

# 基于 Matlab 的电力系统动态仿真分析

李安伏,赵建周,李晓红  
(安阳工学院,河南 安阳 455000)

**摘要:** 利用 Matlab 对热工自动调节控制系统和电器系统进行了仿真。总结了使用 Simulink 对连续时间系统动态仿真的步骤,并以典型的 PID 调节器 DTL-331 为例,利用 Simulink 模块组的 Continuous, Math 以及 Nonlinear 模块库中的模块,采用传递函数模块的方法建立系统模型,通过仿真确定了一组合适参数。另外,以电流变送器饱和和仿真系统为例,介绍了如何使用 PSB 对电器系统进行仿真,并归纳了其仿真步骤。提出仿真过程中须注意的两个问题:构建模型时要保持系统接地点数目的平衡;正确设定电机的初值。

**关键词:** 电力系统; 动态仿真; Matlab

**中图分类号:** TM 743

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-6047(2005)07-0038-03

本文通过两个简单实例介绍了利用 Matlab Version 6.1 对电力系统进行仿真研究的方法,包括:热工自动调节控制系统的仿真分析和电力电器系统的仿真分析。

## 1 热工调节控制系统仿真分析

对热工调节控制系统的性能分析包括静态特性和动态特性两个方面。这里主要介绍动态特性的分析方法。控制系统通常可分为连续时间系统和离散时间系统。在热工调节系统中多数属于连续时间系统,这里主要介绍在 Matlab 中利用 Simulink 工具对连续时间系统动态仿真分析的方法<sup>[1-3]</sup>。

使用 Simulink 对控制系统进行仿真分析,主要包括以下几个步骤:

- 根据系统的物理特性建立其数学模型,这是实现仿真的基础和关键;
- 对建立的系统模型给以适当激励,观察分析系统的输出;
- 根据对系统输出的分析,适当调整模型参数,从而达到要求的控制效果。

下面以电力系统中典型的 PID 调节器 DTL-331 为例,介绍如何使用 Simulink 实现对调节系统仿真。

在 Simulink 中建立连续时间系统模型主要是利用 Simulink 模块组的 Continuous, Math 以及 Nonlinear 模块库中的模块建立。建立的方法主要有 3 种:利用积分模块直接构造微分方程求解模型;利用传递函数模块建立模型;利用状态方程模块建立模型。DTL-331 是典型的 PID 调节器,其结构如图 1 所示。

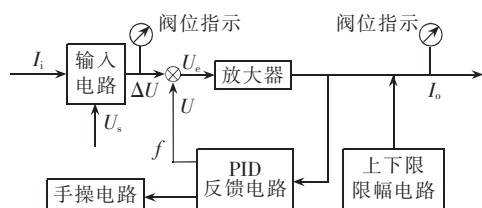


图 1 DTL-331 型调节器的结构方框图

Fig.1 The structural diagram of DTL-331 regulator

在该系统中起主要调节作用的是 PID 反馈电路的 PID 调节,其原理如图 2 所示。

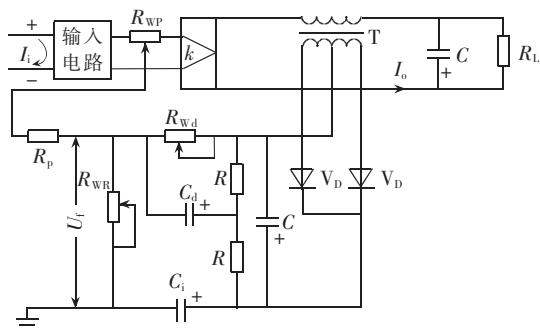


图 2 DTL-331 调节器的反馈回路

Fig.2 The feedback circuit of DTL-331 regulator

该调节器的传递函数为<sup>[4]</sup>

$$G_R(s) = K_p^* \frac{1 + \frac{1}{\tau_i^* s} + \tau_d^* s}{1 + \frac{\tau_d^*}{K_d} s + \frac{1}{K_i \tau_i s}}$$

式中  $K_p^*$  为比例增益的实际值,当放大倍数  $K$  很大时,  $K_p^* = FK_p$ ,  $K_p$  为比例增益的刻度值;  $\tau_i^*$  为积分时间的实际值,  $\tau_i^* = F \tau_i$ ,  $\tau_i$  为积分时间的刻度值;  $\tau_d^*$  为微分时间的实际值,  $\tau_d^* = \tau_d / F$ ,  $\tau_d$  为微分时间的刻度值;  $K_i$  为积分增益;  $K_d$  为微分增益;  $F$  为干扰系数,  $F = 1 + 2 \tau_d / \tau_i$  (当  $C_d = C_i$  时)。这里可根据传递函数,利用 Simulink 中的传递函

数模块建立系统模型进行仿真,从而确定合适的系统参数。系统模型如图 3 所示<sup>[5]</sup>。

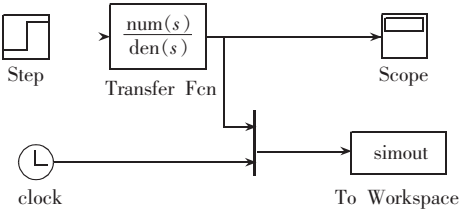


图 3 DTL-331 仿真模型

Fig.3 The simulation model of DTL-331 regulator

在研究系统的动态特性时,通常通过系统对单位阶跃的响应考察,这里同样采用单位阶跃作为系统的激励。同时采用 To Workspace 模块将仿真数据结果存储到工作空间,以便进一步对数据进行分析处理。Scope 模块用波形显示仿真的结果,便于直观地对仿真情况进行观察。Transfer Fcn 模块用于写入系统的传递函数,通过对传递函数中参数的设定,可以得到在不同情况下系统的输出,通过分析比较就可根据具体的需要确定一组合适的参数。图 4 中给出了其中一组参数的仿真结果,仿真时间为 50 s (G 为传递函数)。

通过对大量数据的仿真分析,并结合实际工作

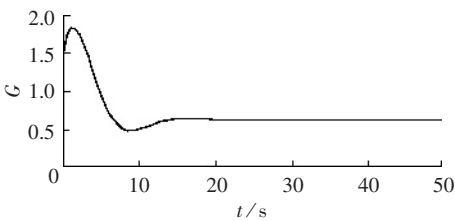


图 4 仿真结果

Fig.4 The simulative result

中的情况和经验<sup>[1,2,4]</sup>,DTL-331 型调节器较适合的系统参数选择为

$$\theta=1/K_p^*=30\% \sim 70\%, \tau_i^*=18 \sim 24\text{ s}$$
$$\tau_d^*=1\text{ s}, K_d=5, K_i=1$$

2 电器系统仿真与分析

电力系统中经常要分析电力传输、电器元件以及各种电器电路应用系统。下面通过一个例子介绍如何使用 Matlab 中 Simulink 的 PSB 对电器系统仿真。

在利用电流互感器 TA 测量电流时,由于其具有一定的饱和度,使用不当往往会造成测量结果失真,利用 Simulink 可对这一现象进行仿真分析。

首先利用 PSB 中的模块建立一个利用 TA 进行电流测量的电路系统,如图 5 所示。

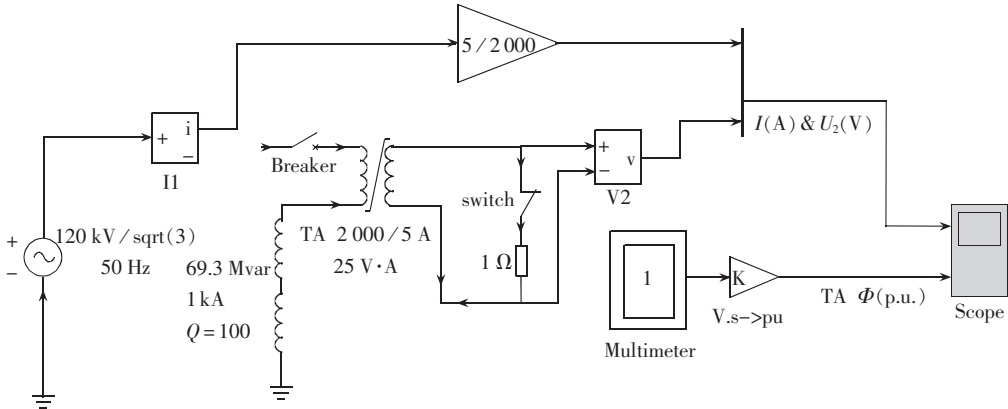


图 5 电流互感器饱和和仿真系统

Fig.5 The CT saturation system for simulation

该电路中 TA 采用 2000 A/5 A,25 V·A,其初级绕组与 1 个 69.3 Mvar,69.3 kV(120 kV/√3),1 kA (有效值)的具有开关特性的电感线圈相串联,次级绕组的输出端通过开关(Switch)与 1 个 1 Ω 的电阻相接。初级绕组电流及引起的次级绕组电压的变化送入示波器模块 Scope 的第 1 通道,TA 的磁通量 Φ 通过 Multimeter 测量送入示波器模块 Scope 的第 2 通道。I1 和 V2 分别为电流测量模块和电压测量模块,电源为 120 kV/√3,50 Hz。

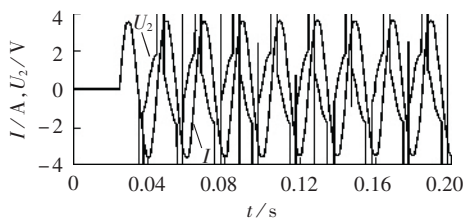
图中 Breaker 的关闭时间定为 0.025 s,它不会引起电流的不对称。仿真时设定仿真时间长度为 0.2 s, Switch 的开关时间设定为 0.02 s,然后观察仿真结果

可发现前 3 个周期磁通量低于饱和阈值,TA 的电压输出没有产生失真,3 个周期后由于初级电流使变压器进入饱和状态,从而使 TA 的次级输出电压产生失真。

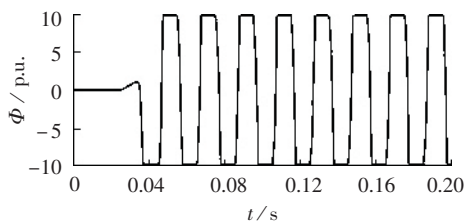
在此重在讨论 4 V 以内的特性,故只显示 4 V 以内的电压波形,如图 6 所示。

总结以上仿真过程,对电器系统的仿真通常采取以下几步<sup>[1,2,6]</sup>:

- a. 分析系统仿真要求;
- b. 利用 PSB 中的仿真模块建立仿真电路系统;
- c. 设定仿真系统中各模块的仿真参数;
- d. 进行仿真,分析仿真结果。



(a) 电流、电压曲线



(b) 磁通量曲线

图6 仿真结果

Fig.6 The simulative results

### 3 结语

Matlab Version 6.1 中的 PSB 是一种专门应用于电力系统动态仿真的工具箱,其中电力系统元件模型相当丰富。用户还可以利用 Matlab 本身的一些工具建立自定义模型,在本文中笔者总结了 2 种系统的仿真建模方法,并通过 2 个实例介绍了仿真的一般步骤。

利用 Matlab 可以方便地进行电力系统潮流计算、稳定分析、新元件的设计及测定。但是在仿真过程中,有两个问题必须引起注意<sup>[6,7]</sup>。

a. 构建模型时要保持系统接地点数目的平衡。即每增加一个非线性元件(增加一个状态变量)时,就应该增加相应的接地负荷。因为 Matlab 在进行仿真时是通过微分方程和电路方程实现的,因此每增加一个状态变量时,相应的微分方程阶数也将增加,系数矩阵的行数与列数也应该相应增加。为保证仿真计算的正确性,必须相应增加接地回路数。

b. 要正确设定电机的初值。在利用 Matlab 进行电力系统动态仿真时,若系统中有电机等动力元件,为保证仿真从稳定状态下开始进行,必须正确设定电机的初始参数。因此首先应该利用 Matlab PSB 中

的 Power GUI 模块进行潮流计算,然后将潮流计算得出的电机励磁电压及机械功率稳态值作为电机的初始值输入,这样就能从稳定状态下开始进行动态仿真了。

### 参考文献:

- [1] 陆超,唐义良,谢小荣,等. 仿真软件 Matlab PSB 与 PSASB 模型及仿真分析[J]. 电力系统自动化,2000,24(9):23-26.  
LU Chao,TANG Yi-liang,XIE Xiao-rong,et al. Emulator software of Matlab PSB and PSASB model and their emulator analysis[J]. *Automation of Electric Power Systems*,2000,24(9):23-26.
- [2] 郑三保,程时杰. UPFC 动态特性仿真研究[J]. 电力系统自动化,2000,24(7):26-29.  
ZHENG San-bao,CHENG Shi-jie. Emulator study of UPFC animal character[J]. *Automation of Electric Power Systems*,2000,24(7):26-29.
- [3] RAHMAN M,AHMED M,GUTMAN R,et al. UPFC Application on the AEP system:Planning considerations [J]. *IEEE Trans. on PWRs*,1997,12(4):350-358.
- [4] 罗万金. 电厂热工过程自动调节[M]. 北京:水利电力出版社,1991.
- [5] AINSWORTH J D,DAVIES M,JFIZ P,et al. Static VAR compensator(STATCOM) based on single-phase chain circuit converters[J]. *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.*,1998,145(4):381-386.
- [6] 黄文梅,杨勇,熊桂林,等. 系统分析与仿真[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1999.
- [7] 贺仁睦. 电力系统动态仿真准确度的探究[J]. 电网技术,2000,24(12):1-4.  
HE Ren-mu. Probe into the animated emulator accuracy for power system[J]. *Power System Technology*,2000,24(12):1-4.
- [8] HAN B M,KARADY G G,PARK J K,et al. Interaction analysis model or transmission static compensator with EMTP[J]. *IEEE Trans. on Power Delivery*,1998,13(4):1297-1302.

(责任编辑:李育燕)

### 作者简介:

李安伏(1966-),男,河南林州人,高级工程师,主要从事控制理论方面的研究(E-mail:aylaf@sina.com)。

## Dynamic simulation of power system with Matlab

LI An-fu,ZHAO Jian-zhou,LI Xiao-hong

(Anyang Institute of Technology,Anyang 455000,China)

**Abstract:** The heat-power automatic control system and the electric appliance system are simulated with Matlab. The steps of dynamic simulation of continuous time system with Simulink are concluded. With a typical PID regulator DTL-331 as an example,the system model is setup through the transfer functions,consisting of Continuous,Math and Nonlinear modules. A set of proper parameters is hence decided. A current transformer saturation system is taken to illuminate the way of electric appliance system simulation using PSB,and its steps are also summed up. Two points are presented for caution:keep balance of the system grounding point number during modeling;set the initial values of motors correctly.

**Key words:** power system; dynamic simulation; Matlab