

DOI: 10.7667/PSPC161748

基于变电站 SCD 文件的智能作业系统的研究

赵凤贤¹, 孟祥博², 周雷², 田海涛³

(1. 辽宁工业大学电气工程学院, 辽宁 锦州 121000; 2. 国网辽宁省电力有限公司锦州供电公司, 辽宁 锦州 121000; 3. 广东昂立电气, 广东 广州 511400)

摘要: IEC61850 技术标准的完善与实施促进了站内 IED 装置信息共享与互操作, 使得智能变电站二次设备检测技术的智能化成为可能。从系统构架及测试流程两方面论述了变电站二次设备的智能定检作业系统, 并对通用测试模板开发及作业实例文件生成等关键性的问题提出相应的解决方案。在智能变电站 SCD 文件管理及图形化的基础上, 该系统结合现场检验的实际需求, 细化测试项目, 加载并执行模板作业实例文件, 实现待测 IED 的闭环自动测试。目前已成功应用于国网辽宁省电力有限公司某智能变电站二次设备的定期检测, 效果理想。

关键词: 智能变电站; 二次设备; 闭环自动测试; 测试流程; 通用测试模板

Research of intelligent test system based on SCD file for smart substation

ZHAO Fengxian¹, MENG Xiangbo², ZHOU Lei², TIAN Haitao³

(1. School of Electrical Engineering, Liaoning University of Technology, Jinzhou 121000, China;
2. Jinzhou Power Supply Company, State Grid Liaoning Electric Power Co., Ltd., Jinzhou 121000, China;
3. ONLY Electric Co., Ltd., Guangzhou 511400, China)

Abstract: The improvement and implementation of IEC61850 standards promote the information sharing and interoperability of IED devices in the substation, making the secondary equipment detection technology become as intelligent as possible in smart substation. The intelligent test system for secondary equipment of the smart substation is discussed on the system architecture and test process, and the corresponding solution for the critical problems of the universal test template development and the test cases file generation is proposed. Based on the smart substation SCD file management and graphics presentation technology, the system combines the actual needs of the field inspection, refines the test items, loads and executes the template test case file, and realizes the closed-loop automatic test of IED. Now the system has been successfully applied on the periodic test for smart substation secondary equipment in State Grid Liaoning Electric Power Co., Ltd., and test effect is ideal.

This work is supported by Natural Science Foundation of Liaoning Province (No. 2015020076) and Project of Education Department of Liaoning Province (No. JL201615407).

Key words: smart substation; secondary equipment; closed-loop automatic test; test process; universal test template

0 引言

与传统变电站相比, 智能变电站网络结构的变更^[1]及二次设备的不断更新, 要求作业人员不仅熟练掌握专业技术知识, 而且能够识别智能站与常规站检测侧重点的不同, 从而实现安全高效的检测效果。当前, 智能变电站二次设备的检测主要存在以

下两个方面的问题: 1) 当变电站 SCD(Substation Configuration Description)描述文件修改或升级后, 一些智能电子装置(Intelligent Electronic Device, IED)设备之间的二次回路虚端子连接关系发生改变, 致使 IED 在 SCD 中的配置与实际运行配置不对应, 则无法进行常规检测作业; 2) 由于现场停电检修时间较短, 作业人员未严格按照国网和省网规程或作业指导书执行, 可能造成检验项目“缺项、漏项”、“误判”等情况, 很难保证现场作业过程的安全性和规范性, 为智能变电站的安全稳定运行埋

基金项目: 辽宁省自然科学基金项目(2015020076); 辽宁省教育厅项目(JL201615407)

下隐患^[2-4]。因此, 迫切需要进一步研究智能变电站二次设备的检测技术, 保证测试结果满足定检作业要求, 从而提高检测效率。

本文结合当前智能变电站二次设备的实际运行情况, 开发基于变电站 SCD 文件的智能定检作业系统。该系统采用分层模块化体系结构, 依据定检作业表单, 制定测试方案, 细化测试项目, 通过预先编制的通用测试模板, 结合待测 IED 的能力描述文件(IED Capability Description, ICD), 生成模板作业实例文件, 自动加载并执行, 从而实现待测 IED 装置的闭环自动测试。测试结束后, 自动生成 XML(eXtensible Markup Language)标准的测试报告, 简化了 IED 定检作业过程的复杂程度, 有效地克服了人为不确定因素的影响, 从而提高了检测工作效率。

1 智能作业系统

1.1 智能作业系统可行性

基于 IEC61850 标准基础上, 智能变电站中各种类型的 IED 装置统一采用 ICD 文件进行描述, 屏蔽了各制造厂商 IED 装置内部配置的差异^[5-6], 实现了站内 IED 装置信息共享与互操作性。由 ICD 文件汇总配置成全站系统描述文件 SCD, 不仅统一了全站的数据模型, 而且建立了 IED 测试模板中数据配置与 SCD 中设备数据模型之间的映射关系^[7-8], 因此, IEC61850 标准的应用为变电站智能作业系统的实现提供了良好的支撑平台。

1.2 系统构架

智能作业系统总体构架结构如图 1 所示, 以自动测试模块为中心, 依据各组件模块实现功能的不同, 划分为应用层、服务层、设备层三层体系结构。应用层主要由 SCD 文件管理、测试模板开发和自动测试等模块构成。SCD 文件管理模块主要用于查看 IED 装置及其虚端子的连接, 以及 IED 版本修改历史追溯; 测试模板开发模块用于测试模板文件编辑与生成; 自动测试模块用于加载测试模板, 生成实例化测试任务, 通过对外围硬件设备的控制, 从而自动完成整个智能闭环校验的执行过程。服务层由虚拟设备控制器及测试服务等模块构成。虚拟设备控制器采用代理模式, 通过对硬件设备功能进行抽象, 为上层应用及测试服务提供统一的控制接口。该虚拟控制器依据不同的设备类型采用不同的通信协议与硬件设备进行通信, 如与智能装置通信采用 IEC61850 标准的 MMS(Manufacturing Message Specification) 通信协议, 与测试仪通信采用 UDP(User Datagram Protocol)通信协议等。设备层由

各种智能化的外围硬件设备构成, 如测试仪、保护装置、测控装置及智能终端等。

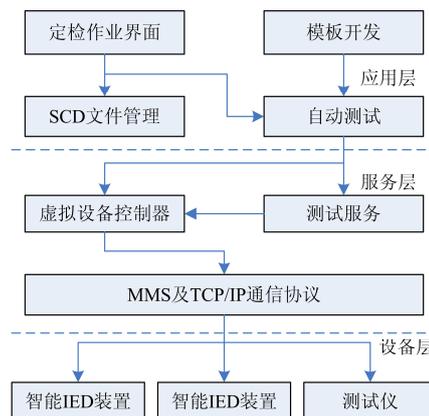


图 1 智能作业系统总体构架图

Fig. 1 Intelligent operating system architecture

智能作业系统层与层之间使用 Socket 通信方式进行命令调度和数据传输, 支持远程操作系统调用。应用层与服务层之间采用 C/S 结构设计, 能够支持多个测试客户端运行, 从而实现多个 IED 装置的同时测试。通过智能作业系统提供的作业主界面, 测试人员即可以查看现场变电站 SCD 配置图^[9], 又可以调出与被测 IED 相关的检测功能, 使其在统一的操作界面下便捷地完成检测任务。

智能作业系统通过调用当前变电站测试模板库中相关的测试模板文件实例化处理后, 加载执行, 从而实现 IED 装置的自动测试。该测试一方面通过网络通信控制测试仪输出, 以及接收被测装置的反馈信息, 自动判断测试结果是否合格, 并可将其结果自动填入作业报告; 另一方面通过 MMS 通信协议与保护装置通信, 可以获取保护定值, 对保护压板进行远程投退, 监视并记录保护装置上送的动作事件, 从而实现保护装置的全自动闭环测试。

2 测试流程

智能作业系统的自动测试流程由测试执行前期准备工作和测试执行两个部分构成。测试前需完成以下工作: ① 配置 SCD 文件, 完成测试仪各光端口 SMV 和 GOOSE(IN/OUT)虚端子自动配置^[10], 以及各通道通信参数的配置; ② 通过 MMS 后台程序与待测 IED 通信, 自动导入/导出 IED 设备数据模型, 如设备参数、定值、采样值、软压板、SOE 事件等数据信息; ③ 解析 SCD/ICD 配置文件, 建立通用测试模板与 IED 装置之间映射关系, 编辑测试模板文件; ④ 依据作业表单, 细化测试项目, 选择相关测试模板文件, 创建生成模板作业实例文件。

具体测试执行过程见图 2 所示。

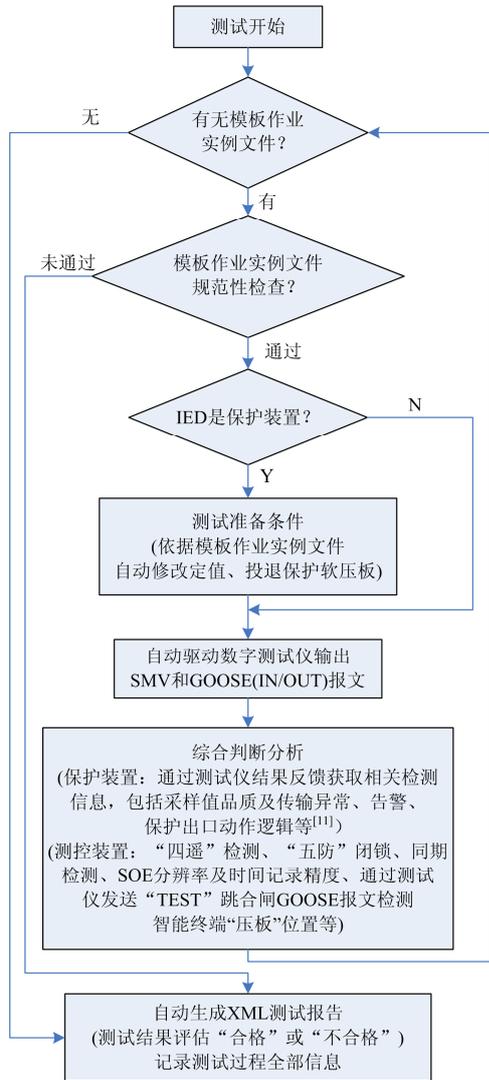


图 2 测试执行流程

Fig. 2 Test execution process

3 通用测试模板开发与应用

3.1 通用测试模板

通用测试模板由通用设备数据模型和检测项目构成。通用设备数据模型为待测装置检测项目所用到的设备数据，如保护装置定值、压板及遥测量等；检测项目包含测试过程中所需控制参数及结果处理脚本等。该模板文件采用 XML 语言^[12-13]描述，其语法结构支持数据之间的引用与映射，便于数据共享与切换。

图 3 为测试模板的数据结构，其中数据样例为变压器差动电流保护 1.05 倍定值检验项目，其电流参数 I_r 表达式为

$$I_r = \text{ref}(\text{差动保护电流定值}) \times 1.05$$

其中，ref 为模板数据引用函数，其输入参数为目标数据在模板中的路径。当项目运行时，含表达式的参数将通过表达式计算其自身的值后再参与故障计算。

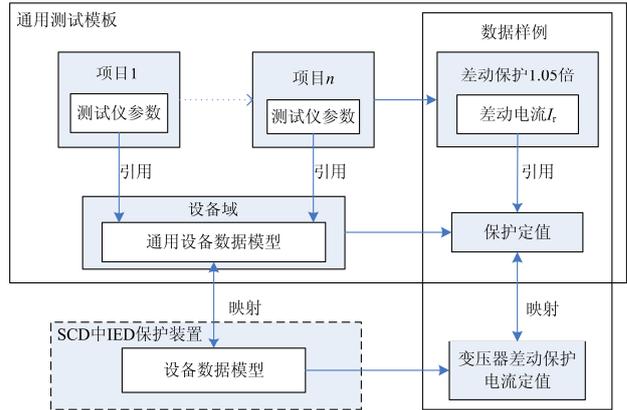


图 3 测试模板数据结构

Fig. 3 Data structure of test template

由图 3 可知，通用设备数据模型作为具体实际设备数据模型的代理，为测试项目提供相关数据服务，其访问或操作设备时只对通用测试模板设备数据模型进行，而实际执行时，再经过数据代理服务对站控层中具体 IED 装置进行定值读写、压板控制等数据对象进行操作。通过自动测试方式能够实现检测项目参数与具体 IED 装置之间的有效隔离，使通用测试模板中的检测项目与不同型号不同网络地址的具体 IED 装置之间具有很好的通用性和移植性，便于定制各种测试功能模板，以适应不同型号设备的检测要求。

3.2 测试模板开发与应用

通用测试模板开发与应用过程见图 4 所示，模板开发人员首先根据作业表单(或作业指导书)编辑所有相关测试项目，开发通用测试模板文件并保存至模板库。若应用于具体某一智能变电站时，需依据当前变电站 SCD 配置文件，配置测试仪 GOOSE/SV 输入输出控制块信息，加载试运行，验证 IED 测试模板的正确性，若正确，则将其存储至模板库中，便于每次定检作业的直接使用。当作业开始时，测试人员通过智能作业系统提供的 SCD 文件界面^[14-15]，选取待测 IED 保护/测控装置，自动加载模板库中相关测试模板，创建模板作业实例文件并执行。测试完成后，系统根据测试结果判断待测 IED 装置是否合格，自动填写 XML 标准格式的业报告，并记录作业过程中所有中间数据及结果，便于用户对定检作业过程的分析整理。

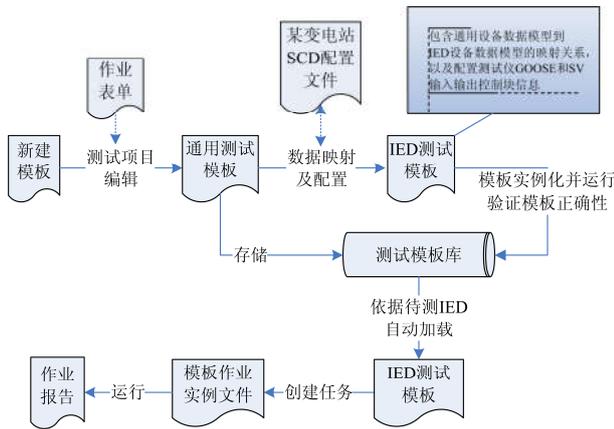


图 4 模板开发与应用

Fig. 4 Template developing and application

4 系统应用实例

本系统已在国网辽宁省电力有限公司某智能变电站二次系统中得到了实际应用。

该系统根据测试对象选择相关测试模板, 如图 5 所示, 任务列表中为所选“辽宁主变保护定检-all.btl”模板文件, 双击即可打开任务执行。通过“测试模板”能够实现变电站二次设备测试过程的标准化、流程化、智能化。图 6 为“塔影变”1号主变保护 A 套-PCS978 测试执行界面。在测试执行前, 测试人员需进行设备数据配置、测试仪各光口的 SMV/GOOSE 控制块输入输出配置和测试仪各通道的输出信号类型配置等工作。在完成上述准备工作后, 点击界面右上角的“开始测试”图标, 执行项目列表中全部被选中的测试项目。在测试过程中, 系统驱动测试仪 SMV 和 GOOSE 报文信息输出, 并通过测试仪获取保护出口动作信息, 自动记录整个测试任务的执行过程和执行结果, 包括测试信息, 保护事件, 不合格项目记录。当测试完成后, 自动记录测试结果并做出结果评估, 如“合格”或“不合格”等, 对于不合格项目, 系统自动在左半区的

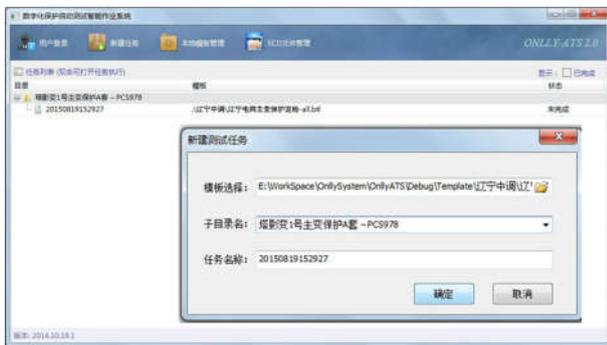


图 5 新建任务及测试系统主界面

Fig. 5 New task and main interface of test system

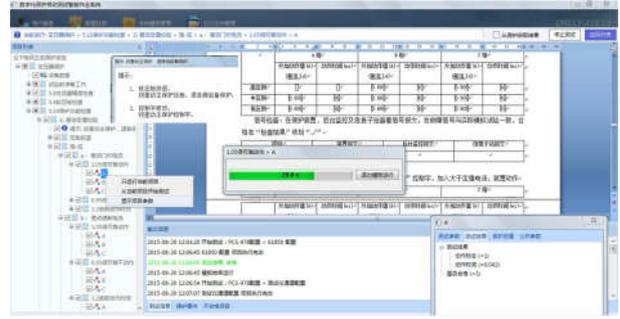


图 6 测试项目执行界面

Fig. 6 Test project execution interface

“测试项目列表”中以红色显示。测试结果数据经过处理后, 根据报告数据的书签映射, 自动填写相应测试报告, 生成用户指定 XML 标准格式的测试报告文件。

5 结论

本文从智能变电站现场二次设备检测工作的实际出发, 通过本智能作业平台的提示信息自动完成 IED 闭环测试, 有效地克服传统单一模式下检测工作的繁琐, 避免出现检测项目的“缺项、漏项”、“误判”等情况, 大大缩短了检测周期, 保证了 IED 装置定检作业的完整性和测试结果正确性, 为智能变电站二次设备的现场检测提供一个规范化、标准化和效率化的解决方案, 在一定程度上提高了变电站定检作业的智能化水平。通过国网辽宁省某智能变电站二次设备定检作业信息反馈, 检测效果理想。

参考文献

- [1] 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: 8pp. DOI 10.1186/s41601-016-0012-2
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 国家电力监管标准化委员会. 智能变电站技术导则: GB/T 30155—2013[S]. 北京: 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 2013.
- [5] State Electricity Regulatory Commission of People's Republic of China. Technical guide for smart substation: GB/T 30155—2013[S]. Beijing: General Administration

of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, 2013.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 高磊. IEC61850 SCL 配置文件比对工具的研究与实现[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(20): 88-91.
GAO Lei. Research and implementation of comparison tool for IEC61850 SCL configuration file[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(20): 88-91.

[7] 高磊, 石慧, 杨毅, 等. 智能变电站配置描述文件管控系统的研究与实现[J]. 电网技术, 2014, 38(12): 3328-3332.
GAO Lei, SHI Hui, YANG Yi, et al. Research and implementation of configuration description file management system for smart substation[J]. Power System Technology, 2014, 38(12): 3328-3332.

[8] 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.

[9] 李妍, 车勇, 单强, 等. 智能变电站二次系统在线监测评估的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(10): 65-70.
LI Yan, CHE Yong, SHAN Qiang, et al. Research on secondary system on-line monitoring and evaluation in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(10): 65-70.

[10] 宋杰, 高亮, 鲍伟, 等. 基于协同测试系统的智能变电站 GOOSE 虚端子关联检测研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(24): 138-142.
SONG Jie, GAO Liang, BAO Wei, et al. Research of GOOSE virtual terminal connection test in smart substation based on collaborative testing system[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(24): 138-142.

[11] 国家电网公司企业标准. 智能变电站继电保护技术规范: Q/GDW 441—2010[S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
Standards of State Grid Corp of China. Technical specification for smart substation relay protection: Q/GDW 441—2010 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2010.

[12] 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 an intelligent substation[J]. Electric Power, 2014, 47(7): 122-127.

[13] 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.

[14] 苗斌, 童晓阳, 郑永康, 等. 基于 IEC61850 的智能变电站图形化系统配置器原型设计[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(7): 82-87.
MIAO Bin, TONG Xiaoyang, ZHENG Yongkang, et al. Prototype design of graphic system configuration tool for intelligent substation based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(7): 82-87.

[15] 熊华强, 万勇, 桂小智, 等. 智能变电站 SCD 文件可视化管理和分析决策系统的设计与实现[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(5): 166-171.
XIONG Huaqiang, WAN Yong, GUI Xiaozhi, et al. Design and implementation of visual management and analytical decision system for smart substation SCD files[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(5): 166-171.

收稿日期: 2016-10-20; 修回日期: 2016-12-26

作者简介:

赵凤贤(1980—), 女, 硕士, 讲师, 从事电力系统继电保护方面的研究; E-mail: zfx198089@126.com

孟祥博(1981—), 男, 本科, 高级工程师, 从事电力系统继电保护及自动化方面现场维护与检修工作;

周雷(1980—), 男, 硕士, 工程师, 从事电力系统运营管理工作。

(编辑 周金梅)