

# 智能变电站继电保护装置自动测试系统研究和应用

浮明军, 刘昊昱, 董磊超

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 对智能变电站继电保护装置实现自动测试的关键技术进行了研究, 分析了智能变电站继电保护装置的外部接口特点、测试用例重用等关键问题。提出了一种基于智能继电保护测试仪快速构建自动测试系统的方法, 并介绍了自动测试系统的系统设计方法、系统构成、软件模块划分以及核心调度流程设计等。该系统适用于智能变电站所有类型的继电保护装置, 其实现思路及系统构建方法对智能变电站的现场调试、验收等工程实践具有参考意义。

**关键词:** 智能变电站; 继电保护; 自动测试; 系统设计; 调度流程

## Research and application of relay protection automatic test system for smart substation

FU Mingjun, LIU Haoyu, DONG Leichao

(XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China)

**Abstract:** The key technologies for protection automatic test system are researched, including the interface characteristic and reusability of test case. A method of establishing relay protection automatic test system based on relay protection test device is put forward. Design method, system structure, software design and scheduling flow of main task are introduced in detail. The system applies to all kinds of relay protections of smart substation. The realization approach and construction of the automatic test system are referential to other engineering practices in smart substation, such as debugging and acceptance test.

**Key words:** smart substation; relay protection; automatic test; system design; scheduling flow

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)01-0040-05

## 0 引言

电力系统的可靠性一直以来是业界的重点研究课题<sup>[1-2]</sup>, 事实上, 除了为电力系统本身的整体设计考虑, 继电保护作为变电站的二次核心, 其本身的可靠性也直接影响电力系统的运行稳定性和可靠性, 特别是随着智能电网的建设, 基于新原理<sup>[3-4]</sup>的继电保护装置陆续投入应用, 如何充分有效地验证智能变电站继电保护装置的功能正确性及可靠性是个需要研究的问题。自动测试作为一种有效的测试手段, 长期以来也是业界的热点<sup>[5-7]</sup>, 但由于传统变电站继电保护装置对外接口不统一(如通信规约版本过多、定值清单、动作报告内容格式不一致等), 很大程度上限制了自动测试的实际应用。目前, 大多数继电保护装置的测试工作, 特别是静模试验, 仍是采用使用继电保护测试仪手动测试的传统方法, 存在测试效率低、人为因素影响大等缺点。

对于智能变电站, 继电保护装置全部基于 IEC61850 标准, 实现了输入、输出信息的全部数字

化、标准化; 网络技术的推广应用, 也使得数据交互共享更加方便; 特别是, 随着智能变电站一系列国家标准的发布<sup>[8-10]</sup>, 继电保护装置的建模、软压板、定值清单以及对外接口信息实现了规范性设计, 为自动测试从理论研究走向实际应用解决了难题。

从 IEC61850 标准在智能变电站应用开始, 继电保护工作者就一直在研究实现继电保护自动测试<sup>[11-12]</sup>。本文则针对目前智能变电站的应用实践, 对实现继电保护装置自动测试的关键技术进行了研究, 并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系统的方法。

## 1 关键技术研究

### 1.1 外部接口分析

文献[13]规定, 对于 66 kV、35 kV 及以下电压等级, “当使用电子式互感器时, 每个间隔的保护、测控、智能终端、合并单元宜按间隔合并实现”, 故在目前智能变电站工程应用中, 66 kV、35 kV 及以下电压等级的继电保护装置其模拟量采样为电子式

互感器输出的小信号, 开关量也是传统的电气硬节点; 对于 110 kV 及以上电压等级, 保护装置的模拟量采样、开关量输入输出均是数字量, 即基于 IEC61850 标准的 SV 和 GOOSE 报文。

智能变电站继电保护装置与监控系统的通信也是基于 IEC61850 标准, 按照 MMS 协议进行单播通信的。IEC61850 标准针对变电站所有功能定义了详尽的逻辑节点和数据对象, 并提供了完整的描述数据对象模型的方法和面向对象的服务。这些抽象的通信服务、通信对象及参数通过特殊通信服务映射 (SCSM) 映射到底层应用程序, 最终实现装置变位信息上送、软压板投退、定值修改等装置与后台的交互功能。

经过近年来智能变电站的工程实践, 各厂家的继电保护装置经过多次的互操作试验, 装置的对外接口实现了统一规范, 为实现自动测试提供了基础。

### 1.2 故障模拟系统

要实现继电保护装置的自动测试, 一个稳定可靠的故障模拟系统是关键。故障模拟必须能够方便灵活地模拟各种故障, 并且应能够满足 1.1 节装置外部接口需求, 即模拟量输出能够选择小信号输出方式和 SV 报文输出方式, 开关量能兼顾物理硬节点和 GOOSE 报文。此外, 目前 SV 采样方式均为直接采样, SV 采样值报文的发送间隔离散值应小于 10 μs。通过研究分析和实际验证, 智能继电保护测试仪满足以上需求, 可以借用为自动测试系统中的故障模拟子系统。本文在构建自动测试系统时选用的北京博电公司的 PNF801 智能继电保护测试仪作为故障模拟子系统, 其性能参数如表 1 所示。

表 1 PNF801 的性能参数

Table 1 Performance parameters of PNF801

性能参数	
物理接口	8 个光口
	8 个物理开入, 8 个物理开出节点
处理能力	6 组 SV, 离散度小于 80 ns
	12 路可独立配置小信号模拟量

### 1.3 测试用例

测试用例的有效性和可重用性决定着自动测试系统的关键。要保证测试用例有效, 自动测试系统须设计为开放式系统, 支持测试工程师针对不同的保护装置灵活地编辑测试用例; 测试用例的可重用性决定着自动测试作为一种测试手段能否推广实施, 发挥实效。

一个典型的保护功能测试用例(如图 1 所示)包括故障施加量和预期结果两部分, 故障施加量又包

括装置参数整定和故障参数设置, 即测试前装置需要修改哪些参数, 如定值修改, 压板投退等; 故障参数设置即定制故障类型, 即需要给保护装置施加什么样的故障量、故障持续时间等。预期结果是实现全自动闭环测试的需要, 测试过程中将比较实际结果和预计结果是否一致, 来自动判别测试项目是否通过。预期结果具体包括保护信息及测试反馈信息, 保护变位信息记录保护动作报告及相关遥信变位信息, 测试仪反馈信息则是保护的出口信息。

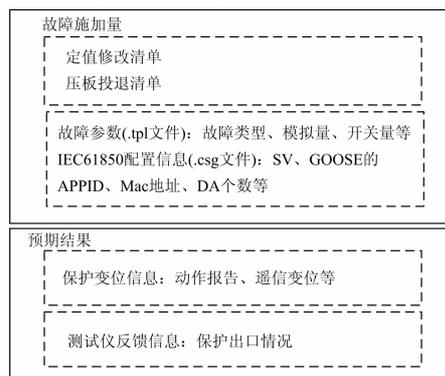


图 1 测试用例结构

Fig. 1 Testcase structure

文献[8-10]使得装置的对外接口信息实现规范统一, 故障参数设置实现重用是测试用例重用性的关键。由于选择智能继电保护测试仪作为故障模拟子系统, 故障参数就是测试仪的测试模版文件。对于智能继电保护测试仪, 故障参数包括故障量和 IEC61850 配置两部分。当测试用例应用于不同装置测试时, 故障量参数不变, 而 SV 及 GOOSE 的 APPID、Mac 地址、DA 个数等 IEC61850 配置信息一般都需要改变。故需要将故障量和 IEC61850 配置分别存储为单独的文件。对于 PNF801 智能继电保护测试仪而言, 故障量参数为后缀名为“.tpl”的测试模版文件, 而 IEC61850 配置参数则为后缀名为“.csg”的配置文件。在开始自动测试前, 根据被测装置的虚端子连线情况, 导出相应的 IEC61850 配置文件即可实现故障参数的重用, 进而实现了测试用例的重用。

## 2 自动测试系统设计

### 2.1 设计思路及系统框架

本文的设计思路是在现有智能继电保护测试仪的基础上开发一套自动测试系统软件从而快速构建继电保护装置自动测试系统。结构如图 2。

自动测试系统软件与测试仪客户端软件之间通过 SOCKET(套接字)实现程序间通信, 完成测试仪

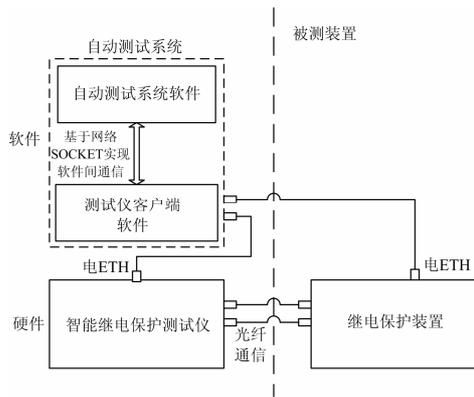


图2 自动测试系统结构

Fig. 2 Structure of automatic test system

控制命令的下发和测试结果的反馈功能；与被测继电器保护装置基于IEC61850标准采用MMS通信协议实现单播通信，实现保护装置控制命令的下发和装置动作报告、录波、遥信变位等信息的获取功能，自动测试系统软件实现测试任务调度控制、结果判别，最终实现全自动闭环测试。

本文基于微软公司的VS2010平台开发了一套自动测试系统软件，其模块划分如图3所示。执行控制模块负责任务的调度执行、结果判别等；通信模块负责与测试仪客户端程序、保护装置完成通信，完成执行控制模块控制命令的下发及测试结果的接收和解析；用例编辑模块实现测试用例的灵活编辑，对于自动测试而言，需要提前建立丰富的测试用例库，故易用性设计是用例编辑模块的关键；用例管理模块实现用例的备份、加载等功能；日志模块记录自动测试的所有过程信息，便于问题分析定位；报告生成模块则负责测试完成后自动生成指定格式的测试报告。

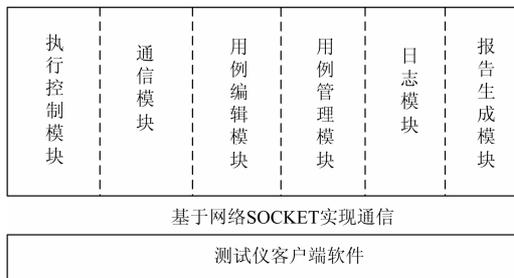


图3 软件模块设计

Fig. 3 Design of software modules

### 2.2 自动测试控制流程设计

智能变电站继电保护装置的自动测试大体分为测试前准备和测试执行两部分工作，分别如图4、图5所示。

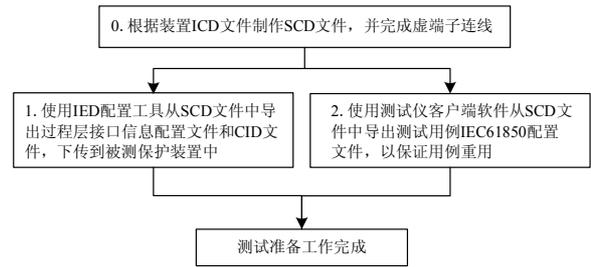


图4 自动测试前准备

Fig. 4 Preparation for automatic test

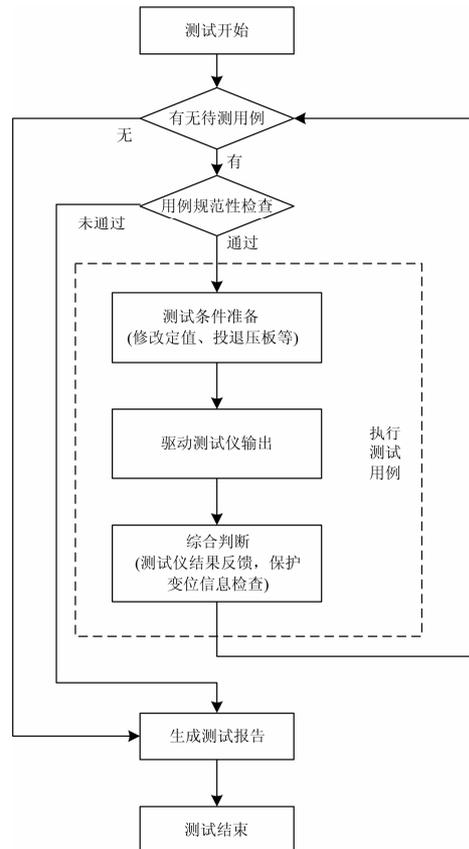


图5 调度流程

Fig. 5 Schedule flow

### 2.3 典型应用模式

根据继电保护的电气量获取方式，可以把继电保护分为基于单端电气量保护和基于双端电气量的纵联保护两类。基于单端电气量的保护主要有变压器保护、母线保护、断路器保护、线路保护的后备保护等；基于双端电气量的保护装置主要有高压线路纵联保护，如高频距离、高频方向、纵联差动保护等。自动测试系统在这两类保护测试的典型应用如图6所示。

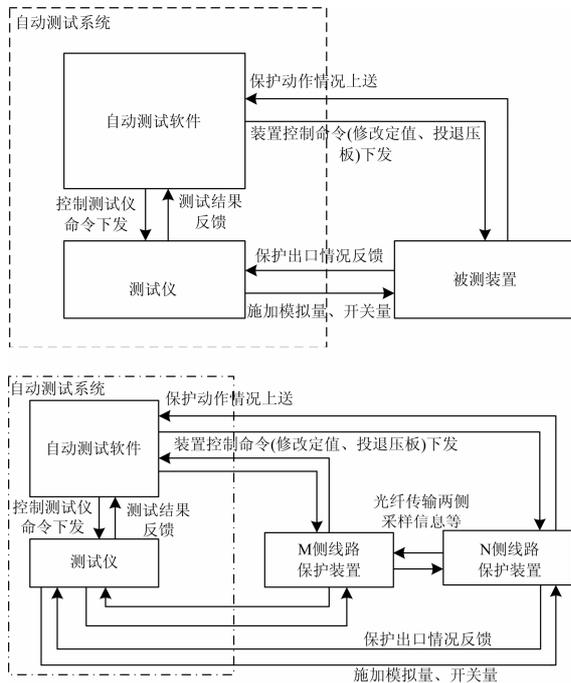


图 6 典型应用模式

Fig. 6 Typical application mode

### 3 自动测试系统应用

#### 3.1 应用案例

结合本自动测试系统在 220 kV 线路光纤差动保护装置的测试应用, 对自动测试系统的整体思路及应用流程说明如下。

首先, 制定测试方案, 明确测试项目及要求, 测试方案如表 2。

表 2 线路保护的测试方案

Table 2 Test scheme of line protection

保护模块	测试内容
差动保护	性能指标: 定值精度、动作时间 保护逻辑: 各种区内、外瞬时故障、转换性、永久性故障
距离保护	
零序保护	
重合闸功能	
异常处理	CT 断线, PT 断线等异常判别 检修机制; SV、GOOSE 报文异常; 等等

其次, 建立测试用例库。依据测试方案, 细化测试项目, 编制测试用例, 完毕后进行用例有效性验证, 合格后提交测试用例库。

最后, 测试时, 从测试用例库中提取对应测试用例直接加载, 开始自动测试。

#### 3.2 应用效果

基于智能继电保护测试仪构建的自动测试系

统, 实现了继电保护装置的全自动测试, 在继电保护产品的测试工作中效果明显, 使得测试流程得到优化, 测试效率得到显著提高; 为继电保护产品的多次重复测试提供了技术手段, 使得小概率问题的暴露成为可能, 测试更加全面充分; 有效排除了人工测试的不确定因素, 保证了测试一致性。此外, 随着自动测试系统的推广应用, 测试用例库将日趋丰富, 测试效率和测试全面性都将逐步提升。

### 4 结语

本文基于智能继电保护测试仪开发自动测试系统软件, 从而构建智能变电站继电保护自动测试系统的方法, 充分利用了业界现有的技术基础, 开发工作量相对较小, 有着实现快捷、系统稳定等优势。目前, 已经成功应用于许继电气公司智能变电站继电保护产品的测试工作中, 改进了测试方法, 提高了测试效率, 在产品的质量保障过程中发挥了重要作用。此系统的设计思路和实现方法对智能变电站工程的调试、验收等环节具有很强的参考价值, 推广应用前景广阔。随着网络技术在智能变电站中更加广泛成熟的应用, 智能继电保护测试仪硬件资源的限制将被突破, 多个装置甚至整个变电站的自动测试、调试、验收等都可以借鉴此设计思路实现。

### 参考文献

- [1] 尹项根, 陈庆前, 王博, 等. 基于四层集合模型的复杂电力系统脆弱性评估体系[J]. 电工技术学报, 2013, 28(1): 225-232.  
YIN Xianggen, CHEN Qingqiang, WANG Bo, et al. Vulnerability assessment system of complicated power system based on four-level set model[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(1): 225-232.
- [2] 汪兴强, 丁明, 韩平平. 互联电力系统可靠性评估的改进等效模型[J]. 电工技术学报, 2011, 26(9): 201-207.  
WANG Xingqiang, DING Ming, HAN Pingping. An improved equivalent model for reliability evaluation in interconnected power system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(9): 201-207.
- [3] 李振兴, 尹项根, 张哲, 等. 基于序电流相位比较和幅值比较的广域后备保护方法[J]. 电工技术学报, 2013, 28(1): 242-249.  
LI Zhenxing, YIN Xianggen, ZHANG Zhe, et al. Algorithm of wide-area protection on comparison of current phase and amplitude[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(1): 242-249.
- [4] 李振兴, 尹项根, 张哲, 等. 基于综合阻抗比较原理的

- 广域继电保护算法[J]. 电工技术学报, 2012, 27(8): 179-185.
- LI Zhenxing, YIN Xianggen, ZHANG Zhe, et al. A study of wide-area protection algorithm based on integrated impedance comparison[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(8): 179-185.
- [5] 应战煌, 胡建斌, 赵瑞东, 等. 继电保护装置自动测试系统研究和设计[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(17): 142-146.
- YING Zhanhuang, HU Jianbin, ZHAO Ruidong, et al. Research and design of relay protection equipment automated test system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(17): 142-146.
- [6] 郑新才, 丁卫华, 韩潇, 等. 基于测试模版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): 69-72.
- ZHENG Xincal, 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.
- [7] 王峰, 张智锐, 任春梅, 等. 继电保护故障信息系统子站自动测试系统设计开发[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(18): 127-131.
- WANG Feng, ZHANG Zhirui, REN Chunmei, et al. Automation test system design and development for relay protection fault information system substation[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(18): 127-131.
- [8] Q/GDW 396-2012 IEC61850 工程继电保护应用模型[S]. 北京: 国家电网公司, 2012.
- Q/GDW 441-2010 data model of protection relay in project based on IEC61850[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2012.
- [9] Q/GDW 175-2013 变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范[S]. 北京: 国家电网公司, 2013.
- Q/GDW 175-2013 standardization design specification for power transformer, high voltage shunt reactor, bus bar protection and auxiliary equipments[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2013.
- [10] Q/GDW 161-2013 线路保护及辅助装置标准化设计规范[S]. 北京: 国家电网公司, 2013.
- Q/GDW 161-2013 standardization design specification for transmission line protection and auxiliary equipments [S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2013.
- [11] 李忠安, 沈全荣, 王言国, 等. 电力系统智能装置自动化测试系统的设计[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(8): 77-79.
- LI Zhongan, SHEN Quanrong, WANG Yanguo, et al. Automated testing system for IED[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(8): 77-79.
- [12] 刘巍, 赵勇, 石光. 智能变电站继电保护装置一键式测试方法及系统[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(2): 152-154.
- LIU Wei, ZHAO Yong, SHI Guang. One-key test system for relay protection equipment of intelligent substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(2): 152-154.
- [13] Q/GDW 441-2010 智能变电站继电保护技术规范[S]. 北京: 国家电网公司, 2010.
- Q/GDW 441-2010 technical specifications of protection for smart substation[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2010.

收稿日期: 2014-04-01; 修回日期: 2014-05-13

作者简介:

浮明军(1982-), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向为智能变电站继电保护及自动化产品的研发与测试; E-mail: fusheng827@163.com

刘昊昱(1963-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为智能变电站继电保护及自动化产品的研发与测试;

董磊超(1982-), 男, 工程师, 主要研究方向为智能变电站继电保护及自动化产品的研发与测试。