维普资讯 http://www.cqvip.com



# TMS320F2812在感应电动机直接转矩控制中的应用

王　伟　金新民　童亦斌

（北京交通大学电气工程学院　100044）

**摘　要**　基于开关表格的直接转矩控制（ST-DTC）采用定子磁场定向，直接在定子坐标系下计算磁链和转矩，采用滞环比较产生PWM信号，对逆变器的开关状态进行最佳控制，以获得转矩的高动态性能。与矢量控制技术相比，它的控制思想新颖，信号处理的物理概念明确，无需复杂的旋转坐标变换，对电动机参数的鲁棒性强。在对ST-DTC技术进行原理性介绍的基础上，提出以TMS320F2812为核心的实验控制系统，最后通过实验验证了ST-DTC技术具有优良的静动态性能。

**关键词**　感应电动机　直接转矩控制　开关表格　TMS320F2812

## 1　引言

感应电动机的直接转矩控制技术自提出之后，已取得了很大的发展。与矢量控制相比，它的控制思想新颖，省掉了复杂的矢量变化，克服了矢量控制系统对电动机转子参数的依赖性和控制系统的复杂性等缺点，是一种具有优良静、动态性能的交流调速方法[1]。

ST-DTC是最基本的DTC控制技术，它在定子坐标系下计算定子磁链和转矩，并分别与参考值进行滞环比较，根据差值的范围，从已有的开关表中选择合适的电压空间矢量，控制逆变器的开关状态，对磁链和转矩进行直接自调整控制，以获得转矩的高动态性能[1~3]。

本文对ST-DTC进行原理性介绍，如图1所示，建立了以TMS320F2812为控制核心，二极管整流桥和IPM等功率器件为主电路，以及相应的检测电路和通信电路构成的实验系统。通过此实验系统验证了ST-DTC方案的可行性。

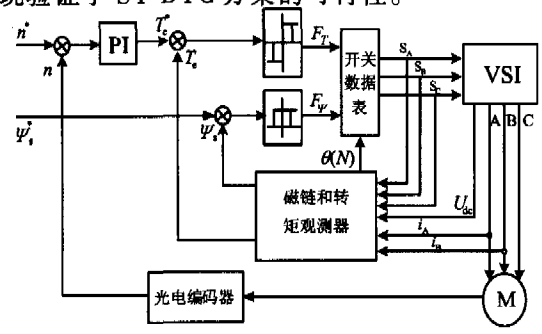


图1　ST-DTC控制原理图

## 2　ST-DTC控制

定子磁链观测器

$$\Psi_{\alpha s} = \int (u_{\alpha s} - R_s i_{\alpha s})\mathrm{d}t$$

$$\Psi_{\beta s} = \int (u_{\beta s} - R_s i_{\beta s})\mathrm{d}t$$

$$\Psi_s = \sqrt{\Psi_{\alpha s}^2 + \Psi_{\beta s}^2}$$

$\gamma_s = \arctan(\Psi_{\beta s}/\Psi_{\alpha s})$（称之为磁链角）

电磁转矩观测器

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

磁链比较器滞环宽度为$\varepsilon_\Psi$，输出为数字量$F_\Psi$。$\Psi_s^* - \Psi_s \geqslant \varepsilon_\Psi$时，$F_\Psi = 1$；$\Psi_s^* - \Psi_s \leqslant -\varepsilon_\Psi$时，$F_\Psi = 0$；$|\Psi_s^* - \Psi_s| < \varepsilon_\Psi$时，$F_\Psi$维持原状态不变。

转矩比较器滞环宽度为$\varepsilon_T$，输出为数字量$F_T$。$T_e^* - T_e \geqslant \varepsilon_T$时，$F_T = 1$；$T_e^* = T_e$时，$F_T = 0$；$T_e^* - T_e \leqslant -\varepsilon_T$时，$F_T = -1$；$0 < |T_e^* - T_e| < \varepsilon_T$时，$F_T$维持原状态不变。

根据磁链角$\gamma_s$的大小将空间分为六个区域，用$\theta(N)$来表示[1]，则每个区域所包含的范围为

$$(2N-3)\frac{\pi}{6} \leqslant \theta(N) \leqslant (2N-1)\frac{\pi}{6}$$

式中　$N = 1, 2, 3, 4, 5, 6$

根据$F_\Psi$、$F_T$、$\theta(N)$，可以从以下开关数据表中选择合适的空间电压矢量[1~3]，从而控制逆变器的运行状态，达到转矩直接控制的目的，这就是ST-DTC的控制原理。

维普资讯 http://www.cqvip.com



表　ST-DTC中开关数据表

| | | θ(1) | θ(2) | θ(3) | θ(4) | θ(5) | θ(6) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $F_\Psi=1$ | $F_T=1$ | $u_s(110)$ | $u_s(010)$ | $u_s(011)$ | $u_s(001)$ | $u_s(101)$ | $u_s(100$ |
| | $F_T=0$ | $u_s(111)$ | $u_s(000)$ | $u_s(111)$ | $u_s(000)$ | $u_s(111)$ | $u_s(000)$ |
| | $F_T=-1$ | $u_s(101)$ | $u_s(100)$ | $u_s(110)$ | $u_s(010)$ | $u_s(011)$ | $u_s(001)$ |
| $F_\Psi=0$ | $F_T=1$ | $u_s(010)$ | $u_s(011)$ | $u_s(001)$ | $u_s(101)$ | $u_s(100)$ | $u_s(110)$ |
| | $F_T=0$ | $u_s(000)$ | $u_s(111)$ | $u_s(000)$ | $u_s(111)$ | $u_s(000)$ | $u_s(111)$ |
| | $F_T=-1$ | $u_s(001)$ | $u_s(101)$ | $u_s(100)$ | $u_s(110)$ | $u_s(010)$ | $u_s(011)$ |

## 3　实验系统硬件实现

二极管整流桥选用SanRex公司的DF30AC160模块，30A/1600V/6U。IPM模块选用Sanken公司的SP50Z6C模块，50A/1200V/7U。

本系统以TMS320F2812为控制核心。TMS320F2812为TI公司最新研制的高性能32位定点运算DSP，最高主频150MHz。其内部集成有丰富的外设功能，如事件管理器EVA和EVB模块，能够方便地实现电动机的控制。而且TMS320F2812和C/C++编译程序设计在一起，完全可以使用高级语言来开发控制应用。它还集成有独特的算法库IQmath，能够很好地实现复杂的算法设计。

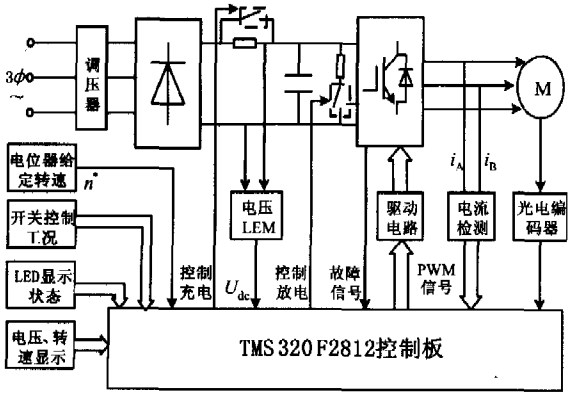


图2　基于TMS320F2812的实验系统原理图

PWM驱动信号由TMS320F2812的EVA模块中的三个比较单元CMP1、CMP2、CMP3产生。三个比较单元可以产生六路PWM驱动信号，分别控制六个IGBT主管。驱动电路由74ACT245三态收发器和IPM专用高速光耦HCPL4504组成。

IPM内置有保护电路。如果IPM保护电路动作，IGBT栅极驱动单元就会关断门极电流并输出一个故障信号Fo（低电平有效），故障信号经高速光耦TLP521—1隔离后输入到TMS320F2812的PDPINTA引脚。如果该引脚电平被拉低，则CMP1、CMP2、CMP3的PWM引脚输出被置为高阻状态，同时进入PDPINTA-ISR（）保护程序，进行保护设置，从而达到保护IPM的目的。

采样中间直流电压时选用电压传感器，型号为TV100—AW/1000，比例为1000V:40mA。采样定子两相电流时选用TET电流传感器，型号为TV300，比例为1:2000。采样信号经过适当的模拟电路处理后，输入到TMS320F2812的12位ADC模块。ADC模块有16个模拟输入通道，两个采样/保持电路，可以同时采样两路信号，正好适用于定子两相电流的同时采样。

系统中采用光电编码器检测电动机转速，光电编码器型号为E40S—100—3—2，每转输出100个脉冲。TMS320F2812的捕获单元CAP1和CAP2捕获编码脉冲个数，通过相应算法，得到电动机转速。实验中变频器对编码脉冲信号干扰很大，所以加入了模拟*RC*滤波，而且TMS320F2812的CAP1、CAP2端口本身设计有数字滤波功能，适当的设置后很好地弥补了模拟*RC*的不足。

为了方便观测中间直流电压值、给定转速和实际转速参数的变化，系统中采用TMS320F2812的SPI（串行外设接口）模块和数码管来显示参数。SPI模块采用同步串行通信机制，有两种工作模式：主模式和从模式。数码管驱动采用MAXIM公司的三线串行显示驱动芯片MAX7219。实验中，SPI工作在主模式下。

## 4　实验系统软件实现

控制程序由主程序main（）、定时器中断程序TIPINTA_ISR（）和故障保护中断程序PDPINTA_ISR（）构成，如图3所示。

## 5　实验结果

三相感应电动机型号为Y100L1—4，额定功率2.2kW，额定电流5.0A，额定线电压380V，额定频率50Hz，额定转速1 420r/min。定子电阻2.9Ω，定子电感245.7 mH，转子电阻2.1Ω，转子电感253.2 mH，定转子互感238.4mH。

图4a为电动机起动时速度波形，可以看出在不到40ms的时间内电动机转速就从0r/min上升到150r/min；图4b为电动机升速时速度波形，从

维普资讯 http://www.cqvip.com



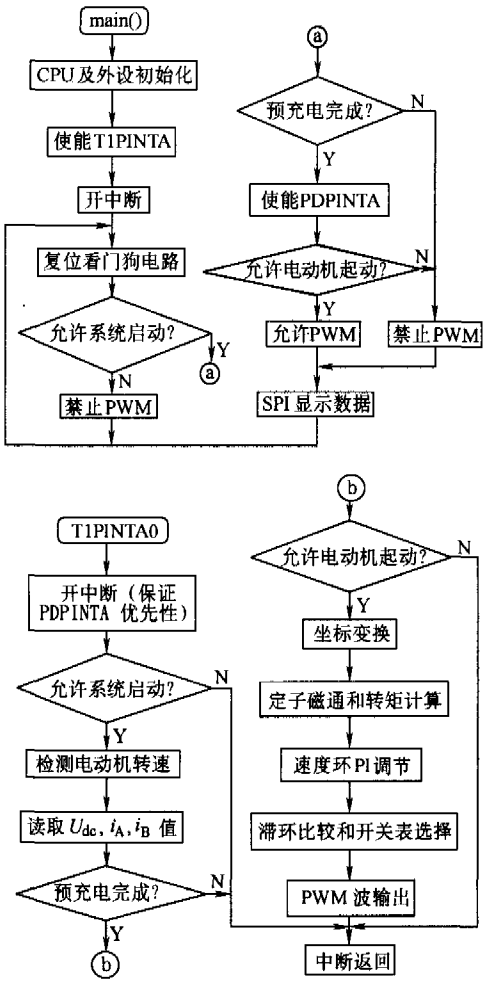


图 3　main（）和 T1PINTA_ISR（）程序流程图

150r/min 上升到 1 350r/min 所需时间大致为 280ms。电动机起动和升速期间，转速都比较平稳。图 5 所示为无负载稳态转速和定子相电流波

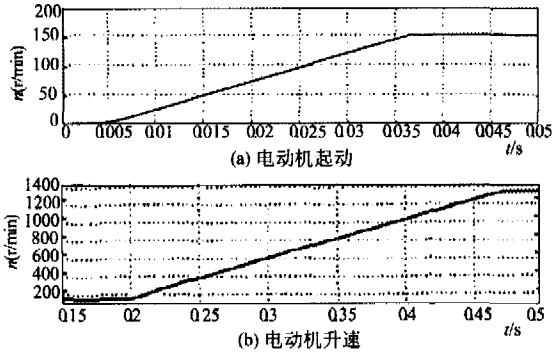


图 4　无负载动态转速波形

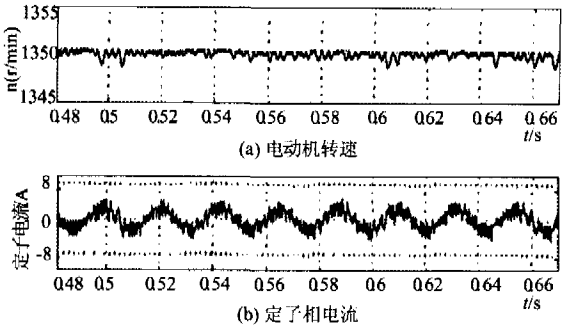


图 5　无负载稳态波形

形。实验结果表明，三相感应电动机的 ST-DTC 控制方法能够较好的进行调速，控制精度高，实时性好，动态响应快。

## 6　结束语

本文所设计的以 TMS320F2812 DSP 为核心的控制系统各部分分工明确，设计合理，能可靠完成各自功能。感应电机的 ST-DTC 技术具有较好的静动态性能，是一种优良的变频调速技术。

ST-DTC 控制也存在着一些不足：开关频率变化；采用数字方式实现滞环时，因为只有在采样时刻才能进行比较，为了准确地判断开关切换，就需要较高的采样频率；在起动和较低速时，因为多次选择零电压矢量，定子磁链由于定子电阻压降的影响而幅值减少等。这些都是有待进一步解决的问题。

### 参考文献

1　叶斌．电力电子应用技术及装置．北京：中国铁道出版社，1999

2　Kazmierkowski M P, Buja G. Review of direct torque control methods for voltage source inverter - fed induction motors. Industrial Electronics Society, 2003. IECON '03. The 29th Annual Conference of the IEEE, 2003, 1: 981 ~ 991

3　Marino P, D Incecco M, Visciano N. A comparison of direct torque control methodologies for Induction Motor. 2001 IEEE Porto Power Tech Conference, 2001, 2: 6

收稿日期：2005 - 08 - 08

欢迎投稿　欢迎订阅　欢迎刊登广告