

DOI: 10.7667/PSPC170217

一种基于功率方向的智能变电站中低压母线保护方案

刘洋, 吴水兰, 朱若松, 张建雨, 汤鸿, 魏燕

(许继集团有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 长期以来, 10 kV(或 35 kV)及以下电压等级的中低压母线保护一直没有得到重视, 存在保护动作时间长、选择性差的问题。为了改进中低压母线保护, 结合中低压系统的特点, 给出一种适用于智能变电站的基于功率方向的中低压母线保护方案, 包括其构成方式、功能逻辑及网络结构。利用仿真系统, 对其中的功率方向元件进行验证及分析。方案原理简单, 具有很好的选择性和速动性, 且不增加变电站的建设成本, 可在智能变电站中推广应用。

关键词: 功率方向; 中低压; 母线保护; 智能变电站; 仿真

A scheme of mid-low voltage busbar protection based on power direction in intelligent substation

LIU Yang, WU Shuilan, ZHU Ruosong, ZHANG Jianyu, TANG Hong, WEI Yan

(XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China)

Abstract: For a long time, there is no enough attention on the 10 kV (or 35 kV) and below mid-low voltage busbar protection. If bus fault occurs, the selectivity and rapidity of busbar protection is poor. To improve mid-low voltage busbar protection, this paper proposes a scheme of mid-low voltage busbar protection for intelligent substation based on power direction combining with the characteristics of mid-low voltage system, which includes its constitution mode, function logic, and network structure. Moreover, it uses simulation system to verify and analyze power directional element. The scheme is of simple principle, excellent selectivity and rapidity, so it can be popularized and applied in intelligent substation without increasing investment cost.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China [2017] “Key Techniques Research of Secondary Device Universal Platform used in Intelligent Transformer”.

Key words: power direction; middle-low voltage; busbar protection; intelligent substation; simulation

0 引言

传统变电站中的 10 kV(或 35 kV)及以下电压等级的中低压母线一般不装设专用的母线保护^[1]。当母线发生故障时, 使用母线上级的过流保护, 通过定值及延时的配合整定反应并切除母线故障。保护动作时间太长, 故障电流严重威胁母线及其相邻的变压器和开关设备的安全^[2]。

1 智能变电站中低压母线保护现状

在智能变电站中, 开关量信号通过组建面向通

用对象的变电站事件(Generic Object Oriented Substation Event, GOOSE)信息网络进行实时传输, 实现间隔横向通信, 各间隔保护装置可以接收或发送大量的状态信号^[3-4]。在此基础上, 目前大多数智能变电站中配置了基于幅值比较原理的电流闭锁式简易母线保护, 其典型方案为: 在判别母线元件主开关电流幅值的基础上, 将母线各支路间隔(出线间隔、小电源间隔、分段等)过流保护的启动状态作为其动作逻辑闭锁信号, 综合进行故障判别并选择相应的跳闸策略^[5-7]。

该方案虽然在一定程度上缓解了智能变电站的中低压母线故障的切除问题, 但是系统的小电源间隔使其工程应用较为复杂, 并严重影响保护的选择性及速动性: 一方面, 必须将各小电源间隔的闭锁

基金项目: 国家电网公司科技项目 [2017] “智能变配用二次装置通用平台关键技术研究”

信号一一对应接入装置指定的虚端子, 以便进行小电源间隔及其闭锁信号的区分和识别; 另一方面, 保护满足动作条件时, 必须首先跳开小电源间隔, 在消除小电源的影响、缩小故障判别范围后, 最终才能逐级动作切除故障母线^[8]。保护功能选择性较差, 不能准确进行母线区内、外故障定位, 母线故障的切除速度仍有待提高。

为了提高智能变电站中低压母线保护的选择性及其动作速度, 并简化其工程应用, 本文提出了一种基于功率方向的中低压母线保护方案。

2 基于功率方向的中低压母线保护方案

在如图 1 所示的智能变电站 10 kV 系统中, 将母线按段划分且各段母线均单独配置一套保护(集成于主变保护装置中), 与分布在母线各支路间隔(包括分段)中的方向元件共同构成完整的母线保护功能。

装置采集本段母线电压及变低侧电流进行电源侧主开关故障启动及功率方向判别的同时, 以 GOOSE 信号的方式接收本段母线所属各支路间隔的功率反方向识别结果: 若系统发生故障, 当且仅当主开关及本段母线所有有源支路功率方向均为正方向(即功率流入母线)时, 确定母线故障, 此时保护动作并切除故障。

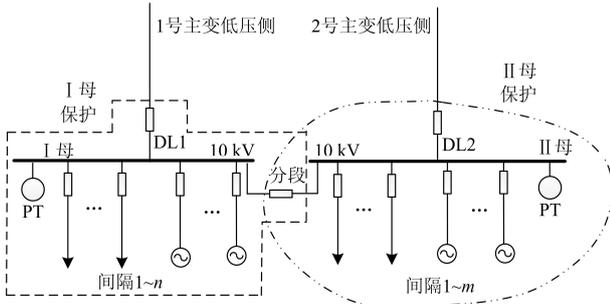


图 1 中低压系统母线保护总体方案

Fig. 1 General scheme of middle-low voltage busbar protection system

2.1 保护功能方案

10 kV(或 35 kV)中低压系统一般为小电流接地系统或不接地系统, 发生单相接地故障时, 鉴于系统零序电流很小、仍可保持对称性并短时运行的特点, 保护装置不必立即跳闸^[9-11]。因此中低压系统的母线保护仅需反应相间故障及三相故障。

据此设计的保护功能方案包括故障启动元件、方向元件及动作元件。

2.1.1 启动元件

当主变低压侧任一相电流变化量 $\Delta I_{a(-3T)} >$

$0.2I_e$ (I_e 为主变低压侧额定电流)时, 判定系统发生故障, 母线保护启动。

保护启动之后, 若母线最小线电压 $U_{l,\min} < 70 \text{ V}$, 则启动状态持续保持。

2.1.2 方向元件

以变低侧为主、母线各支路间隔为辅的方向元件分布于母线保护及各支路的就地保护中。

在图 1 给出的系统中规定 CT 正极性端的位置: 变低侧及母线所属各支路间隔 CT 正极性端均靠近母线侧, 分段间隔 CT 的正极性端靠近 I 母。

变低侧及母线各支路均配置 90° 接线方式的方向元件, 按照功率流出母线即为反方向的原则, 分相进行故障时刻本间隔的反方向识别。A、B、C 三相方向元件的判别电压分别采用 3 周前的记忆线电压 $\dot{U}_{bc(-3T)}$ 、 $\dot{U}_{ca(-3T)}$ 、 $\dot{U}_{ab(-3T)}$, 最大灵敏角 φ_{sen} 取 -30° , 动作范围为 $\pm 90^\circ$ 。

特别地, 分段间隔需同时进行 I 母及 II 母的功率反方向判别: I 母方向元件动作最大灵敏角 φ_{sen} 取 -30° 、II 母方向元件最大灵敏角取 150° 。

为消除非故障相对方向判别结果的影响, 各相方向元件增加同名相电流大于 I_{op} 的过流把关条件。对于变低侧, I_{op} 取 $1.2I_e$; 对于母线各支路, I_{op} 为本间隔过流保护的启动门槛。

当任一相方向元件满足动作条件时, 则认为本间隔功率方向为反方向, 经 20 ms 延时确认后输出本间隔反方向状态或 GOOSE 闭锁信号, 并进行保持, 用于闭锁本段母线保护。若过流把关条件持续满足 500 ms, 则解除母线保护的功率反方向闭锁。为了防止 PT 断线后方向元件误判导致母线保护误动, 此时应等同于功率反方向, 以闭锁母线保护。方向元件判别逻辑图见图 2。

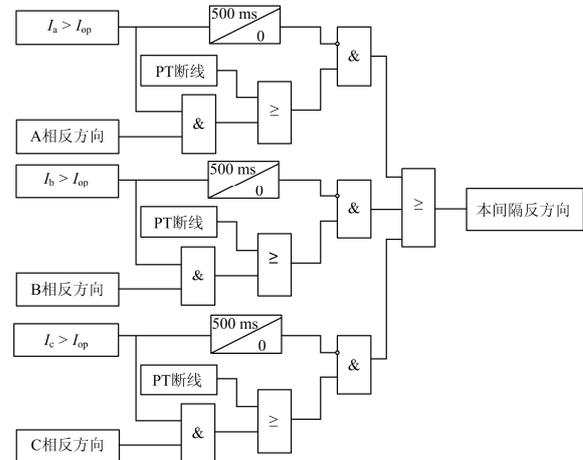


图 2 方向元件逻辑图

Fig. 2 Logic diagram of power directional element

2.1.3 动作元件

在如图 3 所示的动作元件逻辑图中, 保护启动后, 当变低侧电流大于母线保护定值 I_{set} , 且变低侧功率方向为正、无支路反方向闭锁信号时, 母线保护满足动作条件: 此时若分段开关处于分位, 保护先经整定延时 T 跳变低侧, 再经 Δt (0.1 s) 跳主变各侧; 否则先经整定延时 T 跳开分段开关, 再依次各经 Δt (0.1 s) 跳开变低侧及主变各侧。

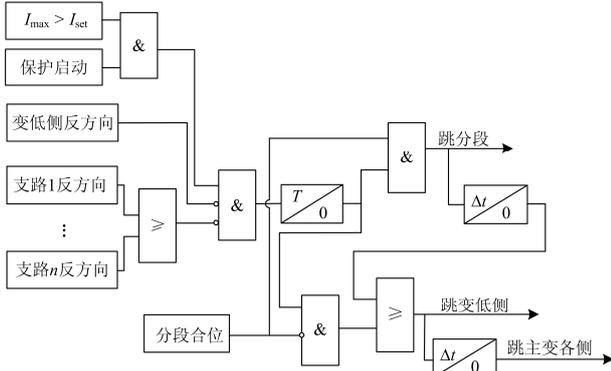


图 3 动作元件逻辑图

Fig. 3 Logic diagram of operating element

在实际应用中, I_{set} 作为母线保护的定值, 应按照 $\frac{I_{f.min}}{K_{lm}}$ 进行整定。其中, $I_{f.min}$ 为母线最小短路电流; K_{lm} 为灵敏度系数, 可取 2.0, 以保证母线故障时, 保护有足够的灵敏度^[12]。另外, 鉴于方案对母线区内、外故障具备选择性, 动作延时 T 可整定为 0.1 s, 使得保护能够快速切除故障^[13]。

2.2 网络结构

出于低电压等级间隔的数据采集方式和整站建设成本考虑, 智能变电站的 10 kV(或 35 kV)电压等级不配置过程层网络。结合实际工程应用, 构建如图 4 所示的采样值(Sampled Value, SV)及 GOOSE 信息传输系统。

模拟量采集: 母线保护集成在主变保护中, 通过变低侧合并单元以直采的方式采集变低侧电流 SV 及母线电压 SV, 进行变低侧方向判别; 分段及母线各支路间隔就地采集模拟量并各自进行方向判别。

闭锁信号传输: 各支路间隔判别的反方向信号以 GOOSE 方式通过制造报文规范(Manufacturing Message Specification, MMS)信息网络传输至母线保护, 以参与闭锁母线保护功能^[14]。

跳闸信号传输: (1) 作用于主变低电压侧开关的 GOOSE 跳闸信号, 通过智能终端直跳变低侧开关; (2) 作用于分段开关的 GOOSE 跳闸信号, 通过 MMS 网络传输至分段保护跳开分段开关。

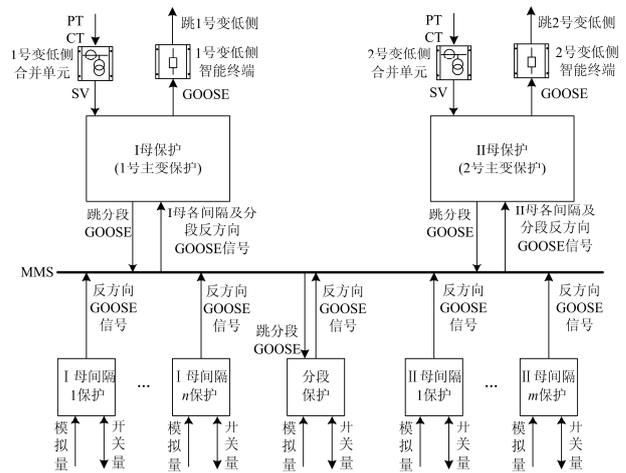


图 4 SV 及 GOOSE 网络

Fig. 4 Network of SV and GOOSE

对于 GOOSE 信号在 MMS 网络中的传输, 一方面应采用事件驱动方式及定间隔发送的方式, 保证其可靠性; 另一方面, 可适当提高 GOOSE 发送和接收任务的优先级, 以保证其实时性^[15-17]。

3 方向元件分析验证

使用实时数字仿真系统(RTDS)建立如图 5 所示的仿真试验模型(模型参数见表 1), 模拟母线、变压器、出线线路及小电源间隔发生不同类型故障, 对方案中方向元件的算法进行仿真分析, 以验证功率方向判别结果的正确性。

限于篇幅, 以 10 kV 分段分位、系统的典型位置 F1、F2、F3 处分别发生相间、F1 及 F2 处同时发生异名相两点接地故障、F4 处发生三相故障为例, 功率方向元件的计算结果及其分析如下:

1) F1AB 故障

故障点在母线, 方向元件计算结果见图 6。图中纵坐标为系统故障时方向元件计算的角度, 单位为“度”; 横坐标为故障后的时间, 单位为“s”。

表 1 系统模型参数

Table 1 Parameters of simulation model		
模型名称	参数类别	参数值
变压器 T1&T2	容量	60 MVA
	变比	110 kV/10 kV
	接线方式	Yn/Δ-11
	短路阻抗	10.5%
10 kV 出线 L1&L2	阻抗	0.263+j0.348 Ω
小电源 S1	容量	3.6 MVA
小电源 S2	容量	2.7 MVA

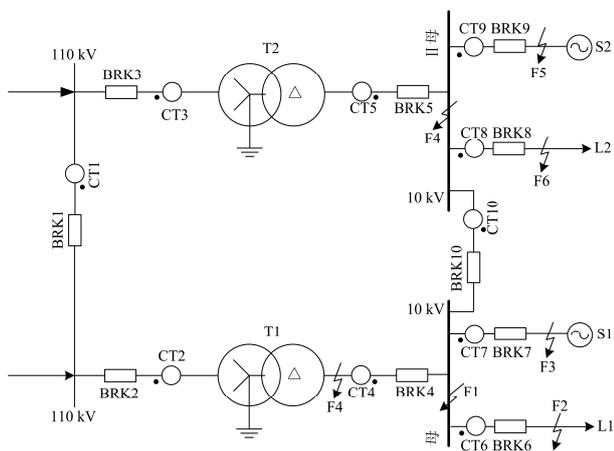


图 5 仿真试验模型

Fig. 5 Simulation model

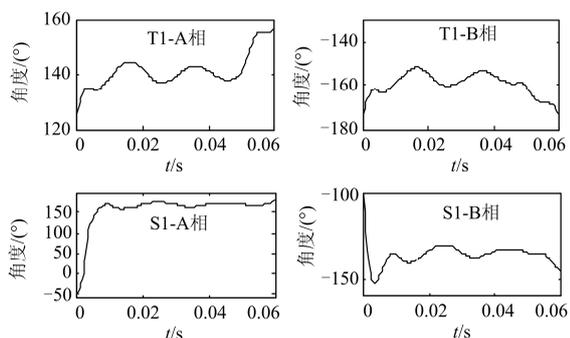


图 6 F1AB 故障

Fig. 6 Fault of F1AB

主变 T1 低压侧和小电源 S1 的 A、B 两故障为正方向；出线间隔 L1 无故障，不进行功率反方向判别。

此时各间隔功率方向均为正方向，母线保护正常开放。

2) F2BC 故障

故障点在线，结果见图 7。主变 T1 低压侧和

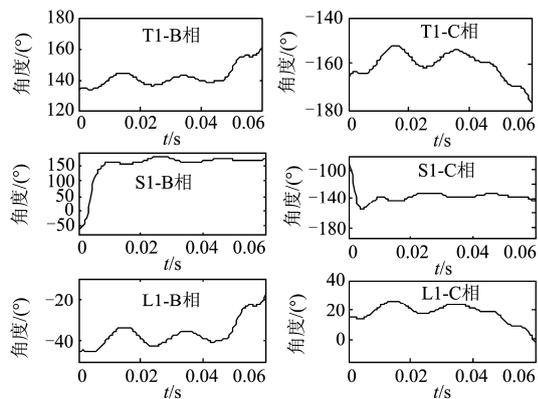


图 7 F2BC 故障

Fig. 7 Fault of F2BC

小电源 S1 的 B、C 两故障相为正方向；出线 L1 的 B、C 两故障相为反方向。

此时出线 L1 发出反方向闭锁信号，母线保护不动作。

3) F3CA 故障

故障点在小电源 S1，结果见图 8。主变 T1 低压侧 C、A 两故障相为正方向；小电源 S1 的 C、A 两故障相为反方向；出线间隔 L1 无故障，不进行功率反方向判别。

此时小电源 S1 发出闭锁母线保护的信号，母线保护不动作。

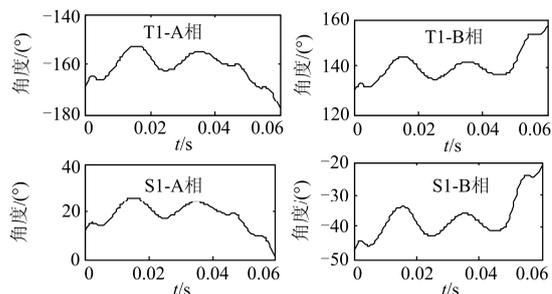


图 8 F3CA 故障

Fig. 8 Fault of F3CA

4) F1BN-F2CN 故障

系统发生母线—线路两点接地故障，结果见图 9。主变 T1 低压侧 B、C 两故障相为正方向；小电源 S1 的 B、C 两故障相为反方向；出线 L1 的 C 相为反方向。

此时出线 L1 发出反方向闭锁信号，母线保护不动作。

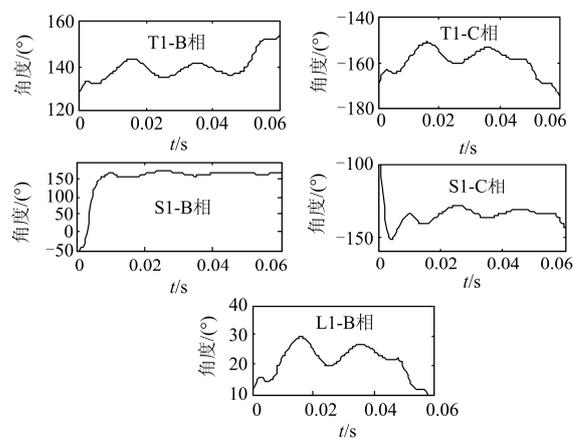


图 9 F1BN-F2CN 故障

Fig. 9 Fault of F1BN-F2CN

5) F4ABC 故障

故障点在主变 T1 低压侧，结果见图 10。主变 T1 低压侧 A、B、C 三相均为反方向；小电源 S1

的 A、B、C 三相均为正方向；出线 L1 无故障，不进行功率反方向判别。

此时主变 T1 的反方向状态闭锁母线保护，母线保护不动作。

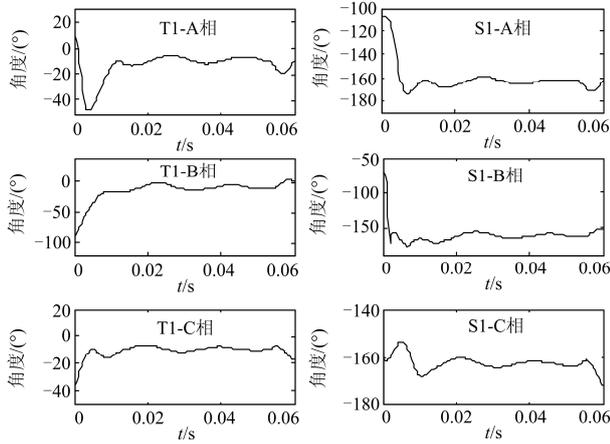


图 10 F4ABC 故障

Fig. 10 Fault of F4ABC

以上仿真结果表明，功率方向元件能够准确、可靠地识别母线区内、区外的各种故障情况。

4 特殊问题分析及处理

1) 反方向 GOOSE 闭锁信号处理

为了防止反方向 GOOSE 闭锁信号在传输过程中发生链路断链，导致母线保护失去选择性而误动，此时应闭锁母线保护。考虑到母线各支路间隔的检修维护，母线保护也应设置接收各间隔 GOOSE 闭锁信号的投退软压板，以便某间隔退出正常运行时，不影响母线保护的正常逻辑判别。

2) 开关失灵问题分析

当母线区外发生故障但故障间隔开关失灵时，此时故障间隔过流保护持续启动，500 ms 后反方向闭锁信号复归，此时母线保护根据分段开关的运行状态经延时动作跳开分段后，再依次经过 100 ms (Δt) 跳开变低侧及主变各侧切除故障，可解决开关失灵问题。

3) PT 断线对保护的影响分析

当 PT 断线后发生故障时，若变低侧及母线各支路的电流条件满足功率方向把关条件后 500 ms，本间隔反方向闭锁状态复归之后，母线保护可以动作。也即 PT 断线之后，系统发生故障并长时存在，母线保护仍能反应并切除故障。

5 结束语

结合目前智能变电站中低压母线保护的应用情

况，本文提出了基于功率方向的母线保护具体应用方案，并使用 RTDS 系统对其中的功率方向元件进行仿真分析。针对中低压系统的母线故障，方案具有很好的选择性和速动性，可以准确定位及切除母线故障，并兼顾 GOOSE 链路断链、开关失灵及 PT 断线等异常情况的处理。本方案的实现方式对现有智能变电站的中低压二次系统及其网络构成没有影响，不增加投资及建设成本，可在智能变电站中推广使用。

参考文献

- [1] 黄皓, 余臻, 游晔. 数字化变电站低压母线保护的 GOOSE 通信研究[J]. 华东电力, 2011, 39(2): 221-226. HUANG Hao, YU Zhen, YOU Ye. Research on GOOSE communication for low-voltage busbar protection in digital substation[J]. East China Electric Power, 2011, 39(2): 221-226.
- [2] 潘贞存, 王葵, 杜世双, 等. 中低压母线加装专用继电保护的必要性和几种方案的探讨[J]. 电网技术, 2002, 26(9): 75-77. PAN Zhencun, WANG Kui, DU Shishuang, et al. On necessity of appending special busbar protection device to original busbar protection in distribution network and several implementing projects[J]. Power System Technology, 2002, 26(9): 75-77.
- [3] 余南华, 代仕勇, 梁晓兵. 一种网络化 10 kV 母线快速保护系统的试验分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(20): 168-171. YU Nanhua, DAI Shiyong, LIANG Xiaobing. Experimental analysis of 10 kV fast busbar protection based on networking technology[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(20): 168-171.
- [4] 刘益青, 高厚磊, 李乃永, 等. 适用于站域后备保护的智能变电站站间信息传输方案[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(21): 96-102. LIU Yiqing, GAO Houlei, LI Naiyong, et al. Application of communication simulator based on DL/T860 in smart substation maintenance and expansion[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(21): 96-102.
- [5] 朱革兰, 李海锋, 王钢. 电流闭锁式母线快速保护系统分析与实时仿真[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(9): 57-59. ZHU Gelan, LI Haifeng, WANG Gang. Analysis and real-time simulation of current blocking fast busbar protection system[J]. Power System Protection and

- Control, 2009, 37(9): 57-59.
- [6] 陈明杰. 基于GOOSE的10 kV 简易母线保护研究和应用[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(4): 96-99.
CHEN Mingjie. 10 kV busbar protection research and application based on GOOSE[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(4): 96-99.
- [7] 张春合, 陆征军, 李九虎, 等. 数字化变电站的保护配置方案和应用[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(6): 122-125.
ZHANG Chunhe, LU Zhengjun, LI Jiuhu, et al. Protection configuration scheme and application in digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(6): 122-125.
- [8] 魏承志, 王凯, 文安, 等. 基于站域保护的简易母线研究[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(2): 72-76.
WEI Chengzhi, WANG Kai, WEN An, et al. Study on substation-area protection based simple busbar protection[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(2): 72-76.
- [9] 王丙东, 蔡蕾, 董旭, 等. 中性点不接地系统非对称短路故障分析[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(3): 149-153.
WANG Bingdong, CAI Lei, DONG Xu, et al. A comprehensive analysis for asymmetrical short-circuit fault of electric power system with neutral-point unground[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(3): 149-153.
- [10] 王攀峰, 周小龙, 杨恢宏. 一种面向数字化变电站的母线保护方案[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(12): 68-71.
WANG Panfeng, ZHOU Xiaolong, YANG Huihong. A scheme of busbar protection in digital substation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(12): 68-71.
- [11] 严浩军, 夏巧群, 刘鹏, 等. 35 kV 配电网中性点灵活接地方式的仿真研究[J]. 陕西电力, 2016, 44(3): 43-47.
YAN Haojun, XIA Qiaoqun, LIU Peng, et al. Simulation & study on flexible neutral grounding mode in 35 kV distribution network[J]. Shaanxi Electric Power, 2016, 44(3): 43-47.
- [12] 王义平, 向辉, 张明昭. 变压器限时速断保护的加装和整定分析[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(9): 126-128, 134.
WANG Yiping, XIANG Hui, ZHANG Mingzhao. Installation and setting analysis of time-limited quick-break protection for transformer[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(9): 126-128, 134.
- [13] 蔡燕春, 张少凡, 杨咏梅, 等. 20 kV 环网继电保护整定与运行分析[J]. 广东电力, 2016, 29(2): 64-69.
CAI Yanchun, ZHANG Shaofan, YANG Yongmei, et al. Analysis on relay protection setting and operation of 20 kV loop network[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(2): 64-69.
- [14] 张超, 谭建成, 韦化. 基于 IEC61850 的简易母线保护[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(22): 79-83.
ZHANG Chao, TAN Jiancheng, WEI Hua. Simple busbar protection based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(22): 79-83.
- [15] 杜振华, 王建勇, 罗奕飞, 等. 基于 MMS 与 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): 178-181.
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): 178-181.
- [16] 陈晓杰, 徐丙根, 陈羽, 等. 配电网分布式控制实时数据快速传输技术[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(17): 151-158.
CHEN Xiaojie, XU Binggen, CHEN Yu, et al. Real-time data fast transmission technology for distributed control of distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(17): 151-158.
- [17] 杨贵, 吕航, 袁志斌, 等. 智能变电站过程层网络流量控制和同步方法研究与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(11): 70-74.
YANG Gui, LÜ Hang, YUAN Zhibin, et al. Research and realization of intelligent substation process level network flow control and synchronization method[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(11): 70-74.

收稿日期: 2017-02-20; 修回日期: 2017-05-31

作者简介:

刘洋(1983—), 男, 通信作者, 硕士, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: xjtc_liuyang@126.com

吴水兰(1976—), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: xjtc_wushuilan@126.com

朱若松(1974—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为电力系统继电保护。E-mail: xjtc_zhuruosong@126.com

(编辑 张爱琴)