

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.191122

就地化保护更换式检修技术研究

傅振宇¹, 杨飞², 钱海², 张武洋³, 陈罗飞⁴, 南东亮⁵

(1. 国网朝阳供电公司, 辽宁 朝阳 122000; 2. 国网辽宁省电力有限公司, 辽宁 沈阳 110006;
3. 国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院, 辽宁 沈阳 110006; 4. 北京博电新力电气股份有限公司,
北京 100176; 5. 国网新疆电力有限公司电力科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 就地化保护更换式检修方式的提出对现有保护检修方式方法带来了新的理解。通过分析就地化保护装置特点、更换式检修流程及检修需求, 提出就地化更换式检修技术方案。首先分析了就地化保护技术特点及更换式检修条件。其次从保护逻辑、保护专网、元件保护环网等方面对更换式检修测试需求进行分析。最后提出一种适用于更换式检修中心的专用检修平台方案。该检修平台采用一键式自动测试方式, 解决全部类型的就地化保护检测问题, 提高更换式检修工作效率, 为就地化保护更换式检修运维提供一种高效的测试方法和测试工具。

关键词: 就地化保护; 更换式检修技术; 自动测试技术

Research on replacement maintenance technology of on-site protection

FU Zhenyu¹, YANG Fei², QIAN Hai², ZHANG Wuyang³, CHEN Luofei⁴, NAN Dongliang⁵

(1. State Grid Chaoyang Power Supply Company, Chaoyang 122000, China;
2. State Grid Liaoning Electric Power Co., Ltd., Shenyang 110006, China; 3. Research Institute of State Grid Liaoning Electric Power Co., Ltd., Shenyang 110006, China; 4. PONOVO POWER CO., LTD, Beijing 100176, China;
5. Research Institute of State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Urumqi 830011, China)

Abstract: The replacement maintenance mode of on-site protection brings new understanding to the existing protection maintenance mode and method. By analyzing the characteristics of the on-site protection device, the process of the replacement maintenance center and the maintenance demand, the replacement maintenance technical scheme of on-site protection is put forward. First, the characteristics of on-site protection technology and the condition of replacement maintenance are analyzed. Secondly, the requirement of a replacement maintenance test is analyzed from the aspects of protection logic, protection special network and component protection ring network. Finally, a special maintenance platform for a replacement maintenance center is proposed. Through this maintenance platform, all on-site protection detection problems are solved, and a one-button automatic testing mode is adopted to improve the efficiency of replacement maintenance. This provides an efficient solution for the on-site protection replacement maintenance mode.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 2019YF-24) "Research on General Testing Technology for On-Site Protection Oriented to Replacement Maintenance".

Key words: on-site protection; replacement maintenance technology; automatic testing technology

0 引言

随着智能电网的发展, 传统变电站正逐步向智能变电站发展^[1-2]。但智能电网的快速发展和继电保护设备数量大幅增加, 使智能变电站继电保护面临的问题愈加突出。2017年, 国调中心继电保护工作

会议印发《国家电网国调中心继电保护技术发展纲要》, 提出了就地化继电保护的发展方向。就地化保护采用即插即用方式, 具有装置小型化、光缆预制化、信息共享化等特点, 以“工厂化调试”、“更换式检修”、“诊断式运维”为核心的运维体系, 改变了原有的运维检修模式^[3-7]。《就地化继电保护运维检修技术导则》提出的更换式检修中心作业包括就地化继电保护设备测试、就地化备用保护设备管理、备份文件管理、故障设备处理结果跟踪等, 为

基金项目: 国家电网有限公司科技项目资助(2019YF-24)“面向更换式检修的就地化保护通用检验技术研究”

更换式检修测试提供了技术方向。就地化保护更换式检修流程如图 1 所示。

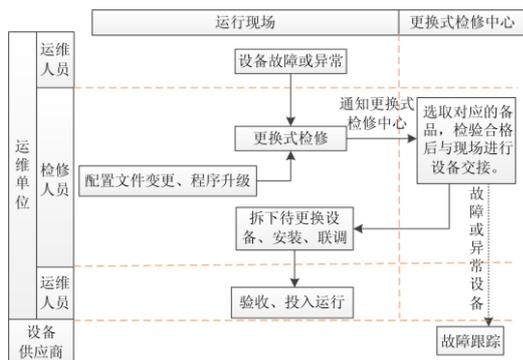


图 1 就地化保护更换式检修流程

Fig. 1 On-site protection replacement maintenance process

就地化保护检修方式的改变为检修运维人员带来了新的挑战。目前就地化更换式检修中心处于起步探索状态,其装置运维检修技术和管理经验尚浅。本文依据就地化保护特点和更换式检修中心职责,提出了符合就地化保护更换式检修运维特点的检修技术方案,为就地化保护更换式检修技术提供测试思路。

1 就地化保护分析

就地化保护已经在国内试运行 3 年时间,2018 年中国电科院完成了对就地化保护装置的全面入网检测。目前就地化保护装置主要包含以下几种类型:

a) 线路及母联保护

单间隔的线路保护或母线保护,采用直采直跳方式,接收互感器的模拟量电流和模拟量电压,并采用电缆跳闸方式,同时具备 SV、GOOSE、MMS 功能^[8],将本设备的状态信息上传到保护专网,为站域保护、录波装置、管理单元提供数据信息。

b) 分布式变压器保护

分布式变压器保护,变压器高、中、低压侧配置相同的分布式子机,子机负责完成模拟量、开关量采集,并且接受其余各个子机的采集信息,完成全部保护逻辑运算并负责本子机对应间隔跳闸出口,每台子机同时具备 SV、GOOSE、MMS 功能,将本设备的状态信息上传到保护专网。选择一台子机在实现保护功能之外,负责与运动、后台及管理单元通信,管理其他子机的定值、压板,并接收和上送各子机保护的動作、异常、告警等信息。采用管理有主,保护无主的模式^[9]。

c) 集中式变压器保护

集中式主变保护同时接收高、中、低三侧模拟量和开关量,三侧均采用模拟量直采和硬接点直跳

方式,同时,主变具备 SV、GOOSE、MMS 功能,将设备状态信息上传到保护专网,为录波装置、管理单元提供数据信息^[10]。

d) 环网分布式母线保护与星型积木式母线保护

母线保护各侧断路器分别设置母线保护子机,各侧子机之间采用无主环网分布式(HSR 环网协议)或主从星型积木式(专用协议)连接;各侧子机电缆直接采样,电缆直接跳闸,同时母线保护具备 SV、GOOSE、MMS 功能,接收其他间隔的 GOOSE 信息,或将 MMS 信息上传到保护专网^[11-13]。

2 更换式检修系统需求分析

2.1 检修系统接口分析

就地化保护主要是应用在常规互感器的变电站,保护采用模拟量采样、硬接点本地跳闸,同时将模拟量与开关位置信息转换成数字信号上传到保护专网,供其他设备共享。跨间隔保护增加环网协议或专用协议数据通信,采用千兆光口传输。

更换式检修平台应具备测试任一种就地化保护装置的能力,由以上分析可知,更换式检修平台从硬件接口上,需要具备模拟量电压电流输出、SV/GOOSE 通信、MMS 通信、千兆环网协议/专用协议、硬接点开关量及外部对时接口。并且,由于跨间隔设备的特殊性,检测平台应能同步输出模拟量和环网协议/专用协议进行跨间隔元件保护测试功能,该功能是智能站中不具备的。

2.2 检修系统功能分析

2.2.1 文件核查

智能管理单元获取保护装置的备份文件,存储在备份区,更换式检修中心和现场管理单元都存有备份文件,当就地化保护装置升级维护或整体更换时,对备用保护进行测试和备份文件下装,首先需要核查备份文件的一致性。

2.2.2 保护逻辑

任一就地化保护装置到达更换式检修中心后,检修平台模拟现场运行环境,对单间隔保护、跨间隔元件保护进行模拟测试,通过提前编制满足检修要求的测试模板,实现一键式自动测试,自动生成检测报告。模拟量与数字量同步输出测试是新增加的重要研究项目。

2.2.3 保护专网功能

SV 发送功能、GOOSE 发送功能是就地化保护与智能站保护的一个明显区别点,SV、GOOSE 的正确性直接影响到站域保护和跨间隔保护的動作行为,及检测装置数据的正确性。从功能特性上分析,就地化保护 SV、GOOSE 功能是智能站合并单元与

智能终端功能的结合^[14-15]。SV 报文延时特性、SV 报文比差/角差、SV 发送均匀性、SV 报文正确性、GOOSE 报文实时性、GOOSE 报文正确性都是重要的测试点。

2.2.4 元件保护环网协议/专用协议功能

环网协议/专用协议是就地化保护新增加的特点，环网协议/专用协议传输的正确性及可靠性直接影响到分布式主变保护和母线保护的正确工作，因此环网协议/专用协议报文正确性测试、环网风暴测试、环网传输延时测试是检修的重要测试点^[16-17]。

3 更换式检修系统架构及实现

3.1 硬件结构设计

就地化保护采用预制航插方式连接，标准中规定了保护尺寸、航插尺寸、航插芯数定义，为就地化接口自动连接提供了依据。更换式检修系统硬件设计结构如图 2 所示。

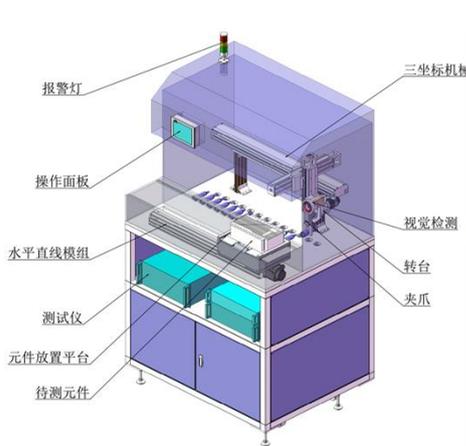


图 2 平台结构设计

Fig. 2 Design of platform structure

测试平台实现待测元件检测过程中插头的自动插拔；将待测元件放到元件放置平台上，通过视觉检测系统对保护装置航插接口进行位置校准，通过机械结构加紧航插对就地化保护装置实现自动校准连接。

更换式检修测试系统硬件设备内部连接设计如图 3 所示。红色为：千兆光口 环网协议/专用协议；绿色为：模拟量电压电流、硬接点开入开出、供电；黄色为：SV、GOOSE、MMS；蓝色为：以太网连接线；紫色为：光 B 码对时或 1588 对时连接线。

3.2 技术实现

3.2.1 文件比对

哈希表(Hash table)法主要根据关键码值(Key Value)而直接进行访问相关数据结构的一种快速定

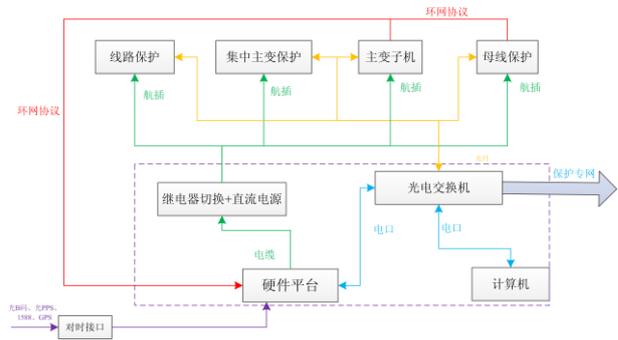


图 3 检修系统接线设计

Fig. 3 Wiring design of maintenance system

位法。也就是说，它通过把关键码值映射到表中的一个位置来访问记录，以加快查找的速度。利用哈希表法原理将 CCD 文件中 GOOSE 发布、GOOSE 订阅、SV 发布、SV 订阅和 CRC 元素的标志位分别存储在数组中，同时将 SCD 文件中与 CCD 文件一致的 IED 的 GOOSE 发布、GOOSE 订阅、SV 发布、SV 订阅和 CRC 元素的标志位分别存储在另一个数组中^[18-19]。分别依次比对 SCD 文件与 CCD 文件对应标志位数组中对应元素，从而判断 SCD 与 CCD 文件是否一致。

同理，对两个备份文件进行比对，将两个备份文件的提交时间、所含内容、软件版本、定值参数等信息进行一致性比对判定。

3.2.2 保护逻辑测试技术

就地化保护逻辑测试与常规保护装置和智能站保护装置逻辑是相同的^[20-21]，不再赘述，此处只就就地化保护新增点进行分析，元件保护需要模拟量与环网协议/专用协议同步输出进行逻辑测试。

模拟量与数字量同步输出，实现参数控制的主板模块同时下发参数给模拟板和数字板，模拟板与数字板都有独立的 FPGA 程序，独立进行正弦波计算，模拟量输出板 FPGA 与数字量输出板 FPGA 引用同一个时钟源，FPGA 控制模拟量相位、数字量相位输出，每接收一个秒脉冲信息，将模拟量与数字量初相位复位，模拟量输出板与数字量输出板的硬件固有延时通过硬件进行补偿，保证模拟量输出与数字量输出相位同步。模拟量输出初相位为 a_1 ，数字量输出初相位为 b_1 ，环网协议延时为 $c_1(\mu s)$ ； $a_1 = b_1 - (c_1 \div 20000) \times 360$ 。

3.2.3 保护专网测试技术

就地化保护专网测试已经在 2.2.3 节中提出，对于 SV 均匀性、异常统计、SV 一致性、GOOSE 实时性、GOOSE 一致性测试已经在智能站中普遍存在，不再详细介绍。此处主要介绍 SV 角差/比差测

试。目前常用的有同步法和插值法两种, 本文提出的检测系统引用了同步算法和一种新型递推算法。

同步法将测试设备与就地化保护都外接时钟信号, 结合秒脉冲时刻采样点的采样计数器置 0 的特点。测试装置从采样计数器为 0 向后取一次傅里计算时间窗内的 N 个采样点进行一次 FFT 计算(离散傅立叶变换是对于在有限的时间间隔(称时间窗)里的采样数据的变换, 时间窗即相当于对数据进行截断)。计算相位即为就地化保护秒脉冲到来时刻其输入端基波正弦信号的相位和有效值。

递推法, 测试装备和被测试就地化保护均无需依赖外部对时信号。从输出控制量到测试仪实际输出该控制量对应的模拟信号或报文之间的时间延时, 可借助其他专用工具测试出来并作为测试装置输出的延时补偿参数。软件设置的基波初相位减去测试仪输出的延时转化为基波下对应的角度, 即为秒脉冲到来时刻测试装置实际输出基波正弦信号的瞬时相位。

就地化保护发送的数字报文(IEC 61850 9-2)其自身含有数据处理延时 T_d (即数据输入到数据输出之间的延时)。测试装置接收到每帧数字报文的报头均通过硬件打上接收时标, 取测试装置秒脉冲到来时刻 t_{ST} 后接收的某帧报文(一般可取采样计数器为 0 的那帧报文)及其接收时标 t_M , 以该帧报文的采样数据为起点向后连续取一次傅里叶计算(如 FFT)时间窗内的 N 个采样点的数据, 通过 FFT 计算获取时标 t_M 时刻就地化保护输出端基波信号的相位 φ_{FFT} , 此相位也即为时标 t_{SM} 时刻就地化保护输入端信号的相位。通过该相位及时标 t_{SM} 与 t_{ST} 之间的时间差则可计算出 t_{ST} 时刻就地化保护输入端基波信号的相位 φ , 该相位即为通过就地化保护的输出信号计算得到的测试装置的秒脉冲到来时刻就地化保护输入端基波信号的相位 φ 。即: $\varphi = \varphi_{FFT} + \frac{T_d - (t_M - t_{ST})}{20000} \times 360$, 时标的单位为 μs , 角度的单位为度。50 Hz 的基波周期为 20 000 μs , 对应角度为 360°。

通过某一时刻 T 的就地化保护输出信号推算秒脉冲时刻测试系统的输出瞬时相位 φ , 与同一 T 时刻测试系统实际输出正弦信号的瞬时相位 ϑ 进行比较计算得到相位差, 同时根据傅立叶计算结果得出幅值差。

3.2.4 网络异常模拟技术

目前智能变电站对 SV、GOOSE 异常模拟已经具备成熟的测试方案和设备, 对丢帧、错序、抖动、

重复等多种异常进行模拟。环网报文异常是就地化保护特有的故障模拟方式, 目前只有国外的几个厂家能实现, 国内还属于空白。本测试系统增加了环网协议输出, 按照 SV、GOOSE 异常模拟机制实现环网协议异常模拟输出, 对报文组包序号控制实现环网报文丢帧错序异常模拟, 对发送时序控制实现环网报文发送间隔测试, 通过改变延时参数和相关联的相位值, 模拟环网延时异常。

3.3 自动测试技术

就地化保护没有液晶操作控制, 自动测试是就地化保护更换式检修的重点。本平台采用自动测试技术将前面介绍的功能串联起来, 实现更换式检修测试项目的整体一键式自动测试。自动测试系统主要控制硬件输出模拟量或数字量, 模拟虚拟的现场运行环境, 接收就地化装置返回的硬接点动作信息或数字量状态信息, 同时通过 MMS 与就地化保护进行数据通信^[22-25]。通过预设的测试项目模板进行输出测试, 通过返回值判断评估, 形成统一的测试报告。

自动测试系统主要包含了三部分, 测试模板编辑部分、测试模板库部分、测试报告库部分。测试模板库是按照被测装置的设备数据模型和测试要求形成的专用测试案例库, 根据被测保护装置型号或测试要求调用或查询测试模板。通过用户管理对测试模板进行分类管理维护, 形成就地化保护测试用例测试库, 提高就地化保护测试效率。测试模板编辑是基于 XML 的面向对象技术, 描述和定义保护装置的设备数据模型定义、测试参数定义、保护装置的特性曲线定义、保护装置的测试分类定义、电气量定义、保护通信命令定义等, 根据就地化保护装置保护功能逻辑、动作区域、功能区分形成专用的测试案例。测试报告库提供一个共有数据库平台, 在此平台上通过授权的多个终端用户可以对测试数据进行存储、查询和分析, 既能直观反应当前多个测试任务的执行情况, 又能对历史数据进行回顾。并最终通过插书签等方式形成一个客户需要的 WORD、Excel 或 PDF 格式的测试报告。自动测试系统平台架构设计如图 4 所示。

4 更换式检修测试流程

就地化保护装置独有的特点使得就地化保护检测方式与智能站检测方式存在很大差异。保护装置到达更换式检修中心后, 更换式检修平台模拟现场运行环境, 从比对备份文件、比对 SCD 文件开始确定装置文件的正确性, 再对保护模拟量采样、开关量、保护逻辑功能进行一键式自动测试, 报文异常模拟功能作为辅助功能, 按测试要求进行测试, 对

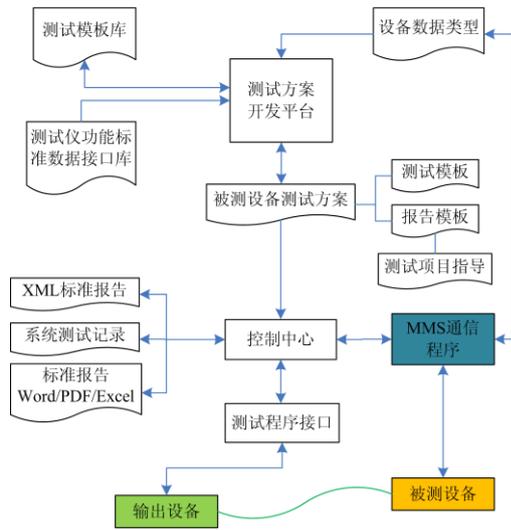


图4 自动测试系统平台架构设计

Fig. 4 Architecture design of ATS platform

具备环网协议功能的跨间隔保护进行环网协议模拟测试,最终形成包含所有测试结果的完整检测报告。更换式检修流程图如图5所示。

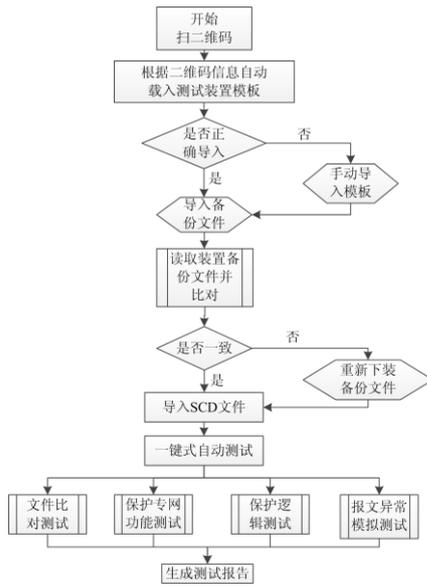


图5 更换式检修流程图

Fig. 5 Flow chart of replacement maintenance

5 结语

本文针对就地化保护特点提出更换式检修技术测试方案,并对新型功能提出了具体实现技术,有效地解决了就地保护更换式检修中心的更换式设备检测问题。

目前国内多个就地化保护试点站正在挂网运行,就地化保护运维检修手段不可缺少。本文提出的检测技术是笔者结合多年的智能站测试经验和就

地化更换式检修中心职责提出的个人观点。如何能更有效更全面地对保护进行检修是运维工作的重点。第三代智能站(智慧变电站)提出的保护就地化和就地子模块概念也是采用更换式检修模式,本文提出的更换式检修检测方法也为第三代智能站更换式检修设备的检测提供一种思路和方法。

参考文献

[1] 樊陈,倪益民,申洪,等. 中欧智能变电站发展的对比分析[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(16): 1-7.
FAN Chen, NI Yimin, SHEN Hong, et al. Comparative analysis on development of smart substation in China and Europe[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(16): 1-7.

[2] 宋璇坤,韩柳,鞠黄培,等. 中国智能电网技术发展实践综述[J]. 电力建设, 2016, 37(7): 1-11.
SONG Xuankun, HAN Liu, JU Huangpei, et al. A review on development practice of smart grid technology in China[J]. Electric Power Construction, 2016, 37(7): 1-11.

[3] 刘宏君,裘愉涛,徐成斌,等. 一种新的智能变电站继电保护架构[J]. 电网与清洁能源, 2015, 31(3): 49-51.
LIU Hongjun, QIU Yutao, XU Chengbin, et al. A new architecture of relay protection in smart substation[J]. Power System and Clean Energy, 2015, 31(3): 49-51.

[4] GONG Xiao, LÜ Hang, LIU Dongchao, et al. Research on new protection and control system scheme in smart substation using on-site module[C] // International Seminar of Purple Mountain Forum Academic Forum, 2019, Beijing: 485-495.

[5] 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.

[6] 王德林,裘愉涛,凌光,等. 变电站即插即用就地化保护的应用方案和经济性比较[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(16): 12-16.
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): 12-16.

[7] 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.

[8] 吴通华,郑玉平,周华,等. 基于功能纵向集成的无防护安装就地化线路保护[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(16): 46-52.
WU Tonghua, ZHENG Yuping, ZHOU Hua, et al. Vertically integrated outdoor installation line protection[J].

- Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16): 46-52.
- [9] 裘愉涛, 徐凯, 陈福锋, 等. 基于双向环网的变压器保护就地化实现方案[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(16): 41-45.
QIU Yutao, XU Kai, CHEN Fufeng, et al. Implementation scheme of outdoor installation transformer protection based on bidirectional ring network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16): 41-45.
- [10] 就地化继电保护装置技术规范 第 6 部分: 集中式变压器保护送审稿, 备案号: ICS 29.240 K 45[S].
Standard specification for on-site protection equipment part 6: on-site centralized transformer protection, record number: ICS 29.240 K 45[S].
- [11] 就地化继电保护装置检测规范 第 6 部分: 母线保护装置专用功能测试送审稿, 备案号: ICS 29.240 K 45[S].
Testing specification for on-site protection equipment part 6: special function test busbar protection equipment, record number: ICS 29.240 K 45[S].
- [12] 就地化继电保护装置技术规范 第 7-3 部分: 星型积木式母线保护送审稿, 备案号: ICS 29.240 K 45[S].
Standard specification for on-site protection equipment part 7-3: modular busbar protection equipment in star network mode, record number: ICS 29.240 K 45[S].
- [13] 就地化继电保护装置技术规范第 7-1 部分: 环网管理无主积木式母线保护送审稿, 备案号: ICS 29.240 K 45[S].
Standard specification for on-site protection equipment part 7-1: modular busbar protection equipment in ring network and distributed management mode, record number: ICS 29.240 K 45[S].
- [14] ZHENG Y, WANG D, ZHOU Z, et al. Hierarchical protection control system of smart substations[J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2014, 2(3): 282-288.
- [15] WANG W, LIU M, ZHAO X, et al. Shared-network scheme of SMV and GOOSE in smart substation[J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2014, 2(4): 438-443.
- [16] 姚庆华, 董林会. 现代智能变电站中二次回路延时检测方法的研究分析[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(23): 182-186.
YAO Qinghua, DONG Linhui. Research and analysis of the secondary circuit delay detection method in modern intelligent substation[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(23): 182-186.
- [17] NGO H D, YANG H S. Latency and traffic reduction for process-level network in smart substation based on high-availability seamless redundancy[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2016, 63(4): 2181-2189.
- [18] 王艳清, 王云维. 监控文本文件内容变化的文本比较算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(增刊 1): 133-134, 142.
WANG Yanqing, WANG Yunwei. Text comparison algorithm for detecting content change in text files[J]. Journal of Computer Application, 2010, 30(S1): 133-134, 142.
- [19] 邓洁清, 车勇, 单强, 等. 基于标准中间过程文件的SCD 版本比对的优化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(14): 95-99.
DENG Jieqing, CHE Yong, SHAN Qiang, et al. Optimal research of SCD version comparison based on the standard middle process files[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(14): 95-99.
- [20] 继电保护和电网安全自动装置检验规程: DL/T 995—2016[S].
Testing regulations on protection and stability control equipment: DL/T 995—2016[S].
- [21] ZHANG B, HAO Z, BO Z. New development in relay protection for smart grid[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(2): 121-127. DOI: 10.1186/s41601-016-0025-x.
- [22] 张晓莉, 刘慧海, 李俊庆, 等. 智能变电站继电保护自动测试平台[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(18): 91-96.
ZHANG Xiaoli, LIU Huihai, LI Junqing, et al. Automatic test platform in smart substation for relay protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(18): 91-96.
- [23] 浮明军, 刘昊昱, 董磊超. 智能变电站继电保护装置自动测试系统研究和应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 40-44.
FU Mingjun, LIU Haoyu, DONG Leichao. Research and application of relay protection automatic test system for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 40-44.
- [24] 董磊超, 刘昊昱, 浮明军, 等. 智能变电站间隔层设备自动测试系统研制[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(5): 147-151.
DONG Leichao, LIU Haoyu, FU Mingjun, et al. Development of automatic test system for bay level equipment of smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(5): 147-151.
- [25] 刘俊红, 邓兆云, 李泽科, 等. 基于即插即用的智能变电站信息自动校核技术[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(2): 137-143.
LIU Junhong, DENG Zhaoyun, LI Zeke, et al. Automatic information verification technology of smart substation based plug and play[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(2): 137-143.

收稿日期: 2019-09-16; 修回日期: 2019-12-15

作者简介:

傅振宇(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事继电保护及自动化技术研究工作; E-mail: fzywind@126.com

杨飞(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事继电保护及自动化技术研究工作。E-mail: 595212025@qq.com

(编辑 魏小丽)