

通用继电保护自动测试系统软件的研究

赖擎, 华建卫, 吕云, 陈跃飞, 徐剑

(福建省电力试验研究院, 福建 福州 350007)

摘要: 从现场继电保护设备检验测试的需求和原理出发, 运用现有的计算机软件及网络通讯等相关技术, 设计了一种通用的远程继电保护自动测试系统软件, 并以 RCS-931 线路保护和 RCS-978 主变保护的常见检测项目为例, 具体阐述了该系统的设计思路 and 操作流程, 充分体现了现代保护检验测试与网络自动化控制的一体化设计思路。经实践证明, 该系统可以对目前各种线路保护和变压器保护的所有定值检验试验实现全自动化的远程测试, 并可根据具体情况进一步的扩展, 满足现场试验的需要。

关键词: 继电保护; 自动测试; 定值检验; IEC-60870-103 协议

Research on general relay protection auto-test system software

LAI Qing, HUA Jian-wei, Lü Yun, CHEN Yue-fei, XU Jian

(Fujian Electrical Power Testing and Research Institute, Fuzhou 350007, China)

Abstract: This paper designs one kind of software architecture for general remote relay protection auto-test system. It is based on relay protection test principle and requirement on working site, and modern computer software and network communication technology. It gives an example on RCS-931 high-voltage line relay protection and RCS-978 transformer relay protection, explains the system's design ideology and working flow, and fully embodies the entire thinking of modern relay protection testing and automation control. It's proved in practice that this software can be used to most kinds of line and transformer relay protection's fixed set point auto-testing remotely, and can be extended to fulfill more flexible requirements.

Key words: relay protection; auto test; fixed set point test of protection; IEC-60870-103 protocol

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)03-0090-05

0 引言

继电保护设备是电力系统最重要的组成部分之一, 随着微机型继电保护设备在电网中普遍应用, 对该设备的安装检验和定期检验也成为了电力系统运行和维护的比较频繁的一项重要任务, 虽然目前各种测试仪及相关的配套软件已达到了实用化的水平, 但在进行现场试验尤其是各种定值整定试验时, 仍然需要大部分人工频繁地手动设定各项具体试验参数, 远没有达到自动化的水平, 其不足主要体现在以下几点:

1) 进行定值检验试验时, 无法一次性的根据现场设备型号及定值单, 制定出一整套试验测试计划, 并在现场进行全自动化的测试, 例如, 很多测试软件无法一次性依照具体某个线路保护(如 RCS-931)的具体保护定值, 生成针对某个测试项目(如接地距离 I 段、II 段、III 段)的 0.95 倍、1.05 倍以及 0.7 倍的 ABC 三相的所有状态序列, 并且也无法

一次性的按顺序自动执行这些状态序列。

2) 测试过程中, 保护设备所产生的各种具体的故障报告、录波、扰动数据等, 无法返回到测试仪或担当控制角色的计算机中, 即不能形成一个真正的测试闭环。从当前大部分的现场保护定值检验试验的过程来看, 测试仪自带的测试软件都往往只能获取到保护装置的开入量, 以及动作时间这些信息, 而具体的故障报告等信息仍需要到专业人员到保护屏上阅读, 而动作时间仅仅是在 0.7 倍或是 1.2 倍时的试验项目才需要的内容。

3) 一套测试软件不通用, 往往各个测试仪厂商只提供基于自己测试仪上的上位机软件或者是内嵌到测试仪里的程序, 无法适应各种不同厂商生产的测试仪; 另外, 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。

4) 无法利用现有的计算机网络条件及技术, 实现远程试验的方式。

鉴于继电保护测试系统的上述问题, 并充分考虑到现有的软件技术、现场条件、测试仪技术、通讯协议等诸方面因素, 本文所提及的系统, 在结合大多数市面上的测试仪硬件基础上, 实现了对福建省大部分主流型号的高压线路保护和变压器保护设备的所有定值整定自动化试验, 并可选择进行远程试验或现场试验的操作方式, 极大的方便了现场工作人员。作为一种基于实用化角度的解决方案, 体现了保护设备测试技术的自动化、网络化、智能化的发展趋势。

1 系统运行拓扑结构

传统的继电保护测试系统一般采用的是图 1 所示的上位机和下位机的工作方式: 上位机一般由现场的一台 PC 机作为控制和管理, 通过串口、USB 或者以太网口, 与下层的测试仪进行通讯, 传送控制命令、数据文件, 并接受测试仪的反馈信息。下层由测试仪内的 DSP 组件进行数字信号处理, 向保护设备输出模拟电力系统正常或故障时运行的电压电流, 同时检测保护的動作状态和响应时间, 从而实现相应的继电保护测试功能。

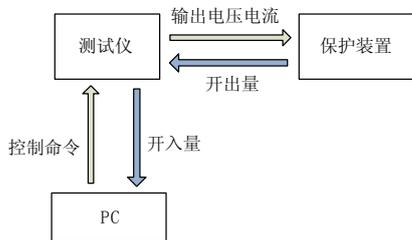


图 1 传统保护测试系统

Fig.1 Traditional relay test system

鉴于之前提到的传统的保护测试系统的种种弊端, 新的通用远程保护自动测试系统解决方案的系统运行拓扑如图 2 所示, 它增加了现场的上位机与保护设备之间的数据通讯, 通过标准的 IEC-60870-5-103 协议实现控制保护设备进行信号

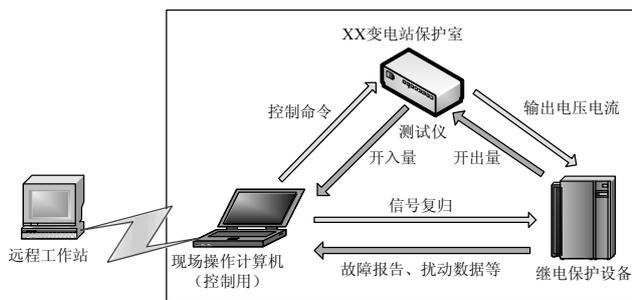


图 2 系统运行拓扑图

Fig.2 System running network

复归、定值整定等操作, 同时实时从保护设备处获取到故障报告、扰动数据、定值传输数据的报文; 另外, 为了实现远程操作, 在远程设置工作站, 通过电力系统的内部通讯网络, 联接到现场测试的上位机, 实现测试计划的远程传送和远程执行, 并让现场的控制上位机回传结果。

2 软件系统架构及功能设计

现代软件系统的设计思想通常是将一个复杂的应用系统按照各自的功能不同, 分成不同的组件模块, 这里的组件模块不是简单的二进制代码集, 而是一些可以独立的可以自给自足的模块。同时, 从逻辑上依据数据的传递进行不同层面的切分, 通常是使用三层体系结构, 本软件系统沿用这一方式, 定义了基本框架和功能模块, 如图 3 所示。

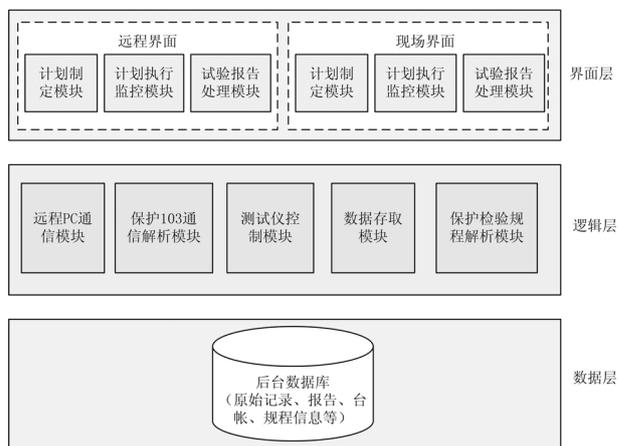


图 3 软件系统架构与功能模块划分

Fig.3 Software system architecture and functional model

具体各层面的系统功能模块阐述如下:

1) 界面层

界面层上依据用户使用的位置不同而分为远程界面部分和现场界面部分, 分别对应于远程工作站和现场控制上位机, 两个部分的功能相同, 但在实现上考虑到网络分布和数据传输负载等因素, 在界面展示上稍有差别。

计划制定模块: 该模块的主要功能是以省调、各电业局以及电厂的具体待检测保护设备的定值单文件 (word 文件或者 excel 文件) 为基础, 从中提取出具体的保护定值, 根据逻辑层中的“保护检验规程解析模块”, 选择具体的待做定值整定试验, 最后生成应用于该具体设备的整套检验测试计划。以 RCS-931 线路保护为例, 若选中接地距离 I 段, 则在计划中自动根据定值生成 0.95、1.05、0.7 倍时所有的 ABC 三相测试状态序列数据, 共有 $3 \times 3 = 9$

个状态序列。

计划执行监控模块：在现场测试时，用户通过该模块可以实时查看到计划的执行情况，用户通过“测试仪控制模块”来控制计划的暂停、保存、继续、修改等操作，并通过“保护 103 通信解析模块”，实时获取到保护上送的故障报告、模拟量、开关量、扰动数据等信息，并在界面上显示。

试验报告处理模块：试验结束后，用户可以查看生成的原始记录，并根据报告模板生成试验记录报告，在该模块中，用户还可以浏览、分析以往每次在同一设备上进行的试验数据，与本次结果进行校核和分析等操作。

2) 逻辑层

逻辑层中包含了所有本系统的核心模块，每个模块都是按面向对象的程序设计思想对其功能进行封装，被上层的界面层的操作来调用，其结果返回给界面或是存入数据库中。

远程 PC 通信模块：即远程工作站与现场测试用的上位机之间的通讯，用户在远程执行和监视测试计划时，都是通过该模块解析远程用户所发出的指令进行下发，同时把现场测试的信息随时反馈给远程工作站，通讯使用的是标准的 TCP/IP 协议，报文建立在基于 UDP 的 Socket 基础上，由于指令下发和信息反馈是双向并行的，即有可能出现指令下行和信息上报同时出现，为了不让这两部分的报文的出现导致通信堵塞，因此在设计该远程通信模块时，充分考虑现有 PC 机大多数都是双核的特征，加上了 OpenMP 多核指令优化线程，即在本模块中至少包含了两个线程，一个在现场循环等待指令，另一个在远程循环等待上报信息，同时为了保证上下行通信畅通，每个通道又均使用了异步的非阻塞的 Socket 通讯模式，本模块中的多线程并行模型如图 4 所示。

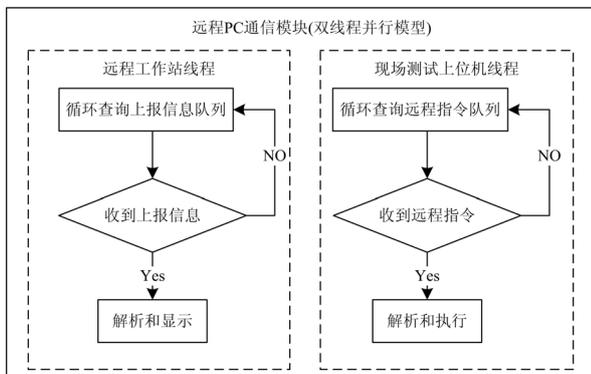


图 4 远程 PC 通讯模块线程模型
Fig.4 Remote PC communication thread model

保护 103 通信解析模块：本模块的作用是解析和生成与保护设备通信的 103 协议报文，考虑到 IEC-60870-5-103 协议作为用于控制系统与继电保护设备交换信息中的信息接口配套标准，其接口和规范在国内各个保护厂家的使用情况基本相似，因此本系统与保护设备通讯的协议使用的是 103 协议，在物理层上采用的是 EIA RS-485 端口。本模块主要功能包括：复归保护设备、通用分类查询定值、通用分类查询软压板、根据具体保护型号的码表解析上送的故障报文、通用分类写入定值、通用分类查询模拟量、扰动数据解析，如图 5 所示。

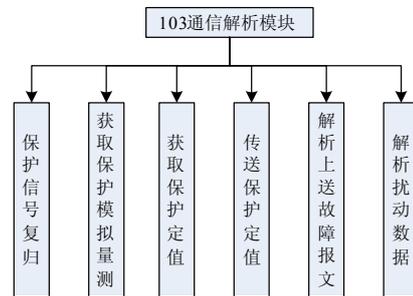


图 5 103 通信解析子模块
Fig.5 103 protocol parse sub-module

测试仪控制模块：为达到通用性，本系统设计时采用的方式是使用一种自定义格式状态序列文件来控制测试仪的输出，具有一定的代表性，而测试仪要有相对应的函数来解析和输出该状态序列文件中定义的各个状态序列，最后在输出完毕后返回保护动作的开关量翻转信息，测试仪的控制模块，主要由 6 个主要功能函数组成：

- 初始化通讯函数（串口/Usb/Lan）
- 执行状态序列
- 停止执行当前状态序列
- 查询当前是否有输出状态序列
- 查询当前是否有开入量
- 查询当前开入量的具体时间

以上 6 个功能函数，都是由测试仪厂商提供后以 d11 动态链接库的形式来供我方动态调用，从而实现了对不同测试仪的统一调用。

数据存取模块：即与后台数据库通信的模块，主要用于将试验结果信息、报告信息等数据存入数据库，以及在分析报告时从数据库里提取报告等操作。

保护检验规程解析模块：该模块是与测试计划模块相关的一个重要模块，其作用是要把具体的各个型号的设备所对应的福建省电力公司的检验规程

进行关联, 根据规程所定义的公式和具体设备的定值单, 生成每次测试用的测试计划, 本模块是一个灵活可扩展的模块, 今后根据设备型号的增加及规程的变化, 用户可以通过修改配置文件的方式来自行扩展规程解析的功能。

3) 数据层

数据层即数据库存储部分, 根据配置的不同, 可使用系统自带的单机型数据库, 或者使用联机的远程 Oracle 数据库。

3 系统实现的几个重点模块

3.1 测试计划模板定义

测试计划包括了所有的待测试项目的状态序列信息, 当前计划执行情况, 设备定值单等信息, 甚至还有包括试验的原始记录数据, 信息量极其庞大, 因此如何以灵活和易于扩展的方式来定义测试计划模板文件, 是一个关系到将来系统的自适应性和灵活扩展性的关键问题, 基于此点, 我们选择了使用 XML 这种计算机专用的数据描述语言来存储测试计划, 扩展标记语言 XML 是一种简单的数据存储语言, 使用一系列简单的标记描述数据, 而这些标记可以用方便的方式建立, 和更容易被计算机自身所理解, 可以说是一种自描述的元数据语言。

3.2 word 文件解析和生成

各个保护设备的定值单文件, 都是以 word 或 excel 形式存储的, 软件要从中提取出定值、软压板等信息, 需要对 word 文件或者 excel 文件的内容进行一定的分析, 由于微软有提供 office 系列组件的 COM 可操作对象接口如 _application、_document、_table、_worksheet、_workbook 等, 因此可以使用任何编程语言来对其进行直接操作, 根据事先定义的一系列规则, 自动从中提取出所需要的相关信息。类似的, 在最后系统生成测试试验报告的时候, 也是通过控制这些 COM 接口对象, 来自动填充 word 文件中的表格, 生成最终报告。

3.3 103 通信协议解析

103 通信协议是目前所有保护设备都支持的通信协议, 但在各个厂家的实现中, 又有一些细微的差别, 如有基于以太网的 103 协议和标准的基于 RS-485 接口的 103 协议, 由于有些早期保护设备并没有带以太网口, 所以本系统统一采用 RS-485 接口与保护进行通信。另外由于本系统并不需要获取和解析所有的 103 报文, 仅需要解析与图 5 有关的报文, 因此在实现上仅需要对部分 ASDU 进行截获和解

析, 同时也只需要生成几种如查询定值命令、查询模拟量测、保护信号复归等命令的 ASDU 报文。

3.4 控制多种规格测试仪

本系统在开发中, 通过与多家测试仪厂家联系, 已成功实现了从软件系统里对测试厂家提供不同 DLL 文件 (封装 6 个功能函数) 的统一调用, 经测试已可在广州昂立、深圳凯弦、武汉豪迈、华东电气等不同测试仪上直接使用。

3.5 多样化的试验方式

对于一般性的试验, 例如线路保护的接地距离 I 段等, 仅需要直接输出由测试计划创建的状态序列即可。

而对于复杂的试验, 例如主变保护中的谐波、比率差动等需要递增或递减电流幅值的试验, 本软件定义了一种递变试验的模式, 由软件系统自动的隔一定时间增加 (或减少) 某一相电压 (或电流) 的幅值, 循环输出状态序列, 当保护动作时才返回, 这样就可以自动寻找到保护动作的精确幅值, 这一功能也适用于摇灵敏角的试验 (递变值为相角)。

4 自动化测试执行举例

以某变电站线路保护设备为例, 现要对其按照福建省相关的继电保护设备检验规程进行验收检验测试, 步骤流程如下:

1) 用户选择待测试保护装置的基本信息, 如台帐、设备型号、版本号、电压等级等。

2) 用户选择要进行的和定值检验相关的检验项目, 以 RCS-931 的检验项目为例, 包括零漂、幅值特性检验、相位特性检验, 光纤差动保护、接地距离保护、相间距离保护、工频变化量阻抗等定值检验项目, 每一个项目又包括 ABC 三相以及各自不同倍数 (0.95/1.05/1.2/0.7)。

3) 用户选择设备定值单文件 (word/excel), 让系统进行解析, 从中提取该设备的所有定值、软压板等信息, 最后根据测试规程、检验项目、定值信息, 生成测试计划。

4) 生成自动测试计划后, 则可以直接在现场执行该测试计划, 其执行情况界面如图 6 所示。

在软件系统执行中, 对于在每项定值试验进行完毕后, 系统会将 103 协议上报的跳闸报告解析, 并存入试验的原始记录中。

本次试验部分结果如表 1 显示, 报告内容由系统全自动生成并填充, 经过核对, 试验报告结果显示该保护设备一切工作正常。



图 6 自动测试软件系统界面
Fig.6 Auto-test software system GUI

表 1 部分自动测试结果

Tab.1 Part of auto-test result

项目	报告	信号
1 光纤差动保护 m1.05 高 定值 A 相	电流差动保护 13 ms	跳 A
2 光纤差动保护 m1.05 高 定值 B 相	电流差动保护 12 ms	跳 B
3 光纤差动保护 m1.05 高 定值 C 相	电流差动保护 14 ms	跳 C
4 光纤差动保护 m0.95 低 定值 A 相	起动	---
5 光纤差动保护 m0.95 低 定值 B 相	起动	---
6 光纤差动保护 m0.95 低 定值 C 相	起动	---
7

5 结论

随着电网规模的进一步扩大，微机继电保护设备作为一种最重要的二次设备之一在电网中要担当越来越重要的角色，为了减少保护测试中的人工干预所带来的繁重工作量和人为错误，未来对保护设备的自动化测试技术的研究也会越来越深入，本系

统的出现解决了部分保护专业人员的繁重又重复的定值整定测试工作，从自动化的角度实现了保护设备的远程自动化测试，有一定的现实社会效益。

考虑到本系统的解决方案目前还只是针对单台保护设备的自动测试，而将来需要考虑一种系统级的，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，这方面的研究还有待进一步开展。

参考文献

[1] Webb A C , Webb M. Automated Testing of Power System Protection Relays[J]. Power Engineering Journal, 1988(11) : 291-296.
 [2] Cristian Paduraru. Automated Testing of Protective Relays Using Advanced Visual Test Software[A]. in:Proceedings of the 2002 Large Engineering System Conference on Power Engineering[C]. 2002. 143-146.
 [3] IEC 60870-5-103, Transmission Protocols 2 Companion Standard for Informative Interface of Protection Equipment 1997[S].
 [4] 电力行业标准 DL/PT 667-1999 idt IEC 60870-5-103 :1997 [S].
 [5] 陈皓.新一代微机继电保护测试仪及基本性能[J] .电力自动化设备, 2002, 22(5): 61-63.
 CHEN Hao. Test Device of Protective Relay and Its Property[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(5): 61-63.
 [6] 梁志琴, 刘建飞, 等. 基于 PC 内置便携式微机保护测试系统的研制[J] . 继电器, 2001, 29 (11): 44-46.
 LIANG Zhi-qin, LIU Jian-fei, et al. Development of a Test System for Microprocessor Protection Based on Integral Portal PC[J]. Relay, 2001, 29 (11): 44-46.

收稿日期：2009-03-03； 修回日期：2009-03-25

作者简介：

赖 擎 (1976-)，男，硕士，从事电力系统分析应用软件研究开发；E-mail:laiqing7617@163.com

华建卫 (1967-)，男，高工，从事继电保护研究；

吕 云 (1971-)，女，高工，从事电力系统信息化研究。

(上接第 85 页 continued from page 85)

[4] 谭群峰, 李朝晖. 基于工况的水轮机调速系统性能分析[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(4): 34-37.

TAN Qun-feng, LI Zhao-hui. Performance Analysis for Hydroturbine Governing System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(4): 34-37.

[5] 孙郁松, 孙元章, 卢强. 水轮发电机水门非线性控制规律的研究[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(23): 33-36.

SUN Yu-song, SUN Yuan-zhang , LU Qiang . Research on Nonlinear Control Strategy for Hydroturbine

Governor[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(23): 33-36.

收稿日期：2009-02-26； 修回日期：2009-06-02

作者简介：

曹程杰 (1982-)，男，硕士研究生，主要研究方向为自动控制理论，电力系统控制等；E-mail: bluesky_wflts@163.com

莫岳平 (1962-)，男，博士，教授，主要从事电机及其控制的教学及研究工作。