

DOI: 10.7667/PSPC160802

智能变电站保护装置自动测试系统分析与设计

耿治¹, 张建忠¹, 陈昊²

(1. 东南大学电气工程学院, 江苏 南京 210000; 2. 江苏省电力公司检修分公司, 江苏 南京 211102)

摘要: 根据智能变电站及间隔层智能保护装置发展特点和现状, 为了提高装置测试效率及自动化水平, 提出一种关于智能变电站间隔层保护装置自动化测试系统。针对自动测试系统的技术要求, 依次提出测试系统构架、实现方式和整个测试系统的测试流程。采用模板技术分别建立测试模板、故障模板及校验模板确定测试方案的方法, 测试完成后, 能根据测试模板生成标准格式的测试报告。该测试系统能够实现对不同测试装置的兼容性以及不同厂家不同功能装置的测试的自动化、智能化。

关键词: IEC61850; 智能变电站; 保护装置; 自动化测试; 模板

Research and design of automatic test system for protection device in intelligent substation

GENG Zhi¹, ZHANG Jianzhong¹, CHEN Hao²

(1. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210000, China;

2. Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China)

Abstract: According to the characteristics and present situation of smart substation and intelligent protection devices' development in bay level, a kind of automatic test system for bay level's protection device in smart substation is presented to improve the efficiency and automation of the test for devices. Based on the technical requirements of the automatic test system, the test system architecture, implementation method and testing process for the whole test system are put forward respectively. The template technique is used to establish the test template, the fault template and the verification template determining the test plan. After the test is completed, the test report can be generated according to the test template. The measurement system can realize different testing devices' compatibility and the automation and intelligence of different function devices' testing from different manufacturers.

Key words: IEC61850; intelligent substation; protection device; automated testing; template

0 引言

随着电网规模的不断扩展, 不同功能的智能保护装置的需求量增加。为适应智能电网的发展, 数字化技术发展迅速, 导致智能保护装置的测试量增大, 并且测试的复杂程度也大大加强。

目前, 随着智能设备数量的快速增加, 智能保护设备测试的工作量也越来越大, 为了保证电能质量, 设备接受测试时间不能过长, 这给设备测试工作的质量及效率提出了更高的要求。到目前为止, 很多智能设备厂家可以提供设备的测试并拥有独立的测试软件及测试规则, 能够提高测试的效率和测试的自动化水平。但是, 智能变电站中实现某一种功能的设备可能包含不同厂家的产品, 不同厂家的测试工具的测试原理及测试软件使用上的差异要求

测试人员需要掌握多种测试装置的测试方法及测试配置, 整个测试过程增加了人为因素, 给测试结果带了很大风险。并且不同厂家的测试设备对智能变电站的互操作性也提出挑战^[1-2], 这些都是自动测试系统需要解决的问题。

智能变电站采用 IEC 61850 标准进行建模, 把变电站所用的智能电子设备(IED)按照面向对象的方法, 把功能逐步分解, 从而实现对 IED 的描述, 形成功能描述(ICD)文件。并以此为基础, 采用采样报文(SV)和面向通用对象的变电站事件(GOOSE)报文传输测控信息及跳闸信息, 根据变电站实际情况把装置与其他装置的报文收发情况配置成为变电站系统配置描述(SCD)文件和保护装置配置描述(CID)文件, 这是测试系统实现对不同功能设备的自动测试的技术基础。

本文提出一种采用面向对象设计方法，形成测试系统的测试模板^[3-4]、故障模板及校验模板实现对不同智能保护装置的闭环测试，实现对不同测试设备的兼容性，最后采用标准模板生成关于保护装置的测试报告，实现系统测试的自动化，提高测试效率及精度。

1 自动测试系统的技术要求

1.1 智能保护装置的闭环测试

闭环测试是自动测试系统的基础功能，自动测试系统加载故障模板，配置测试模板，控制保护测试仪按照测试模板的测试项目依次对保护装置的功能进行检测，并与校验模板进行对比，得出测试结论，根据报告模板自动生成测试报告，完成整个测试过程。

1.2 实现测试的标准性和高效性

来自不同厂家智能装置的测试设备由于缺乏统一的标准，在测试项目、测试指标及装置配置上存在差异，这就需要测试人员设置不同测试项目参数才能完成对全部智能装置的测试工作，加大了工作强度和测试风险。最后生成的测试报告也因测试项目及测试顺序的不同，使得整个测试工作效率低下。为了解决效率问题，自动测试系统采用模板技术，对需要测试的保护装置进行功能解析，确认测试项目，生成测试模板，并对测试模板需要的故障信息及测试校验也设计模板，使整个测试过程高效且标准。

1.3 测试系统测试的兼容性

测试系统测试的兼容性体现在以下两个方面。

1) 测试系统对待测保护装置的兼容性

虽然智能保护装置都采用统一的 IEC 61850 标准为基础设计，但是不同厂家对于标准难免产生理解上的偏差，产生设备之间不匹配的问题，造成测试系统不能兼容不同厂家设备。智能保护装置 ICD 文件是开发商根据 IEC 61850 标准设计的关于装置功能的描述文件，屏蔽了各厂家内部设置的差异，通过对保护装置 ICD 文件进行解析，可以确定该保护装置需要测试的功能，从而确定测试项目，保证测试系统对不同厂家保护装置的兼容性。

2) 测试系统对保护测试仪的兼容性

目前，很多自动测试系统通过对保护测试仪设计测试仪接口控制模块来保证对不同厂家的测试仪进行控制。通过测试仪软件打开测试系统定义的与测试仪上位机软件相同的故障参数模板文件，实现测试仪接口与测试仪上位机软件的信息交互，实现对测试仪的控制。这种做法虽然可对下位机实现稳定可靠的控制，但增加信息交互的环节，效率有所

降低，并且测试仪自带的上位机软件设计相对独立，关于参数设计的模板，各厂家也不尽相同，系统需要不断调整故障模板来适用测试仪设备。本文采用测控主机直接与测试仪的下位机进行信息交互，实现系统对下位机的控制，调高测试效率，并通过测试模板技术保证测试系统的可扩展性。

测试系统采用模板技术，测试结构^[5-9]如图 1 所示。

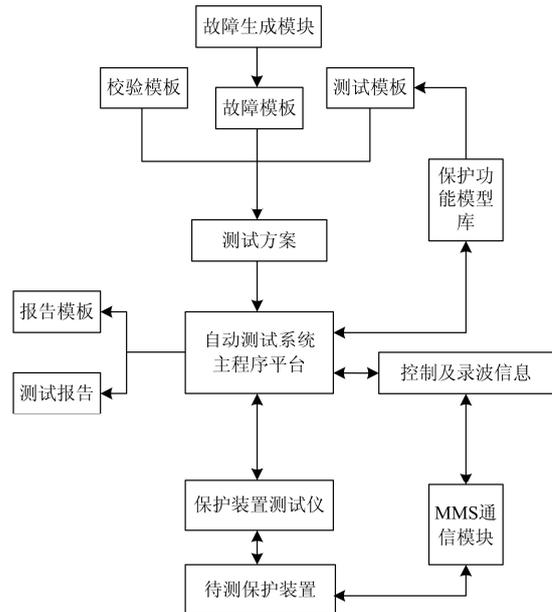


图 1 自动测试系统测试结构

Fig. 1 Test structure of automatic test system

2 自动测试系统测试方案

2.1 测试系统测试模板

测试模板的生成是实现测试系统自动化的关键步骤。测试模板的生成分为两个主要步骤。

1) 建立待测保护装置的数据模型

本文采用面向对象的方法，借鉴 IEC 61850 标准将物理设备的实际功能通过逻辑设备、逻辑节点、数据、数据属性逐级分解，然后再通过实例化配置逐级组合形成设备模型的建模思想。首先采用面向对象的 C++ 语言根据保护装置的各种保护原理抽象形成相应的类文件，类文件形成一个保护功能模型库，供后续的测试使用。类文件中包含相应测试的功能函数及描述测试属性的数据，这些功能函数能够完成软压板的投退、整定值的修改等功能，数据可以用来进行相应的实例化。通过读取相应测试所需要的数据及待测的继电保护装置 ICD 文件，得到继电保护装置的相关功能，确定测试模板的测试项目，在自动测试平台上生成测试列表，根据测试列表在保护功能模型库中选择对应的保护模型，完成对待测保护装置的建模。

2) 实例化配置待测保护装置的数据模型

通过解析使用待测保护装置的智能变电站的SCD文件, 获取待测保护装置的通道、虚端子中内外部地址及装置与其他装置的通信情况, 把这些信息通过对类文件进行实例化形成类文件的对象, 完成整个测试模板的建立。

2.2 测试系统故障模板

智能保护装置根据保护对象可以划分发电机智能保护装置、变压器智能保护装置、母线智能保护装置、线路智能保护装置等。测试模板的建立能够生成多种故障参数, 实现对这些不同功能的智能保护装置的测试, 通过模板依次配置各种功能的故障参数, 不需要根据不同测试功能依次设计故障参数, 提高系统测试的自动化水平。首先通过故障生成模块^[10-11]在自动控制系统主程序平台上运行仿真软件, 模拟产生各种情况的故障并以文件方式保存各种暂态数据, 仿真模型不但具备高重用性而且能够根据需要产生各种运行情况下的故障, 有较好的灵活性及扩展性。根据测试模板解析待测保护装置的ICD文件, 确定测试项目, 在故障生成模块生成的故障参数文件中选择测试项目需要的测试数据, 形成故障模板。为了给测试提供统一的测试依据, 故障模板除了包含相应的故障参数, 故障模板的格式应由以下信息组成: 故障种类说明、故障响应时间、故障电压、故障电流、故障角度、故障作用时间及故障发生时间^[12]。

2.3 测试系统校验模板

智能设备测试产生大量的测试结果, 为了减轻测试人员的工作量, 兼容不同厂家的测试装置, 采用统一的校验模板根据测试标准对测试项目进行校验。校验模板主要通过与上传的测试数据进行比对判断测试是否产生异常情况。自动测试系统首先根据数字化保护装置的行业标准 DL/T 624-2010 的规定, 确定不同的测试项目对应不同的校验数据形成校验数据库, 根据测试模板测试内容选择校验数据加载到校验模板, 与测试数据比对完成智能保护装置基本功能测试, 并把校验模板通过变电站SCD文件实例化配置, 加载待测保护设备的通道、虚端子内外部地址情况, 然后根据测试数据中GOOSE、SV报文的解析结果, 检测待测保护装置在变电站中是否能够完成与SCD文件配置的设备完成通信, 验证变电站的遥测及遥信功能。

通过建立3个模板确定自动测试系统的测试方案。测试方案确定了整个测试的测试方法、测试数据及测试流程。

3 自动测试系统软件平台及测试流程

自动测试系统的软件平台主要包含自动测试系统主程序平台、测试报告生成以及保护功能模型库。

3.1 自动测试系统主程序平台

自动测试系统主程序平台是整个测试系统的中枢环节, 包含模板的整定、测试控制、数据处理的功能。主程序平台提供给测试人员一个用户接口界面, 供测试人员完成测试工作。在主程序测试平台上要完成上述测试方案的程序实现, 然后启动主程序根据测试方案的测试模板中相应的功能函数控制保护装置的软压板的投退, 整定值控制的设定。为了保证软压板和整定值的控制, 主程序平台需要跟待测保护装置进行通信, 完成信息的交互。然后从故障模板依次向保护测试装置下发故障数据, 并接收测试仪上传的数据, 完成校验后生成最后的测试报告。主程序测试平台对于测试过程中产生异常情况, 需要产生报警提示测试人员并在校验模板中记录异常。

3.2 自动测试系统报告模板及测试报告

智能保护测试需要生成大量的测试数据, 为了增加测试报告的可读性, 方便对设备运行状况检测, 通过设计报告模板保证测试结果的可读性及测试流程的自动化。测试报告包含3个部分: (1) 测试项目种类; (2) 故障类别及参数; (3) 校验项目及结果。测试项目由报告模板根据测试模板的测试项目确定需要记录的测试数据。根据故障模板, 记录测试使用的故障类别及相应的故障数据。由校验模板得到相应的校验项目, 然后把校验模板中的校验结果加载到测试报告中, 生成测试报告。

3.3 自动测试系统保护功能模型库

功能模型库是由面向对象的C++语言根据保护装置的各种保护原理抽象形成的相应类文件, 类文件构成一个保护装置功能模型库, 用于测试模板的形成。类文件中包含描述测试装置的功能函数成员及描述测试属性的数据成员, 这些功能函数能够完成软压板的投退、整定值修改等功能, 数据可以用来进行相应的实例化。类文件可以抽象一类保护功能^[13], 不同参数的保护可以通过引用类, 并对类的数据成员赋值, 形成类的对象, 完成对具体测试装置的逻辑抽象。之后把不同保护装置在SCD文件中的参数配置到按照保护装置的ICD文件确定的测试项目类文件中, 即可生成新的测试模板。例如距离保护装置的测试内容通常包括动作界限测试、闭锁条件测试、距离定值极限值测试、时间定值极限值

测试等, 将这些内容的测试原理用 C++ 语言描述, 成为距离保护类文件的成员函数, 距离保护装置被抽象成统一的数学模型。然后把 SCD 中解析得到的数据及故障模板生成的故障参数赋值到保护装置功能模型库中关于距离保护类文件中对应的数据成员, 某一个特定的距离保护装置的测试模板建立完成, 这对于不同厂家的产品均适用。

类文件可以重复使用, 对于不同功能的保护装置, 可以方便地生成测试模板, 并且 C++ 类文件容易继承和派生, 用户可以利用功能模型库存在的类文件开发符合需要的测试功能的类文件, 使自动测试系统具有较好的可扩展性。

3.4 自动测试系统测试流程

本文建立的自动测试系统的测试流程如下。

1) 解析待测保护装置的 ICD 文件, 根据 ICD 文件描述的功能在保护装置功能模型类库选择相应的类文件中对应的功能函数, 确定测试内容再由系统的 SCD 文件配置类文件生成具体的测试模板。

2) 根据测试模板的列表内容, 确定故障类型, 生成故障模板并调用故障生成模块在自动控制系统主程序平台上运行仿真软件, 保存生成的对应故障类型的故障参数, 由故障参数配置故障模板。

3) 根据对应的测试模板确定的测试内容, 由测试平台主程序生成对应的校验模板, 并在校验数据库提取相应数据加载到校验模板, 形成测试的检测标准。测试模板、故障模板及校验模板的生成确定了自动化测试系统的测试方案。

4) 启动测试平台主程序, 按照测试方案的测试项目, 把故障模板相应测试项目的参数依次传递到测试仪中并通过通信模块下发测试的整定值和软压板信息。

5) 测试平台接收测试上传的测试数据, 然后通过与校验模板的结果比对判断是否产生异常, 最后生成测试报告。

自动测试系统的测试流程图如图 2 所示。

4 自动测试系统通信模块

自动测试系统软件平台通过保护测试仪设备连接待测保护装置, 上位机通过以太网连接测试仪设备, 测试仪把得到的故障数据按照 IEC 61850 标准形成 SV 报文通过光纤发送到保护装置, 保护装置根据 SV 报文判断装置是否跳合闸, 并形成 GOOSE 报文发送到上位主机。保护装置需要将 GOOSE 输出数据与软压板状态相与, 如果 GOOSE 出口软压板退出, 即使保护动作也不会有 GOOSE 变位信息的产生, 造成误判断并且整定值测试也是保护装置

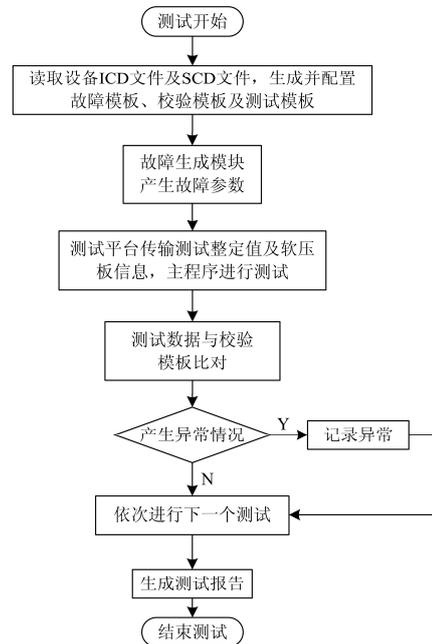


图 2 自动测试系统测试流程图

Fig. 2 Test flow chart of automatic test system

测试的一个主要测试项目。通过设计通信模块^[14-15]由测试平台直接与保护装置通信, 根据 SCD 配置情况和测试项目直接对保护装置进行设置, 并把保护装置的录波信息上传到上位机进行存储。考虑到保护装置运行着不同的操作系统和通信协议, 通信协议选择制造报文规范(MMS)能够实现不同保护装置与测试平台的通信。

5 结论

本文针对智能变电站的保护装置提出一种自动测试系统的设计方法。介绍了具体的设计方法及测试流程。提出采用面向对象的方法和测试平台直接与测试下位机交互的方式, 保证测试系统对测试设备的兼容性。变电站的自动化和智能化的程度提高, 能够节省大量的人工成本并降低变电站的故障概率。实现整个变电站系统的仿真和自动化测试, 将大大推动智能电网的发展。

参考文献

- [1] 王军, 詹荣荣. 继电保护装置自动测试系统的研制[J]. 电气自动化, 2015, 37(4): 93-98.
WANG Jun, ZHAN Rongrong. Development of an auto-test system for the relay protection device[J]. Electrical Automation, 2015, 37(4): 93-98.
- [2] 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实现[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(12): 69-76.

- ZHENG Xincui, DING Weihua, HAN Xiao, et al. Research and realization of auto test technology for protection relays based on test template[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(12): 69-76.
- [3] 胡再超, 姚亮, 张尧. 智能继电保护装置的自动测试方法[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(1): 53-58.
- HU Zaichao, YAO Liang, ZHANG Yao. Automatic testing method of intelligent relay protection device[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2013, 32(1): 53-58.
- [4] 张敏, 黄荣辉, 刘志伟. 基于 IEC61850 标准继电保护装置自动测试系统的研究和设计[J]. 工业控制计算机, 2014, 27(10): 4-6.
- ZHANG Min, HUANG Ronghui, LIU Zhiwei. Automatic test system based on IEC61850 standard of relay protection device[J]. Industrial Control Computer, 2014, 27(10): 4-6.
- [5] 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.
- [6] 孙振华, 高传发, 张亨, 等. 继电保护硬件平台测试软件一体化设计[J]. 计算机系统应用, 2016, 25(3): 214-219.
- SUN Zhenhua, GAO Chuanfa, ZHANG Ting, et al. Design of relay protection hardware platform testing software integration[J]. Application of Computer System, 2016, 25(3): 214-219.
- [7] 姚亮, 陈实, 张勇刚. 新型继电保护装置自动测试系统设计应用[J]. 华电技术, 2015, 37(1): 19-21.
- YAO Liang, CHEN Shi, ZHANG Yonggang. Design and application of a new type of automatic test system for relay protection device[J]. Huadian Technology, 2015, 37(1): 19-21.
- [8] 张小易, 彭志强. 智能变电站站控层测试技术研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(5): 88-94.
- ZHANG Xiaoyi, PENG Zhiqiang. Research and application on substation level test technology of smart substations[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(5): 88-94.
- [9] 陈德辉, 王丰, 杨志宏. 智能变电站二次系统通用平台方案[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.
- [10] 谌争鸣, 陈辉, 陈卫, 等. 全数字化继电保护测试系统设计[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(5): 109-112.
- CHEN Zhengming, CHEN Hui, CHEN Wei, et al. Test system for complete digital protective relay[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(5): 109-112.
- [11] 刘建锋, 张永东, 穆石磊. 基于 ARM Cortex-M3 处理器的数字式继电保护测试仪的设计[J]. 电测与仪表, 2015, 52(22): 119-123.
- LIU Jianfeng, ZHANG Yongdong, MU Shilei. The design of digital relay protection tester based on ARM Cortex-M3 microprocessor[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2015, 52(22): 119-123.
- [12] 谢俊, 李锋, 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.
- [13] 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 of relay protection device[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(5): 130-135.
- [14] 钱浩, 邢海青, 韩永强, 等. 一种继电保护自动测试方案实现方法[J]. 自动化仪表, 2015, 36(5): 71-79.
- QIAN Hao, XING Haiqing, HAN Yongqiang, et al. Implementing method of the automatic testing scheme for relay protection[J]. Automation Instrument, 2015, 36(5): 71-79.
- [15] 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.

收稿日期: 2016-06-03; 修回日期: 2016-09-02

作者简介:

耿治(1991—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为智能变电站智能测试及控制; E-mail: GengZ220@126.com

张建忠(1970—), 男, 通信作者, 博士, 研究员, 主要研究方向为智能变电站, 新能源发电, 电力电子技术。

E-mail: jiz@seu.edu.cn

(编辑 葛艳娜)