

无刷直流电机舵机位置控制及仿真

张晓红, 丁 喆, 张安年

(河南科技大学 电子信息工程学院, 河南 洛阳 471003)

摘要:以 TMS320LF2407A DSP 为控制器, 构成电流、转速、位置三环的电动舵机控制系统。本文介绍了系统的原理、硬件设计及控制策略, 并进行 Matlab 仿真, 最后进行试验, 结果表明, 系统具有良好的动态和静态特性。

关键词:飞行器舵机; 无刷直流电动机; 仿真

中图分类号: TM33

文献标识码: A

0 前言

随着航空航天的蓬勃发展及各种先进的精确制导武器的研制, 人们对导弹上的舵机系统的整体性能要求越来越高。舵机是飞行器的重要组成部分, 其性能指标的优劣直接影响飞行器的制导精度。舵机系统是一个高精度的位置伺服系统, 舵机控制器接受制导计算机给出的舵面偏角信号, 用它的输出指令来操纵导弹舵面的偏转, 从而改变导弹的飞行姿势, 以达到控制导弹飞行轨迹的目的, 舵机伺服系统的控制是确保导弹性能达到技术和战术指标不可缺少的手段。

当代导弹舵机按照所使用的能源分为气动、液压和电动, 传统的火箭和导弹都是采用液压伺服系统或气压伺服系统, 缺点是结构复杂、加工精度高、质量大、成本高、技术难度大。而电动舵机使导弹的驱动装置性能优良, 结构更为简单, 而且可以方便实现系统冗余, 大大提高系统的容错性能。

无刷直流电动机既具备交流电动机结构简单、运行可靠等优点, 又具备直流电动机调速性能好, 控制精度高的优点, 在工程和技术方面得到了广泛的应用。美国 TI 公司的 TMS320LF2407A DSP 是一种广泛适用于各种电机控制的数字信号处理器^[1], 不仅具有一般 DSP 高速处理数字信号的能力, 还将各种电机控制所需要的外围电路集于一体, 能够大大提高系统的可靠性。本系统选用该 DSP 芯片为控制器, 无刷直流电机 (BLDCM) 为执行器, MOSFET 为驱动元件配以相应的控制软件, 构成电流、速度、位置三环舵机伺服系统。

1 系统硬件设计

硬件包括无刷直流电动机主回路和控制回路设计, 主回路由直流电源、MOSFET 全桥电路和电机本体构成, 控制回路以 DSP 芯片 TMS320LF2407A 为核心, 以电流、速度为内环, 位置为外环, 由功率驱动电路以及接口电路和保护电路组成见图 1。

本系统采用 PWM 方式实

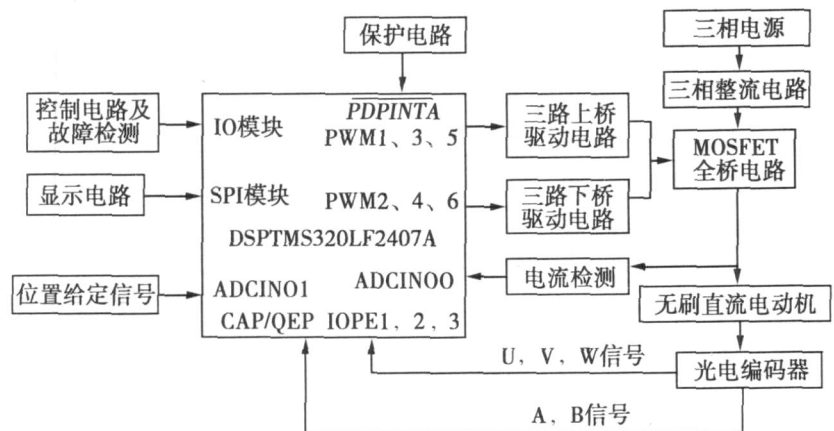


图 1 硬件控制框图

基金项目: 河南省科技攻关项目 (0424220150)

作者简介: 张晓红 (1969 -), 女, 河南洛阳人, 讲师。

收稿日期: 2007 - 03 - 29

现对无刷直流电动机的控制。其工作原理是：主电路采用直流稳压电源供电，控制系统通过光电编码器作为位置传感器检测电动机转子位置以便确定所需功率管通电相序，系统采用三相星形连接全控电路两两导通方式，每一瞬间有 2 个功率管导通，每隔 1/6 周期（60 电角度）换相一次，每次换相一个功率管，每一功率管导通 120 电角度^[2]。

1.1 主电路

主电路采直流稳压电源，全桥电路由六个 MOSFET 场效应管构成，三个 P 沟道 MOSFET 构成上桥，门级 G 加负电压时导通，三个 N 沟道 MOSFET 构成下桥，门级 G 加正电压时导通^[3]。

1.2 转子位置信号的检测与转速检测

位置传感器是无刷电机的关键部件，本系统采用光电编码盘向 DSP 端口正确提供转子位置信息，位置检测不仅用于换相控制，还用于产生速度的控制量，对于两对极电机来说，每个机械转有 12 次换相，即转子每转过 30 机械角度都有一次换相。这样，只要测得两次换相的时间间隔，就可以计算出两次换相间隔期间的平均角速度，因此本系统采用了通过两次计数器中所计光电编码盘的 A 信号数值的偏差和两次采样的时间间隔，通过微分计算出电机的实际转速的方法。

1.3 舵面位置检测

导弹在飞行中通过控制舵面的偏角来控制导弹飞行的方向，因此舵机控制器必须根据制导计算机的给定位置信号来控制舵面的偏转，舵面位置信号检测是通过光电编码盘来实现的。

光电编码盘每个机械转有 1024 个脉冲输出，每转为 360°，那么每转一度就有 1024/360 = 2.844 个脉冲的输出，转动 20 偏角时，输出脉冲数为 (1024/360) × 20 = 56.88，当舵机舵面偏转时，根据 DSP 中检测到的计数器所计的脉冲数，就可以知舵面当前的位置。

给定的舵面位置信号经接口电路送入 DSP 的 ADC N01 端，该信号与当前的位置反馈信号相比较，经 DSP 的运算处理转化为转速的参考量进行控制。

2 控制策略

本系统采用三闭环控制，设置了三个调节器，分别调节位置、转速和电流如图 2 所示。舵机控制器的舵面给定信号（舵机的偏转角） U_a 是弹上制导计算机输出的控制电压信号， U_b 反映的是舵面实际偏转角， SF 是舵机的反馈转速， CF 是主回路的电流反馈电压。当电机处于自同步运行状态时， U_a 与 U_b 的偏差经过 APR（位置调节器）的 PD 调节得到速度的参考值 SSP，控制器根据测出的电机反馈位置信息计算出当前转速 SF ，两者偏差在 DSP 中经 ASR（速度调节器）的 PI 计算得到电流的给定电压参考值 CSP，与当前主回路的电流反馈电压值 CF ，经 ACR（电流调节器）的 PI 计算，其输出

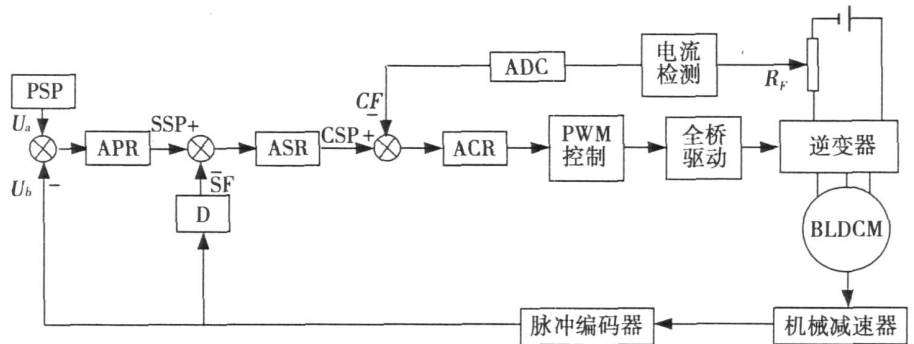


图 2 伺服控制系统框图

去调节 PWM 占空比，进而控制功率开关管的通与断，实现对无刷直流电动机位置、转速、电流的控制。

3 控制系统的仿真

首先采用 PI 调节器设计好电流环和速度环，以获得理想的控制参数，然后对位置环采用积分分离的 PD 调节器，控制系统仿真图如图 3 所示。

仿真中，以永磁无刷直流电机为例，极对数 $P = 2$ ，12V 直流电源供电，以 DSP2407 为控制核心，电流环按一阶典型结构设计，选择了电流 PI 调节器的参数，速度环按二阶典型结构设计，选择了速度 PI

调节器的参数后,而位置环采用积分分离的 PD 算法^[4]。

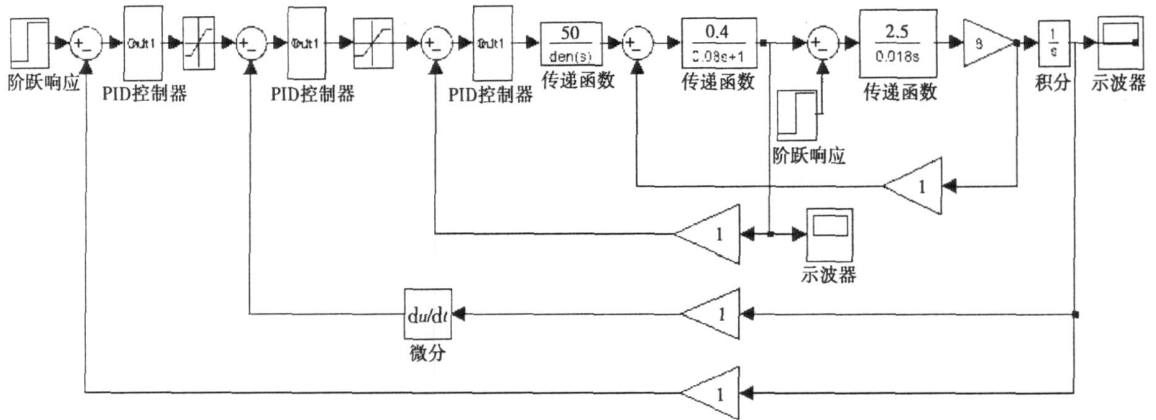


图 3 控制系统仿真图

从仿真结果看(见图 4),由于采用了转速/电流闭环控制,电机转速跟随设定转速变化,在 $n_e = 1000 \text{ r/min}$ 的参考转速下,系统响应快速且平稳,相电流和反电动势波形较为理想^[5]。直流环节电流得到控制,电机运行良好,仿真结果证明了 PI 调节方法的有效性。

在双闭环系统的基础上,研究了把积分分离的 PD 控制器应用到位置环上时的系统动态性能,根据阶跃响应,对积分分离的 PD 算法进行改进,采用分段积分分离方式,即根据误差绝对值的不同,采用不同的积分强度。

取位置环的偏差控制参数 $\lambda = 5$,采用试凑法,配合计算机仿真,得出了各项优化参数。结论如下:

(1)积分的作用是消除余差,积分时间常数 T_i 越小表明积分作用越强,但 T_i 太小系统将不稳定; T_i 太大,对系统的影响减少;当 T_i 合适时,过渡过程比较理想,选定 $T_i = 0.18$;

(2)微分调节依据偏差变化速度来动作,其作用是阻止被调量的一切变化,有超前调节的作用,太大的 T_d 会引起系统震荡, T_d 太小则调节时间过长,选定了微分常数的优化值 $T_d = 0.048$;

(3)在 T_i, T_d 不变的情况下,随着 k_p 的加大,系统的响应加快,但过大的 k_p 也会造成系统超调过大,甚至不稳。仿真所得 k_p 的优化值为 20。

在大偏差时,适当的增大了比例系数 k_p 取为 28。

图 5 为位置阶跃响应曲线,采用普通 PD 其阶跃式跟踪结果如图 5a 所示,积分分离的 PD 控制见图 5b。

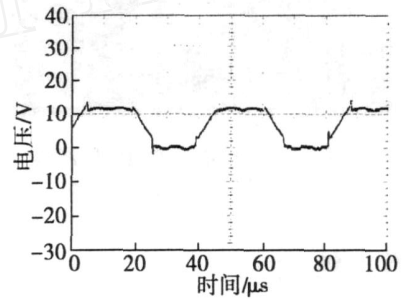
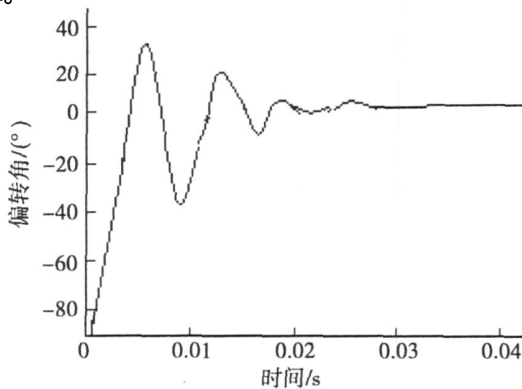
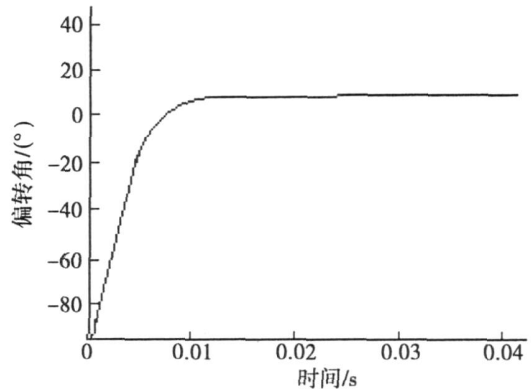


图 4 端电压仿真图形



(a) 传统 PD 调节器



(b) 积分分离的 PD 调节器

图 5 位置信号的比较

由仿真结果可以看出,位置环采用积分分离的 PD 控制器调节以后,控制效果有很大的改善,动态响应曲线具有良好的跟踪性能和较小的超调。

4 实验分析

实验中电机采用深圳铭雅戈电机有限公司的无刷直流电动机,额定功率:1.487 kW,额定电压:DC80V,额定电流:18.6 A,额定转速:3307 r/min,三相 Y 型连接,二对极。

电机采用三相六状态 120° 导通方式, PWM 采用上桥恒通,下桥 PWM 控制的方式,电机以 1000 r/min 运行时,电机绕组的 A、B 相端电压波形如图 6 所示,从图中我们可以看出端电压信号较平稳。采用模拟调节器电路实现的控制 A 相和 B 相端电压波形如图 7 所示,从图中看到在换相有一定的脉冲干扰。通过与图 6 的比较,发现以 DSP 组成的数字控制系统具有控制精度高,噪声低,系统运行平稳等优点,同时系统也能方便的进行升级,使得控制算法容易实现。

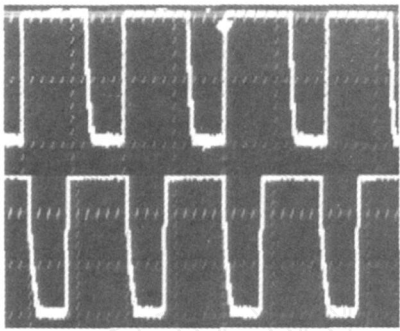


图 6 A、B 相绕组的端电压波形
 $T=50\mu\text{s}$,占空比=0.6

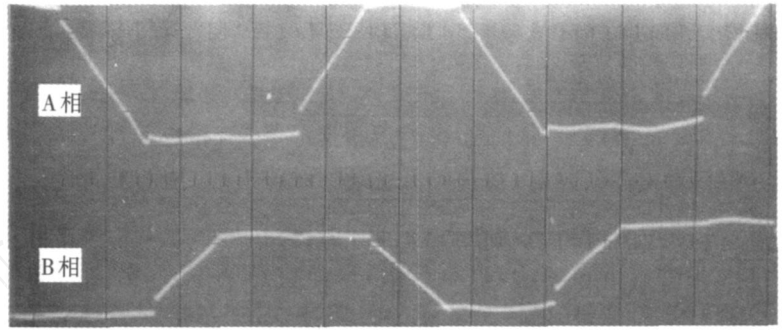


图 7 A、B 相绕组的端电压波形

5 结论

通过对各控制环节的 Matlab 仿真分析研究,认为采用积分分离的 PD 调节器要比传统的 PD 调节器有更好的控制效果,为实验系统的参数整定奠定了基础。随后系统采用深圳铭雅戈电机有限公司的无刷直流电动机,利用 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320LF2407 来进行实验研究。实验证明基于 DSP 为主控芯片的无刷直流电动机位置随动控制系统具有良好的动态和静态特性。

参考文献:

- [1] 江思敏. TMS320LF240X DSP 硬件开发教程 [M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [2] TMS320LF/LC240xA DSP Controllers System and Peripherals Reference Guide [Z]. Texas Instruments, 2002.
- [3] 田丰,彭晓南. 基于 TMS320LF2407 的小型变频器设计 [J]. 河南科技大学学报:自然科学版,2005,26(6): 11 - 14.
- [4] 刘金镛. 先进 PD 控制及其 MATLAB 仿真 [M]. 北京:电子工业出版社,2003.
- [5] 袁澜,刘文胜,姬宣德. 基于 DSP 的永磁无刷直流电动机控制系统设计 [J]. 河南科技大学学报:自然科学版,2003,24(1): 51 - 54.

Luoyang 471039, China)

Abstract: The ISO standard 11783 about agriculture vehicle serial communication network is a network protocol based on controller area network (CAN) bus. For the application of this standard, by analyzing CAN message frame format, 29 identifier bits and protocol data unit format of ISO 11783 are specified. The communicating principle of CAN bus under ISO 11783 standard is illustrated, and a message frame example of ISO 11783 standard's application is offered in the tractor's lighting system.

Key words: Controller area network; ISO 11783 standard; Agriculture vehicle; Network protocol

CLC number: S232.3 Document code: A Article D: 1672-6871 (2008) 01-0039-04

· Electrical Engineering and Communication, Automation and Computer ·

Study and Implement of Data Access Device Drivers Based on S3C44B0X (43)

XIA Yong-Bin, LI Ji-Shun, HUANG Xiao-Dong (Henan Key Laboratory of Mechanical Design & Transmission System, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: S3C44B0X microprocessor with a core of ARM7TDMI is widely used. uClinux running on embedded microprocessor without MMU is also used in embedded design. The characteristic of ADC converter of S3C44B0X is analyzed in this paper. The device driver mechanism of uClinux is analyzed detailedly, and the treatment process of the device driver of uClinux is discussed. The device driver programming of ADC converter of S3C44B0X is introduced through an example. At last the loading process of device driver under uClinux is given.

Key words: S3C44B0X microprocessor; uClinux operation system; Device drivers

CLC number: TP216 Document code: A Article D: 1672-6871 (2008) 01-0043-04

Actuator Position Control and Simulation of Brushless DC Motor (47)

ZHANG Xiao-Hong, DING Zhe, ZHANG An-Nian (Electronic Information Engineering College, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: The system schemes out a three-closed loop (current, speed and position) electromechanical missile actuators servo with TMS320LF2407A DSP as controller. The hardware design, principle and control tactic of the electrical servo system are described in detail. The system is simulated with matlab. Experimental results show that the system has good dynamic and static characteristics.

Key words: Control actuator; BLDCM control; Simulation

CLC number: TM33 Document code: A Article D: 1672-6871 (2008) 01-0047-04

Design of Brushless Direct Current Motor Control Based on DSP (51)

PANG Li-Juan¹, PENG Xiao-Nan¹, LIU Ai-Jun² (1. Electromechanical Engineering College, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471003, China; 2. China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: This paper introduces the smallest system of digital-brushless direct current motor based on TMS320LF2407A digital signal processor (DSP), and describes software and hardware design for the smallest system. The diagram of hardware connection circuit is given. PWM (pulse width modulate) wave is got through the test. So the positive, reserve rotate of the motor can be controlled.

Key words: DSP; Brushless direct current motor; Software and hardware design; Smallest system

CLC number: TM33; TM301.2 Document code: A Article D: 1672-6871 (2008) 01-0051-03

Model Studying of Spectrum Access in Licensed Systems for Cognitive Radio Networks

..... (54)

WANG Yong¹, ZHU Xiao-Rong², JI Chang-Ying¹ (1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China; 2. National Mobile Communication Research Lab, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: In cognitive radio networks, spectrum access in licensed systems for cognitive radios promises an effective way of increasing band utilization. This paper first presents a model of spectrum access in two licensed systems for cognitive radios, and then proposes a general model of access in multi-licensed systems. Based on this, several important system parameters such as blocking probability, forced termination probability and bandwidth utilization are derived and discussed. Numerical results show that this system has high QoS in aspects of blocking probability, forced termination probability and bandwidth utilization.

Key words: Cognitive radio networks; Licensed system; Model studying

CLC number: TP391 Document code: A Article D: 1672-6871 (2008) 01-0054-04