

基于 PIC 单片机的直流无刷电机驱动控制器

吕仲军, 刘泽潮

(石家庄铁道大学 机械工程学院 河北 石家庄 050043)

摘要: 介绍了一种基于 PIC18Fxx 单片机的直流无刷电机的控制器; 实现了电机的过流保护、欠压保护、PWM 调速和速度闭环控制; 设计了主要的硬件电路; 并给出了部分软件流程图。通过实验与仿真验证了系统的可靠性与稳定性。

关键词: 直流无刷电机; PWM; 闭环控制; 单片机

中图分类号: TM33 U464.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2014)03-0075-05

0 引言

通常意义上将反电势为梯形波的永磁同步电机称为直流无刷电机。直流无刷电机是一种结合了直流电机和交流电机优点的改进型电机, 直流无刷电机用电子换相器取代了机械换向器与电刷, 运行可靠, 维护简便。PIC18Fxx 系列单片机是由 Microchip 公司推出的 8 位处理芯片, 最高主频达到 64 Mhz 可以用作电机驱动控制芯片。IR2130 是 IR 公司推出的 MOSFET 驱动芯片, 内部具有欠压锁定电流、过流检测电路和电流放大电路。PID 控制可以实现电机的速度闭环控制, 使电机转速稳定在一个固定值。

1 直流无刷电机结构与原理

1.1 电机结构

直流无刷电机由电机本体、转子位置传感器和电子换相电路三部分组成。

电机本体主要包括定子和转子两部分^[1]。定子是指电机本体的静止部分, 由导磁的定子铁心、导电的电枢绕组及机壳、绝缘片、引出线、环氧树脂等组成。转子是电机的转动部分, 由永磁体、导磁体和支撑部件组成。

转子位置传感器主要有三类^[1]: ①电磁式位置传感器; ②光电式位置传感器; ③磁敏式位置传感器。霍尔传感器由于结构简单、性能可靠、成本低, 正成为直流无刷电机最主要的位置传感器。

电子换相由信号调理电路、换相逻辑处理电路、功率器件等组成。由于位置传感器输出的信号强度弱, 所以必须经过信号调理电路对信号进行放大。换相逻辑处理电路可以由专用的直流无刷电机控制芯片或者单片机、数字信号处理器等构成。功率器件为定子绕组提供电流。

1.2 电机原理

直流无刷电机定子为绕组, 转子为永磁体。理论上来说定子磁场超前转子磁场 90°所产生的电磁转矩最大。随着转子位置的改变, 位置传感器输出对应的转子位置信号, 换相逻辑处理电路通过对位置信号进行处理确定应当导通的绕组。功率驱动电路来导通定子绕组, 产生定子磁场。定子磁场与转子磁场相互作用产生电磁转矩, 电机运转^[2]。

直流无刷电机的原理图如图 1 所示, 当电流从 A 相流入绕组从 B 相流出时, 根据法拉第电磁感应定律所产生的电磁作用力为 A-B 方向, 转子转动, 位置传感器输出信号改变, 改变导通绕组, 电流由 A 相流入从 C 相流出, 所产生的电磁作用力为 A-C 所示方向。随着导通绕组的不断改变, 所产生的电磁作用力的方向

DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxhbzrb.2014.03.16

收稿日期: 2013-05-20

作者简介: 吕仲军 男 1963 年出生 副教授

不断改变,在电磁作用力的作用下转子不断旋转实现电机的运转。

2 硬件设计

2.1 单片机控制电路

采用 Microchip 公司的 PIC18Fxx 系列单片机,该单片机具有最高 64 MHz 的 CPU 频率,可以实现霍尔信号的采集与电机的驱动控制^[3]。单片机控制电路图如图 2 所示,OSC1 与 OSC2 为单片机的外部晶振接口,外接 24 MHz 晶振的两端。RC2、RC6、RC7 为 PWM 输出端,为上桥臂的三个功率管提供 PWM 信号。RD0、RD1、RD2 为下桥臂三个功率管的开关提供信号。RB4 为模拟输入通道,用来进行相电流的采样。RC5 为普通 IO 口,接收来自 IR2130 的错误报警信号。RB0、RB1、RB2 为霍尔信号输入端,接收经过处理的霍尔信号。

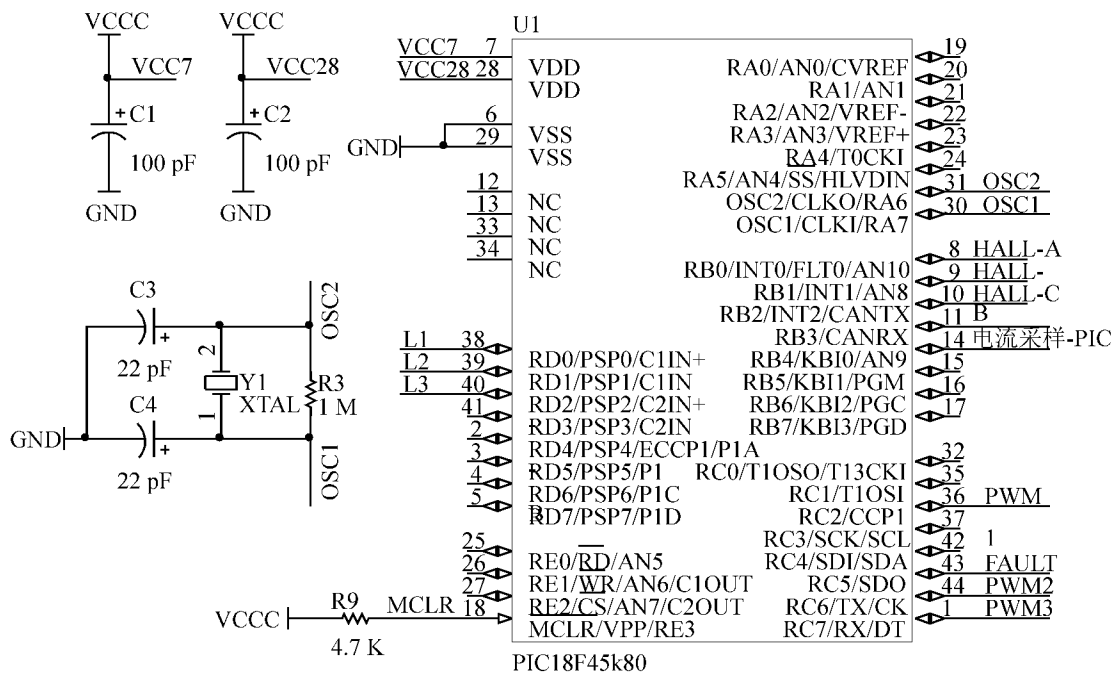
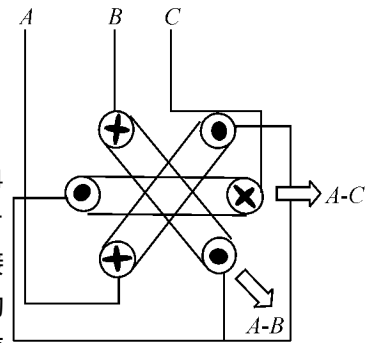


图 2 单片机控制电路图

2.2 驱动电路

功率器件的驱动电路由 IR2130 的 MOSFET 驱动电路和 MOSFET 的桥式驱动电路两部分组成。

单片机引脚的输出能力有限无法直接驱动 MOSFET,所以在单片机与电机驱动电路之间加上一个 MOSFET 驱动芯片 IR2130^[4]。IR2130 是 IR 公司生产的 MOSFET、IGBT 功率器件专用栅极驱动芯片,通过自举电路使其既能驱动桥式电路中低压侧的功率器件,又能驱动高压侧的功率器件。同时其具有电流放大及过电流保护功能、欠压锁定功能、自动死区时间等功能。

三相星形联结全桥式驱动电路图^[5]如图 3 所示,全桥式驱动电路由 6 个 MOSFET 构成,每次导通两个 MOSFET^[6]。以 Q1 为例,从 IR2130 引脚出来的驱动信号经过栅极驱动电阻 R1 送给 Q1 的栅极。D1 为快速恢复二极管,可以加快 Q1 的关断速度。在 Q1 的栅极与源极间并联了一个电阻 R2 和一个二极管 D2,电阻 R2 可以减小栅极与源极间的阻抗,而二极管 D2 可以防止 Q1 被尖峰电压击穿。为了防止在开关瞬间漏极的尖峰电压,所以在源极和漏极间加入 C1、R3 缓冲电路与保护二极管 D3。R19 为电流采样电阻,通过对 R19 的端电压进行测量来实现相电流采样。

3 软件设计

3.1 霍尔信号采集子程序

霍尔信号的采集通过单片机的外部中断端口来实现。PIC 单片机的中断优先级分为高优先级中断和低优先级中断^[6]。PIC18Fxx 单片机有两个中断入口地址,产生高优先级中断时指针自动跳转到 08H;产生低优先级中断时指针自动跳转到 18H。为了保证电机的正常换相,所有霍尔信号采集端口均配置为高优先级中断。在初始化时,根据当前的霍尔信号的状态配置外部中断触发方式。霍尔信号为低电平时配置为上升沿触发;霍尔信号为高电平时配置为下降沿触发^[7]。换相子程序流程图如图 4 所示。

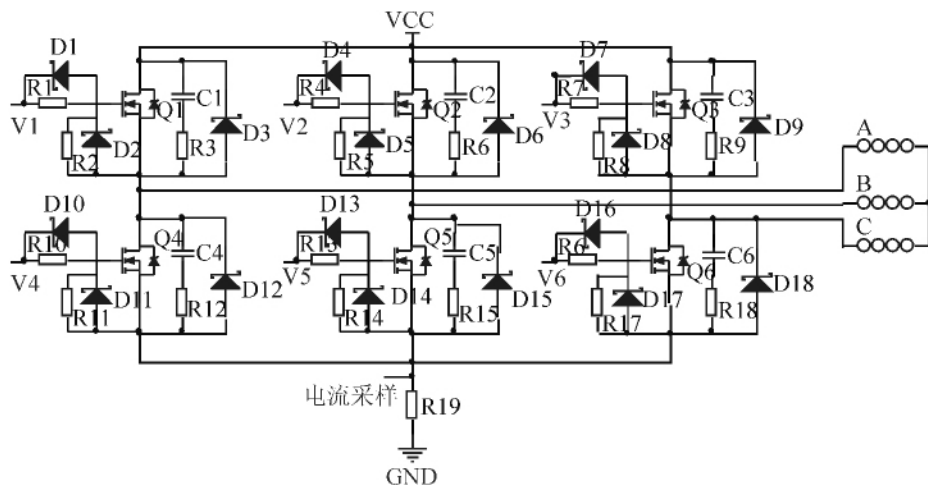


图3 三相星形联结桥式驱动电路

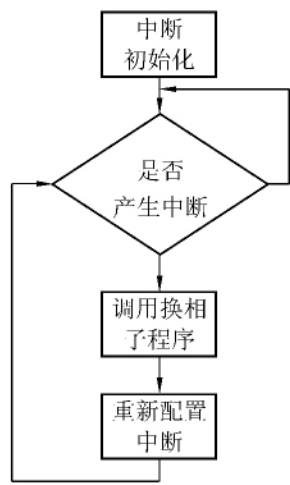


图4 换相子程序流程图

中断响应后指针跳转到高优先级中断入口地址。进入中断后首先读取当前霍尔信号值,调用换相控制子程序。然后判断触发中断源,重新配置中断触发方式,为下次中断做准备。清中断标志位,等待下次中断响应。

3.2 换相逻辑控制

常用的三相直流无刷电机为三相六状态。霍尔信号的输出波形与传感器的安装方式和转子的极对数有关。当极对数为 1 时,霍尔信号的相位角为 180° 。随着极对数的改变,霍尔信号的相位角也在发生改变^[5]。

直流无刷电机通过改变定子绕组的导通顺序来实现电机的运转。定子绕组采用“二二”导通方式,即每个导通时间内有两个功率器件导通。PWM 控制方式采用 H_PWM-L_ON 调制方式。上桥臂功率管进行 PWM 控制,下桥臂开关管保持常开。三相六步控制真值表^[2]如表 1 所示。

表1 三相六步控制真值表

位置传感器信号 60°			位置传感器信号 120°			方向	上三桥输出			下三桥输出		
SA	SB	SC	SA	SB	SC		AT	BT	CT	AB	BB	CB
1	0	0	1	0	0	正转	PWM	0	0	0	0	1
1	1	0	1	1	0	正转	0	PWM	0	0	0	1
1	1	1	0	1	0	正转	0	PWM	0	1	0	0
0	1	1	0	1	1	正转	0	0	PWM	1	0	0
0	0	1	0	0	1	正转	0	0	PWM	0	1	0
0	0	0	1	0	1	正转	PWM	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	反转	0	0	PWM	1	0	0
1	1	0	1	1	0	反转	0	0	PWM	0	1	0
1	1	1	0	1	0	反转	PWM	0	0	0	1	0
0	1	1	0	1	1	反转	PWM	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	1	反转	0	PWM	0	0	0	1
0	0	0	1	0	1	反转	0	PWM	0	1	0	0

3.3 速度闭环控制

在电机的伺服控制系统中要求电机的输出转速恒定在一个固定数值。如果采用开环控制系统当外部的负载发生变化时电机的转速会发生波动,闭环控制系统可以使电机快速恢复到设定转速。PID 控制

即比例积分微分控制,作为一种经典的控制理论具有较好的鲁棒性。P 控制为比例控制,可以对误差进行放大。I 控制为积分控制,可以对误差进行累计,消除稳态误差。D 控制为微分控制,可以对误差进行预判,对系统进行超前校正。在无法准确的建立电机模型的前提下通过调节合适的比例、积分、微分数,可以使电机拥有较好的瞬态响应特性与稳态误差。由于现在的电机控制系统大部分采用的是数字控制系统,所以 PID 控制也相应的发展为数字 PID 控制。典型的数字式 PID 控制系统有增量式 PID 和位置式 PID^[7]。增量式 PID 的运算结果只与当前状态和前两拍状态有关,所以消除了位置式 PID 存在的积分饱和现象。

位置式 PID 公式如下

$$u_k = K_p e_k + K_I \sum_{j=0}^k e_j + K_D (e_k - e_{k-1}) + u_o \quad (1)$$

增量式 PID 公式如下

$$\Delta u_k = K_p (e_k - e_{k-1}) + K_I e_k + K_D (e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}) \quad (2)$$

4 实验与仿真

速度 PID 仿真图如图 5 所示,可以看出系统在较短的时间内达到了稳态,无超调与稳态误差。当 $t = 140$ s 时,加入外界扰动,在很短时间内系统重新达到稳态。

转子位置信号如图 6 所示,通道 1、2、3 分别为三个霍尔传感器输出的位置信号。直流无刷电机的极对数为 2,霍尔传感器采用间隔 120° 方式安装,转子位置信号相角为 30° 。

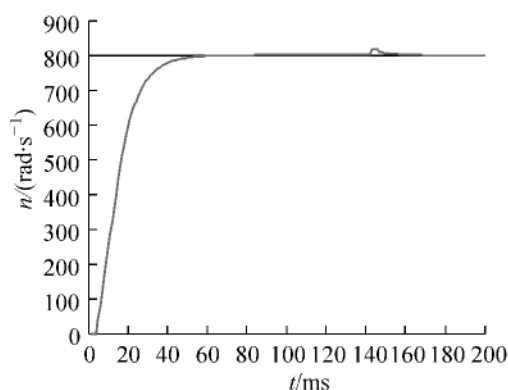


图 5 速度 PID 仿真图

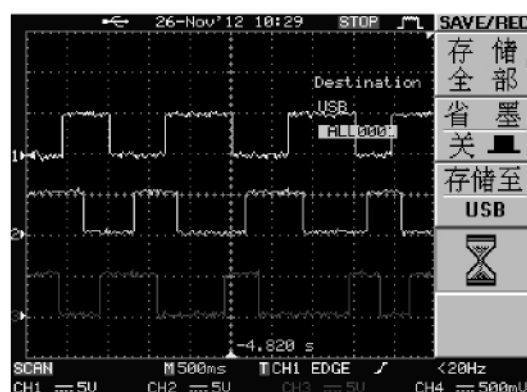


图 6 转子位置信号

5 总结

介绍了以 PIC18Fxx 为核心的直流无刷电机控制系统,实现了霍尔信号采集、电机过流保护、PID 闭环控制。经过调理的霍尔信号稳定,过流保护电路实现了电机的过流保护,PID 速度闭环控制有效的抑制了电机的转速波动。通过实验表明该系统性能可靠、抗干扰性强,可以实现电机的平稳运行。

参 考 文 献

- [1] 刘刚,王志强,房建成. 永磁直流无刷电机控制技术与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [2] 吴俊卿,张浩然,范宇龙. 基于 PIC16F877 的电动自行车控制器的设计[J]. 电子器件,2010,33:642-645.
- [3] 刘和平,刘林. PIC18Fxxx 单片机原理及接口程序设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004.
- [4] 曹仁贤,茹美琴,许沐华. 六输出高压驱动器 IR2130 的应用[J]. 国外电子元器件,1996(9):30-32.
- [5] 王海欣,黄海宏. 基于 DSP 的三相直流无刷电机调速系统的设计[J]. 电源技术应用,2007,10(9):21-24.
- [6] 钟晓伟,宋蛰存,许刚. 电动自行车用无刷直流电机控制系统设计[J]. 电机与控制应用,2011,38(1):20-24.
- [7] 刘佳峰,谢杨华. 直流无刷电机换相时机的调整[J]. 电机技术,2006(3):27-30.

(下转第 83 页)

[9]王继芳. 全并联 AT 供电牵引网故障测距研究[D]. 成都: 西南交通大学电气工程学院 2006.

Fault Location Method for Bilateral All-parallel AT Traction Power Supply System

Ma Yanning

(School of Electrical Engineering , Southwest Jiaotong University , Chengdu 610031 , China)

Abstract: High speed railway has become the inevitable development trend of railway in our country. This paper introduces the bilateral power supply system that is suitable for high speed railway development , and analyzes and simulates the equivalent circuit of the bilateral all-parallel AT power supply system. On the basis of the equivalent circuit , fault location method for the bilateral all-parallel AT power supply system is studied , and the basic ranging process is put forward.

Key words: bilateral power supply; all-parallel AT traction system; fault location method

(责任编辑 刘宪福)

~~~~~

( 上接第 78 页)

## Brushless DC Motor Controller Based on PIC MCU

Lv Zhongjun , Liu Zechao

( School of Mechanical Engineering , Shijiazhuang Tiedao University , Shijiazhuang 050043 , China)

**Abstract:** This paper introduces a brushless DC motor controller based on the PIC18Fxx MCU. The Motor Hall signal acquisition , overcurrent protection , undervoltage protection , PWM speed control and speed closed-loop control are realized. The main hardware circuit and the flowchart of software are designed. The reliability and stability of the system is verified by experiment and simulation.

**Key words:** BLDC; PWM; closed-loop control; MCU

( 责任编辑 车轩玉)