

基于 MSP430 和 Matlab 的励磁系统模型辨识仪

吕 杰¹, 刘宪林¹, 孙万里²

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001;

2. 纳思达科技有限公司, 广东 珠海 519075)

摘要: 根据同步发电机励磁系统辨识要求, 设计了一套低功耗、低成本、多通道模型辨识仪。仪器由数据采集卡和上位机模型辨识软件组成。数据采集卡以单片机 MSP430F2274 为核心元件, 在上位机控制下, 可实现工作参数设置、多路信号同步采集、数据存储及上传功能。上位机模型辨识软件在 Matlab 环境下开发, 具有数据获取、数据处理、模型辨识和模型校验功能。软件内嵌了包括直流励磁机励磁系统、交流励磁机励磁系统和静止励磁系统三大类共 16 种励磁系统模型。实验结果表明, 仪器可满足同步发电机励磁系统模型辨识的要求。

关键词: 励磁系统; 模型辨识; 数据采集卡; Matlab; MSP430

中图分类号: TP 274; TP 271+4

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2011)02-0143-03

建立准确的数学模型对于提高电力系统分析准确性和控制有效性有重要意义。目前, 关于励磁系统模型辨识的理论成果已经比较丰富^[1-3]。模型辨识就是根据过程提供的输入、输出信息, 在某种准则下, 估计出系统模型。本文基于此设计了一种模型辨识仪, 对同步发电机励磁系统模型进行参数辨识^[4-5]。

1 模型辨识仪总体结构

模型辨识仪由数据采集卡和上位机模型辨识软件 2 部分组成。数据采集卡用于励磁系统交直流信号的多路同步采集; 模型参数辨识软件控制采集卡进行数据采集, 并分析处理数据、辨识出励磁系统模型参数。模型辨识仪总体结构如图 1 所示。

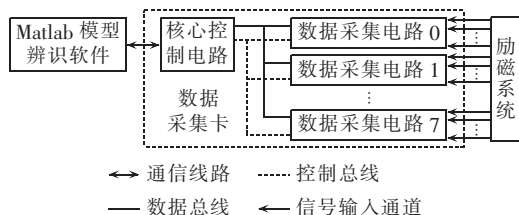


图 1 模型辨识仪的总体结构

Fig.1 Overall structure of model identification apparatus

2 数据采集卡

在低功耗、小型化、成本低的原则下, 设计出了高度集成的数据采集卡, 它有两大部分:

- 数据采集电路, 主要实现系统的多路数据同步采集和转换, 包括信号调理电路和 A/D 转换电路;
- 核心控制电路, 它包括单片机、通信电路和外部存储器, 主要负责协调各部分有序工作。其中, 数据采集电路板采用插件方式与单片机总线相连, 灵

活地配置了数据采集通道数。

数据采集卡结构图如图 2 所示。

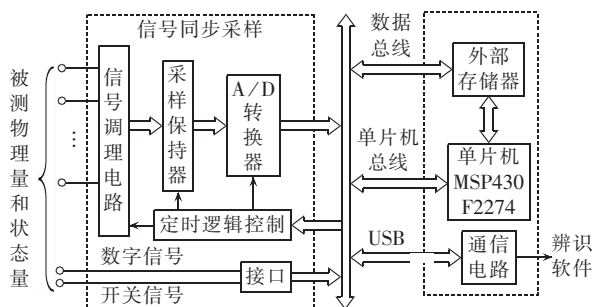


图 2 数据采集卡结构图

Fig.2 Structure of data acquisition card

2.1 数据采集电路

数据采集电路由模拟信号输入通道和开关量信号输入通道组成。

a. 模拟信号输入通道, 其核心部分为信号调理电路和 A/D 转换电路。为防止过大的信号源输入阻抗引起增益误差和信号失真, 增加了信号调理电路。它的基本配置为交流电压通道、交流电流通、直流电压通道和直流电流通。信号源经以上 4 个通道的处理后, 最终输出信号都是与 A/D 转换器相适配的电压信号。此外, 为加强 A/D 采样通道的抗干扰和带负载能力, A/D 转换电路前增加了电压跟随器, 降低了信号源输出阻抗。A/D 转换电路是以 MAX1312 为核心, 拥有 8 路同步采样能力、-10~10 V 的采样范围^[6]。

b. 开关量信号输入通道, 单片机为开关量信号留有专门的 I/O 口, 不必增加额外的处理电路。

2.2 核心控制电路

核心控制电路由核心处理器、外部存储器和通信电路组成。

2.2.1 核心处理器

本仪器采用 16 位单片机 MSP430 F2274 作为

核心处理器,功耗低、速度高、编程方便,仅需 51 条指令便可完成全部程序的编译^[7]。此外,它提供了 JTAG 和 SWB 2 种仿真口,可方便在线仿真,明显提高了编程效率。单片机主要任务:控制数据采集电路;接收上位机软件传达指令,并完成参数设置、数据传输等工作。单片机接收任务采用中断控制方式(中断源有采样定时中断和 UART 中断),并执行测试通信、设置采样、启动采集、读取采样数据和存储数据等 5 项操作,采集控制流程图如图 3 所示。

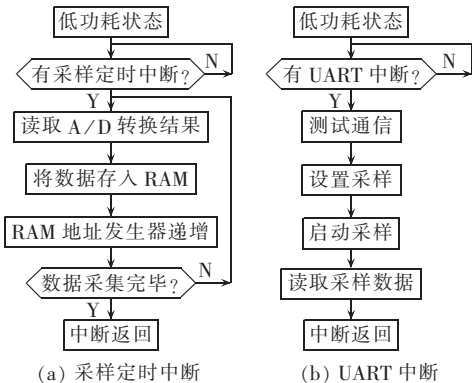


图 3 采集控制程序流程图

Fig.3 Flowchart of data acquisition program

2.2.2 外部存储器

鉴于采集数据较多,单片机外增加了大容量 RAM 作为数据暂存器,选用芯片为 ISSI 61WV20488BLL-10TLI,它具有 2 MB 存储容量,10 ns 的数据写入时间,8 位数据总线。

为了节省单片机 I/O 口资源,仪器使用专用地址发生器对 RAM 寻址,由 6 个双 4 位计数器 74HC393 级联构成。

2.2.3 通信电路

单片机与模型辨识软件之间的通信通过 USB 总线实现。

3 上位机模型辨识软件

上位机模型辨识软件是辨识仪的另一个核心,用于励磁系统的模型辨识,Matlab 环境下编写完成。

Matlab 在辨识计算方面有专用工具箱和相关函数^[8-9],软件设计中主要涉及的函数如表 1 所示。

本软件具有数据获取、数据处理、模型辨识和模型校验四大功能,如图 4 所示。其中,为能辨识各

表 1 辨识软件主要涉及函数

Tab.1 Main functions used by identification software

辨识过程	使用函数及功能
数据获取	iddata:建立模型输入/输出数据对象。
数据处理	idfilt:对采集数据滤波,剔除高频成分。 dtrend:对采集数据去趋势化处理。
模型辨识	tf:获取模型传递函数。 arx,armax,rarx 和 ramax:辨识函数。
模型校验	compare:比较实际与辨识模型输出。 resid:检验残差序列的白色性。 pzmap:查看离散模型的零点极点。 advice:评估整个辨识过程并提出建议。

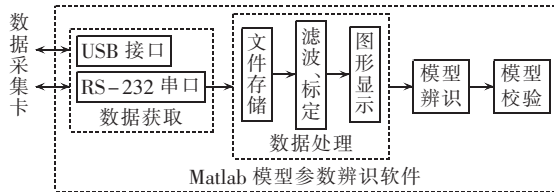


图 4 软件结构图

Fig.4 Structure of identification software

类发电机励磁系统,软件内嵌了丰富的模型库,包括直流励磁机励磁系统、交流励磁机励磁系统和静止励磁系统三大类共 16 种励磁系统模型^[10-11]。针对励磁系统进行模型辨识的程序流程如图 5 所示^[12]。

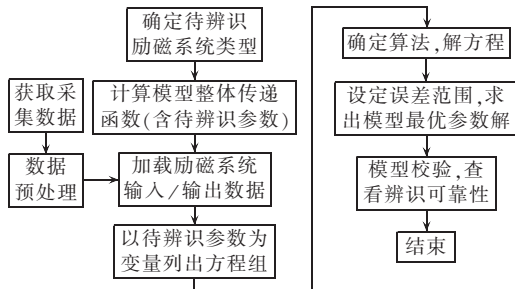


图 5 励磁系统模型辨识流程图

Fig.5 Flowchart of model identification for excitation system

4 辨识实验

4.1 实验设计

实验对象为某 200 MV·A,13.8 kV 机组自并励励磁系统。机组经变压器并网于无穷大系统。记录机组开机并经振荡进入稳态的整个过程,以供辨识。辨识中所选励磁系统模型结构如图 6 所示^[13-14]。图 6 中 U_{ref} 为给定参考电压, U_c 为机端电压, U_{EFD} 为输出励磁电压。 τ_c 为超前相位补偿时间常数, τ_b 为滞后相位补偿时间常数, K_a 为 AVR 增益, τ_a 为 AVR 增益延时时间常数。

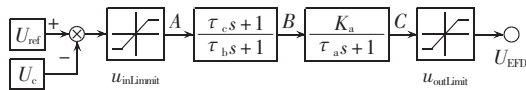


图 6 自并励系统模型示意图

Fig.6 Model of self-excitation system

辨识过程中,软件的操作步骤是:选择 A、C 点测量数据作为软件输入、输出数据;确定辨识对象为静止励磁系统中的“12 型”励磁模型;最后,点击菜单“模型辨识”即可获得自并励系统模型参数,辨识结果如表 2 所示。

4.2 模型校验

实验中采用仿真比对法和检验模型残差序列的

表 2 辨识试验数据

Tab.2 Data for identification experiment

辨识方法	待辨识参数			
	τ_c/s	τ_b/s	K_a	τ_a/s
基于基本最小二乘法	0.2321	0.5237	21.0100	0.1298
基于递推最小二乘法	0.2510	0.5276	20.9070	0.1315

白色性来验证辨识结果的正确性。

a. 仿真比对法。在 Matlab 平台下,参考机组励磁系统建立仿真模型,记录励磁电压在开机过程中的仿真曲线。然后,利用 compare 函数对比仿真曲线与实测曲线,如图 7 所示(图中, u_f 为励磁电压,纵坐标变量为标么值;下同)。图 8 为 2 条曲线的残差序列(图中, Δu_f 为误差)。由图 7、图 8 可知,励磁电压实测曲线除振荡过程与仿真曲线有较小误差外,其他各动态过程基本一致,辨识模型精度较高。

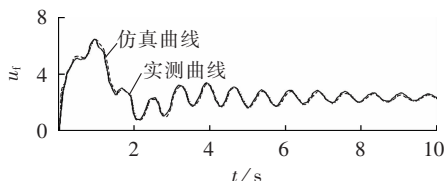


图 7 开机过程中实际输出与辨识输出曲线

Fig.7 Actual output and identified output during startup

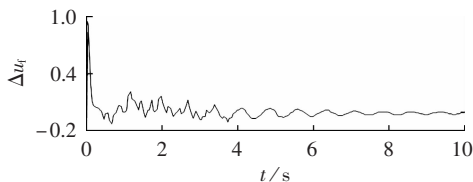


图 8 仿真模型误差

Fig.8 Errors of simulation model

b. 检验模型残差序列的白色性。在软件中,函数 resid 可检验模型仿真输出与实测输出间残差序列的白色性^[15]。检验结果见图 9 和 10(图 10 中, N 为脉冲个数),脉冲响应曲线和频率响应曲线均处于虚线区域内,残差序列是置信度为 99% 的白噪声序列,辨识模型与实际模型误差较小,辨识结果可信。

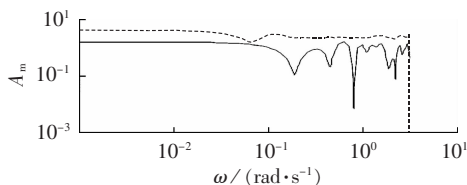


图 9 残差模型角频率响应

Fig.9 Frequency response of residual model

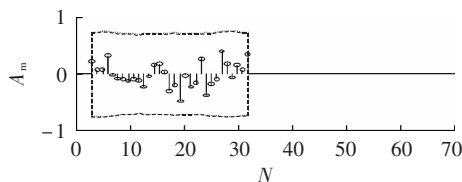


图 10 残差模型脉冲响应

Fig.10 Impulse response of residual model

由以上 2 种校验结果可知,所得辨识模型可靠,辨识精度较高。

5 结论

设计了一种低功耗模型辨识仪,归纳如下:

a. 设计的模型辨识仪具有较高转换精度和采样

速度的多路同步数据采集卡,并可根据需要灵活配置采样通道数量;

b. 基于 Matlab 开发的励磁系统模型辨识软件,可辨识三大类 16 种励磁系统;

c. 针对自并励系统进行了实验,辨识误差较小,结果可信。

本模型辨识仪具有一定的通用性,不仅可用于励磁系统模型辨识,丰富软件后,还可推广应用于电力系统以及一般控制系统的模型辨识。

参考文献:

- [1] 沈善德. 电力系统辨识[M]. 北京:清华大学出版社,1993:3-25.
- [2] SMITH J R, FATEHI F, WOODS C S, et al. Transfer function identification in power system applications[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1993, 8(3): 1282-1290.
- [3] 方崇智, 萧德云. 过程辨识[M]. 北京:清华大学出版社, 1998: 35-42.
- [4] JOHANSEN T A, MURRAY-SMITH R. On the interpretation and identification of dynamic takagi-sugeno fuzzy models[J]. IEEE Transactions on Fuzzy System, 2008, 8(3): 297-313.
- [5] TSAT SANIS M K, GIANNAKIS G B. Time-varying system identification and model validation using wavelets[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12): 512-523.
- [6] Maxim Integrated Products, Inc. 8-/4-/2-channel, 12-bit, simultaneous-sampling ADCs with $\pm 10\text{ V}$, $\pm 5\text{ V}$, and 0 to $+5\text{ V}$ analog input ranges[EB/OL]. America: Maxim, 2007. [2010-05-31]. <http://china.maxim-ic.com>.
- [7] 陈龙, 邓先灿, 孙麒. 基于 MSP430 单片机的多路数据采集系统的设计[J]. 现代电子技术, 2006, 20(15): 107-109.
CHEN Long, DENG Xiancan, SUN Qi. Design of a multi channel data collecting system based on MSP430 single chip computer [J]. Model Electronics Technique, 2006, 20(15): 107-109.
- [8] 魏巍. Matlab 控制工程工具箱技术手册[M]. 北京:国防工业出版社, 2004: 192-203.
- [9] 李炎新, 高成, 陈彬, 等. 用 Matlab 实现高速数据采集自动化[J]. 测控技术, 2002, 21(11): 9-13.
LI Yanxin, GAO Cheng, CHEN Bin, et al. Realize high speed data acquisition automation using Matlab[J]. Measurement and Control Technology, 2002, 21(11): 9-13.
- [10] 中国电机工程学会励磁系统数学模型专家组. 计算电力系统稳定用的励磁系统数学模型[J]. 中国电机工程学报, 1991, 11(5): 65-72.
CSEE Task Force Report. Excitation system models suitable for studying power-system stability[J]. Proceeding of the CSEE, 1991, 11(5): 65-72.
- [11] 刘增煌, 吴中习, 周泽昕. 电力系统稳定计算研究用励磁系统数学模型库[J]. 电网技术, 1994, 18(3): 6-11.
LIU Zenghuang, WU Zhongxi, ZHOU Zexin. Mathematical model bank for excitation system and its application in the study of power system transient stability[J]. Power System Technology, 1994, 18(3): 6-11.
- [12] 候媛彬, 汪梅, 王立琦. 系统辨识及其 Matlab 仿真[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 76-86.
- [13] 杨琳, 贺仁睦, 马进, 等. 基于实测的自并励励磁系统参数辨识[J]. 现代电力, 2005, 22(6): 32-34.

YANG Lin, HE Renmu, MA Jin, et al. Identification of bus fed static excitation system parameters based on measured data[J]. Modern Electric Power, 2005, 22(6): 32-34.

(下转第 148 页 continued on page 148)

[14] 舒辉,文劲宇,罗春风,等. 含有非线性环节的发电机励磁系统参数辨识[J]. 电力系统自动化,2005,29(6):66-70.

SHU Hui,WEN Jinyu,LUO Chunfeng,et al. Nonlinear parameters identification for synchronous generator excitation systems [J]. Automation of Electric Power Systems,2005,29(6):66-70.

[15] 刘宪林,杜晓勇,田云峰,等. Matlab 在水轮机模型辨识中的应用[J]. 电力自动化设备,2007,27(12):85-87.

LIU Xianlin,DU Xiaoyong,TIAN Yunfeng,et al. Application of Matlab in hydroturbine model identification[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(12):85-87.

(编辑: 汪仪珍)

作者简介:

吕 杰(1982-),男,河南平顶山人,硕士,研究方向为电力系统分析与控制、电力系统辨识(**E-mail**:lvjiegood2004@163.com);

刘宪林(1955-),男,河南洛阳人,教授,博士,主要研究方向为电力系统分析与控制、电力系统辨识(**E-mail**:liuxl@zzu.edu.cn)。

Model identification apparatus based on MSP430 and Matlab for excitation system

Lǚ Jie¹,LIU Xianlin¹,SUN Wanli²

(1. School of Electrical Engineering,Zhengzhou University,Zhengzhou 450001,China;

2. Ninestar Technology Co.,Ltd.,Zhuhai 519075,China)

Abstract: An inexpensive,multi-channel model identification apparatus with low power consumption is designed for the excitation system of synchronous generator,which consists of the data acquisition card and the model identification software for superordinate computer. The data acquisition card takes MSP430F2274 as its core and realizes the functions of operating parameter setting,multi-channel synchronous acquisition,data storage and uploading under the control of superordinate computer. The model identification software developed with Matlab has the functions of data collection,data processing,model identification and model validation,in which sixteen excitation system models are embedded:DC exciter excitation systems,AC exciter excitation systems and static excitation systems. Experimental results show that the designed apparatus meets the demands of synchronous generator excitation system for model identification.

Key words: excitation system; model identification; data acquisition card; Matlab; MSP430