

模糊直接转矩控制系统的设计与仿真研究

张 春, 郭兴众

(安徽工程科技学院电气工程系 安徽 芜湖 241000)

【摘要】提出了一种基于模糊电阻观测器的模糊直接转矩控制系统,采用模糊逻辑估计定子电阻,选择逆变器的开关状态,提高了系统的低速性能和系统的响应。并用MATLAB/SIMULINK软件建立了该系统的仿真模型,仿真结果表明了该方法的正确性,具有工程研究价值。

关键词 直接转矩控制; 模糊控制; MATLAB/SIMULINK; 仿真

中图分类号 TP273.2; TP271 文献标识码 A

Design and Simulation of Fuzzy Direct Torque Control System

Zhang Chun, Guo Xinzong

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

Abstract This paper proposes a novel structure of fuzzy stator direct torque control for induction motor with fuzzy stator resistance estimator. Fuzzy logic is used for estimating the stator resistance and choosing the switching state, which can improve the performance at low speeds and the response of the system. Also the paper uses MATLAB/SIMULINK to build the simulating model of the system. Some simulating result is presented to demonstrate this model is true, and the method has the advantage to study in the engineer.

Key words direct torque control; fuzzy control; MATLAB/SIMULINK; simulation

近年来,直接转矩控制(Direct Torque Control, DTC)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^[1]。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。它们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,若采用模糊控制的方法求取开关状态,更符合控制规律,比采用传统的数字控制方法更适合实际情况^[2]。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,使控制器的控制性能变坏,而采用模糊推理可从定子电流的幅值求出相对应的定子电阻。基于此,本文提出一个带模糊电阻观测器的模糊直接转矩控制系统,用MATLAB/SIMULINK建立起模糊DTC系统的仿真模型,并用该模型进行了初步仿真研究。

1 系统仿真结构图

本系统主要由模糊电阻观测器、转矩、磁链观测器、模糊控制器、逆变器和三相异步电动机组成,用MATLAB/SIMULINK建立起的系统仿真结构图如图1所示。

收稿日期:2002-12-02

基金项目:安徽省自然科学基金资助项目(2000jL036)

作者简介:张 春(1972-),男,硕士,讲师,主要从事智能控制及控制系统的计算机仿真方面的研究。

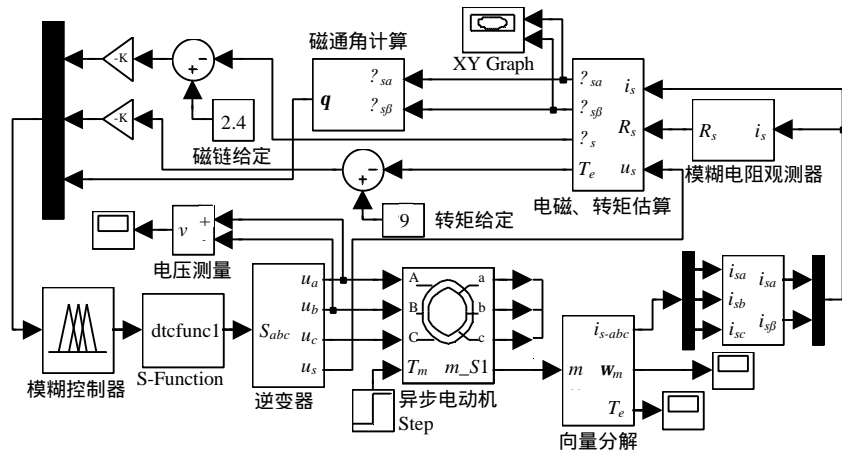


图1 系统仿真结构图

2 系统仿真模型的建立

SIMULINK是一个开放的编程环境，用户可以通过简单的操作建立自己的模型，然后直接进行仿真。

2.1 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。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；定子电流的测量值 $I(k) = \sqrt{i_{sa}^2 + i_{sb}^2}$ ，其中 k 为逆变器的开关状态， i_{sa} 和 i_{sb} 为三相异步电动机在 $a-b$ 坐标系下的电流值，则可以得到定子电流偏差 e 和电流偏差变化率 Δe 为：

$$\begin{cases} e(k) = I^*(k) - I(k) \\ \Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \end{cases}$$

从电流偏差 $e(k)$ 和电流偏差变化率 $\Delta e(k)$ 推断电阻偏差 ΔR_s 的模糊推理规则为：if $e(k)$ is A and $\Delta e(k)$ is B then ΔR_s is C 。其中 $e(k)$ 、 $\Delta e(k)$ 、 ΔR_s 在论域上都定义了5个模糊子集(PL、PS、Z、NS、NL)。在利用SIMULINK进行仿真时需用到MATLAB的模糊控制工具箱。设计时，只需在MATLAB环境窗口输入fuzzy，打开FIS编辑器，增加输入/输出变量，对各输入/输出变量的隶属度函数的名称、范围、形状等进行设定。该系统的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^[2]，隶属度函数分布如图2所示。

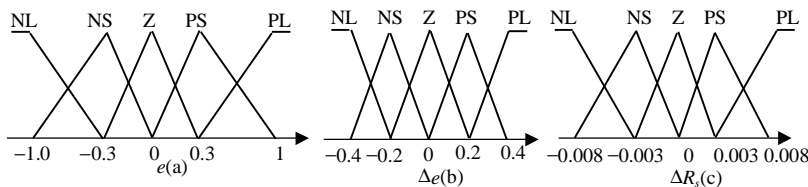


图2 $e(a)$ 、 $\Delta e(b)$ 、 $\Delta R_s(c)$ 的隶属度函数

在规则编辑器下编辑模糊规则，模糊电阻观测器的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。模糊控制器建立起来后，可用指令readfis将fuzzy推理系统的.fis转换成模糊推理矩阵，读到MATLAB的工作空间，以便仿真时使用。

得到 ΔR_s 后，可计算出定子电阻 R_s 为 $R_s(k) = R_s(k-1) + \Delta R_s(k)$ ，其中， k 为逆变器的本次开关状态， $k-1$ 为上一次状态。仿真模型如图3所示。

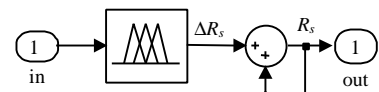


图3 模糊电阻观测器仿真模型

表1 模糊电阻 ΔR_s 推理规则

Δe	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

2.2 磁链、转矩估算模型

三相异步电动机的定子电流和定子电压经3/2坐标变换后，用于完成定子磁链和转矩的观测，然后可计算出磁链的幅值和相角，基本方程为：

$$\begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$\begin{bmatrix} u_{sa} \\ u_{sb} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$y_s = \int (u_s - i_s R_s) dt \tag{3}$$

$$|y_s| = \sqrt{y_{sa}^2 + y_{sb}^2} \tag{4}$$

$$T_e = \frac{3}{2} n_p (y_{sa} i_{sb} - y_{sb} i_{sa}) \tag{5}$$

$$q = 2 \arctan \left(\frac{y_{sb}}{y_{sa} + |y_s|} \right) \tag{6}$$

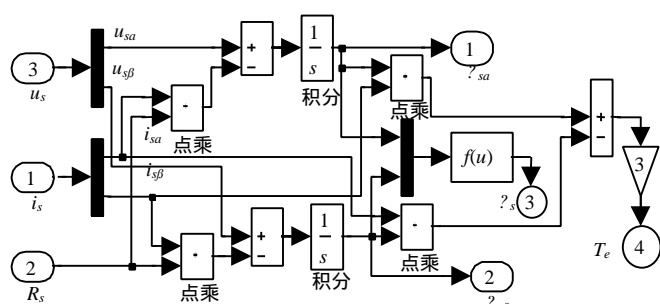


图4 磁链、转矩估算模型

根据上述方程构造出的磁链、转矩估算模型如图4所示，该模型全部由SIMULINK的常规模块组成。

2.3 模糊控制器单元

2.3.1 模糊变量

根据DTC系统已有的控制经验，模糊控制器的输入为磁链误差 E_y ，转矩偏差 E_T 和磁通角 q ，其中 E_y 在其论域上定义了3个模糊子集(“正(P)”、“零(Z)”、“负(N)”)， E_T 在其论域上定义了5个模糊子集(“正大(PL)”、“正小(PS)”、“零(Z)”、“负小(NS)”、“负大(NL)”)。

磁通角 q 在 $0 \sim 2\pi$ 划分为12个模糊子集($q_1 \sim q_{12}$)，各变量隶属度函数分布如图5所示。

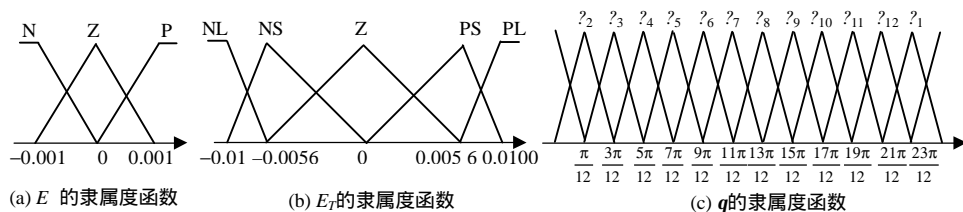


图5 E, E_T, q 的隶属度函数分布图

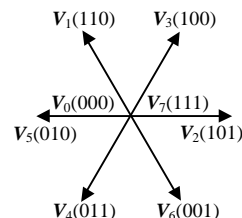


图6 电压矢量图

控制变量取逆变器的开关状态 V ，它是8个 $V_0 \sim V_7$ 的独立变量，其中 V_0, V_7 为零矢量，模糊集合为独点集，各种开关状态下的电压矢量图如图6所示。

2.3.2 模糊规则

模糊控制器的每一条控制规则都采用 E_y, E_T, q, V 来描述，第 i 条规则 R_i 表示为：
if E_y is A_i and E_T is B_i and q is q_i then V is V_i 。

2.3.3 模糊推理与模糊决策

模糊推理规则采用Mamdani's规则，取最大隶属度对应的输出量为逆变器的开关量输出。

$$m_v(V) = \max_{i=1}^{180} [m_{A_i}(E_y) \wedge m_{B_i}(E_T) \wedge m_{C_i}(q) \wedge m_{V_i}(V)]$$

式中 m_{A_i} , m_{B_i} , m_{C_i} 分别为 A_i , B_i , C_i 的隶属度, m_{V_i} 为输出 V 的隶属度。

2.4 逆变器模型

在直接转矩控制系统中,由模糊控制器输出的开关状态控制逆变器,决定了逆变器的电压状态,直接加到异步电动机的定子上。DTC系统用到180°电压型的逆变器,若三相负载的定子绕组接成星形,其输出电压的空间矢量 $u_s(t)$ 经引入Park矢量变换后的表达式为:

$$u_s(t) = \frac{2}{3} [u_a + u_b e^{j2\pi/3} + u_c e^{j4\pi/3}] \quad (7)$$

式中 u_a, u_b, u_c 分别为a,b,c三相定子负载绕组的相电压。为了便于仿真研究,可以采用逆变器的仿真模型,它是基于逆变器的电压状态与逆变器的开关状态 S_{abc} 和直流电压 E_d 之间的关系得到 u_{sa}, u_{sb} , 再经过2/3坐标变换器变换成 u_a, u_b, u_c 。

2.5 电机模型

电机模型采用Powerlib中的异步电动机,双击该模型可以设定电动机的功率,额定电压,频率,定转子的阻抗,漏抗,极对数等参数,非常方便。在本系统中,为解决两类信号的连接,由常规模块进入电气模块时,采用可控电压源作为接口环节,由电气模块进入常规模块时接入电机测量模块。

图1中的S函数的作用是把模糊控制器的输出1, 2, ..., 7转换成真正的逆变器开关量,如输出3,则转换成100等。

3 仿真结果

模型建立起来后,打开simulation菜单下的parameters项设置仿真参数:数值算法用能处理非线性环节的ode15s法,仿真时间、步长、相对误差、绝对误差等根据仿真需要确定。仿真时,系统将按一定的时序,根据已建成的系统图,完成相应的运算和数据处理。通过示波器观察到的仿真结果如图7所示。

从仿真结果可以看出,与传统DTC相比^[3,4],带模糊电阻观测器的模糊DTC系统的磁链轨迹能较好地逼近圆形,转矩响应快,电流波形虽然存在高频脉动,但还是比较接近正弦波。

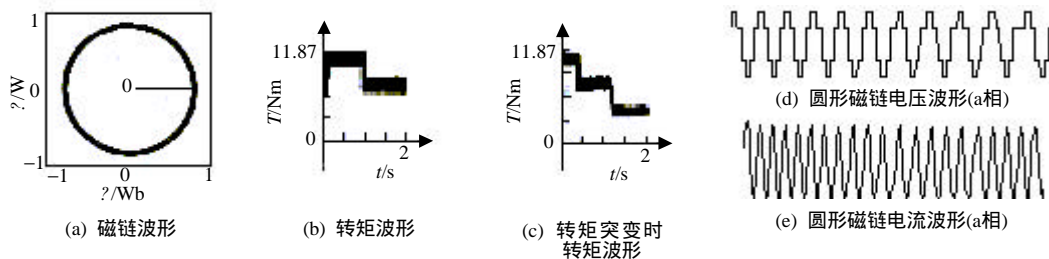


图7 仿真结果

4 结束语

利用MATLAB6.0/SIMULINK建立了带模糊电阻观测器的模糊直接转矩控制系统的仿真模型,并进行了仿真研究,将模糊控制引入直接转矩控制技术中能提高系统响应速度,改善低速时系统运行性能,模糊电阻观测器在一般转矩情况中有较好的效果。但模糊电阻观测器的结构及模糊规则还需进一步研究、改善。

参考文献

- [1] 余永权, 曾碧. 单片机模糊逻辑控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1995
- [2] 李凤. 异步电动机直接转矩控制[M]. 北京:机械工业出版社, 1994
- [3] Pastorelli M, Mtolbert L. Direct torque control of induction machines using space vector modulation[J]. IEEE Trans, 1992, 28(5): 1 045-1 053
- [4] 詹波, 吴浩烈. 采用模糊控制器的感应电机直接转矩控制[J]. 贵州工业大学学报, 1998, 27(4): 71-75

编辑 漆蓉