

文章编号: CN42-1564(2006)04-0282-03

## 基于 DSP 的 SVPWM 控制三相逆变器设计

石磊<sup>1</sup>, 陈媛娣<sup>2</sup>, 朱忠尼<sup>2</sup>

(1.空军雷达学院研究生管理大队, 武汉 430019; 2.空军雷达学院机电工程系, 武汉 430019)

**摘要:**通过对空间电压矢量脉宽调制(SVPWM)算法的分析,给出了用数字信号处理器(DSP)生成SVPWM波形的实现方法及软件工作流程.实际制作了一个输出400 Hz, 2.5 kW的三相逆变器样机,并给出了部分实验参数及实验波形.

**关键词:**空间电压矢量;脉宽调制;数字信号处理器;三相逆变器

**中图分类号:** TM46

**文献标识码:** A

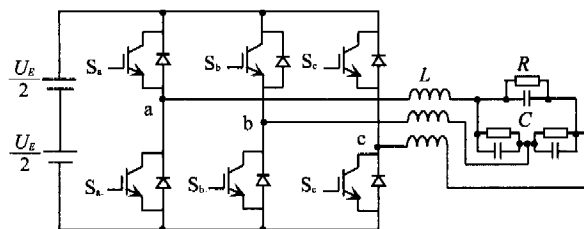
对于电压型逆变器来说,需要解决的关键问题在于如何根据给定的参考量产生 PWM 开关信号.就 PWM 而言,本质在于优化开关函数,使得逆变器按一定规律输出电压或电流.一般多采用两种 PWM 控制的算法,即 SPWM 算法和 SVPWM 算法.与 SPWM 算法相比,SVPWM 算法的主要优点是:物理概念清晰,算法简单,适合于数字实现;直流电压利用率比采用 SPWM 算法时高 15.47%<sup>[1]</sup>;在调控输出电压基波大小的同时亦可减少输出电压中的谐波;能减少逆变器状态转换时开关管状态转换的次数,也就是说在得到同样的输出电压波形质量的情况下,开关器件的工作频率可以更低<sup>[2]</sup>,进而可以有效地降低开关损耗.因此 SVPWM 技术得到了广泛的应用.

本文从电压矢量控制的基本原理出发,给出了 SVPWM 算法在 TMS320LF2407 上实现的软件流程.实际编程实现了 SVPWM 波形输出.系统具有控制精度高、实时性强、软件编制容易等优点.

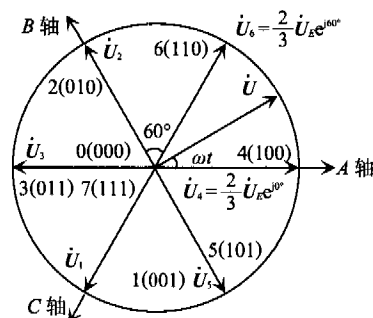
## 1 实现 SVPWM 的算法推导

图 1(a)为典型的三相逆变器结构.引入开关状态函数,定义每一桥臂上管开通时为 1,下管开通时为 0.通过控制三相逆变器的 6 只开关管,可得到 8 种开关状态:0(000)、1(001)、2(010)、3(011)、4(100)、5(101)、6(110)、7(111),每种状态对应唯一的输出线电压瞬时值矢量,如图 1(b)所示.其中  $\dot{U}_0$ 、 $\dot{U}_7$  为零矢量,其余 6 种状态为非零矢量,共分为 6 个扇区.

三相电压瞬时值可以用图 2 中的一个以角速



(a) 三相逆变器电路结构



(b) 6个特定的空间矢量及旋转电压矢量  $\dot{U}$

图 1 SVPWM 控制原理

度  $\omega = 2\pi f$  的空间旋转电压矢量  $\dot{U}$  来表示.当  $\dot{U}$  遍历圆轨迹时,形成三相瞬时输出电压.理论证明,当  $\dot{U}$  落入某一子扇区后,用该子扇区的两个边界矢量和零矢量去合成  $\dot{U}$  可得到最佳合成效果<sup>[3]</sup>.

设一个开关周期  $T_s$  内,  $\dot{U}$  按逆时针方向旋转,一个边界矢量  $\dot{U}_x$  作用时间为  $T_x$ ,另一边边界矢量  $\dot{U}_y$  作用时间为  $T_y$ ,零矢量作用时间为  $T_0$ .则有

$$T_s = T_x + T_y + T_0 \quad (1)$$

根据伏秒平衡原理可得

$$\dot{U} T_s = \dot{U}_x T_x + \dot{U}_y T_y + \mathbf{0} \times T_0 \quad (2)$$

即

$$\dot{U} = \dot{U}_x \frac{T_x}{T_s} + \dot{U}_y \frac{T_y}{T_s} \quad (3)$$

这就是一般空间电压矢量的合成公式,其关键在于  $T_x$ 、 $T_y$ 、 $T_0$  的计算。

用DSP控制器的空间矢量状态机来实现变频要求时,需要求出在一个调制周期  $T_s$  内2个有效空间矢量  $\dot{U}_x$  和  $\dot{U}_y$  的持续时间  $T_x$  和  $T_y$ ,以及零矢量的作用时间  $T_0$ 。

下面以第1扇区中  $\dot{U}$  的合成过程为例,简要分析  $T_x$ 、 $T_y$ 、 $T_0$  的计算公式,并设  $\dot{U}$  的相角为  $\theta$ ,幅值为  $U_m$ ,如图2所示。

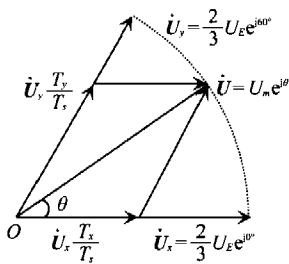


图2 空间电压矢量的合成

其中

$$\begin{cases} \dot{U}_x = \frac{2}{3} U_E e^{j0} & \dot{U}_y = \frac{2}{3} U_E e^{j60} \\ \dot{U} = U_m e^{j\theta} & \theta = \omega t \end{cases} \quad (4)$$

将式(4)代入式(3)可得

$$\begin{cases} \frac{T_x}{T_s} = \sqrt{3} \frac{U_m}{U_E} \sin(60^\circ - \theta) \\ \frac{T_y}{T_s} = \sqrt{3} \frac{U_m}{U_E} \sin \theta \\ \frac{T_0}{T_s} = 1 - \sqrt{3} \frac{U_m}{U_E} \cos(30^\circ - \theta) \end{cases} \quad (5)$$

设  $k_x = \sqrt{3} U_m / U_E$ ,  $x$  为每个子扇区逆时针方向的起始边缘矢量,则  $x$  分别为  $0^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $240^\circ$ 、 $300^\circ$ 。那么在其他5个扇区时,矢量旋转公式为

$$\begin{cases} \frac{T_x}{T_s} = k_x \sin(x + 60^\circ - \omega t) \\ \frac{T_y}{T_s} = k_x \sin(\omega t - x) \\ \frac{T_0}{T_s} = 1 - k_x \cos(x + 30^\circ - \omega t) \end{cases} \quad (6)$$

则式(6)适用于全空间6个扇区的旋转矢量,当  $\dot{U}$  按顺时针方向旋转时亦可得到与逆时针方向旋转时相类似的结果。

式(6)定义为旋转矢量统一公式<sup>[3]</sup>,是空间矢量状态机实现变频的关键公式。可以看出,改变  $k_x$  可以调节输出电压幅值;改变  $\omega$  可以调节输出电压的频率,并且只要事先建好正弦表,就可以比较容易地编程实现。

## 2 基于DSP生成SVPWM波的软件流程

按文献[4]给出的软件流程进行编程时较为复杂,冗余成分多,为此本文利用式(6),进行一些相应的改进,以简化程序。

初始化流程设置比较控制寄存器COMCONA、比较寄存器CMPR1、定时器1周期寄存器、全比较动作控制寄存器ACTRA、死区控制寄存器DBTCONA和通用定时器1的控制寄存器T1CON,并根据  $T_s$  设置T1PR。

编程时需预先建立2个表:①根据旋转方向确立的ACTRA的值(共6个),②CMPR1的值。例如,一个扇区取3个值。根据式(6)可算出CMPR1的值(共3个),建立一个表,并在初始化时设置ADDR=0, COUNT=0。

空间矢量状态机的初始化流程如图3(a)所示,中断服务流程如图3(b)所示。中断服务流程根据

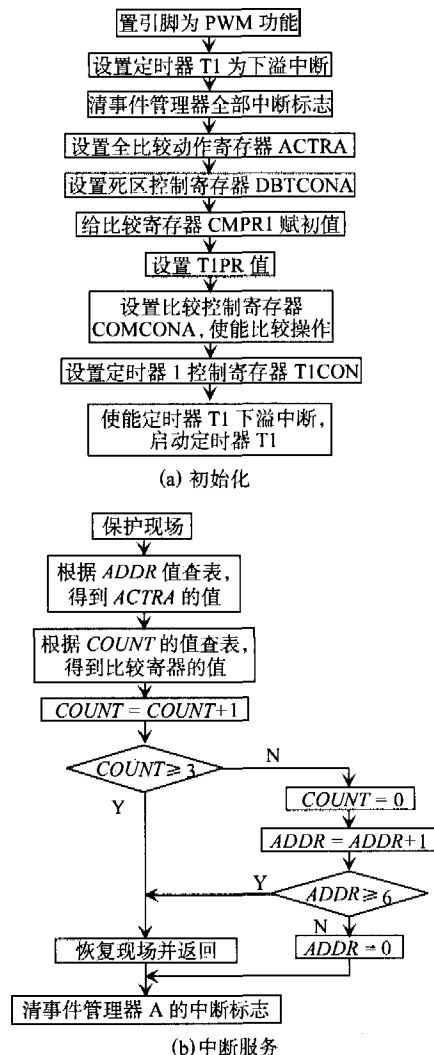


图3 软件工作流程

空间矢量的旋转方向SVDIR、给定的频率  $\omega$  和电压  $k_x$ ,计算出  $T_x$  和  $T_y$  的值并设置到全比较寄存器CMPR1和CMPR2,为下个调制周期做准备。

### 3 实验结果

实际制作了一个三相逆变器样机. 输入电压为三相AC 380V/50 Hz, 输出电压AC 220V/400 Hz. 负载采用三角形接法, 滤波电感  $L = 1$  mH, 滤波电容  $C = 10$   $\mu$ F. 开关管采用3单元模块IGBT CM50TF-24H, 开关频率4.8 kHz.

图4为实验波形. 程序中设定的开关频率为4.8 kHz, 每个周期开关10次, 但理论上应为12次, 所丢失的两段为相邻两扇区所共用,  $U_{ab}$  波形上无法看出. 图4(c)为经感容滤波后的输出线电压波形(频率400 Hz), 波形比较平滑, 谐波成分并不十分明显, 输出波形的正弦度很好.

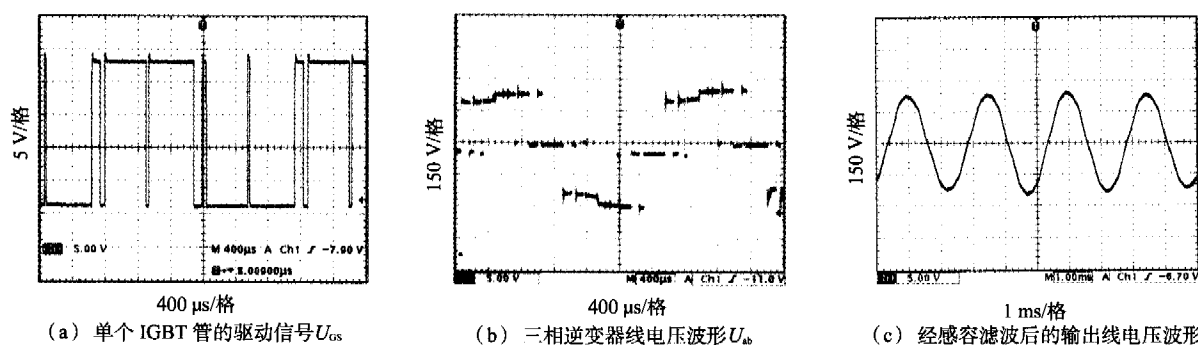


图4 实验波形

### 4 结论

本文分析了TMS320LF2407实现SVPWM的方法, 实验结果表明:(1)在一个PWM周期内总有一个桥臂保持不变, 这样就减少了开关次数, 降低了开关损耗.(2)变频器输出波形的正弦度很好, 通过合理安排零矢量作用时间可有效改善PWM谐波特性.(3)用DSP实现SVPWM算法简单, 易于编程.

#### 参考文献:

- [1] 张纯江, 漆汉宏. 空间矢量PWM与正弦PWM的比较研究[J]. 信息技术, 2000, (5): 1-2.
- [2] 陈坚. 电力电子学—电力电子变换和控制技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [3] 赵洪涛. 空间矢量脉宽调制方法与三相四桥臂逆变器研究[D]. 武汉: 空军雷达学院, 2005.
- [4] 章云, 谢莉萍, 熊红艳. DSP控制器及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

## Design of the SVPWM Controlled Three-phase Inverter With DSP

SHI Lei<sup>1</sup>, CHEN Yuan-di<sup>2</sup>, ZHU Zhong-ni<sup>2</sup>

(1. Department of Graduate Management, AFRA, Wuhan 430019, China; 2. Department of Electronic Countermeasures, AFRA, Wuhan 430019, China)

**Abstract:** By analyzing the SVPWM algorithm, the method to make SVPWM waveform with DSP and the software operation flow were presented. A 400 Hz, 2.5 kW three-phase inverter prototype was made, and a part of the experimental parameters and waveforms given.

**Key words:** space voltage vectors; pulse width modulation (PWM); digital signal processor (DSP); three-phase inverter

(上接第281页)

## I-V Characteristics of BIT/PLZT/BIT Multilayer Ferroelectric Films

YI Tu-lin, ZHANG Ying, XIE Yan-ding

(Department of the Basics, AFRA, Wuhan 430019, China)

**Abstract:** In order to prevent reaction and mutual diffusion between PLZT-semiconductor interface, based on PLZT and BIT's ferroelectric characteristics, the multilayer ferroelectric film was prepared by using pulsed excimer laser deposition. The I-V characteristics curve was measured and analyzed. The results show that this structural film has taken the advantage of PLZT and BIT, and thus its ferroelectric characteristics has been improved, which can provide the basis for further research of the storage characteristics of the film.

**Key words:** BIT/PLZT/BIT multilayer ferroelectric film; ferroelectric characteristics; I-V characteristics; pulsed excimer laser deposition (PLD)