

DOI: 10.7667/PSPC150956

# 智能变电站二次设备仿真培训系统可视化研究

何志鹏<sup>1,2</sup>, 郑永康<sup>1</sup>, 李迅波<sup>2</sup>, 廖小君<sup>3</sup>, 刘勇<sup>4</sup>

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072; 2. 电子科技大学, 四川 成都 611731; 3. 国网四川省电力公司技能培训中心, 四川 成都 610072; 4. 国网四川省电力公司阿坝供电公司, 四川 茂县 623200)

**摘要:** 对智能变电站二次设备仿真培训系统的可视化方法进行了研究。首先介绍了智能变电站仿真对象, 确定了仿真目标, 建立了系统及网络架构。然后从系统的整体展示、通用模拟 IED 的仿真、SCD 可视化设计三个方面进行了可视化研究。通过该方法能够将 220 kV 智能变电站二次设备真实地模拟出来。最后从多媒体技术角度实现了二次设备矢量可视化设计。该设计能够为变电运行、检修人员培训提供相应的借鉴, 有利于更好地掌握智能变电站的运行和检修技术。

**关键词:** 智能变电站; 仿真培训; 可视化

## Visualization research on secondary equipments simulation training system for smart substation

HE Zhipeng<sup>1,2</sup>, ZHENG Yongkang<sup>1</sup>, LI Xunbo<sup>2</sup>, LIAO Xiaojun<sup>3</sup>, LIU Yong<sup>4</sup>

(1. Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China; 2. University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China; 3. State Grid Sichuan Technical Training Center, Chengdu 610072, China; 4. Aba Power Company Sichuan Electric Power Company, Maoxian 623200, China)

**Abstract:** This paper researches the visualization methods of smart substation secondary equipment simulation training system. Firstly, in order to determine the simulation target, the simulation object of intelligent substation is introduced and the system and network architecture is established. Secondly, it carries on the visual design from the following three aspects: the whole show of the system, general IED simulation, and SCD visual design. From this method, the real 220 kV smart substation secondary equipment can be simulated. Finally, the secondary equipment vector visualization design from the perspective of multimedia technology is achieved. The design can provide the corresponding reference for substation operation and maintenance personnel training, which is conducive to grasp the operation and maintenance of intelligent substation technology better.

**Key words:** smart substation; simulation training; visualization

## 0 引言

随着智能电网技术的快速发展, 诸多新技术、新设备在智能变电站得到应用, 智能变电站运行维护人员对于这些新技术、新设备多缺乏了解, 因此有必要对智能变电站运维人员、检修人员进行全面的智能变电站实训。智能变电站仿真培训能改进电网生产运行、维护、检修等人员的培训手段, 可以大大缩短培训周期, 从而节省培训费用, 其直接经济效益显而易见。

相关科研机构已开始对智能变电站的仿真进行研究, 并取得了一定的成果。文献[1]提出了多站联

合变电仿真系统, 属于融合了系统计算和变电站运行模拟的混合型仿真; 文献[2-3]提出了纯软件的智能变电站仿真培训系统的方案; 文献[4-5]采用的都是数模混合仿真试验系统, 对智能变电站的仿真均采用实际设备, 成本太高且不易扩展。另外, 一些实时电磁暂态仿真软件, 包括 RTDS, 加拿大魁北克 TEQSIM 公司开发的 HYPERSIM、ADPSS 等, 已经应用于智能变电站仿真研究, 但现有的商用实时仿真系统主要面向实验研究和分析测试, 很少用来进行智能变电站的相关培训<sup>[6-7]</sup>。

本文所研究的 220 kV 智能变电站仿真培训可视化系统, 利用多媒体技术将二次设备整体架构展

示出来,实现智能二次多模拟 IED 仿真、SCD 可视化展示、光纤虚端子显示,可以将 220 kV 智能变电站二次设备真实地模拟出来,为变电运行以及检修人员培训提供相应的借鉴。

## 1 仿真目标及对象

### 1.1 仿真目标

运维人员对于智能站 IED 工作、信息流除了总体进行掌握外,还应重点掌握有关 IED 设备基本操作、典型缺陷处理、事故分析等技能。为此,仿真培训系统不仅能对基本 IED 设备操作模拟,还应实现各种单 IED 缺陷、虚回路缺陷等模拟以培训运维人员的缺陷查找和处理能力。通过模拟各种简单故障,各 IED 设备的联动显示结合故障录波,进行事故分析等培训模块培训。

220 kV 智能变电站仿真培训系统,能够有效整合通用模拟 IED、站域保护仿真平台、SCD 可视化配置模块,进行新一代智能站正常态、典型异常、典型故障模拟并进行可视化展示相关数据,系统能够和模拟或者真实监控系统连接以实现对调控及运行人员的培训<sup>[8-9]</sup>。

### 1.2 仿真对象

220 kV 智能变电站仿真培训系统以 220 kV 智能变电站作为仿真对象,在常规变电仿真功能的条件下,将智能终端、合并单元、保护、测控等多个智能设备的工作原理仿真模拟出来。按照该站三层三网的网络结构模式模拟 MMS 网、GOOSE 网和 SV 网的数据传输和网络监测功能,模拟智能化保护测控装置的功能,模拟信息一体化平台集监控、五防及智能站高级应用的功能。

## 2 智能变电站系统架构

智能变电站依托于 IEC 61850 标准,IEC 61850 由于其先进的设计思想、面向对象的信息建模技术、面向未来需求的开放性并且包含对过程层设备的模型描述,因此成为最适合智能变电站使用的标准。

IEC 61850 标准规定了智能变电站三层两网的体系结构<sup>[10-11]</sup>。三层是指站控层、间隔层、过程层三层设备。两网是指以三层设备为节点的两层网络:站控层网络和过程层网络。智能变电站培训系统的体系结构如图 1 所示。

系统数据的传输包括网采网跳、直采直跳两种方式<sup>[12]</sup>。网采网跳是指通过过程层网络获取或输出信息,如测控装置;直采直跳是指不通过过程层网络而通过间隔层网络直接获取和输出信息,不经过网络交换机等通信设备,如各间隔的保护装置。图

2 为网络架构示意图。

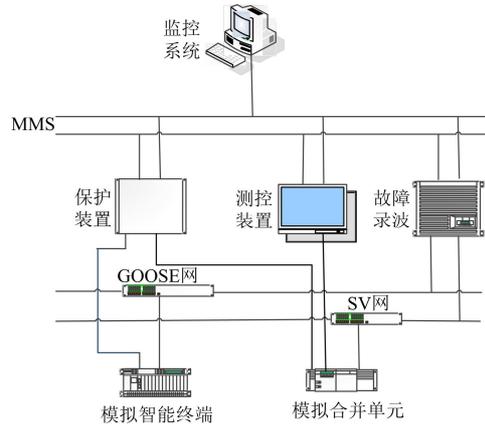


图 1 智能变电站培训系统的架构

Fig. 1 Architecture of training system for smart substation

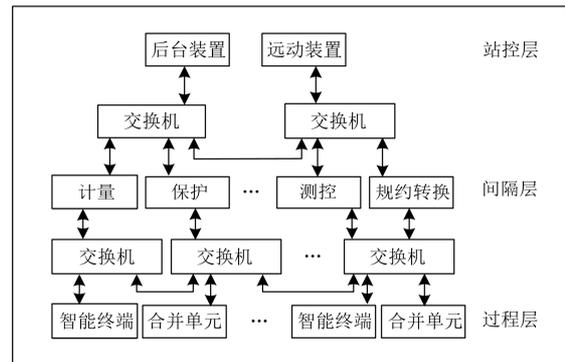


图 2 网络架构示意图

Fig. 2 Diagram of network architecture

## 3 方案设计

### 3.1 整体展示

仿真模拟实验室真实场景,根据实验室组件柜分布设计出实验室基本平面图。系统主要包括过程层线路、母线、母联、变压器智能组件柜,间隔层保护与控制柜、故障录波、网络分析仪以及站控层的数据服务器。以 220 kV 为例,其中 220 kV 示意图如图 3 所示,主要包括 220 kV 线路,母线,母联本侧、对侧的合并单元,智能终端以及保护与测控装置。

### 3.2 模拟 IED

针对具体组件柜,通过正反面切换显示该组件柜的所有二次设备运行工况、报文传输格式,如图 4 所示为线路屏柜正面展示图,图 5 为线路屏柜反面展示图。模拟 IED 可以模拟智能化保护、测控装置、合并单元和智能终端等装置,通过配置虚拟 IED,实现各虚拟 IED 之间的数据连接关系与网络通信,整个设计做到尽量接近真实设备。



图 3 220 kV 示意图  
Fig. 3 Diagram of 220 kV

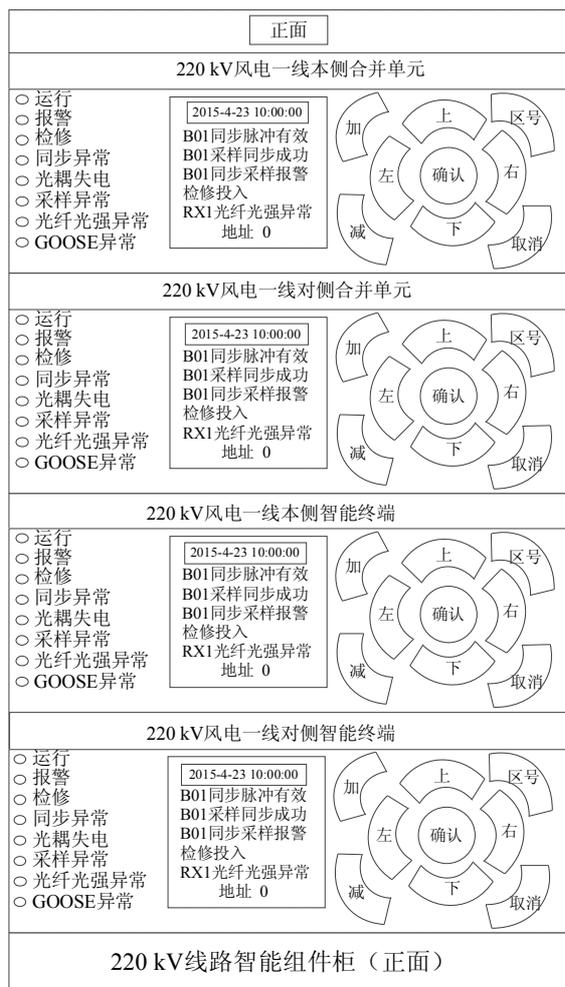


图 4 220 kV 线路屏柜正面  
Fig. 4 The front of 220 kV line cabinet

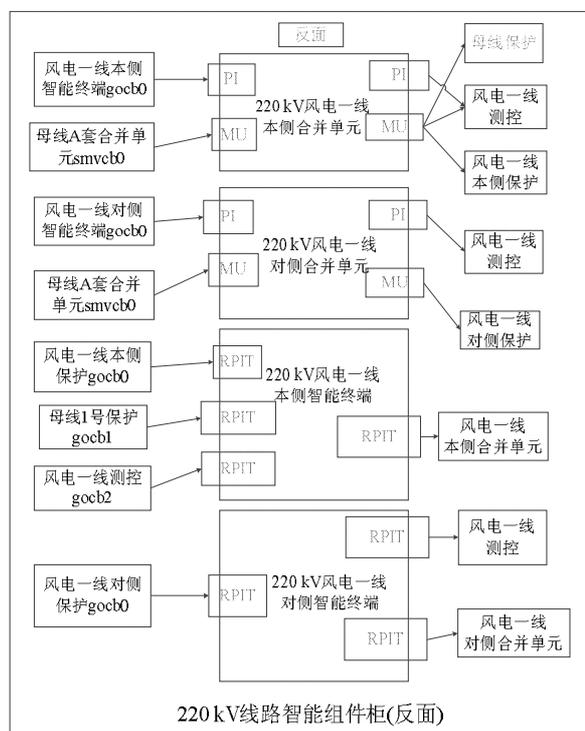


图 5 220 kV 线路屏柜反面  
Fig. 5 The back of 220 kV line cabinet

220 kV 线路屏柜主要包括 220 kV 风电一线(线路)本侧和对侧的合并单元、智能终端。合并单元与智能终端接收来自一次侧的模拟量、开关量信息,采集到的数据信息通过报文解析反映在设备显示面板中。

切换到屏柜背面后,显示二次设备之间的连接方式,通过该连接方式可以查看报文传输方式,以此实现可视化二次设备之间的报文传输。

当触发某个二次设备时,显示该二次设备主界面信息及当前运行工况,如图 6 所示。

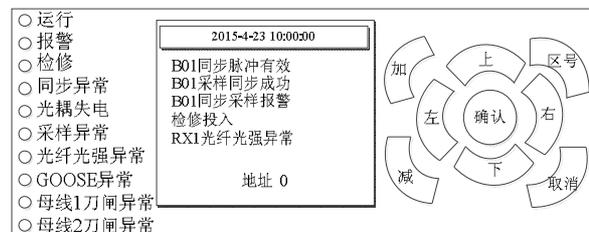


图 6 二次设备主界面  
Fig. 6 Home screen of secondary equipment

### 3.3 SCD 可视化设计

SCD 文件描述了智能变电站智能二次设备的详细配置信息,解析变电站 SCD 文件可以生成各 IED 之间的网络连接图和各 IED 间的虚端子回路的

逻辑连接图，从中可以直观地看到全站各装置的组网方式和数据交换关系<sup>[13-15]</sup>。

模拟 IED 的光纤链路可视化设计如图 7 所示。该示意图为风电一线智能组件柜合并单元反面示意图，从该示意图中可以看出此合并单元的流入流出信息：本侧智能终端发送 GOOSE 报文至该合并单元，母线 A 套合并单元发送 SV 报文至该合并单元，该合并单元发送报文至保护测控装置，从而实现了光纤链路可视化设计。

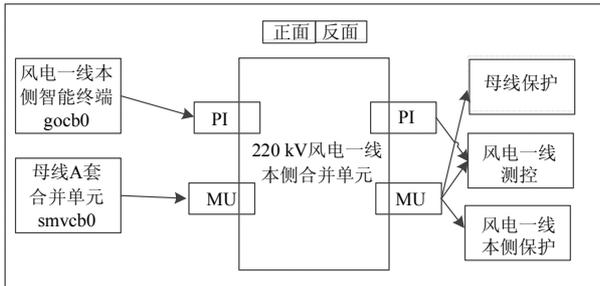


图 7 SCD 可视化

Fig. 7 Visualization of SCD

单击二次设备之间的光纤，显示报文数据结构。由于该仿真系统所有报文数据均可从站控层数据服务器中获得，因此当单击某一根光纤时，可从数据服务器中获取报文数据并显示出来，解决了存在的接口问题。

### 3.4 多媒体技术实现

整个设计采用二维仿真，不采用组态、第三方控件开发方式，按照矢量图的方式展现。可以实现缩放不失真，以保证完全仿真设备的功能。所采用的接口及实现框架如图 8 所示<sup>[16-18]</sup>。

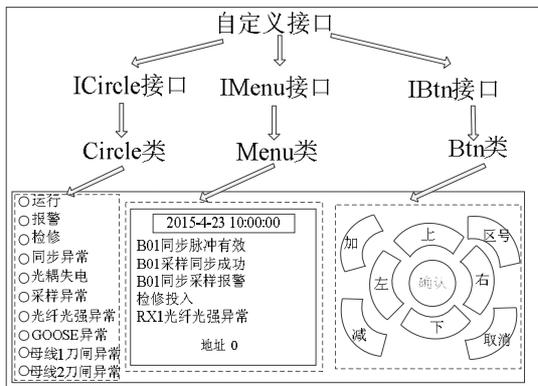


图 8 接口框架图

Fig. 8 Interface frame

以 ICircle 接口为例，该接口主要用于绘制指示灯类，主要包含的信息如图 9 ICircle 接口实现所示。

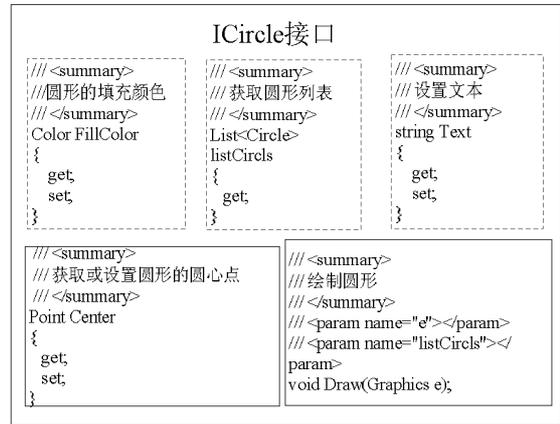


图 9 ICircle 接口实现

Fig. 9 Realization of ICircle interface

最终在 void Draw(Graphics e) 函数中实现绘制，接口函数定义完成之后，通过定义三种类型的数组进行添加，this.Refresh() 函数在数组添加完成后进行窗口重绘。

在绘图过程中均采用矢量缩放技术，以便于在界面查看、操作过程中能够清晰地放大缩小。图元在每次加载过程中均会触发界面重绘，最终效果如图 10 显示效果图所示。



图 10 显示效果图

Fig. 10 Effect diagram

## 4 结论

智能变电站仿真培训系统基于 IEC 61850 标准，涉及到通用模拟 IED、SCD 文件配置、通信规约等方面的内容，对于变电站运维人员学习掌握有一定的难度。采用以上可视化方法设计能够为变电运行以及检修人员培训提供相应的借鉴，有利于更好地掌握智能变电站的运行和检修技术。

## 参考文献

[1] 李孟超, 王允平, 李献伟, 等. 智能变电站及技术特点分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(18): 59-62, 79.  
LI Mengchao, WANG Yunping, LI Xianwei, et al. Smart

- substation and technical characteristics analysis[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(18): 59-62, 79.
- [2] 李秋燕, 张洪波, 姚峰. 500 kV 多站联合变电仿真系统设计与开发[J]. 电气技术, 2011, 24(9): 29-32, 48.  
LI Qiuyan, ZHANG Hongbo, YAO Feng. Design and development of the 500 kV united multi-substation training simulator[J]. Electrical Engineering, 2011, 24(9): 29-32, 48.
- [3] 陈磊, 黎恒垣, 夏勇军, 等. 智能变电站仿真试验系统开关量信号接口方法[J]. 湖北电力, 2013, 37(1): 15-18.  
CHEN Lei, LI Hengxuan, XIA Yongjun, et al. Study on methods of switching signal interface to smart substation simulation test system[J]. Hubei Electric Power, 2013, 37(1): 15-18.
- [4] 刘婷, 康彤芯. 基于 IEC 61850 的智能变电站激励式仿真[J]. 电工技术, 2012, 32(5): 3-4, 8.  
LIU Ting, KANG Tongxin. Simulation of smart substation based on IEC 61850[J]. Electric Engineering, 2012, 32(5): 3-4, 8.
- [5] 周保荣, 房大中, SNIDER L A, 等. 全数字实时仿真器——HYPERSIM[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(19): 79-82.  
ZHOU Baorong, FANG Dazhong, SNIDER L A, et al. The fully digital real-time simulator — HYPERSIM[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(19): 79-82.
- [6] 张侃君, 陈磊. 基于 ADPSS 的机电-电磁暂态混合仿真[J]. 湖北电力, 2012, 36(1): 14-16.  
ZHANG Kanjun, CHEN Lei. Electromechanical electromagnetic transient hybrid simulation based on ADPSS[J]. Hubei Electric Power, 2012, 36(1): 14-16.
- [7] 张斌, 倪益民, 马晓军, 等. 变电站综合智能组件探讨[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(21): 91-94.  
ZHANG Bin, NI Yimin, MA Xiaojun, et al. A study on integrated intelligent components for smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(21): 91-94.
- [8] 高志远, 严春华, 郭昆亚, 等. 智能电网与智慧城市业务互动研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(2): 65-74.  
GAO Zhiyuan, YAN Chunhua, GUO Kunya, et al. Research on interactive operation between smart grid and smart city[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(2): 65-74.
- [9] 庞红梅, 李淮海, 张志鑫, 等. 110 kV 智能变电站研究状况[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(6): 146-150.  
PANG Hongmei, LI Huaihai, ZHANG Zhixin, et al. Research situation of 110 kV smart substation technology [J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(6): 146-150.
- [10] 王建华, 张国钢, 耿英三, 等. 智能电器最新技术研究及其应用发展前景[J]. 电工技术学报, 2015, 30(9): 1-11.  
WANG Jianhua, ZHANG Guogang, GENG Yingsan, et al. The latest technology research and application prospects of the intelligent electrical apparatus[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(9): 1-11.
- [11] 陈德辉, 王丰, 杨志宏. 智能变电站二次系统通用测试平台方案[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(1): 139-144.  
CHEN Dehui, WANG Feng, YANG Zhihong. Unified test platform for smart substation secondary system[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(1): 139-144.
- [12] 刘丰莲, 刘艳, 徐伟, 等. 智能变电站混合仿真培训系统的架构研究[J]. 企业技术开发, 2014, 33(15): 4-6.  
LIU Fenglian, LIU Yan, XU Wei, et al. Research on the architecture of hybrid simulation training system for smart substation[J]. Technological Development of Enterprise, 2014, 33(15): 4-6.
- [13] 刘蔚, 杜丽艳, 杨庆伟. 智能变电站虚回路可视化方案研究与应用[J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(10): 32-37.  
LIU Wei, DU Liyan, YANG Qingwei. Research and application of smart substation virtual circuit visualization[J]. Power System and Clean Energy, 2014, 30(10): 32-37.
- [14] 敬勇, 吴汉彬, 青志明, 等. 智能变电站二次设备网络通信的仿真研究[J]. 低压电器, 2012, 24(22): 31-33, 45.  
JING Yong, WU Hanbin, QING Zhiming, et al. Simulation study on the communication of intelligent substation secondary system[J]. Low Voltage Apparatus, 2012, 24(22): 31-33, 45.
- [15] 伊洋, 胡苏凯, 周宇, 等. 智能变电站 SCD 文件二维

- 校验码校验方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2): 113-118.
- YI Yang, HU Sukai, ZHOU Yu, et al. Research of smart substation SCD file check based on two-dimensional check code[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(2): 113-118.
- [16] 张青青, 韦良, 苏文博, 等. 基于 IEC61850 报文模拟及分析技术的智能开关调测[J]. 高压电器, 2014, 50(10): 91-96.
- ZHANG Qingqing, WEI Liang, SU Wenbo, et al. Integration test of smart high voltage switchgears using simulation and analysis techniques for IEC 61850 pacets[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(10): 91-96.
- [17] 周建华. 多媒体技术在仿真培训系统中的应用[J]. 计算机工程, 2006, 32(12): 223-225.
- ZHOU Jianhua. Application of multimedia technology in training simulation system[J]. Computer Engineering, 2006, 32(12): 223-225.
- [18] 刘巍, 黄翌, 李鹏, 等. 面向智能配电网的大数据统一支撑平台体系与架构[J]. 电工技术学报, 2014, 29(增刊 1): 486-491.
- LIU Wei, HUANG Zhao, LI Peng, et al. Summary about system and framework of unified supporting platform of big data for smart distribution grid[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(S1): 486- 491.

收稿日期: 2015-06-08; 修回日期: 2016-01-11

作者简介:

何志鹏(1990-), 男, 硕士, 从事智能变电站仿真培训系统相关研究; E-mail: piaoyaoqi@163.com

郑永康(1977-), 男, 博士, 高工, 研究方向为智能变电站二次设备检测、智能电网建设等;

李迅波(1962-), 男, 博士, 教授, 研究方向为多媒体仿真技术、机电测控技术等。

(编辑 魏小丽)