

# 基于 DTS 的集控站仿真培训系统实现方法

胡晓侠<sup>1</sup>, 胡炎<sup>2</sup>

(1. 安徽省阜阳供电公司, 安徽 阜阳 236000; 2. 上海交通大学电气工程系, 上海 200240)

**摘要:** 从功能需求和软件架构两方面对集控站仿真培训系统和 DTS (即调度员仿真培训系统) 进行了对比分析, 提出了在 DTS 的基础上通过功能扩展实现集控站仿真培训系统的方法, 并详细阐述了继电保护仿真、教员控制功能、二次屏柜仿真、现场一次设备仿真和安全用具仿真等模块的具体实现方法。基于本文方法, 快速实现了一个功能完备的集控站仿真培训系统, 并已经投入现场运行, 实践证明该方法可充分共享 DTS 代码, 具有很好的应用前景。

**关键词:** 集控站; 仿真培训系统; 调度员仿真培训系统; 继电保护仿真

## An implementation method for central supervision station training system based on DTS

HU Xiao-xia<sup>1</sup>, HU Yan<sup>2</sup>

(1. Fuyang Power Supply Bureau, Fuyang 236000, China; 2. Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** Comparing a central supervision station training system with a dispatcher training system from function requirement and software architecture, this paper presents an implementation method for central supervision station training system by extending DTS functions. The implementation of specific modules is illustrated in detail, including relay simulation, trainer control function, secondary screen simulation, field primary devices simulation and security tools simulation. A central supervision station training system with full functions is rapidly implemented with the method and has been put into operation, which proves that the method can make good use of DTS codes and has broad prospects for application.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China(No.50807037).

**Key words:** central supervision station; simulation and training system; dispatcher training system; relay simulation

中图分类号: TM76; TM743 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)11-0086-05

## 0 引言

集控站仿真培训系统可用于集控站人员的培训考核和反事故演习, 能够模拟电力系统的正常状态、紧急状态、事故状态和恢复过程, 使学员能与实际集控站近似的值班环境中进行正常操作、事故处理及系统恢复的训练。

随着无人值班变电站的增多以及站端自动化系统及通信手段的改善, 调度自动化系统接收的信息越来越多, 调度员工作量不断增大, 电力公司一般采用建设集控站自动化系统解决该问题。集控站值班人员需要对若干变电站进行集中监控。变电站仿真培训系统一般只针对一个变电站进行培训, 为了提高培训效果, 通常在变电站仿真培训系统中建立一个或若干典型站的模型, 力求覆盖用户电网中各种变电站的结构, 在培训时可供选择。与调度员

仿真培训系统 DTS (Dispatcher Training System) 相比, 变电站仿真培训系统要求对二次系统模拟得更细致<sup>[1]</sup>。集控站仿真培训系统对二次系统模拟的要求与变电站仿真培训系统一样<sup>[2]</sup>, 但是由于它一般要求按照实际电网建立所集中监控的所有变电站模型, 因此建模工作量更大。

从管理模式上来看, 集控站相当于一个小型的调度; 从软件结构上来看, 集控站监控系统与调度中心监控系统极为相似<sup>[3,4]</sup>, 甚至可以共用一套程序, 只是对电网的建模范围不同。因此, 集控站仿真培训系统的实现可以借鉴甚至直接继承 DTS 的实现技术和软件架构。本文在分析比较集控站仿真培训系统和调度员仿真培训系统异同的基础上, 提出基于 DTS 扩展实现集控站仿真培训系统的方法, 并详细阐述了需要扩展的各个具体模块。

## 1 集控站仿真培训系统与 DTS 的对比分析

### 1.1 功能需求的分析

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50807037)

集控站仿真培训系统主要用于训练集控站值班员在电网正常时的值班技能和事故时的快速处理能力,提高值班员的运行水平和分析处理故障的能力,迅速熟悉监控系统的各种人机操作和操作规程中的各种倒闸操作。具体的培训内容包括:(1)监视、记录及调整变电站运行工况;(2)根据倒闸操作规程中的操作票,进行倒闸操作;(3)事故过程的处理及恢复供电;(4)正常及事故巡视。

为了满足培训需求,集控站仿真培训系统和调度员仿真培训系统都需要实现的功能包括:(1)电力系统仿真功能,能够模拟电力系统的正常、异常和事故状态,模拟电力系统受到扰动或发生故障后的变化过程,模拟的范围包括一次系统、保护和自动装置;(2)监控系统仿真功能,能够模拟监控系统的各种人机操作和监视画面;(3)数据采集系统仿真功能,能够模拟通道异常或某测点采集异常,模拟测点采集误差;(4)教员监视和培训控制功能,能够监视培训过程中的各种信息,控制培训进程,制作教案并设置各种扰动或故障。

调度员的工作界面主要是监控系统,因此调度员仿真培训系统的学员台一般只需要实现监控系统的仿真即可。而集控站或变电站值班员的工作界面除了监控系统,还有保护、测控和交/直流电源等二次屏柜、现场一次设备的操作箱以及安全用具室的各种安全用具,因此集控站仿真培训系统的学员台不仅需要实现监控系统的仿真,还需要实现二次屏柜操作仿真、现场一次设备操作仿真和安全用具操作仿真。

## 1.2 软件结构的分析

集控站仿真培训系统可以分为六个软件模块:电力系统仿真、教员监视和培训控制、数据采集系统仿真、控制室仿真、二次设备屏柜仿真、现场一次设备仿真。它们之间的关系如图 1 所示。

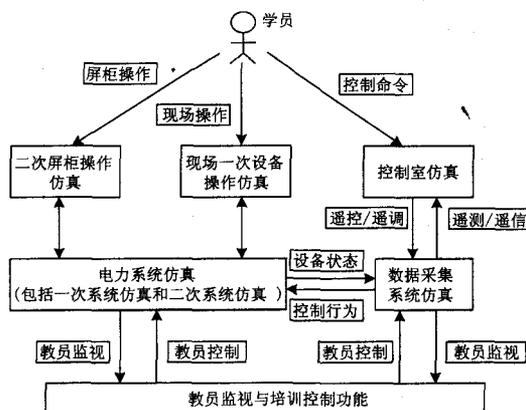


图 1 集控站仿真培训系统的软件结构

Fig.1 Software structure of central supervision station training system

按照工作场景,集控站和变电站值班员的值班和工作的环境可以分为现场一次设备、二次设备屏柜和控制室等。控制室仿真、二次设备屏柜仿真和现场一次设备仿真构成了一个完整的模拟环境。其中控制室仿真主要包括监控系统仿真和安全用具室仿真。该模拟环境完全用软件实现,与实际操作环境基本一致,学员可以在该模拟环境中进行各种正常、巡视、紧急和事故恢复操作等。

电力系统仿真模拟电网以及保护、自动装置的主要物理过程,如在负荷和变压器档位变化、开关变位等扰动下的电网变化过程以及故障发生后保护和自动装置的动作行为。数据采集系统仿真模拟采集系统的功能以及采集异常和误差。

教员监视和培训控制模块用于建立培训教案、控制培训进程以及监视和记录培训过程。教员在此设定电网的运行方式、发电机出力、负荷情况及联络线潮流、故障的种类、地点及时间等。同时,教员可充当需要其他厂站配合操作的值班员,配合学员一步步地完成操作。学员台上将显示每一步操作的状态变化、潮流变化等。

学员培训时面对的是一个仿真电网,他在监控系统仿真的操作通过数采仿真对仿真电网做出调整,他在二次设备屏柜仿真和现场一次设备仿真的操作直接对仿真电网做出调整,电力系统仿真模块重新计算得到新的电网状态和保护自动装置动作。这些状态一方面送入数采仿真,经过处理(如加噪声)等,把量测送入监控系统仿真提供给学员新的电网状态、各种事件和声音告警、光子牌状态等;另一方面直接送入二次设备屏柜仿真提供给二次设备屏柜新的指示灯状态、液晶显示内容、仪表状态等,还直接送入现场一次设备仿真提供给现场开关、刀闸、变压器档位新的位置状态等。

调度员仿真培训系统可以分为四个软件模块:电力系统仿真、教员监视和培训控制、数据采集系统仿真、控制中心仿真。控制中心仿真一般就是指监控系统仿真,可能还包括高级应用仿真,是调度员学员的培训界面,对应于集控站仿真培训系统的控制室仿真。图 1 中去掉二次屏柜操作仿真和现场一次设备操作仿真,并且把控制室仿真换成控制中心仿真,各模块之间的关系保持不变,即是调度员仿真培训系统的软件结构。

## 1.3 基于 DTS 实现集控站仿真培训系统的方法

从上述分析可知,集控站仿真培训系统与调度员仿真培训系统在功能需求方面有很大的重叠,在软件结构方面也极为相似,可以共享电力系统仿真、教员监视和培训控制、数据采集系统仿真和监控系

统仿真，因此本文提出在调度员仿真培训系统的基础上，通过扩展新功能和部分修改原有模块来快速实现集控站仿真培训系统。

具体需要扩展的新功能包括：(1) 二次设备屏柜仿真；(2) 现场一次设备仿真；(3) 安全用具仿真。需要修改的模块包括：(1) 电力系统仿真模块中的继电保护仿真；(2) 教员监视和培训控制模块中的教案制作、培训重演、教员设置等。

### 2 继电保护仿真

调度员不需要直接面对保护屏柜，也不需要具体操作保护装置的多定值区，因此调度员仿真培训系统一般不仿真保护屏上的各种信号和操作以及保护装置的多定值区，而对于集控站或变电站值班员来说，这些都是必须的培训内容，所以需要扩展对继电保护数据库模型和保护仿真功能进行扩展，以满足集控站仿真培训系统的要求。

#### 2.1 继电保护数据库模型的扩展

调度员仿真培训系统中的保护数据库模型已经描述了一次设备、保护装置、保护单元和保护定值及其之间的关系，为了描述保护屏上的信号、压板、开关、把手、液晶等，需要增加保护信号表、液晶信息表，扩展后的保护数据库模型如图 2 所示。

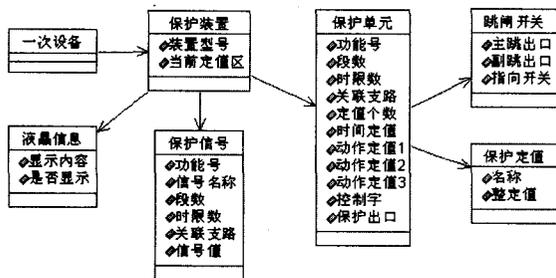


图 2 扩展后的保护数据库模型  
Fig.2 Extended relay database model

图 2 中的箭头都表示 1:n 的关联关系。“一次设备”可以是线路端、变压器、母线、发电机、电容器、电抗器、静止无功补偿器、负荷等。“保护装置”是指一次设备所关联的微机保护装置，如 RCS-902 等。“保护单元”是指保护装置所包含的保护功能，如 RCS-902 包含纵联距离方向、纵联零序方向、工频变化量阻抗、三段接地距离、三段相间距离、四段零序过流、重合闸等保护功能。“保护定值”是指保护单元所包含的时间定值、动作定值和动作字，例如零序过流 III 段保护单元包含零序 III 段时间、零序 III 段定值、投零序 III 段、零序 III 段经方向等保护定值。“跳闸开关”是指保护单元关联的出口跳

闸开关，例如变压器差动保护关联的跳闸开关是变压器各侧开关。“保护信号”是指保护装置面板上的各种信号灯、按钮以及保护屏柜上的各种硬压板、切换开关等，例如 RCS-902 包含装置电源开关、交流电压开关、旁路切换开关、重合闸切换开关、A/B/C 相跳闸硬压板、投主保护硬压板等保护屏柜上的压板或开关以及装置运行、PT 断线、重合闸充电、跳闸等装置面板上的指示灯和复归按钮等。“液晶信息”是指保护装置面板上液晶的显示内容。

保护装置的型号可唯一确定它所包含的保护单元和保护信号。保护单元的功能号唯一确定了它的语义和所包含的定值，不同功能的保护单元具有不同的功能号。保护信号的功能号唯一确定了它的语义，不同作用的保护信号也具有不同的功能号。保护单元和保护信号的功能号由研发人员确定，并且一旦确定后就不再更改。仿真培训系统的用户可以通过组合不同的保护单元和保护信号来定制新型号的保护装置。

为了描述保护装置的多定值区，在“保护装置”表中增加了“当前定值区”属性，在“保护单元”表中增加了“定值个数”属性。多个定值区的定值依次连续存放在“保护定值”表中，“保护单元”表中的属性“时间定值”、“动作定值 1”、“动作定值 2”、“动作定值 3”、“控制字”存放该保护单元当前定值区中的定值，便于仿真程序使用。以 RCS-902 保护装置为例，它在保护数据库中的存储方式如图 3 所示。

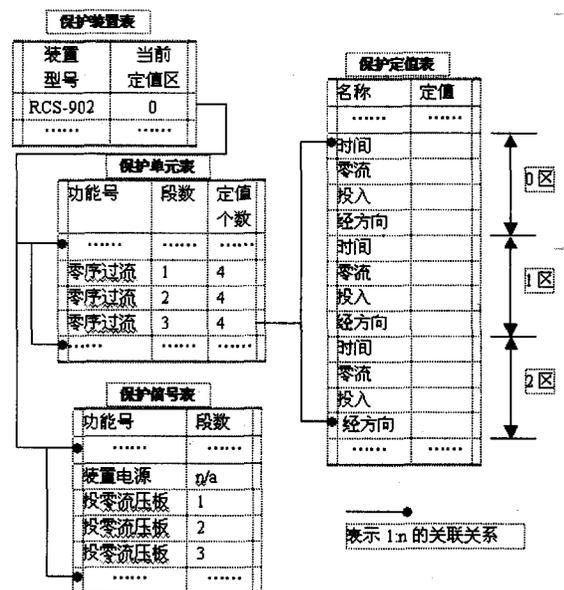


图 3 保护数据库中的存储结构  
Fig.3 Storage structure in relay database

为了仿真保护屏柜上的各种压板对保护装置动作行为的影响,在“保护单元”中增加了“保护出口”属性,在“跳闸开关”表中增加了“主跳出口”和“副跳出口”属性。某保护单元的保护出口属性为真时,表示保护出口回路畅通,一旦该保护单元动作,保护动作信号即可正常出口。某跳闸开关的主跳出口或副跳出口为真时,表示跳闸出口回路至少有一条是畅通的,一旦接收到跳闸信号,就立即出口跳开相应的开关。

## 2.2 继电保护仿真功能的扩展

在调度员仿真培训系统中,继电保护仿真只需要模拟出保护装置的动作结果,一般给出保护动作单元和动作开关即可满足培训要求。然而,在集控站仿真培训系统中,除了需要模拟保护装置的动作结果,还需要逼真地模拟保护屏上的各种信号灯以及屏柜上各种压板、按钮等的操作对保护装置动作行为的影响,因此需要对保护仿真功能进行扩展。扩展后的保护仿真流程如下:

- 1) 进入保护仿真模块;
- 2) 根据保护装置的当前定值区号把保护定值表中相应的定值拷贝到保护单元的相应属性中;
- 3) 根据保护屏柜上各种压板的状态(存储在保护信号表中)计算保护单元表中保护出口的属性值和跳闸开关表中主跳出口和副跳出口的属性值;
- 4) 根据一次系统状态、当前故障和当前定值,计算动作的保护单元;
- 5) 根据保护单元中保护出口属性值,计算能够正常动作出口的保护单元;
- 6) 根据动作出口的保护单元以及保护单元关联的跳闸开关信息,计算可能的跳闸开关;
- 7) 根据跳闸开关中主跳出口和副跳出口的属性值,计算能够收到跳闸信号的开关;
- 8) 根据保护单元和开关的动作结果以及保护屏柜上各种压板或把手的状态,计算屏柜上各种信号灯的状态以及保护装置液晶屏的显示内容;
- 9) 退出保护仿真模块。

上述流程中的 2、3、5、7、8 是为了满足集控站仿真的需要而扩展出来的。

## 3 教员控制模块

教员监视和控制模块实现教案制作、培训重演、故障设置等功能,为了满足集控站仿真培训的要求,需要在以下方面扩展:1) 教案中存储的断面除了原有的一次系统状态之外,还需要增加屏柜上各种压板或把手等的状态;2) 培训重演中需要增加屏柜上各种保护信号的重演;3) 除了能够设置各种

一次设备故障、CT 和 PT 故障之外,需要能够设置所用变故障、直流电源故障、直流母线接地、一次设备的各种缺陷异常等,并且这些故障能够存储到教案中。

## 4 二次屏柜仿真

二次屏柜仿真范围包括保护屏、测控屏、交流电源屏、直流电源屏等。二次屏柜图用二维显示,采用 DTS 原有的画面平台即可实现。为了改善仿真效果,屏柜图都用逼真的平面贴图绘制。由于屏柜图的绘制工作量非常大,而且图上的前景(与数据库关联的量)很多,如果完全通过手工一张张绘制,上前景非常容易出错,因此需要研究屏图的批量生成方法。

### 4.1 二次屏柜图的批量生成

二次屏柜图的批量绘制是基于通用屏柜模板实现的。以保护屏图为例,配置在各个一次设备上相同型号保护装置的组屏是非常类似的,因此可以按照保护装置的型号制作通用屏柜模板。在批量生成各个一次设备的保护屏图时,模板上前景的数据库连接需要根据具体关联的一次设备和厂站信息进行替换。例如,配置 RCS-902 的线路保护屏模板中“投零序过流 I 段”压板的数据库连接为:  
`/aCLineSegment, name="线路名"/lineValue, name="厂站名"/protectionEquipment, name="RCS-902"/protectionSignal, funcNo="投零流压板" and sectNum="1"`。当自动生成配置在上采 4818 线上湖站侧的保护屏图时,上述数据库连接被替换为:  
`/aCLineSegment, name="上采 4818 线"/lineValue, name="上湖变"/protectionEquipment, name="RCS-902"/protectionSignal, funcNo="投零流压板" and sectNum="1"`。批量生成屏图时,由于前景的数据库连接是通过程序自动替换产生的,因此大大降低了上前景的错误。

利用原 DTS 的保护配置界面完成对全系统保护装置的配置工作后,就可以根据保护屏图模板和数据库中的保护配置信息,自动批量生成全系统的保护屏图,大大降低了屏图绘制的工作量。

### 4.2 二次屏柜操作的模拟

二次屏柜操作的模拟可以采用原有 DTS 中人机界面操作处理的流程,用顺序图表示如图 4 所示。

操作报文中的信息包括事件号、应用、数据库、库态、操作对象、对象属性、操作人、操作节点、原状态、新状态等。操作处理服务进程只要订阅相应事件号,就可以接收该事件号的操作报文并进行处理。应用、数据库、库态、操作对象和对象属性

构成的五元组唯一确定了操作所针对的数据库中的具体属性,其中库态可能为运行态、仿真态、研究态等。

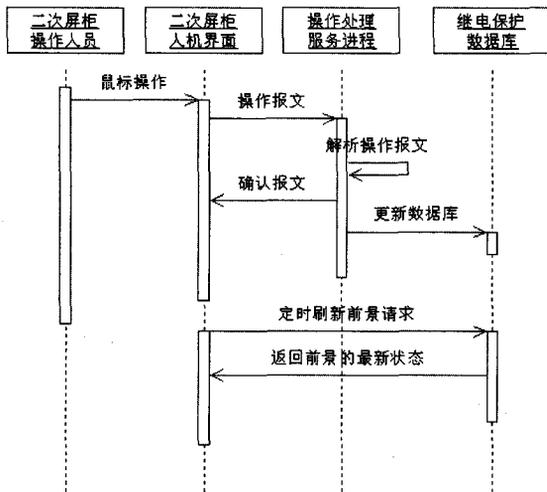


图4 二次屏柜操作的顺序图

Fig.4 Sequence diagram of secondary screen operation

图4中,除了解析操作报文功能是由操作处理服务进程实现的,其他功能都是由应用支撑平台实现的。因此,为了实现二次屏柜操作的模拟,只需要在操作处理服务进程中增加对二次屏柜操作报文的解析处理即可。

### 5 现场一次设备和安全用具仿真

为了实现逼真的仿真效果,现场一次设备和安全用具仿真采用三维显示和多媒体技术。由于原DTS中没有对三维显示的支持,因此这部分需要全新开发。对现场一次设备和安全用具操作的模拟仍然可以采用图4的操作处理流程,只是图中的二次屏柜人机界面需要换成支持三维显示的人机界面,其他保持不变。

### 6 结论

本文提出了一种在调度员仿真培训系统的基础上通过功能扩展实现集控站仿真培训系统的方法。

该方法充分共享了调度员仿真培训系统的代码,利用它快速实现了一个功能完备的集控站仿真培训系统,并已经在现场投入运行,系统运行稳定。

### 参考文献

[1] 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):64-66. ZHANG Dong-ying, GE Liang, YANG Yi-han, et al. Implementation of 500 kV Automation Substation Simulation and Training System[J]. Power System Technology, 2001, 25(6):64-66.

[2] 王邦志,林昌年,蒲天骄,等. 变电站集中监控仿真培训系统的设计与实现[J]. 电网技术, 2004, 28(15):21-24. WANG Bang-zhi, LIN Chang-nian, PU Tian-jiao, et al. Design and Implementation of a Training Simulator for Substation Control Center[J]. Power System Technology, 2004, 28(15):21-24.

[3] 何志良. 集控自动化系统及其与调度自动化系统的关系[J]. 电网技术, 2003, 27(3):68-70. HE Zhi-liang. Relationship between Integrated Automation Control System and Power Dispatching Automation System[J]. Power System Technology, 2003, 27(3):68-70.

[4] 胡军. CC2000 集控站系统在呼伦贝尔电业局的应用[J]. 电网技术, 2007, 31(S2):351-353. HU Jun. Application of CC2000 Centralized Control Station System in Hulunbeier Power Supply Bureau[J]. Power System Technology, 2007, 31(S2):351-353.

收稿日期: 2008-04-03; 修回日期: 2009-03-18

#### 作者简介:

胡晓侠(1970-),女,大专,工程师,主要从事调度自动化的管理工作;

胡炎(1975-),男,博士,高工,主要研究方向为电力二次系统安全防护、电力系统和保护仿真、调度自动化技术等。E-mail: yanhu@sju.edu.cn

(上接第 85 页 continued from page 85)

收稿日期: 2008-07-22; 修回日期: 2008-09-23

#### 作者简介:

石红杰(1981-),男,硕士研究生,主要研究方向为继电保护、配电网及水电站自动化; E-mail: shihongjie1981\_0@

163.com

乐秀璠(1952-),男,副教授,主要研究方向为电力系统监控与保护、水电厂综合自动化、微机测控技术;

徐懂理(1983-),男,硕士研究生,主要研究方向为继电保护、配电网及水电站自动化。