

面向服务端的变电站自主可控站控层 服务协议一致性测试技术

郑明忠¹, 卜强生¹, 高磊¹, 彭志强¹, 张琦兵², 盛福³

(1. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103;

2. 国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京 210024;

3. 东方电子股份有限公司, 山东 烟台 264000)

摘要:变电站二次系统通信报文规范(CMS)协议定义了将IEC 61850标准中抽象通信服务接口直接映射到传输控制协议/网际协议(TCP/IP)进行数据交换的方法,实现了对制造报文规范(MMS)的替代。为了实现变电站二次系统CMS协议的推广应用,需要开展一致性测试。在深入理解二次系统CMS协议编码规则的基础上,分析了其与MMS的区别,面向扩展服务设计了测试用例,提出了基于协议插件的二次系统CMS协议一致性测试方法。基于所提一致性测试方法,开发了一致性测试工具,并将其应用于自主可控变电站二次设备出厂验收,提升了一致性测试效率,保证了一致性测试的准确性与可靠性。

关键词:IEC 61850标准;变电站;站控层服务协议;一致性测试;MMS;CMS

中图分类号:TM 73

文献标志码:A

DOI:10.16081/j.epae.202205024

0 引言

IEC 61850是智能电网以及智能变电站的核心标准,在我国的智能输变配电领域得到了广泛的应用^[1-2]。IEC 61850标准中定义的抽象通信服务接口ACSI(Abstract Communication Service Interface)可以映射到许多的协议^[3-4],目前我国的变电站站控层通信协议映射到制造报文规范MMS(Manufacturing Message Specification),但是存在很多的问题^[5-6],例如:MMS的开发包严重依赖国外收费的软件包,导致核心技术受制于人;MMS的设计复杂,导致传输以及开发效率低。针对上述问题,文献[7]提出了变电站二次系统通信报文规范CMS(Communication Message Specification),实现了IEC 61850通信协议栈的完全自主可控。在通信服务映射的实现方面,CMS协议直接将ACSI映射到传输控制协议/网际协议TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)协议栈,以提升服务的性能;基于IEC 61850-7-2标准化ACSI的语法定义^[8],增加了安全认证,保证了客户端与服务端双方通信的安全,弥补了服务端对主站的支撑服务。在编码方面,CMS协议采用抽象记法1 ASN.1(Abstract Syntax Notation dot one)的压缩编码规则PER(Packed Encoding Rule)方式,以增强编/解码以及数据传输的效率^[9]。

CMS与MMS都是基于IEC 61850-10^[10]进行一

致性测试的。与MMS软件包类似,前期我国检测机构较依赖于国外的MMS一致性测试工具(如DNV公司的UniCA sim61850simulator),该工具的使用成本高,同时所有测试用例采用VB编写且完全开源,测试用例不包含硬件设备的调用接口,自动化程度不足,被测智能设备和测试软件系统之间没有形成完全闭环,测试过程中需要测试人员手动调整多种物理量,影响了测试的效率。据此,我国开展了基于MMS的一致性测试系统的研究与开发^[11-12],基于Python脚本开发,封装了测试用例库,实现了一致性软硬件的闭环测试,所涉及的软件框架主要包括模型解析、测试用例模块、系统配置模块等^[13]。在已有关于MMS一致性测试工具研究的基础上,本文根据CMS的报文编码规则特点,研究基于协议插件的CMS一致性测试技术。

CMS与MMS是ACSI在底层通信协议映射的不同实现,本文分析了CMS与MMS协议的重要区别;对于部分扩展服务进行测试用例设计;同时,复用已有MMS基于Python开发的测试用例脚本,设计了基于协议插件的CMS一致性测试方法,减少二次代码开发,该方法利用基于第三方开源库的协议插件,更完整地对比CMS语法结构进行校验,实现了从用例逻辑到语法、语义的全面测试;最后,基于该软件框架,研发了CMS一致性测试工具,为变电站站控层CMS实用化提供技术保障。

1 MMS与CMS的区别

MMS与CMS都是基于IEC 61850标准将ACSI信息模型和服务映射到底层的通信协议^[14]。在实践

收稿日期:2021-09-18;修回日期:2022-03-16

在线出版日期:2022-04-13

基金项目:国家电网公司科技项目(5108-202018037A-0-0-00)

Project supported by the Science and Technology Program of SGCC(5108-202018037A-0-0-00)

与应用过程中,IEC 61850 映射到 MMS 与映射到 CMS 有较大的不同。

1.1 特定通信服务映射与模型映射

ACSI 自身不具备通信功能,没有特定的报文格式和编/解码语法,不能直接用于信息交换,需通过特定通信服务映射 SCSM (Specific Communication Service Mapping) 映射到底层通信协议。CMS 对于 MMS 的替代,两者之间的最大区别体现在如下方面。

MMS 协议需要对 IEC 61850 原有的模型与服务分别进行映射,需要对多个 ACSI 中的服务与 IEC 61850 中的模型进行分解并分别映射到某几个服务与模型上。CMS 则是实现 ACSI 服务一一映射,在底层通信协议上将 ACSI 直接映射到 TCP/IP,在信息模型上则是直接应用 IEC 61850 信息模型,无需进行转换。MMS 需要通过服务+模型的方式区分 ACSI 服务,而 CMS 则通过应用协议控制头 APCH (Application Protocol Control Header) 的服务码 SC (Service Code) 进行服务区分。例如:MMS 需要通过有名变量中的路径形式(如逻辑节点 LN(Logical Node)路径或数据对象 DO(Data Object)路径)与 MMS 自身的读服务实现 ACSI 的 GetLogicNodeDirectory 与 GetDataDirectory 服务;在控制类的服务中,需要新增 SBOw、Oper、Cancle 等 DO,与 MMS 的写服务共同实现 ACSI 中的 Select-WithValue、Operate、Cancel 等服务。

CMS 将 ACSI 直接映射到 TCP/IP 传输协议子集,无需进行中间的协议转换(如 MMS),所有设备厂家均可按照 ASN.1 语法文件以及 PER 进行协议开发,无需依赖国外的 MMS 软件开发包。CMS 进行 ACSI 的直接映射,所有服务都与 ACSI 中的服务一一对应,包括关联、服务器/逻辑设备 LD(Logical Device)/LN、数据、数据集、定值、报告等,同时为了提高通信效率并实现远程调用,进行了部分服务的扩展。

将模型 DO 共同映射到 MMS 中的有名变量,在生成有名变量结构体时,映射算法会根据功能约束 FC(Functional Constraint),对 LN 中所有相同的 FC 数据属性进行重组,构成结构体成员,即在树形结构上 FC 高于 DO。关于 CMS 没有数据模型映射的问题,为了提高通信效率,扩展读所有数据定义的服务,可以实现某个 LD 或者 LN 下全部数据定义的一次性上送,此时在树形结构上 FC 低于 DO。在线初始化的过程中,通过 Wireshark 进行报文解析时,CMS 数据结构更贴近 ACSI 原始模型结构。MMS 与 CMS 映射上的具体区别如图 1 所示。

1.2 控制服务

MMS 进行了控制 FC 的扩展,通过 write 服务+信息模型扩展(对 Pos 进行扩展,增加了 SDI SBOw)实现了 ACSI 中带值选择服务映射;而 CMS 无需进行控制 FC 扩展,其自身具备 SelectWithValue 等控制服

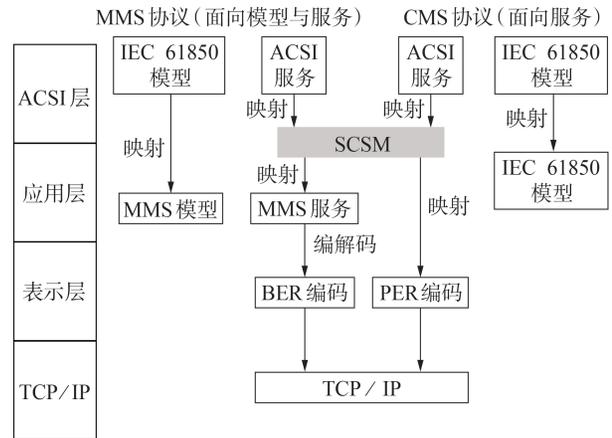


图1 MMS与CMS映射上的具体区别

Fig.1 Specific differences in mapping between MMS and CMS

务,而控制服务本身的控制对象为 DO(如 Pos),在执行服务时无法确认 Pos.ctlVal的数据类型,为此,需要通过读数据定义 GetDataDefinition 服务的 response+中返回 CDCType 获取 ctlVal 的数据类型。

1.3 心跳报文

在 MMS 中,只有客户端能够监视服务端的通信是否中断,具体方式是通过某些读服务(如读数据值服务)实现的,客户端每隔一段时间发送读服务检查服务端是否返回;而 CMS 扩展了 TEST 服务,该服务仅有 APCH,不包含应用服务数据单元 ASDU(Application Service Data Unit),同时能够供服务端进行客户端当前通信状态的判断。

1.4 远程过程调用

CMS 定义了一组扩展服务用于实现远程调用,该组服务是一种通用化、自描述的接口和方法调用机制,可由客户动态获取接口和方法定义,根据定义动态组织发送数据并对返回的结果进行自动解析。主要包括读远程调用接口目录服务、读远程调用方法目录、读远程调用接口定义等。

1.5 关联协商

MMS 将 ACSI 中的关联服务直接映射到 MMS 的 Initiate 服务中,在 Initiate 服务中进行 PDU size 以及所支持服务的协商;而 CMS 中拆分了关联服务和关联协商服务,关联协商服务不返回所支持服务类型,仅进行客户端与服务端之间 APDUsize 与 ASDUsize 的协商。

1.6 其他区别

1) CMS 还扩展了其他少量服务,提高了交互效率,如:读所有控制块值服务 GetAllCBValues,列文件目录服务 GetFileDirectory。

2) CMS 的 Reference 采用 LD / LN.DO.DA 形式,而非 MMS 的 LD / LN\$FC\$DO\$DA 形式。

3) CMS 无扩展的控制块 DO。

4) CMS 无扩展的控制 FC、缓存报告 FC、非缓存报告 FC、日志 FC、通用面向变电站事件对象控制 FC、通用变电站状态事件控制 FC、采样值 FC、多播采样值控制 FC、单播采样值控制 FC。

5) CMS 中 SeriveError、AddCause 等 ENUMERATED 类型数据的取值不同。

2 CMS 一致性测试

IEC 61850 服务器一致性测试是智能电网中产品检测的必测项目,能否通过服务器一致性检测也是所有厂家互操作的基本要求。我国厂家主要根据《电力自动化通信网络和系统 第 10 部分:一致性测试》开展一致性测试。

一致性测试面向不同通信服务(如关联协商、关联、服务器/LD/LN、数据、数据集等)中的业务逻辑(可以是服务参数,也可以是服务交互逻辑)开展测试。除了关联协商等扩展服务,一致性测试主要是面向 ACSI 的一致性测试,与具体的 SCSM 是弱相关的,但 CMS 通信协议还需要验证传输应用层协议语法、语义的正确性。

2.1 基于 Python asn1tools 的底层编码/解码调用

CMS 在遵循 PER^[15]的基础上对 ACSI 进行具体实现,ACSI 原生接口与 PER 构成了 CMS 的语法,基于变电站的信息模型(包括全站系统配置 SCD(Substation Configuration Description)文件、IED 实例配置 CID(Configured IED Description)文件、IED 能力描述 ICD(IED Capability Description)文件等)传递具体信息内容以构成 CMS 的语义。

CMS 无需考虑向其他协议进行映射,在实现方面主要考虑语法的编码/解码,据此可以应用 Python 中的第三方库 asn1tools 实现底层服务协议开发,应用库中返回的错误原因进行语法的一致性测试,具体步骤如下:

- 1) 根据 CMS 组装 ASN.1 文件模块;
- 2) 导入 ASN.1 文件;
- 3) 调用 asn1tools 进行数据编码/解码。

将数据传入 Python,将其映射到 Python 相应的数据类型,最终实现数据的解析。在 CMS 中存在大量的数据结构,例如 sequence、sequence of、bit string、octet string 等,将其映射到 Python 相应的数据结构^[16-17],如表 1 所示。

表 1 数据结构映射

Table 1 Data structure mapping

| 序号 | CMS 数据结构 | Python 数据结构 |
|----|---------------|-------------------|
| 1 | SEQUENCE | dict |
| 2 | SEQUENCE OF | list |
| 3 | CHOICE | tuple |
| 4 | VisibleString | str |
| 5 | UTCTime | datetime.datetime |

asn1tools 能够实现语法、语义的测试,当编码/解码失败时,会返回 Ecoderror / Decoderror 以及失败原因。在 CMS 的语法一致性测试的基础上,根据导入的信息模型,解析配置文件,并对模拟器与被测设备信息交互报文进行语义一致性测试,语义一致性测试 ACSI 传递参数是否与信息模型完全一致。

目前,CMS 还在不断地更新迭代,通过 ASN.1 语法文件导入+第三方库 asn1tools 这种方式可大幅减少底层代码的重复开发。

2.2 CMS 一致性测试用例

目前,MMS 一致性测试用例主要参照文献[18]设计,CMS 一致性测试用例与 MMS 的主要区别在于底层编码,而上层业务逻辑与交互机制并未发生变化,因此可以复用多数公用事业通信架构(UCA)测试用例,对于少量扩展的服务而言,需要重新设计测试用例。

对于读所有数据定义服务、读所有控制块值服务、列文件目录服务、远程过程调用系列服务以及 Test 服务,虽然均为扩展后的服务,但是根据一致性测试用例的设计思想,可以套用其他测试用例的设计思路进行测试用例设计。

对于关联协商服务,其涉及应用协议数据单元(APDU)与 ASDU 是否协商生效以及协商如何设计能使其进行分帧传输问题,需要对其测试用例进行设计。关联协商服务测试用例的设计流程图见图 2。图中:条件①是为了保证最终的报文能够分帧传输;条件②和条件③是为了保证客户端去协商是有效的协商,是一个边界条件。具体步骤如下:

- 1) 在线用 APDU、ASDU 最大值在线协商方式获取被测设备(DUT)所支持的 APDU 与 ASDU 大小 APDU_DUT、ASDU_DUT;
- 2) 通过不同大小的 APDU(APDU_new1、APDU_new2)、ASDU 与 DUT 进行协商,检查协商结果是否正确;
- 3) 通过读所有数据定义服务,获取某 LD 下的所有数据定义,并获取当前的 ASDU_SUM 大小;
- 4) 应用 ASDU_new1、APDU_new3 与 DUT 关联协商,其中 $30 < \text{APDU_new3} < \text{ASDU_new1} < \text{ASDU_SUM}$;
- 5) 通过读所有数据定义服务(当 $\text{APDU} < \text{ASDU}$ 时,应分帧传输),获取该 LD 下的所有数据定义,检查 DUT 是否按要求进行分帧传输。

3 一致性测试工具

根据《电力自动化通信网络和系统第 10 部分:一致性测试》,一致性测试工具的最小功能配置包括:①客户端模拟器,用于关联和产生双边应用关联 TPAA(Two Party Application Association)报文;②

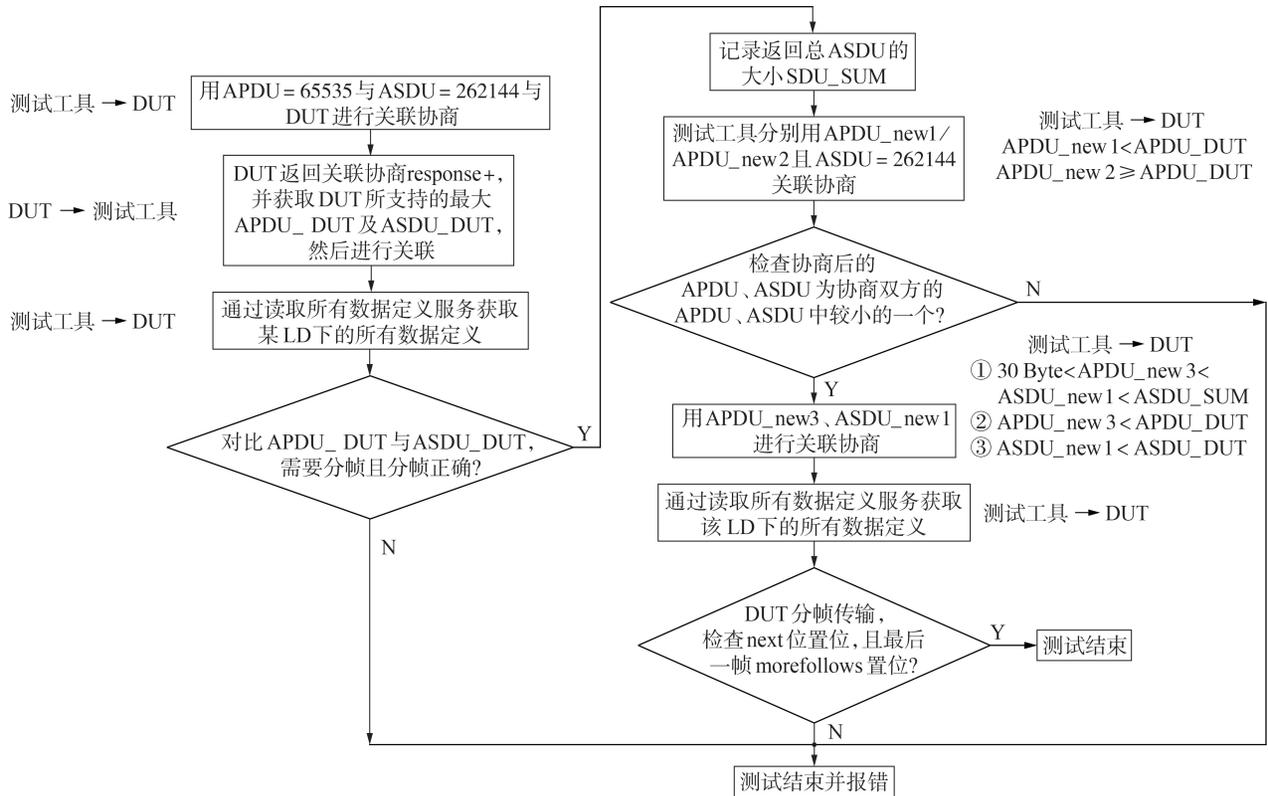


图2 关联协商服务测试用例的设计流程图

Fig.2 Flowchart of designing association negotiation service test case

测试主机,用于启动/停止测试用例、分析和记录测试结果;③协议分析仪,用于存储所有测试用例的通信网络的信息;④信号发生器,用于由测试主机或测试工程师控制产生数字量和模拟量的事件。基于此,设计一致性测试工具。

目前已有基于Python脚本实现MMS的一致性测试工具的应用与一致性检测。测试用例脚本库经过IEC 61850的大量检测,应用已相对成熟。

3.1 支持协议插件的一致性测试工具设计

CMS测试用例脚本应用协议插件设计思路,可复用多数MMS一致性测试用例脚本^[12],减少用例脚本的重复开发。

目前,MMS一致性测试主要采用跨平台语言QT、Python脚本、动态链接库实现,其中动态链接库封装了MMS,即对MMS的映射以及基本编码规则BER(Basic Encoding Rule)的解码与编码进行封装^[11-13]。通过协议插件的软件框架复用了Python脚本库,可实现测试用例脚本的逻辑调用。软件开发上重新应用ACSI抽象服务设计思维,在底层通过协议选择开关选择不同的协议插件进行一致性测试。基于协议插件的一致性测试切换过程见图3。

基于协议插件的形式对ACSI与具体映射进行解耦,满足支持不同版本产品同时测试的需要。支持协议插件的通信协议测试技术以测试用例为对象,采用面向对象技术开发的测试代码,利用系统引

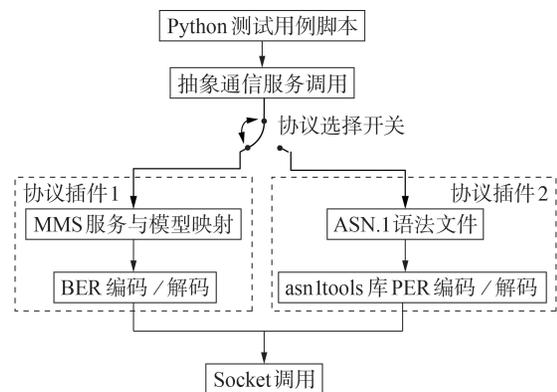


图3 基于协议插件的一致性测试切换过程

Fig.3 Switching process of consistency testing based on protocol plugins

擎控制测试流程完成自动测试。对于功能相同而协议版本不同的被测设备而言,只需开发1次测试代码,代码的重复利用率高,当通信协议进行升级时,只需针对新增功能进行代码开发和系统引擎维护,可扩展性强。

3.2 一致性测试工具的架构

一致性测试工具包括软件平台与硬件平台。其中:软件平台面向测试用例进行软件功能设计;硬件平台提供模拟量与开关量输出,也支持面向通用对象的变电站事件GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)等提供数字量输出,并向软件平台提供调用接口。同时,软件平台接收外部实时,实

现与被测设备的时间同步。软件和硬件平台架构见图4。

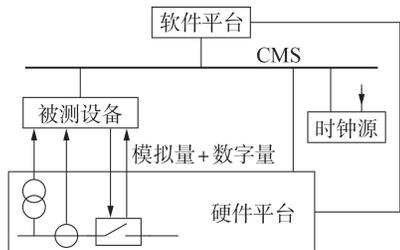


图4 软件和硬件平台架构

Fig.4 Architecture of software and hardware platform

软件平台主要包括测试用例模块、实时测试信息打印模块、状态序列模块、模型文件解析模块、测试日志模块、报文解析模块以及客户端模块,具体架构如图5所示。



图5 软件平台架构

Fig.5 Architecture of software platform

测试用例模块对测试用例库与服务接口进行抽象,以供MMS与CMS复用,测试用例脚本开放共享,使用者基于高度抽象化函数接口根据需求进行测试用例二次开发设计,构建良好的测试用例开发生态。测试用例库基于IEC 61850 Ed 2.0一致性测试用例进行扩展设计,同时复用同类型测试用例。实时测试信息打印模块不再单纯打印测试过程信息,而是将测试过程的报文与测试步骤紧密耦合,便于快速定位测试问题。状态序列模块与传统测试仪中输出序列化的电压、电流信号不同,其将通信服务接口加入测试仪输出序列中,基于此设计可灵活实现部分开环测试用例。模型文件解析模块实现对CID文件的解析与校验,在生成模型树的前提下,根据配置参数的需要对模型文件中的路径、数据类型进行分类,实现配置参数的快速检索。测试日志模块将测试日志与测试错误信息自动插入测试报告模板,实现测试报告的自动生成。报文解析模块包括MMS报文解析与CMS报文解析功能模块。客户端模块包括MMS客户端与CMS客户端,同时通过多线程设计实现至少16个客户端并发运行,根据测试用例的需要并发不同的服务。

CMS一致性测试工具根据被测设备厂家填写的标准协议实现一致性陈述PICS(Protocol Implementation Conformance Statements)、测试用协议实现额外信息PIXIT(Protocol Implementation eXtra Information for Testing)、模型实现一致性陈述MICS(Model Implementation Conformance Statements)及技术情况一致性陈述TICS(Technology Implementation Conformance Statements)文件自动生成不同测试用例的测试参数,并将其导入软件中,测试用例脚本库根据被测设备选择协议类型并调用相关协议库进行测试,根据测试用例的需要调用相关硬件进行闭环测试,在测试过程中实时抓取报文,并进行测试问题跟踪定位,最终生成标准模板测试报告。一致性测试的具体流程如图6所示。

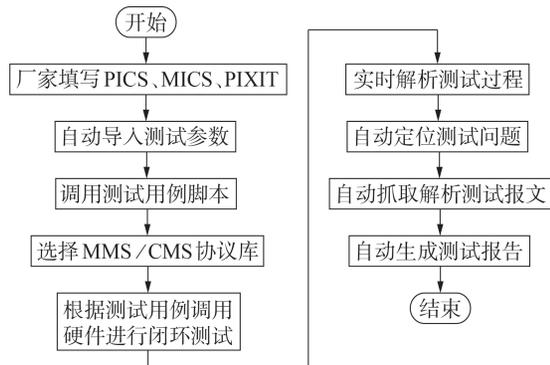


图6 一致性测试的具体流程

Fig.6 Specific process of consistency testing

3.3 现场应用

目前,CMS一致性测试工具已被应用于完成我国首套全自主可控变电站监控系统出厂验收测试,搭建的变电站监控系统出厂验收测试环境如图7所示,被测设备包括测控装置、保护装置等间隔层设备。测试用例涵盖了应用关联测试、服务器LD/LN的DO测试、数据集测试、定值组测试、报告测试、日志测试、控制测试、文件测试、取代测试。

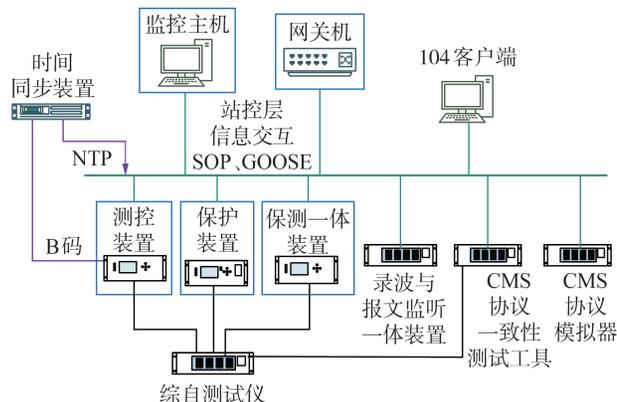


图7 测试环境

Fig.7 Test environment

应用CMS一致性测试工具开展100多项测试用例测试,通过标准化的测试来保证支持CMS协议被测设备的一致性、规范性,排除测试的随机性和盲目性,并降低冗余、减少遗漏;同时CMS一致性测试工具能使测试用例多次运行,具有可重复性,能完成人工测试因时间、运行环境而无法进行的测试,大幅提升测试效率。

但是经测试发现存在如下问题。

1)在进行应用关联测试时,客户端释放关联后,还能正常响应其他服务;客户端关联必须使用IEDname.S1进行;APDUsize与ASDUsize的协商逻辑有误。

2)在进行服务器LD/LN的DO测试时,读LD目录服务未指定ldName的情况下,返回的是LN的名称,而不是LN的引用。

3)在进行报告测试时,timeOfEntry的格式错误没有按标准要求进行了编码。

4 结论

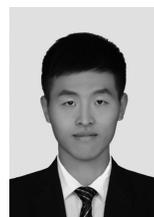
目前,CMS协议在我国已被逐步推广应用,但是我国厂商在进行CMS协议开发时仍会受MMS通信协议的影响。为此,本文详细介绍了CMS协议与MMS协议的区别,为设备厂商的开发提供参考,同时利用模块化开发的设计思想,设计了支持协议插件的一致性测试工具,该测试工具复用了MMS的测试用例,对于基于Python的MMS一致性测试工具开发者而言,可以大幅减少抽象测试用例的重复开发工作量,为一致性测试工具开发提供了良好的设计思路。

参考文献:

- [1] 任雁铭,操丰梅,张军. IEC 61850 Ed 2.0技术分析[J]. 电力系统自动化,2013,37(3):1-5,53.
REN Yanming, CAO Fengmei, ZHANG Jun. Technical analysis of IEC 61850 Ed 2.0[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(3): 1-5, 53.
- [2] 任雁铭,秦立军,杨奇逊. 变电站自动化系统通讯网络的国际标准简介[J]. 供用电,2000,17(5):50-52.
- [3] 田国政. 变电站自动化系统的通信网络及传输规约选择[J]. 电网技术,2003,27(9):66-68.
TIAN Guozheng. Selection of communication network and protocol for substation automation system[J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 66-68.
- [4] 张克刚. 61850网关外部协议解析功能研究与实现[D]. 北京:华北电力大学,2012.
ZHANG Kegang. Research and realization of the function that parsing external protocol in the 61850 gateway[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.
- [5] 陈丽华,陈小川. MMS应用于变电站自动化系统时的若干问题分析[J]. 继电器,2005,33(10):62-65,74.
CHEN Lihua, CHEN Xiaochuan. Analysis of some cases on application of MMS in substation automation system[J]. Relay, 2005, 33(10): 62-65, 74.

- [6] 王德文,朱永利,邸剑,等. 面向电力系统实时通信的MMS协议[J]. 电力自动化设备,2009,29(7):101-104.
WANG Dewen, ZHU Yongli, DI Jian, et al. MMS protocol for real-time communication in power system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(7): 101-104.
- [7] 窦仁晖,任辉,姚志强,等. 变电站国产化站控层服务协议设计[J]. 电网技术,2021,45(8):3268-3275.
DOU Renhui, REN Hui, YAO Zhiqiang, et al. Design of domestic service protocol for substation control level[J]. Power System Technology, 2021, 45(8): 3268-3275.
- [8] 国家能源局. 电力自动化通信网络和系统 第7-2部分:基本信息 and 通信结构-抽象通信服务接口(ACSI):DL/T 860.72—2013/IEC 61850-7-2[S]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [9] 国家能源局. 电力系统动态消息编码规范:DL/T 1232—2013[S]. 北京:中国电力出版社,2013.
- [10] 国家能源局. 电力自动化通信网络和系统 第10部分:一致性测试:DL/T 860.10—2018[S]. 北京:中国电力出版社,2018.
- [11] 吴栋冀,方芳,李鹏,等. 面向IEC 61850服务器一致性闭环测试系统的设计和实现(二)Ed 2.0和国内扩展应用[J]. 电力系统自动化,2016,40(24):157-163.
WU Dongqi, FANG Fang, LI Peng, et al. Design and implementation of closed-loop conformance testing system for IEC 61850 server part two Ed 2.0 and extended application in China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(24): 157-163.
- [12] 郑永康,魏博渊,舒鹏,等. 面向IEC 61850服务器一致性闭环测试系统的设计和实现(一)测试平台和Ed 1.0测试用例[J]. 电力系统自动化,2016,40(23):157-162.
ZHENG Yongkang, WEI Boyuan, SHU Peng, et al. Design and implementation of closed-loop conformance testing system for IEC 61850 server part one testing platform and Ed 1.0 test cases[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(23): 157-162.
- [13] 秦昌嵩,董腾. IEC 61850 Ed 2.0服务器一致性测试软件的设计与实现[J]. 电工技术,2020(17):126-128.
QIN Changsong, DONG Teng. Design and implement of IEC 61850 Ed 2.0 server conformance test software[J]. Electric Engineering, 2020(17): 126-128.
- [14] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 变电站通信网络和系统 第8-1部分:特定通信服务映射(SCSM)对MMS(ISO9506-1和ISO9506-2)及ISO/IEC8802:DL/T 860.81—2006[S]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [15] 何磊. IEC 61850应用入门[M]. 北京:中国电力出版社,2012:193-200.
- [16] 陈新龙. Python字典和集合[N]. 电脑报,2021-04-19(30).
- [17] 陈新龙. Python核心语法:列表、元组[N]. 电脑报,2021-04-12(29).
- [18] RICHARD S. Conformance test procedures for server devices with IEC 61850-8-1 Edition 2 interface[R]. S.I.:UCA International Users Group, 2020.

作者简介:



郑明忠(1989—),男,工程师,硕士,主要研究方向为调度自动化与综合能源协调控制(E-mail:mingzhongz@tju.edu.cn)。

(编辑 陆丹)

Consistency testing technology of autonomous and controllable substation control level service protocol for service-oriented substations

ZHENG Mingzhong¹, BU Qiangsheng¹, GAO Lei¹, PENG Zhiqiang¹, ZHANG Qibing², SHENG Fu³

(1. Electric Power Research Institute of State Grid Jiangsu Electric Power Co.,Ltd., Nanjing 211103, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Co.,Ltd., Nanjing 210024, China;

3. Dongfang Electronics Co.,Ltd., Yantai 264000, China)

Abstract: The CMS (Communication Message Specification) protocol for substation secondary system defines a method of directly mapping the abstract communication service interface of IEC 61850 standard to TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) for data exchange, and realizes the replacement of MMS (Manufacturing Message Specification). In order to realize the popularization and application of CMS protocol for substation secondary system, it is necessary to carry out consistency testing. Based on the deep understanding of CMS protocol coding rules of secondary system, the differences between CMS protocol and MMS protocol are analyzed, test cases are designed for extended services, and a consistency testing method of CMS protocol for substation secondary system based on protocol plugins is proposed. Based on the proposed consistency testing method, a consistency testing tool is developed and applied to the factory acceptance of secondary equipment in the autonomous and controllable substation, which improves the efficiency of consistency testing and ensures the accuracy and reliability of consistency testing.

Key words: IEC 61850 standard; substations; substation control level service protocol; consistency testing; MMS; CMS

(上接第 210 页 continued from page 210)

Slot potential based stator grounding fault location method for large generator

QIAO Jian¹, YIN Xianggen¹, WANG Yikai¹, TAN Liming¹, XU Wen¹, LI Wei²

(1. State Key Laboratory of Advanced Electromagnetic Engineering and Technology,

Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. Pumped-Storage Technological & Economic Research Institute of State Grid Xinyuan Company Ltd., Beijing 100053, China)

Abstract: The current stator grounding fault location methods for large generators often take the coil potential as the analysis unit, and there are theoretical errors for the short-distance winding generators. Therefore, a slot potential based stator grounding fault location method for large generator is proposed. Firstly, based on the winding connection sequence, the analytical expression of stator winding potential distribution is established with slot potential as unit. Then, different fault location schemes are adopted for whether the generator is equipped with injection stator grounding protection. If the injection stator grounding protection is equipped, the fault evaluation index is constructed based on the measured transition resistance of the injection equipment. If the injection stator grounding protection is not equipped, the third harmonic measurement value is used to construct the fault evaluation index without transition resistance. Finally, multiple virtual reference points are artificially set in the fault phase. Combined with the winding potential distribution, the fault evaluation index of each virtual reference point is calculated. The virtual reference point with the smallest calculation value is regarded as the fault location, and the slot number of the fault is determined. A quasi distributed parameter simulation model is built in PSCAD to verify the effectiveness of the proposed method.

Key words: large generator; stator grounding fault; winding potential distribution; electric fault location