

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.191293

## 面向变电站安全隔离的一体化通信分析平台构建

赵武智<sup>1</sup>, 邬小坤<sup>1</sup>, 王宇恩<sup>1</sup>, 白加林<sup>1</sup>, 赵凌<sup>1</sup>, 王乐挺<sup>2</sup>

(1. 贵州电网有限责任公司电力调度控制中心, 贵州 贵阳 550002;

2. 山东网聪信息科技有限公司, 山东 济南 250100)

**摘要:** 为有效提高检修和改扩建过程的可靠性与安全性, 构建了面向变电站安全隔离的一体化的通信模拟与分析平台。依据 ADPSS 所需要仿真的一次系统的规模和配置信息, 确定以 IEC61850 SCL 来描述一次元件及其配置信息的方法, 实现了一次仿真建模配置和二次系统的模型关联。把针对一次动态闭环仿真的 ADPSS 测试技术纳入基于站内 IEC61850 模型配置 SCD 文件的二次系统调试分析架构。在所构建的一体化的通信模拟与分析平台基础上, 提出了典型的二次系统运行状态切换方案。通过模拟变电站带电运行状态, 反复试验二次设备的检修、修改、更换等实际操作, 提高检修和改扩建过程的可靠性与安全性。

**关键词:** 一体化通信分析平台; 全数字实时仿真系统; 动态闭环测试; 一、二次模型关联; 可视化图形建模自动生成

### Construction of integrated communication analysis platform for substation safety isolation

ZHAO Wuzhi<sup>1</sup>, WU Xiaokun<sup>1</sup>, WANG Yu'en<sup>1</sup>, BAI Jialin<sup>1</sup>, ZHAO Ling<sup>1</sup>, WANG Leting<sup>2</sup>

(1. Guizhou Electric Power Dispatch Control Center, Guiyang 550002, China; 2. GridNT Inc., Jinan 250100, China)

**Abstract:** In order to effectively improve the reliability and safety of the overhaul, reconstruction and expansion process, this paper mainly builds an integrated communication simulation and analysis platform for substation safety isolation. According to the scale and configuration information of the primary system that ADPSS needs to simulate, this paper determines the method of describing the primary components and their configuration information with IEC61850 SCL. It also realizes a one-time simulation modeling configuration and the model correlation of the primary and secondary systems. The ADPSS test technology of dynamic closed-loop simulation is incorporated into the secondary system debugging and analysis framework based on the IEC61850 model configuration SCD file in the station. Based on the integrated communication simulation and analysis platform constructed, this paper presents a typical secondary system operating state switching scheme. By simulating the live operating state of the substation, it repeatedly tests the actual maintenance, modification, and replacement of secondary equipment to improve the reliability and safety of the overhaul and reconstruction process.

This work is supported by National Key Research and Development Program of China (No. 2017YFB0902800) and Science and Technology Projects of Guizhou Power Grid Co., Ltd. (No. 0665002019030101BH00004).

**Key words:** integrated communication analysis platform; ADPSS; dynamic closed-loop test; first and second model association; automatic visualization of visual graphical modeling

## 0 引言

智能变电站是由智能电子装置组成的通信网络来完成变电站的如保护、控制、测量、计量、状态监测等业务<sup>[1-4]</sup>。在变电站二次设备例行检修测试过

程中, 其信息模型与控制逻辑关联复杂程度不仅对其设备检修、测试的评估结果的准确度构成影响, 而且基于跨间隔信息的接收及处理的保护装置也会受到影响。为保险起见, 常常采取扩大停电检修面积的解决方式, 这对变电站的安全可靠运行带来不必要的影响。上述问题在智能变电站的二次设备装置升级、改扩建过程中也常常遇到<sup>[5-8]</sup>。

针对上述问题, 已有学者提出了过程层虚端子

**基金项目:** 国家重点研发计划资助(2017YFB0902800); 贵州电网有限责任公司科技项目资助(0665002019030101BH00004)

校验码，期望通过校验码判断这些配置是否发生了变化，但是跨间隔的装置只能提供一个总的虚端子校验码，接入扩建间隔的二次回路后，无法确定其他运行间隔的二次回路是否受到影响，是否需要重新测试验证。比如，增加改扩建间隔后，目前的做法需要对母差保护上所有间隔重新进行过程层二次回路校验，大大增加了现场人员的工作量<sup>[9-12]</sup>。当前全站二次系统存在很多跨间隔的信息传递。现有配置信息属于静态信息，仅依靠这些静态信息，无法明确判断对个别自动化设备的检修、修改、更换等操作对整个系统的影响；对检修及改扩建时如何进行有效隔离，缺乏好的评估手段，难以保证全站带电局部检修、改扩建时的运行安全<sup>[13-16]</sup>。

本文主要工作是基于先进成熟的一次系统电磁暂态仿真技术和二次系统高可视化监测与分析技术组建一体化的通信模拟与分析平台。该平台主要集成实现了平台动态闭环测试、一、二次模型关联、可视化图形建模自动生成，且基于该平台提出了典型的二次系统运行状态切换方案。所构建平台能有效提高检修和改扩建过程的可靠性与安全性。

## 1 平台系统总体构架

### 1.1 系统总体构架

该系统分为两大部分：(1) 集成式智能化变电站调试系统包含全数字实时仿真系统(Advanced Digital Power System Simulator, ADPSS)、数字化接口装置和智能站仿真分析装置<sup>[17-19]</sup>。ADPSS 能够对智能变电站的一次系统完成电磁暂态仿真分析，将仿真系统计算产生的电压、电流等电气量通过“数字<->数字”的方式实时转换成为符合 IEC61850 规约<sup>[20-23]</sup>的报文发送给被测系统；同时二次系统保护装置的跳合闸 GOOSE 报文，转换为开关动作信息后并入实时仿真系统。(2) 系统装置除完成一次配置及仿真控制外，还具有 SCD 智能解析、虚通道检查、高可视化展示、二次仿真、报文实时分析、数字录波及告警事件分析、智能关联分析等功能。系统总运行框架如图 1 所示。

### 1.2 软件功能方案

系统的主要组件逻辑架构如图 2 所示。为保证 ADPSS 核心仿真软件模块的实时性和独立性，其将独立运行在专用模块的专用实时操作系统上。系统中需要保证实时性的接口模块具备可配置、可扩展、专用硬件配置的方式实现，构成系统的统一“硬件层”；技术系统的几大核心功能构成了“功能层”；其上应用是应用软件层；整体上构成一个软硬件一体化的智能站调测平台。

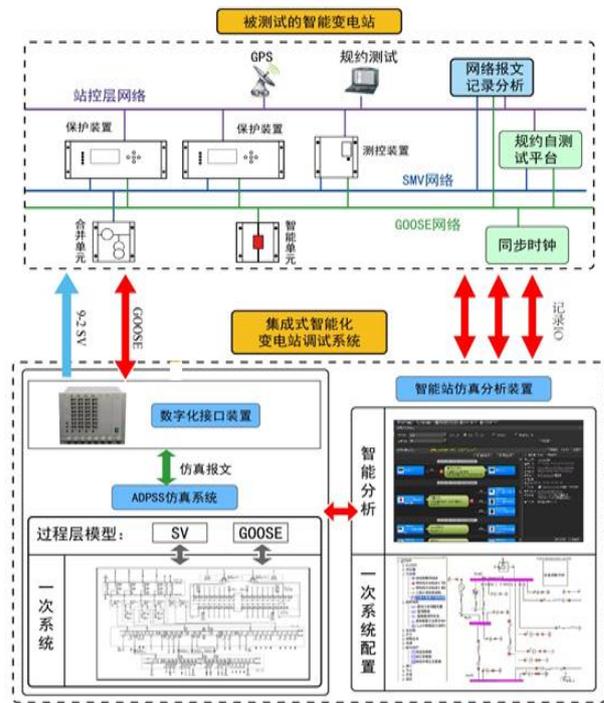


图 1 系统总体运行框架图

Fig. 1 System overall operation framework

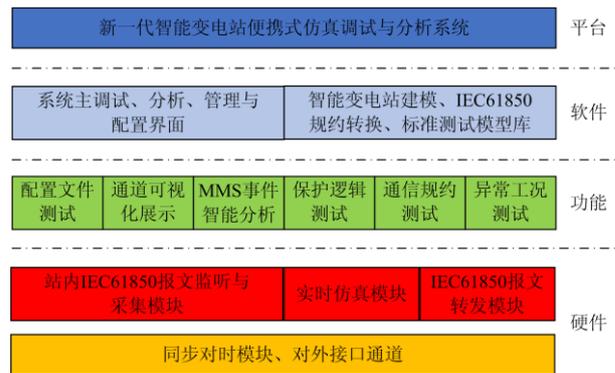


图 2 系统软件逻辑架构

Fig. 2 System software logical architecture

### 1.3 硬件功能方案

本文所提的硬件框架将有机结合一次动态仿真闭环测试系统和二次系统调试分析系统。样机系统应该支持多核及多自制专用模块。系统运行本系统的主要监测、分析、管理以及配置类软件；系统还内置一块多核 CPU 高性能主板运行 ADPSS 电磁暂态与 IEC61850 接口核心软件；另内置有一块或数块 IEC61850 规约接口板卡，同步与多核 CPU 进行数据交互并实时转发符合 IEC61850 规约的报文；多块负责报文实时监听类工作的多千兆及千兆光/电网口的网卡以及全系统对时和时间同步控制板卡。系统架构示意图如图 3 所示。

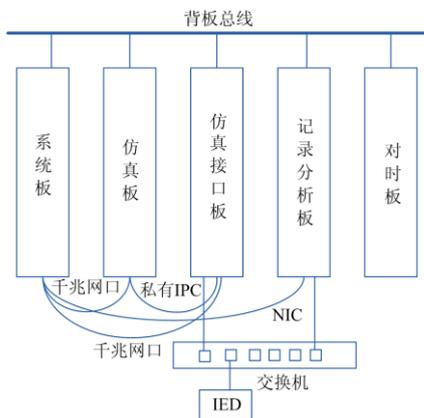


图 3 系统硬件架构示意图

Fig. 3 System hardware architecture diagram

## 2 动态闭环测试技术的原理与实现

### 2.1 闭环仿真测试原理

在硬件研究及系统软件架构的研究中, 重点考虑了各个相关部分的模块化及相关独立性。各个模块间自成一体, 但具有清晰的信息交互接口, 从而实现相关部分间的并行开发研究, 同时可以满足最终系统集成的要求。系统动态仿真闭环测试原理图如图 4 所示。

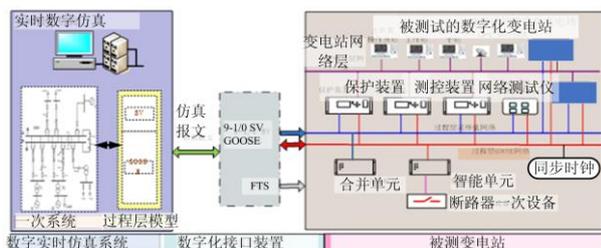


图 4 ADPSS 数字化接口装置动态仿真闭环测试原理图

Fig. 4 Dynamic simulation closed-loop test schematic of ADPSS digital interface device

### 2.2 动态闭环测试技术实现

本文基于 ADPSS 的数字化仿真系统支持 IEC61850 9-2 SMV, 因此用于可以接收 9-2 SMV 作为输入的合并单元, 或直接取消合并单元, 由 ADPSS 系统仿真相应合并单元输出仿真采样数据给保护或测控装置。整个闭环测试的过程为:

(1) 平台系统(右下)绘制一次系统的单线图, 在其上设定故障源, 注入到 ADPSS 系统(图 3 左下)。

(2) ADPSS 系统按照注入的仿真用例条件进行仿真模拟, 输出电磁暂态仿真交流量模拟数据给保护或合并单元, 并可实时输出开关位置, 如图 5 所示。

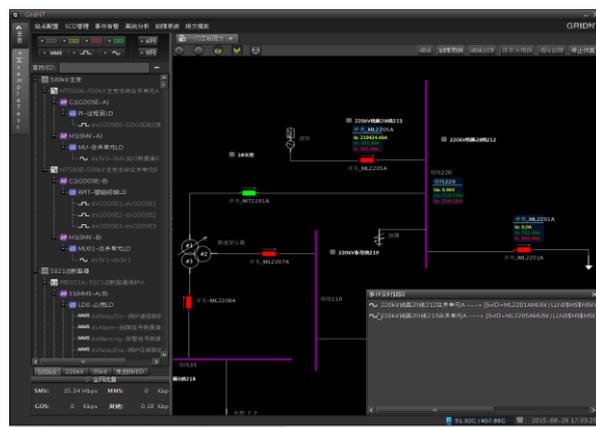


图 5 ADPSS 仿真数据实时显示图

Fig. 5 ADPSS simulation data real-time display

(3) 二次系统为实验室部署的物理二次装置组成的智能站局部系统, 为了观察完整的二次相关业务回路的响应情况, 配置包含保护装置、测控装置、智能终端、测控装置等完整回路。可针对各种类型的一次接线方式组合出各种故障实验方案, 可通过设定特殊故障条件检测保护联动及相应的二次系统响应。

(4) 保护装置收到故障状态的采样数据后作出跳闸指令, 智能终端收到指令后操作模拟断路器做跳开动作, 完成保护业务, 此过程可通过变电站仿真调试与分析一体化平台系统的二次监视模块进行实时监测, 监视界面如图 6 所示。



图 6 动态闭环测试监测示意图

Fig. 6 Dynamic closed-loop test monitoring diagram

(5) 提供列表、对话(如图 6)和图形模式三种视角, 可以直观地看到传动试验内部的详细过程, 可以进一步查看具体事件的详细报文信息, 使受训人员深入掌握智能变电站的内部技术原理及 IEC61850 的技术细节。

### 3 一、二次模型关联技术原理与实现

#### 3.1 二次模型关联技术原理

一、二次模型关联是为了建立一次图元和二次模型信息交互的通道，一、二次关联的实现是系统仿真的前提<sup>[21]</sup>。一次、二次信息关联主要是解决主接线图中测量参数和开关参数的配置问题，其中测量参数配置是将开关的电流、电压与合并单元对应的通道进行关联，而开关参数配置是将开关的 GOOSE 输入量与保护设备的对应 GOOSE 端子、GOOSE 输出量与智能终端对应的 GOOSE 端子进行关联。当测量参数与开关参数全部配置好以后，启动 ADPSS 进行数字实时仿真，此时一次图上的开关、刀闸位置会根据仿真数据实时展示和刷新并且会反映到二次系统中。

#### 3.2 一、二次设备模型关联融合方案

将电磁暂态建模与 IEC61850 建模接口和二次分析软件高可视化特性相结合，按照电压等级或间隔进行初步建模，在此基础上完成整站电磁暂态模型，实现设备仿真部件与仿真模型的相互转换、过程层设备模型与电磁暂态仿真元件自动关联，并可在可视化的仿真部件中，对待测设备进行直接故障设置。采用实际系统与仿真模型一一对应的方式，直观地反映出变电站实际网络连接关系以及装置之间的互操作关系，减少仿真调试过程中出现的复杂配置和操作的问题，可以极大提高全站级别的建模与调试效率。一、二次设备模型关联如图 7 所示。

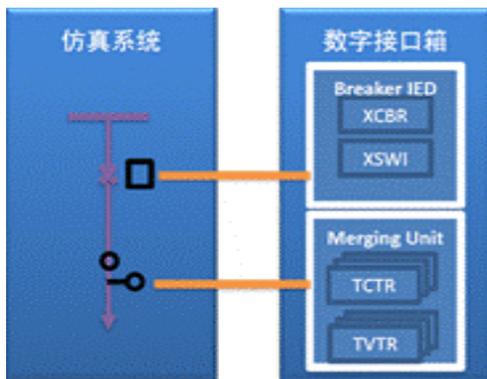


图 7 过程层设备模型与电磁暂态仿真元件关联示意图

Fig. 7 Schematic diagram of process layer device model and electromagnetic transient simulation component

#### 3.3 一、二次模型关联技术方案应用展示

一、二次模型关联主要实现步骤如下：

(1) 在一次图元模型建立的基础上进行一次主接线图的绘制。如图 8 所示。

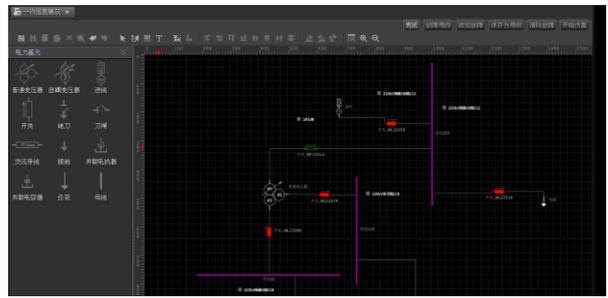


图 8 一次主接线图

Fig. 8 Primary wiring diagram

(2) 根据现场一次实际设置一次主接线图中一次模型的属性。

(3) 一、二次模型的关联以间隔为单位，选定间隔可以进行该间隔内一次模型与对应二次模型测量和开关量的关联工作。对于测量量，二次 IED 模型根据 SCD 解析按电压等级划分间隔，与一次模型对应的间隔进行智能匹配。在一次主接线图中确定间隔的情况下，智能列举该间隔下的 IED 装置，选定 IED 装置，测量参数依据 IEC61850 的标准进行智能配对。对于智能匹配测量参数错误的，支持手动修改。

(4) 开关量支持手工配置，主要配置开关及刀闸的位置信息。

(5) 全站一次主接线图按照测量量及开关量的关联方法进行配置以后，系统仿真时可以将一次模型和二次模型关联起来，进行信息的实时交互。一、二次关联效果图如图 9 所示。

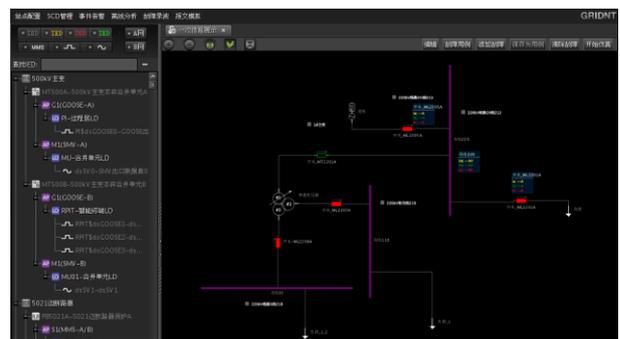


图 9 一、二次关联效果图

Fig. 9 First and second association effect map

在主接线图界面进行一、二次关联操作完成后，系统的一次主接线图已经和二次模型建立了物理通道的关联，由此可以进行系统的仿真。在一次主接线图上进行仿真操作，经过二次设备形成闭环在一次图上进行电气量信息的展示。由此也可以验证一、二次关联的正确性。

## 4 可视化图形建模自动生成的原理与实现

### 4.1 可视化图形建模自动生成技术原理

可视化图形建模自动生成技术, 主要是依托成熟的 VTD-XML<sup>[24]</sup>原理, 从 SCD 中抽取 IEC61850 模型中的逻辑设备、数据对象、逻辑节点和数据属性参数等, 并基于上述信息流数据建立高效关联机制和数据索引。

### 4.2 可视化图形建模自动生成技术实现方案

智能变电站的配置文件 SCD 通过 VTD 技术进行解析, 将解析结果存储到临时数据库中, 并根据元素类别分类配置在表结构中, 作为分析基础数据。分析过程则主要是从临时内存数据库中查找并提取相关的数据进行关联分析, 最终形成智能变电站 IED 之间的关联关系和 IED 下的虚端子列表以及虚通道信息。

具体步骤如下:

#### (1) 读取 SCD 文件

通过 VTD 将 SCD 文件以二进制的方式读入内存中, 记录各节点的位置信息。

#### (2) 解析 SCD 文件

解析进程主要是通过 VTD 对配置文件中的不同类型信息进行分类解析, 并根据节点位置信息读取内容, 存储到内存数据库中。

#### (3) 解析结果智能分析

配置文件的所有内容都解析完毕并存储到内存数据库后, 再通过多线程遍历内存数据库中的数据, 并根据分析属性找到关联信息, 最后将分析后的结果记录到业务数据库中。

#### (4) 可视化呈现

分析结果通过可视化工具最终呈现到页面, 展示出相关属性信息和关联关系, 主要通过可升级矢量图像(Scalable Vector Graphics,SVG)<sup>[25]</sup>展示网络图和 JUNG 展示逻辑图。

### 4.3 可视化图形建模自动生成技术应用展示

可视化图形建模自动生成技术可以清晰直观地展示装置间的物理、逻辑连接及装置所支持的数据模型。高可视化技术也有助于清晰地显示不同版本配置间的差异, 如图 10—图 12 所示。

## 5 典型的二次系统运行状态切换方案

二次系统运行切换设计整体流程如图 13 所示。主要过程如下:

#### (1) 导入 SCD 文件, 获取 IED 之间的逻辑关系。

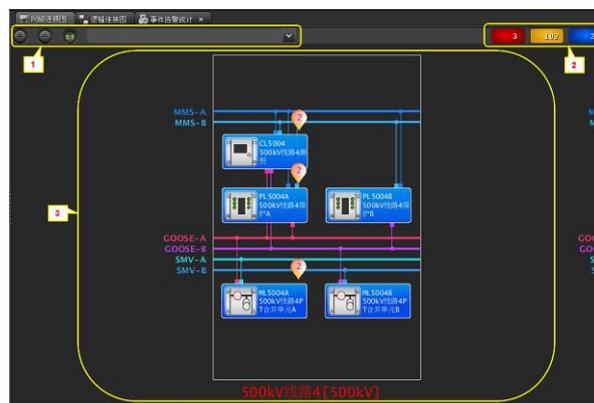


图 10 网络连接图

Fig. 10 Network connection diagram

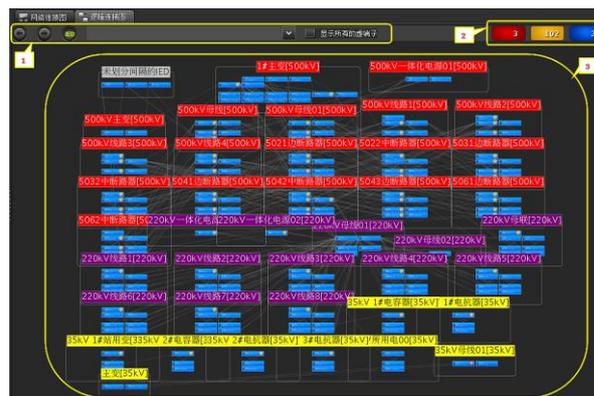


图 11 逻辑连接图

Fig. 11 Logical connection diagram



图 12 虚端子可视化展示图

Fig. 12 Virtual terminal visualization display

(2) 根据安全策略规则, 对检修硬压板、SV 软压板、智能终端的出口硬压板、GOOSE 等装置的投退开断进行相应的策略分析。

(3) 根据智能变电站的安措模板生成安全措施票及其文本文件。

(4) 根据安措条例, 系统启动 MMS 服务连接

各个 IED 设备，对于可以进行连接的设备进行在线校核。

(5) 可视化的图形在终端上可以以某个 IED 设备视角为中心进行展示。

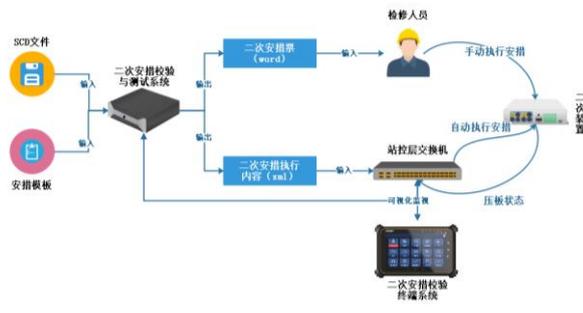


图 13 整体设计流程图

Fig. 13 Overall design flow chart

### 6 结论

本文主要基于 ADPSS 技术和二次系统高可视化监测与分析技术组建构建了一体化的通信模拟与分析平台。该平台主要集成实现了平台动态闭环测试、一、二次模型关联、可视化图形建模自动生成，且基于该平台提出了典型的二次系统运行状态切换方案。通过模拟变电站带电运行状态，反复试验二次设备的检修、修改、更换等实际操作，提高检修和改扩建过程的可靠性与安全性。本文所构建的分析平台最多可完成 500 台装置的数据输出，能够对 750 kV 及以下等级的智能变电站进行实时测试。本文工作对我国泛在电力物联网大背景下变电站智能化运维检修技术提供了一定的工程技术经验。

### 参考文献

[1] 姜树伟. 220 kV 智能变电站继电保护技术研究[D]. 合肥: 安徽理工大学, 2019.  
JIANG Shuwei. Research on relay protection technology of 220 kV intelligent substation[D]. Heifei: Anhui University of Science and Technology, 2019.

[2] 郭升, 童晓阳, 王洪彬. 计及设备老化与计划检修的智能变电站保护系统可靠性评估方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(9): 97-104.  
GUO Sheng, TONG Xiaoyang, WANG Hongbin. Intelligent substation protection system reliability assessment method considering the aging of equipment and planned maintenance[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(9): 97-104.

[3] 高磊, 刘鹏, 卜强生, 等. 基于 SED 文件的智能变电站改扩建二次系统配置文件自动重构技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(12): 153-158.

GAO Lei, LIU Peng, BU Qiangsheng, et al. Study on automatic reconfiguration technology of secondary system configuration file based on SED file for smart substation reconstruction and expansion[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(12): 153-158.

[4] 叶远波, 谢民, 黄太贵, 等. 基于灰色理论和云模型的智能变电站二次设备状态评估方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(9): 105-111.  
YE Yuanbo, XIE Min, HUANG Taigui, et al. A state assessment method for intelligent substation secondary equipment based on grey theory and cloud model[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(9): 105-111.

[5] 高旭, 马迎新, 王可, 等. 基于连通状态矩阵的智能变电站安措校核方法[J]. 电力自动化设备, 2019, 39(7): 195-202.  
GAO Xu, MA Yingxin, WANG Ke, et al. Verification for security measures of smart substation based on communication state matrix[J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(7): 195-202.

[6] 夏超. 智能变电站二次设备状态评价方法与系统研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2018.  
XIA Chao. Research on the state evaluation method and system of secondary equipment in smart substation[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2018.

[7] 车兵, 许家焰, 徐晓春, 等. 智能变电站二次检修安措防误技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(2): 150-156.  
CHE Bing, XU Jiayan, XU Xiaochun, et al. Research of secondary maintenance safety measures error proofing technology in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(2): 150-156.

[8] 方堡垒. 智能变电站二次系统检修维护新方法研究[D]. 济南: 山东大学, 2018.  
FANG Baolei. Research on the new method of intelligent substation's secondary system maintenance[D]. Jinan: Shandong University, 2018.

[9] 杨秉臻. 基于信息物理系统架构的智能变电站评价研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2019.  
YANG Bingzhen. Research on evaluation of intelligent substation based on cyber-physics system architecture[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2019.

[10] 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, LÜ 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.
- [11] 胡广林. 智能变电站系统配置器虚端子技术的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2013.  
HU Guanglin. Research on virtual terminal in smart substation configuration[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2013.
- [12] 庄先涛. 智能变电站虚端子设计关键技术的研究与开发[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.  
ZHUANG Xiantao. Research and development on key techniques of virtual terminal design in intelligent substation[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015.
- [13] 黄树帮, 倪益民, 张海东, 等. 智能变电站配置描述模型多维度信息断面解耦技术[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(22): 15-21.  
HUANG Shubang, NI Yimin, ZHANG Haidong, et al. Multi-dimensional information section decoupling technology of substation configuration description model for smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(22): 15-21.
- [14] 兰林. 基于智能变电站 SCD 文件管控软件的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.  
LAN Lin. Design and implementation of management and control software based on the substation SCD files[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2016.
- [15] 刁兴华. 智能变电站二次系统的可靠性及风险评估[D]. 成都: 西南交通大学, 2017.  
DIAO Xinghua. Reliability and risk assessment of secondary system in smart substation[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2017.
- [16] 郑玉平, 吴通华, 戴魏, 等. 变电站二次设备就地化系统网络架构探讨[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(16): 20-26.  
ZHENG Yuping, WU Tonghua, DAI Wei, et al. Discussion on network architecture of outdoor installation protection system in substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16): 20-26.
- [17] 朱旭凯, 周孝信, 田芳, 等. 基于电力系统全数字实时仿真装置的大电网机电暂态-电磁暂态混合仿真[J]. 电网技术, 2011, 35(3): 26-31.  
ZHU Xukai, ZHOU Xiaoxin, TIAN Fang, et al. Hybrid electromechanical-electromagnetic simulation to transient process of large-scale power grid on the basis of ADPSS[J]. Power System Technology, 2011, 35(3): 26-31.
- [18] 张会玲. ADPSS 全数字实时仿真系统在安徽电网中的应用研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.  
ZHANG Huiling. Applied researches for Anhui electric power based on advanced digital power system simulator[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.
- [19] 卫鹏, 汪成根, 周前, 等. 基于 ADPSS 的锦苏特高压直流对江苏电网运行特性影响研究[J]. 高压电器, 2013, 49(11): 69-75.  
WEI Peng, WANG Chenggen, ZHOU Qian, et al. Study on impacts of Jin-Su UHVDC transmission on operating characteristics of Jiangsu Power Grid based on ADPSS[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(11): 69-75.
- [20] 韩明峰, 张捷, 郑永志, 等. IEC61850GOOSE 实时通信的实现方法[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(1): 143-146.  
HAN Mingfeng, ZHANG Jie, ZHENG Yongzhi, et al. Realization of IEC61850 GOOSE real-time communication[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(1): 143-146.
- [21] 李佳. 基于 IEC61850 和 CIM 的配电自动化建模研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.  
LI Jia. Research on modelling of distribution automation system based on IEC61850 and CIM[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.
- [22] KRISHNAMURTHY S, ELENGA B B. IEC61850 standard-based harmonic blocking scheme for power transformers[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2019, 4(2): 121-135. DOI: 10.1186/s41601-019-0123-7.
- [23] INGRAM D, SCHAUB P, TAYLOR R, et al. System-level tests of transformer differential protection using an IEC 61850 process bus[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2014, 29(3): 1382-1389.
- [24] LAN X, SU J, CAI J. VTD-XML-based design and implementation of GML parsing project[C] // 2009 International Conference on Information Engineering and Computer Science, 2009, Wuhan, China: 1-5.
- [25] 王康元, 张洁, 朱丽娟. 基于 SVG 的电网数据可视化图形描述[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(5): 88-92.  
WANG Kangyuan, ZHANG Jie, ZHU Lijuan. SVG-based power grid data description and visualization[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2006, 18(5): 88-92.

收稿日期: 2019-10-21; 修回日期: 2019-12-28

作者简介:

赵武智(1974—), 男, 硕士, 高工, 主要研究方向为继电保护及自动化技术; E-mail: fyhl6819@163.com

郭小坤(1988—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为继电保护及自动化技术、电网运行维护;

王宇恩(1976—), 男, 本科, 高工, 主要研究方向为继电保护及自动化技术。

(编辑 张爱琴)