维普资讯 http://www.cqvip.com

通信电源技术
2007年11月25日第24卷第6期 Telecom Power Technologies Nov. 25, 2007, Vol. 24 No. 6

文章编号:1009-3664(2007)06-0027-03

研制开发

基于TMS320F2812的SVPWM快速算法实现

乔之勇[1],王维庆[1],张笑微[2]
(1.新疆大学,新疆 乌鲁木齐 830008 2.西南科技大学,四川 绵阳 621002)

摘要:文中详细介绍了空间电压矢量调制(SVPWM)的基本原理和开关作用时间的快速算法,以及如何用TI公司的DSP电机控制芯片TMS320F2812以软件方式实现SVPWM波,并给出了试验结果。该实现方法具有编程简单、占用CPU少、实时性好、直流电压利用率高等优点。

关键词:空间电压矢量;脉宽调制;快速算法;TMS320F2812
中图分类号:TM391 **文献标识码**:A

Realization of Fast Algorithm of SVPWM Based on TMS320F2812

QIAO Zhi-yong[1], WANG Wei-qing[1], ZHANG Xiao-wei[2]
(1. Xinjiang University, Wulumuqi 830008, China 2. South West University of Science and Technology, Mianyang 621002, China)

Abstract: In this paper, the principle of space vector pulse width modulation (SVPWM) and fast algorithm for switching time are discussed in detail. And the soft method of realizing SVPWM by TMS320F2812 is introduced. The experimental result is given. This method have the advantage of faster real time and higher using rate of DC.

Key words: space vector; pulse width modulation; fast algorithm; TMS320F2812

0 引 言

空间电压矢量调制(SVPWM)是从电动机的角度出发,其目标是使交流电动机产生圆形磁场。相比于正弦波调制(SPWM),具有电压利用率高(其输出电压比SPWM的高出15.5%)且易于数字化实现等优点。

传统的SVPWM算法中,矢量控制时间的获得需要在线实时计算三角函数,影响了控制系统的实时性要求,本文所使用的SVPWM快速算法通过离线计算各扇区的转换矩阵避免了复杂三角函数的计算。

TMS320F2812芯片系TI公司于2003年底推出的32位定点DSP,是一款高性能的、满足电机实时性控制要求的控制器。工作频率最高可达150 MHz,利用事件管理器模块EV可用方便地使用硬件和软件的方法产生SVPWM波。所以利用TMS320F2812产生SVPWM波具有硬件结构简单、控制精度高、实时性强且易于软件编程等优点。

本文详细介绍了SVPWM的基本原理及开关作用时间快速算法,给出了利用TMS320F2812实现该快速算法的具体方法以及试验结果。

1 SVPWM基本原理

三相电压型逆变器,如图1所示。利用这种逆变器功率开关管的开关状态和顺序组合,以及开关时间的调整,以保证电压空间矢量圆形运行轨迹为目标,就可以产生谐波较少、且直流电源电压利用率较高的输出。

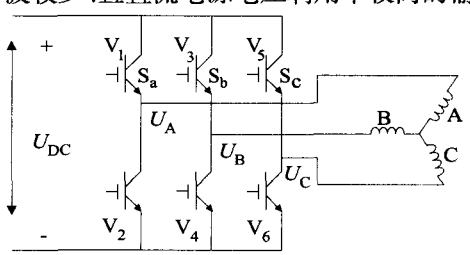


图1 三相电压型逆变器

V_1~V_6是6个功率开关管,S_a、S_b、S_c代表3个桥臂的开关状态。规定:当上桥臂开关管为"开"状态、下桥臂开关管为"关"状态时,开关状态为1;反之开关状态为0。因此S_a、S_b、S_c三个开关状态形成000、001、010、011、100、101、110、111共8种开关模式。其中000和111为零状态,其余为非零状态。

逆变器输出的合成电压空间矢量为:

$$\boldsymbol{U}=\frac{2}{3}(\boldsymbol{U}_A+e^{j\frac{2\pi}{3}}\boldsymbol{U}_B+e^{j\frac{4\pi}{3}}\boldsymbol{U}_C) \quad (1)$$

开关状态矢量$[\boldsymbol{S}_a,\boldsymbol{S}_b,\boldsymbol{S}_c]^T$与三相逆变器输出压矢量$[\boldsymbol{U}_A,\boldsymbol{U}_B,\boldsymbol{U}_C]^T$的关系为:

$$\begin{bmatrix}\boldsymbol{U}_A\\ \boldsymbol{U}_B\\ \boldsymbol{U}_C\end{bmatrix}=\frac{1}{3}\boldsymbol{U}_{DC}\begin{bmatrix}2&-1&-1\\ -1&2&-1\\ -1&-1&2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\boldsymbol{S}_a\\ \boldsymbol{S}_b\\ \boldsymbol{S}_c\end{bmatrix} \quad (2)$$

将$[\boldsymbol{S}_a,\boldsymbol{S}_b,\boldsymbol{S}_c]^T$的8种开关模式分别代入式(2)得相应的8组相电压,再将8组相电压值分别代入(1)式,便可得到开关模式所对应的8个基本电压空间矢量0_{000}、$\boldsymbol{U}_{100}$、$\boldsymbol{U}_{110}$、$\boldsymbol{U}_{010}$、$\boldsymbol{U}_{011}$、$\boldsymbol{U}_{001}$、$\boldsymbol{U}_{101}$、0_{111}(其中0_{000}、0_{111}为零矢量,其余6个为非零矢量)。

收稿日期:2007-05-15
作者简介:乔之勇(1978-),男,四川绵阳人,硕士研究生,研究方向为电力电子变频技术。

维普资讯 http://www.cqvip.com

在DSP程序计算中，为了计算方便，需要将三相ABC平面坐标转换到 $\alpha\beta$ 平面直角坐标系中，转换矩阵为：

$$\boldsymbol{T}_{ABC\to\alpha\beta}=\sqrt{\frac{2}{3}}\begin{bmatrix}1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2}\\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2}\end{bmatrix} \tag{3}$$

即：

$$\begin{bmatrix}\boldsymbol{U}_\alpha\\ \boldsymbol{U}_\beta\end{bmatrix}=\sqrt{\frac{2}{3}}\begin{bmatrix}1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2}\\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\boldsymbol{U}_A\\ \boldsymbol{U}_B\\ \boldsymbol{U}_C\end{bmatrix} \tag{4}$$

将8组$[\boldsymbol{U}_A、\boldsymbol{U}_B、\boldsymbol{U}_C]^T$分别代入(4)，便得到 $\alpha\beta$ 平面直角坐标系下的8个基本空间电压矢量，其中的6个非零矢量将平面分为6个扇区。如图2所示。

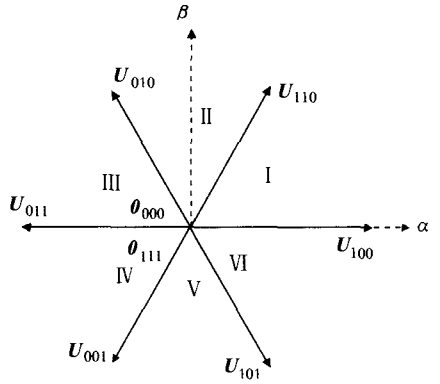


图2 αβ坐标系下的基本空间电压矢量

为了获得圆形旋转磁场，就需要更多的空间电压矢量，我们可以利用6种非零基本电压空间矢量的线性时间组合来得到任意的电压空间矢量。如图3所示，$\boldsymbol{U}_{ref}$为给定的任意参考电压空间矢量，其幅值为三相输出相电压幅值，参考电压空间矢量给得越多，旋转磁场就越接近于圆形。

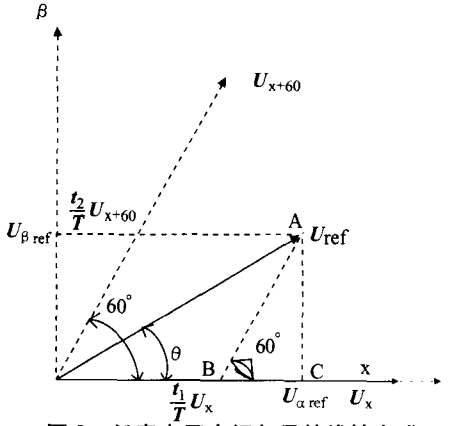


图3 任意电压空间矢量的线性合成

$\boldsymbol{U}_{ref}$可以通过两相邻基本电压空间矢量进行线性相加而得到：

$$\boldsymbol{U}_{ref}=\frac{t_1}{\boldsymbol{T}}\boldsymbol{U}_x+\frac{t_2}{\boldsymbol{T}}\boldsymbol{U}_{x+60} \tag{5}$$

其中：$\boldsymbol{T}$ 为 $\boldsymbol{U}_{ref}$ 的作用时间；t_1 为 $\boldsymbol{U}_x$ 作用时间；t_2 为 $\boldsymbol{U}_{x+60}$ 作用时间。

SVPWM方法的关键就是计算开关作用时间 t_1 和 t_2，传统算法是直接利用 $\boldsymbol{U}_{ref}$ 与 $\boldsymbol{U}_x$、$\boldsymbol{U}_{x\pm60}$ 矢量相加得到：

$$\left.\begin{aligned}t_1&=\frac{2|\boldsymbol{U}_{ref}|}{\sqrt{3}|\boldsymbol{U}_x|}\boldsymbol{T}\sin(60°-\boldsymbol{\theta})\\ t_2&=\frac{2|\boldsymbol{U}_{ref}|}{\sqrt{3}|\boldsymbol{U}_{x\pm60}|}\boldsymbol{T}\sin\boldsymbol{\theta}\end{aligned}\right\} \tag{6}$$

由于当逆变器输出零矢量 0_{000}、0_{111} 时，电动机的定子磁链矢量是不动的，因此根据这个特性可在 $\boldsymbol{T}$ 中加入零矢量作用时间 t_0，使得：

$$\boldsymbol{T}=t_1+t_2+t_0 \tag{7}$$

这样，可以通过调节 t_0 来调节角频率 ω，从而达到变频的目的。零矢量的添加以使开关次数最少为原则来选择 0_{000}、0_{111}。

2 开关作用时间的快速算法

本文采用一种快速算法来计算各矢量的开关作用时间，从而可以避免三角函数的计算，保证系统实时性的要求。

如图3所示，假设给定参考电压空间矢量在第Ⅰ扇区中，在Rt△ABC中有：

$$\begin{cases}\dfrac{t_2|\boldsymbol{U}_{60}|}{\boldsymbol{T}}=\dfrac{\boldsymbol{U}_{\beta ref}}{\sin60°}\\ \boldsymbol{U}_{\alpha ref}=\dfrac{t_1|\boldsymbol{U}_0|}{\boldsymbol{T}}+\dfrac{\boldsymbol{U}_{\beta ref}}{\tan60°}\end{cases} \tag{8}$$

再由：

$$|\boldsymbol{U}_0|=|\boldsymbol{U}_{60}|=\sqrt{\frac{2}{3}}\boldsymbol{U}_{DC} \tag{9}$$

从而：

$$\begin{bmatrix}t_1\\ t_2\end{bmatrix}=\frac{\boldsymbol{T}}{\boldsymbol{U}_{DC}}\begin{bmatrix}\frac{3}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2}\\ 0 & \sqrt{3}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\boldsymbol{U}_{\alpha ref}\\ \boldsymbol{U}_{\beta ref}\end{bmatrix} \tag{10}$$

同理，可计算出其它扇区的矩阵表达式，如表1所示。由此可见，只要知道各参考电压空间矢量对应的 $\boldsymbol{U}_{\alpha ref}$、$\boldsymbol{U}_{\beta ref}$ 分量，再根据其所在扇区选择相应的计算矩阵，进行简单的四则运算就能计算出各开关状态的作用时间。

3 扇区号的确定

扇区号的确定可用下列方法进行。定义变量：

$$\begin{cases}\boldsymbol{B}_0=\boldsymbol{U}_{\beta ref}\\ \boldsymbol{B}_1=\boldsymbol{U}_{\alpha ref}-\dfrac{\boldsymbol{U}_{\beta ref}}{\sqrt{3}}\\ \boldsymbol{B}_2=-\boldsymbol{U}_{\alpha ref}-\dfrac{\boldsymbol{U}_{\beta ref}}{\sqrt{3}}\end{cases} \tag{11}$$

再由下式计算 $\boldsymbol{P}$ 值：

$$\boldsymbol{P}=4\mathrm{sign}(\boldsymbol{B}_2)+2\mathrm{sign}(\boldsymbol{B}_1)+\mathrm{sign}(\boldsymbol{B}_0) \tag{12}$$

可根据 $\boldsymbol{P}$ 值查表2获得扇区号。

维普资讯 http://www.cqvip.com

表1 各扇区矢量作用时间转换矩阵

扇区Ⅰ	扇区Ⅱ
$\begin{bmatrix} \frac{3}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & \sqrt{3} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{3}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{3}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}$
扇区Ⅲ	扇区Ⅳ
$\begin{bmatrix} 0 & \sqrt{3} \\ -\frac{3}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\frac{3}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & -\sqrt{3} \end{bmatrix}$
扇区Ⅴ	扇区Ⅵ
$\begin{bmatrix} -\frac{3}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{3}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & -\sqrt{3} \\ \frac{3}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}$

表2 P值与扇区号的对应关系

P	1	2	3	4	5	6
扇区号	1	5	0	3	2	1

4 基于TMS320F2812的SVPWM实现

TMS320F2812的SVPWM实现有软件法实现和硬件实现两种方法。硬件实现采用五段式PWM波形，该方法编程简单、开关损耗小，但由于五段式PWM波形集中将零矢量插入，输出谐波较大，使得低速时会明显出现走走停停的不平稳状态。

本文用软件法实现对称SVPWM，选择最常用的七段式SVPWM波形，它具有输出谐波较小的优点。该波形由3段零矢量和4段相邻的非零矢量组成，3段零矢量分别位于PWM波的开始、中间和结尾，如图4所示为第Ⅰ扇区的七段式SVPWM波形。

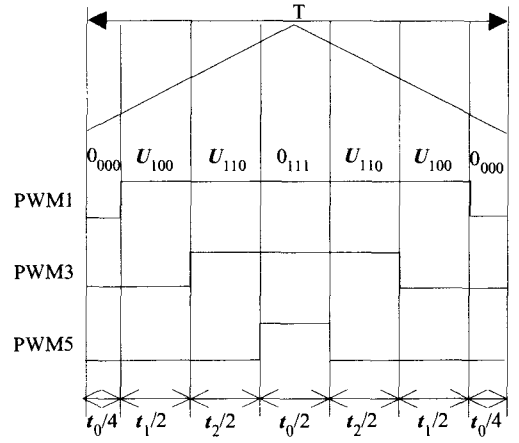


图4 第Ⅰ扇区的七段式SVPWM波形

程序由主程序和定时器下溢中断子程序组成。主程序的工作主要是初始化，并将外部输入的频率调节比转换成角频率，根据U/F曲线确定参考电压的幅值。中断子程序的工作是在每一个PWM周期里，计算出下一个周期PWM周期的三个比较寄存器的比较值，并送入到比较寄存器中。

需要说明的是，由于TMS320F2812为32位定点DSP，所有的数据都须按Q格式进行放大处理以保证计算的精度；计算$U_{\alpha ref}$、$U_{\beta ref}$分量所需的正弦值和各扇区的作用时间转换矩阵都按Q格式进行处理后存放在ROM中。中断子程序流程图如图5所示（图中的时间值均已转换为计算周期个数）。

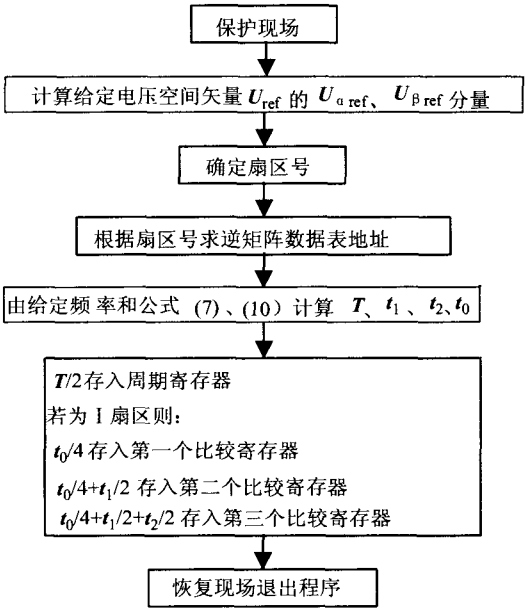


图5 T1下溢中断子程序流程图

5 试验结果及结论

用C语言编程，并应用于驱动三相异步电机输出波形如图6所示。根据试验结果得出如下结论：

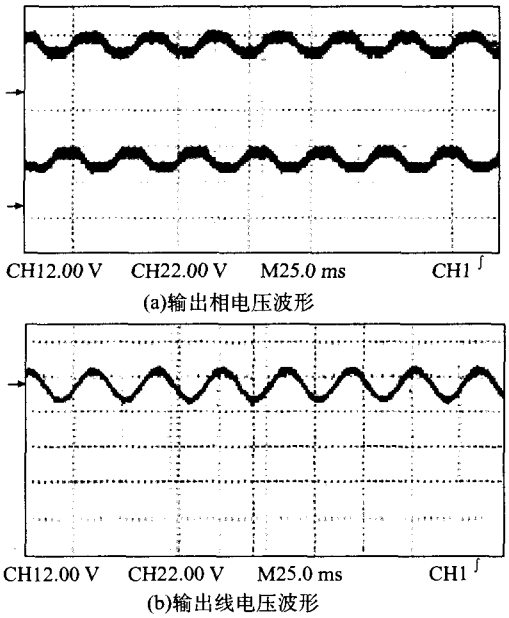


图6 逆变器输出电压波形

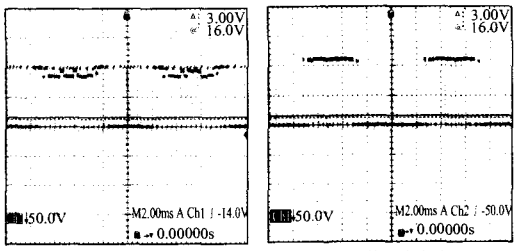
（1）由于DSP自带的事件管理器（EV），基于TMS320F2812的SVPWM实现具有硬件结构简单、

（下转第32页）

维普资讯 http://www.cqvip.com

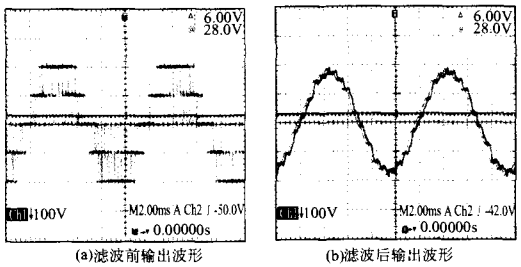
4 试验波形

试验中，一个周期中的矢量拍数设定为18拍，用TDS3000B系列数字式荧光示波器拍摄的主电路T_1管驱动波形如图4(a)所示，T_2管驱动波形如图4(b)所示，AB相电压未滤波前的输出波形如图5(a)所示，AB相电压滤波后的输出波形如图5(b)所示。



(a)T_1管驱动被形 (b)T_2管驱动被形

图4 主电路T_1、T_2管波形



(a)滤波前输出波形 (b)滤波后输出波形

图5 滤波前、后输出相电压波形

5 结 论

基于三电平矢量发生的逆变实验系统平台制作的矢量发生器用于主电路，得到较为理想的实验结果。

参考文献：

[1] 肖庆恩. 基于DSP数字控制的三电平逆变器的研究[D]. 南京：南京航天航空大学硕士论文，2005.
[2] 李永东，肖 曦，高 跃，等. 大容量多电平变换器——原理、控制和应用[M]. 北京：科学出版社，2005.
[3] 吴学智，刘亚冬，黄立培. 三电平电压型逆变器空间矢量调制算法的研究[J]. 电工电能新技术，2002，10：21-24.
[4] 薄保中. 多电平逆变器PWM控制技术的研究[D]. 西安：西安交通大学博士论文 2002.4.
[5] 吴洪洋，多电平变换器及其相关技术研究[D]. 杭州：浙江大学博士学位论文，2001.

(上接第29页)

编程容易等优点；

(2)由于每周期内只发生一次中断，加之快速算法的使用，回避了在线实时计算正弦函数值，使得占用CPU较少，系统实时性好。

(3)用软件方法实现的七段式SVPWM波，逆变器输出具有波形好、谐波含量少、电压利用率高等优点。

参考文献：

[1] 徐德鸿. 电力电子系统建模及控制[M]. 北京：机械工业出版社，2005.
[2] Texas Instruments. TMS320 F2810, TMS320 F2811, TMS320 F2812, TMS320 C2810, TMS320 C2811, TMS320 C2812, Digital Signal Processors Data Manual [Z]. 2005.
[3] Texas Instruments. TMS320F28x DSP Event Manager (EV) reference Guide[Z]. 2003.
[4] 吴凤江. 基于DSP的SVPWM快速算法研究[J]. 电气传动，2006，(9)：28-31.

行业信息

多款UPS电源上市 四通HO/SD系列打头阵

UPS是非常可靠的稳压设备和防止停电的设备。如果电脑或者其他设备经常由于电压不稳或者停电等情况而断电重启的话对机器内部的元件损耗是很大的，这个时候用户就需要UPS来稳定电压并延迟断电来保护电脑、外设、工控机、信息家电以及收银、税控等系统。UPS的应用领域十分广泛。对于PC用户来说，一台后备式小功率UPS就可以很好地满足应用需求，四通HO系列UPS是专为个人电脑设计的产品，体积轻巧且外观稳重时尚，节省了使用者的空间；拥有断电保护功能，拥有良好的稳压功能，全方位的保护个人电脑等设备；金属外壳能屏蔽周边的电磁辐射；另有电话防雷接口，可避免来自电话线的雷击波影响；特色功能还是相当不少的。

四通SD系列属于商用电源，面板设计简洁明了。在工作时绿灯亮，UPS自动稳压，向设备供电，并保持自动充电状态。一旦电力中断或者电压失真严重时，UPS随时转入后备电池供电，也由绿灯变为红灯闪烁并发出鸣叫。此时用户就要对设备进行存盘关机处理了，不会影响正常的数据，比如像四通SD-1000这样的UPS负载能力，可以支持2～3台电脑同时使用。非常适合小型办公环境使用，性价比非常的好。

(摘自：中原硅谷网)