

文章编号:1671-251X(2009)07-0066-04

# 基于 Matlab/Simulink 的异步电动机转差频率矢量控制系统仿真研究

王建华<sup>1,2</sup>, 何凤有<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学信电学院, 江苏 徐州 221008; 2. 徐州工业职业技术学院, 江苏 徐州 221140)

**摘要:**文章介绍了异步电动机转差频率矢量控制的基本原理,并在分析转差频率矢量控制方案的基础上,结合 Matlab/Simulink 软件构建了异步电动机转差频率矢量控制系统的仿真模型,同时给出了仿真模型的具体参数,并进行了仿真实验。实验结果表明,该系统实现简单、控制精度高,用于异步电动机调速系统中具有良好的动、静态性能。

**关键词:**异步电动机; 转差频率; 矢量控制; Matlab; Simulink

**中图分类号:**TD614.2; TM343

**文献标识码:**A

## 0 引言

电动机调速是电动机应用系统中的关键环节。在 19 世纪,高性能的可调速传动控制大多采用直流电动机。但直流电动机在结构上存在难以克服的固有缺点,即存在电刷和机械换向器,使得直流电动机事故率高,维修工作量大,容量受到换向条件的制约。而交流电动机结构简单,造价低,坚固耐用,事故率低,容易维护,因此,20 世纪 80 年代以后,交流调速技术开始迅速发展,并陆续出现了一些先进可靠的交流调速技术:首先是变压变频调速系统(VVVF),后来出现了转差频率矢量控制、无速度传感器矢量控制和直接转矩控制(DTC)等。其中,转

差频率矢量控制系统结构简单且易于实现,控制精度高,具有良好的控制性能,因此,早期的矢量控制通用变频器基本上采用基于转差频率控制的矢量控制方式。基于此,本文在 Matlab/Simulink 环境下对转差频率矢量控制系统进行了仿真研究。

## 1 转差频率矢量控制概述

调速系统的动态性能主要取决于其对转矩的控制能力。由于直流电动机的转矩与电流成正比关系,控制电流即可控制转矩,较易实现,而交流异步电动机的转矩控制比直流电动机要复杂。转差频率矢量控制的目标就是将交流电动机复杂的转矩控制模型转化为类似直流电动机的简单转矩控制模型。

异步电动机的基本方程式为

$$i_{lt} = \frac{L_r}{L_m - r} M \quad (1)$$

$$s = \frac{L_m}{T_r - r} i_{lt} \quad (2)$$

收稿日期:2009-02-27

作者简介:王建华(1981-),男,讲师,中国矿业大学在读硕士研究生,研究方向为电力电子与电力传动。E-mail:wjh051130@163.com

## 4 结语

在 1 200 kW 以下电动机的保护电路中,采用 F-C 真空接触器取代断路器的方法效果更优,但是对电动机的保护整定和配合比较繁琐。本文给出了主要保护的整定计算方法,并用 3 条曲线分析了保护的配合方法。实验结果证明,该方法实用有效。

## 参考文献:

[1] 杜志勇. 低厂变保护整定计算和开关配置情况分析

- [J]. 继电器, 2005, 33(21): 27~31.
- [2] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [3] 李宏任. 实用继电保护 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [4] 刘介才. 工厂供电 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [5] 窦乘果, 彭鹏, 赵梦华, 等. 微机式反时限过电流保护整定配合的辅助计算软件 [J]. 电力自动化设备, 1998(4): 9~11, 29.
- [6] 沈兴元. 高压真空接触器-高压限流熔断器组合电器在发电厂中的应用 [J]. 电力设备, 2006(2): 76~79.

$$\dot{i}_{lm} = \frac{1 + T_r P}{L_m} i_{lt} \quad (3)$$

$$T_e = n_p \frac{L_{lm}}{L_r} i_{lt} \quad (4)$$

式中:  $i_{lt}$ 、 $i_{lm}$  分别为定子电流的转矩分量和励磁分量;  $L_m$ 、 $L_r$  分别为定、转子自感;  $r$  为转子总磁链;  $s$  为转差角频率;  $T_r$  为转子时间常数;  $T_e$  为电磁转矩;  $n_p$  为异步电动机的磁极对数;  $P$  为微分算子;  $L_{lm}$  为定子绕组漏感。

任何电气传动控制系统均服从以下基本运动方程:

$$T_e - T_L = \frac{J}{n_p} \frac{d\omega}{dt} \quad (5)$$

式中:  $T_L$  为负载转矩;  $J$  为电动机转子和系统的转动惯量。

由式(5)可知,要提高调速系统的动态特性,主要是控制转速的变化率  $\frac{d\omega}{dt}$ 。显然,通过控制  $T_e$  就能控制  $\frac{d\omega}{dt}$ ,因此,调速系统的动态特性取决于其对  $T_e$  的控制能力。

电动机稳态运行时,转差率  $s$  很小,因此,  $s$  也很小,转矩的近似表达式为

$$T_e = K_m \frac{2}{m} \frac{s}{R_2} \quad (6)$$

式中:  $K_m$  为电动机的结构常数;  $m$  为气隙磁通;  $R_2$  为折算到定子边的转子电阻。

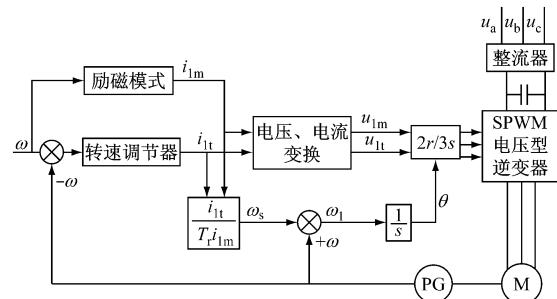
只要能够保持  $m$  不变,异步电动机的转速就与  $s$  近似成正比,即控制  $s$  就能控制  $T_e$ ,也就能控制  $\frac{d\omega}{dt}$ ,与直流电动机通过控制电流即可控制转矩类似。

## 2 转差频率矢量控制系统

交流异步电动机转差频率矢量控制系统的结构如图1所示。

该系统的主要特点:(1) 主电路采用SPWM电压型逆变器,开关器件采用IGBT,这是通用变频器常用的方案;(2) 转速采用转差频率矢量控制,即  $\omega = \omega_s + s\omega_r$ 。在转速变换过程中,异步电动机的定子电流频率始终跟随转子的实际转速而同步升降,从而使转速调节更加平滑。

根据式(1)~(4)和图1可知,在保持  $r$  恒定的条件下,电动机的  $T_e$  由  $i_{lt}$  控制,而  $s$  由  $i_{lt}$  计算,  $r$  也可通过  $i_{lm}$  计算。转速可通过PI调节器调节,



—分别为转子角频率给定和转子角频率负反馈;

$i_{lm}$ 、 $i_{lt}$ —分别为定子电流的转矩分量和励磁分量;

$\omega_s$ —转差角;

$\omega_r$ —转子角频率;

$i_{lm}$ 、 $i_{lt}$ —分别为定子电压的转矩分量和励磁分量

图1 交流异步电动机转差频率矢量控制系统的结构图

输出  $i_{lt}$ ,然后计算得到  $s$ 。即:

$$s = \frac{i_{lt}}{T_r i_{lm}} \quad (7)$$

## 3 转差频率矢量控制系统仿真

### 3.1 仿真条件

转子磁链模型的计算参数设置:异步电动机为380 V、50 Hz 二对极 ( $n_p = 2$ ),定子绕组电阻  $R_s = 0.435$ ,  $L_{lm} = 0.002$  mH,转子绕组电阻  $R_r = 0.816$ ,转子绕组漏感  $L_{lr} = 0.002$  mH,  $L_m = 0.069$  mH,  $J = 0.19$  kg·m<sup>2</sup>,逆变器直流电源为510 V,定子绕组自感  $L_s = L_m + L_{lm} = 0.071$  mH,  $L_r = 0.071$  mH,漏磁系数为0.056,  $T_r = 0.087$ 。

### 3.2 仿真模型

异步电动机转差频率矢量控制系统的仿真模型如图2所示,需要设置电动机参数、变流桥参数、转换器  $U_{sm}$ 、 $U_{st}$  公式和转差公式等。

该系统的控制部分由给定PI调节器、函数运算、两相/三相坐标变换、PWM脉冲发生器等环节组成。其中,G1、G2、G3、G4、G5、G6的放大倍数分别为35、0.15、0.0076、2.9.55、9.55。

仿真定转速为1400 r/min 时的空载启动过程,在启动后0.45 s 时加载  $T_L = 65$  N·m。该系统较复杂,容易出现收敛问题,经试用各种计算方法,最终选用固定步长算法ode5,步长取e-5。

### 3.3 仿真结果

仿真结果如图3~12所示。图3~6反映了电动机在启动和加载过程中的转速、电流、电磁转矩和电压的变化过程,在启动中逆变器的输出电压(线电压)逐步提高,转速上升,但是电流基本保持不变,为  $i_{sa} = 50$  A/ $\sqrt{2} = 35$  A,电动机以给定的最大电流启

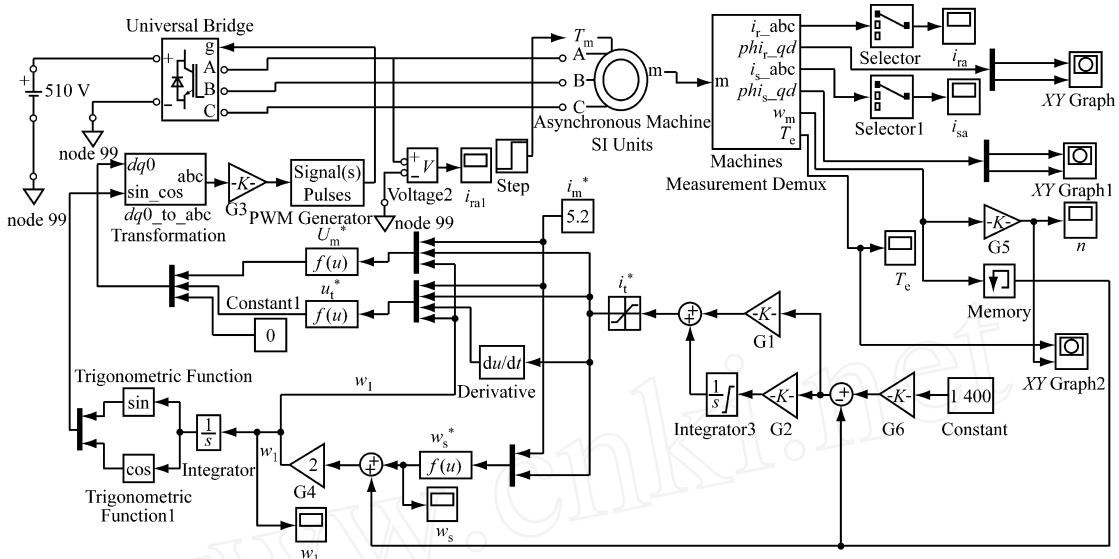


图 2 异步电动机转差频率矢量控制系统的仿真模型图

动。在 0.275 s 时, 转速稍有超调, 然后稳定在 1 400 r/min, 电流也下降为空载电流, 逆变器输出电压也减小了。电动机在加载后, 电流和电压迅速上升, 电动机转矩也随之增加, 转速在略经调整后恢复不变。图 8~11 反映了各控制模块输出信号波形的变化, 经  $2r/3s$  变换后的三相调制信号的幅值和频率在调节过程逐步增加, 且转速随之逐步升高, 信号幅值的提高保证了电动机电流在启动过程中保持不变。图 7 和图 12 分别反映了电动机在启动过程中定子绕组产生的旋转磁场和电动机的转矩 - 转速特性。电动机在零状态启动时, 电动机磁场有一个建立过程, 在建立过程中磁场变化是不规则的, 这也引起了转矩的大幅度变化, 在 0.2 s 后磁场呈规则的圆形; 改变励磁的给定值  $i_m^*$ , 圆形旋转磁场的半径也有变化。电动机的转矩 - 转速特性反映了通过矢量控制使电动机保持了恒转矩启动, 并且改变了 ASR 的输出限幅  $i_t^*$ , 最大转矩可以调节。

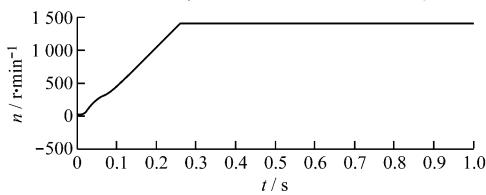


图 3 电动机在启动和加载过程中的转速响应曲线

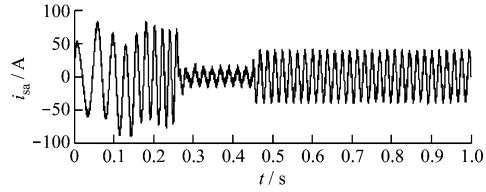


图 4 电动机在启动和加载过程中的定子 A 相电流响应波形

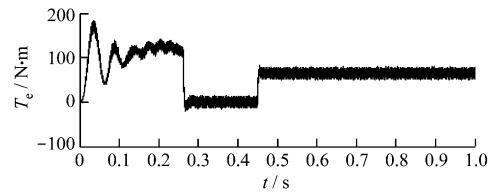


图 5 电动机在启动和加载过程中的电磁转矩给定曲线

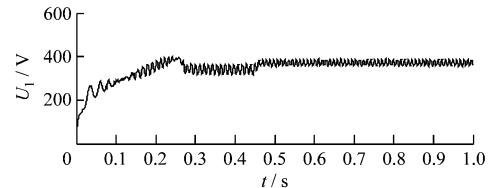


图 6 电动机在启动和加载过程中的输入三相线电压有效值曲线

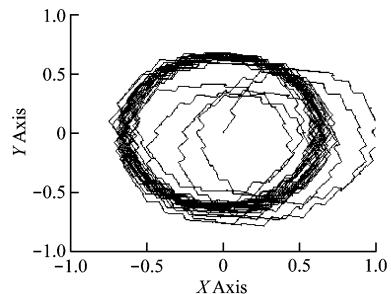


图 7 电动机在启动过程中的定子磁链轨迹图

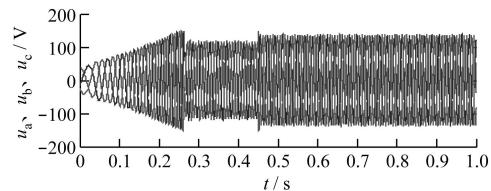


图 8 SPWM 的三相调制信号波形

文章编号:1671-251X(2009)07-0069-03

# 基于排队论的 CAN 总线语音通信系统建模分析

崔连成<sup>1</sup>, 王满意<sup>2</sup>, 李彦玮<sup>2</sup>, 苗曙光<sup>2</sup>, 杜存功<sup>2</sup>

(1. 龙口矿业集团, 山东 龙口 265700; 2. 中国矿业大学信电学院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:**文章利用排队论的 M/M/1 模型, 对基于 CAN 总线的语音通信系统进行了建模分析, 得出了语音压缩速率与 CAN 总线单节点信息产生速率的对应关系, 并使用 Matlab 进行了系统仿真, 得出了语音数据传输平均时延、语音压缩速率、CAN 总线传输速率的关系曲线, 证明了理论推导的正确性, 从而推导出语音压缩速率和 CAN 总线传输速率的关系表达式。

**关键词:**CAN 总线; 语音通信; 排队论; M/M/1 模型

**中图分类号:**TN914      **文献标识码:**A

收稿日期:2009-03-03

**作者简介:**崔连成(1958-), 男, 工程师, 1995 年毕业于山东经济干部管理学院, 现主要从事矿区电力自动化研究工作, 已发表文章数篇。E-mail:125593013@qq.com

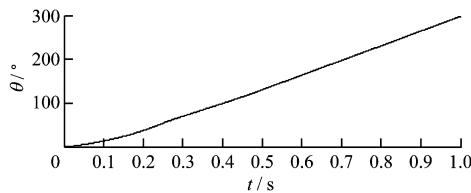


图 9 转子角度图

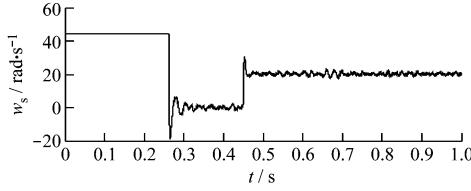


图 10 计算得到的转差频率给定图

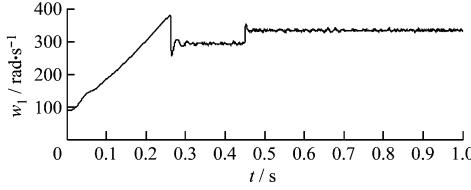


图 11 逆变器调制频率图

## 4 结语

本文根据转差频率矢量控制的基本概念和系统原理图, 建立了交流异步电动机转差频率矢量控制系统的仿真模型, 并进行了仿真实验。为了减少仿真需要的时间, 仿真中减小了电动机的转动惯量, 但

## 0 引言

排队论(Queuing Theory)<sup>[1]</sup>, 或称随机服务系统理论, 作为运筹学的一种有力手段, 在计算机网络通信系统和计算机系统性能评价中占有相当重要的

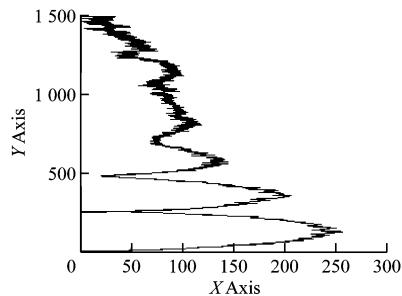


图 12 电动机在启动过程中的转矩-转速特性曲线是过小的转动惯量容易使系统发生振荡, 可通过调节参数来观察参数变化对系统的影响。仿真结果表明, 转差频率矢量控制系统具有良好的控制性能。

## 参考文献:

- [1] 洪乃刚. 电力电子和电力拖动控制系统的 Matlab 仿真 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [2] 李永东. 交流电动机数字控制系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [3] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [4] 王丽敏, 王德明. 无速度传感器转差频率控制系统的研究 [J]. 电工技术学报, 2000, 15(2): 70~72.
- [5] 徐静, 阮毅, 陈伯时. 异步电动机按定子磁场定向的转差频率控制 [J]. 电动机与控制学报, 2003, 7(1): 1~4.