



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102510252 B

(45) 授权公告日 2014. 07. 30

(21) 申请号 201110342626. 7

(22) 申请日 2011. 11. 03

(73) 专利权人 沈阳工业大学

地址 110870 辽宁省沈阳市经济技术开发区  
沈辽西路 111 号

(72) 发明人 崔皆凡 单宝钰 秦超 刘艳

(74) 专利代理机构 沈阳智龙专利事务所(普通合伙) 21115

代理人 宋铁军

(51) Int. Cl.

H02P 6/08(2006. 01)

H02P 23/14(2006. 01)

审查员 刘慧媛

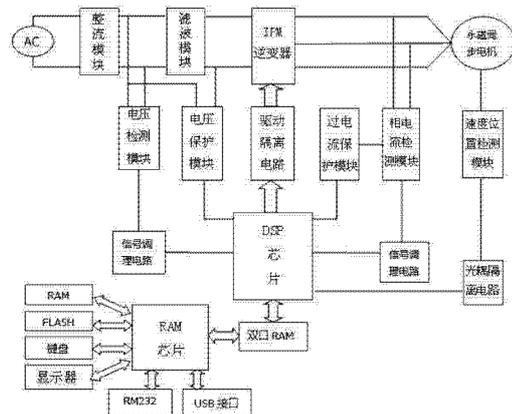
权利要求书3页 说明书8页 附图1页

(54) 发明名称

基于 DSP+ARM 直接转矩控制系统及控制方法

(57) 摘要

基于 DSP+ARM 直接转矩控制系统及控制方法, 硬件电路包括: 整流模块、滤波模块、驱动隔离电路、电压检测模块、电流检测模块、速度位置检测模块、电压保护模块、电流保护模块、电源模块、IPM 逆变器器、数据调理模块。本发明所述技术方案, 是基于 DSP+ARM 双 CPU 架构, 通过直接转矩控制算法和 SVPWM 调制算法对永磁同步电机进行嵌入式控制。弥补了传统交流控制技术的缺点, 对于多电机, 多外围扩展模块场合有很高的适应性。



1. 基于 DSP+ARM 直接转矩控制系统,包括整流模块连接滤波模块、滤波模块连接 IPM 逆变器、IPM 逆变器连接永磁同步电动机;电压检测模块连接整流模块、滤波模块、电压保护模块和信号调理电路;电压保护模块连接滤波模块、IPM 逆变器和 DSP 芯片;驱动隔离电路连接 IPM 逆变器和 DSP 芯片;过电流保护模块连接 DSP 芯片和相电流检测模块;相电流检测模块连接 IPM 逆变器、永磁同步电动机和信号调理电路;速度位置检测器连接永磁同步电动机和光耦隔离电路;DSP 芯片连接信号调理电路和光耦隔离电路;其特征在于:ARM 芯片通过双口 RAM 与 DSP 芯片进行通信;在 DSP 芯片与 IPM 逆变器之间设有直接转矩控制模块和 SVPWM 调制模块,其中直接转矩控制模块包括磁链估算模块、转矩估算模块和电压参考矢量计算模块;DSP 芯片连接磁链估算模块,磁链估算模块连接转矩估算模块和电压参考矢量计算模块,转矩估算模块连接电压参考矢量计算模块,电压参考矢量计算模块连接 SVPWM 调制模块,SVPWM 调制模块连接 IPM 逆变器;

ARM 芯片连接外围扩展模块;

外围扩展模块包括 USB 接口、显示器、键盘、RAM 和 FLASH 中的至少一种;

利用上述系统所实施的控制方法,包括如下步骤:

步骤 1. 永磁同步电动机开始运行,首先 DSP 芯片进行主程序以及中断程序初始化设置,ARM 芯片初始化设置,以及外围扩展模块初始化设置,建立两侧 CPU 间通信的信号量,分配任务优先级;

步骤 2. 用户通过人机交互界面,给定永磁同步电动机需要的转速和电压,运行程序;EVA 通用定时器 T1 工作在连续增/减模式下,并给定一个定时器周期;

步骤 3. 永磁同步电动机运行后,电压检测模块和电流检测模块分别检测直流母线的电压和电流,相电流检测模块对相电流定期进行采样,给定一个采样周期,之后通过信号调理电路送给 DSP 芯片中的 A/D 转换环节,之后 DSP 芯片对调理后的信号进行处理,将调理后的输入量送入直接转矩控制模块;

步骤 4. 给出下一个周期磁链的期望值,在下一周期时,使观测转矩和磁链幅值都与给定值相等;根据相电流检测模块和电压检测模块得到定子电压和电流空间矢量如下:

$$i_s = \sqrt{\frac{2}{3}}(i_A + i_B + i_C)$$

$$u_s = R_s i_s + L_s \frac{di_s}{dt} + \frac{d}{dt}(\psi_f e^{j\theta_r})$$

式中,  $i_s$  代表空间电流矢量;  $i_A$ ,  $i_B$ ,  $i_C$  分别代表 A 相, B 相, C 相电流;  $u_s$  代表空间电压矢量;  $R_s$  代表定子绕组电阻;  $L_s$  代表定子电感;  $\psi_f$  代表转子永磁体磁链;  $\theta_r$  代表 d 轴与 A 相绕组的夹角;

在定子坐标系下,通过磁链估算模块,以及坐标变换可得到磁链方程为:

$$\psi_\alpha = \int (u_\alpha - i_\alpha R_s) dt$$

$$\psi_\beta = \int (u_\beta - i_\beta R_s) dt$$

因此磁链幅值为:

$$|\psi_s| = \sqrt{\psi_\alpha^2 + \psi_\beta^2}$$

式中,  $\psi_\alpha$  代表定子磁链在  $\alpha$  轴的磁链分量;  $\psi_\beta$  代表定子磁链在  $\beta$  轴的磁链分量;  $u_\alpha$ 、 $u_\beta$ : 定子电压在  $\alpha$  轴、 $\beta$  轴上的分解量;  $\psi_s$ : 是定子磁链;

根据当前  $\psi_s$  以及磁链旋转角度增量  $\Delta\theta$ , 得出系统下一个周期给定磁链期望值  $\psi_s^*$ ;

步骤 5. 根据步骤 4 推出的下一周期定子磁链的期望值, 在  $\alpha$  和  $\beta$  方向上将其分解, 可以得到下面的式子:

$$\begin{cases} \psi_{r\alpha} = \frac{|\psi_{sg}|}{|\psi_s|} (\psi_{s\alpha} \sqrt{1 - \Delta\theta^2} - \psi_{s\beta} \Delta\theta) - \psi_{s\alpha} \\ \psi_{r\beta} = \frac{|\psi_{sg}|}{|\psi_s|} (\psi_{s\beta} \sqrt{1 - \Delta\theta^2} + \psi_{s\alpha} \Delta\theta) - \psi_{s\beta} \end{cases}$$

通过上面的式子, 可以得到电压参考矢量为:

$$\begin{cases} U_{r\alpha} = \frac{\psi_{r\alpha}}{T_s} + R_s i_\alpha \\ U_{r\beta} = \frac{\psi_{r\beta}}{T_s} + R_s i_\beta \end{cases}$$

式中,  $\psi_{sg}$  是定子磁链给定值;  $\psi_{r\alpha}$  是  $\psi_{sg}$  在  $\alpha$  轴的分量;  $\psi_{r\beta}$  是  $\psi_{sg}$  在  $\beta$  轴的分量;  $T_s$  是系统设定的采样周期;  $\psi_{s\alpha}$ 、 $\psi_{s\beta}$  表示为当前周期内, 定子磁链在  $\alpha$  轴、 $\beta$  轴上的分解量;  $U_{r\alpha}$ 、 $U_{r\beta}$  表示为下一个周期内的定子电压在  $\alpha$  轴、 $\beta$  轴上的分解量;

步骤 6. 将检测到的永磁同步电动机转速和电磁转矩估算值送到 DSP 芯片中, 与给定磁链期望值  $\psi_s^*$  进行比较, 计算误差, 并对误差进行 PI 调节; 将直接转矩控制模块得出的电压参考矢量送入 SVPWM 调制模块进行电压调制; SVPWM 调制过程为: 判断电压矢量所在扇区, 计算电压矢量作用时间, 根据电压矢量作用时间合成输出脉冲信号; 根据相邻电压  $U_x$  和  $U_{x+60}$  来合成参考电压矢量  $U_r$ , 下面为电压矢量作用时间:

$$\begin{cases} T_1 = \frac{\sqrt{3}|U_r|T_s \sin(\pi/3 - \theta)}{U_{dc}} \\ T_2 = \frac{\sqrt{3}|U_r|T_s \sin \theta}{U_{dc}} \\ T_3 = T_s - T_1 - T_2 \end{cases}$$

式中,  $T_1$  是电压矢量  $U_x$  作用的时间;  $T_2$  是电压矢量  $U_{x+60}$  作用的时间;  $T_3$  是代表两个有效电压矢量作用之间的零电压矢量作用时间, 零电压矢量连同其他两个有效电压矢量一起, 构成了一个扇区内的总时间  $T_s$ ;  $U_r$  是  $U_x$  和  $U_{x+60}$  合成的参考电压矢量;  $\theta$  是  $U_r$  与  $U_x$  的夹角;

$U_{dc}$  代表直流母线电压；

根据上式得出每个开关作用时间,最终得出所需要的输出脉冲波；

步骤 7. DSP 芯片通过驱动隔离电路给将输出的脉冲波送给 IPM 逆变器的 6 个桥臂,通过 6 个桥臂的开断,得出永磁同步电动机需要的输出信号；在这个过程中需要对逆变器 6 路桥臂进行死区时间设定,死区时间计算公式如下：

$$t_{BD} = m \times p \times t$$

式中,  $t_{BD}$  代表死区时间； $m$  死区定时器周期； $t$  代表定时器时钟周期； $p$  代表分频数；

通过设定死区时间来防止逆变器上下桥臂直通导致系统损毁；整个系统在运行时,如果电压检测模块和相电流检测模块的采样信号超过额定信号值,电压保护模块和过电流保护模块会给 DSP 芯片的 PDPINT 引脚一高电平, DSP 芯片将封锁所有 PWM 输出端口,中断电路,避免严重事故的发生；

步骤 8. DSP 芯片通过双口 RAM 与 ARM 芯片进行通信,将检测的数值以及永磁同步电动机运行情况显示在显示器上,并通过曲线进行直观的进行表示,用户可以通过键盘对数据进行操作,将修改的参数通过双口 RAM 送给 DSP 芯片, DSP 芯片根据用户的需要,对永磁同步电动机进行相应的操作。

## 基于 DSP+ARM 直接转矩控制系统及控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于交流调速技术领域,具体指基于 DSP 芯片和 ARM 芯片内嵌式控制器,通过直接转矩控制算法实现对永磁同步电机进行控制的装置及方法。

### 背景技术

[0002] 我国的永磁同步电机交流调速技术起步较晚,产业化方面不是很理想,大部分市场份额被国外公司占据,并且传统的交流调速技术已经不能满足高精度,高响应的现代工业控制要求。嵌入式系统的发展历史悠久,早在电子数字计算机出现之前就有了把计算机装置嵌入在系统和设备之中的嵌入式系统。与传统调速系统相比嵌入式实时操作系统有如下优点:

[0003] 首先,嵌入式实时操作系统提高了系统的可靠性。在控制系统中,出于安全方面的考虑,要求系统起码不能崩溃,而且还要有自愈能力。不仅要求在硬件设计方面提高系统的可靠性和抗干扰性,而且也应在软件设计方面提高系统的抗干扰性,尽可能地减少安全漏洞和不可靠的隐患。传统交流调速系统在遇到强干扰时,使得运行的程序产生异常、出错、跑飞,甚至死循环,造成了系统的崩溃。而实时操作系统管理的系统,这种干扰可能只是引起若干进程中的一个被破坏,可以通过系统运行的系统监控进程对其进行修复。

[0004] 其次,提高了开发效率,缩短了开发周期。在嵌入式实时操作系统环境下,开发一个复杂的应用程序,通常可以按照软件工程中的解耦原则将整个程序分解为多个任务模块。每个任务模块的调试、修改几乎不影响其他模块。

[0005] 直接转矩控制相比于矢量控制,结构简单、动态特性好、鲁棒性好和易于实现,进一步提高了系统的动态响应能力。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种永磁同步电机直接转矩控制嵌入式控制器,解决传统调速系统由于前/后台系统架构导致事件响应延时,CPU 资源利用率低,嵌入性能低,扩展性能不强,以及无法满足多电机控制的时效性等缺点。基于 DSP+ARM 双 CPU 架构嵌入式系统来克服以上不足。

[0007] 为实现以上发明目的,本发明采用以下技术方案:

[0008] 基于 DSP+ARM 直接转矩控制系统,包括整流模块连接滤波模块、滤波模块连接 IPM 逆变器、IPM 逆变器连接永磁同步电动机;电压检测模块连接整流模块、滤波模块、电压保护模块和信号调理电路;电压保护模块连接滤波模块、IPM 逆变器和 DSP 芯片;驱动隔离电路连接 IPM 逆变器和 DSP 芯片;过电流保护模块连接 DSP 芯片和相电流检测模块;相电流检测模块连接 IPM 逆变器、永磁同步电动机和信号调理电路;速度位置检测器连接永磁同步电动机和光耦隔离电路;DSP 芯片连接信号调理电路和光耦隔离电路;其特征在于:ARM 芯片通过双口 RAM 与 DSP 芯片进行通信;在 DSP 芯片与 IPM 逆变器之间连接有直接转矩控制模块和 SVPWM 调制模块,其中直接转矩控制模块包括磁链估算模块、转矩估算模块和电压

参考矢量计算模块;DSP 芯片连接磁链估算模块,磁链估算模块连接转矩估算模块和电压参考矢量计算模块,转矩估算模块连接电压参考矢量计算模块,电压参考矢量计算模块连接 SVPWM 调制模块,SVPWM 调制模块连接 IPM 逆变器。

[0009] ARM 芯片连接外围扩展模块。

[0010] 外围扩展模块包括 USB 接口、显示器、键盘、RAM、RM232 和 FLASH 中的至少一种。

[0011] 基于 DSP+ARM 直接转矩控制系统的控制方法,其特征在于:所述方法包括以下步骤:

[0012] 步骤 1. 永磁同步电动机开始运行,首先 DSP 芯片进行主程序以及中断程序初始化设置,ARM 芯片初始化设置,以及外围扩展模块初始化设置,建立两侧 CPU 间通信的信号量,分配任务优先级;

[0013] 步骤 2. 用户通过人机交互界面,给定永磁同步电动机需要的转速和电压,运行程序;EVA 通用定时器 T1 工作在连续增/减模式下,并给定一个定时器周期;

[0014] 步骤 3. 永磁同步电动机运行后,电压检测模块和电流检测模块分别检测直流母线电压,相电流检测模块对相电流定期进行采样,给定一个采样周期,之后通过信号调理电路送给 DSP 芯片中的 A/D 转换环节,之后 DSP 芯片对调理后的信号进行处理,将调理后的输入量送入直接转矩控制模块;

[0015] 步骤 4. 给出下一个周期磁链的期望值,在下一周期时,使观测转矩和磁链幅值都与给定值相等;根据相电流检测模块和电压检测模块得到定子电压和电流空间矢量如下:

[0016]

$$i_s = \sqrt{\frac{2}{3}}(i_A + i_B + i_C)$$

[0017]

$$u_s = R_s i_s + L_s \frac{di_s}{dt} + \frac{d(\psi_s e^{j\theta_s})}{dt}$$

[0018] 在定子坐标系下,通过磁链估算模块,以及坐标变换可得到磁链方程为:

[0019]

$$\psi_\alpha = \int (u_\alpha - i_\alpha R_s) dt$$

$$\psi_\beta = \int (u_\beta - i_\beta R_s) dt$$

[0020] 因此磁链幅值为:

[0021]

$$|\psi_s| = \sqrt{\psi_\alpha^2 + \psi_\beta^2}$$

[0022] 根据当前  $\psi_s$  以及磁链旋转角度增量  $\Delta\theta$ ,得出系统下一个周期磁链期望值  $\psi_s^*$ ;

[0023] 步骤 5. 根据步骤 4 推出的下一周期定子磁链的期望值,在  $\alpha$  和  $\beta$  方向上将其分解,可以得到下面的式子:

[0024]

$$\begin{cases} \psi_{r\alpha} = \frac{|\psi_{sg}|}{|\psi_s|} (\psi_{s\alpha} \sqrt{1 - \Delta\theta^2} - \psi_{s\beta} \Delta\theta) - \psi_{s\alpha} \\ \psi_{r\beta} = \frac{|\psi_{sg}|}{|\psi_s|} (\psi_{s\beta} \sqrt{1 - \Delta\theta^2} + \psi_{s\alpha} \Delta\theta) - \psi_{s\beta} \end{cases}$$

[0025] 通过上面的式子,可以得到电压参考矢量为:

[0026]

$$\begin{cases} U_{r\alpha} = \frac{\psi_{r\alpha}}{T_s} + R_s i_{\alpha} \\ U_{r\beta} = \frac{\psi_{r\beta}}{T_s} + R_s i_{\beta} \end{cases}$$

[0027] 其中  $T_s$  是系统设定的采样周期;

[0028] 步骤 6. 将检测到的永磁同步电动机转速和电磁转矩估算值送到 DSP 芯片中,与给定的期望值  $\psi_s^*$  进行比较,计算误差,并对误差进行 PI 调节;将直接转矩控制模块得出的电压参考矢量送入 SVPWM 调制模块进行电压调制;SVPWM 调制过程为:判断参考矢量所在扇区,计算开关电压矢量作用时间,根据矢量作用时间合成输出脉冲信号;根据相邻电压  $U_x$  和  $U_{x+60}$  来合成参考电压矢量  $U_r$ ,下面为电压矢量作用时间:

[0029]

$$\begin{cases} T_1 = \frac{\sqrt{3} |U_r| T_s \sin(\pi/3 - \theta)}{U_{dc}} \\ T_2 = \frac{\sqrt{3} |U_r| T_s \sin \theta}{U_{dc}} \\ T_3 = T_s - T_1 - T_2 \end{cases}$$

[0030] 根据上式得出每个开关作用时间,最终得出所需要的输出脉冲波;

[0031] 步骤 7. DSP 芯片通过驱动隔离电路给将输出的脉冲波送给 IPM 逆变器的 6 个桥臂,通过 6 个桥臂的开断,得出永磁同步电动机需要的输出信号;在这个过程中需要对逆变器 6 路桥臂进行死区时间设定,死区时间计算公式如下:

[0032]

$$t_{BD} = m \times p \times t$$

[0033] 通过设定死区时间来防止逆变器上下桥臂直通导致系统损毁;整个系统在运行时,如果电压检测模块和相电流检测模块的采样信号超过额定信号值,电压保护模块和过电流保护模块会给 DSP 芯片的 PDPINT 引脚一高电平, DSP 将封锁所有 PWM 输出端口,中断

电路,避免严重事故的发生;

[0034] 步骤8. DSP 芯片通过双口 RAM 接口与 ARM 芯片进行通信,将检测的数值以及永磁同步电动机运行情况显示在显示器上,并通过曲线进行直观的进行表示,用户可以通过键盘对数据进行操作,将修改的参数通过双口 RAM 送给 DSP 芯片, DSP 芯片根据用户的需要,对电机进行相应的操作。

[0035] 本发明基于 DSP+ARM 双 CPU 架构嵌入式控制器,利用鲁棒性好,控制简单的直接转矩控制算法,通过下位机对电机进行嵌入式控制,系统除了 IPM 自带保护之外额外设计了保护电路,使系统有了双重保护。由于整个系统双 CPU 架构,可以很好的解决传统控制方式扩能能力不强,灵活性低,嵌入性和通用性能差等缺点。由于采用  $\mu C/OS-II$  操作系统,代码开源,使得成本降低。并且本发明可以很好地满足现代工业对于电机控制系统高精度、高响应、大转速的要求。

[0036] 附图说明:

[0037] 图 1 为嵌入式控制器硬件结构框图;

[0038] 图 2 为控制器系统基本框图。

[0039] 具体实施方式:

[0040] 本发明所述技术方案,是基于 DSP+ARM 双 CPU 架构,通过直接转矩控制算法和 SVPWM 调制算法对永磁同步电机进行嵌入式控制。弥补了传统交流控制技术的缺点,对于多电机,多外围扩展模块场合有很高的适应性。

[0041] 下面结合附图对本发明进行详细说明:

[0042] 图 1 为嵌入式控制器硬件结构框图,如图所示,上位机包括 DSP 芯片和 ARM 芯片,下位机包括整流模块、滤波模块、IPM 逆变器、速度位置检测模块、电压保护模块、过电流保护模块、驱动隔离电路、电压检测模块、相电流检测模块、信号调理电路、光耦隔离电路,其中整流模块连接滤波模块、滤波模块连接 IPM 逆变器、IPM 逆变器连接永磁同步电动机;电压检测模块连接整流模块、滤波模块、电压保护模块和信号调理电路;电压保护模块连接滤波模块、IPM 逆变器和 DSP 芯片;驱动隔离电路连接 IPM 逆变器和 DSP 芯片;过电流保护模块连接 DSP 芯片和相电流检测模块;相电流检测模块连接 IPM 逆变器、永磁同步电动机和信号调理电路;速度位置检测器连接永磁同步电动机和光耦隔离电路;DSP 芯片连接信号调理电路和光耦隔离电路。主电路采用交-直-交电压源逆变器结构。输入功率部分采用的是单相不可控桥式整流电路;整流输出经过中间环节的大电容滤波,获得平滑的直流电压输出到逆变部分的开关器件,通过控制开关器件的导通和关断的占空比来获得输出的交变电压。

[0043] ARM 芯片通过双口 RAM 与 DSP 芯片进行通信;在 DSP 芯片与 IPM 逆变器之间连接有直接转矩控制模块和 SVPWM 调制模块,其中直接转矩控制模块包括磁链估算模块、转矩估算模块和电压参考矢量计算模块;DSP 芯片连接磁链估算模块,磁链估算模块连接转矩估算模块和电压参考矢量计算模块,转矩估算模块连接电压参考矢量计算模块,电压参考矢量计算模块连接 SVPWM 调制模块,SVPWM 调制模块连接驱动隔离电路。

[0044] 主控制器 DSP 芯片的主要功能为对于直接转矩控制算法和 SVPWM 调制算法的实现,对反馈主流母线电压信号以及两相电流信号进行处理,辅控制器 ARM 芯片主要功能为对显示器参数显示、键盘、USB 接口等外围扩展模块的控制,以及对主控制器动作命令的执

行等,并实现可视化,简洁化地人机交互界面,对电机运行情况进行实时监控。

[0045] DSP 芯片和 ARM 芯片之间利用双口 RAM 进行通信,这种通信方式具有两套独立的地址总线、数据总线以及控制总线,这样可以允许 DSP 和 ARM 同时进行读 / 写操作,并且这种通信方式接口电路简单,软件编程容易。而由于采用了双口 RAM 这种通信方式,两侧的 CPU 可以分别将双口 RAM 作为一个普通的存储器件挂在 CPU 的总线上,当两个 CPU 发生竞争时,通过双口 RAM 的仲裁控制功能和 DSP 与 ARM 的等待功能结合,可以很好地解决了 DSP 与 ARM 发生的竞争问题,实现优先级的判断。也就是说,当 DSP 向 ARM 发送控制指令时,同时 ARM 向 DSP 发送反馈信息,此时,通过双口 RAM 仲裁判断,将反馈信息挂起,优先执行控制指令,从而保证系统的稳定性和安全性。

[0046] 本发明核心在于实现 DSP 和 ARM 之间优先级通信,并在此基础之上实现直接转矩控制算法和 SVPWM 调制算法对电机进行嵌入式控制。

[0047] 在本系统中利用 DSP 支持 RS232 的 SCI 异步串口经过电平转换电路与 PC 机通信,实现对控制系统过程参数的监测。上位机选择 Delphi 作为程序设计语言设计可视化界面。下位机程序通过  $\mu$ C/OS-II 软件平台实现。由于这个任务是用来进行人机通信,所以可以在多次控制周期以后启动一次。对于数据传输,系统采用的方法是停止发送端的中断直到需要再发送字节为止。在输出缓冲区载入至少一个字节后启动中断,然后在发送端的 ISR 中清除第一个发送的字节并输出给 UART,接着 ISR 检查缓冲区,如果不需要再发送字节,ISR 立即终止传输中断,任务的优先级设为 3。

[0048] 在主电路中,主电源是通过不可控整流电路整流和大电容滤波得到的。当永磁同步电动机减速或突然停止时,刚处于再生制动状态,电机的能量不能反馈到交流电网上去,使得供电电源母线电压升高,即产生泵升现象。泵升电压过高将会影响并联于电源母线上所有器件的安全系数。发生泵升现象是电机制动过程中不可避免的,一般处理办法是加能量泄放电阻以限制泵升电压。在 IPM-IGBT 模块 7MBP50RA060 中内置了制动用的 IGBT( $V_{inDB}$  为制动 IGBT 输入端),外接耗能电阻很容易构成泵升制动电路。

[0049] 以一台实验用 FANUC 永磁同步伺服电机为例,具体实施方法如下:

[0050] 步骤 1. 电机运行开始,首先 DSP 芯片进行主程序以及中断程序初始化设置。ARM 芯片初始化设置,以及外设初始化设置,建立两侧 CPU 间通信的信号量,分配任务优先级。

[0051] 步骤 2. 用户通过人机交互界面,给定电机需要的转速和电压,运行程序。EVA 通用定时器 T1 工作在连续增 / 减模式下,并给定一个定时器周期。

[0052] 步骤 3. 电机运行后,电压和电流检测电路分别检测直流母线电压,相电流检测模块对相电流定期进行采样,给定一个采样周期,之后通过信号调理电路送给 DSP 芯片中的 A/D 转换环节,之后 DSP 芯片对调理后的信号进行处理,将调理后的输入量送入直接转矩控制算法模块。

[0053] 步骤 4. 如图 2 所示,经典的直接转矩控制方案是把观测磁链和转矩与给定值进行比较,而 SVPWM 调制算法下的直接转矩控制是给出下一个周期磁链的期望值,在下一周期时,使观测转矩和磁链幅值都与给定值相等,这样在一个周期内既能确定控制量变化的方向,又能调节变化的大小,能很大的减小磁链幅值和转矩的脉动。根据电流和电压采样模块可以得到定子电压和电流空间矢量如下:

[0054]

$$i_s = \sqrt{\frac{2}{3}}(i_A + i_B + i_C)$$

[0055]

$$u_s = R_s i_s + L_s \frac{di_s}{dt} + \frac{d}{dt}(\psi_f e^{j\theta_r})$$

[0056] 式中,  $i_s$  代表空间电流矢量;  $i_A, i_B, i_C$  分别代表 A 相, B 相, C 相电流;  $u_s$  代表空间电压矢量;  $R_s$  代表定子绕组电阻;  $L_s$  代表定子电感;  $\psi_f$  代表转子永磁体磁链;  $\theta_r$  代表 d 轴与 A 相绕组的夹角;

[0057] 在定子坐标系下, 通过磁链估算模块, 以及坐标变换可得到磁链方程为:

[0058]

$$\begin{aligned}\psi_\alpha &= \int (u_\alpha - i_\alpha R_s) dt \\ \psi_\beta &= \int (u_\beta - i_\beta R_s) dt\end{aligned}$$

[0059] 因此磁链幅值为:

[0060]

$$|\psi_s| = \sqrt{\psi_\alpha^2 + \psi_\beta^2}$$

[0061] 式中,  $\psi_\alpha$  代表定子磁链在  $\alpha$  轴的磁链分量;  $\psi_\beta$  代表定子磁链在  $\beta$  轴的磁链分量;

[0062] 根据当前  $\psi_s$  以及磁链旋转角度增量  $\Delta\theta$ , 得出系统下一个周期磁链期望值  $\psi_s^*$ ;

[0063] 步骤 5. 根据步骤 4 推出的下一周期定子磁链的期望值, 在  $\alpha$  和  $\beta$  方向上将其分解, 可以得到下面的式子:

[0064]

$$\begin{cases} \psi_{r\alpha} = \frac{|\psi_{sG}|}{|\psi_s|} (\psi_{s\alpha} \sqrt{1 - \Delta\theta^2} - \psi_{s\beta} \Delta\theta) - \psi_{s\alpha} \\ \psi_{r\beta} = \frac{|\psi_{sG}|}{|\psi_s|} (\psi_{s\beta} \sqrt{1 - \Delta\theta^2} + \psi_{s\alpha} \Delta\theta) - \psi_{s\beta} \end{cases}$$

[0065] 通过上面的式子, 可以得到电压参考矢量为:

[0066]

$$\begin{cases} U_{r\alpha} = \frac{\Psi_{r\alpha}}{T_s} + R_s i_{\alpha} \\ U_{r\beta} = \frac{\Psi_{r\beta}}{T_s} + R_s i_{\beta} \end{cases}$$

[0067] 式中,  $\Psi_{r\beta}$  是定子磁链给定值;  $\Psi_{r\alpha}$  是  $\Psi_{r\beta}$  在  $\alpha$  轴的分量;  $\Psi_{r\beta}$  是  $\Psi_{r\beta}$  在  $\beta$  轴的分量;  $T_s$  是系统设定的采样周期;

[0068] 步骤 6. 将检测到的电机转速和电磁转矩估算值送到 DSP 芯片中, 与给定值进行比较, 计算误差, 并对误差进行 PI 调节。将直接转矩控制算法得出的电压参考矢量送入 SVPWM 调制算法模块进行电压调制。SVPWM 调制过程为: 判断参考矢量所在扇区, 计算开关电压矢量作用时间, 根据矢量作用时间合成输出脉冲信号。根据相邻电压  $U_x$  和  $U_{x+60}$  来合成参考电压矢量  $U_r$ , 下面为三个电压矢量作用时间。

[0069]

$$\begin{cases} T_1 = \sqrt{3} |U_r| T_s \sin(\pi/3 - \theta) / U_{dc} \\ T_2 = \sqrt{3} |U_r| T_s \sin \theta / U_{dc} \\ T_3 = T_s - T_1 - T_2 \end{cases}$$

[0070] 式中,  $T_1$  是电压矢量  $U_x$  作用的时间;  $T_2$  是电压矢量  $U_{x+60}$  作用的时间;  $U_r$  是  $U_x$  和  $U_{x+60}$  合成的参考电压矢量;  $\theta$  是  $U_r$  与  $U_x$  的夹角;  $U_{dc}$  代表直流母线电压;

[0071] 本发明采用七段式 PWM 波形, 根据上式得出每个开关作用时间, 最终得出所需要的输出脉冲波。

[0072] 步骤 7. DSP 芯片通过驱动隔离电路给将输出的脉冲波送给 IPM 逆变器的 6 个桥臂, 通过 6 个桥臂的开断, 得出电机需要的输出信号。在这个过程中需要对逆变器 6 路桥臂进行死区时间设定, 死区时间计算公式如下:

[0073]

$$t_{BD} = m \times p \times t$$

[0074] 式中,  $t_{BD}$  代表死区时间;  $m$  死区定时器周期;  $t$  代表定时器时钟周期;  $p$  代表分频数;

[0075] 通过设定死区时间来防止逆变器上下桥臂直通导致系统损毁。整个系统在运行时, 如果采样信号超过额定信号值, 保护电路会给 DSP 的 PDPINT 引脚一高电平, DSP 将封锁所有 PWM 输出端口, 中断电路, 避免严重事故的发生。

[0076] 步骤 8. DSP 芯片通过双口 RAM 接口与 ARM 芯片进行通信, 将检测的数值以及电机

运行情况显示在液晶显示器上,并通过曲线进行直观的进行表示,用户可以通过键盘对数据进行操作,将修改的参数通过双口 RAM 送给 DSP, DSP 根据用户的需要,对电机进行相应的操作。

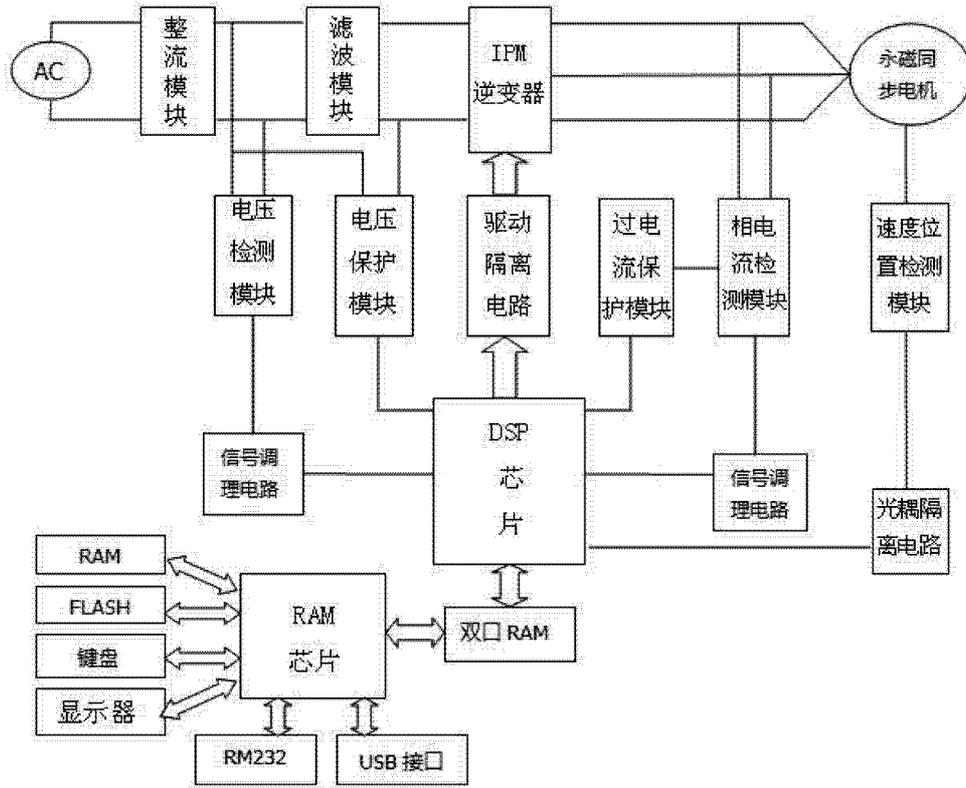


图 1

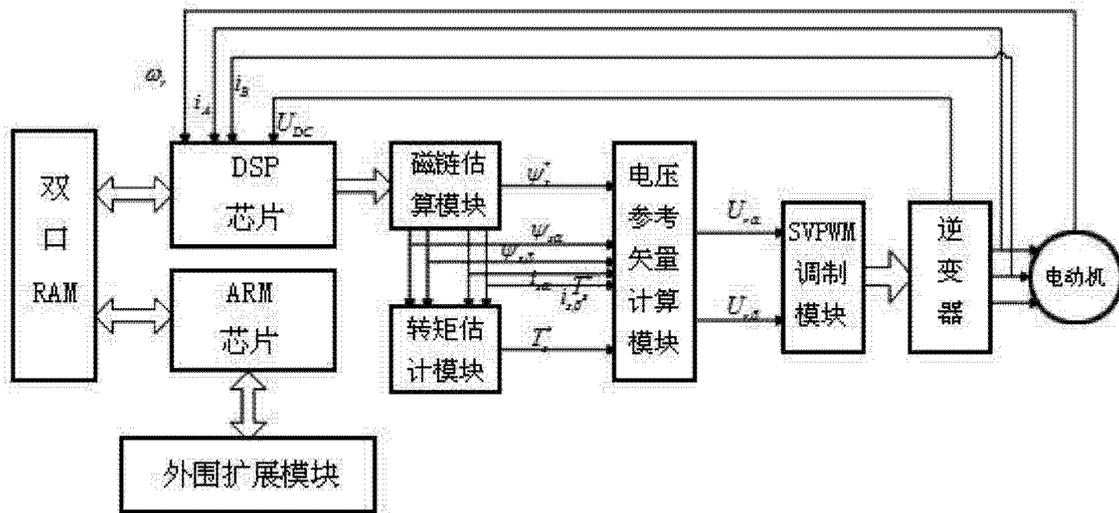


图 2