

# 县级调度员仿真培训系统特色模型 研究与开发

李秋燕<sup>1</sup> 张洪波<sup>1</sup> 姚峰<sup>2</sup>

(河南省电力公司, 郑州 450052)

**摘要** 县级电网是中性点不接地系统, 针对其在电网结构、运行方式和管理职能等方面的特点, 开发电网仿真和变电站仿真相结合的县级调度员仿真培训系统, 研究具有县调特色的仿真功能、模型和算法。所开发系统已成功应用于河南电网。

**关键词:** 县级电网; 调度员仿真培训系统; 电网仿真; 变电站仿真

## Research and Development on Characteristic Models with Novel County Dispatcher Training Simulator

Li Qiuyan<sup>1</sup> Zhang Hongbo<sup>1</sup> Yao Feng<sup>2</sup>

(Henan Electric Power Company Training Center, Zhengzhou 450052)

**Abstract** The county level power grid is a isolated neutral-point system. A county dispatcher training simulator is developed, which focus on the network structure, the operation manner and the management function, etc. Power grid simulation and substation simulation are integrated in the system, and some functions, models and algorithm with county grid character are brought forward and realized. The training simulator system has been put into operation successfully at Henan power grid.

**Key words:** county level power grid; dispatcher training simulator; power grid simulation; substation simulation

调度员仿真培训系统(DTS)是电网调度自动化应用技术的重要组成部分, 实现对各级调度员的系统性培训, 使其在与实际控制中心基本相同的仿真环境中掌握能量管理系统(EMS)的各项功能, 提高其在电网正常、异常和故障恢复情况下的调度决策能力。当前针对网、省调等大中型电网调度的DTS开发较早且应用较为成功<sup>[1-3]</sup>, 而在农网快速发展的今天, 针对县级电网的DTS却非常匮乏<sup>[4]</sup>, 但它并不能完全照搬网、省调的模式: 县级电网呈辐射状结构, 正常运行时为开放式网络; 主接线形式多数为单母线系列; 35kV、10kV系统中性点不接地或经消弧线圈接地; 继电保护动作情况与网、省调不尽相同。随着农网改造升级和调度自动化应用程度的加深, 迫切需要一套实用的、针对性强的县级调度员仿真培训系统。本文结合河南某县级调度DTS开发过程, 分析县级电网结构、运行方式和管理职能等特点, 研究县调特色模型和算法, 介绍开

发过程中的实用化方法, 所研制系统已经投入现场实际应用。

### 1 仿真系统基本结构

调度员仿真培训系统是能量管理系统的镜像, 集能量管理仿真和培训功能于一体, 图1给出县调DTS软件模块结构。该系统采用SDSS2000(Simulation Development Supporting System 2000 Version)仿真支撑平台<sup>[5]</sup>, 应用功能由电力系统模型、教员台和学员台3部分构成, 其中教员台负责教案的制作和管理、仿真过程控制, 学员台1模拟控制中心SCADA/EMS功能, 学员台2模拟变电站监控、操作功能。它们的联合实现了电力系统生产、传输、调度全过程仿真。

1) 仿真支撑系统。它是整个软件的控制、管理中枢, 也是联系教员台和学员台的纽带, 集通信管理、数据分布管理、系统配置管理、权限管理、应

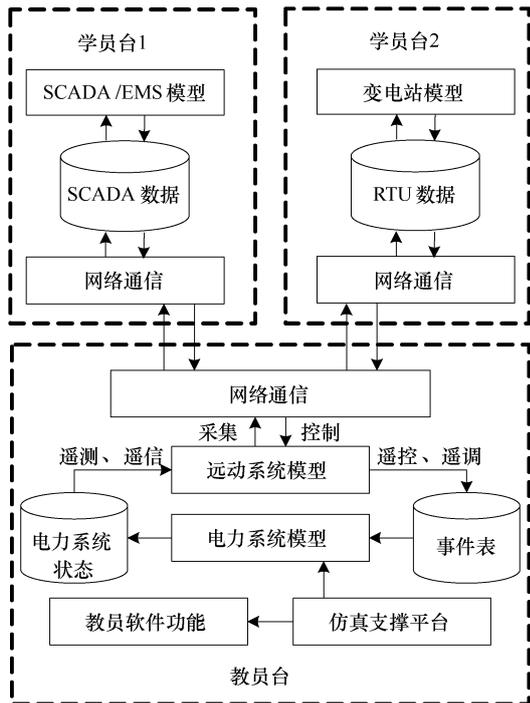


图1 县调DTS软件模块结构

用程序接口管理、仿真时间管理等功能于一体。学员接受培训时在学员台上执行的操作是多方面的、复杂的，例如开关操作、刀闸操作、发电机出力调节、变压器分接头调节、负荷调节等；同时教练员也会设置各种故障、保护投退或拒动、开关拒动等。以上内容都是仿真程序遇到且需要解决的，但并不能直接被核心计算程序所接受，这就需要有一个接口：将用户的操作转换为电力系统模型计算程序所能接受的数据形式，因此数据处理及数据通讯是仿真支撑系统最主要功能。

2) 电力系统模型。它是整个DTS的基础和关键，为SCADA模型和变电站模型提供遥测量，这些数据直接影响变电站各种设备和装置动作的正确性。在SDSS2000仿真支撑平台的模块化建模环境中，通过输入、输出和系数的配置建立模块，并依据物质流向和控制信息流向将这些模块一一连接起来，构成电力系统的抽象模型，准确模拟电力系统在各种运行方式及事故状态下的变化过程，完整精确地对现场各种行为进行全范围仿真。这些模块有：外网等值、网络拓扑分析、潮流计算、频率计算、故障短路电流计算、继电保护仿真。

3) 教员台。它具有控制培训过程的功能，包括初始化参数、调整控制参数、教案管理和制作、仿真过程控制（例如运行、冻结）、事件处理、学员操

作过程记录等功能。

4) 学员台1。它由SCADA和EMS模型构成，模拟控制中心SCADA/EMS的数据采集、数据处理和计算、电网运行监控、事件和报警处理、远方调节和控制、人机会话等，真实模拟调度员工作环境，使其在接受培训时有身临其境的感觉，从中得到全方位训练。

5) 学员台2。它是模拟变电站综合自动化系统及一、二次设备工作原理，使得学员能够深入变电站操作具体设备，完整执行调度员命令。

## 2 实例开发与分析

### 2.1 仿真对象

仿真的县级电网是河南某地区电网的一个组成部分，通过5回110kV线路与地区电网相连，有2座220kV变电站，4座110kV变电站，15座35kV变电站，1座电厂。电网接线如图2所示。在建立电网物理模型时，对DTS培训中涉及的110kV、35kV变电站和拓扑关系均不作简化，只对220kV级电网进行等值处理，等值原则为：当内部电网存在功率不平衡时体现外网对内网的有功、无功增援，保证边界联络线潮流变化的真实性；当内部电网发生短路故障时保证外网的正序、零序模型合理。

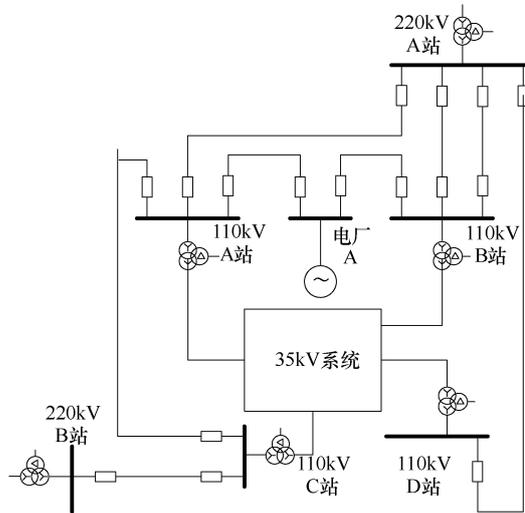


图2 仿真对象电网结构

### 2.2 县调特色模型开发与分析

#### 1) DTS仿真与变电站仿真的集成

网省调DTS侧重于SCADA/EMS模型的仿真，一般而言它和变电站仿真培训系统是分别孤立运行的，对变电站模型以及执行调度命令的变电站操作进行简化处理，常由教练员充当厂站值班员，通过



### 3) 单相接地故障处理

县调保护最主要的特点是单相接地问题。县调电网为中性点不接地或小电流接地系统，当发生单相接地时，故障点的实际电流很小，三相之间的线电压和负荷电流仍然保持对称，因此在一般情况下都允许继续运行 1~2h，不必立即跳闸。这是中性点非直接接地系统运行的主要优点，但在单相接地后，其它两相对地电压要升高至线电压，发出母线绝缘检测信号。对调度员来说，母线绝缘检测信号是最常见的保护信息，如何在尽量保证重要负荷正常运行的前提下做到最短时间内找到故障设备，是调度员必须掌握的。因此，在县调 DTS 中逼真模拟单相接地故障十分必要。

按照故障发生地点来分，单相接地故障分为单点单相接地故障和两点单相接地故障两种情况。35kV 或者 10kV 线路上面发生单点单相接地故障，调度员收到母线绝缘检测信号后根据经验按照一定次序拉合母线上各条线路开关来查找故障设备，通知现场检修；发生两点单相接地故障，即在解除单相接地故障前，别的地方又发生了单相接地故障，这一情况需要判断新的故障点是本地的还是异地，是同相的还是异相。本次开发过程中短路电流计算采用的是单端口网络计算方法，即计算过程只能接收单个故障信息，因此对两点单相接地故障，需在模型中加以处理而得出正确仿真结果。

(1) 本地同相两点故障。故障发生在本地且相位相同，故障信息处理为两个单点单相故障。第一个故障点被找到且解除后，系统仍然处于单点单相故障状态，始终保持母线绝缘检测信号，直至第二个故障消失。

(2) 本地异相两点故障。目前县级电网 35kV、10kV 线路保护多是采用不完全星形接法，电流保护只取 A、C 两相电流，因此当发生不同地点不同相别两点接地时，B 相接地的线路不跳闸，只跳涉及 A、C 相接地的线路。所以故障信息处理时得细致划分。当一条线路发生 A(C) 相接地故障，另一条线路发生 C(A) 相接地故障，故障信息处理成两条线路均发生 A、C 相间故障，触发相间保护动作；当一条线路发生 A(C) 相接地，另一条线路发生 B 相接地，故障信息处理成前一条线路发生 A、B 相间故障，后一条线路发生 B 相接地故障。这样通过故障信息的人为处理，以达到培训调度员的效果。

如图 4，在仿真系统上设置“10kV 桃源线 A 相接地且滨庞线 B 相接地”故障，模型系统处理结果为“桃源线发生 AB 相间接地且滨庞线发生 B 相接地”，在图 4 所示运行方式下，保护动作情况如下：

- ①#2 主变后备保护起动；
- ②10kV 南母接地；
- ③10kV 北母接地；
- ④桃源线#30 开关瞬时电流速断动作；
- ⑤桃源线#30 开关重合闸动作；
- ⑥桃源线#30 开关瞬时电流速断动作；
- ⑦桃源线#30 开关过流后加速动作。

经实例分析，该处理方案正确且有效，触发的保护动作情况符合真实逻辑。

(3) 异地两点接地故障。在此情况下保护是否动作是由零序通路决定的，通过网络拓扑来判断当两个故障点之间是否存在零序通路，再计算故障电流以触发保护动作。

### 4) 定值驱动的继电保护仿真

目前继电保护仿真方法有两种：逻辑驱动仿真和定值驱动仿真<sup>[9]</sup>。逻辑驱动仿真是设备发生故障时系统不计算短路电流，而只是根据故障发生地点、故障类型、持续时间、保护配置，通过网络拓扑和逻辑判断来触发相应的保护动作。从理论上讲，县级电网的辐射状结构和保护配置类型适用于逻辑驱动仿真，但在实用过程中发现：县级电网存在较多 T 接线路，保护动作与否则还需考虑电源端问题；许多变电站采用内桥接线，主变保护动作完全不同于完全接线的变电站，逻辑判断规则有很强的地方特色；并且规则库不可能把所有的故障都综合考虑进来，对比较复杂的故障而言，保护逻辑判断不能真实反映保护动作情况和开关跳闸情况，就不适用于进行更高层次的业务技术培训。鉴于以上几点逻辑驱动仿真的限制，本次开发采用定值驱动仿真。

继电保护仿真模拟变电站各个保护小室的设备以及电网中需要配合的保护设备，包括：线路保护、主变保护、母线保护、电容器保护、电抗器保护、断路器保护及断路器辅助操作箱、备自投等。继电保护模型与实际装置一致，由测量、逻辑、动作环节组成，通过短路电流计算结果与继电保护动作定值比较来正确模拟保护的启动特性、复归特性和时间特性，真实展现电力系统发生故障后保护的動作信息，以及保护拒动或者开关拒动所引起的多级保护配合情况。

### 3 仿真效果

县级调度员仿真培训系统硬件构成为 3 台计算机,其中教练员机 1 台;模拟电网 SCADA/EMS 功能的学员机 1 台,双显;模拟变电站监控、保护的学员机 1 台,双显。系统所在网络环境为 100MB 以太网。

系统模拟了一次故障 117 个,二次故障 172 个,还设置了具有中性点不接地系统特色的故障,如本地异相两点接地、异地两点接地等,既仿真了厂站之间线路上的各种故障,又仿真了站内的各种类型故障,如开关拒动、保护异常、刀闸发热等。

该系统实现电网与变电站联合仿真功能,既利用了前者在电网仿真方面的优势,又充分发挥了后者在变电站内部仿真方面的深度和细致度,使得系统具有仿真实时交互的数据源,在正常操作和故障情况下,电网和变电站能够同步发生变化,从局部细节和全网概貌上真实再现了电力系统动态反应过程。既可用于电网调度员和变电站值班员培训,也可用于两者协同配合的联合反事故演习。现已在河南省某县电网和技术技能培训中心成功应用,为农电素质提升工程提供强有力的科技支撑力量。

### 4 结论

本文考虑了县级电网结构、运行方式和调度职能特点,提出并实现了县调 DTS 若干特色功能的模型和

(上接第 76 页)

射。导致通信有时出现中断现象。

于是对利用矫直机检修期间,对通信电缆进行重新规范,将通信电缆及 PLC 信号电缆全部敷设在电缆沟桥架最上层,并全部穿钢管。保证强电与弱电传输电缆相对距离越大越好(现场由于空间所限,目前均在 400mm 左右),同时在柜内也将通信电缆与动力电缆距离分开。原计划要做一套单独的接地系统,由于现场附近土质及场地限制,暂时没有实施。

通过以上工作完善后,矫直机在运行中再未出现过此类故障。

### 3 结论

Profibus 总线的应用场合非常多,应用环境也各不相同,但只要严格按照 Profibus 的规范进行网络拓扑的设计、遵守布线规则、处理好系统的“地”与“接地”等,将在很大程度上避免总线网络使用

算法,并在河南电网得到成功应用。实践证明,本文提出的县调 DTS 特色模型和算法是可行且实用的。

#### 参考文献

- [1] 王治华,范静.面向智能调度的调度运行人员培训仿真系统探讨[J].华东电力,2012(5).
- [2] 陶文伟,黄天成,徐旭辉,等.地区电网调度员培训仿真系统的开发与应用[J].电网技术,2006(30): 82-85.
- [3] 王庆平,陈超英,陈礼义.DTS 技术及其展望[J].继电器,2002,30(5): 29-33.
- [4] 俞伟勇.调度员仿真培训系统在县级供电公司的应用与分析[J].电力信息化,2009,7(5): 95-98.
- [5] 李秋燕,张洪波,姚峰.500kV 多站联合变电仿真系统设计及开发[J].电气技术,2011(9).
- [6] 奚国富,吴福保,朱金大.县级电网调集一体化系统技术发展趋势[J].电力设备,2006,7(6): 13-16.
- [7] 张大立.广西县级自动化系统建设与发展策略[J].南方电网技术,2007,1(1): 81-84.
- [8] 胡晓侠,胡炎.基于 DTS 的集控站仿真培训系统实现方法[J].电力系统保护与控制,2009,37(11): 86-90.
- [9] 王嘉明,牟勇,吴文传,等. DTS 中继电保护的 CIM 模型扩展与实现[J].电力系统保护与控制,2010,38(2): 90-94.

#### 作者简介

李秋燕(1981-),女,硕士,工程师,主要从事电力系统仿真培训系统的研究和开发工作。

中出现的各种问题。同时要清楚的掌握其他传动装置的总线协议及连接方法,也将很大程度上的减少调试时间。

#### 参考文献

- [1] 西门子公司.西门子 STEP7 V5.4 编程手册[Z].
- [2] 施耐德公司.施耐德 ATV 71 变频器使用说明书[Z].
- [3] 张燕宾.SPWM 变频调速应用技术[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [4] 廖常初.S7 300/400 PLC 应用技术[M].北京:机械工业出版社,2008.
- [5] 廖常初.西门子工业通信网络组态编程与故障诊断[M].北京:机械工业出版社,2009.
- [6] 西门子公司.Profibus 现场总线安装指导[Z].

#### 作者简介

付君(1980-)男,助理工程师。现从事设备管理工作。