

# 基于 DSP 的永磁同步电机伺服系统

杨旭东,杨 朋,李 津,李文伟

(西北工业大学 机电学院,西安 710072)

**摘要:**设计了一套基于 DSP 的永磁同步电机伺服系统。系统为速度环和电流环双闭环控制结构,采用了 SVPWM 控制策略。以 DSP 为核心设计了硬件电路,运用 C 语言进行了软件设计,实现了对永磁同步电机的伺服控制。

**关键词:**永磁同步电机;伺服系统;DSP;SVPWM

**中图分类号:** TM921.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000 - 0682(2009)02 - 0044 - 04

## Permanent magnet synchronous motor servo system based on DSP

YANG Xudong, YANG Peng, L I J in, L I Wenwei

(Northwest Polytechnical University, Xi an 710072, China)

**Abstract:** This paper designs a DSP - based permanent magnet synchronous motor servo system. This system include the speed and current central double - loop control structure, use the SVPWM control strategy. This paper designs the hardware circuits by the use of DSP as core, designs software by the use of C - language, and achieves the permanent magnet synchronous motor servo control

**Key words:** permanent magnet synchronous motor; servo system; DSP; SVPWM

### 0 引言

永磁同步电机具有结构简单、体积小、效率高、转动惯量低、易于维护保养等优点,使其在中小功率、宽调速范围的伺服调速系统中具有明显优势。此外,它还具有力矩波动小,响应速度快,峰值扭矩高,过载能力强,能承受频繁启停、制动和正反转的特点,因此在航空航天等领域获得了广泛应用。

电压空间矢量脉宽调制(SVPWM)方法从磁链轨迹的角度出发,用多边形将磁链轨迹拟合成近似圆形,使永磁同步电机产生圆形磁场,此时由系统计算输出的 PWM 经过三相逆变器输出的电压为三相正弦波。与传统的正弦脉宽调制(SPWM)方法相比,SVPWM 具有谐波电流和脉动转矩小、直流电压利用率高、损耗较小、便于数字化方案实现等优点,现在已有取代传统 SPWM 控制的趋势。为了顺应这一发展趋势,该文对采用 SVPWM 控制策略的永磁同步电机伺服驱动系统进行了研究。

### 1 调速系统的控制原理

收稿日期:2008 - 09 - 10

作者简介:杨旭东(1962),男,山西人,副教授,硕士,主要研究方向为工业自动化控制,数控技术。

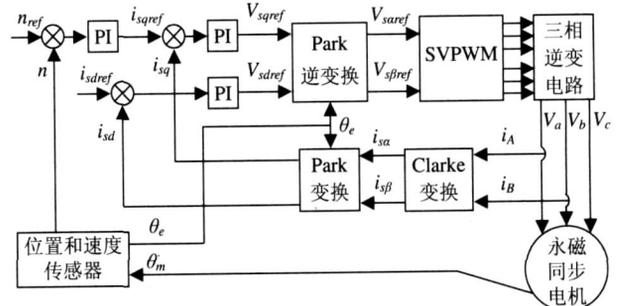


图 1 控制系统原理框图

调速系统的控制策略采用了电压空间矢量脉宽调制(SVPWM)方法。经过几十年的发展,其理论已经比较成熟,在实际应用中性能优异,且易于实现。图 1 所示系统采用双闭环控制,内环为电流环,外环为速度环。

通过电流传感器检测逆变电路输出的定子电流  $i_A$ 、 $i_B$ ，经过 A/D 采样转换后,由 DSP 进行 Clarke 变换和 Park 变换得到电流环的反馈量  $i_{sq}$  和  $i_{sd}$ 。由旋转变压器测得电机的机械角位移  $\theta_m$ ，将其转换为电角度  $\theta_e$  和转速  $n$ 。电角度  $\theta_e$  用于 Park 变换及其逆变换的计算,转速  $n$  作为速度环的反馈量。

给定转速  $n_{ref}$  与转速反馈量  $n$  的偏差经过速度环 PI 调节器,得到 q 轴电流参考量  $i_{sqref}$ 。  $i_{sqref}$  和  $i_{sdref}$  与电流反馈量  $i_{sq}$  和  $i_{sd}$  的偏差分别经过各自的电流

环 PI 调节器,其输出再经过 Park 逆变换和 SVPWM 调制后,送出 3 对 PWM 波。PWM 波经过逆变电路的放大后,送入电机定子绕组,即可产生旋转磁场使电机转子发生旋转。

## 2 控制系统硬件设计

### 2.1 总体结构

控制系统结构如图 2 所示,包括以 DSP 为核心的主控电路、功率放大电路、电流反馈检测电路、旋转变压器解算电路、故障检测电路以及人机接口电路等。电机控制专用 DSP 芯片兼有 DSP 的高运算速度和单片机的强控制能力,它的出现为电机控制系统的全数字化提供了硬件支持。文中选用 TI 公司的高性能、低成本电机控制 DSP TMS320LF2407A 作为核心控制器,它最高运行速度可达 40 MIPS,单指令周期最短为 25 ns。2407A 有两个专用于电动机控制的事件管理器 (EVA 和 EVB),系统充分利用了事件管理器提供的资源,使设计大为简化。

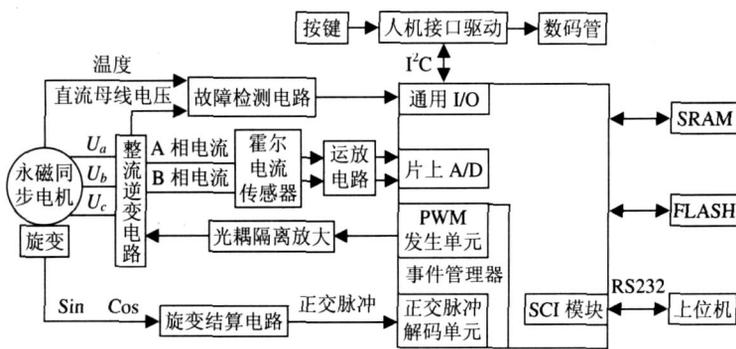


图 2 控制系统结构框图

### 2.2 电流检测

电流检测采用了霍尔电流传感器,其额定测量电流 25 A,线性范围 0~37.5 A,输出信号为 0~4 V,精度 0.8%。由于定子电流存在关系  $I_a + I_b + I_c = 0$ ,故只须对 A、B 两相电流进行检测。检测信号的 A/D 转换利用 DSP 芯片自带的 16 通道 10 位 A/D 转换器,其最快 A/D 转换时间为 375 ns。A/D 模块采用稳压管 TL431 提供 2.5 V 的参考电压,因此经过霍尔电流传感器采样得到的信号必须通过运放电路调整到适当范围。运放电路如图 3 所示,电流信号经过一阶低通滤波后进入运算放大器,由稳压芯片 2912 (U17) 提供 1.25 V 的上拉电压输入到放大器的正向输入端,调节 R29、R30 将信号调整在 0

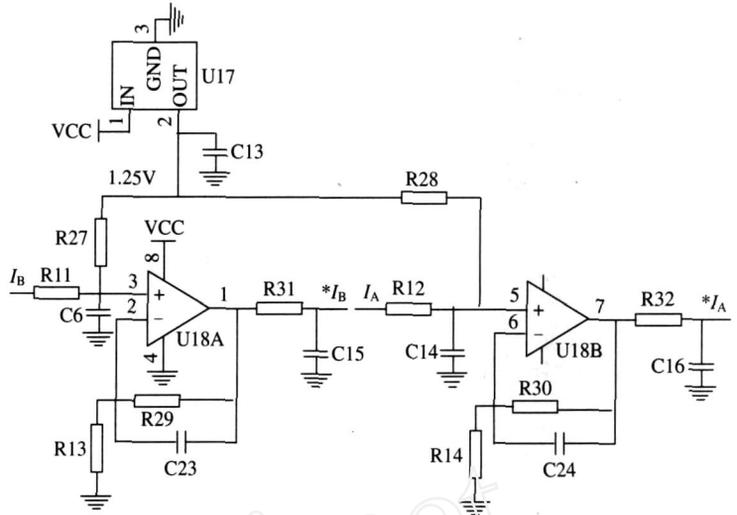


图 3 采样电流运放电路

### 2.3 转子位置检测

电机转子位置检测元件采用了旋转变压器,与光电编码器相比,它抗冲击性好,抗干扰强。如图 4 所示,旋转变压器的解算芯片采用 AD2S1200,其内部的振荡电路可为旋转变压器提供频率可编程的正弦激励信号。解算芯片接收到旋转变压器传送来的 SN、COS 信号,解算为位置和转速信息,并输出 A/B 正交编码脉冲信号,传送到 DSP 的正交脉冲单元。

### 2.4 功率放大电路

由于从 DSP 发出的 PWM 驱动信号只有 3.3 V 的电压,而整流逆变电路选用 FGA25N120A 型号的 IGBT 功率开关管,其栅极驱动电压为 8~20 V,必须放大 PWM 控制信号的驱动能力,同时还要保证转换的速度和精度,为此,在驱动电路选用高速光耦 A3150 隔离放大 PWM 信号。

### 2.5 故障检测电路

故障检测电路包括直流母线电压检测电路和温度检测电路。直流母线电压检测采用分压电阻采样法,如图 5 所示,母线电压经过 R17、R25 分压变为控制器能够接受的电压级别 0~5 V,经过光耦隔离电路、低通滤波电路后输入到 DSP 中。温度检测电路与此类似,不再赘述。

### 2.6 人机接口

系统使用 6 个按键和 6 位数码管作为人机接口。采用 CH452A 作为接口芯片,它可以动态驱动 8 位 7 段 LED 数码管,具有 BCD 译码、移位等功能,还可以进行 8×8 矩阵键盘扫描。它通过二线串行

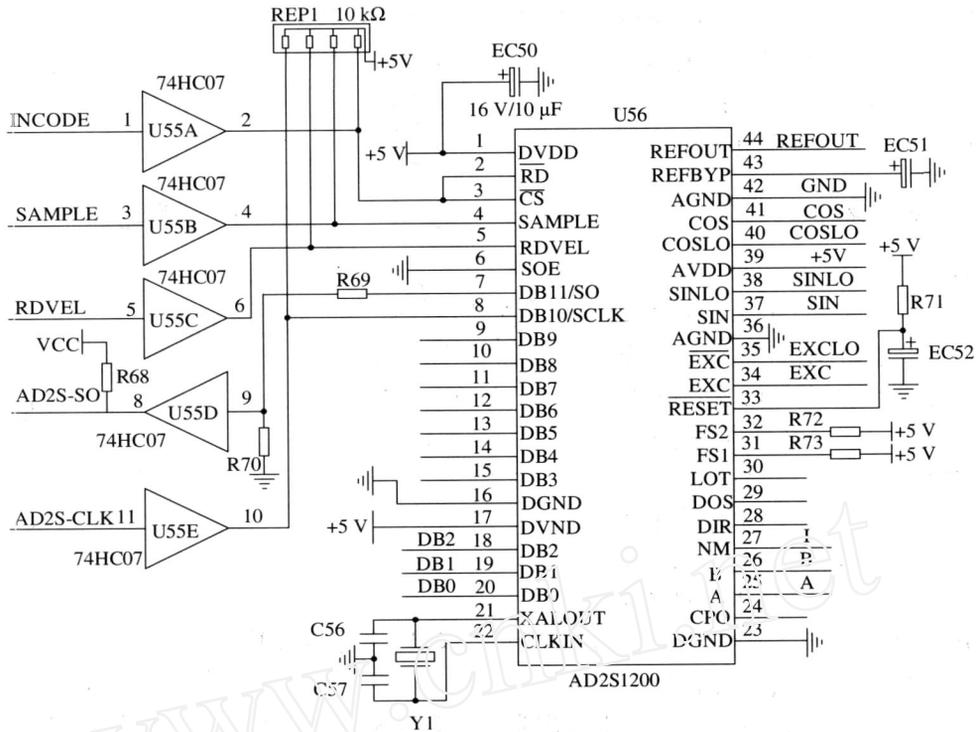


图 4 旋转变压器解算电路

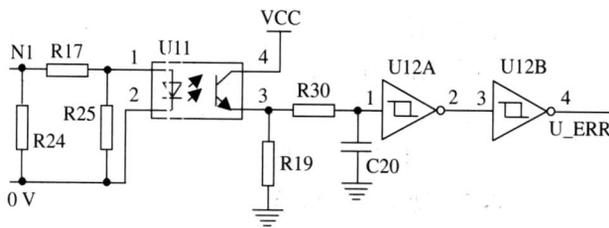


图 5 直流母线电压检测电路

IC协议接口与DSP芯片通信。由数码管与按键配合,可以通过软件实现转速、各相电流、Pi调节参数等的实时显示和设定。

此外,系统还利用DSP的SCI串行通信模块,使用RS232协议同上位机通信,接口芯片采用了MAX232。使用VC编写的上位机软件,可对控制系统的转速、相电流等参数进行实时监测及绘图。

### 3 软件实现

#### 3.1 总体结构

根据永磁同步电机伺服系统要实现的功能,可以将系统的软件程序划分为以下几个功能块:系统上电初始化,电机转子位置和转速检测,电机电流检测,速度环与电流环Pi调节,矢量变换,SPWM,通信及人机接口等。软件用C语言编写,数据运算采用Q格式和标么值,使用整形运算代替浮点数运算,提高运算精度和速度。

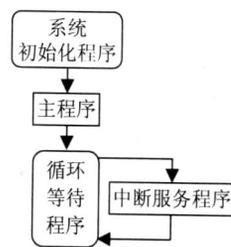


图 6 控制系统软件总体框图

图6为控制系统软件的总体框架图。系统上电后,DSP在中断向量表的引导下,转入main()函数的入口开始执行程序。程序在main()函数中先调用初始化函数,进行控制寄存器的设置和相关变量的初始化。接着执行一段主程序,然后就进入一个循环等待程序,等待中断事件的发生。

图7为系统初始化程序的流程图。

图8为定时器T1下溢中断程序流程图,与矢量

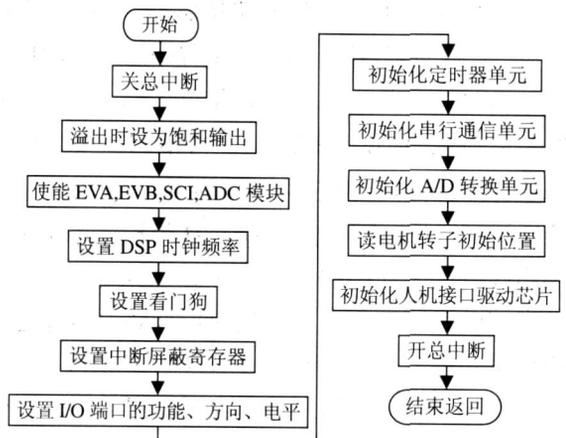


图 7 系统初始化程序流程图

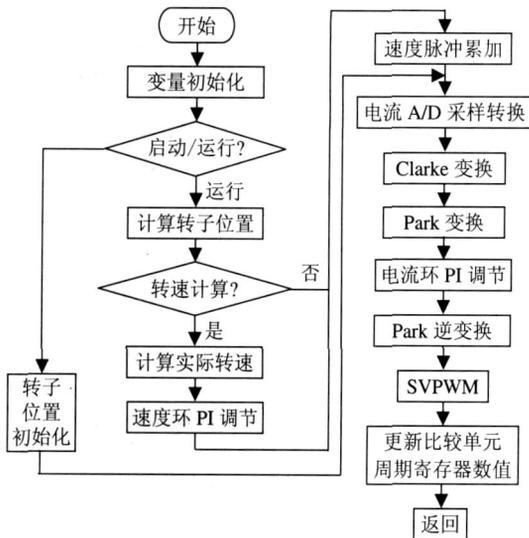


图8 定时器 T1 下溢中断程序流程图

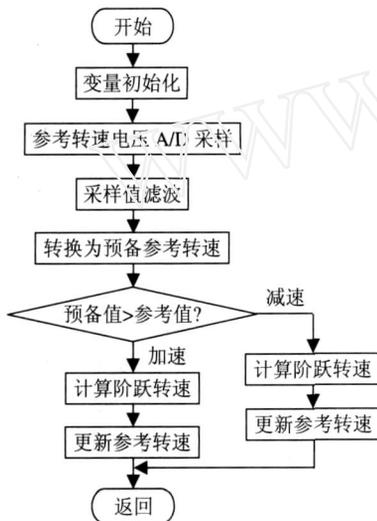


图9 定时器 T4 下溢中断程序流程图

控制算法相关的电机转子位置和转速检测,电机电流检测,速度环与电流环 PI调节,坐标变换, SVP-

WM等函数都在该中断服务子程序中实现。图9为定时器 T4下溢中断程序流程图,定时器 T4的下溢中断服务子程序,主要用来完成外部给定转速(参考转速)的计算。

### 3.2 P控制软件设计

电流环、速度环采用数字 P控制,其控制策略采用积分分离的 PI算法。当系统加入积分校正以后,会产生饱和效应,引起过大的超调量,这对于高性能的控制系统是不允许的。引进积分分离算法,既可以保持积分的作用,又可以减小超调量,使控制性能有很大改善<sup>[4]</sup>。

## 4 结束语

控制系统的程序使用 C语言编写,经编译器编译生成汇编代码后,进行手工优化,进一步提高了运行效率。

该文的永磁同步电机调速系统,经调试验证,各项性能指标均达到设计要求,具有良好的伺服性能。

### 参考文献:

- [1] TMS320LHC240xA DSP Controllers System and Peripherals Reference Guide [Z]. Texas Instruments, 2001.
- [2] Implementation of a Speed Field Oriented Control of 3-phase PMSM Motor using TMS320F240 [Z]. Texas Instruments, 1999.
- [3] 王晓明,王玲.电动机的 DSP控制 - TI公司 DSP应用 [M].北京:北京航空航天大学出版社,2004.
- [4] 李永东.交流电机数字控制系统 [M].北京:机械工业出版社,2002.
- [5] 陈伯时.电力拖动自动控制系统 [M].北京:机械工业出版社,2003.

(上接第 77 页)

灰分、提高化产回收、改善环境质量、保障生产安全等多方面发挥出重要作用。

### 参考文献:

- [1] 肖志刚.基于模糊理论的焦炉集气管压力控制系统的设计与实现 [J].科学技术与工程,2007,(12):2983-2987.
- [2] 王健,方业全,李明河.焦炉集气管压力 Fuzzy - PD 控制系统设计 [J].控制系统,2007,(2):59-61.
- [3] 潘海鹏.焦炉集气管压力综合控制算法研究与应用 [J].控制工程,2003,10(6):529-531.

- [4] 张建民,王涛.智能控制原理及应用 [M].北京:冶金工业出版社,2004.
- [5] Yang C, Wu M, Shen D. Hybrid intelligent control of gas collectors of coke ovens [J]. Control Engineering Practice, 2001, 9(7): 725 - 733.
- [6] 刘金琨.先进 PD控制 MATLAB 仿真 [M].北京:电子工业出版社,2004.
- [7] R Ketata, D De Geest, A Titli Fuzzy controller: design, evaluation, parallel and hierarchical combination with a PD controller [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1995, (71): 113 - 129.