

S3C44B0X 在无刷直流电动机控制中应用

常新海, 张 朋

(东南大学 电气工程系, 江苏 南京 210096)

摘要:介绍了一种以 S3C44B0X 为控制核心, 并加上实时操作系统 $\mu\text{COS-II}$, 在精简结构基础上形成的新型稀土永磁无刷直流电动机控制系统, 给出了系统的硬件构成和软件设计方案。系统省去了电机专用控制芯片, 因此结构简单、控制性能优越; 采用光耦器件, 保证了信号的稳定与正确。经改装应用到电动自行车上, 实践证明控制性能好、可靠性高。

关键词: 无刷直流电动机; ARM; S3C44B0X

中图分类号: TM 36+1

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2006)02-0080-03

稀土永磁无刷直流电动机及其驱动器作为新兴电子技术和电机技术相结合的产物, 具有直流电动机优良的启动和调速特性(启动转矩大、启动电流小、调速范围宽), 却不存在普通直流电动机的机械电刷与换向器这一严重缺陷^[1]。由于它还具有单位体积输出功率大、效率高、功率密度大、调速性能好等一系列优点, 因此在许多领域得到广泛应用。在 BCD-245 型变频电冰箱上应用可节能 25%。

ARM(Advanced RISC(Reduced Instruction Set Computer 精简指令集计算机)Machines)结构的关键优点是能兼顾到高性能、低功耗、低价格等方面, 在低功耗(MIPs/W)方面具有业界领先性能, 例如 ARM7TDMI 内核提供高达 4000 MIPs/W 的低功耗特性。而采用 ARM 结构的 S3C44B0X 具有三级流水线, 主频达 66 MHz, 片上的 Thumb 协处理器在保证性能前提下代码密度最大。

1 硬件构成

1.1 S3C44B0X 特点

通过提供一整套通用外围设备, S3C44B0X 减少了系统成本, 降低了配置额外器件的需要。它具有

外部存储器控制器; 8kB 缓存; 2 个带握手功能的 UART/1 个 SIO; 5 个 PWM 定时器/1 个内部定时器; RTC; 8 通道 10 位 ADC; 1 个多主 II C-BUS 控制器; 1 个 II S-BUS 控制器; 1 个 32 位硬件乘法器^[2]。它采用一种新的总线结构 SAMBA II (SAMSUNG ARM CPU embedded Microcontroller Bus Architecture), 同时把 ARM 7 的指令系统与 Thumb 相结合, 减少了存储器容量, 降低了系统成本。片上 ICE 中断调试支持 JTAG 调试方式, 使系统设计更容易^[3]。S3C44B0X 自带 LCD 控制器, 既降低了增加硬件的成本, 又简化了系统结构, 使系统更稳定。

S3C44B0X 支持新的中断处理模式: 向量式中断模式(vectored interrupt mode)。在多个中断请求发生时, 由硬件优先级逻辑判断应该由哪个中断得到服务, 同时硬件逻辑使中断向量的跳转指针加载到 0X18(或 0X1C)位置, 在该位置执行跳转指令使程序跳到相应的中断服务线程。因此, 相对于传统的 ARM 软件方法能够大大减少中断进入延时^[4]。

1.2 系统组成框图

系统框图如图 1 所示。

本系统采用数字化精确控制的 PWM 波对无刷直流电动机进行控制。键盘上有 4 个按钮: 启/停、

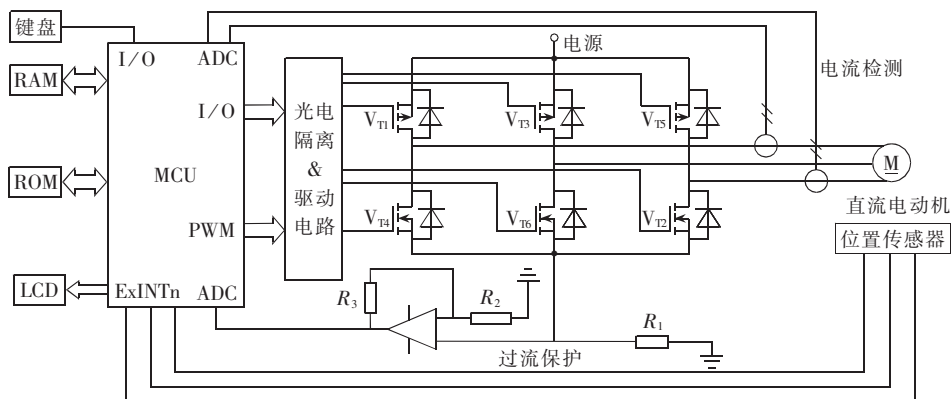


图 1 系统硬件组成框图

Fig.1 Block diagram of system hardware structure

加速、减速、正/反转。在启动阶段,为限制启动电流在一定的范围内,需要根据电流的变化调整施加电压的大小。这对控制器的性能提出了要求,而 32 位的 S3C44B0X 主频达到 66 MHz,更是具有加载其上的实时操作系统 $\mu\text{COS-II}$,能够处理任何实时信号。当加速时,控制器调加大 PWM 脉冲的占空比,即在 TCNTBn 不变情况下,增大 TCMPBn。通过调整脉冲宽度控制 MOSFET 的开关时间,实现对无刷直流电动机转速的控制。

保护隔离电路是该系统的重要组成部分。其首要任务是防止核心器件 S3C44B0X 受到高电压、强电流冲击,同时也保护电源、电动机驱动电路与电动机本身。整个电路的隔离保护分为 3 个部分:电源隔离、信号隔离、逆变保护。

电源隔离选用内部带隔离变压器的 DC/DC 变换器 MAX 5035,把 24V 直流电压转换成 3.3V 电压,24V 电源供应逆变电路及电动机,3.3V 电源经 AS 1117 变换器转换成 2.5V 电压后与 3.3V 电源一起提供给控制电路。这样当逆变电路部分出现异常情况时,不会经过电源影响到控制电路。

信号隔离电路主要是把控制电路和逆变电路隔离开,使逆变电路的扰动不会影响控制电路的正常工作。此处使用了光电隔离器件。

逆变保护电路包括输出端短路保护和过电流保护。当输出端短路时,电流检测电路探测到瞬时大电流信号,立刻通过 MCU 切断 6 路输出,直到故障排除。当主回路出现过电流时,通过过流检测电阻测得的电压值,经过 MCU 数字运算关断 PWM 输出直到下次检测值恢复正常。图中过流时,经电阻 R_1 转换成电压信号,经过放大器放大后送入控制器的模/数转换单元,经控制器判断后切断 PWM 输出。

1.3 光电隔离及驱动电路

选用 PC817 作为上 3 路 P 沟道 MOSFET 光隔,6N137 作为下 3 路 PWM 光隔。由于 6N137 响应时间只有几纳秒,而 S3C44B0X 的 PWM 最快响应速度也要 $7.75\ \mu\text{s}$ (58.6 kHz),且 6N137 的输出电压达到最高 7V,满足 MOSFET 的要求。由于 PC817 的响应时间为几十微秒,而输出最高电压达 35V,所以选用作为上 3 路的开关驱动器。

1.4 MOSFET 逆变电路

转子采用三相 Y 型连接,逆变器为三相桥式结构。上桥臂元件 V_{T1} , V_{T3} , V_{T5} 给各相绕组提供正相电流,产生正向电磁转矩;下桥臂元件 V_{T4} , V_{T6} , V_{T2} 给各相绕组提供反向电流,在相同极性转子永磁磁场作用下将产生反向电磁转矩。

功率开关元件通电方式采用两两通电方式。每个瞬间各有不同相的上、下桥臂元件导通,每个功率开关元件导通 $1/3$ 周期 (120° 电角度),每隔 $1/6$ 周期 (60° 电角度)换流一次。由于任一时刻均有一上桥臂元件导通使某相绕组获得正向电流产生正转矩,又有一下桥臂元件导通使另一相绕组获得反向电流产

生负转矩,此时的合成转矩应是相关相绕组通电产生的正、负转矩的矢量和。可见,合成转矩是一相通电时所生成转矩的 $\sqrt{3}$ 倍,每经过 1 次换相合成转矩方向转过 60° 电角度,1 个输出周期内转矩要经历 6 次方向变换,从而使转矩脉动少于三相半控桥电路。

1.5 电流检测

由串接在电路中的霍尔电流传感器提供的与电流大小成正比的电压信号(由于 $I_a + I_b + I_c = 0$,所以只取 2 路电流来检测),经过 A/D 转换成数字信号并还原为电流值,由 CPU 与给定的参考电流值一起控制 PWM 脉宽,从而产生新的 PWM 波,如图 2 所示。

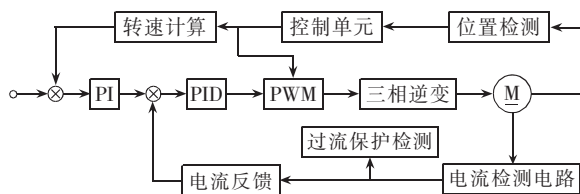


图 2 速度、电流双闭环系统框图

Fig.2 Dual close-loop control system of speed and current

1.6 转子位置及转速测定

本系统所用无刷直流电动机带有 3 个霍尔传感器,与 S3C44B0X 芯片的 ExINT0~2 相连,用来捕捉传感器的输出信号。霍尔传感器输出 3 个相互交叠的 180° 的信号,通过检测这些信号的上升与下降沿,可以得到 6 个换相点,产生中断,调用相应的中断处理程序即可控制 MOSFET 的开关。

转速也可由霍尔传感器输出的信号经过计算得到。如前所述,电动机转子每转 1 周就可以得到 6 个换相信号,即每 2 个换相信号相差 60° 电角度。由于速度可以表示为 $d\theta/dt$,只要再测出每 2 个换相点之间的时间差,就可以由此式算出转速。

2 软件设计

2.1 系统控制策略方框图

采用电流、速度双闭环控制,内环为电流环,根据检测得到的反馈电流信号与给定电流信号相比较,其差值通过一定的 PID 算法,得到新的参考电流,去控制下一步 PWM 的占空比,实现电流调节^[5]。外环为速度环,由电动机位置检测出来的信号经过 S3C44B0X 芯片计算得出转速,与给定转速相比得出差值,经 PI 运算得到下一步的电流值,再和电流环的值相减去控制 PWM。如图 2 所示。

2.2 嵌入式实时操作系统

在本嵌入式应用中使用实时操作系统(RTOS),是因为 RTOS 将应用分解成多任务,简化了应用系统软件设计;RTOS 使控制系统的实时性得到保证,可以接近理论上能达到的最好水平;良好的多任务设计,有助于提高系统的稳定性与可靠性。

其次,如果不用 RTOS,而是直接用 ARM 或 THUMB 指令编程,则不但语言晦涩难懂,日后维护也相当不便,更不能移植;应用 RTOS 后,程序简单清晰、便于维护,又由于是用 C 语言编写,可以在稍做修改甚至不修改的情况下移植到其他系统上。

由于 RTOS 的商业软件价格昂贵,著名的商业 RTOS 需几万美元,而且其中大部分是不提供源代码的,即所谓的黑盒子,不便于学习和使用。本系统选用的 $\mu\text{COS-II}$ 实时操作系统,是一款开源代码的免费实时内核,已在各个领域得到了广泛应用。它代码尺寸小、结构简明、可移植性好(portable)、可裁剪(scalable)、占先式、任务多,且性能稳定可靠^[6]。

首先,要编写控制器的 bootloader。因为,基于 ARM 的芯片多数为复杂的片上系统,这种复杂系统里的多数硬件模块都是可配置的,需要由软件设置其需要的工作状态。因此,在用户的应用程序之前,需要由专门的一段代码完成对系统的初始化。由于这类代码直接面对处理器内核和硬件控制器进行编程,一般使用汇编语言。

然后,当系统硬件初始化配置后,bootloader 便把系统控制权交给 C 程序(在这里是 $\mu\text{COS-II}$ 操作系统)。整个控制系统由主程序、LCD 显示程序和中断服务子程序组成。主程序主要完成事件管理系统的初始化、变量的初始化以及 LCD 的初始化等。LCD 显示程序主要完成转速的实时显示以及可通过按键产生的时间为 5s 的电压实时显示功能。

中断程序主要包括相中断、A/D 转换结束中断、PWM 定时器中断等。当转子到达一个新位置时,转子位置传感器产生 1 个触发信号,调用中断,产生换相信号。当电流采集信号经 ADC 转换结束时,产生 1 个中断信号,计算出下一步的占空比数值。在 PWM 定时器中断内,将这个数值写入 TCMPBn 寄存器,作为下 1 个脉冲占空比值。当检测到电流超出警戒值时,立刻产生 1 个优先级最高的 FIQ 中断,停止一切操作,直到故障排除。

3 结语

本文介绍了一种以基于 ARM7TDMI 核心的 S3C44B0X 芯片控制无刷直流电动机的方法。经改

装应用到电动自行车上后,效果良好,充分体现了高实时性和高可靠性。由于该芯片控制能力强、主频高,又融入了 DSP 的部分性能(如 32 位硬件乘法器),是控制无刷直流电动机的理想器件。再加上片上集成功能较多,在不需要添加什么硬件的基础上就可以与外界通信。如片上有 1 个 LCD 控制器(最大支持 256 STN,使用 LCD 专用 DMA),这样就可以直接连接液晶显示器。为今后开发带有液晶屏的智能型网络冰箱、洗衣机、微波炉等奠定了良好的基础。

参考文献:

- [1] BAI Hao, CUI Jian-hua, XU Xiao-hui. Research and prospect of permanent magnet brushless DC motor controller[J]. *Mechanical & Electrical Engineering Magazine*, 2004, 21(4): 59-61.
- [2] 王田苗. 嵌入式系统设计与示例开发[M]. 2 版. 北京:清华大学出版社, 2003.
- [3] Samsung. S3C44B0X user's manual[EB/OL]. (2003-07-03)[2004-10-21]. http://www.samsung.com/products/semiconductor/systemLSI/mobilesolutions/mobileASSP/mobile_computing/S3C44B0X/S3C44B0X.htm.
- [4] 张争争,任永德,谢宝昌. 基于 DSP 的无刷直流电动机控制系统[J]. *微特电机*, 2001(2): 34-36.
ZHANG Zheng-zheng, REN Yong-de, XIE Bao-chang. BLDC motor control system based on DSP[J]. *Small & Special Electrical Machines*, 2001(2): 34-36.
- [5] 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, 2002.
- [6] 邵贝贝. 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{COS-II}$ [M]. 2 版. 北京:北京航空航天大学出版社, 2003.
- [7] 杜春雷. ARM 体系结构编程[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
- [8] 俞建新,贾世祥,断卫然,等. 嵌入式应用程序开发综合试验 9 例[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.
- [9] 张琛. 直流无刷电动机原理及应用[M]. 北京:机械工业出版社, 1996.

(责任编辑:柏英武)

作者简介:

常新海(1978-),男,江苏张家港人,硕士研究生,研究方向为电子与嵌入式系统 (E-mail: my_your_chang@163.com; my_your_chang@msn.com);

张朋(1946-),男,山东东阿人,教授,研究方向为电力电子与嵌入式系统。

Application of S3C44B0X in brushless DC motor control

CHANG Xin-hai, ZHANG Peng

(Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: A new type of rare-earth permanent magnet brushless DC motor control system is introduced, which uses S3C44B0X as its control core and $\mu\text{COS-II}$ as the real-time operating system. The hardware construction and software design are described. Having removed the special control chips of motor, the system is simple and predominant in control performance. The optical coupler is adopted to ensure signal stable and correct. Its application in electric motor-bicycle proves its excellent control performance and reliability.

Key words: brushless DC motor; ARM; S3C44B0X