

# 基于 LM3S615 的 SVPWM 变频调速系统的设计与实现

涂启志

(无锡市广播电视大学 机电工程系, 江苏 无锡 214011)

〔摘要〕 提出一种基于 ARM 微处理器 LM3S615 的交流电机 SVPWM 控制系统的设计. 该方法相对于其他的 SVPWM 控制策略而言大大缩短了参考电压矢量的采样周期, 使电机内部磁链更加逼近圆形, 减少脉动. 同时, 系统具有液晶屏显示和按键功能, 方便现场控制. 实验结果表明该系统性能稳定, 运行可靠, 完全符合小型交流电机调速驱动需要.

〔关键词〕 变频调速; SVPWM; LM3S615

〔文章编号〕 1672-2027(2008)04-0094-04 〔中图分类号〕 TM711 〔文献标识码〕 A

## 0 引言

在电气传动中, PWM 控制技术应用十分广泛. 近年来, 德国 H. W. Vander Broeck 教授等提出了 SVPWM 策略. 该新型的 PWM 方式一经问世, 就迅速在工程上特别是在电机调速方面得到广泛的运用, 此方法控制简单, 数字化实现方便, 能明显减少逆变器输出电流的谐波成分及电机的谐波损耗, 降低脉动转矩, 而且具有较高的电压利用率<sup>[1,2]</sup>.

## 1 SVPWM 原理

电压空间矢量是按照电压所加在绕组的空间位置来定义的. 电动机的三相定子绕组可以定义一个三相平面静止坐标系, 如图 1 所示.

这是一个特殊的坐标系, A, B, C 分别表示在空间静止不动的电机定子三相绕组的轴线, 它们在空间互差 120°, 三相定子相电压  $U_A, U_B, U_C$  分别加在三相绕组上, 可以定义三个电压空间矢量  $U_A, U_B, U_C$ , 它们的方向始终在各相的轴线上, 而大小则随时间按正弦规律做变化, 时间相位互差 120°<sup>[3]</sup>. 令  $U_\varphi$  为相电压有效值,  $f$  为电源频率, 则有:

$$\begin{cases} U_A(t) = \sqrt{2} U_\varphi \cos(2\pi f t) \\ U_B(t) = \sqrt{2} U_\varphi \cos(2\pi f t - 2\pi/3) \\ U_C(t) = \sqrt{2} U_\varphi \cos(2\pi f t + 2\pi/3) \end{cases} \quad (1)$$

假设单位方向矢量  $\rho = j2\pi/3$ , 则三相电压空间矢量相加的合成空间矢量  $U_{ref}^*$  就可以表示为:

$$U_{ref}^* = 2[U_A(t) + \rho U_B(t) + \rho^2 U_C(t)]/3 = \sqrt{2} U_\varphi \cdot e^{j2\pi f t} \quad (2)$$

可见,  $U_{ref}^*$  是一个旋转的空间矢量, 它的幅值不变, 为相电压峰值; 当频率不变时, 以电源角频率  $\omega = 2\pi f$  为电气角速度做恒速同步旋转, 哪一相电压为最大值时, 合成电压矢量就落在该相的轴线上<sup>[4]</sup>. 由定子电压方程

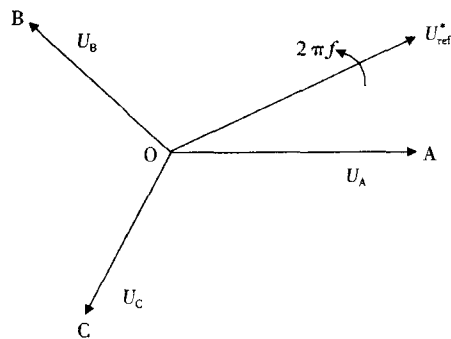


图1 电压空间矢量

Fig. 1 Voltage space vector

收稿日期: 2008-08-19

作者简介: 涂启志(1968-), 女, 江苏无锡人, 江南大学信息与控制工程学院在读硕士研究生, 无锡市广播电视大学讲师, 从事电力电子与电力传动研究.

知:

$$U_{ref}^* = RI(t) + d\Psi(t)/dt \quad (3)$$

当转速不是很低时,由于定子电阻  $R$  的压降相对很小,所以(3)式可以简化为:

$$U_{ref}^* = d\Psi(t)/dt \quad (4)$$

这表明电压空间矢量的方向与磁链的运动方向一致。

在变频调速系统中,逆变器为电动机提供的是经过调制的 PWM 电压.图 2 是三相电压源型逆变器示意图,逆变器由 6 个功率开关器件  $V_1, \dots, V_6$  组成。

因为逆变器的上桥臂和下桥臂的开关状态互补,所以只用上桥臂的三个功率开关器件来描述逆变器的工作状态就足够了.图 2 中设置直流侧中点作为参考点,则上管导通时输出电压为  $U_d/2$ ,下管导通时输出电压为  $-U_d/2$ .如果把上桥臂的功率开关器件的导通状态用“1”表示,关断状态用“0”表示,那么逆变器三桥臂的 6 个功率开关器件的开关状态共有 8 种组合,分别对应逆变器的 8 个开关模式,按定义将这 8 种开关状态表示为如图 3 所示的形状。

按照图 3 所示的电压空间矢量定义可知,空间 8 个基本电压矢量  $U$  组成一个六边形,分六个扇区,其中有两个位于原点的零矢量,即  $U_0(000)$ 、 $U_7(111)$ .而其他的 6 个矢量称为基本矢量,即  $U_1(001)$ 、 $U_2(010)$ 、 $U_3(011)$ 、 $U_4(100)$ 、 $U_5(101)$ 、 $U_6(110)$ ,它们表示六个功率管的  $V_1, \dots, V_6$  的控制电压,且有效矢量长度均为  $2U_d/3$ .零矢量位于原点,相邻非零矢量的夹角为  $60^\circ$ .从一个电压空间矢量旋转到另一个矢量的过程中,应当遵循功率器件的开关状态变化最小的原则,即应当只有一个功率器件的开关状态发生变化.利用这 8 种电压矢量的线性组合,就可以获得更多的与基本空间矢量相位不同的电压空间矢量,最终构成一组等幅不同相的电压空间矢量,叠加形成尽可能逼近圆形旋转磁场的磁链圆<sup>[5]</sup>。

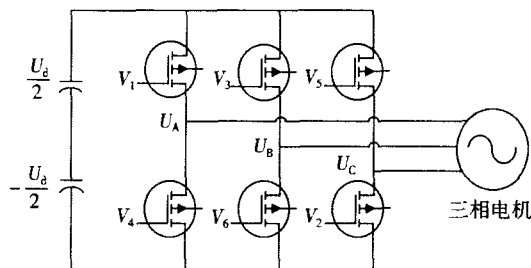


图 2 三相电压源型逆变器

Fig. 2 Three-phase voltage-source inverter

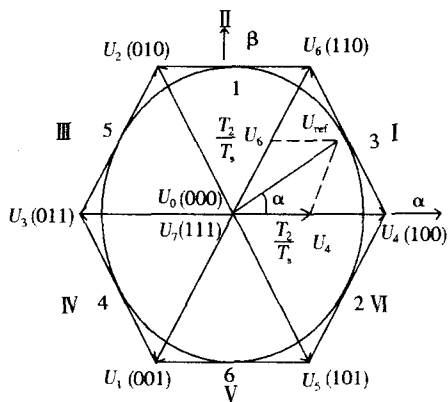


图 3 空间电压矢量分布图

Fig. 3 Space vector map

## 2 SVPWM 实现

### 2.1 判断参考电压 $U_{ref}^*$ 所在扇区 $N$

在  $\alpha, \beta$  静止坐标系下通过分析  $U_\alpha$  和  $U_\beta$  的关系可以判断参考电压矢量  $U_{ref}^*$  所处的扇区,逻辑关系如下:

If  $U_\beta > 0$ , then  $A=1$ , else  $A=0$ ;

If  $\sqrt{3}U_\alpha/2 - U_\beta/2 > 0$ , then  $B=1$ , else  $B=0$ ;

If  $-\sqrt{3}U_\alpha/2 - U_\beta/2 > 0$ , then  $C=1$ , else  $C=0$ ;

扇区  $N=A+2B+3C$ ;则  $S$  可为 1~6 个整数值,正好与 6 个扇区一一对应,只是在具体数值顺序上与扇区实际顺序有所差别,参照图 3。

### 2.2 开关向量作用时间计算

定义:

$$\begin{cases} X = \sqrt{3}U_\beta/U_d \\ Y = (3/2 + \sqrt{3}U_\beta/2)/U_d \\ Z = (-3/2 + \sqrt{3}U_\beta/2)/U_d \end{cases}$$

则在不同的扇区内  $A, B, C$  三相对应开关时间  $t_{cm1}, t_{cm2}, t_{cm3}$ ,根据表 1 进行赋值:

表 1 开关时间取值表  
Table 1 Switch time value table

扇区号	I	II	III	IV	V	VI
$t_{cm1}$	$t_a$	$t_b$	$t_c$	$t_c$	$t_b$	$t_a$
$t_{cm2}$	$t_b$	$t_a$	$t_a$	$t_b$	$t_c$	$t_c$
$t_{cm3}$	$t_c$	$t_c$	$t_b$	$t_a$	$t_a$	$t_b$

3 系统硬件结构

3.1 主回路

系统主回路采用交—直—交电压型变换器结构,电路拓扑如图 4 所示。

电网侧采用三相不可控整流桥,功率因数高;中间采用电容滤波,构成直流侧;逆变器为六臂逆变桥,功率开关器件选择 MOSFET,按一定调制策略进行控制,输出三相交流电。

3.2 电流采样电路

本系统选用电阻法检测电流,电阻法采样电路如图 5 所示, $R_7$  是阻值为 0.05 的精密电阻,流过  $R_7$  的电流信号转化成电压信号后,经过运算放大器 LM358 构成的同相放大器输给 LM3S615 采样端口 AD0 进行实时采样,运算放大器 LM358 在处理器和主回路之间起到隔离作用。

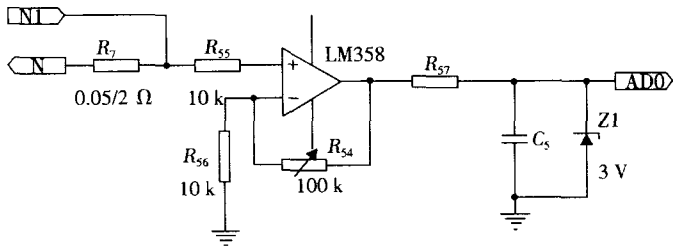


图 5 电流采样电路

Fig. 5 Current sampling circuit

$R_{57}$  和  $C_5$  组成了一阶滤波环节,截止频率设为 15 kHz,电阻  $R_{57}$  取 4.7 kΩ,电容  $C_5$  取 3.3 μF;由于采样电压范围为 0 V~2 V,在 LM3S615 的 ADC 输入电压范围(0 V~3.3 V)之内,所以省去了直流偏置等中间环节;稳压二极管 Z1 起到钳压保护作用,确保 LM3S615 的 AD0 输入电压不会超过 3 V,防止采样端口接触高压损坏。

3.3 驱动电路

驱动电路采用美国 IR 公司生产的 IR2103,如图 6 所示, $V_{cc}$  为 10 V~20 V 低边固定供电电源, $C_4$  为自举电容, $V_{cc}$  经 D7, $C_4$  负载、MOSFET2 给充电,以确保 MOSFET2 关闭、MOSFET1 开通时,MOSFET1 管的栅极靠  $C_4$  上足够的储能来驱动。考虑到自举电容  $C_4$  稳定快速充电是可靠驱动的关键,而本系统所要求的开关频率为 50 kHz,因此  $C_4$  的容量选择为 1 μF。

3.4 控制电路

控制电路由 LM3S615 最小系统构成。LM3S615 最小系统是指能使 ARM 内核正常运行、以及能对 LM3S615 进行调试的最简硬件,包括 LM3S615 芯片、

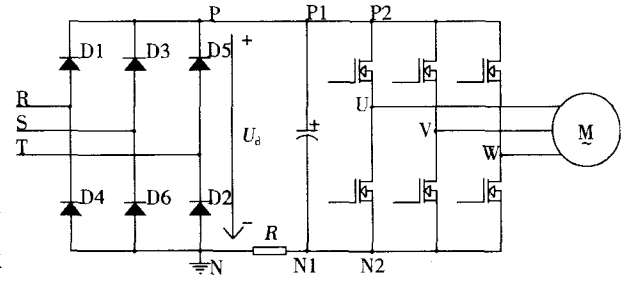


图 4 主回路的拓扑结构

Fig. 4 Main circuit topology

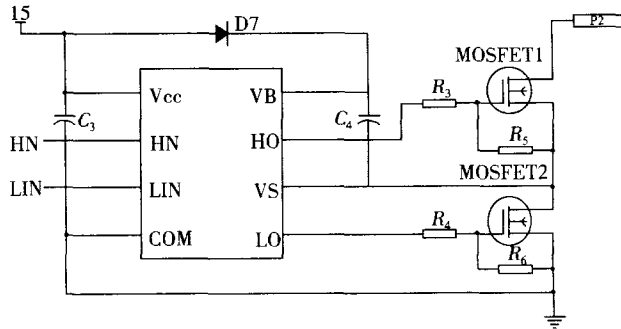


图 6 IR2103 应用原理图

Fig. 6 IR2103 application schematic

电源电路、复位电路、时钟电路、JTAG 调试接口、外扩 EEPROM 等。本文的 LM3S615 最小系统基本按照 Luminary 公司官方推荐的电路进行设计,确保控制电路的可靠运行。另外,为了方便实际应用系统具体控制参数的设置,系统还具有液晶屏显示和按键功能电路。

## 4 系统软件结构

软件总体结构主要由主程序和 PWM 中断子程序组成,为了提高程序的通用性和较好的移植性,在编程时采用模块化编程。系统主程序主要完成硬件和变量初始化,开启 PWM 定时器下溢中断,检测外部输入调制频率、过压和过流检测以及判断是否需要显示。PWM 下溢中断子程序的工作是在每一个 PWM 周期里,计算出下一个 PWM 周期里的三个 PWM 比较寄存器的比较值,并送入到相应比较寄存器中,程序流程框图如图 7 所示。

## 5 实验结果及结论

样机试验采用单相 220 V 供电,驱动电机为小功率三相异步电机 (750 W, 220 V),采用数字存储示波器 (Tektronix 公司生产,型号 TDS210),获得的部分实验结果如图 8 和图 9 所示:

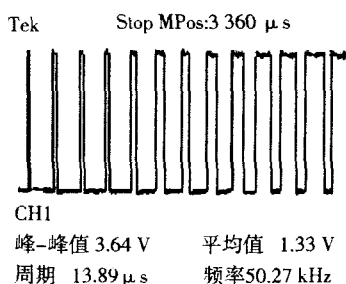


图 8 SVPWM 输出的波形图

Fig. 8 SVPWM output of the wave

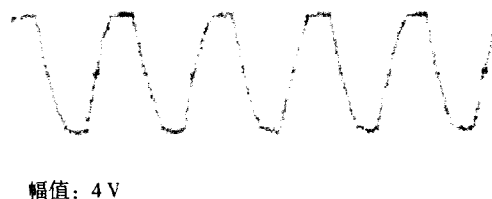


图 9 30 Hz 给定频率下输出的相电流

Fig. 9 30 Hz frequency of a given output  
of the current phase

实验结果表明基于 LM3S615 的 SVPWM 调速技术电压利用率高,电流接近正弦波,噪声低、转矩脉动小。总之,利用本文设计的基于 ARM 微处理器 LM3S615 的交流电机 SVPWM 控制系统,可以实现较高的控制性能,是一种比较理想的小功率经济型变频应用方案。

### 参考文献:

- [1] Hadiouche D, Baghli L, Rezzoug A. Space-Vector PWM techniques for dual three-Phase AC machine: analysis, performance evaluation and DSP implementation[J]. IEEE Industry Applications Society, 2006, 42(4): 1 112-1 114
- [2] 陈伯时, 陈敏逊. 交流调速系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998: 150-160
- [3] 王晓明, 王 玲. 电动机的 DSP 控制-TI 公司 DSP 应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004: 120-140
- [4] 尔桂花, 窦日轩. 运动控制系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 255-258
- [5] 张全庄, 孟彦京. SPWM 和 SVPWM 变频控制法分析与应用[J]. 变频器世界, 2005, 37(4): 37-39

(下转第 122 页)

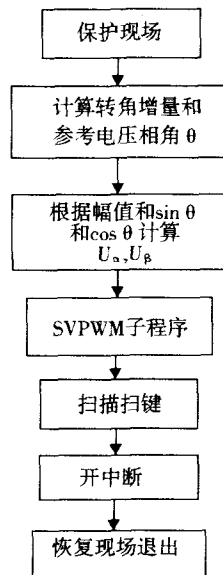


图 7 PWM 下溢中断子程序

Fig. 7 PWM under the overflow  
interrupt subroutine

**参考文献:**

- [1] 郭建国. 景观生态学——概念与理论[J]. 生态学杂志, 2000, 19(1): 42-52  
[2] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析[J]. 生态学报, 1995, 15(2): 113-120  
[3] 李秀珍, 布仁仓, 常禹, 等. 景观格局指标对不同景观格局的反应[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 123-134  
[4] 肖笃宁. 景观生态学研究进展[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1999

## Research on Landscape Patterns of Land Use in Lakeside Zone of Lakes in Stone Forest

Zhou Tao Chen Youjun Li Huiyuan

(School of Tourism and Geography Sciences, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China)

**[Abstract]** Based on Quickbird remote sensing image of 2006, the article utilized GIS technique to interpret and draw a remote sensing map of the lakeside zone of karst lake in Stone forest. Landscape type index (such as number of patches, area of patches) and landscape pattern index (such as evenness, dominance, fragmentation, fractal dimension) were used to quantitatively analyse landscape spatial patterns of land use in the study area. The results show forest land area accounts for 82.86 % in Long Lake, which to be the best protection of human and have better naturalness. Bimu lake and Lvfang lake which were largely influenced by humanity, were of more land use types and of messier land use patterns.

**[Key words]** lakeside zone; land use; landscape spatial pattern; stone forest

(上接第 97 页)

## SVPWM Variable Frequency Speed Regulating System Based on LM3S615

Tu Qizhi

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Wuxi Radio & Television University, Wuxi 214011, China)

**[Abstract]** A system of SVPWM varied frequency speed regulating control of AC motor is proposed based on ARM microprocessor LM3S615. The system software to simplify some of the traditional method, greatly shortened the reference voltage vector of sampling period, which compared to the previous SVPWM control strategy, so that motor internal flux closer to the radio, and reduce the pulse. Meantime, system with LCD display and keys function, facilitate the system set specific parameters in practical application. The results show that the performance of the system stability and reliable operation, which meets the small-scale AC motor-speed regulating driven need.

**[Key words]** varied frequency speed regulating; SVPWM; LM3S615