

DOI: 10.7667/PSPC180506

就地化母线保护在电力系统中的应用

王风光^{1,2}, 杜兴伟³, 吕航^{1,2}, 丁杰¹, 代家强¹

- (1. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102;
2. 智能电网保护和运行控制企业国家重点实验室, 江苏 南京 211102;
3. 国网河南省电力公司, 河南 郑州 450018)

摘要: 介绍了国网就地化母线保护实现方案, 从子机配置方案、环网通信方案及保护专网通信方案三个方面对就地化母线进行了介绍。分析了就地化母线保护在现场实施过程中遇到的问题, 如子机动作行为不一致, 过程层配置工作量大, 刀闸位置可靠性降低等, 并提出了相应的解决措施。最后介绍了就地化母线保护可优化改进的保护功能。与传统母线保护相比, 就地化母线保护提高了间隔接入能力, 提高了数据通信可靠性, 提高了保护动作速度, 具备更大的技术优势以及更加广阔的应用前景。

关键词: 就地化; 母线保护; 环网通信; 过程层配置

Application of local busbar protection in power system

WANG Fengguang^{1,2}, DU Xingwei³, LÜ Hang^{1,2}, DING Jie¹, DAI Jiaqiang¹

- (1. Nanjing Nari-relays Electric Co Ltd, Nanjing 211102, China;
2. State Key Laboratory for Smart Grid Protection and Operation Control, Nanjing 211102, China;
3. State Grid Henan Electric Power Company, Zhengzhou 450018, China)

Abstract: This paper introduces the implementation scheme of outdoor installation bus protection from three aspects: sub-machine configuration scheme, ring network communication scheme and protection special network communication scheme. It firstly analyzes the problems which outdoor installation busbar protection may meet in the implementation, such as operation behavior disagreement, heavy workload in process configuration, low disconnecter reliability, etc., and then proposes the corresponding solutions. Finally, the functions of outdoor installation busbar protection which can be optimized and improved are introduced. Compared with the traditional busbar protection, out-door installation busbar protection improves the bay access ability, the reliability of the data communication, and the protection operation speed, which has more technical advantages and broad application prospects.

This work is supported by Science and Technology Project of the Headquarter of State Grid Corporation of China (No. 521101180004).

Key words: local; busbar protection; ring communication; process configuration

0 引言

我国电力行业经过数十年的发展, 变电站由早期的常规变电站发展到综合自动化变电站, 再发展到现在的智能变电站^[1]。借助关键技术的快速发展及标准化工作的同步推进, 智能变电站目前已处于大规模工程实践阶段。大量的工程实践, 给新技术

和新设备的研制和应用提供了良好的验证环境, 同时也暴露了一些新的问题, 如系统可靠性降低、运维工作量增加及占地面积大、能耗高等问题^[2]。2017年6月, 国家电网公司组织编制了《国家电网继电保护技术发展纲要》, 纲要中明确提出: 积极开展以“采样数字化、保护就地化、元件保护专网化、信息共享化”为特征的继电保护体系研究, 推动智能变电站技术进步。母线保护装置作为智能变电站中的重要元件保护装置, 同样必须满足“四化”特征的要求, 因此, 研究即插即用就地化母线保护装置

基金项目: 国家电网公司总部科技项目(521101180004)“就地化保护构建方案及关键技术研究”

势在必行^[3-4]。

对于就地化母线保护装置的实现方案，目前已经有多篇文献进行了详细介绍。总地来说，采用分布式母线保护方案已经被大家所接受，但是具体实现细节上还存在分歧，比如采用有主分布式还是无主分布式，分布式母线保护各单元采用星型连接方式还是环网连接方式，分布式子单元接入一个间隔还是多个间隔等^[5]。

为了消除上述分歧，国家电网公司多次组织会议，邀请国内知名继电保护专家对各种方案进行论证，最终形成现阶段就地化母线保护装置的最优实现方案。本文将对该方案进行介绍，并提出现场实施过程中将遇到的新问题及改进措施。此外，对于就地化母线保护可进行的功能优化进行了分析。

1 方案介绍

1.1 总体方案介绍

就地化母线保护采用无主分布式方案，各子机间通过高可靠无缝冗余环网(HSR)连接，传输定值、模拟量及开关量等数据信息。各子机接入保护专网，与其他保护设备进行采样值(SV)/通用变电站事件(GOOSE)等数据信息交换。各子机通过保护专网接受智能管理单元的管理。图 1 为就地化母线保护配置方案^[6]。

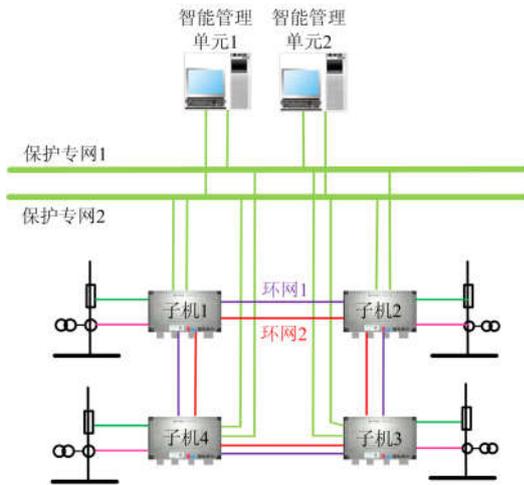


图 1 就地化母线保护配置方案

Fig. 1 Configuration of local busbar protection

1.2 子机配置方案

母线保护各子机的软、硬件版本完全一致，方便版本管理及现场更换式检修。每个子机最多接入 8 个间隔，对于 3/2 接线，这 8 个间隔全为支路间隔，对于其他主接线(双母线、双母单分段接线等)，这 8 个间隔包含 1 个电压互感器(PT)间隔及 3 个母

联/分段间隔(硬件上可以兼任支路间隔)和 4 个支路间隔。3/2 接线最多可以接入 2 个子机，共 16 个支路间隔，其他主接线最多可以接入 4 个子机，包含 3 个 PT、3 个母联分段间隔、25 个支路间隔。

每个子机通过电缆采集 8 个间隔的模拟量及开关量，并通过 HSR 环网以 SV/GOOSE 方式发送给其他子机。每个子机均可以获取所有间隔的模拟量及开关量信息，具备完整的母线保护功能，但是子机判断为母线保护动作时，只负责本子机 8 个间隔的跳闸出口。

1.3 环网通信方案

图 2 为子机环网通信网络结构示意图，子机通信网络采用双向冗余双环形网络结构。通信环网 1 与通信环网 2 互相独立，并且两个环网内的数据传输均为双向传输，所以任一子机异常均不会导致网络链路中断，保证了子机数据的可靠实时传输^[7-9]。

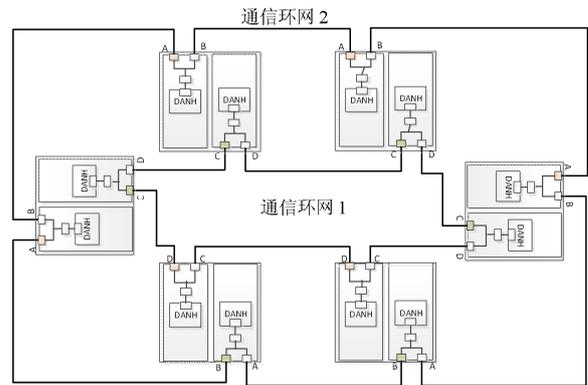


图 2 子机环网通信网络结构

Fig. 2 Ring network architecture of bay unit

环网内主要传输三类数据：

1) 网络标识，区分环网类型为保护环或启动环，保护类型为主变保护或母线保护，保证环网数据准确传输。

2) 应用数据，包含间隔模拟量、开关量及子机定值等。各子机将从环网获取到的定值与本子机定值进行对比，如果定值不一致，则保护功能被闭锁。

3) 延时数据，用于计算环网内相邻两子机间的链路传输延时，保证环网数据采样同步^[10-13]。

环网通信速率为 1 000 M/s，每台子机按 250 μs 的时间间隔定时发送单一报文帧，即每秒发送 4 000 帧报文。按母线保护最大接入 4 个子机，每帧报文长度 500 字节来计算，最大负载率为

$$500 \text{ 字节} \times 8 \times 4 \times 4 \text{ 000 帧} / (1 \text{ 000} \times 10^6) = 6.4\%$$

环网通信负载率较小，通信可靠性高。

1.4 保护专网通信方案

就地化母线保护各子机均接入保护专网, 保护专网上还接有智能管理单元、故障录波器、线路保护、主变保护以及站域保护等装置。

子机接受保护管理单元的统一管理, 如操作管理(包含定值修改、软压板投退)、故障信息管理及备份管理等功能。

子机接收线路保护及主变保护的 GOOSE 启动失灵开入, 需要注意的是, 由于每个子机均具备完整的母线保护功能, 所以每个子机均需要接收所有间隔的 GOOSE 启动失灵开入。子机向线路保护及主变保护发送闭锁重合闸、远跳及失灵联跳等 GOOSE 信号。

子机向站域保护或故障录波器发送 SV/GOOSE 数据, 发布数据符合 IEC 61850-9-2 规范要求^[14-16]。

2 新问题及解决方案

就地化母线保护方案坚持了继电保护的“四性”原则, 即可靠性、速动性、灵敏性、选择性, 并兼顾了经济性。与现有母线保护方案相比, 就地化母线保护方案有较大的变化, 所以在实际应用过程中, 运维人员可能会碰到一些新问题^[17-22]。

2.1 子机动作行为不一致

就地化母线保护采用无主分布式方案, 母线保护各子机均具备完整的母线保护功能, 各子机通过 HSR 环网交换本地采集数据信息。如果某子机(假设为子机 x)无法发送本地采集的数据信息, 但是可以接收其他子机发送的数据信息, 那么在发生母线区内故障时, 子机 x 可以正常动作出口, 但是其他子机由于接收不到子机 x 数据, 保护功能被闭锁, 无法动作出口, 从而出现各子机动作行为不一致的情况。

智能变电站母线保护与合并单元采用星形连接方式, 当母线保护无法接收合并单元采样数据时, 母线保护将被闭锁。与智能变电站母线保护比较, 就地化母线保护可以保证部分子机不被闭锁, 具有显著的优势。

为了避免出现子机动作行为不一致的情况, 当任一子机通信异常时, 异常信息应能够及时上送后台, 以通知运维人员及时进行处理。为了实现这一点, 智能管理单元需要接收所有子机的异常报文, 导致保护专网的网络通信负载较重, 运维人员需要对多台子机的报文进行甄别, 以定位异常子机, 工作量较大, 对运维人员技术水平要求较高。

为了解决这个问题, 智能管理单元应当先对多台子机报文进行合并处理, 然后再上送后台。此外,

智能管理单元应对各子机报文进行智能诊断, 协助运维人员定位异常子机。以上述异常情况为例, 当所有子机均上送无法接收到子机 x 数据的报警报文, 而子机 x 未上送无法接收数据的报警报文时, 智能管理单元可以判定子机 x 的数据发送出现异常。

2.2 过程层配置工作量大

就地化母线保护各子机的软件版本及定值单、IEC 61850 模型文件完全一致。各子机通过保护专网接收线路保护或主变保护的 GOOSE 启动失灵开入, 以完成断路器失灵保护功能。由于各子机保护功能相对独立, 所以均需要进行过程层配置以完成 GOOSE 启动失灵开入接收, 与智能站非就地化母线保护相比, 配置工作量较大。以就地化母线保护安装 N 台子机为例, GOOSE 过程层配置的工作量为非就地化母线保护的 N 倍。如果仍然采用人工进行配置, 既增加了配置工作量, 也增加了配置出错的概率, 给就地化设备安全可靠运行带来了隐患。

现有过程层配置的生成产物为 IEC 61850 模型文件(CID)及过程层配置文件(CCD), 两个文件下载进智能化设备后, 智能化设备获取到过程层发布设备的相关参数, 即完成过程层链路的构建。两个文件的语法结构较复杂, 非专业人员很难直观地看懂过程层链路关系。从根本上来说, 如果将过程层发布设备的相关参数以装置参数的形式来体现, 用户通过设定这些装置参数, 由就地化设备自动生成过程层配置产物, 即可以完成过程层配置自动关联, 基本配置规则如下。

1) 各厂家同一类型设备发送的 GOOSE 数据集成员名称、类型及顺序完全一致;

2) 各厂家就地化设备的设备标识应唯一(设备物理地址(MAC)及设备识别号(APPID)根据该设备标识自动生成;

3) 各厂家需设置 IEDNAME 来标识本装置的类型和属性^[23-25]。

通过实现保护专网过程层配置的自动关联, 既解决了就地化母线保护过程层配置工作量大的问题, 又提高了过程层配置的准确率, 保证了就地化母线保护的安全可靠运行。

2.3 刀闸位置可靠性降低

母线保护差动元件包含大差元件及小差元件, 其中大差元件固定计入各支路(不包含母联分段)电流, 用于区分母线区内或母线区外故障, 小差元件需要根据各支路刀闸位置计入支路电流, 用于选择故障母线, 所以, 支路刀闸位置的可靠性直接影响到母差保护动作行为的可靠性。

就地化母线保护各子机设备通过电缆采集本子

机所连接的支路刀闸位置，与常规母线保护不同的是，子机开入板卡上不配置光耦正电源监视开入。带来的问题是，如果开入电源丢失，子机将无法检测出开入光耦异常。如果开入电源丢失时支路电流较小，则子机无法通过支路有流无刀(有电流无刀闸位置合位开入)逻辑报刀闸位置报警报文。这种情况下，因为子机丢失了支路刀闸位置开入，所以小差差流计算不正确，在发生母线区内故障时，有可能造成差动保护拒动或误跳健全母线。

为了解决此问题，有以下解决方案：

1) 子机开入板卡增加电源监视开入，当开入电源丢失时，子机能够检测出开入电源异常，并记忆开入电源丢失前的支路刀闸位置；

2) 子机采集各支路刀闸位置的常开及常闭接点，当开入电源丢失时，因为刀闸常开常闭接点均为 0，所以子机可通过内部逻辑记忆刀闸位置丢失前的有效位置；

3) 当刀闸位置发生变位时，子机上送刀闸位置异常报警，报警信号需要运行人员远方确认才能复归，如果运行人员确认该刀闸变位非正常变位，则通知检修人员临时强制支路刀闸位置，并立即处理刀闸异常问题。

以上三个方案中，方案 1 只需要增加开入电源监视开入，方案 2 使子机开入数量翻倍，需要修改子机尺寸，方案 3 只能通过报警的方式提醒运维人员及时处理，不能对电源丢失前的刀闸有效位置进行记忆，因此方案 1 是最简单可行的方案。

3 功能优化

根据 1.2 节子机配置方案及 1.3 节环网通信方案所述，就地化母线保护的各子机软、硬件版本完全一致，环网通信负载率较小，因此可以比较方便地通过增加子机数量以提高母线保护的接入能力。与传统母线保护相比，就地化母线保护接入能力的提高为保护功能优化提供了硬件保障。

3.1 母联死区功能优化

由于传统母线保护接入能力的限制，应用于双母线的母线保护装置，对于母联间隔只考虑了单 CT 的接入方式，即使母联间隔一次配置了两组 CT，母线保护也只接入其中一组。

如图 3 所示，母联 CT 同时计入 I 母小差及 II 母小差。无论发生 I 母故障或者 II 母故障，这种接入方式对差动保护动作行为不会产生影响，差动保护可以保证准确切除故障母线。

这种接入方式的缺点是，如果母联开关在合位

情况下，母联死区 K1 点发生故障，则差动保护需要动作切除 I 母及 II 母上的所有间隔。

如果母线保护接入母联开关的双 CT，则可以保证在上述故障情况下，差动保护动作只跳死区侧母线，不会误切除健全母线。

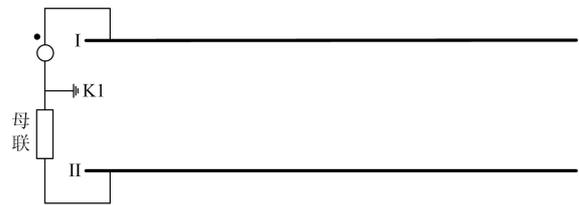


图 3 母联配置单 CT 的双母线系统

Fig. 3 Double busbar system with single CT configuration for bus coupler

如图 4 所示，母联配置双 CT，分别为 CT1、CT2，其中 CT1 计入 I 母小差差流 I_{d1} ，CT2 计入 II 母小差差流 I_{d2} ，根据式(1)计算 CT1 及 CT2 电流幅值的和 I_{dbc} 。

$$I_{dbc} = I_1 + I_2 \quad (1)$$

在 I 母或者 II 母发生母线区内故障时， I_{d1} 或 I_{d2} 满足差动动作条件， I_{dbc} 接近于 0，但是在母联死区 K1 点发生母联死区故障时， I_{d1} 、 I_{d2} 及 I_{dbc} 均满足差动动作条件，基于此逻辑即可判定为发生母联死区故障。

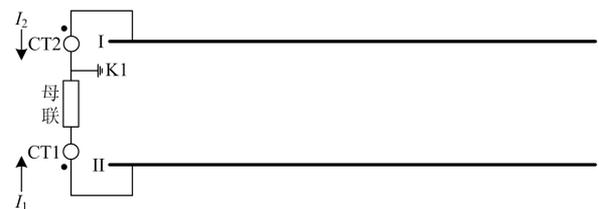


图 4 母联配置双 CT 的双母线系统

Fig. 4 Double busbar system with dual CT configuration for bus couple

发生母联死区故障时，差动动作瞬时跳母联，闭锁差动跳母线，如果母联开关跳开后，大差动作仍不返回，则将母联电流退出差动计算，并开放差动跳母线逻辑。母联电流退出差动计算后， I_{d1} 仍满足差动动作条件， I_{d2} 不满足差动动作条件，所以差动动作只跳 I 母，避免了差动跳 II 母，缩小了故障范围。

3.2 双母双分段接线母线保护功能优化

对于双母双分段接线方式，传统母线一般按两套母线保护来配置，每套母线保护的保护区如图 5 所示，分段 1 及分段 2 CT 电流同时接入母线保护

1 及母线保护 2。

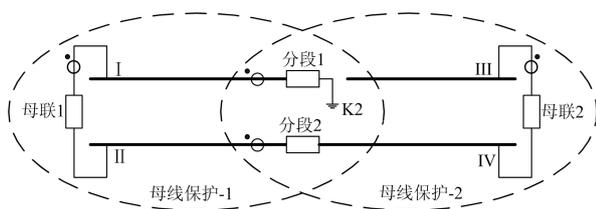


图 5 双母双分段系统

Fig. 5 Double busbar system with dual bus sections

这种配置方式的缺点是，母线保护不能同时获取 I 母与 III 母电压以及 II 母与 IV 母电压，导致差动保护动作跳分段时不能经电压判别，否则在发生图 5 所示 K2 点故障时，差动保护有可能不能跳开分段 1。

如图 5 所示，分段 2 开关在分位，当分段 1 间隔 K2 点发生故障时，I 母电压闭锁开放，但是 I 母差流为 0，III 母与故障点无电气联系，所以电压闭锁不开放，但是 III 母差流满足动作条件。如果差动动作跳分段经电压闭锁的话，则 I 母与 III 母差动保护均不能动作跳分段 1。

就地化母线保护最大可以接入 4 个 PT 间隔，所以应用于图 5 所示的双母双分段接线方式时，可以同时接入 I 至 IV 母母线电压。差动保护动作跳分段 1 时，经 I 母与 III 母电压闭锁元件的“或”门闭锁；差动保护动作跳分段 2 时，经 II 母与 IV 母电压闭锁元件的“或”门闭锁。这种电压接入方式提高了差动动作的可靠性，并避免了某些情况下差动保护跳分段拒动的问题。

进一步地，因为就地化母线保护的间隔接入能力较高，所以可以使用一套就地化母线保护装置来完成双母双分段四段母线的保护，并且对于母联及分段间隔均采用双 CT 接入方式。采用这种保护配置方式，既减少了母线保护装置数量，又保证了在发生母联或分段合位死区故障时，差动保护只跳死区侧母线，不误跳健全母线，提高了差动保护动作的可靠性。

3.3 主变支路数量增加

母线保护接入的支路类型需要区别线路支路或主变支路，因为二者的断路器失灵保护逻辑不同。

1) 主变支路不经电压闭锁，因为需要考虑主变低压侧故障高压侧开关失灵时，高压侧母线的电压闭锁灵敏度有可能不够的情况。

2) 主变支路失灵保护动作时需要联跳变压器三侧开关。

传统母线保护均按最大可接入 4 个主变支路来考虑。对于电厂及大型变电站等主变支路个数可能会超过 4 个的应用场合，需要通过特殊开发来满足现场需求。因为就地化母线保护的间隔接入能力较高，所以可以将可接入主变的支路个数提高至 8 个，以实现标准程序在更多应用场合的使用。

4 结语

就地化母线保护采用无主分布式安装方案，本文从子机配置方案、环网通信方案及保护专网通信方案三个方面对就地化母线进行了介绍，并对就地化母线现场实施过程中遇到的新问题进行了分析。就地化母线保护可接入间隔数量较多，为一些功能优化提供了硬件基础，本文也对这部分功能进行了介绍。

就地化母线保护相比传统母线保护装置，提高了间隔接入能力，提高了数据通信可靠性，提高了保护动作速度。随着就地化母线保护的广泛应用，功能逐渐改进，就地化母线保护必将具备更大的技术优势，具备更加广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 李宝伟, 文明浩. 新一代智能变电站 SV 直采和 GOOSE 共口传输方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(1): 96-101.
LI Baowei, WEN Minghao. Research of the scheme for SV direct sampling and GOOSE transmit in the same port in new generation smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(1): 96-101.
- [2] 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. DOI: 10.1186/s41601-016-0012-2.
- [3] 周小波, 汪思满, 吴正学, 等. 环网分布式母线保护装置就地化实现探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 104-108.
ZHOU Xiaobo, WANG Siman, WU Zhengxue, et al. Local placing implementation research of distributed HSR busbar protection[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 104-108.
- [4] 王攀峰, 张克元, 文明浩, 等. 应用于数字化变电站的分布式母线保护的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(13): 68-71.
WANG Panfeng, ZHANG Keyuan, WEN Minghao, et al. The research of distributed busbar protection applied in

- digital substation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(13): 68-71.
- [5] 王德林, 裘愉涛, 凌光, 等. 变电站即插即用就地化母线保护的应用方案和经济性比较[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(16): 12-19.
WANG Delin, QIU Yutao, LING Guang, et al. Application scheme and economical comparison of plug & play and outdoor installation protection in substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16): 12-19.
- [6] 王玉玲, 刘宇, 樊占峰, 等. 有限集中式就地化母线保护方案[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(16): 35-40.
WANG Yuling, LIU Yu, FAN Zhanfeng, et al. Scheme of finitely concentrated outdoor installation bus protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16): 35-40.
- [7] 裘愉涛, 王德林, 胡晨, 等. 无防护安装就地化保护应用与实践[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 1-5.
QIU Yutao, WANG Delin, HU Chen, et al. Application and practice of unprotected outdoor installation protection[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 1-5.
- [8] 周小波, 唐治国. 基于 MapReduce 架构的就地化分布式母线保护研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 128-135.
ZHOU Xiaobo, TANG Zhiguo. Research on outdoor installation distributed busbar protection based on MapReduce architecture[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(6): 128-135.
- [9] 黄继东, 樊占峰, 李宝伟, 等. 面向应用的在线定制式就地化保护选配功能设计[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(9): 113-118.
HUANG Jidong, FAN Zhanfeng, LI Baowei, et al. Design of matching function of application-oriented and online customized local protection[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(9): 113-118.
- [10] 李斌, 马超, 贺家李, 等. 基于 IEC 61850 的分布式母线保护方案[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(20): 66-70.
LI Bin, MA Chao, HE Jiali, et al. Distributed busbar protection scheme based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(20): 66-70.
- [11] 胡绍谦, 李力, 朱晓彤, 等. 提高智能变电站自动化系统工程实施效率的思路与实践[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(11): 173-180.
HU Shaoqian, LI Li, ZHU Xiaotong, et al. Scheme and practice for improving engineering implementation efficiency of smart substation automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(11): 173-180.
- [12] 杨志宏, 周斌, 张海滨, 等. 智能变电站自动化系统新方案的探讨[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(14): 1-7.
YANG Zhihong, ZHOU Bin, ZHANG Haibin, et al. Discussion on novel scheme of smart substation automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(14): 1-7.
- [13] 王春生. 母线保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [14] 杨奇逊. 微机继电保护基础[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988.
- [15] 秦红霞, 武芳瑛, 彭世宽, 等. 智能电网二次设备运维新技术研讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 35-40.
QIN Hongxia, WU Fangying, PENG Shikuan, et al. New technology research on secondary equipment operation maintenance for smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 35-40.
- [16] 陈福峰, 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): 204-209.
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): 204-209.
- [17] 刘伟, 倪传坤, 杨恢宏, 等. 智能变电站分布式母线保护实现方案[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(16): 139-141, 146.
LIU Wei, NI Chuankun, YANG Huihong, et al. Implementation of distributed busbar protection applied to smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(16): 139-141, 146.
- [18] 刘颖. 智能变电站全寿命周期“即插即用”技术体系的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 23-28.
LIU Ying. Research and application on the technology system of plug & play in the smart substation's life cycle[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 23-28.
- [19] 刘洋, 马进, 张籍, 等. 考虑继电保护系统的新一代智能变电站可靠性评估[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(8): 147-154.
LIU Yang, MA Jin, ZHANG Ji, et al. Reliability evaluation of a new generation smart substation considering relay

- protection system[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(8): 147-154.
- [20] 杨毅, 高翔, 朱海兵, 等. 智能变电站 SCD 应用模型实例化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 107-113.
- YANG Yi, GAO Xiang, ZHU Haibing, et al. Case study on SCD application based on demo smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 107-113.
- [21] 何剑军, 林裕新, 李家璐. 高可靠性继电保护网络采样同步系统[J]. 广东电力, 2018, 31(2): 88-94.
- HE Jianjun, LIN Yuxin, LI Jialu. Network sampling synchronization system of high reliable relay protection[J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(2): 88-94.
- [22] 刘井密, 李彦, 杨贵. 智能变电站过程层交换机延时测量方案设计[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 111-115.
- LIU Jingmi, LI Yan, YANG Gui. Design of delay measurement switch in intelligent substation process level[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 111-115.
- [23] 李岩军, 艾淑云, 王兴国, 等. 继电保护就地化及测试研究[J]. 智能电网, 2014, 2(3): 16-21.
- LI Yanjun, AI Shuyun, WANG Xingguo, et al. Locally installed mode and test research of relay protection[J]. Smart Grid, 2014, 2(3): 16-21.
- [24] 刘世丹, 袁亮荣. 基于同步功能改进的智能变电站区域保护系统[J]. 广东电力, 2017, 30(7): 35-39.
- LIU Shidan, YUAN Liangrong. Regional protection system of intelligent substation based on synchronization improvement[J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(7): 35-39.
- [25] 胡春潮. 基于 IEC61850 动态数据集的源端维护技术[J]. 广东电力, 2016, 29(12): 57-61.
- HU Chunhao. Substation data source-side maintenance based on IEC61850 dynamic dataset[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(12): 57-61.

收稿日期: 2018-05-02; 修回日期: 2018-07-13

作者简介:

王风光(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统继电保护研究与开发工作; E-mail: wangfg@nrec.com

杜兴伟(1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事继电保护运行与管理工 作; E-mail: 81251659@qq.com

吕航(1971—), 男, 硕士, 教高级工程师, 从事电力系统继电保护研究与开发工作。E-mail: lvh@nrec.com

(编辑 魏小丽)