



DDX1 系列短路电流限制器

FCL: Fault-Current-Limiter



蓝河电气
LANHE ELECTRIC

DDX1

中国·西安

特种开关设备

在交流输配电领域已得到成熟应用

消除或缓解电力系统短路电流的困扰

节能降耗，提高电能质量 … …

特性概览

- 专利技术加持的微爆型限流器，可户内或户外使用，运行寿命不低于15年；
- 基于军用定向微爆、限流熔断器、微电子技术、故障电流快速识别技术；
- 首半波限流开断，全开断时间小于10ms；
- 分相控制，控制系统具有自然冗余及高可靠性；三相联动控制，可定制；
- 高压等电位的内置式传感器及电子控制单元，使产品配置及结构更加优化；
- 微爆型快速隔离器采用全密封平板式结构，可靠性高，环境适应性强，且易实现电流等级和电压等级的扩展，便于形成完整的产品系列；
- 基于Is-Lock识别模块，可使DDX1具备选择性动作功能；
- 额定电流：630A～6300A，更高电流可定制；
- 额定电压：3.6kV～40.5kV，更高电压可定制；
- 额定短路开断电流：50kA～200kA；
- 截止电流/预期短路电流峰值：15%～50%。



目　录

1　概述 · · · · · 1

2　参考标准 · · · · · 4

3　DDX1短路电流限制器简介 · · · · · 4

4　供货方式及主要技术参数 · · · · · 8

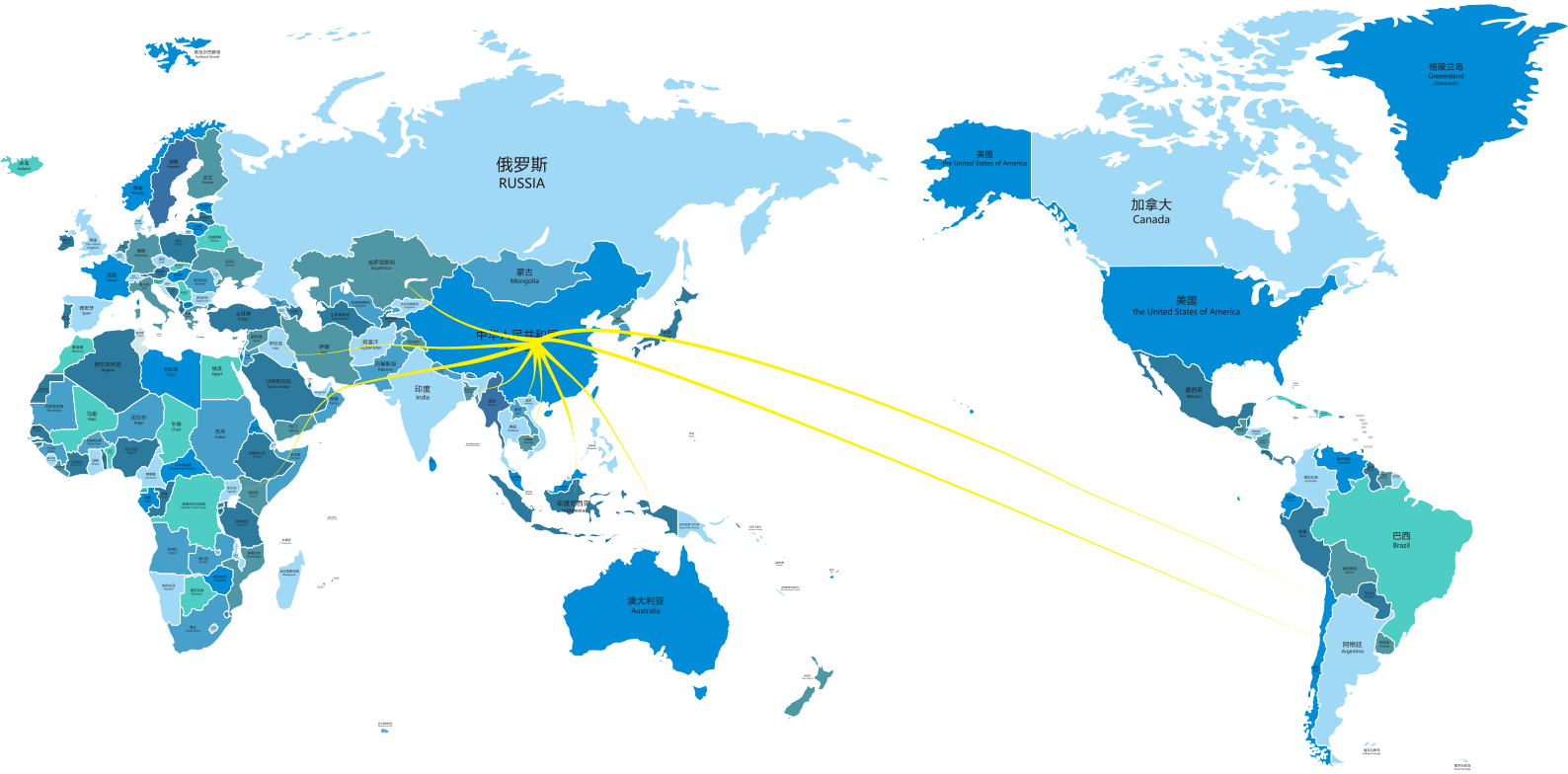
5　DDX1限流器的模拟测试 · · · · · 11

6　应用领域 · · · · · 12

7　典型应用场景 · · · · · 13

8　选择性动作 · · · · · 16

9　售前及售后技术服务 · · · · · 19



1 概述

短路故障的危害是什么?

自从有电力系统以来，各类故障就如影随形、相伴而生。这些故障主要包括短路故障、断线故障、过载故障、接地故障等等，其中短路故障对电力系统最具破坏力，有时甚至可能导致区域电网崩溃和大面积停电事故，具体危害如下:

- 电动力破坏
- 系统稳定性破坏
- 停电范围扩大
- 设备损坏
- 发热与火灾
- 电压骤降
- 经济损失
- 电弧危害

限制或规避超量值短路电流的传统方法

电源的强大和区域联网导致系统容量逐步增大，局部节点短路电流严重超限，对电力系统和电力主设备带来巨大的安全威胁,客观上要求限制短路电流。传统的限流措施包括:

- 开环运行
- 串接限流电抗器
- 采用高阻抗变压器
- 采用限流熔断器
- 采用封闭母线
- 采用更高开断能力的断路器甚至采用发电机断路器
- 大面积升级电力设备等等

显然，传统限流措施牺牲了电能质量和供电可靠性，或是增加能耗和线损，或是大幅度提高了设备制造成本和工程造价而不能完美解决问题，这就催生了短路电流限制器（限流器）这一新型电力产品的发展。

实际上在大多数情况下，采用限流器往往是唯一具有最佳技术经济可行性的解决方案。

短路电流限制器（FCL）的定义

鉴于短路故障的危害之大，短路电流限制器在很多时候是电力系统的必要配置，并逐步成为解决超量值短路电流、保护重要电力设备或电网互联的技术支撑性关键设备。那么，什么是短路电流限制器呢?

中国电器工业协会高压开关分会2011年出版《高压开关设备国内外产品水平》，该书第13章“短路电流限制器”中最早给出了限流器的定义:

故障电流限制器，也称短路电流限制器或简称限流器，英文名FCL（Fault Current Limiter）或SCCL（Short-circuit Current Limiter）,是一种串联于电气回路中、可对故障电流包括其第一峰值进行有效限制的阻抗变换装置或具有限流功能的快速开断装置。

这个定义与CIGRE在2012年及IEEE在2015年给出的限流器定义基本一致。可以看出，限制故障电流的第一大半波峰值及随后的有效值，两者缺一不可，否则就不是真正的限流器。

DDX1属于什么类型的限流器?

按照技术特点，高压限流器大致可以分为超导限流器、固态限流器、微爆型限流器以及其它限流器（比如液态金属限流器，高耦合电抗器型限流器等等）。目前技术成熟且已经大面积工业应用的只有微爆型限流器，DDX1便属于此类产品。据统计，微爆型限流器的动作周期约为3~5年。

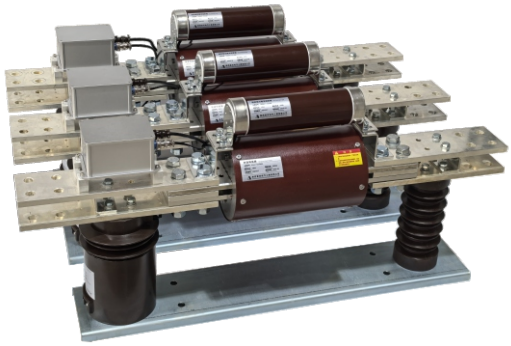




图1-1 微爆型限流器--DDX1实物照片

微爆型限流器（pyrotechnic fault current limiter： PFCL）

微爆型限流器,是一种由微爆开断型载流桥体、与载流桥体并联的高压限流熔断器、电子测控装置及相关的配套部件组成，可将故障电流预期峰值及有效值限制到要求值以下的自具功能的零损耗限流开断型电气设备。

当流过该设备的故障电流超过电子测控装置的动作定值时，电子测控装置将立即触发微爆型载流桥体的定向爆破系统动作从而切断载流桥体并形成隔离断口，故障电流随即转移到高压限流熔断器中并由熔断器完成限流开断，从而实现对故障电流预期峰值及有效值的限制。

此类设备既可用于交流配电网络，也可用于直流配电网络；可用于126kV及以下的高压输配电系统，也可用于1kV及以下的低压配电系统。以下为市场中最为常见的微爆型限流器的载流桥体动作后的形态示意图。



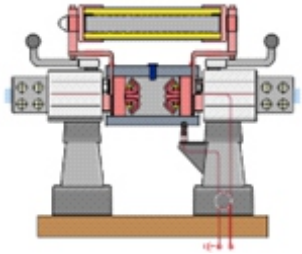


图1-2 微爆型限流器的开断组件（限流熔断器+微爆型载流桥体，载流桥体已动作）

DDX1短路电流限制器特性概览

- 专利技术加持的微爆型限流器，可户内或户外使用，运行寿命不低于15年
- 基于军用定向微爆、高压限流、高压绝缘、微电子及故障电流快速识别技术
- 首半波限流开断，全开断时间小于10ms
- 分相控制，控制系统具有自然冗余及高可靠性；三相联动控制，可定制
- 高压等电位的内置式传感器及电子控制单元，使产品配置及结构更加优化
- 微爆型快速隔离器采用全密封平板式结构，可靠性高，环境适应性强，且易实现电流等级和电压等级的扩展，便于形成完整的产品系列
- 基于Is-Lock识别模块，可使DDX1具备选择性动作功能
- 额定电流：630A～6300A，更高电流可定制
- 额定电压：3.6kV～40.5kV，更高电压可定制
- 额定短路开断电流：50kA～200kA
- 截止电流/预期短路电流峰值：15%～50%



图1-3 DDX1组柜

DDX1短路电流限制器功能

- 实现首半波极早期限流开断，短路电流在上升的初期阶段即受到限制，永远不会上升至第一个大半波的峰值
- 有效解决电力系统超量值短路电流的动、热稳定问题
- 减小短路故障造成的破坏
- 降低变配电工程的投资
- 保护“体弱”（抗短路能力不足）的电力主设备
- 为电源接入或多电源互联提供理想的解决方案
- 优化变配电系统的运行方式
- 助力变配电系统的节能降耗，与限流电抗器并联可构成零损耗限流装置
- 自1999年以来，已有数千套产品在世界各地成功投入运行





图1-4 DDX1现场应用照片

2 参考标准

- GB/T11022-2020 高压开关设备及控制设备标准的共用技术要求
- GB/T 15166.2-2023 高压交流熔断器 第2部分：限流熔断器
- GB1984-2024 高压交流断路器
- IEEE Std C37.302™-2015，额定电压1000V以上交流故障限流器试验导则，[S]，2015.2~4
- CIGRE，A3.23工作组 2012年，《FCL在电力系统的应用及可行性》
- LHQB-PFCL 126 kV及以下基于微爆技术的交流故障电流限制器

3 DDX1短路电流限制器简介

结构及外观

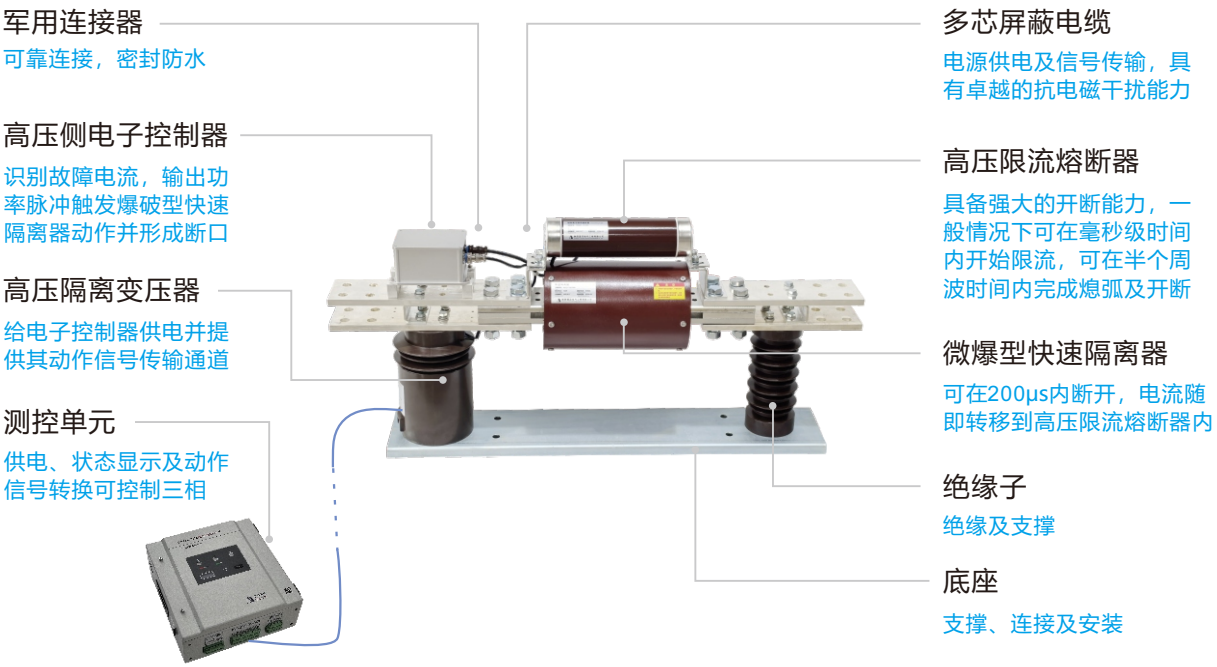


图3-1 DDX1结构图

全密封设计，隔离爆破噪声，隔离内外环境，有利于保证产品的长期稳定性并提升产品动作可靠性。内置式传感器，有利于简化产品的结构并提供分相控制。

开断组件（可更换组件）：微爆型快速隔离器+高压限流熔断器（见图3-2）。

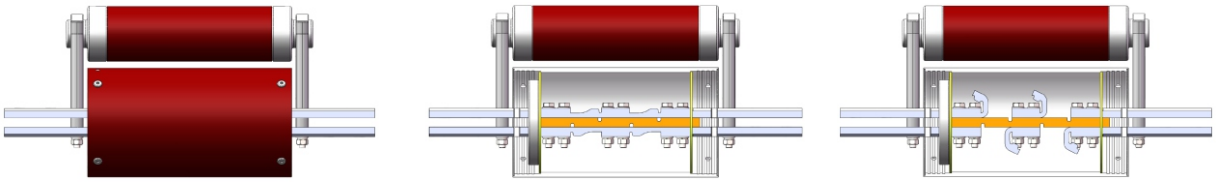


图3-2 DDX1开断组件及其载流桥体动作前后的形态

特别提醒：开断组件为一次性使用，限流器一旦动作，则需要尽快更换。

基本原理

DDX1的主回路由微爆型快速隔离器及高压限流熔断器并联构成，由于两个支路的阻抗配比关系，正常情况下电流几乎全部流经微爆型快速隔离器。内置于微爆型快速隔离器中的电流传感器将主回路电流信号提供给电子测控装置，电子测控装置对电流信号进行变换、分析并判断此电流是否超过预设的动作整定值，若超过则立即向微爆型快速隔离器发出触发信号，微爆型快速隔离器在200μs内爆破并形成预期的隔离断口，与此同时主回路电流转移到高压限流熔断器中，熔断器在数毫秒时间内完成熔体的熔化、断口起弧、限流熄弧。一般情况下，故障电流可在10ms以内得以完全开断。

DDX1接入电网示例

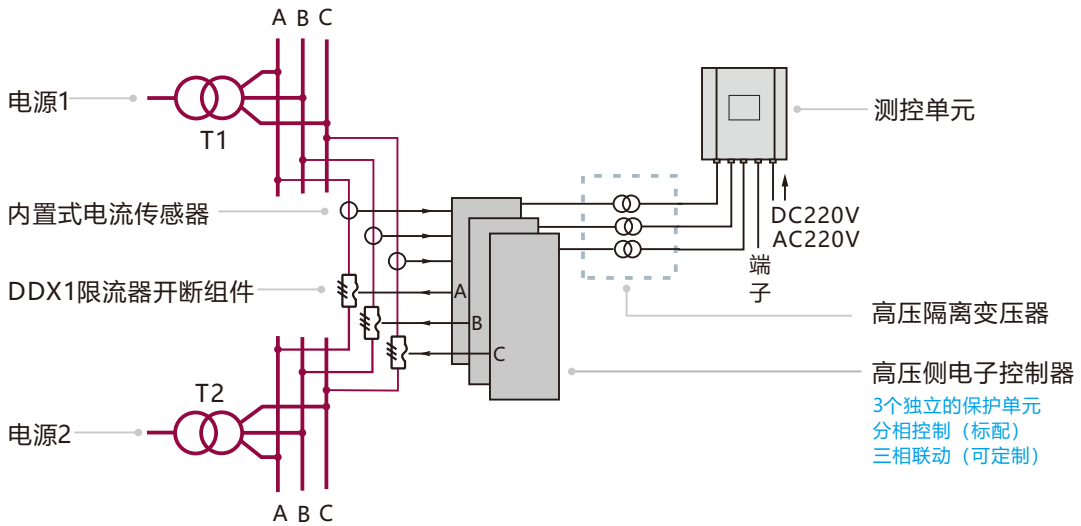


图3-3 DDX1入网应用示例

响应及动作过程

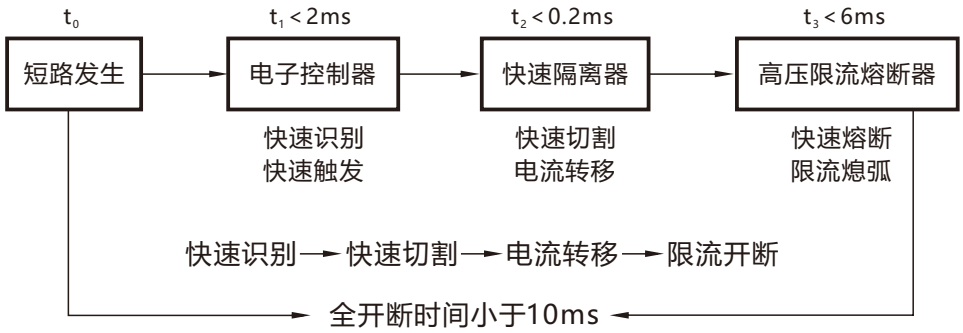
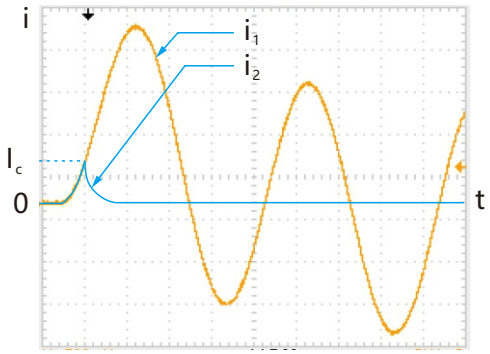


图3-4 DDX1动作时序图

限流开断特性



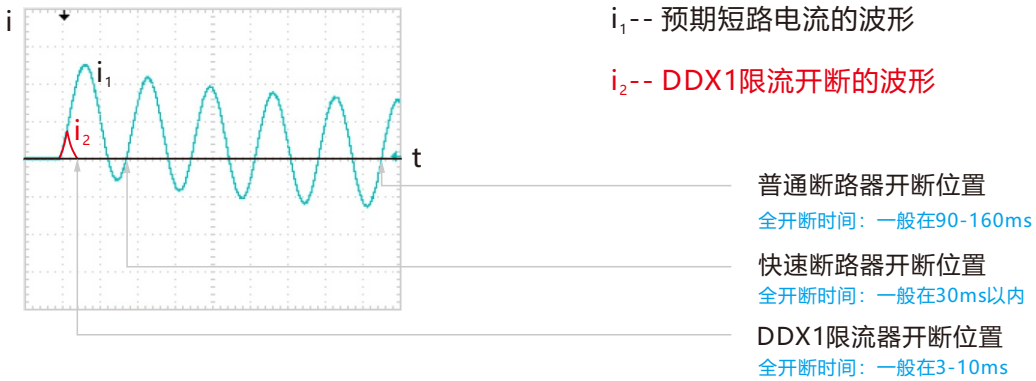
i_1-- 预期短路电流

i_2-- DDX1限制后的实际电流

I_c -- DDX1截止电流

图3-5 DDX1限流开断特性

与断路器开断特性的比较



i_1-- 预期短路电流的波形

i_2-- DDX1限流开断的波形

图3-6 DDX1与普通断路器开断特征的比较

动作判据

为了确保DDX1限流器动作的快速性、准确性及可靠性，确保不误动、不拒动，并确保限流器在一些特殊工况下具备选择性动作的功能，确保限流器控制系统具有强大的EMC抗扰动能力，科学合理的设置动作判据是非常必要的。

▲ 主判据：指用于故障电流识别的必要判据，具体可包括：

(1) 电流瞬时值
(2) 电流变化率瞬时值
(3) 稳态电流预测值

▲ 辅助判据：可用于实现DDX1限流器选择性动作功能，具体可包括：

(1) 稳态电流预测值
(2) 电流或电流变化率小半波过零时间跨度
(3) 基于紧密关联节点的电流方向或电流代数和

选择性动作识别模块（选配）：Is-Lock

▲ 基于紧密关联节点的电流识别技术，能准确、快速的判断出短路故障区域；
▲ 可同时向3套DDX1限流器提供使能信号（动作判据或辅助判据），使DDX1限流器选择性动作，优化限流器功能；
▲ 可进行运行电流监测、故障支路电流特征值快速预测，支持多种保护功能；响应速度快，一般＜3.0ms；
▲ 与限流器采用光纤通讯，传输信号稳定、高效；拥有开机自检、电源系统自检、光
▲ 纤链路自检等多种自检方式，保证产品可靠性；
▲ 人机界面友好，易于操作，便于观察，安装简单；
▲ 支持以太网接口及RS485通讯接口；
▲ 记录存储功能：SOE功能，故障录波功能等；
▲ 适用于多母线并联、新电源上网或两电源互联，三电源星型互联等多种工况；
▲ 填补了国内爆破式限流器可选择性跳闸的空白并达到国际先进水平。



图3-7 Is-Lock选择性动作识别模块

I_s-Lock与DDX1的连接

说明：Is-Lock通过光纤连接至高压侧控制器，此时的高压侧控制器为DKQ-3/G2型产品，具备对应的ST光纤接口，内部电路具备匹配的逻辑功能。

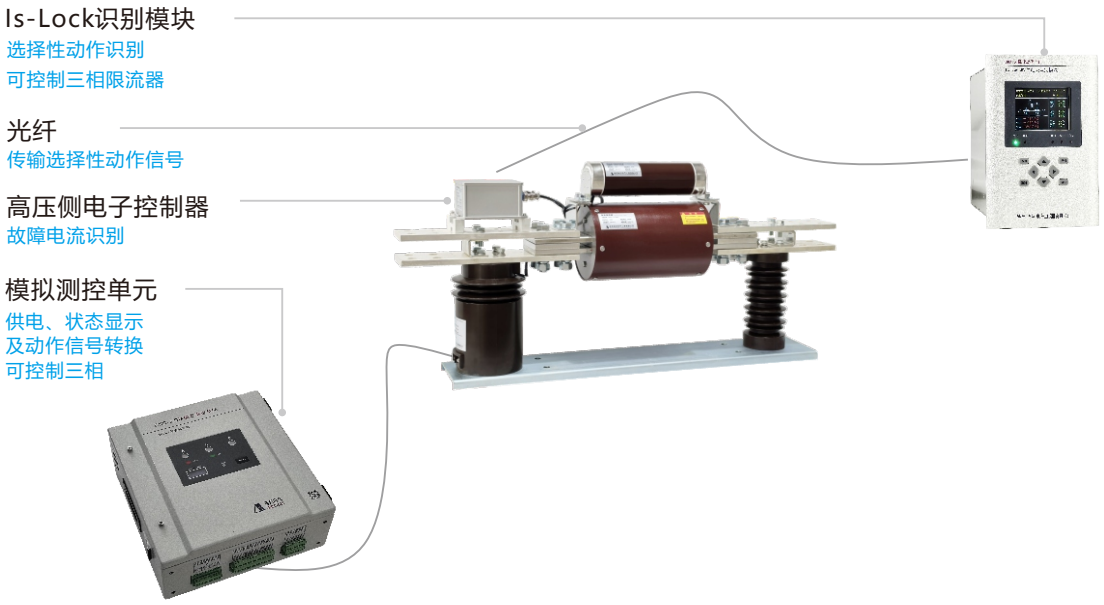


图3-8 Is-Lock选择性动作识别模块与DDX1连接示意图

4 供货方式及主要技术参数

分散布置的产品

在这种情况下，产品分为户内型和户外型，供货的设备一般包括：

---3个基座

---3组开断组件（可更换组件）：KGQ1-□及TXRW1-□

---3只高压侧电子控制器：DKQ-3/G1，常规型
DKQ-3/G2，选动型
DKQ-3/G3，直流型
DKQ-3/G4，联动型

---3只高压隔离变压器：GGB1-□

---1台模拟测控单元： DKQ-3/D1（模拟型）
DKQ-3/D2（智能型）

---连接件：配套

---专业测试工具（选配）：Is-SG100专用模拟测试仪

表4-1 DDX1技术参数（分散布置）

额定电压（kV）		12	17.5	24	36/40.5
额定电流（A）		1250-6300	1250-6300	1250-5000	1250-4000
额定绝缘水平（kV）		42/75[GB]	40/95[GB]	50/125[GB]	95/185[GB]
电网频率（Hz）		50/60			
额定短路开断能力（kA）		可达200kArms以上			
额定短时耐受电流（kA）		31.5			
耐受电流持续时间（s）		2			
峰值电流限制比率（%）		（截止电流Ic/预期峰值电流Ip）可低至20%			
全开断时间		（一般情况下）小于T/2			
控制电压（V）		AC/DC220V±10%,2A			
单相重量（kg）		80~150			
外形尺寸(mm)	A	1139-1238	1210-1238	1400-1410	1614
	B	190	190-210	248	290
	C	515.5-544.5	555.5-595.5	637.5-652.5	728.5-745.5
备注：额定绝缘水平一栏，斜线上数据为额定短时工频耐受电压，斜线下数据为额定雷电冲击耐受电压。“ [] ”内为依据的标准，GB指中国标准GB311.1，IEC指国际电工委员会标准IEC60071.1。					

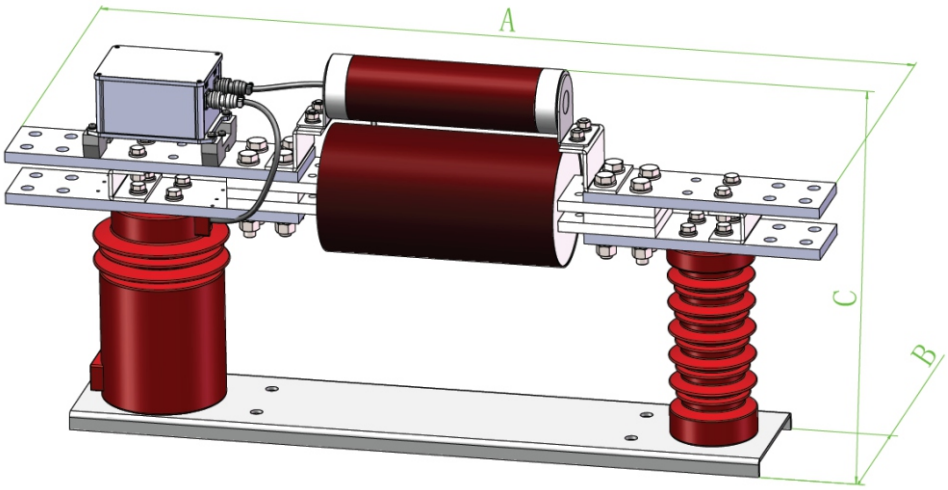
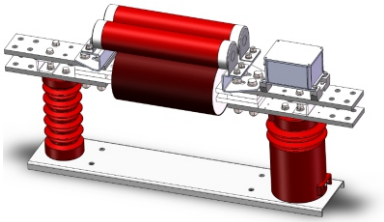


图4-1 DDX1外形尺寸图

定制型产品示例：



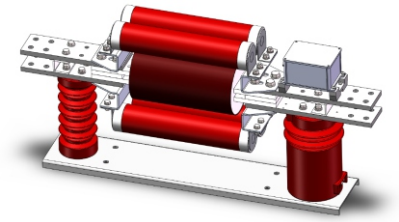


图4-2 可具有更大的短路开断能力

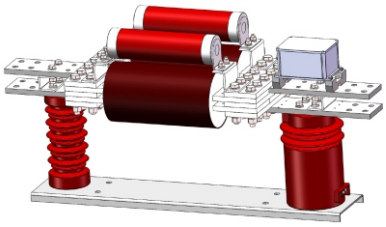


图4-3 可具有更高的额定电流

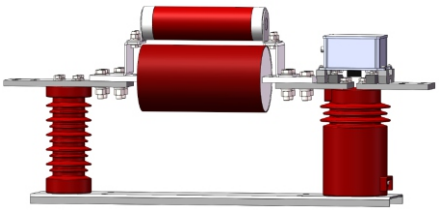


图4-4 直流型短路电流限制器（20kV/1250A）

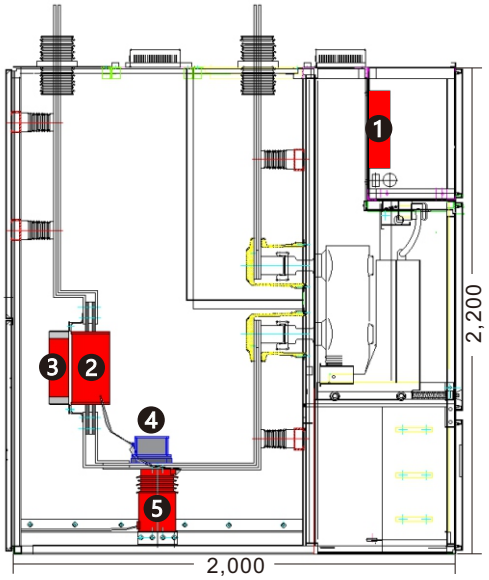
组柜产品DGXK2

DDX1限流器也可以固定安装于金属铠装开关柜内，此时不需要基座，测控单元安装于开关柜的二次仪表室或其它便利的地方，电气参数同分散布置产品。

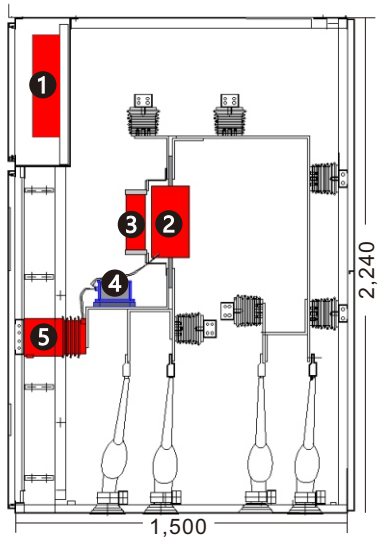
表4-2 DGXK2主要技术参数

额定电压(kV)	额定电流(A)	额定绝缘水平(kV)	典型方案的尺寸(mm)	备注
12	1250-4000 5000-6300	42/75[GB] 28/75[IEC]	1200*1500*2240	柜体尺寸仅作参考
17.5	1250-4000 5000-6300	45/95[GB] 38/95[IEC]	1200*1800*2400	
24	1250-3150 4000-5000	55/125[GB] 50/125[IEC]	1200*1800*2400	
36/40.5	1250-2500 3150-4000	95/200[GB] 70-170[IEC]	1500*2000*2400	
备注：额定绝缘水平一栏，斜线上数据为额定短时工频耐受电压，斜线下数据为额定雷电冲击耐受电压。 “ [] ”内为依据的标准，GB指中国标准GB311.1，IEC指国际电工委员会标准IEC60071.1。				

组柜示例



短路电流限制器+隔离手车或真空断路器



短路电流限制器单独成柜

1 模拟测控单元
2 快速隔离器
3 特种高压限流熔断器
4 高压电子控制器
5 隔离变压器

5 DDX1限流器的模拟测试

和其它电气装置（包括常规继电保护装置）一样，DDX1也需要按相关规程定期检测。检测可由运行人员或厂家技术人员进行。为此，我们专门开发出成套的测试工具--Is-SG100专用模拟测试仪，配套辅助材料（包括连接线及军用接插件）即可完成高压侧控制器及Is-Lock识别模块的基本功能验证。模拟检测时，微爆元件可由厂家提供专门等效的模拟替代品。

专业的测试工具

- ▲ 模拟故障电流及其变化率信号
- ▲ 动作整定值辅助校验
- ▲ 动作信号高低压侧传递测试
- ▲ 响应时间测试
- ▲ 触发回路状态检测



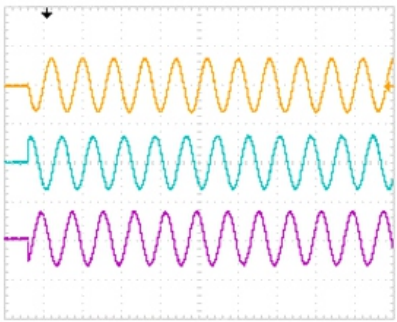


图5-1 DDX1专用模拟测试仪及其输出波形示意

6 应用领域

绿色能源



- 水力发电
- 生物质发电
- 热电联产
- 风力发电
- 余热发电
- 垃圾发电
- 光伏发电

工业领域



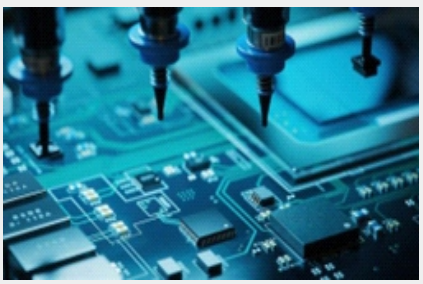
- 石油、石化
- 造纸、糖业
- 水泥
- 化工
- 钢铁、铝业
- 制造业

电力系统



- 电网公司
- 发电公司
- 电网联结

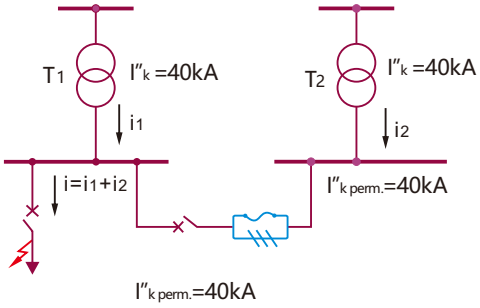
前沿科技



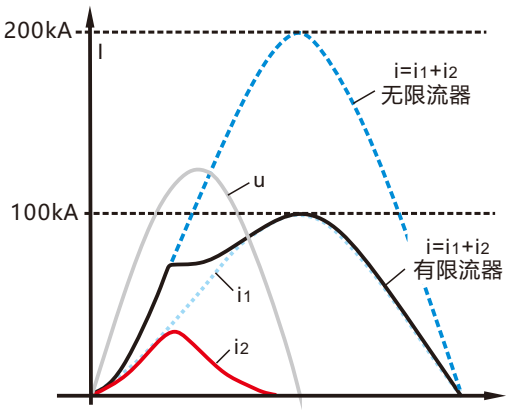
- 芯片制造
- 数据中心

7 典型应用场景

【1】使分段母线并列运行







优点如下：

（1）优化负荷分配

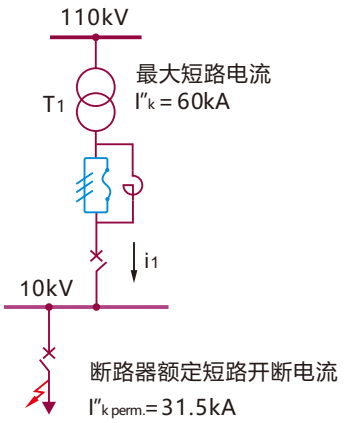
（2）降低网络阻抗

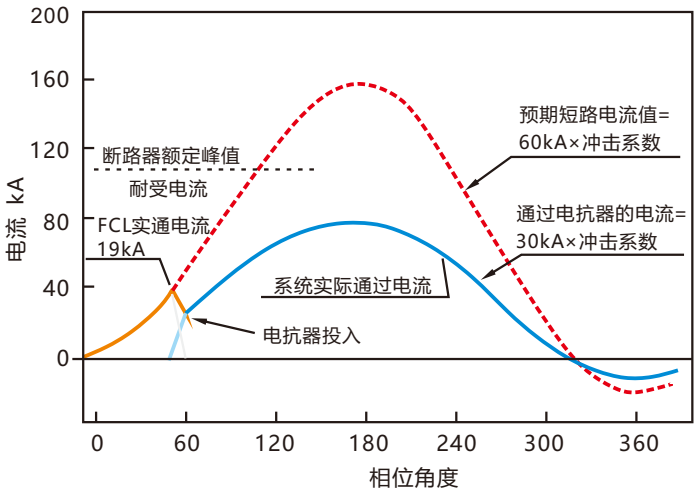
（3）提高供电质量及可靠性

（4）节能降耗

此类用法约占微爆型限流器总用量的50%

【2】旁路限流电抗器构成零损耗限流装置







优点如下：

（1）节能降耗

（2）消除电抗器无功

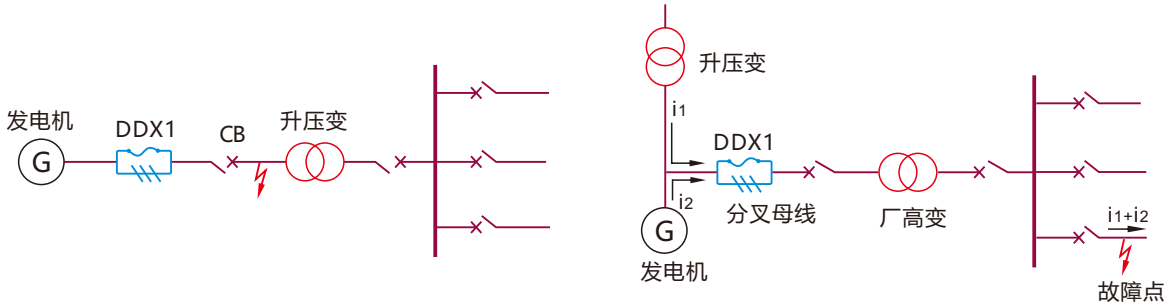
（3）提高供电质量

（4）使用方便

（5）消除电磁污染

此类用法约占微爆型限流器总用量的30%

【3】用于发电机出口或厂用电分支开断巨大短路电流



优点如下：

（1）避免采用昂贵的发电机断路器或封闭母线，节约资金投入，提高工程的性价比；

（2）把原来的死连接改善为可控制连接，增加发电系统本身运行的灵活性；

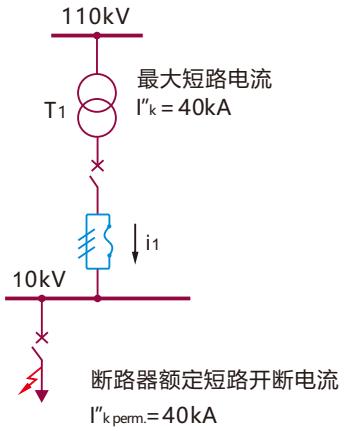
（3）无需担忧短路电流中直流分量过大，断路器不能可靠开断的问题；

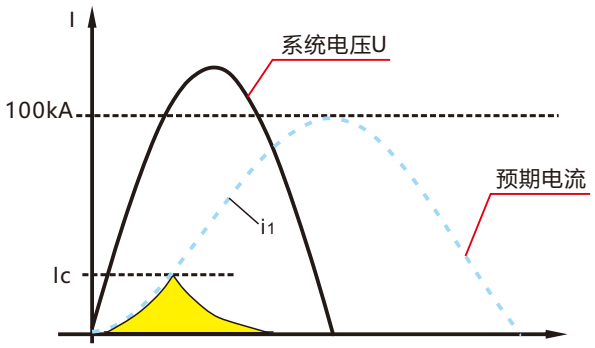
（4）快速限流开断，为发电机组提供更有效的保护；

（5）中小型机组或新能源接入电网，采用微爆型限流器可以避免因短路电流增加而带来的困扰，避免因新电源的接入而需要对原电网进行大规模改造，节约工程费用。



【4】用于保护“体弱”的电力设备





限流器加装前后的故障电流波形

备注：主变 T_1 抗短路能力不足

优点如下：

可避免“体弱”的电力主设备受到超出自身抵抗能力的短路电流的冲击，避免更换主设备，节约工程费用，节约工期。

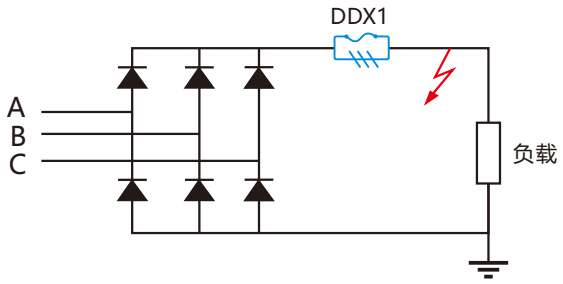


【5】用作大功率直流电路的后备短路保护装置

特别提醒：此时的DDX1产品需要专门定制，因为当DDX1用于直流系统的快速保护时，电流传感器将采用外置的分流器，高压侧电子控制器内部的检测电路也会随之变化。

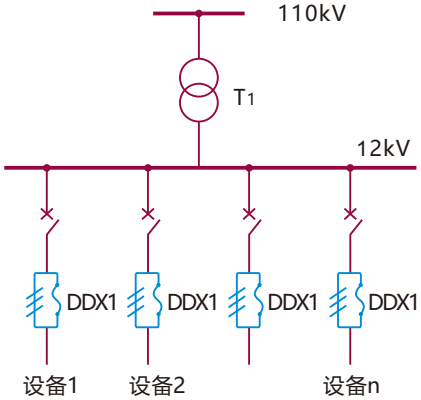


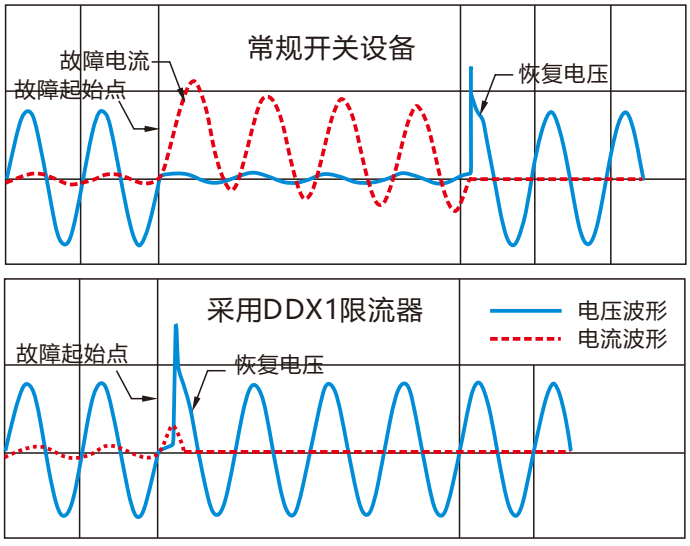




【6】改善电能质量

应用于对电能质量有特殊要求的场合（比如芯片制造企业、数据中心，等等），使母线电压质量基本不受短路期间电压跌落的影响，比如有的用户要求在短路过程中供电系统电压降落时间小于20ms ,否则会对其工业生产造成重大损失。下图中任意设备所在的馈线发生短路故障时，是否采用DDX1限流器对母线电压跌落的影响是显而易见的。





8 选择性动作

在DDX1限流器的实际工程应用中，比如多段母线并列的母联位置、新电源上网或两电源互联、三电源星型互联等都有可能存在动作选择性的要求。Is-Lock故障电流辨识模块基于专利技术，对配电网络中限流器的紧密关联节点各支路电流方向及量值做出快速分析，为DDX1限流器提供准确可靠的选择性使能信号，使DDX1限流器具备选择性动作的功能，此项技术使特殊配电系统中微爆型限流器的控制策略从普通的过流脱扣提升至选择性动作，可优化该类限流器对配电系统的短路保护效果并显著降低运行维护成本。

【1】 应用于三段母线并列的母联位置

如图所示，3台主变通过2套DDX1限流器实现并列运行。选择节点2为紧密关联节点，仅需配置1台Is-Lock模块便可实现如下功能：

（1）在节点1区域发生故障仅动作DDX1-1；

（2）在节点2区域发生故障动作DDX1-1及DDX1-2；

（3）在节点3区域发生故障仅动作DDX1-2。

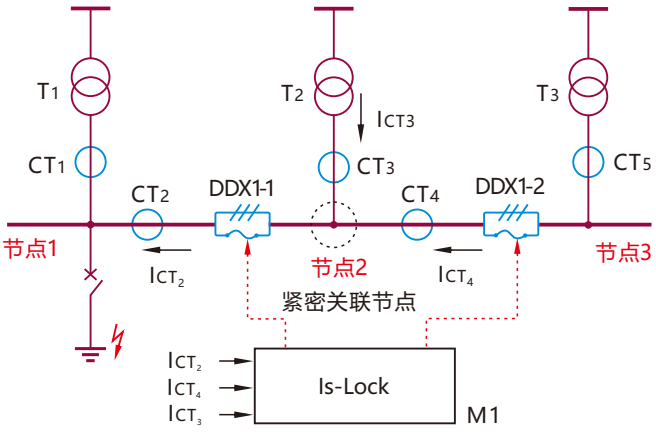


图8-1 Is-Lock与DDX1配合使用应用于三段母线并列的母联位置示意图

【2】应用于四段及以上母线并列的母联位置

下图为4台主变通过3套DDX1限流器实现并列运行。选择节点2和节点3为紧密关联节点，DDX1-2为其公共限流器支路。节点2是Is-Lock模块1的紧密关联节点，节点3是Is-Lock模块2的紧密关联节点，即仅需配置2套Is-Lock模块，实现如下功能：

（1）节点1区域发生故障仅动作DDX1-1；
（2）在节点2区域发生故障动作DDX1-1及DDX1-2；
（3）在节点3区域发生故障动作DDX1-2及DDX1-3；
（4）在节点4区域发生故障仅动作DDX1-3。

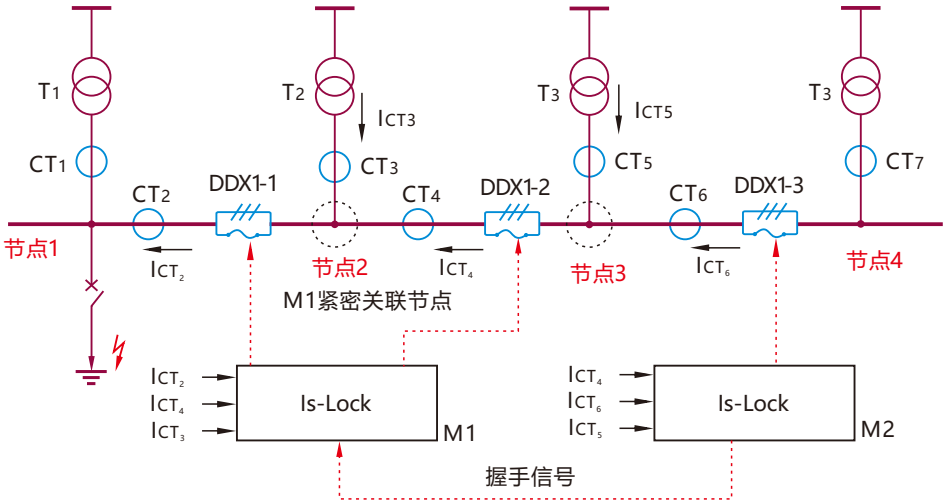


图8-2 Is-Lock与DDX1配合使用应用于四段及以上母线并列的母联位置示意图

以此类推，更多母线的并列运行可以通过更多模块的组合使用来满足整个系统对限流器动作选择性的要求，对并列母线的数量没有限制。

【3】 应用于新电源上网或两电源的互联

下图中，A区为一期电源系统，系统总短路电流为25kA，所有馈线断路器开断能力为31.5kA。现因生产需要，欲增设二期工程B区，二期工程总短路电流合计10kA，所有馈线断路器开断能力为40kA。为保证电压质量和供电的可靠性，一期、二期需并网运行。显然，并网后一期所有断路器开断能力不足，无法正常使用。为了解决此问题，可在母联位置加装短路电流限制器DDX1，通过Is-lock与DDX1的配合，使DDX1拥有选择性动作功能，实现若一期发生短路故障，DDX1快速开断将系统解列，但若二期发生短路时，则DDX1不动作。同理，小型发电机组上网的情况与此类似。图中可选择节点2或节点1作为紧密关联节点。配置1套Is-Lock模块来实现上述选择性动作的要求。

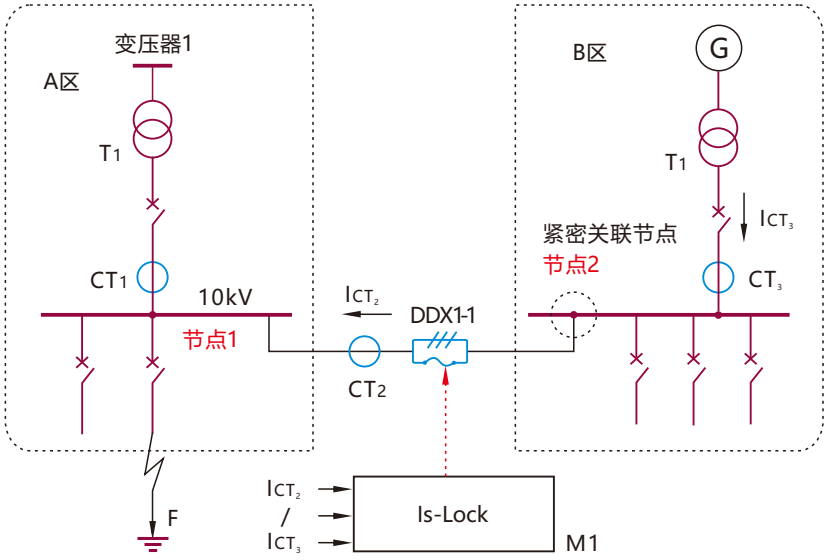


图8-3 Is-Lock与DDX1配合使用应用于新电源上网或两电源的互联示意图

【4】应用于三电源星型互联

如下图所示，三个区域电网通过3套DDX1限流器互联，选择节点1作为紧密关联节点，配置1台Is-Lock模块，实现如下功能：

（1）系统1发生短路故障仅DDX1-1动作；

（2）系统2发生短路故障仅DDX1-2动作；

（3）系统3发生短路故障仅DDX1-3动作；

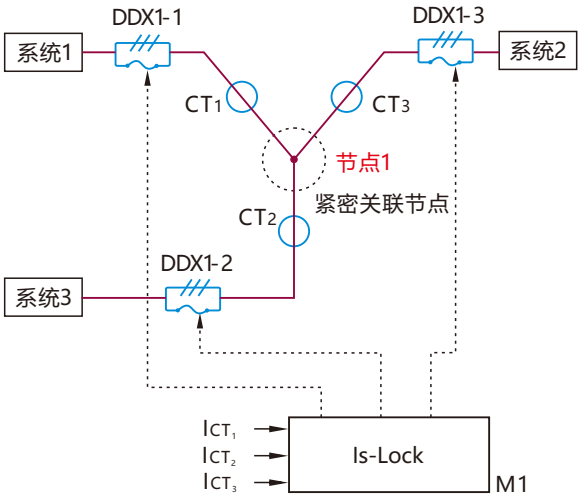


图8-4 Is-Lock与DDX1配合使用应用于三电源星型互联示意图

9 售前及售后技术服务

- ▲ 技术沟通及咨询
- ▲ 现场考察
- ▲ 限流策略评估
- ▲ 安装调试指导
- ▲ 限流器技术培训
- ▲ 产品运维服务
- ▲ 产品能升级服务





温馨提示：

（1） 用户应按照相关规程对产品进行维护，维护周期3-5年。

（2） 我们不能期望所有用户都成为限流器技术专家，您只需要放心将相关工作交给我们。

（3） 由于产品升级等原因，本说明书可能会发生局部变化，恕不另行通知。

陕西蓝河电气工程有限公司

SHAANXI LANHE ELECTRIC ENGINEERING CO.,LTD.

地址：中国 陕西 西安 高新区 西部大道190号

电话：029-84251056

传真：029-84251056

E-mail：info@lanhecn.com

网站：www.sxlhdq.com

Copyright © 陕西蓝河电气工程有限公司