

基于自动测试的继电保护测试软件研究

朱忠亭, 张沛超, 汪可友

(上海交通大学电气工程系, 上海 200240)

摘要: 全面地测试继电保护装置对于检验其工作性能, 保障其可靠工作具有重要意义。该文从继电保护装置测试的需求和原理出发, 提出自动测试的概念。以一个基于保护测试仪的自动测试软件包为例, 提出继电器管理和保护测试一体化的面向对象设计思路, 体现了保护测试系统的自动化、可视化、智能化的发展趋势。实践表明, 该软件包可以全面测试各种类型的保护, 并能根据用户定制加以扩展, 可满足现场试验要求。

关键词: 继电保护; 自动测试; 面向对象技术

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)17-0031-03

0 引言

“四统一”设计的高压线路继电保护装置的推广应用以及后来微机保护的大量投运, 对测试装置提出了新的要求。原先继电保护装置现场检验中的有关整定、电气特性等试验工作一般都靠人工手段进行, 工作量大且效率低下, 还常常出现人为过失问题。可见传统的测试手段已不能完全满足, 开发具有智能化的继电保护系统自动化检测功能的软硬件技术已成为一种趋势^[1~4]。为了提高检验质量和工作效率, 推进标准化检验工作, 需要开发一种智能软件, 把测试设备与保护原理结合在一起, 实现自动测试和检验工作。本文从对继电保护装置测试的需求出发, 提出自动测试的概念。以一个实用的自动测试软件包为例, 提出继电器特性管理和保护测试一体化的面向对象的设计思路, 体现了保护测试系统的自动化、可视化、智能化的发展趋势。

1 测试系统结构

文献[1]介绍了继电保护测试仪的工作原理。测试系统一般采用上位机和下位机的方式: 上层由PC机进行控制和管理, 通过串口(或USB口)与下层的测试仪通信, 传送控制命令、数据文件, 并接受测试仪的反馈信息。下层由测试仪内部的DSP进行高速的数字信号处理, 向保护输出模拟电力系统的电压、电流和开关量, 同时监视保护的動作状态, 实现测试仪相应的继电保护测试模块功能。

2 自动测试的特点

文献[2]中提出了“继电保护自动测试模块”(Automatic Test Modules for Protective Relays)的概念并基于

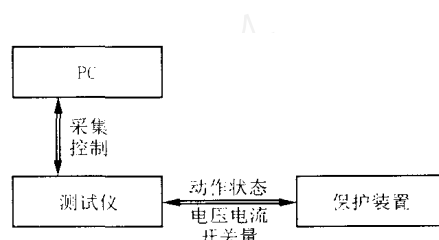


图1 保护测试系统

Fig.1 Protective relay test system

此概念介绍了一种实现 - AVTS (高级可视化测试软件): 有着灵活接口, 易于使用; 面向任意类型的继电器提供全面的测试计划; 允许用户通过向导定制属于自己的测试模块; 经过参数配置后, 测试过程高度自动化, 从开始测试到完成、继电器特性分析、输出测试报告而无需人工干预。根据此概念并结合我国国情, 笔者总结出自动测试软件应具有以下特点:

- 1) 可靠性。应保证被测保护装置的可靠性, 即使测试失败, 可靠性也不能降低。
- 2) 模块化。通过建立一系列通用模板库(继电器特性库、保护元件库、保护装置库、通用测试库)来提供大量模板, 从而简化制定测试计划的过程。
- 3) 自动化。自动测试软件应为用户提供一份“测试计划单”, 填写所需测试的動作特性等参数以及相关的试验条件(可由用户逐项填写, 也可通过装置模板提供)。测试开始后, 计算机将按照测试项目和试验条件逐项对保护装置自动进行测试, 期间也可人工加以控制(暂停、重复上一个测试项目等), 测试完成后自动生成试验报告。
- 4) 可视化。为所有保护、所有测试提供统一简单易用的操作界面。
- 5) 智能化。可对测试结果进行分析, 如继电器特性分析等。

3 继电器管理和测试一体化

为了能够使测试面向所有类型的保护装置,自动测试软件应该提供继电器管理功能,用户可以方便地增删实际装置。虽然不同厂商的保护装置从原理到实现各不相同,但是实际上仍是继电器元件的不同组合。通过建立标准的元件模板和装置模板的二层结构,实际保护装置由装置模板实例化而成,大大提高了系统的开放性和复用性。

3.1 元件模板

保护装置中最基本的是继电器元件,继电器特性就是继电器特征曲线,是由一系列曲线(直线、圆或圆弧)组成的封闭区域,动作区域之间为包含关系。将继电器特征模板化就是定义全面的继电器特征模板库(比如距离模板、反时限模板)。图2示例就是WXB型的距离继电器边界特性。

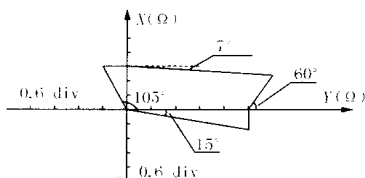


图2 WXB距离继电器模板

Fig. 2 WXB distance relay template

3.2 装置模板

保护装置模板是一组标准继电器元件经过装配而成的组合,利用装置模板我们可以配置所有典型的保护装置。用户可以将装置模板作为“黑盒”直接引用,也可作为“白盒”实现模板的添加、删除、修改、导入和导出等功能。最后通过保护装置模板的实例化生成一个实际保护装置。

3.3 装置的定值映射

实际保护装置生成后,下一步要建立装置特征值和定值之间的关联,即建立保护装置模板和对应的继电器定值定义库之间的关联。获取保护定值有两种途径:可以利用人工方式输入保护定值,也可自动从装置中读取定值,还可以从同类型保护装置参数中读取。另外对于一个厂、站的保护设备应该能够管理,并能够实现装置参数的统一。

3.4 装置和测试关联

自动测试计划包括试验项目及其排列的先后次序,每一个试验项目的接线、保护装置和外回路设置、试验参数/试验方法、试验结果标准等。通过试验模块和继电器元件模板的对应关系,自动测试计划可以和装置模板建立关联。当用户建立具体测试

对象——实际保护装置时,就已经与此类型的装置模板建立关联,可以自动生成测试计划。

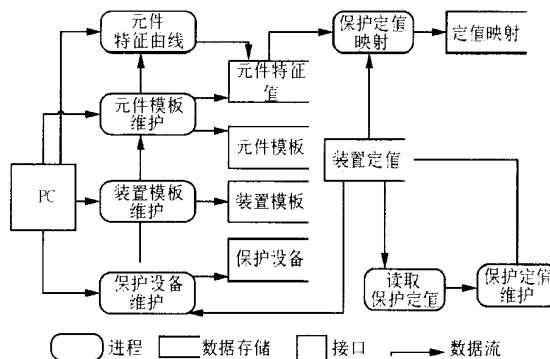


图3 继电器管理数据流图

Fig. 3 Data flow chart of relay management

3.5 管理和测试的一体化

管理和测试的一体化思路是实施自动测试的关键。系统能够同时实施现场设备管理、装置模板管理以及测试计划管理,并在上述3类管理之间建立关联,如图4所示。一个典型的测试过程是,保护测试仪读取设备定值,根据设备定值和元件特征值之间的关联关系,自动填充元件特征值并生成元件特征曲线;根据装置模板和测试计划之间的关联,自动生成初步测试计划,并根据各元件特征值初始化试验参数;试验人员可对上述测试计划进行剪裁和修改,然后执行自动测试。试验结束后,被测设备及其详细测试计划(含测试步骤、测试方法、测试输入、测试结果等)都被保存在数据库中,需要时可以随时调出并进行重新测试。

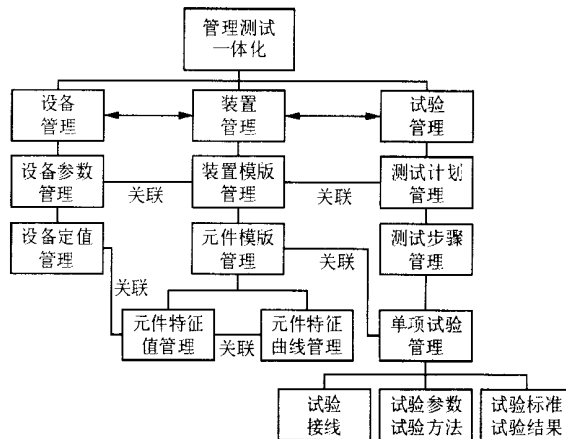


图4 管理和测试的一体化

Fig. 4 Integration of relay management and test

4 系统开发的几个关键问题

4.1 软件整体架构

开发健全的应用软件的快慢与使用或创建可重用软件模块与组件的能力有关,面向对象技术是公认的构建复杂系统的成熟技术。本系统采用 UML (统一建模语言) 进行系统的分析、设计,实现语言采用 Visual C++。

图 5 用 UML 描述了测试软件核心模块的抽象模型(组件图):RelayTest.exe 和 Relay.exe 分别为自动测试程序和继电器管理程序;Core.dll 为核心动态库,包含了各种数据模型(测试类、保护类及模板类);XXCTest.dll 代表各种基本试验模块插件(每种试验对应一个 DLL,见 4.2);ComEngine.dll 负责与测试仪的底层通信;Database 采用 Access 桌面数据库。

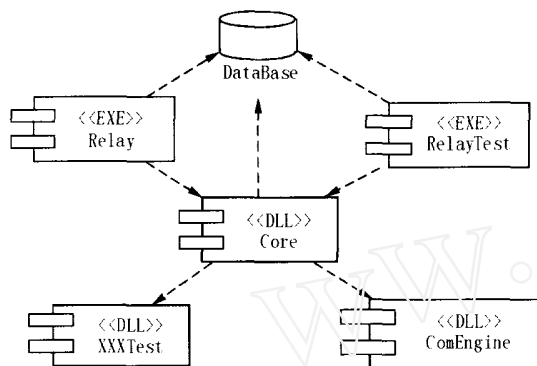


图 5 测试软件包的组件图

Fig. 5 Component diagram of test software package

4.2 DLL 软插件

本系统开发的基本试验模块有:启动/返回试验、反时限特性试验、通用继电器定值验证试验、阻抗-精工电流(z/i 或 v/i 特性)、阻抗- z/t 试验、阻抗-边界搜索试验、阻抗-定值验证试验、阻抗-突变量阻抗试验、差动元件-动作试验、差动元件-定值验证试验、差动元件-谐波制动试验、差动元件-比例制动搜索试验、差动元件-直流助磁试验等二十多种测试模块。通过软插件(plugin-in)技术实现,达到较好的灵活性和开放性:

1) 系统首先制订统一的程序接口标准,比如开始试验 StartTest、暂停试验 PauseTest 和中止试验 StopTest 等。

2) 针对每种试验模块,开发相应的 DLL,并在数据库中,为每一具体的测试模块配置类型。

3) 系统运行时自动在软插件和实际测试模块之间建立关联。

4) 对于新的测试,只需开发新的软插件(DLL),并在数据库中增加配置项即可。

4.3 多线程

Windows API 提供了多线程机制,允许应用程序在后台处理任务的同时保持用户所需的交互感。执行长时间运行的操作的较好方法是使用线程:UI 线程(主线程)负责与用户交互,辅助线程后台执行测试方案。由于线程共享进程的地址空间,所以必须注意线程的同步问题。本系统采用一系列措施如发送消息、事件(Event)来使两个线程协同工作。用户在 UI 线程启动 Start 命令后,创建辅助线程,开始一步步执行测试方案,期间辅助线程不断向 UI 线程发送窗口消息告之测试状态,不断查看是否有 UI 线程的事件(用户发出 Pause 或 Stop 命令)发生并作出响应,直到本次测试完毕后设置事件(测试完毕)通知 UI 线程。

4.4 测试算法

所有的测试算法都分别封装在不同的基本试验模块插件中,下面以距离继电器边界扫描试验为例简要说明其算法。该试验模块用于一段或多段任意特性距离继电器的动作边界搜索。搜索在设定的角度范围内采用射线方式进行扫描,具体如下:

1) 从扫描射线角度变化范围的起始值开始直到中止值结束,按照一定的步长,对每一个阻抗角方向进行搜索。

2) 每一个角度方向的动作段的搜索采用二分法。每条射线方向使用二分法扫描出该射线方向上给定范围内的所有边界点。其中边界点确认条件为:两个连续测试点的时间差大于设定的时间阶梯;两个连续测试点的阻抗值的差小于相对精度和绝对精度中的最大值。二分法收敛条件为:待测区段的起始和终止点的时间大于时间阶梯。

5 结论

从继电保护装置测试的需求出发,根据自动测试的思想,提出装置管理和保护测试一体化的面向对象的设计思路,成功开发出基于继电保护测试仪的自动测试软件包。该软件系统通过建立元件和保护装置模板库,使得用户可以测试各种类型的保护,并能根据需要加以扩展,能满足现场试验要求。基本试验模块独立于主程序,使得试验算法的复用性增强,从而使系统更加开放,容易修改和移植。

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.

(下转第 42 页 continued on page 42)

网的形成和发展,以及新型微机保护装置的广泛应用,可以预见,在线整定计算研究必将更加深入,实用化成果也将会得到应用和推广。

参考文献:

- [1] 周步祥,李烈忠(ZHOU Bu-xiang, LI Lie-zhong). 提高电流保护灵敏性的在线整定技术(The On-line Setting Technology for Improving the Sensitivity of Current Protection) [J]. 继电器(Relay), 1999, 27(4): 18-21.
- [2] 曹国臣,韩蕾,祝滨(CAO Guo-chen, HAN Lei, ZHU Bin). 大电网分布式自适应继电保护系统的实现方法(Realization Method of Adaptive Protection System with Distributed Structure for Large-scale Transmission Network) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2000, 24(13): 19-22.

- [3] 王广学(WANG Guang-xue). 电力系统接地距离保护零序补偿系数分析(Analysis of Zero-sequence Current Compensation Coefficient for Ground-fault Distance Protection in Power System) [J]. 电网技术(Power System Technology), 1994, 18(1): 1-7.
- [4] 蔡超豪,王奇(CAI Chao-hao, WANG Qi). 平行双回线自适应接地距离保护(Adaptive Ground-fault Distance Protection for Parallel Transmission Lines) [J]. 华北电力技术(North China Electric Power), 1998, (6): 58-60.

收稿日期: 2003-10-21

作者简介:

曾耿晖(1977-),男,硕士,从事电力系统继电保护整定与运行工作; E-mail: zenggenhui @263.net

刘 玮(1973-),男,硕士,从事电力系统继电保护运行管理工作。

Discussion about on-line coordination systems of relay protection in power system

ZENG Geng-hui, LIU Wei

(Guangdong Power Dispatch Center, Guangzhou 510600, China)

Abstract: Coordination is the foundation for secure operation of modern power system. The mode of offline coordination at present has unavoidable defects. Based on adaptive protection system, the concept of online coordination systems of relay protection and its implementation method are presented and the characteristic of online coordination system is discussed.

Key words: relay protection; on-line coordination; implementation method

(上接第 33 页 continued from page 33)

- [2] Cristian Paduraru. Automated Testing of Protective Relays Using Advanced Visual Test Software[A]. Proceedings of the 2002 Large Engineering System Conference on Power Engineering, 2002. 143-146.
- [3] 陈皓(CHEN Hao). 新一代微机继电保护测试仪及基本性能(Test Device of Protective Relay and Its Property) [J]. 电力自动化设备(Electric Power Automation Equipment), 2002, 22(5): 61-63.
- [4] 梁志琴,刘建飞,等(LIANG Zhi-qin, LIU Jian-fei, et al). 基于 PC 内置便携式微机保护测试系统的研制(Development of a Test System for Microprocessor Protection Based on

Integral Portal PC) [J]. 继电器(Relay), 2001, 29(11): 44-46.

收稿日期: 2003-08-06; 修回日期: 2004-06-17

作者简介:

朱忠亭(1981-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统及其自动化; E-mail: zhuting @sjtu.edu.cn

张沛超(1970-),男,副教授,主要从事专家系统在电力系统中的应用研究;

汪可友(1979-),男,硕士,研究方向为电力系统及其自动化。

Research on protective relay test software based on automatic test

ZHU Zhong-ting, ZHANG Pei-chao, WANG Ke-you

(Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: It is necessary for protection devices to have them completely tested to ensure their good performance and credible working. Starting from the requirements and principle of testing protective devices, this paper presents the concept of automatic test. Based on a practical software package for automatic test, it also puts forward a object-oriented design idea which merges relay management function and relay testing function together, incarnates the automatic, visual, intelligent trend of test systems. It is verified that the software package can test all kinds of relays and extend according to customization, so engineering requirements met.

Key words: protective relays; automatic test; object-oriented technology