

基于 DSP 的交流电机伺服控制器设计 *

李 伟, 林旭梅

(青岛理工大学, 山东 青岛 266520)

摘 要: 对基于 DSP 交流异步电机伺服控制系统进行硬件设计, 介绍了双闭环伺服电机硬件电路的设计, 并主要介绍 DSP 外围电路的设计及器件选型, 包括整流逆变电路、能耗制动电路、电流检测电路、光电编码电路、温度检测电路以及电流保护电路。通过温度和电流检测电路对电机的运行状态进行实时保护; 通过光电编码电路可以对增量式光电编码器信号进行信号变换; DSP 对光电编码器的信号进行解码, 并通过换算关系进行电机转速和位置的计算。本系统在基于电流环、速度环检测的基础上对交流电机进行精确的转速控制。

关键词: 双闭环控制; DSP; 交流电机; 伺服控制

中图分类号: TP274

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2010)16-0017-04

Study of DSP-based servo control system for AC motor

LI Wei, LIN Xu Mei

(Qingdao Technological University, Qingdao 266520, China)

Abstract: This will be based on DSP exchange of asynchronous motor servo control system, and mainly introduces the hardware design of double loop-locked servo motor, hardware circuit design and mainly introduces the periphery of the circuit design of DSP device types, including rectifier and inverter circuit, braking energy circuit, the electric current detection circuit, photoelectric coding, temperature detection circuit circuit and the current protection circuit. Through the temperature detection circuit of electric current and the operation state, through real-time protection of photoelectric coding can solid-axes photoelectric encoder signals, DSP will signal transformation of photoelectric encoder and decoder signal conversion relation through certain motor speed and position of the calculation. Double closed servo motor control system in the current loop velocity loop, the basis of AC motor precise control.

Key words: double closed loop control; DSP; AC motor; servo control

交流感应电机因其结构牢固、运行稳健可靠、成本低廉和效率高而广泛使用。但是交流电机的可控制性不如直流电机,而在很多应用中有精确定位、转矩控制、速度控制等要求。为了实现此功能并提高控制精度,需要采用闭环控制系统和较为复杂、有效的控制算法,这些复杂的控制算法中包含了大量的数据运算及系统的实时性要求,对微处理器运算能力和速度要求更高^[1]。交流电机的控制以前大多采用单片机 8031、8051 等,其电路采用的元器件多、硬件结构复杂、系统运行可靠性差、灵活性小。数字信号处理器(DSP)的出现使得实现电机控制系统的模块化和全数字化成为可能。本文以 TMS320F812 为核心控制器,设计了一种性能优良的交流电机控制系统。

1 系统硬件总体设计

交流电机调速系统主要由功率变换器、控制器、电流和位置检测单元以及交流电机组成。功率变换器由交流电整流后的直流电供电,向交流电机提供旋转所需的能量。控制电路是系统中枢,综合处理速度信号、速度反馈信号及电流传感器、位置传感器的反馈信息,控制功率变换器主开关的工作状态,实现对交流电机运行状态的控制。

2 交-直-交电压型变频器的主电路

交-直-交电压型变频器是中小容量、通用性变频器的主要形式,其主电路如图 1 所示,由交-直变换电路,直-交变换电路和能耗制动电路组成。

2.1 整流电路

在 SPWM 变频器中,大多采用桥式全波整流电路。

《微型机与应用》2010 年 第 29 卷 第 16 期

* 基金项目:山东省自然科学基金项目资助(Y2008G05)

硬件纵横

Hardware Technique

在中小容量变频器中,整流器件采用不可控的整流二极管或二极管模块,如图1中的 $D_1\sim D_6$ 是整流器件的一般选择^[4]。

(1)最大反向电压

$$U_{RM}=2U_m \quad (1)$$

式中, U_m 是电源线电压的振幅值。当电源线电压 $U_{IN}=220\text{V}$ 时,

$$U_{RM}=2\times\sqrt{2}\times 220\text{V}=622\text{V} \quad (2)$$

选 $U_{RM}=650\text{V}$

(2)最大整流电流 I_{VDM}

$$I_{VDM}=2I_N \quad (3)$$

式中, I_N 为变频器的额定电流,在本控制系统中,电机型号是300W/0.67A,考虑到裕量, I_{VDM} 取2A即可。

2.2 滤波及限流电路

(1)滤波电路 由于受到电解电容的电容量和耐压能力的限制,滤波电容通常由若干个电容器并联成一组,又由2个电容器组串联而成,如图1所示。又因为电解电容的电容量有比较大的离散性,故电容器组的电容量不能完全相等,这将使它们所承受的电压不相等。为了使其承受的电压相等,在电容器组旁各并联一个阻值相等的均压电阻,如图1中 R_1 、 R_2 。

(2)限流电路 串联在整流桥和滤波电容器之间,由限流电阻和断路开关组成。变频器在接入总电源之前,滤波电容上的直流电压为0V。因此当变频器刚接入电源的瞬间,会有一个很大的冲击电流经过整流桥流向滤波电容,使整流桥可能因此而受到损坏;同时,也可能使电源的瞬间电压明显下降,形成干扰。限流电阻就是为了削弱该冲击电流而串接在整流桥和滤波电容之间的。但是,限流电阻如果长期接在电路内,会影响到直流电压和变频器输出电压的大小。所以,当直流电压增大到一定程度时,令断路开关 S_S 接通,把 R_S 切出电路, S_S 大多由晶闸管构成,在这个容量较小的变频器中,选择继电器即可。

2.3 三相逆变桥电路

三相逆变桥的功能是把直流电转换成频率可调的

的三相交流电,由逆变电路和续流电路组成的^[5]。

(1)逆变电路 在图1中,由开关器件 $V_1\sim V_6$ 构成的电路,常称之为逆变桥。 $V_1\sim V_6$ 接受控制电路SPWM调制信号的控制,将直流电逆变成三相交流电。当电源电压为220V时,整流后直流电压:

$$U_d=1.35U=1.35\times 220\text{V}=297\text{V} \quad (4)$$

晶闸管(或三极管)截止状态下的击穿电压:

$$U_n\geq 1.5U_d=1.5\times 300\text{V}=450\text{V} \quad (5)$$

取500V即可。

集电极最大电流:

$$I_n=(1.2\sim 2)\times 1.5\times\sqrt{2}\times 1\text{A}=2.55\text{A}\sim 4.2\text{A} \quad (6)$$

取3A即可。

(2)续流电路 图1中并联在开关管的6个二极管构成续流电路,其功能是为电动机绕组的无功电流返回直流电路时提供通路;当频率下降、同步转速下降时,为电动机的再生电能反馈至直流电路提供通路;为电路的寄生电感在逆变过程中释放能量提供通路。

2.4 能耗制动电路

在变频调速系统中,电动机的降速和停机通过逐渐减小频率实现。在频率刚减小的瞬间,电动机的同步转速随之下降,由于机械惯性的原因,电动机的转子转速未变。当同步转速低于转子转速时,转子电流的相位几乎改变了 180° ,电动机处于发电机状态。与此同时,电动机轴上的转矩变成了制动转矩,使发电机的转速迅速下降。电动机处于再生制动状态。电动机再生的电能经过续流二极管全波整流后反馈到直流电路,由于直流电路的电能无法输回给电网,仅靠滤波电容吸收,尽管部分电能还被继续消耗,但滤波电容上仍有短时间的电荷堆积,形成泵生电压使直流电压升高。过高的直流电压将使各部分器件受到损害。因此当直流电压超过一定值时,就要提供一条放生回路,将再生的电能消耗掉。能耗制动电路便是专门用来消耗电动机再生电能的电路。能耗制动电路由制动电阻和制动单元开关管组成,在图1中,介于滤波电路和逆变电路之间的电路是能耗制动电路。制动电阻 R 是专门用于将电动机的再生电能转换

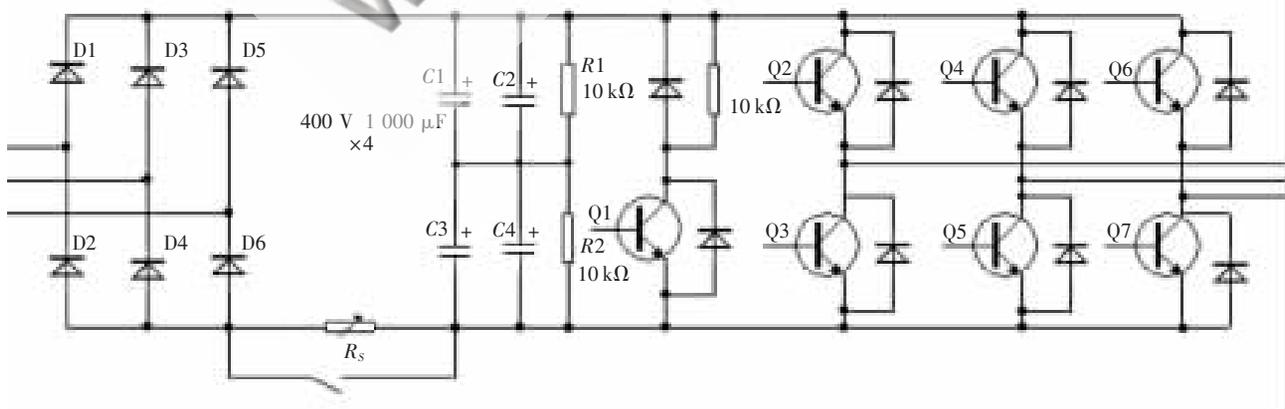


图1 系统总体硬件结构图

硬件纵横

Hardware Technique

成热能而消耗掉,选择器件时主要考虑电阻阻值以及功率,一般情况下,阻值的大小以使制动电流不超过变频器额定电流的一半为宜。

$$I=U/R \leq I_N/2 \quad (7)$$

$$\text{从而 } R \geq 2U/I_N = 2 \times 300/3 = 200 \Omega$$

取 $R=510 \Omega$

制动电阻属于短时工作,一般取

$$P \geq 0.5U^2/R = 0.5 \times 300^2/510 = 88 \text{ W} \quad (8)$$

取 100 W 即可,可选择珐琅大功率电阻 $510 \Omega/200 \text{ W}$ 。

制动单元一般由功率管、电压取样与比较电路以及驱动电路组成。由于电压较大,应选用电流互感器将电流采样后转换为 $0 \sim 3 \text{ V}$ 的电压,经过 2812 的 AD 单元后与设定值进行比较,如果达到要求,则 2812 输出一路信号通过光电耦合器后驱动功率管打开,进行能耗制动。功率管经常选用 GTR 或 IGBT,但本系统功率较小,选用功率较大的三极管即可。要求如下:

击穿电压:

$$U_{\text{CEX}} \geq 1.5U = 1.5 \times 300 = 450 \text{ V} \quad (9)$$

集电极最大电流:

$$I_{\text{CM}} \geq 2 \times 300/510 = 1.18 \text{ A} \quad (10)$$

取 2 A 即可。

2.5 电流采样电路

系统中的电流检测环节是电流传感器,该电流传感器是利用霍尔效应和磁平衡原理制成的一种电流传感器,能够测量直流、交流及各种脉冲电流,同时在电气上高度绝缘。经过霍尔电流传感器,需要检测的电流信号按比例缩小为电压信号,为了防止后续电路对这个电压检测信号的干扰,系统利用运算放大器“虚短”和“虚断”的原理设计了电压跟随器。霍尔元件检测到电流信号后,由于电压 PWM 调制的影响,波形不可避免地会有一些毛刺,所以需要加一个低通滤波器,采用二阶压控型低通滤波器。滤波电路的输出在进入 DSP 和 AD 环节之前,为了防止电压太大损坏 DSP,还需经过一个钳位电路,DSP 芯片使用 3.3 V 供电,因此系统设计了 3.3 V 钳位电路,使得输入 AD 转换模块引脚的模拟信号不超过 3.3 V,如图 2 所示。

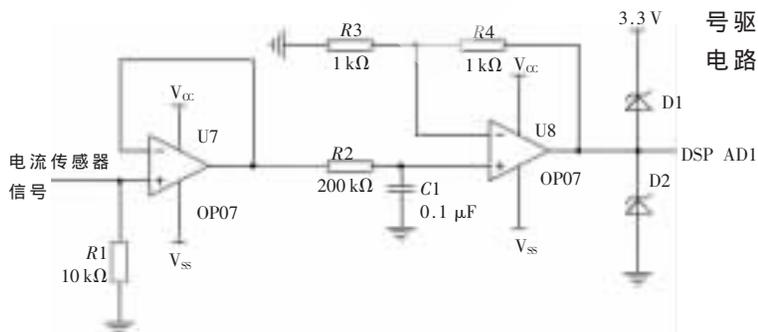


图 2 电流采样电路

2.6 光电编码电路

测速是速度闭环控制系统的关键。本系统采用光电编码器,有 A 相、B 相、Z 相三路输出。其中 A 相与 B 相用于测速,它们的相位差为 90° ,每转一圈输出 2048 个脉冲;而 z 相脉冲为每转一圈输出一个脉冲;脉冲的幅值为 15 V。光电编码器的 A 相和 B 相经光电隔离后进入 74LS14 转换成幅值较低的脉冲信号,输入到 DSP 的编码器接 QEP1 和 QEP2 引脚。其电路图如图 3 所示。

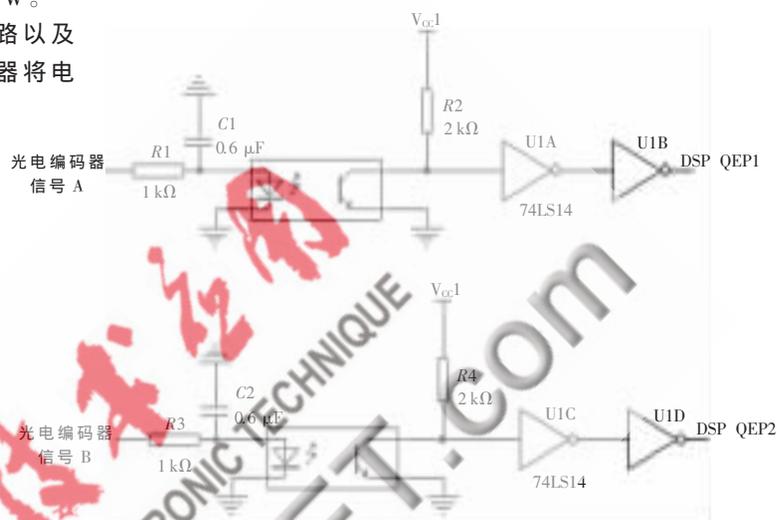


图 3 光电编码器

2.7 温度检测电路

电路中 $R1$ 、 $R2$ 、 $R3$ 采用精密电阻,用来减小温漂影响。为了消除由于铂热电阻阻值较小、受连接导线的电阻及接触电阻对测量精度产生的影响,采用三线制接法,调整 $R1$ 可以使电桥平衡。将电桥输出接入 OP07,反相放大 40 倍后接入 DSP 的 AD 单元。通过计算出铂电阻阻值,在系统运行时,先查表得出特定温度铂电阻的阻值(如 100°C),当计算的铂电阻阻值大于这一阻值时,停止 DSP 工作并报警,保护相关的元器件。如图 4 所示。

3 DSP 与硬件部分的连接

在本系统中,DSP 的主要功能是根据需要驱动逆变桥的 6 个开关管的通断并且根据采样信号来打开或关断能耗制动电路的功率管^[5]。由于 DSP 输出的 PWM 信号驱动能力较弱,且为了实现低压数字电路和高压模拟电路之间的电气隔离,需要采用光耦隔离,另外,DSP 芯片输出信号频率较高,需要反应速度较快的光耦。通常按低电平开通高电平截至的原则设计接口电路。实际应用中,某些开关可能不用,但输入信号加上拉电阻可以保证其关断。

实验结果表明,系统达到了预期的设计目标,得到的实验数据体现了硬件实现的可行性,为下一步的实际运用打下了良好的基础。

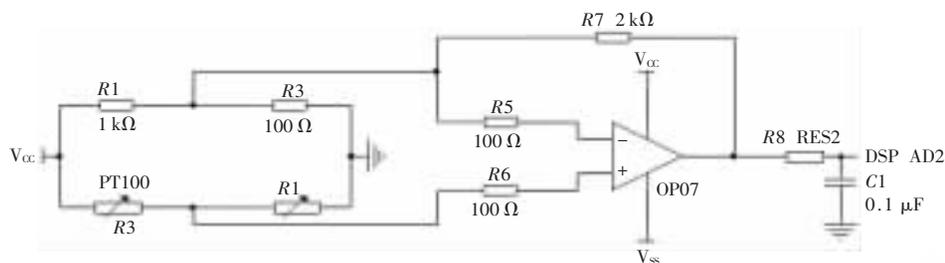


图4 温度检测电路

量同步采集系统[J].电测与仪表, 2008, 45(4): 40-43.

- [8] BACK D K, KO T J, KIM H S. Real time monitoring of tool breakage in a milling operation using a digital signal-processor [J].Journal of Materials Processing Technology, 2000, 100(1): 266-272.

参考文献

- [1] 苏奎峰.TMS320F2812 原理与开发[M]. 电子工业出版社, 2005.
- [2] 刘和平, 张卫宁, 刘林.TMS320C28x 系列 DSP 指令和编程指南[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 197-385.
- [3] 王潞钢, 陈林康, 曾岳南, 等.DSP C2000 程序员高手进阶[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [4] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993: 101-106.
- [5] 李永东. 交流电机数字控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 139-140.
- [6] 赵伟, 鲍慧, 刘云峰. 基于 DSP 的高速数据采集系统设计[J]. 电力科学与工程, 2008, 24(2): 64-68.
- [7] 赵飞, 梁志瑞, 牛胜锁. 基于 DSP 和 GPS 的异地交流电

- [9] CLELAND J G, MCCORMICK V E, TUMER M W. Design of all efficiency optimization controller for inverterfed AC induction motors. In: Industry Applications Conference, 1995. Thirtieth IAS Annual Meeting, IAS'95, Conference Record of the 1995 IEEE, 1995 (10): 16-21.

(收稿日期: 2010-01-20)

作者简介:

李伟, 男, 1986 年生, 研究生, 主要研究方向: 电机控制及 DSP 应用。

林旭梅, 女, 1971 年生, 博士, 研究生导师, 副教授, 主要研究方向: 检测技术, 电机控制及新型自动装置。