

# 基于TMS320F240的直接转矩模糊控制系统研究

江明, 张春

(安徽工程科技学院电气工程系 安徽 芜湖 241000)

**【摘要】**介绍基于数字信号处理器直接转矩模糊控制系统,提出一种采用模糊逻辑在线估算定子电阻的方法,可以提高系统的低速性能和响应。通过观测器对定子磁链和速度估计,采用TMS320F240构成直接转矩模糊控制系统,实验结果表明了该方案的可行性。

**关键词** 直接转矩控制; 模糊控制; 变换器; 数字信号处理器

中图分类号 TP273.2; TP271 文献标识码 A

## A Study of Induction Motor Direct Torque Fuzzy Control System Based TMS320F240

JIANG Ming, ZHANG Chun

(Dept. of Electrical Engineering, Anhui University of Technology and Science Anhui Wuhu 241000)

**Abstract** A system of fuzzy stator direct torque control for induction motor based is introduced. A novel of fuzzy stator resistance estimator on-line is proposed. It can improve the performance at low speeds and the response of the system. By estimating Flux-chain and speed, a fuzzy direct torque control system based on TMS320F240 is made. The experiment result shows that scheme is reliable.

**Key words** direct torque control; fuzzy control; converter; digital signal processor

直接转矩控制技术以新颖的控制思想,简洁明了的系统结构,优良的静、动态性能受到了很多学者的关注并得到迅速发展。其基本思想是在维持磁链幅值不变的情况下,通过调整定子磁链在空间的旋转速度以控制转矩,达到控制电机转速的目的。在直接转矩控制中,磁链偏差、转矩偏差和磁通位置直接用于选择逆变器的开关状态。这些量均用一定范围的值来表示,而这个范围本身就是一个模糊的语言变量,如果采用模糊控制的方法去求取开关状态,不仅符合控制规律,而且会比采用传统的数字控制方法更适合于实际情况<sup>[1]</sup>。另外,在直接转矩控制中,定子磁链的估算和定子电阻有关,定子电阻的偏差会引起定子磁链估算的各种不合理偏差,从而使控制器的控制性能变坏,采用模糊推理可以从定子电流的幅值求出相对应的定子电阻来。为此,本文提出一个带有模糊电阻观测器的模糊直接转矩控制系统。

### 1 系统结构及控制原理

系统主要由模糊电阻观测器,转矩、磁链观测器,模糊控制器,逆变器组成<sup>[2]</sup>,结构如图1所示,其工作过程为:首先对定子直流电压 $E$ 及定子电流 $i_A, i_B, i_C$ 进行采样;根据逆变器开关器件导通状态,得到 $u_A, u_B, u_C$ 然后,经过3/2变换将 $u_A, u_B, u_C$ 及 $i_A, i_B, i_C$ 变换成 $a, b$ 坐标系下的 $u_a, u_b$ 及 $i_a, i_b$ ,这两对电压和电流一路进入定子磁链模型,计算出 $y_a$ 和 $y_b$ ,另一路进入电磁转矩模型和 $y_a, y_b$ 共同计算出电磁转矩 $T_e$ 的大小,以进行电磁转矩的闭环控制。 $y_a, y_b$ ,经过直角—极坐标变换K/P,得到电机磁

收稿日期:2004-07-09

基金项目:安徽省自然科学基金项目(01042306);安徽省高等学校自然科学研究项目(2005kj063)

作者简介:江明(1965-),男,硕士,副教授,主要从事检测技术及自动控制方面的研究。

链的模以及 $y_a$ 和 $y_b$ 的夹角 $q^*$ ,磁链的模参与磁链大小的闭环控制, $q^*$ 作为磁链位置检测的输入信号,确定磁链的准确位置 $q$ 。另外电磁转矩 $T_e$ 和电机磁链经速度观测器计算出电动机的转速,输出 $w$ 信号参与电机转速的闭环控制。最后, $q$ 与转矩调节器的输出 $D_T$ 以及电磁调节器的输出 $D_Y$ 共同作用,决定逆变器的开关状态,即确定电压空间矢量及其作用时间的长短,形成脉冲宽度调制(Pulse Width Modulation, PWM)波形,送至由智能功率模块(Intelligent Power Module, IPM)组成的逆变器,完成PWM<sup>[3]</sup>。

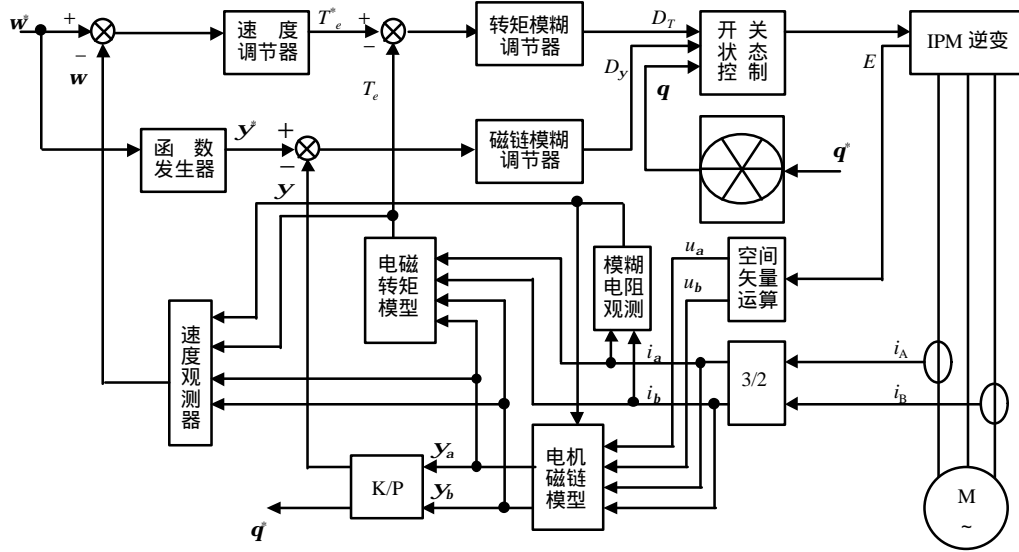


图 1 直接转矩控制系统框图

1.1 定子磁链和转矩观测

系统在转矩闭环的同时,兼顾定子磁链幅值的闭环控制,定子磁链观测采用U-I 电压模型。

$$a1 = \int u_{a1} - i_{a1} R_1 dt$$

$$b1 = \int u_{a1} - i_{a1} R_1 dt \tag{1}$$

$$T_e = n_p (i_{b1} a1 - i_{a1} b1) \tag{2}$$

式中  $R_1$ 为定子绕组电阻,由模糊电阻观测器得到,  $i_{a1}$ 、 $i_{b1}$ 、 $U_{a1}$ 、 $U_{b1}$ 的算法为:

$$\begin{bmatrix} i_{a1} \\ i_{b1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} U_{a1} \\ U_{b1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{AB} \\ U_{BC} \\ U_{CA} \end{bmatrix}$$

1.2 模糊电阻观测器

模糊电阻观测器采用定子电流幅值偏差和定子电流幅值偏差变化率对定子电阻偏差进行推理<sup>[4]</sup>。如果用  $I^*$ 表示磁链给定值 $y^*$ 和转矩给定值 $T^*$ 所对应的定子电流幅值。 $I$ 表示定子电流的测量值,大小为:  $I(k) = \sqrt{i_{a1}^2 + i_{b1}^2}$ ,其中 $k$ 是逆变器的开关状态,  $i_{a1}$ 和 $i_{b1}$ 是三相异步电动机在 $a-b$ 坐标系下的电流值,可以得到定子电流偏差 $e$ 和电流偏差变化率 $\Delta e$ 为:  $e(k) = I^*(k) - I(k)$ 及 $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$ 。

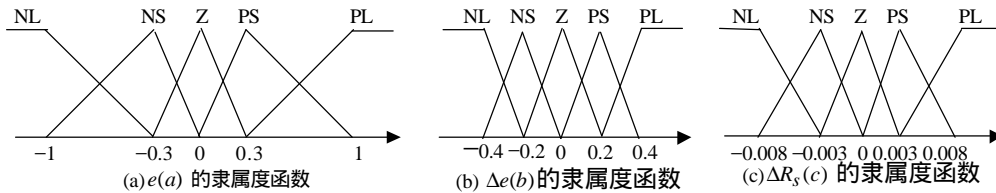


图 2  $e(a)$ ,  $\Delta e(b)$ ,  $\Delta R_s(c)$  的隶属度函数

从电流偏差  $e(k)$ 和电流偏差变化率  $\Delta e(k)$ 推断电阻偏差  $\Delta R_s$ 的模糊推理规则:如果  $e(k)$ 是A并且  $\Delta e(k)$ 是B,那么  $\Delta R_s$ 为C。其中,  $e(k)$ 、 $\Delta e(k)$ 、 $\Delta R_s$ 在论域上都定义了5个模糊子集(PL、PS、Z、NS、NL)。该

表1 模糊电阻 $\Delta R_s$ 推理规则

$\Delta e$	$e$				
	PL	PS	Z	NS	NL
PL	PL	PL	PL	PS	Z
PS	PL	PL	PS	Z	NS
Z	PL	PS	Z	NS	NL
NS	PS	Z	NS	NL	NL
NL	Z	NS	NL	NL	NL

系统模糊电阻观测器的两个输入变量和一个输出变量均有5个隶属函数,其形状采用线性度好的三角形形状<sup>[1]</sup>,隶属度函数分布如图2所示。在规则编辑器下编辑模糊规则,模糊电阻观测器模糊规则根据经验列写如表1所示。在模糊规则的推理中,采用Mamdani's决策法,反模糊化过程采用Centroid法。模糊控制器建立后,可得到 $\Delta R_s$ ,计算出定子电阻 $R_s$ 为: $R_s(k) = R_s(k-1) + \Delta R_s(k)$ 。其中, $k$ 表示逆变器的本次开关状态, $k-1$ 表示上一次状态。

## 2 系统实现

系统采用智能IPM模块构成主电路完成功率变换,以TMS320F240为核心控制器件组成控制电路<sup>[5]</sup>,系统结构框图如图3所示。

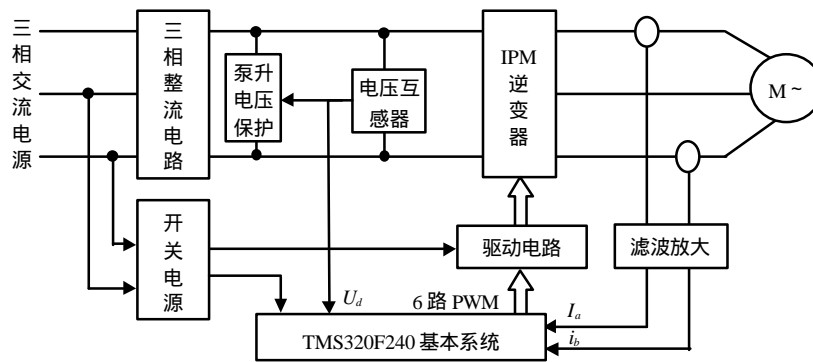


图3 系统结构图

### 2.1 交流电压的检测

在直接转矩控制系统中,作为状态变量的磁链和转矩是由三相相电压、相电流检测值经过系列运算后得到的。根据瞬时空间矢量理论,在不考虑逆变器死区效应的情况下,三相交流电压可由直流母线电压和开关状态信息推算得到。选用LEM直流电压互感器,通过TMS320F240芯片提供的A/D转换器来检测直流侧电压,达到检测三相输出交流电压的目的,该信号同时可实现直流侧泵升电压保护。

### 2.2 定子电流检测

定子电流由LEM公司电流霍尔传感器检测,采用TMS320F240芯片提供的A/D转换器,分别对A、B相定子电流进行采样,经过推算得到C相定子电流,从而获得实时电流。

### 2.3 PWM产生、死区实现

由TMS320F240芯片产生6路PWM脉冲信号,经光电隔离后,控制智能功率模块IPM。为了避免同一桥臂两个功率器件发生直通,通过设置死区控制寄存器可控制死区时间。

## 3 实验结果及结论

系统软件设计如图4、5所示。实验系统采用电机的参数为0.75 kW,转速为1 500 rpm,定子每相绕组 $4.678 \Omega$ ,PWM频率为10 kHz,软件设置死区时间为 $3 \mu\text{s}$ , $T1$ 定时周期为 $150 \mu\text{s}$ ,速度采样时间为1 ms,稳态时定子磁链幅值在空间的轨迹接近于圆形,图6所示为系统实验得到的稳态磁链轨迹,速度、磁链调节器采用模糊控制时,实际稳态速度曲线如图7所示。

实验结果表明,将模糊控制引入直接转矩控制系统中,改善了系统运行的性能,在线模糊电阻观测器补偿了定子电阻变化对系统性能的影响,带模糊电阻观测器的模糊直接转矩控制系统的磁链轨迹能较好地逼近圆形。基于TMS320F240的直接转矩模糊控制方案是可行的,该芯片具有较强的数据实时处理能力,满足了磁链、速度观测运算的实时要求,并在片内集成了电机数字控制用的专用外围部件,使交流电机控制系统硬件电路简单。

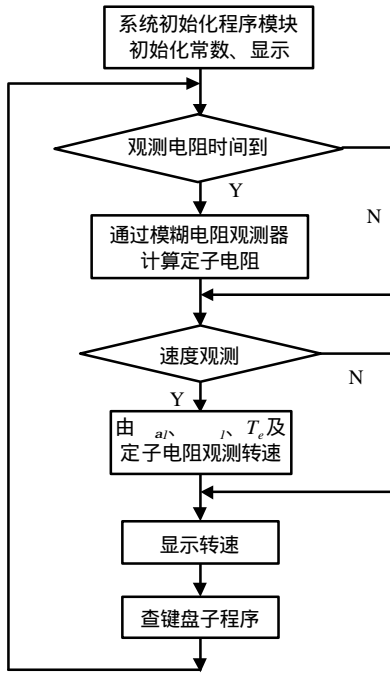


图4 主程序流程图

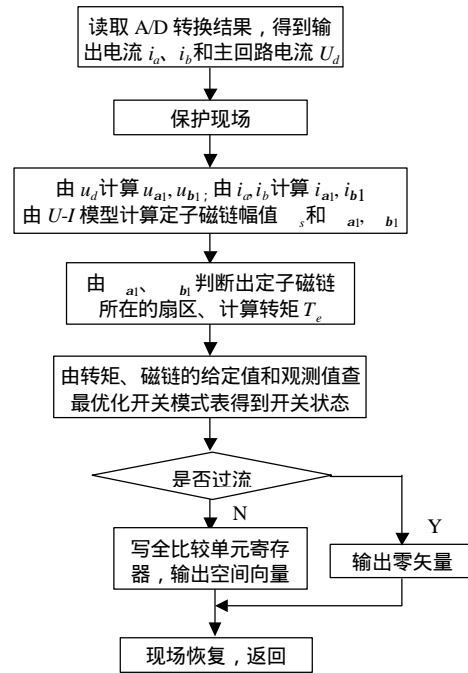


图5 定时中断程序流程图

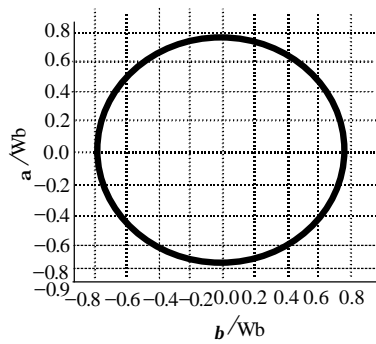


图6 定子稳态磁链轨迹

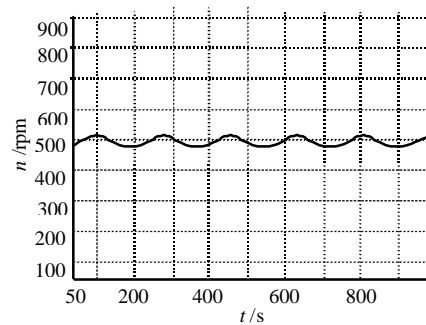


图7 速度给定值为500转/分的稳态速度曲线

参 考 文 献

[1] 李士勇. 模糊控制、神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996. 1-643  
 [2] Zhang Yan. sensorless sliding-mode control of induction motors[J]. IEEE Transactions on industrial electronics, 2000, 47(6): 1 286-1 293  
 [3] 赵 金, 万淑芸, 杨 璐, 等. 基于TMS320F240的直接转矩控制系统研究[J]. 电力电子技术, 2000,34(5): 52-54  
 [4] 陈其工. 直接转矩控制系统中感应电机定子电阻模糊观察[J]. 电子科技大学学报, 1999, 28(3): 291-294  
 [5] TEXAS. TMS320F/C24x DSP controllers reference guide-CPU and instruction set[M]. Texas: Texas Instruments Incorporated ,1999.1-389

编 辑 漆 蓉