

基于ARM的电动自行车控制系统设计

李华明, 陆玲霞, 陈海洋

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 针对传统电动自行车功能难以满足市场多元化需求的问题,分析了电动自行车基本功能和潜在功能的需求,设计了以ARM微控制器LPC2214为主控芯片,以无刷直流电机驱动的电动自行车控制系统,在实现电动自行车基本功能的基础上增强了其功能的扩展性;同时重点介绍了系统主要功能的硬件和软件实现方案,该系统采取优良的控制策略改善了电动自行车基本功能,具有电动、巡航、助力等模式,并利用TFT显示运行状态,改善了用户体验。研究表明,该系统电机速度调节平稳、快速,人机交互友好,硬件电路简洁,保护措施可靠。

关键词: 电动自行车; 调速控制系统; 无刷直流电机; LPC2214; ARM

中图分类号: U484; TP273; TH39 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2012)09-1069-04

Control system of electric bike based on ARM

LI Hua-ming, LU Ling-xia, CHEN Hai-yang

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at the diversified demands for the functions of e-bikes, the basic and potential functions of the e-bikes were analyzed, and a control system embedded with ARM microcontroller LPC2214 was designed for the e-bikes driven by brushless DC motor. With the system, the basic functions of e-bikes were realized and extensibility of functions was enhanced. The hardware and software for the key functions were expounded. Appropriate control strategy was applied to improve the basic functions. The bike could be set to work in electric, cruise or boost mode and its operating states were displayed on the TFT, thus the user experience was improved. The results indicate that the speed regulation is steady and rapid, the man-machine interface is friendly, the hardware is concise and the protection functions are reliable.

Key words: electric bike; speed regulation system; brushless DC motor; LPC2214; ARM

0 引言

目前,电动自行车因其“环保、轻便、经济”的优点,已逐步成为普通居民的主要代步工具之一。电动自行车广泛采用无刷直流电机,其控制系统一般以单片机作为主控芯片,产品化技术已相对成熟,但在功能实现和处理速度上仍有一定局限性。本着优化电动自行车系统性能、增强功能的目标,本研究将引入接口资源丰富、处理速度较快的ARM芯片LPC2214,以替代常规的单片机,使系统更具可控性和可扩展性。

LPC2214是NXP公司的32位ARM7内核的微控制器,具有高性能、小体积、低功耗的特点,包括多个32位定时器、10位ADC、外部中断和捕获中断、PWM

输出功能、丰富的I/O口^[1],能够检测电动自行车的各种状态信号,实现电机的速度调节和其他功能快速响应。

本研究设计的系统以LPC2214为核心,实现电动自行车的主要控制功能。另外,本研究利用TFT真彩液晶屏实时显示系统状态,增强用户对电动自行车运行状况的监控,从而方便使用和维护。

1 系统结构图及工作原理

1.1 系统结构框图

该控制系统主要由电压转换模块、主控制器、功率驱动电路、信号检测电路和显示模块等组成,系统结构如图1所示。

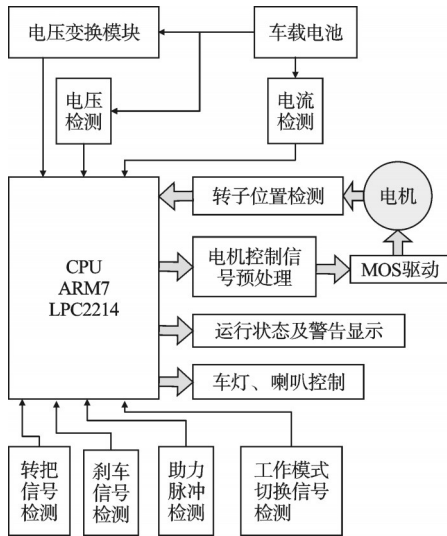


图1 电动自行车控制系统结构框图

上述模块实现了当前电动自行车的基本功能。在此前提下,本研究根据人们对电动自行车其他功能的需求,结合LPC2214的软、硬件资源,适当添加电子计程计时、智能防盗、娱乐或者其他特殊功能,以满足不同人群的多样化需求。

1.2 系统工作原理

电压变换模块通过对车载电池进行多级电压变换,分别给电机、控制芯片及其他功能模块提供稳定电源。

电机控制是该系统的主要功能,包含功率管驱动和信号检测模块。无刷直流电机由永磁转子和三相定子组成,分为有位置传感器和无位置传感器两种类型^[2]。有位置传感器的电机根据转子位置的状态输出电机控制信号,使功率管能按照一定的次序通断,实现电机的电子换相,使定子磁场和转子磁场之间的相角度始终接近90°,从而获得最大的扭矩来驱动永磁转子^[3],再结合对PWM占空比的控制来调节电动自行车速度。

其次,本研究通过对电机母线电流和电池电压的检测,分别实现系统的过流、欠压保护;通过检测刹车和调速把手信号实现刹车和闭环调速操作;亦可通过工作模式按钮进行工作模式切换。再者,通过LED灯和TFT显示相关状态信息,可以让用户清楚地了解电动车当前运行状态,并根据需要做出相应的调整或故障排查,实现人机友好交互。

2 系统硬件电路设计

2.1 电机驱动电路

在该设计中,笔者通过LPC2214的捕获中断来检测转子位置,6路PWM根据霍尔信号以一定的次序输出,控制相应功率管的通断,实现电子换相,其控制原理图如图2所示。其中,本研究对控制上桥的3路

PWM通过改变占空比调节速度,下桥3路PWM在开通期间保持满占空比。由于MOS管栅极电压要比漏极电压高10V~15V才能完全导通,MCU控制信号需要通过抬升才能使功率管有效导通^[4],高电压栅极驱动芯片IR2103能实现电压的自举^[5],可简化电路设计,提高硬件集成度。U、V、W三相下桥MOS管的源极相连,并通过电流采样电阻接地。

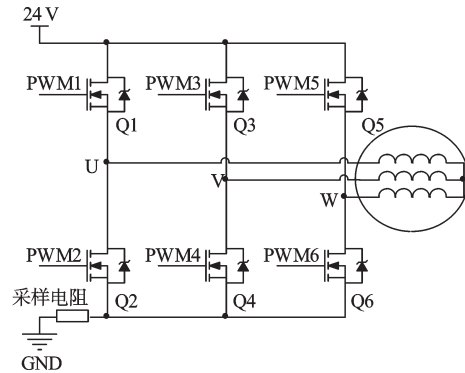


图2 无刷直流电机控制原理图

2.2 电流检测电路

电动自行车负载的变化或车轮堵转可能会产生很大的电流,严重时甚至会导致器件的损坏^[6]。无刷直流电机控制原理图如图2所示,本研究在驱动下桥源极和地之间接一个电流采样电阻,小电压出现在采样电阻上,经过滤波和放大之后,输入到LPC2214的ADC输入端;另外,通过电压比较器,电流在超过极限值后比较器输出跳变,产生中断以迅速执行保护操作。

2.3 欠压保护电路

电动自行车在使用过程中实时监测蓄电池电量的功能非常必要,通过电量检测可估算剩余可行驶里程、是否需要充电等信息^[7]。该设计中笔者利用电池端电压与电量之间的关系,通过检测蓄电池端电压来监测电池剩余电量,电池端电压经过分压和滤波输入ADC口,在不同的电压段输出相应的报警信号。

2.4 霍尔信号检测电路

电机转子位置传感器是开关型霍尔器件,信号为集电极开路输出,需要添加上拉电阻才能正常工作^[8]。另外,本研究需要对信号进行滤波处理才能输入LPC2214的I/O口,其采集电路如图3所示。当转子位置传感器输出低电平时,相应二极管导通,LPC2214检测端口采集到数字0;反之,采集到数字1。

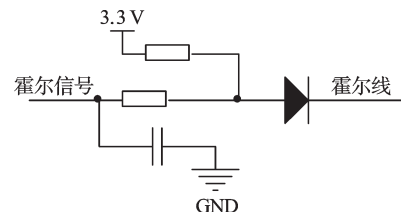


图3 转子位置信号采集电路

该设计中还用到霍尔刹把及霍尔助力传感器,都属于开关型霍尔器件,需要采取类似的电路对信号进行预处理才能送到LPC2214。

另外,速度转把属于线性霍尔器件,输出电压范围为1 V~4 V,在分压处理和滤波后送到ADC输入端。

2.5 其他硬件电路

该设计中除了上述控制和检测电路外,还包括电源模块、最小系统、TFT显示电路以及其他电平检测电路。由于相关的器件技术手册有成熟的参考电路,本研究不再赘述。

3 系统软件设计

LPC2214的I/O资源丰富,可以通过软件配置相应的I/O功能,满足对不同信号的检测和控制要求;同时它还具有丰富的中断资源,支持软件设置中断优先级,能够保证对一些关键信号的快速响应^[9];该芯片可以输出6路PWM控制功率管;另外,两个带有捕获功能的定时器可以用于转子位置信号检测和速度测量以及子程序分时处理。

该系统在软件上主要实现以下几大功能:电机驱动与调速、异常检测保护、工作模式(正常电动、助力、定速巡航)切换、运行状态显示等。

3.1 电机驱动与调速

电机驱动换相和调速功能通过检测转子位置状态信息而查表输出相应的PWM来实现。该设计中的换相序列如表1所示。

表1 三相霍尔传感器换相表

霍尔信号	MOS管导通
001	Q2(PWM2), Q5(PWM5)
101	Q4(PWM4), Q5(PWM5)
100	Q4(PWM4), Q1(PWM1)
110	Q6(PWM6), Q1(PWM1)
010	Q6(PWM6), Q3(PWM3)
011	Q2(PWM2), Q3(PWM3)

给定速度由霍尔手柄信号输入到ADC口得到,当前速度则通过计算规定时间内的换相次数来确定。在该设计中,笔者运用PI算法对速度进行闭环调节。

3.2 异常检测保护

异常检测功能包括过流检测、欠压检测、刹车信号、速度转把异常检测等。在电机起动前自检阶段,欠压、刹车和速度转把异常检测按照顺序执行。在电机运行阶段,母线电流、电池电压监测等则由定时器产生的时间戳分时执行。

3.3 工作模式切换

电动自行车系统自检完成并且无异常后即进入正常电动模式。若按下“助力模式”按钮,则系统进入

助力模式,待到刹车或再次按下“模式转换”按钮回到正常电动模式;若长按“模式转换”按钮(2 s以上),则系统进入定速巡航模式,等到再次按“模式转换”按钮或刹车才回到正常电动模式。

3.4 运行状态显示

该功能模块主要由TFT显示控制程序及部分LED控制代码组成,显示当前电动自行车运行的状态信息或告警信号。

3.5 软件控制主流程

电动自行车主程序流程图如图4所示。

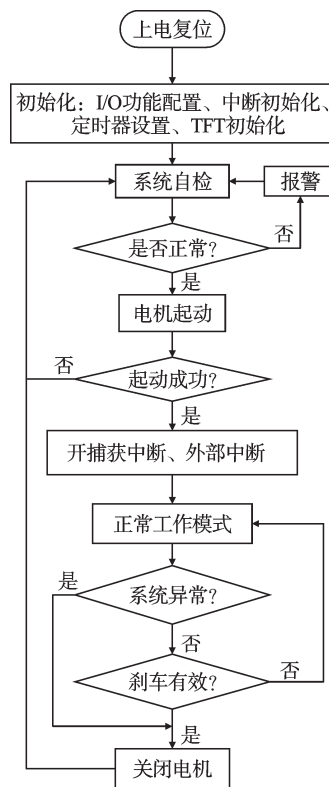


图4 电动自行车主程序流程图

系统在上电复位后进行初始化,完成I/O功能配置、定时器和中断初始化及TFT显示模块初始化。接着系统自检并显示相关信息,若正常则启动电机。成功启动后系统打开捕获中断和外部中断,进入正常工作模式。

在正常工作模式中,各个功能分别在中断服务程序中完成。Timer0中断用于产生10 ms的时间戳,用于切换时间戳和分派系统任务,完成读取期待速度值、运行速度计算、母线电流值、电池电压、PWM的更新和显示的更新等功能;Timer1配置为捕获中断,检测霍尔信号的状态变化,执行换相操作;外部中断用于过流检测和工作模式(正常电动、助力、定速巡航)切换信号的检测。在系统出现异常时,本研究令异常标志置位生效,实现电机停转,并自动转入自检程序,等待下一次的起动。

该程序采用C语言编写,在CodeWarrior for ARM

Developer Suite 开发环境中进行编译。初始化函数包括 GPIO_Init()、TFT_Init()、Timer_Init()、HallSensor_Init()等;功能函数主要包括 System_Check()、ADC_Convert()、Motor_Start()、IRQ_HallSensor()、IRQ_Timer0()、PWM_Set()、Speed_PID()等,部分功能函数在捕获、定时器或外部中断服务程序中执行,系统根据重要程度要求分配相应的优先级,保证及时有效地响应。代码简洁明了,便于阅读及修改移植,执行效率较高,能保证电动自行车运行的稳定性和安全性。

该系统除了实现上述功能外,还利用 LPC2214 扩展的 Flash 存储模块实现电动自行车的电子计程功能;基于 LPC2214,可另行添加电动自行车智能防盗功能。同时 LPC2214 可移植实时操作系统,研究者可针对上述功能实现多线程管理。

4 仿真和试验结果

速度调节是电动自行车的最主要功能。在该设计中,电动自行车采用无刷直流电机作为驱动电机,其数学模型近似为下式:

$$\frac{N(s)}{U_s(s)} = \frac{1/K_e}{\tau_a \tau_m s^2 + \tau_a s + 1} \quad (1)$$

式中: τ_a —电动机磁时间常数, $\tau_a = L/R$; τ_m —电机机电时间常数, $\tau_m = 2\pi RC/60K_e K_m$; K_e —电机在额定磁通下的反电动势转速比, $K_e = (U_e - I_e R)/n_e$ 。

试验中本研究采用四宏 YK57BL06 无刷无槽永磁直流电动机,额定电压 $U_e = 24 \text{ V}$,额定转速 $n_e = 3000 \text{ r/min}$,额定功率 $P_e = 138 \text{ W}$,磁极对数 $n_p = 2$, $K_e = 6.62 \text{ V/kRPM}$,线电阻为 $R = 0.35 \Omega$,线电感为 $L = 0.35 \Omega$ 。最终,得到该电机的近似一阶模型见下式:

$$G(s) = \frac{153.06}{0.0143s + 1} \quad (2)$$

当 PWM 输出频率为 6 kHz,输出电压 3.3 V 时,ARM 的 PWM 计数值为 10 000,对应占空比为 100%,驱动电路电压 $U_s = 24 \text{ V}$ 。

PWM 模块的传递函数见下式:

$$G_{\text{PWM}}(s) \approx \frac{U_s/U_{cl}}{\tau_{\text{PWM}}s + 1} = \frac{7.27}{0.00017s + 1} \quad (3)$$

由于时间常数很小,可近似为比例环节,即 $K_{\text{PWM}} = 7.27$ 。

电机采用速度单闭环调速,本研究设计 PI 调节器完成快速响应以及消除静差,满足系统的稳态要求。本研究在 Matlab 中进行了仿真实验,当设定转速为 1 500 r/min,在 $K_p = 3$, $K_i = 10$ 时,仿真结果如图 5 所示。

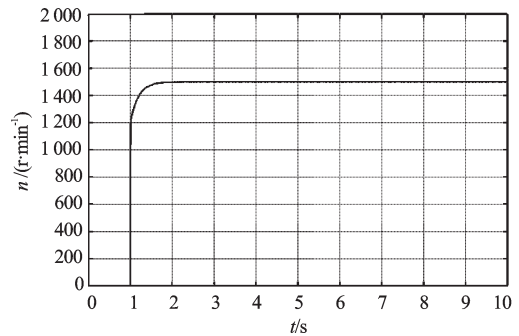


图 5 Matlab 仿真结果

在实际测试中,本研究通过测速实验,并采用 TFT 显示,可以观察到空载状态下的电机经过 3 s 左右能从停止达到预期的速度,虽然比理想仿真响应时间长,但也能达到快速响应和无误差的要求,加速过程无明显抖动,能够满足电动自行车平稳加速的要求。

5 结束语

本研究阐述了无刷直流电机驱动的电动自行车工作原理,详细介绍了以 LPC2214 为主控芯片的控制系统软、硬件设计,并论述了电动自行车基本功能实现方案和扩展功能的需求。该系统驱动模块硬件结构简单、通用性强、灵活可靠,对于不同参数的无刷直流电机,研究人员只需修改算法中参数即可。

经过实验证明,该控制系统电机调速平稳快速,其他功能稳定可靠,能对用户操作和工作状况快速响应,可满足用户对电动车安全性、可靠性及舒适度等多方面的要求,实用性较高。

参考文献(References):

- [1] 周立功. ARM 嵌入式系统基础教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- [2] 马瑞卿,邓钧君. 基于 Hall 位置传感器的 BLDCM 正弦波驱动性能研究[J]. 微电机,2011,44(7):59-61.
- [3] 陈敏,邓颖. LPC2141 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,2010,10(1):35-37,40.
- [4] 张强,吴红星,谢宗武. 基于单片机的电动机控制技术[M]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [5] 周西峰,孙浩,王丹,等. 自举驱动方式下无刷直流电机运行特性分析[J]. 电力电子技术,2011,45(3):40-43.
- [6] 陈君科,范蟠果. 电动自行车控制器设计与实现[J]. 电力电子技术,2008,42(3):84-86.
- [7] 王文宇. 同步换档电动自行车控制器设计与实现[D]. 武汉:华中科技大学控制科学与工程系,2008.
- [8] 王晓明. 电动机的单片机控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- [9] 周立功. ARM 嵌入式系统实验教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.