

电动自行车数字节能控制器设计与实现

周建华, 黎英, 张灿斌

(昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650051)

摘要: 文章提出了一种电动自行车用无刷直流电机控制器, 分析了无刷直流电机转矩控制和能量回馈的方法, 设计了基于 AT90PWM3 单片机的控制器软硬件. 对实现控制器进行实测表明, 控制器结构简单, 动静态指标达到设计要求, 能达到节能目的, 具有良好的实用价值.

关键词: 无刷直流电机; 转矩控制; 能量回馈; 电动自行车

中图分类号: TP271 文献标识码: A 文章编号: 1007-855X(2009)01-0035-04

Design and Implementation of Digital Energy - Saving Controller for Electric Bicycle

ZHOU Jian-hua, LI Ying, ZHANG Can-bin

(Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract: A BLDCM controller used for electrical bicycle is proposed in this paper. The torque control and energy feedback methods for BLDCM are analyzed. Its software and hardware are designed based on an AT90PWM3 microcontroller. The experiments demonstrate that this controller is simple but enjoys reasonable dynamic and static performances. Moreover, the controller can achieve the purpose of energy - saving.

Key words: BLDCM; torque control; energy feedback; electric bicycle

0 引言

电动自行车驱动电机常用两种,一种是传统的有刷直流电机,另一种是无刷直流电机(BLDCM).由于无刷直流电机既有直流电机运行效率高、调速性能好等优点,又克服了有刷直流电机电刷带来的致命缺点,并且无刷直流电机成本低、维护方便,因此现在的电动自行车更多地采用无刷直流电机作为驱动电机.但目前电动自行车用无刷直流电机控制器主要采用专用集成电路及外围器件来构成,控制器结构复杂、控制不灵活、不能实现能量回馈控制.本文提出了一种新型的电动自行车用无刷直流电机控制器,控制器采用 AT90PWM3 单片机作为核心控制芯片,结构简单,控制灵活,实现了电机能量的回馈控制.

1 控制原理

控制器有两个控制目的:一是控制电机转矩,使之达到要求;二是当电动自行车刹车或下坡时,控制无刷直流电机把动能转化为电能回馈到蓄电池储存,达到节能的目的.两个控制目的分别对应控制器的电动运行和能量回馈两个状态,由开关来切换.

1.1 主电路

控制器主电路设计为星形连接三相桥式,采用二二导通三相六状态工作方式,主电路图如图 1 所示.

在图 1 中: $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6$ 为功率场效应管(MOSFET); U_s 为蓄电池; C_f 为滤波电容; R_c 为电流取样电阻; R_s 为电机定子每相绕组的电阻; L_M 为电机定子每相绕组的电感; e_a, e_b, e_c 为电机定子绕组的反电势.

收稿日期:2008-04-15. 基金项目:云南省教育厅科学研究基金项目(项目编号:6Z0062D).

第一作者简介:周建华(1965-),男,工学硕士,实验师.主要研究方向:运动控制及嵌入式系统.

E-mail:zhouyuj@sohu.com

根据各相绕组反电势波形与转子位置检测器霍尔状态之间的关系,可分析出无刷直流电机电动运行时霍尔状态、电机绕组通电顺序以及功率场效应管导通顺序的逻辑关系,如表1所示。

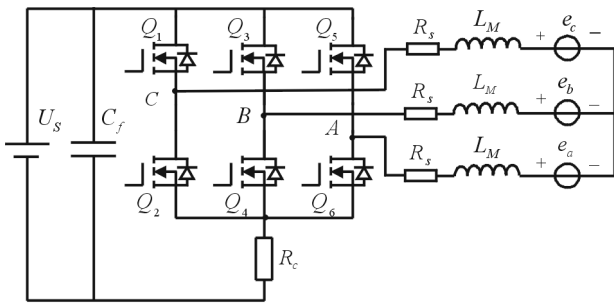


图1 控制器主电路

Fig.1 Main circuit of the controller

表1 电动运行时逻辑关系

Tab.1 Logic under electric - driven operation condition

霍尔状态			电机绕组 通电顺序	场效应管 导通顺序
C	B	A		
1	0	1	A - B	\$Q_5, Q_4\$
0	0	1	A - C	\$Q_5, Q_2\$
0	1	1	B - C	\$Q_3, Q_2\$
0	1	0	B - A	\$Q_3, Q_6\$
1	1	0	C - A	\$Q_1, Q_6\$
1	0	0	C - B	\$Q_1, Q_4\$

1.2 转矩控制

在不考虑换相过程及 PWM 波等因素的影响时,无刷直流电机的动态结构图可等效为如图2所示^[1]。在图2中:\$\alpha\$ 为 PWM 的占空比;\$U_s\$ 为蓄电池电压;\$R_s\$ 为定子每相绕组的电阻;\$T_l\$ 为绕组漏磁时间常数;\$n_p\$ 为电机磁极对数;\$i\$ 为绕组中的相电流;\$K_e\$ 为电机电动势的结构常数;\$J\$ 为电机转动惯量;\$T_e\$ 为电磁转矩;\$T_l\$ 为负载转矩;\$\omega\$ 为角速度。

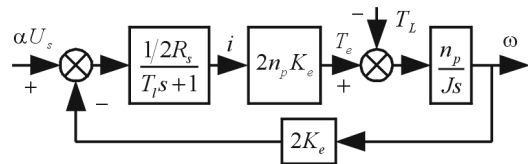


图2 无刷直流电机动态结构图

Fig.2 Block diagram of a BLDCM

从图2中可知,\$T_e = 2n_p K_e i\$,即电磁转矩与电流成正比,因此可通过控制电流来达到控制转矩的目的,控制器正是这样来实现的。

1.3 能量回馈

当转矩给定为0,而电动机仍以一定速度转动时(如停车或下坡时),电机绕组中会产生感应电动势,但产生的两相绕组间的线电压通常小于蓄电池电压(除非下坡时速度很快),不能对电池充电实现能量回馈。为了实现能量回馈,本控制器采取升压斩波的方法。

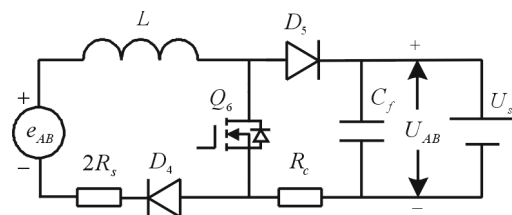


图3 等效升压斩波电路

Fig.3 Equivalent boost chopping circuit

为了说明问题,以 \$A, B\$ 绕组为例。\$A, B\$ 绕组与其它器件构成一个升压斩波电路,对照图1得等效升压斩波电路如图3所示。在图3中:\$e_{AB} = e_a - e_b\$;\$L\$ 为 \$A, B\$ 绕组自感与互感的综合电感;\$D_4\$ 为功率管 \$Q_4\$ 中的续流二极管;\$D_5\$ 为功率管 \$Q_5\$ 中的续流二极管。

由升压斩波原理^[2,3],忽略绕组电阻 \$2R_s\$ 上的损耗,可得公式

$$U_{AB} = \frac{1}{1 - \alpha} e_{AB} \quad (1)$$

在公式(1)中:\$\alpha\$ 为 PWM 的占空比。

根据公式(1)可知,只要控制施加于 \$Q_6\$ 管的 PWM 信号的占空比,就可控制电压 \$U_{AB}\$ 的大小。当 \$U_{AB} > U_s\$ 时,就可向蓄电池充电,从而实现能量回馈。分析其它绕组间的电压也可得出同样的结论。

根据各相绕组反电势波形与转子位置检测器霍尔状态之间的关系,可分析得能量回馈时霍尔状态与功率场效应管导通顺序的逻辑关系,如表2所示。

表2 能量回馈时逻辑关系

Tab.2 Logic under energy feedback condition

位置检测器霍尔状态			场效应管 导通顺序
C	B	A	
1	0	1	\$Q_6\$
0	0	1	
0	1	1	\$Q_4\$
0	1	0	
1	1	0	\$Q_2\$
1	0	0	

在能量回馈过程中,三相桥式主电路中的 Q_1, Q_3, Q_5 始终处于截止状态,只是 Q_2, Q_4, Q_6 根据电机转子位置状态轮流导通。

2 硬件设计

控制器采用 AT90PWM3 单片机及外围器件来实现,其硬件结构如图 4 所示^[4]。主要电路说明如下:

1) AT90PWM3 单片机:该单片机具有在线可编程的 8K 字节 Flash 存储器、内部 8MHz RC 振荡器、3 个电源阶段控制器(PSC)、3 个比较器、1 个模数转换器(ADC)、1 个数模转换器(DAC)、2 个计时器/计数器等,是控制器的核心控制芯片。

2) 驱动电路:主要器件采用 3 片 IR2101 集成电路,它们把单片机产生的 PWM 信号进行放大后,驱动功率场效应管。

3) 逆变器:功率场效应管(MOSFET)针对 800 W 以下无刷直流电机选用 P75NF75;滤波电容 C_f 为 220 μF 。

4) 电流检测电路:由串联在主电路中的取样电阻 R_c ,加上滤波电容组成。

它把电流转换为电压作为电流反馈信号,送到单片机 AMP0P 端,由单片机内部放大器进行放大再进行模数转换。取样电阻值根据主电路的最大电流、单片机内部放大器的放大倍数及模数转换器允许输入的最大电压来计算。控制器取样电阻为 30 m Ω 。

5) 过流检测电路:主要器件采用 LM393 集成比较器。比较器正输入端接电流检测电路输出端,负输入端接单片机的数模转换器输出端 D2A。当电流大到一定值时,比较器输出由低电平变为高电平,此高电平加到单片机输入端 PSCIN0,使 PSC 无输出,起到过流保护作用。通过设置 DAC 输出,达到设置过流值的目的。

6) 转子位置检测电路:由无刷直流电机内的 3 个霍尔元件,加上滤波电容组成。它提供的转子位置信号送到单片机的 3 个比较器。

7) 稳压电路:主要由集成稳压器 LM2575HV-ADJ 和 LM7805,加上外围元件组成。它把蓄电池电压 +48 V 降低,提供 +12 V 电压供给驱动电路,+5 V 电压供给单片机。

3 软件设计

控制器软件用 C 语言编写,采用模块化设计方法,用 ICCAVR 编译软件编译,用 Studio4.13 软件加在线仿真器进行程序调试和下载。

转矩控制采用闭环 PID 控制,而能量回馈控制采用开环控制。控制器主程序流程图如图 5 所示。

逆变器功率管的换相采用比较器的中断子程序来实现。当转子位置状态改变时产生中断,由中断程序判断此刻应该哪两个功率管导通,中断程序流程图如图 6 所示。比较器的中断优先级高于定时器 1 的中断优先级。

程序主要参数设置为:PWM 频率 $f_{\text{PWM}} = 8 \text{ kHz}$;ADC 时钟频率 $f_{\text{ADC}} = 2 \text{ MHz}$;过流值为 15 A;单片机内部模拟放大器放大倍数为 5 倍。

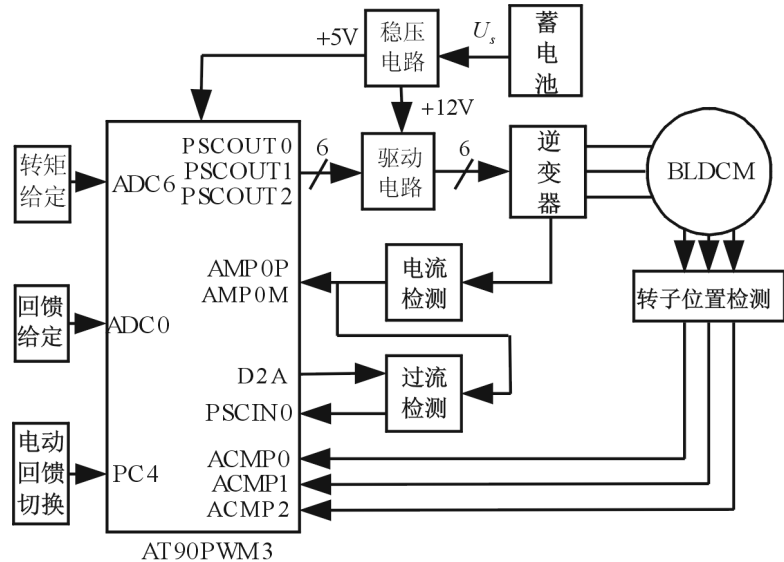


图4 控制器硬件结构

Fig.4 Hardware structure of the controller

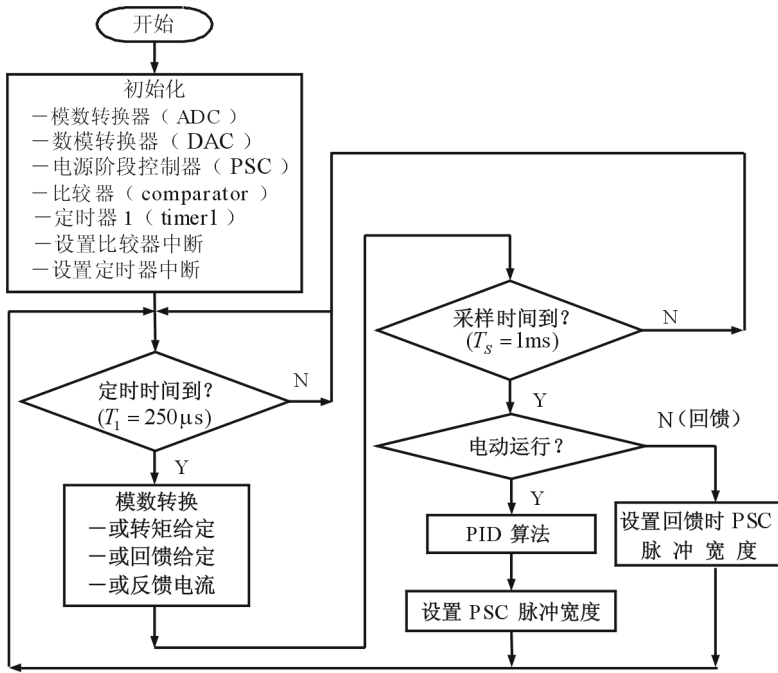


图5 主程序流程图
Fig.5 Flow diagram of main routine

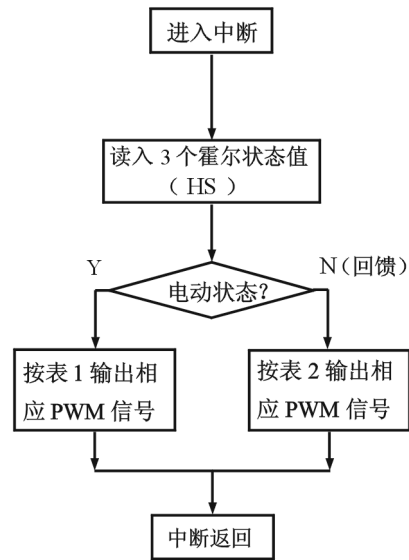


图6 比较器中断程序流程图
Fig.6 Flow diagram of interrupt routine for the comparator

4 实验分析

实验电机参数:额定功率 $P_e = 500\text{ W}$;额定电流 $I_e = 10\text{ A}$;额定电压 $U_e = 48\text{ V}$. 通过对控制器进行实测得到波形图 7~9.

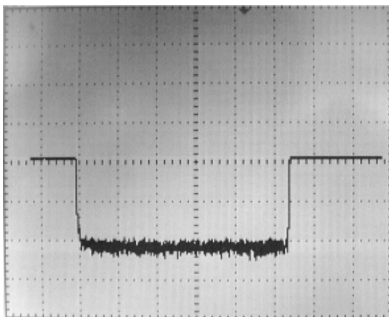


图7 堵转时电机电流波形
Fig.7 Current waveform of the BLDCM under stalling condition

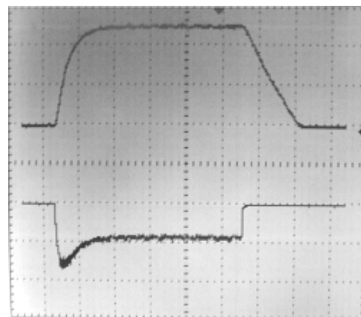


图8 电机转速及电流波形
Fig.8 Speed and current waveform of the BLDCM

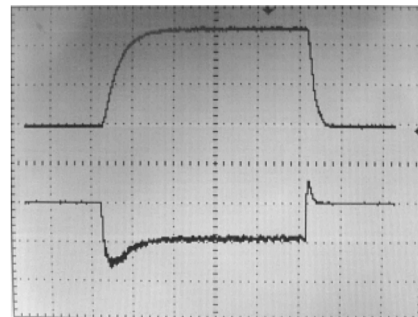


图9 有能量回馈时电机转速及电流波形
Fig.9 Speed and current waveform of the BLDCM with energy feedback

1)图7 波形:电机堵转情况下,突加转矩给定和突去转矩给定时的电机电流响应波形,堵转电流 $I_{dc} = 4.3\text{ A}$. 从波形可知,电机电流(或转矩)响应很快.

2)图8 波形:突加转矩给定和突去转矩给定时的电机转速和电流响应波形. 图中上波形为转速,稳定转速 $n = 1200\text{ r/min}$,下波形为电流,负载电流 $I_f = 4\text{ A}$.

3)图9 波形:突加转矩给定和突去转矩给定并切换到能量回馈状态时的电机转速和电流响应波形. 图中上波形为转速,稳定转速 $n = 1200\text{ r/min}$,下波形为电流,负载电流 $I_f = 4\text{ A}$. 从波形可知,能量回馈状态下,电流反向,电机产生反向制动转矩,并向蓄电池充电. 对比图8和图9中转速波形也可看出,能量回馈状态下转速下降比非能量回馈状态下转速下降快.

(下转第42页)

安全性.

5 结束语

在基于角色的访问控制模型基础上,论文提出了基于角色的分级授权访问控制模型,该模型成功运用在云南省大型科学仪器协作共用网络服务平台中,并在以下方面做出了一些崭新地尝试:首先,将用户、功能权限和访问数据进行分级,至上而下形成树状结构,方便查找是否存在用户级别—功能—数据级别之间的映射关系,有了这种映射关系,用户可以访问分级树中所指节点下的所有孩子节点;其次,在验证过程中,按照用户身份验证、功能模块权限验证和访问数据权限验证的顺序进行验证,环环相扣,在较大程度上增强了访问控制的安全性.基于角色的分级授权访问控制模型在企业应用管理中还有许多实际问题,为了实现访问控制更高的安全性,该模型需要进一步的研究.

参考文献:

- [1] PARK J, SANDHU R, AHN G. Role - Based Access Control on the Web[J]. ACM Transaction on Information and System Security, 2001, 4(1): 37 - 71.
- [2] 陈明忠. 基于角色访问控制模型的应用研究[J]. 天津工程师范学院学报, 2007, 17(2): 35 - 37.
- [3] MOFFETY J D. Control Principles and Role Hierarchies[C]. Proceedings of the 3rd ACM Workshop on Role - Based Access Control (RBAC'98). 1998: 91 - 101.
- [4] SEJONG OH, RAVI SANDHU. A Model for Role Administration Using Organization Structure[C]. The 7th ACM Symp on Access Control Models and Technologies (SACMAT 2002), Monterey, California, 2002.
- [5] JOSHI J B D, BERTINO E, LATIF U, et al. A Generalized Temporal Role - Based Access Control Model[J]. IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering, 2005, 17(1): 4 - 23.
- [6] BHATTI R, JOSHI J, BERTINO E, et al. Access Control in Dynamic XML - Based Web - Services with X - RBAC[C]. Proceeding of the First International Conference on Web Services, Las Vegas: CSREA Press, 2003: 23 - 26.
- [7] 张野, 方勇, 吕伟. 一种基于对象组的 RBAC 权限模型. 信息与电子工程[J]. 2007, 5(2): 2 - 4.

(上接第 38 页)

5 结论

对电动自行车用无刷直流电机控制器进行设计,最后用软硬件实现,并进行了性能实验.实验表明控制器动静态指标达到了设计要求,具有能量回馈控制功能,能达到节能目的,可用于电动自行车无刷直流电机节能控制.由于采用 AT90PWM3 单片机作为核心控制芯片,控制器结构简单,成本低,具有较广阔的应用前景.本控制器稍作改动,还可用于其它场合的无刷直流电机控制.

参考文献:

- [1] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 3 版. 北京:机械工业出版社,2006.
- [2] 黄俊,王兆安. 电力电子变流技术[M]. 3 版. 北京:电子工业出版社,1995.
- [3] 黄斐梨,王耀明,姜新建,等. 电动汽车永磁无刷直流电机驱动系统低速能量回馈制动的研究[J]. 电工技术学报,1995(3):8 ~ 10.
- [4] 孙建忠,白凤仙. 特种电机及其控制[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.