维普资讯 http://www.cqvip.com

文／安徽理工大学电气工程系 兰 云 董永刚

DSP在异步电动机直接转矩控制系统中的应用

直接转矩控制是一种新型高性能的交流调速控制技术，介绍了异步电动机直接转矩控制的基本原理，给出基于TMS320F2812DSP芯片控制系统的硬件及软件流程图，试验结果表明，该交流调速系统硬件电路简单，控制精度较高，具有良好的性能。

直接转矩控制是一种新型的高性能交流调速传动控制技术，它摒弃了矢量控制中解耦的控制思想，采用定子磁链定向和瞬时空间矢量理论，通过检测定子电压和电流，在定子坐标系下观测电动机的磁链和转矩，并将观测值与给定的磁链和转矩比较，差值经滞环控制器调节得到相应的控制信号。综合磁链和转矩信号来选择相应电压空间矢量，同时实现磁链控制和转矩的直接控制。与矢量控制相比，它具有转矩响应快，控制结构简单，易于实现全数字化的特点。该控制方法对电动机模型参数的依赖程度小，已成为交流传动领域的热点。直接转矩系统简称DCT系统，它的控制思想是利用转矩反馈直接电动机的电磁转矩。随着DSP芯片的出现，使的电动机控制更加方便，同时结合PID调节器，使转矩控制更加精确，调速向数字化方向发展。本文应用TMS320F2812DSP芯片控制异步电动机调速，并取得较好的效果。

直接转矩控制的原理

在交流调速系统中，经整流桥整流后的直流电压加在逆变桥的两端，通过控制开关管的导通顺序，即可控制加在定子上的电压，从而控制电磁转矩。它的电路图如图1所示。

图1中，U_d为逆变器的输入直流电压，开关管共有8种工作状态，上桥臂导通用1表示，下桥臂导通用0表示。这8种工作状态可相应表示为V_1(001)、V_2(010)、V_3(011)、V_4(100)、V_5(101)、V_6(110)、V_7(111)和V_0(000)8种情况。

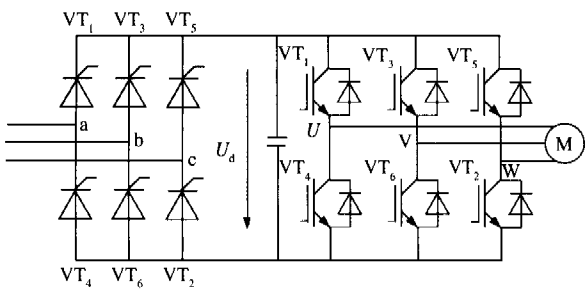

图1 交直交变频电路

1.转矩模型

在直接转矩控制系统中，常采用空间矢量的方法间接求得电磁转矩T_e

$$T_e = n_p(i_{s\beta}\Psi_{s\alpha} - i_{s\alpha}\Psi_{s\beta})$$

式中，n_p为电动机的磁极对数；$i_{s\alpha}$、$i_{s\beta}$分别为三相定子相电流经坐标变换到α，β轴的电流。

转矩模型结构图如图2所示。

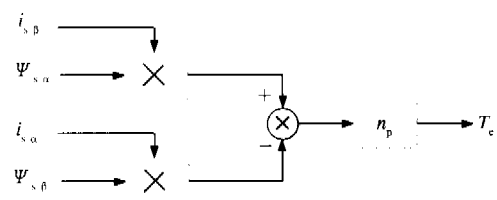

图2 转矩模型结构图

2.定子磁链模型

定子电压电流磁链模型法也叫做$u-i$型法，它的优点在于：在计算过程中唯一所需要了解的电动机参数是易于确定的定子电阻，而其他所需要的物理量在实际电路中可以被精确地检测出来，该模型结构如图3所示，其关系式如下

$$\Psi_{s\alpha} = \int (u_{s\alpha} - R_s i_{s\alpha})dt$$

$$\Psi_{s\beta} = \int (u_{s\beta} - R_s i_{s\beta})dt$$

3.扇区计算及开关表

定子磁链矢量：在电动机的转矩控制中，定子磁链空间矢量Ψ_s一般是在旋转坐标系下计算得到的，为此需把上述三相定子相电压转换到$\alpha-\beta$坐标系下，在$\alpha-\beta$坐标系和a、

维普资讯 http://www.cqvip.com

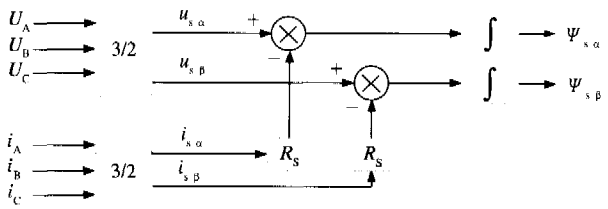

图3 磁链模型结构图

b、c三相坐标系的变换关系为

$$\Psi_a = \Psi_{s\alpha}$$

$$\Psi_b = \frac{1}{2}\Psi_{s\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2}\Psi_{s\beta}$$

$$\Psi_c = -\frac{1}{2}\Psi_{s\alpha} - \frac{\sqrt{3}}{2}\Psi_{s\beta}$$

首先定义如下的开关函数：

$S_K = 0$，当 $\Psi_K \geq 0$ 时；$S_K = 1$，当 $\Psi_K < 0$ 时(K = a、b、c)

$$S_N = S_a + 4S_b + 2S_c$$

由图1可知，逆变桥的6只开关管组成8种状态。8种状态构成的空间电压矢量如图4所示，合理控制开关管的导通顺序和时刻即可改变定子上的电压，从而间接改变定子磁链。

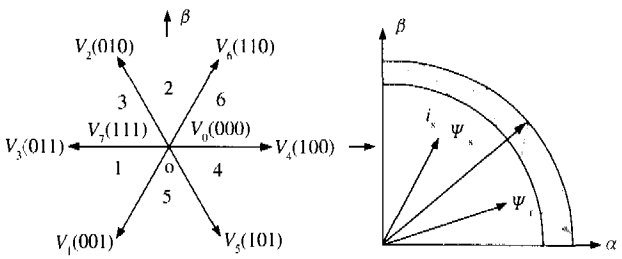

图4 电压空间矢量 定子磁链轨迹图

控制定子磁链需要控制电压矢量的方向和大小，使磁链在一定的范围内变化，开关优化表如附表所示。例如，当磁链处于第一扇区，需要作顺时针增加时，应选取 V_1，到最大值减小时应选择 V_5。

附表 开关优化表

D_Ψ	DT	1	2	3	4	5	6
1	1	001	010	011	100	101	110
	0	000	000	111	000	111	111
	−1	010	100	110	001	011	101
0	1	101	011	001	110	100	010
	0	111	111	000	111	000	000
	−1	110	101	100	011	010	001

直接转矩控制系统的硬件

本系统选用TMS320F2812DSP芯片作为控制核心，由驱动电路、逆变电路和异步电动机构成的主回路和定子电流检测单元，电动机转速检测单元构成反馈环节。

1.DSP 微处理器

直接转矩控制系统的核心是TMS320F2812DSP芯片，它是为电动机控制专门优化设计的16位定点数字信号处理器，不仅具有强大高速的运算处理能力，而且在片内集成了丰富的电动机控制外围部件。其内核包含的时间管理(EV)模块、双10位APD接口以及SCI串口通信模块，特别适合电动机空间矢量控制的实现。它采用程序存储器和数据存储器相分离的哈佛结构，具有专门的硬件乘法器，广泛采用流水线操作，提供特殊的DSP指令。芯片内部具有多达16路的10位模数转换功能，具有通用定时器和一个监视(Watchdog)定时器，具有多达16个通道的PWM信道，为控制电动机带来了方便。

2.外围电路

在图5中，事件管理EVA产生PWM波，控制逆变桥中的6只开关管动作，定子电流检测单元检测定子电流，检测该电流的目的有二：①用于控制定子磁链，使定子的磁链脉动限制在一定的范围内。②检测电动机的相电流，防止过电流给电动机带来危害。转速检测单元把转速反馈给DSP芯片，同时结合定子电流控制电磁转矩。

系统的软件设计

图6中，在系统的初始化阶段，设置事件管理模块EVA和AD模块，通过采样定子上的电流来保护电动机不因过流而烧坏。如果采样值大于额定值，则调用PNPINT保护子程序使逆变桥的6只开关管失去触发脉冲而强制关断。在图7中，通过定时器溢出产生中断，这时通过定子电流采样单元和转速检测单元把采样的结果分别送往AD转化结果寄存器和DSP内核，

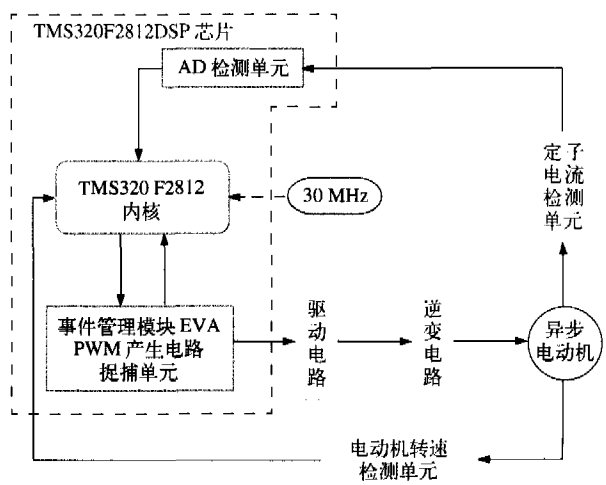

图6 直接转矩控制系统DSP系统的硬件

(下转第111页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

2)滤波　由于显示控制器是基于50Hz工频基波电压信号进行带电显示的，感应电极对高频暂态信号和高次谐波信号更为敏感，所以采用滤波抑制这些信号。

3)电流放大　电流放大电路的输入阻抗Z较小，可以更有效地消除C_2、C_3的影响。另外，由于大部分干扰信号的能量较小，所能提供的电流很小，因此采用电流放大也有利于抗干扰。

4)电压放大　一方面为输出驱动提供足够的能量，另一方面是为了满足不同检测灵敏度的应用场合的需要。

5)阈值调整　当高压带电体上的电压超过某一阈值时，显示控制器才显示带电。为了克服由于阈值设置不当引起的频繁动作，采用滞回比较器。

6)自检　显示控制器提供两种自检功能，以便随时检验仪器是否工作正常。

带电自检：当高压设备或线路实际不带电时，可以检验显示控制器在高压带电时是否能够正常显示。

无电自检：当高压设备或线路实际带电时，可以检验显示控制器在高压无电时是否能够正常显示。

电磁兼容

高压带电显示闭锁装置是一个电子产品，又在非常恶劣的电磁干扰条件下工作，避免电磁干扰造成的误动作是必须考虑的。

电磁干扰主要来源于进出引线和空间。进出引线由三个方面组成：电源引线、闭锁接点引线以及来自传感器的信号引线。吸收来自进出引线的电磁干扰是主要考虑的问题，而采取屏蔽措施就可以消除来自空间的干扰。

另外，当发生开关操作、雷击或短路故障时，由于高压带电显示闭锁装置的供电电源和电力设备可能的不共地，也会造成高压带电显示闭锁装置损坏，必须有可靠的防护。

本高压带电显示闭锁装置的电磁兼容水平优于以下国标的严酷等级Ⅲ级：

GB/T 17626.12 – 1998　振荡波抗扰度试验

GB/T 17626.5 – 1998　浪涌(冲击)

GB/T 17626.4 – 1998　电快速瞬变脉冲群

GB/T 17626.3 – 1998　射频电磁场辐射

GB/T 17626.2 – 1998　静电放电

主要技术参数

高压带电体电压等级：72.5～550 kV。

频率：50 Hz。

传感方式：感应式。

显示输出：红绿灯带电指示。

控制输出：闭锁控制接点组。

其他：阈值设定功能、自检功能。

实际应用

在高压变电站，高压带电显示闭锁装置一般安装在进线和出线侧的隔离开关上，主要用于检测、显示进线和出线侧的高压带电与否，同时利用其闭锁接点去联锁接地开关等，防止电气误操作。在敞开式高压变电站，还可以利用闭锁接点控制五防锁等。

本高压带电显示闭锁装置已经在全国逾百个高压变电站安全运行。数据显示，新建的GIS高压变电站几乎都安装了高压带电显示闭锁装置，已成为一种潮流。敞开式高压变电站也正在大量使用，而且也改造加装在许多老站中。**EA**

(收稿日期：2006.07.28)

(上接第109页)

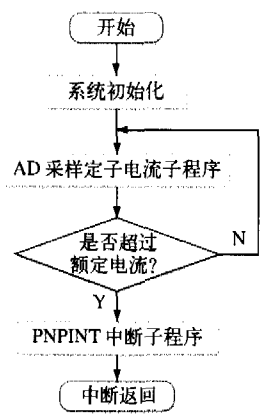

图6　电动机保护流程图

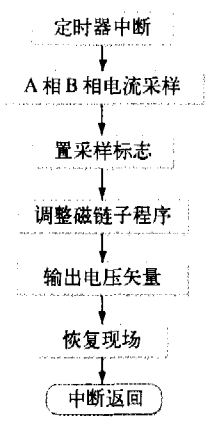

图7　转矩控制流程图

同时结合上一次输出的电压矢量进行决策，使磁链在一定范围脉动，达到控制转矩的目的。

异步电动机直接转矩控制是一种现代的高性能交流调速方法，它结构简单，思路清晰，通过高速数字信号处理器(DSP)可以实现全数字化控制。基于TMS320F2812的高性能直接转矩控制系统，充分利用了DSP的高速运算能力和丰富的片内外设结构，使电动机控制的外围电路简单，结构紧凑，可靠性高。试验结果表明，系统的反应迅速，具有很高的动态性能，适用于负载变动大、起动性能要求高的场合。**EA**

(收稿日期：2006.08.11)