

DOI:10.12158/j.2096-3203.2022.05.022

基于 GSP 的变电站二次设备一体化运维设计

彭志强¹, 张琦兵², 郑明忠¹, 罗飞¹

(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)

摘要:当前变电站二次设备运维信息交互接口及人机交互界面不统一,严重制约变电站的高效运检,针对该现状,文中开展基于电力系统通用服务协议(GSP)的变电站二次设备高效运维技术研究。文中首先设计变电站二次设备一体化运维体系架构,提出基于变电站运维能力描述语言(SOMCL)的变电站二次设备一体化运维信息建模方法。然后基于面向对象技术(OOT)设计变电站二次设备一体化运维服务接口及一体化运维信息交互机制,实现运维工具与被运维对象之间信息交互即插即用。最后研制变电站二次设备一体化运维工具,实现智能变电站二次设备运维标准化、可视化,达到变电站二次设备一体化高效运检的目标。文中方法在多个新建智能变电站进行了试点应用,验证了变电站二次设备一体化运维技术的可行性。

关键词:智能变电站;二次设备;一体化运维;信息模型;通用服务协议(GSP);面向对象技术(OOT)

中图分类号:TM63;TM76

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2022)05-0180-06

0 引言

国家电网公司于2009年启动智能变电站试点建设,2011年全面推广智能变电站建设,2012年提出研究与建设新一代智能变电站,2019年提出在总结智能变电站与新一代智能变电站优缺点的基础上,建设智慧变电站。智慧变电站建设目标为电网安全、供电可靠、运检高效及适应未来,其中运检高效是关键,而二次设备作为变电信息枢纽,是支撑变电站高效运检的关键^[1-4]。

目前变电站二次设备支撑高效运检存在两方面困难:一是变电站二次设备运维接口及人机交互界面不统一,私有化程度高,制约二次设备运维标准化,不利于运检业务高效开展;二是变电站二次设备运维无法在远方实现,目前对于二次设备运维信息尚无统一建模且未与业务主站贯通,运检作业仍要往返于现场,与当前无人值守变电站模式不适应^[5-7]。近几年国内对于变电站二次设备开展的技术研究主要包括保护装置就地化、集中式冗余备用测控及变电站自动化设备标准化等。其中保护装置就地化可实现保护装置就地安装部署,装置更换采用整机更换模式,运维配置采用智能管理单元集中式管理。为解决测控无备用问题,集中式冗余备用测控采用一备多的形式,提升自动化系统的可

靠性。变电站自动化设备标准化是统一外观接口、信息模型、通信服务、监控图形,规范参数配置、应用功能、版本管理、质量控制,包括数据通信网关机、测控装置、同步相量测量装置、时间同步装置、网络报文记录分析装置等^[8-12]。以上对于二次设备的技术研究多是关注业务应用功能需求,缺乏对二次设备运维功能的统筹考虑,对于工程配置及运维检修在变电站二次设备生命周期的继承性研究仍是空白。

针对当前现状,文中提出基于电力系统通用服务协议(general service protocol, GSP)的变电站二次设备一体化运维方法。GSP将通信服务及其报文结构直接映射到传输控制协议/网际协议(transfer control protocol/internet protocol, TCP/IP)的协议栈上,建立基于面向对象技术(object-oriented technology, OOT)的实时数据传输机制,通过服务原语实现数据交换^[13-16]。充分利用GSP面向服务、高扩展性的技术特点,开展一体化运维信息建模研究。基于GSP定义一体化运维服务原语,研制智能变电站二次设备一体化运维工具,实现一体化运维工具与二次设备运维信息交互标准化,实现一套运维工具即可对不同厂家不同型号产品进行一体化运维的目标。

1 一体化运维体系架构

智能变电站基于IEC 61850标准,全站二次设备采用典型的“三层两网”结构^[17-18]。由于“三层两网”的设定模式,过程层合并单元、智能终端等设

收稿日期:2022-04-19;修回日期:2022-07-08

基金项目:国家电网有限公司科技项目“面向调度与集控的变电站二次系统服务化技术研究及应用”(5108-20211805-4A-0-0-00)

备未配置站控层通信模块,无法直接接入站控层网络,也为整体运维网络搭建带来一定困难。文中所提一体化运维系统基于变电站原有通信网络进行搭建,一体化运维工具集成于变电站监控系统,也可独立部署于专用运维终端,一体化运维体系架构核心包括物理层及信息层。

一体化运维网络架构如图 1 所示,在物理层面,站控层设备及间隔层设备借助站控层网络直接接入一体化运维网络,过程层设备可通过调试网口接入一体化运维网络或接入专用运维终端。

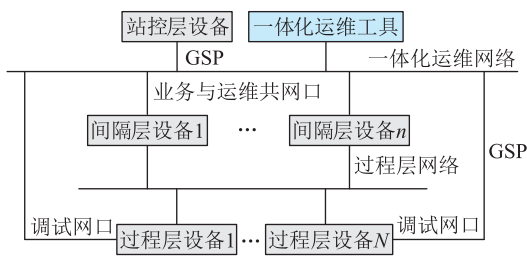


图 1 一体化运维网络架构

Fig.1 Integrated operation and maintenance network architecture

信息层面,设计基于 GSP 的一体化运维体系,面向全站二次设备提出通过运维能力模型实现运维能力信息的解析与交互,二次设备通过 GSP 规约为一体化运维工具提供运维能力服务,将二次设备的运维功能服务化。一体化运维工具通过解析运维能力模型,自动完成全站二次设备的运维界面布局以及运维能力服务信息的存储,实现二次设备信息查询、参数设置、开出传动、一键备份等运维功能,一体化运维工具平台架构如图 2 所示,包括数据层、支撑层及应用层。

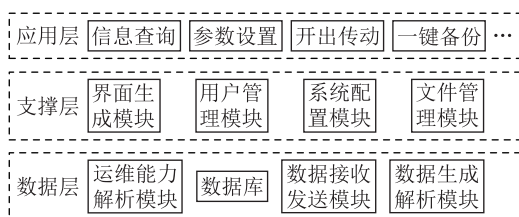


图 2 一体化运维工具平台架构

Fig.2 Platform architecture of integrated operation and maintenance tool

数据层负责运维能力模型的解析,完成数据库内二次设备运维能力信息的存储。基于 GSP 实现一体化运维服务与二次设备的信息交互,包括数据的生成解析及接收发送。

支撑层基于运维能力模型自动生成统一的运维人机界面,具备运维参数统一配置、工程备份文件统一存储管理、用户权限管理等功能。

应用层负责实现面向运维的应用功能,包括信息查询、参数设置、开出传动、配置文件、备份下载等运维功能。

2 一体化运维信息建模

2.1 一体化运维能力配置流程

变电站配置描述(substation configuration description,SCD)文件中常见模型文件的配置流程已在变电站建设、调试、运维等各个阶段广泛应用^[19-20]。一体化运维能力模型配置涉及单装置及全站的运维能力信息,一体化运维信息建模以 SCD 配置流程作为参考,并进行类似的流程设计。

一体化运维能力模型在设备制造及系统集成阶段的配置过程均采用解耦操作,运维能力模型的建模流程如图 3 所示。设备制造厂商通过单装置运维能力描述(individual operation and maintenance capability description, IOMCD)文件配置工具进行 IOMCD 配置,运维系统集成商通过变电站运维配置描述(substation operation and maintenance configuration description, SOMCD)文件配置工具导入 IOMCD 模型,按全站需求配置相关参数,完成全站 SOMCD 的配置,生成 SOMCD 模型文件导入运维平台。

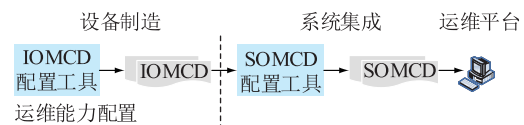


图 3 一体化运维能力模型建模流程

Fig.3 Modeling process of integrated operation and maintenance capability model

2.2 运维能力模型

IOMCD 和 SOMCD 模型均采用变电站运维能力描述语言(substation operation and maintenance configuration language, SOMCL)进行表示,采用可扩展标记语言(extensible markup language, XML)文件格式, SOMCL 中的元素及属性定义如图 4 所示。SOMCL 元素是 SOMCD 文件的根节点,根节点包含一个基本信息(Header)元素、一个通讯(Communication)元素及若干个智能电子设备(intelligent electronic device, IED)元素。其中 Header 节点属性有版本(version)及修订(reversion)。Communication 元素包含若干个连接(Connected)元素, Connected 节点属性有设备实例名称(iedName)、设备文本描述名(iedDesc)、设备 IP 地址(iedIP)、设备端口号(iedPort)、运维子站 IP 地址(omIP)、运维子站端口号(omPort)。IED 元素包含一个或多个一级菜单(Fmenu)元素, Fmenu 元素包含一个或多个二级菜

单 (Smenu) 元素或一级菜单包含的具体信息, Smenu 元素包含一个或多个三级菜单 (Tmenu) 元素或二级菜单包含的具体信息, Tmenu 元素包含一个或多个信息条目 (Item) 元素, Item 元素表示具体条目信息, 节点属性有菜单名称 (name)、菜单描述文本 (desc) 等。

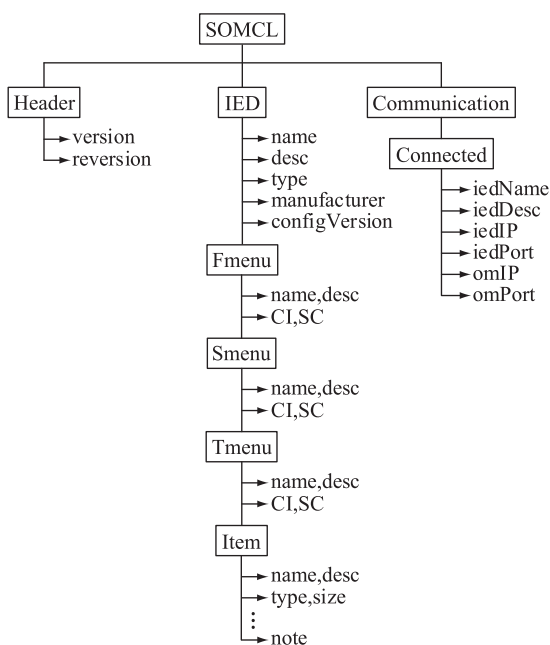


图4 SOMCL 元素及属性定义

Fig.4 Elements and attribute definitions of SOMCL

3 一体化运维信息交互

3.1 一体化运维服务接口设计

智能变电站一体化运维服务基于 GSP 进行扩展, 面向一体化运维应用场景进行服务原语设计, 分为公共服务和应用服务两大类。公共服务主要实现一体化运维工具与二次设备的连接, 包含关联服务、释放服务、异常终止服务; 应用服务主要实现一体化运维与二次设备的运维能力信息交互, 包含信息查询服务、参数设置服务、开出传动服务、文件传输服务等, 并支持基于 GSP 的动态扩展。

其中应用服务的详细功能如下:

(1) 信息查询服务。主要完成对二次设备遥测、遥信、状态、记录等信息的主动查询。

(2) 参数设置服务。主要完成对二次设备定值、信息参数、用户参数等内容的主动设置。

(3) 开出传动服务。主要完成对二次设备模拟对点、开出传动等内容的主动设置。

(4) 文件传输服务。主要完成对二次设备实例配置 (configured IED description, CID) 文件、回路实例配置 (configured circuit description, CCD) 文件等

的备份及下载。

3.2 一体化运维信息交互机制设计

一体化运维服务面向的是全站长期稳定运行的二次设备, 每个设备都包含了多个应用服务, 一体化运维工具以客户端的形式向二次设备进行服务调用, 信息交互过程如图 5 所示。

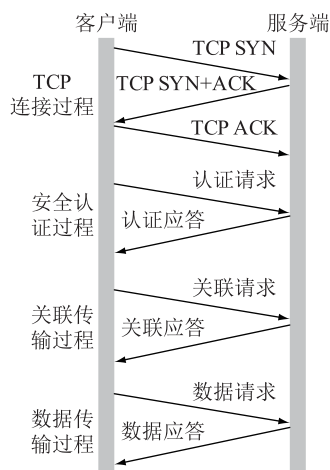


图5 一体化运维服务信息交互过程

Fig.5 Information exchange process of integrated operation and maintenance service

(1) TCP 连接过程。由客户端发起连接请求, 并进行 3 次握手过程, 包括客户端发起 TCP 同步请求 (TCP SYN), 服务端响应并确认同步请求 (TCP SYN+ACK), 客户端再次确认 (TCP ACK), 若 TCP 连接已存在, 则不需要再次建立, 连接发起者负责链路的保持和销毁。

(2) 安全认证过程。TCP 连接过程中, 服务端对客户端的 IP 地址进行初步认证。如果是非法地址, 则拒绝建立连接; 如果是合法地址, 则进入关联传输过程。

(3) 关联传输过程。对二次设备进行一体化运维服务访问之前, 首先对访问信息所属的服务进行关联。

(4) 数据传输过程。一体化运维工具面向二次设备进行应用服务的调用, 二次设备根据收到的请求数据返回对应的响应数据。

4 一体化运维工具研制

一体化运维工具是实现变电站二次设备一体化运维的载体, 功能模块如图 6 所示。一体化运维工具通过解析 SOMCD 模型, 获取全站二次设备的通信配置信息、菜单层级信息、菜单条目信息, 分别自动填入对应的通信配置界面、IED 列表导航栏界面、运维信息显示区界面, 形成标准化的运维人机界面。

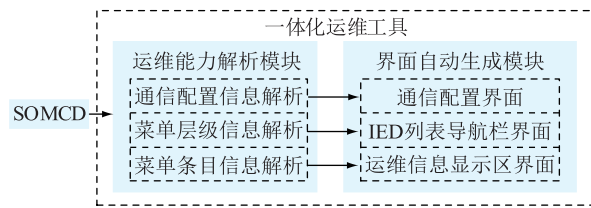


图6 一体化运维工具功能模块

Fig.6 Function modules of integrated operation and maintenance tool

(1) 通信配置界面。包含 SOMCD 内 Connected 元素中二次设备对应的属性信息。

(2) IED 列表导航栏界面。包含 SOMCD 内每个二次设备对应的 Fmenu、Smenu、Tmenu 元素层级关系及层级描述信息。

(3) 运维信息显示区界面。包含 SOMCD 内每个二次设备末级菜单对应的 Item 元素及其属性信息。

变电站一体化运维工具与被运维二次设备通信参数自动从 SOMCD 模型提取,自动提取流程图 7 所示。

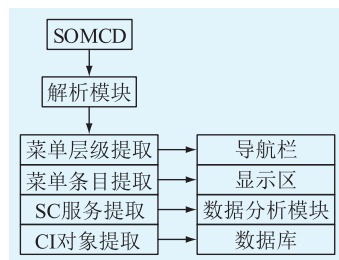


图7 一体化运维工具即插即用流程示意

Fig.7 Schematic diagram of the plug-and-play process of integrated operation and maintenance tool

(1) 解析 SOMCD 模型,提取全站 IED 设备列表及相关通信参数;

(2) 解析 SOMCD 模型,提取 IED 设备菜单层级,以树形图方式在导航栏内显示;

(3) 解析 SOMCD 模型,提取各末级菜单条目信息,以选项卡方式在显示区展示;

(4) 解析服务码(service code, SC),明确各末级菜单的服务映射,以供数据分析模块采用相对应的服务解析方式;

(5) 解析类标识(class ID, CI)对象,将末级菜单名称 name 作为对象名,条目信息名称 name、类型 type、尺寸 size 以结构方式在数据库内按序存储,以供协议报文生成及解析时使用。

5 结语

文中基于 GSP 提出了智能变电站二次设备一

体化运维解决方案,设计了一体化运维系统架构,规范了一体化运维信息建模,定义了运维信息交互原语,提出了变电站二次设备一体化运维工具研制思路。变电站二次设备一体化运维已成功在江苏电网试点应用,涉及不同监控厂商的不同类型装置,如测控装置、保护装置、数据通信网关机及交换机等。试点应用验证了技术方案的可行性,实现了提升运维效率的目标,变电站一体化运维信息建模标准化及信息交互规范化具备全面推广应用的技术条件。后续将进一步扩大试点应用范围,将试点成果纳入新一代自主可控变电站二次系统设计中,全面支撑变电站高效运检。

参考文献:

- [1] 吴建宇,唐志军,晁武杰,等. 智能变电站二次设备即插即用理论模型与应用研究[J]. 电力系统保护与控制,2022,50(10):163-171.
WU Jianyu,TANG Zhijun,CHAO Wujie,et al. A plug and play theory model and application of secondary equipment in a smart substation[J]. Power System Protection and Control,2022,50(10):163-171.
- [2] 陈光华,王朋飞,赵应兵,等. 智能变电站智能终端自动测试仪设计[J]. 电力系统保护与控制,2021,49(17):162-169.
CHEN Guanghua,WANG Pengfei,ZHAO Yingbing,et al. Automatic test equipment design of intelligent terminals in a smart substation[J]. Power System Protection and Control,2021,49(17):162-169.
- [3] 赵吉祥,李丹,廖攀峰,等. 基于无功超调率指标的变电站无功优化配置[J]. 电力电容器与无功补偿,2020,41(1):45-51.
ZHAO Jixiang,LI Dan,LIAO Panfeng,et al. Substation reactive power optimization configuration based on reactive overshoot rate index[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation,2020,41(1):45-51.
- [4] 高挺,高强,周洪青. 新形势下电网生命线规划关键性技术研究与应用[J]. 电力电容器与无功补偿,2021,42(5):161-167.
GAO Ting,GAO Qiang,ZHOU Hongqing. Research and application of key technology of grid lifeline planning under new situation[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation,2021,42(5):161-167.
- [5] 王星宇,吕飞鹏,钟文,等. 基于 SCD 文件的智能变电站主接线自动生成方法[J]. 电力系统自动化,2019,43(24):119-125.
WANG Xingyu,LYU Feipeng,ZHONG Wen,et al. SCD file based automatical generation method for primary connection of smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems,2019,43(24):119-125.
- [6] 刘故帅,王世坤,孙磊,等. 基于电力物联网的变电站多维度场景管控系统[J]. 供用电,2021,38(3):45-51.
LIU Gushuai,WANG Shikun,SUN Lei,et al. Multi-dimensional

- scenario management and control system for substations based on electric Internet of Things[J]. Distribution & Utilization, 2021,38(3):45-51.
- [7] 葛立青,杨敏,滕井玉,等. 应对信息缺失的变电站广域后备保护研究[J]. 供用电,2021,38(2):33-39.
GE Liqing, YANG Min, TENG Jingyu, et al. Research on substation wide area backup protection against information loss[J]. Distribution & Utilization, 2021,38(2):33-39.
- [8] 王永福,张方正,王亚飞,等. 采用虚拟化技术的智能变电站间隔层集群测控装置研制[J]. 电力系统自动化,2019,43(13):169-176,190.
WANG Yongfu, ZHANG Fangzheng, WANG Yafei, et al. Development of virtualization-technology-based cluster measurement and control device at bay level in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019,43(13):169-176,190.
- [9] 王宁,李澄,陆玉军,等. 基于虚终端技术的智能变电站二次设备远程管理[J]. 浙江电力,2018,37(9):18-22.
WANG Ning, LI Cheng, LU Yujun, et al. Remote management system for secondary equipment of intelligent substation based on virtual terminal technology[J]. Zhejiang Electric Power, 2018,37(9):18-22.
- [10] 安永帅,李刚,樊占峰,等. 新一代智能变电站控制保护一体化智能终端研究与开发[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(8):138-146.
AN Yongshuai, LI Gang, FAN Zhanfeng, et al. Research and development on intelligent terminal units incorporated with control and protection functions in new generation smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017,45(8):138-146.
- [11] 胡绍谦,李力,朱晓彤,等. 提高智能变电站自动化系统工程实施效率的思路与实践[J]. 电力系统自动化,2017,41(11):173-180.
HU Shaoqian, LI Li, ZHU Xiaotong, et al. Scheme and practice for improving engineering implementation efficiency of smart substation automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017,41(11):173-180.
- [12] 孙冬,吉炫颖,王洪香. 增强现实技术在变电站设备运检中的应用[J]. 电力信息与通信技术,2021,19(6):44-49.
SUN Dong, JI Xuanying, WANG Hongxiang. Application of augmented reality technology in operation inspection of substation equipment[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2021,19(6):44-49.
- [13] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 电力系统通用服务协议:GB/T 33602—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. General service protocol for electric power system; GB/T 33602-2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [14] 国家电网有限公司. 变电站测控装置技术规范:Q/GDW 10427[S]. 北京:国家电网有限公司,2017.
State Grid Corporation of China. The technical specifications for measurement and control device in substation; Q/GDW 10427[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2017.
- [15] 国家电网有限公司. 智能变电站网络交换机技术规范:Q/GDW 10429[S]. 北京:国家电网有限公司,2017.
State Grid Corporation of China. The technical specifications for ethernet switch in smart substation; Q/GDW 10429[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2017.
- [16] 彭志强,徐春雷,张琦兵,等. 电力系统通用服务协议一致性测试技术[J]. 电力系统保护与控制,2020,48(3):84-91.
PENG Zhiqiang, XU Chunlei, ZHANG Qibing, et al. Conformance testing technology of general service protocol for electric power system[J]. Power System Protection and Control, 2020,48(3):84-91.
- [17] 任辉,张巧霞,梁运华,等. 基于电力系统通用服务协议的智能设备运维系统模型服务研究[J]. 电力信息与通信技术,2018,16(10):38-43.
REN Hui, ZHANG Qiaoxia, LIANG Yunhua, et al. Research on model service of operation and maintenance system for intelligent device based on power system general service protocol[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2018,16(10):38-43.
- [18] 彭志强,张琦兵,苏大威,等. 基于GSP的变电站监控系统远程运维技术[J]. 电力自动化设备,2019,39(4):210-216.
PENG Zhiqiang, ZHANG Qibing, SU Dawei, et al. Remote operation and maintenance technology of substation supervisory control system based on GPS[J]. Electric Power Automation Equipment, 2019,39(4):210-216.
- [19] 李耕,邱智勇,饶丹,等. 基于SPCD的智能变电站虚实链路映射方案研究[J]. 电力工程技术,2020,39(1):124-129.
LI Geng, QIU Zhiyong, RAO Dan, et al. Scheme for mapping between virtual and real link in smart substation based on SPCD[J]. Electric Power Engineering Technology, 2020,39(1):124-129.
- [20] 彭志强,刘翌,罗俊,等. 智能变电站监控信息自动验收体系架构及关键技术[J]. 电力系统保护与控制,2020,48(7):174-181.
PENG Zhiqiang, LIU Yi, LUO Jun, et al. Architecture and key technologies of smart substation's monitoring and control information automatic acceptance system[J]. Power System Protection and Control, 2020,48(7):174-181.

作者简介:



彭志强

彭志强(1986),男,硕士,高级工程师,从事调度自动化技术研究及应用工作(E-mail: peng_zhiqiang@163.com);

张琦兵(1985),男,硕士,高级工程师,从事调度自动化工作;

郑明忠(1989),男,硕士,工程师,从事调度自动化技术研究及应用工作。

Integrated operation and maintenance design of secondary equipment in substation based on GSP

PENG Zhiqiang¹, ZHANG Qibing², ZHENG Mingzhong¹, LUO Fei¹

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

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

Abstract: The current information exchange interface and human-computer interaction interface of secondary equipment operation and maintenance in substation are not unified, which seriously restricts the efficient operation and maintenance of substation. In view of this situation, the research on the efficient operation and maintenance technology of secondary equipment in substation based on power system general service protocol (GSP) is carried out. Firstly, the architecture of integrated operation and maintenance of secondary equipment in substation is designed, and the information modeling method of integrated operation and maintenance of secondary equipment in substation based on substation operation and maintenance configuration language (SOMCL) is proposed. Then, the service interface and information interaction mechanism of integrated operation and maintenance of secondary equipment in substation are designed based on object-oriented technology (OOT), which achieves the goal of plug and play information interaction between operation and maintenance tools and the object to be transported. Finally, the integrated operation and maintenance tool of secondary equipment in substation is developed to realize the standardization and visualization of operation and maintenance of intelligent secondary equipment in substation, and achieves the goal of integrated and efficient operation and maintenance of secondary equipment in substation. The proposed method has been piloted in several new smart substations, which verifies the feasibility of the integrated operation and maintenance technology of secondary equipment in substation.

Keywords: smart substation; secondary equipment; integrated operation and maintenance; information model; general service protocol (GSP); object-oriented technology (OOT)

(编辑 吴楠)

(上接第 164 页)

Influence of mechanical faults on the vibration of GIS shell

XU Zhiniu¹, GUO Yifan¹, LI Xianfeng¹, ZHAO Lijuan¹, JIN Hu², HU Weitao³

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding

071003, China; 2. Electric Power Research Institute, CSG, Guangzhou 510663, China; 3. State Grid

Hebei Electric Power Co., Ltd. Extra High Voltage Branch, Shijiazhuang 050071, China)

Abstract: The gas insulated switch (GIS) vibrates during operation. In order to analyze the difference between the vibration signals for loosed bolts or misaligned conducting rods at the connection of GIS shell and the normal operation without defects, a 3D model of 252 kV three-phase box-type GIS is established in this paper. Computational modal analysis is firstly performed on the model in the field of solid mechanics. Secondly, the natural frequency is determined, and the representative sixth mode shapes are obtained. By applying different loads and changing the parameters of the model, the time-domain signals of the vibration acceleration of GIS shell under the state of no fault, different number of bolts loose and different cases of conducting rod misalignment are solved in the solid mechanics field. Then the frequency-domain signals are obtained through spectrum analysis. By comparing and analyzing the difference of vibration acceleration signals of GIS shell in several cases, the characteristics of vibration acceleration of GIS shell in case of bolt loosening fault and conducting rod misalignment fault are obtained. Finally, the criteria for the above faults are obtained. Some certain reference value about the follow-up GIS equipment running condition monitoring, mechanical fault identification and vibration research have been provided in the conclusion of this paper.

Keywords: gas insulated switch (GIS); finite element; natural frequency; vibration signal; bolt looseness; conducting rod misalignment

(编辑 李栋)