

基于 APROS 的发电厂电气系统仿真模型

刘玉方¹, 万秋兰²

(1. 南京工程学院 仿真部, 江苏 南京 210013; 2. 东南大学 电气工程系, 江苏 南京 210096)

摘要: 对发电厂仿真系统中复杂的网控系统 NCS(Net Control System), 利用 APROS 图形自动化建模系统进行建模。该系统是以模块化建模为基础, 以图形连接信息表达模块连接信息, 具有完善的图形编辑功能和友好的用户界面。利用该系统对某发电厂 NCS 和 1 号单元机组分散控制系统 DCS (Distributed Control System) 中电气系统进行数学建模, 再建立仿真模型, 提高了建模效率、准确性和规范性。

关键词: APROS; 单元机组; 图形自动化建模; 仿真模型

中图分类号: TM 62; TM 743

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)01-0066-03

现在电力行业多采用计算机仿真技术对运行人员进行培训, 并取得了良好的效果。从计算机仿真技术被采用以来, 仿真建模技术大致经历了手工建模、模块化建模、专用仿真语言、面向对象建模和图形自动化建模等阶段^[1,2]。

本文针对某火电厂进行仿真开发, 从芬兰引进的 APROS 软件是一种图形自动化建模系统, 该系统是以模块化建模为基础, 以图形连接信息表达模块连接信息, 具有完善的图形编辑功能和友好的用户界面, 发电厂仿真系统建模可以实现高度的自动化。采用此软件建模, 可以大大提高仿真模型的建模效率、准确性和规范性。

1 APROS 简介

APROS 是一种先进的过程仿真软件, 可以全面动态仿真发电厂的生产过程。APROS 仿真环境由 APROS 仿真引擎和 Grades 设计用户图形界面组成。APROS 的仿真引擎由多种运算器和全面的模型库构成。设计用户界面提供了一种易于在线构造和运行仿真模型的方法。可通过选取代表实际对象的相关图标, 并用连线连接图标, 以建立起实际对象之间数据流和信息流的关系自动完成建模。

在 APROS 中, 模型由包含很多节点的网络组成, 连接线连接节点的终端。一组模型组成一个工作空间, 一组工作空间组成一个项目。模块是 APROS 中包含数据的实体, 这些数据涉及到很多方面, 比如一个过程元件或一个仿真试验, 可在其属性对话框中设定其属性值, 节点相当于 APROS 中模块的符号。

APROS 中的电力网络采用节点电压方程, 基本的方程组可按以下矩阵形式表示:

$$\mathbf{J} = \mathbf{YU}$$

式中 $\mathbf{J}$ 是节点注入电流的列向量; $\mathbf{Y}$ 是对称导纳矩阵; $\mathbf{U}$ 是节点电压的列向量。

电气网络中的所有元件都用等效电路表示。

APROS 的模块库中包含的电气模块有: 发电机、双绕组变压器、开关、负荷、传输线路、电气节点(包括母线)。每个模块的属性值可通过其属性对话框设定和修改。

在发电厂电气系统的仿真中, 除了用电气模块仿真电气一次系统, 还要用到自动控制系统模块进行控制部分的仿真。APROS 的自动控制系统通常可以分为测量元件、控制、逻辑系统和设备控制器三部分。

2 发电厂电气系统数学模型

计算机仿真需先建立实际系统的数学模型, 再根据数学模型建立仿真模型。建立和选择适当的数学模型可提高仿真模型的建模效率和准确性。

APROS 中包含的基本电气模块有其仿真模型, 故不需建立发电机、变压器等设备的数学模型。

2.1 励磁系统数学模型^[3,4]

同步发电机的励磁系统一般由励磁功率单元和励磁调节器两部分组成。整个励磁自动控制系统是由励磁调节器、励磁功率单元和发电机构成的一个反馈控制系统。此发电机的励磁系统是交流励磁机旋转整流励磁系统, 采用的是数字式自动励磁调压器。

建立励磁控制系统的数学模型, 需写出控制系统中各单元的传递函数。下面以半导体励磁调节器为例, 得到的交流励磁机励磁系统传递函数框图如图 1 所示^[5]。图中, K_A 为放大器电压放大系数; τ_A 为放大器的时间常数; S_E 为励磁机恒值电阻负载饱和系数; τ_E 为励磁机时间常数; K_G 为发电机的放大系数; τ'_{d0} 为发电机的时间常数; τ_R 为电压测量回路的时间常数; K_R 为电压比例系数; U_{REF} 为基准电压; U_G 为发电机机端电压。此发电机的励磁控制系统传递函数框图与图 1 相似。

2.2 同期并列数学模型

现在发电机多采用准同期并列的方法, 有手动准同期和自动准同期并列两种方式。准同期并列操

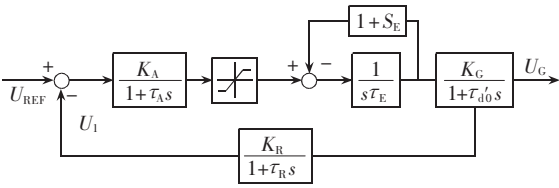


图 1 励磁控制系统的传递函数框图

Fig.1 The transfer function of excitation control system

作是先给待并列发电机加上励磁电流,调节待并列发电机组参数 U_G 使之符合并列条件,然后发出并列断路器的合闸信号。

发电机准同期并列需要满足 3 个条件^[5]。

a. 频率条件:发电机频率 f_G 和系统频率 f_E 基本相等,即

$$\Delta f = f_E - f_G \quad -0.05 < \Delta f < 0.05$$

b. 电压条件:发电机机端电压 U_G 和系统电压 U_E 基本相等,即

$$\Delta U = U_E - U_G \quad -0.05 < \Delta U < 0.05$$

c. 相位条件:并列瞬间, U_E 与 U_G 之间的相位差 δ 要在一定范围内,即

$$|\delta| < 20^\circ \text{ 或 } |360 - \delta| < 20^\circ$$

3 基于 APROS 的发电厂电气系统仿真模型

根据 APROS 提供的基本模块,构造电气系统的基本模型,然后用电气系统的基本模型集成整个发电厂电气系统模型。

3.1 主接线系统模型

根据发电厂的一次主接线图,将 APROS 提供的相应电气模块连接起来就可形成发电厂电气一次系统仿真模型,其中包括 DCS 中的电气系统和 NCS。发电厂电气一次系统比较庞大,需由几个网络组成。可在别的网络中作此网络中某节点的从属节点,从而将关联的网络连接起来形成整个一次网络。

发电厂电气主系统经高压输电线路与厂外电力系统相连,成为电力系统的组成部分。由于网控系统是一个动态系统,传统的单元机组电气仿真采用单机对无穷大系统的模型不能满足仿真真实性要求^[6]。

发电厂仿真主要关心的是本厂的运行情况,可将厂外电力系统简化为一个等值发电机和一个等值负荷或只有一个等值发电机。

变压器有双绕组变压器和三绕组变压器两种类型,而 APROS 只提供了双绕组变压器模块。由于此发电厂的三绕组变压器的中压侧和低压侧之间正常情况下不存在功率的流动,可用 2 个双绕组变压器组合代替 1 个三绕组变压器。

构造一次主系统模型时,用此发电厂的具体设备参数设定相应电气模块的属性值,代替厂外电力系统的等值发电机参数(根据相关资料获得),从而形成整个电气网络正确的节点电压方程。电气一次系统模型在发电机启动和不同出力、负荷情况下运行稳定,潮流分布正确。

3.2 励磁系统模型

根据励磁系统的传递函数图,可由 APROS 的自动控制模块构建出相同的传递函数图。

由于 APROS 提供的 PID 控制器的传递函数与励磁系统传递函数中的个别函数不同,可用 PID 控制器组合实现每个传递函数,然后将所有的传递函数连接起来就实现了对励磁系统的仿真。如 1 个传递函数为 $f = \frac{1/I_{fe0}}{1 + \tau'_{d0}s}$, 可由 1 个 P 控制器、1 个 I 控制器和 1 个 PD 控制器组合实现,P 控制器的传递函数为

$$O(s) = K_p E(s)$$

I 控制器的传递函数为

$$O(s) = [1/(\tau_i s)] E(s)$$

PD 控制器的传递函数为

$$O(s) = K_p [1 + \tau_d s / (\tau_d V_d s + 1)] E(s)$$

以上各式中, $E(s)$ 为控制器的输入; $O(s)$ 为控制器的输出; τ_i 为控制器的积分时间(s); K_p 为控制器的增益; τ_d 为控制器的微分时间(s); V_d 为控制器的微分增益。

组合方程式为

$$f = (PD - P) I = K_p [1 + \tau_d s / (\tau_d V_d s + 1) - 1] \times$$

$$E(s) [1/(\tau_i s)] = \frac{1/I_{fe0}}{1 + \tau'_{d0}s}$$

如在控制器的属性对话框中设 $K_p = 1/I_{fe0}$, $V_d = 1$, $\tau_d = \tau'_{d0}$, $\tau_i = \tau_d$, 上式成立。 f 的仿真模型见图 2。

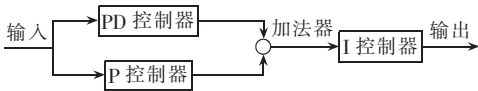


图 2 传递函数的仿真模型图

Fig.2 The simulative model of transfer function

合上励磁开关后,励磁系统的基准电压输入曲线如图 3 所示,得到的发电机机端电压曲线如图 4 所示。

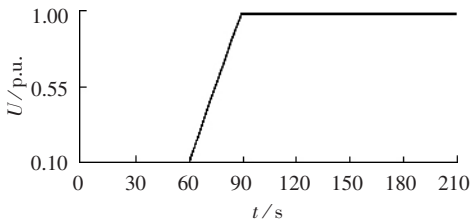


图 3 励磁系统的基准电压输入曲线

Fig.3 The reference voltage input of the excitation system

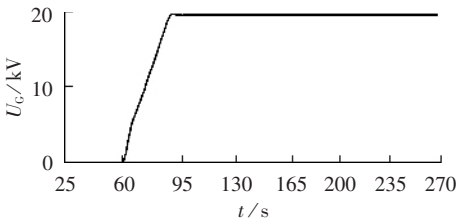


图 4 发电机机端电压曲线图

Fig.4 The output voltage of generator

图 4 中发电机机端电压曲线与用 Matlab 在相同条件下作出的曲线相同,并且与发电机机端电压的实际曲线相近。可用此机端电压直接控制电气网络中发电机的机端电压。

3.3 同期系统模型

在同期并列仿真模型中,先要得到同期并列 3 个条件所需要的数值,经比较满足同期并列条件时,再自动或手动合上断路器。由测量元件可得到待并断路器两侧电气节点的电压和频率,从而得到断路器两侧电气节点的电压差和频率差。将频率差作为一个 I 控制器的输入,合理设定 I 控制器的属性值就可得到断路器两侧电气节点的相位差,并可通过自动控制模块组合实现相位差在 $0\sim 360^\circ$ 的精确显示。

由于此发电厂 500 kV 系统是 3/2 交叉接线,在不同的主接线方式下,断路器两端的同期电压可能不同,需准确得到待并断路器两侧的电压。此同期系统的仿真模型能进行所有可并列断路器的并列仿真,同期装置的显示正确,发电机组并入电网后,能迅速进入同步运行状态。

4 结语

根据发电厂电气系统的数学模型,运用图形自动化建模系统 APROS 实现了安徽某发电厂 NCS 和 1 号发变组 DCS 中电气系统的仿真建模。电气仿真系统和汽机、锅炉、自动控制的仿真系统的有机结合,就构成整个发电厂仿真系统。

由于发电厂的电气系统进入 DCS 较晚,APROS 模型库的元件模块比较侧重于汽机、锅炉和自动控制部分,电气系统的元件模型不是很充足,如无简单而且功能齐全的开关模型、三绕组变压器模型等,需在采用 APROS 的先进建模思想的同时,根据仿真经验对其中的不足进行改进。

参考文献:

- [1] 吕崇德,任挺进,姜学智,等. 大型火电机组系统仿真与建模[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
Lü Chong-de,REN Ting-jin,JIANG Xue-zhi,et al. Simulation

and modeling of great power unit [M]. Beijing:Tsinghua University Press,2002.

- [2] 刘玉方,万秋兰. 发电厂单元机组电气仿真系统建模新方法[J]. 江苏电机工程,2004,23(2):43-45.
LIU Yu-fang,WAN Qiu-lan. A new modeling method of unit generation-set simulation of power plant [J]. **Jiangsu Electrical Engineering**,2004,23(2):43-45.
- [3] 郁顺康. 自动控制理论[M]. 上海:同济大学出版社,1992.
YU Shun-kang. Autocontrol theory [M]. Shanghai:Tongji University Press,1992.
- [4] 崔 艳,窦河群,刘广生. 330 MW 励磁系统模型及并网过程仿真[J]. 电力情报,1998,(1):27-29.
CUI Yan,DOU He-qun,LIU Guang-sheng. Excitation system modeling and switch-in-network simulation of 330 MW power unit[J]. **Information on Electrical Power**,1998,(1):27-29.
- [5] 杨冠康. 电力系统自动装置原理[M]. 北京:水利电力出版社,1995.
YANG Guan-cheng. Power system automation equipment theory [M]. Beijing:Hydraulic and Electric Power Press,1995.
- [6] 万秋兰,单渊达,陈敬技. 发电厂电气主系统培训仿真实用模型[J]. 东南大学学报,1999,29(1):74-77.
WAN Qiu-lan,SHAN Yuan-da,CHEN Xin-ji. Practical model of training simulation for power plant electrical system [J]. **Journal of Southeast University**,1999,29(1):74-77.
- [7] 李建华,耿 建,刘晓鹏,等. 电厂电气运行人员培训仿真软件开发[J]. 电力系统自动化,2002,26(11):37-40.
LI Jian-hua,GENG Jian,LIU Xiao-peng,et al. Develop soft of power plant operator training simulator [J]. **Automation of Electric Power Systems**,2002,26(11):37-40.
- [8] CHRISTIAN K. The microsoft guide to C++ programming[M]. USA:Microsoft Press,1992.

(责任编辑:李 玲)

作者简介:

刘玉方(1975-),女,重庆人,助教,主要研究方向为发电厂电气系统仿真(E-mail:lyf@maiding.com);

万秋兰(1950-),女,江西南昌人,教授,主要研究方向为电力系统仿真与稳定分析。

APROS-based simulative model for power plant electrical system

LIU Yu-fang¹,WAN Qiu-lan²

(1. Nanjing Institute of Technology, Nanjing 210013, China;

2. Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: APROS, a graphic automatic modeling system, is applied in power plant simulation system for complicated NCS (Net Control System) modeling. Based on modularization, it has perfect graphic editing functions and friendly user interface, and connects information graphically through information expression modules. The NCS mathematical model and No.1 unit electrical system mathematical model of a power plant are established based on APROS, then the simulative models are set, which enhances the modeling efficiency, veracity and standardization.

Key words: APROS; generation unit; graphic automatic modeling; simulative model