



基于TMS320F240型DSP空间矢量PWM调制(SVPWM)的编程实现

分析了空间矢量调制(SVPWM)的基本原理。介绍了用面向电机控制的TMS320F240型DSP实时产生空间矢量PWM的原理以及软件实现方法。该DSP具有速度快、精度高等优点,而且其波形为正弦波,低次谐波分量很少,算法程序和硬件实施效果很理想。

崔 鹏 王 楠 刘少克 张文雅 国防科技大学

由于PWM变换器具有功率因数高、可同时实现变频变压及抑制谐波等特点,因此在交流传动及其他能量变换系统中得到了广泛的应用。最常用的PWM技术是正弦PWM(SPWM)。这种PWM的脉冲宽度按正弦规律变化,因此可以有效地抑制低次谐波,使电机工作在近似正弦的交变电压下,而且转矩脉动小,从而大大扩展了交流电机的调速范围。虽然SPWM已被广泛用于逆变器中,但传统的由高频三角波与调制波比较而生成PWM波的方式已不再适合全数字化方案的实现。80年代中期,国外学者把SPWM的概念扩展,即不但指电压正弦PWM,还包括磁通正弦PWM,即空间电压矢量PWM(SVPWM)。其方法简单且适合数字化系统。本文主要介

绍基于TMS320F240型DSP的SVPWM空间矢量算法的软件实现方法。现今不乏类似的文章,但都只给出了程序流程图,并没有具体算法程序,不便于使用者设计。笔者在DSP软件编程方面有多年的实践经验。在本文中提供的算法程序已在硬件上调试通过,而且实际效果理想。

TMS320F240型DSP简介

在早期的控制系统中,由于微处理器的速度和接口数量的限制,实现比较复杂的控制算法存在着诸多不便。为了满足电动机控制系统的发展需要,20世纪90年代末,美国德州仪器(TI)公司推出了TMS320x240x系列数字信号处理器(DSP),该系列DSP芯片专为实现高精度、高性能、功能多

样化的单片电动机控制系统或运动控制系统而设计,所以又被称为TMS320x240x系列DSP控制器。它将TI公司的高性能16位DSP核C2xLP和丰富的功能外设电路集成在单个芯片上,从而为设计小体积、低功耗、高可靠性、高性能的电动机控制系统提供了方便,同时也使系统整体成本大大降低。TMS320F240芯片就是其中典型的代表之一。该芯片执行速度很快,内部采用多总线的哈佛结构,流水作业,指令周期可达50ns。CPU具有32位中央算术逻辑单元和专用硬件乘法器,可在一个指令周期内完成一条16×16位的乘法运算。存储器可寻址存储空间224k字节,并有32k芯片内闪烁存储器(Flash)。TMS320F240具有丰富的事件管理器,包括三个16

位通用定时器；三个16位全比较单元及死区功能；在其四个捕获单元中，两个有正交编码器脉冲接口功能。此外还有12个比较/脉宽调制(PWM)通道(其中九个相互独立)和两路16通道10位模数转换器(ADC)，28个独立的可编程多路复用I/O引脚，以及串行通信接口(SCI)和串行外部设备接口(SPI)等。因而可方便地以此为核心搭建全数字化交流伺服系统硬件平台。图1为TMS320F240型DSP电机控制系统的总体结构图。

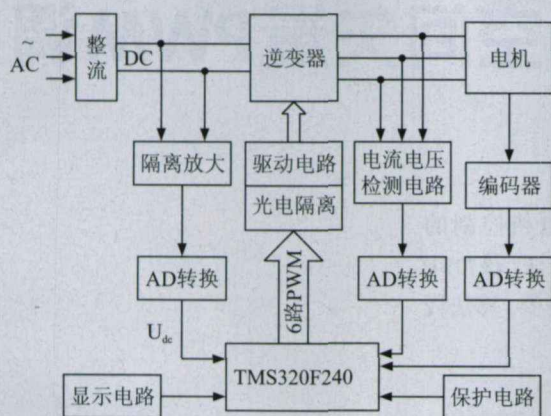


图1 电机控制系统的结构图

空间电压矢量脉冲宽度调制(SVPWM)原理

SVPWM调制方法的基本思想是以三相对称正弦波电压供电时交流电机的理想磁通为基准，用逆变器不同的开关模式所产生的实际磁通去逼近基准圆磁通，并由它们比较的结果决定逆变器的开关状态，从而形成PWM波。

在理想情况下，交流电机的磁通为圆形旋转矢量。图2为逆变器的简化拓扑图，图中定义了三个开关函数 S_a 、 S_b 、 S_c ，当 $S(a, b, c)=1$ 时，上半桥臂导通， $S(a, b, c)=0$ 是，下半桥臂导通。三个桥臂的开关只有 $2^3=8$ 个

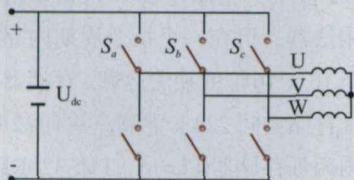


图2 三相逆变桥图

导通状态，其中包括6个非零矢量和2个零矢量。图3是8种导通状态及合成矢量用空间矢量图。

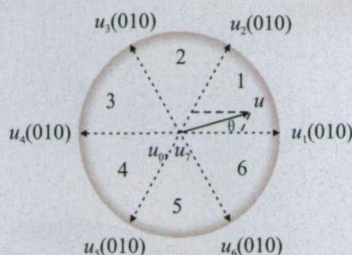


图3 电压矢量图

输出矢量由跟它相邻的两个矢量来合成，首先判断每个采样时刻输出

矢量所在的区间 x ， $x=1, 2, \dots, 6$ ，然后分别计算出相邻矢量 \vec{U}_x 的作用时间和零矢量 T_x 的作用时间 \vec{U}_0 ，下一个采样时刻重复上面的步骤，这样，依次改变上述8种矢量的作用时间，即可形成接近圆形的多边形电压矢量轨迹，最终合成

为所期望的电压矢量。由磁链和与电压矢量的关系式：可以推出各个电压作用的时间关系式： $\Delta\vec{\psi} = \vec{U} \cdot \Delta T$ 可以推出各个电压作用的时间关系式：

$$T_{pwm} \vec{U}_{out} = T_x \vec{U}_x + T_{x \pm 60} \vec{U}_{x \pm 60} + T_0 \vec{U}_0$$

式中， T_x 为对应电压矢量的作用时间； T_{pwm} 为采样周期； \vec{U}_{out} 为合成输出电压矢量。具体的参数求解方法可见参考文献^[1]。

软件实现

采用TMS320F240生成对称的SVPWM非常方便且精度很高。实际上，TMS320F240可以通过内嵌的空间矢量机来生成SVPWM。但要求出在一个调制周期 T_{pwm} 内，两个有效的空间矢量 \vec{U}_x 、 $\vec{U}_{x \pm 60}$ 的持续时间 T_x 、 $T_{x \pm 60}$ 。

下面分别给出初始化(图4)和中断服务流程(图5)和相应程序。其中初始化流程用来设置比较寄存器COMCON、全比较动作控制寄存器

ACTR、死区控制寄存器DBTCON、通用定时器1的控制寄存器TICON，并根据调制周期(频率) T_{pwm} 设置通用定时器1的定时周期寄存器TIPR。而中断服务流程则可根据给定的频率和电压值计算出 T_1 、 T_2 的值并设置到全比较寄存器CMPR1和CMPR2中，以为下个调制周期做准备。

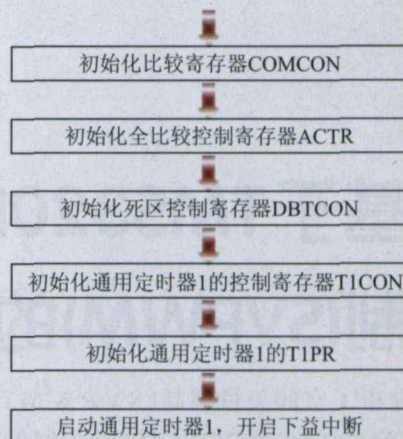


图4 初始化流程图

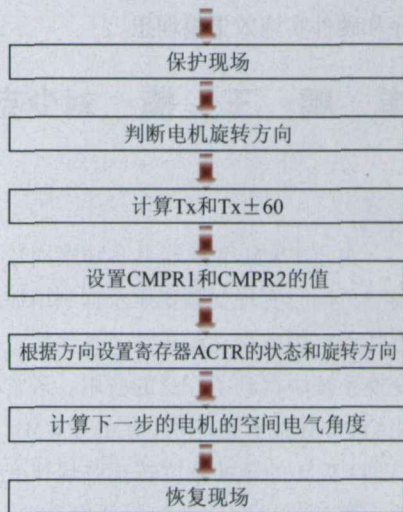


图5 中断服务程序流程图

初始化主程序如下：

*ACTR=0x0666；

*COMCON=0x1257； 初始化设置比较控制寄存器COMCON。

*COMCON=0x9257；

*DBTCON=0x20E0； 设置死区时间。

*TIPR=TP1； 定时器1的周期按照你的工作频率和采样周期来设置。

*TICNT=0； 定时器1的初始值

为0。

*GPTCON=0x002A; 设置通用定时器的控制寄存器, 让定时器1工作在连续增减模式。

*T1CON=0xE840; 设置定时器1的控制寄存器, 开启空间矢量状态机。

在中断程序中实现 SVPWM 算法如下:

```
int sector=0;
while(sector-theta>60) 判断电机
磁通矢量的电气角度所在的区域。
{sector=sector-60;}
i=(int)(60-sector+theta);
j=(int)(sector-theta);
k1=1.732*kp*sin[i];
k2=1.732*kp*sin[j];
t1=k1*TP1*2;    求得  $T_x$ 。
t2=k2*TP1*2;    求得  $T_{x \pm 60^\circ}$ 
cmpr1=(int)(t1/2);
cmpr2=(int)(t1/2+t2/2);
*CMPR1=cmpr1;    根据计算结
果给全比较寄存器1设值。
*CMPR2=cmpr2;    根据计算结
果给全比较寄存器2设值。
switch(sector) 根据所在区域,
选择全比较动作控制寄存器 ACTR 的
设置值。
```

```
{ case 0: *ACTR=0x1666;break;
case -60: *ACTR=0x5666;break;
case -120: *ACTR=0x4666;break;
case -180: *ACTR=0x6666;break;
case -240: *ACTR=0x2666;break;
case -300: *ACTR=0x3666;break;
default: break;}

theta=theta-360*f*tp; 计算下一
个采样周期的电机磁通电气角度值。
```

调试结果

本文所设计的 SVPWM 算法程序已在 TMS320F240 上调试成功, 说明该 DSP 设计中的硬件和软件都是正确的, 图6和图7分别为 TMS320F240 调

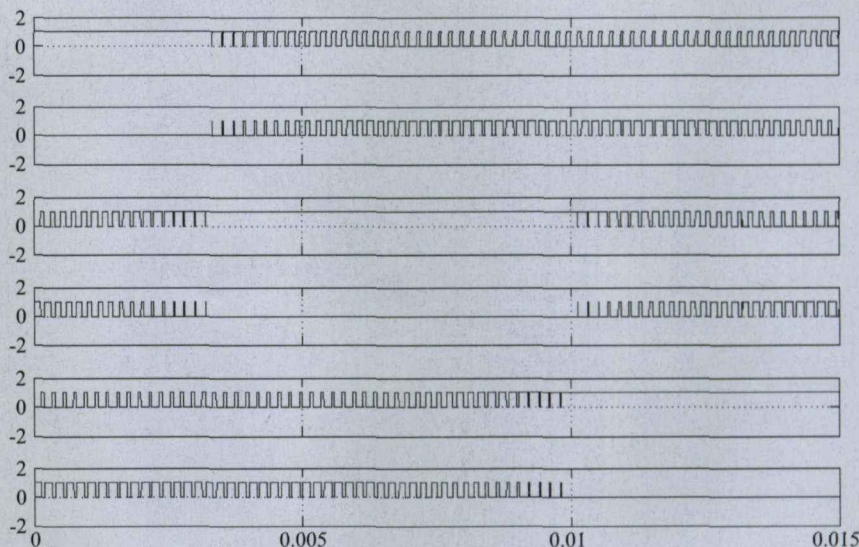


图6 三相 SVPWM 的输出波形

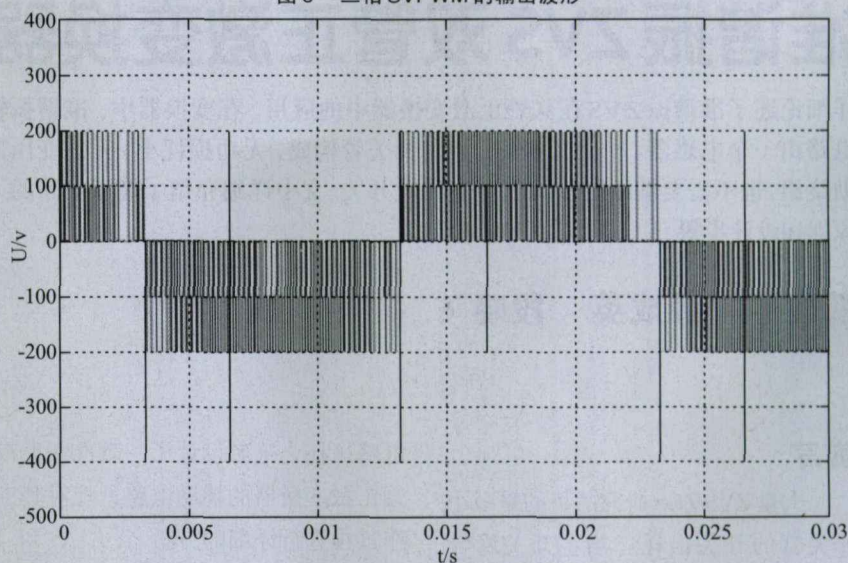


图7 逆变器输出电压波形

试后输出的三相 SVPWM 的波形和输入逆变器后逆变器的输出电压波形(图7)。图8为电机运行时的线电流波形。可以看出: 该波形为正弦波。除高频干扰外, 其余低次谐波分量很少。说明用该算法程序和硬件实施实现控制的效果很理想。 **ECD**

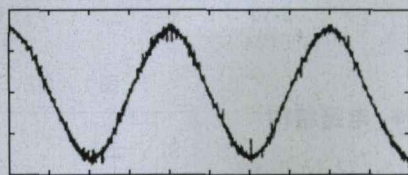


图8 电机电流波形

参考文献

[1] 李永东. 交流电机数字控制系统[M].

北京: 机械工业出版社, 2002.

[2] 章云, 谢莉萍, 熊红艳, 等. DSP 控制器及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

[3] 韩安太, 等. DSP 控制器原理及其在运动控制系统中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

[4] 张文雅. 直线感应电机参数辨识及速度观测方法的研究[D]. 国防科技大学硕士学位论文, 2004

[5] 夏加宽, 李皓东, 王成元. 基于 TMS320F240 的全数字化交流伺服控制系统设计[J]. 电工技术杂志, 2001, (11).