The Design and Experimental Study of BLDCM Controller Based on STM32*

ZHANG Xiutai ZHAI Yafang* ZHAO Jianzhou

(Anyang Institute of Technology School of Electronic Information and Electrical Engineering Anyang He'nan 455000 (China)

Abstract: The hardware circuit of Brushless DC motor controller is designed by taking STM32F103C8T6 as the core which mainly includes PWM driving circuits made up of IR2310 inverter circuit formed by IRF3808 speed feedback circuit composed of incremental rotary encoder and so on. Speed servo control system or position servo control system can be composed of BLDM controller with computer or PLC through CAN communication interface or RS232 serial communication interface. By using the hardware in the loop simulation platform built by xPC target the PI parameters are set up. The Speed servo response performance of the controller is tested. When the speed is 2 400 rpm the response time of the controller is 0.32 s. The experimental results show that the system has the advantages of high reliability high stability and fast response speed which can meet the speed control performance requirements of upper limb rehabilitation robot's mechanical arm.

Key words: motor controller; brush-less direct current motor; STM32; PWM; CAN; PID; xPC target; hardware in the loop simulation

EEACC: 8320 doi:10.3969/j.issn.1005-9490.2018.01.027

基于 STM32 的无刷直流电机控制器硬件 电路设计及实验研究*

张修太,翟亚芳*,赵建周

(安阳工学院电子信息与电气工程学院,河南安阳 455000)

摘 要:以 STM32F103C8T6 为核心,设计了无刷直流电机控制器硬件电路。电路主要包括 IR2310 构成的 PWM 驱动电路、IRF3808 构成的逆变电路、增量式旋转编码构成的速度反馈电路。控制器具有 CAN 和 RS232 通信接口,可与计算机或 PLC 构成速度或位置伺服系统。利用由 xPC 目标搭建的半实物仿真平台对 PI 参数进行整定。测试了控制器的速度伺服响应性能,给定速度为 2 400 rpm 时,控制器响应时间为 0.32 s。实验结果表明,系统工作可靠,稳定性好,响应速度快,可以满足上肢康复机器人的机械臂速度控制性能要求。

关键词: 电机控制器;无刷直流电机;STM32;脉宽调制;CAN;PID;xPC 目标;半实物仿真

中图分类号: TP273.5 文献标识码: A 文章编号: 1005-9490(2018) 01-0141-04

无刷直流电机与有刷直流电机相比,具有功耗低、换向可靠,体积小、重量轻、输出扭矩大,使用寿命长等优点,在工业控制、医疗器械、家用电器等领域有广阔的应用前景。基于 DSP、FPGA 的无刷直流电机控制器成本高,电路复杂,基于专业控制芯片的电机控制器使用方面的适应性差,不能满足智能

控制等个性化需求^[1-2]。基于以上分析,选用 Cortex-M3 内核的微控制器为核心设计无刷直流电 机控制器。

1 系统构成[3-5]

直流无刷电机控制器系统主要由制控器、脉

项目来源: 安阳工学院 2013 年度科研基金项目 收稿日期: 2016-11-24 修改日期: 2017-01-01 宽调制(PWM)信号驱动电路、逆变电路、通信接口电路和电源电路构成,控制器系统构成如图1所示。

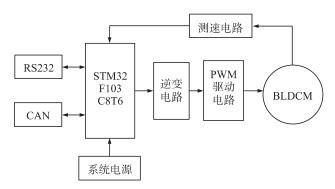


图 1 系统构成图

选用 Cortex-M3 内核的 STM32F103C8T6 微控制器作为控制核心,主要完成电机转速计算、控制算法执行、PWM 控制信号产生、与上位机进行通信等功能。微控制器产生的 PWM 信号不能直接驱动MOSFET 构成的逆变电路,需要驱动电路进行放大,由 MOSFET 驱动电路完成。测速电路是由增量式旋转编码器构成。

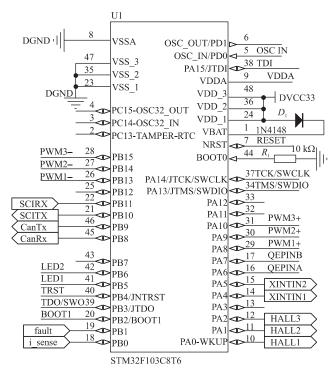
2 控制器硬件电路设计

2.1 控制器主电路[6]

142

控制器主电路以 Cortex-M3 内核的 STM32F103C8T6 微控制器为核心构成的,是控制器正常工作的基础,主要完成 PWM 信号的产生、转子位置检测、过流检测与保护、速度测量和控制器工作状态指示等功能。 PWM 信号由 STM32F103C8T6 中的高级定时器 TIM1 产生,由 TIM1的3个输出通道 TIM1_CH1、TIM1_CH2、TIM1_CH3输出上桥臂的控制信号,分别由控制器的 PA8、PA9和 PA10引脚输出,TIM1的3个输出通道 TIM1_CH3N 输出通道 TIM1_CH3N、TIM1_CH3N 输出下桥臂的控制信号,分别由 PB13、PB14和 PB15引脚输出。

无刷直流电机转子位置信号由霍尔传感器产生,由 STM32F103C8T6 的定时器 TIM2 进行检测,信号由 PA0、PA1 和 PA2 引脚输入到定时器的 TIM2_CH1、TIM2_CH2、TIM2_CH3 3 个输入通道。速度检测电路的输入信号由 PA6 和 PA7 引脚接入到定时器 TIM3 的 TIM3_CH1、TIM3_CH2,由定时器 TIM3 完成速度测量。控制器主电路如图 2 所示。电流检测由 PB0 引脚输入到 A/D 转换器 ADC12_IN8 通道,进行电流检测,完成过流检测、保护。

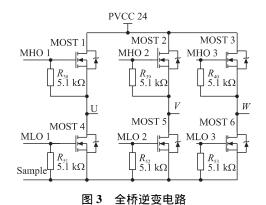


第41卷

图 2 控制器主电路

2.2 全桥逆变电路

控制器可用于功率小于 200 W 的小功率无刷直流电机的驱动控制,采用 IRF3808 功率 MOSFET构成的全桥逆变电路实现电机的换向驱动控制。全桥逆变电路如图 3 所示。MOST1~MOST3 为上桥臂,MOST4~MOST6 为下桥臂,6 个 MOSFET 均采用IRF3808。PVCC24 接 24 V 直流电源,Sample 接电源采样电路,用于实现电流检测和过流保护。



2.3 MOSFET 驱动电路^[7-8]

全桥逆变电路如要按照一定占空比的驱动电压驱动无刷直流电机可靠工作,必须保证上、下桥臂的MOSFET 能按照微控制器产生的 PWM 信号在两个非线性工作状态间切换。IRF3808 的开启电压 U_T 在 $2~V\sim4~V~ii$,由图 3~可知,如果上桥臂上的MOSFET 工作在可变电阻区 栅源电压 V_{cs} 必须大于开启电压 U_T ,此时上桥臂源极位接近 PVCC24,而主

控制器 STM32F103C8T6 产生的 PWM 波的幅度为 5 V 不能直接驱动上桥臂的 MOSFET ,必须把上桥臂的栅极电位升高到 24 V 以上才能驱动 MOSFET 工作在可变电阻区。这里采用 IR2130S 作为 MOSFET 的驱动电路 ,该驱动电路有三对独立的上、下桥臂参考输出通道 ,兼容 CMOS、LSTTL 电平 ,具有过流保护功能和指示输出功能。当出现过流时 ,Protect 为高电平 ,由 ITRIP 引脚输入 ,芯片启动过流保护功能 ,切断 PWM 信号输出 ,达到保护目的 ,同时在 FAULT 引脚输出一个低电平用于过流保护指示。本电路利用一个发光二极管 LD3 进行过流指示 ,当出现过流时 ,发光二极管 LD3 进行过流指示 ,当出现过流时 ,发光二极管 起 ,表 示电机 出现 过流并已采取 过流保护。 MOSFET 驱动电路如图 4 所示。

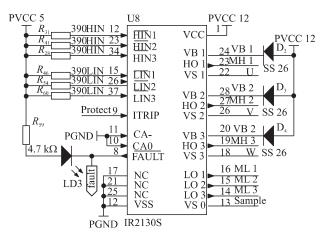


图 4 MOSFET 驱动电路

2.4 过流检测电路

第1期

过流检测电路如图 5 所示。Sample 端接逆变电路的下桥臂 MOSFET 的源极公共端,流入 Sample 端的电流就是流过电机的电流,电流经采样电阻 R_{58} 进行采样转变为电压,该电压经采样电阻 R_{57} 和 R_{61} 进行分压后由 Protect 送到 MOSFET 驱动芯片的 9 引脚进行过流检测;该电压经 R_{56} 和 C_{39} 构成的 RC 滤波电路滤波后由 i_sense 送到 STM32F103C8T6 的 A/D 转换器 $ADC12_IN8$ 通道,进行电流检测,检测

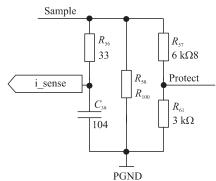


图 5 过流检测和电流检测电路

的电流可以作为电流环控制的反馈信号。

2.5 霍尔换向检测电路

本控制器适用于带转子位置检测的无刷直流电机 位置检测霍尔安装在电机内部 ,由接口 CON_5 接入电路板 如图 6 所示。 $R_{16} \sim R_{18}$ 为上拉电阻 $R_{19} \sim R_{21}$ 分别与 $C_{22} \sim C_{24}$ 构成 RC 滤波电路。电机转子由 HALL1 ~ HALL3 接入 STM32F103C8T6 的定时器 TIM2 进行检测。

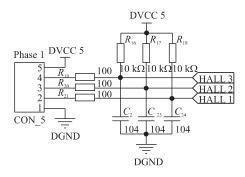


图 6 霍尔换向检测电路

2.6 通信接口电路

通信接口电路采用 CAN 通信和 RS232 串行通信两种接口,便于控制器与不同通信接口的上位机进行连接使用。由于 STM32F103C8T6 内部有 CAN 控制器,仅在芯片外部接入 CAN 收发电路即可,CAN 收发电路如图 7 所示,其中 R_{65} 为 120 Ω 的阻抗匹配电阻。

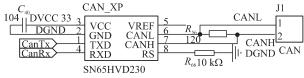


图 7 CAN 通信接口电路

3 实验研究及结果分析[9-12]

3.1 PID 参数整定

PID 参数的整定是电机控制器设计的关键,合适的 PID 参数是保证控制器性能的重要因素。

PID 参数整定的方法有多种,常用的方法可分为理论计算法和工程整定法。理论计算法需要建立系统的精确模型,而精确的模型建立比较困难,理论计算得到参数还需要在工程实际中进行调整。工程整定法根据 PID 控制理论和工程经验调整参数,然后再到工程实际中进行检验,该过程需反复进行多次。无论是理论计算还是工程整定法,都需要把初步确定的 PID 参数放入控制程序中进行编译下载检验,过程繁琐,效率低。利用 xPC 目标搭建的半实物仿真平台进行 PID 参数整定,提高了参数整定的效率。基于 xPC 目标的半实物仿真系统的结构

框图如图 8 所示。

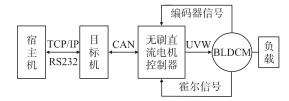


图 8 基于 xPC 的半实物仿真系统框图

3.2 实验结果

本控制器采用 PI 调节器进行速度调节。电机转速的测量是在 xPC 目标构成的半实物仿真系统上完成的。由控制器进行速度测量 经 CAN 通信上传给目标机,经 TCP/IP 上传给宿主机进行存储。速度响应曲线是由 MATLAB 软件对测量数据进行绘制的。电机的速度响应曲线如图 9 所示,电机的给定速度为 2 400 rpm。由速度响应曲线可知,该控制器速度响应快,转速平稳,控制效果好,能满足上肢康复机人的机械臂速度控制性能要求。

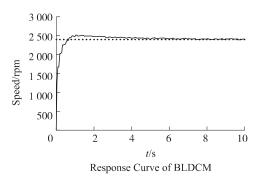


图 9 无刷直流电机响应特性曲线



张修太(1971-),男,汉族,河南范县, 安阳工学院 副教授,主要从事测控、嵌入式系统应用方面的研究,925001334 @qq.com;

4 结论

以 STM32F103C8T6 为核心设计的控制器具有电路结构简单 ,成本低 ,配有 CAN 和 RS232 两种通信接口 ,方便与计算机、PLC 等上位机构成智能控制系统 ,可以满足上肢康复机器人系统的要求 ,具有良好的应用前景。控制器设有按键 ,用以调整电机转速度和转向 ,使控制器可独立使用 扩展了功能。

参考文献:

- [1] 夏长亮. 无刷直流电机控制系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2009:1-15.
- [2] 吴梅锡 付鲁华 林玉池. 基于 DSP 的两相无刷直流陀螺电机 稳速系统[J]. 传感技术学报 2013 26(2):187-190.
- [3] 袁先圣,刘星,叶波. STM32 的无刷直流电机控制系统设计 [J]. 单片机与嵌入式系统应用 2013,13(10):17-20.
- [4] 曾光华 陈卫兵 邹豪杰 等. 基于 STM32 的无位置传感器无刷直流电机控制系统[J]. 湖南工业大学学报 2012 26(1):41-44.
- [5] 吴大勇 ,贾敏智. STM32 在三相无刷直流电机控制系统中的应用[J]. 微电机 2014 47(3):47-51.
- [6] STM32F10xx-Reference Manual-rm0008[Z]. 2011:282-409.
- [7] 段德山,徐申,孙伟锋. 一种用于无刷直流电机控制系统的 MOSFET 栅极驱动电路[J]. 电子器件 2008 31(2):533-536.
- [8] IR2130 Data Sheet No. PD60019 Rev[P]. 2004:1-26.
- [9] 杨智 朱海锋 潢以华. PID 控制器设计与参数整定方法综述 [J]. 化工自动化及仪表 2005 32(5):1-7.
- [10] 何芝强. PID 控制器参数整定方法及其应用研究[D]. 杭州: 浙江大学 2005:1-10.
- [11] 杨涤. 系统实时仿真开发环境与应用[M]. 北京:清华大学出版社 2002:249-260.
- [12] 林家泉 程绪宇 凋贤民 等. 一种小型直流电机控制系统硬件设计方案[J]. 自动化与仪表 2014 29(11):73-76.



翟亚芳(1979-),女,汉,河北保定,安阳工学院,讲师,主要从事电路与系统方面的研究 zhaiyafangwin@163.com。