

基于虚拟仪器技术的原动机及其调速系统模拟

汪蓉, 舒乃秋, 李玲, 姜建

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 介绍了基于虚拟仪器技术的动模实验室原动机(汽、水轮机)及其调速系统模拟的原理和方法,进行了原动机(汽、水轮机)及其调速系统模拟的软件和硬件的设计。并进行了仿真实验,仿真结果表明该系统转速调节平稳,能很好地模拟原动机及其调速系统的自平衡特性,水锤效应,容积效应等各项特性,为动模实验的真实性奠定了基础。

关键词: 虚拟仪器; 原动机; 调速; 模拟

中图分类号: TM744 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)05-0059-04

0 引言

通常,动模发电机以直流电动机代替原动机,调速任务则由直流电动机的可控硅整流调速装置来完成。但直流电动机的转矩变化过程与原动机差别很大,因此需要对直流电动机加以控制,使其特性与原动机相符,且还应有针对性地设计出调速器模型,使动模发电机具有更接近实际系统的模型,并能真实反映原动机及其调速系统各项特性。

近年来,虚拟仪器技术不断成熟与发展,在各行业都得到广泛的应用。其编程灵活,开发周期短,数据处理功能强大等优点已经得到证实,并被引入电动机控制,因此本文提出应用虚拟仪器技术实现原动系统仿真,即选择虚拟仪器来实现调速器、流调器的数字化和原动机特性的模拟。所设计的基于PC机的虚拟仪器仿真系统能够集信号发生、数据采集、波形显示、数据处理和结果输出为一体,减少了硬件设备,参数修改非常方便,可扩展性强。

1 原动机及其调速系统模型

动模发电机的原动系统仿真内容主要包括:自平衡特性,调速器及汽水管道特性。

1.1 原动机自平衡特性模型

由文献[1]知,额定负载时,原动机的自平衡系数 $K_C = 1$,而直流电动机的 K_C 很大,通常为 30~40。考虑采用自动控制中常用的负反馈控制来实现对直流电动机转矩特性的改造。电枢电流和转速双负反馈自控系统^[2],可以实现原动机的自平衡特性的模拟。如图1所示。 K_1 为电流反馈系数, K_n 为转速反馈系数。

由图1可知,受扰后电枢电流的标么值方程式

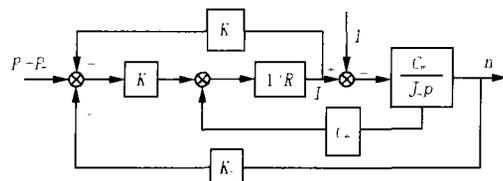


图1 原动机自平衡特性模拟框图

Fig 1 Simulation diagram of prime mover self-balancing

为,

$$I = \frac{KP_M}{R + KK_1} - \frac{C_e + KK_n}{R + KK_1} n$$

在 K 时(实际当中只要 k 足够大),

$$K_C = \frac{C_e + KK_n}{R + KK_1} \frac{K_n n_e}{K_1 I_e}$$

只要整定 $K_n n_e = K_1 I_e$,就可以满足原动机模拟的自均衡系数 $K_C = 1$ 。

实际上,流调器可以满足 K 这一假设条件。流调器是一PI调节器,其性能相当于一个能迅速改变放大倍数的比例调节器,在动态过程之初放大倍数很小,而后很快过渡到稳定高放状态,其放大倍数可高达十几万。PI调节器的高放特性可以很好地满足 K 。

1.2 调速器及汽水管道特性模型

原动机的调速系统无论是机械液压式、离心飞摆式还是电气液压式调速器,其基本原理都相同,简化后的运动方程式具有相同的形式。调速器及汽水管道特性模拟装置分为飞摆、错油门、油动机、反馈、汽惯性(汽轮机)或水锤效应(水轮机)几部分。模型的原理框图及各环节传递函数^[3]如图2所示。

2 原动机及其调速系统的硬件及软件设计

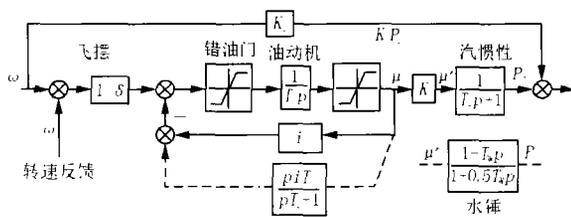


图 2 调速器及汽水管道的模型框图

Fig 2 Model of speed controller and steam (water) pipe

2.1 仿真系统的硬件结构

基于虚拟仪器技术的原动机及其调速系统装置结构图见图 3。从图 3 可看到,该仿真系统的硬件部分主要包括:直流电动机,电流传感器,光电转速传感器(旋转编码器),触发板及末级板,三相全控可控硅,PC机,数据采集卡和信号调理电路等。在该系统中,调速器,流调器,原动机的自均衡特性和汽水管道的特性,波形显示和控制管理均在计算机中实现,控制量通过 D/A 输出到可控硅的触发板,可控硅整流输出电压加在电动机上改变其电枢电压,从而实现调速。

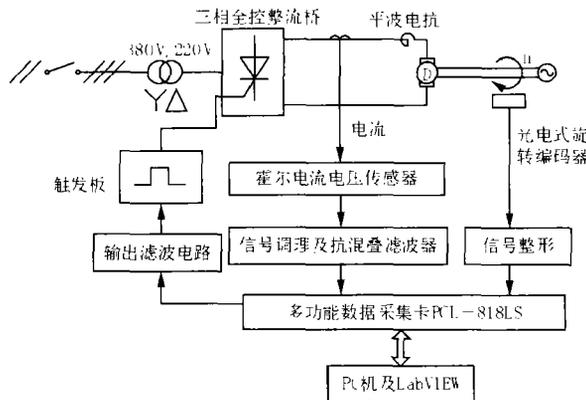


图 3 模拟原动机调速系统硬件构成图

Fig 3 Hardware architecture of the simulated prime mover speed control system

其中直流电动机所采用的是一台他励直流电动机。额定功率 17 kW,额定电压 220 V,额定电流 90 A,额定转速 1500 rpm。可控硅型号为 KGSA₂₁100/230,为三相全控桥。移相触发控制板采用的是一标准双列直插式集成电路构成的触发板,输出为六路双窄触发脉冲。

在该仿真系统中,需要检测转速和电枢电流信号。转速信号采用增量式光电编码器检测,电枢电流通过霍尔电流传感器测得。

转速和电流信号的采集将通过一块多功能数据

采集卡来完成。转速信号经过采集卡上的 8254 芯片计数脉冲个数,将其转换为转速值与给定转速进行比较,同样作为双负反馈的转速反馈输入流调器模块。电流经过 A/D 输入计算机。在采集过程中,采样频率的确定很重要,采样率太低,就会产生波形失真。

本系统采用的是研华的多功能数据采集卡 PCL-818,它是 16 路单端输入或 8 位差分输入 (AD 转换器) 的 ISA 插槽卡,精度 12 位,一路 12 位 DA 通道,可编程计数/定时器 (Intel 8254) 等, DMA 转换可达 40 kHz,其性能已经能满足系统的需要。

2.2 仿真系统软件设计

对于计算机控制系统,如果说硬件是它的躯体,那么软件就是该系统的大脑和灵魂。本文介绍的仿真系统的控制算法是通过 LabVIEW 软件编程实现的。LabVIEW 采用图形化编程方式,很容易实现调速系统的各项特性的仿真。直接使用传递函数或是针对离散系统的 Z 变换,能够方便地用离散功能模块建立模型。LabVIEW 语言编写的程序称为虚拟仪器 VI (Virtual Instrument)。VI 有三个主要部分:框图,前面板和图标/连接器。该系统的 VI 程序主界面 (前面板) 包括各类参数设置 (错油门上下限、油动机积分时间常数、汽水惯性时间常数、流调器参数和电流转速反馈系数等),波形显示等。其中,各类参数可以很方便地在前面板中修改。

本系统的软件包括数据采集程序、特性仿真模块 (数据的分析处理运算) 和控制信号输出程序三部分。对于信号的输入和输出程序,研华的板卡自带 dll 驱动,在 LabVIEW 中可以方便地直接调用,不必对数据采集的硬件底层进行操作。下面介绍特性仿真模块。

从图 1 和图 2,可以看出“飞摆”为转速偏差测量及放大环节,“错油门”为具有正负限幅的信号综合环节,“油动机”为具有正负限幅的积分环节,“反馈”“水锤”是比例微分环节,“惯性补偿”也是微分环节。因此只要写出各环节的传递函数 (其中惯性补偿需采用实际微分来代替理想微分),再将其离散化,便可以在 LabVIEW 中用图形语言编程实现,完成调速系统的数字模拟。该系统中各环节传递函数采用频率预曲折双线性变换法^[4]直接导出等效离散时间滤波器。该法是在双线性变换法 (又称为梯形积分法) 的基础上增加了频率预曲折,可以减小频率响应的畸变。在应用中该法取得了很好的效果。

3 LabVIEW 仿真结果

为了验证仿真系统,这里首先给出水轮机(图4a)和汽轮机(图4b)仿真系统空载起动、加负荷时的计算机仿真结果。从图4可以看到,转速曲线振荡少,并最终稳定在给定值。同样,水锤效应和汽惯性对系统暂态过程的影响也比较明显。

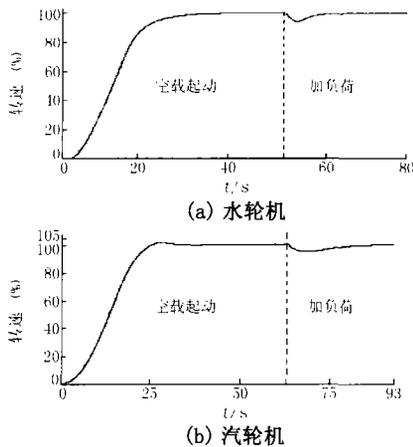


图4 空载起动及加负荷时仿真波形
Fig 4 Simulation waves of no-load start and load-adding process

然后做了满载甩全部负荷实验。图5给出动态过程曲线,图5(a)为水轮机,图5(b)为汽轮机,图中显示的油动机输出波形的变化过程与实际情况相符。

多次实验和分析表明模型的动态特性及其基本规律与实际的调速系统相符。因为都是采用直流电动机来模拟,汽轮机和水轮机实验结果很相似。对于不同型号的原型的模拟,可以通过改变参数值,达到不同参数原型的动态特性仿真。

4 结束语

本文通过实验证明,基于虚拟仪器的原动机及其调速系统仿真不仅可以实现电动机的自启动和稳定调速等基本功能,同样也很好地模拟了原动机的自平衡特性,汽惯性或水锤效应等,对调速系统的动态特性也能很好地再现,完全能够满足教学和科研实验的需要。而对二次调频特性的仿真和惯性时间常数补偿本文未做介绍。

该仿真系统是虚拟仪器技术在电力系统中应用的一个实例,为其在电力系统教学、科研和生产中更深入和广泛的应用迈出探索的一步。

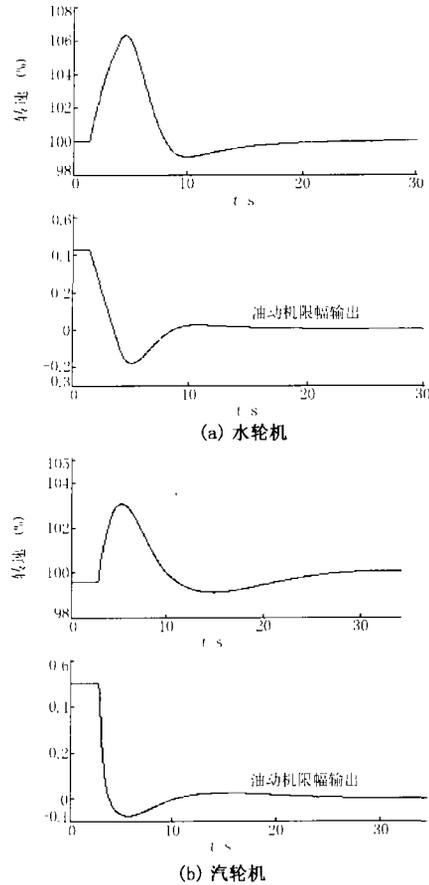


图5 甩负荷时仿真波形
Fig 5 Simulation wave of load rejection

参考文献:

- [1] 中国电力科学研究院电工研究所. 电力系统物理模拟 [Z]. 1973. 157-225.
Electric Power Research Institute of China. The Physical Simulation of Power System [Z]. 1973. 157-225.
- [2] 郑玉森. 模拟发电机组原动系统仿真 [J]. 天津大学学报, 1985, (3): 83-90.
ZHENG Yu-sen. The Simulation of the Prime Mover Systems of Dynamic Turbine-generator Simulators [J]. Journal of Tianjin University, 1985, (3): 83-90.
- [3] 郑玉森. 同步发电机组调速系统模拟 [J]. 天津大学学报, 1989, (1): 80-86.
ZHENG Yu-sen. The Simulation of the Speed-governing System of Turbine-generators [J]. Journal of Tianjin University, 1989, (1): 80-86.
- [4] 绪方胜彦. 离散时间控制系统 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1988.
XUFANG Sheng-yan. Discrete Time Control System [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1988.
- [5] 杨乐平, 李海涛, 肖相生, 等. LabVIEW 程序设计与应

- 用 [M]. 北京:电子工业出版社, 2002
- YANG Le-ping, LI Hai-tao, XIAO Xiang-sheng, et al Program Design and Application with LabVIEW [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002
- [6] 杨乐平,李海涛,赵勇,等. LabVIEW 高级程序设计 [M]. 北京:清华大学出版社, 2003
- YANG Le-ping, LI Hai-tao, ZHAO Yong, et al LabVIEW Advanced Programming[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003
- [7] Dynamic Models for Steam and Hydro Turbines in Power

System Studies[J]. IEEE Trans, 1974, 89(1): 1904-1915

收稿日期: 2004-07-02; 修回日期: 2004-08-29

作者简介:

汪蓉(1979-),女,硕士研究生,研究方向为电力系统在线监测; E-mail: btus55@126.com

舒乃秋(1954-),男,教授,从事传感器、智能仪器仪表方面的研究和教学工作。

Simulation of the prime mover and its speed control system with VI technique

WANG Rong, SHU Nai-qi, LILing, JIANG Jian

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The theory and method are introduced for the simulation of the prime mover and its speed control system based on the Virtue Instrument technique. The core of hardware is a multifunctional DAQ and the LabVIEW software is used to develop a virtual instrument (VI). The paper also designs software system and hardware system. The results show that the new system can control the rotation speed steadily and simulate the characteristics of self-balancing, water hammer effects, volume effects of the prime mover and its speed control system. It lays a good foundation for dynamic simulation.

Key words: virtue instrument; prime mover; speed control system; simulation

(上接第 58 页 continued from page 58)

收稿日期: 2004-06-28; 修回日期: 2004-08-18

作者简介:

李继晟(1975-),男,助理工程师,主要从事变电站综

合自动化的研究和开发工作; E-mail: lijisheng@sf-auto.com

郑蔚(1973-),女,工程师,主要从事变电站综合自动化的设计和开发工作;

叶艳军(1976-),男,工程师,主要从事变电站综合自动化的研究和开发工作。

Design and realization of synchronization function of integrated measuring and control device

LIJi-sheng, ZHENG Wei, YE Yan-jun

(Beijing Sifang Automation Co., Ltd, Beijing 100085, China)

Abstract: The paper briefly analyses two trip-closes operations including differential-frequency paralleling and same-frequency paralleling. According to their different characteristics, identifying criterion on spot paralleling and its implementation in integrated measuring and control device are introduced. A hardware platform based measuring framework and the realization of its synchronization function are put forward. The newly designed framework is worth employing and studying.

Key words: integrated measuring and control device; differential-frequency paralleling; same-frequency paralleling; synchronization

许继入选首届“对中国经济社会发展贡献突出企业”

2005年2月27日下午,在北京举行了首届“对中国经济社会发展贡献突出企业”发布会。在2004年首届“对中国经济社会发展贡献突出企业”评介中,根据国家统计局主管部门统计数据,按指标综合指数值大小排列的名单,经评介专家委员会的评介,许继集团有限公司名列其中。