

交流异步电机的建模与仿真

程伟,马树元,吴平东,陈之龙

(北京理工大学机电一体化中心,北京 100081)

摘要:该文对交流异步电机变频调速的建模与仿真进行了研究。在几种常见的电机控制方式中,最终选定了转差频率控制方式的变频调速技术。文中给出了电机数学模型的详细构建过程,并以此为基础结合采用 MATLAB SIMULINK 软件包得出了电机的动态仿真模型。试验的结果显示,该模型更为简单、实用并且具有很好的可扩展性,从而方便的用于其它的控制系统中。该模型曾经在恒压供油系统仿真中使用,并取得了满意的试验结果。

关键词:交流异步电机;转差频率;建模;仿真

中图分类号:TP391.9 **文献标识码:**A

Modeling and Simulation of Induction Motor

CHENG Wei, MA Shu-yuan, WU Ping-dong, CHEN Zhi-long

(Mechatronics of Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

ABSTRACT: This paper is devoted to modeling and simulation of induction motor. Slip frequency as a technique of frequency conversion is finally adopted among several control methods of motor. This article also shows the process of mathematical modeling for motor in more detail, based on which MATLAB SIMULINK is used to get the final dynamic model. This simple but practical model presents its ideal expansibility in the results of experiment. Satisfactory results are also acquired when this model is installed in Constant Pressure Supply Oil System.

KEYWORDS: Induction Motor; Slip Frequency; Modeling; Simulation

1 概述

交流电机变频调速在近 20 年来得到越来越广泛的应用,尤其是电力电子技术、计算机技术以及自动控制技术的迅猛发展使得交流电机变频调速开始逐步替代直流调速。与此同时,变频调速的控制技术也在不断进步,大体经过了采用电压频率协调控制技术(即 V/F 比为常数)、转差频率控制技术、矢量控制以及直接转矩控制的发展过程。转差频率控制技术的采用,使得变频调速系统在一定程度上改善了系统的静态和动态性能,同时又比矢量控制方法简便,在如风机泵类负载对精度要求不是很高的情况下,仍然可以方便地进行转速闭环、电压频率的协调控制,从而取得较好的动态性能。

由于电机通常被用作大型系统(如恒压供水系统)的主要动力源,工程上经常使用仿真来对整个系统的运行情况进行实施前的考核,以确认系统设计方案的可行性,因此电机的数学建模在系统的整体设计及系统仿真中就显得尤为重要。然而交流异步电机是一个高阶、非线性、强耦合的多变量系统,因此它的数学模型要比直流电机复杂得多,但通常

在系统仿真中只需要得到电机运行中频率 f (或电压 U) 与转速 n 的关系,所以为了使整个交流调速系统不至于太复杂,没有必要用其高阶的非线性模型,只用其最简化的线性化模型即可。本文就是在建立异步电机数学模型的基础上,使用 Matlab 提供的 Simulink 工具箱对它的运行进行动态的仿真研究,可将此电机模型用于类似于恒压供水、供油等大型系统而进行整个系统的动态仿真研究。

2 异步电机的数学建模

2.1 电机的机械特性

根据异步电机的机械特性^[1],

$$T_e = 3 n_p \left(\frac{E_1}{s} \right)^2 \frac{s}{R_2^2 + s^2 L_{12}^2} \quad (1)$$

当 s 很小时,可忽略 s^2 项,并取转差角频率 $\omega_s = s \omega_1$ 于是式(1)变为:

$$T_e = 3 n_p \left(\frac{E_1}{s} \right)^2 \frac{\omega_s}{R_2} \quad (2)$$

如果采用 $E_1/\omega_1 = \text{const}$ (即大小保持恒定)保持稳态气隙磁通不变,则电机的转矩仅由转差角频率决定,而电气传动自

收稿日期:2003-10-20

动控制系统服从如下的基本运动方程：

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

于是方程式(2)、(3)就成了建立异步电机数学模型的基础,其中:

T_e :异步电机输出的电磁转矩;

T_L :负载力矩,此处为泵的力矩(大小取 $T_L = kn^2$,即泵的负载与转速的平方成正比);

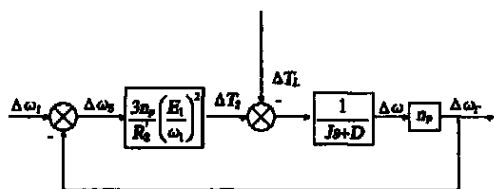


图1 异步电机的线性化模型

n_p :电机的磁极对数;

E_1 :电机定子相电势;

s :为转差;

ω_1 :电机供电角频率(对应频率 f_1 ,

$\omega_1 = 2\pi f_1$);

ω_r :转子的机械角速度;

R_2 :表示电机的转子电阻;

L_{12} :表示电机的转子电感;

J :表示电机转子及负载(泵)的转

动惯量;

D :与转速成正比的阻力矩系数。

2.2 异步电机的动态分析

对系统进行动态分析,需要得到电机动态运行的表达式,而异步电机的动态过程是一组非线性微分方程,必须做出较强的假设并用稳态工作点附近偏微线性化方法才能得到近似的传递函数,这样才可以在整个调速范围内用传递函数来表示输入输出的关系。

下面进行偏微分的分析,由转差频率控制的概念,当系统在某点A上有微小的偏差时,有:

$$T_e = T_{eA} + \Delta T_e \quad (4)$$

$$s = s_A + \Delta s \quad (5)$$

$$T_{eA} + \Delta T_e = 3n_p \left\{ \frac{E_1}{R_2} \right\}_1^2 \frac{s_A + \Delta s}{R_2} \quad (6)$$

$$T_e = 3n_p \left\{ \frac{E_1}{R_2} \right\}_1^2 \frac{s}{R_2} \quad (7)$$

由于 $s = 1 - \omega_r / \omega_1$,得: $s = 1 - \omega_r / \omega_1$

这里, ω_r 表示转子的电气角频率,这样就得到了稳态工作点

附近的偏微量 T_e 和 s 的关系。对于A点附近负载偏微扰动时的运动规律为: $T_e - T_L = D + J \frac{d}{dt}$,结合以上各式可以得到异步电机在忽略电磁惯性下的线性化模型,如图1所示。

利用 $\omega_1 = 2\pi f_1$ 、转子的机械角频率 $\omega_r = \omega_1 / n_p$ 、电机转速 $n = 60f$ (其中 $2\pi f = \omega_1$)以及泵负载与转速的平方成正比($T_L = kn^2$)等关系,可将最终的线性化模型,如图2所示。

3 仿真实验

3.1 Simulink 仿真模型的构造

根据交流电机带负载时的线性化模型,可以很容易的构造 Simulink 中的仿真模型,在电机的输入端使用斜坡信号并限制提供 0 - 50Hz 频率的信号,并可根据实际情况仿真软启动的功能,使用者可以根据自己的需要设定电机的各项参数值。通过 Scope 可以观测到各项输出值,如电机转速(rpm)、电机输出的转矩以及负载的力矩(此处负载为泵)等等。

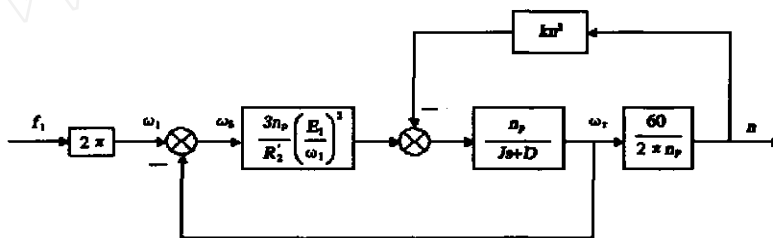


图2 交流电机带负载时的线性化模型

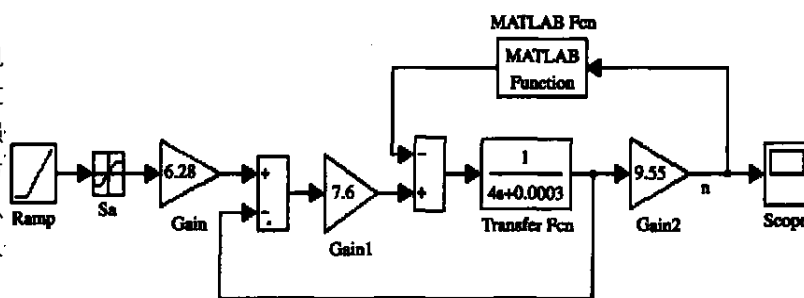


图3 交流电机仿真结构图

3.2 仿真结果

系统仿真所用到的参数为:额定电压 $U = 380V$ (额定频率 $f_1 = 50Hz$) 磁极对数 $n_p = 1$,电机额定转速 $n = 2950rpm$, $k = 4.77 \times 10^{-6}$,转子电阻 $R_2 = 0.578$, $J = 4kg \cdot m^2$, $D = 0.0003$ 。

在仿真实验中,电压的频率由 0Hz 增加到 50Hz,仿真参数选取算法为 ode45,选取可变步长仿真,电机带负载启动(负载为二次方律负载)。图4为仿真曲线图。

(下转第 91 页)

- [7] 张清萍,赵国群,王鹏程. 金属成形有限元模拟四边形网格自动划分方法[J]. 锻压技术,2003,27(2):32-35.
- [8] D N Dyck, et al. Determining an Approximate Finite Element Mesh Density Using NeuralNetwork Techniques[J]. IEEE Transactions on Magnetics,1992,28(2):5.
- [9] D A Low ther, et al. A Density Driven Mesh Generator Guided by a NeuralNetwork[J]. IEEE Transactions on Magnetics,1993,29(2).
- [10] 虞春,周雄辉,张永清. 基于特征的有限元网格划分研究[J]. 机械科学与技术,1999,18(2):210-212.
- [11] 黄志超,包忠谏,周天瑞,陈泽中. 有限元网格划分技术研究[J]. 南昌大学学报,2001,23(4):25-31.
- [12] 周明智,洪深泽,许莹. 刚塑性有限数值模拟中粘性系数的获取方法[J]. 金属成形工艺,2002,20(6):25-26.

- [13] 李帆,翟福宝,张质良. 使用神经网络对强力旋压有限元模拟进行参数预选[J]. 锻压技术,2002,27(1):32-35.
- [14] 李少平,郑静风,何丹农. 利用神经网络及数值模拟获取变压边力控制曲线[J]. 金属成形工艺,2002,20(3):43-45.



[作者简介]

朱伟(1976-),男(汉族),江西萍乡人,博士研究生,研究方向为材料成形过程的数值模拟仿真与工艺优化;

张质良(1935-),男(汉),上海人,上海交通大学国家模具CAD工程研究中心博士生导师,教授,研究方向为材料加工过程的模拟和材料成形理论与新技术。

(上接第70页)

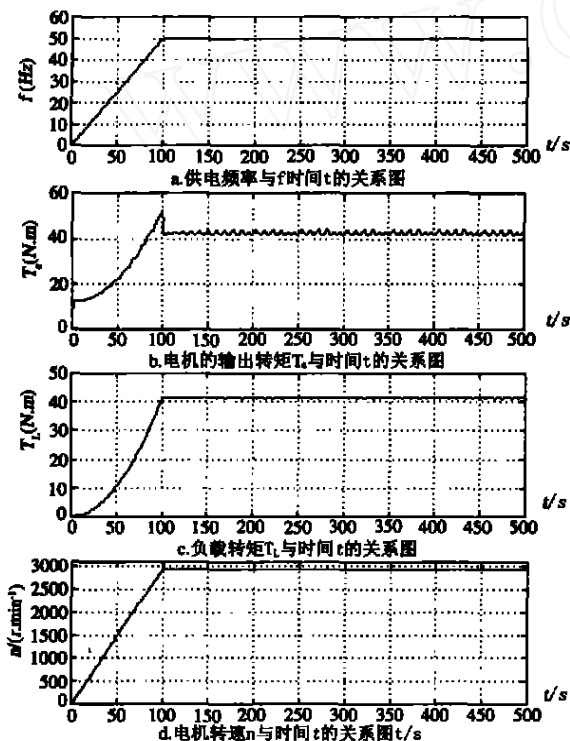


图4 仿真结果

由仿真图4b、c的结果可以看出,电机的转矩随负载的变化而变化;c图的仿真结果显示,当供电频率达到50Hz(即额定频率时),电机带负载的转速达到2946rpm,接近于额定的转速2950rpm,可见系统具有良好的动特性。

4 结束语

本文依据转差频率控制方式对电机进行数学建模并在Simulink下进行了仿真,输入不同的电源频率 f 就能实现对电机转速的改变,它具有以下特点:

- 1) 建立在传递函数基础上的仿真模型,结构简单;
- 2) Simulink中的仿真系统,可以很容易的进行扩展,如加入泵模型以及管道模型可以较容易地构建出一个完整的恒压供水系统仿真模型;
- 3) 根据自己的需要改变相应的系统参数,就可以得到不同情况下的仿真模型,通过观测器观察各项输出值,可以检验是否与真实情况相符。

参考文献:

- [1] 杜坤梅,李铁才. 电机控制技术[M]. 哈尔滨工业大学出版社,2002.
- [2] 张志涌. 精通MATLAB:5.3版[M]. 北京航空航天大学出版社,2000.
- [3] 贾建强,韩如成,左龙. 基于MATLAB/SIMULINK的交流电机调速系统建模与仿真[J]. 电机与控制学报,2000-6.



[作者简介]

程伟(1978-),男(汉族),安徽淮北人,硕士研究生,研究方向:计算机仿真,机电一体化技术;

马树元(1960-),男(汉族),河北人,教授,博士生导师,研究方向:测量技术及仪器,精密机械;

吴平东(1942-),男(汉族),江苏无锡人,工学博士、教授、博士生导师,享受国务院有突出贡献津贴,研究方向:机电一体化技术,远程控制与操作等;

陈之龙(1952-),男(汉族),河北香河人,副研究员,研究方向:机电一体化,远程操作与控制。