基于DSP的永磁同步电动机伺服系统设计

**郭卫杰，曹晓明**

（中国船舶科学研究中心，江苏 无锡 214082 ）

**摘要：**本文以永磁同步电动机为控制对象，设计以DSP为控制核心、IPM为驱动核心的伺服驱动系统，具有CAN总线通讯功能。该驱动控制系统响应速度快、控制精度高，具有良好的应用前景。

**关键词：**永磁同步电动机、DSP、IPM、伺服驱动系统

0 前言

随着高性能的数字信号处理器DSP的迅速发展，伺服控制系统的全数字化发展成为必然。数字控制系统相比模拟控制系统有着巨大的优势，不仅元件数目大大的减少，软件的升级更新也非常方便。无论是BLDCM、PMSM还是其他感应电机构成的伺服系统，都可以采用同一的硬件设计[1]。这样也使得伺服驱动器有了广泛的通用性，针对不同的控制对象，只需要移植相对应的软件就可以实现对其它电机的控制，这也是数字伺服系统的一个非常好的优点。

1 系统硬件的总体结构

本文研究的永磁同步电动机控制系统硬件框图如图1所示，主要包括控制板、功率驱动板两大部分[2]。控制板是以TI公司的电机控制芯片TMS320F2808为控制核心，并设计了AD调理电路、光电编码信号差分接收电路、电平转换电路等电路；功率驱动板采用智能功率模块为逆变器，并设计了电压检测电路、电流检测电路、光电耦合隔离电路、制动回路以及保护电路等一系列外围电路。



图1 控制系统硬件结构图

2 DSP控制板

2.1 TMS320F2808芯片概述

TMS320F2808是TI公司新推出的高性能32位数字信号处理器，它具有低成本、低功耗和高性能的特点，特别适合永磁同步电动机的高性能控制。

它的主要特点如下[3]：

(1) 高性能静态CMOS技术，100M的主频，IO端口电压3.3V、核心电压1.9V的低功耗设计。

(2) 高性能32位处理器，哈佛总线结构，高速中断响应和处理能力，统一内存设计模式。

(3) 64K\*16 FLASH，18K\*16 SARAM，4K\*16 Boot ROM。

(4) 2个8通道12位高速、高精度ADC；12路PWM信号输出，可达到500KHz高分辨率；增强型CAN总线控制器，可实现高性能的网络化控制系统；增强型正交脉冲编码器模块(eQEP)，用在高性能的运动和位置控制系统中；还包括基本的JTAG、SCI、SPI接口。

2.2 电源电压转换电路

F2808芯片有多种电源引脚，包括：CPU核的电源(VDD)，I/O电源(VDDIO)，ADC模拟电源引脚(VDDA2，VDDAIO)，ADC核电源(VDD1A18，VDD2A18)，Flash程序电源(VDD3VFL)，地电源引脚(VSS，VSSIO)，ADC模拟地(VSSA2，VSSAIO)，ADC模拟/内核地（VSS1AGND，VSS2AGND）。

所有的电源引脚都必须连接正确，这芯片具有多个给内核、I/O和ADC模拟供电引脚，所有的这些引脚都必须连接正确的供电电压，特别注意不能让热河引脚悬空。I/O引脚的电压是3.3V，然而内核的供电电压为1.8V。具有可编程的Flash，对其供电的引脚必须连接到3.3V上。

由于DSP控制板有外接的+5V直流电源，通过电压转换芯片1117-3.3将+5V转换为+3.3V，再使用1117-1.8将+3.3V转换为+1.8V。电源和地经过磁珠隔离后产生模拟电压+3.3VA、+1.8VA和模拟地AGND。电路原理图如图2所示。



图2供电电压转换电路图

2.3 ADC信号调理电路

2808芯片AD的输入电压范围为0~3V，所以需要对输入ADC的信号进行限幅处理，为了防止一些干扰信号，还需要对输入信号进行滤波[38]。ADC信号调理电路的原理图如图3所示。



图3 信号调理电路图

2.4 编码信号电平转换电路

永磁同步电机的控制过程中，需要实时的检测电机转子的位置信号和速度信号，本系统为了实现高动态、高精度的控制，在电机输出轴安装增量式光电编码器。增量式光电编码器输出两组信号：A、B、Z；U、V、W。其中A和B是两路正交脉冲信号，可根据这两路的相位关系确定电机的转向。Z信号是零位脉冲信号，电机每转一圈输出一个脉冲。U、V、W是相位相差120°的脉冲信号，与Z信号一起可以对转子进行初始定位。

为了避免信号在传输过程中引起的信号干扰和信号衰减，光电编码器的脉冲输出一般采用差分信号方式输出，所以在DSP控制板接收端需要采用差分接收芯片AM26LS32接收差分信号。

由于光电编码器的输出信号电平为TTL，而DSP的正交脉冲编码模块工作电平为+3.3V，这里需要对电平进行转换。采用74HC245D芯片，+3.3V供电，就可以将+5V电平的信号转换为+3.3V电平信号。然后将变换的信号输入至DSP的eQEP模块。差分接收电路和电平转换电路的原理图如图4所示。



图4 编码器信号接收与电平转换电路图

2.5 CAN总线电路

控制局域网络(CAN)使用一个串行多主通信协议，从而有效地提供了高安全等级的分布式实时控制，通信速率可以达到1Mbps。CAN总线主要应用于充满干扰等苛刻环境下的可靠通信，比如汽车和工业现场等需要可靠通信的领域[4]。根据消息优先级的不同，可以将每帧最多为8字节长度的数据传送到多主方式串行总线上，采用总线仲裁技术和错误检测机制来保证数据的高度完整性。

SN65HCD230芯片为3.3V CAN总线收发器，负责信号的电平及形式转换，实现总线的差动发送和接收功能，有着较强的抗干扰能力并增大了通讯距离。此外，它还具有保护总线、降低射频干扰、实现热防护等功能。总线两端的电阻为CAN终端的匹配电阻，一般取120Ω。其连接电路如图5所示



图5 CAN总线收发电路图

3 功率驱动板

功率驱动板主要由三相桥式逆变主电路、光耦隔离电路、信号采集电路和保护电路组成。

3.1 主电路

主电路包括交流输入的整流、滤波、三相逆变桥电路以及制动电路[5]。主电路的核心是三相逆变桥电路，比较常见的使用6个IGBT模块搭建三相逆变桥电路，本系统为了减小功率电路的体积、提升驱动电路的效率和可靠性，采用了智能功率模块IPM作为三相逆变电路。IPM模块相比于IGBT模块有很多的优势，由于它由高度的功能集成化，不仅大大的提升了系统的可靠性，还简化了电路设计的复杂性，缩短产品开发周期。

PS21564的端子与外围电路的连接如图6所示。



图6 智能功率模块外围电路图

传统的IPM需要四路+15V电源，其中上桥臂3个IGBT控制电路用3个独立电源，下桥臂3个IGBT控制电路共用1个电源。与传统的IPM不同，此模块可以只用单电源进行供电以驱动内部的IGBT管。这就需要由自举电路将其它3路电压进行自举。使用单一电源可以简化IPM的应用，降低系统电源部分成本。同时具有抗干扰能力强等特点，从而得到很好的应用。

IPM自举电路由自举电容、自举电阻和自举二极管组成。在驱动IGBT的过程中需要反复的对自举动容充放电，因此必须要选择适当的参数，保证自举电容上的电压在电机运行的过程中始终高于欠压保护电平[41]。

3.2光耦隔离电路

输入IPM控制信号端子的PWM信号，需要通过高速光耦对其进行隔离。本系统采用的是6N137高速光耦,从DSP输出的6路PWM信号都要经过高速光耦隔离后送入IPM控制端。

按电路图7的接法，2脚经上拉电阻接到VCC，PWM信号从3脚输入，7脚悬空为高电平。当PWM输入信号为高时，发光二极管不发光，右侧二极管正端为低电平，那么输入到与门的那一段也为低电平，与门输出低电平，三极管截止，6脚输出高电平。同样，当PWM输入6N137的信号为低时，光耦也输出低电平。所以这个光耦隔离电路为同相隔离传输。



图7 PWM信号隔离电路

对于低频率的故障信号和制动信号，采用低速光耦进行隔离，这里采用的是TLP521型号的光耦。故障信号隔离电路如图8所示，IPM功率板上的保护信号经过隔离输出，送入控制板DSP芯片的TZ端。

制动信号隔离电路如图9所示，当需要停止电机运行时，DSP控制板发出制动信号，经隔离后送入功率板制动电路MOS管的栅极。此隔离电路的接法也是同相隔离传输，保证信号在传输的过程中，信号电平不改变。



图8 保护信号隔离电路图



图9 制动信号隔离电路图

3.3 三相电流采集电路

电流的检测主要检测方法有电阻法、电流互感器检测法和霍尔效应电流传感器检测法。电阻测量法具有成本低，线路简单和相应速度快的优点，但是其阻值受温度影响较大，所以测量精度较低。电流互感器一般适用于测量高压大电流环境，并且其测量动态或低频电流信号时精度不高，故也不常用。目前，用于高精度电流检测的方法主要是通过采用霍尔电流传感器。霍尔传感器具有精度高、响应快、线性度好、频带宽、过载能力强和不损失测量电路能量等一系列优点。可以广泛的应用于电子电路、电机控制和开关电源等领域，可以很好的替代传统的电流测量方法。

本系统采用的是托肯的TBC06DS传感器，其额定输入电流为6A，额定输出电压为2.5+0.625V，DSP的ADC输入电压范围为0~3V，这里只需把输出电压做一个比例缩小，使其的输出电压范围为1.5V~2.5V，这样就可以使其满足ADC的电压输入条件。定子电流采集电路如图10所示。



图10 定子电流采集电路图

4 结语

本文主要完成永磁同步电机驱动器的硬件构成。其中有以TI公司推出的电机控制芯片TMS320F2808为主控芯片的控制电路，以及AD调理电路、电平转换电路、差分信号接收电路和CAN总线信号收发电路等构成的外围电路。采用了以三菱公司生产的智能功率模块PS21564为逆变器，阐述其电路应用方法，并完成电压检测电路、电流检测电路、光电耦合隔离电路、制动电路以及保护电路等一系列外围电路的设计。

**参考文献：**

[1] 3-phase BLDC Motor control with sensorless Back-EMF ADC Zero cross-ing detection using DSP56F80X .Motorola order Number，AN1913/D，2001

[2] H.S.YANG，J.Jeong，C.H.Park，and Y.P.PARK，“Identification ofcuntributors to HDD servo errors by measuring PES only，”IEEE Trans.Magn，vol.37，No.2，pp.883-887，Mar.2001

[3] TMS320F2808 Digital Signal Processors Data Manual. Texas Instruments，2009

[4] 张杰，舒志兵.基于CAN总线的伺服运动控制系统研究[J].伺服控制，2006(9):33-35

[5] 刘日宝.全数字永磁交流伺服驱动系统的研究[D].南京航空航天大学硕士学位论文.2004

**Design of PMSM servo and control system based on DSP**

Guo Wei-jie1, Cao xiao-ming1

**(1.China Ship Science Research Center，Wuxi 214082，China)**

**Abstract:** This paper takes the PMSM as the control object,DSP as control center,IPM as servo center,with CAN bus communication function. The driver control system has high response speed and high control precision and has good application prospect.

**Keywords:**PMSM,DSP,IPM,Servo system