

变电站集中监控仿真培训系统的设计与实现

王邦志¹, 林昌年², 蒲天骄², 杨选怀², 周健真¹

(1. 广电集团广州供电分公司, 广东省 广州市 510660; 2. 中国电力科学研究院, 北京 100085)

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A TRAINING SIMULATOR FOR SUBSTATION CONTROL CENTRE

WANG Bang-zhi¹, LIN Chang-nian², PU Tian-jiao², YANG Xuan-huai², ZHOU Jian-zhen¹

(Guangzhou Power Supply Branch, Guangdong Power Grid Group Co., Guangzhou 510660, Guangdong Province, China; 2. China Electric Power Research Institute, Beijing 100085, China)

ABSTRACT: A new operator training simulator for substation control center was presented. This simulator could wholly simulate two kinds of typical monitoring systems, namely the SCADA. Using this simulator the detailed simulation of the power grid, where the control center located in, the 500kV, 220kV and 110kV substations possessing different features, which were controlled by the control center, and the associative substation automation systems could be conducted. Therefore, the integrated simulation consisting of control centre simulation, substation simulation and power grid simulation was realized, thereby, the operation process of the whole control center could be fully simulated. The developed simulator is put into operation at a certain power supply company, and good training results was obtained.

KEY WORDS: Power system simulation; Training simulator; Substation control center simulation; Substation simulation; Integrated simulation

摘要: 作者开发和实现了一种新型的变电站集中监控仿真培训系统。该系统不仅对两种典型的集中监控系统(SCADA)进行了完整仿真, 而且对集控站所在电网及其所监控的500kV, 220kV, 110kV, 三个不同电压等级各具特点的变电站和综合自动化系统进行了详细仿真, 实现了集控中心仿真、变电站仿真和电网仿真的一体化联合仿真, 从而可以对整个集控站的生产运行过程进行全仿真。该系统已在广电集团广州供电分公司成功投入运行, 取得了良好的培训效果。

关键词: 电网仿真; 仿真培训; 集控站仿真; 变电站仿真; 一体化联合仿真

1 引言

随着变电站综合自动化技术的发展, 变电站集中监控已经成为我国主要的变电运行管理模式。各

个供电公司组建了大量变电站集中监控中心, 每个变电站集中监控中心都监控和管理十余个变电站。对于这种新型变电站集中监控运行方式, 供电公司缺少甚至没有具有丰富经验的运行人员。因此, 开发适合于变电站集中监控中心运行人员培训的仿真培训系统是非常必要的。

目前, 变电站仿真培训系统、电网调度员仿真培训系统和变电站集中监控仿真培训系统基本上是相互独立的, 因此存在以下不足: ①不能反映变电站、电网和变电站集中监控系统相互作用相互影响的关系; ②不能对电网调度员、变电站集中监控中心运行人员和变电站运行人员进行联合反事故训练。

本文提出的变电站集中监控仿真培训系统采用了分布式仿真软件支撑平台技术, 将变电站集中监控仿真培训系统、变电站仿真培训系统和电网调度员仿真培训系统有机地结合为一体化系统, 并已在广电集团广州供电分公司投入使用, 取得了很好的培训效果。

2 硬件系统结构

本系统在网络结构、硬件和软件的配置上都遵循开放性的原则, 以达到系统的可扩充性、可维护性。硬件系统结构如图1所示。

(1) 教员台

教员台由两台微机组成, 它们可以各自独立运行, 也可以按主备方式运行。用于教案编制、运行方式的整定、故障设置、系统维护管理、数据组织和对学员的监管等功能。

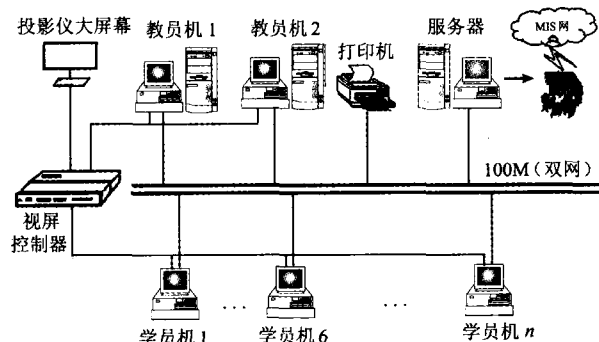


图1 变电站集中监控仿真培训系统硬件结构图

Fig. 1 The hardware structure of the training simulator

(2) 学员台

学员台由多台微机组成，于电网仿真、集控中心仿真、变电站仿真、巡视培训和理论知识培训等。学员席通过学员身份登录确定其培训范围及内容，各学员席可独立运行互不影响，也可以分组协调运行，或配置成主备用方式。

(3) 服务器

本系统配置了一台微机服务器。用于存储各种历史数据和管理信息数据，收录教案、试题库、典型方式案例、学员档案、操作记录、多媒体文件等，同时作为理论知识培训的 Web 服务器，并且培训系统通过该服务器经过防火墙与供电公司的 MIS 联网。

(4) 防火墙

隔离外部网与内部网，提高网络通信的安全性。

(5) 网络配置方式

为了保证网络通信性能和可靠性，采用双以太网结构。

3 软件系统设计

本仿真培训系统是一套交互式、分布式仿真培训系统，软件系统在总体上由四大部份组成：分布式仿真软件支撑平台 RTI(Run Time Infrastructure)、仿真应用软件、教员系统软件和多媒体远程培训系统软件。仿真应用软件由电网仿真软件、变电站仿真软件、变电站集中监控仿真软件和设备巡视仿真软件组成。软件系统的整体结构如图2所示。

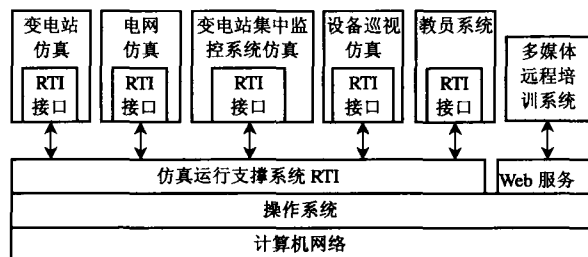


图2 变电站集中监控仿真培训系统软件结构图

Fig. 2 The software structure of the training simulator

(1) 分布式仿真软件支撑平台

分布式仿真软件支撑平台 RTI 是本仿真培训系统的基础，它为仿真应用软件提供了透明、高效运行管理环境。作为整个仿真培训系统的核心，RTI 在每个仿真应用的主机都有驻留程序，是联系各个仿真应用交互操作的纽带。在仿真系统运行过程中，各个仿真应用软件只和其所在计算机中的 RTI 驻留软件进行接口，整个仿真系统内的相互交互任务由 RTI 完成。RTI 为各个仿真应用之间的交互提供了通用服务，包括仿真应用管理、声明管理、所用权管理、时间管理、数据分布管理和应用程序接口。

(2) 仿真应用软件

1) 电网仿真系统

电网仿真是整个仿真系统的基础和关键。在电网仿真中，采用暂态、中期、长过程一体化计算方法，实现了对电网的全动态仿真。在电网仿真模型中，不但考虑了电网的动态模型，还详细考虑了变电站模型对电网模型的影响。同时，电网仿真软件还为整个仿真系统的仿真时间推进、变电站仿真和变电站集中监控系统仿真提供服务。电网仿真软件由以下模块组成：拓扑分析、倒闸操作、故障计算、动态计算、继电保护和自动装置、系统的仿真时间推进、变电站模型对电网模型的影响；变电站仿真和变电站集中监控系统仿真服务、电网监控界面（SCADA）仿真、实时数据库和与仿真软件支撑平台 RTI 的接口。

2) 变电站仿真系统

变电站是电力系统的重要组成部分，变电站仿真不仅要考虑变电站的一次设备及其操作机构、交直流系统、继电保护、自动装置和综合自动化系统的详细模型，而且应考虑变电站仿真详细模型对电网仿真抽象模型的影响。

变电站仿真采用了基于组件的软件开发技术，为变电站中的各种一二次设备开发了相应的仿真组件。利用各个仿真组件，可以“搭建”整个变电站仿真软件系统。利用组件技术将变电站虚拟设备应用软件各部分制作成独立的、可复用的组件，再将组件装配成完整的变电站仿真应用系统，其结构更加简洁、易于调整，开发更加容易，质量更有保证。由于组件具有相当高的封装程度，所以系统升级可透明进行，一旦需要，可以增加接口来扩展软件的功能，而不必过多地改动原有的组件；并且组件技术遵循统一的接口标准，这也使得软件具有良

好的开放性和易扩展性。

变电站仿真系统软件从功能上可分为以下几部分：一次设备仿真、一次设备操作机构仿真、开关操作箱仿真、防误系统仿真；PT 及电压回路仿真、CT 及电流回路仿真；交流回路仿真、站用变仿真、变压器冷却系统仿真；直流回路仿真、直流装置仿真；继电保护装置仿真、自动装置仿真、保护通道装置仿真；变电站自动化系统仿真；电网仿真服务、变电站集中监控仿真服务和与仿真软件支撑平台 RTI 的接口。

3) 集中监控系统仿真

变电站集中监控系统仿真包括变电站集中监控 SCADA 仿真、SCADA 查询工具仿真、通道柜仿真、前置机仿真和 SCADA 系统异常故障仿真。

变电站集中监控系统仿真和电网仿真、变电站仿真是密不可分的，变电站仿真和电网仿真是变电站集中监控系统仿真的基础，它们共同为变电站集中监控系统仿真提供监控对象模型。变电站集中监控系统仿真的遥信量来自于变电站仿真模型，遥测量来自于电网仿真模型，遥控操作和遥调操作首先作用变电站仿真模型，再通过变电站仿真和电网仿真接口作用于电网仿真。变电站集中监控系统仿真和变电站仿真、电网仿真之间的关系如图 3 所示。

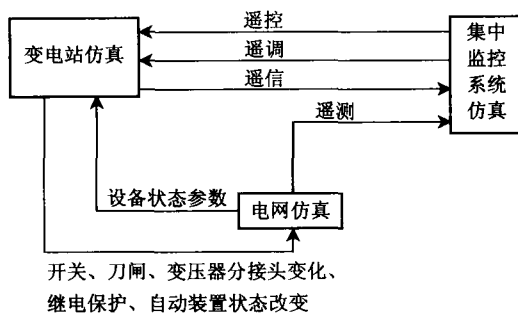


图 3 集中监控系统仿真和变电站仿真、电网仿真的关系图
Fig. 3 The relation among control center simulation, substation simulation and power system simulation

变电站集中监控系统的仿真一般采用两种方式：“激励”和“模拟”。“激励”方式就是直接采用与实际变电站集中监控系统完全相同的软硬件，并接入仿真系统。这种方式虽然逼真度比较好，但是和仿真系统接口比较困难，同时工程造价也比较高，特别是要同时模拟多套变电站集中监控系统时的成本过高。“模拟”方式就是开发通用的人机界面系统来模拟监控系统的人机界面。本仿真系统的人机界面采用“模拟”方式，它利用动态菜单和动

态图符技术可以生成多种变电站集中监控系统的人机界面，利用人机界面服务器技术来支持在一套仿真系统上同时实现多种变电站集中监控系统的人机界面仿真。

4) 变电站设备巡视仿真

设备巡视是变电运行人员的一项非常重要的工作，其主要任务是监视设备的运行状态，防患于未然。变电站设备巡视仿真采用三维建模技术和多媒体技术，把变电站的一二次设备的正常和异常状态形象逼真地展示出来，学员可以对变电站的一二次设备从不同侧面进行巡视和检查。变电站设备巡视仿真的主要功能有：设备巡视点的查找、异常等级的判断、处理措施和巡视过程的纪录。

(3) 教员系统

教员系统提供控制变电仿真系统运行、监视学员操作和评估学员操作过程的手段，包括：

1) 教员控制台。它执行系统配置管理、学员管理、进程管理和教案制定。

2) 培训进程控制。它负责暂停培训、恢复培训、存储快照、培训重演和人工随机注入故障。

3) 培训过程的动态跟踪。它动态地记录系统的状态和发生的事件，以便于培训重演和培训评估。

4) 培训评估。培训结束后自动生成评估报表，其内容包括：由教员设置的事件、继电保护及安全自动装置的动作情况、教员在培训过程中的各种操作、电网调度员学员的调度命令和各种操作、变电站集中监控中心运行人员的各种操作、变电站运行人员的各种操作和巡视检查项目、培训操作所引起的电压、潮流、频率等的越限情况、机组开停数量、负荷损失和少供电量、故障恢复过程所用的时间等。教员根据培训评估报表，对学员运行水平进行评价。

4 结论

本文所述的变电站集中监控仿真培训系统是一个分布式、开放式系统，已经在广电集团广州供电分公司投入运行。该仿真系统的主要特点如下：

(1) 软件上实现了集控中心仿真、变电站仿真和电网仿真的一体化，可以正确反映变电站、综合自动化系统、集中监控系统和电网之间的相互作用和相互影响，提高了整个仿真培训系统的真实性和正确性。

(2) 开发了分布式仿真软件支撑平台,有良好的规模可伸缩性,仿真系统既可以多机运行,也可以单机运行,还可以在 Intranet 上运行。

(3) 采用动态菜单、动态图符、动态工具条和人机界面服务器等人机界面技术,实现了变电站集中监控系统人机界面、综合自动化系统和电网 SCADA 系统人机界面的统一支持,同时可以实现对多种变电站集中监控系统人机界面的支持,保证了整个培训系统的多种适应性。

(4) 发展了一些先进的电力系统仿真技术,实现了电力系统暂态与中长期过程的统一仿真,提高了集控站系统、电网及变电站系统的模拟质量,不仅可以显示系统在操作后的稳态,而且可以显示系统事故发展的全过程,使受训人员对事故有一个全面、清晰的认识。

(5) 基于虚拟仪器技术和组件技术开发的变电站仿真,易于开发、维护和升级。

(6) 采用三维建模技术和多媒体技术开发了变电站一次设备巡视系统,实现了变电站一次设备的三维重现,提高了系统的真实感和现场感。

参考文献

- [1] 林昌年, 杨选怀, 袁志雄, 等. 变电培训仿真系统[A]. 1998 年全国电力系统自动化学术研讨会论文集[C], 1998 年 8 月.
- [2] 杨永生, 郝小欣. 分布交互式仿真技术在变电站仿真中的应用[J]. 电网技术, 2000, 24(9): 49-53.
Yang Yongsheng, Hao Xiaoxin. Application of high level architecture/run time infrastructure (HLA/RTI) to substation simulation[J]. Power System Technology, 2000, 24(9): 49-53.
- [3] 张东英, 葛亮, 杨以涵, 等. 500 kV 综合自动化变电站仿真培训系统的实现[J]. 电网技术, 2001, 25(6): 64-67.
Zhang Dongying, Ge Liang, Yang Yihan, et al. Implementation of 500kV automation substation's simulation and training system[J]. Power System Technology, 2001, 25(6): 64-67.
- [4] 黄家裕, 陈礼义, 孙德昌. 电力系统数字仿真[M]. 北京: 水利水电出版社, 1995.
- [5] 王铁红, 张炳达, 沈捷. 继电保护培训仿真系统[J]. 继电器, 1999, 27(6): 34-36.
- [6] 张炳达, 陈伟乐, 黄大鹏. 变电站控制与信号系统的仿真[J]. 电网技术, 2004, 28(1): 60-63.
Zhang Bingda, Chen Weile, Huang Dapeng. Simulation of control and signal system for substations[J]. Power System Technology, 2004, 28(1): 60-63.
- [7] 张永翔, 段少辉, 杨卫东, 等. 深圳供电局变电培训仿真系统[J]. 电网技术, 2000, 24(1): 16-18.
Zhang Yongxiang, Duan Shaohui, Yang Weidong, et al. Substation operator training simulation system of shenzhen power supply bureau[J]. Power System Technology, 2000, 24(1): 16-18.
- [8] 逢健鹏, 高平, 李峰云, 等. DTS-SOTS 联合故障的设计与实现[J]. 电网技术, 2003, 27(8): 54-59.
Pang Jianpeng, Gao Ping, Li Fengyun, et al. Design and implementation of DTS-SOTS cooperative fault simulation[J]. Power System Technology, 2003, 27(8): 54-59.
- [9] 姚建国, 杨盛春, 林昌年. 电力系统自动化仿真技术的现状和展望[A]. 2003 年全国电网调度自动化、远动及厂站自动化、电力系统自动化仿真学术交流会研讨会论文集[C], 2003.
- [10] 丁锋, 焦瑾, 姜勇. 电网运行人员联合仿真培训系统的实现[A]. 2003 年全国电网调度自动化、远动及厂站自动化、电力系统自动化仿真学术交流会研讨会论文集[C], 2003.

收稿日期: 2004-06-30。

作者简介:

王邦志 (1971-), 男, 硕士, 工程师, 培训主管, 从事电力培训工

作;
林昌年 (1964-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统培训仿真的开发研究工作;

蒲天骄 (1970-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统培训仿真的开发研究工作;

杨选怀 (1967-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统培训仿真的开发研究工作;

周健真 (1952-), 女, 教授级高级工程师, 培训中心主任, 从事电力系统培训管理工作。

《财富》全球 500 强公布 国家电网公司位居第 46 位

美国《财富》杂志 7 月 12 日公布了 2004 年度全球企业 500 强排名, 我国有 16 家公司进入 500 强 (其中 2 家港台公司)。由国务院国资委监管的中央企业有 8 家入围, 其排名及营业额分别为: 第 46 名国家电网公司, 583.48 亿美元; 第 52 名中石油, 563.84 亿美元; 第 54 名中石化, 550.62 亿美元; 第 242 名中国移动, 207.6 亿美元; 第 257 名中国电信, 194.6 亿美元; 第 270 名中化公司, 188.5 亿美元; 第 372 名上海宝钢集团, 154.48 亿美元; 第 415 名中粮集团, 132.9 亿美元。其他 8 家上榜的中国企业是: 中国人寿、中国工商银行、中国建设银行、中国银行、中国农业银行、和记黄埔有限公司 (香港)、上海汽车工业 (集团) 总公司、国泰人寿 (台湾)。

(马晓华供稿)