

文章编号:1671-6833(2004)04-0102-04

# 异步电动机S 函数仿真模型研究

赵 亮,辛小南,杨育霞

( 郑州大学电气工程学院,河南 郑州 450002)

**摘 要:** 根据异步电动机的转子同步旋转  $d_c-q_c-0$  坐标系下的数学模型,推导出基于 MATLAB SIMULINK 工具箱中的 S 函数的异步电动机仿真模型,实现了对异步电动机的起动过程的仿真.对于异步电动机基于  $d_c-q_c-0$  坐标系下的动态模型,以定、转子电流做为状态变量,用 MATLAB 中的 S 函数求解微分方程.对异步电动机的仿真结果验证了模型的正确性.该方法构造方便,实时性好,可移植性强,且具有很强的扩展性.

**关键词:** S 函数; 转子同步旋转; 仿真

**中图分类号:** TM 343

**文献标识码:** A

## 0 引言

MATLAB 是目前国际上流行的一种演算纸式的编程语言,它具有强大的矩阵分析和运行功能,可以实现工程计算,算法研究,建模和仿真,数据分析,应用程序开发等等功能.SIMULINK 工具箱是 MATLAB 为系统仿真专门开发的交互式软件包,它具有模块化、可重载、可封装及可视化等特点.S 函数是 SIMULINK 提供的高级仿真功能,可用于复杂数学关系的仿真实现常微分状态方程组,非线性微分方程,高阶代数方程组等等.

异步电机的起动特性是异步电机的重要特性,对于异步电机起动过程进行仿真研究具有重要意义<sup>[1]</sup>.异步电机本身是一个非线性、多变量、强耦合的系统,传统的编程语言如 Fortran、C 语言等对其进行仿真时编出的程序冗长,调试时间长.而运用 MATLAB/SIMULINK 工具箱中的 S 函数<sup>[2]</sup>对其进行仿真时,方法简便,快捷,可操作性强.本文根据异步电动机的转子同步旋转坐标系建立了异步电动机的动态仿真模型,并利用 S 函数对其起动过程进行仿真,得到了异步电动机起动过程动态特性.

## 1 异步电动机的数学模型<sup>[3,4]</sup>

在分析异步电动机的数学模型时,作如下假设:

(1) 忽略谐波磁势.设三相绕组对称(空间上相差电角度),所产生的磁动势沿气隙圆周按正弦规律分布.

(2) 忽略磁路饱和,各绕组的自感和互感均为常数.

(3) 忽略铁芯损耗.

(4) 不考虑频率和温度的变化对绕组电阻的影响.

(5) 电动机为理想空载.

规定各绕组电压、电流、磁链的正方向符合电动机惯例和右手螺旋定则.

基于转子同步旋转坐标系下异步电动机的数学模型为

$$\begin{bmatrix} u_{dc1} \\ u_{qc1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 + p l_1 & -\omega_l l_1 & p l_m & -\omega_l l_m \\ \omega_l l_1 & r_1 + p l_1 & \omega_l l_m & p l_m \\ p l_m & 0 & r_2 + p l_2 & 0 \\ 0 & p l_m & 0 & r_2 + p l_2 \omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dc1} \\ i_{qc1} \\ i_{dc2} \\ i_{qc2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

由上式可得异步电动机基于转子同步旋转坐标系下的状态方程

收稿日期:2004-08-10;修订日期:2004-09-20

作者简介:赵 亮(1978-),男,河南省开封市人,郑州大学硕士研究生.

$$p \begin{bmatrix} i_{dc1} \\ i_{qc1} \\ i_{dc2} \\ i_{qc2} \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} -l_2 r_1 & \omega l_1 l_2 & l_m r_2 & \omega l_m l_2 \\ -\omega l_1 l_2 & -l_2 r_1 & -\omega l_m l_2 & l_m r_2 \\ l_m r_1 & -\omega l_m l_1 & -l_1 r_2 & -\omega l_m^2 \\ \omega l_m l_1 & l_m r_1 & \omega l_m^2 & -l_1 r_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dc1} \\ i_{qc1} \\ i_{dc2} \\ i_{qc2} \end{bmatrix} + A \cdot \begin{bmatrix} l_2 \bullet u_{dc1} \\ l_2 \bullet u_{qc1} \\ -l_m \bullet u_{dc1} \\ -l_m \bullet u_{qc1} \end{bmatrix} \quad (2)$$
$$A = 1 / (l_1 l_2 - l_m^2);$$

式中： $r_1$  为定子电阻； $r_2$  为转子电阻； $l_1$  为定子自感； $l_2$  为转子自感； $l_m$  为定、转子互感； $N_p$  为极对数； $J$  为机组转动惯量； $i_{dc1}$ 、 $i_{qc1}$  为定子电流的d、q分量； $i_{dc2}$ 、 $i_{qc2}$  为转子电流的d、q分量； $u_{dc1}$ 、 $u_{qc1}$  为定子电压的d、q分量。

运动方程式

$$T_e - T_l = \frac{J d \omega}{N_p dt} \quad (3)$$
$$\frac{d \theta}{dt} = \omega,$$

电磁转矩方程式

$$T_e = N_p l_m (i_{qc1} i_{qc2} - i_{dc1} i_{dc2}) \quad (4)$$

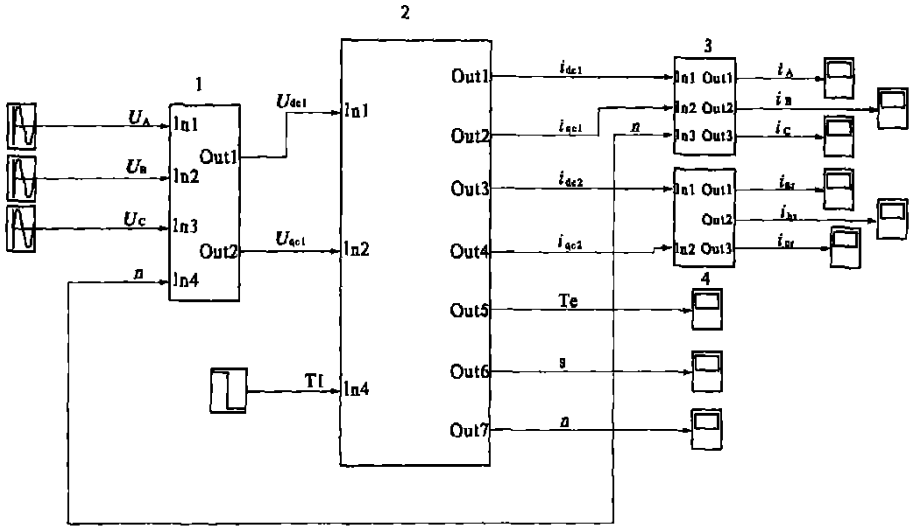
式中： $T_e$  为电磁转动惯量； $T_l$  为负载转矩； $\omega$  为转子旋转角速度； $\theta$  为转子旋转电角度。

式(1)、式(2)与式(3)一同构成三相异步电动机的多变量数学模型。

2 异步电动机仿真模型

为了使仿真模型与实际电机一致，采用三相电压输入，而输出为三相定子电流与三相转子电流。整个异步电动机使用仿真系统由4个封装模块组成：三相电压转换到二相模块(图1中的模块1)，异步电动机S函数仿真模块(图1中的模块2)，二相定子电流转换到三相模块(图1中的模块3)和二相转子电流转换到三相模块(图1中的模块4)。其中三相电压转换到二相模块、二相定子电流转换到三相模块和二相转子电流转换到三相模块分别由一些加法器和乘法器组成，而对于异步电动机的基于转子同步旋转坐标系下的状态方程组(1)则利用MATLAB/SIMULINK软件包中S函数仿真模块对其进行仿真并进行封装(程序略)。S函数输入量为二相对称电压和负载转矩，输出量为定、转子绕组电流(二相)。

为了避免在每次进行仿真时都要输入电动机参数，S函数模块中包含一输入参数子模块，在输入参数模块的输入对话框输入参数，输入完后再对S函数进行封装。对不同的电机进行仿真时，只需改变输入参数模块中的参数值即可。



1. 三相/二相电压变换模块;2. 异步电动机S函数仿真模块;  
3. 二相/三相定子电流变换模块;4. 二相/三相转子电流变换模块

图1 电机仿真模型

Fig. 1 Motor simulation model

图 1 中输入为 220 V 三相对称电压,经三相/二相电压变化模块输出定子侧二相电压  $u_{dc1}$ 、 $u_{qc1}$  作为二相电机的输入电压,S 函数计算后输出二相定子电流  $i_{dc1}$ 、 $i_{qc1}$  和转子电流  $i_{dc2}$ 、 $i_{qc2}$  (经定子电流二相/三相变换模块和输出转子电流二相/三相变换模块,可直接输出三相定子和转子电流),再由式 (3)、(4) 可输出电机转矩和转速.

3 仿真实例

为了验证仿真模型的有效性,现对一台额定功率为 1.7 kW、极对数为 2、额定转速为 1 440 r/min 的异步电动机进行仿真. 异步电动机的参数如下:  $r_1=4.25\ \Omega$ ;  $r_2=3.24\ \Omega$ ;  $l_1=0.666\ H$ ;  $l_2=0.671\ H$ ;  $l_m=0.651\ H$ ;  $N_p=2$ ;  $J=0.02\ kg\cdot m^2$ .

仿真结果如图 2 所示.

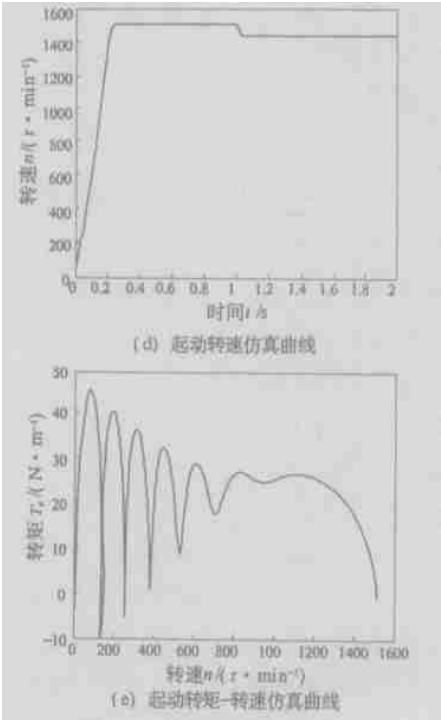
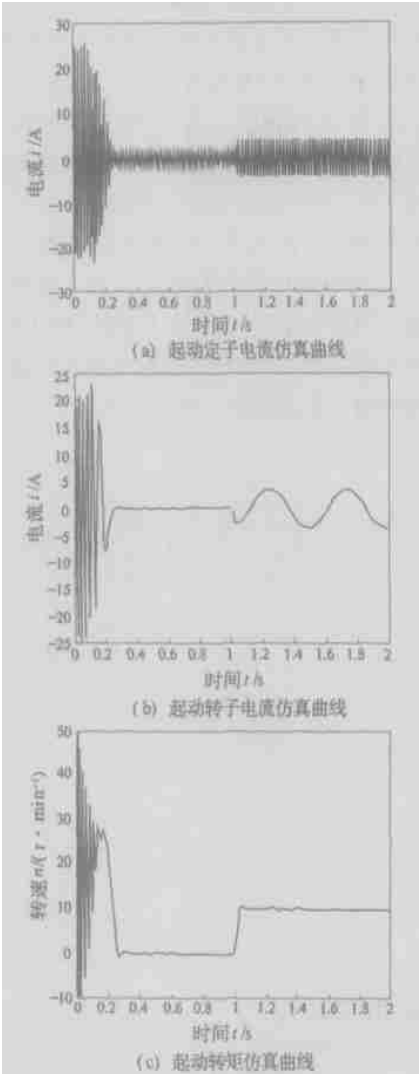


图 2 仿真结果  
Fig. 2 Simulation result

图 2(a)、(b) 是定、转子电流,空载起动时定子电流经过短暂振荡过程达到稳态,由于忽略电机的空载转矩(理想空载),空载时转子的电流为 0,而定子电流仅有很小的励磁电流. 1 s 时施加 10 N·m 的负载,定子电流迅即增加到达新的稳态,转子电流经过短时振荡达到稳态,以低频正弦波交变. 图 2(c)、(d) 是转矩、转速特性,空载起动时,由于电机为理想空载,起动过程结束时转子的转速达到同步转速,电磁转矩为 0. 加载后,速度略下降,转矩经过短暂振荡后,稳定在 10 N·m(与负载转矩相平衡). 仿真的结果与理论分析相吻合.

4 结论

仿真结果验证了该数学模型切实可行. 与用一般模块直接构造动态结构图相比,该方法具有构图简洁、仿真时间短,通用性强等优点. 对数学模型稍加改动,就可得电机在其它二相坐标系的仿真模型,例如  $\alpha-\beta=0$ 、 $M-T=0$ 、 $d-q=0$  等,这也说明模型可移植性.

参考文献:

[1] 王明东,苏文霞,陈勇孝.PLC 在三相异步电动机延边三角形起动中的应用[J]. 郑州大学学报(工学版),2002,23(2):103~105.

[ 2 ] 薛定宇,陈阳泉. 基于 MATLAB/Simlink 的系统仿真技术与应用[ M] . 第一版. 北京:清华大学出版社, 2002.

[ 4 ] 贺益康. 交流电机的计算机仿真[ M] . 第一版. 北京:科学出版社,1990.

[ 3 ] 陈坚. 交流电机数学模型及调速系统[ M] . 第二版.

Study of S Function Simulated Model of Induction Motor

ZHAO Liang , XIN Xiaonan , YANG Yuxia

( College of Electric Engineering ,Zhengzhou University ,Zhengzhou 450002,China)

**Abstract :** This paper introduces an induction motor dynamic model based on rotor synchronization rotated reference frame and deduces induction motor simulated model by using the tools of S function .Starting process simulation of induction motor is realized in this paper .The dynamic model of induction motor based on  $d_c-q_c$  is described by a set of differential equations whose state variable is stator and rotator current .Using S function of simlink tools , model of induction motor is expediently simulated .This method is more simple ,expedient ,real time and expansibility is of strong .

**Key words :** S function ;otor synchronization rotation ;simulation