

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.181296

智能变电站监控系统雪崩自动测试系统的 开发及应用

燕刚¹, 杨亚丽¹, 刘华², 茹东武¹, 侯俊飞¹, 魏芳¹

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 北京中电飞华通信股份有限公司, 北京 100000)

摘要: 为了解决智能变电站监控系统雪崩测试中告警数据高速触发和长时间触发时存在的难点, 开发了雪崩自动测试系统, 采用智能控制的方法来实现测试过程中数据信号的精确触发。测试系统自动捕获、解析 MMS 报文并生成测试报告以实现数据处理闭环测试的最优化。针对实现过程中的信号触发时间精度控制、测试结果判断的关键技术, 提出智能控制插件及智能自动比对, 进一步提高了测试系统功能的正确性。大量试验证明: 此自动测试系统能有效提高雪崩测试的质量和效率, 具有较好的实用性。

关键词: 监控系统; 自动测试; 变电站; 雪崩; MMS

Development and application of reference data avalanche automatic test system of smart substation monitoring system

YAN Gang¹, YANG Yali¹, LIU Hua², RU Dongwu¹, HOU Junfei¹, WEI Fang¹

(1. XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China; 2. Beijing Zhongdianfeihua Technology Co., Ltd., Beijing 100000, China)

Abstract: In order to solve the difficulties in the high-speed triggering and long-time triggering of alarm data in the reference data avalanche test of the smart substation monitoring system, the automatic test system for reference data avalanche test is developed, the intelligent control is used to realize the accurate triggering of data signals in the test process. Furthermore, the automatic capture of the test system and the parsing of MMS messages and the generation of test reports are used to realize the optimization of reference data avalanche test closed-loop test. Aiming at the key technologies of precision control of signal trigger time and judgment of test results in the process of realization, the intelligent control plug-in and intelligent automatic comparison are proposed to further improve the accuracy of test system functions. Experimental results show that this automatic test system can effectively improve the quality and efficiency of the reference data avalanche test, so it has promoted value.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. B492C0180011).

Key words: monitoring system; automatic test; substation; reference data avalanche; MMS

0 引言

随着智能电网技术不断推进和发展, 智能变电站作为智能电网的重要环节, 也得到了快速推广, 建设安全可靠智能变电站对智能电网的发展至关重要, 而监控系统是智能电网调度控制和管理的基础, 是大运行体系建设的基础, 也是备用调度

体系建设的基础^[1-3]。为了保障电网的安全稳定运行, 国家电网公司和南方电网公司对智能变电站监控主机的技术要求也越来越高, 如对雪崩测试的要求: 突发告警数量从 2 000 个增加至 8 000 个, 告警时间间隔从 1 s 缩短至 0.5 s。

但是目前对监控系统雪崩的测试方法采用的是人工触发方式, 即将需要触发的数据信号采用并联的方式连接并通过一个空气开关控制其开断, 测试人员手动控制数据信号触发的间隔及数量, 然后通过查询监控主机历史告警存储数量来检测监控系统

基金项目: 国家电网公司科技项目资助 (B492C0180011) “智能决策关键技术研究及应用”

的雪崩数据处理是否符合标准要求。这种试验方法在少量低速数据量的试验中是可以有效进行的,但是对于高速告警数据触发和长时间触发,此试验方法不能满足 0.5 s 的时间间隔要求。

通过研究和开发智能变电站监控系统雪崩自动测试系统来实现测试过程中数据信号的精确触发、MMS 报文获取及解析、监控系统处理结果对比判断、测试报告自动生成等功能,完成雪崩自动测试,降低测试人员的劳动强度,以提高测试效果和准确性,保证测试质量和测试效率。

1 智能变电站监控系统构成

智能变电站监控系统纵向贯通各级调度、生产等主站系统,横向联通变电站内各自动化设备,处于智能变电站自动化体系结构的核心部分。直接采集站内电网运行信息和二次设备运行状态信息,通

过标准化接口与输变电设备状态监测、辅助应用、计量等进行信息交互,实现变电站全景数据采集、处理、监视、控制、运行管理等,继承成熟的 SCADA 系统结构,在其体系架构中抽象和实现了很多可靠的软件组件,这些组件和他们之间的关系构成了其体系架构^[4-9]。详细如图 1 所示。

随着智能变电站信息的发展,监控系统接入数据呈现以下特点:数据量呈几何性增长,数据规模不断扩大;数据类型结构复杂多样,不仅包括各种实时在线数据,还包括设备台账信息、试验数据、缺陷数据等离线信息;数据广域分布、种类繁多,包括各类结构化和半结构化数据,且各类数据查询与处理的频度及性能要求也不尽相同^[10-16];因此国网公司和南网公司对智能变电站监控系统的雪崩数据处理提出了更高的要求。

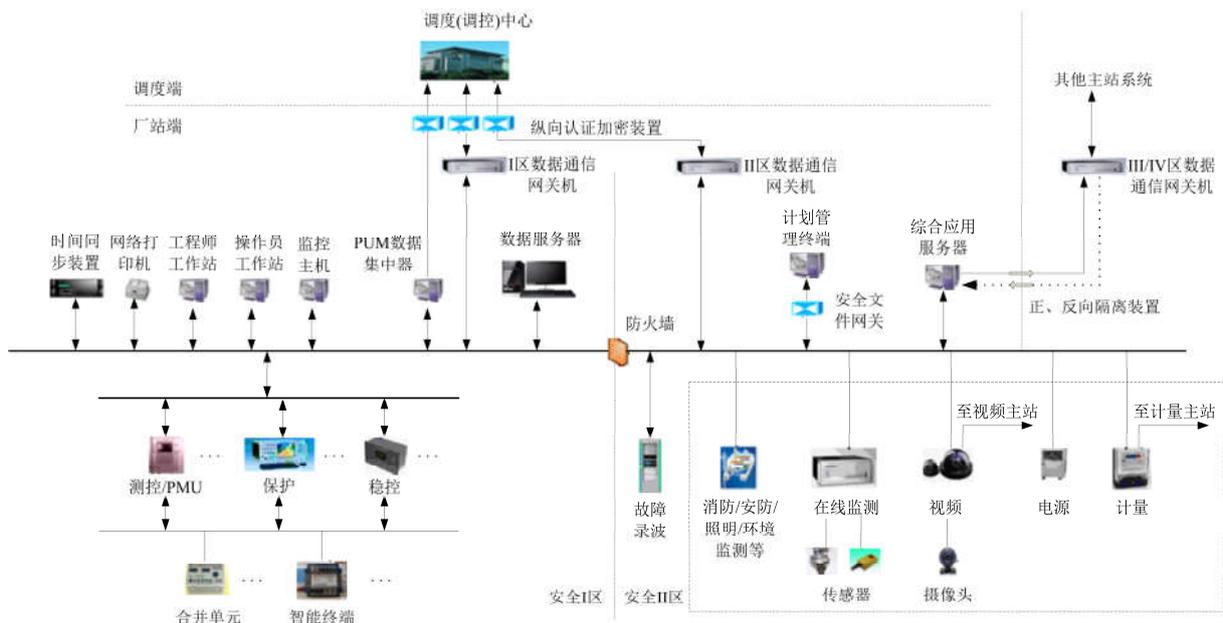


图 1 智能变电站监控系统结构

Fig. 1 Structure of smart substation integrated monitoring system

2 雪崩试验

雪崩试验是检测智能变电站监控系统在网络通信、数据处理、界面显示、信息存储等功能模块承受能力的重要试验。方法为模拟智能变电站在突发事件发生前后几分钟内,海量事故信息突变上送至监控系统,此间进行遥测值越限、遥信变位、遥控试验,检测监控系统功能的正确性和性能的稳定性,要求能够正确处理并显示遥测数据;事件顺序记录不漏报、不多报,如实反映信息变化和真实记录事

故过程;遥控操作成功执行并返回结果。

数据雪崩是基于实际扰动经验的基础上得到的,全部数据都是突发传输。DL/T 860 提供的模型参数为:信息变化量为在 3 min 内数据库中全部信息量的 2.14% 发生变化,在 10 min 内数据库中全部信息量的 15% 发生变化。电力系统为了达到雪崩试验的可操作性,智能变电站监控系统雪崩试验按 8 000 个信息变化量进行数据上送,所有信息变化量都采用遥信突发上送的方式实现且信息变化量的时间间隔为 0.5 s。

3 自动测试系统方案设计

雪崩测试主要考核智能变电站监控系统站控层各监控主机的通信处理能力,是指监控主机在测控装置、保护装置等设备同时产生大量变化数据时的处理能力。雪崩自动测试系统的设计主要有以下两种方案:

方案 1: 开发一款 IEC61850 仿真装置进行数据仿真,使用软件参数设置实现数据信号定时定量触发,仿真装置运行硬件平台为 PC 计算机,生成的数据信号由站控层网络上送至监控系统,并进行实时告警和历史存储;因为仿真装置需要输出 MMS 报文,为了保证系统可靠运行,统计分析程序只能运行于另一台 PC 机,完成测试结果统计。

方案 2: 开发控制插件精确控制多台实际测控装置的开入来实现数据信号生成,控制插件人机交互接口程序运行于 PC 计算机,生成的数据信号由站控层网络上送至监控系统,并进行实时告警和历史存储;统计分析程序也运行于本机,共用数据信号设置参数信息,自动完成测试结果的统计和分析,完全实现数据信号的闭环控制。

方案 1 的优点是完全使用 IEC61850 仿真装置,开发成本低,测试系统结构简单清晰,只需几台 PC 机就可以构成测试系统硬件体系。但是缺点也大,首先这种方案不符合智能变电站实际现场运行工况;其次系统基于 PC 机,时标精度在 100 ms 左右,对于 0.5 s 的时间间隔要求,误差过大;再次统计分析程序和 IEC61850 仿真装置程序运行于不同 PC 机,对于数据信号不能做到闭环控制。

方案 2 的缺点是需要多台实际测控装置,成本较大,但是优点更明显,首先数据信号的上送方式和过程完全与变电站现场一致,最大程度地模拟了现场事故工况;其次采用控制插件板卡来控制数据信号上送间隔,控制精度可以达到 10 ms,比方案 1 的精度提高了 10 倍;统计分析程序和控制插件接口程序同机运行,可以共享配置信息,完全做到数据信号的闭环控制,提高统计效率和保证正确率。

综合分析方案 1 和方案 2 的优缺点,方案 2 具有更好的可行性,完全可以对现有的测试环境加以改造来实现。

3.1 系统硬件构成

测试系统为了最大限度地仿真现场运行环境,充分考虑了智能变电站监控系统现场运行的结构、环境、工况等因素,装置采用智能变电站常用的中高压独立测控装置、低压线路保护测控装置等,通信规约为 IEC 61850 规约,网络采用双以太网,千

兆/百兆自适应,接入网络报文分析装置,测控开入驱动电压为直流 220 V,具有高通用性和易扩展性^[17-22]。其硬件结构如图 2 所示。

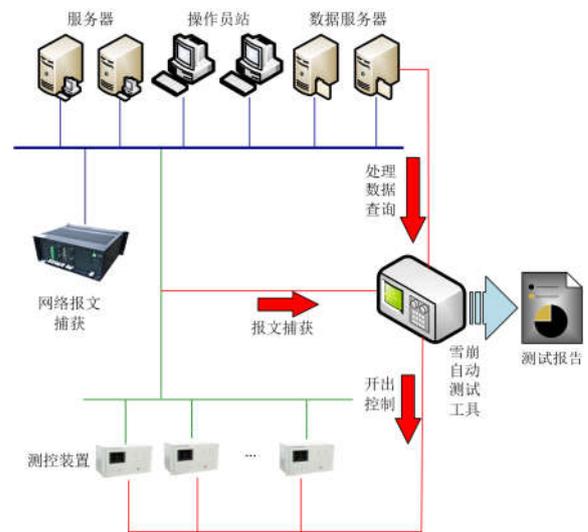


图 2 测试系统硬件结构图

Fig. 2 Hardware structure of the test system

3.2 软件结构设计

经分析,自动测试系统的设计需要按流程完成以下功能:根据监控系统实际配置信息自动生成测试过程中需要统计的数据信息的配置文件;根据测试需求完成数据信号自动触发;在数据信号触发的同时自动完成所有测控装置上送的 MMS 报文的抓取及分析;自动查询监控系统历史告警信息并与 MMS 报文分析统计结果进行比对;根据测试结果自动形成测试报告。

结合大量测试用例,整理出合理时延,根据上述需要实现的功能,完成系统软件结构设计,其测试流程图如图 3 所示。

4 自动测试系统实现流程

4.1 配置信息自动生成

在雪崩测试开始之前,需要先将数据信号信息进行统计,统计内容为哪些测控装置上送信号,上送的都是哪些信号。生成方法为测试前先进行单次数据信号触发,并上送,通过对照监控系统最新接收到的数据信号的 61 850 点路径来完成数据信号的确认,并将这些数据信号信息保存为 XML 配置文件,以供统计分析程序使用。

4.2 数据信号精准自动触发

因为在测试过程中,需要进行多次的数据信号触发,所以控制插件的可靠性一定要保证,其硬件选择方面,选取有开发经验的 PCI-1760 板卡+自制开

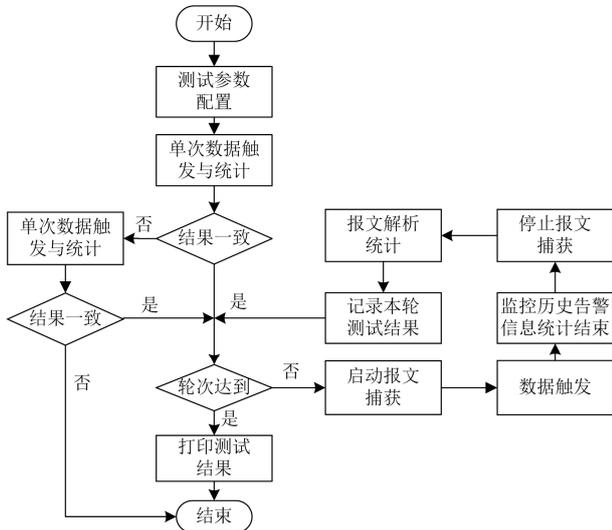


图 3 测试系统自动测试流程图

Fig. 3 Automatic test process of the test system

出盒, PCI-1760 板卡的开闭间隔在 10 ms 左右, 开出盒的控制容量最大可以设计到 250 V DC×32 A, 这样控制插件的控制精度和开出容量完全满足测试要求, 开出盒使用继电器电气寿命 10 万次以上, 机械寿命 1 000 万次以上, 满足长期大量数据测试需求。

具体设计方法为: 使用 PCI-1760 的 R0-R3 前 4 路输出通道作为开出盒中 4 个继电器的控制电源, 4 路输出通道可以独立控制开出盒中 4 个继电器的状态, 开出盒继电器触点最大控制容量为 250 V DC×8 A, PCI-1760 驱动程序运行于 PC 计算机, 通过独立设计的测试系统人机界面来完成调用。PCI-1760 板卡+开出盒工作原理如图 4 所示。

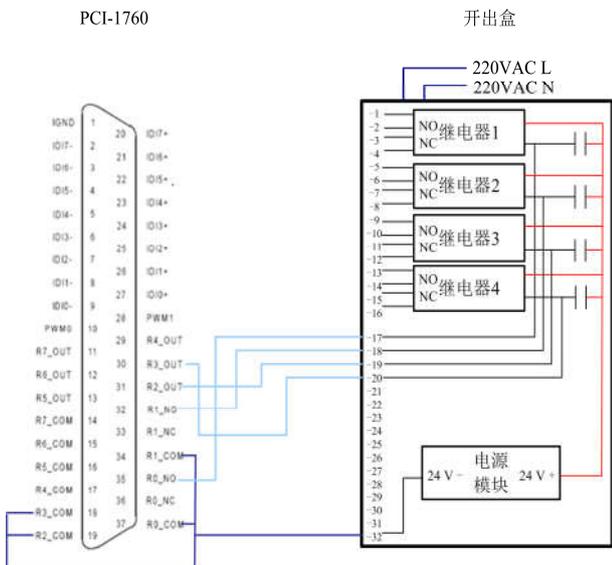


图 4 PCI-1760 板卡+开出盒工作原理

Fig. 4 PCI-1760 board and open box working principle

4.3 MMS 报文抓取及分析

测试过程中的 MMS 报文抓取工作由软件自动抓取, 在数据触发前启动报文抓取进程, 根据触发数据数目自动确定结束时间, 完成报文抓取工作。也可以由网络分析仪自动完成, 自动测试系统报文分析子程序自动调取数据信号产生区间内的网络报文, 调取的 MMS 报文时间区间要大于数据信号产生的时间, 处理方法为开始和结束后各延长 30 s。统计分析程序对调取的 MMS 报文进行分析, 提取出 `trgop` 标识为突变的报文, 对照 3.1 节中生成的数据信号配置文件进行筛选, 统计数据信号的上送情况。报文统计与数据触发一致时, 判定整个测试环境合理, 装置无丢点等无异常情况发生。否则自动测试系统停止工作, 人工排除故障后才可以继续使用。

4.4 测试结果判定并形成测试报告

自动测试系统报文分析子程序通过访问监控系统历史数据库告警信息存储表 `alarm` 来统计监控系统正确处理的数据信号, 历史告警信息统计时间区间与 3.3 节中调取的 MMS 报文分析时间一致, 统计的依据文件仍为 3.1 节中生成的数据信号配置文件, 统计结果与 3.3 节统计结果进行比对, 并给出测试结果:

- 1) 如果两者完全一致, 说明监控系统全部正确处理了所有的数据信号。
- 2) 如果通过报文分析得到的数据信号数量多于监控系统历史库存储的数量, 说明监控系统在处理过程中存在丢点或者漏报现象, 测试报告中给出具体的丢失信号信息。
- 3) 如果通过报文分析得到的数据信号数量少于监控系统历史库存储的数量, 说明监控系统在处理过程中存在多报或者重报现象, 测试报告中给出具体的多余数据信号信息。

测试结果的判定逻辑如图 5 所示。

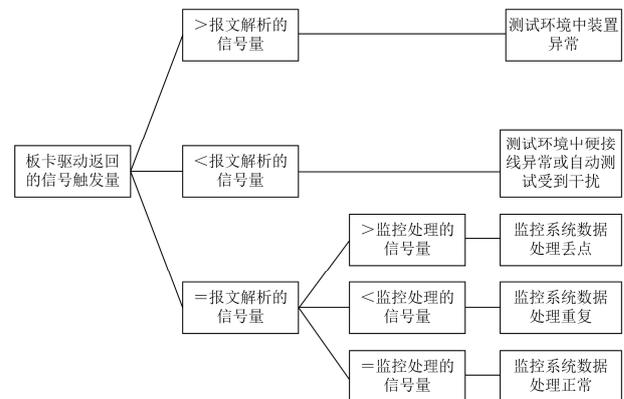


图 5 测试结果判定逻辑

Fig. 5 Test result decision logic

5 自动测试系统的应用

智能变电站监控系统雪崩自动测试系统开发完成后,其运行界面如图 6 所示。

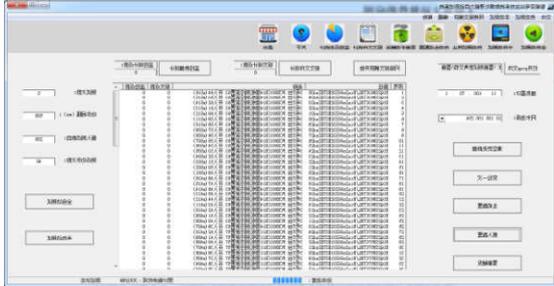


图 6 测试系统运行界面

Fig. 6 Running interface of the test system

测试过程中对测试系统的可靠性和数据信号触发容量进行了统计,完全符合并超过标准要求,统计结果如图 7 所示。

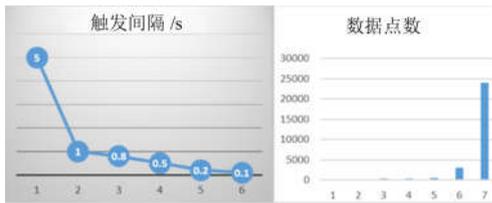


图 7 测试系统数据触发能力统计

Fig. 7 Data triggering ability statistics of the test system

此测试系统在集团公司多个型号监控系统的研发过程测试及入网测试准备试验中进行了应用,并且对已投运智能变电站运行过程中监控系统出现的数据丢点问题进行了仿真试验,应用过程中测试系统运行可靠、稳定,数据触发精确,测试结果准确可靠,对监控系统雪崩数据处理方面的问题能够准确测试。通过 5 大系列 22 轮次的测试应用验证,自动测试系统能够满足智能变电站监控系统测试对精确性、连续性、稳定性、可靠性的要求。

6 结束语

智能变电站监控系统雪崩自动测试系统的开发成功,为监控系统的测试和调试工作提供了有力支撑,提高了测试质量和测试效率。伴随着风电、光伏发电等其他业务领域的扩展,测试系统也能对这些领域内自动化系统的雪崩测试提供有效的支撑,该软件将有很广阔的应用前景。

参考文献

[1] 智能变电站一体化监控系统建设技术规范: Q/GDW

679—2011[S].

[2] 变电站一体化监控系统测试及验收规范: Q/GDW 1875—2013[S].

[3] 电力自动化通信网络和系统第 8-1 部分: 特定信息服务映射(SCSM) 映射到制造报文规范 MMS(ISO 9506-1 和 ISO 9506-2)及 ISO/IEC8802-3: DL/T860.81—2016[S].

[4] 杨臻, 赵燕茹. 一种智能变电站一体化信息平台的设计方案研究[J]. 华北电力大学学报, 2012, 39(3): 59-64. YANG Zhen, ZHAO Yanru. Design and study of an integrative information platform for smart substation[J]. Journal of North China Electric Power University, 2012, 39(3): 59-64.

[5] 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 substation for relay protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(18): 91-96.

[6] 王德文, 肖磊, 肖凯. 智能变电站海量在线监测数据处理方法[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(8): 142-146. WANG Dewen, XIAO Lei, XIAO Kai. Processing of massive online monitoring data in smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(8): 142-146.

[7] 程林, 何剑. 电力系统可靠性原理和应用[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2015.

[8] 杨清波, 李立新, 李宇佳, 等. 智能电网调度控制系统试验验证技术[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 194-199. YANG Qingbo, LI Lixin, LI Yujia, et al. Test and verification technology for smart grid dispatching and control system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 194-199.

[9] 茹东武, 李永照, 陈喜凤, 等. 一种智能变电站智能告警专家系统推理机制的研究[J]. 电器与能效管理技术, 2017(5): 44-49. RU Dongwu, LI Yongzhao, CHEN Xifeng, et al. Research on a smart substation intelligent alarm expert system inference mechanism[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2017(5): 44-49.

[10] 丁明, 李晓静, 张晶晶. 面向 SCADA 的网络攻击对电力系统可靠性的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(11): 37-45. DING Ming, LI Xiaojing, ZHANG Jingjing. Effect of SCADA-oriented cyber attack on power system reliability[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(11): 37-45.

[11] 杨波, 吴际, 徐珞, 等. 一种软件测试需求建模及测试

- 用例生成方法[J]. 计算机学报, 2014, 37(3): 522-538.
YANG Bo, WU Ji, XU Luo, et al. An approach of modeling software testing requirements and generating test case[J]. Chinese Journal of Computers, 2014, 37(3): 522-538.
- [12] 茹东武, 李天泽, 侯俊飞, 等. 智能变电站测试系统研究与应用[J]. 电工技术, 2016, 7(A): 19-21.
- [13] 郭创新, 陆海波, 俞斌, 等. 电力二次系统安全风险评估计研究综述[J]. 电网技术, 2013, 37(1): 112-118.
GUO Chuangxin, LU Haibo, YU Bin, et al. Research on safety risk assessment of electric secondary system[J]. Power System Technology, 2013, 37(1): 112-118.
- [14] 彭晖, 赵家庆, 王昌频, 等. 大型地区电网调度控制系统海量历史数据处理技术[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(5): 11-17.
PENG Hui, ZHAO Jiaqing, WANG Changpin, et al. Massive historical data management technology for large-scale regional power grid dispatching supporting system[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2014, 33(5): 11-17.
- [15] 史豪杰. 一种实用的不良数据检测与辨识方法[J]. 广东电力, 2017, 30(11): 85-89.
SHI Haojie. A practical and identification method for bad data[J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(11): 85-89.
- [16] 季知祥, 邓春宇. 面向电力大数据应用的专业化分析技术研究[J]. 供用电, 2017, 34(6): 32-37.
JI Zhixiang, DENG Chunyu. Big data analytics technology research for power applications[J]. Distribution & Utilization, 2017, 34(6): 32-37.
- [17] 汤奕, 王琦, 倪明, 等. 电力和信息通信系统混合仿真方法综述[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(23): 33-41.
TANG Yi, WANG Qi, NI Ming, et al. Summary of hybrid simulation methods for power and information communication systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(23): 33-41.
- [18] 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): 109-112.
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): 109-112.
- [19] 李志勇, 孙发恩, 瞿晓宏. 智能变电站综合测试仪的研究与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(15): 149-154.
LI Zhiyong, SUN Fa'en, QU Xiaohong. Research and implementation of integrated tester for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(15): 149-154.
- [20] 胡宝, 张文, 李先彬, 等. 智能变电站嵌入式平台测试系统设计及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(10): 129-133.
HU Bao, ZHANG Wen, LI Xianbin, et al. Design and application of embedded platform test system in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(10): 129-133.
- [21] 舒伟, 凌万水, 李坤, 等. 基于无线 VPDN 组网的馈线自动化测试方法与应用[J]. 供用电, 2017, 34(9): 52-57.
SHU Wei, LING Wanshui, LI Kun, et al. Testing method for feeder automation and its application based on wireless VPDN networking[J]. Distribution & Utilization, 2017, 34(9): 52-57.
- [22] 陈锦山, 唐志军, 何燕玲. 智能变电站二次系统信息安全测试方法[J]. 广东电力, 2017, 30(9): 75-80.
CHEN Jinshan, TANG Zhijun, HE Yanling. Testing method for information security of secondary system of intelligent substation[J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(9): 75-80.

收稿日期: 2018-10-18; 修回日期: 2019-03-04

作者简介:

燕 刚(1978—), 男, 工学学士, 工程师, 主要研究方向为智能变电站产品开发与测试技术; E-mail: 13839049322@163.com

杨亚丽(1991—), 女, 工学学士, 助理工程师, 主要研究方向为智能变电站产品开发与测试技术; E-mail: 18637421595@163.com

刘 华(1984—), 男, 工学学士, 助理工程师, 主要研究方向为电力通信系统产品开发及应用。E-mail: liuhua@sgitg.sgcc.com.cn

(编辑 周金梅)