

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 卢淋芾 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

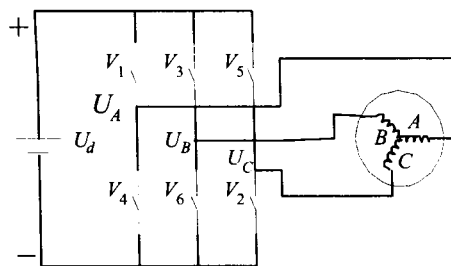
0 引言

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%^[1, 2]。

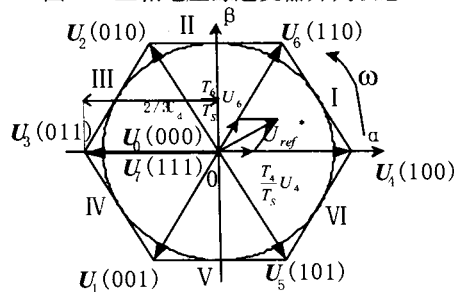
本文在简单分析了 SVPWM 原理的基础上, 利用 MATLAB 中的 SIMULINK 建立了基于 SVPWM 交流电机调速系统的模型, 给出了相应的仿真结果, 并与 SPWM 方式进行了比较。

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)。

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

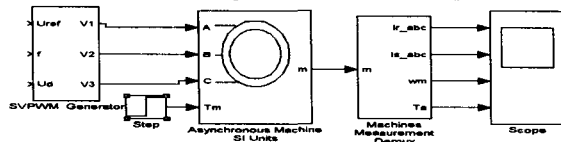
$$T_6 = mT_s \sin \alpha \quad (3)$$

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

式中： α 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^{[3]、[4]}。

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 $T_s = 0.0002s$ 。

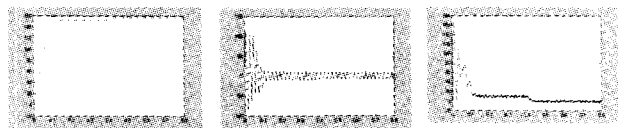


图三 SVPWM交流调速系统仿真框图

3 仿真结果与分析

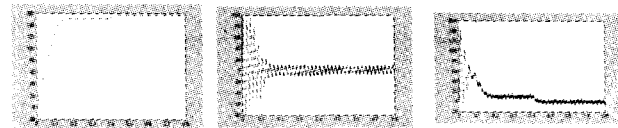
对SVPWM逆变器供电下三相异步电动机变频调速系统动态性能进行仿真，与SPWM逆变器供电下系统动态性能进行比较。

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)

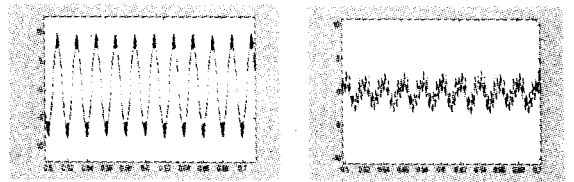
图四 SVPWM模式下系统的动态仿真波形



(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)

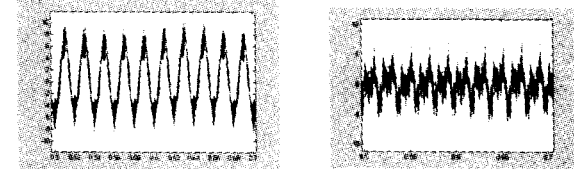
图五 SPWM模式下系统动态仿真波形

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。