

# 基于邻域信息的3/2接线按串配置断路器保护方案及实现方法

陈永昕<sup>1</sup>,尹项根<sup>1</sup>,张哲<sup>1</sup>,杨凡<sup>2</sup>,曹文斌<sup>1</sup>,习伟<sup>3</sup>

(1. 华中科技大学 强电磁工程与新技术国家重点实验室,湖北 武汉 430074;

2. 中国南方电网电力调度控制中心,广东 广州 510000;3. 南方电网科学研究院有限公司,广东 广州 510080)

**摘要:**根据超高压系统3/2接线变电站结构特点,提出基于邻域信息的按串配置断路器保护方案及其实现方法,提升近后备保护的选择性、速动性和可靠性。按串配置断路器保护方案包括3种优化策略:消除死区的断路器分合优化策略、中断路器重合闸的自适应策略、基于运行方式的在线辨识控制策略。进而从站域保护和就地化保护2个角度提出实现方法,并通过仿真分析验证了可行性和有效性。所提方案利用信息共享技术克服传统断路器保护的缺陷,为提升交直流混联电网安全稳定运行提供新的思路。

**关键词:**3/2接线;断路器保护;邻域信息;站域保护;就地化保护

**中图分类号:**TM 77

**文献标志码:**A

**DOI:**10.16081/j.epae.201912012

## 0 引言

随着中国西电东送工程的大力开展,超高压直流输电技术因其技术优势被重点应用于区域电网的互联<sup>[1-2]</sup>,在混联电网中,交流系统短路故障等扰动若不能及时被隔离,可能造成直流系统换相失败、紧急停运等严重后果<sup>[3]</sup>。交流故障发生时,断路器拒动将对系统稳定带来极大的影响,对于超高压变电站广泛应用的3/2接线,由于其特殊的接线结构,断路器保护的配置较为复杂,传统保护仅利用本地信息进行判别,存在二次接线复杂、对运行工况自适应差等问题,动作时间可能达到400 ms以上,在“强直弱交”电网及现有直流控制保护技术条件下,不满足交流故障切除速度要求,因此断路器保护方案的改善和优化迫在眉睫<sup>[4]</sup>。

对于断路器死区保护的优化,根据设计原则3/2接线中1串可装设4组电流互感器,在能满足保护和测量要求的条件下也可装设3组电流互感器<sup>[5]</sup>,其中装设3组电流互感器时死区数量最多,文献[6]对于3/2接线提出一种双重化站域失灵保护,替代原有失灵保护及切除开关死区故障的方法,但该方法仅提高死区故障的切除速度,没有考虑故障切除范围扩大的问题。文献[7]提出了失灵及死区保护动作延时的优化方案,改进保护逻辑,但其对设备要求较高,不利于工程实现。还有通过增加电流互感器

(TA)配置的方法消除保护死区,但对已有工程改造难度较大,不具普适性。对于断路器重合闸功能,文献[8]指出线变串开关重合闸方式和时限设定不应一成不变,在特殊情况下可能产生过激磁和故障电流穿越等风险,但并未进一步提出解决方案。

本文针对3/2接线提出基于邻域信息的按串配置断路器保护方案,通过每串内部和串与串之间的信息交互及功能配合,实现3种优化策略:消除死区的断路器分合优化策略、中断路器重合闸的自适应策略、基于运行方式的在线辨识控制策略,利用邻域信息提升断路器保护的选择性、速动性和可靠性。该保护方案可以依托智能变电站站域保护实现,随着层次化保护技术的不断发展,站域保护已成为一种克服传统保护缺陷的良好途径<sup>[9-10]</sup>。同时,国内目前已开展了保护装置就地化研究,并进行了成功应用,本文同样提出按串配置断路器保护就地化实现方法,达到降低运行维护难度、提高保护速动性和可靠性的目的。

## 1 断路器保护按串配置思路及优势

3/2接线是指3台断路器串联,接于2条母线,每2台断路器之间引出1条线路,可能连接负荷或变压器,每条线路占1.5台断路器,这样的3台断路器形成1个串。基于邻域信息的按串配置断路器保护方案打破传统以单台断路器为间隔的划分,根据3/2接线特点,将1个串视作1个间隔,在每串内部进行信息融合,并增加必要的外部设置信息,例如各串的出线情况(是否连接变压器)和断路器的检修状态等,通过邻域信息改进断路器保护,同时利用串与串之间的信息交互,完成断路器保护与其他保护的功能配合,形成一套优化的断路器保护方案。

收稿日期:2019-03-21;修回日期:2019-10-17

基金项目:国家自然科学基金面上项目(50877031);南方电网公司科技项目(ZBKJXM20190044)

Project supported by the General Program of National Natural Science Foundation of China(50877031) and the Science and Technology Project of China Southern Power Grid(ZBKJXM-20190044)

在保护构建方面,基于邻域信息的按串配置断路器保护方案从硬件配置上可以简化二次系统,从软件设计上可以简化保护间的整定配合。在传统保护中,由于未将信息进行集成,造成电流互感器等设备的重复配置,二次系统接线复杂,增加了保护系统的硬件配置和运行维护的难度,且设备成本较高。在按串配置断路器保护中,利用信息共享技术,避免不必要的硬件配置,降低投资成本<sup>[11]</sup>。另外,传统保护中依靠时间整定完成保护配合,使得整定复杂且影响速动性,按串配置断路器保护则可以通过丰富的邻域信息进行决策,降低保护对时间配合的依赖,简化软件设计,有助于保护灵活构建。

## 2 断路器保护优化策略

### 2.1 消除死区的断路器分合优化策略

以死区数量最多的3组电流互感器(3TA)配置接线方式为例,其死区分布如图1所示。现有的3/2接线断路器保护中利用失灵保护实现死区保护,比较断路器失灵和死区故障的保护结果,其区别在于相应断路器的开合状态,当断路器失灵时,对应的断路器是闭合的,而当死区故障时,断路器是断开的。故在基于邻域信息的按串配置断路器保护方案中,通过增加断路器的辅助接点状态量信息,可以区分断路器失灵和死区故障,加快死区故障切除速度,并解决利用失灵保护实现死区保护所带来的故障停电范围扩大的问题<sup>[12]</sup>。

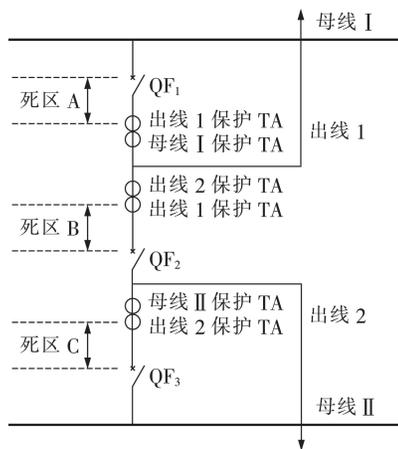


图1 3/2接线3TA配置下的死区分布图

Fig.1 Distribution of dead zones in 3TA configuration mode of 3/2 connection mode

当判断结果为断路器失灵时,维持原有的失灵保护跳闸动作,即切掉相邻断路器,并记录断路器编号,作为检修工作的依据。当失灵断路器的辅助接点反馈状态信息判断为死区故障时,则取消原有延时确认时间,需动作断路器均采用并行计时切除故障,提升保护的速动性。此时故障切除范围扩大,再按照预设逻辑对误切元件进行合闸,从而使故障范

围外的线路恢复正常供电。以1个串为例,不同死区故障需合闸元件如表1所示。

表1 不同死区故障需合闸元件

Table 1 Reclosing elements of different dead zone faults

故障区域	保护动作断路器	误停电范围	合闸元件
死区 A	母线 I 侧所有断路器、 $QF_2$ 及出线 1 断路器	母线 I	母线 I 侧除 $QF_1$ 外所有断路器
死区 B	$QF_1$ 、 $QF_2$ 、 $QF_3$ 、 出线 1 及 2 断路器	出线 2	$QF_3$ 及出线 2 断路器
死区 C	母线 II 侧所有断路器、 $QF_2$ 及出线 2 断路器	母线 II	母线 II 侧除 $QF_3$ 外所有断路器

由于断路器的辅助接点信号可能出现错误,导致将断路器失灵故障误判为死区故障,那么合闸可能导致故障对系统的二次冲击,故采用分阶段合闸设计减小状态信息错误带来的危害,即先合闸故障电流小的断路器,若合闸后电流高于门槛值,则加速切除断路器并提示保护子单元信息错误,其动作逻辑图如图2所示。此外,还可启动多级失灵保护,以应对死区故障和断路器失灵同时发生的情况。

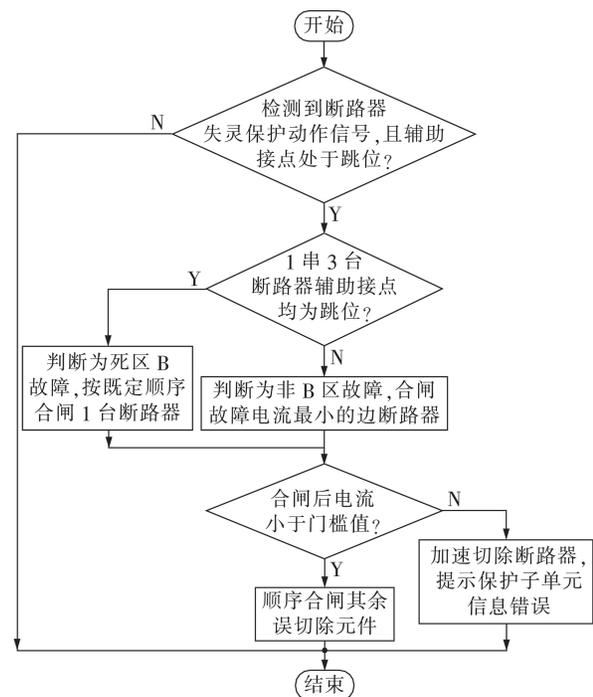


图2 消除死区的断路器分合优化策略逻辑图

Fig.2 Logic diagram of dead zone fault isolation optimization strategy

### 2.2 中断路器重合闸的自适应策略

为易于维护和检修,3/2接线的输电线路重合闸功能通常由断路器保护实现(线路保护自带的重合闸功能停用)。一般情况下,断路器重合闸功能仅对架空线路开放而对变压器闭锁<sup>[13]</sup>。在传统保护中,对于1个串上2条出线分别连接变压器和架空线路的线路-变压器串情况,中断路器难以根据故障元件

的不同调整保护策略。

基于邻域信息的按串配置断路器保护将串内信息融合,根据现场情况设置出线信息,针对不同出线情况提出中断路器重合闸的自适应调整策略,在线路-变压器串发生故障时,可根据邻域保护动作信息判断是否为架空线路故障,以此来选择中断路器应是否开放重合闸功能,其动作逻辑图如图 3 所示。

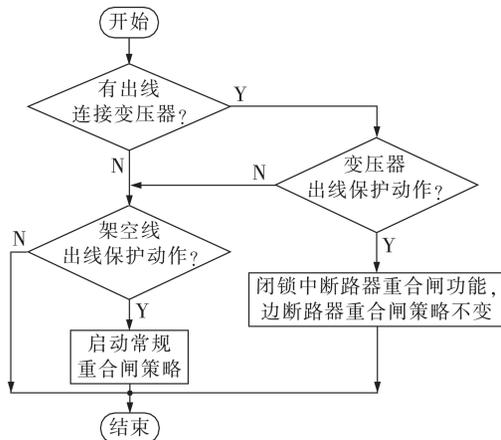


图 3 中断路器重合闸的自适应策略逻辑图

Fig.3 Logic diagram of adaptive reclosing strategy of middle breaker

### 2.3 基于运行方式的在线辨识控制策略

3/2 接线方式下运行方式灵活,主要有正常运行方式、断路器检修运行方式、线路停电断路器成串运行方式、母线停电运行方式 4 种,具体如附录 A 中的图 A1 所示。利用邻域信息能在线辨识系统运行状态,根据不同运行状态调整保护策略。

融合串内断路器检修状态、各电流互感器测量值和母线电压等信息,可通过检修状态信息判断断路器检修情况;通过线路两侧电流互感器测量值是否相等判断线路停电情况,若相等则表明出线停电;若电流互感器测量值不为 0 则表明断路器保持成串运行;通过母线是否失压判断母线停电情况,若母线失压则母线停电。值得注意的是,上述并非各运行状态的唯一判据,例如可根据母线所连接断路器状态量全部为断开判定母线停电,将多种判别依据集成进行综合判断可提高运行状态在线判别的可靠性。

对于边断路器检修状态,中断路器经设定延时后自动合闸,不再等待边断路器合闸信号,提高保护的速动性。母线停电状态与边断路器检修状态类似,由于边断路器无法发出合闸信号而需加速中断路器的合闸动作,但两者的不同在于断路器检修仅对与之相关的 1 个串有较大影响,母线停电对 3/2 接线所有串均有影响,故判断出母线停电状态后需对全站中断路器重合闸延时进行调整。

## 3 站域断路器保护实现方法

利用站域保护构建思路实现基于邻域信息的按串配置断路器保护,可以采用一种分布+集中式的保护结构,为每一串配置断路器保护子单元,1 串内 3 台断路器的各项保护功能均由 1 台保护装置实现,同时配置 1 个整站中心单元,负责从宏观上统筹各串的信息交互和功能配合,并与广域保护协作。按串配置的站域断路器保护结构示意图如附录 B 中的图 B1 所示。

### 3.1 站域实现方法信息配置

对于每串保护子单元,需要输入:各串本身的电压互感器、电流互感器所测量的电压及电流值;保护动作信号;各断路器的状态量(开合状态);各串的出线情况(是否连接变压器);各断路器的检修状态等信息。且采用可靠性高的直采直跳方案,以点对点的方式直接将信息传输至保护控制器,同样以点对点的方式向断路器发送跳闸命令,避免交换机可能引起的采样和跳闸信息不确定性延迟,保证了子单元保护的速动性。

对于整站中心单元,除了接收每串保护控制器的各项信息外,还需输入:母线的电压互感器所测量的电压值;故障串序号(实现中心单元作为冗余配置的投入);保护动作信息;全站拓扑结构。整站范畴内可以考虑运用网采网跳的组网方案,采样网组网能够实现全站数据的共享,面向通用对象的变电站事件(GOOSE)网组网能够实现网络跳闸,简化二次回路,符合变电站自动化发展方向,也满足智能变电站组网的要求。

### 3.2 站域实现方法功能配置

按串配置的站域断路器保护子单元向整站中心单元发送所需的相关信息,如断路器失灵信息、保护子单元故障或退出运行信息、运行方式信息等,并承担本串各断路器保护功能,包括失灵保护、三相不一致保护、充电保护、死区保护和自动重合闸,见图 4。

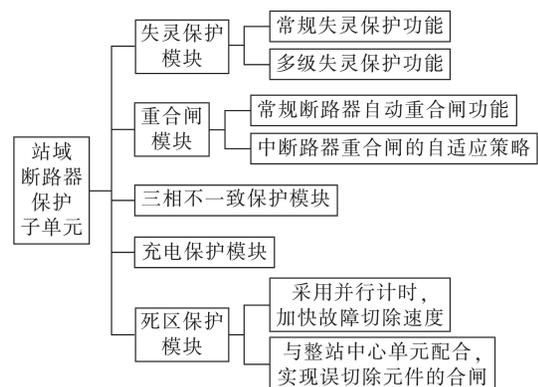


图 4 保护子单元软件模块示意图

Fig.4 Schematic diagram of protection subelement software module

其中失灵保护、三相不一致保护和充电保护可沿用传统保护策略,仅对 3 台断路器的信息和功能进行简单的集成;失灵保护模块除正常失灵保护功能外,还添加多级失灵保护功能以应对死区故障和断路器失灵故障同时发生的情况;死区保护模块可加快故障切除速度,由整站中心单元基于保护结果和相关电气量信息实现误切除元件的恢复供电。

站域保护的整站中心单元配置 1 套与保护子单元完全相同的保护功能,作为每一串断路器保护子单元的冗余配置,当保护子单元故障需要退出运行时,中心单元代其实现保护功能。同时通过各串断路器保护子单元的信息共享和配合,实施保护优化策略,并与广域保护进行协调配合,传输相关信息量,执行广域保护跳闸决策。整站中心单元中站域断路器保护配置如图 5 所示,其中死区故障优化模块实现误切除元件合闸,限制死区故障切除范围;运行方式在线辨识模块主要用于确定各串运行方式,并根据辨识结果控制保护策略。

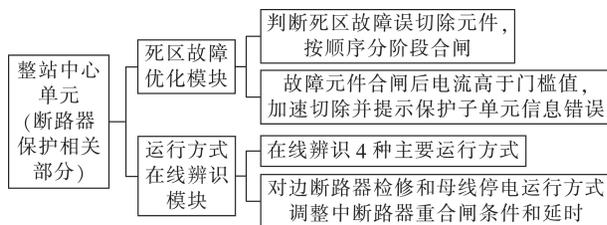


图 5 整站中心单元软件模块示意图

Fig.5 Schematic diagram of central protection unit software module

## 4 就地化实现方法

现有的智能变电站站域保护在全站范围充分进行信息采集和共享,使保护采样、跳闸环节增多,各保护的独立性降低<sup>[14]</sup>;同时,新型智能电子设备的应用也使现场建设安装方式发生了较大变化,配置调试时间长,运维检修难度大。针对上述问题,国内众多继电保护专家提出了研发高可靠性就地化小型化继电保护装置的思路,采用就地化装置,简化二次回路,降低安装维护难度,避免长电缆带来的电流互感器饱和、多点接地、分布式电容放电等问题,提高保护可靠性。

### 4.1 就地化实现方法环网配置结构

应用就地化思路实现基于邻域信息的按串配置断路器保护,在保证断路器保护性能优化的基础上,可避免信息大范围集中,特别是融合多串不同侧信息,信息采集线路过长,违背就地化配置原则。故就地化实现方法中不设置整站中心单元,死区故障优化和运行方式在线辨识等功能不再基于全站信息集中决策,而尽量依赖 1 串内部信息融合,与相关保护配合,实现优化策略。

由于环网报文的延时是可以测量计算的,再利用补偿技术,能较好地保证各采样值的同步性<sup>[15]</sup>,故保护就地化实现方法中多使用环网模式传输信号,不同于站域断路器保护实现方法,就地化断路器保护为每台断路器配置 1 台独立的保护子机,在每串断路器内部由 3 台保护子机构成一类环网,各母线母差保护与其相邻边断路器保护子机构成另一类环网,并在其中配置 1 台环网主机,如附录 C 中的图 C1 所示。2 类环网均各采用 1 对光纤连接各台装置,组成 2 组独立的光纤环网,互为冗余备用。

### 4.2 就地化实现方法功能分配

对于 1 个串上 3 台断路器保护子机采用基于环网的无主分布式保护方案,保护功能分布到各子机独立完成,各子机采集本断路器相关的信号量和状态量,并上送环网,同时从环网上实时获取其他子机的数据,由此完成断路器保护各项基本功能,包括失灵保护、三相不一致保护、充电保护、死区保护和自动重合闸,其中中断路器重合闸的自适应策略可完全基于中断路器保护子机实现。

由于消除死区的断路器分合优化策略和基于运行方式的在线辨识控制策略都涉及多串断路器,且需要与母差保护相配合,故将每条母线的母差保护及其相邻边断路器保护子机连接,并在环网中单独安放不面向任一间隔的装置作为环网主机,负责保护逻辑的计算和与后台通信,其余边断路器保护子机及母差保护只负责采集信息和执行主机的指令。环网主机通过接收本环网内各信号量和状态量即可实现消除死区的断路器分合优化策略,并能辨识出边断路器检修和母线停电运行方式,但若由此调整中断路器重合闸延时,则需采用基于高可靠无缝冗余(HSR)的分布式环网<sup>[16]</sup>,形成多层的分群结构,使信息可以由环网主机转发至中断路器保护子机,也可直接采用点对点模式传输信息,但 2 种方法均增大建设和维护难度。

在此基础上,环网主机通过保护专网与管理单元及远动后台通信。监控主机、数据网关机或智能远动机等站控层设备,通过隔离交换机接入保护专网,隔离交换机隔离保护专网上的 SV、GOOSE 报文,站控层设备只订阅主机信息。即使在管理单元设备异常的情况下,环网主机依旧能上送数据。

## 5 仿真示例

以死区 A 故障作为仿真示例进行仿真,重点叙述故障隔离与误切除元件合闸的实现过程。根据按串配置的断路器保护结构建立如附录 D 中图 D1 所示的仿真模型,设有 4 个完整串和 1 个不完整串,为增强其代表性,除预设故障串外,其余 3 个完整串分别为线路-变压器串、变压器-变压器串、线路-线路

串。故障点设置在第1串的死区A(即电流互感器与断路器之间),故障类型为三相接地短路,故障时刻为1 s,30 ms后母差保护动作,失灵保护动作时刻为1.18 s,故障电流最小误切除断路器的合闸时刻为1.25 s,其余误切除断路器的合闸时刻为1.35 s。

本仿真示例涉及到的断路器为图D1中的串I至串V的边断路器 $QF_{11}$ 、 $QF_{21}$ 、 $QF_{31}$ 、 $QF_{41}$ 和 $QF_{51}$ ,及串I中断路器 $QF_{12}$ 和出线1断路器 $QF_{111}$ 。三相短路故障点在 $QF_{11}$ 和母线I保护电流互感器 $TA_1$ 之间。仿真结果如表2所示。

表2 不同死区故障需合闸元件

Table 2 Reclosing elements of different dead zone faults

断路器	分合闸情况				
	1 s	1.03 s	1.18 s	1.25 s	1.35 s
$QF_{11}$	合	开	开	开	开
$QF_{12}$	合	合	开	开	开
$QF_{111}$	合	合	开	开	开
$QF_{21}$	合	开	开	合	合
$QF_{31}$	合	开	开	开	开
$QF_{41}$	合	开	开	开	合
$QF_{51}$	合	开	开	开	合

由仿真结果对应消除死区的断路器分合优化策略的各个步骤:

(1)初始化全部断路器闭合,正常运行至1 s,故障发生,1.03 s时母线I母差保护动作,切除断路器 $QF_{11}$ 、 $QF_{21}$ 、 $QF_{31}$ 、 $QF_{41}$ 和 $QF_{51}$ ,并记录下跳闸前各被切除断路器的电流值;

(2)此时 $TA_1$ 依然能检测到短路电流,同时通过辅助节点检测断路器 $QF_{11}$ 为断开状态,故可以判断本次故障为死区故障,采用并行计时切除串I中断路器 $QF_{12}$ 和出线1断路器 $QF_{111}$ ,1.18 s故障完全被隔离;

(3)根据记录的各被切边断路器的故障电流大小,在1.25 s时合闸故障电流最小的断路器 $QF_{21}$ ,检测断路器 $QF_{21}$ 的电流,小于门槛值,继续其余误切除断路器的合闸工作,1.35 s时断路器 $QF_{31}$ 、 $QF_{41}$ 和 $QF_{51}$ 合闸成功,母线I恢复正常供电。

在此过程中,消除死区的断路器分合优化策略不仅加速了死区故障切除速度,还将故障范围限制到最小,仿真结果与理论相符合,且适用于工程应用实际。

## 6 结论

本文结合3/2接线方式的结构特点以及信息共享的技术优势,提出基于邻域信息的按串配置断路器保护及实现方法,以串为新的间隔单位,融合与保护密切相关的邻域信息,实现保护优化策略,简化二次回路,增强保护对运行工况的自适应性,提升超高压系统近后备保护的选择性、速动性和可靠性。

3种保护优化策略包括:

(1)消除死区的断路器分合优化策略,即判断出死区故障后加速保护动作,最短时间内隔离故障,通过预设逻辑合闸误切除元件,限制故障范围;

(2)中断路器重合闸的自适应策略,即通过各串出线信息和保护动作信息,灵活调整中断路器重合闸策略,同时满足线路和变压器的重合闸要求;

(3)基于运行方式的在线辨识控制策略,即在线辨别4种运行方式,并对断路器检修和母线停电运行方式提出加速中断路器重合闸控制策略。

仿真验证结果表明3种断路器保护优化策略都能够提升保护性能。

从站域保护和就地化保护2个方向提出保护优化策略的实现方法,从构建模式、功能配置及信息传输方法等方面进行论述,以适应不同的需求。对于站域实现方法,提出按串分布+整站集中方式,利用智能变电站信息共享技术基础,为智能变电站层次化保护构建提供技术支撑;就地化实现方法不仅满足就地化装置配置要求,还考虑了结合就地化保护专网的通信模式,以衔接就地化保护与站域、广域保护的发展和应。

附录见本刊网络版(<http://www.epae.cn>)。

## 参考文献:

- [1] 肖浩,朱佳,李银红,等.多馈入直流系统换相失败免疫水平快速确定方法研究[J].中国电机工程学报,2015,35(11):2711-2717.  
XIAO Hao,ZHU Jia,LI Yinhong,et al. Study on rapid determination method of commutation failure immunity levels for multi-infeed HVDC transmission systems[J]. Proceedings of the CSEE,2015,35(11):2711-2717.
- [2] 赵腾,张焰,叶冠豪,等.多回特高压直流分层馈入模式下交直流混联系统的稳态特性分析[J].电力自动化设备,2016,36(8):157-164.  
ZHAO Teng,ZHANG Yan,YE Guanhao,et al. Steady-state characteristics analysis for AC-DC hybrid system in hierarchical-infeed mode of multi-loop UHVDC[J]. Electric Power Automation Equipment,2016,36(8):157-164.
- [3] 陈国平,王德林,裴榆涛,等.继电保护面临的挑战与展望[J].电力系统自动化,2017,41(16):1-11,26.  
CHEN Guoping,WANG Delin,QIU Yutao,et al. Challenges and development prospects of relay protection technology[J]. Automation of Electric Power Systems,2017,41(16):1-11,26.
- [4] 姜自强,刘建勇.南阳特高压断路器失灵保护的研究[J].电力系统保护与控制,2015,43(12):117-122.  
JIANG Ziqiang,LIU Jianyong. Study on Nanyang substation of UHV circuit breaker failure protection[J]. Power System Protection and Control,2015,43(12):117-122.
- [5] 弋东方.电力工程电气设计手册[M].北京:中国电力出版社,1989:56-57.
- [6] 鲁东海,宗柳,娄悦,等.500 kV仲洋变电站失灵保护技术方案与实现[J].电力勘测设计,2018(9):40-45.  
LU Donghai,ZONG Liu,LOU Yue,et al. Technical solution and implementation of substation area breaker failure protec-

- tion for 500 kV Zhongyang Substation[J]. Electric Power Survey & Design, 2018(9):40-45.
- [7] 余江,周红阳,陈朝晖,等. 计及系统稳定需求的500 kV断路器失灵及死区保护优化[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(2): 142-146.  
YU Jiang, ZHOU Hongyang, CHEN Zhaohui, et al. Improvement of 500 kV breaker failure and dead-zone prevention based on requirement on stability of grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(2):142-146.
- [8] 曹钟. 3/2接线特殊运行方式下线变串自动重合闸配合分析[J]. 陕西电力, 2009, 37(8):59-62.  
CAO Zhong. Analysis on coordination of automatic reclosing in line-transformer strings with 3/2 connection[J]. Shaanxi Electric Power, 2009, 37(8):59-62.
- [9] BO Zhiqian, LIN Xiangning, WANG Qingping, et al. Developments of power system protection and control[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1):1-8.
- [10] 魏繁荣,马啸,林湘宁,等. 应对不可预知型短路电流超标的主动响应型站域保护策略[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(2): 484-496, 679.  
WEI Fanrong, MA Xiao, LIN Xiangning, et al. Strategy on the active response substation integrated protection for dealing with the unpredictable excessive short-circuit current[J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(2):484-496, 679.
- [11] 王增超,谢锦莹,陈钟钟,等. 智能变电站站域保护构建模式[J]. 电力系统及其自动化学报, 2019, 31(8):73-78.  
WANG Zengchao, XIE Jinying, CHEN Zhongzhong, et al. Construction model of substation station-area protection [J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2019, 31(8):73-78.
- [12] 杨凡,李伟,尹项根,等. 一种3/2接线死区故障隔离与误切元件快速恢复方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 37-42.  
YANG Fan, LI Wei, YIN Xianggen, et al. A method for dead zone fault isolation and fast recovery of error cutting element under the existing 3/2 connection mode[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20):37-42.
- [13] 路改强,刘敏. 浅析500 kV系统中3/2接线方式线路重合闸[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(23):141-144.  
LU Gaiqiang, LIU Min. Analysis of 3/2 connection mode line reclosing in 500 kV system[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(23):141-144.
- [14] 郑玉平,吴通华,戴魏,等. 变电站二次设备就地化系统网络架构探讨[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(16):20-26.  
ZHENG Yuping, WU Tonghua, DAI Wei, et al. Discussion on network architecture of outdoor installation protection system in substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16):20-26.
- [15] 陈福锋,俞春林,张尧,等. 变电站继电保护就地化整体解决方案研究[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(10):204-210.  
CHEN Fufeng, YU Chunlin, ZHANG Yao, et al. Research on integrated solution of on-site substation relay protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(10):204-210.
- [16] 冯学敏. 智能变电站就地化保护配置方案研究[J]. 科技创新与应用, 2016(32):48-49.  
FENG Xuemin. Research on configuration scheme of local protection for smart substation[J]. Technology Innovation and Application, 2016(32):48-49.

#### 作者简介:



陈永昕

陈永昕(1995—),女,四川成都人,硕士研究生,主要研究方向为电力系统保护与控制、直流输电(**E-mail**:yongxinchen@hust.edu.cn);

尹项根(1954—),男,湖北武汉人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为电力系统继电保护(**E-mail**:xygin@mail.hust.edu.cn);

张哲(1962—),男,湖南株洲人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为电力系统继电保护、电网风险评估、新能源及超导技术(**E-mail**:zz\_mail2002@163.com)。

(编辑 任思思)

## String-based circuit breaker protection construction scheme based on neighborhood information under existing 3/2 connection mode and its implementation method

CHEN Yongxin<sup>1</sup>, YIN Xianggen<sup>1</sup>, ZHANG Zhe<sup>1</sup>, YANG Fan<sup>2</sup>, CAO Wenbin<sup>1</sup>, XI Wei<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Advanced Electromagnetic Engineering and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. China Southern Power Grid Dispatching and Control Center, Guangzhou 510000, China; 3. CSG Electric Power Research Institute, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** According to the structural characteristics of 3/2 connection substation in UHV (Ultra High Voltage) system, the string-based circuit breaker protection construction scheme based on neighborhood information and its implementation scheme are proposed, which enhance the selectivity, rapidity and reliability of short-range backup protection. The proposed scheme contains three optimized protection strategies, i.e. dead zone fault isolation optimized strategy, adaptive reclosing strategy of middle breaker and control strategy based on the running modes. Then the implementation method is put forward from two aspects of substation area protection and local protection, and the feasibility and validity are verified by simulation analysis. Information sharing technology is utilized in the proposed scheme to overcome the shortcomings of traditional circuit breaker protection, which provides a new idea for guaranteeing the safety of AC/DC hybrid power grid.

**Key words:** 3/2 connection mode; circuit breaker protection; neighborhood information; substation area protection; local protection

附录 A

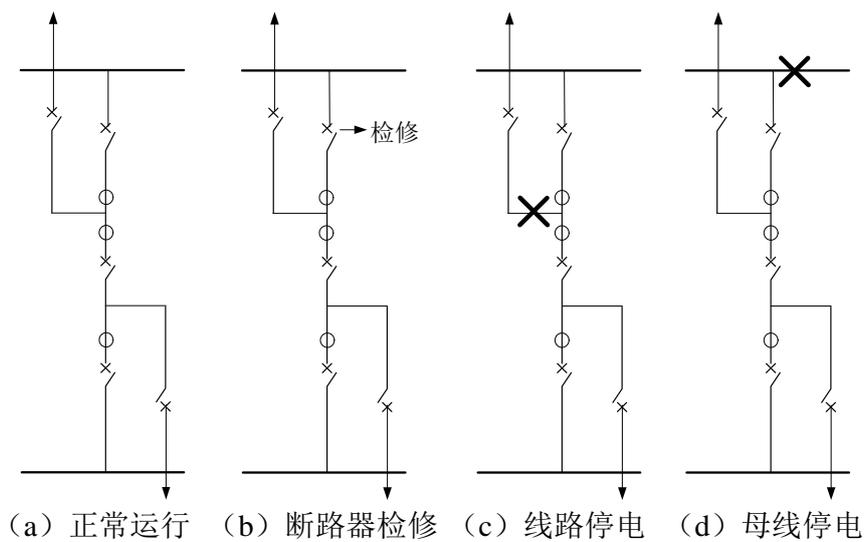


图 A1 3/2 接线主要运行方式

Fig.A1 Running state of 3/2 connection mode

## 附录 B

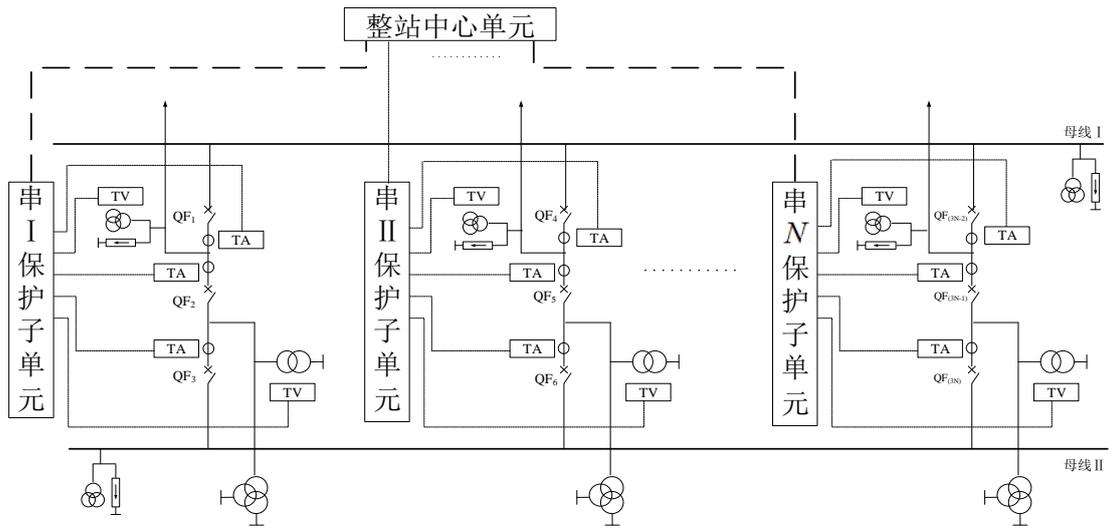


图 B1 站域断路器保护按串配置结构示意图

Fig.B1 Construction diagram of string-based circuit breaker protection with substation area device

## 附录 C

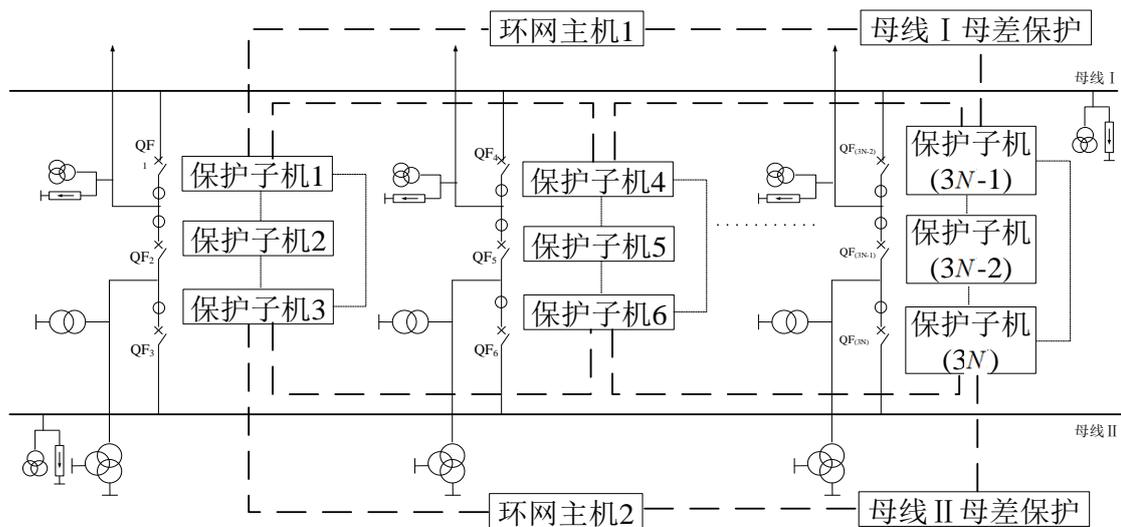


图 C1 就地化断路器保护按串配置结构示意图

Fig.C1 Structural diagram of the string-based circuit breaker protection with local device

## 附录 D

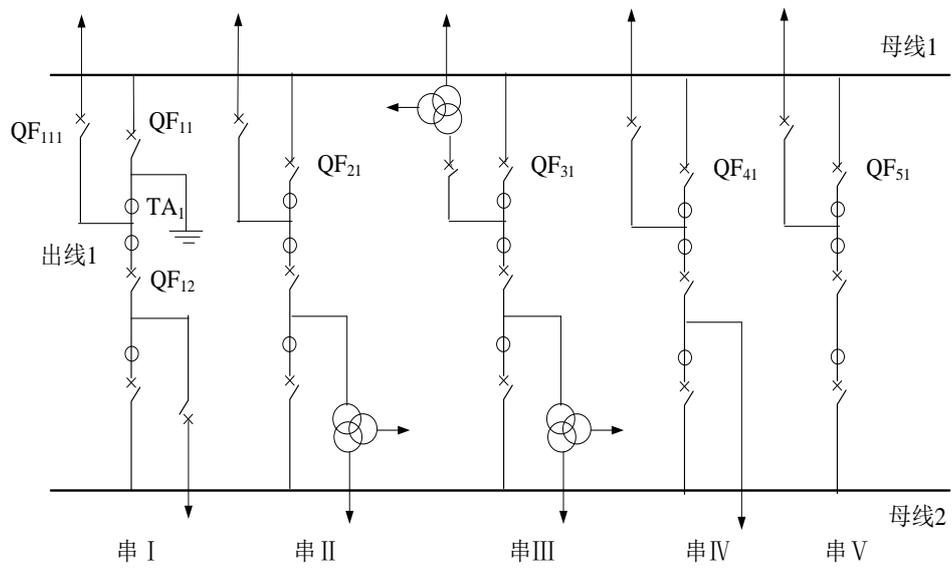


图 D1 仿真模型结构示意图

Fig.D1 Structural diagram of simulation model