

基于 MSP430 单片机的直流电动机 调速测速控制系统

宋 强

(太原理工大学,山西太原,030024)

摘 要: 阐述了 MSP430 单片机的特点及直流脉宽 (PWM) 调速的方法,介绍了基于 MSP430 单片机的直流电动机测速调速控制系统。充分利用 MSP430 单片机的各种功能,借助于软件优势,构成了一个实用的单片机实时控制系统。在整个试验调试过程中,该系统运行可靠,性能优良。

关键词: MSP430 单片机;直流脉宽;PID;RS232;测速;调速

中图分类号: TM33 **文献标识码:** A

直流电机由于具有速度控制容易,启、制动性能良好,且在宽范围内平滑调速等特点而在工业部门中得到广泛应用。采用硬件逻辑电路实现直流电机闭环调速系统已在实践中应用多时,其硬件组成复杂,调整困难,缺乏控制的灵活性。随着计算机和电子技术的高速发展,促使直流电机调速逐步从模拟化向数字化转变。采用单片机控制的脉宽调制(PWM)对直流电机调速是目前迅速推广的一项新技术,其基本原理是通过晶体管开关时间控制,将直流电压转换成一定频率方波电压,达到平滑调节直流电机转速的要求。在使用 MSP430 单片机控制的脉宽调速系统中,其定时器可以直接产生 PWM 方波输出,将它用于直流电机的脉宽调速系统是个很好的方案。

1 MSP430 简介

TI 公司的 MSP430 系列单片机是一个超低功耗类型的单片机,它能够实现在 1.8 V~3.6 V 电压,1 MHz 的条件下运行,耗电电流在 0.1 μ A~400 μ A 之间,同时能够在实现液晶显示的情况下,只耗电 0.8 μ A。在运算速度时,MSP430 系列单片机能在 8 MHz 晶体的驱动下实现 125 ns 的指令周期。16 位的数据宽度,125 ns 的指令周期以及多功能的硬件乘法

测试,测试结果见图 5。从图 5 中可以看出美国 OMEGA 公司 Butt-Welded 热电偶响应时间约为 41.6 ms。由于实验条件的限制,此响应时间的测试存在误差,这与美国 OMEGA 公司提供的时间常数(300 ms)略有差别,但是可以认为此热电偶响应时间的理论值与实测值在实验不确定范围内是基本吻合的。这种动态特性的测试方法也适用于其他表面温度传感器。与此同时,也说明了美国相干公司 K-500 型高功率 CO₂ 激光器可以作为瞬态表面高温传感器动态特性测试的加热热源。

器相配合,能实现数字信号处理的某些算法(如 FFT 等)。

在整合方面,MSP430 系列单片机将大量的 CPU 外围模块集成在了片内,有如下一些模块:看门狗(WDT)、定时器 A(TIME_A)、定时器 B(TIME_B)、模拟比较器、串口 0、1、硬件乘法器、液晶驱动器、10 位/12 位 ADC、14 位 ADC、端口 0~6、基本定时器。其中定时器 A 与 B 均带有多个捕获/比较寄存器,同时可实现多路 PWM 输出。模拟比较器与定时器配合,可方便地实现 ADC;液晶驱动多达 160 笔段;硬件 ADC 模块在小于 10 μ s 的速率下实现 10 位~14 位的高速、高精度转换,同时提供采样/保持与参考电压;端口 0、1、2 能够接收外部上升沿或下降沿的中断输入。

2 硬件电路设计

2.1 硬件电路设计要求

硬件电路设计要求进行电动机测速、PWM 调速、液晶显示,通过串口与 PC 机通信、在 PC 机系统上显示出转速及转速曲线,并在 PC 机上实现对电机的调速控制。

2.2 单片机选择

选用的 MSP430 系列单片机中具有捕捉、PWM 调速输出、URAT 模

参考文献

- [1] 郝晓剑.瞬态表面高温测量与动态校准技术研究[D].太原:中北大学,2005:66-68.

(责任编辑:王雅利)

第一作者简介:郭华玲,女,1976 年生,现为中北大学测控技术及仪器专业 2003 级在读硕士研究生,中北大学信息与通信工程学院,山西省太原市,030051.

Dynamic Measurement of Butt-Welded Thermocouple Stimulated by Modulated Laser

GUO Hua-ling

ABSTRACT: This paper puts forward a new method of making the dynamic property test on the surface temperature sensor by using the high frequency modulated high power CO₂ laser as the driving source, and sets up a dynamic property measuring system. A Butt-Welded thermocouple of company OMEGA has been tested on the system by using DIAMOND OMEGA series K-500 type CORHENT CO₂ laser, and the experimental results show that the response time of the Butt-Welded thermocouple is 41.6 ms.

KEY WORDS: thermocouple; dynamic property; CO₂ laser

块、液晶输出、MSP430F449 单片机、TIME_A 和 TIME_B 两个定时器,完全可以满足设计要求,还可以在 PC 机端使用 VB 语言与 MSP430F449 进行通信。

2.3 测速原理及硬件设备

2.3.1 测速指标

(1)分辨率。改变一个计数字所对应的转速变化量来表示分辨率,以 Q 表示。转速由 n_1 变为 n_2 ,引起记数值改变了一个字, Q 值愈小愈好,说明测速装置对转速变化愈灵敏,即测速分辨率愈高。

设在某一时间内,转速从 n_1 变为 n_2 ,所发出的光电测速脉冲数为 m ,则

$$Q=(n_1-n_2)/m \tag{1}$$

即每一个光电测速脉冲所对应的电动机转速。

(2)测速精度。转速实际值和测量值之差 Δn 与实际值 n 之比定义为测速误差率,记以 δ 。当实际转速为 n ,转速实际值与测量值之差为 Δn 时,则测速精度为

$$\delta=(\Delta n/n) \times 100\% \tag{2}$$

得 δ 愈小,测量误差愈小,即测速精度愈高。

(3)检测时间。连续两次采样转速的间隔时间,用 T_0 表示。 T_0 愈短,愈有利于快速响应。

本系统的测速采用的 M 法原理是在设定的一定时间内,用计数器计取光电脉冲发生器产生的脉冲数来表示电动机转速。电动机的转速可表示为

$$n=60m_i/(PT_0) \text{ (r/min)} \tag{3}$$

式中, T_0 为设定的采样周期,是固定时间, s ; m_i 为在 T_0 时间内计取的光电脉冲数; P 为电动机每转一周光电码盘所发出的脉冲数。

2.3.2 M 法测速指标

(1)分辨率。由式(1) m 取 1,又由式(3) $n_1=60(m_1+1)/(PT_0)$, $n_2=60m_1/(PT_0)$,则根据定义分辨率为

$$Q=(n_1-n_2)/m=n_1-n_2=60(m_1+1)/(PT_0)-60m_1/(PT_0)=60/(PT_0)=\text{常数} \tag{4}$$

可见, Q 值与转速无关,即计数值 m_i 变化一个数,在任何转速下所对应的转动位置增值均相同。欲提高 Q 值,可改用 P 值大的光电码盘或增加检测时间 T_0 。

(2)测量精度。由于每一个光电脉冲对应的转动位置都相同,并在测速过程中总会有 ± 1 个脉冲的测量误差,所以根据定义测速精度为

$$\delta=\Delta n/(n \times 100\%)=(1/m_i) \times 100\% \tag{5}$$

可见,随着转速的增加, m_i 增大时,相对误差减小。高速时测量精度高,低速时误差大,这表明 M 法适用于测量高速时的转速。

(3)检测时间。由式(4) $T_0=60/(PQ)$,可见在保持一定分辨率的情况下,缩短检测时间的唯一办法是更换 P 值大的光电码盘。

对于电动机测速(见图 1,图 2),可以选用一个固定在电动机轴上的 P 值为 45 的齿轮盘,一对光电对管(由一个光电发光管和一个接受管组成)。由光电原理可知,当有光照射时,接受管中的三极管导通,输出高电平;当光被挡住时,接受管中的三极管截止,输出低电平。齿轮盘位于发光管和接受管之间,当电动机转动时,就可以连续阻断和导通光,从而可以生成一系列的脉冲信号。电动机转动越快,脉冲产生的频率也越快,通过 MSP430F449 的捕捉功能,可以捕捉到脉冲的上升沿,从而可以记录脉冲的个数,使用式(3)就可以求出电动机的转速。

由于 MSP430F449 具有 PWM 输出功能,所以通过改变占空比就可以控制电动机的转速。MSP430F449 的 PWM 输出与电动机电路相连,通过一个三极管开关电路实现对电动机的调速。

在 PC 机端,可以通过串口与 MSP430F449 的 URAT 进行通信,将转速数据通过串口传输给 PC 机,PC 机的处理系统由 VB 程序语言编制完成,对转速数据进行处理,显示出来并即时绘制出相应的曲线(见图 3),并可以通过串口向 MSP430F449 发出 PWM 调速指令,进行电动机的转速控制。

3 闭环 PID 控制算法

PID 控制这一古老朴素的概念在连续控制领域中早已深入人心,而

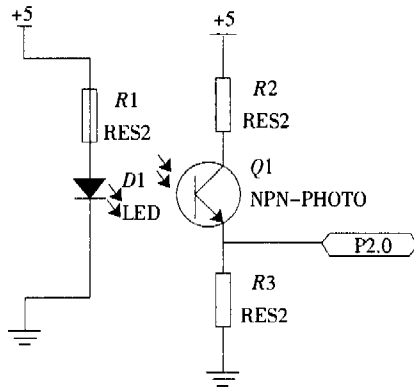


图 1 测速电路原理图

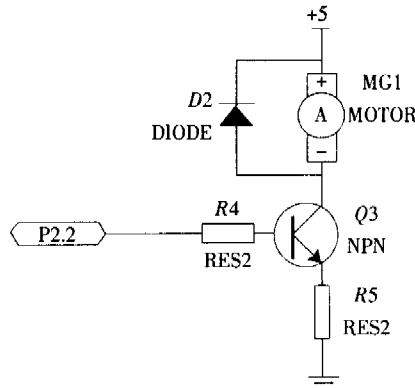


图 2 调速驱动电路原理图

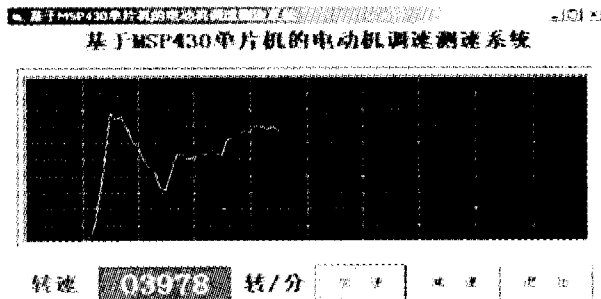


图 3 调速测速即时曲线

且无所不在。其中比例控制能迅速反应误差,从而减小稳态误差。积分控制的作用是,只要系统有误差存在,积分控制器就不断地积累,输出控制量,以消除误差。微分控制可以减小超调量,克服振荡,使系统的稳定性提高,同时加快系统的动态响应速度,减小调整时间,从而改善系统的动态性能。理想 PID 算式为:

$$u(t)=K_p[e(t)+\frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau)d\tau+T_D \frac{d(e(t))}{dt}] \tag{6}$$

式中, K_p 为比例放大系数; T_i 为积分时间; T_D 为微分时间。

在数字计算机中,PID 控制规律的实现,也必须用数值逼近的方法。当采样周期相当短时,用求和代替积分,用差商代替微商,使 PID 算法离散化,将描述连续一时间 PID 算法的微分方程,变为描述离散一时间 PID 算法的差分方程。可以分位置式、增量式两种。

位置式 PID 算式为:

$$u(k)=K_p[e(k)+\frac{T_s}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j)+\frac{T_D}{T_s} (e(k)-e(k-1))]+u_0 \tag{7}$$

式中, u_0 为控制量的基值,即 $k=0$ 时的控制; $u(k)$ 为第 k 个采样时刻的控制; K_p 为比例放大系数; T_s 为采样周期。

式(7)是数字 PID 算法的非递推形式,称全量算法。算法中,为了求和,必须将系统偏差的全部过去值 $e(j)$ ($j=1,2,3,\dots,k$) 存储起来。这种算法得出控制量的全量输出 $u(k)$,是控制量的绝对数值。在控制系统中,这种控制量确定了执行机构的位置。所以,将这种算法称为“位置算

法”。

增量式 PID 算式为:

$$\Delta u(k) = q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2) \quad (8)$$

$$\text{其中, } q_0 = K_p \left[1 + \frac{T_s}{T_i} + \frac{T_D}{T_s} \right], q_1 = -K_p \left[1 + 2 \frac{T_D}{T_s} \right], q_2 = K_p \frac{T_D}{T_s}$$

式(8)只表示了各次误差量对控制作用的影响,已看不出是 PID 的表达式了,也看不出 P,I,D 作用的直接关系。从式(8)看出,数字增量式 PID 算法只要贮存最近的 3 个误差采样值 $e(k), e(k-1), e(k-2)$ 就足够了。

4 闭环 PID 调速系统设计与实现

此系统采用增量式 PID 控制算法,参数 q_0, q_1, q_2 的确定是通过实验凑试法确定的,是通过闭环运行或模拟观察系统的响应曲线,然后根据各参数对系统的影响反复凑试参数,直至出现满意的响应,从而确定 PID 控制参数。

整定步骤为“先比例,再积分,最后微分”。

(1)整定比例控制。将比例控制作用由小变大,观察各次响应,直至得到反应快、超调小的响应曲线。

(2)整定积分环节。若在比例控制下稳态误差不能满足要求,需加入积分控制。

(3)整定微分环节。先置微分时间 $T_D=0$,逐渐加大 T_D ,同时相应地改变比例系数和积分时间,反复凑试至获得满意的控制效果和 PID 控制参数。

经过以上步骤可以确定本系统 $q_0=0.1, q_1=0.26, q_2=0.3$ 。

通过 MSP430F449 的 P2.0 端口捕捉光电管上升沿脉冲,在 MSP430 内部算出电动机转速,并同时将该试验板的液晶屏显示出来。将 $k, k-1, k-2$ 时刻的转速带入式(8)进行 PID 运算。根据运算结果调整 PWM 的占空比,直接从 P2.2 端口输出 PWM 波形驱动三极管开关电路,调节电动机转速。并将转速通过串口输出给 VB 编写的上位机系统,以即时曲线形式显示出来,并可以直接在上位机控制系统的转速。PID 控制算法及窗口初始化程序为:

```
float pid(int yszs, int cdzs) //Pid 增量计算
{
    if ((ek! = 0) && (ek1! = 0) && (ek2! = 0)) uk = 0.1 * ek - 0.26 * ek1 + 0.3 * ek2;
    ek2 = ek1;
    ek1 = ek;
    ek = yszs - cdzs;
    return(uk);
}
void init232(void) //串口初始化
{
    FLL_CTL1 = SELS; //smclk 选用 8 Mb 晶振
    UCTL0 = CHAR; //8 位
```

```
UTCTL0 = SSEL1; //选用 smclk 时钟
UBR00 = 0XA0;
UBR10 = 0X01;
UMCTL0 = 0XC0; //19 200 b/s
ME1 = UTXE0 + URXE0; //读写中断容许
IE1 = URXIE0; //读中断
P2SEL = 0X30;
P2DIR = 0X10;
}
```

图 4 为设定转速为 1000 r/min 的上位机转速即时曲线。

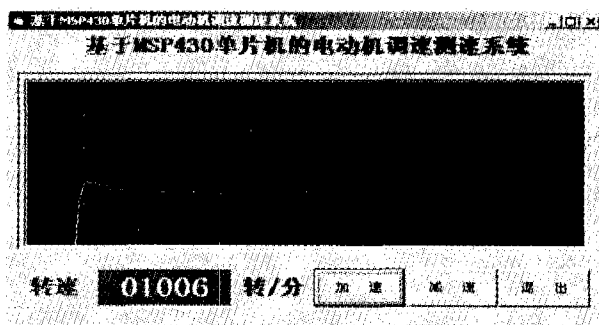


图 4 PID 调速曲线

5 结语

本文提供的直流电动机的测速和闭环 PID 直流脉宽(PWM)调速系统充分利用了 MSP430 单片机的特点,系统机构简单,功能完善。除完成测速和 PWM 调速外,还在系统中进行了液晶显示、通过串口与 PC 机通信等功能。本系统充分合理地利用了 MSP430 单片机的中断、定时、捕捉、运算、通讯、液晶驱动等功能,借助于软件优势,构成了一个实用的单片机实时控制系统。在整个试验调试过程中,运行可靠,性能优良。

参考文献

- [1] 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [2] 胡大可. MSP430 系列单片机 C 语言程序设计与开发[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [3] 王锦标, 方崇智. 过程计算机控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.

(责任编辑:王雅利)

第一作者简介:宋 强,男,1976 年 5 月生,2003 年毕业于太原理工大学控制理论与控制工程专业,太原理工大学,山西省太原市,030024.

The DC Motor's Speed Regulating and Measuring Control System Base on MSP430 Chip Microcomputer

SONG Qiang

ABSTRACT: This paper expounds the features of the MSP430 chip microcomputer and DC pulse width speed regulating method, and introduce the DC motor's speed regulating and measuring control system base on MSP430 chip microcomputer, which constitutes a practical real-time control system based on the chip microcomputer by making full use of various functions of MSP430 chip microcomputer and with the aid of the superiorities of the software. The whole testing and debugging course shows that this system possesses reliable operation and excellent performance.

KEY WORDS: MSP430 chip microcomputer; PWM; PID; RS232; speed measurement; speed regulation