

基于 IEC61850-9-2 LE 的子站一致性测试系统的设计与实现

李国杰, 张丹, 邓清闯, 胡亮

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 针对用于数字化变电站装置通信的 IEC61850-9-2 LE 协议, 介绍了数字化子站一致性测试系统软、硬件设计方案中的实现细节和设计思想。依据《IEC61850-10, Ed. 1: 变电站通信网络和系统. 第 10 部分: 一致性测试》对 IEC61850-9-2 LE 协议应用一致性进行了分层设计和分层解析。软件的静态结构采用模块化编程, 动态数据信息交互采用多线程。本系统以一致性测试为核心兼顾通信测试工具扩展性, 测试范围涵盖 IEC61850-9-2 LE 协议配置参数测试和功能测试。

关键词: IEC61850-9-2LE; 一致性; 测试系统; 互操作性

Design and implement of conformance test system for sub-station based on IEC61850-9-2 LE

LI Guo-jie, ZHANG Dan, DENG Qing-chuang, HU Liang

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

Abstract: According to the IEC61850-9-2 LE protocol of digital substation devices communication, this paper introduces the design thought and implement details of software and hardware in conformance test system. Based on "IEC 61850-10, Ed. 1: communication networks and systems in substations Part 10, conformance test", it hierarchically designs and analyzes conformance of applying IEC61850-9-2 LE protocol. The static structure of system software adopts modularization programming and dynamic data exchange adopts multi-thread. This proposed system takes conformance test as its core and considers the extensibility of communication test tool at the same time. Its test range covers the configuration parameters test and function test of IEC61850-9-2 LE protocol.

Key words: IEC61850-9-2 LE; conformance; test system; interoperability

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)06-0115-04

0 引言

虽然数字化变电站已经进入工程试用阶段, 但还有很多技术需要通过进一步的工程实践经验来优化, 如以太网通讯的实时性、IEC61850 协议标准的一致性等等。实现各生产厂家 IED 的互操作性是 IEC 61850 标准的主要目的之一, 如何保证使用了国际标准规约的设备互操作性和兼容性呢? IEC61850 从一开始就设计了兼容认证步骤, 即 IEC61850-10 部分, 用来指导如何对国际标准规约进行一致性测试, 从而真正实现设备的兼容性。模拟量的采集通过合并器转化为 IEC61850 标准 SMV 服务报文传输给间隔层的保护测控装置; 整个变电站的数据信息通过变电站网络实现共享, 在站控层网络采用 IEC61850-8-1 报文格式完成时间特性要求不是很高的信息传输, 在过程层网络采用实时 GOOSE、IEC61850-9-2 LE 的采样值 SMV 报文完成间隔层设备和过程层设备之间的信息交互, 以及模

拟电气量的采集。基于 IEC61850-9-2 LE 的该测试系统能准确、全面地完成人工测试难以完成的测试任务, 提高测试效率, 保证产品的一致性。

1 一致性测试

变电站自动化产品遵循的 IEC61850 通信标准是确保不同厂家的产品能互操作的关键, 因此标准的一致性测试就相应成为产品开发过程中的重要环节。一致性测试是验证 IED 通信接口与标准要求的一致性。它验证链路上数据流与有关标准条件的一致性, 如访问组织、帧格式、位顺序、时间同步、定时、信号形式和电平, 以及对错误的处理^[1]。按照 IEC61850-9-2 LE 中的建议, 光纤数字化保护装置与前端的信息合并单元采用 IEEE 802.3 以太网协议传输采样值数据, 其传输媒介为多膜光纤。该测试系统主要是侧重于对采样值、GOOSE 实现一致性的测试。

2 测试系统功能及硬件组成

2.1 测试系统的功能

在协议一致性测试方面，本测试系统是基于《IEC61850-10, Ed. 1:变电站通信网络和系统 第 10 部分：一致性测试》规定的内容开发。

在软件应用方面，提供自动测试模式，在自动测试模式下提供用户编辑测试用例的接口，测试系统能够按预先设计好的测试用例连续、自动完成对被测对象的各种特性和整定值的测试。能够发送与 IEC 61850-9-2 LE 相一致的采样值报文。SMV 报文中至少提供 12 个通道的采样值，且各通道可灵活配置为电压或电流，各通道系数可调；测试系统启动后即运行采样值报文发送模块，各通道值均按 0 或用户设置的负荷状态发送。当用户触发故障输出后，测试系统按照各通道的设定值发送采样值报文，即测试系统运行期间一直不间断地发送 SMV 报文，并且发送的 SMV 报文中的采样序号应连续，不能突变；用户可以设置每一个采样值通道的有效值、相位，且支持各通道单独设置；支持不同的采样速率，用户可以设置每周采样点数，各种采样速率下，测试系统的 SMV 发送速率能自动调整为和采样速率一致，并且发送报文帧与帧之间的时间间隔要一致；发送的 SMV 报文可以根据具体被测子站的配置信息进行配置。

2.2 测试系统的硬件组成及实现原理

一致性测试系统的运行环境如图 1 所示。

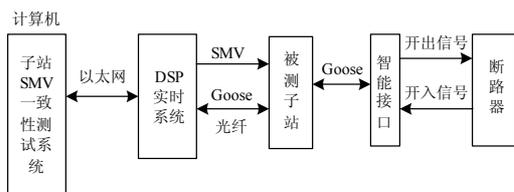


图 1 一致性测试系统模拟环境

Fig.1 Simulating surroundings on conformance test system

测试环境包括：一致性测试系统即本软件（包含计算机载体）、ARM920T 单片机、继电保护被测设备（IEC61850 协议子站即 IED）。

为了满足测试对数据处理速度的需要，测试系统产生波形和发送数据的硬件是一个最基本和经典的单片机+DSP 的实时系统。使用的单片机 (ARM920T) 具有一个 10/100 Mbps 以太网接口，能很好地满足设计要求。而它和用来产生实时波形数据和控制实时数据流的 DSP 在很多的电力系统厂家得到了广泛的应用。采用这种硬件方案的原因是：

一个单片机不可能完成繁重的计算、通信和数据处理任务。并且它也无法具有像 DSP 那样的计算速度。

PC 端界面程序接受用户操作，并根据用户的操作发相应的报文和 DSP 会话，以完成用户的操作目的。PC 端软件并不把界面的故障参数直接传给 DSP，而是在 PC 端完成波形离散采样，把采样数据传至 DSP，PC 传的一条采样数据正好可以供 DSP 组一帧 SMV 报文。

测试系统利用嵌入式 ARM(Advanced RISC Machines)微处理器强大的以太网通信功能和数字信号处理器(DSP)高效快速的数据处理能力，将 PC 端离散采样的数据(电压、电流量)按照 IEC61850-9-2 LE 协议逐点打包生成数字式光纤量采样值，并实时传送到被测保护装置。保护动作信号以 GOOSE 方式通过光纤返回到 DSP，DSP 将 GOOSE 信息再返回给 PC 端，实现对保护装置的测试。

3 测试系统软件构架及一致性测试的实现

3.1 测试系统的软件构架

在软件设计过程中，对于可重用性较高的模块，设计模块结构时应将该模块与其他模块的耦合程度降到最低，使其完全独立于其他模块，以便在其他部分修改或完善时不要或最低限度地影响到该模块。测试用例管理和通信管理模块为测试系统提供数据服务功能，并且支持实时服务功能，如通讯参数可以在线修改，测试用例可以在线编辑等^[2]。

PC 端的软件模块可以划分为两大类：基础模块和应用模块。如图 2。

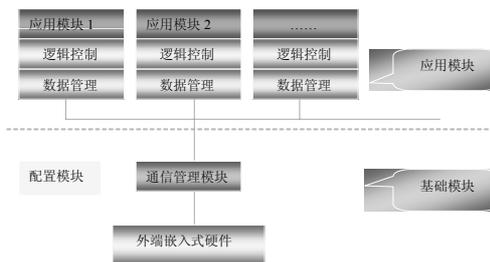


图 2 测试系统的模块划分

Fig.2 Modules division of test system

图 2 中的“外端嵌入式硬件”下文中都用“DSP”代之。

PC 端模块有：

1) 应用模块

以图形用户界面方式提供用户操作接口，处理用户录入的测试用例数据信息并进行处理（比如离

散)后下发给通信管理模块,同时接收通信管理模块提供的数据信息,经过处理后反馈给界面供用户查看。

2) 通信管理模块

通信管理模块负责 PC 和 DSP 通信,向应用模块提供接口函数,供应用模块调用。接收应用模块的数据,封装为 UDP 数据包后通过以太网转发送给 DSP,把 DSP 传来的 UDP 数据包转换为定义好的数据结构提供给应用模块。

3) 配置模块。

配置模块用来处理测试用例的配置信息,比如该组测试用例的通道个数、每个通道的通道系数、SMV 与通道关联信息、开入开出与 GOOSE 的关联配置等。PC 端软件支持 3 种获取测试用例配置的方式:

- (1) 从配置表获取。
- (2) 由用户直接在界面输入。
- (3) 直接从 DSP 读取。

每个应用模块都分逻辑控制、数据管理、界面交互三大模块。应用模块都做能独立运行的程序,每个时刻只能有一个应用模块处于运行状态。

基础模块对于应用模块是通用的,每个应用模块程序都可以调用。

3.2 一致性测试的实现

3.2.1 一致性测试基本理论

协议测试是在软件测试的基础上发展起来的,软件测试一般分为两种:白盒测试和黑盒测试。协议测试归于黑盒测试范畴,即通过控制观察被测协议实现的外部行为对其做出评价,而不涉及到协议实现的内部结构。协议测试一般包括四种类型:一致性测试(Conformance Testing),互操作性测试(Interoperability Testing),性能测试(Performance Testing)和鲁棒性测试(Robustness Testing)^[3]。一致性测试主要检测实现协议的实体或系统与协议规范的符合程度;互操作性测试是检查同种协议的不同版本或不同实体间的互通和互操作能力;上述四种类型协议测试中,一致性测试是互操作性测试和性能测试的基础。

一致性测试的简要模型如图 3 所示,这里涉及到参考规范(Specification)、测试仪(Tester)和被测实体(Implementation Under Test, IUT)。测试仪或测试系统根据规范给 IUT 一组测试序列(test sequence),也即是测试用例,然后观察 IUT 的外部行为是否符合规范描述。

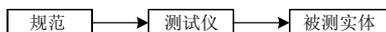


图 3 一致性测试简要模型

Fig.3 Brief model of conformance test

需要强调的是:一致性测试并不能保证被测实体完全符合协议标准,它仅说明通过选用的一组测试用例,没有检测到错误。虽然增加测试用例可能提高故障覆盖系数,但会极大地增加测试费用。因此,在一致性测试成本和故障覆盖系数之间,必须做某种折衷。

3.2.2 实现一致性测试的方法

测试的方法分为两种,静态测试和动态测试。静态测试包括检查提交的各种文件是否齐全,设备的控制版本是否正确,被测设备的各种模型是否符合标准的规定。动态测试包括采用合理数据作为肯定测试用例,采用不合理数据作为否定测试用例,对每个测试用例按 IEC61850-10 的操作流程进行测试;本测试系统主要是侧重于动态测试。测试系统可以根据用户需要组建肯定和否定测试用例,测试用例可以保存,便于进行回归测试,测试用例组建成功后,用户点击自动测试系统将自动运行要测试的用例,测试过程中使用数字信号源进行触发(GOOSE、SMV 等)进行动态的测试^[4]。

测试系统对被测设备进行测试后自动生成测试报告,在测试报告中除了对一致性测试内容的每一项给出结论外,还详细给出每个动态测试用例的测试结果,其测试结果分“通过”、“失败”、“未测”三种,较全面地覆盖了一致性测试的项目。

4 应用

该测试系统在数字化保护的测试中发挥了很大的作用,如通过该软件的应用,组建符合需求的测试用例,可以将某些测试项目自动完成,比如保护装置的动作时间测试,可以通过下发预定的采样值,使保护动作,下发时由 DSP 记录下发动作报文的时刻,装置接收到故障报文后给智能接口下发跳闸信号的 GOOSE 信息,然后接收断路器跳闸 GOOSE 并返回给 DSP,最后 DSP 把下发故障的时刻和断路器跳闸时刻通过预定的接口返回给 PC 机,应用模块会把动作时间计算出来提供给用户界面,完成一个动作时间的自动测试。另外还可以进行测量的自动测试,用户可以组建各种测量的测试用例,如可以叠加 3~13 次谐波,测试用例下发后,系统自动计算预期的线电压、有功功率、无功功率、视在功率和功率因数等测量量,然后和从被测装置读取的对应的测量值进行比较,实时地给出测试结果,将测试人员从繁琐的重复劳动中解脱出来。并且根据需要还可以进行长时间的拷机测试,很大程度上解决了数字化测试仪紧缺的难题。当然以上所有功能的实现都是基于 IEC 61850-9-2 LE 协议,从功能

上可以看出该测试系统的应用实现了协议测试的标准化和智能化,同时加深了协议测试的精度和深度,保证了被测产品的一致性。

5 结论

本文介绍的数字化一致性测试系统成功地完成了数字化系列微机保护装置的采样值及保护逻辑自动测试,迅速帮助测试者发现通信中的协议一致性问题。由于测试系统采用了嵌入式微处理器,将现代光纤通讯技术与微机继电保护测试相结合,大大提高了输出数据的实时性、抗干扰性,具有更加广泛的适应性,可以满足各种数字化保护装置的测试工作。较之传统的模拟量输出的保护测试仪,本测试系统结构更加简单,性能更加可靠。为了更好地贯彻执行 IEC61850 标准,实现不同厂家产品的互操作,减少数据交换过程中不同协议间转换时的人力物力浪费,保证变电站自动化系统安全稳定运行,必须在产品投运前进行协议实现的一致性测试。测试结果表明,这种测试系统能满足数字化保护装置的一致性测试要求。

参考文献

[1] 何卫,徐劲松. IEC 60870-5-6一致性测试规则探讨[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(15): 78-79.
HE Wei, XU Jin-song. IEC 60870-5-6 Probe into Procedures for Conformance Test[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(15): 78-79.

[2] Jeff Garland Richard Anthony. 大型软件体系结构:使用

UML 实践指南[M]. 叶俊民,汪望珠,等译. 北京: 电子工业出版社, 2004.

Jeff Garland Richard Anthony. Large-Scale Software Architecture: A Practical Guide Using UML[M]. YE Jun-min, WANG Wang-zhu, et al Trans. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.

[3] 崔厚坤,汤效军,梁志成,等. IEC 61850一致性测试研究[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(8): 84-87, 92.
CUI Hou-kun, TANG Xiao-jun, LIANG Zhi-cheng, et al. Study on IEC 61850 Conformance Testing[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(8): 84-87, 92.

[4] 殷志良,刘万顺,杨奇逊,等. 基于IEC61850标准的采样值传输模型构建与映射实现[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (21): 42-46.
YIN Zhi-liang, LIU Wan-shun, YANG Qi-xun, et al. Modeling and Mapping Implementation of a Sampled Value Model Based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (21): 42-46.

收稿日期: 2009-04-09; 修回日期: 2009-07-20

作者简介:

李国杰(1967-)男, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统继电保护及自动化的研究和测试工作; E-mail: guojiel@xjgc.com

张丹(1978-), 女, 本科, 工程师, 从事电力系统继电保护及自动化的研究和测试工作;

邓清闯(1980-), 男, 大专, 工程师, 从事电力系统继电保护及自动化的研究和测试工作。

(上接第 99 页 continued from page 99)

[8] 钱开国,桑楠,马宏. 基于Tinyos的无线温湿度传感器网络系统设计和实现[J]. 昆明学院学报, 2008, 30(4): 30-33.
QIAN Kai-guo, SANG Nan, MA Hong. Design and Implement Wireless Sensor Network for Monitoring Temperature and Humidity Based on TinyOS[J]. Journal of Kunming University, 2008, 30 (4): 30-33.

[9] 龙玉湘,章兢,戴瑜兴. 基于ZigBee的无线抄表系统的集中器设计[J]. 低压电器, 2007, (20): 14-17.
LONG Yu-xiang, ZHANG Jing, DAI Yu-xing. Design of Concentrator Based on ZigBee in Wireless Meter Reading System [J]. Low Voltage Apparatus, 2007, (20): 14-17.

[10] 陈喜贞,王书茂,徐勇军. TinyOS 内核调度机制及改进策略[J]. 计算机工程, 2006, 32 (19): 85-87.
CHEN Xi-zhen, WANG Shu-mao, XU Yong-jun. Schedule Mechanism and Its Improving Methods of TinyOS[J]. Computer Engineering, 2006, 32(19): 85-87.

收稿日期: 2009-05-08; 修回日期: 2009-05-25

作者简介:

牛斗(1954-), 男, 副教授, 从事嵌入式系统以及无线传感器网络的研究;

王婷婷(1985-), 女, 硕士研究生, 从事远程自动抄表系统的研究; E-mail: wangtingting_007@163.com

姚艳艳(1984-), 女, 硕士研究生, 从事嵌入式系统的研究。