

# 天线双轴稳定平台伺服控制器的设计和实现

米月星,林辉,高翌阳  
(西北工业大学,陕西西安 710129)

**摘要:**完成了天线双轴稳定平台伺服控制系统的硬件设计和软件实现,控制系统采用多闭环的变参数 PID 控制方案,实现了平台高精度和高可靠性控制。选取 DSP 和 CPLD 共同完成对无刷直流电机的控制,DSP 将占空比和电机控制信号送至 CPLD,CPLD 根据三相霍尔信号,通过逻辑运算输出 PWM 波控制信号。这种控制方式即提高了运算速度,又大大减轻了 DSP 的负担。硬件设计主要围绕控制核心 DSP 展开,包括传感器信号的接入,数据处理,以及通信模块设计。软件设计主要包括伺服控制系统总体的软件设计和控制算法的软件设计。

**关键词:**稳定平台;伺服系统;变参数 PID 控制;DSP+CPLD

**中图分类号:**TM381 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-7018(2011)08-0035-03

## Design and Realization of a Servo Controller for Dual-Axis Stabilized Platform of an Antenna

MI Yue-xing, LIN Hui, GAO Yi-yang  
(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

**Abstract:** This dissertation completed with the hardware design and software realization of the servo system of the dual-axis stabilized platform on ship, and the control system selected multiple closed-loop PID control method with variable arguments. The DSP and CPLD were selected together to complete the control of brushless DC motor, and the duty cycle and the signal of motor control were sent to the CPLD by DSP. After logic operation, CPLD produced PWM wave control signal as output signal according to the three phase hall signals. This control method is to enhance the computing speed, but also greatly reduce the burden of DSP. Hardware design was based on the main control DSP core, including designs of sensor signals collection, data processing and communication module. Software design included the software design of overall servo control system and software design of control algorithm.

**Key words:** stable platform; servo-system; PID controller with variable arguments; DSP+CPLD

## 1 天线双轴稳定平台伺服控制系统简介

天线稳定平台伺服控制系统的主要功能是能隔离载体在两个轴方向的角扰动,使天线在地理坐标系保持稳定,始终垂直于大地,以消除由载体引起的角移动。

### 1.1 天线双轴稳定平台结构

天线双轴稳定平台结构框图如图 1 所示。

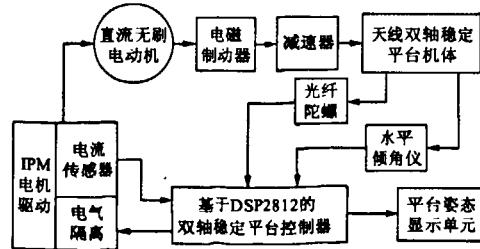


图 1 天线双轴稳定平台结构框图

图 1 中,光纤陀螺为速度反馈,水平倾角仪为位置反馈,电流传感器为电流反馈,伺服控制电机为直流无刷电动机,DSP 采用 TMS320F2812,平台姿态显

示单元为液晶显示屏,电磁制动器实现天线在非工作状态下的自锁。

### 1.2 系统总体方案设计

本设计采用位置 PID+速度 PID+电流 PID 的控制方法。系统伺服控制原理框图如图 2 所示。

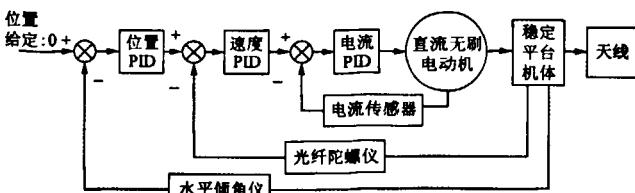


图 2 系统伺服控制原理框图

## 2 硬件设计

### 2.1 硬件结构

双轴稳定平台伺服控制系统硬件结构如图 3 所示。

由图 3 可知,硬件结构的设计主要完成多路数据的采集和处理以及驱动电路的实现。

### 2.2 数据采集电路的设计

TMS320F2812 具有强大的控制和信号处理能

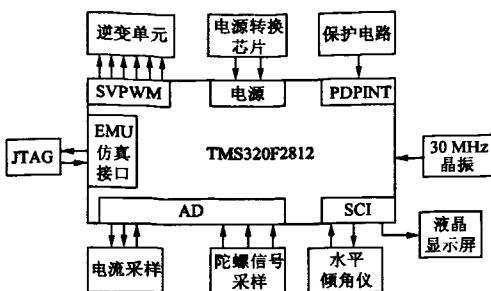


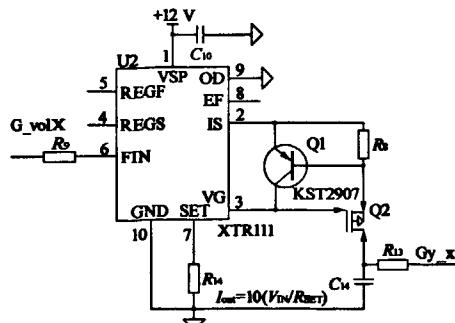
图3 双轴稳定平台伺服控制系统硬件结构

力,能够实现复杂的控制算法,还有精度高、速度快、集成度高、功耗低等特点。TMS320F2812 在数据采集、处理和数据传输方面有强大的功能。TMS320F2812 具有 16 通道的 12 位 ADC,可以满足多路数据的采集和处理,两个串行通信接口(SCIA、SCIB)可以满足系统串口接收和发送数据。

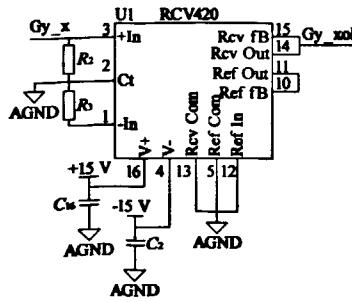
本系统中,应分别实现对两轴电流、速度、位置数据的采集处理。16 个数据采集通道实现对两轴上霍尔电流传感器和陀螺反馈的四组数据的采集。

(1) 电机母线电流的采集:霍尔传感器反馈的电压值先经过二阶滤波电路,然后经过放大器同相放大处理,经过限幅后直接送至 TMS320F2812 的 ADC 通道。

(2) 陀螺信号的采集:平台机体至 DSP 控制板距离为 60 m,电压信号在传输过程中会有很大的电压损失,因此先通过 XTR111 将电压信号转换为电流信号传送至控制板。电流信号传送至 DSP 控制板时,采用 RCV420 完成电流到电压的转化。陀螺信号调理电路如图 4 所示。



(a) 陀螺电压信号转电流电路



(b) 控制板端电流转电压电路

(3) 位置信号的采集:DSP 串口和水平仪都只能接收或发送 RS232 数据。对本系统,RS232 通信不能满足传送距离和抗干扰能力的要求,故设计中采用 RS485 通信。数据的发送端将 RS232 转为 RS485 总线传输,接收端再将 RS485 转为 RS232 接收数据。采用 Max3162 芯片完成 RS232 和 RS485 之间的相互转化。

## 2.3 驱动电路设计

驱动电路主要功能是接收 DSP 的控制信号驱动电机正确作动,实现系统的精确稳定控制。驱动芯片选用三菱公司的 PS21963A,单电源 15 V 供电,实现低损耗,低热阻,易于散热,而且内置短路、欠压保护电路,可靠性高。DSP 的控制信号经隔离芯片 ADUM1401 进行磁耦隔离,传至 PS21963A,驱动电机工作。

## 3 软件设计

软件设计主要完成控制算法的实现。

### 3.1 软件设计流程图

图 5 为系统软件设计的流程图。

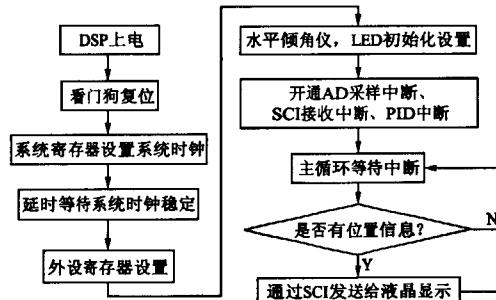


图5 系统软件设计的流程图

### 3.2 变参数 PID 控制的实现

在模拟系统中,PID 算法如下:

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

式中:  $U(t)$  为输出,  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  为比例、积分、微分系数。

根据控制偏差的大小,可以适当调整 PID 的参数,有效提高系统的控制性能,参见文献[2]。文献[2]中以 Gauss 函数为基础,构造  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  增益函数如下式:

$$K_p = K_{p0} \{ 1 + K_p' [1 - \exp(-100e^2)] \} \quad (2)$$

$$K_i = K_{i0} [K_i' + K_i' \exp(-100e^2)] \quad (3)$$

$$K_d = K_{d0} [1 + K_d' \exp(-25e^2)] \quad (4)$$

式中:  $K_{p0}$ 、 $K_{i0}$ 、 $K_{d0}$  为传统 PID 参数,  $K_p'$ 、 $K_i'$ 、 $K_d'$  为修正系数。可以看出,随着误差  $e$  的大小,  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  实时变化,从而平衡三个参数对误差的影响,达到更好的控制效果。

本系统采用位置 PID+速度 PID+电流 PID 的控制策略。实验表明本系统中不必要采取如文献中复杂的控制方法,也能较好地满足指标要求。只需要在不同的区间内选择一组合适的参数,就能取得较好的控制结果。系统上电后的一段时间内,误差有可能很大,所以需要快速回到零位;回到零位后误差小于  $0.15^\circ$  时,需要稳定在  $0^\circ$  附近而又不会引起电机频繁换向;误差大于  $0.15^\circ$  时,需要快速返回零位防止误差持续增大。所以变参数 PID 控制分为三个区间:上电后几秒中回到零位后误差小于  $0.15^\circ$ 、误差大于  $0.15^\circ$ ,每个区间选择独立的 PID 参数。

### 3.3 DSP+CPLD 的控制方式

单一的 DSP 控制无刷直流电动机的起停和换向时,要进行大量的逻辑运算,就要占用大量的 CPU 资源,会大大影响 CPU 的工作效率。而 CPLD 具有高速的逻辑运算性能,而且速度更快,功耗更低。所以选用 EPM7128AE 代替 DSP 完成起停和换向时的逻辑运算,只需将 DSP 的 GPIOF10 和 GPIOF11 管脚信号送至 CPLD 作为 X 轴电机起停和换向的控制信号,同样,GPIOF13 和 GPIOF9 信号作为 Y 轴电机起停和换向的控制信号。DSP 的占空比信号经 CPLD 处理后输出控制电机的 PWM 信号,经隔离后送至驱动电路驱动电机工作。DSP+CPLD 的控制方法如图 6 所示。

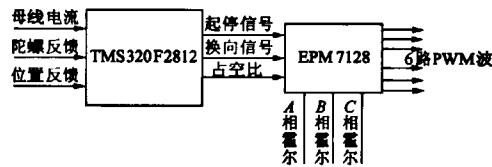


图 6 DSP+CPLD 的控制方法示意图

### 3.4 AD 采样处理

ADC 采样选择级联模式,共有 16 路采样通道,每 4 路对一组反馈量进行数据采集,每  $5 \mu\text{s}$  进行一次 AD 采样中断,每 20 次数据采集后对数据进行软件滤波和求取均值,保证数据的准确性。

### 3.5 看门狗模块

在天线实际工作过程中,针对可能出现的程序失控,看门狗模块就会进行程序复位,使系统恢复正常工作。

## 4 实验结论

基于 TMS320F2812 和驱动芯片 PS21963A,本文对天线伺服控制系统进行了硬件和软件设计,实验结果表明,本系统实现了高可靠性和高精度控制,控制精度大大优于项目指标要求。

实验室条件下,将主机部分固定在双轴摇摆台

上模拟天线在载体上的双轴摇摆运动。摇摆台固定时系统位置跟踪曲线如图 7 所示。

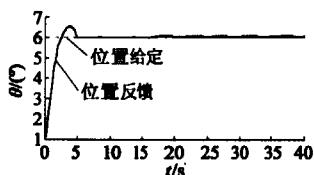


图 7 摆摆台固定时系统位置跟踪曲线

位置给定为  $6^\circ$ ,系统上升时间为  $2.5 \text{ s}$ ,最大超调  $0.5^\circ$ ,系统最大稳态误差为  $0.02^\circ$ 。

横轴摇摆下的实验结果如图 8 所示。

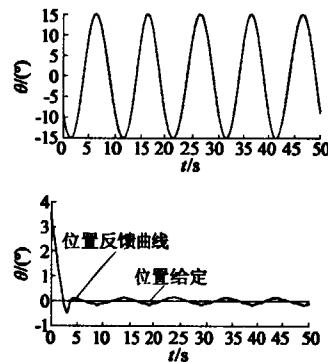


图 8 横轴摇摆下的实验结果

如图 8 所示,摇摆台横轴以正弦曲线作摇摆运动,振幅  $15^\circ$ ,周期  $10 \text{ s}$ 。系统开始运行时角度为  $3.5^\circ$ ,位置响应曲线的上升时间为  $2.4 \text{ s}$ 。由于摇摆曲线为正弦曲线,对系统的干扰是连续变化的,所以误差会在  $0^\circ$  附近波动,从图 8 可知,最大误差为  $0.22^\circ$ 。指标要求稳定精度为  $1^\circ$ ,实验结果表明,系统的稳定精度大大优于指标要求。

## 参考文献

- 王继东. 移动载体稳定跟踪平台测控关键技术研究 [D]. 长沙:国防科技大学,2003.
- 钟庆昌,谢剑英,李辉. 变参数 PID 控制器 [J]. 信息与控制,1999,28(4):273-277.
- Clemenger J R, De Bruin J C. Application of high2power, pulse width modulated hybrid motor controllers to stabilized gimbal systems [C]//In: Proceedings of SPIE. 1999, 3692:84-93.
- 姬伟. 陀螺稳定光电跟踪平台伺服控制系统研究 [D]. 南京:东南大学博士学位论文,2006.
- 李宗冰. 基于 DSP 的稳定平台伺服控制系统的工作 [D]. 南京:南京理工大学,2008.
- 王华权. 基于 DSP 的无刷直流电动机控制系统的研究 [D]. 武汉:武汉科技大学,2008.
- 王后平,喻冬梅,吴肇良. 一种轻型天线稳定平台的设计 [J]. 舰船科学技术,2008,30(11):139-142.

作者简介:米月星(1987-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力电子与电力传动。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>