

# 血清离心机驱动控制系统设计\*

刘汉忠, 张大磊

(南京工程学院 自动化学院, 江苏 南京 211167)

**摘要:**主要针对血清离心机物质分离时要求稳速,介绍了其驱动控制系统的软硬件实现方法,首先简单阐述了血清离心机用无刷直流电机(BLDCM)控制系统结构,并重点介绍了驱动控制系统的驱动电路以及电流检测电路的硬件实现方法,其次介绍了电子换相、速度检测、闭环 PID 调节的软件设计方法,最后给出了实际运行的转速阶跃响应图。经反复试验表明,驱动控制系统速度响应快,稳速精度高,能很好地满足要求。

**关键词:**无刷直流电机;闭环调节;PID

**中图分类号:** TM301; TP273

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-4551(2011)09-1095-03

## Design of driver control system for serum centrifuge

LIU Han-zhong, ZHANG Da-lei

(Department of Automation, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

**Abstract:** Aiming at the requirement of speed stability while material separating with serum centrifuge, the hardware and software realization of driver control system were introduced, the control system structure of brushless DC motor (BLDCM) used in serum centrifuge was expounded firstly. And then, hardware design such as current detection circuit, driver circuit in control system and software design including electronic commutation, speed detection, closed-loop PID regulation algorithm were described in detail. Finally, speed step response figure was presented. Repeated tests indicate that the response of driving control system is rapid and precision of speed stability is high, which can well meet the requirements of material separation for serum centrifuge.

**Key words:** brushless DC motor (BLDCM); speed adjusting; PID

## 0 引言

以前血清离心机用电机通常选用有刷直流电机,但由于有刷电机需定期更换碳刷维护麻烦,特别是医用行业,要求环保、卫生,因此有刷直流电机逐渐被无刷直流电机取代,无刷直流电机具有简单的电压和电流关系式,控制算法和功率放大器都比较简单,同时具有运行效率高和调速性能好等诸多优点,此外,借助于霍尔元件实现换相的无刷直流电机又避免了直流电机因电刷而引起的各种缺陷,其机械特性和调节特性线性度好、高速范围宽、寿命长、维护方便、可靠性高、噪声较小、不存在换向火花,因此无刷直流电机具有广泛的应用前景<sup>[1-3]</sup>。目前工业应用场合,无刷电机驱动器多以开环控制为主,控制芯片采用单片机或者专用芯

片,闭环控制驱动器日益增多,如北京和利时等用 MC33035 专用芯片作为控制芯片,采用 MC33039 速度反馈芯片构成闭环控制,专用芯片无法编程,灵活性差,并且稳速精度一般<sup>[4]</sup>,还有一些公司用单片机实现闭环控制,但根据市场调研,稳速精度较差,一般在 10 转以上甚至更高,通常离心机要求其稳速精度高,以便很好地进行物质分离。

基于此,本研究介绍一种基于 dsPIC 芯片的高性能无刷电机驱动控制系统。

## 1 BLDCM 速度控制系统

BLDCM 速度控制系统,主要包括主控 CPU、PWM 调速电路、驱动控制电路、转子位置检测电路、电源电路以及串行接口电路,转速经过串行口由上位单元设

收稿日期:2011-02-24

基金项目:江苏省自然科学基金资助项目(BK2009350)

作者简介:刘汉忠(1976-),男,江苏武进人,讲师,主要从事运动控制系统方面的研究. E-mail: liuhz2004@163.com

定或从上位单元接收,其结构如图 1 所示。

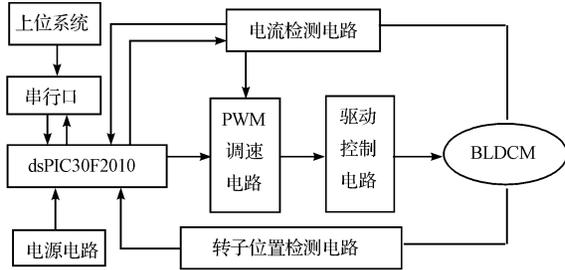


图 1 BLDCM 速度控制系统结构框

## 2 硬件电路设计

驱动系统主控芯片选取 dsPIC30F2010<sup>[5]</sup>。

### 2.1 驱动电路

电机驱动电路一般有 3 种方式,采用 IPM 模块、驱动芯片 + 功率管、分立器件组成功放电路 + 功率管,由于驱动电机为低压 24 V,本研究从节约成本考虑采用第 3 种方案,驱动电路以 A 相为例,如图 2 所示。

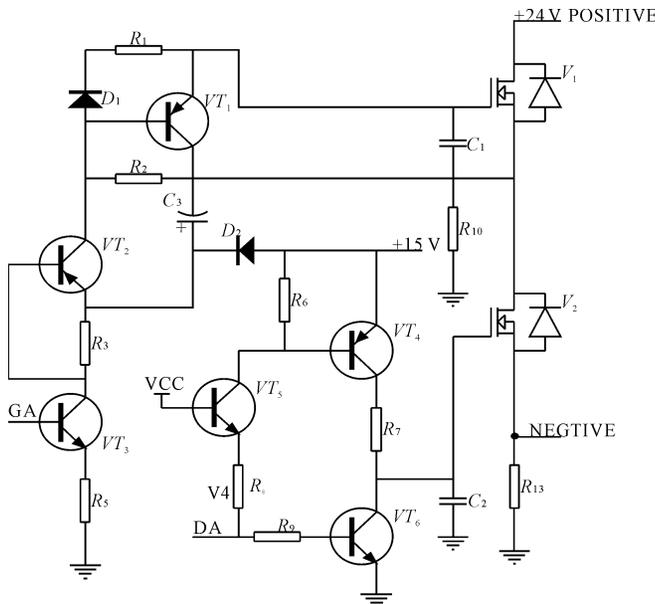


图 2 A 相驱动控制电路

PWM 信号与功率管开关信号相与后加到高压侧驱动电路,若 GA 为高,则自举电容  $C_3$  两端电压加到 MOS 管  $V_1$  栅极和源极两端, $VT_2$  导通,源极电压升高,由于电容两端电压不能突变,则栅极电压也跟着升高,保证了  $V_1$  可靠导通。若 D/A 为低,则  $V_1$  截止。功率管开关信号 D/A 加到低压侧驱动电路,若 D/A 为高,则  $V_3$  导通。

### 2.2 电流检测电路

调速系统电流检测通过检测母线负端串接小电阻电压,如图 3 所示。

小电阻采用康铜丝,长 30 mm,经计算电阻为  $0.01 \Omega$ ,当驱动器急停制动时,母线电流会反方向流,

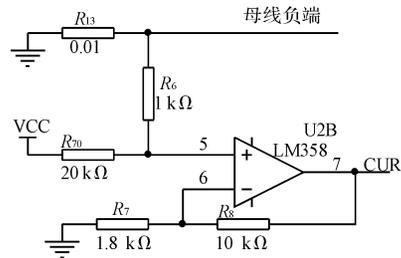


图 3 电流检测电路

此时电阻  $R_{13}$  端电压为负,因此用电阻  $R_{70}$  和  $R_6$  对采样电压信号进行偏置后进入运放进行放大处理,使得到的电压信号在  $0 \text{ V} \sim 5 \text{ V}$  范围内,并接至 dsPIC30F2010 的 ADC 引脚,利用软件完成过流判断及相应处理。

### 2.3 其他电路

电机调速系统电路还包括转子位置检测电路、PWM 调速电路、串口接口电路以及电源电路等,这里不一一介绍。

## 3 软件设计

### 3.1 电子换相

无刷电机 6 个扇区,分别对应三相霍尔信号 6 个代码,软件实现电子换相一般有两种方法:一种是定时查询霍尔信号状态,一旦发现变化,立即根据霍尔状态输出功率管控制信号;另一种采用中断方式,即当霍尔状态变化时触发中断,然后根据霍尔状态输出功率管控制信号。霍尔信号如图 4 所示。

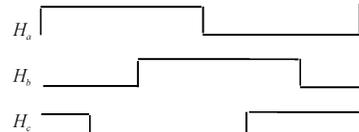


图 4 三相霍尔信号图

把霍尔信号  $H_a$ 、 $H_b$ 、 $H_c$  接至 dsPIC30F2010 中断变化引脚(CN0、CN1、CN2),每当电机转子从一个扇区转向另一个扇区时,三相霍尔信号输出电平都会发生变化,从而触发电平变化中断,dsPIC 芯片响应中断,并根据霍尔状态输出功率管控制信号,从而完成电子换相。

### 3.2 实际速度检测

实际速度检测采用 T 法(脉冲间隔法)即每次触发电平变化中断时,启动定时器 T1,到下次电平变化中断时把定时器 T1 的 TIM1 值读出来,TIM1 与定时器 T1 的时基的乘积就是相邻两次电平变化的时间,且离心机电机极对数是 5 对极,即 1 个机械周期对应 5 个电周期,因此相邻两次电平变化对应电机转过了  $1/30$  转,由此很容易计算出电机转速,由于三相霍尔空间位置安装偏差以及转子形状偏差,为减小速度计算误差,可以采用 M(脉冲积分法)/T 法,即可以对相邻 6 次电

平变化甚至更多次计时。

### 3.3 闭环速度调节

血清离心机需要工作在稳速状态,因此离心机速度控制系统采用PID闭环控制<sup>[6-8]</sup>,其原理结构图如图5所示。

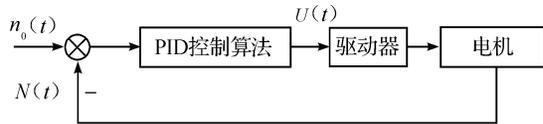


图5 闭环调速系统结构框图

图中: $n_0(t)$ 为给定转速, $n(t)$ 为实际转速,其差值 $e(t)$ 经过PID调节后输出电压控制信号 $u(t)$ ,再经过功率放大驱动电机转动,增量式PID控制公式可以表示为:

$$\Delta u_k = A e_k + B e_{k-1} + C e_{k-2}$$

其中:

$$A = K_p \left( 1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right) \quad B = -K_p \left( 1 + 2 \frac{T_d}{T} \right) \quad C = K_p \frac{T_d}{T}$$

式中: $K_p$ —比例系数, $T_i$ —积分时间常数, $T_d$ —微分时间常数。

离心机驱动系统给定速度由上位单元控制单片机通过串口发送给驱动器主控芯片 dsPIC30F2010,实际速度可由前述方法检测求出,经过PID调节,其输出值更新PWM占空比寄存器,从而实现速度调节。

速度控制系统定时器T2结合PWM引脚来产生PWM信号,PWM频率设为10kHz,T3定时时间为1ms,T3结合ADC,每次中断完成电流采样、判断并作出相应动作,考虑到一定的调速范围,在较小速度时相邻两脉冲沿之间的时间间隔较长,因此取速度调节周期为10ms,PID调节程序在主程序中实现,其流程图如图6所示。

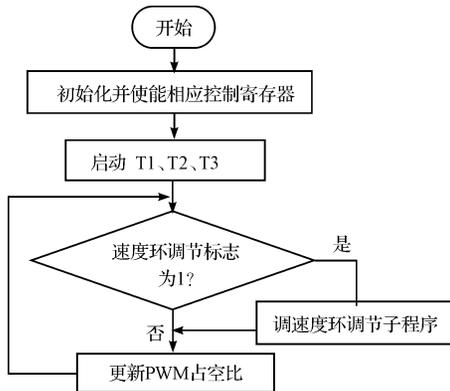


图6 主程序流程

### 3.4 通信程序

电机驱动端 dsPIC30F2010 采用中断方式接收,即每当上位单元往 dsPIC30F2010 发送速度设定值后会触发芯片接收中断,dsPIC30F2010 每隔 20 ms 把实际

速度值送至上位控制单元输出显示。

## 4 试验

为观测电机速度响应情况,本研究在PC端用VB6.0编写应用软件,由PC软件向dsPIC发送速度给定值,同时dsPIC每隔20ms向PC端发送实际速度值,响应曲线如图7所示<sup>[9]</sup>。

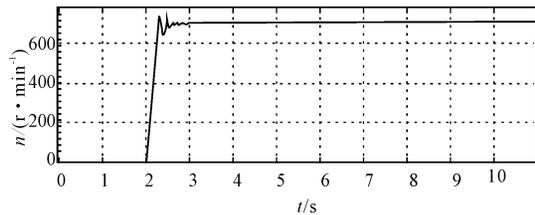


图7 速度响应曲线

由图7可知,当PC在2s时向驱动器发送给定速度值700r/min,则驱动器经过0.2s能响应到给定值,并经过0.5s调节便进入稳定值,最大超调量为30r/min,稳态误差 $\pm 2$ r/min,动态响应以及稳态精度很好。

## 5 结束语

对于血清离心机,如前所述,要求其速度精度高,以便很好地进行物质分离,因此以上介绍的无刷电机驱动控制系统能很好地满足血清离心机技术要求,经反复实验,其结果表明驱动器运行平稳、性能稳定。目前该驱动器已经在某生物医药公司生产的血清离心机配套使用。

### 参考文献(References):

- [1] 张琛. 直流无刷电动机原理及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
- [2] 刘汉忠. 基于dsPIC的无刷电机调速系统的设计[J]. 微电机, 2008, 41(10): 98-100.
- [3] 李宁. 运动控制系统[M]. 北京:高等教育出版社, 2004.
- [4] 莫易敏,姚琳. 基于ATmega16的无刷直流电机调速系统[J]. 机电工程, 2010, 27(6): 58-61
- [5] 陈继红,楼顺天. DSC在无刷直流电机控制中的应用[J]. 微电机, 2005, 38(3): 82-83.
- [6] 陈永军. 无刷电机粒子群PID算法的优化研究[J]. 机电工程, 2008, 25(11): 134-137.
- [7] 陈永军. 基于dsPIC的无刷直流电机调速系统方案[J]. 电机与控制应用, 2006, 33(8): 32-34.
- [8] 庄凯,廖勇. 基于的永磁无刷直流电机控制系统设计[J]. 微电机, 2007, 40(2): 55-57.
- [9] 邵金华. 竞赛机器人驱动控制系统分析[J]. 现代制造技术与装备, 2010(6): 20-21. [编辑:张翔]