

三相多电平电流型逆变器载波相移 SPWM 技术

白志红, 张仲超

(浙江大学, 浙江 杭州 310027)

摘要:载波相移正弦脉宽调制(Carrier Phase Shifted-Sinusoidal Pulse Width Modulation, 简称 CPS-SPWM)技术是一种优秀的开关调制策略,能够在较低开关频率下获得等效高频载波的效果,目前已较广泛地应用在电压型多电平逆变器(Voltage Source Inverter, 简称 VSI)中。首先分析了一类三相电流型多电平逆变器(Current Source Inverter, 简称 CSI)的工作原理;基于 CPS-SPWM 技术的调制机理,提出了该技术在该类多电平 CSI 中应用的可行性,并给出了具体实现方法。最后建立了三相五电平 CSI 实验系统,验证了 CPS-SPWM 技术在该类拓扑中应用的可行性和优越性。

关键词:逆变器;载波;脉宽调制/移相

中图分类号:TM464; TN787

文献标识码:A

文章编号:1000-100X(2007)05-0029-02

Research on CPS-SPWM Technique in Three-phase Multilevel CSI

BAI Zhi-hong, ZHANG Zhong-chao

(Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract:The Carrier Phase Shifted-Sinusoidal Pulse Width Modulation (CPS-SPWM) technique is an excellent modulation method with many good features as that the higher equivalent output carrier frequency can be obtained from lower switching frequency devices. This technique has been applied widely in multilevel Voltage-Source Inverter (VSI). In this study, the operation principle of three-phase multilevel Current-Source Inverter (CSI) is given. Based on the principle of CPS-SPWM technique, its feasibility in the multilevel CSI is proposed, and the implementation method is given. Lastly, an experimental system of a five-level CSI is built to validate the proposition.

Keywords:inverter; carrier; pulse width modulation / phase-shift

Foundation Project:Supported by National Natural Science Foundation of China (No.50477033)

1 引言

载波相移 SPWM(CPS-SPWM)技术是自然采样 SPWM 技术与多重化结构的有机结合,该技术具有等效开关频率高,开关损耗小,动态响应快,传输频带宽等优点,使大功率变流器采用 SPWM 技术成为可能^[1]。大功率变流器一般采用三相结构,因此将载波相移 SPWM 技术与三相拓扑结构相结合应用在特大功率场合将是一种非常有效的方法。目前, CPS-SPWM 技术已较广泛地应用在电压型多电平逆变器(VSI)中^[2];由于电流型多电平逆变器(CSI)拓扑结构及其工作原理的特殊性,目前有关 SPWM 技术成功应用到三相多电平 CSI 的文献报导并不多^[3,4]。

文献[5]提出了一类三相多电平 CSI 拓扑,该类拓扑通过阶梯波合成的方法得到多电平电流,虽然控制比较简单,但是并未实现 SPWM 调制。在分析该类 CSI 拓扑工作原理的基础上,结合 CPS-SPWM 技术的原理,提出了该技术在该类拓扑中应用的可行

性,并给出了具体的实现方法。

2 拓扑结构及其工作原理

图 1 示出三相五电平 CSI 拓扑结构^[5],它由 4 个分流电感和 12 个开关器件构成,每个开关器件可以选用 GTO(或 IGBT 与二极管串联组成)。

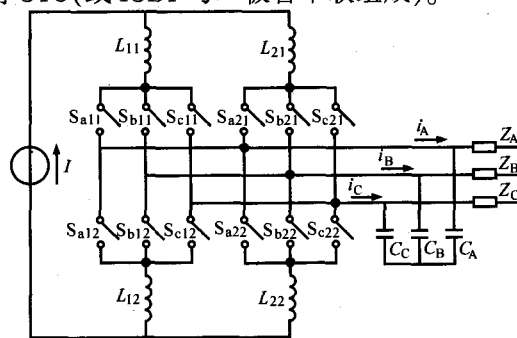


图 1 三相五电平 CSI 拓扑

当电路工作于稳态时,4 个分流电感 $L_{11}, L_{21}, L_{12}, L_{22}$ 均流过 $I/2$ 电流源电流。为实现五电平电流输出,电路中电流以 3 种方式流通,设流入负载的电流为正,流出负载的电流为负:①流经上桥臂两个电感的电流组合成电流 I ,流入任意一个电流为 I 的负载,然后该电流再从另外两相负载流出,每一相电流为 $-I/2$,再流经下桥臂的两个电感;②流经上桥臂两个电感的电流分别流入任意两相负载,然后电流再

基金项目:国家自然科学基金项目(50477033)

定稿日期:2006-11-13

作者简介:白志红(1980-),女,山西运城人,博士研究生,研究方向为电力电子技术的应用等。

从另外一相电流为 $-I$ 的负载流出,并流经下桥臂的两个电感;③流经上桥臂两个电感的电流组合成电流 I ,流入任意一个电流为 I 的负载,然后电流再从另外一相电流为 $-I$ 的负载流出,并流经下桥臂的两个电感,其余一相负载电流为零。

3 CPS-SPWM 技术的实现方法

图 1 表明,三相五电平 CSI 拓扑由两个三相六开关三电平 CSI 组成。要实现三相三电平 CSI 的 PWM 控制,则任何瞬间上、下桥臂各只能有一个可控开关导通,即需要三逻辑 PWM 进行控制。因此,在三相五电平 CSI 拓扑中,为保证直流侧电感电流均匀连续,依然要遵循任何瞬间每个三相三电平 CSI 单元的上、下桥臂的 3 个开关管中只有一个导通。为此,三相五电平 CSI 也需要采用三逻辑 PWM 信号进行控制。二逻辑 SPWM 信号由正弦调制波和三角载波比较产生,比较点作为开关点。动态二逻辑信号到三逻辑信号的变换关系表达式为:

$$\begin{bmatrix} Y_a \\ Y_b \\ Y_c \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)表明,经过二逻辑 SPWM 信号到三逻辑

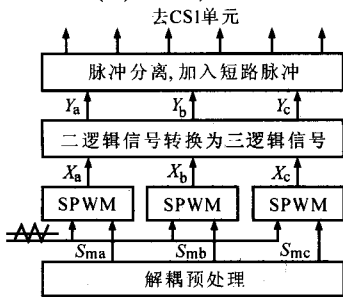


图 2 一个 CSI 单元的 SPWM 控制框图

SPWM 信号的变换,逆变器交流侧输出电流的基波分量在相位上滞后于调制波信号。图 2 示出一个 CSI 单元的控制框图。如图所示,为了保持二逻辑 SPWM 调制的线性传输特性,采用了解耦预处理变换。

从三相调制波信号 S_{m1}, S_{m2}, S_{m3} 到 S_{ma}, S_{mb}, S_{mc} 的解耦预处理变换为:

$$\begin{bmatrix} S_{ma} \\ S_{mb} \\ S_{mc} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{m1} \\ S_{m2} \\ S_{m3} \end{bmatrix} \quad (2)$$

根据载波移相 SPWM 技术理论,对于有 n 个 CSI 单元的三相多电平 CSI 拓扑,只需将相邻单元

的三角载波移相 $2\pi/n$ 。

4 实验结果

对 CPS-SPWM 技术在三相五电平 CSI 中的应用进行了实验研究。电压源 U_d 由三相不控整流获得,开关管由 MOS 管与快恢复二极管串联组成。实验参数为:输入交流相电压 $u_m=50V$,直流侧滤波电感 $L_d=100mH$,4 个分流电感 $L_{11}=L_{21}=L_{12}=L_{22}=50mH$,输出滤波电容 $C_f=60\mu F$,负载电感 $L_L=8mH$,电阻 $R_L=5\Omega$ 。载波比 $m=15$,幅度调制比 $M=1.4$ 。图 3a,b 分别示出滤波前逆变器输出的五电平电流 i_A, i_B, i_C 波形和滤波后的负载电流 i_{LA}, i_{LB}, i_{LC} 实验波形。

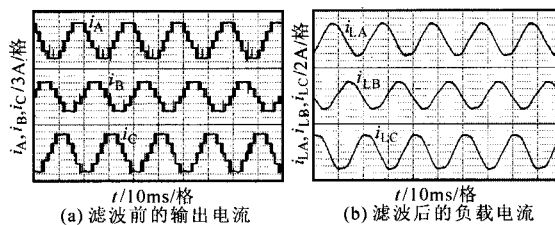


图 3 实验结果

5 结论

载波移相 SPWM 技术可以在较低的开关频率下获得等效高频载波输出的效果,具有开关损耗小,动态响应好,传输频带宽等优点。将 CPS-SPWM 技术与三相多电平 CSI 拓扑相结合,这对于三相电流型多电平逆变器以及类似结构的变流器在大功率场合的推广和应用具有重要的实际意义。

参考文献

- [1] 张仲超,方强,何卫东,等.组合变流器移相 SPWM 技术研究[J].电力电子技术,1997,31(2):9~12.
- [2] Brendan Peter McGrath, Donald Grahame Holmes. Multi-carrier PWM Strategies for Multilevel Inverters [J].IEEE Trans. on Industrial Electronics,2002,49(4):858~867.
- [3] 熊宇,陈丹江,胡长生,等.电流型组合变流器载波移相 SPWM 技术研究[J].电力电子技术,2003,37(4):39~41.
- [4] Z C Zhang.Multi-modular Current-source SPWM Converter for Superconducting Magnetic Energy Storage System [J]. IEEE Trans. on PE,1993,8(3):250~256.
- [5] 熊宇,胡长生,陈丹江,等.一类新型三相电流型直接式多电平逆变器拓扑的研究[J].中国电机工程学报,2004,24(1):163~167.

欢迎在本刊刊登广告。
欢迎访问本刊网站。

联系电话:029-85271823
www.dldzjs.com