

# 基于 SVPWM 的交流电机调速系统的研究

## Research Regulating Speed System of Motor Based on SVPWM

江风云 卢淋芎 黄玉水

Jiang Fengyun Lu Linxiang Huang Yushui

(南昌大学信息工程学院, 南昌 330029)

(College of Information and Engineering, Nanchang University, Nanchang 330029)

**摘要:** 本文分析了电压空间矢量脉宽调制(SVPWM)的原理, 并利用 MATLAB 中的 SIMULINK 实现了基于 SVPWM 方式的交流电机变频调速系统, 给出了相应的仿真结果, 并与 SPWM 方式进行了比较。结果表明: SVPWM 具有起动的加速时间短, 输出电流谐波少以及电磁转矩脉动小等优点。

**关键词:** SVPWM; SPWM; 逆变器; 仿真

**中图分类号:** TP271+.4

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1671-4792-(2006)8-0058-02

**Abstract:** This paper analyzed the basic principle of voltage space-vector PWM (SVPWM), established the simulated model of motor and given out result by using MATLAB/SIMULINK software. Compared with SPWM pattern, the SVPWM pattern reduced the torque ripple, improved the speed of reacting as well as reduced harmonic current.

**Keywords:** SVPWM; SPWM; Inverte; Simulate

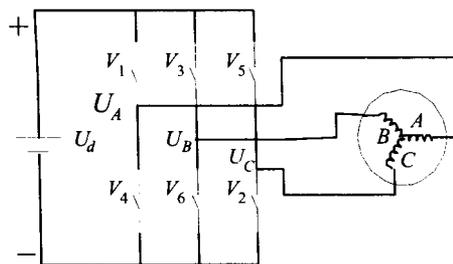
### 0 引言

在交流电机变频调速中, PWM 已经得到了广泛应用, 其中 SPWM 主要是使逆变器输出的电压尽量接近正弦波, 使输出电压的基波成分尽量大, 谐波成分尽量小, 但是该方法仅仅是一种近似, 抑制谐波的能力有限; 而 SVPWM 是把逆变器和电机视为一体, 控制电机获得幅值恒定的圆形旋转磁场, 它能够明显减少逆变器输出电压的谐波成分以及电动机的谐波损耗, 降低转矩脉动, 而且逆变器输出线电压基波最大幅值为直流测电压, 这比 SPWM 逆变器输出电压高出 15.7%<sup>[1, 2]</sup>。

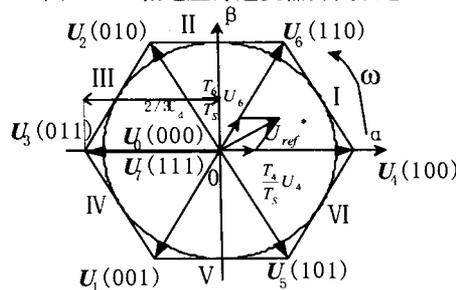
本文在简单分析了 SVPWM 原理的基础上, 利用 MATLAB 中的 SIMULINK 建立了基于 SVPWM 交流电机调速系统的模型, 给出了相应的仿真结果, 并与 SPWM 方式进行了比较。

### 1 电压空间矢量脉宽调制原理

SVPWM 从三相输出电压的整体效果出发, 使得输出电压波形尽可能接近理想的正弦波形。在图一所示三相电压逆变器电路中, 如果忽略电机定子绕组电阻, 当定子绕组施加三相理想正弦电压时, 由于电压合成空间矢量为等幅旋转矢量, 故气隙磁通以恒定角速度旋转, 轨迹为圆形。在实际运行中逆变器只有 6 个有效开关矢量:  $U_1 \sim U_6$  及两个零开关矢量:  $U_0$  和  $U_7$ , 共八种状态, 如图二所示。因此只能用这 8 个矢量的线性组合去接近、近似等效  $U_{ref}$ 。



图一 三相电压源逆变器开关状态



图二 电压空间矢量图

按照平行四边形法则, 利用这 8 个空间矢量可以合成任意的电压矢量, 以第一扇区为例, 由平均值等效原理可得式 (1)。

$$T_1 U_1 + T_2 U_6 + T_3 U_0 = T S U_{ref} \quad (1)$$

由式(1)和三角形的正弦定理可得式(2)、(3)、(4)。

$$T_4 = mT_s \sin(60^\circ - \alpha) \quad (2)$$

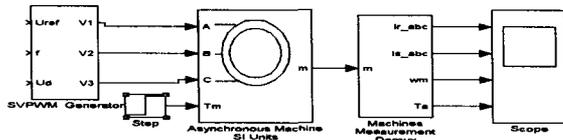
$$T_6 = mT_s \sin \alpha \quad (3)$$

$$T_0 = T_s - T_4 - T_6 \quad (4)$$

式中： $\alpha$ 为参考矢量与该扇区第一矢量的夹角， $0 < \alpha < 60^\circ$ ； $T_s$ 为开关周期； $m$ 是调制系数； $T_4$ 为开关矢量 $U_4$ 的作用时间； $T_6$ 为开关矢量 $U_6$ 的作用时间； $T_0$ 为零矢量的作用时间。为了保证平均值等效原理的有效性，应该满足 $T_4 + T_6 < T_s$ ；该条件保证了输出波形无畸变，也决定了SVPWM的最大输出限定<sup>[3]、[4]</sup>。

### 2 基于SVPWM交流电机调速系统的建立

图三为基于SVPWM交流电机调速系统的仿真框图，使用的样机是额定功率2.2kW，2极鼠笼三相异步电动机。电机有关常数为： $U_n = 220V$ ， $f_n = 50Hz$ ， $P_n = 2.2kW$ ， $R_s = 0.435 \Omega$ ， $L_s = 0.002H$ ， $R_r = 0.816 \Omega$ ， $L_r = 0.002H$ ， $L_m = 0.0693H$ ， $J = 0.035kg \cdot m^2$ 。逆变器的直流输入电压 $U_d = 310V$ ，采样周期 $T_s = 0.0002s$ 。

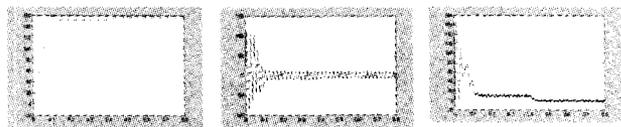


图三 SVPWM交流调速系统仿真框图

### 3 仿真结果与分析

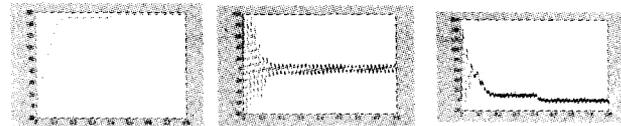
对SVPWM逆变器供电下三相异步电动机变频调速系统动态性能进行仿真，与SPWM逆变器供电下系统动态性能进行比较。

图四和图五为两种控制模式下系统空载启动，并在0.4s处突加10N.m负载，逆变器输出频率为50Hz，载波频率为5KHz， $U_d = 310V$ ， $m=1$ 时的动态仿真曲线。



(a) 电机转速 (nr/r.min-1) (b) 电机定子电流 (Ia/A) (c) 电磁转矩 (Te/N.m)

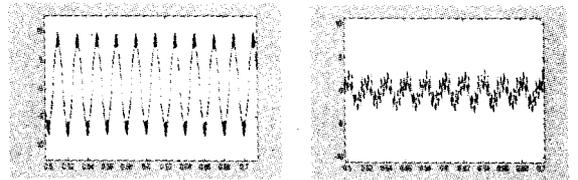
图四 SVPWM模式下系统的动态仿真波形



(a) 电机转速 (nr/r.min-1) (b) 电机定子电流 (Ia/A) (c) 电磁转矩 (Te/N.m)

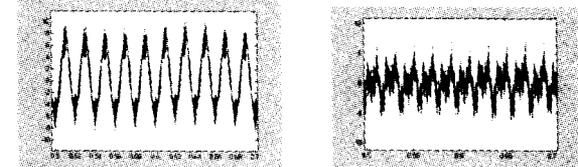
图五 SPWM模式下系统动态仿真波形

图六和图七是两种控制模式下系统的稳态仿真曲线。



(a) 电机定子电流 (Ia/A) (b) 电磁转矩 (Te/N.m)

图六 SVPWM模式下系统的稳态仿真波形



(a) 电机定子电流 (Ia/A) (b) 电磁转矩 (Te/N.m)

图七 SPWM模式下系统的稳态仿真波形

通过比较可知：两种模式下电动机空载启动，SVPWM模式电机起动的加速时间比SPWM模式电机启动加速时间要少；SVPWM模式较之SPWM模式，电机输出的电流谐波减少，定子电流波形更接近于正弦波形；电磁转矩脉动也减少，即电机的转矩脉动得到了一定的抑制。正是由于SVPWM具有上述优点，SVPWM目前正被广泛地应用于交流调速系统中，有取代传统SPWM的趋势。

### 4 结束语

本文根据电压空间矢量脉宽调制的控制原理，采用了基于开关函数的SVPWM控制技术，应用MATLAB/SIMULINK仿真软件建立了SVPWM交流调速系统的仿真模型，对系统的动态和稳态性能进行了仿真。与常规SPWM交流调速相比，SVPWM技术使得电流谐波减少，在一定程度上抑制了变频调速系统中电机转矩的脉动等问题。

### 参考文献

[1] 陈伯时，陈敏逊. 交流调速系统[M]. 北京：机械工业出版社，2000.  
 [2] 杨贵杰，等. 空间矢量脉宽调制方法的研究[J]. 中国电机工程学报. 2001.21(5):79-83.  
 [3] 王晓明，王玲. 电动机的DSP控制[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2004.  
 [4] 赵镜红，等. 基于DSP的SVPWM的研究[J]. 电机与控制学报，2002，6(2):108-110.

### 作者简介

江风云 (1977—)，女，江西余干人，硕士研究生；  
 黄玉水 (1969—)，男，江西南昌人，硕士生导师，副教授。