds for some generators down to tens of microseconds for transformers, the exact values depending upon the design of the particular equipment and the frequency of the components of the TRV. In some cases, this can result in a depression of the peak value of the TRV by as much as 25 %.

It is therefore important that these factors are taken into account when assessing the prospective TRV of either a test plant or system, and that guidance is given in connection with the recommended methods.

Irrespective of the method used, the actual values measured in the test plant for the prospective TRV shall be in accordance with the values specified in this standard.

Lorsque le temps t_2 de la crête de la TTR dépasse, par exemple, 1 250 µs, en plus des influences décrites précédemment, la valeur instantanée de la tension à fréquence industrielle a, dans tous les cas, diminué de plus de 6 % à 50 Hz et de plus de 10 % à 60 Hz. On doit, par conséquent, prendre en considération cette influence supplémentaire lors de l'utilisation de méthodes de détermination de la TTR présumée faisant intervenir une tension de rétablissement à fréquence industrielle ou lorsqu'on effectue des calculs utilisant les constantes du circuit.

La valeur instantanée de la composante à fréquence industrielle qui suit immédiatement le passage à zéro du courant dépend également du facteur de puissance en court-circuit et du pourcentage de la composante apériodique de la dernière alternance du courant, et peut ainsi être inférieure à la pleine valeur crête. Pour des courants symétriques et des facteurs de puissance en court-circuit égaux ou inférieurs à 0,15, la réduction ne dépasse pas 1,5 % et est ainsi peu importante pour les circuits des stations d'essais; cependant, elle peut être importante pour les facteurs de puissance plus élevés qui peuvent exister en service.

Pour la TTR correspondant aux défauts aux bornes (voir 4.102), on a introduit un retard pour tenir compte de l'influence de la capacité localisée du côté source du disjoncteur. Des retards correspondants ont également été spécifiés pour les différents circuits d'essais (voir 6.104.5) et la méthode utilisée pour mesurer la TTR devra être en mesure de déterminer ces retards.

Pour certains disjoncteurs, les caractéristiques pour les défauts proches en ligne sont également spécifiées (voir 4.105) et la TTR résultante correspondant aux essais de défaut proche en ligne a été spécifiée. La capacité localisée entre le disjoncteur et la ligne donne également naissance à un retard pour la composante de la TTR côté ligne. Pendant les essais, il est souhaitable de mesurer et d'enregistrer le retard du côté ligne et il convient que la méthode utilisée soit adéquate pour évaluer ce dernier.

F.2 Résumé général des méthodes recommandées

On classe comme suit les méthodes fondamentales utilisées pour la détermination des formes de l'onde de la TTR présumée:

– groupe 1 – Coupure directe du courant de court-circuit;
– groupe 2 – Injection de courant à fréquence industrielle;
– groupe 3 – Injection de courant de condensateur;
– groupe 4 – Modèles de réseaux;
– groupe 5 – Calcul à partir des paramètres du circuit;
– groupe 6 – Manœuvre à vide de circuits d'essai comprenant des transformateurs;
– groupe 7 – Combinaison de différentes méthodes.

Les groupes 1, 4 et 5 sont recommandés pour les réseaux.

Les groupes 2 et 3 peuvent être appliqués aux éléments des réseaux.

Seuls les groupes 1 à 3 ou une combinaison de ces derniers sont adéquats pour évaluer la TTR présumée des circuits d'essais utilisés dans les stations d'essais de court-circuit.

Where the time t_2 of the crest of the TRV exceeds, say, 1 250 μs, then, in addition to the effects described above, the instantaneous power-frequency voltage will, in any case, have decreased by more than 6 % at 50 Hz and more than 10 % at 60 Hz. Consequently, this further effect shall be taken into consideration when using methods for determining the prospective TRV which involve a power-frequency recovery voltage, or where calculations are made using circuit constants.

The instantaneous value of the power-frequency component immediately following current zero is also dependent upon the short-circuit power factor and upon the percentage d.c. component of the last half-cycle of current, and may thus be less than the full crest value. For symmetrical currents and short-circuit power factors of 0,15 or less, the reduction is not more than 1,5 %, and so is of little importance on test plant circuits; it may be of significance, however, at higher power factors which may occur in service.

For the TRV for terminal faults (see 4.102), a time delay has been introduced to allow for the influence of local capacitance on the source side of the circuit-breaker. Corresponding time delays have also been specified for the relevant test circuits (see 6.104.5), and the method used for measuring the TRV should be capable of resolving these time delays.

For some circuit-breakers the characteristics for short-line faults are also specified (see 4.105), and during short-line fault tests the corresponding resulting TRV has been specified. Local capacitance between the circuit-breaker and the line will also produce a time delay in the line side TRV component. During testing, it is desirable to measure and record the line side time delay and the method used should be suitable for evaluating this.

F.2 General summary of the recommended methods

The basic methods for determining prospective TRV waveforms are classified as follows:

– group 1 – Direct short-circuit breaking;
– group 2 – Power-frequency current injection;
– group 3 – Capacitor current injection;
– group 4 – Model networks;
– group 5 – Calculation from circuit parameters;
– group 6 – No-load switching of test circuits including transformers;
– group 7 – Combination of different methods.

Groups 1, 4 and 5 are recommended for power systems.

Groups 2 and 3 can be used for portions of power systems.

Only groups 1 to 3 or a combination of these are suitable for assessing the prospective TRV of circuits used in short-circuit test plants.

Lors de l'utilisation des groupes 1, 2, 3, 4, 6 ou 7, il est recommandé de vérifier soigneusement les circuits d'enregistrement de la tension afin de s'assurer que l'étalonnage de l'ensemble demeure constant dans toute la gamme des fréquences de la TTR à enregistrer et que les échelles de temps sont linéaires. Il est alors recommandé d'étalonner, en fonction d'une tension connue, l'oscillographe et chaque diviseur de tension. Lors de l'utilisation d'oscillographes cathodiques comportant une base de temps de balayage, il est recommandé de connaître avec précision l'échelle de temps, et de préférence, qu'elle soit linéaire afin d'éviter d'effectuer de nouveaux enregistrements pour fins de comparaison, etc.

Lorsque cela est applicable, il est recommandé que le courant injecté et la tension aux bornes du circuit étudié soient enregistrés en utilisant une base de temps de vitesse convenable et, de plus, que des enregistrements à grande vitesse du courant et de la tension au zéro de courant soient effectués. Il est recommandé d'enregistrer la TTR à l'aide d'un oscillographe de sensibilité suffisante et avec une base de temps convenable.

F.3 Étude détaillée des méthodes recommandées

F.3.1 Groupe 1 – Coupure directe d'un courant de court-circuit

Cette méthode implique la coupure d'un courant de court-circuit réel établi au moyen d'une connexion métallique dans le réseau en étude et l'enregistrement de la TTR qui en résulte à l'aide d'un oscillographe. Idéalement, le courant coupé devrait être symétrique, ou alors il conviendrait de tenir compte de la variation du di/dt s'il existe une asymétrie appréciable. Avec cette méthode, il est essentiel de tenir compte de l'influence du disjoncteur. A ce sujet, les caractéristiques les plus importantes sont la tension d'arc et la conductivité post-arc.

A cause de la tension d'arc, la tension aux bornes des contacts du disjoncteur peut ne pas être nulle à l'instant de l'interruption de l'arc et, de ce fait, la TTR ne part pas d'une tension nulle mais de la valeur de la tension d'arc à l'instant du passage à zéro du courant. La TTR commence donc en dessous de la ligne de tension nulle pour la traverser ultérieurement (voir figure F.3).

En conséquence, la valeur de crête de la tension est supérieure à ce qu'elle serait dans le cas d'un disjoncteur idéal (tension d'arc nulle) (voir figure F.2). Un effet semblable mais plus prononcé résulte de l'interruption nettement en avance sur le passage naturel du courant par zéro (arrachement du courant), ce qui peut se produire pour un petit courant (voir figure F.4). De plus, si la TTR présumée comprend plusieurs composantes oscillatoires, l'arrachement du courant peut faire apparaître une forme d'onde qui est nettement différente de celle qui serait obtenue avec un disjoncteur «idéal».

Ainsi, c'est un disjoncteur comportant une faible tension d'arc immédiatement avant le passage à zéro du courant et ne provoquant pas d'arrachement du courant qui convient le mieux pour la coupure directe d'un courant de court-circuit.

On peut compenser l'influence de la tension d'arc comme illustré à la figure F.6.

En principe, la compensation de la tension d'arc ne convient que pour les TTR comportant une composante transitoire à une seule fréquence; néanmoins, on peut l'utiliser aussi avec une bonne approximation pour les oscillations transitoires à plusieurs fréquences si l'amplitude de la composante oscillatoire principale est prédominante.

Le courant post-arc, c'est-à-dire le courant traversant la distance inter-contacts pendant l'accroissement de la TTR, peut influencer la forme d'onde de cette dernière par un amortissement, réduisant ainsi sa vitesse d'accroissement et sa valeur de crête (voir figure F.5). L'emploi de résistances en parallèle avec les chambres de coupure du disjoncteur produit un effet semblable.

When using groups 1, 2, 3, 4, 6 or 7, the voltage recording circuits should be carefully checked to ensure that the overall calibration is constant over the range of TRV frequencies to be recorded, and that time deflections are linear. The oscillograph and any voltage divider should then be calibrated against a known voltage. Where cathode-ray oscillographs with a sweep time base are used, the deflection/time scale should be accurately known, and preferably this should be linear to avoid replotting for comparative purposes, etc.

Where applicable, the injected current and the voltage across the circuit under investigation should be recorded using a time base of suitable velocity and, in addition, high-speed records of current and voltage at the current-zero should be taken. The TRV should be recorded by an oscillograph of suitable sensitivity and with an appropriate time scale.

F.3 Detailed consideration of the recommended methods

F.3.1 Group 1 – Direct short-circuit breaking

This method involves the breaking of an actual short-circuit current, established by means of a solid metallic connection in the system under investigation and recording the resultant TRV by an oscillograph. Ideally, the current broken should be symmetrical, or allowance made for the change in $\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ if there is appreciable asymmetry. With this method, it is essential to allow for the influence of the circuit-breaker. The most important characteristics in this respect are arc voltage and post-arc conductivity.

Due to the voltage of the arc, the voltage across the circuit-breaker contacts may not be zero at the instant of current interruption, and hence the TRV does not rise from zero voltage but from the value of the arc voltage at current zero. The TRV thus begins below the voltage zero axis and then crosses it (see figure F.3).

As a result, the peak voltage is higher than in the case of an ideal circuit-breaker (zero arc voltage) (see figure F.2). A similar but more pronounced effect results from interruption at a markedly premature current zero (current chopping) which may occur if the current is small (see figure F.4). Furthermore, if the prospective TRV comprises several oscillatory components, current chopping may produce a waveform which is markedly different from that which would be obtained with an "ideal" circuit-breaker.

Thus a circuit-breaker with a low arc voltage immediately before current zero and which does not exhibit current chopping is the most suitable for use with direct short-circuit breaking.

The influence of the arc voltage may be compensated for as shown in figure F.6.

In principle, compensation for the arc voltage is only suitable for TRVs having a single-frequency transient component; nevertheless, it may also be used as a good approximation for multi-frequency transients if the amplitude of the main oscillatory component is predominant.

The post-arc current, i.e. the current flowing through the arc-gap during the rise of the TRV, can influence the waveform of the latter by damping, thus reducing its rate-of-rise and peak value (see figure F.5). A similar effect results from the use of resistors in parallel with the interrupting chambers of the circuit-breaker.

Il s'ensuit donc qu'en plus des exigences relatives à une faible tension d'arc et à l'absence d'arrachement du courant, il est recommandé d'utiliser un disjoncteur non muni de résistances shunt et ne présentant pas une importante conductivité post-arc pour les méthodes de coupure directe du courant de court-circuit.

En particulier, lorsqu'on peut faire fonctionner la station d'essais avec une excitation convenablement réduite, l'interrupteur à vide peut souvent constituer un disjoncteur presque «idéal». Toutefois, il est recommandé de s'assurer que le dispositif utilisé ne présente pas d'arrachement de courant important dans le circuit particulier étudié.

On peut parfois, de façon appropriée, améliorer les caractéristiques des disjoncteurs utilisés pour la coupure directe du courant de court-circuit, par exemple en retardant l'instant de la séparation des contacts en vue d'obtenir une durée d'arc courte et une tension d'arc faible.

Avec cette méthode, on coupe un courant réel de court-circuit dans le circuit étudié et la TTR enregistrée tient compte, plus ou moins, des influences qui contribuent à réduire la tension de rétablissement. Pour cette raison, selon les caractéristiques du disjoncteur, la méthode de la coupure directe du courant de court-circuit peut être la plus adaptée à l'évaluation de la TTR présumée et est fréquemment utilisée pour le contrôle des autres méthodes. Toutefois, la méthode de la coupure directe du courant de court-circuit est moins bien adaptée à la mesure des retards, et en particulier du retard de la TTR côté ligne, dans le cas du défaut en ligne.

F.3.2 Groupe 2 – Injection de courant à fréquence industrielle

Cette méthode est utilisée seulement avec un circuit hors tension et est donc principalement utilisée dans les stations d'essais ou lorsqu'une partie d'un réseau peut être étudiée hors tension. Elle ne tient pas compte des phénomènes d'effet couronne ou de saturation magnétique.

Le principe de cette méthode repose sur l'injection d'un courant relativement petit dans le circuit et l'enregistrement de la réponse du circuit lorsque le courant est interrompu par un appareil de connexion idéal, c'est-à-dire par un dispositif comportant une tension d'arc et un courant post-arc négligeables.

Une source convenable de courant injecté est constituée par un transformateur monophasé alimenté par le réseau local à basse tension, le secondaire fournissant par exemple une gamme de courants et de tensions comprise ente 2 A à 200 V et 300 A à 25 V. Cette gamme couvre les impédances de la majorité des circuits à considérer. La figure F.7 représente un schéma correspondant à un exemple d'application de cette méthode ainsi que les détails des éléments. La figure F.8 indique la séquence des manoeuvres correspondant au schéma.

Il est recommandé de s'assurer que les capacités propres des dispositifs d'alimentation et de mesure n'ont pas d'influence sur les résultats.

Il convient que la tension aux bornes soit mesurée à l'entrée du circuit et, lorsque c'est possible, de mettre à la terre une borne du circuit. Lorsqu'une des bornes du circuit n'est pas mise à la terre, il est essentiel d'isoler complètement de la terre le matériel de mesure et d'injection. Cela peut être obtenu par l'emploi d'un générateur auxiliaire isolé de la terre et ayant une capacité négligeable par rapport à celle-ci.

L'appareil de connexion le mieux adapté à ce schéma est une diode semi-conductrice. En général, des diodes semi-conductrices comportant des temps de recouvrement inverse ne dépassant pas 100 ns conviennent. Des temps plus longs sont acceptables pour les TTR de fréquence propre équivalente basse. Pour obtenir une capacité de tenue en courant adéquate, plusieurs diodes en parallèle peuvent être utilisées.

NOTE Les caractéristiques des diodes dépendent d'un certain nombre de facteurs, par exemple la valeur du courant direct, la forme d'onde et la valeur de la tension inverse et les données fournies par les constructeurs dépendent des méthodes utilisées pour déterminer ces caractéristiques.

It follows, therefore, that in addition to the requirements relating to low arc voltage and absence of current chopping, any circuit-breaker used for the direct short-circuit breaking method should not be fitted with shunt resistors and should not exhibit significant post-arc conductivity.

Particularly, where the test plant can be operated at a suitably reduced excitation, vacuum interrupters can often be used as nearly "ideal" circuit-breakers. However, it should be ascertained that any device used does not exhibit significant current chopping in the particular circuit under investigation.

The characteristics of circuit-breakers used for direct short-circuit breaking can sometimes be appropriately improved, for example by delaying the instant of contact separation to produce a short arcing time and low arc voltage.

With this method, an actual short-circuit current is broken in the circuit under investigation and the recorded TRV will take into account, more or less, the effects contributing to depression of the recovery voltage. For this reason, the direct short-circuit breaking method can be, depending upon the characteristics of the circuit-breaker, the most suitable means of obtaining an assessment of the prospective TRV, and is frequently used as the basis for checking other methods. However, the direct short-circuit breaking method is less suited for measuring time delays, particularly the time delay of the line-side TRV, in the case of short-line fault.

F.3.2 Group 2 – Power-frequency current injection

This method is only used with the circuit de-energised and is therefore mainly of use in test plants, or where part of a system can be analysed whilst de-energised. It does not take into account corona or magnetic saturation phenomena.

The basis of this method is the injection of a relatively small current into the circuit and the recording of the response of the circuit when the current is switched off by an ideal switching device, i.e. a device having negligible arc voltage and post-arc current.

A suitable source of injected current is a single-phase transformer operated from the local low-voltage mains, the secondary giving, for example, a range of currents and voltages between 2 A at 200 V and 300 A at 25 V. This range will cover the impedances of the majority of circuits to be assessed. A schematic diagram as an example of the application of this method is shown in figure F.7 together with details of the components. Figure F.8 shows the sequence of operation of the scheme.

Care should be taken to ensure that the inherent capacitances of the supply and measuring devices do not influence the results.

The voltage response should be measured at the input terminals of the circuit and, when applicable, one terminal of the circuit should be earthed. In those cases where the circuit is not earthed at one of its terminals, it is essential that the measuring and injection equipment are completely isolated from earth. This can be achieved by using an auxiliary generator insulated from earth and having negligible capacitance to earth.

The most convenient switching device for this scheme is a semiconductor diode. In general, semiconductor diodes with reverse recovering times not exceeding 100 ns have been found to be suitable. Longer times are acceptable where the TRV has a low equivalent natural frequency. To obtain the correct current-carrying capacity, several diodes may be operated in parallel.

NOTE The characteristics of diodes are dependent on a number of factors, for example the value of the current in the forward direction, the waveform and value of the reverse voltage, and the manufacturer's data which are dependent on the methods employed to determine the characteristics.

Pour obtenir une onde de courant symétrique, il peut être nécessaire de faire passer le courant pendant un temps atteignant 20 périodes. Pendant la plus grande partie de ce temps, les diodes seront court-circuitées par un interrupteur qu'on ouvre à la fin de cet intervalle de temps, provoquant ainsi le passage du courant à travers les diodes qui coupent ce dernier au prochain passage par zéro du courant.

Pour évaluer le retard avec précision, il est nécessaire d'amplifier les échelles de tension de temps dans la partie initiale de l'onde.

L'enregistrement du courant à plus faible vitesse montre si le courant est symétrique à l'instant de la coupure et l'enregistrement à grande vitesse indique la vitesse de variation, di/dt, immédiatement avant le passage à zéro du courant. Il montre également s'il existe ou non un courant post-arc appréciable provoquant l'amortissement de la TTR ou un arrachement appréciable du courant susceptible de modifier l'amplitude de la TTR.

L'enregistrement de la TTR représente l'oscillation propre transitoire du circuit étudié et tient compte de la plupart des facteurs provoquant une réduction de la tension.

Les valeurs peuvent être déterminées en effectuant un étalonnage de tension basé sur la pleine puissance du circuit. Des explications détaillées sont données en F.3.4.

F.3.3 Groupe 3 – Injection de courant de condensateur

Cette méthode est semblable à celle du groupe 2, sauf que le courant traversant le circuit considéré provient de la décharge d'un condensateur. Dans ces conditions, la fréquence du courant injecté dépend des valeurs du condensateur et de l'inductance du circuit.

Puisque la fréquence du courant injecté est habituellement beaucoup plus grande que la fréquence industrielle, cette méthode ne tient pas compte des facteurs qui contribuent à réduire la tension de rétablissement.

Comme la fréquence du courant de décharge devrait être de un huitième de la fréquence propre équivalente du circuit, cela impliquerait que la méthode convient à la mesure des TTR de circuits comprenant des éléments ayant des fréquences propres élevées. Elle est particulièrement utile pour la mesure des caractéristiques des éléments du côté ligne des circuits d'essais de défauts en ligne dont les fréquences propres sont très élevées et dont les retards correspondants sont petits.

La figure F.9 représente le schéma d'un exemple de circuit d'injection de courant de condensateur ainsi que les détails des éléments. La figure F.10 indique la séquence des manoeuvres correspondant au schéma.

On prend les mêmes précautions et la même méthode d'étalonnage que pour le groupe 2, et celles-ci sont décrites en détail en F.3.4.

F.3.4 Groupes 2 et 3 – Méthodes d'étalonnage

A partir de la valeur mesurée de la vitesse de variation, di/dt, du courant injecté immédiatement avant le passage par zéro, calculer la valeur efficace équivalente du courant injecté I_{i}.

$$I_{\mathrm{i}} = \frac{\dfrac{\mathrm{d}i_{\mathrm{i}}}{\mathrm{d}t}}{2\pi f_{\mathrm{i}}\sqrt{2}}$$

où f_{i} est la fréquence du courant injecté.

To achieve a symmetrical current wave, it may be necessary for the current to flow for a time of up to 20 cycles. During most of this time, the diodes will be by-passed by a switch which is opened at the end of this time thus allowing the current to pass through the diodes which will interrupt the current at the following current-zero.

To assess the time delay accurately, it is necessary to amplify the voltage and time scales for the initial part of the wave.

The lower speed record of the current shows whether the current was symmetrical when broken, and the high speed record gives the rate-of-change, di/dt, immediately before current-zero. It also shows whether or not there was any appreciable post-zero current to cause damping of the TRV, or appreciable suppression of the current, likely to affect the TRV amplitude.

The TRV record represents the natural transient oscillation of the circuit under investigation, and takes into account most of the factors causing voltage depression.

The values can be determined using a voltage calibration in terms of the full power of the circuit. Detailed explanations are given in F.3.4.

F.3.3 Group 3 – Capacitor current injection

This method is similar to group 2 except that the current through the circuit being considered is obtained from the discharge of a capacitor. Thus, the frequency of the injected current will depend upon the values of the capacitor and the inductance of the circuit.

Since the frequency of the injected current is usually much higher than the power frequency, this method does not take into account the factors causing voltage depression.

As the frequency of the discharge current should be one-eighth of the equivalent natural frequency of the circuit, this means that the method is suitable for measuring the TRV of circuits containing components with high natural frequencies. It is particularly useful for measuring the characteristics of the components on the line side of short-line fault test circuits, the natural frequencies of which are very high, with correspondingly small time delays.

Figure F.9 provides a schematic diagram of an example of a capacitor current injection circuit together with details of the components. Figure F.10 shows the sequence of operation of the schema.

The same precautions and method of calibration are used as for group 2, and these are detailed in F.3.4.

F.3.4 Groups 2 and 3 – Methods of calibration

From the measured value of the rate-of-change, di/dt, of the injected current immediately before zero, calculate the equivalent r.m.s. value of the injected current I_{i}.

$$I_{\mathrm{i}} = \frac{\dfrac{\mathrm{d}i_{\mathrm{i}}}{\mathrm{d}t}}{2\pi f_{\mathrm{i}}\sqrt{2}}$$

where f_{i} is the frequency of the injected current.

Dans ce calcul, on admet que:

$$i_{\mathrm{i}} = I_{\mathrm{i}} \sqrt{2} \sin(2\pi f_{\mathrm{i}} t) \cong I_{\mathrm{i}} \sqrt{2} \times \pi f_{\mathrm{i}} t$$

Cette approximation est valable quand t_2 < 1 250 µs (ou quand t_2 < 1 000 µs pour une fréquence de 60 Hz).

En partant des approximations précédentes, on peut en déduire la règle suivante:

Il convient que la fréquence du courant injecté soit ≤ 1/8$^{\text{ième}}$ de la fréquence propre équivalente du circuit étudié. Lorsque le temps t_2 de la TTR présumée est supérieur à 1 250 µs (1 000 µs pour 60 Hz), il convient que la fréquence du courant injecté soit égale à la fréquence industrielle assignée.

NOTE Si le facteur est 1/8$^{\text{ième}}$ durant l'intervalle ($t_2 - t_0$), alors un écart maximal de la pente du courant injecté, par rapport à une droite, de 15 % sera produit. Un facteur de 1/14 donnerait un écart maximal de 5 %.

Si la valeur efficace du courant de court-circuit maximal du circuit est I_{sc}, alors l'étalonnage de tension V_{sc} (en mm) pour la TTR correspondante à I_{sc} sera:

$$V_{\mathrm{sc}} = V_{\mathrm{i}} \times (I_{\mathrm{sc}}/I_{\mathrm{i}}) \times (f_{\mathrm{sc}}/f_{\mathrm{i}})$$

où f_{sc} est la fréquence du courant de court-circuit.

Compte tenu des indications précédentes concernant les TTR présumées comportant de longues durées t_2, dans les cas où l'écart entre la courbe du courant et une sinusoïde de forme symétrique est trop important pour être négligé, il est recommandé d'utiliser la formule fondamentale suivante:

$$V_{\mathrm{sc}}\ (\text{en mm}) = V_{\mathrm{i}}\ (\text{en mm})\ \frac{\left(\dfrac{\mathrm{d}i_{\mathrm{sc}}}{\mathrm{d}t}\right)_{i_{\mathrm{sc}} \to 0}}{\left(\dfrac{\mathrm{d}i_{\mathrm{i}}}{\mathrm{d}t}\right)_{i_{\mathrm{sc}} \to 0}}$$

où $\left(\dfrac{\mathrm{d}i_{\mathrm{sc}}}{\mathrm{d}t}\right)_{i_{\mathrm{sc}} \to 0}$ est la vitesse de variation du courant de court-circuit à fréquence industrielle

au passage par zéro du courant, avec la fonction définissant le courant:

$$i_{\mathrm{sc}} = I_{\mathrm{sc}} \sqrt{2} \sin(2\pi f_{\mathrm{sc}} t) \cong I_{\mathrm{sc}} \sqrt{2} \times 2\pi f_{\mathrm{sc}} t$$

Cette formule s'applique particulièrement à la méthode d'injection de courant de condensateur où le courant a une forme oscillatoire légèrement amortie.

La méthode suivante convient pour obtenir l'étalonnage pour les essais de défaut proche en ligne:

A partir de l'enregistrement à grande vitesse, mesurer:

$\dfrac{\mathrm{d}u_{\mathrm{i}}}{\mathrm{d}t}$ = VATR de la TTR au passage par zéro du courant injecté;

u_{i} = première crête de la tension correspondant au courant injecté;

$\left(\dfrac{\mathrm{d}i_{\mathrm{i}}}{\mathrm{d}t}\right)_{i_{\mathrm{i}} \to 0}$ = vitesse de variation du courant injecté à son passage par zéro.

In this calculation, it is assumed that:

$$i_i = I_i \sqrt{2} \sin(2\pi f_i t) \cong I_i \sqrt{2} \times \pi f_i t$$

This is approximately valid when t_2 < 1 250 µs (or when t_2 < 1 000 µs on a 60 Hz basis).

On the basis of the above approximations, the following rule may be derived:

The frequency of the injected current should be ≤ 1/8th of the equivalent natural frequency of the circuit being measured. For cases where the coordinate t_2 of the prospective TRV is greater than 1 250 µs (1 000 µs for 60 Hz), the frequency of the injected current should equal the rated power frequency.

NOTE If the factor is 1/8, during the interval ($t_2 - t_0$) a maximum deviation of the slope of the injection current from a straight line of 15 % would occur. A factor 1/14 would give a maximum deviation of 5 %.

If the r.m.s. value of the maximum short-circuit current of the circuit is I_{sc}, then the voltage calibration V_{sc}(in mm) for the TRV corresponding to I_{sc} will be:

$$V_{sc}(\text{in mm}) = V_i(\text{in mm}) \times (I_{sc}/I_i) \times (f_{sc}/f_i)$$

where f_{sc} is the frequency of the short-circuit current.

Subject to the provisions given above concerning prospective TRV with long times t_2, for those cases where the deviation of the curve of the current from the sinusoidal, symmetrical form is too significant to be neglected, the following basic formula should be used:

$$V_{sc}\ (\text{in mm}) = V_i\ (\text{in mm})\ \frac{\left(\dfrac{\mathrm{d}i_{sc}}{\mathrm{d}t}\right)_{i_{sc}\to 0}}{\left(\dfrac{\mathrm{d}i_i}{\mathrm{d}t}\right)_{i_{sc}\to 0}}$$

where $\left(\dfrac{\mathrm{d}i_{sc}}{\mathrm{d}t}\right)_{i_{sc}\to 0}$ is the rate-of-change of the power frequency short-circuit current at current zero, with the current function:

$$i_{sc} = I_{sc} \sqrt{2} \sin(2\pi f_{sc} t) \cong I_{sc} \sqrt{2} \times 2\pi f_{sc} t$$

This formula applies particularly to the method of capacitor current injection where the current is of a slightly damped oscillatory form.

To determine the calibration for short-line fault tests, the following method is suitable:

From the high-speed recording measure:

$\dfrac{\mathrm{d}u_i}{\mathrm{d}t}$ = RRRV of the TRV at zero of the injected current;

u_i = first voltage peak of the injected current;

$\left(\dfrac{\mathrm{d}i_i}{\mathrm{d}t}\right)_{i_i\to 0}$ = rate-of-change of the injected current at its zero.

La valeur de l'impédance d'onde Z est alors obtenue par le calcul:

$$Z = \frac{\dfrac{\mathrm{d}u_\mathrm{i}}{\mathrm{d}t}}{\left(\dfrac{\mathrm{d}i_\mathrm{i}}{\mathrm{d}t}\right)_{i_\mathrm{i} \to 0}}$$

F.3.5 Groupe 4 – Modèles de réseaux

Dans cette méthode, un modèle de réseau est composé d'éléments qui doivent être une représentation exacte des éléments du circuit réel. Il est habituellement nécessaire de simuler les éléments du circuit réel qui ont des éléments distribués par un modèle ayant des éléments concentrés. De plus, il est essentiel que les caractéristiques d'impédance (particulièrement de réactance et de résistance) des éléments du modèle soient, d'aussi près que possible, une véritable imitation de ces caractéristiques des éléments réels à des fréquences atteignant au moins celle correspondant à la TTR à l'étude.

La précision de cette méthode dépend de l'obtention des données exactes concernant les paramètres du circuit à représenter et il est souvent difficile d'obtenir ces données et de les représenter par un modèle réduit à des composantes discrètes.

Cela s'applique particulièrement aux paramètres variant avec la fréquence de sorte qu'en général, cette méthode ne tient pas compte directement de la réduction de la TTR et tend à donner des valeurs un peu plus élevées que celles qui seraient obtenues à l'aide de courts-circuits directs sur un réseau réel.

Cette méthode est surtout utile pour l'étude de projets de réseaux, car elle ne nécessite pas la mise hors service du réseau et constitue un guide utile à condition d'en connaître les limites.

F.3.6 Groupe 5 – Calcul à partir des paramètres du circuit

Lorsque les données concernant les paramètres des éléments du circuit sont connues, comme pour le groupe 4, il est souvent commode de calculer la forme d'onde de la TTR, en particulier si le circuit n'est pas trop complexe.

En général, la méthode ne tient pas compte des effets de réduction, bien qu'il soit possible d'en tenir compte dans une certaine mesure si les données correspondantes du circuit sont disponibles; de même, on peut tenir compte de la décroissance de la composante à fréquence industrielle pour les TTR dont le temps t_2 dépasse 1 250 µs (1 000 µs à 60 Hz).

La méthode comporte les limites du groupe 4, auxquelles on doit ajouter les erreurs propres aux calculs, à moins d'avoir obtenu de l'expérience en comparant les résultats de calcul avec des TTR réelles obtenues à partir d'essais mettant en oeuvre les techniques des groupes 1, 2, 3 ou 6.

F.3.7 Groupe 6 – Manœuvre à vide de circuits d'essai comprenant des transformateurs

Cette méthode consiste à enclencher le transformateur d'essais sur un circuit ouvert et à enregistrer, à l'aide d'oscillogrammes, l'allure de la tension transitoire aux bornes du circuit secondaire à vide.

The value of the surge impedance Z is then obtained by the following calculation:

$$Z = \frac{\dfrac{\mathrm{d}u_\mathrm{i}}{\mathrm{d}t}}{\left(\dfrac{\mathrm{d}i_\mathrm{i}}{\mathrm{d}t}\right)_{i_\mathrm{i} \to \mathrm{o}}}$$

F.3.5 Group 4 – Model networks

In this method, a model network is assembled from units which shall be true representations of the components of the full-scale circuit. It is usually necessary to imitate the components of the full-scale circuit which have distributed parameters by model units having lumped parameters. In addition, it is essential that the impedance (especially reactance and resistance) characteristics of the model units shall be, as near as possible, a true imitation of those characteristics of the full-scale components at frequencies up to at least that corresponding to the TRV under consideration.

The accuracy of this method depends upon having exact data for the parameters of the circuit to be imitated, and these are frequently difficult to obtain and to simulate on a small model component.

This applies particularly to parameters which vary with frequency, so that this method in general does not directly take into account the depression of the TRV, and tends to give values which are somewhat higher than those obtained with direct short-circuits on a full-scale system.

The method is mainly useful for investigating power systems since it does not require the system to be taken out of service, and will give useful guidance provided that its limitations are recognised.

F.3.6 Group 5 – Calculation from circuit parameters

When the data concerning the parameters of the components of the circuit are known, as for group 4, it is often convenient to calculate the waveform of the TRV, particularly if the circuit is not too complex.

In general, the method does not take into account depression effects, although some allowance can be made for these if the relevant data for the circuit are available; similarly the decrement of the power-frequency component for those TRV where the time t_2 exceeds 1 250 μs (1 000 μs for 60 Hz), can be taken into account.

The method is subject to the limitations of group 4, plus the errors inherent in calculations unless experience has been gained in checking results with actual TRV obtained from tests using the techniques of groups 1, 2, 3 or 6.

F.3.7 Group 6 – No-load switching of test circuits including transformers

This method consists of connecting the test transformer on the open circuit and recording, by oscillograms, the behaviour of the transient voltage at the open gap of the secondary circuit.

La méthode est très utile dans les stations d'essais où le courant de court-circuit est fourni par des alternateurs. Toutefois, le disjoncteur effectuant l'enclenchement ne doit pas comporter de résistance shunt, doit être dépourvu de préamorçage notable et doit être situé à proximité immédiate du disjoncteur en essai. De plus, l'application de cette méthode est limitée aux circuits donnant naissance à une TTR à une seule fréquence et cette méthode ne reproduit pas la composante exponentielle correspondante aux courants de Foucault.

F.3.8 Groupe 7 – Combinaison de différentes méthodes

Si un circuit d'essais synthétiques est utilisé dans lequel différents circuits sont combinés, il peut être nécessaire d'utiliser une combinaison des méthodes proposées. Cela est toujours le cas si la TTR est produite par la superposition de différentes sources (il est fréquent d'utiliser jusqu'à trois sources différentes). Par exemple, dans un circuit à injection de tension, il est possible de vérifier la TTR de la source de courant séparément de la TTR du circuit à injection de tension. Cela signifie que chaque circuit séparé peut être vérifié par une des méthodes proposées. Pour les différents circuits, différentes méthodes peuvent être appliquées. La TTR totale (somme des TTR des différents circuits) peut être construite à l'aide de méthodes mathématiques. Si un équipement d'enregistrement numérique est utilisé, il est aussi possible de construire la TTR totale en combinant les données numériques obtenues par les différentes méthodes.

Dans le cas d'une combinaison des méthodes proposées, les limites spécifiques des méthodes, données au tableau F.1, doivent être considérées.

F.4 Comparaison des méthodes

Les diverses méthodes sont classées dans le tableau F.1 avec leurs caractéristiques, leurs avantages et leurs inconvénients.

The method is very useful in those test stations where the short-circuit current is obtained by generators. However, the circuit-breaker used for the switching shall have no shunt resistance, be free of any appreciable pre-striking and be located in close proximity to the circuit-breaker under test. Furthermore, this method has a limited application to those circuits producing single frequency TRV and does not reproduce the exponential component which is related to eddy currents.

F.3.8 Group 7 – Combination of different methods

If a synthetic test circuit is applied in which different circuits are combined, it may be necessary to use a combination of the proposed methods. This is always the case, if the TRV is superimposed by the outputs of different sources (up to three different sources are usual). For example, in a voltage injection test circuit, it is possible to check the TRV from the current source separated from the TRV from the voltage injection circuit. This means that each of the separate circuits can be checked by one of the proposed methods. For the different circuits, different methods may be applied. The overall TRV (sum of the TRVs from the different circuits), can be constructed by mathematical methods. If digital recording equipment is used, it is also possible to construct the overall TRV by combining the digital data obtained by the different methods.

In the case of a combined use of the proposed methods, the specific limits of the methods, given in table F.1, shall be taken into account.

F.4 Comparison of methods

The various methods are listed in table F.1, with their characteristics, advantages and disadvantages.

Tableau F.1 – Méthodes pour la détermination de la TTR présumée

Méthode	Limites théoriques	Limites pratiques
F.1.1 Essais grandeur nature avec disjoncteur idéal	Aucune. Tous les phénomènes sont correctement représentés	Absence de disjoncteur idéal pour couvrir toute la gamme de spécifications
F.1.2 Essais à fréquence industrielle à pleine tension avec déformation limitée du courant (un essai avec un disjoncteur idéal ou un essai d'établissement est réalisable)	Ne tient pas compte des relations non linéaires qui peuvent exister dans le circuit d'essais, c'est-à-dire l'absence de relation linéaire entre le courant et la tension à une fréquence particulière (à ne pas confondre avec les influences des éléments du circuit qui dépendent du temps)	Absence de disjoncteur idéal pour couvrir toute la gamme de spécifications. L'obtention de la TTR exige des techniques de mesurage compliquées; sans cela, il est difficile d'interpréter les résultats en présence d'une importante composante à fréquence industrielle Pour des essais d'établissement, le dispositif le plus convenable est une inductance parfaite; autrement, un élément du circuit d'essais peut être utilisé lorsqu'il est disponible (par exemple résistance ou condensateur) L'utilisation de tels éléments est vraisemblablement encombrante et chère
F.1.3 Essais à fréquence industrielle à tension réduite avec un disjoncteur idéal sur un circuit d'essais par ailleurs non modifié (c'est-à-dire essais à excitation réduite)	Ne tient pas compte des relations non linéaires qui peuvent exister dans le circuit d'essais, c'est-à-dire l'absence de relation linéaire entre le courant et la tension à une fréquence particulière (à ne pas confondre avec les influences des éléments du circuit qui dépendent du temps)	Tant qu'un disjoncteur idéal couvrant la gamme complète des spécifications n'est pas disponible, le choix du disjoncteur idéal à utiliser est limité La synchronisation peut être difficile à réaliser dans les circuits utilisant plus d'un alternateur L'excitation devra être suffisante pour éviter la déformation de la forme d'onde N'est généralement pas possible dans une station d'essais alimentée par un réseau
F.1.4 Essais grandeur nature avec un disjoncteur courant	Difficultés de séparer les influences du disjoncteur des caractéristiques de la TTR enregistrées durant l'essai	Choix de disjoncteurs convenables comportant une faible tension d'arc, produisant une déformation négligeable du courant au passage par zéro, possédant un courant post-arc négligeable et sans impédance shunt Si on ne peut effectuer cela, on introduit des erreurs et il est possible d'observer un manque d'uniformité entre les stations d'essais par suite de l'utilisation de disjoncteurs ayant des caractéristiques différentes

Table F.1 – Methods for determination of prospective TRV

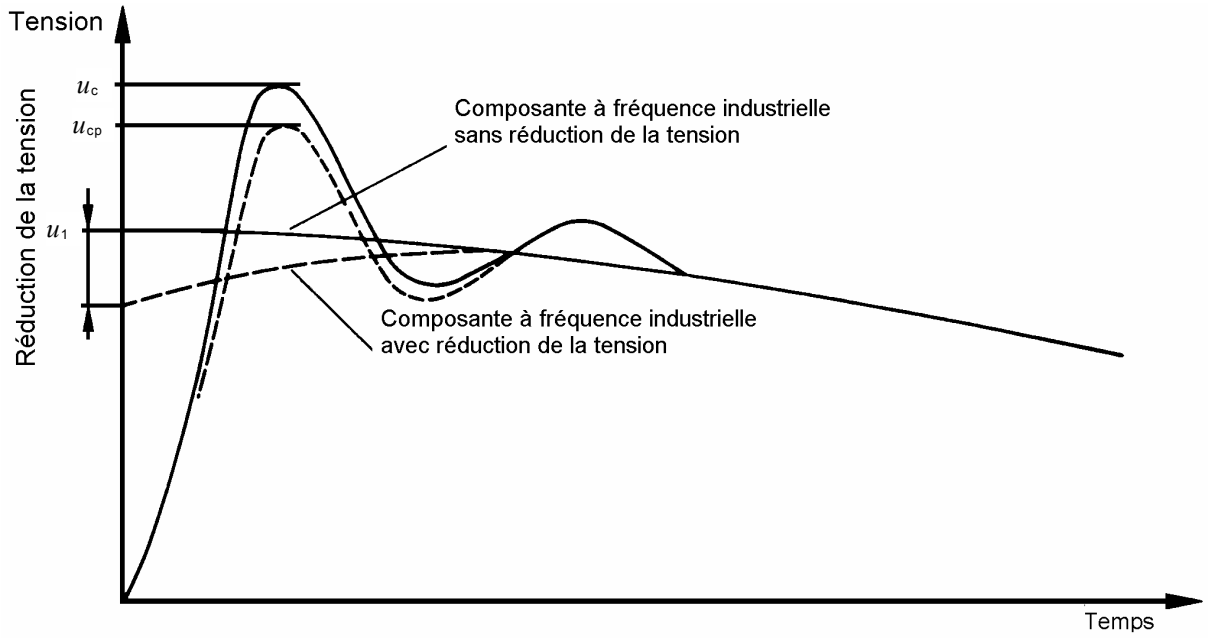
Method	Theoretical limitations	Practical limitations
F.1.1 Full scale tests with an ideal circuit-breaker	None. All phenomena are correctly represented	Non-existence of an ideal circuit-breaker to cover the full range of requirements
F.1.2 Power-frequency tests at full voltage with a limited current disturbance. (Either an ideal circuit-breaker test or a "close" test is feasible)	Does not account for non-linearities which may exist in the test circuit, i.e. the absence of a linear relationship between current and voltage at a particular frequency (not to be confused with the effects of time-dependent circuit elements)	Non-existence of an ideal circuit-breaker to cover the full range of requirements. Extraction of the TRV requires sophisticated measurement techniques: otherwise, it is difficult to interpret results in the presence of a large power-frequency voltage component For making tests, the most suitable current limiting device is a perfect inductance; otherwise an element of the test circuit may be used where it is available (e.g. resistor or capacitor). Elements used are likely to be bulky and expensive
F.1.3 Power-frequency tests at reduced voltage with an ideal circuit-breaker on an otherwise unmodified test circuit (i.e. low excitation tests)	Does not account for non-linearities which may exist in the test circuit, i.e. the absence of a linear relationship between current and voltage at a particular frequency (not to be confused with the effects of time-dependent circuit elements)	Whilst ideal circuit-breakers to cover the whole range are not yet available, the selection of the ideal circuit-breaker to be used is limited With circuits employing more than one generator, synchronization can be difficult to achieve Excitation should be sufficiently high to avoid waveform distortion Generally not possible in a network station
F.1.4 Full scale tests with a conventional circuit-breaker	Difficulty of separating the circuit-breaker effects from the TRV characteristics recorded during test	Choice of suitable circuit-breakers having a low arc-voltage producing negligible current distortion at current zero, negligible post-arc current and no shunt impedances. In cases where the above cannot be made, errors are introduced and there is the possibility of lack of uniformity between testing stations due to the use of circuit-breakers having different characteristics

Tableau F.1 *(suite)*

Méthode	Limites théoriques	Limites pratiques
F.2 Essais avec un disjoncteur idéal sur un circuit hors tension avec injection de courant à fréquence industrielle	Ne tient pas compte des relations non linéaires qui peuvent exister dans le circuit d'essais, c'est-à-dire l'absence de relation linéaire entre le courant et la tension à une fréquence particulière (à ne pas confondre avec les influences des éléments du circuit qui dépendent du temps)	Dans une station d'essais alimentée par un réseau, n'est applicable qu'à des éléments de circuit hors tension, par exemple les composantes constituant la ligne pour les défauts proches en ligne, ou si l'impédance du réseau est négligeable par rapport aux autres impédances du circuit d'essais Les alternateurs doivent être arrêtés pour éviter les tensions rémanentes La position du rotor peut avoir de l'importance s'il existe une différence considérable entre les réactances en phase et en quadrature Le temps de recouvrement inverse des diodes de coupure utilisées à la place d'un disjoncteur idéal, pouvant supporter le courant injecté à fréquence industrielle nécessaire pour l'essai, peut avoir de l'influence sur la TTR si celle-ci contient des composantes à haute fréquence, par exemple pour les circuits d'essais de défaut proche en ligne Les interférences induites dans le circuit d'essais hors tension provenant de sources extérieures peuvent avoir de l'influence sur la TTR si la tension d'essai est relativement faible par suite de la très faible réactance du circuit ou de la partie de circuit, par exemple comme pour les défauts proches en ligne
F.3 Essais avec un disjoncteur idéal sur un circuit hors tension avec injection de courant à une fréquence supérieure à la fréquence industrielle	Ne tient pas compte des relations non linéaires qui peuvent exister dans le circuit Ne fournit pas directement l'impédance à fréquence industrielle Donne la forme d'onde et les valeurs correctes de la TTR à partir du zéro des circuits à une et plusieurs fréquences mais seulement jusqu'au premier maximum, pourvu que la fréquence d'injection soit supérieure à la fréquence industrielle et bien inférieure à la fréquence de la TTR. Il n'est pas possible d'évaluer correctement le facteur d'amplitude	Dans une station d'essais alimentée par un réseau, n'est applicable qu'à des éléments de circuit hors tension, par exemple les composantes constituant la ligne pour les défauts proches en ligne, ou si l'impédance du réseau est négligeable par rapport aux autres impédances du circuit d'essais Les alternateurs doivent être arrêtés pour éviter les tensions rémanentes La position du rotor peut avoir de l'importance s'il existe une différence considérable entre les réactances en phase et en quadrature
F.4 Essais à l'aide de modèles de réseaux (analyseurs transitoires de réseaux)	Les données précises relatives aux caractéristiques non linéaires du réseau et dépendantes de la fréquence ne sont pas toujours disponibles Une connaissance exacte des éléments du circuit et de leurs paramètres parasites est nécessaire	Il est nécessaire de représenter de façon adéquate les éléments du circuit par les éléments de l'analyseur transitoire de réseau, y compris leurs caractéristiques non linéaires et dépendantes du temps
F.5 Calcul d'après les paramètres du circuit	Les données précises relatives aux caractéristiques non linéaires du réseau et dépendantes de la fréquence ne sont pas toujours disponibles Une connaissance exacte des éléments du circuit et de leurs paramètres parasites est nécessaire	Si l'impédance du réseau n'est pas négligeable par rapport à l'impédance de la station d'essais, il est nécessaire de connaître complètement les conditions correspondantes du réseau à l'instant de l'essai Représentation précise ou adéquate des éléments du circuit, y compris leurs caractéristiques non linéaires et dépendantes du temps, en particulier de leurs paramètres parasites
F.6 Manœuvre à vide des transformateurs d'essais	Des corrections sont nécessaires pour le front de l'onde de tension à fréquence industrielle, à moins que les transformateurs ne soient mis sous tension à la crête de l'onde de tension ou près de celle-ci	Exige le circuit réel des essais de court-circuit Applicable seulement aux circuits à une seule fréquence

Table F.1 *(continued)*

Method	Theoretical limitations	Practical limitations
F.2 Ideal circuit-breaker tests on a "dead" circuit with power frequency current injection	Does not account for non-linearities which may exist in the circuit, i.e. the absence of a linear relationship between current and voltage at a particular frequency (not to be confused with the effects of time-dependent circuit elements)	In a network-fed testing station, only applicable on "dead" circuit elements, for example short-line fault components, or where the impedance of the network is negligible compared with the remainder of the circuit impedance Generators shall be at rest to avoid remanent voltages Position of rotor may be important if there is a considerable difference between direct and quadrature reactances. The reverse recovery time of switching diodes as used instead of an ideal circuit-breaker, capable of carrying the necessary injected power-frequency current, may affect the TRV where this contains high frequency components, for example in short-line fault test circuits Interference from external sources induced in the "dead" circuit may affect the TRV where the measuring voltage is relatively small due to very low circuit reactance, for example as associated with short-line faults
F.3 Ideal circuit-breaker tests on a "dead" circuit with current injection at a frequency above power frequency	Does not account for non-linearities which may exist in the circuit. Does not give power frequency impedance directly. Gives correct waveform and values for the TRV of single and multi-frequency circuits from zero to the first maximum only, provided that the injection frequency is above power frequency and well below the frequency of the TRV. It is not possible to evaluate amplitude factor correctly	In a network-fed testing station, only applicable on "dead" circuit elements, e.g. short-line fault components, or where the impedance of the network is negligible compared with the remainder of the test circuit impedance. Generators shall be at rest to avoid remanent voltages. Position of rotor may be important if there is a considerable difference between phase and quadrature reactances
F.4 Model network tests (transient net work analysers)	Precise information of non-linear and frequency-dependent characteristics of the network is not always available. Exact knowledge of circuit components and their stray parameters is necessary	Adequate representation of circuit components in the transient network analyser elements, including their non-linear and lime-dependent characteristics, is necessary
F.5 Calculation from circuit parameters	Precise information on non-linear and frequency-dependent characteristics of the network is not always available. Exact knowledge of circuit components and their stray parameters is necessary	Where the network impedance is not negligible compared with the test station impedance, complete knowledge of the relevant momentary network conditions is necessary Accurate or adequate representation of the circuit components, including their non-linear and time-dependent characteristics and particularly the stray parameters
F.6 No-load switching of testing transformers	Corrections necessary for power frequency voltage wavefront unless the transformers are energized at or near the peak of the voltage wave	Requires actual short-circuit test circuits Applicable only for single-frequency circuits



u_c = valeur de crête de la TTR spécifiée

u_{cp} = TTR mesurée avec la réduction de la tension

u_1 = valeur de crête da la tension à fréquence industrielle sans réduction de la tension

Figure F.1 – Influence de la réduction de la tension sur la valeur de crête de la TTR

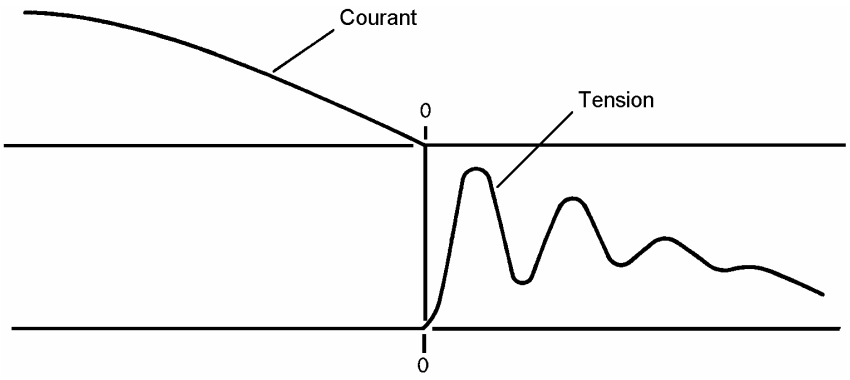
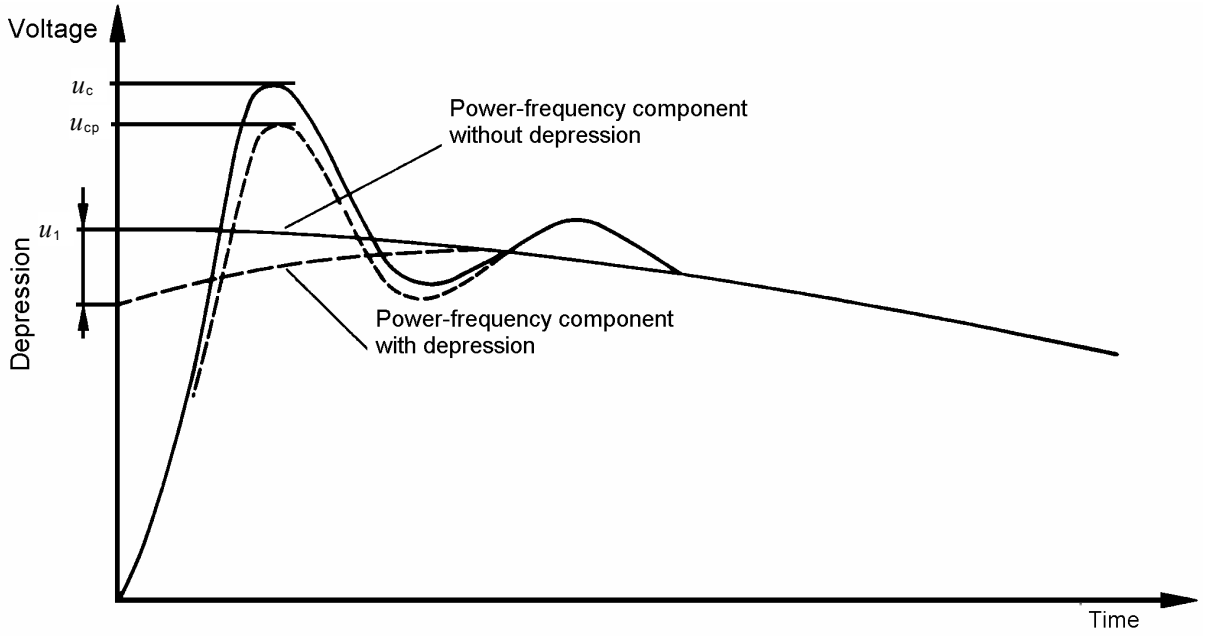


Figure F.2 – TTR pour une coupure idéale



u_c = peak value of specified TRV

u_{cp} = TRV measured with depression

u_1 = peak value of power frequency voltage without depression

Figure F.1 – Effect of depression on the peak value of the TRV

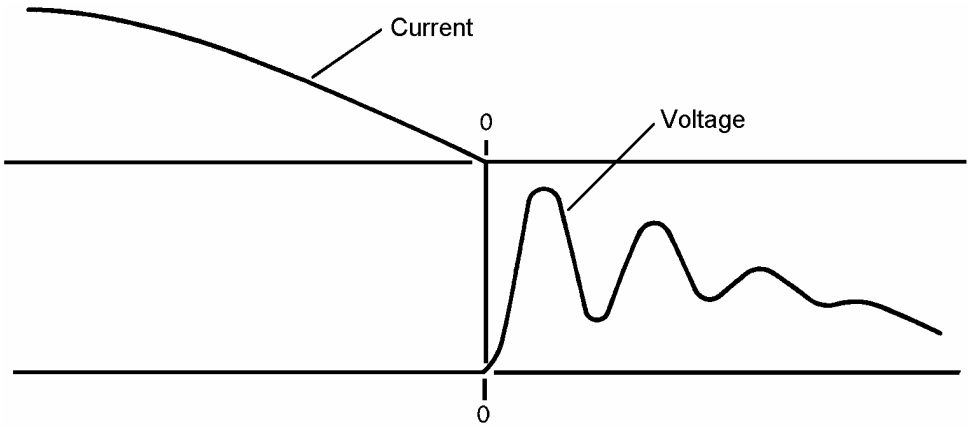


Figure F.2 – TRV in case of ideal breaking

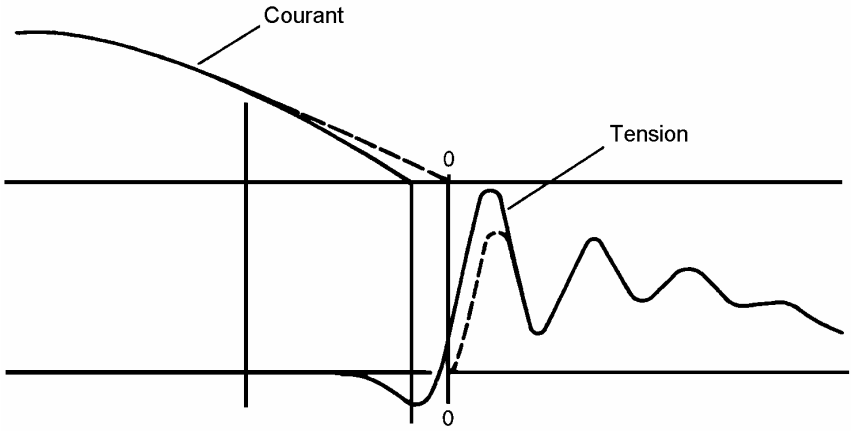


Figure F.3 – Coupure avec présence d'une tension d'arc

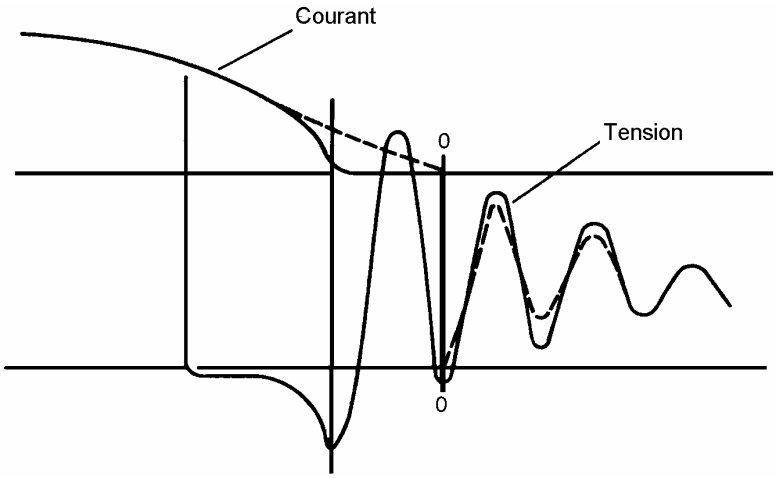


Figure F.4 – Coupure avec arrachement prononcé du courant

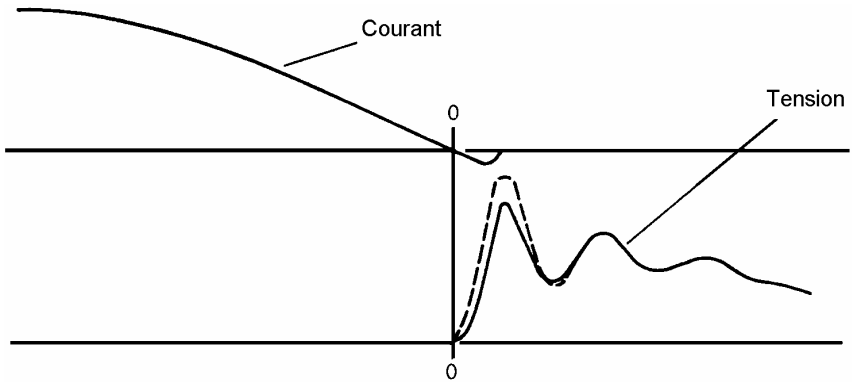


Figure F.5 – Coupure avec courant post-arc

NOTE Influence de l'arc, de l'arrachement du courant et de la conductibilité post-arc sur la tension transitoire de rétablissement. Les lignes tiretées représentent dans les figures F.3 à F.5 l'allure de la courbe dans le cas de la coupure idéale.

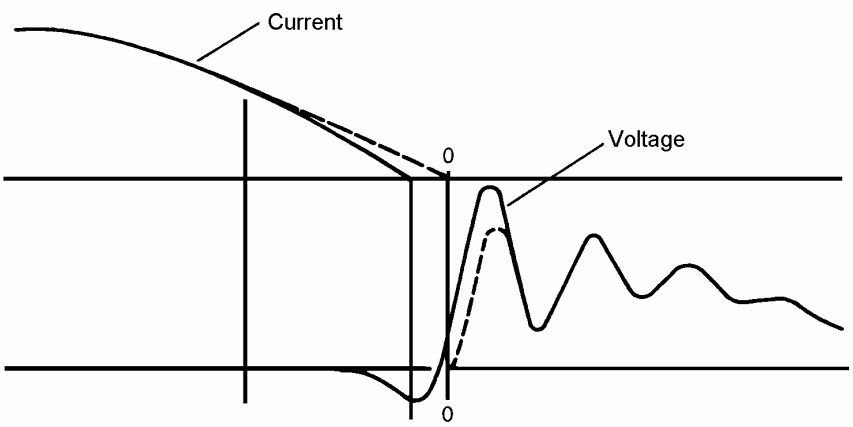


Figure F.3 – Breaking with arc-voltage present

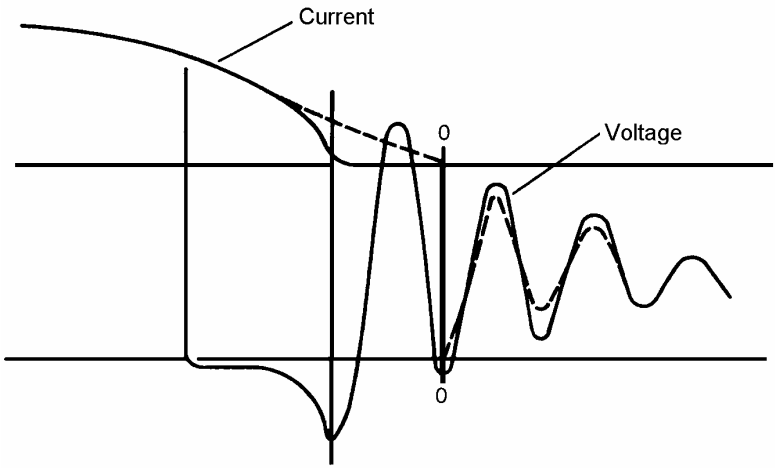


Figure F.4 – Breaking with pronounced premature current-zero

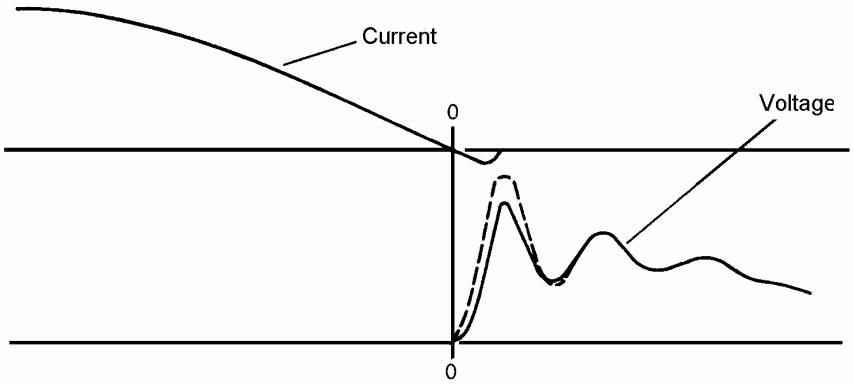
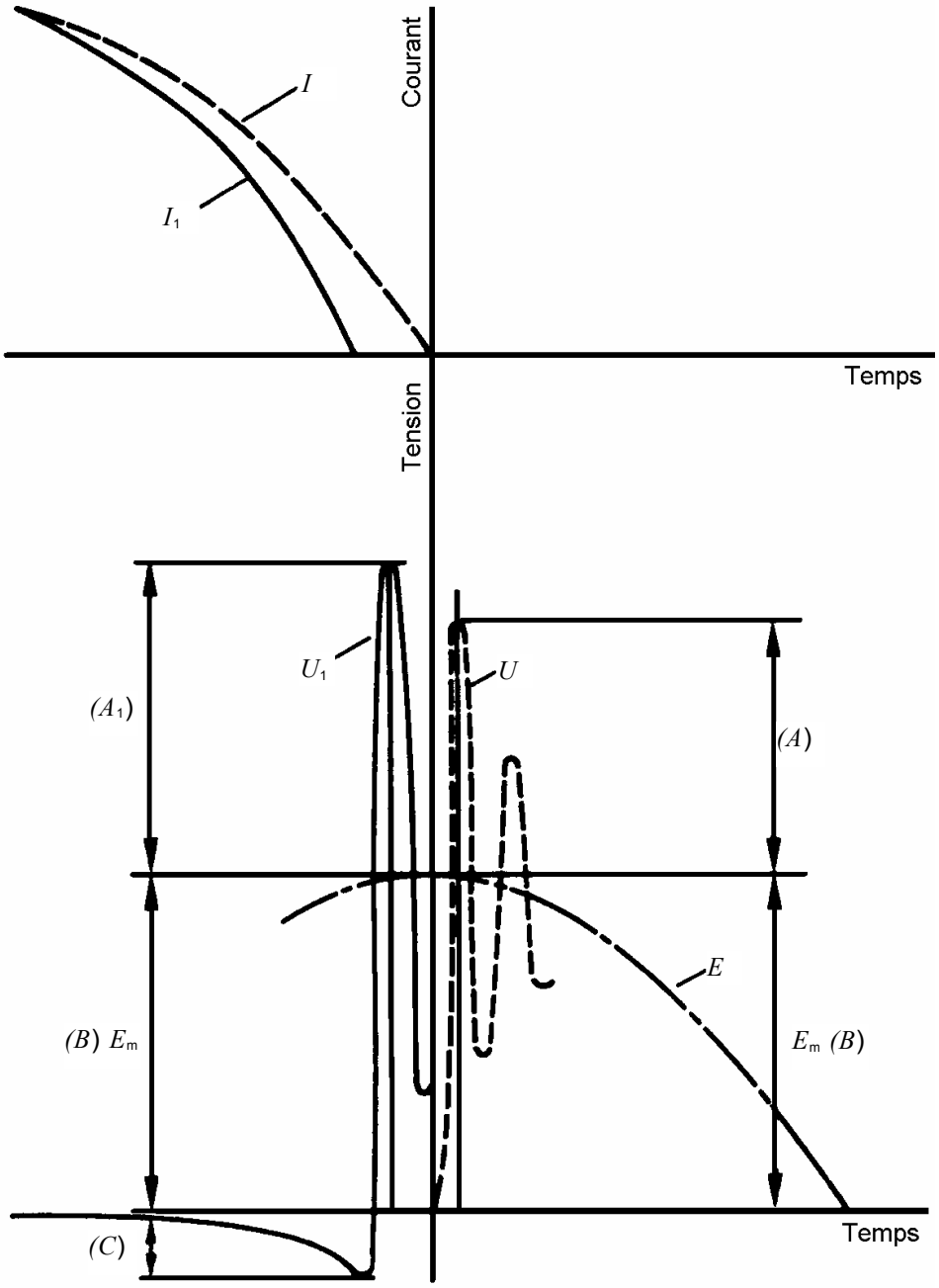


Figure F.5 – Breaking with post-arc current

NOTE Influence of the arc, of premature current-zero and of post-arc conductivity on the transient recovery voltage. The chain-dotted lines in figures F.3 to F.5 represent the behaviour following ideal breaking.



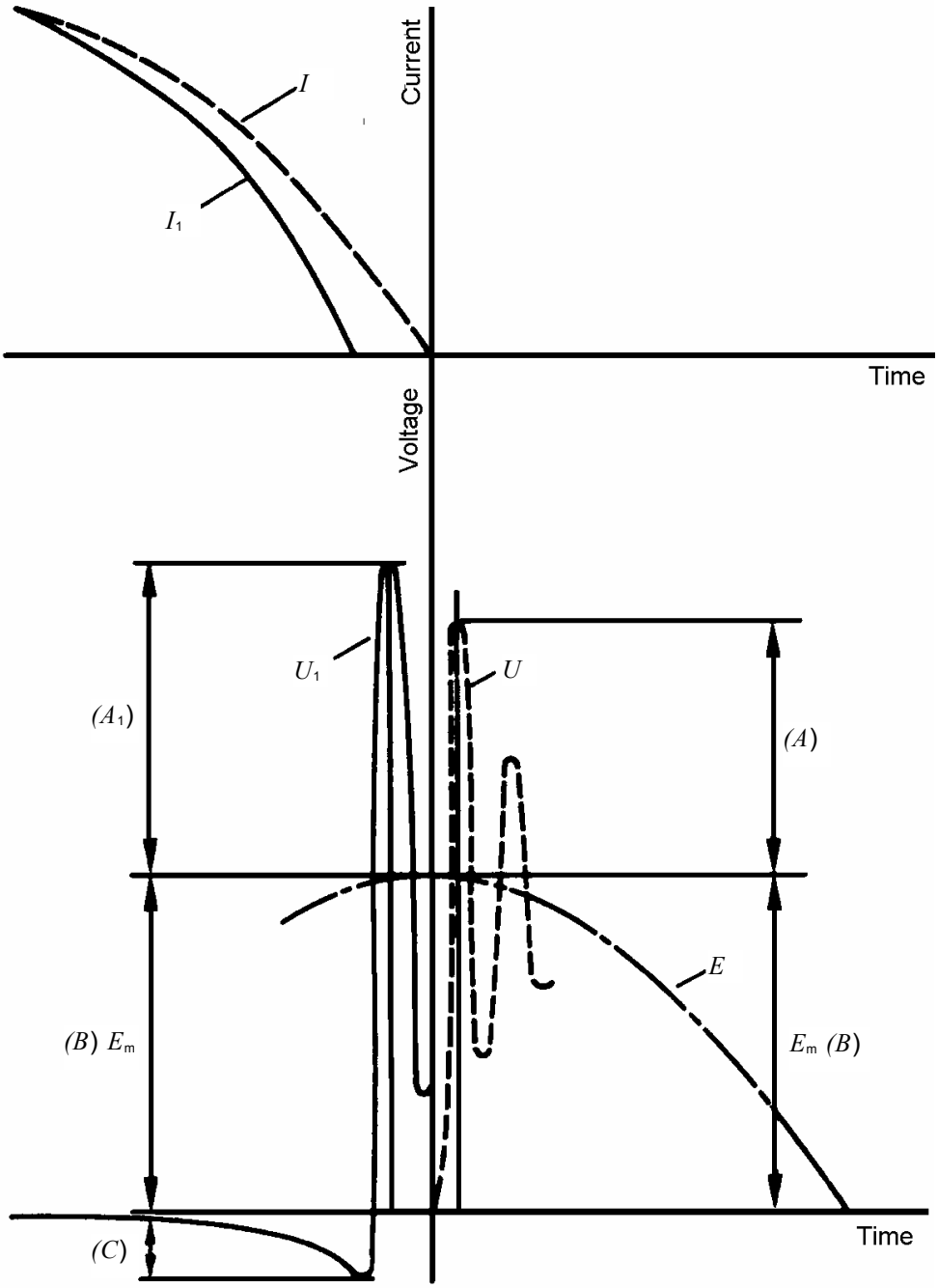
I_1, U_1 = courant et tension, respectivement,obtenus en essai

I, U = courant et tension, respectivement, présumée du réseau

E = tension de rétablissement à fréquence industrielle

$A + B = A_1 \frac{B}{B + C} + B$ = valeur de crête de la tension transistoire de rétablissement

Figure F.6 – Relation entre les valeurs du courant et de la TTR apparaissant lors de l'essai, et les valeurs présumées du réseau



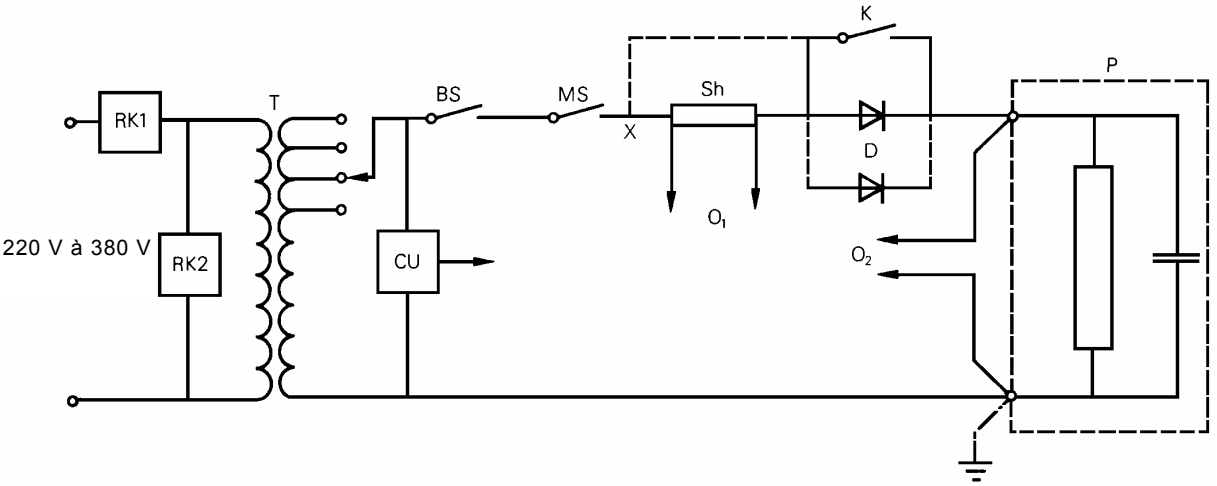
I_1, U_1 = current and voltage, respectively, obtained in test

I, U = prospective current and voltage, respectively, of system

E = power frequency recovery voltage

$A + B = A_1 \frac{B}{B + C} + B$ = peak value of transient recovery voltage

Figure F.6 – Relationship between the values of current and TRV occuring in test and those prospective to the system



RK1, RK2 = si nécessaire, circuits résonants séries et parallèles en vue de la suppression des harmoniques

T = transformateur isolant le circuit d'injection de l'alimentation et fournissant une tension de sortie réglable

BS = interrupteur de protection

MS = interrupteur pour l'établissement du courant

K = interrupteur court-circuitant la diode

X = en variante, connexion pour K permettant l'utilisation d'un shunt comportant une caractéristique nominale temps-courant relativement faible

D = montage en parallèle de diodes au silicium à coupure rapide (jusqu'à cinq diodes)

Sh = shunt de mesure du courant

O_1 = oscillographe cathodique, première piste utilisée pour enregistrer l'ampitude à la linéarité du courant ainsi que pour contrôler le fonctionnement de la diode

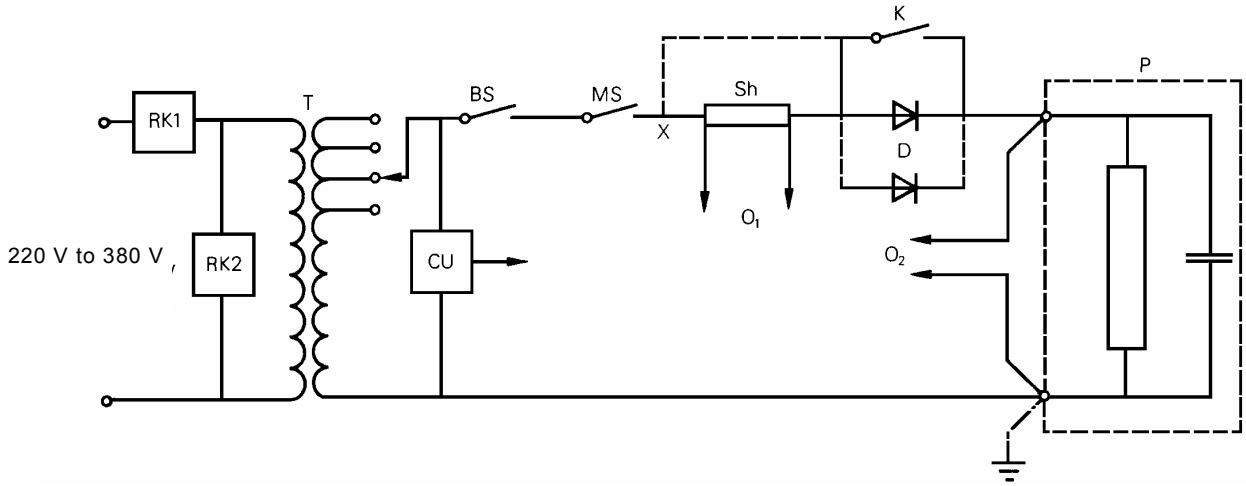
O_2 = oscillographe cathodique, seconde piste enregistrant la réponse du circuit d'essai

P = circuit dont on mesure la TTR présumée

CU = élément de commande fournissant la séquence de manoevres indiquée sur la figure F.8

NOTE Le mesurage du courant injecté peut également être effectué au potentiel de la terre.

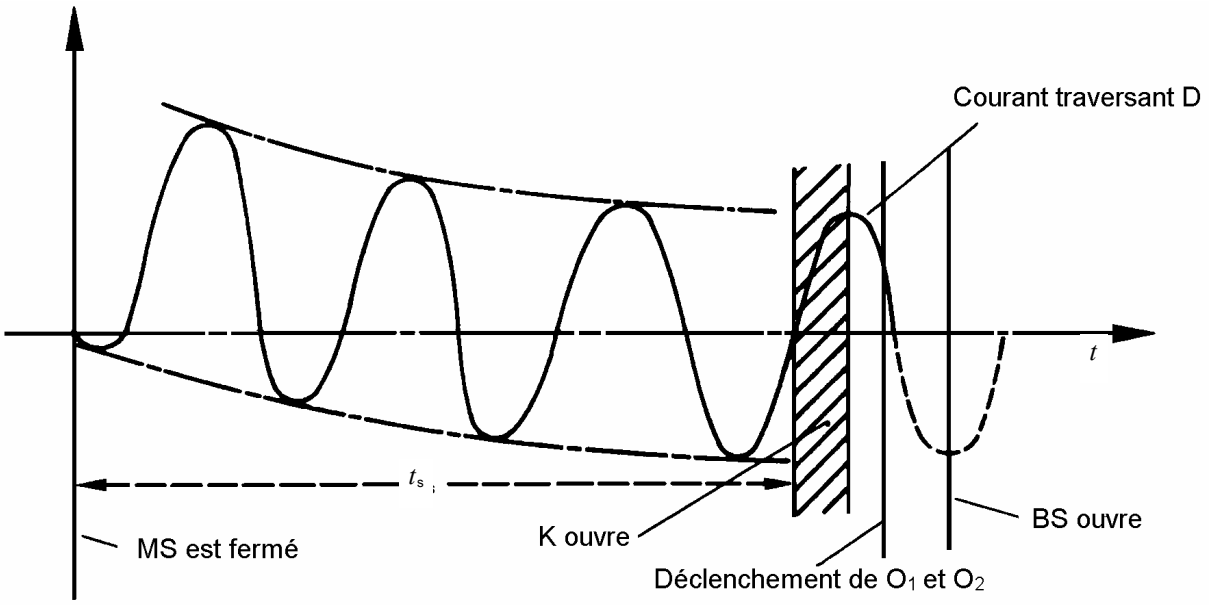
Figure F.7 – Schéma de l'appareil d'injection de courant à fréquence industrielle



RK1, RK2	=	where required, series and parallel resonant circuits for harmonic suppression purposes
T	=	transformer to isolate injection circuit from supply and to provide an adjustable output voltage
BS	=	back-up switch
MS	=	making switch
K	=	diode by-pass switch
X	=	alternative connection for K to permit use of a shunt having relatively low time-current rating
D	=	parallel connection of up to five fast silicon switching diodes
Sh	=	current measuring shunt
O_1	=	cathode-ray oscillograph, trace 1 recording magnitude and linearity of current for checking the diode operation
O_2	=	cathode-ray oscillograph, trace 2 recording the response of the circuit
P	=	circuit the prospective TRV of which is to be measured
CU	=	control unit to provide the sequence of operation given in figure F.8

NOTE The measurement of the injected current may equally be made at earth potential.

Figure F.7 – Schematic diagram of power-frequency current injection apparatus



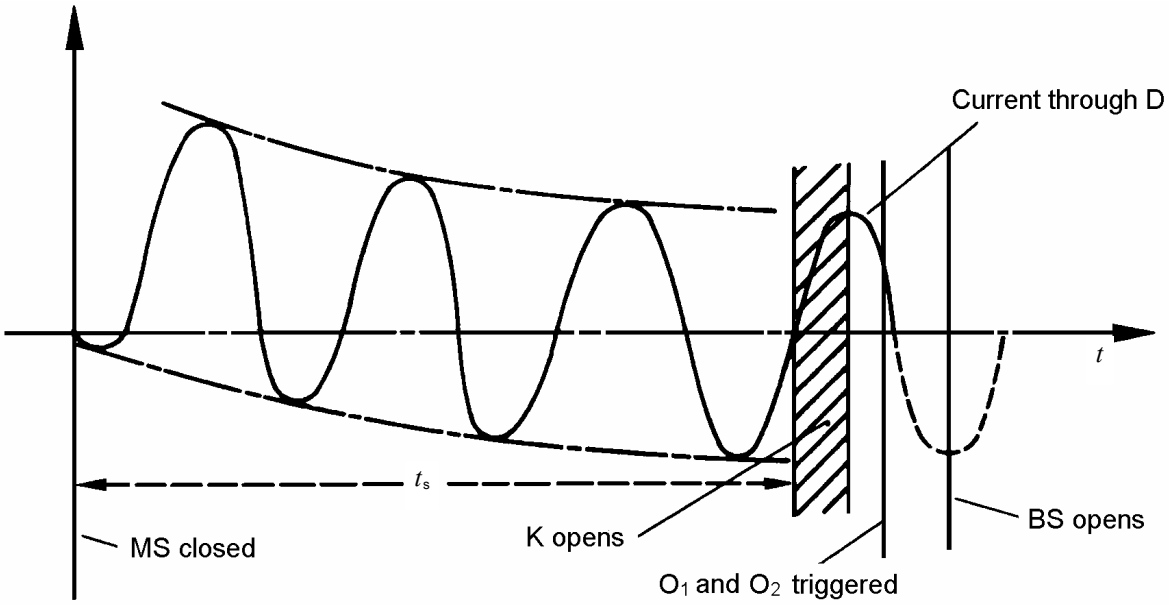
Au repos: BS et K sont en position de fermeture, MS est en position d'ouverture.

t_s = temps de passage du courant avant le fonctionnement de l'interrupteur K

Valeurs types comprises entre 10 et 20 périodes du courant injecté.

Le principal critère est que la composante apériodique du courant, si elle existe ait une décroissance telle qu'elle devienne inférieure à 20 % de la composante périodique.

Figure F.8 – Séquence de manoeuvres de l'appareil d'injection de courant à fréquence industrielle



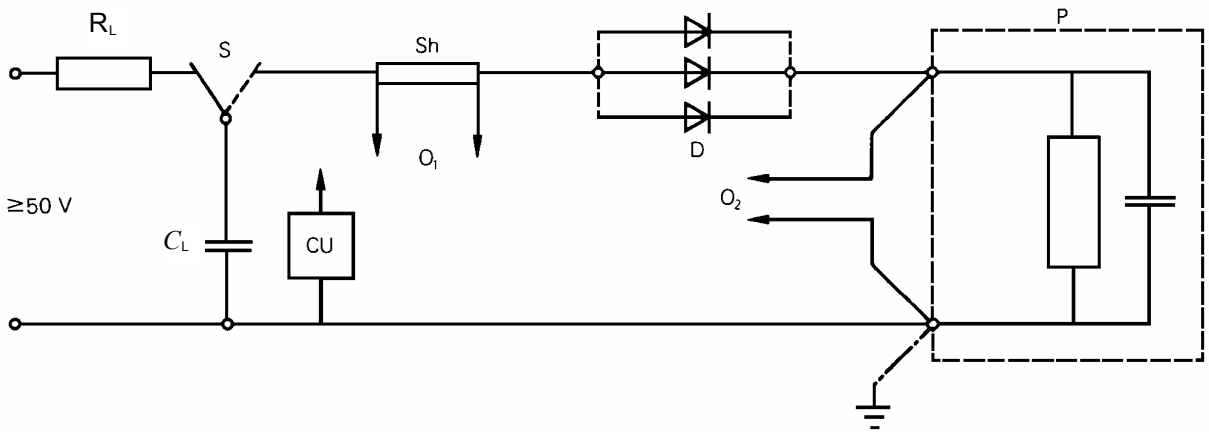
Quiescent state: BS and K closed, MS open.

t_s = duration of current flow prior to operation of switch K

Typical values lie between 10 and 20 cycles of injected current.

The main criterion is that the d.c. component of current, if any, shall have decayed to a value less than 20 % of the a.c. component.

Figure F.8 – Sequence of operation of power-frequency current injection apparatus



R_L = résistance de charge

S = relais de commutation

C_L = condensateur constituant la source

NOTE Quand le condensateur C_L chargé est relié au circuit P par l'intermédiaire du relais S, un courant de forme oscillatoire de fréquence f_1 circule. Il est recommandé de régler la valeur de C_L de telle façon que:

$f_1 \leq \frac{f_e}{8}$ ou f_e est la fréquence propre du circuit P, $f_e = \frac{1}{2T_e / 2}$

la valeur de f_1 doit être telle qu'elle assure la disparition des oscillations qui se superposent au courant avant le passage à zéro de ce dernier.

Sh = shunt de mesure du courant

O_1 = oscillographe cathodique, première piste utilisée pour enregistrer l'amplitude à la linéarité du courant ainsi que pour contrôler le fonctionnement de la diode

O_2 = oscillographe cathodique, seconde piste enregistrant la réponse du circuit d'essai

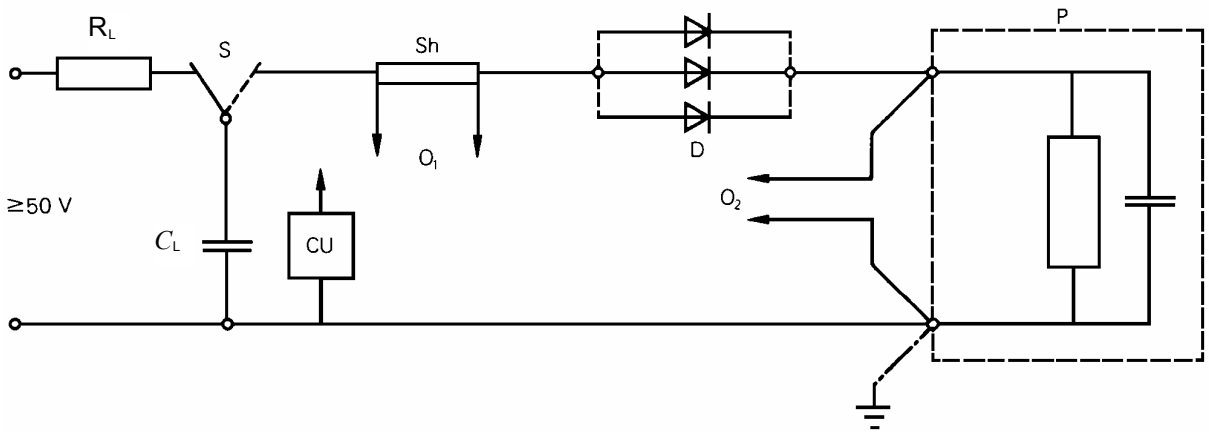
D = montage en parallèle de diodes au silicium à coupure rapide (jusqu'à 100 diodes)

P = circuit dont on mesure la TTR présumée

CU = élément de commande fournissant la séquence de manoeuvres indiquée sur la figure F.10

NOTE Le mesurage du courant injecté peut également être effectué au potentiel de la terre.

Figure F.9 – Schéma de l'appareillage d'injection par condensateur



R_L = charging resistor

S = switching relais

C_L = source capacitance

NOTE When the charged capacitance C_L is connected to the circuit P via relay S an oscillatory current, of frequency f_1, flows. The value of C_L should be adjusted so that:

$f_1 \leq \frac{f_e}{8}$, where f_e is the natural frequency of circuit P, $f_e = \frac{1}{2T_e / 2}$

f_1 shall be such that the superimposed current oscillations will have disappeared before the instant of current zero.

Sh = current measuring shunt

O_1 = cathode-ray oscillograph, trace 1 recording magnitude and linearity of the current and checking the diode operation

O_2 = cathode-ray oscillograph, trace 2 recording the response of the circuit

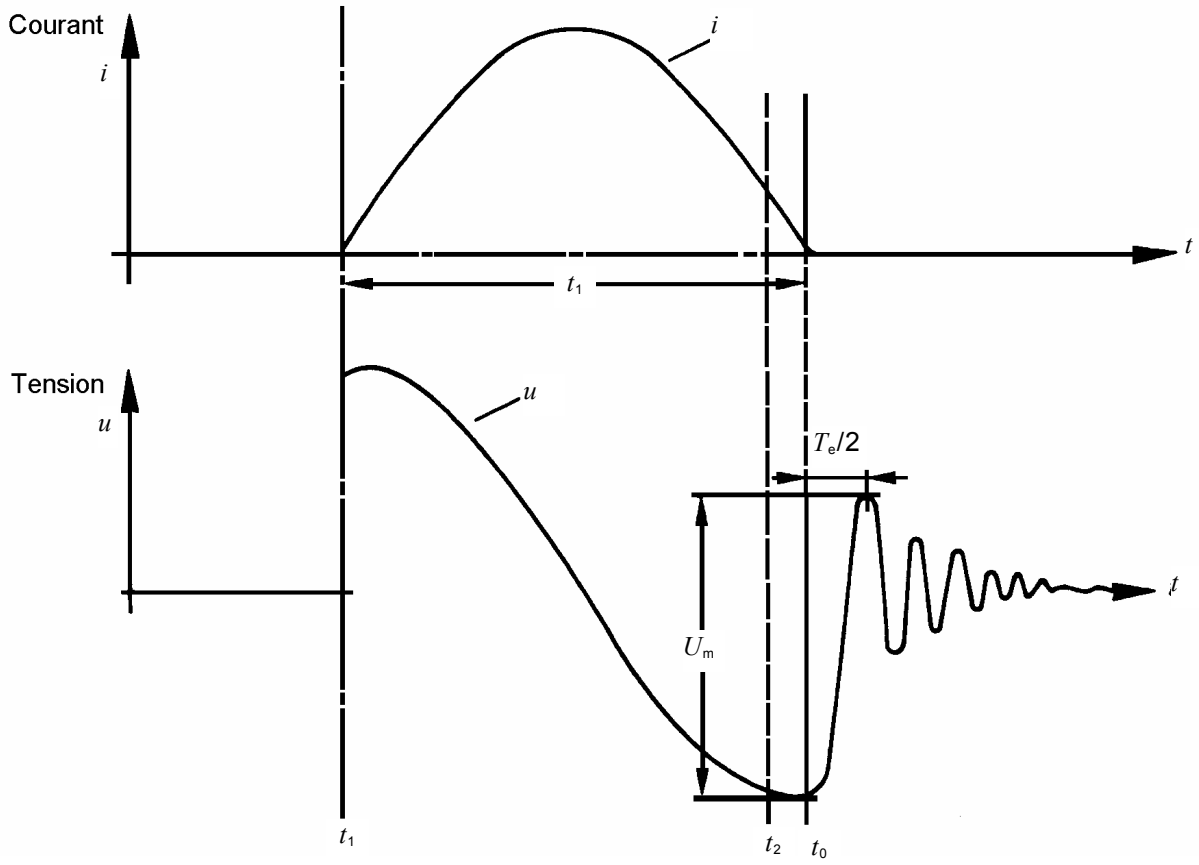
D = parallel connection of up to 100 fast silicon switching diodes

P = circuit the prospective TRV of which is to be measured

CU = control unit to provide the sequence of operation given in figure F.10

NOTE The measurement of the injected current may equally be made at earth potential.

Figure F.9 – Schematic diagram of capacitance injection apparatus



t_1 = commutation de S

t_2 = déclenchement de l'oscillographe

u = courbe de la tension aux bornes du circuit P

i = forme de l'onde du courant injecté

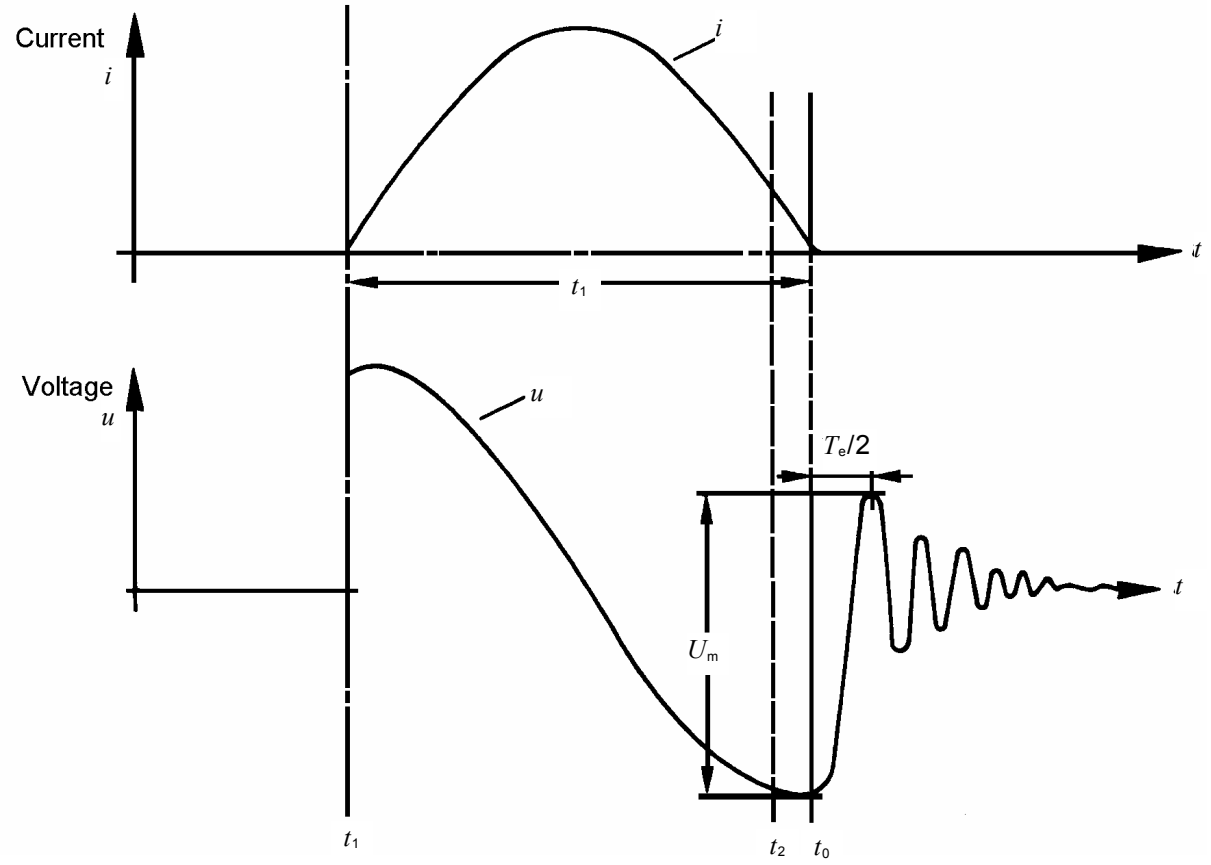
U_m = valeur maximale de la tension qui peut être appliquée aux diodes

t_0 = passage par zéro du courant (commencement de l'oscillation de la TTR)

t_1 = durée du courant à travers la diode D, $f_1 = \frac{1}{2t_1}$

$\frac{T_e}{2}$ = durée d'une demi-période de la TTR

Figure F.10 – Séquence de manoeuvres de l'appareil d'injection par condensateur



t_1 = switching of S

t_2 = tripping of the cathode-ray oscillograph

u = voltage curve across the terminals of the circuit P

i = waveform of the injected current

U_m = maximum voltage stressing of the diodes

t_0 = time where current passes through zero (beginning of the TRV oscillation)

t_1 = duration of current through diode D, $f_1 = \frac{1}{2t_1}$

$\frac{T_e}{2}$ = duration of half-cycle of TRV

Figure F.10 – Sequence of operation of capacitor-injection apparatus

Annexe G
(normative)

Raison d'être de l'introduction de disjoncteurs de classe E2

On remarquera que l'introduction des disjoncteurs de classe E2 est limitée aux disjoncteurs de distribution. Il existe déjà, dans cette norme, des cas où des essais sont limités à certaines gammes de tensions; il ne devrait donc pas y avoir de problème à ajouter l'essai d'endurance électrique uniquement pour des disjoncteurs dont la tension assignée est inférieure ou égale à 52 kV.

La plupart des disjoncteurs fabriqués actuellement sont du type scellé ou à pression autonome, ne prévoyant qu'un appoint de gaz (s'il y a lieu), mais pas d'entretien interne. Il n'est pas nécessaire que les disjoncteurs traditionnels satisfassent aux exigences d'entretien réduit mais l'utilisateur peut vouloir (et dans beaucoup de cas il le voudra) spécifier, pour de bonnes raisons économiques, un disjoncteur de classe E2.

De ce fait, il y a deux possibilités: soit d'utiliser un disjoncteur dont les parties internes peuvent être entretenues et l'entretenir comme nécessaire pendant toute sa durée de vie, soit d'utiliser un disjoncteur de classe E2 mais exiger un régime d'essai plus sévère pour contrôler ses performances.

L'essai d'endurance électrique proposé pour les réseaux de câbles est une série complète des séquences d'essai T10 à T100a sans entretien intermédiaire. Il est quasi certain que tous les disjoncteurs de distribution du type scellé sous SF_6 ou sous vide ont été essayés ainsi depuis de nombreuses années. Aucun essai supplémentaire n'est donc demandé en plus des essais de type en court-circuit normaux.

Pour les réseaux aériens, l'essai standard doit être effectué séparément. L'essai supplémentaire proposé s'appuie sur une exigence d'utilisateurs, basée sur des statistiques d'expérience en service.

Il convient d'être prudent en comparant différents programmes d'essais. La relation entre courant et érosion (des contacts) n'est pas aussi simple qu'il puisse paraître.

Finalement, il convient de noter que les essais supplémentaires sont optionnels, à la demande de l'utilisateur, pour convenir à ces applications.

Annex G
(normative)

Rationale behind introduction of circuit-breakers class E2

It should be noted that the introduction class E2 circuit-breakers is restricted to distribution circuit-breakers. This standard already has cases where some tests are restricted to voltage ranges, so no problems should arise in adding the electrical endurance test only to circuit-breakers of rated voltages up to and including 52 kV.

The majority of circuit-breakers manufactured today are of the sealed type or closed type, only anticipating top-up of gas (where applicable), not internal maintenance. Traditional circuit-breakers do not need to fulfil low-maintenance requirements, but the user may wish (and in very many cases does wish) to specify a circuit-breaker class E2 for sound economic reasons.

There are therefore two choices: either to use a circuit-breaker having maintainable internal parts and maintain as needed during its expected working life, or to use a circuit-breaker class E2 but expect a more onerous testing regime to check its capability.

The proposed electrical endurance test for cable-connected networks is a full series of test-duties T10 to T100a without intermediate maintenance. It is almost certain that all distribution circuit-breakers of the sealed SF_6 or vacuum type have been tested like this for a number of years. No extra tests are therefore required beyond the normal short-circuit type test.

For overhead-line networks, the standard test shall be performed separately. The proposed extra test is a user requirement based on statistical service experience.

Care needs to be taken in comparing different test programmes. The current versus wear relationship is not as simple as it may appear.

Finally, it should be noted that the extra tests are optional, at the user's request, to satisfy these applications.

Annexe H
(informative)

Courants d'appel des batteries de condensateurs simples et à gradins

H.1 Généralités

La mise sous tension d'une batterie de condensateurs par fermeture d'un disjoncteur produit des phénomènes transitoires dus à la charge des condensateurs. La charge oscillante provoque une surintensité (courant d'appel) dont l'amplitude et la fréquence sont fonctions du réseau, des caractéristiques de la batterie et de l'instant de la fermeture du circuit. L'amplitude et la forme d'onde du courant d'appel sont fonctions de la tension appliquée, des capacités du circuit, des valeurs et de la localisation des inductances du circuit, des charges des condensateurs à l'instant de fermeture et de l'amortissement des phénomènes transitoires de manœuvre. Les calculs de courant d'appel sont faits habituellement avec l'hypothèse que la batterie de condensateurs n'a aucune charge initiale et que le circuit est fermé à l'instant qui entraîne le courant d'appel maximal.

Lors de l'enclenchement d'une batterie de condensateurs préchargée, le courant d'appel peut être plus élevé que lors de l'enclenchement d'une batterie non chargée. Une estimation du facteur d'accroissement du courant peut être obtenue par le rapport suivant:

$$\frac{\text{variation de tension sur une batterie préchargée lors de la mise sous tension}}{\text{variation de tension sur une batterie non chargée lors de la mise sous tension}}$$

Il convient de noter que des disjoncteurs qui réamorcent peuvent aussi imposer des contraintes sévères sur les condensateurs.

Le courant d'appel peut être calculé lorsqu'on connaît les impédances du réseau. La figure H.3 montre les trois différents cas de couplage d'une batterie de condensateurs quand zéro, un et n gradins respectivement sont déjà connectés au jeu de barres.

Normalement, les calculs simplifiés des figures H.3b) et H.3c) sont acceptables.

Quand deux ou plusieurs batteries de condensateurs sont connectées très près les unes des autres et que les inductances de liaison sont faibles, il peut être nécessaire, tant pour le condensateur que pour le disjoncteur, de réduire l'amplitude du courant d'appel en insérant des impédances en série avec les condensateurs.

Une inductance est habituellement connectée pour que la crête et la fréquence du courant d'appel soient en dessous de valeurs acceptables. En pratique, l'inductance est calculée à l'aide du principe selon lequel le $\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ du courant d'appel résultant est inférieur à ce qui est indiqué par les valeurs préférentielles du tableau 5. Le $\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ est proportionnel au produit de la crête du courant d'appel par sa fréquence (respectivement 20 kA et 4 250 Hz).

Deux exemples de calcul sont décrits en H.2 et H.3.

Annex H
(informative)

Inrush currents of single and back-to-back capacitor banks

H.1 General

Switching on a capacitor bank by closing a circuit-breaker causes transient phenomena resulting from bank charging. The oscillating load provokes an overcurrent (inrush current) with an amplitude and frequency which are functions of the network, the bank characteristics and the instant of switching on. Amplitude and wave shape of the inrush current are functions of the applied voltage, the capacitances of the circuit, the values and location of the inductances in the circuit, the charges on the capacitors at the time the circuit is closed and the damping of the switching transients. Calculations of inrush current are usually made on the assumption that the capacitor bank has no initial charge and that the circuit is closed at a time which produces the maximum inrush current.

When closing onto a pre-charged capacitor bank, the inrush current can be higher than when closing onto an uncharged capacitor bank. An estimate of the factor by which the current may be increased can be obtained from:

$$\frac{\text{voltage change on pre-charged bank while being energised}}{\text{voltage change on uncharged bank while being energised}}$$

It should be noted that restriking circuit-breakers can also impose hazardous stresses on capacitors.

The inrush current can be calculated knowing the network impedances. Figure H.3 shows the three different cases of connection of a capacitor bank when zero, one and n banks, respectively are already connected to the busbar.

Normally the simplified calculations in figures H.3b) and H.3c) are acceptable.

When two or more capacitor banks are connected close to each other and the inductances between them are small, it may be necessary, both from capacitor and circuit-breaker point of view, to reduce the inrush current by inserting impedances in series with the capacitors. Usually, an inductance is inserted so that the inrush current peak and the inrush current frequency are below acceptable values.

In practice, the inductance is calculated using the principle that the resulting $\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ of the inrush current is less than that given by the preferred values stated in table 5. The $\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ is proportional to the product of the inrush current peak and the inrush current frequency (20 kA and 4 250 Hz, respectively).

Two examples of calculation are described in H.2 and H.3.

H.2 Exemple 1 – Manœuvre d'un condensateur en parallèle (voir figure H.1)

H.2.1 Description des batteries de condensateurs à manœuvrer

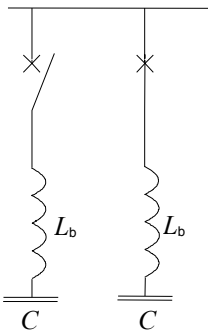


Figure H.1 – Diagramme du circuit de l'exemple 1

– tension assignée U_r = 145 kV

– fréquence assignée f_r = 50 Hz

– puissance d'un gradin de condensateurs Q_b = 16 MVar (trois phases à 126 kV eff.)

– longueur totale des connexions entre gradins l = 40 m

– inductance par longueur L' = 1 µH/m

A partir de ces valeurs, on peut calculer la capacité C et l'inductance L_b:

C = 3,2 µF et L_b = 20 µH

H.2.2 Calcul sans dispositif de limitation

On calcule la crête du courant d'appel $\hat{\imath}$ et sa fréquence f_{ib} à partir des équations de la figure H.3:

$$\hat{\imath} = U_r \sqrt{\frac{C}{6L_b}} = 145 \times 10^3 \sqrt{\frac{3{,}2 \times 10^{-6}}{6 \times 20 \times 10^{-6}}} = 23{,}7 \times 10^3 \text{ A} = 23{,}7 \text{ kA}$$

$$f_{ib} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_b C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{3{,}2 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^{-6}}} = 19\,900 \text{ Hz}$$

Ces valeurs sont bien supérieures aux valeurs assignées. Par conséquent, il faut ajouter un dispositif de limitation. Dans certains cas, la seconde batterie peut être déjà totalement chargée à la polarité opposée lorsque le préamorçage se produit dans le disjoncteur qui ferme. Alors la valeur de $\hat{\imath}$ est doublée.

H.2.3 Calcul du dispositif de limitation

Il convient que l'inductance L_a à ajouter sur le jeu de barres soit telle que les valeurs de crête et de fréquence du courant d'appel soient en dessous des valeurs préférentielles indiquées au tableau 5. Il est considéré comme équivalent de rechercher à ce que le produit des valeurs réelles de la crête et de la fréquence du courant d'appel soit inférieur au produit des valeurs préférentielles indiquées au tableau 5 (20 kA et 4 250 Hz).

$$U_r \sqrt{\frac{C}{6(L_a + L_b)}} \times \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_a + L_b)C}} \leq 20 \times 10^3 \times 4\,250$$

$$L_a \geq \frac{U_r}{20 \times 10^3 \times 4\,250} \times \frac{1}{2\pi\sqrt{6}} - L_b \quad \text{et} \quad L_a \geq 91 \text{ µH}$$

H.2 Example 1 – One capacitor to be switched in parallel (see figure H.1)

H.2.1 Description of the capacitor banks to be switched

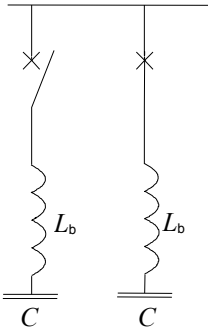


Figure H.1 – Circuit diagram for example 1

– rated voltage U_r = 145 kV

– rated frequency f_r = 50 Hz

– power of a single capacitor bank Q_b = 16 MVar (three phases at 126 kV r.m.s.)

– total length of conductors between banks l = 40 m

– inductance per length L' = 1 µH/m

From these values the capacitance C and the inductance L_b are calculated.

C = 3,2 µF and L_b = 20 µH

H.2.2 Calculation without any limitation device

Using the equations stated in figure H.3 the peak inrush current $\hat{\imath}$ and the inrush current frequency f_{ib} are determined:

$$\hat{\imath} = U_r \sqrt{\frac{C}{6L_b}} = 145 \times 10^3 \sqrt{\frac{3{,}2 \times 10^{-6}}{6 \times 20 \times 10^{-6}}} = 23{,}7 \times 10^3 \text{ A} = 23{,}7 \text{ kA}$$

$$f_{ib} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_b C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{3{,}2 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^{-6}}} = 19\,900 \text{ Hz}$$

These values are far above the ratings. Therefore, some limitation devices must be used. In some cases, the second bank may be already fully charged at the inverse polarity at the instant when the prestrike in the closing circuit-breaker occurs. Then the value of $\hat{\imath}$ is doubled.

H.2.3 Calculation of limitation devices

The inductance L_a to be added on the bus-bar should be such that the value of the inrush current peak and of the inrush current frequency are below the preferred values stated in table 5. It is considered as equivalent to keep the product of the actual values of the inrush current peak and of the inrush current frequency below the product of the preferred values stated in table 5 (20 kA and 4 250 Hz).

$$U_r \sqrt{\frac{C}{6(L_a + L_b)}} \times \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_a + L_b)C}} \leq 20 \times 10^3 \times 4\,250$$

$$L_a \geq \frac{U_r}{20 \times 10^3 \times 4\,250} \times \frac{1}{2\pi\sqrt{6}} - L_b \quad \text{and} \quad L_a \geq 91 \text{ µH}$$

Avec cette valeur, on vérifie aisément:

$$\hat{\imath} = 10 \text{ kA} \text{ et } f_{ib} = 8\,445 \text{ Hz}.$$

H.3 Exemple 2 – Manœuvre de deux condensateurs en parallèle (voir figure H.2)

H.3.1 Description des batteries de condensateurs à manœuvrer

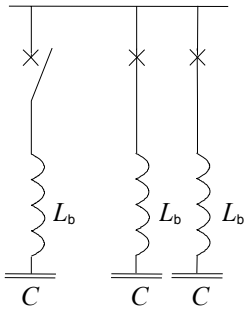


Figure H.2 – Diagramme du circuit de l'exemple 2

– tension assignée U_r = 24 kV

– fréquence assignée f_r = 50 Hz

– puissance d'un gradin de condensateurs Q_b = 5 MVar (trois phases à 22 kV eff.)

– longueur de chaque connexion entre gradins l = 5 m

– inductance par longueur L' = 1 µH/m

De ces valeurs, on peut calculer la capacité C et l'inductance L_b.

C = 32,9 µF et L_b = 5 µH

H.3.2 Calcul sans dispositif de limitation

On calcule la crête du courant d'appel $\hat{\imath}$ et sa fréquence f_{ib} à partir des équations de la figure H.3:

$$\hat{\imath} = U_r \frac{n}{n+1}\sqrt{\frac{2C}{3L_b}} = 24\times10^3 \times \frac{2}{3}\sqrt{\frac{2\times32{,}9\times10^{-6}}{3\times5\times10^{-6}}} = 33{,}5\times10^3 \text{ A} = 33{,}5 \text{ kA}$$

$$f_{ib} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_b C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{32{,}9\times10^{-6}\times5\times10^{-6}}} = 12\,400 \text{ Hz}$$

Ces valeurs sont bien supérieures aux valeurs assignées. Par conséquent, il faut ajouter un dispositif de limitation. Dans certains cas, la seconde batterie peut être déjà totalement chargée à la polarité opposée lorsque le préamorçage se produit dans le disjoncteur qui ferme. Alors la valeur de $\hat{\imath}$ est doublée.

With this value, it is easy to check:

$$\hat{\imath} = 10 \text{ kA and } f_{ib} = 8\,445 \text{ Hz}$$

H.3 Example 2 – Two capacitors to be switched in parallel (see figure H.2)

H.3.1 Description of the capacitor banks to be switched

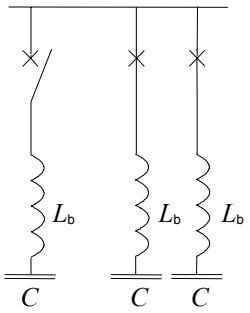


Figure H.2 – Circuit diagram for example 2

– rated voltage U_r = 24 kV
– rated frequency f_r = 50 Hz
– power of a single capacitor bank Q_b = 5 MVar (three phases at 22 kV r.m.s.)
– length of each conductor between banks l = 5 m
– inductance per length L' = 1 µH/m

From these values the capacitance C and the inductance L_b are calculated:

C = 32,9 µF and L_b = 5 µH

H.3.2 Calculation without any limitation device

Using the equations stated in figure H.3 the peak inrush current $\hat{\imath}$ and the inrush current frequency f_{ib} are determined:

$$\hat{\imath} = U_r \frac{n}{n+1}\sqrt{\frac{2C}{3L_b}} = 24\times10^3 \times \frac{2}{3}\sqrt{\frac{2\times32{,}9\times10^{-6}}{3\times5\times10^{-6}}} = 33{,}5\times10^3 \text{ A} = 33{,}5 \text{ kA}$$

$$f_{ib} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_b C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{32{,}9\times10^{-6}\times5\times10^{-6}}} = 12\,400 \text{ Hz}$$

These values are far above the ratings. Therefore, some limitation devices must be used. In some cases, the capacitor bank(s) already in service may be fully charged at the inverse polarity at the instant when the prestrike in the closing circuit-breaker occurs. Then the value of $\hat{\imath}$ is doubled.

H.3.3 Calcul du dispositif de limitation

Il convient que l'inductance L_a à ajouter sur le jeu de barres soit telle que les valeurs de crête et de fréquence du courant d'appel soient en dessous des valeurs préférentielles indiquées au tableau 5. Il est considéré comme équivalent de rechercher à ce que le produit des valeurs réelles de la crête et de la fréquence du courant d'appel soit inférieur au produit des valeurs préférentielles indiquées au tableau 5 (20 kA et 4 250 Hz).

$$U_r \frac{n}{n+1}\sqrt{\frac{2C}{3(L_a + L_b)}} \times \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_a + L_b)C}} \leq 20 \times 10^3 \times 4\,250$$

$$L_a \geq \frac{U_r}{20 \times 10^3 \times 4\,250} \times \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{n}{n+1} - L_b \quad \text{et} \quad L_a \geq 20\ \mu\text{H}$$

Avec cette inductance complémentaire, l'amplitude et la fréquence du courant d'appel réel sont

$\hat{\imath}$ = 15 kA et f_{ib} = 5 550 Hz

H.3.3 Calculation of limitation devices

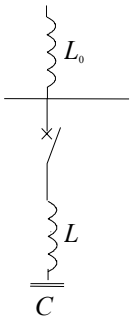
The inductance L_a to be added on the busbar should be such that the value of the inrush current peak and of the inrush current frequency are below the preferred values stated in table 5. It is considered as equivalent to keep the product of the actual values of the inrush current peak and of the inrush current frequency below the product of the preferred values stated in table 5 (20 kA and 4 250 Hz).

$$U_r \frac{n}{n+1}\sqrt{\frac{2C}{3(L_a + L_b)}} \times \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_a + L_b)C}} \leq 20 \times 10^3 \times 4\,250$$

$$L_a \geq \frac{U_r}{20 \times 10^3 \times 4\,250} \times \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{n}{n+1} - L_b \quad \text{and } L_a \geq 20\ \mu\text{H}$$

With this additional inductance the actual inrush current and its frequency are

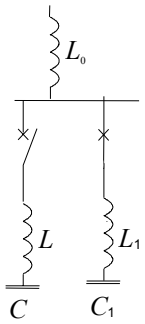
$\hat{\imath}$ = 15 kA and f_{ib} = 5 550 Hz



a) Connexion d'un seul gradin

$$\hat{\imath} = U_r \sqrt{\frac{2}{3}\frac{C}{L_0 + L}} \approx U\sqrt{\frac{2}{3}\frac{C}{L_0}} \qquad L_0 >> L$$

$$f_{ib} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_0 + L)}} \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{CL_0}}$$



b) Connexion alors qu'un gradin est déjà connecté

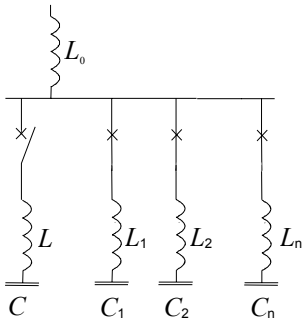
$$\hat{\imath} = U_r \sqrt{\frac{2}{3}\frac{C_1 C}{(C_1 + C)} \times \frac{1}{(L_1 + L)}}$$

$$f_{ib} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{C_1 C}{(C_1 + C)}\ (L_1 + L)}}$$

$$S = \frac{U_r}{L_1 + L}\sqrt{\frac{2}{3}}$$

Si $L_1 = L$ et $C_1 = C$ alors:

$$\hat{\imath} = U_r \sqrt{\frac{C}{6L}} \quad \text{et} \quad f_{ib} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



c) Connexion alors que n gradins sont déjà connectés

$$L' = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \cdots \frac{1}{L_n}} \quad \text{et} \quad C' = C_1 + C_2 + \cdots C_n$$

Si $L_1 = L_2 = \ldots = L_n = L$ et $C_1 = C_2 = \ldots = C_n = C$, alors

$$L' = \frac{L}{n} \quad \text{et} \quad C' = nC$$

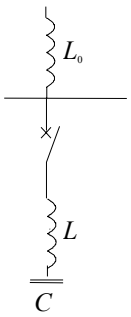
$$\hat{\imath} = U_r \frac{n}{n+1}\sqrt{\frac{2C}{3L}} \quad \text{et} \quad f_{ib} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

L' et C' remplacent L_1 et C_1 dans la figure H.3.b).
Le calcul est valable si $L_1 C_1 = L_2 C_2 = L_n C_n$ et n'est qu'approximatif dans les autres cas.

Composants

U_r tension assignée
$\hat{\imath}$ crête du courant d'appel
f_{ib} fréquence du courant d'appel
S vitesse d'accroissement du courant d'appel
L_0 inductance de la source
L inductance en série avec le gradin de condensateur à enclencher
C capacité du gradin à enclencher (valeur étoile équivalente)
$L_1, L_2 \ldots L_n$ inductances en série avec les gradins de condensateurs du côté de la source
$C_1, C_2 \ldots C_n$ capacités des gradins (valeur étoile équivalente) du côté de la source

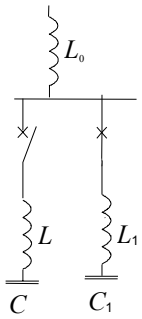
Figure H.3 – Equations pour le calcul des courants d'appel de gradins de condensateurs



a) Connection of a single bank

$$\hat{\imath} = U_r \sqrt{\frac{2}{3}\frac{C}{L_0 + L}} \approx U\sqrt{\frac{2}{3}\frac{C}{L_0}} \qquad L_0 >> L$$

$$f_{ib} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_0 + L)}} \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{CL_0}}$$



b) Connection when one bank is already connected

$$\hat{\imath} = U_r \sqrt{\frac{2}{3}\frac{C_1 C}{(C_1 + C)} \times \frac{1}{(L_1 + L)}}$$

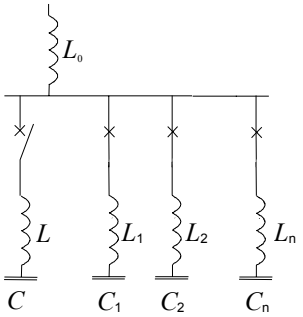
$$f_{ib} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{C_1 C}{(C_1 + C)}\ (L_1 + L)}}$$

$$S = \frac{U_r}{L_1 + L}\sqrt{\frac{2}{3}}$$

When $L_1 = L$ and $C_1 = C$ then:

$$\hat{\imath} = U_r \sqrt{\frac{C}{6L}} \quad \text{and} \quad f_{ib} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

c) Connection when n banks are already connected



$$L' = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \cdots \frac{1}{L_n}} \quad \text{et} \quad C' = C_1 + C_2 + \cdots C_n$$

If $L_1 = L_2 = \ldots = L_n = L$ and $C_1 = C_2 = \ldots = C_n = C$, then

$$L' = \frac{L}{n} \quad \text{and} \quad C' = nC$$

$$\hat{\imath} = U_r \frac{n}{n+1}\sqrt{\frac{2C}{3L}} \quad \text{and} \quad f_{ib} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

L' and C' substitute L_1 and C_1 in figure H.3 b).
The calculation is correct if $L_1 \times C_1 = L_2 \times C_2 = \ldots = L_n \times C_n$; in other cases it is an approximation.

Components

U_r	rated voltage	L	inductance in series with switched capacitor bank
$\hat{\imath}$	inrush current peak	C	capacitance of switched capacitor bank (equivalent star value)
f_{ib}	inrush current frequency	$L_1, L_2 \ldots L_n$	inductances in series with capacitor banks on source side
S	inrush current rate-of-rise	$C_1, C_2 \ldots C_n$	bank capacitances (equivalent star values) on source side
L_0	source inductance		

Figure H.3 – Equations for the calculation of capacitor bank inrush currents

Annexe I
(informative)

Notes explicatives

I.1 Généralités

Les notes explicatives sont regroupées dans cette annexe jusqu'à la parution du guide d'application de la présente norme.

I.2 Note explicative concernant la composante continue du courant de court-circuit assigné (4.101.2)

I.2.1 Conseils pour le choix judicieux de la constante de temps

La constante de temps de 45 ms est adéquate pour la majorité des cas réels. Des constantes de temps pour cas spéciaux, liées à la tension assignée du disjoncteur, doivent couvrir les cas où la constante de temps de 45 ms n'est pas suffisante. Cela peut s'appliquer, par exemple, aux systèmes de très haute tension assignée (par exemple la tension de 800 kV avec une valeur de X/R de ligne supérieure), ou aux quelques systèmes de moyenne tension de structure radiale ou à tout système ayant une structure de réseau particulière ou des caractéristiques de lignes particulières. Ces constantes de temps pour cas spéciaux ont été définies, prenant en compte les résultats de l'enquête CIGRÉ WG13.04 (I.2.2).

Quand une valeur optionnelle de constante de temps est choisie, les considérations suivantes devraient être prises en compte:

a) Les constantes de temps indiquées par cette norme ne sont valides que pour les courants de défaut triphasés. Les constantes de temps pour les courants de défaut phase – terre sont plus faibles que pour les courants de défaut triphasés.

b) Pour les courants d'asymétrie maximale, l'initiation du courant de court-circuit doit se produire à un zéro de tension du système au moins sur une phase.

c) La constante de temps est liée au courant de court-circuit maximal assigné du disjoncteur. Si, par exemple, une constante de temps supérieure à 45 ms est attendue mais avec un courant de court-circuit plus faible que celui assigné, un tel cas peut être couvert par le courant de court-circuit asymétrique assigné avec une constante de temps de 45 ms.

d) La constante de temps du système complet est un paramètre dépendant du temps que l'on prend égal à une constante dérivée de la décroissance des courants de court-circuit dans les différentes branches du système et n'est pas une réelle et unique constante de temps.

e) Différentes méthodes pour le calcul de la constante de temps de la composante apériodique sont utilisées, les résultats différant considérablement. Il convient de prendre des précautions pour choisir la méthode de calcul.

f) Quand une constante de temps est choisie, il faut se rappeler que le disjoncteur est contraint par le courant asymétrique après la séparation des contacts. L'instant de la séparation de contacts correspond à la somme du temps d'ouverture du disjoncteur et du temps de réaction du relais. Dans la présente norme, on considère seulement un temps relais d'un demi-cycle. Il convient de tenir compte du temps de protection si celui-ci est plus long.

Annex I
(informative)

Explanatory notes

I.1 General

Pending the issue of a guide to the use of this standard all the explanatory notes, existing or future, are collected in this annex.

I.2 Explanatory note regarding the d.c. component of the rated short-circuit breaking current (4.101.2)

I.2.1 Advice for the choice of the appropriate time constant

A time constant of 45 ms is adequate for the majority of actual cases. Special case time constants, related to the rated voltage of the circuit-breaker, shall cover such cases where the standard time constant 45 ms is not sufficient. This may apply, for example, to systems with very high rated voltage (for example 800 kV systems with higher X/R ratio for lines), to some medium voltage systems with radial structure or to any systems with particular system structure or line characteristics. Special case time constants have been defined, taking into account the results of the survey by CIGRE WG13.04 (I.2.2).

When specifying a special case time constant, the following considerations should be taken into account:

a) The time constants referred to in this standard are only valid for three-phase fault currents. The single-phase to ground short-circuit time constant is lower than that for three-phase fault currents.

b) For maximum asymmetrical current, the initiation of the short-circuit current has to take place at system voltage zero in at least one phase.

c) The time constant is related to the maximum rated short-circuit current of the circuit-breaker. If, for example, higher time constants than 45 ms are expected but with a short-circuit current lower than rated, such a case may be covered by the asymmetrical rated short-circuit current test using a 45 ms time constant.

d) The time constant of a complete system is a time-dependent parameter considered to be an equivalent constant derived from the decay of the short-circuit currents in the various branches of that system and is not a real, single time constant.

e) Various methods for the calculation of the d.c. time constant are in use, the results of which may differ considerably. Caution should be taken in choosing the right method.

f) When choosing a special case time constant, it has to be kept in mind, that the circuit-breaker is stressed by the asymmetrical current after contact separation. The time instant of contact separation corresponds to the opening time of the circuit-breaker and the reaction time of the protection relay. In this standard this relay time is one half-cycle of power frequency. If the protection time is longer this should be taken into account.

g) Le choix d'une seule valeur spécifique de constante de temps de la composante apériodique a pour effet de réduire au minimum le nombre d'essais qu'il faut effectuer pour démontrer la capacité des équipements. Cependant, à ce jour, on ne peut faire état d'aucun critère d'équivalence spécifique ni d'aucune méthode d'essai de nature à établir la validité d'un essai effectué au courant de court circuit assigné, avec sa propre constante de temps apériodique, pour un courant de court circuit assigné différent et sa constante de temps correspondante. Ainsi par exemple, un essai effectué sur un disjoncteur à 63 kA, avec une constante de temps en courant continu de 45 ms, ne remplit pas nécessairement les exigences pour démontrer une caractéristique de 50 kA associée à une constante de temps en courant continu de 60 ms.

On peut cependant évoquer certains aspects généraux importants. Les paramètres mentionnés ci-après doivent faire l'objet d'un examen attentif en fonction de la technologie de coupure utilisée:

1) amplitude de la dernière alternance de courant avant la coupure;
2) durée de la dernière alternance de courant avant coupure;
3) fenêtre de durée d'arc;
4) puissance d'arc;
5) composante du courant continu de l'intensité de court-circuit au moment de la séparation des contacts;
6) rapport di/dt au moment de la coupure;
7) tension transitoire de rétablissement de crête u_c et première tension de référence, selon le cas.

Un guide d'application qui expliquera l'origine des courants asymétriques, leurs influences sur l'aptitude à la coupure du disjoncteur, le calcul et l'utilisation de constantes de temps spéciales aussi bien que l'information générale sur le sujet, est à l'étude.

I.2.2 Reproduction de l'article CIGRE «Constantes de temps spécifiées pour les essais de tenue au courant asymétrique des appareillages de coupure»

Lors de la réunion du SC17A de la CEI à Francfort (DE) en juin 1998, il a été convenu de reproduire la publication intégrale de «Constantes de temps spécifiées pour les essais de tenue au courant asymétrique des appareillages de coupure», publiée dans Electra 173 en août 1997, pages 19 à 31. Cette publication contient des informations de base sur la prescription des constantes de temps pour cas spéciaux.

g) The choice of a single special case value of the d.c. time constant minimises the number of tests required to demonstrate the capability of the equipment. However, at present no specific equivalence criteria nor testing method can be given to demonstrate the validity of a test carried out at a rated short-circuit current, with its associated rated d.c. time constant, for a different rated short-circuit current with its associated time constant. For example, a test carried out on a circuit-breaker at 63 kA with a d.c. time constant of 45 ms does not automatically cover the requirements for demonstrating a rating of 50 kA with a d.c. time constant of 60 ms.

Nevertheless, some general important aspects can be considered. The parameters stated below have to be examined carefully in relation to the interrupting technology used:

1) amplitude of the last current loop before interruption;
2) duration of the last current loop before interruption;
3) arcing time window;
4) arc energy;
5) DC component of the short-circuit current at the instant of contact separation;
6) di/dt at current interruption;
7) TRV peak voltage u_c and first reference voltage u_1, as applicable.

Explanations as to the origin of asymmetrical currents, their effect on the breaking capability of circuit-breakers, the determination and the use of a special case time constant as well as background information on this subject will form part of a common application guide to this standard and is under consideration.

I.2.2 Reprint of the CIGRE paper "Specified time constants for testing asymmetric current capability of switchgear"

At the IEC SC 17A meeting in Frankfurt (DE) in June, 1998 it was agreed to reprint the entire publication "Specified Time Constants for Testing Asymmetric Current Capability of Switchgear", published in Electra, No. 173, August 1997, pages 19 – 31. This publication contains background information on the stipulation of the special case time constants.

CONSTANTES DE TEMPS SPÉCIFIÉES POUR LES ESSAIS DE TENUE AU COURANT ASYMÉTRIQUE DES APPAREILLAGES DE COUPURE

Avant-propos

Le présent document résume les discussions et présente les conclusions d'un Groupe d'action du GT 13.04 de la CIGRE pour ce qui concerne les constantes de temps à utiliser lors des essais de performance à la manœuvre de courant asymétrique des disjoncteurs et des appareillages de coupure. Ces discussions ont été basées sur les documents existants de la CEI et de la CIGRE et ont pour Intention d'élaborer des conclusions et recommandations qui seront ainsi issues des nombreux points de vue qui existent dans ce domaine.

But

Fournir des recommandations concernant les combinaisons les plus appropriées et les plus représentatives de courant de court-circuit et de constantes de temps apériodiques à appliquer durant les essais afin de couvrir de manière la plus adéquate le critère 90 % consensuel de la CEI.

Introduction et discussion générale

Le présent document résume en priorité et tire les conclusions à partir des informations publiées sur le sujet, qui dans de nombreux cas, sont par nature contradictoires. Il n'est pas dans l'intention du document de présenter de nombreuses données de nature technique qui peuvent être obtenues si nécessaire à partir des documents sources.

Les normes CEI sont élaborées pour fournir des spécifications et des procédures d'essais de type qui sont appropriées pour englober 90 % ou plus des applications. Comme ce critère de 90 % est impossible à quantifier de manière précise, l'esprit dans lequel il est utilisé est tel qu'il permet l'appropriation de la majorité des contraintes «normales» sans sur-spécification résultante qui s'appuierait sur la base de cas non habituels ou non communs.

La révision en cours de la norme CEI 60056 a posé la question suivante: la constante de temps simple actuellement spécifiée égale à 45 ms couvre-t-elle de manière adéquate la proportion appropriée des spécifications de réseau et, plus important, faut-il continuer de la sorte dans le futur prévisible. De ce fait, la CEI a demandé à la CIGRE de revoir la situation dans ce sens et d'élaborer les recommandations correspondantes.

La valeur de la constante de temps actuellement spécifiée (45 ms) est fortement influencée par la constante de temps propre des lignes aériennes HT. Les essais asymétriques de la norme CEI 60056 sont réalisés uniquement avec la valeur assignée du courant de court-circuit maximum, et en se basant sur cette valeur de constante de temps. Les hypothèses fondamentales faites lors du choix de cette combinaison sont telles que cela correspond à une condition asymétrique la plus contraignante et que (a) les niveaux de court-circuit élevés (approchant 100 %) n'apparaissent pas en même temps que les constantes de temps les plus (élevées et que (b) la performance au courant limité (par exemple 30 % de la valeur assignée) avec la constante de temps élevée, est vérifiée de manière adéquate avec l'essai asymétrique existant à valeur assignée maximum.

Considérations relatives aux matériels de réseau

Il est clair que chaque élément discret situé dans un réseau de puissance de Transport ou de distribution possède des valeurs identifiables de résistance R, et d'inductance L. Le ratio de ces valeurs définit la constante de temps CC appropriée. En règle générale, les constantes de temps des principaux matériels électriques de réseaux peuvent être résumées comme suit.

SPECIFIED TIME CONSTANTS FOR TESTING ASYMMETRIC CURRENT CAPABILITY OF SWITCHGEAR

Foreword

The following document summarises discussions and conclusions of a CIGRE WG 13-04 Task Force considering the time constants to be used when testing the asymmetric switching capability of circuit-breakers and switchgear. These discussions have been based on existing IEC and CIGRE documents with the intention of producing some conclusions & recommendations from the wide range of views which exist in this field.

Aim

To make recommendations regarding the most appropriate and representative combinations of short-circuit current and d.c. time constant to be applied during testing in order to adequately cover the IEC notional 90 % criterion.

Introduction and general discussion

This document primarily summarises and draws conclusions from published information, which in many cases, is contradictory in nature. There is no intention of presenting large quantities of technical information which can be obtained from the source documents if required.

IEC standards are intended to provide specification and type testing procedures which are adequate to encompass 90 % or more of applications. While this 90 % criterion is impossible to accurately quantify, the spirit in which it is intended is clearly that of addressing the majority of "normal" requirements without resultant over-specification on the basis of unusual or uncommon cases.

The ongoing revision of IEC 60056 has raised the question of whether the presently specified single time constant of 45 ms adequately covers the appropriate proportion of system requirements and, more importantly, whether it will continue to do so in the foreseeable future. As a result, IEC requested CIGRE to review the situation in this regard and make recommendations.

The presently specified value of time constant (45 ms) is heavily influenced by the inherent time constant of HV overhead lines. Asymmetric testing to IEC 60056 is performed at full short-circuit rating only, using this value of time constant. The underlying assumptions made in choosing this combination are that it is a most onerous asymmetric condition and that a) high short-circuit levels (approaching 100 %) do not occur in combination with higher time constants, and b) the high time constant, limited current (e.g. 30 % of rating) capability is adequately proven by the existing full rating asymmetric test.

Network equipment considerations

It is clear that each discreet item in a power transmission or distribution system has identifiable values of resistance, R, and Inductance, L. The ratio of these values define the appropriate d.c. time. In generic terms, the time constants of plant can be approximated as follows.

	1 MVA	10 MVA	100 MVA	1 000 MVA
Transformateurs	20-40 ms	50-150 ms	80-300 ms	200-400 ms
Générateurs	60-120 ms	200- 600 ms	200-600 ms	300-500 ms
	<72,5 kV	72,5-420 kV	420/525 kV	>525 kV
Lignes aériennes	<20 ms	15-45 ms	35-53 ms	58-77 ms

Les données issues du retour d'expérience pour ce qui concerne les câbles qui possèdent des capacités relativement élevées, indiquent que leurs constantes de temps sont largement plus faibles que celles des lignes aériennes dans une même plage de tension. La constante de temps est pour chaque conception de câble, principalement liée à la superficie de la section du conducteur allant de presque zéro pour des superficies de sections faibles «200 mm^2» jusqu'à environ 40 ms pour des conducteurs de superficies de sections de 2 000 mm^2 pour des tensions de 220 kV ou plus.

De manière similaire, l'inductance des lignes aériennes est à peu près constante aux alentours de 1 mH/km avec des variations de la constante de temps qui sont dominées par les modifications de résistances en fonction des variations de matériaux, de dimensions ou liées à la construction.

Dans le cas d'un défaut du réseau de puissance, la décroissance globale de chaque décalage CC sera dictée par la constante de temps combinée de tous les matériels d'élimination de défauts et ceci est la condition pratique, combinée avec le courant de défaut maximum, pour laquelle les disjoncteurs doivent être testés. La combinaison des différents matériels d'élimination de défaut et la somme complexe des valeurs X et R en série et en parallèle permet d'utiliser une décroissance exponentielle simple durant l'essai qui est un compromis approprié de la situation réelle. Toutefois, à condition que la constante de temps à décroissance exponentielle soit bien choisie, on ne considère pas que cette approche puisse être un problème significatif et une telle approche générale n'est pas contestée.

Il existe un certain nombre de tendances générales pour les matériels électriques installés par les utilisateurs, particulièrement pour les niveaux de tension (de Transport) les plus élevés, pour lesquels il est important de remplir certaines conditions. Cela inclut:

– une tendance croissante à utiliser des transformateurs de puissances de forte puissance et de faibles pertes, avec des constantes de temps relativement élevées qui contribuent à des pertes capitalisées minimisées;
– l'installation de transformateurs de puissance ayant des réactances de court-circuit élevées ajustées pour limiter les niveaux de court-circuit permettant d'avoir une capacité d'échelonnement des prises accrue afin de mieux combattre les chutes de tension; (jusqu'à 32 % d'impédance rapportée au Canada);
– une évolution vers l'utilisation de lignes de Transport à faisceaux multiconducteurs avec des superficies de sections importantes et des constantes de temps proches des limites hautes de la plage considérée;
– une utilisation plus importante de composants réactifs pour le contrôle et l'exploitation des réseaux incluant des réactances de limitation de court-circuit.

Tous ces développements, combinés dans certains cas avec des degrés d'interconnexion croissants et une multitude de petites productions décentralisées à l'intérieur des réseaux, tendent à augmenter la constante de temps des matériels d'élimination des défauts individuels et à contribuer à un accroissement global des constantes de temps du réseau. Inversement, il existe actuellement peu de développements conduisant à des réductions des constantes de temps.

	1 MVA	10 MVA	100 MVA	1 000 MVA
Transformers	20-40 ms	50-150 ms	80-300 ms	200-400 ms
Generators	60-120 ms	200- 600 ms	200-600 ms	300-500 ms
	<72,5 kV	72,5-420 kV	420/525 kV	>525 kV
Overhead lines	<20 ms	15-45 ms	35-53 ms	58-77 ms

Background data regarding cables having relatively high capacitances indicates that their time constants are consistently lower than overhead lines in the equivalent voltage range. The time constant is, for any cable design, primarily related to the conductor cross-sectional area ranging from close to zero for small CSA (<200 mm^2) through to maybe 40 ms for a 2 000 mm^2 conductor at 220 kV or above.

Similarly the inductance of overhead lines is fairly constant at around 1 mH/km with variations in time constant being dominated by changes to resistance as a result of variations of material, dimensions or construction.

In the event of a power system fault the overall decay of any d.c. offset will be dictated by the combined time constant of all fault infeeds and this is the practical condition, combined with the practical maximum fault current, for which circuit-breakers must be tested. The combination of various fault infeeds and the complex summation of branched and series X and R values makes the use of a single exponential decay during testing a significant compromise from the real situation. However, provided that the exponential decay time constant is well chosen, this approach is not considered to present significant problems and this general approach is not being questioned.

There are a number of general trends in equipment being installed by utilities, particularly at the highest (transmission) voltage levels, which are of importance for assessment of these conditions. These include:

– an increasing tendency to use large, low loss power transformers with relatively high time constants which contribute to the minimisation capitalised losses;
– the installation of power transformers with high short-circuit reactances aimed at limiting short-circuit levels at the expense of requiring extensive tapping capability to combat voltage drop. (Up to 32 % impedance reported by Canada);
– a move towards the use of large cross-section, multi conductor bundled transmission lines with time constants towards the higher end of the quoted range;
– greater use of reactive components for system control including short-circuit limiting reactors.

All of these developments, combined in some cases with increasing degrees of interconnection and divergence of smaller generation within networks, are tending to increase the time constant of individual fault infeeds and contribute to an overall increase in system time constants. Conversely there are presently few widespread developments leading to time constant reductions.

Considérations relatives à la conception des réseaux

Les réseaux peuvent être généralement divisés en un certain nombre de catégories en fonction de leur tension assignée et leur topologie de base.

En considérant en premier lieu le niveau de tension, trois classifications de base ont été identifiées, à savoir:

– réseaux à moyenne tension exploités jusqu'à environ 52 kV;
– réseaux à haute tension exploités dans une plage allant de 72,5 kV à 420 kV;
– réseaux à haute tension exploités à des tensions supérieures à 420 kV, c'est-à-dire 525 kV et plus.

Pour ce qui concerne les facteurs topologiques, 2 classifications de base peuvent être identifiées, à savoir:

– réseaux maillés qui sont fortement dominés par des connexions à l'aide de lignes et de câbles qui résultent en des constantes de temps CC aux alentours de 45 ms ou moins, et avec certainement une possibilité de combinaison avec des niveaux de court-circuit élevés;
– réseaux qui sont en prédominance alimentés par des transformateurs de puissance. Dans de tels cas, la constante de temps CC est définie presque exclusivement par le (s) transformateur (s) de puissance et en général elle excède 45 ms avec des valeurs qui peuvent même atteindre jusqu'à 150 ms. Dans de tels cas, il est probable que le niveau de court-circuit soit relativement faible.

En considérant tour à tour chacune des classifications de tension citées ci-dessus et en prenant en considération leurs topologies de réseau «typiques», certaines tendances générales peuvent être identifiées.

Les réseaux à moyenne tension exploités jusqu'à environ 52 kV sont souvent, mais pas toujours, dominés par des transformateurs. Dans de tels cas, des constantes de temps CC significativement plus élevées doivent être prises en considération durant les essais, avec une possibilité de dépasser les 100 ms. Il est également important de noter que de telles constantes de temps CC élevées sont souvent associées à des niveaux de courant de court-circuit relativement faibles.

La majorité des réseaux à haute tension exploités dans la plage de tension allant de 72,5 kV à 420 kV sont dominés par des lignes et des câbles et une constante de temps CC aux alentours de 45 ms couvre la grande majorité de telles applications. Toutefois, il est important de noter qu'il existe certaines configurations de réseaux qui ont été rapportées et des conceptions de lignes qui résultent en des constantes de temps plus élevées qui sont de l'ordre de 60 ms et qui sont combinées avec des courants de court-circuit élevés. Les résultats d'une étude portant sur les niveaux de court-circuit typiques d'un réseau à 275 kV sont représentés au tableau 1.

A cause de leur relative rareté, les constantes de temps CC applicables aux réseaux exploités à des niveaux de tensions supérieures ou égales à 525 kV ne sont pas très bien définies. Comme les installations à ces niveaux de tension sont typiquement des circuits de Transport de longue distance utilisant des conceptions de lignes récentes et aboutissant à des transformateurs de puissance importants, il existe une tendance à avoir des constantes de temps CC plus élevées. Les exemples rapportés sont de 55 ms en 550 kV, 75 ms en 765 kV et 110 ms en 1 100 kV.

Network design considerations

Network can be broadly divided into a number of categories based on their voltage rating and their basic topology.

Considering voltage level first, three basic classifications have been identified, namely:

– medium voltage networks operating up to about 52 kV;

– high voltage networks operating in the range 72,5 kV to 420 kV;

– high voltage networks operating above 420 kV i.e. 525 kV and above.

Considering topological factors, two basic classifications can be identified, namely:

– meshed networks which are heavily dominated by line and cable connections resulting in d.c. time constants of around 45 ms or less, possibly in combination with high short-circuit levels;

– networks which are dominantly supplied by power transformers. In such cases the d.c. time constant is defined almost exclusively by the power transformer(s) and generally exceeds 45 ms with values possibly extending to 150 ms. In such cases it is relatively low.

Taking each of the above voltage classifications in turn and giving consideration to their "typical" network topologies, certain general trends can be identified.

Medium voltage networks operating up to about 52 kV are often, but not always, transformer dominated. In such cases, significantly higher d.c. time constants are often associated with relatively low short-circuit current levels. In such cases, significantly higher d.c. time constants must be considered during testing, possibly in excess of 100 ms. It is important to note that such high d.c. time constants are often associated with low short-circuit current levels.

The majority of high-voltage networks operating in the range 72,5 kV to 420 kV are line and cable dominated and a d.c. time constant of around 45 ms covers the broad majority of such applications. However, it is noteworthy that there are certain reported network configurations and line designs which result in higher time constants of the order of 60 ms in combination with high short-circuit currents. The results of a typical short-circuit level study of 275 kV network are shown in table 1.

Due to their relative scarcity, the d.c. time constant applicable to networks operating at 525 kV and above are not well defined. Since installations at these voltages are typically long distance transmission circuits utilising novel line designs and terminated in large power transformers, there is a tendency towards higher d.c. time constants. Reported examples are 55 ms at 550 kV, 75 ms at 765 kV and 110 ms at 1 100 kV.

Considérations relatives aux disjoncteurs

Les techniques de conception des disjoncteurs ont été très fortement améliorées au cours du temps et' ont conduit à des améliorations en termes de réduction de taille, de réduction de poids, de diminution des exigences énergétiques et une diminution des coûts. Cette progression est également perçue comme ayant conduit à une réduction inévitable des marges inhérentes liées à la conception de ces disjoncteurs par rapport aux matériels plus anciens, pour lesquels un retour d'expérience en exploitation plus important est disponible, et qui peuvent disposer de marges considérables par rapport aux équipements modernes. Cette tendance n'est pas problématique en soi, mais elle accentue encore plus le besoin de séries d'essais dans le futur qui auront à être totalement représentatives des conditions de réseau dans lesquelles les équipements auront à remplir correctement leurs fonctions.

Pour les technologies pour lesquelles la capacité de coupure est fondamentalement constante et ne dépend pas des contraintes de manœuvre, une interpolation des résultats d'essai est relativement simple à faire et peut être acceptée. Toutefois, pour les technologies pour lesquelles les caractéristiques de coupure de base du dispositif de coupure sont liées aux contraintes de manœuvre, de telles interpolations sont bien plus difficiles à obtenir simplement et il est facilement concevable que des contraintes de défaut critiques puissent être identifiées à des niveaux de court-circuit fractionnés. En principe, les valeurs d'énergie élevées et les valeurs du rapport di/dt relativement faibles associées à une contrainte asymétrique sont moins contraignantes pour un tel équipement que lors d'une contrainte symétrique équivalente. Toutefois, l'effet de boucles d'énergie faible et la possibilité d'avoir des périodes d'arc accrues, pour lesquelles il existe généralement des durées de déplacement total très courtes, sont des facteurs qui peuvent s'avérer particulièrement critiques.

En étape ultime, les essais de matériels doivent considérer les matériels en essai comme étant un modèle de type «boite noire» , sans tenir compte de la technologie employée, mais cela présente des difficultés évidentes si différentes conceptions technologiques s'avèrent posséder des sensibilités spécifiques.

Il est important de souligner sur ce point qu'il n'existe aucune intention de jeter un doute sur les capacités d'une conception de matériel particulière, mais plutôt d'insister sur le fait que comme les techniques de conception raffinées conduisent à des conceptions minimisées du point de vue des performances, l'importance à posséder des séries d'essais bien construites et jugées réalistes va aller en augmentant.

Une solution évidente mais pas forcément à privilégier pour les problèmes de manœuvre asymétrique consiste à augmenter les temps de manœuvre des disjoncteurs bien que cela ne soulage pas les contraintes sur les matériels associés et puisse représenter un inconvénient du point de vue du réseau global. Ceci va à l'encontre de la tendance générale de réduction des temps de protection des équipements modernes.

Point de vue des utilisateurs

Du point de vue des utilisateurs, il est important d'avoir confiance dans le fait qu'un équipement «de type normalisé» puisse être capable de répondre aussi bien aux besoins du réseau existant qu'aux besoins qui poindront et se développeront probablement dans le futur. Historiquement, il apparaît très clairement qu'il existe un nombre de défaillances rapportées très faibles qui peuvent être attribuées aux effets des conditions de coupure asymétriques. Ceci n'indique pas nécessairement qu'aucune défaillance n'est réellement apparue. De plus, comme mentionné ci-dessus, on peut supposer que de nombreux réseaux de puissance n'atteignent que maintenant les niveaux pour lesquels ils ont été connus et que les technologies des matériels sont toujours en cours de développement et d'amélioration. De ce fait, il existe une forte probabilité pour que la condition qui nous intéresse devienne dans un futur proche et pour la première fois, une considération pratique réellement intéressante. En gardant cela à l'esprit, l'extrapolation des données devra être traitée avec précaution.

Circuit-breaker considerations

Circuit-breaker design techniques have improved dramatically over time leading to benefits of reduced size, weight, energy requirements and cost. This progression is also perceived to have led to an inevitable reduction in inherent design margins such that much of the older equipment, for which extensive operating experience is available, may have considerable margins in hand-over and above modern equipment. This trend is not problematic in itself but further emphasises the need for future testing regimes to be fully representative of the system conditions in which the equipment needs to function correctly.

In technologies where the interruption capability is fundamentally constant regardless of the switching duty, interpolation of test evidence is relatively simple and accepted. However, in technologies where the basic interruption characteristics of the device are duty dependant, such interpolations are far more difficult to achieve simply and it is quite conceivable that critical fault duties may be identified at fractional short-circuit levels. In principle, the high energies and relatively low di/dt values associated with an asymmetrical duty make it less onerous for such a device than an equivalent symmetrical duty. However, the effect of low energy minor loops and the possibility of extended arcing periods, in what are generally very short overall travel times, are factors which might prove particularly critical.

Ultimately equipment testing should consider the equipment under test to be a "black box" model regardless of the technology being employed, but this presents obvious difficulties if varying design technologies have specific sensitivities.

It must be stressed at this point that there is no intention to cast doubt on the capabilities of particular equipment design philosophies merely to emphasise that as refined design techniques lead to minimised designs so the importance of well constructed and realistic testing regimes increases.

An obvious, but non-preferred, solution to problems of asymmetric switching is to increase circuit-breaker operating times, although this does not alleviate the duty on other associated equipment and may be inconvenient from an overall system viewpoint. This contrary to the tendency for reducing protection times in modern equipment.

Utility viewpoints

From a utility point of view it is important to have confidence that "standard order" equipment will be capable of meeting both present system needs and those which are likely to develop in the foreseeable future. Historically there is a very strong argument to support the fact that there are extremely few reported failures which can be attributed to the effects of asymmetric breaking conditions. This does not necessarily indicate that no failures have occurred. Additionally, as mentioned above, it is believed that many power networks are only now approaching their design levels and that equipment technologies are being constantly developed and advanced. Thus, there is a strong possibility that the very condition in which we are interested will, in the foreseeable future, and for the first time, become a widespread practical consideration. With this in mind the extrapolation of historical data must be treated with caution.

La mise en œuvre réelle de temps de protection rapides tels que ceux qui sont considérés pour la réalisation des essais représente un autre domaine vis-à-vis duquel les équipements auront probablement à fonctionner de plus en plus prés de leurs marges.

De plus, un certain nombre d'utilisateurs ont eu, lorsque des doutes existaient, soit des politiques de réalisation d'essais de type spéciaux, conduisant à acheter des équipements de toute évidence surdimensionnés, soit de réaliser des «échanges» de valeurs assignées qui, bien que n'étant pas très élégant d'un point de vue technique, n'en permettait pas moins d'obtenir un degré de confiance à l'intérieur de certaines limites.

Un exemple de ce type d'approche peut être la pratique existante au Royaume-Uni relative à l'achat de matériels testés pour 63 kA et une constante de temps égale à 45 ms afin d'atteindre une spécification monophasée de 57,5 kA et de 60 ms de constante de temps. Un utilisateur allemand a rapporté une situation 63 kA/50 ms où un équipement 80 kA a été installé bien que la grande majorité des spécifications de court-circuit soit couverte par une durée de 45 ms avec des valeurs pouvant atteindre 57 ms pour des contraintes fractionnées.

Concernant ce point, les données disponibles pour un certain nombre de réseaux peuvent être résumées comme suit.

L'utilisateur français a indiqué une contrainte maximum pour 60/70 ms à 420 kV, 160 ms à 245 kV et 200 ms pour des niveaux de tension inférieurs. La valeur de 70 ms est associée en particulier à un niveau de courant de défaut de 63 kA dans une partie particulière du réseau où est concentrée une grande partie de la production.

Un utilisateur italien a indiqué que dans la partie nord de l'Italie, le réseau 380 kV apporte des constantes de temps comprises dans la plage 46-63 ms avec une moyenne aux environs de 54ms pour des courants de défaut aux alentours de 30 kA.

En plus des informations mentionnées ci-dessus, le même utilisateur allemand a également rapporté que pour des niveaux de tension compris entre 10 et 20 kV, des constantes de temps de 80-100 ms ont été trouvées,

Un utilisateur canadien a indiqué que son réseau à 315 kV possède une constante de temps bien supérieure à 45 ms, et que pour le réseau à 735 kV, la constante de temps excède 77 ms. Sur cette base et en prenant en considération qu'au moins pour le réseau 315 kV des constantes de temps de 45-160 ms peuvent exister, il a proposé d'utiliser une série de valeurs préférentielles telles que 45, 60, 80 et 120 ms.

Le Japon a résumé la situation de son réseau comme étant une structure fortement maillée pour un niveau de tension de 550 kV, mais a précisé que des dispositions radiales peuvent exister pour les niveaux de tension inférieurs. Les exemples de combinaisons qui peuvent exister sont par exemple 550kV/63kA/118ms, 300/42,8/190, 300/ 31,5/128, 163/30,5/136, 168/20/96, 72/26,3/97 et 72/12,5/48. Malgré les constantes de temps très élevées apparentes, aucune défaillance n'est apparue qui ait pu être attribuée à une incapacité d'élimination des défauts avec une composante CC élevée.

Un utilisateur américain a fourni en particulier des données sous forme de quatre catégories qui peuvent être résumées comme suit:

- 500 kV – Niveaux de court-circuit inférieurs à 40 kA avec des constantes de temps allant jusqu'à 130 ms mais avec une majorité inférieure ou égale à environ 80 ms;
- 230 kV – Majorité des niveaux de court-circuit inférieurs ou égaux à 40 kA avec des constantes de temps allant jusqu'à environ 93 ms mais avec une majorité inférieure ou égale à environ 66 ms;

The practical occurrence of rapid protection times such as those assumed for testing purposes are also an area where equipment is likely to be working closer to the margins.

Additionally, a number of utilities have, where doubt exists, had policies of either performing special type tests, purchasing obviously over-rated equipment or perform rating "trade offs" which, whilst not being technically elegant, give a degree of confidence within certain limits.

An example of this approach is the UK practice of purchasing equipment tested to 63 kA/time constant = 45 ms to meet a 57,5 kA/time constant = 60 ms single phase requirement. A German utility has reported a 63 kA/50 ms location where 80 kA equipment has been installed although the vast majority of their high short-circuit requirements are covered by 45 ms with values up to 57 ms being reported for fractional duties.

At this point data available from a number of other networks can be summarised as follows.

A French utility have indicated a maximum requirement for 60/70 ms at 420 kV, 160 ms at 245 kV and 200 ms at lower levels. The 70 ms value in particular is associated with a 63 kA fault level in a particular part of the network where generation is concentrated.

An Italian utility have indicated that in the northern part of Italy their 380 kV network gives time constants in the range 46-63 ms and averaged at about 54 ms for fault currents in excess of about 30 kA.

In addition to the above information, the same German utility has also reported that at 10 and 20 kV, voltage levels time constants of 80-100 ms are experienced.

A Canadian utility has indicated that their 315 kV network has a time constant consistently greater than 45 ms, and that at 735 kV the time constant exceeds 77 ms. On this basis, and taking into consideration that at less than 315 kV, time constants of 45-160 ms exist, they have proposed use of a series of preferred values such as 45 ms, 60 ms, 80 ms and 120 ms.

Japan have summarised their network at 550 kV as being heavily meshed, but at lower voltages a more radial pattern exists. Example rating combinations which are quoted are 550 kV/63 kA/118 ms; 300/42,8/190; 300/31,5/128; 168/30,5/136; 168/20/96; 72/26, 3/97 and 72/12,5/48. Despite the apparent very high time constants, no failures have occurred which have been attributed to an inability to clear faults with a high d.c. component.

A particular US utility have supplied data in four categories which can be summarised as follows:

– 500 kV: short-circuit levels less than 40 kA with time constants up to about 130 ms but with the majority being less than or equal to about 80 ms;
– 230 kV: majority of short-circuit levels less than or equal to 40 kA with time constants up to about 93 ms but with the majority being less than or equal to about 66 ms;

- 115 kV – Majorité des niveaux de court-circuit inférieurs à 35 kA avec une majorité de constantes de temps très faibles quoique quelques rares exemples peuvent aller jusqu'à environ 100 ms;
- 69 kV et en dessous – Courants de court-circuit faibles (typiquement de l'ordre de 5-10 kA quoique avec une grande dispersion des constantes de temps pouvant aller de valeurs très faibles jusqu'à environ 240 ms.

Le degré de corrélation entre des niveaux de court-circuit élevés et des constantes de temps élevées n'est pas évident à partir des données fournies.

Au Royaume-Uni il a été estimé que pour 15 % des emplacements à 275 kV et plus, une exigence existe pour avoir plus de 60 % de la valeur de court-circuit assignée avec une constante de temps supérieure à 45 ms. Ces valeurs sont associées à un certain nombre de facteurs tels que la concentration de la production, le maillage de réseau renforcé, et l'utilisation de constructions de lignes telles que des lignes de section 2 x 850 mm^2 qui donnent une constante de temps aux alentours de 53 ms. Il est également important de noter que l'expérience de NGC montre des conditions crêtes initiales accrues supérieures à celles pour lesquelles les matériels sont normalement testés.

Les exemples cités ci-dessus mettent généralement en relief les scénarios les plus contraignants qui ont été rapportés par les utilisateurs et il est important de noter que la où de telles valeurs élevées de constantes de temps existent, elles correspondent plutôt aux conditions extrêmes qu'aux conditions généralement applicables.

Les utilisateurs informés sont généralement capables d'identifier leurs propres exigences spécifiques et de spécifier les essais correspondants, mais cela tendra à masquer une faiblesse réelle du régime d'essai proposé par les normes. Ceci n'a qu'une importance modérée pour ces utilisateurs bien informés qui possèdent une connaissance relativement satisfaisante de leurs réseaux et des spécifications correspondantes des matériels installés sur ces réseaux. Toutefois, on peut supposer avec raison qu'il existe un grand nombre d'utilisateurs relativement mal informés, et plus spécialement dans les domaines de tension inférieures, qui ont inévitablement une confiance plus grande dans le contenu des normes CEI et c'est dans ce domaine que toute faiblesse apparaissant dans les régimes d'essais devient de première importance.

Considérations probabilistes

Historiquement, la probabilité d'apparition d'un défaut avec un décalage complet et qui peut réellement se produire a été pris en compte. Il n'est pas de notre intention de rentrer dans les détails correspondants dans ce document, sauf pour considérer que cette probabilité est généralement faible due au fait que le défaut doit être initié à un zéro de tension. Ceci signifie que les scénarios principaux pour lesquels les défauts avec un décalage complet doivent être considérés sont les amorçages de foudre et les réenclenchements sur défauts ou sur mises à la terre pour maintenance pour lesquels le point d'onde est fondamentalement aléatoire.

Bien que cela soit de toute évidence un scénario authentique, il n'est pas nécessairement pertinent de prendre en considération les exigences d'essais. En utilisant le critère 90 % de la CEI, il est admis qu'un disjoncteur standard sera pleinement satisfaisant pour les défauts les plus contraignants possibles pour 90 % des emplacements de réseau plutôt que 90 % des défauts à chaque emplacement. Le fait que des défauts asymétriques pleins soient rares n'a pas d'importance. Si cette probabilité était poursuivie jusqu'à son extrême, bien plus de 90 % des manœuvres de disjoncteurs en service s'appliqueraient probablement à des manœuvres avec des contraintes faibles ou à des défauts de contraintes non nominales et de ce fait des essais de défauts de contraintes non nominales nécessiteraient d'être réalisés. Il est admis que ceci n'est pas l'intention réelle du critère 90 % et que le 90 % dans ce cas doit faire référence uniquement à une proportion de localisations dans le réseau !

– 115 kV: majority of short-circuit levels less than 35 kA with majority of very low time constants albeit with a few rare examples up to 100 ms;
– 69 kV and below: low short-circuit currents (typically 5-10 kA) albeit with a wide spread of time constants from very low values through to about 240 ms.

The degree of correlation between high short-circuit levels and high time constants is not clear from the supplied data.

In the UK, it has been estimated that at 15 % of their locations at 275 kV and above, a requirement for greater than 60 % of short-circuit rating with a time constant of greater than 45 ms exists. These values are associated with a number of factors such as generation concentration, increased network meshing, and the use of line constructions such as 2 x 850 mm^2 giving a time constant in the region of 53 ms. It is also noteworthy that NGC experiences enhanced initial peak conditions over and above those which are normally tested for.

The above examples generally highlight the worst case scenarios reported by utilities and it is important to note that where such high d.c. time constant values exist, they are the extreme rather than the more generally applicable conditions.

Informed users are generally able to identify their own special requirements and specify testing accordingly but this will tend to mask any incipient weaknesses of the standardised testing regime. This is of lesser importance to these informed users who have a reasonably good understanding of their networks and the requirements for equipment installed in it. However, it can be safely assumed that there are a large number of relatively uninformed users, especially in the lower voltage markets, who will inevitably rely far more heavily on the content of IEC standards and it is in this area that any incipient weaknesses in the testing regime become of the utmost importance.

Probability considerations

Historically, a good deal of consideration has been given to the probability of actually experiencing a fully offset fault. It is not intended to repeat the details of this here, only to report that this probability is generally small due to the requirement for the fault to be initiated at voltage zero. This means that the main scenarios where fully offset faults might be experienced are lightning strikes and re-closures onto faults or maintenance earthing where the point on wave is fundamentally random.

Whilst this is inevitably a genuine scenario it is not necessarily pertinent to consideration of testing requirements. Using the IEC 90 % criterion, it is proposed that a standard circuit-breaker should be fully suited for the worst foreseeable faults at 90 % of system locations rather than 90 % of faults at any given location. The fact that fully asymmetric faults are rare should not be of importance. If this probability route were pursued to its extreme far more than 90 % of circuit-breaker in-service operations probably involve little or no rated fault operations, and therefore no rated fault interruption tests need be performed. It is suggested that this is not the true intention of the 90 % criterion and that the 90 % in this case should refer to a proportion of network locations only!

Considérations relatives au fournisseur/constructeur

Les considérations premières du point de vue des constructeurs sont inévitablement associées à l'effet des modifications des normes et des essais aussi bien sur les conceptions existantes que sur les conceptions futures des matériels. Toute augmentation de la constante de temps spécifiée peut être vue comme un accroissement, même marginal des exigences spécifiées. L'effet de cette augmentation doit être pris en considération pour deux cas différents, à savoir

a) les répercussions des modifications sur la capacité des matériels existants et des matériels en cours de développement à répondre aux exigences spécifiées et aussi sur
b) les répercussions sur les conceptions futures.

Tout comme il existe des avantages pour les utilisateurs, il existe des avantages pour les constructeurs de vendre chaque fois que c'est possible un produit standard. C'est le cas et parmi les cas considérés a) ci-dessus, il existe deux scénarios possibles qui peuvent résulter d'une modification vis-à-vis d'une spécification, Le problème le plus simple apparaît lorsque le produit standard existant peut être retesté avec succès pour la nouvelle spécification, et dans quel cas la charge ajoutée par une modification de spécification est largement limitée pour ce qui est des coûts d'essais. Plus ennuyeux est le scénario pour lequel l'équipement standard n'est pas capable de satisfaire à la nouvelle exigence. Dans ce cas, un développement significatif et des coûts d'essais supplémentaires peuvent être nécessaires, ce qui peut placer le constructeur en position difficile sur le marché, aussi bien financièrement que techniquement pour une certaine période de temps postérieure. De manière alternative, il peut devenir nécessaire d'offrir à nouveau un équipement répondant à des exigences supérieures, ce qui affectera de manière préjudiciable sa compétitivité. Cela peut évidemment être analysé comme «une modification des règles» mais une modification techniquement justifiable qui peut avoir des implications en terme de sécurité et de fiabilité ne devra pas en dernier lieu être influencée par des pressions financières, bien qu'il soit également important que les utilisateurs traitent tous les constructeurs de manière équitable.

En présupposant que cette approche soit équitable, l'effet des conceptions futures possédera bien moins de conséquences puisque les critères en fonction desquels la nouvelle conception est développée seront clairs et fixés.

Pour les raisons évoquées ci-dessus, il est important en plus de l'atteinte des exigences de réseau réelles, d'éviter de réaliser des essais non nécessaires qui en fait engendrent un coût pour toutes les parties.

Considérations relatives aux essais

Ayant identifié la possibilité de réaliser des essais avec différentes constantes de temps correspondant à celles utilisées actuellement, il est important de considérer leurs faisabilités en fonction des capacités des laboratoires d'essais. La question évidente à poser concerne la disponibilité des courants de court-circuit recherchés avec les capacités de constantes de temps appropriées. Les constantes de temps rapportées et issues des laboratoires d'essais varient fortement entre 20 ms pour certaines alimentations de réseau et peuvent dépasser plus de 100 ms (plusieurs centaines dans de rares cas) pour certaines conceptions d'alternateurs. De ce fait, il est très difficile de généraliser et de considérer une constante de temps pour un laboratoire d'essai de court-circuit «typique». Il apparaît clairement que les stations d'essais utilisent déjà de manière accrue des réactances de court circuit et des transformateurs afin de modifier ces constantes de temps propres. En pratique, il est peu probable que de petites modifications pour les constantes de temps spécifiées (par exemple de 45 ms à 60 ms pour un courant de défaut plein assigné) engendrent des difficultés majeures pour les laboratoires d'essais. A partir des informations disponibles, il n'apparaît pas clairement si des constantes de temps plus élevées (dépassant 100 ms) sont si facilement atteignables et par conséquent si l'adoption d'essais de constantes de temps à valeurs fractionnées seraient préjudiciables envers certains laboratoires d'essais par rapport à d'autres. Ce point nécessite de mener des investigations complémentaires.

Supplier/manufacturer considerations

Primary concerns from the manufacturer's point of view are inevitably associated with the effect of changes to standards and testing on both the present and future designs of equipment. Any increase in specified time constant can be seen as an increase, albeit marginal, in the specified requirements. The effect of this needs to be considered for two separate cases namely:

a) the repercussions of changes on the ability of present and in development equipment to meet specified requirements, and also

b) the repercussions for future designs.

As is the case for the utilities, there are benefits to manufacturers in supplying, as far as is possible, a standard product. This being the case, and considering case i) above, there are two possible scenarios which may result from a change to the specification. The simplest and least troublesome is that the existing standard product can be satisfactorily re-tested for the new requirement, in which case the added burden of a specification change is largely limited to testing costs. More troublesome is the scenario where the standard equipment is unable to meet the new requirement. In this case, significant development and re-testing costs may ensue which may place the manufacturer in a poor market position, both financially and technically, for a subsequent period. Alternatively, it may become necessary to offer a higher rated equipment again detrimentally affecting competitiveness. This could obviously be construed as "changing the rules" but a technically justifiable change which may have safety and reliability implications should not, ultimately, be impeded by financial pressures, although it is equally important that utilities are seen to treat all manufacturers in an equitable fashion.

Presupposing this equitable approach, the effect on future designs will be of far less consequence since the criteria against which the design is developed will be clear and fixed.

For the above reasons it is important, in addition to meeting real system requirements, to avoid unnecessary over-testing which is ultimately costly for all parties.

Testing considerations

Having identified the possibility of testing at a different time constant to that used at present, it is important to consider the practicalities of this with respect to testing station capabilities. The obvious question is that of the availability of suitable short-circuit currents with appropriate time constant capabilities. Reported time constant from testing station supplies vary widely between 20 ms for certain network supplies, through to well in excess of 100 ms (several hundred in rare cases) for some generator designs. Hence, it is very difficult to generalise and to consider a time constant for a "typical" short-circuit testing facility. What is clear is that testing stations already make extensive use of short-circuit reactors and transformers to modify these inherent time constants. In practice small changes in specified time constant (e.g. from 45 ms to 60 ms at full fault current rating) are unlikely to pose any major difficulties for testing stations. From available information, it is less clear whether much higher time constants (in excess of 100 ms or so) are so widely achievable and, consequently, whether the adoption of a fractional rating high time constant tests would be prejudicial in favour of some testing facilities over others. This requires further investigation.

Les informations disponibles montrent que les constantes de temps jusqu'à 60 ms sont équitablement et facilement acquises à travers une large plage de courants par une majorité de laboratoires d'essais et la figure 1 représente les données fournies par un ensemble de laboratoires d'essais.

Une autre considération liée aux équipements est que les transformateurs de court-circuit sans aucune exigence de faibles pertes tendent à utiliser moins de cuivre et par conséquent possèdent une valeur réduite pour X et la constante de temps.

En dehors du contrôle de la constante de temps, l'autre aspect lié aux méthodes d'essais qui doit être pris en compte concerne la manière par laquelle une condition d'essai particulière est appliquée. Dans les cas où il n'est pas possible ou pas pratique d'obtenir de manière précise la caractéristique correcte de courant/décroissance, il existe l'option de différencier les composantes individuelles telles que la composante de courant alternatif afin d'obtenir des valeurs correctes de crêtes/boucles. Une attention particulière doit être portée lorsque l'on considère une telle option afin de s'assurer que (a) le disjoncteur n'est pas sur-contraint de manière significative aussi bien avant, après ou durant l'essai et que (b) les facteurs critiques tels que la durée d'arc maximum sont pleinement représentés. L'utilisation d'un «essai équivalent» doit être examiné avec beaucoup d'attention.

Points principaux et recommandations

1. **Les constantes de temps CC de réseaux** peuvent être en général classées dans les catégories suivantes.
   a) Réseaux à moyenne tension assignée jusqu'à 52 kV;
   b) Réseaux à haute tension assignée comprise entre 72,5 kV et 420 kV;
   c) Réseaux à haute tension assignée supérieure ou égale à 525 kV;
   d) Circuits de générateurs.

A l'intérieur de chacune de ces catégories, la constante de temps CC varie également avec l'amplitude du courant de court-circuit.

2. Réseaux à moyenne tension assignée jusqu'à 52 kV

Les considérations relatives aux constantes de temps CC dans les réseaux de tension assignée jusqu'à 52 kV peuvent être divisées en deux catégories supplémentaires en fonction de l'utilisation

– Disjoncteurs qui sont connectés via des lignes et des câbles dans un réseau maillé résultant en une constante de temps CC de 45 ms ou moins.
– Disjoncteurs qui sont connectés à un jeu de barres qui est lui même alimenté uniquement par un ou deux transformateurs de puissance. Dans ce cas, la constante de temps CC est déterminée uniquement par le(s) transformateur(s) de puissance et sera en général supérieure à 45 ms et dans certains cas jusqu'à 150 ms.

Recommandations

Pour les disjoncteurs jusqu'à 52 kV, la constante de temps CC peut être divisée en deux classes

1) Une constante de temps de 45 ms est suffisante Pour les disjoncteurs installés dans les réseaux de distribution qui sont alimentés par des lignes et des câbles.

Available information suggests that time constants of up to 60 ms are fairly readily achievable across a wide range of currents at a majority of testing stations and figure 1 summarises data supplied by a range of testing stations.

Another equipment consideration is that short-circuit transformers without any requirement for low losses tend to use less copper and consequently have a reduced value of X and time constant.

Apart from time constant control, the other aspect of testing methods which must be considered is the way in which a particular test condition is applied. Where it is not possible or not practical to achieve precisely the correct current/decay characteristic, the option of varying individual components such as the a.c. current component in order to achieve correct peaks/loop lengths, etc. exists. Care must be exercised when considering such an option to ensure that a) the breaker is not significantly overstressed either before, after or during the test, and that b) critical factors such as maximum arc duration are fully represented. The use of "equivalence testing" has to be examined very carefully.

Main points and recommendations

1. Network d.c. time constants can be broadly classified in the following categories:

a) medium voltage networks rated up to 52 kV;

b) high voltage networks rated from 72,5 kV to 420 kV;

c) high voltage networks rated 525 kV and above;

d) generator circuits.

Within each of these categories, the d.c. time constant also varies with the magnitude of the short-circuit current.

2. Medium voltage networks rated up to 52 kV

Consideration of the d.c. time constants in networks rated up to 52 kV can be divided into two further categories by application.

– circuit-breakers which are connected via lines and cables in a meshed network resulting in a d.c. time constant of 45 ms or less,

– Circuit-breakers which are connected to a busbar which itself is supplied solely by one or two power transformers. In this case, the d.c. time constant is determined solely by the power transformer(s) and will generally be higher than 45 ms and possibly up to 150 ms.

Recommendations

For circuit-breakers up to 52 kV the d.c. time constant can be divided into two classes:

1) A time constant of 45 ms is sufficient for circuit-breakers in distribution networks which are fed by lines and cables.

2) Une constante de temps de 120 ms est recommandée pour les disjoncteurs installés dans un poste alimenté par un transformateur où la spécification de courant de court-circuit est égale à la coupure de courant de court-circuit assigné, Dans les cas où la spécification de courant de court-circuit est inférieure au courant de coupure de court-circuit assigné du disjoncteur d'au moins 1 classe dans la série R10, un disjoncteur testé avec une constante de temps de 45 ms pourra remplir ces spécifications. Par exemple, un disjoncteur 50 kA testé avec une constante de temps de 45 ms pourra être déclaré adéquat pour une utilisation à 40 kA avec une constante de temps supérieure.

3. Réseaux à haute tension assignée comprise entre 72,5 kV et 420 kV

Les constantes de temps CC dans les réseaux à haute tension assignée comprise entre 72,5 kV et 420 kV sont dominées par les lignes et les investigations menées suggèrent que la valeur existante de 45 ms couvre de manière adéquate la grande majorité de telles applications. Toutefois, certaines configurations de réseaux et certaines conceptions de lignes produisent des contantes de temps plus élevées, jusqu'à peut être 60 ms, en combinaison avec des courants de court-circuit élevés. En complément, des applications avec des exigences de courant de coupure de court-circuit plus faibles possèdent souvent des constantes de temps CC plus élevées à cause de la part significative du courant de court-circuit qui est fourni par les transformateurs.

Recommandations

1) La constante de temps existante de 45 ms est généralement suffisante pour les disjoncteurs dont la tension est comprise dans la plage allant de 72,5 kV à 420 kV et doit être maintenue.
2) Pour les configurations de réseaux et les conceptions de lignes résultant en une constante de temps plus élevée, jusqu'à 60 ms, la constante de temps pour les essais doit être soumise à un agrément séparé.
3) Pour les applications à dominante transformateurs, la constante de temps spécifiée pour les essais devra être augmentée, mais il faut garder à l'esprit que le courant de court-circuit de telles applications sera limité bien en dessous du courant de coupure de court-circuit assigné.
4) Dans les cas où la spécification de courant de court-circuit est inférieure au courant de coupure de court-circuit assigné du disjoncteur d'au moins 1 classe dans la série R10, un disjoncteur testé avec une constante de temps de 45 ms pourra remplir ces spécifications pour une constante de temps supérieure. Par exemple, un disjoncteur 50 kA testé avec une constante de temps de 45 ms pourra être déclaré adéquat pour une utilisation à 40 kA avec une constante de temps supérieure.

4. Réseaux à haute tension assignée supérieure ou égale à 525 kV

Les constantes de temps CC des réseaux de tension assignée supérieure ou égale à 525 kV ne sont pas bien définies mais tendent à croître avec la tension et sont généralement supérieures à 45 ms. Par exemple des valeurs de 55 ms pour 550 kV, 75 ms pour 765 kV et 110 ms pour 1 100 kV ont été rapportées.

Recommandations

1) La constante de temps CC spécifiée pour les essais doit être considérée comme une base individuelle et sera soumise à un agrément séparé.
2) Dans les cas où la spécification de courant de court-circuit est inférieure au courant de coupure de court-circuit assigné du disjoncteur d'au moins 1 classe dans la série R10, un disjoncteur testé avec une constante de temps de 45 ms pourra remplir ces spécifications pour une constante de temps supérieure. Par exemple, un disjoncteur 50 kA testé avec une constante de temps de 45 ms pourra être déclaré adéquat pour une utilisation à 40 kA avec une constante de temps supérieure.

2) A time constant of 120 ms is recommended for circuit-breakers in a transformer-fed substation where the short-circuit current requirement is equal to the rated short-circuit breaking current. In cases where the short-circuit current requirement is lower than the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker by at least one class within the R10 series, a circuit-breaker tested with a time constant of 45 ms may fulfil the requirements. For example, a 50 kA circuit-breaker tested with a time constant of 45 ms may be adjudged to be adequate for a 40 kA location with a higher time constant.

3. High voltage networks rated from 72,5 kV to 420 kV

The d.c. time constants in HV networks rated from 72,5 kV to 420 kV are dominated by lines and investigations suggest that the existing value of 45 ms adequately covers the broad majority of such applications. However, certain network configurations and line designs produce higher time constants, up to maybe 60 ms, in combination with high short-circuit currents. Additionally, applications with lower short-circuit breaking current requirements often have higher d.c. time constants due to the significant part of the short-circuit current which is fed from transformers.

Recommendations

1) The existing time constant of 45 ms is generally sufficient for circuit-breakers in the range 72,5 kV to 420 kV and shall be maintained.
2) For network configurations and line designs resulting in a higher time constant up to 60 ms, the time constant for testing shall be the subject of a separate agreement.
3) For transformer-dominated applications, the specified time constant for testing might be increased but it must be borne in mind that the short-circuit current of such applications will be limited to well below the rated short-circuit breaking current.
4) In cases where the short-circuit current requirement is lower than the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker by at least one class within the R10 series, a circuit-breaker tested with a time constant of 45 ms may fulfil the requirement for a higher time constant. For example, a 50 kA circuit-breaker tested with a time constant of 45 ms may be adjudged to be adequate for a 40 kA location with a higher time constant.

4. High voltage networks rated 525 kV and above

The d.c. time constant in networks rated 525 kV and above are not well defined but tend to increase with increasing voltage and are generally higher than 45 ms. For example, values of 55 ms at 550 kV, 75 ms at 765 kV and 110 ms at 1 100 kV are reported.

Recommendations

1) The d.c. time constant specified for testing shall be considered on an individual basis and shall be the subject of a separate agreement.
2) In cases where the short-circuit current requirement is lower than the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker by at least one class within the R10 series, a circuit-breaker tested with a time constant of 45 ms may fulfil the requirement for a higher time constant. For example, a 50 kA circuit-breaker tested with a time constant of 45 ms may be adjudged to be adequate for a 40 kA location with a higher time constant.

5. Circuits de générateurs

La considération des disjoncteurs pour une utilisation dans des circuits de générateurs a été limitée aux cas associés à des petites centrales de production locales (par exemple 20 MVA) raccordés à des réseaux de distribution à moyenne tension puisque ces applications sont susceptibles de permettre l'utilisation de disjoncteurs standards plutôt que des disjoncteurs de générateur spécifiques. Les disjoncteurs associés aux centres de production plus importants raccordés en haute tension et aux petits centres de production industriels ne sont pas concernés. Pour la catégorie d'équipements cités ci-dessus, le raccordement de la production peut résulter en des augmentations de la constante de temps locale à des valeurs excédant 45 ms.

Recommandations

1) Une considération doit être donnée aux essais avec une constante de temps aux environs de 100 ms.
2) Dans les cas où la spécification de courant de court-circuit est inférieure au courant de coupure de court-circuit assigné du disjoncteur d'au moins 1 classe dans la série R10, un disjoncteur testé avec une constante de temps de 45 ms pourra remplir ces spécifications. Par exemple, un disjoncteur 50 kA testé, avec une constante de temps de 45 ms pourra être déclaré adéquat pour une utilisation à 40 kA avec une constante de temps supérieure.

6. Capacité des laboratoires d'essais

Les constantes de temps qui sont disponibles dans les laboratoires d'essais de court-circuit varient très largement en fonction de facteurs comme le type d'alimentation du circuit, par le réseau ou par un générateur. Cet aspect devra être pris en considération lors de la spécification des contraintes d'essais et lors de l'estimation de l'acceptabilité des essais réalisés à des valeurs de courant efficaces plus élevées en utilisant une constante de temps inférieure afin de prouver la capacité de tenue à un courant inférieur avec une constante de temps plus grande.

Références

La majorité des documents utilisés pour préparer ce document étaient des documents internes au Groupe de Travail CIGRE 13.02. Cependant, les documents publiés ci-après ont aussi pris comme références:

– J.H. Beeler: Trends of high voltage switchgear requirements in strongly interconnected systems. CESI Symposium 1983 L'Energia Elettrica No. 12 (1983), p.p. 451-460.

– W.M.C. van den Heuvel, A.L.J. Janssen & G.C. Damstra: Interruption of short-circuit currents in MV networks with extremely long time constants, IEE proceedings Vol 136, Pt C (1989) NO. 2, pp.115-119.

– A. Sabot, A. Giard, & Y. Maugin: Decay of d.c. component of the short-circuit currents on the 420 kV and 245 kV networks of Electricité de France. 4th International Symposium on short-circuit currents in Power Systems, Liege (Belgium), September 1990, paper 1.17

– M. Ishikawa, K. Suzuki, N. Miyake, K. Hisamatsu, H. Toda, T. Yokota: Study of equivalent short-circuit testing methods for long damping time constant of large d.c. component. IEE Japan Power and Energy '94 Proc. Fifth Annual Conference Tokyo July 1994, Vol 2, pp.155-159

5. Generator circuits

Consideration of circuit-breakers for application to generator circuits has been limited to those associated with small (e.g. 20 MVA), local power plants connected to medium voltage distribution networks since these applications are likely to involve the use of standard circuit-breakers rather than specialised generator circuit-breakers. Circuit-breakers associated with large high voltage connected generation and small industrial generation are not addressed. For the above category of equipment, connection of generation may result in increases in local time constant to values in excess of 45 ms.

Recommendations

1) Consideration should be given to testing with a time constant of around 100 ms.
2) In cases where the short-circuit current requirement is lower than the rated short-circuit breaking current of the circuit-breaker by at least one class within the R 10 series, a circuit-breaker tested with a time constant of 45 ms may fulfil the requirements. For example, a 50 kA circuit-breaker tested with a time constant of 45 ms may be adjudged to be adequate for a 40 kA location with a higher time constant.

6. Testing station ability

Time constants which are available within short-circuit testing laboratories vary widely, depending on factors such as whether the circuit is network or generator fed. This aspect must be taken into consideration when specifying testing requirements and when assessing the acceptability of performing tests at higher r.m.s. currents using a lower time constant to prove ability at lower current with an increased time constant.

References

The majority of documents used in preparing this document were internal Working Group documents of CIGRE WG 13.02. However, the following published documents were also referred to.

– J.H. Beeler: Trends of high voltage switchgear requirements in strongly interconnected systems. CESI Symposium 1983 L'Energia Elettrica No. 12 (1983), p.p. 451-460.
– W.M.C. van den Heuvel, A.L.J. Janssen & G.C. Damstra: Interruption of short-circuit currents in MV networks with extremely long time constants, IEE proceedings Vol 136, Pt C (1989) NO. 2, pp.115-119.
– A. Sabot, A. Giard, & Y. Maugin: Decay of d.c. component of the short-circuit currents on the 420 kV and 245 kV networks of Eletricité de France. 4th International Symposium on short-circuit currents in Power Systems, Liege (Belgium), September 1990, paper 1.17
– M. Ishikawa, K. Suzuki, N. Miyake, K. Hisamatsu, H. Toda, T. Yokota: Study of equivalent short-circuit testing methods for long damping time constant of large d.c. component. IEE Japan Power and Energy '94 Proc. Fifth Annual Conference Tokyo July 1994, Vol 2, pp.155-159

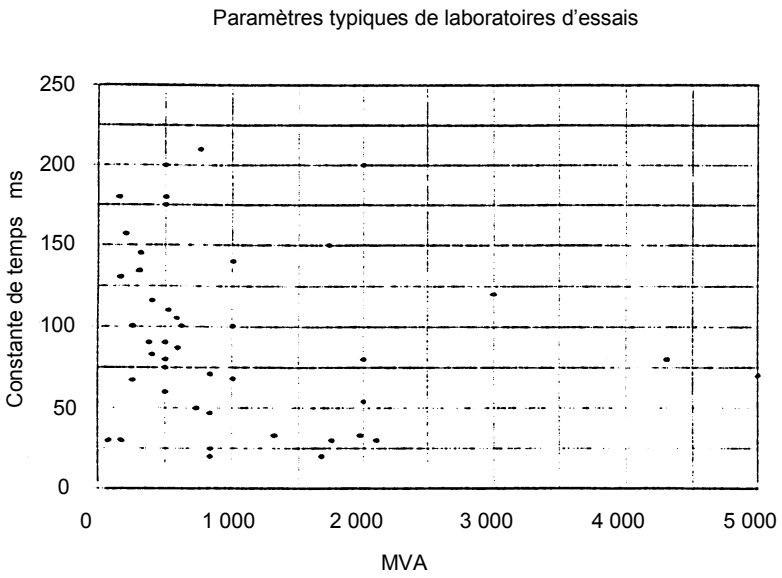


Figure 1 – Combinaisons des paramètres de court-circuit typiques de laboratoires d'essais

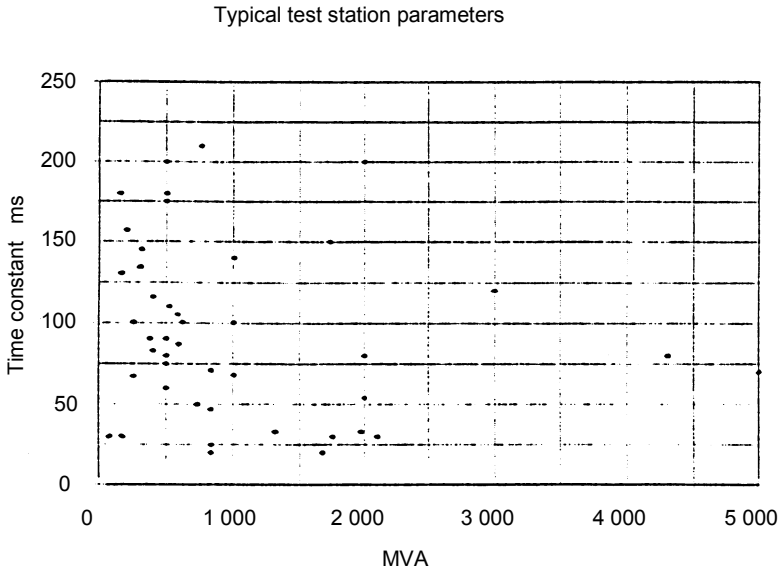


Figure 1 – Typical short-circuit testing station parameter combinations

Tableau 1 – Résultats d'une étude des niveaux de défauts de circuits spécifiques pour un poste de transport à 275 kV

Type de défaut	Circuit	rapport X/R	Courant initial RMS [kA]	Courant initial crête [kA]	Courant transitoire RMS [kA]	Temps coupure [ms]	Courant coupé RMS [kA]	Courant coupé apériodique [kA]	Courant coupé crête [kA]	Courant asymétrique coupé [kA]
1 phase	BAR	12,07	35,96	90,75	34,71	70	34,93	8,22	66,14	36,88
3 phase	BAR	15,72	36,49	94,43	32,86	70	33,49	12,74	67,88	36,5
1 phase	B619	12,57	27,96	70,86	27,19	70	27,33	6,88	52,05	29,56
3 phase	B619	17,77	26,85	70,17	24,82	70	25,18	11,02	52,01	28,72
1 phase	B621	15,97	29,68	76,89	28,91	70	29,04	10,59	57,94	32,22
3 phase	B621	19,56	29,31	77,13	27,18	70	27,55	13,47	58,02	31,87
1 phase	F613	10,89	28,87	72,01	27,94	70	28,1	5,42	52,23	30
3 phase	F613	14,5	30,46	78,27	27,63	70	28,12	9,45	55,95	31,25
1 phase	F617	11,16	29,29	73,27	28,34	70	28,51	5,77	53,21	30,5
3 phase	F617	14,7	30,73	79,05	27,87	70	28,37	9,73	56,6	31,57
1 phase	BAR	12,1	36,14	91,23	34,89	70	35,10	8,31	66,51	37,09
3 phase	BAR	15,7	36,66	94,85	33,02	70	33,66	12,78	68,19	36,67
1 phase	B625	15,87	29,92	77,49	29,15	70	29,28	10,59	58,35	32,56
3 phase	B625	19,49	29,49	77,57	27,35	70	27,72	13,49	58,34	32,06
1 phase	B623	12,65	27,96	70,89	27,18	70	27,32	6,95	52,1	29,57
3 phase	B623	17,77	26,8	70,04	24,77	70	25,13	10,99	51,91	28,65
1 phase	F614	10,93	28,98	72,34	28,06	70	28,22	5,48	52,49	30,15
3 phase	F614	14,48	30,62	78,68	27,79	70	28,28	9,49	56,25	31,41
1 phase	F618	11,21	29,49	73,82	28,54	70	28,71	5,87	53,63	30,73
3 phase	F618	14,7	30,92	79,54	28,06	70	28,56	9,79	56,96	31,78

Table 1 – Circuit specific fault level study results for 275 kV transmission substation

Fault type	Circuit	X/R ratio	Initial RMS current [kA]	Initial peak current [kA]	Transient RMS current [kA]	Break time [ms]	RMS break current [kA]	DC break current [kA]	Peak break RMS [kA]	Asymmetric break [kA]
1 phase	BAR	12,07	35,96	90,75	34,71	70	34,93	8,22	66,14	36,88
3 phase	BAR	15,72	36,49	94,43	32,86	70	33,49	12,74	67,88	36,5
1 phase	B619	12,57	27,96	70,86	27,19	70	27,33	6,88	52,05	29,56
3 phase	B619	17,77	26,85	70,17	24,82	70	25,18	11,02	52,01	28,72
1 phase	B621	15,97	29,68	76,89	28,91	70	29,04	10,59	57,94	32,22
3 phase	B621	19,56	29,31	77,13	27,18	70	27,55	13,47	58,02	31,87
1 phase	F613	10,89	28,87	72,01	27,94	70	28,1	5,42	52,23	30
3 phase	F613	14,5	30,46	78,27	27,63	70	28,12	9,45	55,95	31,25
1 phase	F617	11,16	29,29	73,27	28,34	70	28,51	5,77	53,21	30,5
3 phase	F617	14,7	30,73	79,05	27,87	70	28,37	9,73	56,6	31,57
1 phase	BAR	12,1	36,14	91,23	34,89	70	35,10	8,31	66,51	37,09
3 phase	BAR	15,7	36,66	94,85	33,02	70	33,66	12,78	68,19	36,67
1 phase	B625	15,87	29,92	77,49	29,15	70	29,28	10,59	58,35	32,56
3 phase	B625	19,49	29,49	77,57	27,35	70	27,72	13,49	58,34	32,06
1 phase	B623	12,65	27,96	70,89	27,18	70	27,32	6,95	52,1	29,57
3 phase	B623	17,77	26,8	70,04	24,77	70	25,13	10,99	51,91	28,65
1 phase	F614	10,93	28,98	72,34	28,06	70	28,22	5,48	52,49	30,15
3 phase	F614	14,48	30,62	78,68	27,79	70	28,28	9,49	56,25	31,41
1 phase	F618	11,21	29,49	73,82	28,54	70	28,71	5,87	53,63	30,73
3 phase	F618	14,7	30,92	79,54	28,06	70	28,56	9,79	56,96	31,78

I.3 Note explicative concernant la tenue des disjoncteurs pendant les essais (6.102.8 et 6.111.11)

Lorsque l'on commute des courants capacitifs dans un circuit d'essais triphasé à neutre isolé, on ne peut faire la différence entre un NSDD et un réamorçage, puisque ces deux phénomènes sont interprétés de manière identique sur l'oscillogramme. Afin de ne pas désavantager de façon injustifiée les disjoncteurs montrant des NSDD, on a procédé à l'évaluation des résultats des essais du 6.102.8 pour les raisons suivantes.

Si le disjoncteur peut résister à la première crête du courant de rétablissement pendant les essais de commutation en courant capacitif, il a démontré qu'il était en mesure de supporter la tension maximale produite au cours de l'essai, appliquée à une certaine position des contacts pendant la manœuvre d'ouverture. A tout instant ultérieur la distance de contact est plus grande, c'est-à-dire que la contrainte du champ électrique entre les contacts est moindre. Si un claquage de tension survient passée cette première crête, la probabilité que ce phénomène soit un NSDD et non un réamorçage est grande. On utilise donc la méthode suivante d'évaluation des essais de commutation en courant capacitif en tenant compte de toutes les autres règles évoquées en 6.102.8:

Intervalle de temps *t* entre l'instant de courant zéro et l'instant de claquage de tension dans la phase concernée	**Evaluation du phénomène**
t <1/4 cycle	réallumage
¼ cycle ≤ t ≤ ½ cycle	réamorçage
t > ½ cycle	NSDD

I.4 Notes explicatives relatives aux essais de commutation de courants capacitifs (6.111)

I.4.1 Caractéristique de réamorçage

Etant donné qu'il existe une probabilité de réamorçage en service pour tous les disjoncteurs il est impossible de définir un disjoncteur sans réamorçage. Au lieu de cela, il semble plus logique d'introduire la notion de caractéristique de réamorçage en cours de service.

Le niveau de probabilité de réamorçage dépend aussi des conditions d'utilisation (coordination d'isolation, nombre de manœuvres annuelles, politique d'entretien adoptée par l'utilisateur etc.). Il est donc impossible d'introduire un niveau de probabilité commun en termes de conditions d'utilisation.

On a donc réparti les disjoncteurs en deux catégories selon leur caractéristique de réamorçage: la classe C1 et la classe C2.

I.4.2 Programme d'essais

Pour définir le programme d'essais de ces deux classes, on a pris en compte les éléments suivants:

– le nombre moyen de manœuvres annuelles assurées par les charges capacitives de commutation des disjoncteurs,

– l'aptitude à réduire le nombre d'essais en effectuant un plus grand nombre de manœuvres de commutation à la durée d'arc minimale, en général la commutation capacitive la plus difficile pour les disjoncteurs, permettant de maintenir un niveau élevé de fiabilité.

La probabilité de réamorçage espérée est exclusivement liée aux essais de types. En raison de la sévérité de ces essais de types, on peut s'attendre à une amélioration de la caractéristique de commutation en service.

I.3 Explanatory note regarding behaviour of circuit-breaker during tests (6.102.8 and 6.111.11)

When switching capacitive currents in a three-phase test circuit with isolated neutral, a distinction between NSDD and restrike cannot be made, since the appearance of both different events on the oscillogram is the same, To avoid putting circuit-breakers showing NSDDs at a non-justified disadvantage, the valuation of the test results given in 6.102.8 was established for the following reasons.

If the circuit-breaker is able to withstand the first crest of the recovery voltage in capacitive current switching tests, it has shown that it is able to withstand the maximum voltage occurring in this test, applied at a certain position of the contacts during the opening movement. At any later instant of time, the contact distance is longer, i.e. the electrical field stress between the contacts is lower. If a breakdown of the voltage occurs after passing this first voltage crest, the probability is high that this event is a NSDD and not a restrike. Therefore, the following method of evaluation of capacitive current switching tests is used, taking all the other rules given in 6.102.8 into account:

Time interval t from current zero to voltage breakdown in the relevant phase	Assessment of the event
t < ¼ cycle	Re-ignition
¼ cycle ≤ t ≤ ½ cycle	Restrike
t > ½ cycle	NSDD

I.4 Explanatory note regarding capacitive current switching tests (6.111)

I.4.1 Restrike performance

As all circuit-breakers have a certain restrike probability in service, it is not possible to define a restrike-free circuit-breaker. Instead, it appears more logical to introduce the notion of a restrike performance in service.

The level of restrike probability also depends on the service conditions (e.g. insulation coordination, number of operations per year, maintenance policy of the user, etc.), so it is impossible to introduce a common probability level related to service condition.

To classify their restrike performance, two classes of circuit-breakers are therefore introduced: class C1 and class C2.

I.4.2 Test programme

In defining the test programme for these two classes, the following elements have been taken into account:

– the average number of operations per year carried out by circuit-breakers switching capacitive loads;
– the ability to reduce the number of tests by performing an increased number of switching operations at the minimum arcing time, usually the most difficult capacitive switching operation for circuit-breakers, thus keeping a high level of reliability;

The expected restrike probability is exclusively related to the type tests. Due to the severity of the type tests, an improved switching performance in service can be expected.

Il est possible de remettre en cause le nombre d'essais proposé, en raison de la diversité des hypothèses adoptées pour les calculs. Toutefois, ces valeurs représentent un compromis convenable (ce qui est le rôle de la norme lorsque des points de vue s'opposent) qui reflète les besoins des utilisateurs et qui par dessus tout évite toute demande irréaliste. Ces essais ne sont pas des épreuves de fiabilité mais des essais de type destinés à établir, en termes satisfaisants, la capacité de commutation en courant capacitif des équipements en service.

I.4.3 A propos du tableau 5

Le tableau 5 n'envisage pas tous les cas réels de commutation en courant capacitif. Les valeurs données pour les lignes et les câbles couvrent la plupart des cas, les valeurs du courant pour les batteries de condensateurs (simple et en opposition) sont des valeurs type représentatives des valeurs réelles actuellement utilisées.

I.4.4 A propos de 6.111.1

Etant donné que de nombreux disjoncteurs sont implantés sur des circuits comportant des câbles de 12 kV et plus, il est raisonnable de prévoir des essais de commutation de câbles en charge pour des disjoncteurs de capacité nominale de 12 kV et plus.

I.4.5 A propos de 6.111.3

Le paragraphe concernant le facteur k/f_{φ} a été supprimé parce qu'il n'est ni utile ni nécessaire pour les essais.

L'écart de tension à fréquence industrielle a été adopté à hauteur de 5 % pour la séquence d'essais 2 (LC2, CC2 et BC2) et à 2 % pour la séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1). Ces valeurs représentent un compromis tenant compte des servitudes des laboratoires d'essai. Si l'on considère l'essai de type comme un tout, en raison des diverses contraintes des séquences d'essais individuels, on évite toute baisse injustifiée de la contrainte électrique en cours de test. Les valeurs réelles de l'écart de tension à fréquence industrielle (en fonction de la puissance de court circuit du système et de la charge capacitive) se situent entre 1 % et 2 %.

I.4.6 A propos de 6.111.5

L'intervalle après extinction finale de l'arc, dans lequel la décroissance en tension ne doit pas excéder 10 %, a été modifié de 100 ms à 300 ms en fonction des conditions d'utilisation en service.

I.4.7 A propos de 6.111.9.1.1

L'exécution des essais de commutation en courant capacitif pour les équipements de la classe C2 sur un disjoncteur pré-conditionné est d'une part recommandé par le groupe de travail CIGRE concerné, et permet d'autre part de s'approcher des conditions d'utilisation réelles, le fait que le pré-conditionnement améliore ou non la caractéristique de commutation en courant capacitif du disjoncteur n'entrant pas en considération.

Les manœuvres de fermeture/ouverture peuvent être effectuées avec des essais à vide pour la fermeture. De toute façon la séquence entière fera l'objet d'un essai pour éprouver l'ouverture du disjoncteur en situation dynamique, c'est-à-dire au cours du déplacement du fluide provoqué par la manœuvre de fermeture précédente.

I.4.8 A propos des 6.111.9.1.1 et 6.111.9.2.1

La plage de tolérance des valeurs de courant d'essai pour la séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1) a été modifiée: de l'ancienne fourchette de 20 % à 40 % elle passe à une nouvelle fourchette de 10 % à 40 % et cela pour donner plus de liberté au cours des essais de séquences mixtes destinés aux diverses applications.

The proposed number of tests may be questioned because of different assumptions for probability calculations. Nevertheless, these values represent a good compromise (which is the role of the standard where conflicting views exist), reflecting the needs of users (in response to market demand) and above all they avoid unrealistic demands. These tests are not reliability tests but type tests to demonstrate the satisfactory capacitive current switching capability of the equipment in service.

I.4.3 Referring to table 5

Not all actual cases of capacitive current switching are covered by table 5. The values for lines and cables cover most cases, the values of the current for capacitor banks (single and back-to-back) are typical and representative of actual values in service.

I.4.4 Referring to 6.111.1

Since a lot of circuit-breakers are used on cable circuits from 12 kV and above, it is reasonable to request cable-charging switching tests for circuit-breakers rated 12 kV and above.

I.4.5 Referring to 6.111.3

The paragraph concerning factor k/f_{φ} has been deleted because there is neither use nor need for testing.

The variation of the power frequency voltage has been chosen as 5 % for test-duty 2 (LC2, CC2 and BC2) and 2 % for test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1). These values are a compromise, taking limitations of testing laboratories into account. Considering the type test as a whole, because of the different stresses in the individual test-duties, any undue reduction of the electric stress during the tests is avoided. The actual values for the power frequency voltage variation (depending on the short-circuit power of the system and the capacitive load) is in the range of 1 % to 2 %.

I.4.6 Referring to 6.111.5

The interval after final arc extinction, in which the voltage decay shall not exceed 10 %, has been changed from 100 ms to 300 ms based on service conditions.

I.4.7 Referring to 6.111.9.1.1

Performing these capacitive current switching tests for class C2 equipment on a preconditioned circuit-breaker is, on the one hand, a recommendation of the corresponding CIGRE working group; on the other hand, it draws closer to the real conditions of service, without prejudice as to whether this preconditioning improves the capacitive current switching performance of the circuit-breaker or not.

Close-open operating cycles may be performed with no-load closing operations. In any case, the complete cycle shall be tested in order to test the circuit-breaker during opening in a dynamic condition, i.e. during the motion of the fluid caused by the previous closing operation.

I.4.8 Referring to 6.111.9.1.1 and 6.111.9.2.1

The tolerance of the testing current values for test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1) were increased from the old range 20 % to 40 % to the new range 10 % to 40 % in order to give more freedom during testing for combined test-duties for different applications.

Les séquences d'essais ont été testées en laboratoire (et plus particulièrement le réglage de la durée d'arc minimale par paliers de 6°) et se trouvent ainsi bien adaptées à la philosophie qui préside aux essais.

L'exécution de certains essais à pression assignée constitue une approche plus pragmatique de la notion même d'essai, sachant que le disjoncteur fonctionne habituellement dans des conditions normales de service.

I.4.9 A propos de 6.111.9.1.2 et 6.111.9.1.3

Dans la séquence d'essais 2 relative aux essais de câbles en charge et de lignes monophasées (LC2 et CC2) les essais sont répartis entre manœuvres d'ouverture et des cycles de manœuvres de fermeture/ouverture (6.111.9.1.3) pour se conformer plus ou moins, aux conditions d'utilisation réelles. Cependant, pour des raisons pratiques propres au petit nombre d'essais triphasés (6.111.9.1.2) de la séquence d'essais 2 (LC2 et CC2) seules les cycles de manœuvres de fermeture/ouverture sont effectués.

I.4.10 A propos de 6.111.9.1.2 à 6.111.9.1.5

Pour la commutation des batteries de condensateurs les cycles de manœuvres de fermeture/ ouverture sont importants en raison de l'effet du courant d'appel. Les manœuvres de fermeture/ouverture ne sont pas significatives pour les applications de commutation de câbles ou de lignes; aussi pour les essais de commutation de câbles et de lignes un nombre limité de cycles de manœuvres de fermeture/ouverture est nécessaire.

Lorsque en raison des limites du laboratoire d'essai il n'est pas possible de satisfaire aux exigences spécifiées pour le cycle de manœuvres CO, une série d'essais d'établissement séparée est nécessaire pour produire l'usure provoquée par l'établissement du courant d'appel (seulement pour l'établissement de bancs de condensateurs) et pour vérifier le comportement lors des préamorçages (c'est-à-dire commutation entre contacts sans usure excessive, le préamorçage a lieu entre contacts d'arc et non entre contacts principaux, etc.).

On a conservé une répartition à peu près égale entre les essais monophasés et triphasés.

L'ordre imposé des essais de commutation de batteries de condensateurs tient à l'obligation de tenir compte du courant d'appel au début des essais.

I.4.11 A propos de 6.111.9.1.4 et 6.111.9.1.5

En raison du grand nombre de manœuvres en utilisation réelle par rapport au nombre limité de manœuvres au cours des essais de types, un nombre élevé (80 ou 120 respectivement) de cycles de manœuvres de fermeture/ouverture pour les essais des batteries de condensateurs sera exécuté pour simuler l'usure, même si le cycle de manœuvre de fermeture/ouverture ne constitue pas la séquence de commutation usuelle.

Il faut aussi, pour les essais relatifs aux batteries de condensateurs, effectuer la séquence d'essais 1 (BC1), même si la sollicitation de commutation en service réel est toujours à 100 % du courant nominal, pour les raisons suivantes:

– les essais à 10 % – 40 % du courant nominal couvrent un plus grand nombre de courants réels;
– la connaissance de la caractéristique de commutation de courant capacitif est améliorée.

I.4.12 A propos de 6.111.9.2

Les exigences relatives aux essais de la classe C1 sont dérivées de la norme AINSI/IEEE C37.012 [11].

The test sequences have been tested in a laboratory (particularly the adjustment of the minimum arcing time by steps of 6°) and are well adapted to the philosophy of the tests.

Performing some tests at rated pressure is a more pragmatic approach to the notion of type testing, knowing that the circuit-breaker is usually at its normal operating conditions when in service.

I.4.9 Referring to 6.111.9.1.2 and 6.111.9.1.3

In test-duty 2 of single-phase line-charging and cable-charging tests (LC2 and CC2), the tests are split into open operations and close-open operating cycles (6.111.9.1.3) to follow more or less the actual service conditions. However, for practical reasons, due to the small number of tests, in three-phase tests (6.111.9.1.2) in test-duty 2 (LC2 and CC2), close-open operating cycles are performed exclusively.

I.4.10 Referring to 6.111.9.1.2 to 6.111.9.1.5

Close-open operating cycles are important for capacitor bank switching because of the effect of inrush current. Close-open operating cycles are not significant for line- or cable-switching applications, therefore for line- and cable-switching tests, only a small number of close-open operating cycles are requested.

Where due to limitations of the test plant it is not possible to comply with the specified requirements during the CO operating cycles, a series of separate making tests is necessary in order to produce the wear caused by the inrush making current (capacitor bank switching tests only) and to verify the assigned prestrike behaviour (i.e. commutation from one set of contacts to the other one without producing undue wear, prestrike taking place between the arcing contacts and not between the main contacts, etc.).

A rough parity of the number of three-phase and single-phase tests has been maintained.

The mandatory order for capacitor bank switching tests is due to the necessity to introduce the effect of inrush current at the beginning of the tests.

I.4.11 Referring to 6.111.9.1.4 and 6.111.9.1.5

Because of the large number of operations in actual service compared with the limited number of operations during type testing, a high number (80 or 120 respectively) of close-open operating cycles shall be carried out in capacitor bank tests to simulate the wear in service even if the close-open operating cycle is not the normal switching sequence.

For capacitor bank switching tests test-duty 1 (BC1) also needs to be performed, even if the actual service switching duty is always at 100 % nominal current, for the following reasons:

– the tests at 10-40 % nominal current cover an increased number of actual currents;
– knowledge of the capacitive current switching performance is improved.

I.4.12 Referring to 6.111.9.2

Requirements for class C1 tests are derived from ANSI/IEEE C37.012 [11].

Annexe J
(informative)

Tolérances sur le courant d'essai et la longueur de ligne en essai de défaut proche en ligne

La réactance de ligne qui correspond à la longueur de ligne normalisée peut être calculée comme suit:

$$X_{\text{L,stand}} = \frac{1 - \dfrac{I_{\text{L,stand}}}{I_{\text{sc}}}}{\dfrac{I_{\text{L,stand}}}{I_{\text{sc}}}} X_{\text{source}}$$

où

$I_{\text{L,stand}}$ est le courant coupé de défaut en ligne correspondant à la longueur de ligne normalisée;

$X_{\text{L,stand}}$ est la réactance de ligne correspondant à la longueur de ligne normalisée;

X_{source} est la réactance correspondant au courant assigné de coupure en court-circuit.

Si la réactance de la ligne utilisée en pratique est différente de la réactance qui correspond à la longueur de ligne normalisée, avec les tolérances de –20 % pour L_{90} et $\pm$ 20 % pour L_{75} et L_{60} comme indiqué en 6.109.2, les valeurs correspondantes du courant peuvent être calculées comme suit:

$$I_{\text{L,act}} = \frac{U_{\text{r}}}{\sqrt{3}\,(X_{\text{L,act}} + X_{\text{source}})}$$

où

$I_{\text{L,act}}$ est le courant coupé de défaut en ligne correspondant à la longueur de ligne utilisée en pratique;

$X_{\text{L,act}}$ est la réactance de ligne correspondant à la longueur de ligne utilisée en pratique.

La longueur de ligne utilisée en pratique est calculée en considérant la longueur assignée et l'écart en pour-cent par rapport à cette longueur assignée:

$$l_{\text{act}} = l_{\text{stand}} \left(1 + \frac{d}{100} \right)$$

où

$l_{\text{L,stand}}$ est la longueur de ligne normalisée;

$l_{\text{L,act}}$ est la longueur de ligne utilisée en pratique;

d est l'écart en pour-cent par rapport à la longueur de ligne normalisée.

La réactance de la ligne utilisée en pratique est calculée à partir de l'équation suivante:

$$X_{\text{L,act}} = X_{\text{L,stand}} \times \frac{l_{\text{act}}}{l_{\text{stand}}} = X_{\text{L,stand}} \left(1 + \frac{d}{100} \right)$$

Annex J
(informative)

Test current and line length tolerances for short-line fault testing

The line reactance corresponding to the standardised line length can be calculated as follows:

$$X_{\text{L,stand}} = \frac{1 - \dfrac{I_{\text{L,stand}}}{I_{\text{sc}}}}{\dfrac{I_{\text{L,stand}}}{I_{\text{sc}}}} X_{\text{source}}$$

where

$I_{\text{L,stand}}$ is the short-line fault breaking current corresponding to the standardised line length;

$X_{\text{L,stand}}$ is the line reactance corresponding to the standardised line length;

X_{source} is the reactance corresponding to the rated short-circuit breaking current.

If the reactance of the line applied in practice differs from the reactance corresponding to the standardised line length within the tolerances of –20 % for L_{90} and ±20 % for L_{75} and L_{60}, as stated in 6.109.2, the related current values can be calculated as follows:

$$I_{\text{L,act}} = \frac{U_{\text{r}}}{\sqrt{3}\,(X_{\text{L,act}} + X_{\text{source}})}$$

where

$I_{\text{L,act}}$ is the short-line fault breaking current corresponding to the actual line length;

$X_{\text{L,act}}$ is the line reactance corresponding to the actual line length.

The actual line length is calculated considering the standardised line length and the percentage deviation of the actual line length from the standardised one:

$$l_{\text{act}} = l_{\text{stand}} \left(1 + \frac{d}{100} \right)$$

where

l_{stand} is the standardised line length;

I_{act} is the actual line length

d is the deviation of the actual line length from the standardised one in percent.

The actual line reactance is calculated using the following equation:

$$X_{\text{L,act}} = X_{\text{L,stand}} \times \frac{l_{\text{act}}}{l_{\text{stand}}} = X_{\text{L,stand}} \left(1 + \frac{d}{100} \right)$$

Le pourcentage pratique du courant de défaut proche en ligne $I_{\text{perc,act}}$ est déterminé à partir de l'équation suivante:

$$I_{\text{perc,act}} = \frac{I_{\text{L,act}}}{I_{\text{sc}}} \times 100 = \frac{I_{\text{perc,stand}}}{1 + \frac{d}{100} \times \left(1 - \frac{I_{\text{perc,stand}}}{100}\right)}$$

Le pourcentage pratique du courant de défaut proche en ligne est donné dans le tableau J.1 pour chaque valeur normalisée du courant de défaut proche en ligne $I_{\text{perc,stand}}$ en tenant compte des valeurs extrêmes de tolérance sur la longueur de ligne.

Tableau J.1 – Pourcentage pratique du courant de défaut proche en ligne

Valeur normalisée du courant de défaut proche en ligne $I_{\text{perc,stand}}$ %	**Ecart** d %	**Pourcentage pratique du courant de défaut proche en ligne** $I_{\text{perc,act}}$ %
90	–20	91,8
90	0	90
75	–20	78,9
75	+20	71,4
60	–20	65,2
60	+20	55,5

The actual percentage short-line fault breaking current $I_{\text{perc,act}}$ is determined by the following equation:

$$I_{\text{perc,act}} = \frac{I_{\text{L,act}}}{I_{\text{sc}}} \times 100 = \frac{I_{\text{perc,stand}}}{1 + \frac{d}{100} \times \left(1 - \frac{I_{\text{perc,stand}}}{100}\right)}$$

In table J.1 the actual percentage short-line fault breaking currents are stated for each standardised short-line fault breaking current $I_{\text{perc,stand}}$ taking the maximum tolerances for the line length into account.

Table J.1 – Actual percentage short-line fault breaking currents

Standardised short-line fault breaking current $I_{\text{perc,stand}}$ %	**Deviation** d %	**Actual short-line fault breaking current** $I_{\text{perc,act}}$ %
90	–20	91,8
90	0	90
75	–20	78,9
75	+20	71,4
60	–20	65,2
60	+20	55,5

Annexe K
(informative)

Liste des symboles et abréviations utilisés dans cette norme

Symbole/ abréviation	Référence	Signification
% dc	4.101.2	Pourcentage de composante apériodique
τ	4.101.2	Constante de temps
ω	Tableau 3	Fréquence angulaire
τ_1	Figure 9	Constante de temps normale
τ_2	Figure 9	Constante de temps pour applications particulières
τ_3	Figure 9	Constante de temps pour applications particulières
τ_4	Figure 9	Constante de temps pour applications particulières
Δt_1	6.102.10.2.1.2	Durée de la grande onde
Δt_2	6.102.10.2.1.2	Durée de la petite onde
A	Tableau 22	Désignation d'une borne du disjoncteur
A	6.101.6.2	Direction d'un effort horizontal
a	Tableau 22	Désignation d'une borne du disjoncteur
B	Tableau 22	Désignation d'une borne du disjoncteur
b	Tableau 22	Désignation d'une borne du disjoncteur
B_1	6.101.6.2	Direction d'un effort horizontal
B_2	6.101.6.2	Direction d'un effort horizontal
BC1	6.111.9	Séquence d'essais N°1, courants de batteries de condensateurs
BC2	6.111.9	Séquence d'essais N°2, courants de batteries de condensateurs
BS	Figure F.7	Interrupteur de protection
C	Tableau 22	Désignation d'une borne du disjoncteur
c	A.2	Vitesse de propagation des ondes mobiles
c	Tableau 22	Désignation d'une borne du disjoncteur
C	H.2.1	Capacité d'une batterie unique de condensateurs
C	Tableau 8	Manœuvre de fermeture
C.B.	Fig. 12 a	Disjoncteur
C_1	Figure H.3	Capacité d'une première batterie de condensateurs déjà connectée
C_1	6.101.6.2	Direction d'un effort vertical
C1	3.4.114	Classe de disjoncteur à faible probabilité de réamorçage
C_2	Figure H.3	Capacité d'une seconde batterie de condensateurs déjà connectée
C_2	6.101.6.2	Direction d'un effort vertical
C2	3.4.115	Classe de disjoncteur à très faible probabilité de réamorçage
CC1	6.111.9	Séquence d'essais N°1, courants de câbles à vide
CC2	6.111.9	Séquence d'essais N°2, courants de câbles à vide
C_d	Fig. 12 a	Capacité de temps de retard côté alimentation
C_{dL}	Figure 15	Capacité de temps de retard côté ligne
C_L	Figure F.9	Condensateur constituant la source
C_n	Figure H.3	Capacité de la n-ième batterie de condensateurs déjà connectée

Annex K
(informative)

List of symbols and abbreviations used in IEC 62271-100

Symbol/ abbreviation	Exemplary reference	Meaning
% dc	4.101.2	Percentage value of the d.c. component
τ	4.101.2	Time constant
ω	Table 3	Angular frequency
τ_1	Figure 9	Standard time constant
τ_2	Figure 9	Special case time constant
τ_3	Figure 9	Special case time constant
τ_4	Figure 9	Special case time constant
Δt_1	6.102.10.2.1.2	Duration of the major loop
Δt_2	6.102.10.2.1.2	Duration of the minor loop
A	Table 22	Designation of a terminal of a circuit-breaker
A	6.101.6.2	Direction of horizontal force
a	Table 22	Designation of a terminal of a circuit-breaker
B	Table 22	Designation of a terminal of a circuit-breaker
b	Table 22	Designation of a terminal of a circuit-breaker
B_1	6.101.6.2	Direction of horizontal force
B_2	6.101.6.2	Direction of horizontal force
BC1	6.111.9	Capacitor bank current, test-duty 1
BC2	6.111.9	Capacitor bank current, test-duty 2
BS	Figure F.7	Back-up switch
C	Table 22	Designation of a terminal of a circuit-breaker
c	A.2	Speed of the travelling wave propagation
c	Table 22	Designation of a terminal of a circuit-breaker
C	H.2.1	Capacitance of a single capacitor bank
C	Table 8	Closing operation
C.B.	Fig. 12 a	Circuit-breaker
C_1	Figure H.3	Capacitance of a first capacitor bank being connected
C_1	6.101.6.2	Direction of vertical force
C1	3.4.114	Class of circuit-breaker with low restrike probability
C_2	Figure H.3	Capacitance of a second capacitor bank being connected
C_2	6.101.6.2	Direction of vertical force
C2	3.4.115	Class of circuit-breaker with very low restrike probability
CC1	6.111.9	Cable-charging current, test-duty 1
CC2	6.111.9	Cable-charging current, test-duty 2
C_d	Fig. 12 a	Time delaying source side capacitance
C_{dL}	Figure 15	Time delaying line side capacitance
C_L	Figure F.9	Source capacitance
C_n	Figure H.3	Capacitance of a n-th capacitor bank being connected

Symbole/ abréviation	Référence	Signification
CO	4.104	Manœuvre de fermeture-ouverture
CU	Figure F.7	Elément de commande fournissant la séquence de manœuvres
D	Figure F.7	Montage en parallèle de diodes à coupure rapide
D		Dispositif de commande, organe de manoeuvre
d	Annexe J	Ecart par rapport à la longueur de ligne normalisée
$d\alpha$	6.102.10.2.1.1	Différence angulaire utilisée pour la détermination des durées d'arc
$\mathrm{d}u/\mathrm{d}t_{\mathrm{SLF}}$	A.3	Vitesse de rétablissement de la TTR côté alimentation pour le défaut proche en ligne
$\mathrm{d}u/\mathrm{d}t_{\mathrm{TF}}$	A.3	Vitesse de rétablissement de la TTR pour le défaut aux bornes T100s
$\mathrm{d}u_{\mathrm{L}}/\mathrm{d}t$	6.109.3	Vitesse de rétablissement de la TTR côté ligne
E	Figure F.6	Tension de rétablissement à fréquence industrielle
E1	3.4.112	Classe de disjoncteurs avec une endurance électrique de base
E2	3.4.113	Classe de disjoncteurs avec une endurance électrique accrue
F	Tableau 22	Désignation du bâti d'un disjoncteur
f_{bi}	Tableau 5	Fréquence du courant d'appel (à gradins)
f_{i}	Tableau 3	Coefficient multiplicateur servant à déterminer la forme d'onde de la TTRI
f_{inrush}	4.107.5	Fréquence du courant d'appel (batterie unique de condensateur)
f_{r}	4.3	Fréquence assignée
F_{shA}	6.101.6.1	Effort sur les bornes, effort horizontal
F_{shB}	6.101.6.1	Effort sur les bornes, effort horizontal
F_{sv}	6.101.6.1	Effort sur les bornes, effort vertical
F_{th}	Tableau 9	Effort statique horizontal
F_{thA}	Tableau 9	Effort statique horizontal, longitudinal
F_{thB}	Tableau 9	Effort statique horizontal, transversal
F_{tv}	Tableau 9	Effort statique vertical
$\hat{I}$	Tableau 10	Courant de crête lié à la valeur crête du courant de court-circuit
$\hat{\imath}$	H.2.2	Valeur crête du courant d'appel
I_{AC}	Figure 8	Valeur crête de la composante périodique du courant
I_{bb}	Tableau 5	Pouvoir de coupure assigné de batteries de condensateurs à gradins
I_{bi}	Tableau 5	Pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins
I_{c}	Tableau 5	Pouvoir de coupure assigné de câbles à vide
i_{d}	D.1.1	Valeur à tout instant de la composante apériodique du courant
I_{d}	Tableau 6	Pouvoir de coupure assigné en discordance de phases
I_{d0}	D.1.1	Valeur initiale de la composante apériodique
I_{DC}	Figure 8	Composante apériodique du courant
I_{i}	F.3.4	Courant injecté
i_{i}	F.3.4	Courant injecté
I_{k}	4.5	Courant de courte durée admissible assigné

Symbol/ abbreviation	Exemplary reference	Meaning
CO	4.104	Close-opening operating cycle
CU	Figure F.7	Control unit to provide the sequence of operation
D	Figure F.7	Parallel connection of switching diodes
D		Drive, operating mechanism
d	Annex J	Deviation of actual line length from standardised one
$d\alpha$	6.102.10.2.1.1	Angle difference used for determination of arcing times
$\mathrm{d}u/\mathrm{d}t_{\mathrm{SLF}}$	A.3	Rate of rise of the source side TRV for SLF
$\mathrm{d}u/\mathrm{d}t_{\mathrm{TF}}$	A.3	Rate of rise for terminal fault T100s
$\mathrm{d}u_{\mathrm{L}}/\mathrm{d}t$	6.109.3	Rate-of-rise of line side TRV
E	Figure F.6	Power frequency recovery voltage
E1	3.4.112	Class of circuit-breaker with basic electrical endurance
E2	3.4.113	Class of circuit-breaker with extended electrical endurance
F	Table 22	Designation of the frame of a circuit-breaker
f_{bi}	Table 5	Frequency of the inrush current (back-to-back)
f_{i}	Table 3	Multiplying factor to determine ITRV waveshape
f_{inrush}	4.107.5	Frequency of the inrush current (single capacitor bank)
f_{r}	4.3	Rated frequency
F_{shA}	6.101.6.1	Terminal load, horizontal force
F_{shB}	6.101.6.1	Terminal load, horizontal force
F_{sv}	6.101.6.1	Terminal load, vertical force
F_{th}	Table 9	Static horizontal force
F_{thA}	Table 9	Static horizontal force, longitudinal
F_{thB}	Table 9	Static horizontal force, transversal
F_{tv}	Table 9	Static vertical force
$\hat{I}$	Table 10	Peak current related to the peak value of the short-circuit current
$\hat{\imath}$	H.2.2	Peak inrush current
I_{AC}	Figure 8	Peak value of the a.c. component of the current
I_{bb}	Table 5	Rated back-to-back capacitor bank breaking current
I_{bi}	Table 5	Rated back-to-back capacitor bank inrush making current
I_{c}	Table 5	Rated cable charging breaking current
i_{d}	D.1.1	Value of the d.c. current component at any instant
I_{d}	Table 6	Rated out-of-phase breaking current
I_{d0}	D.1.1	Initial value of the d.c. component
I_{DC}	Figure 8	D.C. component of the current
I_{i}	F.3.4	Injected current
i_{i}	F.3.4	Injected current
I_{k}	4.5	Rated short-time withstand current

Symbole/ abréviation	Référence	Signification
I_l	Tableau 5	Pouvoir de coupure assigné de lignes à vide
I_L	6.109.2	Courant d'essai pour défaut proche en ligne
$I_{L,act}$	Annexe J	Courant coupé de défaut proche en ligne correspondant à la longueur de ligne utilisée en pratique
$I_{L,stand}$	Annexe J	Courant coupé de défaut proche en ligne correspondant à la longueur de ligne normalisée
$i_{max\ peak}$	4.107.5	Valeur crête du courant d'appel
I_{MC}	Figure 8	Courant établi
I_p	4.6	Valeur crête du courant admissible assigné
$I_{perc,act}$	Annexe J	Pourcentage pratique du courant de défaut proche en ligne
$I_{perc,stand}$	Annexe J	Pourcentage normalisé du courant de défaut proche en ligne
I_r	4.4	Courant assigné en service continu
I_{sb}	Tableau 5	Pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs
I_{sc}	4.101	Pouvoir de coupure assigné en court-circuit
i_{sc}	F.3.4	Courant de court-circuit
I_{sh}	4.107.5	Courant de court-circuit au niveau d'une batterie de condensateurs
I_{si}	Tableau 6	Pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs
TTRI	4.102.1	Tension transitoire de rétablissement initial
k	A.2	Facteur de crête (Défaut proche en ligne)
k	4.107.5	Multiplicateur pour le calcul de la valeur crête du courant d'appel
K	Figure F.7	Interrupteur pour l'établissement du courant
k_{af}	4.102.2	Facteur d'amplitude (TTR)
k_c	6.111.7	Facteur de tension capacitive
k_i	A.3	Facteur de crête pour la TTRI
k_p	6.102.10.2.5	Facteur de tension pour la détermination de la TTR dans chaque pôle
k_{pp}	4.102.2	Facteur de premier pôle
L	Figure 15	Longueur de ligne jusqu'au défaut
l	H.2.1	Longueur totale de conducteurs entre batteries de condensateurs
L'	H.2.1	Inductance par unité de longueur
L_0	Figure H.3	Inductance côté alimentation de la batterie de condensateurs
L_1	Figure H.3	Inductance de la première batterie de condensateurs connectée
L_2	Figure H.3	Inductance de la seconde batterie de condensateurs connectée
L_{60}	6.109.2	Séquence de défaut proche en ligne à 60 % du pouvoir de coupure en court-circuit
L_{75}	6.109.2	Séquence de défaut proche en ligne à 75 % du pouvoir de coupure en court-circuit
L_{90}	6.109.2	Séquence de défaut proche en ligne à 90 % du pouvoir de coupure en court-circuit
L_a	H.2.3	Inductance additionnelle du jeu de barre
l_{act}	Annexe J	Longueur de ligne en pratique

Symbol/ abbreviation	Exemplary reference	Meaning
I_l	Table 5	Rated line charging breaking current
I_L	6.109.2	Test current for short-line fault
$I_{L,act}$	Annex J	Short-line fault breaking current corresponding to the actual line length
$I_{L,stand}$	Annex J	Short-line fault breaking current corresponding to the standardised line length
$i_{max\ peak}$	4.107.5	Peak inrush making current
I_{MC}	Figure 8	Making current
I_p	4.6	Rated peak withstand current
$I_{perc,act}$	Annex J	Actual percentage short-line fault breaking current
$I_{perc,stand}$	Annex J	Standardised short-line fault breaking current
I_r	4.4	Rated normal current
I_{sb}	Table 5	Rated single capacitor bank breaking current
I_{sc}	4.101	Rated short-circuit breaking current
i_{sc}	F.3.4	Short-circuit current
I_{sh}	4.107.5	Short circuit current at location of capacitor bank
I_{si}	Table 6	Rated capacitor bank inrush making current
ITRV	4.102.1	Initial transient recovery voltage
k	A.2	Peak factor (SLF)
k	4.107.5	Multiplier for calculation of peak inrush making current
K	Figure F.7	Diode by-pass switch
k_{af}	4.102.2	Amplitude factor (TRV)
k_c	6.111.7	Capacitive voltage factor
k_i	A.3	ITRV peak factor
k_p	6.102.10.2.5	Voltage factor for determination of the TRV in the individual pole
k_{pp}	4.102.2	First-pole-to-clear factor
L	Figure 15	Length of line to fault
l	H.2.1	Total length of conductors between capacitor banks
L’	H.2.1	Inductance per length
L_0	Figure H.3	Source side inductance of capacitor bank
L_1	Figure H.3	Inductance of a first capacitor bank being connected
L_2	Figure H.3	Inductance of a second capacitor bank being connected
L_{60}	6.109.2	SLF test-duty at 60 % of the rated short-circuit current
L_{75}	6.109.2	SLF test-duty at 75 % of the rated short-circuit current
L_{90}	6.109.2	SLF test-duty at 90 % of the rated short-circuit current
L_a	H.2.3	Additional busbar inductance
l_{act}	Annex J	Actual line length

Symbole/ abréviation	Référence	Signification
L_B	A.1	Inductance du jeu de barre côté alimentation
L_b	H.2.1	Inductance de la batterie de condensateurs
LC1	6.111.9	Séquence N°1, courants de lignes à vide
LC2	6.111.9	Séquence N°2, courants de lignes à vide
L_f	6.109.3	Facteur de courant de défaut proche en ligne
L_L	A.1	Inductance côté ligne
L_n	Figure H.3	Inductance de la n-ième batterie de condensateurs connectée
L_S	A.1	Inductance côté alimentation
l_{stand}	Annexe J	Longueur de ligne normalisée
M	Tableau 6	Masse du disjoncteur
m	Tableau 6	Masse du fluide pour la coupure
M1	3.4.116	Classe de disjoncteurs avec une endurance mécanique de base
M2	3.4.117	Classe de disjoncteurs avec une endurance mécanique accrue
MS	Figure F.7	Interrupteur pour l'établissement du courant
NSDD	3.1.126	Décharge disruptive non maintenue
O	4.104	Manœuvre d'ouverture
O_1	Figure F.8	Oscillographe cathodique, piste 1
O_2	Figure F.8	Oscillographe cathodique, piste 2
O-t-CO	4.104	Cycle d'ouverture – fermeture – ouverture
OP1	6.110.3	Discordance de phases, séquence d'essais 1
OP2	6.110.3	Discordance de phases, séquence d'essais 2
p_{re}	Tableau 6	Pression assignée pour la coupure
p_{rm}	Tableau 6	Pression assignée pour la manoeuvre
Q_b	H.2.1	Puissance d'une batterie unique de condensateurs
VATR	Tableau 24	Vitesse d'accroissement de la tension rétablie
S	Figure H.3	Vitesse d'accroissement du courant d'appel
s	Figure F.9	Relais de commutation
s	A.2	Facteur de VATR
S1	3.4.121	Classe de disjoncteurs de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV, prévus pour des réseaux à câbles
S2	3.4.122	Classe de disjoncteurs de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV, prévus pour des réseaux aériens
SLF	6.104.5.2	Défaut proche en ligne
T	6.102.10.2.1.1	Période de la fréquence industrielle
$t_{arc\ max}$	6.102.10.2.1.1	Durée d'arc maximale
$t_{arc\ med}$	6.102.10.2.1.1	Durée d'arc moyenne
$t_{arc\ min}$	6.102.10.2.1.1	Durée d'arc minimale
$t_{arc\ new\ min}$	6.102.10.2.1.1	«Nouvelle» durée d'arc minimale
$t_{arc\ ult\ max}$	6.102.10.2.3	Durée d'arc maximale «ultime»
t'	4.102.2	Durée pour atteindre u' (construction du segment de retard)
t'	4.104	Intervalle de temps de la séquence de manœuvre assignée
t''	4.104	Intervalle de temps de la séquence de manœuvre assignée

Symbol/ abbreviation	Exemplary reference	Meaning
L_B	A.1	Inductance of busbar on source side
L_b	H.2.1	Inductance of a capacitor bank
LC1	6.111.9	Line-charging current, test-duty 1
LC2	6.111.9	Line-charging current, test-duty 2
L_f	6.109.3	Short-line fault current factor
L_L	A.1	Line side inductance
L_n	Figure H.3	Inductance of a n-th capacitor bank being connected
L_S	A.1	Source side inductance
l_{stand}	Annex J	Standardised line length
M	Table 6	Mass of the circuit-breaker
m	Table 6	Mass of fluid for interruption
M1	3.4.116	Class of circuit-breaker with basic mechanical endurance
M2	3.4.117	Class of circuit-breaker with extended mechanical endurance
MS	Figure F.7	Making switch
NSDD	3.1.126	Non-sustained disruptive discharge
O	4.104	Opening operation
O_1	Figure F.8	Cathode ray oscillograph, trace 1
O_2	Figure F.8	Cathode ray oscillograph, trace 2
O-t-CO	4.104	Open-close-opening operating sequence
OP1	6.110.3	Out-of-phase, test-duty 1
OP2	6.110.3	Out-of-phase, test-duty 2
p_{re}	Table 6	Rated pressure for interruption
p_{rm}	Table 6	Rated pressure for operation
Q_b	H.2.1	Power of a single capacitor bank
RRRV	Table 24	Rate of rise of recovery voltage
S	Figure H.3	Inrush current rate-of-rise
s	Figure F.9	Switching relay
s	A.2	RRRV factor
S1	3.4.121	Class of circuit-breaker with rated voltage above 1 kV and less than 100 kV, intended for cable systems
S2	3.4.122	Class of circuit-breaker with rated voltage above 1 kV and less than 100 kV, intended for line systems
SLF	6.104.5.2	Short-line fault
T	6.102.10.2.1.1	Period of the power frequency
$t_{arc\ max}$	6.102.10.2.1.1	Maximum arcing time
$t_{arc\ med}$	6.102.10.2.1.1	Medium arcing time
$t_{arc\ min}$	6.102.10.2.1.1	Minimum arcing time
$t_{arc\ new\ min}$	6.102.10.2.3	New minimum arcing time
$t_{arc\ ult\ max}$	6.102.10.2.3	Ultimate maximum arcing time
t'	4.102.2	Time to reach u' (construction of delay line)
t'	4.104	Time interval in the rated operating sequence
t''	4.104	Time interval in the rated operating sequence

Symbole/ abréviation	Référence	Signification
t_1	4.109.1	Durée d'arc maximale enregistrée pendant T30, T60 and T100s
t_1	4.102.2	Durée pour atteindre u_1 (TTR)
$t_{1,sp}$	6.108.2	Durée pour atteindre u_1 (TTR) dans le cas de défaut monophasé et double défaut à la terre
t_2	4.109.1	Durée d'ouverture maximale enregistrée en ouverture à vide
t_2	4.102.2	Durée pour atteindre u_c (TTR à 4 paramètres)
$t_{2,sp}$	6.108.2	Durée pour atteindre u_c (TTR à 4 paramètres) dans le cas d'un défaut monophasé ou d'un double défaut à la terre
t_3	4.109.1	Durée d'ouverture assignée
t_3	4.102.2	Durée pour atteindre u_c (TTR à 2 paramètres)
$t_{3,sp}$	6.108.2	Durée pour atteindre u_c (TTR à 2 paramètres) dans le cas d'un défaut monophasé ou d'un double défaut à la terre
T_A	6.101.3.3	Température de l'air ambiant
t_a	6.101.2.3	Durée entre 2 manœuvres pour les essais de manœuvre mécanique à l'air ambiant
t_a	6.108.3	Durée d'arc pour des manœuvres de coupure monophasée
$t_{a,100s}$	6.108.3	Durée d'arc minimale pour le premier pôle qui coupe T100s
t_b	4.109.1	Durée assignée de coupure
t_d	4.102.2	Temps de retard
t_{dL}	6.104.5.2	Temps de retard côté ligne (défaut proche en ligne)
T_H	6.101.3.4	Température maximale de l'air ambiant
t_i	4.102.2	Durée pour atteindre u_i (TTRI)
t_k	4.7	Durée assignée de court-circuit
T_L	6.101.3.3	Température minimale de l'air ambiant
t_L	A.2	Durée pour atteindre la première crête de la TTR côté ligne
T_{max}	6.101.4.2	Haute température de l'air (essai à l'humidité)
T_{min}	6.101.4.2	Basse température de l'air (essai à l'humidité)
T_{op}	4.101.2	Durée d'ouverture du premier pôle
T_{op}	6.106.5	Durée d'ouverture minimale
T_r	4.101.2	Durée relais, un demi-cycle à fréquence industrielle
t_T	A.3	Durée jusqu'à la crête de la TTR côté ligne (défaut proche en ligne)
t_x	6.101.3.3	Intervalle de temps pour l'essai à basse température
u'	4.102.2	Tension de référence (construction du segment de retard)
u_0	A.1	Chute de tension aux bornes de la ligne à l'instant de coupure (défaut proche en ligne)
u_1	4.102.2	Première tension de référence (tracé de référence à 4 paramètres)
u_c/t_3	6.104.5.1	Vitesse de rétablissement de tension (tracé de référence à 2 paramètres)
u_1/t_1	4.102.2	Vitesse de rétablissement de tension (tracé de référence à 4 paramètres)
$u_{1,sp}$	6.108.2	Première tension de référence dans le cas de défaut monophasé ou de double défaut à la terre

Symbol/ abbreviation	Exemplary reference	Meaning
t_1	4.109.1	Maximum recorded break time during T30, T60 and T100s
t_1	4.102.2	Time to reach u_1 (TRV)
$t_{1,sp}$	6.108.2	Time to reach u_1 (TRV) in case of single-phase and double earth fault
t_2	4.109.1	Maximum recorded opening time during no-load
t_2	4.102.2	Time to reach u_c (four-parameter TRV)
$t_{2,sp}$	6.108.2	Time to reach u_c (four-parameter TRV) in case of single-phase and double earth fault
t_3	4.109.1	Rated opening time
t_3	4.102.2	Time to reach u_c (two-parameter TRV)
$t_{3,sp}$	6.108.2	Time to reach u_c (two-parameter TRV) in case of single-phase and double earth fault
T_A	6.101.3.3	Ambient air temperature
t_a	6.101.2.3	Time between two operations for mechanical operation test at ambient air temperature
t_a	6.108.3	Arcing time for single-phase breaking operation
$t_{a,100s}$	6.108.3	Minimum of arcing times of first-poles-to-clear in T100s
t_b	4.109.1	Rated break time
t_d	4.102.2	Time delay
t_{dL}	6.104.5.2	Line side time delay (short-line fault)
T_H	6.101.3.4	Maximum ambient air temperature
t_i	4.102.2	Time to reach u_i (ITRV)
t_k	4.7	Rated duration of short-circuit
T_L	6.101.3.3	Minimum ambient air temperature
t_L	A.2	Time to reach the first peak of line side TRV
T_{max}	6.101.4.2	High air temperature (humidity test)
T_{min}	6.101.4.2	Low air temperature (humidity test)
T_{op}	4.101.2	Opening time of first opening pole
T_{op}	6.106.5	Minimum opening time
T_r	4.101.2	Relay time, half cycle of rated frequency
t_T	A.3	Time to the peak of the line side TRV (SLF)
t_x	6.101.3.3	Time interval in low temperature test
u'	4.102.2	Reference voltage (construction of delay line)
u_0	A.1	Voltage drop across the line at the instant of current interruption (SLF)
u_1	4.102.2	First reference voltage (four-parameter reference line)
u_c/t_3	6.104.5.1	Rate of rise of recovery voltage (two-parameter reference line)
u_1/t_1	4.102.2	Rate of rise of recovery voltage (four-parameter reference line)
$u_{1,sp}$	6.108.2	First reference voltage in case of single-phase and double earth fault
U_a	4.8	Rated supply voltage of auxiliary and control circuits
u_c	4.102.2	Reference voltage (TRV peak value)

Symbole/ abréviation	Référence	Signification
U_a	4.8	Tension assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture, des circuits auxiliaires et de commande
u_c	4.102.2	Tension de référence (valeur crête de la TTR)
$u_{c,sp}$	6.108.2	Tension de référence dans le cas de défaut monophasé et de double défaut à la terre
U_{CB}	Figure 12a	Tension aux bornes du disjoncteur
U_{cp}	Figure F.1	TTR mesurée avec réduction de la tension
U_G	A.1	Tension d'alimentation
u_i	4.102.2	Tension de référence (valeur crête de TTRI)
u_{i0}	A.3	Chute de tension aux bornes du jeu de barre
U_L	A.1	Chute de tension le long de la ligne
u_L	A.2	Chute de tension transitoire le long de la ligne
u_{L*}	6.109.3	Valeur crête de la tension le long de la ligne (Défaut proche en ligne)
$u_{L,mod*}$	6.109.3	Valeur ajustée crête de la tension le long de la ligne (Défaut proche en ligne)
U_m	A.1	Valeur crête de la tension induite totale
U_{op}	Tableau 6	Tension de tenue assignée aux chocs de foudre
U_p	Tableau 6	Tension côté alimentation
U_r	4.1	Tension assignée
U_s	Tableau 6	Tension de tenue assignée aux chocs de manœuvre
U_S	Figure 12a	Tension aux bornes de la réactance d'alimentation
u_S^*	A.3	Contribution à la première crête de la tension côté alimentation
u_T	A.3	Valeur totale de la première crête de tension
U_X	A.1	Chute de tension côté alimentation (défaut proche en ligne)
u_X	A.1	Chute de tension côté alimentation à l'instant de coupure (défaut proche en ligne)
V_{sc}	F.3.4	Etalonnage de tension pour la TTR correspondant au courant maximal de court-circuit
X_B	Figure 12a	Réactance du jeu de barre à fréquence industrielle
X_L	Figure 15	Réactance de la ligne à fréquence industrielle
$X_{L,act}$	Annexe J	Réactance de la ligne correspondant à la longueur de la ligne en pratique
$X_{L,stand}$	Annexe J	Réactance de la ligne correspondant à la longueur normalisée de la ligne
X_N	Figure 13	Réactance de neutre
X_S	Figure 12a	Réactance à fréquence industrielle du circuit d'alimentation
X_{source}	Annexe J	Réactance correspondant au courant de court-circuit assigné
Z	Figure 15	Impédance caractéristique de la ligne
Z	6.103.3	Impédance
Z_0	6.103.3	Impédance homoplaire
Z_1	4.102.3	Impédance directe
Z_a	Figure 13	Impédance entre phases
Z_b	Figure 13	Impédance phase-terre
Z_i	Tableau 3	Impédance caractéristique du jeu de barre
Z_i	Figure 12a	Eléments de réglage de la TTRI
Z_S	Figure 12a	Eléments de réglage de la TTR côté alimentation
Z_{sn}	Figure 13	Impédance de neutre de la source

Symbol/ abbreviation	Exemplary reference	Meaning
$u_{c,sp}$	6.108.2	Reference voltage in case of single-phase and double earth fault
U_{CB}	Figure 12a	Voltage across circuit-breaker
U_{cp}	Figure F.1	TRV measured with depression
U_G	A.1	Supply voltage
u_i	4.102.2	Reference voltage (ITRV peak)
u_{i0}	A.3	Bus-bar voltage drop
U_L	A.1	Voltage drop along the line
u_L	A.2	Transient voltage drop along the line
u_{L*}	6.109.3	Peak voltage across the line (SLF)
$u_{L,mod*}$	6.109.3	Adjusted peak voltage across the line (SLF)
U_m	A.1	Crest value of the total induced voltage
U_{op}	Table 6	Rated supply voltage of operating devices
U_p	Table 6	Rated lightning impulse withstand voltage
U_r	4.1	Rated voltage
U_s	Table 6	Rated switching impulse withstand voltage
U_S	Figure 12a	Voltage across source side reactance
u_S^*	A.3	Source side voltage contribution at first peak
u_T	A.3	Total first peak voltage
U_X	A.1	Voltage drop across the source side (SLF)
u_X	A.1	Voltage drop across the source side (SLF) at the instant of current interruption (SLF)
V_{sc}	F.3.4	Voltage calibration for the TRV corresponding to the maximum short circuit current
X_B	Figure 12a	Power frequency busbar reactance
X_L	Figure 15	Power frequency line side reactance
$X_{L,act}$	Annex J	Line reactance corresponding to the actual line length
$X_{L,stand}$	Annex J	Line reactance corresponding to the standardised line length
X_N	Figure 13	Neutral reactance
X_S	Figure 12a	Power frequency source side reactance
X_{source}	Annex J	Reactance corresponding to the rated short-circuit breaking current
Z	Figure 15	Surge impedance of line
Z	6.103.3	Impedance
Z_0	6.103.3	Zero sequence impedance
Z_1	4.102.3	Positive sequence impedance
Z_a	Figure 13	Phase-to-phase impedance
Z_b	Figure 13	Phase-to-ground impedance
Z_i	Table 3	Busbar surge impedance
Z_i	Figure 12a	ITRV controlling components
Z_S	Figure 12a	Source side TRV control components
Z_{sn}	Figure 13	Source neutral impedance

Annexe L
(informative)

Notes explicatives à propos de la révision des TTR pour disjoncteurs de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV

A la suite de la décision du SC17A prise lors de la réunion de Beijing (CN) en Octobre 2002, le GT 35 du SC17A de la CEI a préparé une proposition de révision des TTR pour les disjoncteurs de tensions supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV.

Cette proposition utilise les données des groupes de travail CIGRE du Comité d'études A3 (Appareillage de coupure) qui a étudié la nécessité d'adapter les exigences de TTR pour les disjoncteurs de tension assignées inférieures à 100 kV. En 1983, un Groupe d'Action du CIGRE A3 a fait un rapport sur les TTR dans les réseaux à moyenne tension. Les résultats de cette étude ont été publiés dans Electra 88. Un autre groupe de travail, WG 13.05, a étudié les TTR générées dans le cas de défauts alimentés par un transformateur et défauts au secondaire de transformateurs. Les résultats ont été présentés dans Electra 102 (1985). En 1992, en association avec CIRED, CIGRE A3 a créé le groupe de travail CC03 pour faire à nouveau des investigations sur la définition des TTR pour l'appareillage de coupure à moyenne tension. Le résultat de ces investigations a été publié dans la brochure technique CIGRE 134 (1998) et est en ligne avec les études antérieures.

L.1 Généralités

Les principales modifications introduites par cet amendement peuvent être résumées comme suit:

a) Deux types de réseaux sont définis pour couvrir tous les types de réseaux (distribution, industriels et transport) dans la gamme de tensions supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV, et dans le but de standardiser les exigences,

   – réseaux par câbles

     Les réseaux par câbles sont définis en 3.4.119.

   – réseaux aériens

     Les réseaux aériens sont définis en 3.4.120.

b) Une séquence d'essais T30 est spécifiée dans le cas particulier de disjoncteurs destinés à être connectés à un transformateur avec une liaison de faible capacitance (longueur de câble inférieure à 20 m), pour vérifier leur capacité à couper des défauts limités par un transformateur. Cela est traité dans la nouvelle Annexe M (normative).

   Dans le cas général où la capacitance de la liaison est suffisamment grande, la séquence normale T30 démontre la capacité de coupure des défauts alimentés par transformateur(s).

c) La coupure du défaut proche en ligne est exigée pour les disjoncteurs de tensions assignées supérieures ou égales à 15 kV lorsqu'ils sont connectés directement à des lignes. Comme il est déjà spécifié pour les disjoncteurs de tensions assignées supérieures ou égales à 48,3 kV, le pouvoir de coupure assigné doit être supérieur à 12,5 kA (c'est-à-dire $I_{sc} \geq 16$ kA).

d) Le cas particulier de disjoncteurs installés immédiatement en série avec une réactance de limitation est couvert dans un nouveau paragraphe 8.103.7.

Annex L
(informative)

Explanatory notes on the revision of TRVs for circuit-breakers of rated voltages higher than 1 kV and less than 100 kV

Following the decision taken at the SC17A meeting in Beijing (CN) in October, 2002, IEC SC 17A/WG35 has prepared a proposal for the revision of TRVs for circuit-breakers rated above 1 kV and less than 100 kV.

This proposal uses the input coming from former Working groups of CIGRE Study Committee A3 (Switching Equipment) that have studied the necessity to adapt the TRV requirements for circuit-breakers rated less than 100 kV. In 1983, a CIGRE SC A3 Task Force reported on Transient Recovery Voltages in Medium Voltage Networks. The results of the study have been published in Electra 88. Another CIGRE working group, WG 13.05, studied the TRVs generated by clearing transformer fed faults and transformer secondary faults. The results have been presented in Electra 102 (1985). In 1992, together with CIRED, CIGRE SC A3 created working group CC-03 to investigate again the definition of TRVs for medium voltage switchgear. The outcome of these investigations has been published in CIGRE Technical Brochure 134 (1998) and is in line with earlier studies.

L.1 General

The main modifications introduced by this amendment can be summarized as follows:

a) In order to cover all types of networks (distribution, industrial and sub-transmission) in the range of rated voltages higher than 1 kV and less than 100 kV, and for standardization purposes, two types of systems are defined:
   - cable systems

     Cable-systems are defined in 3.4.119.
   - line systems

     Line systems are defined in 3.4.120.

b) A particular test duty T30 is specified for the special case of circuit-breakers intended to be connected to a transformer with a connection of small capacitance (cable length less than 20 m), in order to verify their capability to interrupt transformer-limited faults. This is covered in a new Annex M (normative).

   In the general case where the capacitance of the connection is high enough, the normal test duty T30 demonstrates the capability to interrupt transformer-limited faults.

c) Short-line fault is a mandatory duty for circuit-breakers with rated voltages 15 kV and above and directly connected to overhead lines. As specified already in this standard for circuit-breakers rated 48,3 kV and above, the rated short-circuit current must be higher than 12,5 kA (i.e. I_{sc} ≥ 16 kA).

d) The special case of circuit-breakers installed immediately in series with a reactor is covered in a new subclause 8.103.7.

L.2 Défaut aux bornes

L.2.1 TTR pour disjoncteurs de réseaux aériens

Les réseaux aériens sont plus communs selon la pratique en Amérique du Nord que selon la pratique européenne. Par suite les valeurs normalisées données dans le Tableau 2 de ANSI C37.06-2000 sont prises comme base pour la définition du nouveau Tableau 25. Les valeurs de t_3 sont celles de T_2 spécifiées dans ANSI multipliées par 0,88.

NOTE Le facteur 0,88 est dérivé d'une forme "1-cos" multiplié par la moitié du facteur d'amplitude. La forme normalisée de TTR "-cos" dans ANSI C37.06-2000 pour les tensions assignées inférieures à 100 kV ne coïncide pas avec l'équation mathématique précise pour des circuits avec amortissement série ou parallèle, pour lesquels un autre rapport t_3/T_2 est applicable.

Le temps t_3 pour le défaut aux bornes et le défaut proche en ligne est égal à $4{,}65 \times U_r^{0,7}$, avec t_3 en micro-secondes et U_r en kV. Cette formule est dérivée des valeurs données dans le Tableau 2 de ANSI/IEEE C37.06-2000 pour des tensions assignées 15,5 kV, 25,8 kV, 48,3 kV et 72,5 kV. Cette même formule est utilisée pour les autres tensions assignées.

La vitesse de rétablissement de tension est dérivée de u_c et t_3.

Le temps t_3 pour la discordance de phases est le double du temps t_3 pour le défaut aux bornes.

L.2.2 Temps de retard

Temps de retard du Tableau 24 pour les disjoncteurs de réseaux par câbles:

Le temps de retard t_d est le même que celui défini dans la première édition de cette norme pour les tensions inférieures à 52 kV. Il est généralisé pour tous les réseaux par câbles (tensions assignées inférieures à 100 kV).

Temps de retard du Tableau 25 pour les disjoncteurs de réseaux aériens:

Le temps de retard du Tableau 25 est $0{,}05 \times t_3$, comme dans la première édition de cette norme pour les tensions assignées 48,3 – 52 et 72,5 kV. Cette formule a été étendue aux tensions inférieures car aucun changement dans la forme de la TTR initiale n'est attendu (la partie initiale est exponentielle, même avec les courtes longueurs de lignes qui peuvent être rencontrées dans les réseaux de distribution et de transport). Cette exigence n'est pas jugée excessive car dans le cas extrême (U_r = 15 kV) le temps de retard de 2 µs est tel que spécifié pour les disjoncteurs de tensions assignées supérieures à 72,5 kV.

Il est reconnu que pendant la phase thermique de la coupure, ce temps de retard peut être critique et doit être pris en compte. Cependant, comme montré dans les Tableaux 13 et 14 de la 1re édition de cette norme, cette vérification peut être faite en effectuant les essais de défaut en ligne. Par suite, comme il est déjà indiqué pour les tensions supérieures à 38 kV, il est permis d'avoir un temps de retard plus long pendant les essais T100, jusqu'à $0{,}15 \times t_3$, si les essais de défaut en ligne sont effectués. Cette possibilité est indiquée dans le Tableau 27.

L.2.3 Facteur d'amplitude pour T100s et T100a

Pour les disjoncteurs de réseaux par câbles, une valeur de 1,4 est retenue du fait de l'expérience positive avec les éditions antérieures de cette norme.

Pour les disjoncteurs de réseaux aériens, la valeur de 1,54, définie dans la norme ANSI C37.06-2000, est retenue.

L.2 Terminal fault

L.2.1 TRV for circuit-breakers in line systems

Line systems are more common to the North American practice than to the European practice. Therefore the TRV ratings as listed in Table 2 of ANSI C37.06-2000 are the basis to define the new Table 25. The values for t_3 are 0,88 times the T_2 values specified in ANSI.

NOTE The factor 0,88 can be derived from a pure "1-cos"-waveshape multiplied with ½ amplitude factor. The standard TRV wave-shape "1-cos" in ANSI C37-06-2000 for rated voltages less than 100 kV does not coincide with the precise mathematical equation for parallel or series damped circuits, for which another ratio t_3/T_2 is applicable.

Time t_3 for terminal fault and short-line fault is equal to $4{,}65 \times U_r^{0,7}$, with t_3 in microseconds and U_r in kV. The equation is derived from the values given in Table 2 of ANSI/IEEE C37.06-2000 for rated voltages 15,5 kV, 25,8 kV, 48,3 kV and 72,5 kV. The same equation is used for other rated voltages.

The rate of rise of recovery voltage is derived from u_c and t_3.

Time t_3 for out-of-phase is taken as double the time t_3 for terminal fault.

L.2.2 Time delay

Time delay in Table 24 for circuit-breakers in cable systems:

The time delay t_d is as in the first edition of this standard for rated voltages less than 52 kV. The equation is generalized to all cable systems (rated voltage less than 100 kV).

Time delay in Table 25 for circuit-breakers in line systems:

The time delay t_d in Table 25 is $0{,}05 \times t_3$, as in the first edition of this standard for rated voltages 48,3 – 52 and 72,5 kV. The equation has been extended to the lower rated voltages as no change in the initial part of the TRV wave-shape is expected (the initial part is exponential, even with the short line lengths that can be met in distribution and sub-transmission systems). This requirement is not judged excessive as in the worst case (U_r = 15 kV) the time delay value of 2 µs is as specified for circuit-breakers with rated voltages higher than 72,5 kV.

It recognizes the fact that at high short-circuit current the thermal phase of interruption, this time delay can be critical and that has to be taken into account. However, as shown in Tables 13 and 14 of the first edition of this standard, such verification can be made when performing short-line fault tests. Therefore, as it is already the case for rated voltages higher than 38 kV, it is allowed to have a longer time delay during testing of T100, up to $0{,}15 \times t_3$, provided that short-line fault tests are performed. This possibility is indicated in Table 27.

L.2.3 Amplitude factor for T100s and T100a

For circuit-breakers in cable systems, the value of 1,4 in the first edition of this standard is retained, due to the positive experience with past editions of this standard.

For circuit-breakers in line systems, the value of 1,54,defined in ANSI standard C37.06-2000 is taken.

L.2.4 Facteur d'amplitude pour T60, T30 et T10

Pour les disjoncteurs de réseaux par câbles, la valeur de 1,5 pour T60 dans la première édition de cette norme est conservée, en raison de l'expérience positive obtenue. Pour T30 et T10, le facteur d'amplitude a été augmenté de 1,5 à respectivement 1,6 et 1,7, car la contribution à la TTR est due principalement à la variation de tension aux bornes du ou des transformateurs avec un faible amortissement, et la combinaison avec la tension source conduit à une TTR avec un facteur d'amplitude relativement élevé.

Pour les disjoncteurs de réseaux aériens, les valeurs sont celles de ANSI C37.06-2000: 1,65 pour T60, 1,74 pour T30 et 1,8 pour T10.

L.3 Défaut proche en ligne

Dans la première édition de cette norme, les exigences de défaut proche en ligne étaient spécifiées pour les disjoncteurs de tensions assignées 52 kV et 72,5 kV, dans la gamme de tensions assignées considérées pour cet amendement, et directement connectés à des lignes aériennes.

Dans cet amendement, les exigences de défaut proche en ligne sont spécifiées pour les disjoncteurs de classe S2 de tensions assignées supérieures ou égales à 15 kV et directement connectés (par jeux de barres) à des lignes aériennes, quel que soit le type de réseau côté alimentation.

Comme la topologie et la configuration des sous-stations des réseaux 48,3 kV sont identiques à celles des réseaux 52 kV et 72,5 kV, la séquence d'essais pour 48,3 kV est spécifiée de la même manière que pour 52 kV et 72,5 kV.

Pour les tensions assignées 15 kV, 25,8 kV et 38 kV, les caractéristiques et procédures d'essais sont légèrement différentes. Etant donné qu'aucun équipement est normalement connecté du côté ligne au disjoncteur, les caractéristiques de ligne sont adaptées au cas pratiquement sans capacitance: t_{dL} < 0,1 µs. Comme la longueur de ligne jusqu'au point de défaut doit correspondre à une distance réaliste, la séquence d'essais L_{90} a été abandonnée et les tolérances de la longueur de ligne pour L_{75} ont été adaptées.

L'essai de défaut en ligne spécifié est considéré comme couvrant les défauts proche en ligne triphasés ainsi que les défauts biphasés et monophasés pour les raisons suivantes:

– l'impédance caractéristique représentative, vue aux bornes du pôle qui coupe, est telle que dans tous les cas la VATR pour tous les pôles qui coupent est couverte par les caractéristiques spécifiées dans le Tableau 4;
– l'essai de défaut en ligne monophasé, avec une plage de durée d'arc (180°−dα), couvre l'exigence pour les cas de défauts multi-phases pour des réseaux avec neutre effectivement ou non effectivement à la terre;
– la tenue à la valeur crête de la TTR pendant la coupure d'un défaut triphasé est démontrée par la séquence de défaut aux bornes T100.

L.4 Discordance de phases

Il n'y a pas suffisamment d'informations disponibles pour réviser les paramètres de TTR dans le cas de coupure de défaut en discordance de phases. Il a été demandé au CIGRE SC A3 de faire des investigations sur les conditions de réseaux et de fonctionnement conduisant à des coupures de courants de discordance de phases. Par suite, les TTR pour discordance de phases sont en principe inchangées.

Les valeurs de t_3 pour la discordance de phases sont dans tous les cas le double des valeurs pour le défaut aux bornes T100.

L.2.4 Amplitude factor for T60, T30 and T10

For circuit-breakers in cable systems, the value of 1,5 for T60 in the first edition of this standard is kept, due to the positive experience obtained. For T30 and T10, the amplitude factor has been raised from 1,5 to respectively 1,6 and 1,7, as the contribution to TRV comes mainly from the voltage variation across transformer(s) which has low damping, this combined with source voltage results to a TRV with a relatively high amplitude factor.

For circuit-breakers in line systems, the values are taken from ANSI C37.06-2000: 1,65 for T60, 1,74 for T30 and 1,8 for T10.

L.3 Short-line fault

In the first edition of this standard, short-line fault requirements have been specified for circuit-breakers with a rated voltage of 52 kV and 72,5 kV, in the range of rated voltages considered in this amendment, and directly connected to overhead-lines.

In this amendment, short-line fault requirements are specified for class S2 circuit-breakers with a rated voltage of 15 kV and above and directly connected (with busbar) to overhead-lines, irrespective of the type of network on the source side.

As the network and substation topology and layout for 48,3 kV is identical to those of 52 kV and 72,5 kV systems, the short-line test duty for 48,3 kV is specified in a way similar to 52 kV and 72,5 kV.

For the rated voltages 15 kV, 25,8 kV and 38 kV the characteristics and procedure are slightly different. As normally no equipment is connected to the line side of the circuit-breaker the line characteristics are adapted to virtually no delay capacitance: t_{dL} < 0,1 µs. As the line length to the fault location should correspond to realistic distances, the test duty L_{90} has been dropped and the tolerances on the line length for L_{75} have been adapted.

The short-line fault test specified is regarded as covering three-phase short-line faults as well as two-phase and single-phase faults for the following reasons:

– the representative surge impedance, seen from the terminals of the clearing pole, is such that for all cases the RRRV for all three poles to clear is covered by the specified characteristics listed in Table 4;
– the single phase short-line fault test, with an arcing window of (180°−dα), covers the requirement for the multi-phase fault cases for effectively-earthed and non-effectively earthed systems;
– the withstand of the peak value of TRV during three-phase fault interruption is demonstrated by terminal fault test duty T100.

L.4 Out-of-phase

Not enough system information is available to revise TRV parameters for breaking in out-of-phase condition. CIGRE SC A3 has been asked to investigate the system and service conditions leading to out-of-phase current clearing. Therefore, the TRV for out-of-phase breaking are basically unchanged.

The values of t_3 for out-of-phase are in all cases two times the value for terminal fault T100.

L.5 Défaut avec réactance de limitation (ou réactance série)

En raison de la très faible capacitance inhérente à un certain nombre de réactances, la fréquence naturelle des tensions transitoires concernant ces réactances peut être très grande. Un disjoncteur installé immédiatement en série avec ce type de réactance subira une TTR à fréquence élevée en coupure de défaut aux bornes (la réactance étant du côté alimentation du disjoncteur) ou dans le cas de coupure d'un défaut en aval de la réactance (réactance du côté charge du disjoncteur). La fréquence de la TTR résultante excède généralement nettement les valeurs normalisées.

Dans de tels cas, il est nécessaire de prendre des mesures de correction, comme le montage de condensateurs en parallèle aux réactances ou connectées à la terre, de manière à réduire la fréquence de la TTR. Ces mesures de correction sont disponibles, efficaces et économiques (voir [17] dans la bibliographie). Il est très recommandé de les utiliser, à moins qu'il puisse être démontré par des essais que le disjoncteur est capable d'interrompre les défauts avec une haute fréquence de la TTR.

Selon l'opinion du GT 35 du SC 17A de la CEI, l'expérience en service avec des mesures de correction de TTR est si bonne et les dépenses engagées relativement si faibles, qu'il n'est pas raisonnable de spécifier des exigences particulières pour les disjoncteurs concernés par de type d'application.

L.6 TTR pour les derniers pôles qui coupent / Topologie de circuit d'essais

Dans le Tableau 2 de la première édition de cette norme, les multiplicateurs des valeurs de TTR pour les 2èmes et 3èmes pôles qui coupent sont donnés pour les disjoncteurs de tension assignée supérieure à 72,5 kV. Dans la NOTE 1 il est indiqué que pour les tensions assignées inférieures ou égales à 72,5 kV les valeurs sont à l'étude.

Pour les disjoncteurs de tensions assignées inférieures ou égales à 72,5 kV, dans la mesure où il n'y a pas d'informations suffisantes pour définir des valeurs autres que celles spécifiées pour les tensions assignées plus élevées, le SC 17A de la CEI a décidé lors de sa réunion de Montréal (CA), Octobre 2003, d'étendre la validité du Tableau 2 à toutes les tensions assignées supérieures à 1 kV. Ces valeurs seront révisées ultérieurement lorsque les résultats d'études seront publiés.

L.5 Series reactor fault

Due to the very small inherent capacitance of a number of current limiting reactors, the natural frequency of transients involving these reactors can be very high. A circuit-breaker installed immediately in series with such type of reactor will face a high frequency TRV when clearing a terminal fault (reactor at supply side of circuit-breaker) or clearing a fault behind the reactor (reactor at load side of circuit-breaker). The resulting TRV frequency generally exceeds by far the standardised TRV values.

In these cases it is necessary to take mitigation measures, such as the application of capacitors in parallel to the reactors or connected to earth. The available mitigation measures are very effective and cost efficient (see [17] in the bibliography). It is strongly recommended to use them, unless it can be demonstrated by tests that a circuit-breaker can successfully clear faults with the required high frequency TRV.

In the opinion of the members of WG 35 of IEC SC17A, the service experience with TRV mitigation measures is so good and the costs involved are relatively so low, that it makes no sense to specify special requirements for circuit-breakers for this type of application.

L.6 TRV for last clearing poles / Tests circuit topology

In Table 2 of the first edition of this standard, multipliers for transient recovery voltage values for second and third clearing poles are given for circuit-breakers with rated voltages higher than 72,5 kV. Under NOTE 1, it is stated that for voltages equal to or lower than 72,5 kV, the values are under consideration.

For circuit-breakers with rated voltages equal to or lower than 72,5 kV, as not enough information is available to define values other than those specified for higher rated voltages, IEC SC17A has decided during its meeting in Montreal (CA), October 2003, to extend the validity of Table 2 to all rated voltages higher than 1 kV. The values will be revised later on when the results of studies are published.

Annexe M
(normative)

Exigences pour la coupure de défauts limités par un transformateur pour des disjoncteurs de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV

Les Figures M.1 et M.2 illustrent deux cas typiques de défauts limités par un transformateur. Ces types de défauts peuvent être subdivisés en:

– défauts alimentés par un transformateur (Figure M.1);
– défauts au secondaire d'un transformateur (Figure M.2).

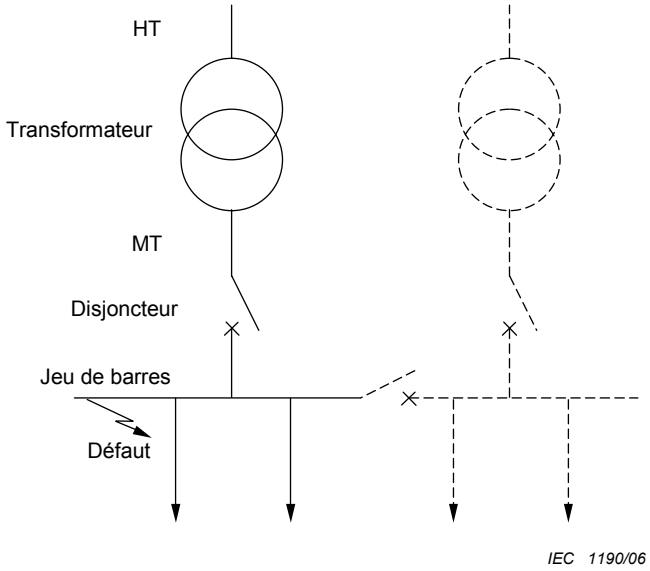


Figure M.1 – Premier exemple de défaut limité par un transformateur
(aussi appelé défaut alimenté par un transformateur)

Annex M
(normative)

Requirements for breaking of transformer-limited faults by circuit-breakers with rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV

Figures M.1 and M.2 illustrate the two typical cases of transformer-limited faults. These types of faults can be subdivided into

– transformer-fed faults (Figure M.1);
– transformer-secondary faults (Figure M.2).

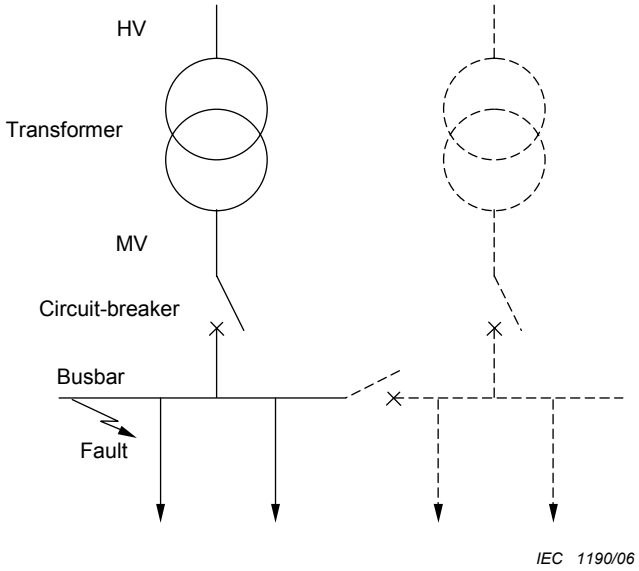


Figure M.1 – First example of transformer-limited fault
(also called transformer-fed fault)

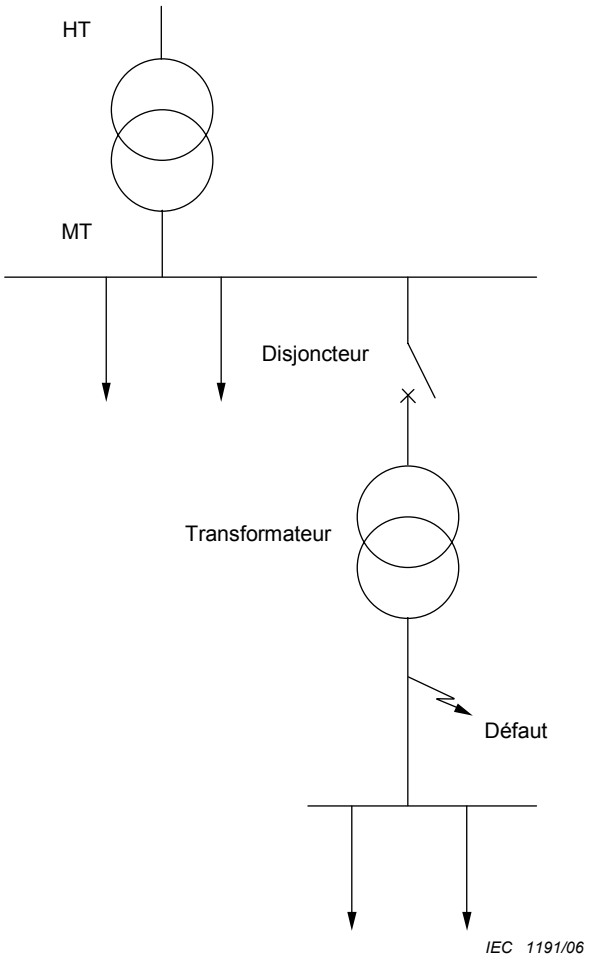


Figure M.2 – Deuxième exemple de défaut limité par un transformateur
(aussi appelé défaut au secondaire d'un transformateur)

Dans la mesure où les sous-stations ont plus d'un transformateur, le courant à couper par le disjoncteur de transformateur est seulement une fraction du courant de court-circuit total de la sous-station. En général, le même pouvoir de coupure est spécifié pour les disjoncteurs de transformateur et pour les départs même si le pouvoir de coupure nécessaire est très différent. Il existe deux raisons pour ce sur-dimensionnement: l'uniformité des disjoncteurs de la sous-station et le fait que, pour des courants permanents élevés comme exigés pour des disjoncteurs de transformateurs, la coordination des valeurs assignées peut conduire à des pouvoirs de coupure plus élevés que nécessaire. Par suite, et dans un objectif de normalisation, la séquence T30 est spécifiée pour démontrer la capacité d'un disjoncteur à couper les défauts limités par un transformateur.

Deux cas d'application doivent être considérés:

a) les cas où la capacitance par rapport à la terre entre le transformateur et le disjoncteur est suffisante: la coupure des défauts limités par un transformateur est démontrée en effectuant la séquence T30 avec les paramètres de TTR définis dans le Tableau 26 pour les disjoncteurs de classe S1 (pour réseaux par câbles) ou Tableau 27 pour les disjoncteurs de classe S2 (pour réseaux aériens). Lorsque des câbles ou des jeux de barres isolés sont utilisés, la capacitance à la terre de la connexion entre le transformateur et le disjoncteur est généralement supérieure à la valeur requise.

NOTE 1 Le calcul montre que la capacitance nécessaire pour réduire la fréquence naturelle d'un transformateur à celle spécifiée pour la TTR de T30 dans les Tableaux 26 et 27, est indépendante de la tension assignée et proportionnelle au courant de court-circuit assigné. La capacitance additionnelle à la terre doit être au moins:

$$Co = 0{,}6 \times I_{30} \text{ (50 Hz) ou } 0{,}7 \times I_{30} \text{ (60 Hz)}$$

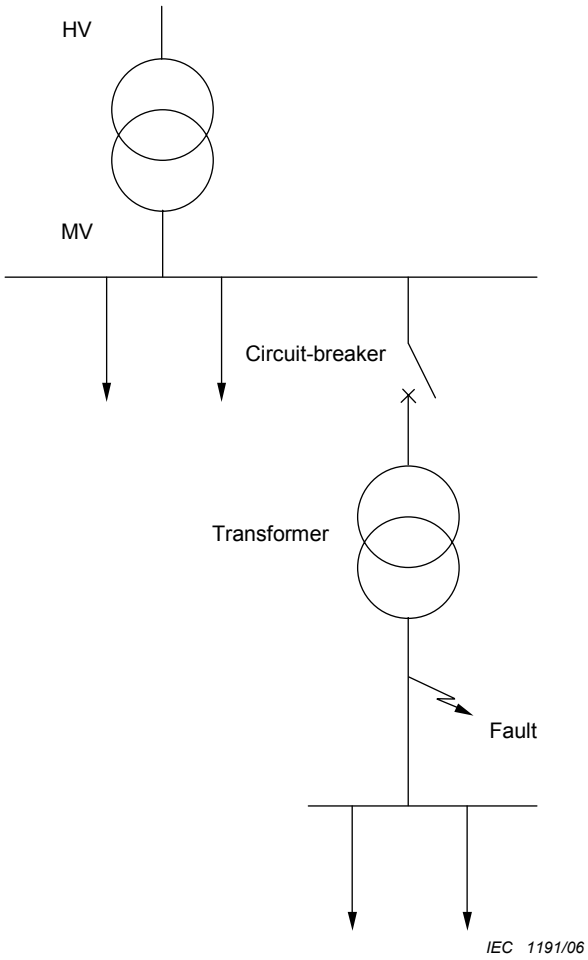


Figure M.2 – Second example of transformer-limited fault
(also called transformer-secondary fault)

As most substations have more than one transformer, the breaking current for the transformer breaker is only a fraction of the total short-circuit current of the substation. In general, the same breaking capacity is specified for transformer breakers and outgoing feeders even if the necessary breaking capacity is very different. There are two reasons for this over-dimensioning: the uniformity of all breakers in the station and the fact, that high rated normal currents, as necessary for transformer breakers, the standard coordination of rated values may imply rated short-circuit breaking capability higher than necessary. Therefore, for standardization purposes, test duty T30 is specified to prove the capability of a circuit-breaker to interrupt transformer-limited faults.

Two cases of application need to be considered:

a) In cases where there is sufficient capacitance to earth between transformer and circuit-breaker, transformer-limited faults are covered by performing T30 with TRV parameter values as given in Table 26 for circuit-breakers class S1 or Table 27 for circuit-breakers class S2. Where cables or insulated busbars are used, the capacitance to earth of the connection between transformer and circuit-breaker generally exceed the required value.

NOTE 1 Calculations show that the additional capacitance necessary to reduce the transformer's natural frequency to the TRV frequency specified for T30 in Tables 26 and 27 is independent of the rated voltage and proportional to the rated short-circuit current. The additional capacitance to earth has to be at least

$$\text{Co} = 0{,}6 \times I_{30} \text{ (50 Hz) or } 0{,}7 \times I_{30} \text{ (60 Hz)}$$

où

I_{30} est 30 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit, en kA.

Co est en nF.

Des câbles avec typiquement 0,3 à 0,5 nF/m donnent facilement les valeurs de capacitance additionnelle nécessaires.

Par exemple, dans le cas d'un disjoncteur de pouvoir de coupure assigné 31,5 kA-50 Hz la longueur minimale de câble pour laquelle l'essai de type T30 couvre la coupure de défauts limités par un transformateur est $\frac{0,6 \times 0,3 \times 31,5}{0,3} = 19$ m, en supposant que la capacitance est 0,3 nF/m.

b) Dans le cas particulier où la capacitance de la liaison entre le transformateur et le disjoncteur est inférieure à Co définie ci-dessus en a), une séquence T30 particulière peut être spécifiée à des disjoncteurs avec une TTR définie dans le Tableau M.1.

En variante, une capacitance peut être ajoutée au réseau pour permettre l'utilisation de disjoncteurs de classe S1 ou S2.

NOTE 2 Des cas particuliers d'application peuvent exister où la sous-station est alimentée par un seul transformateur et avec un courant de court-circuit pour le disjoncteur de transformateur égal à son pouvoir de coupure en court-circuit. Dans de tels cas, le pouvoir de coupure peut être démontré en effectuant la séquence d'essai T100, lorsque la liaison a une capacité suffisante, comme expliqué ci-dessus en a), ou alternativement une capacité peut être ajoutée pour obtenir les paramètres de TTR couverts par les valeurs des Tableaux 24 ou 25.

Tableau M.1 – Valeurs normales de la TTR inhérente pour T30, cas de disjoncteurs prévus pour être connectés à un transformateur avec une liaison de faible capacité – Tension assignée supérieure à 1 kV et inférieure à 100 kV – Représentation par deux paramètres

Tension assignée	Séquence d'essai	Facteur de 1er pôle	Facteur d'ampli-tude	Valeur de crête de TTR	Temps	Temps de retard	Tension	Temps	VATR [a]
U_r kV		k_{pp} p.u.	k_{af} p.u.	u_c kV	t_3 µs	t_d µs	u' kV	t' µs	u_c/t_3 kV/µs
3,6	T30	1,5	1,6	7,1	4,5	1	2,4	2	1,58
4,76 [b]	T30	1,5	1,6	9,3	5,0	1	3,1	2	1,86
7,2	T30	1,5	1,6	14,1	5,5	1	4,7	3	2,56
8,25 [b]	T30	1,5	1,6	16,2	6,0	1	5,4	3	2,70
12	T30	1,5	1,6	23,5	6,5	1	7,8	3	3,62
15 [b]	T30	1,5	1,6	29,4	7,0	1	9,8	3	4,20
17,5	T30	1,5	1,6	34	7,5	1	11,4	4	4,53
24	T30	1,5	1,6	47	9,5	1	15,7	5	4,95
25,8 [b]	T30	1,5	1,6	51	9,5	1	16,9	5	5,37
36	T30	1,5	1,6	71	11,5	2	23,5	6	6,17
38 [b]	T30	1,5	1,6	74	11,5	2	24,8	6	6,43
48,3 [b]	T30	1,5	1,6	95	14	2	31,5	7	6,79
52	T30	1,5	1,6	102	14	2	34	7	7,29
72,5	T30	1,5	1,6	142	18	3	47,4	9	7,89

[a] VATR = vitesse d'accroissement de la tension rétablie.

[b] Utilisé en Amérique du Nord.

where

I_{30} is 30 % of the rated short-circuit current in kA;

Co is in nF.

Typical cables (0,3 to 0,5 nF/m) easily provide the values of necessary additional capacitance.

For example, in the case of a circuit-breaker with a rated short-circuit breaking current of 31,5kA-50 Hz the minimum length of cable for which type test T30 covers the breaking of transformer-limited faults is $\frac{0,6 \times 0,3 \times 31,5}{0,3} = 19$ m, assuming that the capacitance is 0,3 nF/m.

b) In the special case where the capacitance of the connection between the transformer and the circuit-breaker is lower than the value Co defined in a) above, a special test duty T30 may be specified to circuit-breakers with a TRV defined in Table M.1.

Alternatively a capacitance should be added to allow the use of a circuit-breaker class S1 or S2.

NOTE 2 Particular cases of application may exist where the substation is fed by only one transformer and with the short-circuit current of the transformer breaker equal to its rated short-circuit current. In such cases, the breaking capability may be demonstrated by performing test duty T100, when the connection has sufficient capacitance as explained in a) above, or alternatively a capacitance may be added in order to obtain TRV parameters covered by the values in Tables 24 or 25.

Table M.1 – Standard values of prospective transient recovery voltage for T30, for circuit-breakers intended to be connected to a transformer with a connection of small capacitance – Rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters

Rated voltage	Test duty	First-pole-to-clear factor	Amplitude factor	TRV peak value	Time	Time delay	Voltage	Time	RRRV [a]
U_r		k_{pp}	k_{af}	u_c	t_3	t_d	u'	t'	u_c/t_3
kV		p.u.	p.u.	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
3,6	T30	1,5	1,6	7,1	4,5	1	2,4	2	1,58
4,76 [b]	T30	1,5	1,6	9,3	5,0	1	3,1	2	1,86
7,2	T30	1,5	1,6	14,1	5,5	1	4,7	3	2,56
8,25 [b]	T30	1,5	1,6	16,2	6,0	1	5,4	3	2,70
12	T30	1,5	1,6	23,5	6,5	1	7,8	3	3,62
15 [b]	T30	1,5	1,6	29,4	7,0	1	9,8	3	4,20
17,5	T30	1,5	1,6	34	7,5	1	11,4	4	4,53
24	T30	1,5	1,6	47	9,5	1	15,7	5	4,95
25,8 [b]	T30	1,5	1,6	51	9,5	1	16,9	5	5,37
36	T30	1,5	1,6	71	11,5	2	23,5	6	6,17
38 [b]	T30	1,5	1,6	74	11,5	2	24,8	6	6,43
48,3 [b]	T30	1,5	1,6	95	14	2	31,5	7	6,79
52	T30	1,5	1,6	102	14	2	34	7	7,29
72,5	T30	1,5	1,6	142	18	3	47,4	9	7,89

[a] RRRV = rate of rise of recovery voltage.

[b] Used in North America.

Bibliographie

[1] CEI 60044-1:1996, *Transformateurs de mesure – Partie 1: Transformateurs de courant*

[2] CEI 60044-2:1997, *Transformateurs de mesure – Partie 2: Transformateurs inductifs de tension*

[3] CEI 60060-1:1989, *Techniques des essais à haute tension – Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

[4] CEI 60077, *Applications ferroviaires – Equipements électriques du matériel roulant*

[5] CEI 60099-4:1991, *Parafoudres – Partie 4: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateur pour réseaux à courant alternatif*

[6] CEI 60143-2:1994, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 2: Matériel de protection pour les batteries de condensateurs série*

[7] CEI 60186:1987, *Transformateurs de tension* [5]

[8] CEI 60298:1990, *Appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

[9] CEI 60517:1990, *Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tension assignée égale ou supérieure à 72,5 kV*

[10] CEI 61166:1993, *Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension – Guide pour la qualification sismique des disjoncteurs à courant alternatif à haute tension*

[11] ANSI/IEEE, C37.012:1979, *IEEE Application Guide for Capacitance Current Switching for A.C. High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis*

[12] *ISO Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* (1995)

[13] ANSI/IEEE, C37.013:1997, *Standard for AC high-voltage generator circuit breakers rated on a symmetrical current basis*

[14] ANSI/IEEE, C37.09:1999, *Test Procedure for AC high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis*

[15] CEI 62215, *Disjoncteurs à haute tension – Guide pour séquence d'essais asymétrique T100a*

[16] ANSI C37.06.1:2000, *Guide for high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis – designated "definite purpose for fast transient recovery voltage rise times"*

[17] IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 11, N°2, April 1996, pp 865-870

---

5 La CEI 60186 et ses amendements restent en vigueur pour les transformateurs capacitifs de tension. En ce qui concerne les transformateurs inductifs de tension, cette norme est remplacée par la CEI 60044-2.

Bibliography

[1] IEC 60044-1:1996, *Instrument transformers – Part 1: Current transformers*

[2] IEC 60044-2:1997, *Instrument transformers – Part 2: Inductive voltage transformers*

[3] IEC 60060-1:1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

[4] IEC 60077, *Railway applications – Electric equipment for rolling stock*

[5] IEC 60099-4:1991, *Surge arresters – Part 4: Metal oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*

[6] IEC 60143-2:1994, *Series capacitors for power systems – Part 2: Protective equipment for series capacitor banks*

[7] IEC 60186:1987, *Voltage transformers*[5]

[8] IEC 60298:1990, *AC metal enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

[9] IEC 60517:1990, *Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages of 72,5 kV and above*

[10] IEC 61166:1993, *High-voltage alternating current circuit-breakers – Guide for seismic qualification of high-voltage alternating current circuit-breakers*

[11] ANSI/EEE C37.012-1979, *IEEE Application Guide for Capacitance Current Switching for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis*

[12] ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement (1995)

[13] ANSI/IEEE C37.013-1997, *Standard for AC High-Voltage Generator Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis*

[14] ANSI/IEEE, C37.09-1999, *Test procedure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis*

[15] IEC 62215, *High-voltage alternating current circuit-breakers – Guide for asymmetrical test duty T100a*

[16] ANSI C37.06.1:2000, *Guide for high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis – designated "definite purpose for fast transient recovery voltage rise times"*

[17] IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, N°2, April 1996, pp 865-870

---

[5] IEC 60186 and its amendments remain in force for capacitor voltage transformers. As far as inductive voltage transformers are concerned, it is replaced by IEC 60044-2.

Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Switzerland

or

Fax to: **IEC**/CSC at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)
International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 GENEVA 20
Switzerland

Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: *(e.g. 60601-1-1)*

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard *(tick all that apply).* I am the/a:

purchasing agent ❑
librarian ❑
researcher ❑
design engineer ❑
safety engineer ❑
testing engineer ❑
marketing specialist ❑
other.....

Q3 I work for/in/as a: *(tick all that apply)*

manufacturing ❑
consultant ❑
government ❑
test/certification facility ❑
public utility ❑
education ❑
military ❑
other.....

Q4 This standard will be used for: *(tick all that apply)*

general reference ❑
product research ❑
product design/development ❑
specifications ❑
tenders ❑
quality assessment ❑
certification ❑
technical documentation ❑
thesis ❑
manufacturing ❑
other.....

Q5 This standard meets my needs: *(tick one)*

not at all ❑
nearly ❑
fairly well ❑
exactly ❑

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: *(tick all that apply)*

standard is out of date ❑
standard is incomplete ❑
standard is too academic ❑
standard is too superficial ❑
title is misleading ❑
I made the wrong choice ❑
other .....

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:
(1) unacceptable,
(2) below average,
(3) average,
(4) above average,
(5) exceptional,
(6) not applicable

timeliness.....
quality of writing.....
technical contents.....
logic of arrangement of contents .....
tables, charts, graphs, figures.....
other .....

Q8 I read/use the: *(tick one)*

French text only ❑
English text only ❑
both English and French texts ❑

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Suisse

ou

Télécopie: **CEI**/CSC +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

A Prioritaire

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)
Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 GENÈVE 20
Suisse

Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact: (*ex. 60601-1-1)*

.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?
(cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

agent d'un service d'achat ❑
bibliothécaire ❑
chercheur ❑
ingénieur concepteur ❑
ingénieur sécurité ❑
ingénieur d'essais ❑
spécialiste en marketing ❑
autre(s).....

Q3 Je travaille:
(cochez tout ce qui convient)

dans l'industrie ❑
comme consultant ❑
pour un gouvernement ❑
pour un organisme d'essais/ certification ❑
dans un service public ❑
dans l'enseignement ❑
comme militaire ❑
autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
(cochez tout ce qui convient)

ouvrage de référence ❑
une recherche de produit ❑
une étude/développement de produit ❑
des spécifications ❑
des soumissions ❑
une évaluation de la qualité ❑
une certification ❑
une documentation technique ❑
une thèse ❑
la fabrication ❑
autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
(une seule réponse)

pas du tout ❑
à peu près ❑
assez bien ❑
parfaitement ❑

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
(cochez tout ce qui convient)

la norme a besoin d'être révisée ❑
la norme est incomplète ❑
la norme est trop théorique ❑
la norme est trop superficielle ❑
le titre est équivoque ❑
je n'ai pas fait le bon choix ❑
autre(s) .....

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres
(1) inacceptable,
(2) au-dessous de la moyenne,
(3) moyen,
(4) au-dessus de la moyenne,
(5) exceptionnel,
(6) sans objet

publication en temps opportun .....
qualité de la rédaction.....
contenu technique .....
disposition logique du contenu .....
tableaux, diagrammes, graphiques, figures.....
autre(s) .....

Q8 Je lis/utilise: *(une seule réponse)*

uniquement le texte français ❑
uniquement le texte anglais ❑
les textes anglais et français ❑

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

ISBN 2-8318-8798-4

ICS 29.130.10

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND