

基于DSP的新型电参数测量仪设计

陈国茜, 颜文俊*

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 针对电机型式试验中的电参数测试, 设计了一种基于DSP的新型电参数测量仪。详细论述了整个系统的硬件构架与软件算法, 该系统通过采用高精度A/D转换器、DSP芯片以及上位机来完成电压、电流、功率、功率因数及频率的测量与数据的输出显示。对于中小型电机, 测量仪既可测三相交流电参数, 又可同时测量单相交流与直流电参数; 当被测对象为直流有刷电机时, 还能测量其转速; 测试量程根据输入电流、电压的大小自动进行切换。测试结果表明该系统精度高, 运行稳定可靠, 能够满足实际需求。

关键词: 交/直流; 电参数测试; A/D转换; 数字信号处理器; 量程切换

中图分类号: TH73; TM932 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)05-0501-05

Design of novel electrical parameter measurement system based on DSP

CHEN Guo-qian, YAN Wen-jun

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at the motor parameter test, a new kind of electrical parameter measurement system was investigated. After the analysis of various sized motors, hardware and software construction was established. Voltage, current, power, power factor and frequency were measured by using high-accuracy A/D converter and DSP chip, with results shown through computer. For medium and small-sized motors, the system can test parameters of DC and single-phase AC simultaneously, also three-phase electrical parameters, switching smoothly between AC & DC; rotating-speed is additionally measured when DC brush motor is under test. Voltage and current auto-scale is achieved along with different input ranges. The experimental results show that the system is of high precision and stable performance, and it can meet the actual requirement.

Key words: AC/DC; electrical parameter measurement; A/D converter; digital signal processor(DSP); auto-scale

0 引 言

在电机的生产、运行与实验研究过程中, 需要对电机的参数、性能等进行必要的测试, 以检验电机是否满足有关技术要求, 或是寻求改进生产工艺的方法与途径^[1-2]。近年来, 电机工业飞速发展, 同时带动了电机测试技术的发展。电机电参数的测量是电机测试中的必要部分。随着数字信号处理技术与计算机技术的发展应用, 电参数测试系统的智能化程度与数据处理能力大幅提高, 在测量精度、功能等方面远远超过传统的测试方法, 电参数测试步入了一个新的时代。

目前市场上电参数测量仪种类繁多, 其中国产测量仪大多精度不高, 测试误差较大^[3]; 而国外生产的专用数字测量仪价格昂贵, 不适合一般的工业应用单位^[4]; 此外, 大多数参数测试仪对交流和直流参数需分开测试, 不能将对各种电机的测试集中于一台仪器上^[5-6], 使用不便。因此, 设计一种集成性好、精度高、经济实用的电参数测量仪, 具有重要意义。

本研究设计一种新型电参数测试仪, 以DSP芯片TMS320F2182为核心实现运算和控制, 采用高精度A/D转换器ADS8364Y高速采样信号, 以实现量程的自动切换与交直流的通用测试, 提高测试精度与速度; 通过

收稿日期: 2011-12-12

作者简介: 陈国茜(1986-), 女, 湖南株洲人, 主要从事故障诊断方面的研究。E-mail: averson03@163.com

通信联系人: 颜文俊, 男, 教授, 博士生导师。E-mail: yanwenjun_zju@163.com

与上位机的通信及LCD液晶显示,提供友好的人机交互界面。

1 系统结构

电参数测量仪的系统结构如图1所示,主要包括以下模块:信号采集及变换调理、A/D转换、DSP数据处理、LCD数据显示等。本研究着重于信号采集与量程切换电路的设计,从硬件与软件两方面对测试系统进行改进,自动完成测试数据的采集、分析、存储与显示,同时提高系统的通用性与可靠性。

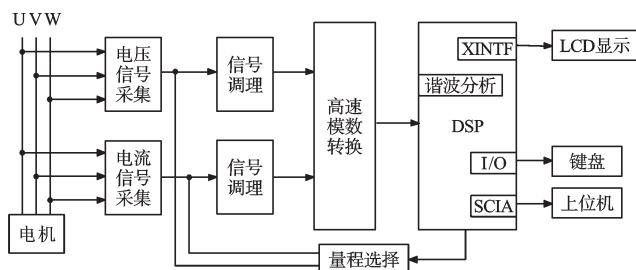


图1 系统结构设计

2 硬件设计

系统的硬件部分以TI公司的DSP芯片TMS320F2812为控制核心,该芯片具有快速的数字信号处理能力、强大的事件管理能力和嵌入式控制功能,外围接口丰富^[7-8]。硬件电路包括信号采集、信号调理、模数转换、LCD显示、串口通信电路等。电压和电流信号采集完毕后,经过信号调理电路进行数据处理,送至ADS8364进行模数转换,DSP对采样数据进行分析,分析结果送至上位机及LCD显示。

2.1 信号采集与调理

2.1.1 信号的采集

信号采集包括对电机电压、电流和转速的采集。开辟6路信号采集通道,分别采样电机的三相电压和三相电流信号,当被测电机为直流电机或单相交流电机时,由于电压和电流信号采集通道并未被完全占用,且两者互不相关,可以同时进行直流电机与单相交流电机信号的采集,从而实现交直流通用;本研究通过计数器对标准时钟脉冲计数,并做模数变换,用除法电路求其倒数可得电机的转速^[9]。

与传统方法中采用电压、电流传感器对电压与电流信号进行采集不同,本研究直接测量电机输入端的电源参数,采用电阻分压代替传统的电压互感器进行信号的采集,用600 kΩ/100 Ω的分压电阻进行信号的降压处理,被测信号输入范围降至0~83.32 mV,保证了系统的安全性;对于电流信号,利用不同规格的分流器,测试不同大小的电流,将分流器串接在电机输入电

源的两端,以完成信号的引入与采样。当流过分流器的最大电流为50 A时,可转换为75 mV的电压值。

2.1.2 信号的调理

采集得到的输入电压、电流信号通常都含有开关次谐波。为不影响频率测量并保证测量结果准确,先将输入信号滤波,通过3阶巴特沃斯滤波器^[10-11],设置截止频率为10 kHz,以消除开关次谐波分量的影响。

滤波之后的信号送入放大电路进行一级放大,本研究采用仪表放大器AD620,其具有如下特征:

- (1) 精度高,最大非线性度为40 ppm;
- (2) 失调电压低,最大为50 μV;
- (3) 失调漂移低,最大0.6 μV/°C;
- (4) 功耗、噪声与输入偏置电流较低,适用于传感器接口等精密数据采集系统。

2.2 量程切换

电压与电流值变化范围较大时,量程的切换能将测量误差均匀控制在一定范围内,以实现精确测量。部分电参数测试仪在进行量程的选择时,通过按键切换来实现,无法做到真正的自动切换;该系统通过CD4051来实现量程切换。CD4051是单8通道的数字控制模拟电子开关,通过3个二进制控制输入端A、B、C和INH输入电平选通相应的输出引脚,量程切换电路如图2所示。

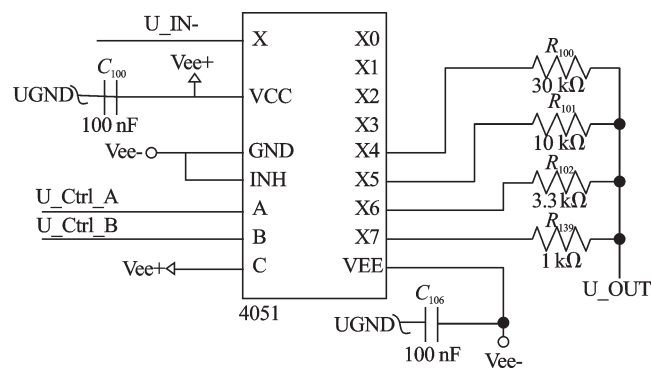


图2 量程切换电路

被采集的信号通过信号调理电路之后,经过模数转换送至DSP主控芯片,并判断信号所处的量级,控制CD4051A端口与B端口的电平,从而选通输出通道。各输出通道串有不同大小的反馈电阻,通过不同的串接阻值来改变自校准运算放大器TLC4501的放大倍数(如图3所示),从而实现量程的自动切换以及整个测量电压范围内的精确测量。电压划分为4个量程:0~16 V,16 V~45 V,45 V~150 V,150 V~500 V;电流的量程规格为:0~1.6 A,1.6 A~6 A,6 A~16 A,16 A~50 A。

2.3 模数转换

模数转换芯片采用采用ADS8364Y。ADS8364Y为

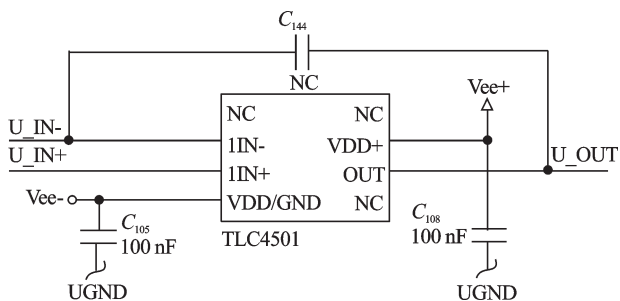


图3 TLC4501放大电路

6通道同步采样,高速、高精度、低功耗,适合同时采集多路信号;16位并行输出接口,内带2.5 V高精度基准电压源,外部时钟为5 MHz时^[12],其采样速度高达4 μs。

经过采样电路后的信号为具有正负半波的正弦信号,而ADS8364对采样信号电压的要求是AGND-0.3 V~AVDD+0.3 V,即“-0.3+5.3 V”,因此需要在A/D前端加入调理电路,才能使输入的模拟信号与模数转换所需的信号电压匹配。ADS8364的前端信号调理电路如图4所示。

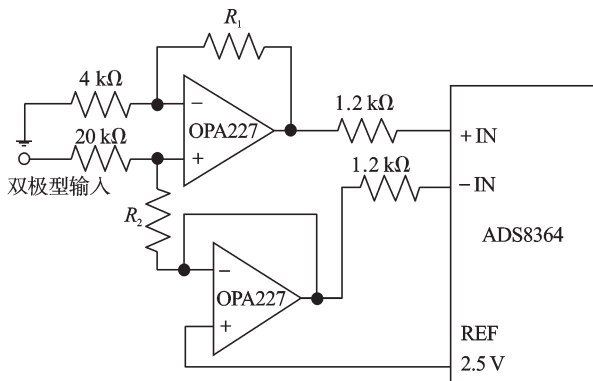


图4 ADS8364的信号调理电路

2.4 LCD显示

LCD显示电路由PCF85134驱动,采用4组4位共阳极数码管,分别显示电压、电流、功率、功率因数、频率、转速等。功率、功率因数、频率、转速共用一个数码管,通过按键切换显示,小数位数随着量程的不同而不同。指示灯采用发光二极管显示,包括“A/mA”指示灯、“W/kW”指示灯和“PF/Hz/r·min⁻¹”指示灯等。其中,“A/mA”与“W/kW”能自动识别,“PF/Hz/r·min⁻¹”指示灯通过按键切换指示。

3 系统软件实现

该系统采用C语言进行编程,通过对实时数据的处理实现电机的参数检测。系统的程序流程如图5所示。

软件部分由以下模块组成:系统主程序、数据采集、频率捕获中断处理、数据处理和数据输出显示等。

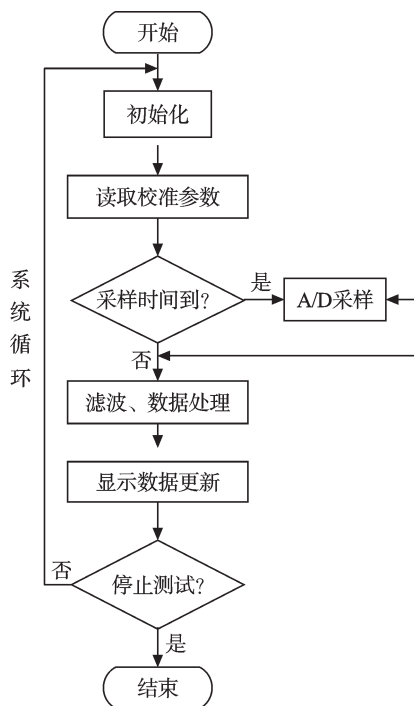


图5 系统主程序流程图

系统上电复位之后进入主程序,初始化DSP芯片、GPIO,进行I/O口的配置;初始化事件管理器(EV),设置CAP3时基T3的周期以及输入时钟分频数,并启动T3;初始化外设扩展中断(PIE),使能捕获中断、外部中断,开中断;初始化ADS8364Y,通过低电平触发其复位引脚,将读指针指向第1个读数位置;启动A/D后,通过对采样数据的计算判断,选择合适的测试量程,自动切换量程之后重采样,记录所得数据,依据相应的算法得到被测值,并完成后续的输出显示。下面本研究对功率、频率、转速以及谐波等关键电参数的测试算法进行介绍。

3.1 功率计算

对于单相电机,在一个周期内采样信号,得到的电压和电流有效值分别为:

$$\begin{cases} U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \\ I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \end{cases} \quad (1)$$

离散化后可得:

$$\begin{cases} U = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{m=1}^N u_m^2 \Delta T_m} \\ I = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{m=1}^N i_m^2 \Delta T_m} \end{cases} \quad (2)$$

式中: u_m —第 m 个时间间隔采样的电压信号瞬时值, i_m —第 m 个时间间隔采样的电压信号瞬时值, ΔT_m —相邻两次采样的采样间隔, N —一个周期内的采样点

数。

进而可得有功功率:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N u_m i_m \quad (3)$$

视在功率为 $S = UI$, 功率因数为 $\lambda = \cos \varphi = P/S$ 。

对于三相电机, 其每一相电参数的计算可参照单相电机的计算原理进行计算^[13-14]。

三相有功功率:

$$P = P_A + P_B + P_C = \sum_i P_i \quad (4)$$

三相无功功率:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = \sum_i Q_i \quad (5)$$

三相视在功率:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (6)$$

测试表的接法不同, 计算得到的三相功率也不同。常见的3种接法有: Y型、 Y_0 型与 Δ 型。 Y_0 型接法的计算公式如下:

$$P_{Y_0} = P_{AN} + P_{BN} + P_{CN} = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N (u_{Am} i_{Am} + u_{Bm} i_{Bm} + u_{Cm} i_{Cm}) \quad (7)$$

$$Q_{Y_0} = Q_{AN} + Q_{BN} + Q_{CN} = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N (u_{Am} i_{A(m+N/4)} + u_{Bm} i_{B(m+N/4)} + u_{Cm} i_{C(m+N/4)}) \quad (8)$$

Y型接法与 Y_0 型接法的计算公式相同。

Δ 型接法计算公式:

$$P_{\Delta} = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N (u_{ABm} i_{Am} + u_{BCm} i_{Bm}) \quad (9)$$

$$Q_{\Delta} = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N (u_{ABm} i_{A(m+N/4)} + u_{BCm} i_{B(m+N/4)}) \quad (10)$$

三相功率因数为:

$$\lambda = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (11)$$

3.2 频率与转速计算

对于待测信号的频率检测, 本研究将电压信号转换成方波信号后接至计数器(增量计数), 计数器的初始数值为 N_1 。高电平时进行计数, 低电平则不计数; 一周之后计数值变为 N_2 , 此时复位计数器, 为下一周波做准备^[15]。计数器的标准计数脉冲周期为 T_s , 由此可得电机的频率 f_0 为:

$$f_0 = \frac{1}{T} = \frac{1}{2T_s(N_2 - N_1)} \quad (12)$$

式中: f_0 —待测频率, N —检测到的方波的个数, T_s —标准计数脉冲周期。

对于直流有刷电机, 本研究通过无传感器法测算其转速 n , 可由以下公式求得:

$$n = \frac{60N}{2pt} \quad (13)$$

式中: N —计数器测定的脉冲数, p —电机极对数, t —给定时间。

3.3 谐波分析

基于以上硬件系统, 本研究可以实现严格的同步采样, 并且依据香农定理, 满足采样频率 $\omega_s > 2\omega_k$ (ω_k 是被测信号最高次谐波的频率上限), 因此可以准确检测出各次谐波、复现原始波形。

对于周期函数 $f(t)$, 若其满足狄里赫利条件^[16], 则可分解为:

$$f(t) = A_0 + \sum_{m=1}^{\infty} A_m \cos(m\omega t + \varphi_m) \quad (14)$$

利用同步采样, 在区间 $[T_1, T_1 + T]$ 均匀采样 N 次, 可计算:

$$a_m = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N f(T_1 + i\frac{T}{N}) \cos(2\pi m \frac{i}{N}) \quad (15)$$

$$b_m = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N f(T_1 + i\frac{T}{N}) \sin(2\pi m \frac{i}{N}) \quad (16)$$

可得各个频率成分的振幅与初始相位:

$$A_m = \sqrt{a_m^2 + b_m^2}, \varphi_m = \text{tg}^{-1}(\frac{b_m}{a_m}) \quad (17)$$

第 m 次谐波的畸变率为:

$$HRA_m = \frac{A_m}{A_1} \times 100\% \quad (18)$$

式中: A_1 —基波幅值。

总信号畸变率为:

$$THDA_m = \frac{\sqrt{\sum_{m=2}^{N/2} A_m^2}}{A_1} \times 100\% \quad (19)$$

4 性能检测

本研究设计以下实验对该测量系统进行性能检测:

(1) 利用标准信号源模拟来进行电流和电压的测量, 得到不同电流电压输入值下的测试结果。直流与交流信号的电压、电流测试结果分别如表1~2所示。

(2) 利用该测量系统对某三相无刷直流电机进行测试, 结果如表3所示。测试结果表明: 量程可随信号的大小而进行自动切换, 测试结果误差小, 满足精度要求。

表1 直流信号的电压、电流测试

电压输入值 U_{in}/V	电压测试值/V	误差/(%)	电流输入值 I_{in}/A	电流测试值/A	误差/(%)
0.200	0.202	1	0.005 0	0.005 1	2
2.000	2.003	0.15	0.050 0	0.050 0	0
20.000	19.994	0.03	0.500 0	0.499 7	0.06
200.000	200.000	0	5.000 0	4.999 0	0.02
500.000	500.000	0	50.000	50.00 0	0

表2 交流信号的电压、电流测试

电压输入值 U_{in}/V	电压测试值/V	误差/(%)	电流输入值 I_{in}/A	电流测试值/A	误差/(%)
0.200	0.202	1	0.005 0	0.005 1	2
2.000	1.997	0.15	0.050 0	0.050 0	0
20.000	19.995	0.025	0.500 0	0.499 7	0.06
200.000	199.950	0.03	5.000 0	4.999 0	0.02
500.000	501.000	0.2	50.00 0	50.00 0	0

表3 三相无刷直流电机的参数测试

电压 U/V	电流 I/A	输入功率 P_{in}/W	输出功率 P_{out}/W	效率 $\eta/(%)$	时间 t/s
47.97	11.31	542.3	451.9	83.3	0.00
47.97	11.29	541.3	451.0	83.3	40.38
47.96	11.18	536.1	415.0	77.4	182.38
47.97	1.196	57.34	5.969	10.4	184.38
47.97	1.088	52.19	0.353	0.7	188.38

5 结束语

本研究从硬件和软件两方面对电机参数测量系统进行了设计,利用分压电阻代替互感器,通过6路测试通道同时采集数据,实现了单相测量、多相测量及直流测量的无缝集成与量程的自动切换,避免了按键切换等带来的不便,使型式试验中各种电机的测试更具有通用性和灵活性;本研究使用TMS320C2812作为主控芯片,结合16位A/D转换器,系统精度得以提高,为后续电机试验中的其他测试(冷态直流电阻、匝间绝缘、温升试验、空载试验等)打下坚实的基础。

实际测试数据表明测量精度在0.2以内。系统工作稳定,能连续可靠地运行,有效减少了电磁干扰,提高了测量的稳定性与准确性,有助于提高电机行业的产量与质量,进一步推动电机行业的发展。

参考文献(References):

- [1] FINLEY W R, HODOWANEC M M, HUSSAIN K S, et al. Proper Selection of Induction Motor Tests[C]//Pulp and Paper Industry Technical Conference. Conference Record of the 2003 Annual, 2003:9-20.
- [2] 武建文,李德成. 电机现代测试技术[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [3] 林高翔. 基于虚拟仪器的网络型电机测试系统软件设计[D]. 杭州:浙江大学电气工程学院,2010.
- [4] 李 纯. 基于数字信号处理器的电机测试装置的研制[D]. 重庆:重庆大学电气工程学院,2005.
- [5] 庞向坤,姚福安,魏欢欢. 基于DSP的无刷直流电机测试系统的设计[J]. 自动化仪表,2008,29(7):53-56.
- [6] 姜飞荣,章 玮. 基于DSP的变频调速电机电参数综合测试仪[J]. 微电机,2006,39(1):99-102.
- [7] 李志军,刘艳萍,马 军,等. 交流采样技术在同步发电机测试中的应用[J]. 中小型电机,2003,30(5):52-55.
- [8] 孙丽明. TMS320F2812原理及其C语言程序开发[M]. 北京:清华大学出版社,2008.
- [9] 王京锋,孙纯祥,林洪怡,等. 高速无刷直流电机控制与无传感器测速研究[J]. 电力电子技术,2006,40(5):65-67.
- [10] THOMPSON M T. Intuitive Analog Circuit Design [M]. Posts & Telecom Press,2009.
- [11] 侯 伟,王 辉. 基于DSP的变频电源电参数测量系统[J]. 仪表技术与传感器,2007(1):53-54,57.
- [12] 苏奎峰,吕 强,耿庆锋,等. TMS320F2812原理与开发[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [13] 戴钦来,马钧华. 基于ARM和DSP的多轴伺服系统以太网通信[J]. 轻工机械,2011,29(1):62-66.
- [14] 高 瑜,焦文潭. 基于DSP交流采样电路设计与实现[J]. 电测与仪表,2011(5):72-74.
- [15] 吕 黎,黎 雪. 基于液晶显示模块与单片机的数字化角度测量装置[J]. 现代制造技术与装备,2010(6):15-17.
- [16] 赵文春,马伟明,胡 安. 电机测试中谐波分析的高精度FFT算法[J]. 中国电机工程学报,2001(12):83-87,92.

[编辑:张 翔]