

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.01.010

基于STM32的无位置传感器无刷直流电机控制系统

曾光华, 陈卫兵, 邹豪杰, 张洪波, 王金燕, 郭德彪

(湖南工业大学 计算机与通信学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 针对现有无刷直流电机控制系统的缺点, 提出了基于STM32F103处理器的无位置传感器无刷直流电动机控制系统。设计并实现了该控制系统的硬件电路, 并通过软件编程实现了对转子位置的快速检测及电机调速。实验结果表明了该系统的设计成本较低, 运行平稳, 调速性能良好。

关键词: 无位置传感器; 无刷直流电动机; STM32

中图分类号: TM301.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2012)01-0041-04

Sensorless Brushless DC Motor Control System Based on STM32

Zeng Guanghua, Chen Weibing, Zou Haojie, Zhang Hongbo, Wang Jinyan, Guo Debiao

(School of Computer and Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: For the shortcomings of the exiting brushless DC motor control system, the sensorless brushless DC motor control system based on STM32F103 processor is proposed. The circuit of the control system is designed, and through software programming the rapid detection of the rotor position and motor speed regulation are realized. The experimental results show that the system has low cost, reliable operation and good speed control.

Keywords: sensorless; brushless DC motor; STM32

0 引言

STM32系列处理器, 是意法半导体(ST)公司使用ARM公司最新的Cortex-M3内核生产的32位微处理器, 能满足集高性能、低功耗、低成本于一体的嵌入式系统的要求。该处理器设计了单周期乘法制定的硬件触发, 最高主频为72 MHz, 定时精度可以达到13.8 ns, 并有专门的电机接口, 能产生6路可配置的脉冲宽度调制(pulse width modulation, PWM)信号, 精确地实现电机的调速, 且运行速度较快。

无刷直流电动机具有低损耗、无噪声、结构简单、易控制、无换向器、转速高等特点, 因此, 被广泛应用于现代生产设备、计算机外围设备、仪器

仪表和高级家用电器等领域。该电机的控制芯片普遍采用DSP处理器^[1]或单片机^[2], 但是, DSP处理器存在价格高、体积大的缺陷, 而低性能单片机虽价格便宜但性能微弱。针对这些缺点, 本文提出了基于STM32F103的无位置传感器无刷直流电动机控制系统, 利用反电动势法估算电机转子位置, 并将三段式起动法^[3]和PWM调制法^[4]相结合, 实现了电机调速。

1 控制系统工作原理及硬件电路设计

1.1 控制系统工作原理

无位置传感器无刷直流电动机的工作原理^[5-6]

收稿日期: 2011-10-12

作者简介: 曾光华(1986-), 男, 湖南娄底人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为嵌入式应用,

E-mail: guanghua1028@163.com

是：首先，根据转子的位置信号，判断当前转子的位置；然后，根据转子的位置来改变驱动逆变电路中功率开关器件的开断，使电枢绕组依一定顺序馈电，使其在气隙中产生步进式旋转磁场，拖动永磁转子旋转；最后，随着转子的转动，转子的位置信号将依一定规律变化，同时改变电枢绕组的通电状态，实现无刷直流电动机的转动。

1.2 硬件电路设计

本控制系统的硬件电路主要由 STM32F103 处理器、功率开关电路、隔离电路和位置检测电路等组成，如图 1 所示。

成，如图 1 所示。

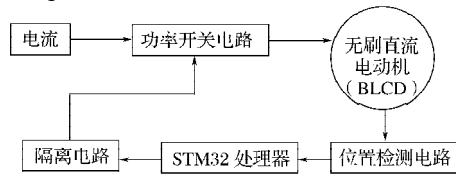


图 1 系统硬件框图

Fig. 1 The block diagram of system hardware

1.2.1 功率开关电路

功率开关电路主要由逆变电路和功率驱动电路组成，如图 2 所示。

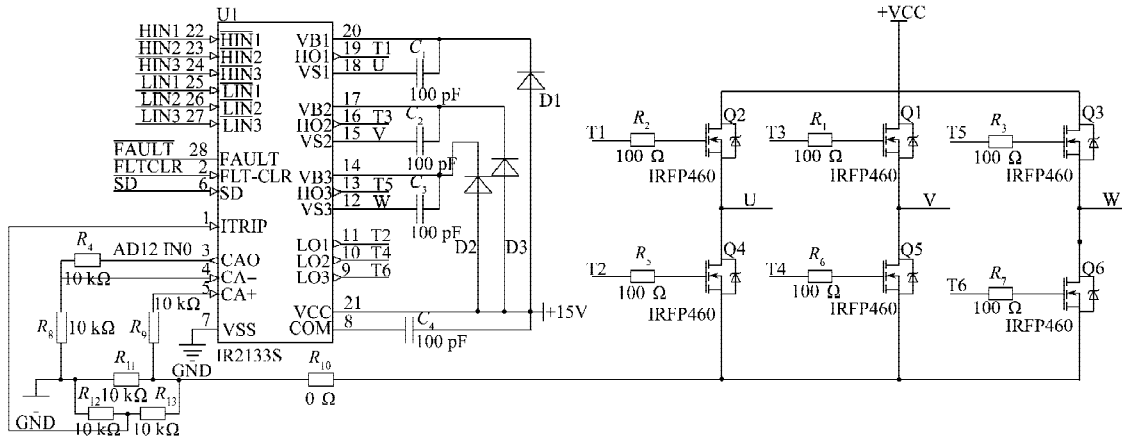


图 2 功率开关电路图

Fig. 2 The power switch circuit diagram

逆变电路是功率开关电路的核心部件，主要由 6 个大功率场效应管 IRL460 组成。每个场效应管并有反接的快速二极管，这样能起保护和续流作用。其输入直流电压为 48 V。

功率驱动电路是功率开关电路的控制部件，采用驱动芯片 IR2133S。该芯片有 6 路 PWM 输入信号和 3 组相互独立的半桥驱动电路，具有过流检测功能，能有效地控制逆变电路中场效应管的开断。当电机电流过大时，关闭驱动芯片，逆变电路的场效应管处于断开状态，这样能保护电机不被烧坏。

电转换；2) 隔离 STM32 控制电路和功率驱动电路，可防止大电流反馈到控制电路，烧坏控制芯片。

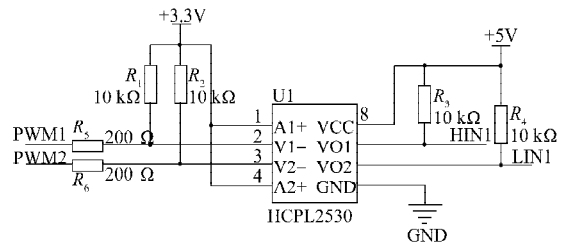


图 3 隔离电路图

Fig. 3 The isolation circuit diagram

1.2.2 隔离电路

隔离电路的核心部件是快速光电隔离器件 HCPL2530，如图 3 所示。其主要功能是：1) 实现光

1.2.3 位置检测电路

位置检测电路由低通滤波器、滞回比较器和光电隔离电路组成，如图 4 所示。

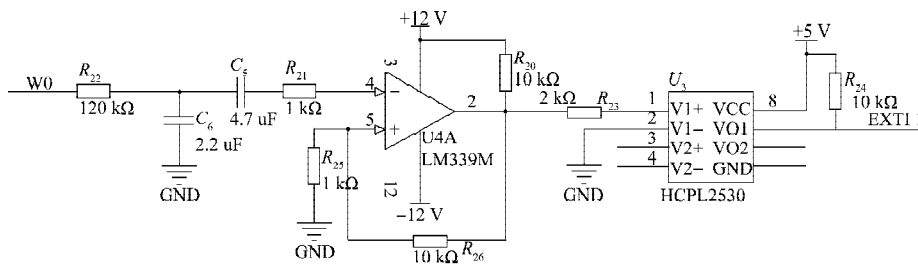


图 4 位置检测电路

Fig. 4 The position detection circuit

位置检测电路的主要功能是检测电机转子位置,为电机的正确换相及测速提供依据。其工作原理是:电机的相电压 W_0 经过由 RC 组成的低通滤波器,消除高频噪声干扰;再通过隔离电容 C_5 ,消除三相电压不对称所引起的过零点漂移;然后,经过 LM339 组成的电压滞回比较器,比较器的翻转点对应着电机的换相时刻,从而可检测出电机转子的位置;最后,经过光电隔离器件,将位置信息送至 STM32F103 的相应端口。

2 软件设计

系统程序由初始化、电机启动和转子位置检测、换相及测速等组成。该软件是在 ARM 开发环境 KEIL 中用 C 语言编写的,程序流程如图 5 所示。

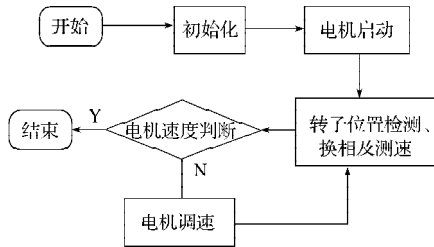


图5 系统主程序流程图

Fig. 5 The flow chart of system main program

初始化是设置系统时钟、I/O 端口、定时器及控制系统中断的控制寄存器,并对软件的各项变量进行初始化。电机启动是在电机静止时完成电机的软启动。转子位置检测、换相及测速是检测电机转子的位置,并实现电机的换相和测速。当电机的实测速度与系统的给定速度不一致时,调用电机调速程序,使电机的速度达到系统的给定速度。

2.1 电机启动程序设计

当电机静止时,三相绕组的反电动势为零,反电动势检测法不能使电机换相。因此,本文采用三段式起动机启动电机。

三段式起动机包括预定位、外同步运行和状态切换 3 个阶段。

1) 预定位是在电机开始启动时,使电机有 1 个确定的通电状态,并将转子磁极的位置与定子合成磁势的重合。

2) 外同步运行是改变电机的通电状态,将定子合成磁势在空间上按照一定角度步进移动,同时在电磁转矩的作用下,将转子磁极向定子合成磁势轴线方向移动。随着电机转速的升高,电动势也随之增加。

3) 状态切换是当电动势上升到可检测值时,位

置检测电路可以检测到转子的位置信息,调用换相程序,实现电机转动。

2.2 转子位置检测、换相及测速程序设计

转子位置检测是利用系统外部中断来检测反电动势过零点。中断服务程序流程图如图 6 所示。

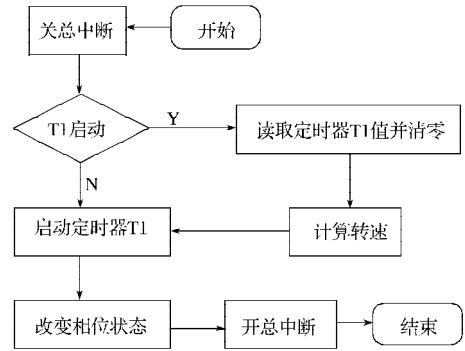


图6 中断服务程序流程图

Fig. 6 The flow chart of interrupt service procedure

当外部中断的输入引脚电平发生跳变时,即反电动势过零点,将调用系统中断服务程序,实现电机换相和测速。中断服务程序是根据当前电机相位和转动方向来改变下一时刻的电机相位,实现电机换相;同时根据电机转动的相位角和读取定时器的计数器值一起计算电机转速,实现电机的测速。

2.3 电机调速程序设计

本文采用模糊单神经元 PID 控制器实现对电机的速度闭环控制。闭环调速系统的工作原理是:计算系统的速度误差 $e(k)$, 其为系统给定速度 V_0 与实测速度 V_i 的差值,再利用模糊单神经元 PID 控制器根据误差 $e(k)$ 的变化来决定控制器的输出 $u(k)$, $u(k)$ 通过 PWM 调制来控制 BLDC 的转动,最终实现电机的调速。该系统工作原理图如图 7 所示。

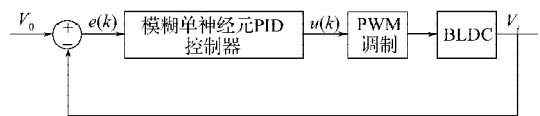


图7 闭环调速系统原理图

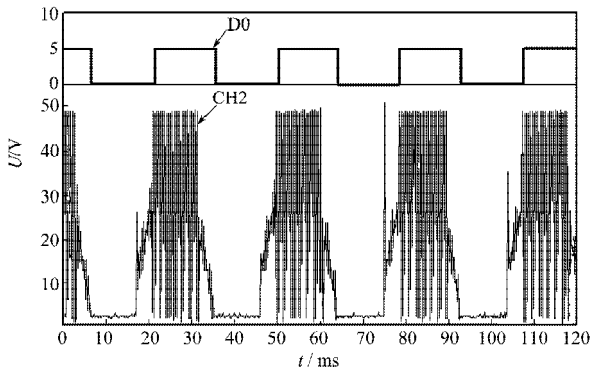
Fig. 7 The schematic of closed loop speed control system

3 实验结果及分析

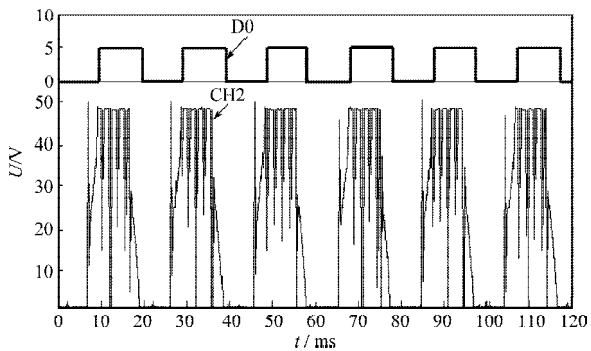
本实验将无刷直流电动机的参数设置为:端电压 48.2 V,额定转速 4 000 r/min,最大电流 2 A,定子电阻 3.6 Ω ,转子极对数 4。本控制系统在不同电机转速情况下的部分实验结果如图 8 所示。

在图 8 中, D0 为反电动势过零检测信号,其峰值电压 U_p 为 5.0 V; CH2 为端电压信号,其峰值电压 U_p 为 48.2 V。实验结果表明本控制系统在不同的电机

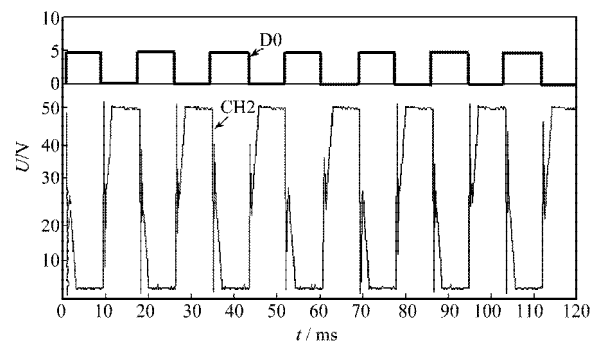
转速下,反电动势过零检测信号能准确地反映端电压过零点,准确快速地检测出转子位置,有效地实现电机调速,且调速性能良好。



a) 电机转速 2 500 r/min 的检测信号图



b) 电机转速 3 000 r/min 的检测信号图



c) 电机转速 4 000 r/min 的检测信号图

图8 三种情况的检测信号图

Fig. 8 Three cases of the detection signals

4 结语

本文以 STM32F103 为控制核心,实现了电机的

软起动、测速、调速及转子位置检测,降低了无刷直流电动机控制系统的成本。实验证实了该系统具有良好的调速性能,能准确地检测出转子位置,具有较高的实用价值。

参考文献:

- [1] 李 韧. 基于DSP无位置传感器无刷直流电机控制系统的研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2007: 31-32.
Li Ren. The Research of BLDCM Sensorless Control System Base on DSP[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2007: 31-32.
- [2] 张 为, 傅惠南. 基于51单片机无位置传感器无刷直流电机的控制[J]. 电脑知识与技术, 2010, 6(16): 4549-4551.
Zhang Wei, Fu Huinan. Control of Sensorless Brushless DC Motor Based on 51MCU[J]. Computer Knowledge and Technology, 2010, 6(16): 4549-4551.
- [3] 廖承喜, 朱志杰, 翁 微. 无刷直流电机三段式自启动关键技术研究[J]. 电力电子技术, 2008, 42(5): 61-65.
Liao Chengxi, Zhu Zhijie, Weng Wei. Study about the Key Technology of Three-Step Self-Start on Brushless DC Motor[J]. Power Electronics, 2008, 42(5): 61-65.
- [4] 娄 柯. 基于ARM的无位置传感器无刷直流电机控制器设计[J]. 电器开关, 2010(4): 29-30.
Lou Ke. Design of Sensorless Brushless DC Motor Controller Based on ARM[J]. Electric Switchgear, 2010(4): 29-30.
- [5] 张 琛. 直流无刷电动机原理及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 20-21.
Zhang Chen. The Principle and Application of Brushless DC Motor[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2004: 20-21.
- [6] 刘长征, 叶瑰响, 陈德运, 等. 无传感器无刷直流电机变频调速系统设计与实现[J]. 电机与控制学报, 2008, 12(6): 729-734.
Liu Changzheng, Ye Guiyun, Chen Deyun, et al. Design and Realization of Variable Frequency Tuning Velocity System of Sensorless BLDCM[J]. Electric Machines and Control, 2008, 12(6): 729-734.

(责任编辑: 邓 彬)