

DOI: 10.7667/PSPC160147

智能变电站间隔层设备智能定检作业系统的研究

彭海平¹, 高昌培¹, 熊学海¹, 赵凌¹, 赵艳², 田海涛²

(1. 贵州电网有限责任公司电力调度控制中心, 贵州 贵阳 550000;

2. 广东昂立电气自动化有限公司, 广东 广州 511400)

摘要: 随着 IEC61850 标准的应用与实施, 使智能变电站间隔层设备定检技术的智能化成为可能。从硬件构架和软件功能及其实现过程两方面论述了智能变电站间隔层设备定检作业系统的实现方案, 从而实现规范、标准、高效的闭环自动测试, 目前已成功应用于贵州电网某智能变电站间隔层设备的检测。对通用测试模板的开发、测试用例的自动生成等实现过程中的关键问题提出了相应的解决方案。该系统采用抽象化和模块化设计思路, 其构建方法对智能变电站系统联调、验收等工程实践的借鉴具有参考意义。

关键词: 智能变电站; 间隔层设备; 闭环自动测试; 测试用例; 通用测试模板

Research on intelligent periodic test operating system for bay level equipment of smart substation

PENG Haiping¹, GAO Changpei¹, XIONG Xuehai¹, ZHAO Ling¹, ZHAO Yan², TIAN Haitao²

(1. Power Dispatch and Control Center of Guizhou Power Grid Co., Ltd., Guiyang 550000, China;

2. Guangdong ONLLY Electric Automation Co., Ltd., Guangzhou 511400, China)

Abstract: With the application and implementation of IEC61850 standard, it makes the smart substation periodic test technology become as intelligent as possible. The implementation scheme of the periodic test operating system for bay level equipment of the smart substation is discussed from the hardware structure and software function and its realization process, thus realizing norms and standard, and highly efficient closed-loop automatic test. Now the system has been successfully applied on the periodic test for a smart substation bay level equipment in Guizhou's power grid. The critical problems of the development of universal test template and automatic generation of the test cases are proposed for the corresponding solution in the implementation process. The automatic test system adopts the idea of abstraction and modularization, the construction methods and design ideas are referential to other engineering practices in smart substation, such as debugging and acceptance test.

Key words: smart substation; bay level equipment; closed-loop automatic test; test cases; universal test template

0 引言

随着智能变电站技术导则与标准的相继颁布, 智能变电站逐步进入大规模实用化阶段, 截止 2020 年, 我国全面建成坚强智能电网, 实现新建变电站智能化率 100%, 对原有重要变电站智能化改造率达到 30%~50%。与常规变电站相比, 智能变电站二次设备的实现和应用发生了根本性改变, 原有二次回路中点对点的电缆连接被网络化的光缆连接所取代, 模拟量或开关量以 SV(Sampled Value)或 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)报文方式通过以太网口传输, 构成“三层两网”的体系架构^[1-2]。间隔层作为智能变电站二次设备的重

要组成部分, 一般由保护、控制或监视单元构成, 其定期检验是否细致、全面对智能变电站及智能电网安全稳定运行有着至关重要的影响^[3]。

目前, 国内智能变电站间隔层设备的自动测试技术尚处于起步研究阶段, 没有成熟的产品可以开发借鉴, 大部分测试技术均需借助厂家提供的测试模板通过编制复杂的测试脚本来实现自动定检测试, 缺乏通用性和实用性^[4-5]。文献[6]提出一种基于智能继电保护测试仪快速构建智能变电站继电保护装置自动测试方案, 但无法实现间隔层测控类设备定检任务。文献[7]提出了智能变电站间隔层设备自动测试系统实现方案, 但测试用例的生成需测试人员干预, 没有真正意义上实现用例文件的自动生成,

影响测试效率。加之随着智能变电站新产品、新技术不断采用, 尽管测试人员熟练掌握专业技术知识且付出巨大努力, 但实际现场停电检修时间较短, 若未能严格按照国网公司规程和省公司颁发的规程或作业指导书执行, 会经常出现检验项目“缺项、漏项”、“误判”等情况, 很难保证现场作业的安全性和规范性。因此, 迫切需要研究一种自动高效的定检测试技术, 以便进一步提高测试工作效率, 保证测试结果满足间隔层设备的检测要求。

本文结合当前智能变电站间隔层智能电子设备(Intelligent Electronic Device, IED)的实际运行情况, 开发出间隔层设备智能定检作业系统。该系统采用抽象化和模块化设计思路, 结合待测 IED 的 ICD 文件, 将相关通用测试模板实例化, 加载并执行测试任务, 从而实现 IED 设备的 GOOSE 输出及 MMS 输出形成闭环自动测试。测试结束后, 自动生成 XML 标准的测试报告。简化了 IED 设备定检过程的复杂度, 有效地克服了人为因素的影响, 从而提高了测试工作效率。

1 智能定检作业的可行性

IEC61850 标准协议的应用为智能变电站定检作业技术发展提供了良好的支撑平台^[8-9]。通过 IEC 61850 规范各制造厂商设备的建模, 屏蔽其设备内部配置存在的差异, 将变电站全部数据和功能被抽象为一定隶属关系的数据对象保存至 ICD(IED Capability Description)文件中, 从而实现了 IED 设备之间的信息共享与互操作。由系统集成商对 ICD 文件汇总配置成全站系统描述文件(Substation Configuration Description, SCD), 该文件描述所有 IED 的实例配置和通信参数、IED 之间的通信配置以及逻辑连接等信息^[10]。因此, 基于 IEC61850 标准的智能变电站, 统一了全站的数据模型和数据通信平台, 实现站内一次设备和二次设备的数字化通信, 为间隔层 IED 智能定检作业的实现提供了前期基础保障。

2 智能定检作业系统

2.1 系统硬件平台设计

系统硬件平台由定检作业管理机和数字保护测试仪组成, 其系统构架如图 1 所示。定检作业管理机主要负责完成测试仪客户端的控制、MMS (Manufacturing Message Specification)信息交互处理、测试用例自动生成和测试结果生成与查询等, 可由 PC 机实现, 用户通过操作 PC 机上的智能作业系统软件完成闭环自动定检测试任务; PC 机将做为

系统的主控设备, 为智能作业系统提供运行环境, 并提供了与数字继电保护测试仪、继电保护装置及其他设备的通信接口。数字保护测试仪与 IED 设备之间通过光纤连接, 测试仪能够根据测试项目参数模拟过程层合并单元的 SV 报文输出和智能终端 GOOSE 报文输出, 并从保护单元获取相应的 GOOSE 动作信息, 从而实现保护逻辑功能的测试。数字保护测试仪需内嵌 GPS 接收装置, 接收由 GPS(RIG-B 码方式)对时终端发出的时间同步信号, 完成保护测试仪与间隔层设备之间时钟同步, 从而实现测控单元(如同期检测)和保护单元(如纵联保护)的同步守时^[2,11]。

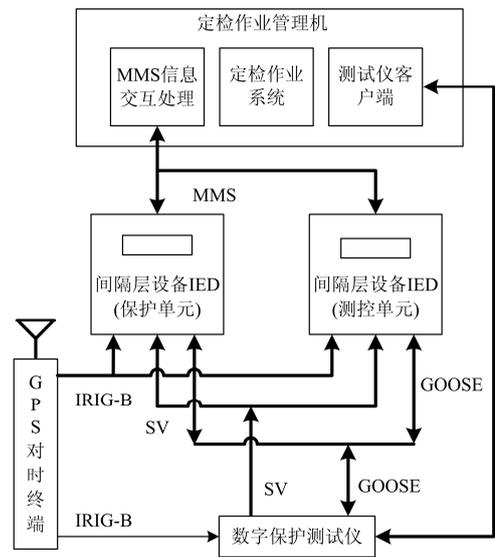


图 1 定检作业系统硬件平台

Fig. 1 Hardware platform of fixed check operating system

2.2 系统软件平台设计

系统软件设计采用模块化设计思想, 由测试仪客户端模块、测试用例文件生成模块、测试任务生成与加载模块、测试控制中心模块、MMS 信息交互处理模块、测试结果判断与报告生成模块构成。

测试仪客户端模块采用开放的 COM(Component Object Model)组件技术建立测试功能服务标准化接口, 控制数字保护测试仪向间隔层设备输出 SV/GOOSE 报文, 采集间隔层设备 GOOSE 出口报文。在测试时, 该系统能够实现与不同厂家的数字保护测试仪通信与控制, 从而有效地解决电力公司所购买的多家数字保护测试仪与测试系统不能通用的问题。

测试用例文件生成模块通过解析 SCD 配置文件或 IED 能力描述 ICD 文件获取待测装置的数据集的详细信息, 包括遥测、遥信、故障信号、告警信

号、装置参数、GOOSE 信号、保护事件、保护压板、保护录波、保护定值等^[12]。分析待测装置的数据集数据信息,从测试模板库中获取与 ICD 文件中数据集数据对象模型匹配的子模板进行实例化,生成测试用例文件。

测试任务生成与加载模块是依据测试项目提取相关测试用例,生成测试任务并加载至测试系统。测试任务是一套由相关的专业人员“根据检验规程/作业指导书的标准要求而编写的测试方案”,用例中规范了测试内容、测试流程、测试方法、结果评判依据,以及最终所需要的测试报告格式,能够实现测试项目与内容的自由定制。

测试控制中心模块主要负责控制执行所加载的测试任务。现场测试人员接受测试任务后,由于采用图形化界面,只需按界面提示操作,加载测试任务,完成测试前准备工作,点击开始执行,就可以启动测试流程。测试执行过程中,系统采用软件技术手段,按照测试任务贯彻检验规程和作业指导,同时提供运行过程中的信息提示(如接线提示、告警提示等等)和结果记录。测试人员无需过多考虑测试方法与编写复杂脚本。

MMS 信息交互处理模块主要负责定检作业系统与待测装置之间信息交互处理,通过发送或接收 SV/GOOSE 信息完成间隔层设备软压板远程投退、保护定值读写、读取 ICD 文件、主动上送保护动作事件信息、告警信息、开关量变位信息和录波报告信息等^[13];通过与测试控制中心模块交互检测消息来控制测试的执行流程,如“成功”继续测试,“失败”则测试结束等。

测试结果判断模块主要负责将 MMS 上送信息或 GOOSE 出口报文与测试用例中的期望理论值进行匹配,判断测试结果是否合格,得出测试结论。

测试报告生成模块是在测试结束后将测试结果数据整理保存,生成 XML(Extensible Markup Language)标准格式的文档报告,同时将测试过程中的全部信息(包括测试参数、测试结果数据及评估、测试开始及结束时间、测试次数等)保存至测试记录库中,为测试人员进一步统计分析提供了相应的数据支持。

3 系统整体测试流程设计

智能定检作业系统的自动测试流程由测试前准备和测试执行两个部分构成,具体测试流程见图 2 和图 3 所示。

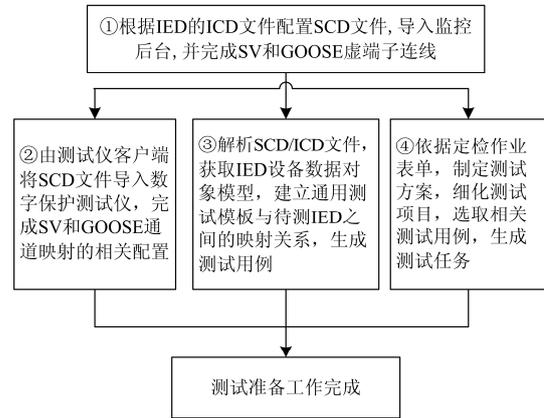


图 2 测试执行前配置

Fig. 2 Configuration of test execution

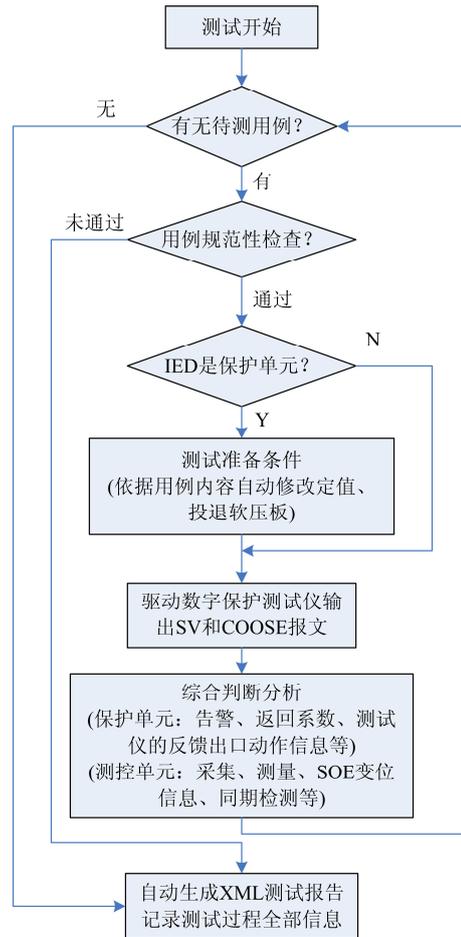


图 3 测试执行流程

Fig. 3 Test execution process

4 关键问题探讨及解决

4.1 通用测试模板开发

为适应不同厂家或不同型号间隔层 IED 设备的测试要求,开发基于 XML 语言的通用测试模板,

并在此基础上建立测试模板库，以便适应许继、南瑞等多家保护测控装置产品的测试要求，该模板与待测装置通用设备数据类型和测试项目有关，与具体装置型号无关。

通用测试模板主要描述基本保护测试功能，一般由模板配置、测试模块和测试模板3个层次构成^[14]，采用 XML 语言描述^[15]，其语法结构支持数据之间的引用与映射，数据引用便于实现数据的共享，数据映射便于实现路径的切换。作为待测 IED 设备数据对象模型的代理，通用测试模板中项目参数的访问或设备相关数据的操作只能通过通用设备数据模型(定值、软硬压板、故障类型、动作报文信息、自检报文信息、出口继电器的触点动作次数和动作时间及返回时间、相关报文的动作时间、各种故障量和动作时间的误差范围等)映射来实现测试用例自动生成，从而有效地将项目参数与具体 IED 设备的数据对象模型进行了隔离，在此种模式下使通用测试模板中的测试项目与不同型号或同型号不同网络地址的设备之间具有了很好的通用性和移植性，极大地降低通用测试模板开发与维护的工作量。

图4为零序电流保护II段的通用测试模板的数据结构，零序保护II段需考虑动作边界、整定定值上下限和不同故障类型等测试条件，当测试执行时，零序电流保护II段需计算 $3I_0$ 后再参与故障计算，在收到测试结束消息后，获取测试结果数据。

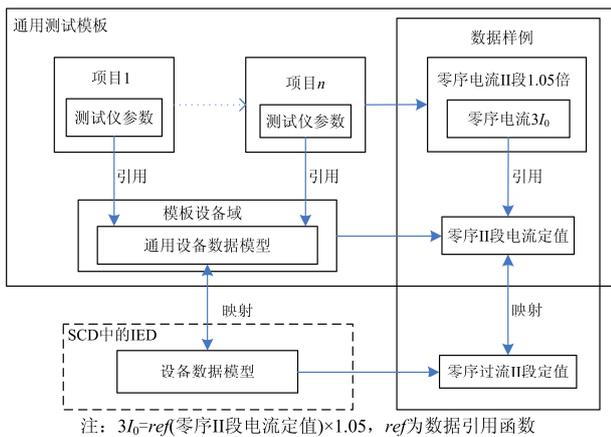


图4 通用测试模板的数据结构

Fig. 4 Data structure of test template

4.2 测试用例如何生成

关于测试用例的自动生成，由于不同厂家或同一厂家类型不同的装置保护逻辑功能上往往存在一定的差异，给测试用例文件的自动生成带来实现上的困难。因此，本系统基于 XML 语言的通用测试模板基础上，建立与具体 IED 装置之间数据集数据

对象模型的映射关系，导入测试项目枚举类型文件，通过测试模板实例化后，从而实现测试用例文件的自动生成。

测试用例一般由“下载定值”、“投退压板”、“故障状态序列”、“动作出口测试”、“报文测试”、“误差测试”等几个部分组成。图5为测试用例文件自动生成过程，测试人员根据定检作业指导书(定检作业表单)编辑测试项目(包括人工检查的项目，如外观检查等)，生成通用测试模板文件并保存。当模板应用于某一智能变电站时，根据当前 SCD 配置文件，对待测 IED 进行模板实例化，生成测试用例。配置测试仪(过程层)输出/输入 SV 和 GOOSE 报文信息进行试运行，将正确的测试用例所对应的通用测试模板保存至测试模板库中，以便实现模板的重复使用。当定检作业开始时，作业人员通过本系统所提供的 SCD 可视化图形界面，选取待测 IED，并自动从测试模板库中选取与保护测试功能相关的测试模板进行实例化，生成测试用例文件，采用“一键式”控制模式，顺序执行测试任务，自动判断结果是否合格，填写测试报告，并记录作业过程中所有中间数据参数及测试结果，包括各种测试项目中测试仪输出状态记录，以及对应的 IED 装置动作事件记录 SOE、故障录波等信息保存至测试记录库中，便于测试人员后期整理分析。

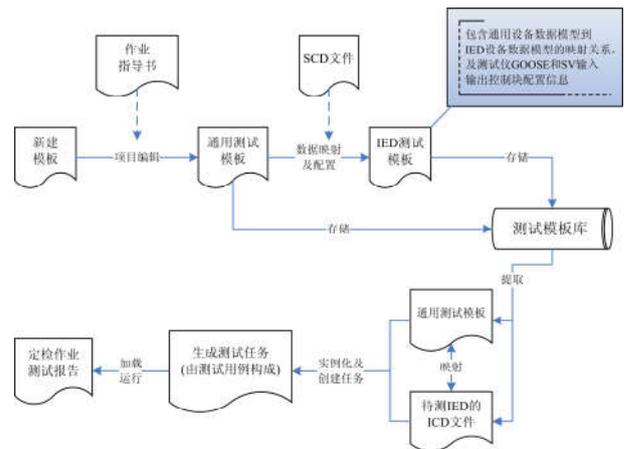


图5 模板开发与应用过程

Fig. 5 Template developing and using procedure

5 系统在实际变电站中的应用

基于上述内容，贵州电网有限责任公司电力调度控制中心与广东昂立电气自动化有限公司共同合作研发一款新型数字化保护自动测试智能作业系统，该系统能够实现线性度偏差测试、保护功能测试(定值校验、动作值搜索等)、同期检测、“四遥”测试、报文异常测试等十多种检测类型。

图6为智能变电站间隔层主变压器保护定检的测试任务执行界面,在测试任务建立完毕,系统主界面将给出目前可用的测试任务列表。根据需要选择相应的测试任务,双击,系统将进入测试任务的执行界面。执行界面的左半部分为“测试项目列表”,用户可根据本次测试的实际情况进行项目选择,确定实际测试的内容;右半部分分为上下两个区域,右上区为本次测试任务对应的测试报告。右下区为

测试日志。测试执行过程中,系统自动记录整个测试任务的执行过程和执行结果,并通过右下半区的“日志栏”分类显示,包括测试信息,保护事件,不合格项目记录。测试项目的结果数据经过处理后,根据报告数据的书签映射,自动填写到测试报告,生成用户指定格式的测试报告文件,并可查看其测试参数和测试结果。

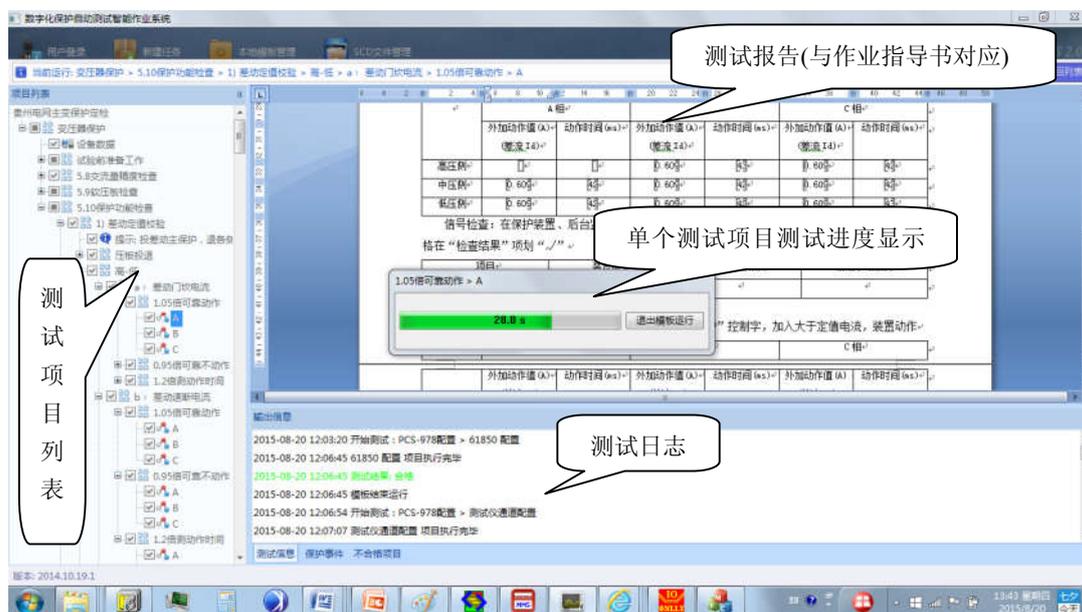


图6 测试任务执行界面

Fig. 6 Testing tasks execution interface

6 结语

通过贵州地区若干智能变电站间隔层IED设备定检作业工作实践的反馈信息验证了该系统已达到保护检修工作智能化水平,检测效果良好。实践表明在定检作业过程中引入自动化技术,能有效地解决常规模式下检测工作的繁琐重复,大大缩短了测试周期,保证了间隔层IED设备定检作业的完整性和测试结果正确性。本文所设计的智能定检作业系统,设计上采用抽象化和模块化设计思想,摆脱了常规作业方式的单一模式,不需要测试人员过多考虑测试方法和措施,通过该系统平台所提示的信息,测试人员就能轻松方便地实现闭环自动测试,从而实现测试全过程的智能化和规范化。此外,该系统的设计思路 and 实现方法为智能变电站系统联调提供了借鉴思路和参考价值,应用前景广阔。

参考文献

[1] 国家电力监管标准化委员会. GB/T 30155-2013 智能

变电站技术导则[S]. 北京: 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 2013.

State Electricity Regulatory Commission of People's Republic of China. GB/T 30155-2013 technical guide for smart substation[S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, 2013.

[2] 曹团结, 黄国方. 智能变电站继电保护技术与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.

[3] 蓝海涛. 智能变电站继电保护二次安全措施规范化的建议[J]. 智能电网, 2014, 2(1): 62-66.

LAN Haitao. Recommendations for the standardization of relay protection secondary safety measures of smart substation[J]. Smart Grid, 2014, 2(1): 62-66.

[4] 王忠, 张晓莉, 李忠安, 等. 继电保护装置自动测试系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(5): 130-135. WANG Zhong, ZHANG Xiaoli, LI Zhongan, et al. Design of automatic test system for relay protection device[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(5): 130-135.

- [5] 郑新才, 丁卫华, 韩潇, 等. 基于测试模板的继电保护装置自动测试技术研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(12): 69-72.
ZHENG Xincan, DING Weihua, HAN Xiao, et al. Research and realization of autotest technology for protection relays based on test template[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(12): 69-72.
- [6] 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与应用[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.
- [7] 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 checking software of protection devices based on IEC-61850 communication model[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(5): 147-151.
- [8] 丁国兴, 王宏彦, 邱建斌, 等. 继电保护装置 IEC61850 通信模型规范化测试软件开发[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(17): 96-101.
DING Guoxing, WANG Hongyan, QIU Jianbin, et al. Development of checking software of protection devices based on IEC-61850 communication model[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(17): 96-101.
- [9] 陈建民, 邱智勇, 王健. 基于 IEC61850 标准的变电站实施的若干探讨[J]. 华东电力, 2009, 37(6): 913-915.
CHEN Jianmin, QIU Zhiyong, WANG Jian. Discussion on the implementation of digital substations based on IEC61850[J]. East China Electric Power, 2009, 37(6): 913-915.
- [10] 周晓龙. 智能变电站保护测控装置[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(8): 128-133.
ZHOU Xiaolong. Protection and measuring-control devices in smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(8): 128-133.
- [11] 陈德辉, 王丰, 杨志宏. 智能变电站二次系统通用测试平台方案[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(1): 139-143.
CHEN Dehui, WANG Feng, YANG Zhihong. Unified test platform for smart substation secondary system[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(1): 139-143.
- [12] 国家电网公司企业标准. Q/GDW 396-2009 IEC 61850 工程继电保护应用模型[S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
State Grid Corporation of China Standards. Q/GDW 396-2009 application model of IEC 61850 project relay protection[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2010.
- [13] 国家电网公司企业标准. Q/GDW 441-2010 智能变电站继电保护技术规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
State Grid Corporation of China Standards. Q/GDW 441-2010 technical specification for smart substation relay protection[S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, 2010.
- [14] 唐志军, 林国栋, 朱维钧, 等. 智能变电站二次设备集成测试系统[J]. 华东电力, 2014, 42(12): 2516-2521.
TANG Zhijun, LIN Guodong, ZHU Weijun, et al. Integration test system of intelligent substation secondary device[J]. East China Electric Power, 2014, 42(12): 2516-2521.
- [15] 谢俊, 李峰, 李勇, 等. 智能变电站保护装置通用测试模板及生成方法[J]. 中国电力, 2014, 47(7): 122-127.
XIE Jun, LI Feng, LI Yong, et al. A test template and its generation method for protection devices in a intelligent substation[J]. Electric Power, 2014, 47(7): 122-127.

收稿日期: 2016-01-26; 修回日期: 2016-05-03

作者简介:

彭海平(1965-), 女, 本科, 高级工程师, 从事电力系统继电保护专业技术管理; E-mail: gz_penghaiping@sina.com

高昌培(1956-), 男, 本科, 教授级高级工程师, 从事电力系统继电保护专业技术管理;

熊学海(1981-), 男, 硕士, 工程师, 从事电力系统继电保护专业技术管理。

(编辑 周金梅)