

IEC 61850 标准一致性仿真测试系统

徐娟萍¹, 穆国强¹, 王庆平², 李兰欣², 万博², 王慧铮²

(1. 西安供电局, 陕西省 西安市 710032; 2. 中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100085)

Research on Conformance Simulation Testing System Based on IEC 61850

XU Juan-ping¹, MU Guo-qiang¹, WANG Qing-ping², LI Lan-xin², WAN Bo², WANG Hui-zheng²

(1. Xi'an Power Supply Bureau, Xi'an 710032, Shaanxi Province, China;

2. China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100085, China)

ABSTRACT: On the basis of researching the architecture of IEC 61850 standard, a conformance-testing scheme that follows this standard is proposed. By use of self-developed application software such as client monitoring software, intelligent electronic device (IED) simulator at server side as well as system configuration tool, a simulation testing system is constructed and applied to the on-site testing for two typical substations. Testing results show that there are differences among different automation device manufacturers in application of IEC 61850 standard to practical engineering. Meanwhile, it is also proved by the testing process that the proposed simulation testing system possesses good interoperability, its operation is stable and the conclusion of the tests are reliable.

KEY WORDS: IEC 61850; conformance test; substation automation system; configuration tool; abstract communication service

摘要: 在研究 IEC 61850 标准体系结构的基础上提出了遵循该标准的一致性测试实施方案, 应用自主研发的 IEC 61850 客户端、智能电子设备模拟器(服务器端)、配置工具等应用软件构建了仿真测试系统, 并对 2 个典型变电站进行了现场测试。测试结果表明, 不同的自动化设备厂商对 IEC 61850 标准在工程实践中的应用方面存在差异。测试过程也证明该仿真系统运行稳定、结论可靠, 具有良好的互操作性。

关键词: IEC 61850; 一致性测试; 变电站自动化系统; 配置工具; 抽象通信服务

0 引言

随着计算机和网络通信技术的迅速发展, 尤其是以太网和面向对象技术的广泛应用, 国际电工委员会第 57 技术委员会提出了实现变电站内智能电子设备(intelligent electronic device, IED)间无缝通

信的一个全球范围标准——IEC 61850^[1-2]。该标准不仅定义了变电站自动化系统中的数据通信要求, 还对整个系统的网络结构、对象模型、项目管理控制、测试方法等进行了详尽的规范, 形成了完整的体系结构, 成为国内外自动化厂商的研究热点。

通信协议的一致性测试是电力自动化产品投入使用前的必经阶段^[3-5]。通过测试, 设备生产商得以证明其产品与协议规定的一致性。本文结合工程要求提出了符合 IEC 61850 标准的变电站自动化系统站级总线一致性测试方案, 应用自主开发的 IEC 61850 客户端、系统配置工具、IED 服务器端模拟器、IED 配置工具等应用软件, 构建了一致性测试系统, 并对 2 个典型变电站进行了测试。

1 IEC 61850 标准的体系结构

变电站自动化系统由各种 IED 组成, 主要完成变电站内设备的控制、监视和保护功能, 并实现系统配置、通信管理和软件管理等系统维护功能。

IEC 61850 标准将变电站自动化系统在逻辑上划分为 3 层(即变电站层、间隔层和过程层), 并将具体应用功能分解为许多常驻在不同 IED 内、彼此间相互通信的单元, 称为逻辑节点(logical node, LN), 然后以 LN 为对象建立变电站内 IED 的统一的数据和服务模型, 旨在解决不同厂商提供的 IED 间的数据交换、信息共享问题^[2]。

遵循 IEC 61850 标准的变电站自动化系统主要包括: ①主站自动化系统软件(人机界面、数据库及系统管理等); ②间隔层装置(保护、测控单元等); ③过程层设备, 包括电子式电流/电压互感器(electronic current/potential transducer, ECT/EPT)、智

能断路器/隔离开关、合并单元等;④工程化工具(如配置工具等),用于管理 IEC 61850 所定义的通信模型,并满足 IEC 61850-6(配置)和 IEC 61850-10(一致性测试)的规范要求。

2 一致性测试系统整体方案

一致性测试系统的结构^[6-8]如图 1 所示。其中,监控主机上运行“IEC 61850 客户端监控软件”,完成对变电站内 IED 的测试和监控;配置主机内运行“系统配置工具”,实现对仿真系统的配置。此外,在变电站当地设置一台模拟主机,运行“IED 模拟器”软件和“IED 配置工具”,用于模拟 IED 的功能和完成对 IED 的配置功能。

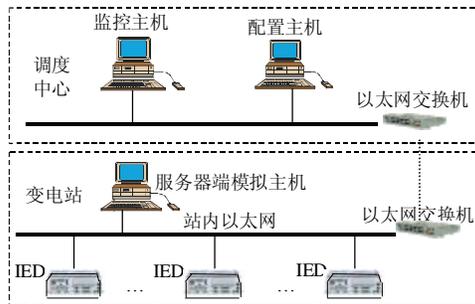


图 1 测试系统结构示意图

Fig. 1 The structure of testing system

3 一致性测试应用软件的功能

3.1 客户端监控软件

客户端监控软件能够与遵循 IEC 61850 标准的服务器端装置或模拟器进行互连,通过 IEC 61850 的抽象通信服务动态创建服务器端对象模型;也可解析变电站配置语言(substation configuration language, SCL)描述的配置文件静态生成模型。软件功能结构见图 2。

其中,配置管理模块处理来自配置工具或通信的离线/在线配置信息,解析后存入相关文件,或通知模型管理程序,供其调用。

模型管理程序负责生成、维护各级对象模型,处理对象属性的读写、报告/日志的控制和存储等。

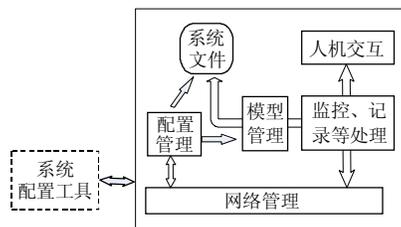


图 2 客户端监控软件功能结构

Fig. 2 The function structure of client-side software

监控处理模块负责将来自其他模块的命令、消息分发至相应处理单元,实时监控通信状况,通知显示或记录程序将信息记入系统文件。

人机交互模块提供友好的界面,实现用户与系统间的信息交互功能。

网络管理模块负责网络通信相关的处理,包括报文收发、缓存、整理、提交各协议栈等^[9-10]。

客户端软件支持如下抽象通信服务模型:服务器、关联、逻辑设备、逻辑节点、数据、数据集、报告、记录、控制、时钟同步、面向通用对象的变电站事件(generic object oriented substation events, GOOSE)、文件等。

3.2 IED 端模拟器软件

IED 端模拟器内置符合 IEC 61850-7 的通信对象模型,通过映射到特定通信协议栈与客户端监控软件通信,模拟数据采集和控制输出功能;并支持 SCL 文件解析,静态建立对象信息模型。其功能模块主要有:

(1) IEC 61850 服务器模块根据配置文件创建通信对象,同时建立与实际设备对象的联系;提供与 IEC 61850 客户端监控软件的通信服务,完成对实际设备对象的访问。

(2) 应用功能程序模拟数据采集功能并整理数据,将其保存至相应的对象结构中。

(3) 参数及配置管理模块接收并解析来自远方或当地的系统配置文件,生成参数配置表,供 IEC 61850 服务器和其他程序读取。

(4) 自诊断和自恢复处理程序监视系统软件运行情况,若发现异常(如非法地址访问、被 0 除、软件运行越界等),立即采取措施恢复正常运行,并记录错误信息。

3.3 系统配置工具

系统配置工具是一个独立于 IED 的软件,其功能结构见图 3。它接收各 IED 的功能描述(IEC capability description, ICD)文件以及设计部门提供的系统描述(substation specification description, SSD)文件,赋予不同 IED 共享的系统信息^[11],根据 IEC 61850-6 产生变电站相关的配置描述(substation configuration description, SCD)文件,并反馈给 IED 配置器,从而实现系统的工程化。软件按照 IEC 61850-6 中对象属性和对象间关系的定义,采用面向对象的方法进行设计和实现,具有较强的开放性、规范性和可移植性。软件提供人机界面,用户

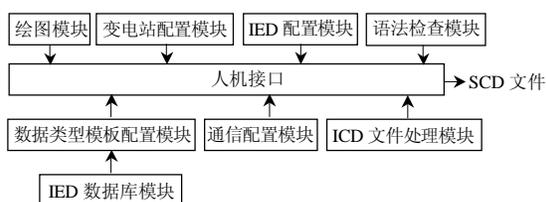


图 3 系统配置工具功能模块图

Fig. 3 The diagram of function modules of system configuration tool

可以根据需要方便地进行设置，系统依照特定的模式生成 SCL 文件。

3.4 IED 配置工具

IED 配置工具是基于 SCL 的实现 IED 配置的专用工具，能够输入、输出 IED 的专用定值，产生 IED 特定的配置(configured IED description, CID)文件，其功能结构见图 4。

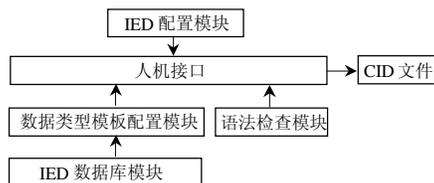


图 4 IED 配置工具功能模块图

Fig. 4 The diagram of function modules of IED configuration tool

系统配置工具和 IED 配置工具作为系统的专用工程化工具^[12-13]，其数据模型和服务与 IEC 61850 标准相一致。

4 一致性测试系统应用实例

4.1 测试方法

测试分为静态测试和动态测试 2 部分^[2]，静态测试需提交被测试设备(device under test, DUT)的相关文档，如 ICD 文件、协议实现一致性陈述(protocol implementation conformance statement, PICS)和模型实现一致性陈述(model implementation conformance statement, MICS)等，依此进行静态性能检查；动态测试包括基本连接测试、能力测试、行为测试等。

DUT 为变电站内遵循 IEC 61850 标准的设备，测试针对系统功能分解后的最小对象单位。依照 DL/T 860 标准，检验 DUT 的数据、功能和设备模型，包括抽象通信服务接口及其到特定通信协议的映射和互操作性。下面简述测试流程。

(1) 确定系统结构(环境)。

系统设备包括被测设备、测试设备、集中式 HUB、标准时钟源、信号源等。

系统网络结构按 2 层配置，仅有站级总线，不含过程层设备和过程总线，过程层和间隔层功能合并，IEC 61850 的客户端和服务器端分别位于站控层和间隔层。

软件工具包括 IEC 61850 客户端监控软件、IEC 61850 服务器端模拟器、协议分析工具(KEMA UniCA 61850)、系统配置工具、IED 配置工具。

(2) 提交测试所需设备及文件。

被测方提供的文件包括 DUT 的 ICD 文件、PICS 文件和 MICS 文件。

(3) 按 IEC 61850-10 规定的步骤和方法逐项进行测试，包括肯定和否定测试。主要内容有：①文件检查和设备型号控制(DLT 860.4)；②按照标准句法(DLT 860.6)对设备配置文件进行测试；③按照设备相关的对象模型(DLT 860.74, DLT 860.73)进行配置文件测试；④按照 DL/T 860.81、DL/T 860.91 和 DL/T 860.92 进行协议栈的测试；⑤按照 DL/T 860.72 进行抽象通信服务的测试；⑥按照 DL/T 860 在通则中给出的规定，进行设备规定扩展的测试。

4.2 测试结果

选取某供电公司 2 个遵循 IEC 61850 标准的 110 kV 变电站自动化系统改造工程(简称 A 站和 B 站)为测试环境，测试内容和结果如表 1 所示。可以看出 2 站均支持多种 IEC61850 模型和服务，并且据此实现了大部分变电站自动化系统的基本功能。但是也发现各厂家在 IEC 61850 工程实践方面存在一些问题，主要包括：①对 IEC 61850 标准的理解

表 1 2 个变电站的测试结果

Tab. 1 The results of testing for two substations

主要测试内容	A 站	B 站
所支持的 IEC 61850 抽象通信服务模型	服务器、应用关联、逻辑装置、逻辑节点、数据集、定值控制块、带缓存报告控制块、不带缓存报告控制块、增强安全型的先选择后操作控制模型(SBOW)、时钟同步模型(SNTP)	服务器、应用关联、逻辑装置、逻辑节点、数据集、数据集、带缓存的报告控制块、不带缓存的报告控制块、增强安全型的先选择后操作控制模型(SBOW)
IEC 61850 相关的站控层功能	实时数据处理、事件顺序记录、人机交互界面、SNTP 对时	实时数据处理、事件顺序记录、人机交互界面
IEC 61850 相关的间隔层功能	实时数据上送、遥控操作、定值操作、SNTP 对时、系统运行状态检测	实时数据上送、遥控操作、系统运行状态检测
IEC 61850 相关的工程化管理	数据集模型管理、报告控制块管理、SBOW 控制模型	数据集模型管理、报告控制块管理、SBOW 控制模型、系统配置文件解析

差异,例如数据属性名和类型与标准不一致;②部分功能仍采用传统的通信方式实现;③配置工具的使用与 IEC 61850 标准的描述有差距;④对逻辑节点的扩充和使用存在私有性,对互操作性造成一定影响等。

5 结论

一致性测试是检验 IED 互操作性能的必要手段,并且测试方案必须与工程实际相结合。对 2 个典型变电站的测试结果表明,自主研发的测试软件运行稳定、结论可靠,具有良好的互操作性。

由于目前 ECT/EPT 的应用尚不成熟,大多数 IEC 61850 标准的工程实践是在传统过程层设备与新型间隔层 IED 及站控层的基础上完成,因此本文所述系统未包含过程层 IED 的仿真和测试功能。随着 IEC 61850 标准的深入研究以及智能一次设备的推广应用,增加合并单元和智能断路器控制器等模拟功能^[14-15],将是下一步的工作重点。

参考文献

- [1] 刘国定,辛耀中,李泽. 我国电力系统控制及其通讯标准化工作概况[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(14): 59-64.
Liu Guoding, Xin Yaosheng, Li Ze. Survey on the standard for power system control and associated communication in China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(14): 59-64(in Chinese).
- [2] 谭文恕. 变电站通信网络和系统协议 IEC 61850 介绍[J]. 电网技术, 2001, 25(9): 8-15.
Tan Wenshu. An introduction to substation communication network and system: IEC 61850[J]. Power System Technology, 2001, 25(9): 8-15(in Chinese).
- [3] CSBTS/TC82, IEC 61850 变电站通讯网络和系统系列标准[S].
- [4] 吴在军,胡敏强. 基于 IEC 61850 标准的变电站自动化系统研究[J]. 电网技术, 2003, 27(10): 61-65.
Wu Zaijun, Hu Minqiang. Research on a substation automation system based on IEC 61850[J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 61-65(in Chinese).
- [5] 何卫,徐劲松. IEC60870-5-6 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 Jinsong. Discussion on IEC 60870-5-6 conformance testing[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(15): 78-79(in Chinese).
- [6] Spelt H, Kema Consulting, Baumann R, et al. Protocol conformance testing where are the benefits for the utilities[C]. CIGRE D2, Cuernavaca, Mexico, 2005.
- [7] Brand K P, Janssen M. The specification of IEC 61850 based substation automation systems[C]. DistribuTech Conference, San Diego, Chile, 2005.
- [8] 兰森林,张沛超. 基于 SCL 模型的 IED 配置器的设计与实现[J]. 继电器, 2005, 33(12): 48-51.
Lan Senlin, Zhang Peichao. Design and implementation of IED configurator based on SCL model[J]. Relay, 2005, 33(12): 48-51(in Chinese).
- [9] 蔡子亮. IEC61850 的配置方法探讨和 IED 配置器的实现[J]. 继电器, 2006, 34(22): 53-55.
Cai Ziliang. Design of configuring method and implementation of IED configurator based on IEC61850[J]. Relay, 2006, 34(22): 53-55(in Chinese).
- [10] 张仕,毛宇光. XML 语法检查的实现[J]. 计算机工程与设计, 2002, 23(11): 86-90.
Zhang Shi, Mao Yuguang. Implementation of XML parser [J]. Computer Engineering and Design, 2002, 23(11): 86-90(in Chinese).
- [11] 范建忠. 基于 IEC61850 标准的变电站监控系统数据模型的建立与通讯实现[D]. 北京: 中国电力科学研究院, 2005.
- [12] Mesmaeker I D, Rietmann P, Brand K P, et al. Practical considerations in applying IEC 61850 for protection and substation automation systems[C]. The 2nd GCC Cigre International Conference and Exhibition for Electric Power Generation, Transmission and Distribution, Doha, Qatar, 2005.
- [13] IEC 61850-10, Communication Networks and Systems in Substations, Part 10 Conformance Testing[S].
- [14] 李永亮,袁志雄,陈斌,等. 对基于 TCP/IP 的 IEC 61850 特定通信服务映射 MMS 的分析与实现[J]. 电网技术, 2004, 28(24): 33-38.
Li Yongliang, Yuan Zhixiong, Chen Bin, et al. Analysis and implementation of TCP/IP based specific communication service mapping MMS in IEC 61850[J]. Power System Technology, 2004, 28(24): 33-38(in Chinese).
- [15] Mackiewica R. IEC 61850: application migration conformance and interoperability testing[C]. International Conference of IEC 61850, Beijing, China, 2005.

收稿日期: 2007-02-07。

作者简介:

徐娟萍(1970—),女,高级工程师,主要从事电力自动化系统的运行工作;

穆国强(1956—),男,高级工程师,主要从事电力自动化系统的运行与管理工作;

王庆平(1975—),男,博士,高级工程师,主要从事继电保护和输变电自动化技术的研究工作, E-mail: wangqp@epri.ac.cn;

李兰欣(1976—),女,工程师,研究方向为输变电自动化系统;
万博(1979—),女,工程师,主要从事输变电自动化系统的研究与开发工作;

王慧铮(1981—),女,工程师,主要从事输变电自动化系统的研究与开发工作。

(实习编辑 李兰欣)