

中低压保护控制异构双重化方案研究

余群兵¹, 汤同峰², 金震¹, 徐舒¹, 宋忠鹏¹

(1. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102; 2. 国网淮安供电公司, 江苏 淮安 223002)

摘要: 110 kV 以下电压等级电网出线间隔一般按远后备方式配置保护(单套配置), 当主保护拒动时远后备保护无选择性切除故障, 一定程度上降低了供电可靠性, 出线间隔保护测控一体化装置存在异常后保护和远方控制功能同时失去的风险, 造成一次设备较长时间无保护运行。研究了远后备配置方式下提升保护的选择性, 并基于现阶段智能变电站的技术, 提出一种通过增加智能化接口方式实现保护控制功能的异构双重化配置方案, 以较低的成本增加为代价实现中低压保护的冗余配置, 使远后备保护具有选择性。

关键词: 远后备保护; 异构双重化; 智能操作模块; 以太网供电; 两网合一

中图分类号: TM743

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2019)01-0090-06

0 引言

为了提高继电保护的可靠性, 110 kV 以下电压等级电网出线间隔继电保护一般采用远后备原则, 即在临近故障点装设的继电保护或断路器拒动时, 由电源侧上一级断路器的继电保护动作切除故障。一般来说, 如果系统稳定性不能承受可能的远后备保护延时动作对系统的危害, 应配置双重化保护加可靠的失灵保护。对于以供电任务为主的 110 kV 以下电压等级电网和设备, 稳定问题并不突出, 故按远后备方式配置保护, 即保护装置一般为单套配置以降低投资、运行、维护等成本^[1]。然而, 当主保护拒动时远后备保护无选择性切除故障, 一定程度上降低了供电可靠性, 因此有必要研究远后备配置方式下如何提升保护的选择性。

无论是常规变电站还是智能变电站应用, 35 kV 及以下电压等级中低压出线间隔保护测控装置均为单重化配置, 现场已发生过多起馈线故障时因该间隔保护测控装置死机或重启、因保护拒动引起越级跳闸导致中低压母线失电、停电范围扩大的事故。文中提出了一种保护控制功能异构双重化配置方案, 以较低的成本增加为代价解决了远后备保护无选择性切除故障和保护测控装置异常时无法通过遥控分闸操作跳开本间隔断路器问题。

1 问题及需求

以变压器低压侧单母分段接线方式的典型 110 kV 变电站为例简述中低压保护测控应用中存在的问题及需求, 如图 1 所示。

变压器低压侧母线各出线间隔保护测控装置

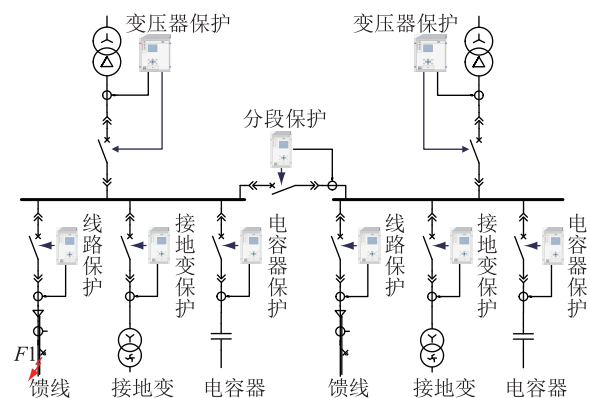


图 1 110 kV 变电站典型主接线简图

Fig.1 A typical diagram of 110 kV substation

为单套配置, 当某出线间隔保护测控装置处于异常故障状态时, 该间隔 F1 点发生短路故障, 保护将拒动, 变压器保护的低压侧后备保护先跳开分段断路器, 但未有效隔离故障, 因而再无选择性跳开变压器低压侧断路器以切除故障, 导致变压器低压侧母线失电, 严重影响同母线其他无故障线路的供电可靠性。由于 35 kV 及以下电压等级中低压保护测控装置应用量非常大(一段母线最多可配十几条馈出线), 因此在同等平均无故障时间(mean time to failure, MTTF)水平下整体故障率要相对高于进线及变压器保护装置, 对供电可靠性的威胁也更大。

另一方面, 随着电力调度综合自动化水平的提高, 越来越多的变电站已实现无人值守。当发现保护测控装置异常故障导致测控功能失效时, 监控人员无法通过调度自动化系统的遥控分闸操作尽快跳开保护测控装置异常的出线间隔断路器。因此, 无人值守变电站需要在保护测控装置异常故障情况下仍能独立遥控本间隔开关, 避免出线间隔在较长时间内无保护运行。

2 异构双重化基本原理

保护测控装置完全双重化配置虽能解决上述问题及需求,但受安装尺寸、二次回路接线、运维工作量、投资成本等因素制约,实施难度太大,也无规范可依。文献[2]提出采用原保护装置上分别增加一路数据采集模块和出口控制模块的改进措施,用1台保护装置保护2条馈线,2台保护装置采用互为备用的方式保护2条馈线。此方案对保护装置和二次回路改动较大,安装、检修、维护也不太方便,且出线间隔为奇数或两个出线间隔为不同类型时,实现起来较为困难。文献[3—4]提出更新现有的主保护、后备保护配置方式,采用集中式后备保护方案,大大改善现有后备保护的性能,但对站内二次设备的配置、形态和回路接线变动太大,在中低压场合应用推广可行性较低。

文中采用异构双重化方案解决中低压应用场合单套保护控制功能的冗余配置问题,异构双重化指采用不同的架构和方式实现保护控制功能的双重化配置。如图2所示,原有保护测控装置的功能配置保持不变,每个出线间隔增配功能独立、尺寸小、成本低的智能操作模块,通过过程层通信(GOOSE)网络与每段母线增配的变压器低压侧保护控制装置(简称变低保护控制装置)进行信息交互,由智能操作模块、变低保护控制装置及GOOSE网络一起实现出线间隔保护和控制功能的双重化配置。

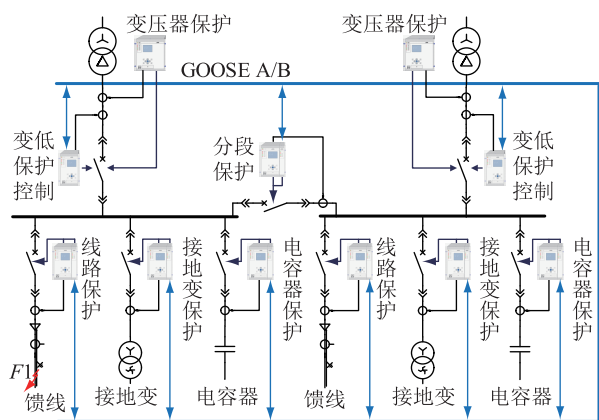


图2 保护控制功能异构双重化配置

Fig.2 Isomeric double configuration of protection and control function

出线间隔发生短路故障时,如果某个间隔的保护测控装置处于异常故障状态(包括未及时处理异常故障状态和瞬时性的异常故障状态),在间隔保护测控装置保护功能失效不能跳开本间隔断路器隔离故障的情况下,由变低保护控制装置通过GOOSE网络命令保护测控装置异常出线间隔的智

能操作模块,先行跳开该间隔断路器。另外,当发现间隔保护测控装置异常故障时,远方遥跳命令可经变低保护控制装置下发GOOSE命令至该智能操作模块,跳开该间隔断路器,为后续的继电保护异常事故处理争取时间。

3 异构双重化实现方案

基于现阶段智能变电站的技术积累,通过增加智能化接口方式实现保护控制功能的异构双重化,符合变电站改造实施要求。该方案由间隔保护测控装置、智能操作模块、变低保护控制装置及过程层网络等几个组成部分实现。

3.1 智能操作模块

智能操作模块功能及接口可类比于智能变电站的智能终端,支持接收GOOSE跳闸命令,同时将本间隔相关状态信息上送至变低保护控制装置。智能操作模块可以是一个独立装置紧贴间隔保护测控装置拼装,也可以是一块独立的智能插件集成在保护测控装置内。考虑到出线间隔保护测控装置一般集成操作回路,而35 kV及以下电压等级开关柜大多采用单跳闸线圈,因此智能操作模块仅输出跳闸出口接点,与保护测控装置出口并联输出至操作回路的跳闸回路,如图3所示。

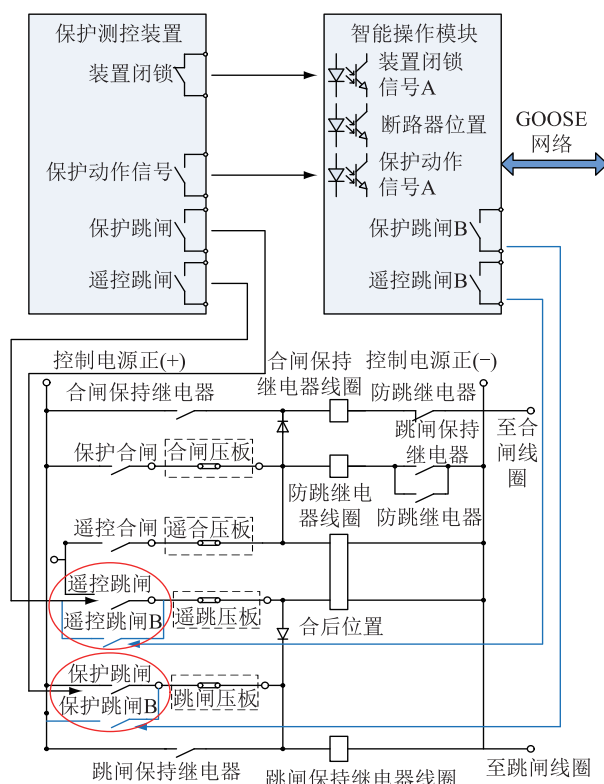


图3 智能操作模块外部接口连接

Fig.3 Connection diagram of external interface of intelligent operation module

智能操作模块采集断路器位置辅助接点、本间隔保护测控装置的装置闭锁接点和保护动作信号,用于监视其运行状态和动作行为。

智能操作模块的电源供电必须独立,以确保在保护测控装置电源模块失效情况下异构双重化功能不受影响。当智能操作模块为独立装置时,可配置独立的电源插件;当智能操作模块为保护测控装置的一块插件时,受装置尺寸限制不允许配置独立的电源模块,而采用以太网供电(power over ethernet, PoE)方式。以太网供电是一种通过现有以太网铜缆传输数据同时进行直流供电的技术^[5-7]。智能操作模块作为受电设备(powered device, PD)其功耗小于5 W,属于Type1类PD,满足PoE技术规范IEEE 802.3af—2003^[8]中小于13 W的要求。

3.2 GOOSE 组网

由于变电站中中低压保护测控装置数量庞大,采用“三层两网”的网络架构需要配置大量的网络通信设备,而且保护测控装置需要提供较多的通信端口,大幅增加了成本,这对于110 kV及以下电压等级变电站来说是不可接受的^[9]。因此,本方案采用会员管理系统(membership management system, MMS)网和GOOSE网两网合一的双星型组网方式,从工程应用情况看,这种共网方式应用前景最好。

采用两网合一的组网方式,一般情况下不需要额外铺设网线及增加网络交换机数量,如图4所示。无论智能操作模块是独立装置还是智能插件,均通过网线与保护测控装置CPU插件网口相连,而以太网交换机仅与智能操作模块网口互连。智能操作模块采用基于报文过滤技术及流量管理数据传输方法,解决不同数据间相互干扰问题,同时提高GOOSE发送和接收任务的优先级并对以太网交换机按端口进行流量控制,确保GOOSE信息共网传输时的实时性。

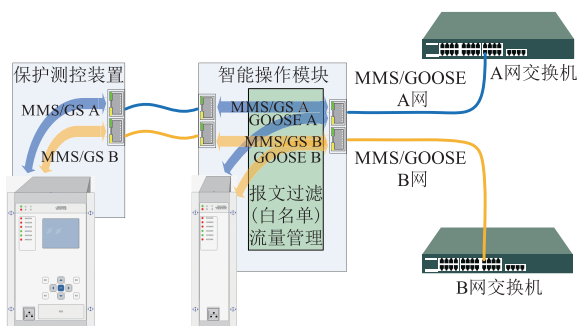


图4 MMS和GOOSE两网合一接线

Fig.4 Sketch of combined network of MMS and GOOSE

以太网交换机同时作为智能操作模块的供电

设备(power sourcing equipment, PSE),一般选用支持端接式(Endpoint PSE) PoE供电的交换机,当以太网交换机不支持PoE时可使用中间跨接式PSE供电^[10]。

3.3 变低保护控制装置

考虑到变压器保护可能为经过入网检测的严控版本,不方便新增相关功能及接口,因此可根据实际应用需要按母线段增设变低保护控制装置以实现上述功能,建议安装于变压器低压侧开关柜。应用于新建智能变电站时,也可将其功能集成于站域保护。

变低保护控制装置采集变压器低压侧电流及低压侧母线电压,若变压器低压侧开关不能提供独立的CT二次绕组,则与变压器保护共用电流绕组(变压器主、后备保护独立配置时应与变压器低压侧后备保护共用)。对于智能变电站,电流、电压宜从变压器低压侧合并单元接入。变低保护控制装置接收同母线段各出线间隔智能操作模块发送的保护测控装置装置闭锁、保护动作、断路器位置等GOOSE信息,并可接收监控后台或调度端的各出线间隔遥控跳闸命令,用于实现保护和控制功能的异构双重化。

为了适应不同的主接线形式及运行方式,同时减少工程应用时现场配置工作,变低保护控制装置还应接收相邻母线段变低保护控制装置的保护动作信号,结合本母线段各出线间隔智能操作模块发出的GOOSE信息实现保护功能的异构双重化。

3.4 保护功能与逻辑

变低保护控制装置保护配置与变压器保护低压侧后备过流保护、零序电流保护配合,为各段过流保护、零序电流保护各设一段过流加速保护和一段零序电流加速保护,即可实现单间隔的双重化保护。

3.4.1 双重化过流保护

由于变压器低压侧母线一般不配独立的母线保护,变压器保护的低压侧后备过流保护一般为两段式,Ⅰ段电流定值保低压母线故障有灵敏度,1时限时间定值 t_{I}^1 与本侧出线保护的Ⅰ段即速断保护 t_{I}^1 配合;Ⅱ段电流定值按躲负荷电流整定,1时限时间定值 t_{II}^1 与本侧出线保护最末段时间 t_{II}^1 配合^[11]。过流保护最短时限一般为0.3~0.6 s^[12]。

在变低保护控制装置中为每段后备过流保护增加一段过流加速保护作为双重化过流保护,电流定值与后备过流保护电流定值相同,时间定值分别为 t_{I}^{acc} , t_{II}^{acc} :

$$t_1^{\text{acc}} = t_1^1 - \frac{1}{2}\Delta t \quad t_1^1 = t_1' + \Delta t \quad (1)$$

$$t_{\text{II}}^{\text{acc}} = t_{\text{II}}^1 - \frac{1}{2}\Delta t \quad t_{\text{II}}^1 = t_{\text{II}}' + \Delta t \quad (2)$$

式中: Δt 为时间级差,一般取0.3 s。发生短路故障时过流加速保护跳异常出线间隔断路器,若故障未隔离再由变压器保护的低压侧后备过流保护1、2、3时限先后跳变压器低压侧母联(分段)断路器、变压器低压侧断路器以及各侧断路器。

另外,过流保护电流定值可能不满足对低压侧出线末端故障的灵敏度要求。为了提高灵敏度,尽可能地降低启动电流,可使过流保护经复合电压闭锁^[13],或者增加CT变比较小的抽头引入变低受总开关电流用于增设的低定值过流Ⅲ段保护。

考虑出线间隔保护测控装置运行过程中常见的几种异常情况:

(1) 运行过程中由于内部故障导致保护测控装置异常闭锁;

(2) 出线间隔故障及开关操作瞬态电磁骚扰导致保护测控装置异常闭锁或者短时重启(重启闭锁时间通常大于0.5 s);

(3) 出线间隔故障时保护测控装置动作装置因出口回路故障导致不出口但装置未闭锁。

对于异常情况(1)、(2),故障时过流加速保护启动在满足延时条件后,若收到出线间隔智能操作模块发送的装置闭锁GOOSE信号,则立即发出GOOSE跳闸信号跳开该异常间隔断路器。对于异常情况(3),故障时过流加速保护启动,在满足延时条件后,若收到出线间隔智能操作模块发送的保护动作GOOSE信号(装置未闭锁,不考虑通信和出口回路同时异常的情况,因此可认为此时仍具备GOOSE通信能力)且断路器位置仍在合位,则立即发出GOOSE跳闸信号跳开该异常间隔断路器。每段过流加速保护动作时刻在间隔保护动作最长时限和该段过流保护1时限中间即 $1/2\Delta t$ 处,使原有保护时间级差配合关系保持不变。

双重化过流保护逻辑如图5所示(以过流加速Ⅱ段为例)。除本段母线对应的变压器低压侧过流加速保护外,对于单母分段接线1台变压器带两段母线运行的情况,还要考虑相邻母线段变低保护控制装置各段过流加速保护动作信号,按相同逻辑加速跳开本母线段异常间隔断路器。

3.4.2 双重化零序电流保护

对于低电阻接地系统,需要配置零序电流保护,一般接地变保护测控装置或者变压器保护装置

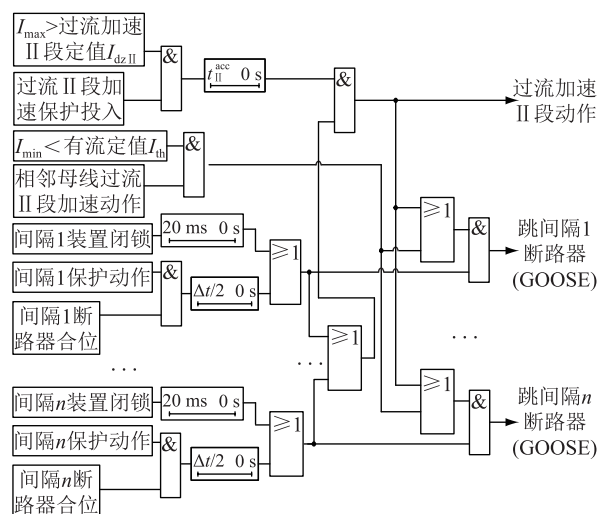


图5 双重化过流保护逻辑

Fig.5 Logic diagram of dual overcurrent protection

低压侧后备保护装置两段式零序电流段保护,作为接地变压器单相接地故障的主保护和系统各元件的总后备保护,发生接地故障时加速跳异常出线间隔断路器,故障未隔离再由接地变零序电流保护先后跳变压器低压侧母联(分段)断路器、变压器低压侧断路器。同理本方案在变低保护控制装置中,每段零序电流保护增加一段零序电流加速保护作为双重化零序电流保护,电流定值和时间定值取值与双重化过流保护类似,在此不再赘述。

4 试点应用

该方案已在淮安35 kV城北变技改项目中成功试点应用。城北变10 kV侧为典型的单母分段接线,单间隔出线保护采用与原保护装置背板端子完全兼容的新一代保护测控装置,并在空槽位上增加一块智能操作模块插件;变低保护控制装置安装于变压器低压侧开关柜仪表室;支持端接式PoE供电的交换机安装于分段隔离柜仪表室。现场接线工作量小、实施方便,在厂内和现场通过大量模拟试验对保护控制逻辑做了充分的验证,效果良好。

城北变10 kV I母线侧3条馈线、1台电容器、1台接地变, II母线侧6条馈线、1台电容器、1台接地变,每段母线出线间隔均较少,按母线段配置的交换机PoE供电网口数量不多,单台交换机的PoE模块总功耗小于40 W。当出线间隔数量较多时,交换机选型需要重点关注PoE供电口的数量及PoE模块的最大输出总功率。

5 结语

文中采用基于MMS和GOOSE两网合一的保护

控制异构双重化方案具有以下几个特点:

(1) 解决了中低压应用场合单套保护控制功能的冗余配置问题,增加远后备保护的选择性,提高了供电可靠性,方案实用性强;

(2) 使用的技术手段成熟,方便实现,通用性好,采用 MMS 和 GOOSE 两合一的双星型组网方式,还可以用于实现简易母线保护、集中式低频低压减载等诸多应用功能;

(3) 智能操作模块独立供电,与间隔保护测控装置通过以太网及继电器接点直连,对外部设备和接口改动很小,既可应用于老站改造工程,也可在新建智能变电站中推广,适应性强;

(4) 本方案成本增加少,每个智能操作模块硬件成本大约占间隔保护测控装置的五分之一,支持 PoE 供电的网络交换机与普通交换机相比成本增加不多,应用前景良好。

通过增加独立的智能操作模块虽能解决文中开头所列的问题及需求,但最好的方案还是将智能操作模块功能集成到中低压保护测控装置的 CPU 插件上,在不额外增加硬件插件或模块的情况下实现异构冗余配置,这还有待于后续深入研究。

参考文献:

- [1] 常风然,张洪. 继电保护双重化配置的探讨[J]. 华北电力技术,2005(7):42-45.
CHANG Fengran,ZHANG Hong. Research on double configuration of relay protection[J]. North China Electric Power, 2005(7):42-45.
- [2] 晏运忠,樊平,黄生春. 单 CPU 微机馈线保护装置可靠性分析及改进措施[J]. 电工技术,2007(3):35-36.
YAN Yunzhong,FAN Ping,HUANG Shengchun. Reliability analysis and improvement measures of single CPU microcomputer feeder protection unit[J]. Electric Engineering, 2007(3):35-36.
- [3] 张保会,郝治国. 智能电网继电保护研究的进展(二)——保护配合方式的发展[J]. 电力自动化设备,2010,30(2):1-4.
ZHANG Baohui,HAO Zhiguo. Development of relay protection for smart grid(2): development of protection cooperation mode[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010,30(2):1-4.
- [4] 董新洲,曹润彬,崔柳,等. 现代电力系统集成后备保护方案[J]. 电力系统保护与控制,2014,42(5):21-25.
DONG Xinzhou,CAO Runbin,CUI Liu, et al. Integrated backup protection scheme in modern power system[J]. Power System Protection and Control, 2014,42(5):21-25.
- [5] 黄建宇,张汉泉,邓明,等. 一种 90 W 高功率以太网供电系统的设计[J]. 电源技术,2015,39(7):1493-1495.
HUANG Jianyu,ZHANG Hanquan,DENG Ming, et al. Design of a 90 W high power power-over-ethernet system[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2015,39(7):1493-1495.
- [6] 王昌照. 基于大数据的“三统一”配电网规划辅助决策系统[J]. 供用电,2017,34(1):32-37,23.
WANG Changzhao. "Three unified" decision-making support system of distribution network planning based on big data[J]. Distribution & Utilization, 2017,34(1):32-37,23.
- [7] 黄秀丽,马媛媛,费稼轩,等. 配电自动化系统信息安全防护设计[J]. 供用电,2018,35(3):47-51.
HUANG Xiuli,MA Yuanyuan,FEI Jiakuan, et al. Research on information security certification evaluation index system of power distribution automation system[J]. Distribution & Utilization, 2018,35(3):47-51.
- [8] Data terminal equipment(DTE) power via media dependant interface(MDI):IEEE 802.3af—2003[S]. IEEE Computer Society, June, 2003.
- [9] 杜振华,王建勇,罗奕飞,等. 基于 MMS 和 GOOSE 网合一的数字化网络保护设计[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(24):143-150.
DU Zhenhua,WANG Jianyong,LUO Yifei, et al. A design of digital substation network protection based on combination of MMS and GOOSE network[J]. Power System Protection and Control, 2010,38(24):143-150.
- [10] 胡云. 高功率以太网供电的应用分析[J]. 低压电器,2011(12):24-28.
HU Yun. Application analysis of high-power power over ethernet[J]. Low Voltage Apparatus, 2011(12):24-28.
- [11] 3~110 kV 电网继电保护装置运行整定规程:DL/T 584—2007[S].
Setting guide for 3 ~ 110 kV power system protection equipment:DL/T 584—2007[S].
- [12] 何鸣,叶远波,陈实. 变压器中低压侧后备保护配置及整定方案[J]. 电网技术, 2006, 30(16):89-91.
HE Ming, YE Yuanbo, CHEN Shi. Configuration and setting scheme of backup protection for transformer's medium and low voltage side [J]. Power Network Technology, 2006, 30(16):89-91.
- [13] 赵敏,王素华. 220 kV 变电站主变后备保护与 10 kV 侧出线保护配合问题的探讨[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(7):95-97.
ZHAO Min,WANG Suhua. Discussion on coordination of 220 kV substation main transformer back-up protection and the protection of 10 kV side [J]. Power System Protection and Control, 2009,37(7):95-97.

作者简介:



余群兵

余群兵(1979),男,硕士,高级工程师,从事电力系统继电保护工作(E-mail: yuqb@nrec.com);

汤同峰(1980),男,学士,工程师,从事电力系统继电保护工作;

金震(1977),男,硕士,高级工程师,从事电力系统保护控制工作。

Isomeric double configuration scheme of medium and low voltage protection and control function

YU Qunbing¹, TANG Tongfeng², JIN Zhen¹, XU Shu¹, SONG Zhongpeng¹

(1. NR Electric Co., Ltd., Nanjing 210012, China; 2. State Grid Huaian Electric Power Company, Huaian 223002, China)

Abstract: For distribution networks below 110 kV with power supply task as main, it's generally protected in remote backup mode, that is, the protection device is a single configuration. However, When the main protection is refused, the remote backup protection can't selectively eliminate the fault, which reduces the reliability of power supply to some extent. Therefore, it is necessary to study how to improve the protection selectivity in remote backup mode. In addition, when the integrated protection and control equipment is abnormal, protection and remote control function should be blocked, resulting in the primary equipment runs without protection for a long time. Based on technology accumulation of smart substation, this paper introduces an isomeric double configuration scheme of medium and low voltage protection by adding the intelligent interface to realize redundant configuration with lower cost. This scheme can solve the above problems and ensure the selectivity of remote backup protection.

Keywords: remote backup protection; isomeric double configuration; intelligent operation module; power over ethernet; combined network of MMS and GOOSE

(编辑 钱悦)

(上接第 89 页)

Index definition and calculation method of harmonic active power responsibility

GUO Min, CHEN Weidong, JIN Qingren

(Electric Power Research Institute of Guangxi Power Grid Co., Ltd., Nanning 530023, China)

Abstract: The key to harmonic pollution control in power grid lies is the identification of harmonic pollution responsibility. Aiming at the disadvantage that the traditional harmonic voltage responsibility index is difficult to be implemented into economic accounting, this paper puts forward a definition of the true value of the harmonic active power as a measure index of harmonic responsibility, and discusses its calculation method. In the process of discussion, the equivalent circuit principle and superposition theorem are combined, and the method of double dominant fluctuation difference quotient impedance based on relative phase angle is used to complete the definition and calculation method of harmonic active power responsibility. The calculation of practical cases show that the harmonic active power responsibility index can not only reasonably and quantitatively pay attention to the harmonic pollution responsibility of the side harmonic source, but also is simple in calculation, which is conducive to economic accounting.

Keywords: power quality; harmonic pollution; harmonic active power responsibility; active power direction method; double dominant fluctuation difference quotient impedance; real harmonic current injection

(编辑 方晶)