

电动自行车用经济型开关磁阻电动机驱动系统

周涛,詹琼华,王双红
(华中科技大学,湖北武汉 430074)

Economical Switched Reluctance Drive for Electric Bicycle

ZHOU Tao, ZHAN Qiong-hua, WANG Shuang-hong
(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

摘要:开关磁阻电机驱动系统(SRD)的特点决定了其非常适合于车辆负载。针对电动自行车应用的特点,介绍了基于单片机 ATmega8 和 GAL20V8 器件的控制方案,由此可方便地实施开关磁阻电机的 PWM 和 APC 的复合控制,经济可靠,有广阔的应用前景。

关键词:开关磁阻电机;电动自行车;ATmega8;PWM
中图分类号:TP273;TM341 **文献标识码:**A
文章编号:1004-7018(2006)05-0024-03

Abstract: Switched reluctance drive (SRD) is suitable for vehicle application. According to the characteristic of electric bicycle, a new control scheme based on microcontroller ATmega8 and GAL20V8 is introduced, which implements complex control methods of PWM and APC of switched reluctance motor easily. It is economical and reliable. It is expected for application for such low power system.

Keywords: switched reluctance drive; electric bicycle; ATmega8; PWM

1 引言

随着社会文明的发展,科学的进步,人类物质文化生活水平的提高和环保、能源意识的增强,社会呼唤着一种无污染、噪声低、操作简单、速度适中的个人交通代步工具。电动自行车作为一种理想的代步工具,自 20 世纪 90 年代初以来随着电池性能的提高得到了迅猛的发展。现有的电动自行车驱动电机主要是永磁直流电机,普遍存在以下问题:

(1) 电刷和换向器运行时易产生火花和碳粉阻塞而发生故障;

(2) 永磁材料使用一段时间以后会产生退磁现象。

开关磁阻电动机双凸极结构,无永磁,无电刷,无换向器,结构简单坚固,成本低廉,在宽广的调速和功率范围内都具有高输出和高效^[1~3],由此组成的开关磁阻电动机驱动系统(以下简称 SRD)为国家 863 电动汽车重大专项优选方案之一,在电动车驱动中展现出强有力的竞争力。SRD 在大功率

的电动汽车已研制成功^[4,5],在小功率的电动自行车的应用急待开发。本文针对开关磁阻电动机的应用特点,介绍了基于单片机 ATmega8 + GAL20V8 经济实用的控制方案,并进行了相关的设计研究。

2 电动自行车正常行驶的转矩要求

电动自行车在行驶过程中由电机输出转矩经传动系统传递给电动自行车驱动轮(前轮和后轮均可),则驱动轮所获得的转矩为:

$$T_d = j \eta T_m$$

式中: T_d 为驱动力矩, j 为传动比, η 为传动效率, T_m 为电机输出转矩。则电动自行车的驱动力为:

$$F_d = \frac{T_d}{D/2}$$

式中: D 为驱动轮直径,单位为 m。

电动自行车在行驶过程中会受到各种阻力,合称为电动自行车的行驶阻力,与自行车的驱动力相平衡,满足:

$$F_d = F_z$$

$$F_z = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$F_1 = Mfg \cos \alpha = (m_1 + m_2 + m_3)fg \cos \alpha$$

$$F_2 = C_d A V^2 / 21.25$$

$$F_3 = M g \sin \alpha = (m_1 + m_2 + m_3) g \sin \alpha$$

$$F_4 = M a = (m_1 + m_2 + m_3) a$$

式中: F_z 为总阻力, F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 分别为滚动阻力、空气阻力、爬坡阻力与加速阻力,单位为 N; M 为总质量, m_1 、 m_2 、 m_3 分别为车架质量、电池质量与载重,单位为 kg; f 为滚阻系数,取 0.014; g 为重力加速度, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$; C_d 为风阻系数,取 0.6; A 为迎风面积,取 0.55 m^2 ; V 为电动自行车的相对速度,单位为 km/h; α 为爬坡度,单位为度; a 为加速度,单位为 m/s^2 。

若自行车车架质量 $m_1 = 30 \text{ kg}$, 轮径 60.96 cm, 电池质量 $m_2 = 10 \text{ kg}$, 以标准载重 $m_3 = 75 \text{ kg}$, 匀速行驶,则对应不同坡度情况下的阻力-速度曲线如图 1 所示。

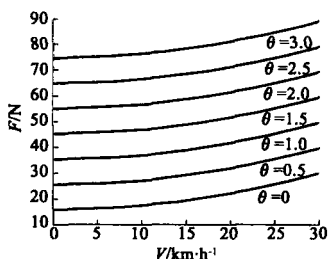


图 1 匀速行驶时阻力 - 速度曲线

若电动自行车由轮毂直接驱动,取 $j=1, i=1$, 有如下关系:

$$T_m = T_d = F_d \cdot (D/2)$$

$$V = 0.1885nD$$

式中: n 为电机转速,单位为 r/min 。相应的转矩 - 转速特性如图 2 所示。

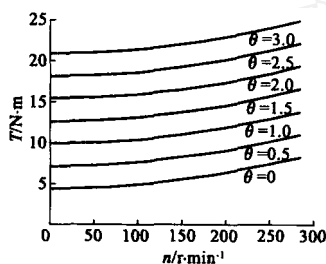


图 2 匀速行驶时电机转矩 - 转速特性

由图 1、图 2 可知,电动自行车在行驶的过程中,随着路况和行驶速度的变化负载变化大,因而要求驱动系统在宽广的速度和功率区间内保持高效率,同时要兼顾一定的动态性能,从而才能保证了电动自行车的整体性能。

3 系统组成

开关磁阻电机驱动系统 (SRD) 主要由开关磁阻电动机 (SRM)、功率变换器、控制器、传感器四大部分组成^[1],如图 3 所示。针对现有的电动自行车的结构特点,采用轮毂直接驱动的方式,结构简单。

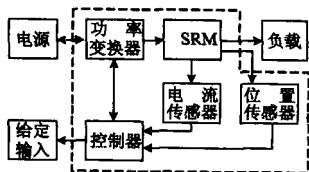


图 3 SRD 系统结构图

SRM 电机采用三相 6/8 极外转子低速电机,功率为 200 W,额定电压 36 V,电机几何参数如表 1 所示。

表 1 电机几何参数 (三相 6/8 极)

转子外径	转子内径	轴径	转子轴厚	定子轴厚	气隙	定子极弧	转子极弧
/m	/m	/m	/m	/m	/m	/(°)	/(°)
0.154	0.112	0.02	0.011	0.023	0.0003	18	19

功率拓扑采用常用的三相不对称半桥结构,运行可靠,控制灵活,便于在速度大范围变化时采取变角度控制,从而实现大的高效率区间和功率区间,也

便于实现馈电功能。开关管均采用低压等级的 MOSFET,续流回路由快恢复二极管构成。电流采用电阻取样的方式获得,位置传感与常用的光电编码器相同。由此应用的电机参数: $P_N = 200 W, U_N = 36 V$,电流按如下公式进行定额:

$$\hat{I}_s = \frac{P_N}{E_R U_N}$$

式中: \hat{I}_s 为占空比为 1/3 的平顶波电流幅值, E_R 为能量比率, η 为驱动系统的效率。取 $\eta = 0.75, E_R = 0.6$, 则 $\hat{I}_s = 12.35 A$,考虑一定的过载系数:

$$I_T = (1.5 \sim 2) \hat{I}_s = 18.52 \sim 24.69 A$$

$$I_{VD} = I_T / \sqrt{3} = 10.69 \sim 14.26 A$$

开关管和续流二极管的电压定额都按两倍的余量设计,即

$$U_T > 2U_N = 72 V$$

$$U_{VD} > 2U_N = 72 V$$

选用 FA RCH LD 公司的 FQP33N10 (100V / 33A) 为开关管, FFPF30U60S (600V / 30A / 90ns) 为快恢复二极管。

主控器件由 ATME L 公司的 AVR 单片机 ATmega8 构成。ATmega8 是 ATME L 公司 1997 年推出的 RISC 结构的单片机,机器周期即是指令周期,具有 1MIPS/MHz 的高速运行处理能力,最高处理速度为 16MIPS。片内集成了 Flash 8kB、E²PROM 512B 和 SRAM 1kB 三种不同性能和用途的存储器,集成了拥有丰富的功能模块如 10 位 A/D、PWM、捕获口 IC、SPI 等等,但由于采用小引脚封装 (为 DIP28 和 TQFP32),所以价格同低档的单片机相当,性价比很高^[6,7]。

4 控制器结构及具体实现

4.1 控制策略

开关磁阻电机的常用控制方案^[1,2]: 电流斩波控制 (CCC)、电压 PWM 控制,角度位置控制 (APC)。电流斩波控制的实现可以由软件实现,也可以由硬件实现。软件实现需要处理器有快速的 A/D 和处理能力,硬件实现需要有 D/A 的支持,无论哪一种方案,都要付出昂贵的代价,对于小功率的电动自行车驱动系统,经济、可靠是其设计的重点,因而系统采用基于电压 PWM 的控制方案。

经上述的讨论,电动自行车在运行的过程中负载变化比较大,电动自行车对功率输出和效率的要求不仅仅是额定运行点,而是要求电机在运行的过程中有较大的功率区间和高效率区间。把电机在不同的运行工况下进行效率优化,得到一组 ($\alpha_{on}, \alpha_{off}$),

利用 APC 控制实现,从而实现驱动系统的高性能。

4.2 具体实现

整个控制器由 ATmega8 和 GAL20V8 组成,单片机对来自各方面的信息进行综合处理,如图 4 所示。GAL20V8 对输出的控制信号进行逻辑综合,实现电动自行车调压调速的功能。

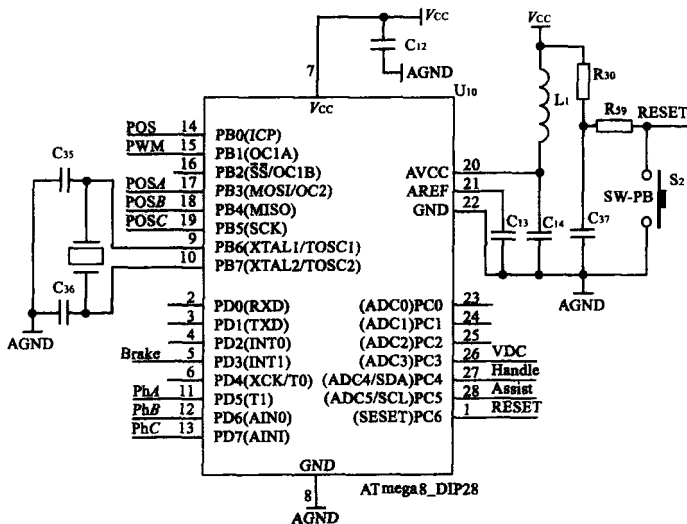


图 4 主控器件的外围接口图

三相位置信号 POSA、POSB、POSC 在 GAL 里进行异或运算得 POS,单片机通过捕获口 ICP 对位置 POS 的边沿进行采样,根据位置编码的对应关系 (POSC ~ POSA) 在 PD 口置相应的相导通信号 (PhC ~ PhA)。ICP 口通过每次边沿的采样间隔获得位置信号 POS 的频率,从而得到电机运行的速度,它们的对应关系为

$$f_{POS} = 3 \times \frac{nN_r}{60}$$

此采样间隔也为开关磁阻电机的位置定位提供了参考,为实现开关磁阻电机的 APC 控制提供了基础。

调压调速 PWM 的产生基于手柄信号 (Handle) 和助力信号 (Assist) 的大小来决定 PWM 的脉宽,具体实现由 ATmega8 的 T/C1 实现。ATmega8 的 T/C1 有产生 PWM 的模块,不占用 CPU 资源,可产生 8 位、9 位和 10 位 PWM,相位和频率都可调,方便地实现调压调速功能。

单片机对外部的信号如刹车信号 (Brake)、电压采样信号 (VDC) 等等进行处理,实现系统应有的保护如欠压保护和显示。此系统的过流保护和过流保

护由硬件实现,某一相 (A 相) 电路如图 5 所示。电流采样值经低通滤波后,由运放放大,输入硬件滞环电路和过流保护电路,分别输出调制信号 APWM 和过流信号 OC 至 GAL20V8, I_{cr} 为过载电流值, I_L 为过流设定值。过流信号在 GAL20V8 进行锁存,与其他信号逻辑综合后得到某一相 (A 相) 上下管的驱动信号 PWM_1 、 PWM_2 :

$$PWM_1 = phA \& OC \& APWA$$

$$PWM_2 = nhA \& OC \& APWA \& PWM$$

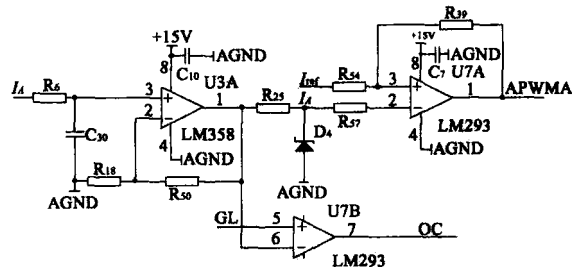


图 5 过载保护及过流保护

5 结 语

由 ATmega8 + GAL20V8 组成的控制器容易实现开关磁阻电机的电压 PWM 和 APC 复合控制,可实现经济可靠的开关磁阻电机驱动系统,特别适合于小功率的电动自行车驱动系统,有很大的应用前景。

参考文献

- [1] 詹琼华. 开关磁阻电机 [M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1992
- [2] 王宏华. 开关型磁阻电动机调速控制技术 [M]. 北京:机械工业出版社, 1995
- [3] 刘迪吉. 开关磁阻调速电动机 [M]. 北京:机械工业出版社, 1994
- [4] Kalan BA, Lovatt HC, Prout G Voltage control of switched reluctance machines for hybrid electric vehicles [J]. ESC Record - IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference, 2002 (4): 1656 ~ 1660
- [5] Wang Shuanghong, Zhan Qionghua, Ma Zhiyuan, et al Implementation of a 50 - kW four - phase switched reluctance motor drive system for hybrid electric vehicle [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2005, 41 (1): 501 ~ 504
- [6] 马潮, 詹卫前, 耿德根. ATmega8 原理及其应用手册 [M]. 北京:清华大学出版社, 2003

为进一步提高本刊的编辑质量,请您对此文在读者服务卡上圈上数字代码:

有价值,请圈 19;没有价值,请圈 20.

- [3] 叶云岳. 直线电机原理与应用 [M]. 北京:机械工业出版社, 2000

为进一步提高本刊的编辑质量,请您对此文在读者服务卡上圈上数字代码:

有价值,请圈 17;没有价值,请圈 18.

(上接第 23 页)

参考文献

- [1] 刘文泽,冯顺萍. 电梯门机控制系统的运行曲线设计 [J]. 工业控制, 2003, 11 (11): 853
- [2] 腾泓虬,余天才,方昌始等. 采用 DSP 和 IPM 控制的电梯门机控制系统 [J]. 兵工自动化, 2004, 23 (3): 72 ~ 74