广 东 电 网 仿 真 系 统

马志强　邱　野　胡建军　温柏坚
（广东省电力中心调度所　510600　广州）
王心丰　林仁东　励东辉　何文昀
（清华电机电子科技开发公司　100084　北京）

摘　要　介绍了广东电网仿真系统，其主机采用 Sun Sparc 工作站(SS10GX-51-32-P46)，软件运行中对各种操作均有快速的响应。采用稳态/动态一体化的电力系统模型，发电机采用 E_q''变化的精确模型，故障及各种误操作时可由稳态的潮流模型自动转入动态电力系统模型，扰动平稳后又可自动返回稳态，可以将电气量与保护及装置定值进行比较，模拟继电保护与自动装置的动作行为。自投运以来，在调度员培训、联合反事故演习、运行方式分析、事故分析及对策研究方面已得到了广泛应用。

关键词　电力系统　仿真　调度员培训

0　前言

广东电网仿真系统采用目前国际上性能价格比较为优越的 SUN 工作站(SS10GX-51-32-P46 等共 4 台)和目前国际上广为流行的多用户、多任务 UNIX 操作系统、TCP/IP，以汉化 MOTIF 窗口技术和 C 语言为软件开发平台，使用自行研制开发的适合我国电力系统特点的 PANDA 实时数据库管理系统[1]，吸取了第一代电网仿真系统的优点，研制开发了初始化、稳态潮流、暂态稳定、继电保护、自动装置、数据录入、图形编辑和图形显示等模块，并结合广东电网的实际特点对抽水蓄能、核电、西电、中电的运行做了特殊处理。它可用于调度员培训和运行方式计算[2]。

1　数学模型简介

1.1　稳态潮流模型

潮流计算采用快速 PQ 分解法，并计及系统的频率特性，即：根据加速功率的大小、负荷特性和调速器特性，用改进欧拉法计算系统的频率偏差；每一分钟根据厂站各自的负荷曲线对出力和负荷修正；继电保护动作以逻辑判断的形式实现，并考虑了拒动和误动；所有自动装置则用将计算值与定值比较的方法确定装置是否动作。

1.2　动态电力系统模型

动态计算中，同步机采用 E_q''变化模型，励磁系统采用 EPRI Ⅰ 型励磁调节器模型，调速器模型采用水轮机、汽轮机通用模型，负荷采用恒阻抗、恒电流、恒功率模型加感应电动机；用隐式梯形积分法解动态的微分方程组与网络方程交替迭代求解[3]。

1.3　联络线控制模型

广东电网仿真系统用对外部网进行动态等值的方法模拟了互联系统(广西、云南、贵州系统和港电系统)，联络线潮流控制值给定后，程序自动调整指定的远方机组出力，实现互联系统间联络线控制，误差在±10 MW 之内(小于运行规程要求)。

1.4　稳态/动态一体化模型

正常情况下，系统在稳态潮流模块中运行，遇到人为的故障设置(短路和断线故障)、误操作(带电合地刀、带负荷拉刀闸等)或由于操作不当使潮流发散(如线路不合理的解环与线路负荷过重)时，程序自动转到动态电力系统模型中计算暂态过程。满足平稳判据后，又自动返回稳态潮流模型中，并带回继保动作、开关动作、自动装置动作的各种信息。

平稳判据必须同时满足下列两个条件：

(1) 同步稳定性判据：在一个给定的时段 T 内，任意两台机组间的相对频率差小于给定的指标 e。

(2) 电压稳定性判据：在一个给定的时段 T 内，各母线电压值都大于给定的指标 b，且任意一母线的电压变化量小于给定的指标 a，即

$$|V_i|_{t=0} - |V_i|_{t=T} < a$$

稳态/动态一体化模型中，对继电保护的处理提供了两种选择，一种是逻辑判断，保护动作时间在界面上也可进行修改(程序中给定有缺省值)；另一种是将计算量与保护整定值进行比较，确定动作与否、何时动作。

1996－04－01 收稿。

系统若无法平稳，则可进行人工干预(开关操作、负荷加减、机组开停等)使其平稳。

2 功能综述

广东电网仿真系统具有以下几个方面的功能：

(1) 灵活多样的启动方式，包括：① 任意日期从仿真数据启动；② 从在线系统启动；③ 从库内数据启动；④ 从存储柜启动；⑤ 从操作表教案启动；⑥ 从事件表教案启动。

(2) 能形象地模拟实际电力系统的各种基本操作：开关、刀闸、变压器分接头操作，机组加减有功和无功出力，变电站加减有功和无功负荷，投退继电保护和自动装置，控制联络线等。

(3) 能逼真地模拟实际电网中自动装置(低频减载、低压甩负荷、低频切泵、高频切机、低频自启动、联切线路或负荷、过载联动、AGC 等)的动作行为。

(4) 能准确地模拟实际电网中继电保护(线路：相差高频、高频闭锁、距离保护、零序保护、过流保护；母线：母差保护、开关失灵保护；发电机：失磁保护、纵差保护、瓦斯保护、零序电流保护、零序电压保护等)的动作行为。稳态模型中由逻辑判断实现，暂态中则可由定值判断和逻辑判断两种方式完成。

(5) 能准确地模拟出各种故障(三相短路、两相短路、单相短路/接地或不接地、三相断线、两相断线、单相断线) 和误操作(带负荷拉刀闸，包括拉空载线路，带电合地刀，操作不当而破坏系统稳定，例如不合理的解环)情况下系统的行为(继电保护和自动装置的动作信息、发电机转子角摇摆曲线、发电机频率动态曲线、线路功率动态曲线、节点电压动态曲线、短路电流信息)，并能进行人工干预(开、停机，加减出力和负荷)。核心程序与国内目前广泛使用的电科院综合稳定程序相比较，10 s 动态过程中母线电压绝对误差小于 0.001，发电机转子角相对误差小于 1%。所有结果均以图形、曲线、表格等多种形式给出，并可打印。为方式分析、事故预想、事故分析和对策研究提供了一个现代化手段[4]。

3 广东电网仿真系统的使用情况

自 1995 年元月投入试运行以来，广东电网仿真系统在调度员培训、联合反事故演习、运行方式分析、事故分析及对策研究等方面得到了广泛应用，取得了很好效果。

3.1 调度员培训

广东电网仿真系统几乎包括了整个广东电网的信息，它成了学习、实习的重要场所。借助于该系统，新调度运行人员很快就能熟悉了解整个广东电网情况：地理位置分布，系统图，各厂站接线方式，系统参数，系统调频、调压手段，全网继电保护、自动装置和低频减载的分布及特性，西电、中电、核电、蓄能的联网运行等；同时，结合运行方式报告，新调度员在该系统上对 1995 年度的各种运行方式进行了计算、分析、探讨，使他们很快地熟悉了系统的运行情况，了解到系统的薄弱环节所在，建立了全网的系统概念；通过培训，新调度员很快就掌握了各种调度术语和电网运行中的各种操作，熟悉了整个调度业务，并能根据教员从系统中提供的现象，例如开关动作信息、保护信息、自动装置动作信息等，迅速判断事故，并迅速作出处理。而在暂态过程中以曲线的形式提供出来的动态过程(发电机转子角摇摆曲线、发电机组频率动态曲线、线路潮流动态曲线，母线电压动态曲线)，使调度员看到了在实际中无法直接观察到的暂态现象，加深了调度员的理论水平，提高了调度员提出问题、分析问题和解决问题的能力。

3.2 反事故演习

自投入试运行以来，调度科已进行了 11 次反事故演习，效果良好。演习结束后，由参加人员对整个演习过程进行评议，专业人员对整个演习过程及讨论结果进行书面总结供调度运行人员随时查阅，并以简讯的形式将讨论中的一些共识送发到有关领导及调度运行人员手中，供大家参考。

3.3 运行方式分析和稳定研究

广东电网仿真系统的图形功能极强，各计算结果都能以曲线、棒图、表格等多种形式输出，一目了然，因而深受运方人员的欢迎。

粤东网是广东电网稳定性问题较为突出的地方，220 kV 800 多 km 的大环严重限制了系统东送能力，现场曾做过将环解开运行以望增加送电，但运行时发现广新线上时常有振幅 100 A 的振荡，后重又合环运行。针对此现象，在电网仿真系统上调整到与现场一致的方式后，用加一小扰动(某一站突然增加 5 MW 负荷)的方法进行模拟，并监视广新线潮流，得出的结果几乎与现场一致。

1995 年 12 月 15 日，北部电网(韶关地区、清远地区和广州 3 个 220 kV 站)发生了一次大面积停电

事故。事故发生后，根据收集到的现场资料，我们在该系统上进行了仿真分析，得出的结果与现场非常相近，为事故分析提供了直观而又科学的根据。

4 广东电网仿真系统再开发设想

4.1 开发继电保护整定程序

继电保护整定程序应具有以下功能：

(1) 能完成短路电流计算；

(2) 能自动完成保护整定值计算并生成报表；

(3) 作为仿真系统的一个模块，可从在线系统读取现场数据进行整定值计算，并用仿真系统中的动态程序进行校核，无误后为系统确定各相应的保护定值。

4.2 开发操作票系统

借助仿真系统开发操作票系统具有以下特点：

(1) 元件实体与抽象的元件编号一一对应，直观明了。

(2) 调度员按照自己的思路在仿真系统上对元件进行操作(开关、刀闸、保护投撤、定值修改、自动装置投撤等)后形成操作票。同时，仿真系统的检错功能能防止错误操作票的产生。

4.3 开发与综合程序及 BPA 动态程序接口

广东电网仿真系统动态程序数学模型较少，计算方法单一；综合程序与 BPA 程序数学模型种类较多，而输入输出繁琐。开发与综合程序及 BPA 动态程序接口，能将两者的优点结合起来，具有极大的实用价值。

这样，调度、运行方式、继电保护和自动化等部门将共享仿真系统的数据和图形，使电网运行管理跨上一个新台阶。

5 参考文献

1 李大林，朱明哲，王心丰，肖 冰. 一个支持 EMS 网络分析的实时数据库管理系统. 电力系统自动化，1994，18(2)

2 Sun Guosheng，Wan Xinfeng，Wang Fangjing. The Implementation of an Open Power System Simulator. Singapore：IPEC'95，1995

3 袁 斌，马维新，励东辉，胡建军. 广东电网调度员培训仿真系统动态部分的研究. 电力系统自动化，1996，20(2)

4 王心丰，孙国胜，王方晶. 开放式电网仿真系统. 电力系统自动化，1995，19(12)

马志强，男，1942 年生，高级工程师，总工程师，主要从事电力系统调度自动化、继电保护的运行与研究。

邱 野，男，1961 年生，高级工程师，主要从事电力系统调度自动化的运行管理。

王心丰，男，1943 年生，研究员，总工程师，主要研究领域为电网仿真系统及电力系统状态估计。

GUANGDONG POWER SYSTEM SIMULATOR

Ma Zhiqiang, Qiu Ye, Hu Jianjun, Wen Bojian

(Guangdong Power Central Dispatch Dept, 510600, Guangzhou, China)

Wang Xinfeng, Lin Rendong, Li Donghui, He Wenyun

(Tsinghua Elect. & Electronic Sci. Tech. Development Co., 100084, Beijing, China)

Abstract The host of Guangdong Power System Simulator (GDPSS) utilizes Sun Sparc Station (SS10GX-51-32-P46). It has quick response to various operations. The unified stable/dynamic power system model is adopted. Precise model of varying E_q'' is used to simulate the generator act. In case of fault or erroneous operations, its power system model will transfer from stable state to dynamic state automatically and return to the stable state after the disturbances subside. The PSS compares the values of the electric variable with the threshold of the protective relays and automatic apparatus, then simulates the action of relays and apparatus. Ever since it is installed, the PSS has shown wide application in the areas of dispatcher training, anti-accident exercises, operating condition analysis, accident analysis and for precautionary strategy research. Lastly, some ideas of the developing trends are presented.

Keywords power system simulator DTS