

基于 STM32F103 的双轴交流伺服系统*

黄智聪, 宋 宝, 唐小琦

(华中科技大学 机械科学与工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:针对传统单轴交流伺服系统存在体积大和成本高的问题,为满足工业自动化行业对结构紧凑型伺服驱动的需要,设计了一种全数字双轴永磁同步电机伺服系统。在分析了伺服系统实现原理和硬件方案的基础上,该系统充分利用了 STM32F103 的 2 个高级定时器、3 个高速 AD、2 个正交编码器接口等丰富的片上资源,采用了单个 STM32F103 为主控制器,以两块智能功率模块(IPM)为功率电路,使系统结构紧凑。实验结果表明,该双轴驱动器的性能能够满足实际使用的需求。

关键词:双轴交流伺服系统;永磁同步电机;STM32F103

中图分类号: TP23; TH39

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)11-1290-04

Dual axis AC servo system based on STM32F103

HUANG Zhi-cong, SONG Bao, TANG Xiao-qi

(1. School of Mechanical Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Aiming at the problems of large volume and high cost on traditional single-axis servo drive, to meet the needs of servo drive with a compact structure in the industrial automation market, a dual-axis digital permanent magnet synchronous motor(PMSM) servo system was designed based on a single STM32F103. Two advanced control timers, three high speed AD, two quadrature encoders and other on chip resources were used. Two IPMs were constructed as the parallel inverter. Synchronous control algorithm was also designed in the program. The system is compact, and the experimental results show that the performance of this dual axis servo drive can meet the requirements in the application.

Key words: dual-axis AC servo system; permanent magnet synchronous motor(PMSM); STM32F103

0 引 言

随着交流伺服驱动在工业自动化控制中的应用越来越广泛,快速增长的工控市场对交流伺服系统的体积、性能和成本也提出了更高的要求。目前,市场上普通的伺服驱动器基本上都是单轴的,大部分是基于“DSP + FPGA”的结构,DSP 和 FPGA 共同协调完成电机控制、保护信号处理、输入指令响应、扫描按键显示等功能,结构复杂而且成本高。因此,研究具有结构紧凑、高性能和低成本的伺服系统具有广阔的市场前景^[1-2]。

本研究设计一种双轴交流伺服驱动器,采用 STM32F103 系列芯片作为主控制器,双智能功率模块

(IPM)为主电路,构成一种新型的、结构紧凑、使用性强的双轴伺服驱动系统。本研究首先设计双轴交流伺服驱动器的硬件平台,结合三相永磁同步电机的数学模型和矢量控制原理,设计双轴伺服软件控制算法,并给出实验结果和分析^[3]。

1 双轴交流伺服驱动器硬件平台

双轴交流伺服驱动器具有单驱动、双轴驱动的功能。该驱动器硬件部分由控制电路和功率电路两部分组成。驱动器采用 STM32F103 系列芯片作为主控制器,双智能功率模块(IPM)为主电路,系统电源输入为三相 220 V,控制电源均为单相 220 V 输入。总体硬件结构图如图 1 所示。

收稿日期: 2012-05-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50905069); 国家科技重大专项资助项目(2012ZX04001022); 国家高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20090142120035)

作者简介: 黄智聪(1987 -),男,广东佛山人,主要从事数控技术、伺服驱动技术、能量管理技术方面的研究. E-mail: zhiconghuang@qq.com

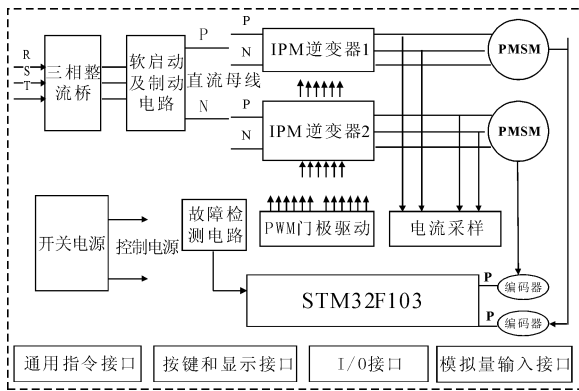


图 1 系统结构图

控制电路用一片 STM32F103 系列的芯片作为控制器,在保证系统实时性要求的前提下完成伺服驱动系统的所有功能,包括双轴电机驱动控制、I/O 指令信号处理、按键和显示等。STM32F103 系列的芯片内核频率高达 72 MHz,1.25 DMips/MHz 的运算能力,支持单周期硬件乘法。同时,STM32F103 具有用于运动控制的所有外设,包括 2 个高级定时器、2 个正交编码器捕获模块、2 个 12 位精度的 A/D 和高达 80 多个 I/O。STM32F103 系列的芯片满足双轴永磁同步电机的控制。在该系统中,高级定时器实时输出高精度 PWM 脉冲、正交编码器捕获编码器信号,A/D 采样电机相电流,其他 I/O 完成指令输入输出,故障报警检测和按键显示灯功能^[4]。

功率电路采用 AC-DC-AC 的常规拓扑结构,前级二极管不控整流,后级 IPM 逆变驱动电机。为了让驱动器的结构更加紧凑、外围驱动电路更加简单可靠,本研究采用自举升压设计驱动 IPM。自举升压的原理如图 2 所示。驱动上桥臂 IGBT 的电源是通过在下桥臂开通时对电容充电的电源。本研究采用自举升压原理的驱动方法,只需要一路驱动电源就可以实现两路上下桥臂的驱动,使得控制电路和功率电路可以在没有光耦隔离的条件下稳定工作,这种设计简化了功率驱动电路及其电源设计,让驱动器结构更紧凑、成本更低。

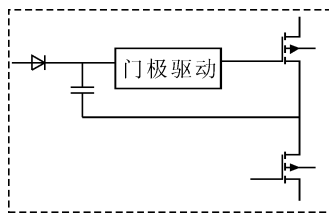


图 2 自举升压原理示意图

IRAMS10UP60A 是美国 IR 公司推出的一款智能功率模块,内置了温度监视、过温/过流保护及具有短路保护能力的 IGBT 和欠压锁定功能。该模块还集成了高压

侧驱动器所需的自举二极管,以及用于驱动内部电路的单极性电源,具有结构紧凑,外围电路简单的特点^[5]。

2 双轴伺服矢量控制理论

三相永磁同步伺服电动机的结构模型如图 3 所示。定子绕组在空间上互差 $2\pi/3$,转子由永磁材料制成。 ABC 为定子静止坐标系, d 轴为固定在转子励磁磁通 ψ_f 方向上的坐标轴, q 轴超前 d 轴 $\pi/2$, dq 轴随转子同步转动构成 dq 坐标系。为了实现永磁同步电机的解耦控制,本研究通过坐标变换在 dq 坐标系下建立数学模型^[6-8]。

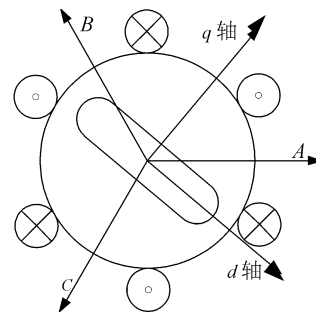


图 3 三相永磁同步电机的机构模型

对于面装式永磁同步电机,其数学模型有如下的表达式:

$$\begin{cases} u_q = R_s i_q + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega L_d i_d + \omega \psi_f \\ u_d = R_s i_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega L_q i_q \\ T_e = P_n \psi_f i_q \\ T_e = J \frac{d(\omega/P_n)}{dt} + R_\Omega \frac{\omega}{P_n} + T_l \end{cases} \quad (1)$$

式中: L_d —电机直轴同步电感, L_q —电机交轴同步电感, ω —电角速度, R_s —定子相电阻, P_n —极对数, i_d — dq 坐标系下直轴电流, i_q — dq 坐标系下交轴电流, ω_r —机械角速度, T_e —电磁转矩, T_l —负载转矩, J —电机轴惯量, R_Ω —阻尼系数, θ_r —机械位置。

根据三相永磁同步电机的数学模型和矢量控制原理,永磁同步电机的控制框图如图 4 所示。该系统对所需实现的功能进行分模块设计,每一个模块完成一个特定的功能,控制任务通过实时调用功能模块实现。

本研究设计的双轴伺服驱动器,通过 STM32 的通用定时器模块接收位置指令,正交编码模块接收编码器反馈的正交脉冲,高级定时器产生 PWM 脉冲驱动 IPM,其他算法的实现均在高速内核中进行。

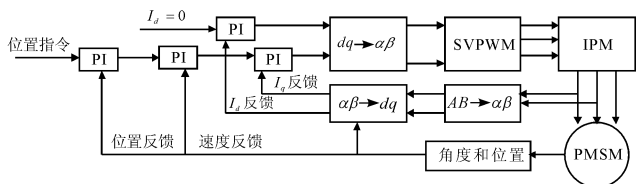


图 4 永磁同步电机的控制框图

3 双轴伺服驱动软件设计

双轴伺服驱动的软件设计主要分为两部分：主程序设计和中断程序设计。主程序主要完成实时性要求不高的任务处理，软件流程图如图 5 所示。例如：芯片时钟外设初始化、I/O 指令信号输入输出处理、故障检测、按键响应和数码管显示等^[9-10]。

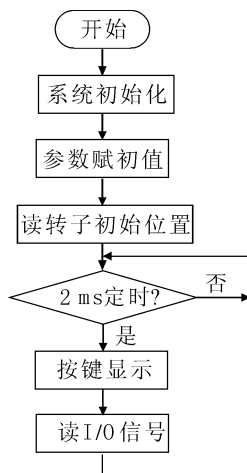


图 5 主程序的软件流程图

中断程序完成实时性要求高的双轴三环控制，软件流程图如图 6 所示。为了保证双轴控制的同步性，软件上把分配 PWM 脉冲的两个高级定时器同步级联，在同一个定时中断读取电机的相电流和位置信息，进行坐标解耦计算和周期性的电流、速度、位置的调节计算，刷新输出 PWM 的占空比。为了保证两个电机轴的独立工作，指令接收和三环控制都是独立的，互不干扰，同时用户也可以通过菜单的设定，让两个电机轴同步接收指令，同步工作^[11-12]。

4 实验结果及分析

为了验证驱动器的性能，系统选取两台华大电机厂生产的永磁同步电机作为控制对象。型号为 80ST-M01330LBB，转矩为 1.3 N·m，额定转速为 3 000 r/min，额定功率 0.4 kW，2 500 线的正交编码器作为反馈。控制电流环调节周期 100 μs，速度环和位置环调节周期 500 μs。

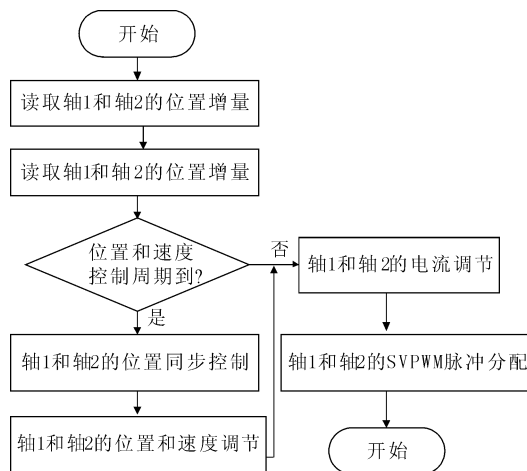


图 6 中断事件的软件流程图

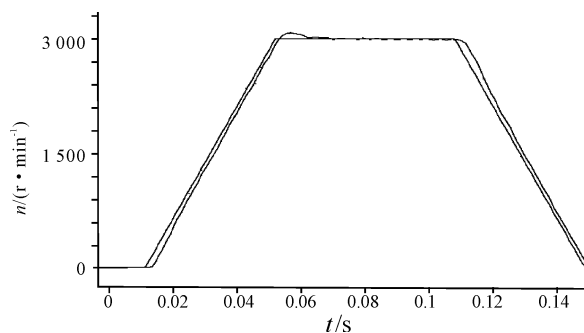


图 7 轴 1 速度跟踪实验

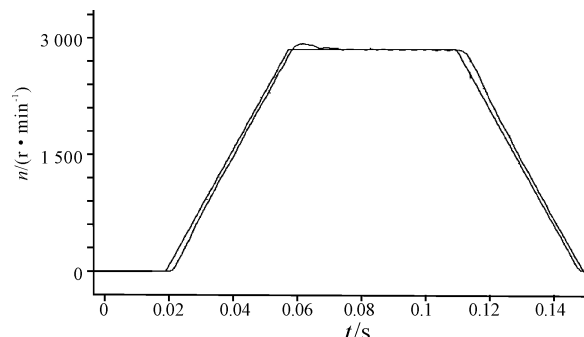


图 8 轴 2 速度跟踪实验

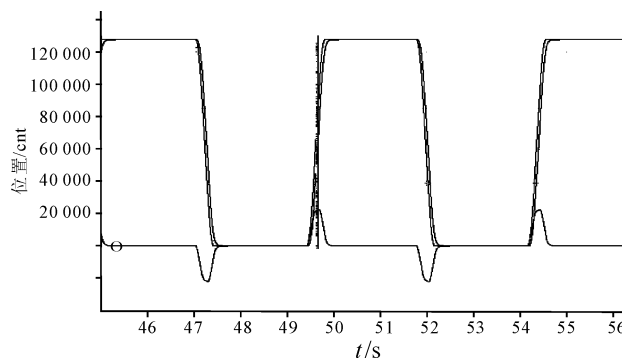


图 9 轴 1 位置跟踪实验

轴 1 和轴 2 的速度跟踪实验如图 7、图 8 所示，图中实线为给定的梯形速度指令，虚线为速度响应曲线，

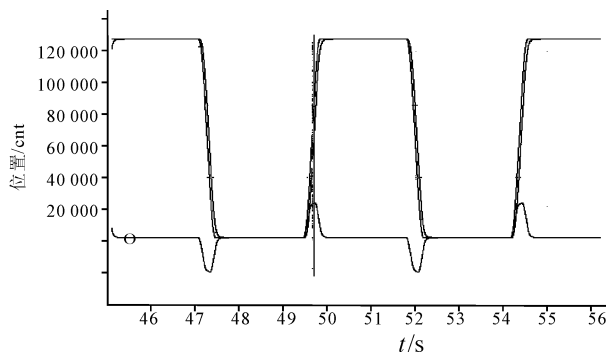


图 10 轴 2 位置跟踪实验

两个轴都能良好地跟踪速度指令。轴 1 和轴 2 的位置跟踪实验如图 9、图 10 所示,图中实线为给定位置指令,虚线为位置响应曲线,两个轴都能良好跟踪位置指令。实验结果表明该双轴永磁同步电机驱动器速度同步跟踪误差和位置同步跟踪误差都满足使用要求,同时通过负载实验和实际应用,也说明该系统具有较好的性能和可靠性。

5 结束语

本研究提出的基于 STM32F103 的双轴永磁同步电机伺服驱动系统方案,充分利用了 STM32F103 的片上外设资源,控制板使用单个控制芯片,功率电路使用自举升压原理驱动 IPM 以简化外围电路,使整个驱动器结构更加紧凑,同时能同步驱动两轴电机。

实验结果表明,该双轴驱动器的性能满足实际使用的需求,后续研究的重点是改进其双轴同步算法。

参考文献 (References):

- [1] 肖明,伍衡. CIMT2011 国产数控系统展品综述[J]. 制造技术与机床,2011(8):69-72.

- [2] 中国机床工具工业协会数控系统分会. 第六届中国数控机床展览会(CCMT2010)国产数控系统展品综述[J]. 世界制造技术与装备市场,2010(4):41-49.
- [3] 赵希梅,郭庆鼎. 交流伺服控制系统的发展现状及其研究热点[J]. 伺服控制,2010(1):15-16.
- [4] STMicroelectronics Corporation. Reference Manual RM0008 [EB/OL]. [2011-10-01]. http://www.st.com/inter-net/com/technical_resources/technical_literature/reference_manual/cd00171190.pdf.
- [5] International Rectifier Corporation. HV Floating MOS-Gate Driver ICs [EB/OL]. [2007-03-23]. <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-978.pdf>.
- [6] 邓星钟. 机电传动控制[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2001.
- [7] 秦忆. 现代交流伺服系统[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1995.
- [8] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- [9] 顾超,宋宝,唐小琦. 总线式数控系统中 PCI 接口控制器的 FPGA 实现与应用[J]. 计算机应用,2011,31(2):565-567.
- [10] KAYA I, TAN N, ATHERTON D P. A refinement procedure for PID controllers[J]. **Electrical Engineering**, 2006, 88(3):215-221.
- [11] LU Y Z. The new generation of advanced process control [J]. **Control Engineering**, 1992(2):21-23.
- [12] FUKUDA T, SHIBATA T. Theory and applications of neural networks for industrial control systems [J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 1992, 39(6):472-489.

[编辑:张翔]

(上接第 1279 页)

参考文献 (References):

- [1] 何振江,杨冠玲,艾锦云,等. 低浓度氮氧化物的化学发光和检测[J]. 光电工程,2004,31(8):27-28.
- [2] 国家标准化工作委员会. GB18352.3-2005 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
- [3] 刘巽俊,许斯都,周龙保. 内燃机的排放与控制[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [4] 倪计民. 汽车内燃机原理[M]. 上海:同济大学出版社,1999.
- [5] 艾锦云,何振江,杨冠玲. 光电技术在大气氮氧化物检测中的应用[J]. 环境监测管理与技术,2004,16(2):7-8.

- [6] 吕小虎,陆明刚. 化学发光法在环境监测中的应用[J]. 环境科学,1990,11(1):58-60.
- [7] 朱立军,戴亚,谭兰兰,等. 化学发光法测定卷烟主流烟气中的氮氧化物[C]. 2004 年中烟烟草化学学组年会暨学术研讨会论文集. 北京:[出版者不详],2004.
- [8] 刘军,冯艳君,刘中军. 基于化学发光检测法的氮氧化物气体分析仪[J]. 仪表技术与传感器,2008(3):83-84.
- [9] 倪育才. 实用测量不确定度评定[M]. 北京:中国计量出版社,2010.
- [10] 国家标准化工作委员会. GB 20891-2007 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社,2007.

[编辑:罗向阳]