

# SVPWM 交流调速系统的建模与仿真

万晓凤,戴文进

(南昌大学,江西南昌 330029)

## Modeling and Simulation for AC Adjustment Speed System of SVPWM Control

WANG Xiao-feng, DA I Wen-jin

(Nanchang University, Nanchang 330029, China)

**摘要:**讨论了基于 MATLAB 实现矢量控制交流调速系统的方法,提出了基于单神经元的积分分离的 P 型速度调节器,并对负载转矩进行补偿。仿真结果表明该系统具有良好的鲁棒性和快速性,对电机参数不敏感,得出了一些有价值的结论。

**关键词:**电压矢量 PWM;交流调速;仿真;Matlab

**中图分类号:** TM 343 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1004 - 7018(2006)02 - 0023 - 02

**Abstract:** Used space vector, a new method of alternating machine speed adjustment is discussed. Both single neuron proportional-integral speed controller and torque compensator are introduced to the scheme. Simulation results demonstrate that the proposed control scheme can obtain a robust fast speed control. The system is not sensitive to motor parameters. The several valuable conclusions are obtained.

**Keywords:** SVPWM; alternating machine speed adjustment; simulation; Matlab

### 1 引言

交流电动机的变频调速系统是各种调速系统中最为优越的一种电力拖动系统,它和它的调速系统相比,具有良好的调速性能和节能效果。随着新型电力电子器件的不断出现,脉宽调制技术(PWM)和正弦脉宽调制技术(SPWM)在交流调速系统中已经得到越来越多的应用<sup>[1]</sup>。然而常规的 SPWM 不能充分利用馈电给逆变器的直流电压,调节过程中依然会有某些高次谐波分量,从而引起电机发热、转矩脉动和系统振荡等。目前电压矢量脉宽调制技术(SVPWM)以其物理概念清晰,算法简单,易于实现的特点,在中小功率调速系统中得到了广泛的应用<sup>[2]</sup>。本文根据 SVPWM 的原理,利用目前较为流行的计算机辅助设计工具 Matlab/Simulink,建立了 SVPWM 交流调速系统的仿真模型<sup>[3]</sup>,包括单神经元自适应 PI 速度调节器的设计以及 SVPWM 的算法实现。为了验证模型的正确性和交流调速的效果,本文给出了三相定子电流波形、转速、负载转矩、

输出电磁转矩波形的实验仿真结果。

### 2 SVPWM 的基本原理

如图 1 所示,在电压型逆变器电路中<sup>[4]</sup>,当上桥

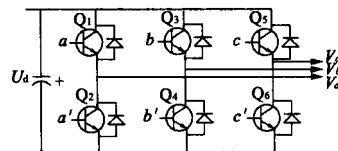


图 1 典型的三相电压源逆变器结构

臂开关管导通时相应的下桥臂开关管截止,上桥臂开关管截止时相应的下桥臂开关管导通。设当上桥臂开关管导通时对应的开关变量为 1,关断时为 0。电压型逆变器六个开关管共有八种工作状态,产生八个电压矢量,其中只有六个有效的电压矢量。若以  $U_d$  为基准,则对于每种组合逆变器的输出线电压和相电压如表 1 所示。

表 1 三桥臂的开关状态和相应 VS 的输出

a	b	c	$V_a$	$V_b$	$V_c$	$V_{ab}$	$V_{bc}$	$V_{ca}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	2/3	-1/3	-1/3	1	0	-1
1	1	0	1/3	1/3	-2/3	0	1	-1
0	1	0	-1/3	2/3	-1/3	-1	1	0
0	1	1	-2/3	1/3	1/3	-1	0	1
0	0	1	-1/3	-1/3	2/3	0	-1	1
1	0	1	1/3	-2/3	1/3	1	-1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0

通过三相/两相变换,可将相应于表 1 的八种组合的相电压映射到  $\alpha - \beta$  平面,得到六个非零电压矢量 ( $V_1 \sim V_6$ ) 和两个零电压矢量 ( $V_0, V_7$ )。非零电压矢量构成正六边形的轴线,其夹角是  $60^\circ$  两个零电压矢量位于坐标原点。图 2 给出了基本电压矢

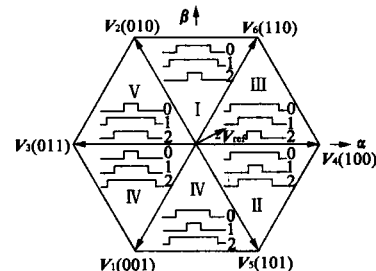


图 2 基本矢量及  $V_{ref}$  在  $\alpha - \beta$  平面上的投影

量和所需的电机电压矢量  $V_{ref}$  在  $\alpha - \beta$  平面的投影。

SVPWM方法的目的是通过与六个开关管的八种开关状态相应的基本电压矢量来逼近电机所需要的电压矢量  $V_{ref}$ 。

### 3 基于单神经元的自适应 P 速度调节器的设计

在运动控制系统中,调节器的设计对于整个系统的动态性能至关重要<sup>[5]</sup>。传统的 PI 调节器具有结构简单、稳态无静差等特点,但 PI 调节器是以不变的参数来处理各种不同的情况,对于电机这个非线性、强耦合的复杂系统而言,许多参数和负载转矩会随着工作状况的不同而有较大的差异,因此当系统的参数发生变化时,PI 调节器就起不到良好的动态调节作用,严重时系统会出现振荡。基于这些原因,本文采用了基于单个神经元的自适应 P 速度调节器设计。

单神经元的模型如图 3 所示,它是一个多输入单输出的非线性处理单元。其中  $x_i, w_i (i=1, 2, \dots, n)$  分别为控制器的输入量和相应的权重;  $K_u$  为比例因子;  $f(\cdot)$  为神经元的响应函数,通常为带有最大限幅值  $u_{max}$  的 S 型激发函数,如图 4 所示。

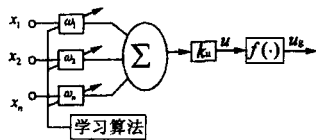


图 3 单神经元模型

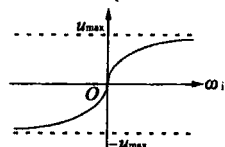


图 4 S 型激发函数

传统的调节器在突加负载或负载波动比较大时,转速波动也比较大,且恢复时间较长。为了获得良好的动态及静态特性、提高系统的抗干扰能力,必须对负载转矩进行估算和补偿。

图 5 为速度给定 600 r/min,在 0.07 s 突加额定负载 (200 N·m) 且以转矩 100 N·m、频率 50 Hz 波动时的速度及负载转矩对应波形。图 6 为几种控制方案在给定转速附近的放大波形的比较,可以看

出本神经元且加入转矩补偿控制的控制效果较其它控制方案要好。

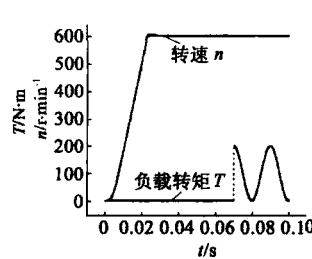


图 5 突加负载转矩及其转速波形

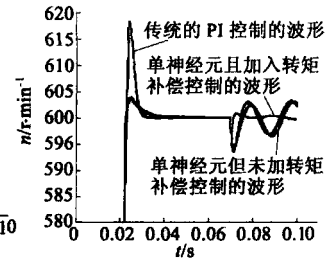


图 6 几种控制方案的比较

图 7 为转矩补偿器估算的电机负载转矩,可以看出此估算的电机负载转矩以实际的电机负载转矩给定基本一致。图 8 为在电机参数发生变化 ( $R_r^* = 2R_r, L_r^* = 5L_r$ ,  $R_r, L_r$  分别为转子电阻和转子电感) 时几种控制方案的比较,可以看出带负载补偿的神经元控制的性能基本不受参数变化的影响。

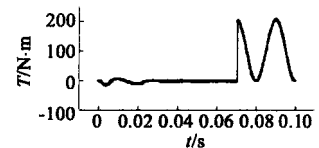


图 7 转矩补偿器估算的电机负载转矩

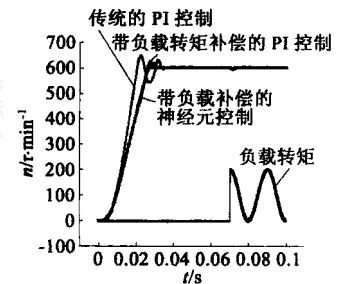


图 8 电机参数变化时几种控制方案的比较

在交流传动系统中引入神经元并非出于建模的困难,而是利用其非线性、自寻优来克服传动系统中交参数、非线性等不利因素。本文介绍的基于单神经元的速度调节器和负载转矩补偿在 MATLAB 下的仿真表明,其有效地提高了控制效果和系统性能。

### 4 异步电动机矢量控制的仿真

图 9 为在 MATLAB 中构建的矢量控制的整体仿真结构。FluxCalculation 模块为转子磁链计算模块

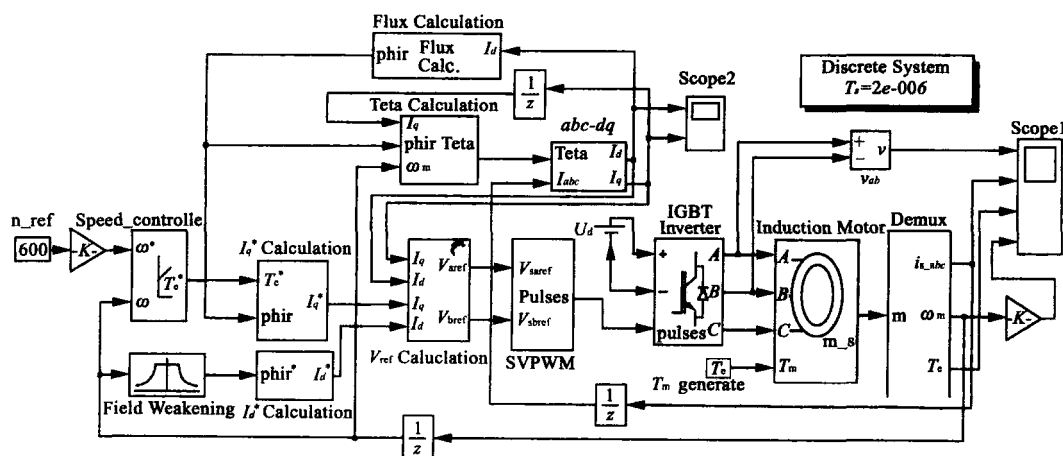


图 9 在 MATLAB 中构建的矢量控制的整体仿真结构

(下转第 27 页)

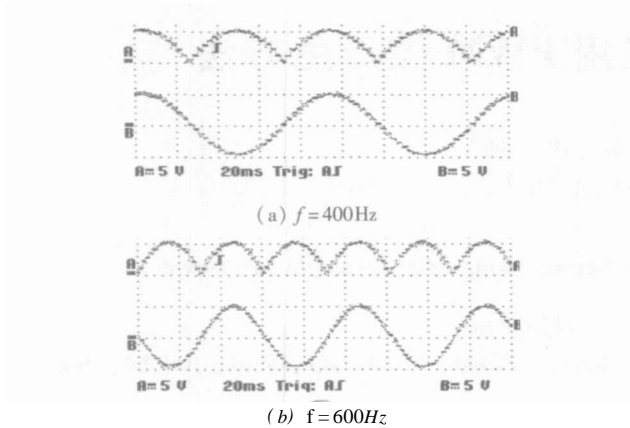


图 7 不同频率下正弦梯电流给定与电流反馈

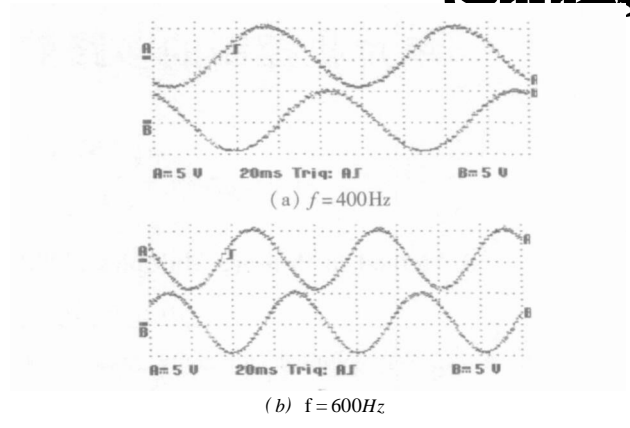


图 9 不同频率下 A、C相绕组电流反馈

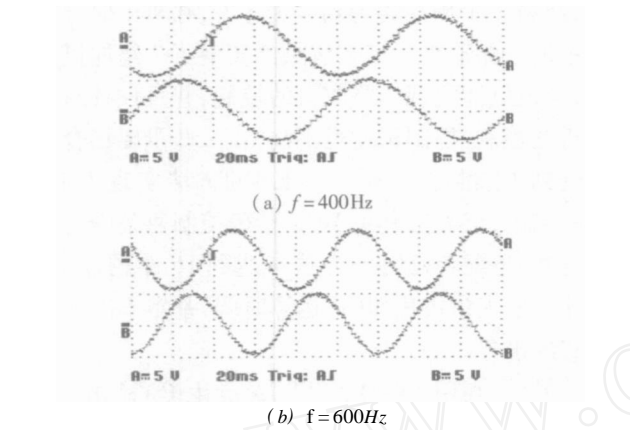


图 8 不同频率下 A、B相绕组电流反馈

参考文献

- [1] 李铁才,杜坤梅. 电动机控制技术 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社. 2002: 56 ~ 57
- [2] 刘宝廷,程树康. 步进电动机及其驱动控制系统 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社. 1997: 159 ~ 167
- [3] 林波,李兴根. 混合式步进电机 SPWM 微步驱动技术的研究 [J]. 微电机, 2000, 33(3): 16 ~ 20

作者简介:赵克(1973-),男,博士研究生,从事电力电子和电机控制方面的研究。

为进一步提高本刊的编辑质量,请您对此文在读者服务卡上圈上数字代码:  
有价值,请圈 15;没有价值,请圈 16。

(上接第 24 页)块, *Teta Calculation* 模块为转子磁场位置计算模块, *I<sub>q</sub> Calculation* 模块为定子电流 *q* 轴分量给定计算模块, *abc - dq* 为坐标变换模块。

仿真的结果可以通过示波器清楚地反映各量的变化,也可将数据实时地存入文件或工作空间以便作具体分析。在 *MATLAB* 环境下进行的仿真结果如图 10 和图 11 所示。

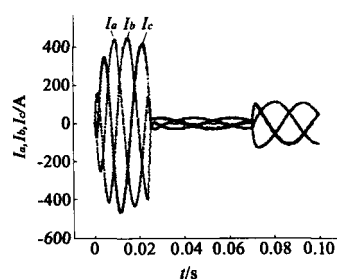


图 10 三相定子电流仿真波形

电机参数为:  $P_N = 30 \text{ kW}$ ,  $J = 0.162 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ,  $p = 2$ ,  $n = 1460 \text{ r/m in}$ ,  $R_s = 0.087 \Omega$ ,  $R_r = 0.25 \Omega$ ,  $L_s = L_r = 35.5 \text{ mH}$ ,  $L_m = 34.7 \text{ mH}$ 。在 0.07s 时突加  $200 \text{ N} \cdot \text{m}$  的负载,图 10 为电机定子

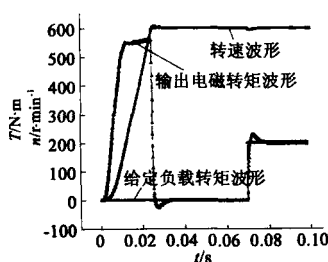


图 11 转速、负载转矩、输出电磁转矩仿真波形

三相电流波形,图 11 为转速、负载转矩给定、输出电磁转矩波形。

5 结 语

本文根据 *SVPWM* 原理,采用基于 *SVPWM* 控制技术,应用 *Matlab/Simulink* 仿真软件,建立的 *SVPWM* 交流调速系统的仿真模型,提出的基于单神经元的速度调节器和负载转矩补偿在 *MATLAB 6.1* 下的仿真结果表明,设计的仿真模型是正确的,系统具有良好的鲁棒性和快速性,对电机参数变化不敏感,有效地提高了控制效果和系统性能。

参考文献

- [1] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统 [M]. 北京:机械工业出版社, 1999
- [2] 华风雷. 基于 *Matlab/Simulink* 语言的交流调速系统仿真 [J]. 包头钢铁学院学报, 1998, (1): 88 ~ 92
- [3] 薛定守. 反馈控制系统设计与分析 - *MATLAB* 语言应用 [M]. 北京:清华大学出版社, 2000
- [4] 张燕实. *SPWM* 变频应用技术 [M]. 北京:科学出版社, 1999
- [5] Green A W B E, Boys J T. Hysteresis current Forced Three phase Voltage Sourced Reversible Rectifier [J]. *IEEE Trans Ins Appl*, 1989, 36(3): 113 ~ 120

为进一步提高本刊的编辑质量,请您对此文在读者服务卡上圈上数字代码:  
有价值,请圈 13;没有价值,请圈 14。

混合式步进电动机正弦波微步驱动设计