



# 分布式电动汽车驱动控制器设计与研究

刘海云

(武汉交通职业学院 汽车学院,湖北 武汉 430065)

**摘要:**作为分布式电动汽车整车控制技术的关键技术之一,电机驱动控制器具有很强的研究价值和实际研究意义。本文对常用的几种轮毂电机进行比较,选定无刷直流电机作为被控对象,并分析了无刷直流电机的结构和驱动工作原理。经过对比,选择 STM32F103R8T6 微处理器作为主控芯片,采用星形三相全桥驱动电路,分别利用 Altium Designer 10.0 和 Keil 5 实现对驱动控制器硬件和软件的设计。最后,制作出实物样机并在该系统上进行了实验,验证了本次设计的驱动控制器硬件和软件的正确性,满足了分布式电动汽车电机驱动系统的性能要求。

**关键词:**分布式电动汽车;驱动控制器;无刷直流电机;三相星形全桥驱动

中图分类号:U469.72

文献标识码:A

文章编号:1671-931X (2019) 04-0086-04

86

电动汽车发展至今,从传动的总体布置方式来看,形式上主要分为集中式以及分布式两类<sup>[1]</sup>。其中,采取集中式布置的电动汽车结构较为简单,并没有发挥出电动汽车控制精确的优势。而分布式布置的电动汽车,将集中式布置的一个驱动电机取缔,换成了数个小型的轮毂电动机,使得过去的发动机舱空间大大减小,并且由于电机与轮毂集成,大大化简了传动装置,将四轮独立控制成为现实,充分发挥了电动汽车的控制优势。因此分布式电动汽车越来越成为研发的主流。

整车控制是当前新能源汽车研究的核心技术。整车控制器最为基础的便是轮毂电机的驱动控制部分——驱动控制器。鉴于此,研发相应的高效高精度的驱动控制器对于电动汽车的整车控制有着十分重要的实践意义。

## 一、驱动控制器的总体设计框架研究

### (一)驱动控制器系统结构

如图 1 所示,该系统的输入信号主要有三个:驾

驶员的油门信号、刹车信号和在操作过程中产生的其他信号,这里以按键信号代替模拟。这些信号经传感器采集转化成可识别的信号后输入单片机,单片机决策后产生相应的 PWM 信号,经过驱动电路控制三相桥式逆变电路,实现对电机的控制。同时过流保护电路采集电机的相电流信号并反馈给单片机,据此改变占空比,实时调整输出的电机控制信号,实现

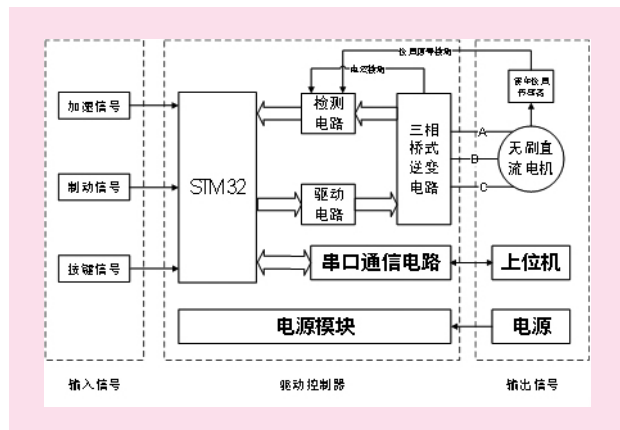


图 1 驱动控制器系统结构框图

收稿日期:2019-05-23

基金项目:武汉交通职业学院校级课题“电动汽车增程器耦合故障诊断方法研究”(项目编号:q2018002)。

作者简介:刘海云(1986-),女,河北唐山人,硕士,武汉交通职业学院汽车学院助教,研究方向:电动汽车、二手车。

驱动控制功能。

根据以上分析,本次驱动控制器的硬件设计主要包含以下内容:单片机 STM32 最小系统的实现,系统供电及电源转化的实现,电机功率驱动的实现,电机速度调节的实现,电机制动减速的实现,电机转子位置信号检测及处理,数据通信,过电流保护等。三相星型无刷直流电机驱动电路采用全桥式驱动电路,考虑到该模块需要驱动电机因此电流较大,运行过程中会产生较大电磁干扰,因此在进行电路板 PCB 设计时根据电流强弱分制成控制板和驱动板两块电路板。

## (二)驱动电机的选择

目前电动汽车用电机主要有异步电机(IM)、开关磁阻电机(SRM)、横向磁场电机(TFPM)以及永磁无刷直流电机(BLDCM)四类<sup>[2,3]</sup>。

异步电机(IM)较四类其他电机而言发展时间较长,技术较为成熟并具有高速性能好、结构简单和成本低等优点,然而低速运转时,电机的转矩控制较为复杂,效率不高;开关磁阻电机(SRM)相比电磁感应式电机,低速性能好适合频繁启动,且结构简单、工作可靠,但其运行时,电机转矩脉动较大,效率不高,控制电路较为复杂;横向磁场电机(TFPM)具有电、磁两路解耦,设计时发挥度高,转矩转换效率高等优势,非常适合低速大扭矩的工况,效率高可控性好等。但是其结构较为复杂,成本高,加上漏磁现象严重,使用时转换效率不高。

无刷直流电机由于没有整流子和电刷构成的机械式换相结构,所以不存在换相火花,因此不受机械换相的转速限制,形成结构简单,使用寿命长,便于维护等优点<sup>[4]</sup>。永磁无刷直流电机,启动时电流小,运行中扭矩大,效率高,没有机械换相的转速限制,越来越成为电动车用轮毂电机的主流选择<sup>[5]</sup>。基于以上优点,本次驱动系统设计选用一款额定电压 24V,额定功率 60w 的永磁无刷直流电机为实验对象。

## (三)主控芯片的选择

对于无刷直流电机的控制,目前主流的控制方式有三种:普通单片机控制、集成电路专用电机芯片控制和电机专用的 DSP 芯片控制<sup>[6]</sup>。

普通单片机控制,其优点是成本低,但是操作位数低,处理速度有限,精度低,并且稳定性和可靠性不高;电机专用集成电路,专门为电机控制所设计,系统电路结构简单稳定且成本低,但是内部算法比较简单,不利于二次开发和扩展;DSP 是专门为运动控制而设计的电机控制芯片,各方面表现均衡,但在其通用性上有所欠缺。

STM32 系列单片机自带完善的库函数,只需在程序中调用相应库函数即可实现复杂的程序功能,入门门槛大大降低,缩短了开发时间。综上,本次设计选用 STM32 系列微处理器作为电机控制器的主

控芯片<sup>[7]</sup>。

## 二、驱动控制器硬件设计

STM32 最小系统外围电路主要由电源电路、时钟电路、复位电路等组成<sup>[8]</sup>。其中电源电路提供 3.3V 电压给单片机供电;时钟电路外部时钟源采用 8MHz 晶振,外接两个 33pF 电容,帮助晶振起振和维持震荡信号稳定;复位电路在复位引脚 NRST 外接一个按键,实现按键复位。增加 J-Link 接口,支持程序烧

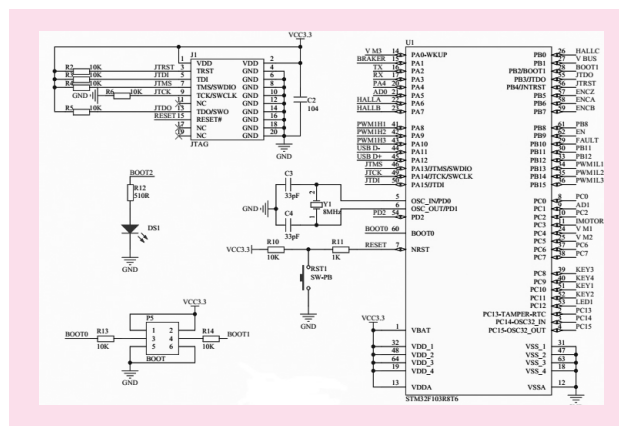


图2 单片机最小系统

写和后期硬件调试。其电路原理图如图 2 所示。

其中,整个系统电源模块所需的+24V 电压由车载蓄电池提供。+24V 用于整个无刷直流电机驱动系统供电,+15V 用于为 MOSFET 功率极驱动电路中 IR2110S 驱动芯片供电,+5V 电压用于 LM258 等芯片供电,+3.3V 电压用于 STM32 主控芯片供电。因此系统需要+24V、+15V、+5V、+3.3V 的一组电压。

功率驱动模块为全桥驱动电路,由 6 个 MOSFET 功率管 IRF540N 组成,该功率管导通内阻小,散热功率小,可以快速开关,能够满足无刷直流电机的换向控制需求。电路中 V1、V3、V5 为上桥臂,V2、V4、V6 为下桥臂。通过 3 片专用驱动芯片 IR2110S 输出驱动信号控制功率管的通断,同时避免上下桥臂的直通。

调速模块主要由滑动变阻器和滤波电容构成。通过旋钮改变滑动变阻器阻值改变输出的速度调节信号 AD1,AD1 输入单片机,STM32 内部算法决策,改变输出信号的占空比,并将对应的 PWM 信号输出给驱动电路,完成对电机转速的控制。

位置检测模块信号由外接的编码器和电机内部的霍尔位置传感器输入,用于检测电机转子的位置,74HC14D 为六路反向斯密特触发器,经 74HC14D 整形滤波后传输给 STM32,当检测到输出信号的电位发生改变时,就可以判断为无刷直流电机换相时刻。

数据通信接口模块用于与上、下位机的通信使用,设计时预留好足够的通信接口用于进一步的调

试与扩展。其主要支持:RS232 接口、CAN 通信接口和 USB 接口。

过电流保护模块电枢绕组的相电流经过下桥臂流入 GND1,通过 R21 转变为电压信号并输入 U4B, U4B 将信号放大后将相电流信号反馈给单片机。当采集的电流值过大后 FAULT 引脚输出高电平,此高电平信号输入单片机,单片机中断 PWM 信号输出,进行过流保护,同时 D5 的发光二极管点亮,起到报警的作用。

### 三、驱动控制器软件设计

#### (一)软件开发环境

目前,STM32 常用的软件开发环境主要有两个:IAR Embedded Workbench for ARM 和 KEIL MDK。KEIL MDK 是由 ARM 公司推出微控制器软件开发平台,是目前 ARM 内核芯片最常使用的开发环境。它与 Keil C51 单片机操作界面类似,简洁友好,易于上手,大大缩短了学习和开发时间。此外,STM32 系列芯片具有寄存器版和库函数版两种软件开发模式,相比寄存器版使用汇编语言直接对寄存器进行操作,自带的库函数完成了对底层寄存器的调用,用户只需要明白其功能即可使用,大大降低了入门门槛和开发时间。鉴于此,本次设计采用 Keil 5 软件开发环境,如图 3 所示为其操作界面,并基于 STM32 自带的库函数进行开发,使用 C 语言进行程序设计, J-link 仿真器实现在线仿真和程序下载。

#### (二)主程序设计

本次软件部分的设计主要包含两个内容:主程序设计和其他程序的设计。其中,主程序主要完成对控制系统的初始化配置,其他程序通过触发中断完

成对具体功能函数的调用<sup>[22]</sup>。其中最为关键的程序主要包括电子换相控制和 PWM 转速控制。如图 4 为软件流程图。

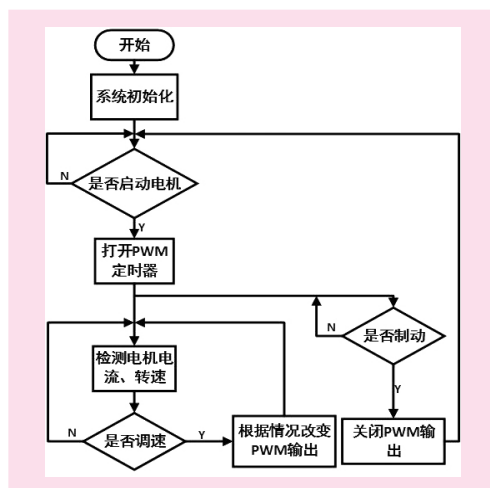


图 4 软件流程图

控制器在上电启动后,首先是进行系统软件的初始化操作,完成时钟、中断等基本配置;当接收到电机的启动信号后,STM32 打开定时器开始输出初始的 PWM 信号给相应电路控制电机开始启动;当接收制动信号后,STM32 关闭 PWM 信号的输出,同时制动模块工作,将制动电阻接入消耗电机两端电压,实现电机减速和停机;当根据反馈信号产生调速信号后,根据内部算法改变输出信号的占空比,输出对应的 PWM 信号,电机实现相应的调速。

#### (三)实物测试

如图 5 和图 6 所示为控制板和驱动板的实物。在控制板中,为方便实验检测和扩展,设计时将

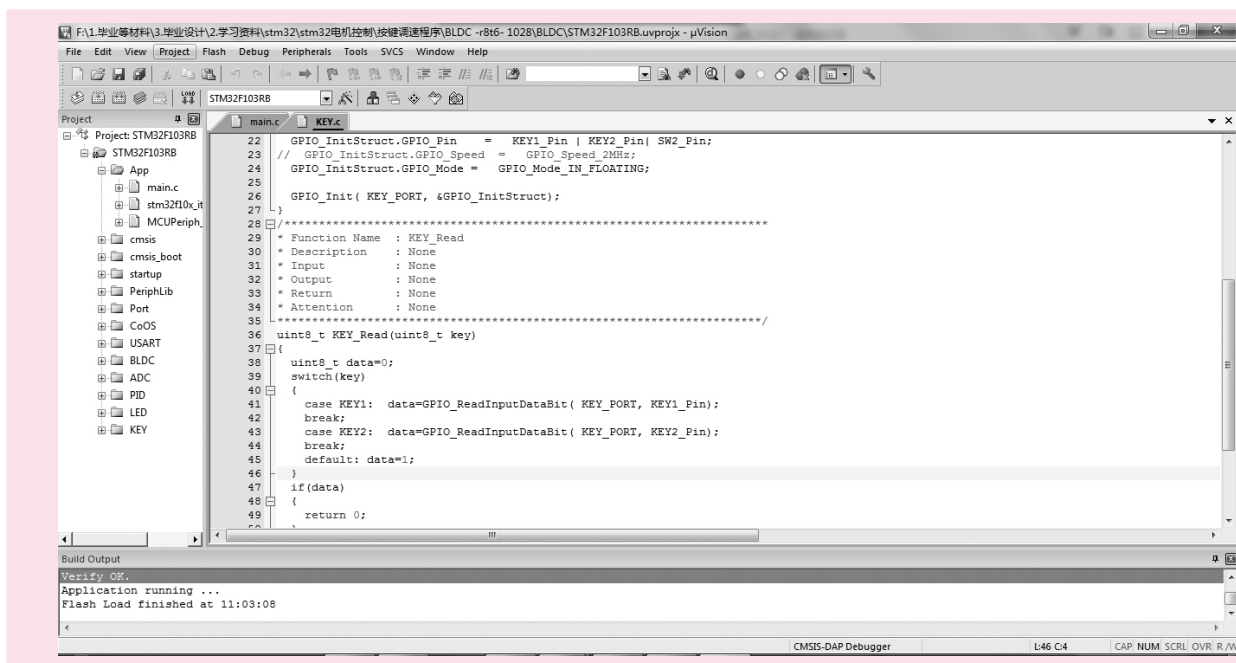


图 3 Keil5 软件开发环境



STM32 主控芯片的所有引脚均以插针的形式引出,并在各板的电源和地线处设计检测点,方便在元器件焊接后检测,排除焊接时误操作造成的短路现象。

如图 7 为控制器与电机连接的实物图,电机的

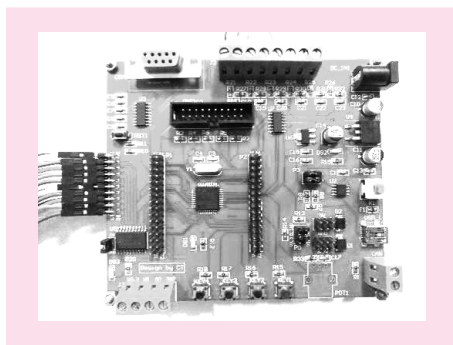


图 5 软件流程图

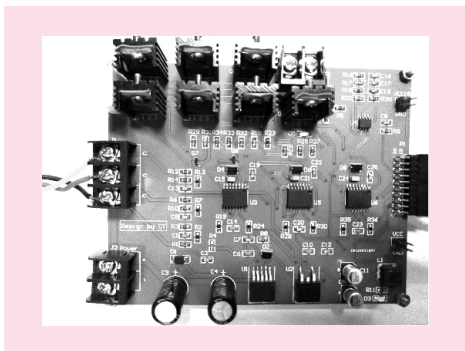


图 6 软件流程图

三相供电端连在驱动板的 J1 端口上,电机内置的霍尔位置传感器的三相信号线和电源两端连接在控制板 J2 端口上。驱动板 J2 端口外接 24V 开关电源模拟电动车电池供电。

上电之前检查电气连接确保连接正确,之后将 J-link 和电路板以及电脑连接好,如图 8,将编译通过的控制程序烧入到单片机中。上电后,按下 KEY3 按键直到电机启动后松开,可以看见电机按照指定转速运行;在电机运行时每按下一次 KEY3 按键,电机转速下降一个档位;电机运行时按下 KEY4 按键,电机停止,同时改变下一次电机运转方向。经过上述试验,电机运行平稳,能对指定的操作完成对应的响应,证实了软件设计的正确性。

#### 四、结论

本次设计选用 STM32 系列单片机,围绕此芯片设计了一款电动汽车驱动控制器。经样机制作,试验后表现良好,达到设计要求。以下为本文主要结论:

(1)本次设计确定无刷直流电机为研究对象,采用基于 ARM 先进构架 CortexTM-M3 内核的 STM32 系列芯片作为主控芯片,通过对总体方案进行分析,确定硬件设计所需要实现的功能。

(2)基于主控芯片 STM32 进行硬件电路设计,

采用 Altium Designer10.0 研究了各功能模块的具体设计。采用 Keil 5 集成编程环境对软件进行开发,利用 STM32 函数库进行程序设计,极大提高了软件的

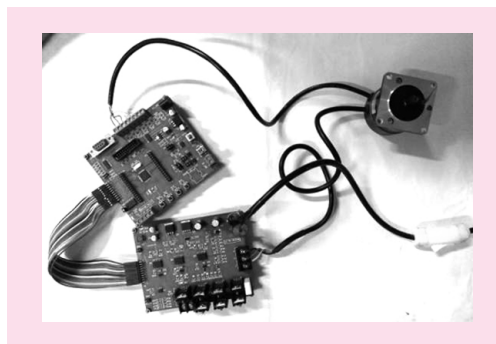


图 7 软件流程图

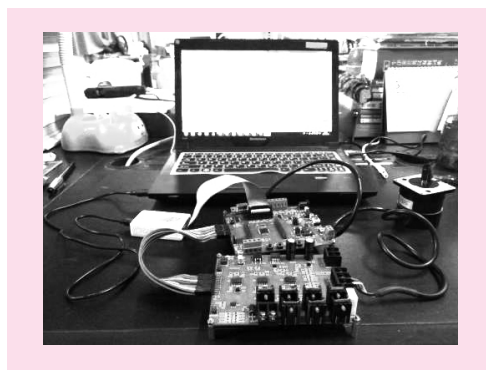


图 8 软件流程图

可移植性并缩短了开发时间。

(3)通过实际制作电路板,并烧录控制程序进行试验,结果基本实现对电机的调速控制,达到设计目标。

#### 参考文献:

- [1] 凌秋妮,吴洁霞,张云星,等.整车控制器国内外专利技术现状综述[J].汽车工业研究,2014,(27):45-50.
- [2] 褚文强,辜承林.电动车用轮毂电机研究现状与发展趋势[J].电机与控制应用,2007,(4):1-5.
- [3] 麻友良,严运兵.电动汽车概论[M].北京:机械工业出版社,2012:49-79.
- [4] 刘刚,王志强,房建成.永磁无刷直流电机控制技术与应用[M].北京:机械工业出版社,2008:1-8.
- [5] Yun S Y,Ju L.Implementation of In-wheel Motor Driving System for Electric Vehicle [J].Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers,2013,(6):750-755.
- [6] 谭建成.电机控制专用集成电路[M].北京:机械工业出版社,1997.
- [7] 高文武.无刷直流电机控制系统设计与实现[D].武汉:武汉理工大学,2012.
- [8] 王小明.电动机的单片机控制[M].北京:北京航空航天大学出版社,2011:228-230.

[责任编辑:詹华西]  
(下转第 120 页)

(上接第 56 页)

指导,对于就业困难学生还要给予个性化的帮扶。四是提供更多的校内外实践机会,全面提升就业能力。学生干部的就业能力明显高于非学生干部,主要原因在于他们的工作中得到了锻炼,因此学校在提供与专业就业岗位相关实习机会的同时,在日常教育工作中还应提供更多让学生实践的机会,使更多的学生能够出彩,全面提升学生的就业能力。

总之,就业能力的提升是一项宏大的系统工程,需要高校师生的共同努力,也需要政府和用人单位的大力支持和配合。

参考文献:

- [1] 岳增刚. 高校家庭经济困难学生就业能力提升实证研究——基于 USEM 模型[J]. 中国成人教育, 2016, (12): 65-68.
- [2] 胡尊利, 刘朔, 程爱霞. 国外大学生就业能力研究及其启示[J]. 比较教育研究, 2008, (8): 24-28.
- [3] Yorke, M., Knight, P.T. Embedding Employability into the Curriculum[J]. Higher Education Academy, 2004: 4-5.
- [4] 史秋衡, 文静. 中国大学生的就业能力——基于学情调查的自我评价分析[J]. 北京大学教育评论, 2012, (10): 48-60, 188.
- [5] 王东兴. 基于 USEM 模型理论的大学生就业能力提升途径探析[J]. 山东省农业管理干部学院学报, 2013, (2): 92-94.
- [6] 张进. 提升就业能力: 缓解大学生就业难的重要选择[J]. 高等教育研究, 2007, (12): 37-41.

[责任编辑: 石俊华]

## Investigation and Analysis of Employment Ability of Higher Vocational Students Based on USEM Model

HUANG Xing-jun

(Wuhan Polytechnic, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The improvement of employability is one of the main ways to solve the employment difficulties of college students. Based on the USEM employability structure model, this paper investigates and analyzes the employability of 180 students in Wuhan polytechnic, aiming to provide reference for higher vocational colleges to improve students' employability. The characteristics of employment ability of higher vocational students in four dimensions are analyzed. The results show that the self-efficacy and meta-cognitive ability of higher vocational students are relatively strong, and the subject comprehension is relatively weak. There is room for improvement in general skills such as English, computer, and reading and writing. In terms of group differences, there are significant differences in employability between different genders, where students are born, and whether they are student cadres.

**Key words:** USEM model; higher vocational colleges; employability

(上接第 89 页)

## Design and Research of Distributed Electric Vehicle Drive Controller

LIU Hai-yun

(Wuhan Technical College of Communications, Wuhan 430065, China)

**Abstract:** As one of the key technologies of distributed electric vehicle control technology, motor drive controller has strong research value and practical research significance. Comparing the commonly used hub motors, the brushless DC motor is selected as the controlled object, and the structure and driving principle of the brushless DC motor are analyzed. After comparison, the STM32F103R8T6 microprocessor was selected as the main control chip, and the star three-phase full-bridge drive circuit was adopted. The drive controller hardware and software were designed by using Altium Designer 10.0 and Keil 5 respectively. Finally, a physical prototype was made and experiments were carried out on the system to verify the correctness of the drive controller hardware and software of this design, and to meet the performance requirements of the distributed electric vehicle motor drive system.

**Key words:** distributed electric vehicle; drive controller; brushless DC motor; three-phase star full-bridge drive