

文章编号: 1005-7277(2008)06-0019-03

# 基于 DSP 的直接转矩控制变频器的研究

郑益飞<sup>1</sup>, 欧阳名三<sup>1</sup>, 何世明<sup>2</sup>, 苏云<sup>1</sup>

(1. 安徽理工大学 电气与信息工程学院, 安徽 淮南 232001;  
2. 上海申传电气有限公司, 上海 200072)

**摘要:** 分析了异步电动机直接转矩控制理论, 并对如何实现直接转矩控制作了深入研究和探讨。设计了以 TMS320LF2407A 型 DSP 为核心的直接转矩控制变频器的硬件及软件系统。测试结果表明该变频器具有优良的动、静态性能。

**关键词:** 直接转矩控制; 变频器; 空间电压矢量

中图分类号: TN773

文献标识码: A

## Study of direct torque converter control based on DSP

ZHENG Yi-fei<sup>1</sup>, OUYANG Ming-san<sup>1</sup>, HE Shi-ming<sup>2</sup>, SU Yun<sup>1</sup>

(1. School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 2. Shanghai Shenchuan Electric Ltd., Shanghai, 200072, China)

**Abstract:** The theory of the induction motor direct torque control is analyzed, and how to achieve a direct torque control is also researched and discussed. The direct torque converter control's hardware and software system designed is as the core of TMS320LF2407A DSP. Test results show that the system has an excellent dynamic and static performance.

**Key words:** direct torque control; inverter; space vector

## 1 引言

1985 年德国鲁尔大学 Depenbrock 教授首次提出了直接转矩控制的理论, 是近 10 年来, 继矢量控制调速技术之后, 发展起来的一种新型具有高性能的交流变频调速技术。它在很大程度上解决了矢量控制中计算控制复杂、特性易受电动机参数变化的影响、实际性能难于达到理论分析结果等一些重大问题, 并以新颖的控制思想、简洁明了的系统结构、优良的动静态性能得到迅速发展。

## 2 异步电动机直接转矩控制(DTC)理论

直接转矩控制是直接在定子坐标系下分析交流电动机的数学模型, 控制电动机的磁链和转矩,

不需要将交流电动机等效直流电动机, 因而省去了矢量旋转变化中的许多复杂计算; 它不需要模仿直流电动机的控制, 也不需要为解耦而简化交流电动机的模型。在直接转矩控制的分析中, 一般采用空间矢量的数学分析方法。如图 1 所示为异步电动机空间矢量的等效电路图<sup>[1]</sup>。

异步电机在定子坐标系下的特征可用下列方程式表示:

$$\vec{u}_s = R_s \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} \quad (1)$$

$$0 = R_r \vec{i}_r + \vec{\psi}_r - j\omega_r \vec{\psi}_r \quad (2)$$

$$\vec{\psi}_s = L_s \vec{i}_s \quad (3)$$

$$\vec{\psi}_r = \vec{\psi}_s - L_{\sigma} \vec{i}_r \quad (4)$$

电机的电磁转矩可表示为定子磁链矢量和转子磁链矢量之间的交叉乘积形式:

$$T_e = \frac{1}{L_{\sigma}} \frac{3}{2} |\vec{\psi}_s| |\vec{\psi}_r| \sin\theta \quad (5)$$

其中,  $\vec{u}_s$  为定子电压空间矢量,  $\vec{i}_s$  为定子电流空间矢量,  $\vec{i}_r$  为转子电流空间矢量,  $R_s$  为异步电机定

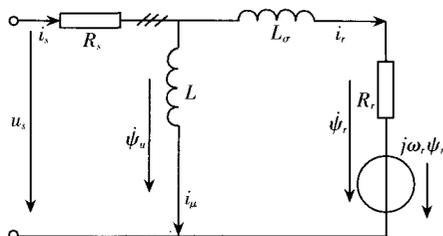


图 1 异步电动机空间矢量等效电路图

子电阻,  $R_r$  为转子电阻,  $L_s$  为定子电感,  $L_\sigma$  为漏电感,  $\vec{\psi}_s$  为定子磁链矢量,  $\vec{\psi}_r$  为转子磁链矢量,  $\theta$  为磁通角。

在实际运行中, 保持定子磁链的幅值为额定值, 以充分利用电动机的效率, 而转子磁链幅值由负载决定。根据式(5), 如果要改变异步电动机的转矩, 可以通过改变磁通角  $\theta$  来实现。其方法是: 通过空间电压矢量  $\vec{u}_s$  来控制定子磁链的旋转速度, 使定子磁链走走停停, 以改变定子磁链的平均旋转速度。当定子磁链旋转速度大于转子磁链旋转速度时, 磁通角  $\theta$  加大, 转矩增大; 反之,  $\theta$  减小, 转矩减小, 从而实现转矩控制<sup>[2]</sup>。

逆变器 3 组桥臂共有 8 组状态(6 个为非零向量, 2 个为零向量), 通过逐步合理地选择 8 个空间电压矢量, 可以使定子磁链矢量的运动轨近似一个圆形。即定子磁链的幅值保持为常数, 并且快速改变其相位。另一方面, 由于异步电动机转子的时间常数很大(通常  $>0.1s$ ), 因此转子磁链的变化相对于定子磁链慢很多, 在很短的时间内可认为转子磁链不动, 就造成了转矩角  $\theta$  快速改变。也就是说, 电磁转矩得到了快速改变。

### 3 异步电机直接转矩控制实现的策略

如图 2 所示是三相异步电动机直接转矩控制系统的结构图<sup>[3]</sup>, 图中上部分是主电路, 它根据直接转矩策略输出空间电压矢量(PWM 信号)驱动异步电动机; 图中下部分是直接转矩控制的算法。异步电动机中定子电流信号经过三相/二相变换后得到静止两相坐标系表示的值, 电压信号可用直流母线电压和前一控制周期产生的 PWM 信号合成得到。通过计算出来的定子磁链和转矩值分别与其参考值比较, 得到各自比较误差值, 然后根据误差决定是否要对磁链和转矩进行调整。最后经过电压矢

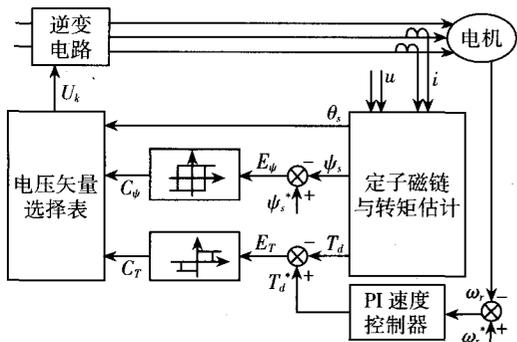


图 2 电动机直接转矩控制基本结构

量选择产生相应的 PWM 信号, 以驱动异步电动机, 得到所需要的转速和转矩。

为了控制电动机的转速, 要在控制系统的外环使用一个 PI 速度控制器。该 PI 速度控制器的输入是给定  $\omega_r^*$ , 及由电动机检测出的实际转速  $\omega_r$ , 输出作为参考电磁转矩值  $T_d^*$ 。这样, 当电动机的实际转速与给定转速不相符时, 就产生相应的参考转矩值, 进而使得实际转速稳定在给定转速上。

## 4 变频器系统软硬件设计

### 4.1 硬件设计

变频器主要包括主电路和控制电路两部分。主电路由整流电路、直流中间电路、逆变电路及一些辅助电路组成。逆变器采用了 IGBT 模块, 控制电路采用了 TMS320LF2407A 型 DSP 进行控制。该控制系统的功能如图 3 所示。

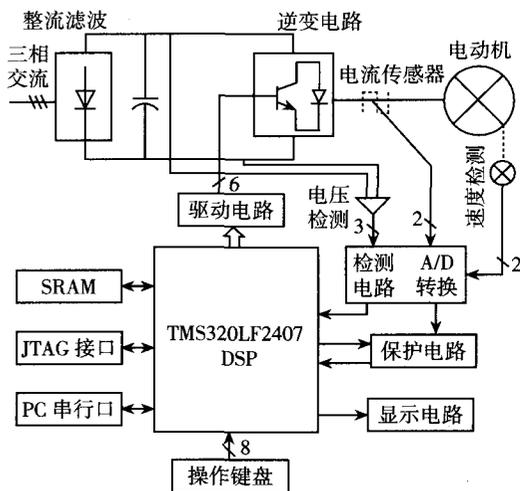


图 3 DTC 变频器硬件电路

#### (1) 采样电路

本系统是有速度反馈的直接转矩控制系统, 采样信号有: 电机定子侧电流信号、速度反馈信号和主电路侧电压信号。这 4 路信号分别经过 DSP 上 4 个数模转换通道进入 DSP 的。

a、b 相电流信号的采样由两个电流传感器完成, 输入为 0-5A、输出为 0-2.5mA。两路信号电路是完全对称的, 都由信号的放大和电平提升电路组成(因为本系统 DSP 中模/数转换模块的参考电源设定为 0-5V, 而采样信号为近似正弦的交流信号, 故需要首先把采样信号变换到 -2.5V 至 +2.5V 之间), 其电流采样信号转换原理如图 4 所示。其中的

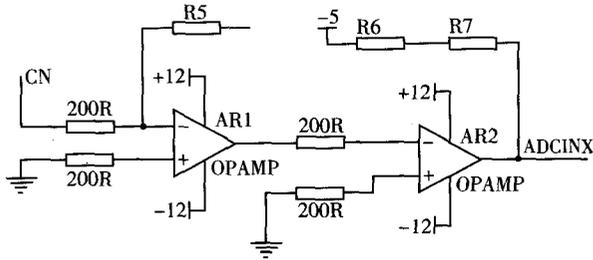


图 4 电流采样信号转换原理图

放大作用由集成的四运放 LM324 完成。

(2) 键盘和显示电路

采用一个 4\*4 的薄膜键盘作为系统各给定信号和控制信号的输入端口。本系统中键盘与 DSP 的数据交换是通过数字输入/输出端口 B 来完成的。通过键盘可以完成系统参数如转矩给定、速度给定等的设定,还可以在系统运行中实时地改变速度给定的大小等操作。显示电路主要由四位八段数码管和硬件译码电路 74LS47N 组成,主要用于电机转速的实时显示。这部分的控制信号由 DSP 上的数字 I/O 口 A 和 C 输出,结构如图 5 所示。

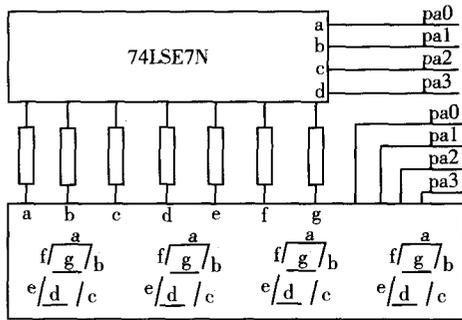


图 5 显示电路原理图

其中 1、2、3、4 表示四位数码管的位码,由 DSP 的 PC 口直接控制。本系统中数码管采用共负极的 LMF-546IBX 型,故当 PC 的相应位给出高电平时即可表示选中该位。74LS47N 的采用简化了系统的软件编程,节省了软件的执行时间。要显示数据以十进制形式由 DSP 的端口 A 输出送给 74LS47N,后者经内部电路转换后输出所要显示数据的 7 位段码到 8 位段数码管。

4.2 软件设计

系统程序的编制采用了以功能块为基础的程序组件模块化的设计方法,这种方法便于按功能自由组合,且编写调试都比较方便。主程序的结构简单,它只建立整个程序的一个运行框架,完成 DSP

初始化、DSP 运行环境的定义等工作。主程序在上电开始时对系统进行自检。初始化实现对程序中用到 DSP 的寄存器,常量、变量的定义,AD、EVA 模块等的初始化。AD 中断程序流程如图 6 所示。

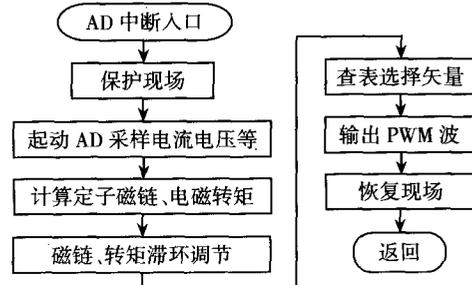


图 6 AD 中断子程序

5 结束语

本变频器进行了性能测试,测试结果表明,该变频器具有动态转矩响应快、调速范围高、可靠性高等特点,具有良好的动、静态性能。

自从矢量控制提出以来,交流调速取得了与直流调速相媲美的静、动态性能,但由于矢量旋转的复杂性,实际控制效果难以达到理论分析的水平。而直接转矩控制(DTC)系统的结构简明,控制效果直接,有着优良的静、动态性能,是顺应变频器发展的潮流。当然,传统的直接转矩控制技术也存在不足,如在实际应用中存在低速转矩脉动的缺点,国内外的专家学者也提出了很多的改进措施。随着 DTC 理论和硬件性能的进一步发展提高,一定会使 DTC 技术更加成熟。

参考文献:

[1]李发海,王 岩. 电机与拖动基础[M]. 北京:清华大学出版社,2005:233-234.  
 [2]李崇坚. 交流同步电机调速系统[M]. 北京:科学出版社,2005:247-248.  
 [3]成国呈. PWM 逆变技术及应用[M]. 北京:中国电力出版社,2007:92-97  
 [4]刘和平. TMS320LF240XDSP 结构,原理及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002:1-4.  
 [5]Tang L, Zhong L, Rahman M F, et al. A novel direct torque control scheme for interior Permanent magnet synchronous machine drive system with low ripple in torque and flux, and fixed switching frequency[A]IEEE PESC. [C]2002:529-534.

作者简介:

郑益飞 (1982-), 男,江西上饶人,安徽理工大学硕士研究生,研究方向为电力电子及其应用。

收稿日期: 2008-03-16