

文章编号:1004-1478(2011)01-0083-04

Matlab/Simulink 环境下考虑铁损因素的 异步电机建模与仿真

尹俊, 魏云冰, 张国亮, 李涛

(郑州轻工业学院 电气自动化研究所, 河南 郑州 450002)

摘要:针对异步电机实际运行时定子铁损会引起转子电流和转子磁通变化从而使原有电机模型不够精确的问题,推导出在 α, β 两相静止坐标系下考虑定子铁损影响因素的鼠笼式三相异步电机的动态数学模型,将Matlab/Simulink中的基本模块和S-function相结合,构建了考虑铁损影响的鼠笼式三相异步电动机的仿真模型.仿真结果表明,考虑铁损影响的异步电机模型能更加准确地反映电机实际运行特性.

关键词:Matlab; Simulink; 三相异步电动机; 铁损; 定子故障; 故障分量

中图分类号:TM711

文献标志码:A

Simulation and research of asynchronous motor considering iron loss in Matlab/Simulink

YIN Jun, WEI Yun-bing, ZHANG Guo-liang, LI Tao

(Electr. Auto. Research Inst., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China)

Abstract:The induction motor model not considering iron loss is not accurate, because the iron loss will affect the rotor current and rotor flux when the motor is running. The dynamic mathematical model of asynchronous motor considering iron loss in the two-phase(α, β) stationary reference frame was deduced. Using the basic module and S-function of Matlab/Simulink, the simulation model of three phase asynchronous motor with iron loss was built. The simulations demonstrate that the model with iron more accurately reflect the situation of running motors.

Key words: Matlab; Simulink; three-phase asynchronous motor; iron loss; stator fault; fault component

0 引言

异步感应电机结构简单、成本低廉、运行可靠且效率较高,被广泛应用于工业生产的各个领域.但异步电机是多变量、强耦合的非线性系统,与直流电机相比,对其进行控制要困难得多^[1].以往在

研究异步电机的控制时一般忽略铁损带来的影响.近年来,通过大量研究工作发现,异步电机铁损主要发生在定子铁心,在实际运行时铁损会使转子电流和转子磁通相互干扰,这将影响输出转矩,最终影响电机转矩控制的精度.所以,提供一个更加接近电机行为特性的高精确度的仿真模型,具有重要

收稿日期:2010-11-15

作者简介:尹俊(1985—),男,河南省安阳市人,郑州轻工业学院硕士研究生,主要研究方向为异步电机建模与故障诊断.

通信作者:魏云冰(1970—),男,江苏省徐州市人,郑州轻工业学院教授,博士,主要研究方向为电机故障检测.

意义. 目前, 通常使用 Simulink 中的常用模块对考虑铁损的异步电机建模, 但对定子电流、磁链求解的模型十分复杂, 且当参数设置错误时, 纠错较为困难. 文献[2]在两相旋转 d, q 坐标系下建立了考虑铁损的异步电机模型, 但因为实际运行时铁损主要发生在定子铁心并会使转子电流和转子磁通相互干扰从而造成异步电机存在不对称因素. 为了消除不对称因素, 本文拟采用 α, β 系统, 推导出两相静止 α, β 坐标系下不考虑铁损和考虑铁损的三相异步电机动态数学模型^[3], 并用 Simulink 中的模块 S-function 结合状态方程进行建模, 通过仿真实例验证考虑铁损的异步电机模型的可行性, 以期异步电机的控制问题提供一个更加接近电机运行特性的高效仿真模型.

1 α, β 坐标系下的数学模型

1.1 不考虑铁损时 α, β 坐标系下的数学模型

由于鼠笼型异步电动机的转子段连接在一起, 故 $u_{r\alpha}, u_{r\beta} = 0$. 电压方程为

$$\begin{bmatrix} U_{\beta\beta} \\ U_{\alpha\alpha} \\ U_{r\beta} \\ U_{r\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & R_s + L_p & 0 & L_m p \\ R_s + L_p & 0 & L_m p & 0 \\ -\omega_r L_m & L_m p & -\omega_r L_r & R_r + L_r p \\ L_m p & \omega_r L_m & R_r + L_r p & \omega_r L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha\alpha} \\ i_{\beta\beta} \\ i_{r\alpha} \\ i_{r\beta} \end{bmatrix} \quad (1)$$

整理得

$$R = \begin{bmatrix} 0 & R_s & 0 & 0 \\ R_s & 0 & 0 & 0 \\ -\omega_r L_m & 0 & -\omega_r L_r & R_r \\ 0 & \omega_r L_m & R_r & \omega_r L_r \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$L = \begin{bmatrix} 0 & L_s & 0 & L_m \\ L_s & 0 & L_m & 0 \\ 0 & L_m & 0 & L_r \\ L_m & 0 & L_r & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

1.2 考虑铁损时 α, β 坐标系下的数学模型

考虑铁损时异步电动机的电压方程为

$$\begin{bmatrix} U_{\beta\beta} \\ U_{\alpha\alpha} \\ U_{r\beta} \\ U_{r\alpha} \\ U_{f\alpha\alpha} \\ U_{f\beta\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & R_s + L_p & 0 & L_m p & 0 & L_m p \\ R_s + L_p & 0 & L_m p & 0 & L_m p & 0 \\ -\omega_r L_m & L_m p & -\omega_r L_r & R_r + L_r p & -\omega_r L_m & L_m p \\ L_m p & \omega_r L_m & R_r + L_r p & \omega_r L_r & L_m p & \omega_r L_m \\ 0 & L_m p & 0 & L_m p & 0 & R_{fe} + L_m p \\ L_m p & 0 & L_m p & 0 & R_{fe} + L_m p & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha\alpha} \\ i_{\beta\beta} \\ i_{r\alpha} \\ i_{r\beta} \\ i_{f\alpha\alpha} \\ i_{f\beta\beta} \end{bmatrix}$$

整理得

$$R = \begin{bmatrix} 0 & R_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ R_s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\omega_r L_m & 0 & -\omega_r L_r & R_r & -\omega_r L_m & 0 \\ 0 & \omega_r L_m & R_r & \omega_r L_r & 0 & \omega_r L_m \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_{fe} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_{fe} & 0 \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} 0 & L_s & 0 & L_m & 0 & L_m \\ L_s & 0 & L_m & 0 & L_m & 0 \\ 0 & L_m & 0 & L_r & 0 & L_m \\ L_m & 0 & L_r & 0 & L_m & 0 \\ 0 & L_m & 0 & L_m & 0 & L_m \\ L_m & 0 & L_m & 0 & L_m & 0 \end{bmatrix}$$

其中, R_s, R_r, R_{fe} 分别为定转子电阻; L_s, L_r 分别为定转子自感; L_m 为定转子之间的互感; ω_r 为转子转速; $i_{\alpha\alpha}, i_{\beta\beta}$ 为定子 α, β 轴上的电流分量; $i_{r\alpha}, i_{r\beta}$ 为转子在 α, β 轴上的电流分量; $i_{f\alpha\alpha}, i_{f\beta\beta}$ 为铁损回路在 α, β 轴上的电流分量.

转矩方程为

$$T_e = n_p L_m (i_{\beta\beta} i_{r\alpha} + i_{r\beta} i_{r\alpha} + i_{f\beta\beta} i_{r\alpha} - i_{r\beta} i_{\alpha\alpha} - i_{r\beta} i_{r\alpha} - i_{r\beta} i_{f\alpha\alpha})$$

运动方程为

$$T_L - T_e = \frac{J}{n_p} \cdot \frac{d\omega_r}{dt}$$

考虑铁损时的异步电机在 α, β 静止坐标系下的等效电路如图 1 所示.

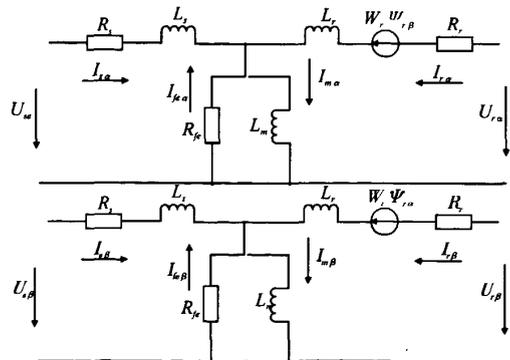


图 1 考虑铁损的异步电机在 α, β 静止坐标系下的等效电路

2 异步电机的建模

Matlab 7.0 自带了电气系统仿真模块库 SimPowerSystems, 为电机转矩控制的仿真提供了便

利. 但其中三相异步电机的模型是不考虑铁损的理想模型, 而当需要考虑铁损影响时, 该模型就不能真实地反应电机运行的实际特性了. 针对这个问题, 笔者利用 Simulink 中的仿真模块自行建模^[4].

2.1 不考虑铁损时 α, β 坐标系模型

根据公式①②搭建不考虑铁损的异步电机的仿真模型, 如图 2 所示.

文献[1]使用了 Simulink 中的常用模块进行建模, 此模型中对定子电流、磁链的求解模型十分复杂, 且如果模型中某一模块参数设置错误, 必须对模型中的每个模块进行纠错, 非常繁琐. 本文采用 Simulink 中的 S 函数模块结合数学模型进行建模, 只需在 S 函数的 m 源文件中正确输入电阻 R 矩阵和电感 L 矩阵, 并编辑状态方程, 就能求解出电流 I 矩阵, 然后结合转矩方程和运动方程即可求得转矩与转速. 当仿真出现错误时, 只需检查 S 函数的 m 源文件, 对其中的错误进行改写, 再重新保存运行, 就能方便地进行仿真纠错. 模型需要改进时, 也可以直接修改 S 函数的 m 源文件, 操作直观、简洁, 调试方便^[5].

2.2 考虑铁损时 α, β 坐标系模型

考虑铁损的异步电机的仿真模型如图 3 所示. 在不考虑铁损的 S 函数程序的基础上改写电阻 R 矩阵和电感 L 矩阵, 并编辑状态方程即可得到考虑铁损的 S 函数程序.

```

S-function 函数程序
% 初始化子程序
function[sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 6;
sizes.NumDiscStates = 0;
sizes.NumOutputs = 6;
sizes.NumInputs = 3;
sizes.DirFeedthrough = 1;

```

```

sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [0;0;0;0;0;0];
str = [ ];
ts = [0 0];
% 状态方程子程序
function sys = mdlDerivatives(t,x,u,Rs,Rr,Ls,Lr,Lm,
Rfe);
L = [Ls 0 Lm 0 Lm 0; 0 Ls 0 Lm 0 Lm; Lm 0 Lr 0 Lm 0;
Lm 0 Lr 0 Lm; Lm 0 Lm 0 Lm 0; 0 Lm 0 Lm 0 Lm]; U = [u
(1);u(2);0;0;0;0];
R = [Rs 0 0 0 0 0; 0 Rs 0 0 0 0; 0 u(3) * Lm Rr u(3) *
Lr 0 u(3) * Lm; -u(3) * Lm 0 -u(3) * Lr Rr -u(3) * Lm
0; 0 0 0 0 Rfe 0; 0 0 0 0 0 Rfe];
x = [x(1);x(2);x(3);x(4);x(5);x(6)];
dx = inv(L) * (U - R * x);
sys = dx;
% 输出方程子程序
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
sys = [x];

```

3 仿真结果分析

3.1 仿真过程

电机参数为: 额定电压 380 V; 频率 50 Hz; 定子转子铁损电阻 $R_s = 1.2 \Omega$; $R_r = 1.03 \Omega$; $R_f = 10 \Omega$; 定子转子的自感 $L_s = 0.801 \text{ H}$, $L_r = 0.837 \text{ H}$; 定转子之间的互感 $L_m = 0.072 \text{ H}$; 电机极对数 $N_p = 2$; 转动惯量 $J = 0.02 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

将上述电机参数编写成 para.m 文件, 在 Matlab 中运行该文件, 使 Workspace 中存在上述各电机参数^[6]. 然后设置仿真参数: 仿真时间 1 s, 最大、最小仿真步长为 auto, 相对误差为 1×10^{-5} , 绝对误差为 1×10^{-6} , 求解器为 ode15. 仿真结果如图 4—图 6 所示.

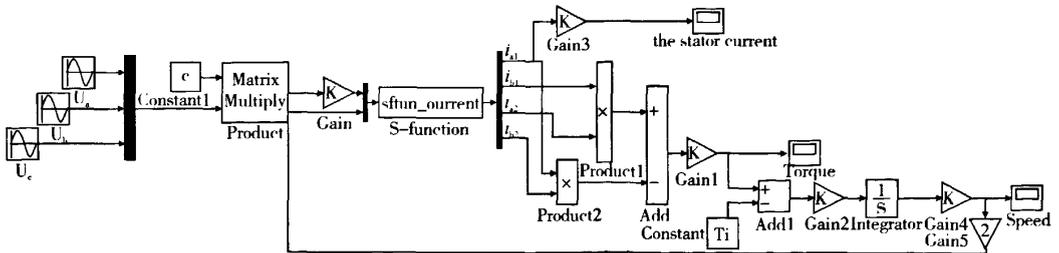


图 2 不考虑铁损的异步电机仿真模型

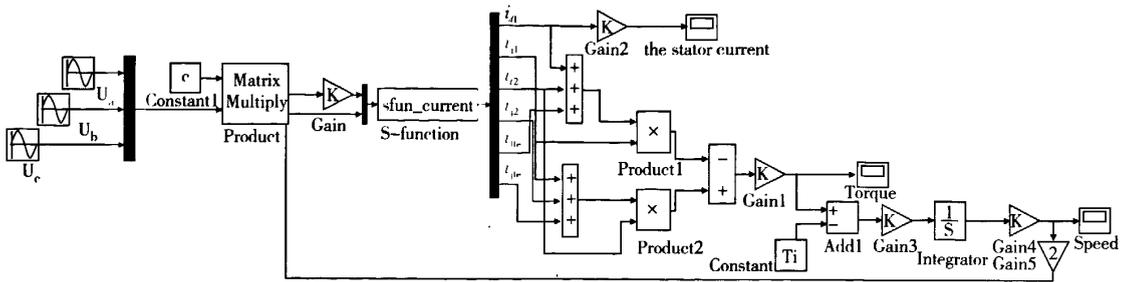


图3 考虑铁损的异步电机仿真模型

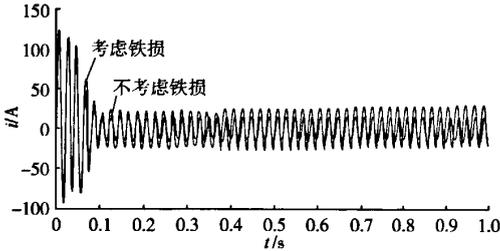


图4 两模型电流 $i_{a\alpha}$ 对比

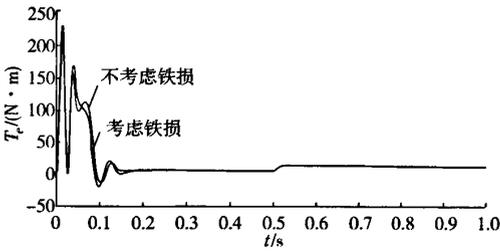


图5 两模型电磁转矩对比

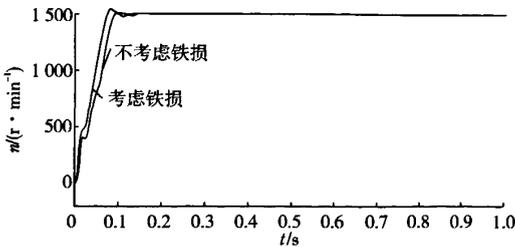


图6 两模型转速对比

3.2 仿真结果分析

1) 电机启动时电流震荡, 0.1 s 以后两个模型的电流同时趋于稳定正弦波。电机动行 0.5 s 时突加负载, 电流幅值相应增大, 并始终为稳定正弦波。考虑铁损的电流与不考虑铁损的电流频率相位相同, 幅值略小。

2) 电机启动时转矩也有震荡, 0.5 s 时突加负载, 两模型的转矩经过波动相应增大并趋于稳定, 在启动过程中两模型的转矩波动略有不同, 考虑铁

损的转矩滞后于不考虑铁损的转矩, 最终稳定时两转矩值相等。

3) 电机启动转速快速提高, 考虑铁损的转速比不考虑铁损的转速增加得快。0.15 s 两模型转速达到稳定, 考虑铁损的转速比不考虑铁损的转速稳定值大 2 转。0.5 s 时突加负载, 两模型的转速波动, 转速降低。稳定时考虑铁损的转速比不考虑铁损的转速稳定值大 5 转。

4 结论

本文使用 Matlab/Simulink 中的基本模块和 S-function 相结合的方法搭建了两相静止 α, β 坐标系下不考虑铁损和考虑铁损的鼠笼式三相异步电动机仿真模型。对 2 个模型进行仿真, 给出了突增负载对 2 个模型电流、转矩、转速的影响, 证明了考虑铁损的异步电机模型能更加准确地反映电机实际运行特性, 为异步电机的控制研究提供了一个更加逼近电机准确运行特性的仿真模型。

参考文献:

- [1] 郑安平, 孔汉, 王磊. 永磁同步电动机矢量控制系统建模与仿真[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2008, 23(1): 83.
- [2] 潘晓晨, 郝世勇. Matlab 电机仿真精华 50 例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [3] 许荷袖, 辛小南, 姜凤茹. 考虑铁损时异步电机的仿真[J]. 微计算机信息 2009, 25(1): 242.
- [4] 王健, 陈强, 郭春花. 基于空间矢量的异步电机建模研究[J]. 江西理工大学学报, 2009, 30(4): 22.
- [5] 崔东子. 某异步电机控制系统的智能化配置[J]. 控制与应用技术, 2008, 35(4): 71.
- [6] 张立伟, 温旭辉, 陈桂兰. Matlab/Simulink 环境下异步电机建模及其工程应用[J]. 电气应用, 2006, 25(4): 119.