

三相感应电动机调速系统的建模与仿真*

李家荣, 邓智泉

(南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016)

摘要:系统而简略地阐述了异步电动机的矢量控制原理,并从异步电机的数学模型入手,选用 MATLAB/SIMULINK 软件对电机进行建模与仿真,其中重点介绍了电机、电压控制型变频器和磁链观测器等模型的建立,最后给出了仿真结果。

关键词:感应电动机; 调速系统; 仿真; 模型

中图分类号: TM922

文献标识码: A

文章编号: 1008-5092(2001)04-0001-04

直流电动机因为其控制简单并能快速响应而得到广泛应用,但直流电动机又有它固有的缺点,如制造复杂、成本高需要定期维修、运行速度受到限制,难以在防腐防爆等特殊要求的场合下应用等。而交流电动机,结构简单,坚固耐用,便于维修,近年来因为将矢量变换控制理论应用到交流电动机的调速控制中,使交流系统的调速性能完全可与直流系统相媲美。

1 异步电机的矢量控制理论^[1~2]

电机调速的关键是控制转速,转速是通过转矩来改变的,直流电机之所以调速性能好就是因为它的转矩容易控制,而影响异步电动机转矩的因素很多,其转矩公式: $T = C_M \phi_m I_2 \cos \varphi_2$, 式中 φ_2 为转子阻抗角。异步电动机的转矩和转子电流 I_2 , 气隙有效磁通 ϕ_m 有关,且与转速(转差率 S)有关, I_2 和 ϕ_m 两个变量既不成直角又不是独立变量,转矩的这种复杂关系成为异步电动机难以控制的根本原因。所谓矢量控制,就是通过电机的统一理论和坐标变换理论,将异步电机的数学模型等效地转换成直流电机的数学模型,然后以控制直流电机的方法来控制交流电机。

由于异步电机通过三相平衡电流 i_A, i_B, i_C 与两相垂直的平衡电流 i_α, i_β 可产生等效的旋转

磁场,因而 i_A, i_B, i_C 与 i_α, i_β 间存在确定的矢量变换关系,以产生同样的旋转磁势为准则,在三相坐标系下的定子电流 i_A, i_B, i_C , 通过三相/两相坐标变换,可以等效成两相静止坐标系下的交流电流 i_α, i_β , 再通过按转子磁场定向的旋转变换,可以等效成同步旋转坐标系下的直流电流 i_m, i_t , M, T 绕组相当于直流电动机的励磁绕组和电枢绕组,把上述等效关系用结构图画出来,便得到图1。从整体上看, A, B, C 三相输入, 转速 ω 输出, 是一台异步电动机。从内部看, 经过三相/两相变换和同步旋转变换, 变成一台由 i_m, i_t 输入, ω 输出的直流电动机。

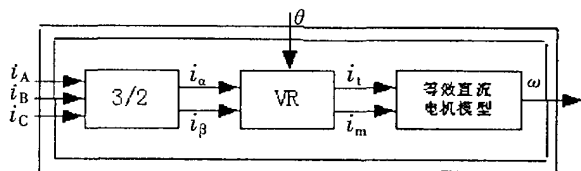


图1 异步电机等效结构图

Fig.1 Block diagram of induction motor
在功率不变的条件下^[3]:

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{3}{2}} & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \end{bmatrix}$$

* 收稿日期:2001-04-30

作者简介:李家荣(1970-),女,江苏盐城市人,盐城工学院讲师,南京航空航天大学硕士研究生,主要从事电机控制类研究,万方数据

$$\begin{bmatrix} i_{m1} \\ i_{\beta 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{a1} \\ i_{\beta 1} \end{bmatrix}$$

图 2 给出了矢量控制系统的结构图, 图中给定和反馈信号经过类似于直流调速系统的控制器, 产生励磁电流的给定信号 i_m^* 和电枢电流的给定信号 i_t^* , 经过旋转变换 VR 得到 i_a^* 和 i_β^* , 再经过两相/三相变换得到 i_A^* , i_B^* , i_C^* . 把这三个电流控制信号和由控制器直接得到频率控制信号 ω_1 加到带电流控制器的变频器上, 就可以输出异步电动机调速所需要的三相变频电流。

在设计矢量控制系统时, 可以认为, 在控制器后面引入的旋转变换器 VR 与电机内部的旋转变换环节抵消, 2/3 变换器与电机内部的 3/2 变换环节抵消, 如果再忽略变频器可能产生的滞后, 则图 2 中的大部分可以完全删去, 剩下的部分就和直流调速系统非常相似。

2 异步电机矢量变换控制系统和仿真模型

异步电机矢量变换控制结构图^[3]如图 3 示。

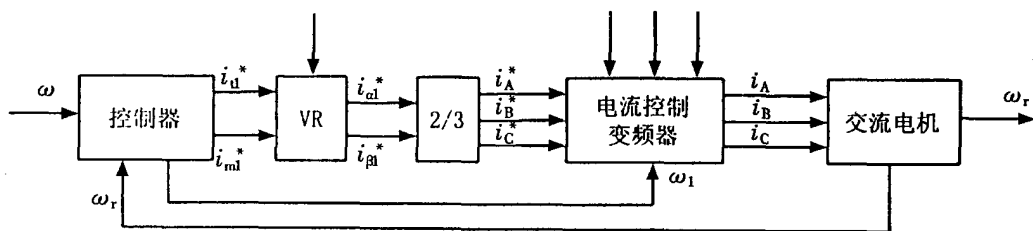
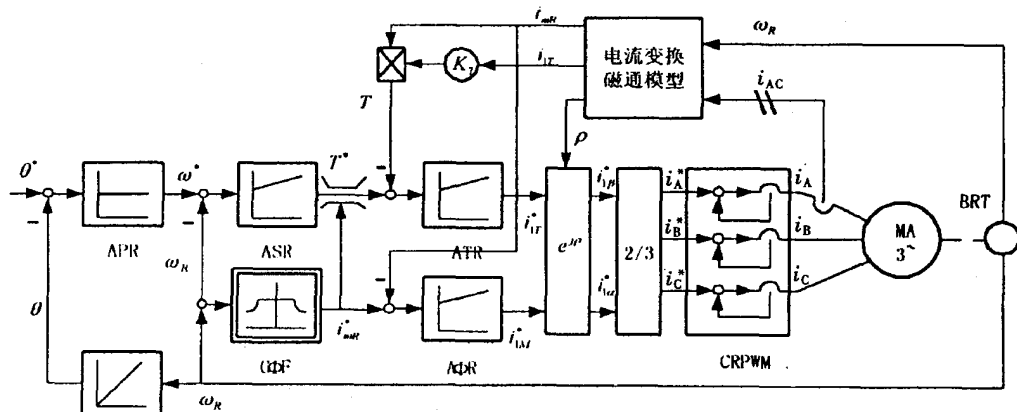


图 2 矢量控制系统结构图

Fig.2 Block diagram of vector control system



ASR——速度调节器; ATR——转矩调节器;

CΦF——磁通函数发生器; AΦR——磁通调节器; BRT——速度传感器

图 3 异步电机矢量变换调速系统

Fig.3 Vector control drive system of induction motor

2.1 电机模型^[4]

在静止 α 、 β 坐标系统中异步电机的状态方

程为:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Psi_{\alpha\gamma} \\ \Psi_{\beta\gamma} \\ i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_r}{L_r} & -\omega_r & \frac{R_r L_m}{L_r} & 0 \\ +\omega_r & -\frac{R_r}{L_r} & 0 & \frac{R_r L_m}{L_r} \\ -\frac{L_m R_r}{h L_r} & \frac{L_m \omega_r}{h} & -\frac{R_r L_r^2 + R_r L_m^2}{h L_r} & 0 \\ +\frac{L_m \omega_r}{h} & -\frac{L_m R_r}{h L_r} & 0 & -\frac{R_r L_r^2 + R_r L_m^2}{h L_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Psi_{\alpha\gamma} \\ \Psi_{\beta\gamma} \\ i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{L_r}{h} & 0 \\ 0 & \frac{L_r}{h} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{\alpha} \\ u_{\beta} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中: R_s ——定子转组电阻;

P ——微分算子;

R_r ——转子转组电阻;

$h = L_s \cdot L_r - L_m \cdot L_m$

L_s —— α 轴上定、转子等效绕组自感;

ω_r ——转子角速度;

L_r —— β 轴上定、转子等效绕组自感;

L_m —— α, β 坐标系中定子与转子间同轴等效绕组间的互感。

电机的电磁转矩方程为:

$$T_e = Np \frac{L_m}{L_r} (\Psi_{\alpha} i_{\beta} - \Psi_{\beta} i_{\alpha}) \quad (2)$$

机械转速方程为:

$$\frac{d\omega_r}{dt} = (T_e - T_L - D\omega_r)/J \quad (3)$$

图4示出了电机的仿真模型,图中 U_a, U_b, U_c 代表三相电源, T_L 代表负载, i_a, i_b, i_c 代表三相定子电流, ω_r 代表转子角速度。在电机模型中,三相压经坐标变换,转换成 α, β 坐标下的两相电压 $U_{\alpha 1}, U_{\beta 1}$, 与检测出来的角速度 ω_r 一起构成一个矢量,作为式(1)的已知量,通过 S-FUNCTION 计算出定子电流、转子磁链。根据式(2)求出电磁转矩 T_e ,再根据式(3)算出转子角速度 ω_r 。

2.2 转子磁链观测模型

转子磁链观测模型如图5示。

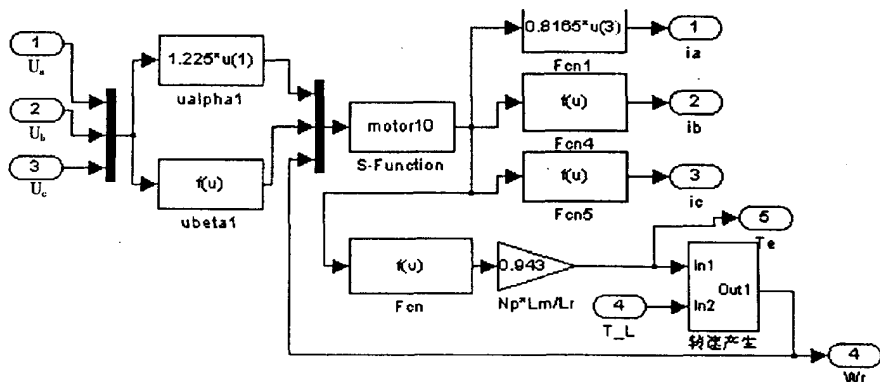


图4 电机的仿真模型

Fig.4 Simulation model of motor

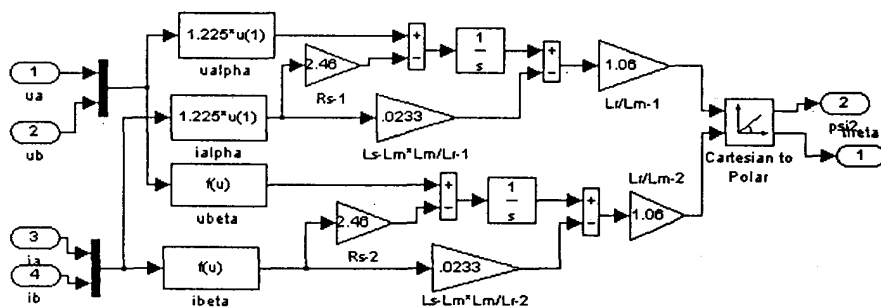


图5 转子磁链观测模型

Fig.5 Observer model of rotor flux

3 仿真结果

选用的电机参数如下:定子电阻 $R_s = 2.46 \Omega$;转子电阻 $R_r = 3.04 \Omega$;定子电感 $L_s = 0.45694 \text{ H}$;转子电感 $L_r = 0.45694 \text{ H}$;转动惯量 $J = 0.002276 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$;电机极对数 $n_p = 1$;负载转矩为 $T_L = 5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

选择的转速指定值为 2880 r/min , 获得了转

速、定转子电流,转子磁链、电磁转矩等曲线,限于篇幅,这里仅提供转速,定子电流,电磁转矩的仿真曲线,如图6。

4 结束语

本文系统而简略地介绍了异步电机矢量变换调速系统的建模与仿真,简要地陈述了 MATLAB/SIMULINK 是一种优秀的系统仿真工具软件,最后

通过给出的仿真结果说明了异步电机矢量变换系

统的优良的静动态性能。

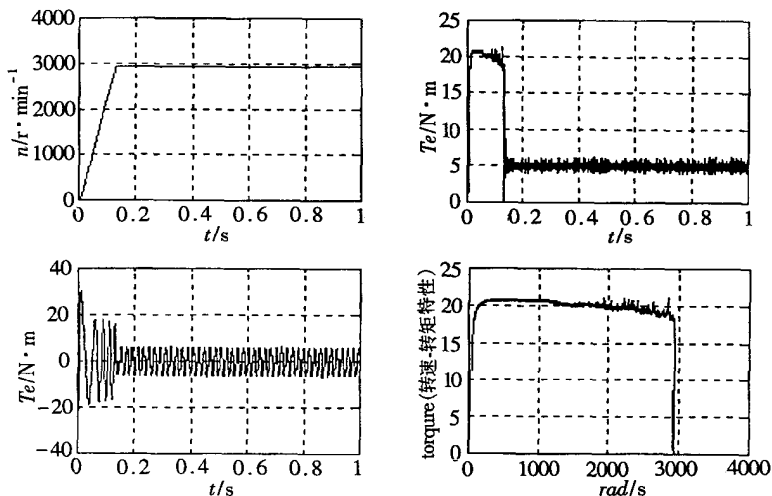


图 6 转速,定子电流,电磁转矩的仿真曲线

Fig. 6 simulation waveform of speed , stator current, torque

参考文献:

- [1] 张志涌.精通 MATLAB[M].北京:北京航空航天大学出版社,2000.
- [2] 陈伯时.电力拖动自动控制系统[M].北京:机械工业出版社,1997.
- [3] 王成元.矢量控制交流伺服驱动电动机[M].北京:机械工业出版社,1995.
- [4] 陈坚.交流电机数学模型及调速系统[M].北京:国防工业出版社,1989.

Establishing Model And Simulating Of Induction-motor Adjustable-system

LI Jia-rong, DENG Zhi-quan

(Department of Automatic control of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Jiangsu Nanjing 210016, PRC)

Abstract: This paper introduces the vector control theory of asynchronous motor, and from maths model of induction motor to establish model and simulate for induction motor applied MATLAB/SIMULINK software, thereinto emphatically intruduce the model of motor, transducer and flux observer, at last the simulation results are present.

Keywords: Asynchronous motor; Adjustable system; Simulation; Model