

基于Mlx90316的电-机械转换器角位移测控系统*

朱 何, 李 胜, 阮 健*

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部重点实验室, 浙江 杭州 310014)

摘要: 为提高电液伺服控制系统的响应速度和精度, 将角位移测控技术应用到电-机械转换器控制闭环中, 增加步进电机位置信号作为控制参数, 实现了位置闭环控制。开展了基于霍尔技术位移测量技术的研究及其解码原理的分析; 根据Mlx90316芯片的时序要求, 设计了一种电-机械转换器角位移测控系统, 实现了角位移的非接触式测量; 测控系统以TMS320F2812 DSP作为主控器, 开发了相关功能模块, 进行了位移闭环PID控制策略的研究, 以及软硬件的设计与测试, 实现了步进电机的位置反馈与闭环控制。测试结果表明, 该系统测量速度可达2 800 fp/s, 精度可达12 bit, 系统具有测速范围宽、控制精度高等特点。

关键词: 电-机械转换器; 角位移测量; Mlx90316

中图分类号: TH137.5; TH39; TP274 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2012)09-1046-04

Angular position test system of electromechanical convertor based on Mlx90316

ZHU He, LI Sheng, RUAN Jian

(Key Laboratory of Special Equipment and Advanced Manufacturing Technology, Ministry of Education, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to improving the response speed and accuracy of the electro-hydraulic servo control system, the angular position test technique was investigated into the closed-loop control of the electromechanical converter. The signal of the stepper motor's position was added as the control parameter, and the position closed-loop control was made. After the analysis of Hall's angular position test and decoding technique, according to the timing requirements of Mlx90316, a non-contact angular position test system of the electromechanical convertor was established. Within the TMS320F2812 DSP as the master controller, the related functional modules were developed, the PID control strategy was used, the software and the hardware were done, a system that has stepper motor's position feedback and control circuit was built. The results show that the test speed is 2 800 fp/s, and the accuracy is as high as 12 bit. The system fits wide speed range and has high measurement speed and accuracy.

Key words: electromechanical convertor; angular position test; Mlx90316

0 引 言

电-机械转换器作为电液控制元件的核心部件, 是连接电信号与机械动作之间的桥梁, 其性能对电液伺服阀的整体性能起着决定性的影响。因此, 提高电-机械转换器的控制速度和控制准确度是电液伺服控制

技术研究里的重要课题之一^[1]。

角位移测量技术是电-机械转换器闭环控制技术中的重要组成部分, 其测量精度和响应速度直接影响到系统的稳定性与可靠性^[2]。如今, 角位移的数字电子式测量方法基本上已经取代了人工测量, 并且在国民经济和国防建设中具有广泛的应用和重要的作

收稿日期: 2012-04-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50975258)

作者简介: 朱 何(1988-), 男, 浙江永康人, 主要从事电-机械转换器控制技术方面的研究. E-mail: zhuhe1988@yahoo.cn

通信联系人: 阮 健, 男, 教授, 博士生导师. E-mail: wxmin@mail.hz.zj.cn

用。随着科学技术的不断进步,尤其是微处理器的迅速发展,角位移测量技术也在不断地精益求精、更新换代,使测量系统具有了功能全、自动化程度高、更新能力强等特点^[3]。

目前国内外角位移测量技术按历史上出现的先后顺序划分,可以分为传统测角方法和现代测角方法两种。

传统的角位测量方法^[4]主要有机械式和电磁分度式两种。传统方法具有高准确度等特点,但大多数为手工测量,不容易实现自动化,使应用范围受到限制^[5]。

现代测量方法^[6]按照其工作原理可分为电学方法、光栅方法、光电编码器方法、光学方法和电磁方法等五大类。

本研究所提出的角位移测量系统是基于运用霍尔技术的角位移测量系统,其优点在于测量速度快,不需要与测量物接触,抗污染(灰尘,等)能力好,安装方便等^[7]。

1 基本原理

1.1 电-机械转换器角位移测量系统概述

本研究的电-机械转换器角位移测量系统以DSP为数字计算核心,输入信号与闭环反馈信号进行PID运算,然后驱动两相步进电机。该系统具有电流反馈与位置反馈双闭环控制。本研究分析了其中的位置闭环环节,即步进电机的角位移监测与反馈控制。

为防止发生失步及转子运行过程中的“漂移”等错误,本研究采用位置闭环控制,在电机转子轴端安装位置传感器,实时测量电机转子的角位移 θ ,通过嵌入在控制器内的算法使转子始终快速动作以保持对输入信号的实时跟踪控制。

电-机械转换器控制器硬件系统框图如图1所示。

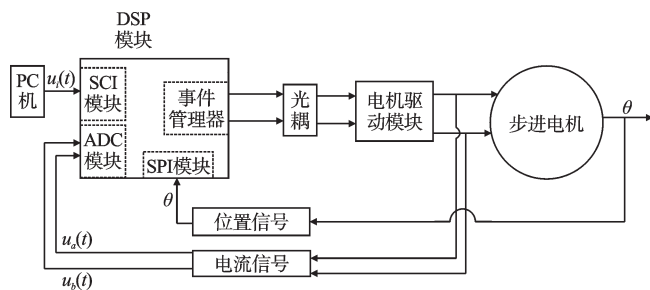


图1 电-机械转换器硬件系统框图

DSP上具有两个事件管理器EVA和EVB,是数字电机控制应用所使用的重要外设,能实现机电设备控制的多种功能。两个事件管理器功能相同,由定时器、比较器、PWM逻辑电路、捕捉单元、正交编码脉冲电路及中断逻辑电路等组成^[8-9]。本研究提出的系统采用PC机作为上位机以控制DSP,再由DSP中的SPI

模块返回电机角位移信号,ADC模块通过测量步进电机两相的电流以得到两相电流值,经过计算处理,由事件管理器驱动步进电机。

1.2 Mlx90316工作原理

本研究提出的系统采用的角位移传感器为Melexis公司生产的Mlx90316,芯片采用5V供电。其具有数字串行输出SPI功能,可输出14bit计算后的角度信号。其测量精度达到12bit的角度分辨率。

平行于芯片表面的磁场(例如 B_H)被三轴传感器的前端感应到。传感器的前端包括相互正交的两对传统平面霍尔元件和一个集磁片IMC(如图2所示)。 B_H 将在两个分量方向上分别测量,记为 B_{xH} 和 B_{yH} 。芯片通过集磁片(IMC)将这两个平行的分量变换为与之成正比的两个垂直方向上的分量 $B_{x\perp}$ 和 $B_{y\perp}$,再通过芯片中可以感应垂直于芯片表面的传统平面霍尔元件,来测量产生的这两个垂直分量。

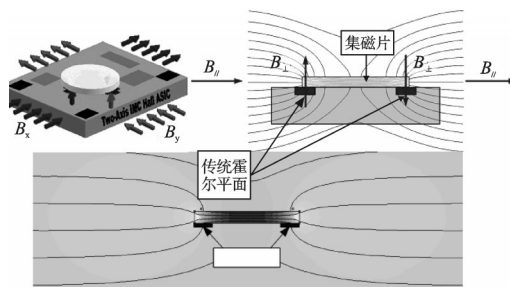


图2 Mlx90316工作原理

当磁铁在芯片表面转动,芯片传感部分将产生两个正交的差分信号(正弦和余弦信号)。这两个霍尔信号利用经典的漂移电压消除技术(霍尔元件四相位旋转和斩波放大器),通过一个差分式全模拟处理链进行处理。

经过处理的模拟信号由ADC转换为数字信号传输给Mlx90316内部DSP模块,并将两个原始的霍尔信号用以下公式计算出角度位置信号:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{B_y}{B_x}\right) \quad (1)$$

由于本研究使用比值“ B_y/B_x ”进行反正切运算,使得间隙变化、温度变化以及老化等因素引起的磁场强度变化都将等同作用于两个信号上,因此得到的角度信号本身就有自适应补偿的特点。这一特性使得该系统在温度变化下的精确度得到了很大的提升。

1.3 SPI基本原理

串行外围接口(Serial Peripheral Interface, SPI)是一种同步串行传输规范^[10]。通信的主方负责通信过程的建立、结束,发送同步时钟;另一方则接收主控方的相应命令或时钟,被动地发送或接收信号。主控方通过送出时钟信号来启动数据传输,在双方约定好的

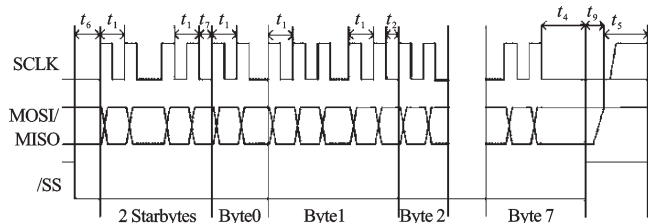


图4 Mlx90316 SPI时序图

两个数据字节的格式如表1所示。

表1 数据格式

高8位								低8位							
MSB				LSB				MSB				LSB			
A13	A12	A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	0	1

由此可见,两个字节的最后两位必定是01,否则就是错误数据。在程序中,可根据该方法判断DSP接到的数据是否是正确的数据。

同时,需要保证在传输同一个数据期间,使能脚不能为高,否则数据传输将会失败。

由以上数据可知,传输一个位置数据理论上最少需要413.6 μs ,即传输频率为2 400 fp/s。

另外,有一点需要在程序里考虑的是:虽然F2812中增强型SPI FIFO功能具有字节延时发送功能,但在实验过程中发现,其延时阶段,使能脚被DSP拉高成为无效,而与Mlx90316中的时序要求有冲突,在1帧数据传输时,使能脚不允许拉高,否则会造成数据重新同步,甚至传输失败。

DSP得到的角度值还需要进一步地滤波,以消除因为外界环境振动、磁场突变等因素造成的毛刺,提高系统的稳定性。

简化后的数据传输流程图如图5所示。详细步骤为:系统上电,DSP进行初始化,设置I/O口寄存器,对SPI寄存器等设置,设置成增强型FIFO SPI,根据晶振设置波特率、延时、中断等,并做好收发数据的准

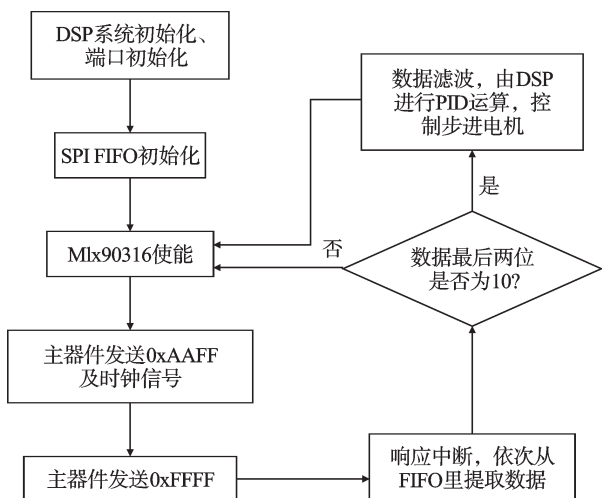


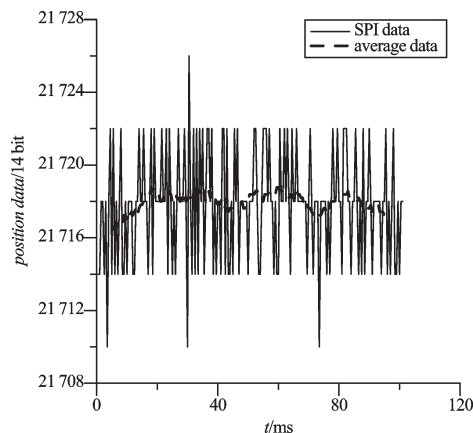
图5 数据传输流程图

备;同时,拉高Mlx90316使能脚300 μs ,再使使能有效,DSP发送启动信号0xAAFF及时钟信号;之后,DSP再根据时序要求发送0xAAFF,等待FIFO接收中断。进入中断后,提取FIFO接收缓冲器里的数据,提取后两字节数据,检测最后两位是否为10,若是,则将该数据进行滤波处理,并进入主程序进行PID运算;若不为10,则重新使能Mlx90316以进行下一帧数据的传送。

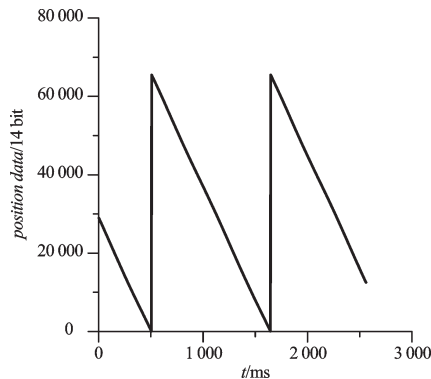
3 实验结果

本研究根据以上的原理及要求,制作成实验用板,并进行角位移测量和分析。由实验数据可得,Mlx90316达到了理论的传输速度,通过改变波特率等,传输速率可达到2 800 fp/s,精度为12 bit。传感器的安装相对简便,不需要与磁钢保持完全平行。

电机静止在不同位置时,角位移测量模块经过SPI返回给DSP的角度值如图6(a)所示。SPI返回值中,角度值为14 bit数据,由上图可知,角度值基本在 ± 1 跳动(超过 ± 1 跳动的原因为各种不确定因素,包括步进电机自定位力矩的不平衡、外部环境的振动等),其精度达到了12 bit。同时,经过滤波后,可以达到非常准确的角度值,其误差不超过0.013°。电机连续转动时角位移测量模块经过SPI返回给DSP的角度值如图6(b)所示。



(a) 电机静止时角度测量值



(b) 电机转动时角度测量值

图6 电机静止与转动时角度测量值

(下转第1060页)

随着科研人员对于 AP1000 核电厂掌握程度的逐渐加深,在今后的项目中可以基于超声波流量测量技术,实现 AP1000 核电厂的小幅度功率提升,使核电厂可以更加安全、稳定和有效地运行。

参考文献(References):

- [1] Electric Power Research Institute. Feedwater Flow Measurement in U. S. Nuclear Power Generation Stations[R]. California:Electric Power Research Institute, 1992.
- [2] Electric Power Research Institute. Improving Pressurized Water Reactor Performance Through Instrumentation; Application Case of Reducing Uncertainties on Thermal Power [R]. California:Electric Power Research Institute, 2001.
- [3] Electric Power Research Institute. Plant Support Engineering: Methodologies for Monitoring and Adjustment of Reactor Power Measurement Drift [R]. California:Electric Power Research Institute, 2007.
- [4] Electric Power Research Institute. Volume 1, Survey and Characterization of Feedwater Venturi Fouling at Nuclear Power Plants-Vol. 1: Feedwater Venturi Fouling [R]. California:Electric Power Research Institute, 1992.
- [5] Electric Power Research Institute. Volume 2, Survey and Characterization of Feedwater Venturi Fouling at Nuclear Power Plants-Vol. 2: Photomicrograph and Chemical Analysis [R]. California:Electric Power Research Institute, 1992.
- [6] U. S. Nuclear Regulatory Commission. Power Upgrades [EB/OL]. [2011-07-07]. <http://www.nrc.gov/reactors/operating/licensing/power-uprates.html>.
- [7] HANSEN T. Nuclear Plant Upgrades Power Engineering [EB/OL]. [2007-03-01]. <http://www.power-eng.com/articles/print/volume-111/issue-3/features/nuclear-plant-upgrades.html>.
- [8] U. S. Nuclear Regulatory Commission. Approved Applications for Power Upgrades [EB/OL]. [2011-12-23]. <http://www.nrc.gov/reactors/operating/licensing/power-uprates/status-power-apps/approved-applications.html>.
- [9] 张焕欣. 核电厂热功率监视的设计实现[J]. 自动化博览, 2007, 24(6): 87-89.
- [10] Safety Evaluation by the Office of Nuclear Regulation. Topical Report ER-80P, "Improving Thermal Power Accuracy and Plant Safety While Increasing Operating Power Level Using the LEFM System," Comanche Peak Steam Electric Station Units 1 and 2, Docket Nos. 50-445 and 50-446 [R]. USA: U. S. Nuclear Regulatory Commission, 1999.
- [11] Electric Power Research Institute. Small Power Upgrades Under Appendix K: Benefits And Considerations [R]. California:Electric Power Research Institute, 2000.
- [12] U. S. Nuclear Regulatory Commission. NRC Regulatory Issue Summary 2002-03 Guidance on the Content of Measurement Uncertainty Recapture Power Uprate Applications [EB/OL]. [2002-01-31]. <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/gen-comm/reg-issues/2002/ri02003.html>.

[编辑:张翔]

(上接第 1049 页)

4 结束语

为提高电液伺服控制系统的响应速度和精度,本研究开发了基于 Mlx90316 的电-机械转换器角位移测量系统,采用 Mlx90316 不仅使电路变得简单,减少了元器件数量,同时保证了测量的稳定性与准确性。同时,基于霍尔技术的角位移测量使该系统环境适应能力强、抗污染能力强。理论与实验结果表明,位置补偿校正能很好地改善电-机械转换器的动态特性,可以提高系统频响,缩短阶跃响应上升时间,增大对应相位滞后 90° 的最大频宽。该位置测量系统测量速度快,精度高,可广泛应用于各种角位移检测场合。该测量系统与微控制器连接简单方便,使之具有智能的特点,是一种不错的方案。

参考文献(References):

- [1] 路甬祥. 液压气动技术手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2002.
- [2] 白明方,杨瑞峰. 基于 SPI 总线的双机通信系统设计[J]. 机械管理开发, 2010(12): 181-182.
- [3] BRASSEUR G. A robust capacitive angular position sensor. [C]// IEEE Instrumentation Measurement Technology Conference, Burssels, Belgium, 1996: 1081-1086.
- [4] 陶卫,浦昭邦,孙运斌. 角度测量技术的发展[J]. 激光杂志, 2002, 22(2): 5-7.
- [5] BARKER M J, COLOUGH M S. A two-dimensional capacitive position transducer with rotation output[J]. **Review of scientific Instruments**, 1997, 68(8): 3238-3240.
- [6] 周红峰,宫爱玲. 小角度测量的光学方法[J]. 云南民族大学学报:自然科学版, 2006, 15(2): 130-133.
- [7] 汪晓文. 低惯量电-机械转换器的研究[D]. 杭州:浙江工业大学机械工程学院, 2011.
- [8] 苏奎峰,吕强,常天庆,等. TMS320X281xDSP 原理及 C 程序开发[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2008.
- [9] 苏奎峰,蔡昭权,吕强,等. TMS320X281xDSP 应用系统设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2008.
- [10] WILMSHURST T. PIC 嵌入式系统开发[M]. 陈小文,闫志强,译. 北京:人民邮电出版社, 2008: 255-259.

[编辑:张翔]