

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.01.012

# IEC 61850 一致性闭环测试系统硬件平台设计

魏博渊<sup>1,2</sup>, 郑永康<sup>1</sup>, 蔡钢<sup>1</sup>, 付毅东<sup>1</sup>, 陆承宇<sup>3</sup>, 孟雷<sup>1</sup>, 陈迟<sup>1</sup>

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072;

2. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031;

3. 国网浙江省电力公司电力科学研究院, 浙江 杭州 310000)

**摘要:** IEC 61850 一致性测试是保证智能变电站内部设备之间互操作性的重要环节。随着智能电网的发展, 智能变电站内部的智能设备数量大幅增加, 传统的一致性开环测试具有操作繁琐、缺乏闭环测试、效率较低等缺点。采用闭环测试的方法, 使测试平台采用 SV、GOOSE、MMS 等报文, 自动逐条运行测试例, 并对受测设备的对应反馈进行分析, 给出判断结果, 可提高效率和灵活性。一致性闭环测试系统的软件平台通常运行于 PC 等同架构设备下, 其报文通信能力和测试环境的模拟能力均有所不足。根据一致性闭环测试的要求, 针对测试系统所需硬件辅助平台进行了基于多处理器 ARM 架构的硬件平台设计, 并通过算例验证证明了硬件平台的可靠性和实用性。

**关键词:** IEC 61850; 一致性测试; 智能变电站; 硬件平台设计; 闭环测试

**Abstract:** IEC 61850 conformance test is an important procedure to ensure the interoperability among devices in intelligent substation. With the development of smart grid, the number of smart devices in intelligent substation increase rapidly. The traditional conformance test method is complicated and inconvenient. The closed-loop test method adopts the test platform with SV, GOOSE and MMS message, it can automatically run the test cases and analyze the corresponding feedback of the tested devices and determine the test results, which can improve the efficiency and flexibility. The software platform of the closed-loop test system is usually run on the PC platform, the simulation ability of its message communication and test environment is insufficient. According to the requirements of the closed-loop test, the hardware platform is designed, and its reliability and practicability are verified by the numerical examples.

**Key words:** IEC 61850; conformance test; intelligent substation; design of hardware platform; close-loop test

中图分类号: TM74 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)01-0051-03

## 0 引言

智能变电站作为智能电网的重要组成部分, 在中国智能电网建设中扮演着越来越重要的角色。随着智能变电站技术的发展, 智能变电站中的智能电子设备正逐渐向智能化、高度集成化、复杂化的方向发展<sup>[1]</sup>。在实际运行调试中, 由于智能变电站中智能电子设备的制造厂商不同, 其对 IEC 61850 标准协议的理解也有所差异。因此, 在智能变电站投运调试中, 对所安装设备进行 IEC 61850 一致性测试是设备之间能够互操作, 系统能够顺利运行的重要保障<sup>[2-3]</sup>。

一致性测试试验通常利用一组测试用例序列, 在一定的网络环境下, 对被测对象进行黑盒测

试<sup>[4]</sup>。通过比较实际输出与预期输出的异同判定受测设备对象与协议描述的一致性<sup>[5]</sup>。常规的一致性测试通常是由被测智能电子设备(intelligent electronic device, IED), 一致性测试软件系统组成。由于一致性测试作为 IED 一致性的重要判据, 一致性测试系统的严谨性、全面性以及可靠性, 将直接关系到 IED 产品乃至整个智能变电站系统的质量和效能。一个严谨可靠的闭环一致性测试系统的重要性尤其突出。典型的一致性测试软件系统可包含上百个测试用例, 各测试用例对测试系统和模拟环境的需求各不相同。因此, 一个可靠、接近实际工况的运行模拟环境是一致性测试算例顺利运行的必要条件。传统的一致性测试软件一般运行于普通 PC 或相近架构的设备上, 受制于 PC 架构的局限性, 软件平台通常无法为受测 IED 模拟一个完善的测试环

境,这会降低一致性测试的可靠性与适应性。因此,一个能向被测 IED 提供可靠测试环境的一致性测试硬件平台将具有较高的实用性和必要性<sup>[6]</sup>。

一致性闭环测试是指一致性测试平台在向被测 IED 模拟特定运行状态进行测试时,借助 SV、GOOSE、MMS 等报文,对被测 IED 的输出进行评估与分析,并自动将结果与预期输出进行异同判定,给出对应的测试结果。

由于常规 PC 架构和基本配置所限,无法直接与受测设备进行 SV、GOOSE 报文的通信(SV 报文对采样点频率要求过高,GOOSE 报文在借助光电转换器时可以支持),引入配套的一致性硬件测试平台的必要性进一步上升。一致性硬件平台主要用于与受测设备进行 GOOSE 和 SV 报文通信,并协助一致性测试软件平台进行某些测试项目必须的激励输出,并将受测设备的相关输出信息回送一致性测试软件平台,从而对智能变电站进行可靠、高效率的 IEC 61850 一致性测试。

## 1 一致性测试硬件平台

IEC 61850 一致性测试硬件平台在一致性测试中主要用于接收一致性测试软件平台通过以太网发来的指令和报文,并通过 SV 报文和 GOOSE 报文与受测设备进行通信,协助一致性测试软件平台对受测设备进行 SV 和 GOOSE 协议测试,并将相应数据报告通过以太网回送软件平台,从而实现整个系统对受测设备的闭环测试。

### 1.1 一致性测试硬件平台结构设计

一致性测试硬件平台的设计应在满足基本工作要求的基础上,充分考虑与一致性硬件平台的协同工作适应性以及日后扩展的需要。随着智能变电站的发展,其需要进行一致性测试的智能电子设备数量急剧增长,因此,一致性测试硬件平台应考虑同时对多个受测 IED 进行测试的情况。对于一致性测试软件平台而言,其可以在执行一个算例的情况下,借助一致性测试硬件平台,同时对若干个受测设备进行一致性测试,这将会极大地提升一致性测试的效率。在结构设计中引入多 CPU 结构,既可以克服现有技术中测试装置自动化程度不足,无法灵活搭建测试逻辑的问题,又可提高性能,节约测试成本。

基于以上目的,一致性测试硬件平台基于嵌入式 ARM 平台设计,其设计结构如图 1 所示。

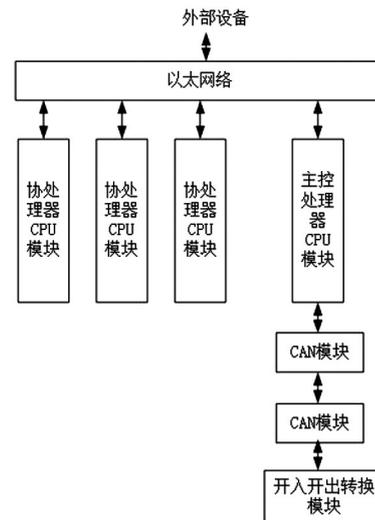


图 1 一致性测试硬件平台架构图

该一致性测试硬件平台包括 1 个主控 CPU 模块和 3 个协处理器模块。主控 CPU 模块负责接收协处理器传来的 GOOSE、SV 等信息,同时接收开入开出转接模块传来的遥信量信息和开出信息,运行测试逻辑程序。同时还负责通过以太网模块处理与测试仪外部的通讯,输出测试结果。主控 CPU 模块通过以太网模块同 3 个协处理 CPU 模块相连,同时还与主控 CPU 侧的 CAN 模块相连。

协处理器主要负责收集处理 GOOSE、SV 信息,与受测设备进行 GOOSE、SV 协议通信并同时处理过的信息传送到主控 CPU 模块,协处理器 CPU 模块通过以太网模块同主控 CPU 模块互联。

开入开出转接模块主要用于一些传统 IED 设备的测试中。其主要负责将测试平台外部的物理开入转换为数字开入量并通过控制器局域网(controller area network, CAN)总线模块上送至主控 CPU 模块,同时将主控 CPU 传来的出口命令转换为实际的物理开出输出。开入开出转接模块在结构上与开入开出转接模块侧的 CAN 总线模块互联。

CAN 总线被用于连接主控 CPU 和开入开出转接模块,负责系统内部信息交换。以太网模块同时连接主控 CPU 模块、3 个协处理器 CPU 模块以及测试仪外部以太网,负责测试仪内部主从 CPU 之间的高速信息交换以及同测试仪外部的网络通信。整个硬件平台的内部通信全部由以太网和 CAN 总线承担。

### 1.2 一致性测试硬件平台的实现

在实际工程中,主 CPU 可选用 TI 公司生产的双核处理器 OMAP - L138 ,该 CPU 包括 1 个 ARM 核和 1 个 DSP 核,主频约 400 MHz。协处理器采用和主控 CPU 一样的配置。其典型内部结构模型如图 2 所示。

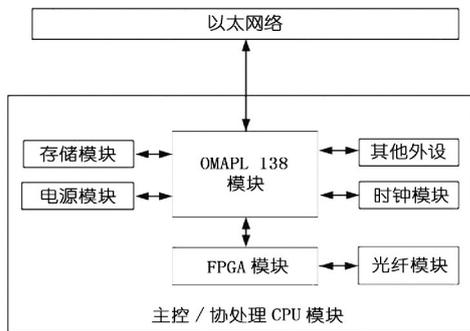


图 2 一致性硬件测试平台 CPU 架构图

一次典型的一致性闭环测试过程如下:

一致性闭环测试软件平台执行算例,通过以太网网络将可直接完成部分送至受测 IED,将需要辅助进行的算例部分用内部协议送至主控 CPU,主控 CPU 按预设对算例进行分析执行,将所需开出通过 CAN 模块和开入开出转换模块送至受测 IED(若此次算例执行有此需求)。外部 IED 的 GOOSE 和 SV 信息通过以太网网络模块进入到协处理 CPU 模块,协处理 CPU 模块按照软件设定分别处理各自对应 IED 的 GOOSE 及 SV 信息,同时将处理过的数据通过内部以太网送至主控 CPU。开入开出转接模块将外部物理开入通过 CAN 模块送到主控 CPU 中。主控 CPU 运行测试逻辑程序,综合判别 3 个协处理 CPU 模块上送的 GOOSE、SV 信息以及开入开出转接模块的上送信息,综合这些信息进行判定。主控 CPU 模块进行综合信息判别完成一致性比对后,通过以太网网络将结果输出至一致性测试软件平台,完成一次典型的一致性闭环测试。

## 2 运行测试

图 3 和图 4 分别展示了一致性闭环测试平台使用硬件测试平台之前和之后的平台结构示意图。

从图 3 和图 4 中可以看出,在添加一致性测试硬件平台之前,仅凭一致性测试软件平台虽然也能进行相关闭环测试,但由于缺乏硬件平台和相关通信协议的支持,难以进行 GOOSE 和 SV 等报文协议的通信以及相关测试项的执行。在一致性测试硬件平台的辅助下,新的一致性闭环测试系统将可以对

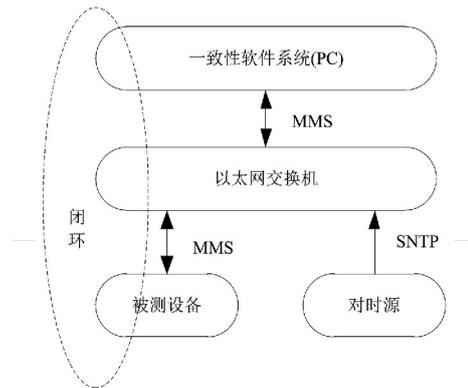


图 3 不含硬件平台的一致性测试系统

受测 IED 进行更全面的一致性测试,其测试范围和能力将涵盖整个 IEC 61850 测试算例项,并可以根据用户自行调整的算例,进行其他相关兼容标准的测试和运行,同时,使得一致性闭环测试系统同时对几个受测设备进行一致性自动闭环测试成为了可能。这极大地增强了一致性闭环测试系统的全面性和兼容性,提高了测试效率,为 IEC 61850 在中国的推广以及智能变电站在中国的发展奠定了坚实的基础。

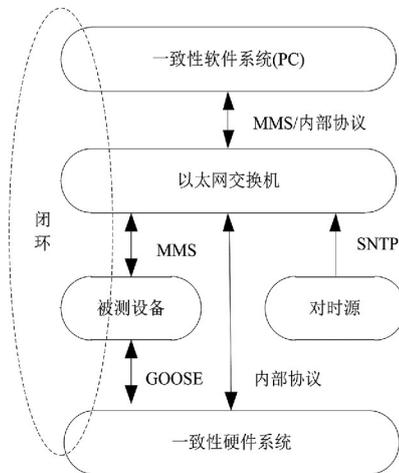


图 4 含硬件平台的一致性测试系统

系统测试采用某厂家生产的智能母线保护设备,测试算例采用 IEC 61850 协议指导手册中的 GOOSE 协议测试项。采用 GOOSE 协议测试项可以最大程度地测试一致性闭环测试软件平台和硬件平台的协作能力,其站控层 GOOSE 测试结果如图 5 所示。

由图 5 可以看出,测试顺利进行,受测设备通过了测试。

过程层 GOOSE 测试的结果如图 6 所示,可以看出测试顺利进行,受测设备通过了测试。通过测试算例证明了所述一致性闭环测试系统硬件平台能很好地辅助一致性闭环测试软件平台完成相关测试,并具有很好的实用性和可靠性。

(下转第 81 页)

[6] 黄炜,刘健,魏昊焜,等. 分布式光伏电源极端可接入容量极限研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(3): 22-28.

[7] 刘健,黄炜. 分布式光伏电源与负荷分布接近条件下的可接入容量分析[J]. 电网技术, 2015, 39(2): 299-306.

[8] 文升,顾洁,程浩忠,等. 分布式电源的准入容量与优化布置的实用方法[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(10): 109-114.

[9] 钟嘉庆,叶治格,卢志刚. 分布式发电注入容量与接入位置的优化配置分析[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(7): 50-55.

[10] 栗然,马慧卓,祝晋尧,等. 分布式电源接入配电网多目标优化规划[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(1): 6-13.

[11] 孙芊,王倩,杨利萍,等. 针对分布式光伏接入的配电网改造方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(5): 60-65.

[12] 沈欣炜,朱守真,郑竞宏,等. 考虑分布式电源及储能配合的主动配电网规划-运行联合优化[J]. 电网技术, 2015, 39(7): 1913-1920.

[13] 赵波,张雪松,洪博文. 大量分布式光伏电源接入智能配电网后的能量渗透率研究[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(8): 95-100.

[14] 杨杉,同向前,刘健,等. 含分布式电源配电网的短路电流计算方法研究[J]. 电网技术, 2015, 07: 1977-1982.

[15] 鲍薇,胡学浩,何国庆,等. 分布式电源并网标准研究[J]. 电网技术, 2012, 36(11): 46-52.

[16] Q/GDW 480-2010. 分布式电源接入电网技术规定[S].

作者简介:

吴骏(1966),高级工程师,长期从事电网管理、规划、基建工作。

(收稿日期: 2015-09-15)

(上接第53页)

```
##### 09 GOOSE-E42 (站控层GOOSE测试第二版) #####
< TestCase_sGop5 >
TestCase_sGop5
返回值 1 !
##### 09 GOOSE-E42 (站控层GOOSE测试第二版) 结束 #####

##### 09 GOOSE-E42 (站控层GOOSE测试第二版) #####
< TestCase_GosN1 >
TestCase_GosN1
Missing GOOSE message
开始时间: 08-18 12:31:14
#####

goose文本初始化成功!

设置stnum为:1 Snum为:1
正在发送报文, 请等待 6 秒...

设置stnum为:2 Snum为:1
正在发送报文, 请等待 6 秒...

退出goose发送
结束时间: 08-18 12:31:46
返回值 1 !
##### 09 GOOSE-E42 (站控层GOOSE测试第二版) 结束 #####
```

图5 站控层 GOOSE 测试

```
##### 14 GOOSE (过程层GOOSE测试) #####
< TestCase_GosN4 >
Testcase_GosN4
Out-of-order GOOSE message
开始时间: 08-18 18:31:00
#####

goose文本初始化成功!

设置stnum为:1
正在发送报文, 请等待 6 秒...

设置stnum为:2 Snum为:1
正在发送报文, 请等待 6 秒...

设置stnum为:3 Snum为:0
正在发送报文, 请等待 6 秒...

设置stnum为:4 Snum为:2
正在发送报文, 请等待 6 秒...

设置stnum为:5 Snum为:3
正在发送报文, 请等待 6 秒...

退出goose发送
结束时间: 08-18 18:31:32
返回值 1 !
##### 14 GOOSE (过程层GOOSE测试) 结束 #####
```

图6 过程层 GOOSE 测试

### 3 结 语

一致性测试是智能变电站内部智能电子设备互

操作的重要保障。基于闭环的一致性测试能够在保证测试可靠性和稳定性的基础上大幅提高测试效率;一致性测试硬件平台的引入,可以使得针对智能变电站的 IEC 61850 一致性测试更加全面和接近真实工况,能够进一步提升一致性测试的可靠性和效率。这一改进能够促进智能变电站在中国的发展以及 IEC 61850 标准在中国的推行,为智能电网在中国的发展奠定坚实的基础。

### 参 考 文 献

[1] 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): 80-83.

[2] Tan J, Zhang C, Bo Z. The Importance of IEC 61850 Interoperability Testing [C]. Proceedings of the Universities Power Engineering Conference, UPEC 43rd International, IEEE, 2008: 1-5.

[3] 王德文,阎春雨,毕建刚,等. 变电设备在线监测系统中 IEC 61850 的一致性测试 [J]. 电力系统自动化, 2013, 2(19): 79-85.

[4] 王伊晓,刘东,陆一鸣,等. IEC 61968 消息一致性测试方法研究与实现 [J]. 电网技术, 2014, 38(10): 2802-2809.

[5] 韩国政,徐丙垠,吕广宪,等. 基于 IEC 61850 的配网自动化通信技术研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(2): 62-66.

[6] 辛耀中,王永福,任雁铭. 中国 IEC 61850 研发及互操作试验情况综述 [J]. 电力系统自动化, 2007, 31(12): 1-6.

(收稿日期: 2015-11-12)