

DTS 技术及其展望

王庆平,陈超英,陈礼义

(天津大学电力系,天津 300072)

摘要: 为提高调度员对电力系统正常调度控制以及处理各种突发事件的应变能力,调度员培训仿真技术(DTS)在电力系统中得到了广泛的应用。文中对DTS技术的要求、分类以及结构作了详细的介绍。同时通过对DTS发展现状的分析,提出了适应现代电力系统特点的发展方向。

关键词: DTS; 中长期动态; 暂态稳定; 数字仿真

中图分类号: TM743 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2002)05-0029-04

1 引言

随着电力工业的发展,电网规模日益扩大,对供电可靠性的要求也越来越高。电力系统故障是由调度员统一协调、指挥处理的,如果处理不当可能会发展成大面积、灾难性故障。为实现电力系统的经济安全运行,一方面要求组成电力系统的元件和自动装置可靠性高;另一方面在目前调度自动化尚不能很好处理系统中所有故障的情况下,要求有高水平的调度人员。对许多重大事故的分析表明:运行人员临时慌乱作出错误判断和处理不当,往往是事故扩大的主要原因之一。提高调度员的调度水平,增强反事故能力成为很迫切的任务。

过去运行人员的经验主要来自实时工作积累,通常的培训方式有跟班学习、课堂式反事故演习和事故处理经验总结等。但当实际事故发生时,调度员往往仍不知所措。造成这种问题的原因是:电力系统事故率很小,即使发生事故也往往由于事故过程很短,很难在一两次事故中积累足够的经验,调度员没有机会在电网多次异常和事故中得到磨练。而实际电网是不允许人为制造事故的,这就要求采用其他方式对电力系统进行模拟。随着计算机在线控制的应用,调度员培训仿真器日益成为培训电网调度员的重要手段之一^[1]。

本文对调度员培训仿真技术的要求、分类和结构作了简要介绍,对DTS的硬件和软件研究的现状进行了讨论,在此基础上提出了模块化、可视化、自适应化和硬件通用化等发展方向。

2 调度员培训仿真的基本理论

DTS是利用计算机模拟技术,给调度员一个模拟实际电力系统的运行环境,帮助调度人员获得系

统在正常状态下和紧急状态下的运行和操作经验。

2.1 DTS的基本要求

·一致性:力求DTS环境与实际系统的控制、操作环境一致,能真实地再现主控制室中SCADA/EMS系统环境。尽量采用与调度中心相同的计算机、控制台、CRT以及人机界面,使学员在培训中有真实感,从而训练系统故障时的快速反应能力,以获得较好的培训效果。

·真实性:DTS应对所模拟的电力系统的静态和动态过程作准确、可靠地描述。包括实际系统中的发电机、线路变压器、电抗器和断路器等元件,并根据不同的运行方式,真实地再现电网的潮流分布和扰动下的动态特性。

·开放性:在电力系统以及计算机技术飞速发展的今天,一个成功的DTS应具有可移植性、可扩充性和可升级的特点。UNIX、TCP/IP、WINDOWS和C++的应用,在一定程度上解决了操作系统、网络通信和数据库不标准造成的扩充、升级和维护等问题,DTS的设计必须遵循开放式系统标准,尤其应适应SCADA/EMS系统的不断更新。

2.2 DTS的构成

现有的DTS种类很多,机构上也有一定差异,通常由以下几部分组成:

·电力系统模拟:(PSM子系统)

PSM子系统由以下模块构成:(1)网络拓扑;(2)动态潮流;(3)中长期动态仿真;(4)准实时暂态仿真;(5)保护与自动装置的模拟。PSM子系统的主要任务是描述电力系统的静态和动态过程,尤其是较慢的机电暂态和中长期动态。该模块要求详细模拟各元件特性,尤其是超高压主网;模型应具有良好的适应性,在可能的电压、频率变化范围内保证足够的精度;适应各种电网运行状态;保护计算速度,实现

实时仿真;与 EMS 系统相配合。

·控制中心模拟:(CCM 子系统)

CCM 子系统由以下模块构成:(1) SCADA 数据库系统;(2)在线图形和人机接口;(3) SCADA/EMS 信息处理;(4)模拟通信设备。CCM 子系统用于完成 DTS 数据采集及监控的过程。DTS 可用在线实时的 SCADA 数据或历史数据进行培训,也可脱离在线系统采用独立的数据。采用 SCADA 数据时,应作状态估计对不良数据进行检测;而不采用在线数据时,电力系统模型、负荷分配等可由教员设定。

·培训子系统:(ES 子系统)

ES 子系统由以下模块构成:(1)系统初始化模块;(2)培训控制模块;(3)培训评估模块;(4)操作接收和校核模块。ES 子系统完成教员对培训内容和过程的控制,应具有操作灵活的特点,培训结束后应对学员的操作进行准确地评估和分析。

实际电网中遥测、遥信数据由 RTU 采集,经 SCADA 前置机传送至主机。通过人机界面 MMI 将电力系统状态在 CRT 上显示出来,使调度员了解电网状态。调度员的操作命令同样通过人机接口送至 SCADA 主机、前置机、RTU 以完成对设备的操作。DTS 以数学方程模拟实际系统行为,因此应与实际系统相对应,如图 1 所示。

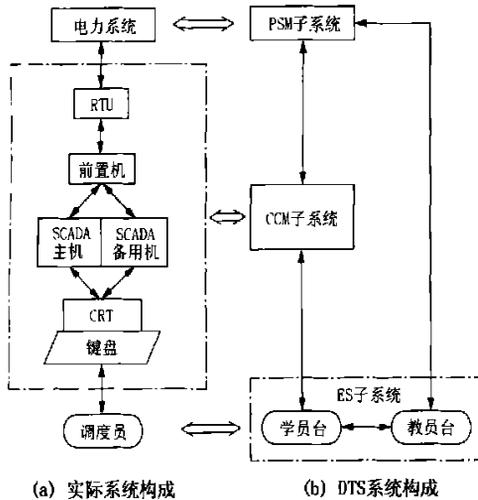


图 1 实际系统与 DTS 各部分的关系

3 DTS 的发展与现状

3.1 概述

调度员培训仿真的概念是 Wisscosin 公司于 1973 在 EMS 软件设计中形成的。1977 年美国连续发生了多次大面积停电事故,引起了人们对 DTS 系

统的重视。1978 年美国电力科学研究院 (EPRI) 组织了第一次 DTS 研讨会,随后 DTS 技术得到了飞速地发展。

技术的发展经历了以下几个阶段:

·70 年代采用 CDC-17 为硬件平台,电力系统模拟子系统主要应用潮流解法。

·80 年代以小型机为硬件平台,逐步以中长期动态过程为基础仿真电力系统。

·90 年代硬件平台主要采用分布式工作站组成的开放系统,对电力系统的模拟已逐步向考虑暂态过程的 DTS 系统发展。

表 1 为近年来开发的几种典型的调度员培训仿真器实例^{[2][3]}。

表 1 典型的调度员培训仿真器实例

用户	硬件配置	系统规模	PSM 模型	时间
法国 EDF	Gould Sel 32/87	节点 210 发电机 100	动态潮流 + 暂态过程 (E_q 恒定)	1987
东京电力	阵列式计算机	节点 261 发电机 54	发电机四阶模型,暂态实时	1990
纽约电力	NAS8063	节点 1000 发电机 600	暂态过程 (E_q 恒定) 15s 完成 2s	1990
宾州公司	960-11 CYBER	节点 1000 发电机 500	发电机四阶模型	1994

总体看来 DTS 硬件技术的发展与计算机技术的发展紧密相关,硬件配置由单机向多机系统发展。而 PSM 软件技术随硬件水平的提高也有了很大进步,由最初的动态潮流程序,发展到包括中长期动态甚至机电暂态过程的仿真研究。硬件技术的研究是为实现相应的仿真软件算法服务的,而 PSM 模块是 DTS 的核心,因此本文将着重讨论 PSM 软件技术的发展现状。

3.2 PSM 模块的研究

用于长期动态分析的数学模型是由 R. P. Schulz 等提出的^[4],具有以下特点:

- 全网统一频率,用一个运动方程描述。
- 忽略时间常数小的环节。
- 计及电压、频率变化。

在此基础上 R. D. Dunlop 首先用长期动态仿真程序进行分析^[5]。随后美国 EPRI 将稀疏技术用于长期动态仿真研究,扩大了计算规模^[6]。文献^[7]采

用基本模块法建立元件模型,但未实现实用软件的开发。关于发电厂长期动态模型的研究也取得了一定进展:文献[8][9][10]分别对火电厂、水电厂和原子能电站的模型进行了改进,使仿真模型实用化。

中期稳定仿真与长期动态仿真的区别在于中期稳定需要同时计及暂态模型和长期模型,文献[11]首先研究了中期稳定仿真的具体方法。有时在DTS仿真中将中期稳定过程忽略,直接实现暂态稳定和长期动态的模型转换^[12]。

暂态稳定程序研究电力系统在扰动下的稳定问题,由于计算量大在早期的DTS系统中被忽略了。但是由于发生了大量电网电压崩溃问题,暂态稳定计算逐渐受到人们的重视。文献[13]讨论了时间常数很大的元件模型间的接口问题;文献[12]也对暂态—中长期动态的过渡进行了研究。但是由于暂态稳定计算量很大,过渡接口复杂,尚须作进一步研究。

4 DTS技术的发展趋势

4.1 模块化

随着软件技术的不断发展,面向对象技术(OOP)被广泛应用于电力系统的各个领域。面向对象建模具有模块性、可扩充性和重用性的特点。由于电力系统元件类型复杂,经常增加新设备(尤其是控制系统)。因此为易于更新和扩展,现代DTS软件逐渐采用面向对象的方法。文献[14]将面向对象技术应用于潮流计算,文献[15]讨论了面向对象的模块化方法实现动态仿真。DTS的模块化要求合理地建立电力系统元件的模型库,文献[16]研究了基于图形建模方法实现元件模型库的方法。

目前,在DTS中往往包括机电暂态仿真部分,与中长期动态接口成为重要问题。应用面向对象技术建立元件在不同动态阶段的模型,可以很好地实现系统不同阶段的转化,这将是DTS研究的重要方向。同时,为便于新元件模型的形成,应建立便于用户掌握的自定义模块接口,提高仿真的灵活性。

4.2 可视化

现代电力系统的发展不仅要求调度员掌握保证电能质量和系统安全技术,防止系统向不安全状态转化,而且要使系统处于经济运行状态,以适应电力市场的要求。因此有必要在DTS中加入重要的分析和研究功能,使调度员建立电力系统的基本概念,提高系统安全性、可靠性、经济性方面的理解。为了使学员得到更多的信息,考虑到人对图形和色调的

感觉比对数字敏感,培训环境可用图象、动画等表现。这样的新型培训仿真成为可视化调度员培训仿真VDTs(Visualizing DTS)。

采用VDTs技术可以通过图形系统表现更丰富的系统运行状态信息,包括参数大小、相互关系、分布、超界情况、不安全性、流向等。例如在系统单线图上,以活动箭头表示潮流方向和大小,母线和线路颜色表示电压等级,饼图显示正常、警告和超限状态等。通过VDTs直观地反映系统潮流优化、稳定运行等问题,将抽象的概念简明地表现出来,这是可视化仿真独特的优点。

4.3 自适应化

在分析电力系统动态过程时,把动态过程分成暂态和中长期动态已被人们广为接受,但模型之间的转换始终没有得到很好地解决。研究暂态稳定的模型比较复杂,且计算步长不能过大,因此计算量很大,通常的仿真方法很难满足实时仿真的要求。因此需要提出根据元件状态自适应地变换模型^[17],这样就可以合理解决计算精度和时间复杂度之间的矛盾。

在整个动态过程中,元件的状态是在不断变化的。随着暂态分量的衰减和仿真步距的加大,时间常数小的部分(如励磁控制系统等)将被忽略,而时间常数大的部分(如锅炉等)将被详细考虑,这样元件就自适应地变换为新的模型。同时当系统确定可以保持稳定后,还可以采用加速的方法(如人工阻尼法)使系统快速过渡。

4.4 硬件通用化

在计算机硬件飞速发展的今天,硬件技术的提高推动了DTS水平的发展。但是快速的硬件系统更新在提高仿真效率的同时,也带来了兼容性的问题。因此开发时应保证硬件不相同,画面、警报等与现场基本一致。目前的DTS多与SCADA系统相连,而SCADA硬件往往远远落后于当前计算机水平,SCADA系统改造势在必行,这样就不必要与现场强求一致。但是要保证硬件的通用性,以便于系统的接口。此外应采用工作站和网络技术以提高DTS的开放性。

5 结论

- (1)对DTS技术的要求、分类以及结构作了详细的介绍。
- (2)研究了DTS的发展和现状。
- (3)提出了模块化、可视化、自适应化和硬件通

用化的发展方向。

参考文献：

- [1] 张力平. 电网调度员培训仿真[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999, 1.
- [2] Biglari H. A Dispatcher Training Simulator Design with Multi - Purpose Interface[J]. IEEE Trans, 1985, 6(6): 1276 - 1280.
- [3] Rafian M. Real time Power System Simulator[J]. IEE Proceedings, 1987, 4(5): 65 - 71.
- [4] Schulz R P. Long Term Power System Dynamics[R]. Final Reports of EPRI Project RP90 - 7, 1974, 6.
- [5] Dunlop R D. Use of Digital Computer Simulation to Assess Long Term Dynamic Response [J]. IEEE Trans, 1985, 6(3): 855 - 859.
- [6] EPRI. Long Term Power System Dynamics [R], Phase II. EPRI Project RP764 - 1, 1977, 2.
- [7] EPRI. Long Term Power System Dynamics Simulation Methods. EPRI Project RP1469 - 1, 1985, 2.
- [8] Hemmaplardh K. Applications of dynamic models in Dispatcher Training Simulator and in Other System Dynamic Performance Studies [J]. IEEE Trans, 1985, 6(6): 1133 - 1138.
- [9] Jovanovic S M. Decomposition Multi - step Noniterative Method for Numerical Integration of Short - term and Long - term Dynamics of power systems[J]. Electrical Power & Energy systems, 1986, 8(3): 48 - 56.
- [10] 张一. 电力系统拓扑空间理论在长期动态研究中的应用[M]. 北京: 电力科学院, 1987, 11.
- [11] Celopulos D P. Midterm Simulation of Electrical Power System[R]. Final Report of EPRI RP745, 1979, 6.
- [12] Frowd R T. Transient Stability and Long Term Dynamics Unified[J]. IEEE Trans, 1982, 10(10): 1101 - 1107.
- [13] Cate E G. Time Frame Notion and Time response of the Models in Transient, Midterm and Long - term Stability Program[J]. IEEE Trans, 1984, 1(1): 34 - 42.
- [14] Jun Zhu. Object - oriented development of software systems for power system simulations[J]. IEEE Transaction on Power System, 1997, 12(2).
- [15] Zhou E Z. Object - oriented Programming, C++ and power system simulation [J]. IEEE Transaction on Power System, 1996, 11(1).
- [16] Cole A M. A Graphical Simulation Laboratory for Power System Engineering Programs [J]. IEEE Trans, 1996, 11(5): 509 - 606.
- [17] Barret J P. Power System Simulation [M]. London: Chapman & Hall, 1997.

收稿日期：2001-09-10； 改回日期：2001-10-09

作者简介：王庆平(1975 -)，男，博士，从事电力系统仿真及其故障分析的研究；陈超英(1957 -)，男，博士，博士生导师，从事电力系统故障分析、继电保护、交直流系统数字仿真以及电力系统故障测距等的教学和研究。

The dispatcher training simulator and its development

WANG Qing-ping, CHEN Chao-ying, CHEN Li-yi
(Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: For improving ability of dispatchers to control power system and deal with unexpected trouble, the Dispatcher Training Simulator (DTS) is used in power system widely. The demand, class and structure of DTS are introduced in this paper. Based on analyzing status of development, this paper puts forward four future developments which are suitable to modern power system.

Keywords: DTS; long term dynamics; transient stability; digital simulation

恭贺许继保护及自动化事业部成立！