

数字化保护装置自动测试系统^①

张玉中¹, 姬希娜¹, 张超永¹, 刘沛¹, 李天泽²

¹(国家电网许继集团 许继电源有限公司, 许昌 461000)

²(合肥工业大学, 合肥 230009)

摘要: 为了进一步提高数字化保护装置的自动化测试程度, 在对现有测试软件研究的基础之上, 从装置研发测试实际需求和原理出发, 设计出一套能同时支持多台数字化装置的自动测试系统. 该软件最大限度的继承现有自动测试软件优点, 采用分布式体系结构和模块化设计思想, 充分运用现有计算机软件及网络技术, 实现多台装置闭环自动测试. 实践证明, 该软件在继电保护装置研发测试中的应用, 能大大提高测试效率和测试的充分性, 进一步保证装置的可靠性.

关键词: 数字化保护; 自动测试; 多装置测试; 测试用例

Automatic Test System of Digital Protection Device

ZHANG Yu-Zhong¹, JI Xi-Na¹, ZHANG Chao-Yong¹, LIU Pei¹, LI Tian-Ze²

¹(XJ Group of State Grid, XJ Power Co. Ltd., Xuchang 461000, China)

²(Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: This paper aims at improving the degree of automatic test of relay protection device further. It is based on the research of existing automatic test system of the relay protection device. It starts from the actual demand and R & D test principle. This paper designs a general automatic test system which can simultaneously support multiple relay protection devices. The maximum of the system has the advantages of existing automatic test system, using distributed architecture and module design idea, make full use of the existing computer software and network technology, realizing multiple closed-loop automatic test device. Practice has proved that, the system used in the relay protection equipment R & D in the test, can greatly improve the testing efficiency and testing, to ensure the reliability of the device.

Key words: digital protection; auto test; multi device test; test case

随着数字化继电保护测试技术的不断发展, 测试已从传统的人工测试逐渐转变为自动测试为主的发展趋势. 在测试过程中引入自动化工具进行自动化测试是一种非常高效实用的方法^[1]. 自动化测试具备测试可重复性, 保证测试工作的可追溯性; 自动化测试可以利用其系统具备多种测试手段的优势, 拓展测试覆盖范围, 保证测试的完整性^[2]; 装置自动化测试中测试任务自动生成、测试过程自动执行、测试结果自动比较和报告的自动生成, 测试中尽量减少人工干扰, 排除测试随机性和重复测试, 可很大程度上提高测试效率和测试的可信性. 国内外对自动化测试技术进行

了大量的研究和实践, 并取得很大进展. 但目前的继电保护自动测试仍有一些不足, 需要我们进一步研究完善, 主要体现在以下几方面:

1) 目前的自动测试系统只能实现对单台保护设备的自动测试, 缺少一种针对两台或多台系统级的, 比如对一条线路上的所有保护设备进行并发自动化测试的解决方案.

2) 系统通用性不强, 由于保护种类繁多和测试规程在各个地区不一, 也无法针对某种保护设备, 一次性的生成通用的测试用的状态序列^[3]. 并且系统测试过程信息不保存或保存不完整. 这样一旦测试过程中出

① 基金项目: 国家电网许继集团重点项目(5292C2140004)

收稿时间: 2014-07-28; 收到修改稿时间: 2014-11-06

现问题, 排查起来很麻烦。

3) 测试用例复用难度大, 针对同种装置的不同型号, 针对原来型号的测试用例要做很多修改, 甚至都要重新编辑用例, 在自动测试中, 用例编辑相对来说是最耗时费力的, 用例不能很好复用, 很大程度上限制了自动化测试的效率^[3-5]。缺少用例管理功能, 测试用例是整个测试的核心, 必要的用例管理功能是必不可少的; 如, 一个项目测试结束或项目之间交叉测试, 用例及配置环境的保存要靠人工手动去做, 下次再执行相同用例时更需要全部人工手动加载用例和配置测试环境, 严重影响测试效率。缺少测试用规范性检测功能, 测试用例的规范性直接决定后续自动测试的成败; 如, 用以前的自动测试系统测试中由于测试员手动改了一次测试用例, 导致用例格式错误, 结果导致整个项目的自动执行失败, 系统容错性差。

鉴于继电保护自动测试系统以上问题, 并充分考虑到现有的软件技术、测试仪技术、IEC61850 通讯协议等诸方面因素, 本文提出了一套切实可行的自动测试系统设计方案。该方案能有效解决多装置测试问题, 系统通用性和测试过程信息保存问题, 测试用例复用问题、测试用例管理问题、测试用例合法性检测等一系列复杂问题。

1 系统功能分析

继电保护装置按被保护的一次设备可简单分为线路保护、母线保护、变压器保护、发电机变压器组保护等。线路保护装置的主要功能是具有独立、完整的完成输电线路所必须的各种故障的保护功能; 母线保护装置的主要功能是在母线区内发生各种故障时正确动作; 变压器保护装置的主要功能是具有独立、完整的反映变压器各种故障及异常状态, 并动作于跳闸或给出信号; 发电机变压器组保护主要功能是能独立、完整的完成被保护设备所必须的保护功能^[6-8]。主要测试项目及说明有:

(1) 保护逻辑测试

对继电保护装置的核心功能进行检测, 可实现对各种保护类型的逻辑测试。如对线路保护的类型主要有光纤差动保护, 高频保护, 距离保护, 零序保护, 重合闸等; 对母线保护的类型主要有差动保护, 母联保护, 断路器失灵保护等; 对变压器保护的类型主要有比率差动保护, 过励磁保护, 复压方向过流保护, 零

序方向保护, 阻抗保护等; 对发变电保护的主要类型有发电机比率制动式完全纵差保护, 发电机匝间保护, 裂相横差保护, 定子接地保护, 低励、失磁保护, 失步保护, 逆功率保护, 过励磁保护, 低压记忆过流保护, 负序反时限过流保护, 转子过负荷保护, 对称过负荷保护, 阻抗保护, 过频保护, 低频保护, 发电机误上电保护, 起停机定子接地保护, 电超速保护等。

(2) 压板测试

对装置压板有效性及后台对装置压板操作的检测。包括: 检测压板投入、退出的报文是否实时上送给后台, 检测压板投入后装置的各种报文信息上送后台的情况, 检测工程师站对装置压板的投、退操作。

(3) 定值测试

对继电保护装置与后台通讯功能检测, 主要检测工程师站对装置定值区及定值的操作。包括: 工程师站对装置定值区进行切换操作, 工程师站查询装置定值操作, 工程师站修改定制区全部定值操作, 工程师站修改单项定值操作等。

(4) 遥信测试

对装置遥信变位信息的检测。包括: 检测就地投退软压板的遥信变位信息是否正确, 检测保护告警遥信信号信息, 检测装置自检信息。

(5) 遥测测试

对装置遥测值向后台上送情况的检测。主要检测遥测值定时循环上送情况, 越限上送情况, 召唤上送情况。

(6) 遥控测试

对后台对装置的控制检测。主要检测后台对断路器的分合控制等。

(7) 其他测试

其他测试类型还有计量测试、雪崩测试等。

2 系统整体架构设计

现有自动测试系统大多都有协议解析模块采用 103、104 等协议与被测装置进行信息交互, 完成装置定值、压板控制以及录波数据获取; 用测试仪控制模块给测试仪下达命令完成电力故障过程的仿真; 人机交互界面主要完成测试用例编辑、测试任务执行过程信息显示、测试报告显示等功能。整个系统一般用一台 PC 机装自动测试软件, 一台测试仪给被测装置加量, 通过网络连接, 从而实现对被测继电保护装置的

测试. 本文所提出的新方案的架构如图1所示:

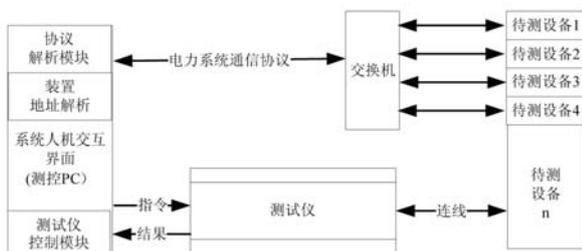


图1 系统整体结构

软件部分主要有电力系统通信协议解析模块, 用来实现测试系统与被测装置的通信, 在支持原有 103、104 协议解析的同时新增了对 IEC61850 协议解析; 装置地址解析模块, 以解决系统同时对多台保护装置信息处理问题; 系统人机交互界面, 完成人与测试系统的信息交互; 测试仪控制模块, 实现对测试仪的控制。

硬件部分主要有装载测试软件的测控计算机(测控 PC), 连接测控 PC 与被测装置的交换机, 还有给被测装置加量的测试仪. 测试仪采用 8 口能同时给 4 个装置加量, 如果装置台数更多可以借助相关设备扩展测试仪接口. 本测试系统理论上对被测装置台数不做限制, 只要测试仪等其他设备条件允许, 装置台数可以无限增加。

3 软件设计与实现

系统软件部分采用 Qt4 和 Microsoft Visual Studio 2010 作为开发平台开发应用程序, QT 与 VS 的结合不仅使开发效率大大提高, 并且开发出来的应用程序安全性和可靠性都能得到保证。

软件部分流程主要分三个阶段, 控制命令下发阶段, 分类型下发控制命令; 测试命令检测, 由于保护逻辑测试流程比较复杂, 所以增加了控制命令检测功能, 检测控制命令的规范性; 判断操作结果, 分类型检测控制命令的有效性. 三个阶段分别由以下三个函数实现:

```
ACT_Input_SendCommand(g_xmlinfo.Test_type);//
下发控制命令
```

```
ACT_Check_OperResult(g_xmlinfo.Test_type);//
对控制命令进行规范性检测
```

```
ACT_Check_TestResult(g_xmlinfo.Test_type);//
对控制命令进行有效性检测
```

前面功能分析部分已经提到, 本测试系统主要支

持的测试类型报: 保护逻辑测试, 压板测试, 定值测试, 遥信测试, 遥测测试, 遥控测试等. 其中保护逻辑测试是本系统的核心模块, 因为保护装置的测试主要是对其保护逻辑进行测试. 压板、定值的测试是基础性测试, 这三种测试类型在保护装置测试中所占的比重要达到 80%以上, 并且压板、定值的测试逻辑又极其相似, 由于篇幅所限, 下面只对保护逻辑测试, 压板测试两种测试类型的设计和实现做详细介绍, 其他类型暂不详述。

3.1 保护逻辑测试的设计与实现

保护逻辑是继电保护装置的核心功能, 所以保护逻辑测试也是整个自动测试系统的核心, 其实现流程也最具代表性. 保护逻辑测试过程可分为三个阶段: 条件准备、判据检查、(测试完成后的)清理工作。

条件准备, 测试准备工作, 指的是测试保护逻辑前投压板、写定值、将测试仪文件传递给测试仪客户端、启动测试仪输出等操作. 对于保护功能测试用例, 主要目的是测试保护逻辑, 所以要确保条件准备成功(为什么需要确保, 因为条件准备有可能因为装置正忙于准备录波而不成功). 用多次条件准备来确保其成功. 本文设计的是最多准备次数为 20, 超过 20 次还不成功视为测试失败, 需要测试人员分析失败原因. 在条件准备过程中, 压板、定值的操作在操作任务链表里有四个状态: 待执行、执行、完成、解裂(并加入恢复链表). 四个状态的转换关系如图 2 所示。

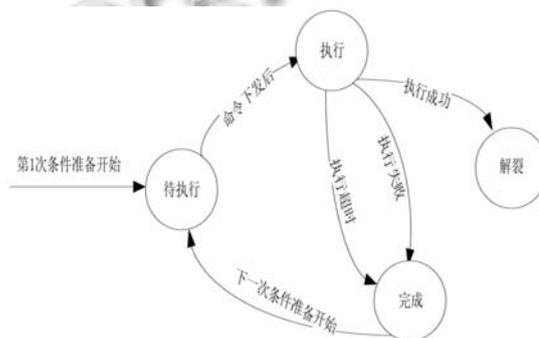


图2 准备条件过程中压板、定值操作状态关系图

判据检查, 共有四种判据: 保护出口判据、测试仪判据、返回系数判据、告警遥信判据. 依据这四种判据判断用例执行情况, 成功或失败两种结果. 如果成功一般不再分析, 如果用例失败需要测试人员分析失败原因, 定位问题。

清理工作, 测试完成后, 清理现场, 为下个用例

的测试做准备. 一个测试用例执行完成后需要恢复继电保护执行测试前的状态, 以保证不影响下次用例的执行. 不同的测试用例针对装置的不同测试点, 所以要确保用例执行的独立性.

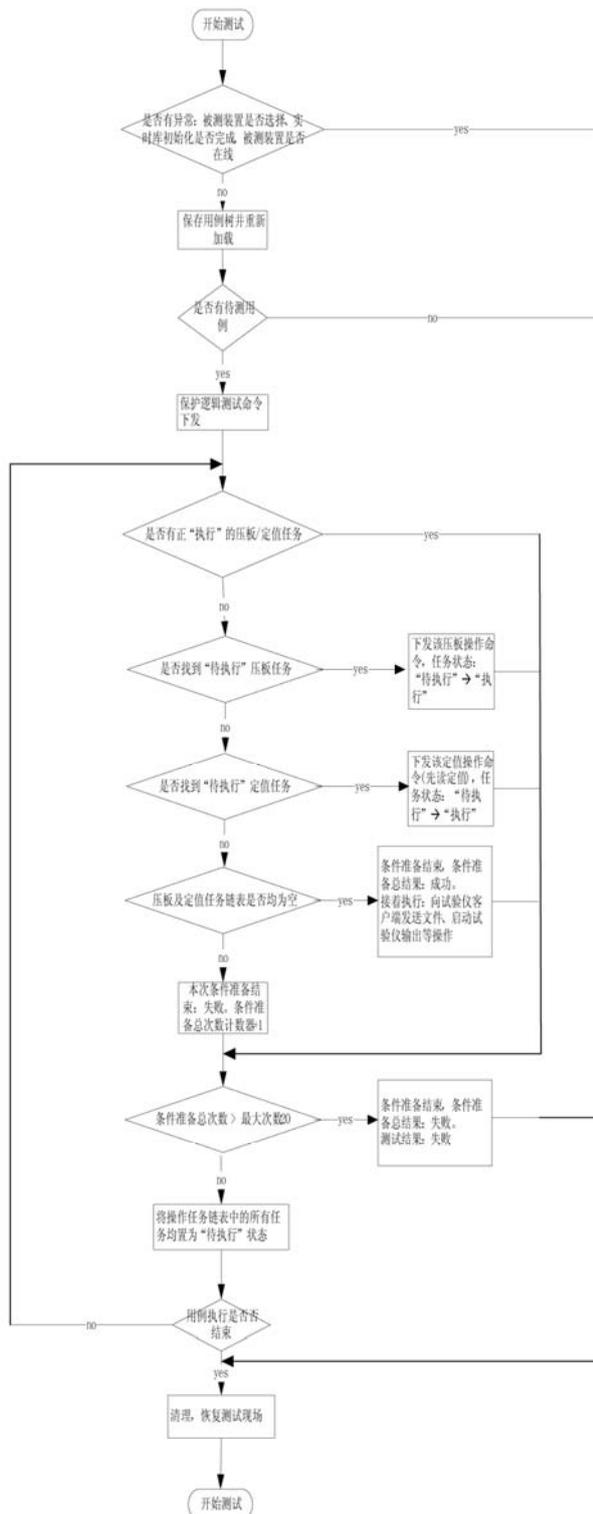


图 3 保护逻辑测试实现流程图

保护逻辑测试实现流程图如图 3 所示, 下面以一个保护用例的完整执行过程来介绍保护逻辑测试的实现流程. 点击开始测试后, 程序首先启动异常检查功能, 包括: 是否选择被测装置、被选择的装置是否在线、是否与被选择装置建立正常通信等. 然后加载测试用例(测试用例是按照装置测试点设计的, 一个用例对应一个或多个测试点)对被测装置测试. 测试的过程就是按照前面我们介绍的三个过程: 条件准备、判据检查、(测试完成后的)清理工作. 当一个测试用例执行完后会有几秒的延时, 来开始下一个用例的执行, 依次循环, 直到把要执行的用例全面执行完, 测试结束.

主要实现函数如下:

```
ACT_Input_SendCommand(ST_UINT16 Testtype);//
输出操作
```

```
ST_VOID ACT_Check_OperResult(ST_UINT16
Testtype);// 操作反馈
```

```
ST_VOID ACT_Check_TestResult(ST_UINT16
Testtype);//判据检测
```

```
ST_VOID ACT_PRO_SendCommand();// 保护
测试操作命令输出
```

```
ST_VOID ACT_COM_GMYX_SendCommand();//定
值操作命令输出
```

```
ST_VOID ACT_COM_YbStatus();//压板操作命
令输出
```

```
ST_VOID ACT_PRO_OperResult();//操作命令
结果判断
```

```
ST_VOID ACT_COM_YbCtrlResult();// 压板操
作命令结果判断
```

```
ST_VOID ACT_Check_ProTestResult();// 保护测
试判据检测
```

3.2 压板测试的设计与实现

压板测试与定值测试的设计类似, 也是只对一种情况(压板)检测. 但处理流程复杂. 因为压板不像定值, 测试系统可以直接与被测装置通信获取全部定值信息. 压板需要监控后台的帮助才能取得被测装置的压板信息. 压板状态只要两种: 投和退, 但组合方式却种类繁多.

压板操作情况有: 压板遥控成功、压板遥控选择否定响应、压板遥控执行否定响应、压板遥控选择超时、压板遥控执行超时、相关遥信未上送. 不下发遥控命令的情况有: 压板的相关遥信在实时库中不存在;

遥控点在实时库中不存在; 压板控制状态与装置中实际状态一致. 在这些情况下, 也应给出提示. 以下选压板遥控成功的操作情况, 进行说明压板测试模块与监控后台模块的信息交互, 如图 4 所示.

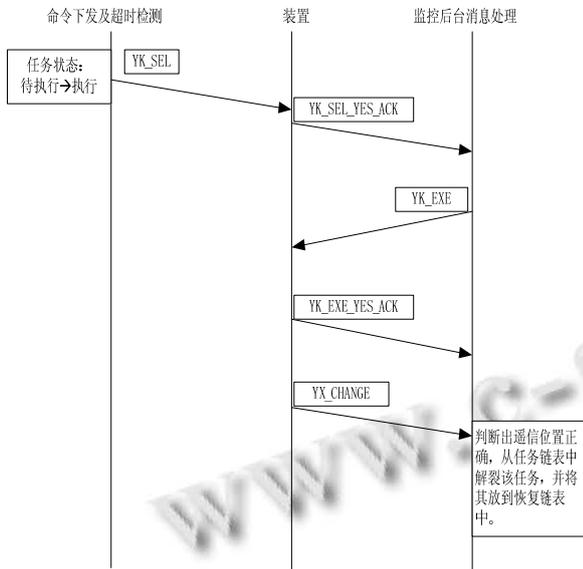


图 4 压板测试模块与监控后台模块的信息交互图

压板测试用例的编辑也需要人工参与, 系统中有专门的测试用例编辑模块, 由于篇幅所限这里不再详述.

主要实现函数主题如下:

//执行压板操作

```

if(g_xmldata.pptest_set_list->psoft_item)
{
    if(!g_xmldata.pptest_set_list->psoft_item->oper)
    {
        Set_Cur_Devdzinfo_ByTag(g_xmldata.pptest_set_list->psoft_item->dev_tag);
        ACT_Set_IedId_IedAddr_ByTag(g_xmldata.pptest_set_list->psoft_item->dev_tag);
        ACT_COM_SoftCtrlStatus();//控制软压板
        operstart_time=sGetMsTime();
    }
    return;
}

```

4 系统应用举例

本系统在新一代智能站示范项目的研发测试中进

行了使用. 系统需要一台 PC 机装自动测试软件, PC 机需要双网卡, 一个与被测装置通信另一个与测试仪相连; 一台测试仪; 测试仪与被测装置之间用光纤相连. 多装置测试时要多一个交换机用来连接多个装置.

如图 5 所示为对新一代智能站保护装置的测试过程截图. 在任务列表页面, 左边部分显示了所要执行的用例, 中间部分显示的是具体每个用例的信息, 右边显示的是测试执行的全面过程信息.

从图中可以看出目前系统已经执行到第三个用例. 最前面那个序列说明是说明文档, 提示是否需要测试人员手动操作. 后面打红点的压板操作用例表示执行失败, 说明装置的压板可能存在问题. 打绿点的定值区切换用例表示执行成功, 说明装置的定值区切换功能没问题. 中间部分显示的是装置定值读写用例内容信息. 左边部分显示的是用例执行的全部过程信息, 同时在左边部分也能查看测试软件站控层通信模块^[9-11]的通信消息、测试软件与测试仪通信的报文.

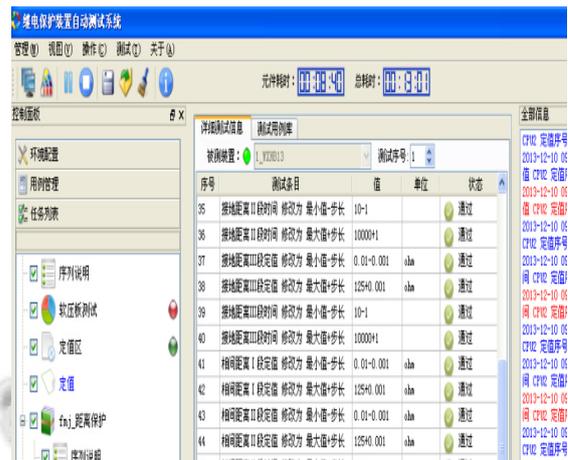


图 5 测试任务执行信息

5 结语

本文基于 Qt4/VS2010 软件开发平台, 详细论述了继电保护装置自动测试系统的设计方法. 本系统的硬件由测试仪和 PC 机一台. 适合几乎所有数字化的高压、中低压继保装置的测试. 在自动测试系统的操作界面上可以完成对所有测试信息的查看, 用例信息的历史数据、实时数据以及各子系统间的通信数据, 能切实做到测试流程清晰、测试过程可见、测试结果可靠. 本系统在新一代智能变电站的新装置研发测试过程中得到实际的应用, 大大提高了测试效率和测试的充分性, 缩短了研发周期, 得到研发测试人员的高度

认可.

参考文献

- 1 李忠安,沈全荣,王言国,等.电力系统智能装置的自动化测试系统设计.电力系统自动化,2009,33(8):77-79.
- 2 应占煌,胡建斌,赵瑞东,李保恩.继电保护装置自动测试系统研究和设计.电力系统保护与控制,2010,38(17):143-146.
- 3 赖 擎,华建卫,吕云,陈跃飞,徐剑.通用继电保护自动测试系统软件的研究.电力系统保护与控制,2010,38(3):91-94.
- 4 郑云卿,黄琦.基于 Android 平台的软件自动化监控工具的设计开发.计算机应用与软件,2013,30(2):235-238.
- 5 吴正阳,徐德钢,谢启,戴梅,徐伟.控制和保护开关电器电子线路板检测系统设计及实现.计算机测量与控制,2014,22(3):674-683.
- 6 蔡志明,卢传富,李立夏.精通 Qt4 编程.北京:电子工业出版社,2011.
- 7 穆红显,杨林楠,武尔维.基于 QT4 的 SQLite 可视化管理工具的研究与开发.计算机工程与设计,2012,33(5): 1795-1800.
- 8 姬希娜,李国杰,刘仁千,等.基于 PCI 板卡的 PLC 测试系统的设计与实现.测控技术,2013,32(7),41-44.
- 9 王道灿,李怡麒,李艳明,等.基于 CAN 总线的自动测试方法的设计.车辆与动力技术,2013,131(3):46-62.
- 10 游泽青,丁晓明.一种 GUI 自动化测试平台的设计与实践.科学技术与工程,2011,34(11),8615-8618.
- 11 陈曙,叶俊民,张帆.一种自动机学习和符号化执行的软件自动测试方法.计算机科学,2013,40(8),160-163.