

DOI: 10.7667/PSPC170011

智能变电站网管系统通信业务的自动发现的研究

孙海波¹, 徐志强², 张亮³, 高强¹

(1. 华北电力大学(保定)电气与电子工程学院, 河北 保定 071003; 2. 国网浙江省电力公司, 浙江 杭州 310007;
3. 国网绍兴供电公司, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 智能变电站“共网共口”技术要求通信网络管理具有业务报文自动识别、分类处理的功能, 通过对站内通信业务进行分析并梳理业务管理流程, 提出了智能变电站通信业务自动发现方法。定义了通用业务报文格式, 并利用终端设备对新业务报文进行解析, 提取特征信息形成业务发现报文上报网管系统, 从而完成了业务自动发现。研究了保护装置拓扑和业务的自动发现过程, 结合网管系统软件开发, 以SV/GOOSE业务为例, 实现业务的自动发现与配置, 验证了智能变电站通信业务的自动发现的有效性。结果表明, 业务自动发现可减少网管系统业务配置工作量, 方便工作人员进行业务管理。

关键词: 智能变电站; 共网共口; IEC 61850; 业务发现; 网络管理

Research on automatic discovery method of communication service in intelligent substation network management system

SUN Haibo¹, XU Zhiqiang², ZHANG Liang³, GAO Qiang¹

(1. School of Electric and Electronic Engineering, North China Electric Power University (Baoding), Baoding 071003, China; 2. State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310007, China;
3. State Grid Shaoxing Power Supply Company, Shaoxing 312000, China)

Abstract: Intelligent substation “shared-port and shared-network” technology requires the communication network management could identify and classify service message automatically. The substation communication services are analyzed and the service management flows are combed, then an intelligent substation communication service automatic discovery method is proposed. The method defines the common service message format and uses terminal devices to analyze new service messages and extracts the characteristic information, then service discovery messages are formed. System reports those messages to network management system to complete the service automatic discovery process. The relay protection device’s topology and service automatic discovery process are studied. With software development of the network management system, SV/GOOSE service is taken as an example to realize the automatic discovery and configuration of the service, verifying the effectiveness of service automatic discovery method. The results show that, through automatic service discovery, network management system can reduce service configuration workload and facilitate the staff to conduct service management.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. SGZJ0000BGJS1600324).

Key words: intelligent substation; shared-port and shared-network; IEC 61850; service discovery; network management

0 引言

当前智能变电站保护网络多采用“直采直跳”的点对点传输方式, 每一路业务流都由光纤直连,

各业务互不干扰^[1]。这种网络形式保证了继电保护业务的准确性和可靠性, 但使得网络结构复杂并造成资源浪费, 不能充分体现智能变电站“通信平台网络化、信息共享标准化”的技术特点^[2]。新一代智能变电站提出“网采网跳”的业务方式, 采用“共网共口”的传输技术, 设备的各层业务通过同一接

基金项目: 国家电网公司科技项目(SGZJ0000BGJS1600324)

口接入网络^[3-4], 既可减小通信线路投入, 又方便接线管理。“共网共口”网络结构中网络中心设备具有识别业务报文的能力并可按业务报文类型和属性设置优先级, 确保关键应用和优先级高的业务报文优先传输^[5]。共网传输使得业务路径不透明, 需网管系统进行管理, 但系统在配置时工作较繁琐, 每条业务流的标识分配、端口匹配等操作采用命令行手工配置不仅复杂且容易出错。因此, 通过对通信业务进行解析, 掌握业务映射方式、传输控制方法对于实现网络业务的自动管理有着重要意义^[6-7]。文献[8]介绍了一种应用于智能变电站业务回路的实时状态监测及分析系统, 分析变电站配置信息与站内业务事件的有效关联, 在客户端显示业务回路结构。文献[9]基于 IEC 61850 标准中的面向服务自我描述、自动建模等技术, 提出具有设备即插即用功能框架的多业务自动接入状态监测平台, 完成业务管理和网络监测功能。

本文针对智能变电站通信业务信息配置手动配置繁琐易错和管理不便等问题, 提出智能变电站通信业务的自动发现的方法, 通过底层设备对新业务报文进行解析, 提取特征信息并写入业务发现报文上报网管系统, 完成业务自动发现, 提升业务管理效率。

1 智能变电站通信业务分析

智能变电站通信业务主要包括电网数据采集、继电保护与安全自动化、设备运行状态在线监测、变电站环境监测等。IEC 61850 标准《第 5 部分: 功能通信要求和装置模型》^[10]及文献[11]中定义了不同功能的通信业务报文: 通用面向对象变电站事件报文(Generic Object Oriented Substation Event, GOOSE), 事件信息包括跳闸、合闸、闭锁、解锁等。GOOSE 报文是快速报文, 对传输实时性要求高, 系统正常时传输量平稳, 故障情况下突发增长; 采样值报文(Sample Value, SV), 一般由合并单元产生, SV 报文属于中速报文, 其特点是高速、持续、大流量, 报文总量基本维持在恒定水平; 制造消息规范报文(Manufacturing Message Specification, MMS)的数据量较大, 对传递时延不敏感, 但 MMS 报文对数据的完整性有着严格的要求^[12]。因此, 对不同种类的业务进行识别, 有针对性地采取处理措施, 对于业务有效管理有着重要意义。

新一代智能变电站通信网络是从业务角度出发, 构建灵活配置, 支持任意网络拓扑, 能够自动识别业务属性并进行分类处理的网络^[13]。IEC 61850 标准体系中, 全站系统配置文件(Substation

Configuration Description, SCD)描述了变电站各通信节点的用于智能电子设备(Intelligent Electronic Device, IED)间交互数据的类型和承载这些信息的业务报文定义。

在 SCD 文件中, 每个逻辑节点都可按照设定发布本节点对外提供的信息和订阅其他设备发布的信息并以此实现分布式二次功能^[14-15], 信息订阅流程如图 1 所示。SCD 文件定义了业务报文业务标识(Application Identification, APPID), APPID 是 IED 设备发出数据的特征标识且全站唯一。网络中心设备(如交换机)学习业务报文的 APPID 信息并参照 SCD 文件中的订阅信息, 即可快速确定报文的发布者、订阅者、服务优先级等信息, 实现业务的自动识别功能, 完成业务的分类处理。

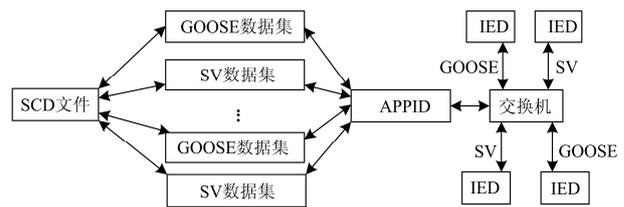


图 1 GOOSE/SV 报文订阅流程示意图

Fig. 1 GOOSE/SV message subscription process

2 智能变电站通信业务的自动发现

2.1 业务自动发现方法

本文研究一种智能变电站通信业务的自动发现的方法, 旨在解决变电站配置繁琐以及业务管理系统不便于现场运维人员操作的问题。业务自动发现的方法基于图 2 所示的网络结构提出, 网络采用以太无源光网络技术(Ethernet Passive Optical Network, EPON)组网, 光线路终端(Optical Line Terminal, OLT)完成业务数据的转发处理工作。电力保护装置通过内置光网络单元(Optical Network Unit, ONU)连接至分光器(Optical Splitter, OS), OS 由光纤线路连接至 OLT。

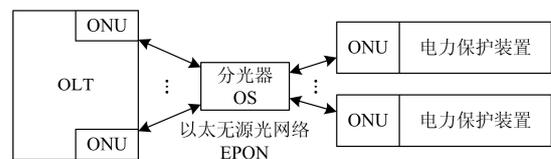


图 2 智能变电站网络结构示意图

Fig. 2 Intelligent substation network structure diagram

系统中各种业务采用通用报文格式, 借鉴以太网 MAC 帧的格式进行设计, 以满足业务自动发现的需要, 通用业务报文格式如图 3。

MAC地址头部 MAC Header	MAC目的地址(6字节) =0x010CCD040000~0x010CCD0401FF
	MAC源地址(6字节)
业务标签 Priority Tagged Ethertype	标签协议标识TPID(2字节)=0x8100
	标记控制信息TCI(2字节)=0x8000 报文类型Ethertype(2字节)=0x88BA
载荷 Data	业务标识APPID(2字节) =0x4000~0x7FFF
	载荷长度Length(2字节)=8+m
	预留1Reserved1(2字节)=0x0000
	预留2Reserved2(2字节)=0x0000
	应用协议数据单元APDU (m字节<1480)
填充字段 Pad	(Pad bytes if necessary) (若干字节)
校验字段 FCS	循环冗余校验CRC (4字节)

图3 变电站通用业务报文格式

Fig. 3 General service message format for substation

智能变电站通信业务的自动发现过程主要包括四个部分，具体步骤如下：

1) 未知业务的发现

电力保护装置接入网络后，业务报文通过装置内置式 ONU 的用户口进入电力保护装置。报文进入 ONU 后，先送至 ONU 的 FPGA 单元(Field Programmable Gate Array, 现场可编程门阵列，是一种可编程逻辑芯片)，FPGA 单元收到报文后，根据报文中 Ethertype 字段识别报文类型，区分是 SV/GOOSE/MMS 中的哪一种业务。随后根据 (Port+Ethertype+APPID)组合字段查询特定寄存器表项，寄存器中存储本地已知的该设备订阅的业务信息。若查询到匹配的记录，则认为该报文业务已知，正常转发至网络；若未找到对应项，则判定报文业务未知，进入处理步骤(2)。

2) 未知报文的转发

FPGA 单元按固定格式在未知报文的 MAC 地址后添加自定义字段，采用虚拟局域网协议(IEEE 802.1q)标准封装帧中关于 VLAN 的 VLAN Tag 格式，长度为 4 字节，包括 2 字节标签协议标识字段(Tag Protocol Identifier, TPID)和 2 字节标记控制信息字段(Tag Control Information, TCI)，自定义字段格式如图 4 所示。虚拟局域网协议规定 TPID 字段的取值为 0x8100。FPGA 单元在 TCI 的前 4 bit 部分

依次加入用户优先级(Priority, PRI)和规范格式标识符(Canonical Format Indicator, CFI)；在低 12 bit 部分中，高 7 bit 为新业务标识 Tag，表示报文是否为新业务报文；低 5 bit 为 Port，表示报文的端口号。最后，FPGA 单元将报文转发至 ONU 的 CPU 接口，进入步骤(3)。

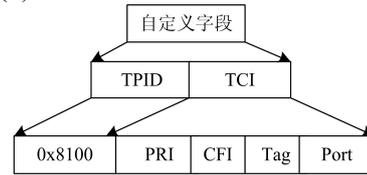


图4 自定义字段格式

Fig. 4 Customized field format

相关字段解释：TPID，标签协议标识，长度 2 字节，使报文可被兼容设备识别，规定取值为 0x8100；TCI：标记控制信息，长度 2 字节；PRI，用户优先级，长度 3 bit，范围为 1~7；CFI，规范格式标识符，长度 1 bit，用于确定此报文是否以 IEEE 802.1q 协议标准格式规范封装，0 表示规范封装，1 表示未规范封装，缺省值为 0；Tag，新业务报文标识，长度为 7 bit，由系统预定义编号规则；Port，端口号，长度 5 bit，未知报文的端口为发送该报文的源端口号，已知报文的端口号为该报文目的端口号。

3) 报文解析

ONU 的解析程序从内部 CPU 口(中央处理器的以太网口，与 FPGA 的内部口互通)提取报文后，根据 FPGA 单元添加的自定义字段判断是否是新发现的业务报文。若是新发现的未知报文，则对报文进行解析，分别从 Port 获得端口信息、Ethertype 字段获得报文类型，APPID 字段获得报文业务特征信息以及所在 ONU 的 IP 地址等能够定位该业务的信息，进入步骤(4)；若报文已知，则丢弃。

4) 新业务上报

报文解析完成后，ONU 内部程序将表示业务报文的报文类型 Ethertype、业务标识 APPID 及所在 ONU 的网元编号 NE_ID、上联端口编号 UP_ID、MAC 地址信息组装成业务发现报文发送给网管，同时将该业务发现事件保存在本地业务文件中以备查询，网管将依据上述信息进行业务配置，业务发现报文长度为 11 字节，格式如图 5。



图5 业务发现报文格式

Fig. 5 Service discovery packet format

相关字段解释: Ethertype, 业务报文类型, 长度 2 字节。GOOSE 报文的字段值为 0x88B8, SV 报文为 0x88BA, MMS 报文为 0x88BC; APPID, 业务流标识, 标记不同业务流信息, 长度 2 字节, 范围 0x4000~0x7FFF; NE_ID, 网元编号, 站内设备的设备标识, 全站唯一, 长度 4 bit, 范围 0000~9999; UP_ID, 上联端口编号, 标识 ONU 连入全站通信网络的光端口号, 长度 4 bit, 范围 0000~9999; Mac_adr, MAC 地址, 即上报业务发现事件的 ONU 设备的物理地址, 长度 6 字节。

2.2 保护装置及其业务的自动发现过程

变电站中新投入的保护装置需要进行拓扑和业务发现, 先通过拓扑发现完成物理网络结构的更新, 将设备的连接关系即物理回路构建完善; 其次进行设备业务的自动发现过程, 通过运用上一节所述的发现方法, 完成二次回路的识别及业务的管理, 发现过程如图 6 所示。

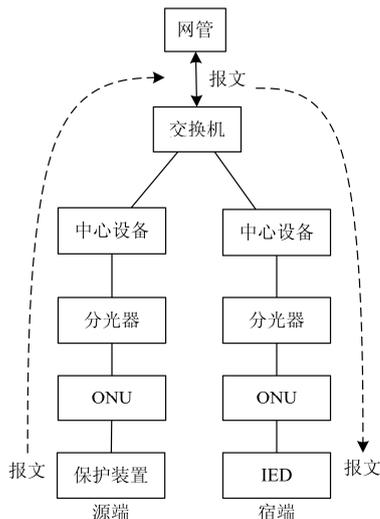


图 6 保护装置及其业务的自动发现过程图

Fig. 6 Automatic discovery process diagram of relay protection device and its service

1) 拓扑自动发现(ONU 注册)

自动模式: 保护装置使用户数据接口通过 ONU 进行多点控制协议(Multi-point Control Protocol, MPCP)发现, 中心设备定时发送注册窗口报文, 未注册 ONU 应答, 中心设备收到后应答信息后将设备划分至对应虚拟局域网, 完成逻辑链路标记, 注册成功。

用户授权模式: 保护装置使能端口 MPCP 发现后, 中心设备定时发送注册窗口报文, 未注册 ONU 应答; 中心设备收到后上报网管, 网管系统在用户界面进行提示, 由用户确认是否注册。

2) 业务自动发现

保护装置接入网络完成拓扑发现及参数配置后发送业务报文, 报文进入 ONU 后 FPGA 单元进行业务查询, 查询失败后交由 CPU 处理; CPU 分析业务后, 确认新业务特征信息, 上报业务发现报文给网管中心并在本地存储新业务信息。

网管根据接收报文的 APPID 在 SCD 文件中查询对应的业务虚端口和目的虚端口, 并将报文的物理端口和业务端口建立对应关系。若该设备已在其他端口配置, 则网管发出告警提示用户是否要删除原先业务, 并在当前端口重新配置; 若设备未在其他端口配置过, 网管则提示用户是否需要配置。若目的端口的物理端口存在, 则配置业务相互连通, 否则需物理口可用后再提示业务配置。用户在进行手动配置时, 应给出物理端口连接设备的名称, 方便网管给出拓扑, 并确认用户期望连接的设备。

3 业务自动发现在网管系统中的应用

本研究基于统一建模语言(Unified Modeling Language, UML)和图形可视化技术开发智能变电站网络及业务管理系统, 对站内智能设备及业务信息进行自动化、可视化管理, 并以 SV/GOOSE 业务发现与自动配置为例验证智能变电站通信业务的自动发现的可行性。

站内投入新设备和业务时将导入新的 SCD 文件, 系统通过通信业务自动发现过程, 完成新业务的发现与信息上报, 网管根据业务发现报文和新导入的 SCD 文件自动完善现有业务, 实现业务自动配置。其中 SCD 文件分析流程:

1) SCD 文件校验, 网管系统先检验文件格式是否可用, 后检查文件中变电站名称是否正确和 APPID 信息是否与已有数据重复。若文件不可用、名称错误或业务标识重复, 则 SCD 文件导入失败, 反之进入下一流程。

2) 业务比对, 系统先判断新导入 SCD 文件与网管现有业务的 APPID 是否相同, 若不同则无提示地将业务特征信息插入网管数据库, 反之比较两者业务类型、业务发送 IED 是否相同。若不同则提示数据导入失败且与现有业务不匹配, 反之则比较业务订阅 IED 是否相同。若业务订阅 IED 相同则无提示地将业务特征信息插入网管数据库, 若不同则提示业务特征信息插入网管数据库成功, 并生成可视化数据。

3.1 SV/GOOSE 业务的自动发现

当业务发现报文接收后, 网管系统结合对 SCD 文件的分析生成一个业务特征信息四元组{APPID,

业务类型,发布 IED, 订阅 IED}。网管软件根据四元组信息完成业务信息可视化和新业务状态提示,提示内容包括业务接收端缺失、业务接收端冗余和业务连接完整三种,图 7 为网管系统界面的 GOOSE 业务提示内容。

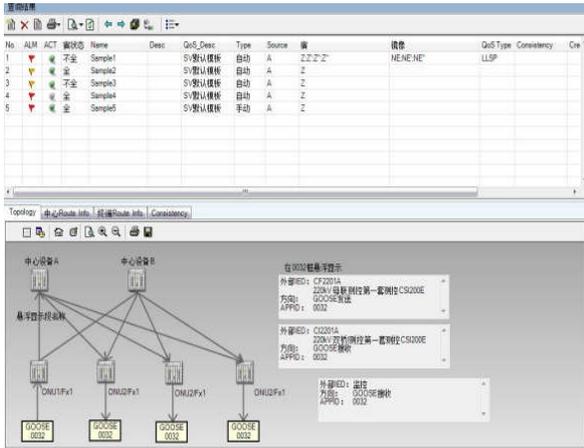


图 7 GOOSE 业务提示内容

Fig. 7 GOOSE business prompt content

3.2 SV/GOOSE 业务创建与自动配置

网管系统接收到新业务的发现报文时,业务自动配置处理流程如图 8 所示。网管根据业务类型和 APPID 查询 SCD 文件解析出的列表,确定业务消息的源端和宿端,为虚拟业务逻辑接口设置带宽,校验业务优先级,并计算路由,为每条业务分配唯一可用 VLAN。最后配置下发业务 APPID、优先级和业务 VLAN 至硬件,建立发送和订阅 IED 的端到端业务连接,实现业务自动配置。

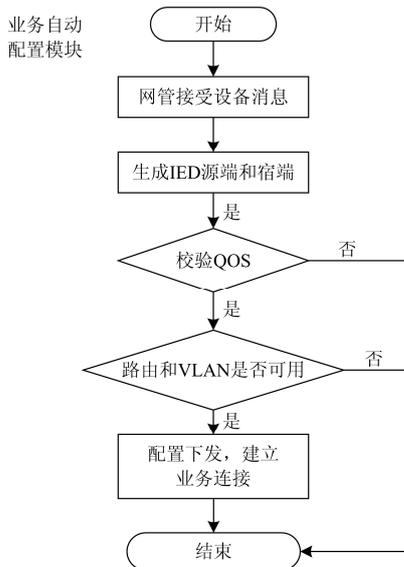


图 8 业务自动配置流程图

Fig. 8 Flow chart for automatic service configuration

由图 9 可以看出,业务创建分为手动和自动创建,手动创建可由用户选择源网元、宿网元、镜像网元及端口完成创建。自动创建则是根据业务报文中上报网管后,网管从 SCD 文件中解析出源网元,宿网元及端口号,网管系统自动计算全局 VLAN,自动生成业务配置。

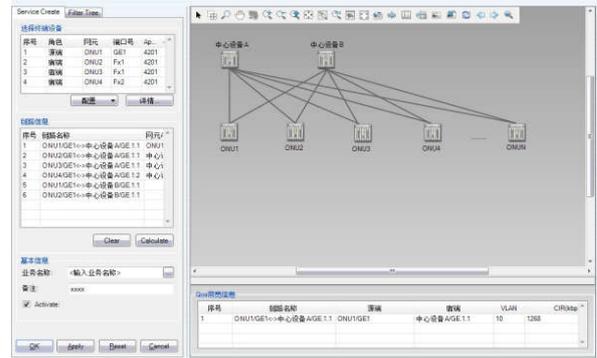


图 9 业务创建界面

Fig. 9 Service creation interface

4 总结

智能变电站内通信业务种类繁多且业务关系复杂,现有业务管理方法多为手工操作,不利于新一代智能变电站通信网络管理系统对“共网共口”业务传输方式的管理。

本文分析了 IEC 61850 的变电站内通信业务种类和特征,梳理了业务的管理流程,定义了智能变电站内通用业务报文格式。在此基础上,提出智能变电站通信业务的自动发现方法,详细介绍了新业务自动发现的过程;同时针对继电保护装置的投入进行拓扑和业务的自动发现过程研究,从而使业务自动发现方法可实际应用。最后结合网络管理系统的软件开发,以 SV/GOOSE 业务为例,实现了业务的自动发现与自动配置,验证了智能变电站网管系统通信业务的自动发现的有效性。绍兴枫桥智能站成功试运行该网管系统,解决了变电站新建、改造时配置繁琐易错及维护人员操作不便的问题,提高了网络管理效率。

参考文献

[1] 冯亚东,李彦,王松,等. IEC 61850-9-2 点对点采样值传输在继电保护中的实现与应用[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(2): 82-85.
FENG Yadong, LI Yan, WANG Song, et al. Realization and application of peer-to-peer IEC 61850-9-2 sampled value transmission in digital substation protections[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(2): 82-85.

- [2] 王宾, 戈政, 董新洲, 等. 智能配电变电站过程总线信息共享通信特性分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(18): 62-66.
WANG Bin, GE Zheng, DONG Xinzhou, et al. Analysis of communication characteristic with process bus data sharing for smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(18): 62-66.
- [3] 李宝伟, 文明浩, 李宝潭, 等. 新一代智能变电站 SV 直采和 GOOSE 共口传输方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(1): 96-101.
LI Baowei, WEN Minghao, LI Baotan, et al. Research of the scheme for SV direct sampling and GOOSE transmit in the same port in new generation smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(1): 96-101.
- [4] BO Zhiqian, LIN Xiangning, WANG Qingping, et al. Developments of power system protection and control[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 1-8. DOI 10.1186/s41601-016-0012-2.
- [5] 王玮. 变电站共网共口传输实现方法[J]. 电信科学, 2015(增刊 1): 222-226.
WANG Wei. Communication method of shared-port and shared-network in substation[J]. Telecommunications Science, 2015(S1): 222-226.
- [6] 王鑫, 许力, 李晓, 等. 基于 FPGA 的 GOOSE 报文解析模块设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(24): 101-107.
WANG Xin, XU Li, LI Xiao, et al. Design and realization of GOOSE decoding module based on FPGA[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(24): 101-107.
- [7] 段雄鹰, 尹睿涵, 孟晗, 等. 基于 ARM 的 GOOSE 通信系统研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(14): 130-135.
DUAN Xiongying, YIN Ruihan, MENG Han, et al. GOOSE communication system based on ARM[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(14): 130-135.
- [8] 蔡腾潜, 李文军, 谢小英, 等. 智能变电站业务回路状态监测与分析系统的研究应用[J]. 华东电力, 2014, 42(10): 2100-2104.
CAI Tengqian, LI Wenjun, XIE Xiaoying, et al. Condition monitoring and analysis system for intelligent substation functional loop[J]. East China Electric Power, 2014, 42(10): 2100-2104.
- [9] 宗明, 肖晓春, 曹袖, 等. 智能变电站多业务自动接入状态监测平台的设计[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(7): 69-73.
ZONG Ming, XIAO Xiaochun, CAO Xiu, et al. Design of condition monitoring platform with multi-service automatic access for intelligent substation[J]. Computer Applications and Software, 2014, 31(7): 69-73.
- [10] Communication networks and systems in substation: International Standard IEC61850[S]. 2004.
- [11] 刘玮, 王海柱, 张延旭. 智能变电站过程层网络报文特性分析与通信配置研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(6): 110-115.
LIU Wei, WANG Haizhu, ZHANG Yanxu. Study on message characteristics and communication configuration of process layer network of intelligent substation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(6): 110-115.
- [12] 董科, 关彬, 王巍. IEC61850 与 MMS 的映射的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(10): 92-95.
DONG Ke, GUAN Bin, WANG Wei. Research on mapping between IEC61850 and MMS[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(10): 92-95.
- [13] 俞辰颖, 高亚栋, 尹康, 等. 基于无源光网络技术的智能变电站网络构建研究[J]. 机电工程, 2015, 32(3): 429-432.
YU Chenying, GAO Yadong, YIN Kang, et al. Intelligent substation network construction based on passive optical network technology[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(3): 429-432.
- [14] 吴刚, 程中普, 郝申军. 智能变电站过程层网络中开关量多设备共享应用方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 144-148.
WU Gang, CHENG Zhongpu, HAO Shenjun. Application scheme of intelligent substation switch value multi-device sharing[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 144-148.
- [15] 杨毅, 高翔, 朱海兵, 等. 智能变电站 SCD 应用模型实例化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 107-113.
YANG Yi, GAO Xiang, ZHU Haibing, et al. Case study on SCD application based on demo smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 107-113.

收稿日期: 2017-01-03; 修回日期: 2017-02-27

作者简介:

孙海波(1994—), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统通信; E-mail: obb374400281@qq.com

徐志强(1977—), 男, 高级工程师, 研究方向为电力系统通信;

张亮(1962—), 男, 高级工程师, 研究方向为电力系统及其自动化。

(编辑 张爱琴)