

基于DSP的三电平逆变器SVPWM调制研究

Study of Three-level Inverter SVPWM Based on DSP

西南交通大学 电气工程学院 梁英 庄圣贤 舒鑫东 马彩青

Liang Ying Zhuang Shengxian Shu Xindong Ma Caiqing

【摘要】本文介绍二极管箝位式三电平电压空间矢量脉宽控制的基本原理和实现方法；重点分析一种易于DSP实现的三电平PWM整流器空间矢量脉宽调制优化算法，该算法只需进行简单的坐标变换，再经过普通的算术运算即可计算出各基本矢量的作用时间。以TMS340F2812为控制平台，DSP主要实现系统的初始化和脉冲输出功能，最后用matlab/simulink仿真实验验证出实验结果，证明了方案的正确性。

【关键词】三电平逆变器 空间矢量脉宽调制 数字信号处理器

Abstract: In this paper, space vector pulse width modulation's basal theory and implementation method is addressed for three-level NPC inverter. An optimized SVPWM algorithm for three-level PWM rectifier is stress analyzed, which is well suited for DSP implementation. Just through some simple arithmetic operations, we can calculate the duration time of the basic vector, Using TMS340F2812 for controllability flat roof to realize the system of three-level inverter. Finally, the validity and correctness of proposed SVPWM method is confirmed by matlab/simulink experiment results.

Key words: Three-level inverter Space vector pulse width modulation Dsp

[中图分类号] TM464

[文献标识码] B

文章编号 1561-0330(2008)07-0055-04

1 引言

自1980年日本学者A.Nabae等人在IEEE工业应用年会上提出三电平中点箝位式结构以来，三电平逆变器便成为大容量、中高压电机调速的主要实现方式之一，作为其核心技术的脉宽调制(PWM)方法中，目前最受重视的是电压空间矢量脉宽调制法(SVPWM)^[1,2]。SVPWM优越性表现在：在大范围的调制比内有很好的性能；无需大量角度数据；母线电压利用率高；物理概念清晰；算法简单且适合数字化方案；适合于实时控制^[3]。因此这种控制方法是中外大功率变频产品中使用最为广泛的一种，也

是三电平逆变器研究的热点问题。

空间矢量的产生是SVPWM的关键环节，目前芯片制造商已经为两电平逆变器开发了专用的DSP芯片，可以方便的实现两电平逆变器的空间矢量产生功能。多电平逆变器由于开关器件和电平数的增加，矢量产生的复杂程度远大于两电平逆变器，当前还没有支持多电平逆变器矢量产生的专用DSP芯片，所以为多电平逆变器寻找一种简便且通用的空间矢量发生方法是研究者关注的问题。参考文献[4]提出了一种SVPWM优化算法，该算法无需开平方和反正切等复杂运算，只需将参考矢量转换到60°坐标系，

再经过简单的算术运算即可算出各基本矢量的作用时间。笔者在此基础上，试图改进一种易于DSP实现的三电平空间矢量脉宽调制优化控制算法，使得原本复杂的矢量发生变得更为简单些。

2 三电平逆变器的特点和基本原理^[3,5]

所谓三电平逆变器是指逆变器的交流侧的每相输出电压相对于直流侧的电压有三种取值的可能，即正端电压(+ $E_d/2$)、负端电压(- $E_d/2$)和中点零电位(0)，二极管箝位式三电平逆变器的拓扑结构如图1所示。

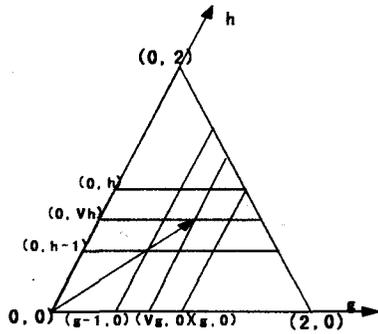


图4 新坐标系下 V_{ref} 投影图

$$V_{ref}^* = \sqrt{V_g^2 + V_h^2 - 2V_g V_h \cos \frac{2\pi}{3}}$$

3.2 区域判断和最近3个基本电压矢量的确定

在知道参考矢量在gh坐标系下的坐标 V_g 和 V_h 后, 很容易根据附表的条件判断其三角形区域和最近3个基本电压矢量。

附表 三角形区域判断及最近3基本矢量确定

判断条件	区域判断	最近3个基本矢量
$0 < V_g < 1, 0 < V_h < 1, V_g + V_h < 1$	A1	(0,0), (0,1), (1,0)
$0 < V_g < 2, 0 < V_h < 1, V_g + V_h < 2$	A2	(1,0), (2,0), (1,1)
$0 < V_g < 1, 0 < V_h < 1, V_g + V_h > 1$	A3	(0,1), (1,0), (1,1)
$0 < V_g < 1, 1 < V_h < 2, V_g + V_h < 2$	A4	(0,1), (0,2), (1,1)

3.3 计算被选择的基本矢量各自的作用时间

假设由上一步选择好的3个临近的基本矢量为 (g_1, h_1) , (g_2, h_2) , (g_3, h_3) , 它们对应的作用时间分别为 t_1, t_2, t_3 , 将选择好的基本矢量用于伏秒平衡方程组, 通过计算可以得出如下3个基本电压矢量的作用时间:

$$t_1 = \frac{(h_2 - h_3)V_g - (g_2 - g_3)V_h + T[(h_2 - h_3)g_3 - (g_2 - g_3)h_3]}{(h_2 - h_3)(g_1 - g_3) - (h_1 - h_3)(g_2 - g_3)}$$

$$t_2 = \frac{(h_3 - h_1)V_g - (g_3 - g_1)V_h + T[(h_3 - h_1)g_1 - (g_3 - g_1)h_1]}{(h_3 - h_1)(g_2 - g_1) - (h_2 - h_1)(g_3 - g_1)}$$

$$t_3 = \frac{(h_1 - h_2)V_g - (g_1 - g_2)V_h + T[(h_1 - h_2)g_2 - (g_1 - g_2)h_2]}{(h_1 - h_2)(g_3 - g_2) - (h_3 - h_2)(g_1 - g_2)}$$

由于他们相互之间只相差0或者1, 所以相对于 $\alpha\beta$ 坐标系矢量作用时间的计算运算量得到很大的简化。

3.4 输出电压矢量的作用顺序

在确定了进行合成的基本电压矢量和各个矢量的作用时间之后, 还必须确定3个基本电压矢量的作用顺序, 在这个环节上遵循以下原则:

(1)为了优化开关频率, 开关矢量应选择每次开关矢量变化时, 只有一个开关函数变动(即只有一相输出发生变

化), 从而减少开关损耗;

(2)为了控制的方便实现, 在一个开关周期中, 开关矢量的选择是对称的; 零矢量或者等效零矢量的作用时间是等分分配的。

以A扇区为例, 该空间被分为4个三角形区间, 按照前面的规定原则, 同时根据电压空间矢量调制理论可知: 在一个开关周期内开关矢量应该是对称的, 这样输出谐波最小。图5是一个A扇区矢量分配顺序图, 各电压矢量按节拍的分配用三相开关状态码表示。从图5中可以看到, 参考电压矢量无论落入A1~A4哪个小区域, 都由最近的三个矢量来合成替代, 其中有一对小矢量如A2中的ONN/POO算做同一个矢量, 首尾矢量OOO是作为矢量链条的链结。

其它五个扇区电压矢量分配顺序的生成与A扇区类

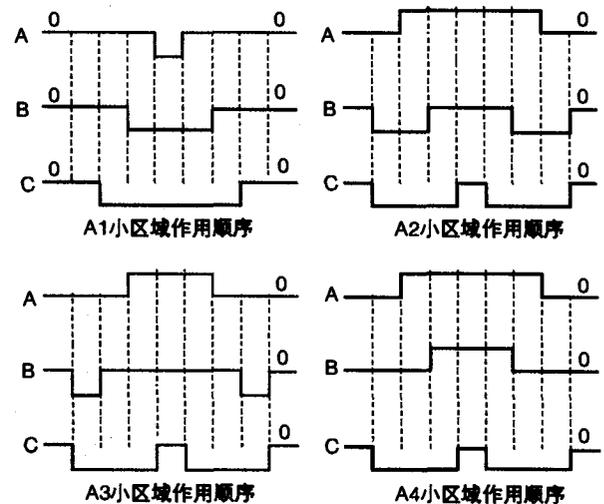


图5 A区电压矢量顺序

似, 本文限于篇幅不加赘述。具体实现时, 可以先将各个区域的电压矢量分配顺序制成表格存于DSP内, 然后用查表的方法实现信号的发送, DSP实现脉冲输出功能。

4 实验仿真^[3, 4, 6]

采用TMS320F2812DSP以及以DSP为核心的电路板组成, 这里DSP主要实现系统的初始化和脉冲输出功能, 用matlab/simulink仿真验证上述 SVPWM 算法的正确性。

系统仿真参数设置如下: 选用三相异步鼠笼电机, 额定功率 $P_N=4kW$, 额定线电压 $U_N=400V$, 额定频率 $f_N=50Hz$, 额定转速 $\omega_r=1430r/min$, 定子电阻 $R_s=1.405\Omega$, 转子电阻 $R_r=1.395\Omega$, 定子漏感 $L_{\sigma 1}=0.005839H$, 转子漏感 $L_{\sigma 2}=0.005839H$, 定子互感 $L_m=0.1722H$, 转动惯量 $J=0.0131kgm^2$, 极对数 $p=2$, 开关频率 $f=10kHz$, 直流母线电压 $V_{DC}=600V$, 直流侧电容 $C_1=C_2=1200\mu F$, 磁链幅值给定 $|\psi_r^*|=0.8Wb$ 。

(下转第106页)

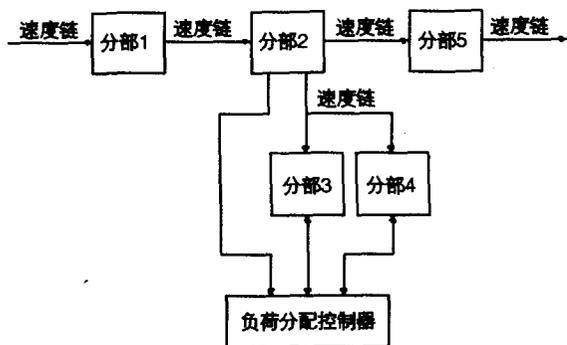


图11 负荷分配原理

示, 分部1和分部5传动组的前一级和后一级, 负荷分配以分部2为主传动, 分部3和分部4, 处于速度链的子链上。P_{2a}、P_{3a}、P_{4a}为三台电动机额定功率, P_a为额定总负载功率, P_a = P_{2a} + P_{3a} + P_{4a}。P为实际总负载功率, P₂、

P₃、P₄为电动机实际负载功率, 则 P = P₂ + P₃ + P₄。系统工作要求 P₂ = P * P_{2a} / P_a, P₃ = P * P_{3a} / P_a, P₄ = P * P_{4a} / P_a。负荷分配的目的就是使 P₂、P₃、P₄ 满足上述要求。

在实际控制过

程中, 电动机功率是间接量, 实际控制的是电动机的转矩(或转矩电流)百分量。

作者简介

李方园(1973-) 高级工程师

长期从事于变频器等现代工控产品的应用与研究。

参考文献

- [1] 李方园. 变频器行业应用实践. 北京: 中国电力出版社, 2006
- [2] 李方园. 变频器自动化工程实践. 北京: 电子工业出版社, 2007
- [3] 张燕宾, 胡纲衡, 唐瑞球. 使用变频调速技术培训教程. 北京: 机械工业出版社, 2004
- [4] 吴忠智, 吴加林. 变频器应用手册(第2版). 北京: 机械工业出版社, 2003, 4
- [5] 吴忠智, 黄立培, 吴加林. 调速用变频器及配套设备选用指南. 北京: 机械工业出版社, 2002

(上接第57页)

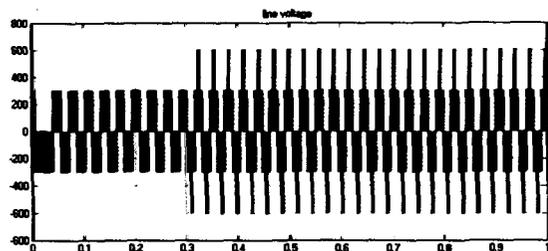


图6 相电压波形

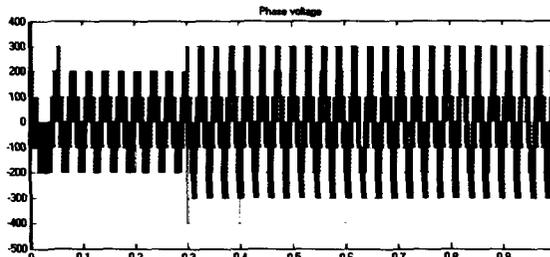


图7 线电压波形

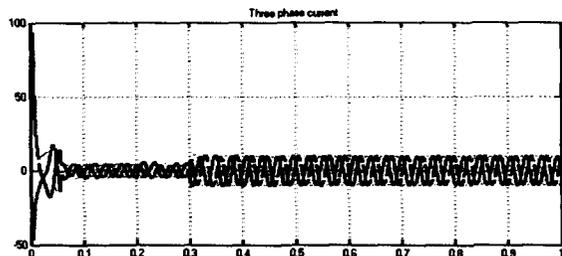


图8 三相电流波形

为了验证该算法, 现将系统的运行状态设定如下: t=0s时给定转速 $\omega_r = 100 \text{r/min} = 10.4 \text{rad/s}$, 空载启动; 在 t=0.3s 时, 突加负载转矩 T_L=20N·m 相关波形如图6~8所示。

5 结束语

以A扇区为例, 详细论述了三电

平逆变器电压空间矢量调制的工作原理和实现方法, 并对控制算法进行了详细地分析, 通过仿真结果证明了方案简单可行。

作者简介

梁英(1984-) 女 西南交通大学电气工程学院在读硕士, 主要研究方向为多电平逆变器技术与应用。

参考文献

- [1] Nabae A, Takahashi I, Akagi H. A new neutral-point-clamped PWM

inverter. IEEE Transactions on Industry Applications, 1981, 17(5): 518-523

- [2] 严干贵, 穆钢, 黄亚峰等. 叠层式悬浮电容逆变器的PWM控制方法. 电力电子技术, 2005, 39(5): 47-50
- [3] 谢鸣静. 一种新型的三电平SVPWM控制策略. 硕士学位论文. 西安理工大学, 2006
- [4] 张刚, 刘志刚, 刁利军等. 三电平PWM整流器SVPWM优化算法研究. 电力电子, 2007, 26(6): 53-55
- [5] 宋文祥, 陈国呈, 吴慧等. 一种三电平电压型逆变器空间矢量调制方法研究. 变频器世界, 2005(12): 45-49
- [6] 李春燕. 基于DSP的电源数字控制研究. 硕士学位论文. 南京航空航天大学, 2004