

广东电网调度员培训仿真系统动态部分的研究

袁 斌 马维新 励东辉

(清华大学电机系·100084·北京)

胡建军

(广东省电力局调度所·510600·广州)

【摘 要】 介绍了广东电网调度员培训仿真系统动态部分的主要特点和技术,包括:与静态部分、继电保护部分间进行数据交换的方法,采用的发电机、励磁调压器、调速器、电动机负荷等动态元件的数学模型等,并给出了对该系统进行校核的方法和结果。

【关键词】 调度员培训仿真系统 动态电力系统 电力系统仿真

1 引言

电力系统发展得越来越大,调度运行工作变得越来越复杂,对电网调度员的要求也越来越高,由于这个原因,对各级电网调度员的培训工作就显得十分重要和迫切。调度员培训仿真系统(DTS)就是在这种情况下发展起来的。DTS的主要目标就是利用计算机模拟技术给调度员提供一个真实的运行环境,以培训调度员在正常情况下、事故情况下、恢复过程中对电网进行调度、控制的能力。目前,美国、日本、韩国、中国等都先后安装建成了自己的DTS系统^[1,2]。这些DTS系统的投入使用,对提高调度员的调度运行水平,保证电网安全稳定运行起到了很大的作用。

广东电网DTS是由清华大学电机系与广东省电力局共同开发完成的一个重大科研课题,该系统在SUN工作站上开发,操作系统采用是UNIX,全部用C语言编写,采用X-WINDOWS以及Motif作为其人机界面。它考虑了广东电网中动态元件在动态过程中的动态特性,通过实时数据库与静态部分、继电保护部分间进行数据交换,并且可仿真在动态过程中投、切线路,强行励磁,快关汽门,低频减负荷等稳定措施。

2 动态部分中采用的模型和计算方法

2.1 模型

广东电网仿真系统动态部分中考虑的电力系统元件的动态模型包括发电机、励磁调节器、调速器、感应电动机负荷等。其中发电机使用较精确的 E_q'' 、 E_d'' 变化模型,并考虑了机械阻尼的影响;励磁调节器使用了文献[3]中的励磁调节器模型,可用于具有可控硅励磁调节器的交流或直流励磁机的励磁系统,也可用于它励可控硅快速励磁系统;调速器也使用了文献[3]中的水、火电机组均适用的通用模型,水轮机调速器和汽轮机调速器用不同的参数模拟;感应电动机使用一种考虑转子回路电磁暂态过程和转子机械运动暂态过程的动态模型,负荷可模拟成恒阻抗型、电动机型或静特性型。具体模型如下。

(1) 发电机模型(E_q'' 、 E_d'' 变化模型)

、 1995-01-14收稿。

袁 斌,男,1963年生,博士,副教授,主要研究电力系统稳定及其非线性现象,计算机图形学。

马维新,男,1939年生,副教授,从事电力系统计算机应用方面的研究。

励东辉,男,硕士研究生。

$$\begin{cases} T_{d0}'' \frac{dE_q''}{dt} = -E_q'' - (X_d' - X_d'')I_d + E_q' + T_{d0}'' \frac{dE_q'}{dt} \\ T_{q0}'' \frac{dE_d''}{dt} = -E_d'' - (X_q - X_q'')I_q \\ T_{d0}' \frac{dE_q'}{dt} = E_{fd} - [E_q' + (X_d - X_d')I_d + (K_G - 1)E_q'] \\ T_J \frac{d\omega}{dt} + D\omega = \frac{P_T}{\omega} - (\psi_d I_q - \psi_q I_d) \\ \frac{d\delta}{dt} = (\omega - 1) \times 314.1592 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \phi_q \\ \phi_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -R_q \\ R_d & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_q \\ I_d \end{bmatrix} \frac{1}{\omega} + \frac{1}{\omega} \begin{bmatrix} -V_d \\ V_q \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_R \\ I_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_R & b_R \\ b_I & g_I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_q'' \\ E_d'' \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} G_R & B_R \\ B_I & G_I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ V_I \end{bmatrix}$$

(2) 其它动态元件的模型

励磁调节器模型、原动机调速器模型、感应电动机模型采用了文献[3]中介绍的模型,由于篇幅所限,这里不作介绍,具体可参见文献[2、3]。动态部分的静特性负荷模型为:

$$P_L = P II(a_p V^2 + b_p V + c_p) \quad Q_L = Q II(a_q V^2 + b_q V + c_q)$$

2.2 计算方法

电力系统动态仿真的数学模型是一组微分代数方程组:

$$\dot{X} = f(X, V) \quad \text{动态方程} \quad (1) \quad YV = I(X, V) \quad \text{网络方程} \quad (2)$$

在广东电网仿真系统动态部分中采用的求解方法是伪隐式积分法:①将动态方程(1)差分化(梯形公式)成方程(3);②将(3)式与(2)式交替迭代求解。

$$X_{n+1} - X_n = \frac{1}{2}h[f(X_{n+1}, V) + f(X_n, V)] \quad (3)$$

3 动态部分与 DTS 其它部分间的关系

广东电网 DTS 系统可分为5个部分:静态、动态、继电保护、人机界面以及实时数据库。其中前4部分程序间相互独立编写和运行,它们通过第5部分,即实时数据库部分进行数据交换,如图1所示。动态部分在 DTS 中占据着十分重要的地位,它与 DTS 中其它部分间的关系如下。

3.1 和静态部分的关系

静态部分主要用于仿真正常运行方式下的发电机出力调节、负荷量调节、线路开关操作等调度员的日常工作,并进行动态潮流的计算,当潮流发散或者电网中发生大扰动(如对称或不对称短路)时, DTS 中的静态部分自动暂停,动态部分自动启动。动态部分从实时数据库中取出电网在故障发生前的运行方式(由静态部分生成)以及故障条件,并开始进行动态仿真的计算。

3.2 和继电保护部分的关系

动态仿真程序将动态过程中各时段的状态量的计算结果送入实时数据库,继电保护部分将这些量与电网中各种继电保护装置的整定值相比较,如满足动作条件,则通过实时数据库向动态部分送入各继电保护装置的動作信息,如单相、三相重合、跳闸等。动态部分根据这些信息及时修正电网的故障序列列表,并处理网络中的拓扑变化,继续进行动态仿真的计算。

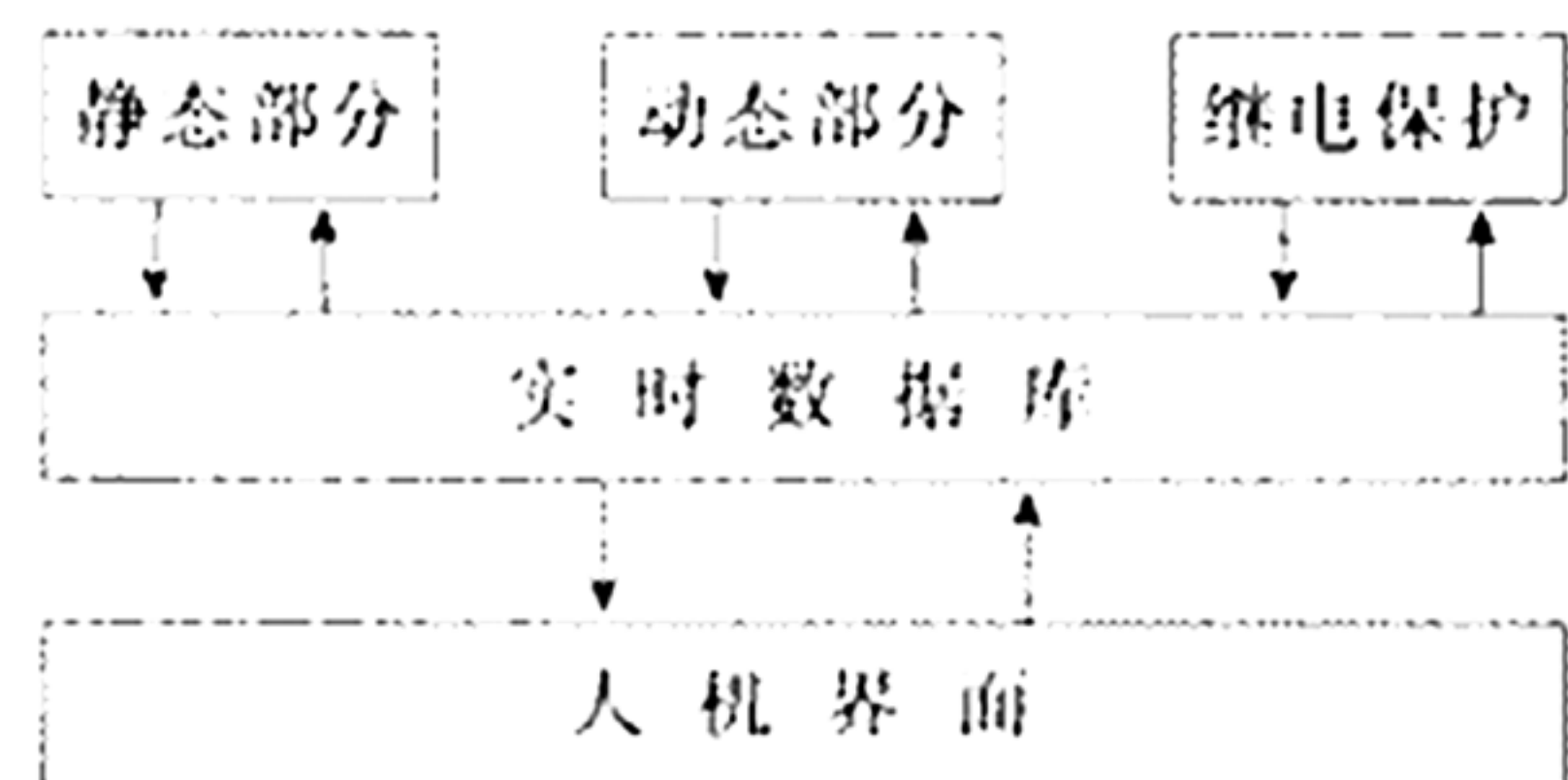


图1 动态部分与DTS其它部分间的关系
Fig. 1 The relationship between dynamical program and other DTS program

3.3 和人机界面部分的关系

广东电网 DTS 中的人机界面部分是用 X-WINDOWS 和 Motif 来编写的,具有目前国际流行的界面形式,操作也十分方便和易学。该部分与动态部分的关系有两方面,一是它将由动态部分送入实时数据库的系统状态量,如发电机摇摆角、各节点的频率、线路的有功和无功功率潮流、节点的电压和有功及无功负荷等,取出并美观地显示在屏幕上;二是使用人员可通过人机界面,向动态部分输入各种稳定控制措施,如切机、切负荷、快关汽门、强行励磁、投运线路等。

4 动态部分与常规离线动态计算程序的差别

DTS 的动态部分,作为培训调度员用的工具,和常规的离线动态计算程序有着很大的差别,也比后者复杂得多。广东电网 DTS 的动态部分和常规的离线动态计算程序之间的差别主要体现在如下几个方面:

(1) 动态计算逼真且使用方便。由于给动态部分加上了方便、实用、美观的人机界面,使用人员不仅可以看到图形化的动态计算结果,并且还可以方便地使用,方便地打印出数值结果和各种图形。

(2) 扰动和控制措施的模拟灵活、真实。使用人员可在仿真过程中的任意时刻,通过汉字化的菜单输入各种模拟的故障和扰动,同时还可以输入各种稳定控制措施,如切机、切负荷等。

(3) 计算速度快。由于动态部分程序全部采用 C 语言编写,并且采用了大量的编程技巧,加上 SUN 工作站本身的高速度,目前广东电网 DTS 中动态部分的计算速度达到 1:6,即 10 s 的动态过程仿真计算时间仅需 60 s。

(4) 故障时动态程序自动启动,稳定后动态程序自动退出并转入静态。动态部分和静态部分的接口部分十分完善,有故障时 DTS 会自动进入动态仿真计算,故障平息后可自动再转入静态部分程序。

(5) 考虑了低频减载及其它继电保护的影响。动态部分中可考虑低频减载^[1]及其它继电保护的影响,这一点目前的离线计算程序很难做到。

5 对动态部分进行校核的方法和结果

为了验证广东电网 DTS 中动态部分的功能及准确性,由清华大学电机系的人员和广东电力局的人员一起,对动态部分进行了较严格的校验。分别采用了两种方法和广东电力局目前离线计算用的稳定程序的计算结果进行了比较,在此基础上又和广东电网 1994 年“525”稳定事故的分析结果进行比较,这 3 次比较的结果均令人满意,相对偏差仅在千分之三的范围。图 2 和图 3 分别是采用的第 1 和第 2 种校核方法的原理图。在第 1 种方法中,给动态部分程序做了一个读入电科院综合稳定程序数据文件的接口程序,动态部分程序通过该接口程序和用于校核的电科院综合稳定程序均读入相同的、目前广东电力局调度所运行方式科用的实际广东电网数据文件,分别计算并对两者的计算结果进行比较;在第 2 种方法中,在动态部分程序中做了一个输出格式为电科院综合稳定程序数据文件的接口程序,动态部分程序通过该接口程序将广东电网 DTS 中的数据按电科院综合稳定程序数据文件的格式输出,校核程序读入该文件并进行计算,然后对两者的计算结果进行比较。

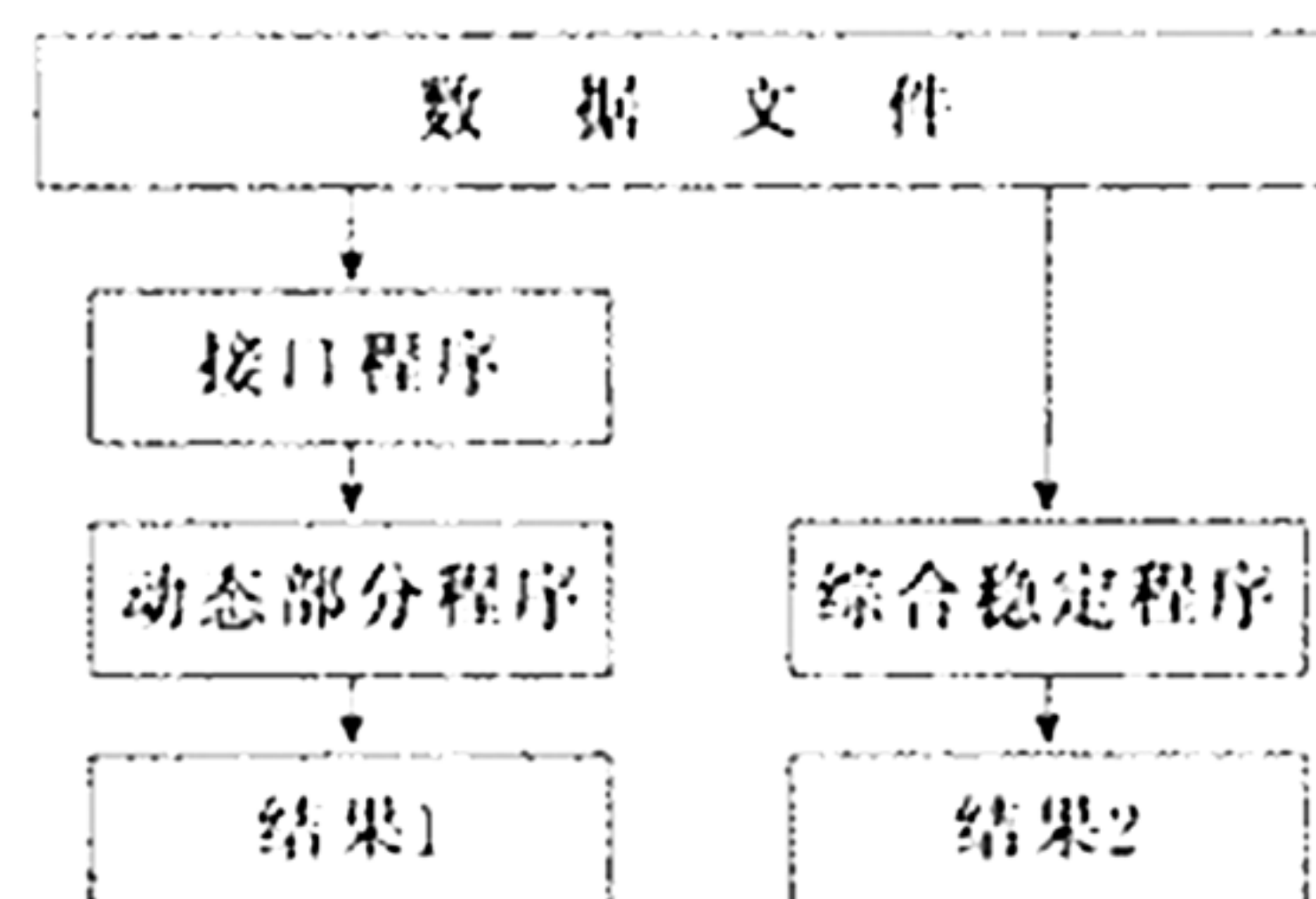


图2 第1种与离线计算用的稳定程序比较的方法
Fig. 2 Method 1 to test dynamical program

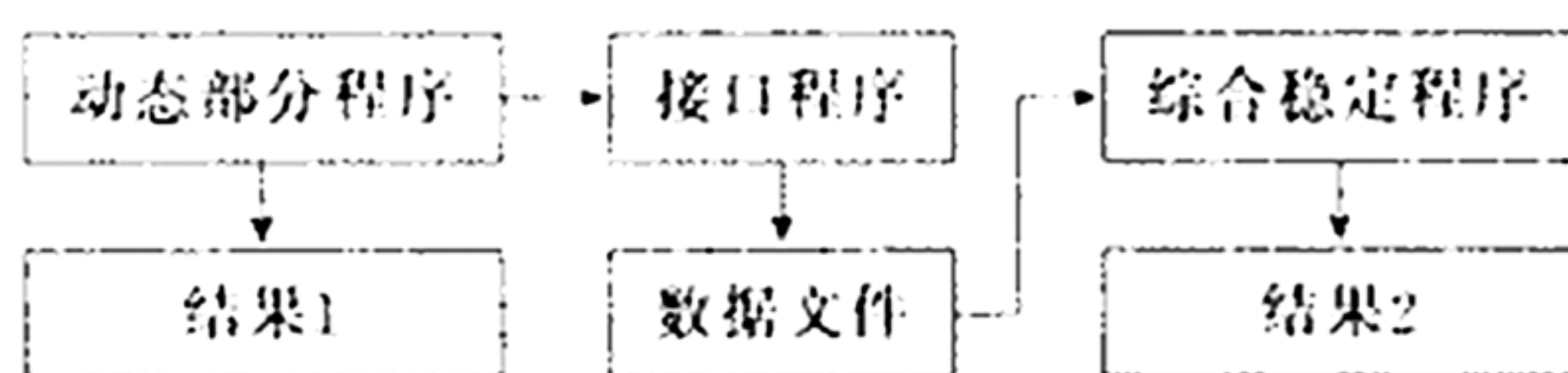


图3 第2种与离线计算用的稳定程序比较的方法
Fig. 3 Method 2 to test dynamical program

6 结论

(1) DTS中的动态部分是DTS必不可少的一部分,它使得调度员培训仿真更加逼真,并且使得广东电网仿真系统成为一个完整的、且较先进的电网仿真系统;

(2) 与广东电力局调度所运行方式科采用的动态计算程序的计算结果以及实际系统稳定事故的录波图进行比较,表明广东电网仿真系统动态部分具有令人满意的计算精度及速度;

(3) 仿真系统动态部分中采用的数学模型详细,计算方法先进,且功能完善;

(4) 仿真系统动态部分的人机界面友好,所有的操作都采用图形、菜单和光标方式,输出采用屏幕图形方式,而且可进行彩色拷贝,使用人员可以在短时间内掌握它的使用方法。

参 考 文 献

- 1 Zhang Guorui, Bose A. Scenario Building for Operator Training Simulators Using a Transient Stability Program. IEEE Trans. On Power Systems, 1989, 10, 4(4)
- 2 袁 斌, 马维新, 李文平等. 东北电网仿真系统动态部分的功能及技术要点. 电力系统自动化, 1993, 17(11)
- 3 周孝信, 吴中习, 李汉香. 电力系统分析. 电科院研究生教材, 1984
- 4 闵 勇. 电力系统中期稳定性研究. 清华大学博士学位论文, 1990
- 5 张力平, 高文挺, 王满义. 华北电网调度员培训模拟器. 电力系统自动化, 1991, 15(1)

STUDIES ON THE DYNAMICAL SIMULATION PART OF DTS FOR GUANGDONG POWER SYSTEM

Yuan Bin, Ma Weixin, Li Donghui (Tsinghua University, 100084, Beijing, China)

Hu Jianjun (Guangdong Electric Power Dispatch Centre, 510600, Guangzhou, China)

Abstract This paper describes the research works in the field of dynamical simulation part of the DTS of Guangdong power system in China, which covers: the mathematical model in the dynamical simulation part of DTS, such as synchronous machine, automatic voltage regulator, speed governor, induction motor etc. The relationship between dynamical program and other program in DTS is also given in the paper.

Keywords DTS dynamic power system power system simulation