

DOI: 10.7667/PSPC180054

基于 SCD 与 CCD 校准的智能变电站跨间隔检修技术研究

杨高峰¹, 谢兵¹, 曾志安¹, 邹刚¹, 冯自权²

(1. 国网重庆市电力公司市区供电分公司, 重庆 400000; 2. 北京博电新力电气股份有限公司, 北京 100080)

摘要: 针对智能变电站二次保护设备分散调试工作量大、虚端子回路通信易失败等问题, 介绍了一种基于 SCD 文件与 CCD 文件校准的跨间隔检修系统。该系统主要由一致性比对和同步控制检测两部分功能构成。在 SCD 文件与 CCD 文件一致性比对正确的结果上, 利用光纤时钟同步原理使最多 9 台功率放大器同步输出, 每台功率放大器能够输出 3 相电压和 3 相电流, 功率放大器 8 路开关硬接点回采智能终端保护跳闸信号, 实现主变、线路等多间隔保护一次性闭环检修测试。基于 SCD 文件与 CCD 文件校准的智能变电站跨间隔检修系统实现智能变电站二次设备多间隔整体测试, 对提升智能变电站调试检修效率和开展全站自动测试有一定的参考价值。

关键词: 智能变电站; SCD 文件; 跨间隔检修; 同步输出; 闭环自动测试

Research on cross-interval maintenance technology of intelligent substation based on SCD and CCD calibration

YANG Gaofeng¹, XIE Bing¹, ZENG Zhian¹, ZOU Gang¹, FENG Ziquan²

(State Grid Chongqing Electric Power Company City Power Supply Branch, Chongqing 400000, China;

2. PONOVO Power CO., LTD, Beijing 100080, China)

Abstract: To address the problem of heavy distributed debugging workload and communication failure of virtual terminal loop in intelligent substation secondary protection equipment, a cross-interval maintenance system based on SCD file and CCD file calibration is introduced. The system is mainly composed of consistency ratio and synchronous control detection. Based on the correct result of consistency comparison between the SCD file and the CCD file, this paper makes nine sets of power amplifiers output synchronously at most by using the theory of optical clock synchronization. Each power amplifier can output three phase voltage and three phase current and re-collect intelligent terminal protection tripping signals through hard contact of eight-way switch of power amplifier to realize one-time closed loop maintenance test of multi-spacing protection, for example main transformer, line, etc. Intelligent substation cross-interval maintenance system based on SCD file and CCD file calibration realizes multi-interval integral test of secondary equipment in intelligent substation, which has certain reference value for improving debugging and maintenance efficiency of intelligent substation and carrying out automatic test of the whole station.

This work is supported by 2017 Science and Technology Project of Chongqing Electric Power Company "Research on Onsite Simulation Test Techniques in Smart Substation".

Key words: intelligent substation; substation configuration descriptions file (SCD); cross-interval overhaul; synchronous output; closed loop automatic test

0 引言

智能变电站是坚强智能电网的建设基础和重要组成部分, 是未来智慧电网发展的方向^[1-2]。随着智

能电网的大力发展, 越来越多的智能变电站投入使用^[3]。目前, 智能变电站现场检修^[4]主要依靠合并单元、智能终端和保护设备的单体调试^[5-6], 这种检修服务会产生极大的工作量, 且不能实现二次设备整体链路通信测试。同时, 受限于继电保护测试仪输出功率等硬件指标, 单装置调试手段只能对保护装置

基金项目: 重庆电力公司 2017 科技项目 (2017 重庆渝电科技 33) “智能变电站现场仿真测试技术的研究”

多间隔保护配合检修和区内外故障等复杂的试验项目,会导致存在很多二次保护漏检的项目。

智能变电站调试检修服务中的难点是二次回路的通信^[7-8]。因为智能变电站二次回路采用虚端子通信技术,利用光纤介质进行信号连接的传输,保护设备之间采样信号互联互通不直观。为了保护虚端子配置文件的规范性,国家电网公司于 2016 年 12 月 15 日发布实施了《智能变电站继电保护工程文件技术规范》,详细介绍了 SCD 文件与 CCD 文件的结构和应用。SCD 文件作为全站系统配置文件^[9-10],而 CCD 文件为保护装置虚端子回路配置文件,源自 SCD 文件,两个文件的一致是继电保护装置二次虚端子回路正常通信的基础。在实际的变电站建设现场,由于设计图纸等种种原因会导致 SCD 文件频繁升级,极易出现 SCD 文件与全站部分保护设备的 CCD 文件不一致的情况。保护装置 CCD 文件与全站 SCD 文件不一致会导致二次系统保护装置采样、开关位置传输等通信系统紊乱,严重时会造成保护装置的误动或拒动^[11]。因此,确保 SCD 文件与保护装置 CCD 文件的一致是智能变电站安全可靠运行的基础。

本文主要研究一种基于 SCD 文件与 CCD 文件校准比对的智能变电站现场跨间隔检修系统,通过 SCD 文件与 CCD 文件的校准比对确保保护装置所用虚端子配置文件与智能变电站最终配置文件一

致,从而保证二次回路连接通信正常。利用控制主机分散控制多台电压、电流放大器的模式,实现保护装置、合并单元、智能终端的整体测试以及双套保护配置的现场跨间隔检修。同时,通过硬接点开关位置回采实现整体闭环测试。该现场检修系统采用分散设计思想,通过光纤将功率放大器与仿真控制主机实现可靠通信,闭环实现现场不同保护间隔检修调试服务,对智能变电站二次系统的多间隔整体检修服务有一定的指导意义。

1 哈希表法 SCD 文件与 CCD 文件校准

1.1 SCD 文件与 CCD 文件结构分析

SCD(Substation Configuration Description)文件为智能变电站配置描述文件,包含全站所有 IED 的实例配置和通信参数、IED 之间的通信配置和变电站一次系统结构等信息参数。

CCD(Configured IED Circuit Description)文件为智能变电站 IED 回路实例配置文件,用于描述 IED 的 GOOSE、SV 发布/订阅信息的配置文件,包括发布/订阅的控制块配置、内部变量映射物理端口描述和虚端子连接关系等信息。该文件从 SCD 文件导出后下装到 IED 中运行。

CCD 文件是通过系统配置工具根据 SCD 文件自动生成的,CCD 文件与 SCD 文件的结构及内容见表 1 所示。

表 1 SCD 文件与 CCD 文件结构及内容

Table 1 Structure and content of the SCD file and the CCD file

SCD 文件	CCD 文件
文件结构及内容	文件结构及内容
1) rivate	
2) header:	
3) substation:	
4) communication:	
5) IED:	
a) Private;	
b) Services;	
c) AccessPoint(保护 GOOSE 和 SV 发布、订阅信息);	
6) DataTypeTemplates;	
	1) IED 名称元素;
	2) GOOSEPUB(GOOSE 发布)元素;
	3) GOOSESUB(GOOSE 订阅)元素;
	4) SVPUB(SV 发布)元素;
	5) SVSUB(SV 订阅)元素;
	6) CRC(校验码);

1.2 基于哈希表法的 SCD 文件与 CCD 文件校准

哈希表(Hash table)法^[12]是主要根据关键码值(Key Value)直接访问相关数据结构^[13]的一种快速定位法。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。CCD 文件作为保护设备二次虚端子配置连线文件,其正确性直接影响到保护装置采样和动作逻辑。SCD 文件包含全站 IED 的数据结构,而 CCD 文件仅为其中一个 IED 的数据结构。在进行 SCD 文件与 CCD 文件

的校准时,首先需要通过 CCD 文件获取校准的 IED 名称,根据 IED 名称快速定位其在 SCD 文件中对应的位置;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 CGP[i]、CGS[i]、CSP[i]、CSS[i]、CCR[i]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 SGP[j]、SGS[j]、SSP[j]、SSS[j]、SCR[j]

数组中。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; SCD 文件与 CCD 文件校准的整个流程如图 1 所示。

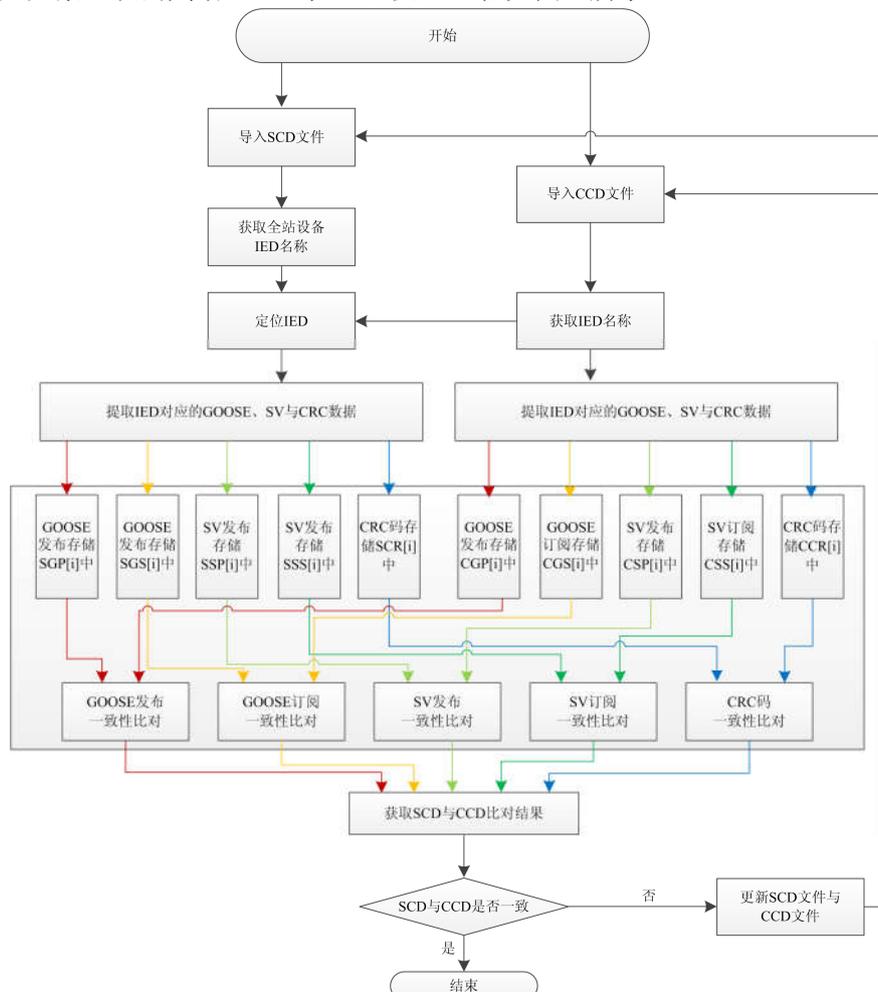


图 1 SCD 文件与 CCD 文件校准流程

Fig. 1 Calibration process of SCD file and CCD file

运行一致性比对软件后, 先导入保护装置 CCD 文件与对应的 SCD 文件, 根据获取的 IED 名称实现 CCD 文件在 SCD 文件的快速定位, 依次对 GOOSE 发布、GOOSE 订阅、SV 发布、SV 订阅和 CRC 元素等五个模块进行比对, 若五个模块比对结果有不一致的地方, 则说明保护装置内部的 CCD 文件与 SCD 文件不一致, 需要对保护装置 CCD 文件或者全站 SCD 文件进行更新升级, 升级完成后再次进行比对。只有两者完全一致, 才说明 CCD 文件与 SCD 文件属于同一个版本系列, 保护设备所在间隔的变电站检修调试服务才能开始。

2 基于 B 码同步跨间隔现场检修系统方案

2.1 B 码同步现场检修系统组成实现方案

现场检修系统采用分散闭环控制系统结构实现^[14-15], 由完成仿真计算控制的主机和高精度电压

电流功率放大器两部分构成。仿真控制主机主要完成故障仿真计算和功率放大器的同步控制输出^[16-17]。故障仿真计算采用 DDRTS 作为仿真建模核心程序, DDRTS 为全中文友好仿真系统, 包含了种类丰富的电力系统元件, 如变压器、输电线、断路器、CD 和 PT 等, 可以满足智能变电站仿真测试的全部需求。功率放大器采用 PA30B 高精度电压电流放大器, 能够输出单相 30 A 的精度为 0.2% 的电流信号, 每台 PA30B 由 3 路电流和 4 路电压输出及 8 对开关量硬接点信号组成。整个检修系统能够完成主变高中低三侧、不同间隔的线路保护和母线保护的各种金属性和非金属性故障的仿真模拟检修^[18]。

仿真控制系统的结构原理如图 2 所示。仿真控制主机能够同时控制 9 台功率放大器, 仿真控制主机具备 B 码输出和仿真信号输出功能。首先, 仿真

主机通过B码对时信号实现9台功率放大器同步^[19-20]，保证仿真开始时功率放大器输出电压电流信号无角差^[21-22]。其次，仿真控制主机根据计算结果输出控制放大器输出信号，该信号通过光纤介质直接传输给功率放大器，功率放大器接收到数字信号后，将数字信号转换为模拟量电压、电力信号输出。最后，功率放大器输出电压、电流等信号施加在智能变电站相关检修间隔的合并单元输入端，从而开始相关保护间隔的检修服务。

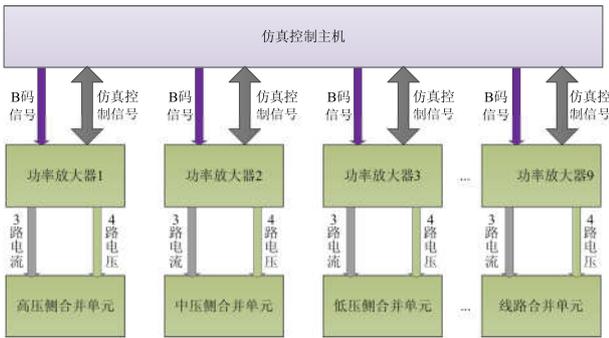


图 2 现场检修系统组成方案原理图

Fig. 2 Schematic diagram of the composition scheme of field simulation maintenance system

2.2 闭环测试原理

智能变电站与传统变电站的区别在于全站增加合并单元装置^[23]，继电保护装置由模拟量采样转换为光信号传输的SV采样。光纤介质传输数字采样信号一方面可以避免或减少电磁干扰的影响，另一方面能够实现数字信号信息的共享，实现智能监测与控制。而设备数量的增加和数字信号的利用却极大提高变电站的调试检修难度。以变电站检修为例，全站检修时需要分别对保护装置、合并单元、智能终端及二次虚端子回路接线等分别进行检修，工作量比传统变电站增加了不止一倍。智能变电站现场检修系统采用闭环控制系统，实现保护装置、合并单元、智能终端及二次虚端子回路接线一次自动检修^[24]，其工作原理如图3所示。

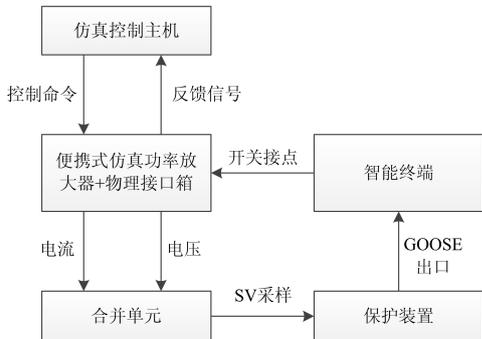


图 3 闭环测试原理图

Fig. 3 Schematic diagram of the closed loop test

以线路保护为区内单相接地故障^[19]检修为例，仿真控制主机根据线路故障电气特性设置参数进行故障仿真计算，然后控制功率放大器暂态输出电压电流信号到合并单元，合并单元将模拟量电压电流信号转换为数字SV采样信号并传输给保护装置。保护装置采集到单相接地故障采样信号后，保护动作，动作出口通过GOOSE信号传输给智能终端。在智能变电站实际运行中，智能终端将GOOSE跳闸信号转换为开关量接点信号并传输给一次刀闸或断路器设备实现故障切除，在此仿真检修系统中，功率放大器通过硬开入接点采集智能终端输出的跳闸故障接点信号，当跳闸出口信号由断开变为闭合状态时，功率放大器将此出口信号快速反馈给仿真控制主机，仿真控制主机接收到该反馈信号后，切断功率放大器故障信号输出，并记录下保护装置整组出口时间，从完成本次闭环仿真测试。

3 现场跨间隔检修服务流程

基于SCD与CCD校准的智能变电站现场检修系统在智能变电站检修服务时，主要分两步操作。第一步主要是对SCD文件和CCD文件进行比对校验工作，检验保护装置内部虚端子配置文件与SCD文件是否一致，只有SCD文件与CCD文件一致才能保证保护装置与合并单元及智能终端能够正常互联互通；第二步为跨间隔检修试验，仿真控制主机根据故障参数自动计算故障电压、电流大小。运行仿真软件后，功率放大器仿真模拟故障电压电流信号，通过合并单元对继电保护装置触发相关故障，并且从智能终端采集保护装置的出口位置及动作出口时间，进而完成整个跨间隔仿真检修试验^[20]。整个检修服务流程如图4所示。

4 现场跨间隔检修服务流程

4.1 SCD文件与CCD文件校准

取某变电站调试过程中间版本SCD文件与主变保护装置CCD文件做对比，结果如图5所示。从图5可以看出，SCD文件与差动保护CCD文件隶属不同版本，SCD文件中主变高压侧合并单元的对应通道个数为29个，而CCD文件对应高压侧合并单元通道个数为31个。在实际的变电站调试中，若两者不一致，合并单元与保护装置确实不能实现互联互通。

4.2 跨间隔同步试验分析

跨间隔检修系统的难点在于多台功率放大器的同步输出。为了验证B码对时方案能够实现多台功率放大器的同步输出，用3台功率放大器和1台线

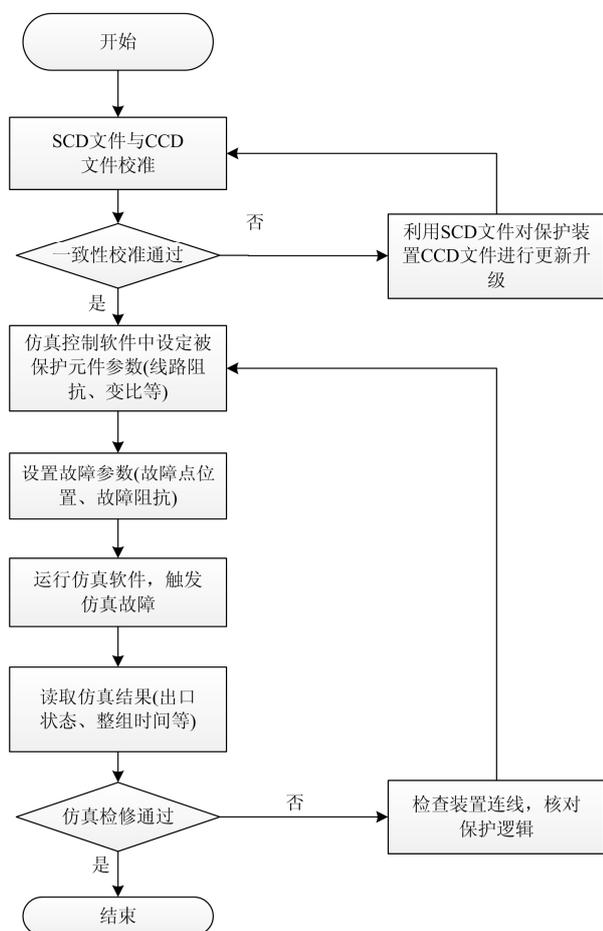


图 4 仿真检修服务流程图

Fig. 4 Flow chart of the simulation maintenance service

编号	校验标识	校验结果描述	详细参数
1	未校验	增加的SVY输入虚端子 PT2201-主变保护 <<= 来自MT2201-主变220kV合并单元-0x4006 Ch30: 30	查看
2	未校验	增加的SVY输入虚端子 PT2201-主变保护 <<= 来自MT2201-主变220kV合并单元-0x4006 Ch30: 31	查看
3	未校验	修改的3M7控制块 MT2201-主变220kV合并单元-0x4006 通道数据由"29"改为"31"	查看

图 5 SCD 文件与 CCD 文件一致性校验结果

Fig. 5 Consistency check results of SCD file and CCD file

路合并单元作为试验工具。3 台功率放大器编号分别为 P1、P2、P3。P1 的 A 相电流输出端口连线路合并单元的 A 相电流输入端子, P2 的 A 相电流输出端口连线路合并单元的 B 相电流输入端子, P3 的 A 相电流输出端口连线路合并单元的 C 相电流输入端子。仿真控制主机通过 B 码对 P1、P2、P3 功率放大器同步输出, 3 台功率放大器输出电流均为单 A 相 1A, 通过网络报文分析仪截取线路合并单元输出 SV 报文。P1、P2、P3 功率放大器 A 相电流初始相位均设置为 0°, 网络报文分析仪截取 SV 报文如图 6 所示。

其中, 通道 1 合并单元额定延时, 通道 2、3 为合并单元 A 相电流输出, 通道 4、5 为合并单元 B 相电流输出, 通道 6、7 为合并单元 C 相电流输

出。从图 6 合并单元输出报文来看, 多台功率放大器能够在仿真主机控制的 B 码对时信号下实现模拟量信号同步输出, 保证了跨间隔检修系统实现不同保护间隔的同步测试。同时, 该系统在重庆市区供电分公司 110 kV 花卉园智能变电站的检修服务试验中再次验证了该系统方案的可行性。

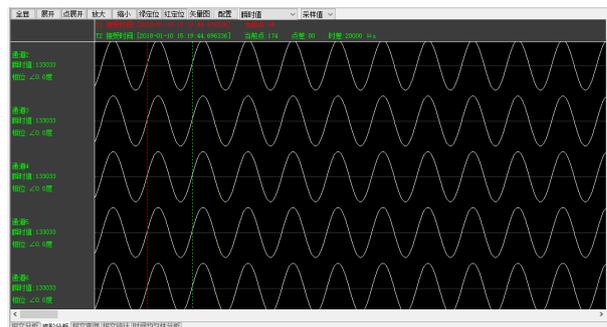


图 6 三台功率放大器同步波形图

Fig. 6 Synchronous waveform diagram of three power amplifiers

5 结论

基于 SCD 与 CCD 校准的智能变电站跨间隔检修系统能够自动识别 SCD 文件与保护设备 CCD 文件的一致性, 对二次虚端子连线能够正常通信起着至关重要的监督作用。B 码对时模式下多台功率放大器同步输出的试验使跨间隔检修系统由理论成为现实。二次设备跨间隔闭环仿真检修改变了智能变电站双套保护配置必须分别检修调试的现状, 实现了合并单元、保护装置、智能终端纵向集成化测试, 能够完成主变间隔、线路间隔和母联等不同间隔保护设备的一体化测试。同时, 跨间隔检修系统也为后续智能变电站现场仿真试验和全站一二次设备整体自动检修调试技术的发展提供了一种新思路。

参考文献

- [1] 黄益庄. 智能变电站是变电站综合自动化的发展目标[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(2): 45-48.
HUANG Yizhuang. Intelligent substation is the development goal of substation integration automation[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(2): 45-48.
- [2] 胡斌, 郭亚飞, 杨彬, 等. 智能变电站技术的现状与发展趋势研究[J]. 智慧电力, 2018, 46(3): 87-90.
HU Bin, GUO Yafei, YANG Bin, et al. Research on status and development trend of smart substation technology[J]. Smart Power, 2018, 46(3): 87-90.
- [3] BO Z Q, LIN X N, WANG Q P, 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.
- [4] 罗蓬, 郝晓光, 赵宇皓, 等. 基于无线数据通信的智能变电站二次设备集成测试系统开发[J]. 电测与仪表, 2017, 54(2): 76-82.
LUO Peng, HAO Xiaoguang, ZHAO Yuhao, et al. Research on integrated testing technology of secondary equipment in smart substation based on wireless communication[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2017, 54(2): 76-82.
- [5] 高磊, 卜强生, 袁宇波, 等. 基于二次回路比对的智能变电站调试及安全措施[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(20): 130-134.
GAO Lei, BU Qiangsheng, YUAN Yubo, et al. Smart substation commissioning and safety measures based on secondary circuit comparison[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(20): 130-134.
- [6] 叶远波, 孙月琴, 黄太贵, 等. 智能变电站继电保护二次回路在线监测与故障诊断技术[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 148-153.
YE Yuanbo, SUN Yueqin, HUANG Taigui, et al. Online state detection and fault diagnosis technology of relay protection secondary circuits in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 148-153.
- [7] 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.
- [8] 贺晓, 李俊, 陈洁羽, 等. 智能变电站配置文件管控系统建设方案研究[J]. 智慧电力, 2017, 45(8): 75-81.
HE Xiao, LI Jun, CHEN Jieyu, et al. Construction scheme study on configuration file management and control system in intelligent substation[J]. Smart Power, 2017, 45(8): 75-81.
- [9] 黄志高, 李妍, 李腾, 等. 智能变电站 SCD 文件虚回路自动生成技术的设计和实现[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(17): 106-111.
HUANG Zhigao, LI Yan, LI Teng, et al. Design and implementation of automatic generation technology of SCD file virtual circuit in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(17): 106-111.
- [10] 刘希峰, 韩振峰, 李颖. GOOSE 报文与 SCD 文件间对应关系的应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(24): 95-100.
LIU Xifeng, HAN Zhenfeng, LI Ying. Application research of relationship between GOOSE message and SCD files[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(24): 95-100.
- [11] 郭文鑫, 文福拴, 廖志伟, 等. 计及保护和断路器误动与拒动的电力系统故障诊断解析模型[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(24): 6-10.
GUO Wenxin, WEN Fushuan, LIAO Zhiwei, et al. An analytic model for power system fault diagnosis with malfunctions of protective relays and circuit breakers taken into account[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(24): 6-10.
- [12] 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): 131-134.
WANG Yanqing, WANG Yunwei. Text comparison algorithm for detecting content change in text files[J]. Journal of Computer Application, 2010(30): 131-134.
- [13] 邓清清, 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.
- [14] 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.
- [15] 李保恩. 智能变电站继电保护装置自动测试平台的研究和应用[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(7): 131-135.
LI Baoen. Research and application of automatic test platform for intelligent substation relay protection device[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(7): 131-135.
- [16] 薛晗光, 刘聪睿, 赵轩, 等. 智能电站工作票移动办理的设计与实现[J]. 热力发电, 2017, 46(12): 40-43.
XUE Hanguang, LIU Congrui, ZHAO Xuan, et al. Design and implementation of work order mobile management: practice of intelligent power plant[J]. Thermal Power Generation, 2017, 46(12): 40-43.
- [17] 马瑞瑞, 王毅, 刘鹏飞, 等. 发电集团统一事件报警处理及分析平台设计开发[J]. 热力发电, 2017, 46(1): 25-29.
MA Ruirui, WANG Yi, LIU Pengfei, et al. Design and

- development of unified event alarm processing and analysis platform for power generation company[J]. Guangdong Electric Power, 2017, 46(1): 25-29.
- [18] 林国新, 唐志军, 翟博龙, 等. 智能变电站无线战域测试系统的同步策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(24): 148-153.
LIN Guoxin, TANG Zhijun, ZHAI Bolong, et al. Research on synchronization strategy of wireless substation area test system for intelligent substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(24): 148-153.
- [19] 何剑军, 林裕新, 李家璐, 等. 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, et al. Network sampling synchronization system of high reliable relay protection[J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(2): 88-94.
- [20] 刘世丹, 袁亮荣, 曾耿晖, 等. 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, ZENG Genghui, et al. Regional protection system of intelligent substation based on synchronization improvement[J]. Thermal Power Generation, 2017, 30(7): 35-39.
- [21] 韩本帅, 孙中尉, 崔海鹏, 等. 智能变电站过程层时间同步方式研究[J]. 中国电力, 2012, 45(11): 86-90.
HAN Benshuai, SUN Zhongwei, CUI Haipeng, et al. Research on time synchronization mode in process level of smart substation[J]. Electric Power, 2012, 45(11): 86-90.
- [22] 李世群, 张金祥, 郭飞, 等. 智能变电站过程层网络同步对时优化研究[J]. 电力信息与通信技术, 2017, 15(7): 46-51.
LI Shiqun, ZHANG Jinxiang, GUO Fei, et al. Study on synchronization optimization of process layer network in smart substation[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2017, 15(7): 46-51.
- [23] 郑顾平, 张利, 姜超, 等. 中性点不接地系统单相接地故障区段在线定位[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(3): 110-115.
ZHENG Guping, ZHANG Li, JIANG Chao, et al. Line and segment on-line location of single-phase-to-earth fault in the ungrounded neutral system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(3): 110-115.
- [24] 刘焕志, 胡剑锋, 李枫, 等. 变电站自动化仿真测试系统的设计和实现[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(9): 109-115.
LIU Huanzhi, HU Jianfeng, LI Feng, et al. Design and implementation of simulation test system for substation automation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(9): 109-115.

收稿日期: 2018-01-11; 修回日期: 2018-03-30

作者简介:

杨高峰(1981—), 男, 硕士研究生, 从事电力系统规划、电力需求分析等; E-mail: yanggaofeng@163.com

谢兵(1964—), 男, 高级工程师, 从事电力工程技术研究; Email: xiebing@163.com

曾志安(1966—), 男, 高级工程师, 从事继电保护技术研究。Email: zengzhian@126.com

(编辑 葛艳娜)