

三电平逆变器控制策略的改进研究

凌 臧^{1,2}, 谭国俊¹, 钱苗旺^{1,2}

(1.中国矿业大学, 江苏 徐州 221008;

2.江苏省电力传动与自动控制工程技术研究中心, 江苏 徐州 221008)

摘要:提出一种基于非直角坐标系的两电平 SVPWM 控制算法。在此基础上采用新型电压空间矢量脉宽调制 (SVPWM) 算法将三电平逆变器的电压空间矢量平面简化至两电平平面。在 DSP 中将两电平逆变器的电压空间矢量控制算法应用于三电平逆变器中。实验结果证明该算法实现简单, 性能良好。

关键词:逆变器; 空间矢量; 脉宽调制 / 非直角坐标系

中图分类号: TM464

文献标识码: A

文章编号: 1000-100X(2009)07-0003-02

An Improved SVPWM Control Method for Three-level Converter

LING Zang^{1,2}, TAN Guo-jun¹, QIAN Miao-wang^{1,2}

(1.China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China

2.Jiangsu Electrical Drive & Control Engineering Technology Research Center, Xuzhou 221008, China)

Abstract:This paper proposes a kind of non-rectangular coordinates, based on which a new algorithm of two-level inverter can be obtained. A novel simplified space vector pulse width modulation (SVPWM) method is implied to simplify the space-vector diagram of a three-level inverter into that of a two-level inverter. The space-vector module algorithm of a two-level inverter is applied to the three-level inverter with DSP. The experimental result verifies the effectiveness of SVPWM modulation algorithm, and the new method can get good performance in practice.

Keywords: inverter; space vector; pulse width modulation / non-rectangular coordinates

1 引言

三电平逆变器作为一种高压大容量功率设备, 在电路拓扑结构上克服了传统两电平逆变器的诸多缺点, 具有输出波形质量高, 开关频率低, 开关器件承受的电压应力小, 系统效率高等优点, 而且其较小的 du/dt 对电机绝缘也十分有利。

传统的三电平逆变器控制算法过于繁琐, 需要求解各个小三角形及其工作模式。基于 α, β 坐标系的经典三电平电压空间矢量脉宽调制 (SVPWM) 理论同样存在运算复杂的问题。文中采用非正交 60° 坐标系^[1-2], 将三电平电压空间矢量平面分解到两电平平面, 避免了三角函数等复杂的运算, 极大地简化了 SVPWM 算法。

2 改进的三电平 SVPWM 算法

2.1 60° 坐标系的两电平算法

采用的 60° 坐标系为 g, h 坐标系, 取 g 轴与 α 轴重合, 逆时针旋转 60° 即为 h 轴, 如图 1 所示。

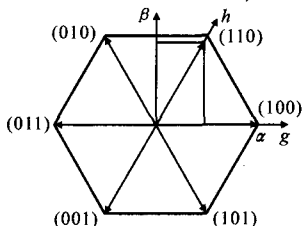


图 1 α, β 坐标系下两电平矢量图

由图 1 可得:

$$u_\alpha = u_g + u_h \cos 60^\circ, \quad u_\beta = u_h \sin 60^\circ \quad (1)$$

由此可推导出从 α, β 坐标系到 g, h 坐标系的变换公式为:

$$\begin{bmatrix} u_g \\ u_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ 0 & \frac{2}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} \quad (2)$$

当参考矢量 u_{ref} 用 a, b, c 坐标系表示时, 设三相电压为 u_a, u_b, u_c , 由 Clark 变换可以得出从 a, b, c 坐标系到 g, h 坐标系的变换公式为:

$$\begin{bmatrix} u_g \\ u_h \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

按小矢量的长度对矢量图归一化, 将两电平逆变器的基本矢量变换到 g, h 坐标系, 得到图 2 所示 60° 坐标系下两电平逆变器的空间矢量图。

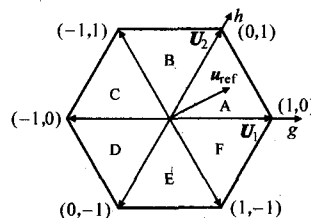


图 2 60° 坐标系下两电平空间矢量图

在电压空间矢量控制中, 首先要确定 u_{ref} 所处的位置, 根据最近合成矢量法, 得到用于合成目标矢量的空间矢量。在 60° 坐标系中, 确定 u_{ref} 位置的方法与直角坐标系下相同, 将该坐标系的两电平空间划分为 A~F 6 个扇区, 设 u_{ref} 在 60° 坐标系中的坐标

定稿日期: 2008-10-31

作者简介: 凌 臧 (1982-), 男, 安徽黄山人, 硕士, 研究方向为电力电子与电力传动。

为 $u_{ref}(u_{rg}, u_{rh})$, 就可以通过简单的逻辑判断得到 u_{ref} 所处的扇区位置, 方法如表 1 所示。

表 1 扇区的分区方法

扇区	A区	B区	C区	D区	E区	F区
u_{rg}	>0	<0	<0	<0	>0	>0
u_{rh}	>0	>0	>0	<0	<0	<0
$u_{rg}+u_{rh}$	>0	>0	<0	<0	<0	>0

完成矢量分区后, 即可按照相邻矢量原则来确定给定矢量的作用时间。为便于分析, 假设 u_{ref} 落在 A 扇区, 在一个采样周期 T_s 内, $u_{ref}(u_{rg}, u_{rh})$ 可由 $U_1(1,0)$ 和 $U_2(0,1)$ 来合成, 根据伏秒平衡原理可得:

$$u_{ref}=U_1t_1+U_2t_2, T_s=t_1+t_2+t_0 \quad (4)$$

式中: t_0 为零矢量作用时间。

由此可得在 60° 坐标系中求解各矢量作用时间的公式为:

$$u_{rg}=t_1, u_{rh}=t_2, T_s=t_1+t_2+t_0 \quad (5)$$

解得:

$$t_1=u_{rg}, t_2=u_{rh}, t_0=T_s-u_{rg}-u_{rh} \quad (6)$$

由表 1 和式(6)可见, 基于 60° 坐标系的两电平 SVPWM 无需进行复杂的三角运算。

2.2 三电平算法的简化

图 3 示出三电平逆变器的拓扑结构。逆变器每相桥臂上分别有 4 个功率开关管 $VS_{x1} \sim VS_{x4}$, 两个箝位二极管 VD_{x1}, VD_{x2} 和 4 个续流二极管 $VD_{x3} \sim VD_{x6}$ ($x=a, b, c$)。

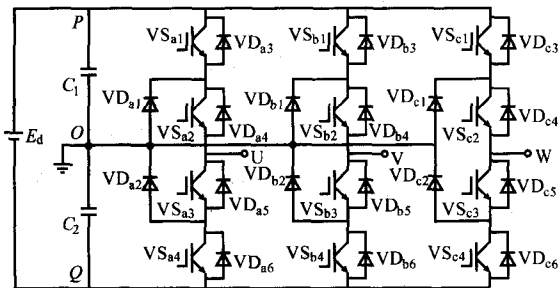


图 3 NPC-PWM 逆变器拓扑结构

三电平逆变器的空间矢量由 6 个传统的两电平空间矢量所构成的小六边形组成。构成三电平逆变器空间矢量图的每个小六边形均以内部六边形的顶点为中心, 其结构如图 4 所示。

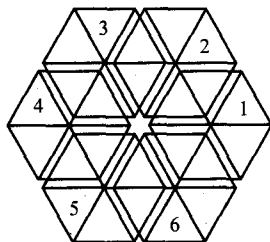


图 4 三电平电压空间矢量简化图

要正确实现从三电平向两电平电压空间矢量的转换就必须将 u_{ref} 的原点也平移至相应的小六边形的原点。文献[3]中的处理方法是三电平空间

矢量图划分为 6 个互有重叠的区域。由于划分的区域中相邻的小六边形有重叠的部分, 所以当 u_{ref} 落在重叠区域内时, S 的取值便不唯一了。这里提出用图 5 方法确定 S 值, 即此时重叠的区域以图中所示坐标划分为两个区域, 其中 $0 \sim 30^\circ$ 的区域为 $S=1$, $30^\circ \sim 60^\circ$ 的区域为 $S=2$ 。其他各个重叠区域依次类推。

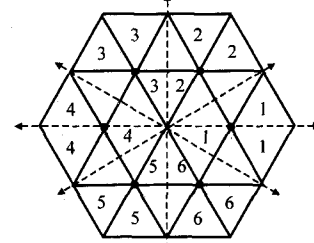


图 5 S 值的确定方法

判定了 u_{ref} 所在的小六边形后, 再经过坐标平移即可将三电平空间矢量平面简化为两电平空间矢量平面。三电平空间矢量平面以 U_0 为原点, 而要简化为两电平空间矢量平面时, 是转入到 u_{ref} 落在的小六边形, 以它作为合成期望输出电压矢量的平面, 所以在判定 u_{ref} 所在的小六边形区域 S 后, 需要对 u_{ref} 进行修正。图 6 为 $S=1$ 时的 u_{ref} 修正示意图, 由于该小六边形以 U_1 为原点, 所以将 u_{ref} 减去 U_1 即可获得修正后新的参考电压矢量 u_{sref} 。于是各电压矢量作用时间就能用前面提出的两电平的算法来实现, 即 u_{sref} 可以用 U_8-U_1 和 U_7-U_1 两个修正矢量来合成, 作用时间可用式(6)来计算, 从而大大简化了运算。同理, 其他区域亦按此法类推。

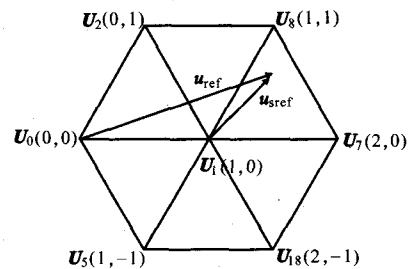


图 6 参考矢量的修正及合成

2.3 电容中点电压平衡控制

三电平中点箝位式逆变器在运行过程中必须要保证其中点直流电压的平衡, 否则负载中会出现偶次谐波, 部分开关器件所承受的电压应力也将会增大, 不利于逆变器装置的安全运行。由分析可知, 中矢量是造成中点电位不平衡的最重要的根源, 但对于中矢量无法直接实施控制, 通常只能通过调整正负小矢量对的相对作用时间进行控制, 所述系统采用参考文献[4]中改变开关作用次序的方法加以控制, 在此不赘述。

3 试验结果及分析

为了验证算法的有效性和正确性, 实验仪器采用 Agilent MSO6014A 型 100M 模拟数 (下转第 7 页)

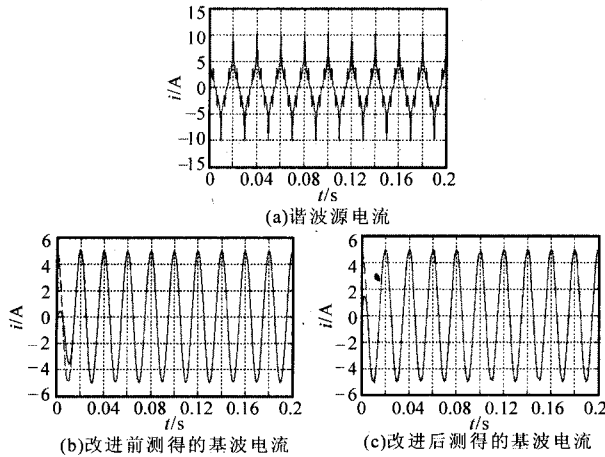


图4 检测结果

实际中电流幅值会发生变化,图5是谐波源基波电流在0.1s时电流幅值下降50%时的仿真结果。

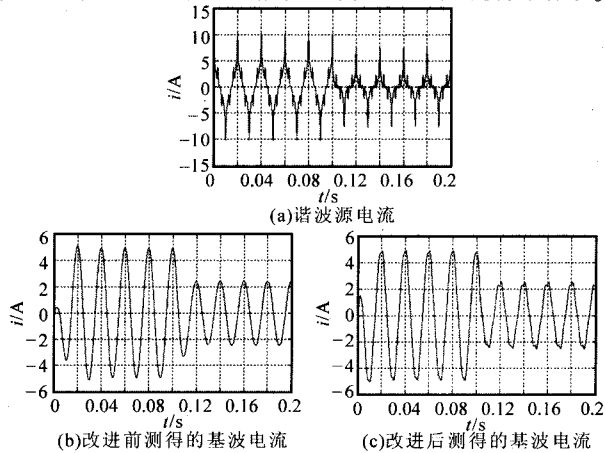


图5 基波幅值突变检测结果

6 实验研究

为验证上述理论与仿真分析结果,进行了实验

(上接第4页)字混合示波器,电流测量采用 Agilent 1146A 型电流探头,电压测量采用 Agilent 2771A 型高压探头。系统载波频率为 1 kHz,实验对象为 22 kW 三相异步电机。实验波形如图7所示。

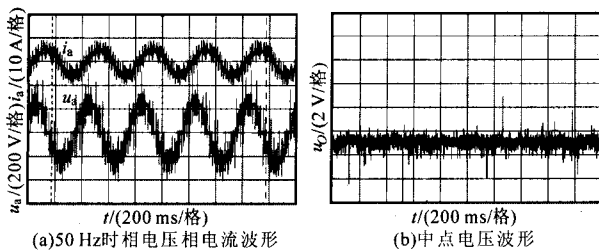


图7 实验波形

由实验结果可见,采用 SVPWM 控制算法后,三电平逆变器的输出电压逼近正弦波,同时相电压平均值的绝对值小于 3 V,由此亦可看出中点电位波动小,电压正负半波对称度良好。

4 结论

与经典的电压空间矢量脉宽调制算法相比,提

研究。检测电路通过 DSP 来实现,实验用的非线性负载为一单相整流电路。通过调节整流电路的相位触发角,谐波源电流在某一时间电流相位发生 -60° 跳变。图6示出实验结果。

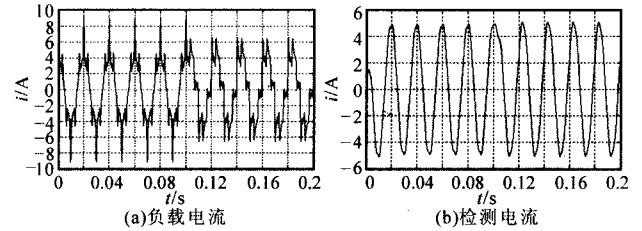


图6 实验结果

7 结论

采用改进的检测方法,在不增加低通滤波器阶数的前提下,其动态响应时间得到了改善,在各种复杂谐波的情况下仍能有效和准确地检测出谐波和无功电流。仿真和实验结果也证明了该方法在单相电路中的有效性和正确性。

参考文献

- [1] 王兆安,杨君,刘进军.谐波抑制和无功功率补偿[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 何英杰,邹云屏,李辉,等.有源滤波器的一种新型谐波检测算法[J].电力电子技术,2006,40(2):56-58.
- [3] 王群,姚为正,王兆安.低通滤波器对谐波检测电路的影响[J].西交通大学学报,2002,33(4):5-8.
- [4] 颜秋容,葛加伍.基于瞬时无功功率理论的谐波检测方法之误差分析[J].电气传动,2007,37(5):57-60.
- [5] 董阿丽,周俊星,黄饰安,等.一种新型的单次谐波快速分析方法[J].电力电子技术,2008,42(1):18-20.

出的三电平逆变器的改进算法在矢量分区、合成电压矢量的确定以及合成矢量作用时间的计算等方面无需进行繁杂的三角运算,仅通过简单的算术和逻辑运算,就能简化大量的复杂运算,为三电平逆变器 SVPWM 的数字实现提供了一种有效的方法,并且可以推广到多电平逆变器的 SVPWM 控制中去。

参考文献

- [1] 李永东,肖曦,高跃.大容量多电平变换器—原理·控制·应用[M].北京:科学出版社,2005.
- [2] Nikola Celanovi, Dushan Boroyevich. A Fast Space-vector Modulation Algorithm for Multilevel Three-phase Converters[J]. IEEE Trans. on Industry Applications, 2001, 37(2): 637-641.
- [3] 韩耀飞,谭国俊.基于简化三电平 SVPWM 算法的逆变器研究[J].电力电子技术,2008,42(1):6-8.
- [4] 宋文祥,陈国呈.中点箝位式三电平逆变器空间矢量调制及其中点控制研究[J].中国电机工程学报,2006,26(5): 105-109.