

基于 dsPIC 的储纬电机矢量控制系统研究

郑 舟, 胡旭东

(浙江理工大学浙江省现代纺织装备重点实验室, 杭州 310018)

摘 要: 研究储纬器的关键是储纬电机的控制, 其控制系统性能的好坏直接影响到储纬器的性能。在分析储纬器电机控制系统的特点和矢量控制的基本原理的基础上, 针对现代高速储纬器, 提出了储纬电机的矢量控制方案。将美国微芯公司的新型电机控制专用芯片 dsPIC 作为主控制器, 设计了储纬电机控制系统的硬件电路, 并对重点模块进行了阐述。设计了系统控制软件, 给出了程序设计流程图。

关键词: dsPIC; 储纬电机; 矢量控制

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

0 引 言

储纬器是现代高速无梭织机不可缺少的部件, 它具有储存纬纱和均衡纬纱张力的作用。特别地, 对于喷射织机来说, 储纬器还具有定长纬纱这一重要功能^[1]。本设计中的储纬电机是指储纬器的电动机。储纬电机是储纬器的关键构成部分, 它为储纬器提供驱动力, 其调速性能的优异将直接关系到纬纱张力的恒定, 因此储纬电机的控制是至关重要的。储纬电机是一种专用电机, 其电机轴中空, 以便纱线从中空轴中穿过。根据储纬器的工作特点, 要求储纬器电机结构简单、使用寿命长、工作可靠性好、温升高, 能耗低, 电机运行过程中冲击电流小、启动响应速度快, 能适应长期的变速运行。在储纬器的发展历史中, 早期采用直流电机, 目前较多地采用交流电机^[2]。交流电机成本较低, 而且随着交流变频调速技术的发展和成熟, 电机调速性能越来越优异。

1 矢量控制原理及控制方案

矢量控制, 通常也称为磁场定向控制(field orientated control, FOC)。矢量控制是交流异步电机变频调速控制方法的一种, 具有控制精度高、低频特性好、转矩动态响应速度快等优异性能。矢量控制与传统的变压变频调速控制(variable voltage variable frequency, 简称 V/F 控制)的区别在于: 除了控制电机驱动电压的频率、幅值以外, 还同时对电机驱动电压的相位进行控制。

1.1 矢量控制基本原理

矢量控制的基本思想是参照直流电机的解耦控制的方法, 将电机定子电流分解为 2 个相互垂直的磁链分量 V_d 和转矩分量 V_q , V_d 和 V_q 分别用来产生磁通和转矩。矢量控制的基本原理是^[3-4]: 首先将给定速度信号分解为 2 个相互正交且独立的直流信号 i_a 、 i_β , 然后经过 PARK 逆变换后变成两相交流信号 i_q 、 i_d , 再通过 CLARKE 逆变换得到控制逆变电路的三相交流控制信号 i_a 、 i_b 、 i_c 。电流反馈信号通过 CLARKE 变换及

PARK 变换后,送入控制器中,对直流控制信号的转矩分量进行修正,从而模拟类似于直流电机的工作状况。

1.2 储纬电机控制方案

储纬电机的调速控制系统实质是一个速度全自动跟踪系统,但这一速度跟踪系统与通常所讲的速度跟踪系统是有差别的。这里所谓的速度跟踪系统是:在任意纬纱速度和纬纱速度变化的条件下,储纬电机的旋转速度要能够跟踪于纬纱的速度,只有这样才能保证储纬器正常工作^[5]。其特殊性就在于被跟踪的纬纱速度,因为根据储纬器的结构和工作特性,纬纱速度的准确值是不能直接得到的。于是储纬电机速度只能跟踪另一个能体现纬纱速度的控制量(该控制量就是纬纱的储存量,由纬纱传感器控制),这个控制量存在于最小值和最大值之间的范围内但无确定值。当收到控制量的最小值信号时,储纬电机应迅速加速。在接收到控制量的最大值信号时,储纬电机应立即刹车减速。储纬电机加速度大小及最高速度都应在控制程序的设定范围以内,在储纬电机的加减速过程中,要求响应速度越快越好。

随着无梭织机速度的大幅度提高,高速储纬器也应运而生。高速储纬器电机间歇性工作更加频繁,储纬电机速度变化也加剧。然而,一些低速储纬器采用传统的 V/F 控制方式已不能更好地适应更快的速度变化要求,因此,本研究中给出了高性能的矢量控制方案。整个系统的结构如图 1 所示。

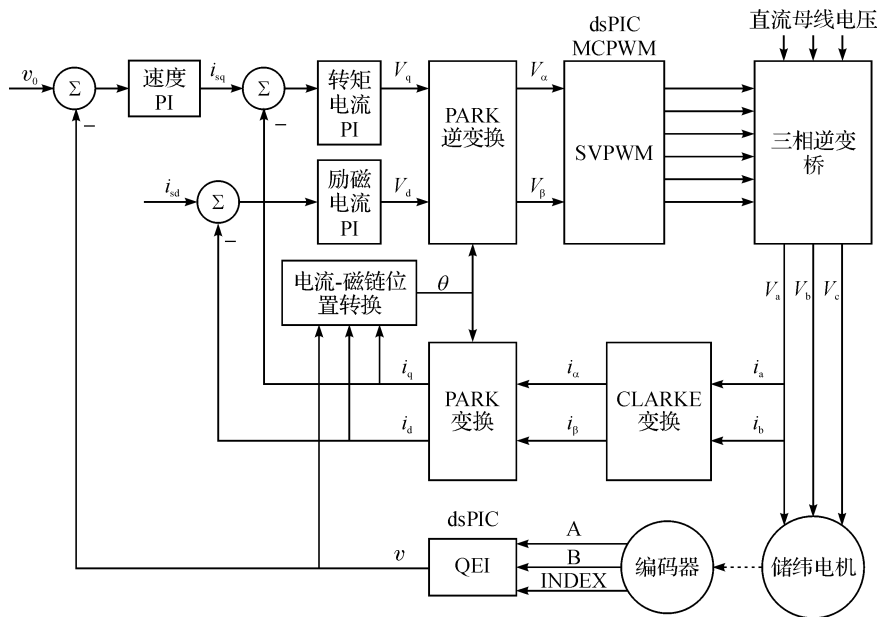


图 1 储纬电机矢量控制系统结构

储纬电机采用电流内控制和速度外控制环的双闭环控制^[3,6],速度控制环由设定转速 v_0 与转速反馈信号 v 作比较,将其偏差送入速度 PI 调节器调整,并输出转矩分量电流 i_{sq} 。转速反馈信号是编码器测得的电机转速经控制器 dsPIC 处理后得到的。 i_{sq} 再与三相定子电流经过坐标变换信号 i_{sd} 作比较,经转矩 PI 调节器调整后得到定子转矩电压分量 V_q 。电流控制环由励磁分量 i_{sd} 与定子电流经坐标变换后的信号 i_d 作比较,经过励磁 PI 调节器调整后得到定子励磁电压分量 V_d 。然后, V_q 、 V_d 再经过 PARK 逆坐标变换,得到定子静止坐标系下的电压分量 V_α 、 V_β 。电流-磁链位置转换的目的是估算磁通角 θ ,这是由于在 PARK 变换和 PARK 逆变换中均需要参数 θ 。最后,dsPIC 电机控制脉宽调制(MCPWM)模块根据 V_α 、 V_β 这两个输入量计算实际 PWM 信号的占空比,输出正确的 6 路 PWM 信号,驱动逆变器,以获得优良的调速性能。

2 控制系统硬件设计

本研究采用美国微芯(Microchip)公司的 dsPIC30F 系列数字信号控制器(DSC)作为控制系统核心。dsPIC 既具有 16 位闪存单片机功能强大的外围设备和高性能的快速中断处理能力,同时还具备数字信号处理器(DSP)的快速计算能力及数据吞吐能力。它指令执行速度快、功耗低,低价实用。因此,dsPIC 具有很高的性价比。更值得一提的是,dsPIC 系列芯片中有数款是专门用于电机控制的,这些电机控制专用芯片中

包含有电机控制脉宽调制(也简称 MCPWM)模块。电机控制 PWM 模块的灵活嵌入,让各种电机的控制变得更为方便。dsPIC MCPWM 模块可以极大地简化产生各种同步脉宽调制输出的任务^[7-8],它可以很方便地通过编程产生独立的、相同频率和工作方式的多路 PWM 波形。控制系统的硬件结构如图 2 所示,以 dsPIC 为主控制器的控制系统主要是由储纬电机调速逆变电路,温度、电流、转速检测电路,通信电路组成。

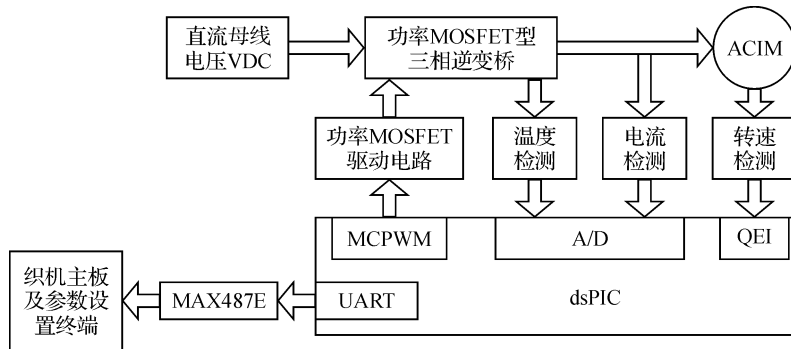


图 2 控制系统结构框图

转速检测电路是利用正交编码器(又称光电式编码器)检测储纬电机的速度。dsPIC 中的正交编码器接口(QEI)模块提供了与正交编码器的接口^[7-8],正交编码器的 3 个输出引脚 A、B、Z 分别接 QEI 模块的 QEA、QEB、INDEX。通过 QEA、QEB 相位关系,可以确定电机的旋转方向。INDEX 为索引脉冲,电机旋转一圈便产生一个脉冲,作为绝对位置的基准。

电流检测电路实现储纬电机相电流信号的检测功能。由于三相电压矢量存在 $u_c = -(u_a + u_b)$ 的关系,故只需要检测其中任意两相电压即可。为了使设计简便,降低成本,本研究采用取样电阻法^[12],在任两相接地端串接精密小阻值电阻把电流信号转换成电压信号,再将电压信号通过精密运算放大器 LM358 放大后进入 dsPIC 中进行处理。

温度检测电路的设计是为了保护功率 MOSFET 等功率开关器件。在电路中,特别是功率开关器件,由于高频发生的导通和关断动作致使大量热量产生,本设计中将所有功率 MOSFET 都紧贴在一散热器上进行散热保护。温度检测通过一个热敏电阻组成的分压电路来实现,将热敏电阻安放在散热器上,表面金属导体的散热器的温度变化将引起热敏电阻阻值的改变。当分压不在给定电压时,立即关断 PWM 的输出,从而保护了功率驱动器件和开关元件。

储纬电机为三相交流感应电机,其变频调速主回路采用交—直—交方式,图 2 中只显示了逆变回路的直流母线电压 VDC。VDC 是由 380AC 经过降压,再通过整流电路所得到的。三相逆变桥由 3 组 6 个 N 沟道功率 MOSFET Q1~Q6 构成^[9-10],每两个 MOSFET 为一组,两个 MOSFET 中一个称为上桥,另一个为下桥。每一时刻总有 3 个 MOSFET 导通,相反剩下的 3 个为关断状态。同一组中的上下桥 MOSFET 不能同时导通。

功率 MOSFET 驱动电路为三相逆变桥中功率 MOSFET 的栅极驱动电路,它的核心是一个带有自举功能的高性能 3 半桥栅极驱动芯片^[11-12]。主控制器 dsPIC 中的 MCPWM 模块输出的 6 路 PWMH1~PWMH3、PWML1~PWML3 信号将作为 3 半桥栅极驱动芯片的输入。MOSFET 栅极驱动原理图如图 3 所示。

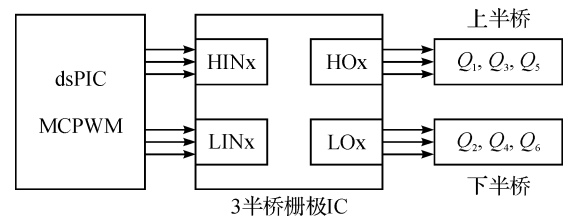


图 3 MOSFET 栅极驱动原理图

通讯电路采用 RS485/422 通信的低功耗收发器 MAX487E 完成接口电平的转换。MAX487E 接收器输出端口 RO 连接到 dsPIC 的 UART1 备用接收引脚 U1ARX,驱动器输入端口 DI 与 dsPIC 的 UART1 备用发送引脚 U1ATX 相连。通讯电路完成 dsPIC 与织机主控制板以及参数设置终端的通讯,如织机的起停状态信号,故障信号等。同时在参数设置终端也可以对储纬电机速度、加速度及旋转方向等参数进行设置。

3 控制系统软件设计

控制系统软件主要由主程序和中断服务子程序组成,其中主程序对硬件和变量进行初始化,将程序中各个控制寄存器赋初值,对运算过程中将要使用的各个变量分配地址并设置相应初值。完成初始化后,进入循环等待状态,当有中断发生时,立即响应并执行相应中断服务子程序。图 4 为程序设计流程图。

中断子程序是控制系统软件的关键部分,主要包括 PWM 中断服务子程序、故障中断服务子程序等。其中 PWM 中断服务子程序是最核心的部分,它主要由电流采样以及 SVPWM 调制等单元组成。在程序中,PWM 时基配置为连续向上/向下计数模式,当占空比寄存器的值 PDCx 与时基寄存器 PTMR 的值相匹配,并且 PWM 的时基正向下计数时,PWMHx 比较输出驱动为有效状态。当 PWM 时基正向上计数且 PTMR 寄存器的值与占空比值相匹配时,PWMHx 比较输出驱动为无效状态,为防止三相逆变桥的同一桥臂上下两个互补管直通造成短路,设置死区时间,死区时间为 $2 \mu\text{s}$ 。

4 结 语

采用三相交流感应电机矢量控制策略设计了织机储纬器专用电机的调速控制系统,实现了储纬器高性能的全自动调速,不仅提高了储纬电机的运行效率,同时还使纬纱张力更加稳定。充分发挥 dsPIC 芯片在电机控制方面的优势,灵活运用 dsPIC MCPWM 模块,简化了储纬电机调速控制系统外围电路的设计。与传统的储纬电机控制系统相比,应用这一新颖的设计方法必将有利于织机储纬器综合性能的提升。

参考文献:

- [1] 秦贞俊. 纺织器材及专件的发展[J]. 纺织器材, 2009, 36(s1): 284-285.
- [2] 佟 昀. 变频调速器在现代织造设备上的应用[J]. 上海纺织科技, 2009, 37(2): 1-4.
- [3] Microchip Technology Inc. Using the dsPIC30F for Vector Control of an ACIM[DB/OL]. [2009-10-15]. www.microchip.com.
- [4] 王晓明. 电动机的 DSC 控制—微芯公司 dsPIC 应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009.
- [5] 曹以龙, 江友华, 龚幼民. 纺织储纬器变频控制器设计[C]//中国机械工业联合会, 中国电工技术学会. 2006 首届中国变频技术应用暨企业家论坛论文集. 西安, 2006: 532-533.
- [6] 冯 硕, 郭素娜. 基于 DSP 的异步电机矢量控制系统研究[J]. 电气开关, 2009(6): 43-46.
- [7] Microchip Technology Inc. dsPIC30F3011 DataSheet[DB/OL]. [2009-09-20]. www.microchip.com.
- [8] Microchip Technology Inc. dsPIC30F 系列参考手册[DB/OL]. [2009-09-20]. www.microchip.com.
- [9] Microchip Technology Inc. VF Control of 3-Phase Induction Motors-Using PIC16F7X7 Microcontrollers[DB/OL]. [2009-11-27]. www.microchip.com.
- [10] Microchip Technology Inc. VF Control of 3-Phase Induction Motor Using Space Vector Modulation[DB/OL]. [2009-11-27]. www.microchip.com.
- [11] 飞兆半导体公司. 供高电压栅极驱动器 IC 使用的自举电路的设计和使用准则[DB/OL]. [2010-05-09]. www.fairchild-semi.com.
- [12] 杨旭强, 吴红星. 基于 ARM 的电动机控制技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

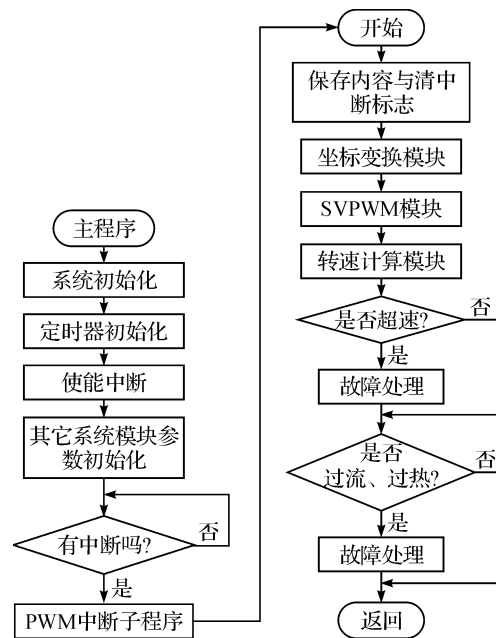


图 4 程序设计流程