

· 电路与控制 ·

## 用 PID 算法反馈控制直流电机

李田甜, 陈 鸿, 李景涛

(中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051)

**摘要:**用凌阳 SPMC75F2413A 单片机配合编码器对直流电机进行闭环反馈控制,使直流电机带动的钩状扫描针停在规定的位置上.使用 PID 反馈控制算法进行反馈控制,使用编码器将钩状扫描针的位移转换为电脉冲,通过单片机对采回的电脉冲进行分析处理,与规定值比较,利用差值算出 PWM 输出信号,控制直流电机正转或反转,即钩状扫描针若高于规定位置直流电机随即反转,若低于规定位置直流电机正转.

**关键词:**SPMC75F2413A 单片机;直流电机;编码器;PID 反馈控制

**中图分类号:**TM361

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-1255(2009)06-0055-03

## Feedback Control of DC Motor by PID Algorithm

LI Tian-tian, CHEN Hong, LI Jing-tao

(Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement,  
Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** Closed feedback control to DC motor was made by PID based on SPMC75F2413A SMC and coder in order to make the hook-liked scanning probe driven by the DC motor to rest on the specified position. The PID feedback control algorithm can be used to realize displacement control. The coder changes the displacement of the hook-liked scanning probe to electric pulse. Through SPMC75F2413A SMC, these electric pulses were analyzed and compared to the specified value. The output signals were calculated by the differences to control the right and reverse round of the motor, i. e. when the hook-like probe is higher than the position, the DC motor rotates reversely immediately, if lower, the motor rounds rightly.

**Key words:** SPMC75F2413A SMC; DC motor; coder; PID feedback control

直流电机不同于步进电机,步进电机可以通过设置运行的步数来控制旋转的角度,而直流电机不能直接精确实现旋转角度的控制.所以通过编码器将直流电机所带动的钩状扫描针的位移转变为电脉冲,通过采集到的电脉冲数来反馈控制直流电机带动钩状扫描针的位移.SPMC75F2413A 是  $\mu'nSP^{\text{TM}}$  系列产品的一个新成员,是凌阳科技新推出的一个 16 位结构的微控制器.该设计使用 SPMC75F2413A 作为控制器<sup>[1]</sup>.

旋转编码器实质上是一种把角位移转换成电脉

冲的角度测量装置.使用直流电机带动钩状扫描针,从而将钩状扫描针走过的位移转化为电脉冲.旋转编码器可以分为 2 大类:一类是增量式,一类是绝对式.由于 SPMC75F2413A 单片机带有两相增量式编码器接口,所以选择输出为脉冲形式的增量式编码器.

PID 控制算法是控制理论中技术最成熟、应用最广泛的一种控制算法.PID 控制算法的实质就是根据输入值与设定标准值之间的偏差值按照比例、积分、微分的函数关系进行运算,其运算结果用以输

收稿日期:2009-09-11

作者简介:李田甜(1985-),女,山西文水人,硕士研究生,研究方向为电子信息技术及仪器;陈鸿,男,教授,主要研究方向为测试计量仪器与技术;李景涛(1979-),男,山西太原人,硕士,助理工程师,研究方向为电子控制.

出控制.

### 1 硬件设计

#### 1.1 硬件总体设计

设计中使用芯片 TA8192F 作为直流电机的功率驱动器,TA8192F 由 4 个推挽管构成 2 个通道,这 2 个通道的组成完全相同.分别控制 2 个电机的运行.

使用 SPMC75F2413A 单片机的 PDC 定时器功能,输出不同占空比的 PWM 波形,控制 TA8192F 输出不同的电枢电压,从而达到调速的目的.

直流电机带动编码器的输出轴转动,根据转动的多少,输出相应的脉冲数.例如在本例中,编码器的输出轴转动一周,输出 500 个脉冲.

使用单片机的 PDC 定时器捕获功能,对脉冲个数进行记录.硬件总体设计框图如图 1 所示.

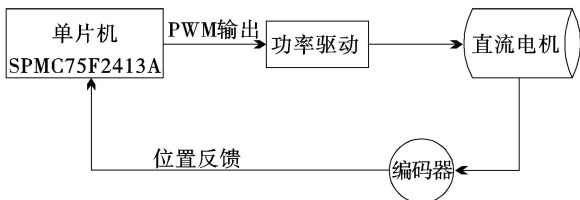


图 1 硬件总体设计框图

#### 1.2 编码器

在码盘上刻有一组径向光栅,狭缝板上刻有透光条纹.当接入电源后,发光元件发出平行光线,转动轴带动码盘一起转动时,受光元件就接收到光线亮、暗变化的信号,引起输出电流发生变化,形成两路相位差 90°的正弦波信号,它们经放大、整形后得到两路相差 90°的方波信号 A 和 B.当编码器的转动轴顺时针转动时,A 相超前 B 相 90°;当转动轴逆时针转动时,B 相超前 A 相 90°.

系统选用的是额定电压为 +5 V,分辨率为 500 PPR(pulse per revolution)的旋转编码器.图 2 为编码器 A、B 相输出信号图.图 2a 为输出轴顺时针转动时的输出波形;图 2b 为逆时针转动时的输出波形.

SPMC75F2413A 单片机提供了 2 个 PDC(phase detection control)定时器,用于捕获功能和产生 PWM

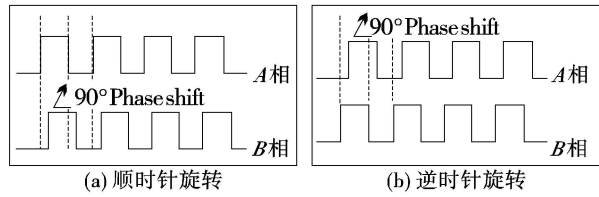


图 2 编码器输出波形图

波形输出,同时 PDC 定时器具有增量式编码器的接口功能,用这个接口可以测量增量式编码器输出轴转动的角位移.SPMC75F2413A 的 PDC 定时器支持相位计数模式,在相位计数模式中,如果 2 个外部时钟的输入不同将会被侦测出来,并且计数器会根据时钟关系进行向上或向下计数.在相位计数模式 1 下,计数寄存器 P\_TMR<sub>x</sub>\_TCNT(x=0,1)的计数关系图,如图 3 所示[2].

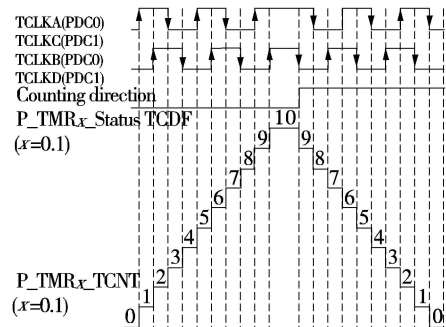


图 3 单片机相位计数模式

### 2 软件设计

#### 2.1 PID 算法

PID 控制算法简单,结构可灵活改变,技术成熟,可靠性高,在线性连续控制系统中得到了广泛的应用.模拟 PID 控制算法为[3]

$$m(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t)dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \tag{1}$$

式中,m(t)为输出信号;e(t)为偏差信号;K<sub>p</sub>为比例系数;K<sub>I</sub>为积分时间;K<sub>D</sub>为微分时间.将式(1)离散化,可得到数字 PID 算法的表达式

$$m(k) = K_p e(k) + K_I \sum_{j=0}^k e(j) + K_D [e(k) - e(k-1)] \tag{2}$$

该设计系统使用增量型的 PID 算法,控制器的输出

是控制量每一步的增量 $\Delta m(k)$ .由式(2)可得

$$m(k-1) = K_p e(k-1) + K_I \sum_{j=0}^k e(j) + K_D [e(k-1) - e(k-2)] \quad (3)$$

式(1)减去式(2),得

$$\Delta m(k) = m(k) - m(k-1) = (K_p + K_I + K_D)e(k) - (K_p + 2K_D)e(k-1) + K_D e(k-2) \quad (4)$$

由式(4)经过简单变换得

$$m(k) = m(k-1) + (K_p + K_I + K_D)e(k) - (K_p + 2K_D)e(k-1) + K_D e(k-2) \quad (5)$$

## 2.2 PID算法控制直流电机的软件设计

该类单片机使用汇编语言编程十分方便,但是在PID算法中参数可能都是小数,因此使用C语言设计该部分的程序,为了使程序简洁、调用方便,可以设置结构体变量,来存储PID的偏差值等.初始化PWM输出可以设置为最大输出,根据实际需要自行设定脉冲计数标准值.软件流程如图4所示.

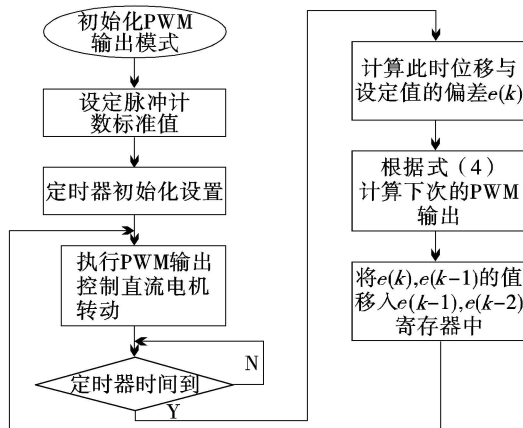


图4 软件流程图

设置寄存器 $e(k)$ 、 $e(k-1)$ 、 $e(k-2)$ 分别放置第 $k$ 次、 $(k-1)$ 次、 $(k-2)$ 次测量时测量值与标准值的偏差.每次PID计算结束后将本次测试结果相应的值移入相应的寄存器中.输出的 $m(k)$ 可以经过换算为 $0\sim 1$ 之间,相对应为PWM占空比.

## 2.3 调整 $K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$ 值的方法

设计采用的是实验凑试法.实验凑试法是通过闭环运行或模拟,观察系统的响应曲线可以通过

MATLAB绘出响应曲线,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.具体整定步骤为“先比例,再积分,最后微分”.

$P$ 是解决幅值震荡, $P$ 大了会出现幅值震荡的幅度大,但震荡频率小,系统达到稳定时间长; $I$ 是解决动作响应速度快慢的, $I$ 大了响应速度慢,反之则快; $D$ 是消除静态误差的,一般 $D$ 设置都比较小,而且对系统影响比较小.

利用该方法进行PID控制器参数的整定步骤如下<sup>[4]</sup>:(1)首先预选择一个足够短的采样周期让系统工作;(2)仅加入比例控制环节,直到系统对输入的阶跃响应出现临界振荡,记下这时的比例放大系数和临界振荡周期;(3)在一定的控制度下通过公式计算得到PID控制器的参数.图5所示为PID调节的位置跟踪仿真图.

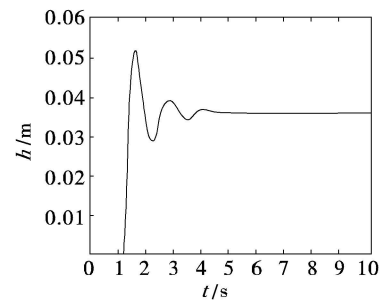


图5 PID调节的位置跟踪仿真图

## 3 结束语

用凌阳SPMC75F2413A单片机配合编码器对直流电机执行PID闭环控制.解决了直流电机不能直接精确实现旋转角度的控制问题.控制方法简单、实用,该方法已在某系统中得到验证,控制效果稳定,满足使用要求.

## 参考文献

- [1] SPMC75F2413A数据手册[Z].凌阳科技,2006:40-120.
- [2] 范蟠果.工控单片机原理及应用(凌阳SPMC75F2413A)[M].北京:清华大学出版社,2007:178-209.
- [3] 夏德今,翁贻方.自动控制理论[M].北京:机械工业出版社,2003:370-372.
- [4] 姚舜才.一种新型PID控制算法在直流电机跟踪系统中的应用[J].电脑开发与应用,2004,17(7):18-22.