

# 基于牵引供电微机远动综合实验系统的设计与实现

刘家军<sup>1</sup>, 姚李孝<sup>1</sup>, 刘小勇<sup>1</sup>, 李益民<sup>2</sup>, 安源<sup>1</sup>

(1. 西安理工大学水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2. 西安铁路职业技术学院, 陕西 西安 710014)

**摘要:** 设计了一个包含牵引供电调度、牵引变电所、接触网、电力机车运行的模拟仿真实验系统。该系统完成牵引供电系统各组成部分的基本功能, 实现了从微机远动的遥控、遥信、遥测、遥调, 变电所的控制与运行操作到接触网的结构、电力机车运行模拟仿真等综合实验功能, 可实现系统化的教学实验功能和职业培训作用。

**关键词:** 牵引供电; 微机远动系统; 模拟仿真; 综合实验系统

## Design and realization based on comprehensive experimental system for traction power supply and microcomputer telecontrol

LIU Jia-jun<sup>1</sup>, YAO Li-xiao<sup>1</sup>, LIU Xiao-yong<sup>1</sup>, LI Yi-min<sup>2</sup>, AN Yuan<sup>1</sup>

(1. Institute of Water Resources and Hydro-electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;  
2. Xi'an Railway Vocational & Technical Institute, Xi'an 710014, China)

**Abstract:** The experimental simulation system consisting of the traction power supply, traction substations, catenary and electric locomotive is developed. This system has realized the basic function of components of traction power supply system, and fulfilled comprehensive experimental functions such as telecommand, teleindication, telemetering, teleadjusting of remote computer, substation control and operation, the catenary structure, and simulation of electric locomotive. It can achieve the functions of systematic teaching and experiment and vocational training.

**Key words:** traction power supply; remote computer system; simulation; comprehensive experimental system

中图分类号: TM743 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)16-00116-03

## 0 引言

随着电气化铁路飞速发展, 牵引供电系统的可靠性和行车安全要求日益提高, 牵引供电调度自动化的广泛应用极大地提高了接触网供电的可靠性和供电质量, 缩短了变电所倒闸操作时间, 减少误操作, 提高了供电生产效率和管理水平, 加之大量的新技术、新设备的采用, 使供电生产上了一个新台阶<sup>[1]</sup>。同时对生产技术人员及管理人员提出了更高要求, 迫切需要通过提高生产人员的技术水平和综合业务知识, 因此, 继续教育与技能培训就成为必不可少的手段。如何搞好这项工作, 除了精心组织理论知识的讲授、案例分析外, 理想的实验设备和实验手段是必不可少的。开发一套针对牵引供电专业教学与培训的综合实验系统是十分必要的, 这套系统可以再现从牵引供电调度、远动通信信道、牵引变电所、接触网到电力机车运行的全过程, 可以模拟操作与运行、模拟各种供电故障等功能, 具有整体

性、实用性, 性价比高的特点。

## 1 实验系统的构成

### 1.1 综合实验系统的整体结构

综合实验系统主要由微机远动系统、牵引变电系统、接触网和电力机车运行三个子系统组成, 运用微机通过 STD 总线对牵引变电所和分区亭、接触网、电力机车的运行进行远动和当地控制来实现模拟和控制电气化铁路的供电及运行。系统结构如图 1 所示。

### 1.2 微机远动系统

微机远动装置主要是由微机软件来编制一定的指令程序来实现的。由于计算机具有丰富的指令系统足够的内存容量、较快的运算速度等特点, 所以由微机构成的远动装置具有常规远动系统的遥信、遥测、遥控和遥调进行实时信息传送所具有的功能外还具有数据处理、人机联系和当地巡回等功能。数据处理方面可实现遥信优先、事故顺序记录、遥

测精度变换、越限判断、数据量总和、数据精度校验、信息转换、通道误码统计等<sup>[2-3]</sup>。在人机联系功能方面具有模拟屏和调度端接口、键盘接口、打印机接口、模拟量显示接口、CRT 显示器接口等。

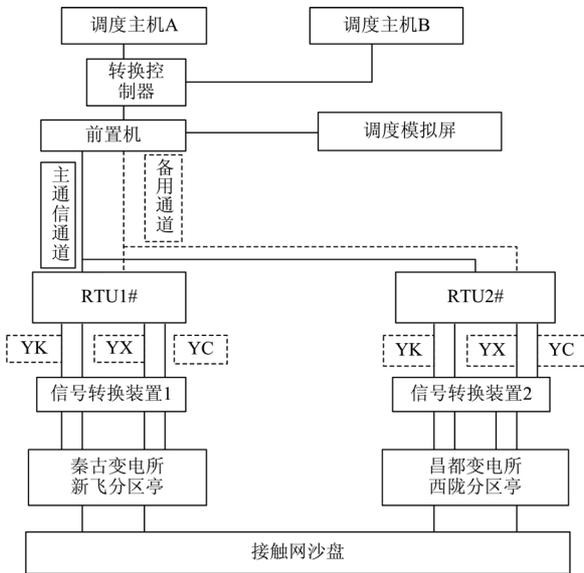


图 1 系统的结构

Fig.1 Structure of system

该系统由调度端、通信信道及 RTU 三大部分组成。调度端由两台 PC 机作调度主机，前置机是为减轻主机负担，它采用 STD 工控机构成，为完成通信过程中报文的编码和译码过程，以及控制模拟屏而设，可以监视与调度端主机之间的通信报文<sup>[4]</sup>。用以监控两个模拟变电所和两个分区亭的远动装置分别为 RTU1 和 RTU2。RTU 具有当地功能，通过键盘操作可以查看 RTU 所采集的遥信量与遥测数据和实现当地控制功能<sup>[5]</sup>。

调度端与 RTU 的信息交换是系统运行的关键之所在。该系统在调度端前置机上和 RTU 上都设有 CRT 显示器，可以监视远动报文的传递过程。通信信道采用主备通道，并可以实现通道的切换，以满足通信的可靠性。

### 1.3 微机系统软件结构

微机系统软件结构主要由以下几个模块构成：调度管理模块、画面生成模块与实时数据库模块、实时通信模块以及静态画面数据库和实时历史数据库。各模块的关系如图 2 所示。

当调度模块命令生成一幅画面时，由画面生成模块根据画面名称，打开画面数据文件，先生成背景画面，然后再打开实时数据库，取出对应的实时数据，绘出前景画面。实时数据库存储了被控对象的所有固有信息以及动态变化和由 RTU 送来的实

时数据。历史数据库是由实时数据库中定时抽取的一些重要数据的记录所构成的。实时数据库是系统的核心，系统的构造和运行都必须以实时数据库作为中心，以完成各种功能。实时通信模块在一般情况下，自动定时生成和发出命令报文，轮询各 RTU 为实时数据，然后把从 RTU 收到的实时数据报文送入实时数据库中。

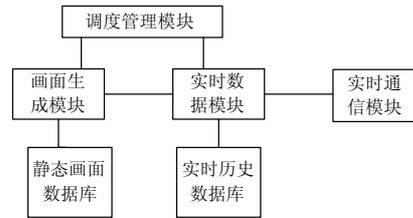


图 2 微机系统软件结构

Fig.2 Software structure of microcomputer system

### 1.4 牵引变电所系统

根据牵引变电所与牵引供电运行方式，本实验系统模拟了两个三相牵引变电所和两个分区亭。牵引变电所主接线方式分别为桥式接线双 T 接线方式。两所主变均采用 Y / Δ-11 接线，额定电压高压侧为 380 V，低压侧为 110 V，分别模拟实际 110 kV 牵引变电所对应原边的 110 kV 和副边的 27.5 kV，主变容量为 1.6 kVA。

为了与投切远动装置互相配合，还在 1 号变压器与 2 号变压器系统间设置了互投装置，假如 1 号进线系统在供电运行中，突然进线电源故障失压，将会启动失压互投；若某一主变需定期撤除或工作性日常检修可通过 YK 操作实现互投，互投可使 2 号变系统及进线系统在 1 号系统断开后立即投入，而不影响正常供电，同样 2 号进线系统失压或检修 1 号系统立即投入。牵引变电所向接触网供电示意图见图 3。

### 1.5 接触网与电力机车系统

为便于实验模拟电力机车连续运行，接触网沙盘设计成环形由两个车站和两个区间组成环形闭合线，分内外环以模拟电气化复线情况。该系统是由韶山 III 型模拟电力机车、链形悬挂接触网、钢轨线路构成闭合复线线路。模拟电力机车两台分直一交方式。线路的曲线半径是依据机车的运行速度和外形尺寸确定的，整套沙盘线路共设两个车站两个区间构成封闭式线路，电力机车可以在双向环线不间断运行。

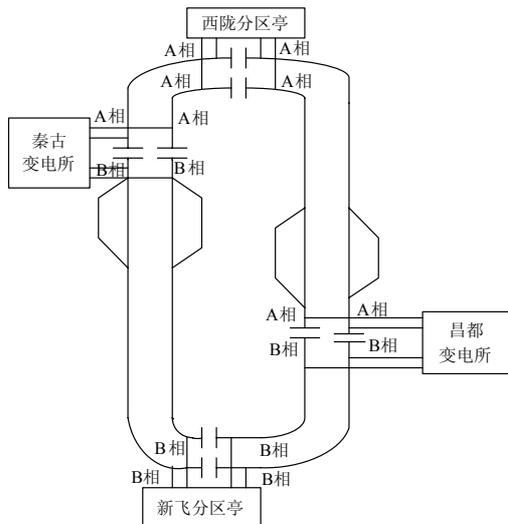


图3 牵引变电所向接触网供电连接示意图  
Fig.3 Connection schematic diagram of traction substation providing power supply to catenary

## 2 本实验系统所具有的特点

### 2.1 多门供电专业课开设的实验与综合实验相结合

(1) 通过建立微机运动系统使学生了解计算机运动系统的概貌，并通过监控画面认识系统接线图以及前置机、RTU、通信信道等参数的设置；掌握遥信、遥控、遥测、遥调“四遥”的实现方法；重视运动技术在铁道牵引供电系统中高效、安全运行的重要性。

(2) 通过本综合模拟系统的牵引变电系统使学生形象地认识牵引变电所的结构和功能，学会手动和运动操作变电所，变电所的倒闸操作与运行控制，并利用变电所的声光指示和报警判断运行故障并掌握一次及二次故障处理的程序和方法。

(3) 通过该系统中的接触网与电力机车模拟仿真系统让学生了解接触网的结构与功能，接触网检修作业的相关内容，弓网故障产生的原因与危害，并掌握电力机车的运行与控制，包括电力机车的启动、停运以及在变电所正常与故障下的运行状态。

初步设计的实验内容包括了遥控、遥信、遥测、调度端功能的实现、RTU 当地操作、牵引变电站的监控、牵引变电所操作、接触网供电实验、电力机车运行实验等，共计二十三项目，进一步开发可开设更多的实验项目。

### 2.2 为科研提供研究实验平台

牵引供电微机运动综合试验系统不仅能完成多门专业课程的实验，而且可以实现牵引供电系统整体实验与实时动态模拟仿真的功能。实验运行结果表明该系统具有很好的实验效果和推广实用价值。

同时为牵引供电提供了一个科研实验平台，用于相关科研的实验与仿真验证。

### 2.3 可开展对在业人员的综合职业培训

该实验系统涵盖了微机运动技术、变电所、牵引供电系统、模拟电网负荷在内的实验项目，囊括了电气化铁道调度自动化和监控自动化的所有过程。由于新来职员在大学所学的理论知识都比较分散，没有具体系统化，该实验系统在对铁路供电技术人员的培训中起着极大的促进作用，使学员的专业知识系统化，使培训人员从以前的纯理论由浅入深掌握铁道电气化的操作和运行过程以及原理。

### 2.4 使学生能力考核多元化

关于能力的考核问题。整合的能力观认为，能力是知识与技能整合的结果，而技能对于能力的形成与发挥起着十分重要的作用。因此能力考核，既应有知识的考核，又应有技能的考核，考核方式应当多元化，既要看过程又要看结果。运用该系统可以对供电专业、地铁专业、电力机车专业等专业及涉及与本实验系统相关专业实验的专业可以采用职业技能实验、实际操作等不同方式来进行考核<sup>[6]</sup>。能力中的知识即理论部分可采用笔试以百分制记分方式进行，而技能训练即实践教学环节则可采用实际操作的等级制记分。

## 3 结束语

牵引供电微机运动综合实验系统已应用于西安铁路职业技术学院的教学，实验系统自投运以来，应用于供电专业的教学实验，依据该实验系统开设了《微机运动技术》、《牵引供电系统》、《接触网》等课程的相关实验项目，并用于供电专业学生的综合训练与技能考核项目，同时已先后进行了多期铁路供电技术人员的微机运动技术培训，取得了良好的效果。运行实验证明该实验系统功能强大，可开设的实验项目多，具有较高的实用性，同时为教学实验、实训和实验设备的开发与设计提供了一个新思路 and 有益尝试。

### 参考文献

[1] 关文生. 微机运动技术在铁道电气化中的应用[J]. 科技创业周刊, 2006 (5) : 188-188.  
GUAN Wen-sheng. Microcomputer telecontrol technique apply to electrified railway[J]. Pioneering with Science & Technology Monthly, 2006 (5) : 188-188.  
[2] 黄金海, 戴国安, 韩明光. 牵引变电所综合自动化系统的结构与应用[J]. 继电器, 2007, 增刊: 341-343.

(下转第 167 页 continued on page 167)

环控制, 还可实现较复杂的控制算法(包括电力有源滤波器中的滤波算法)。与过去使用硬件电路或低性能 DSP 触发 IGBT 不同, 在 DSP 上实现复杂的控制算法后不但可以提高系统的稳定性, 还可减小直流电容和输出电抗器的容量, 从而降低成本, 在铜价不断上涨的形势下这一点显得特别重要。

#### 4 结语

所研制的 380 V/150 kVA 超导线圈和锂电池—电容组合式有功无功补偿和有源滤波装置实际上是两位一体。锂电池—电容组合式可独立工作, 用超导线圈加上电流—电压变换模块替代锂电池即构成超导线圈式补偿装置。锂电池—电容组合式补偿装置已投入试运行, 目前超导线圈式补偿装置还在调试阶段。

目前 380 V/150 kVA 锂电池—电容组合式无功补偿及有源滤波装置已经运行两年多了, 由于设计和制造过程中尚存在一些问题, 试运行期间装置的输出功率控制在 100 kVar。虽然输出电抗器仅为 1 mH, 直流侧电容用 6 只 450 V/10 000  $\mu$ F 三串两并, 系统运行非常稳定。

#### 参考文献

- [1] 王兆安, 杨君, 刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿[J]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
  - [2] 耿俊成, 刘文华, 袁志昌. 链式 STATCOM 电容电压不平衡现象研究: (一) 仿真和试验[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(16): 53-57.  
GENG Jun-cheng, LIU Wen-hua, YUAN Zhi-chang. Research on the voltage unbalance of DC capacitors of
- (上接第 118 页 continued from page 118)
- HUANG Jin-hai, DAI Guo-an, HAN Ming-guang. Structure and application of traction substation comprehensive automation system[J]. Relay, 2007, 35 (S): 341-343.
  - [3] 杨坚昌. 铁路电力远动系统技术研究[J]. 应用科学, 2009: 125-126.  
YANG Jian-chang. Research on railway power telecontrol system technique[J]. Applied Science, 2009: 125-126.
  - [4] 刘家军. 微机远动技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.  
LIU Jia-jun. Microcomputer telecontrol technique[M]. Beijing: China Water Resources and Hydro-electric Press, 2001.
  - [5] 默少丽. 计算机接口技术及自动控制综合实验系统[J]. 试验技术与管理, 1999 (3): 36-38.  
MO Shao-li. Comprehensive experimental system of computer interface and automatic control[J].

cascade STATCOM: part one simulation and experiments[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(16): 53-57.

- [3] 魏文辉, 刘文华, 滕天乐, 等.  $\pm 50$  Mvar 链式 STATCOM 的稳态特性研究[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(3): 28-31.  
WEI Wen-hui, LIU Wen-hua, TENG Tian-le, et al. Steady state study of  $\pm 50$  Mvar STATCOM with chain-circuit topology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(3): 28-31.
- [4] 蒋晓华, 褚旭, 吴学智, 等. 20 KJ/15 kW 可控超导储能实验装置[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(4): 88-91.  
JIANG Xiao-hua, CHU Xu, WU Xue-zhi, et al. A 20 KJ/15 kW SMES system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(4): 88-91.
- [5] 张崇巍, 张兴. PWM 整流器及其控制[J]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [6] 刘文华, 刘炳, 王志泳, 等. 基于 IGBT 三电平逆变器的  $\pm 100$  kvar D-STATCOM[J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (1): 70-73.  
LIU Wen-hua, LIU Bing, WANG Zhi-yong, et al.  $\pm 100$  kvar D-STATCOM based on IGBT tri-level inverter[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26 (1): 70-73.

收稿日期: 2010-07-15

#### 作者简介:

沈小晴 (1969-), 女, 硕士, 工程师, 从事继电保护、电力电子、计算机应用方面的研究;

陆广香 (1956-), 男, 博士, 教授, 从事继电保护、轴系扭振和超导材料及其应用方面的研究。

Experimental Technology and Management, 1999 (3): 36-38.

- [6] 陈建. 机电专业项目课程体系构建探讨[J]. 中国职业技术教育, 2007 (31): 28-29, 32.  
CHEN Jian. Chinese curriculum system construction of mechanical electronics specialty project[J]. Vocational and Technical Education, 2007 (31): 28-29, 32.

收稿日期: 2009-09-10

#### 作者简介:

刘家军 (1967-), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为电力系统监控与调度自动化; E-mail: liujiajun-88@163.com

姚李孝 (1962-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统规划与运行;

刘小勇 (1983-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统测量与控制。