



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107659198 A

(43)申请公布日 2018.02.02

(21)申请号 201710983790.3

(22)申请日 2017.10.20

(71)申请人 南京理工大学

地址 210094 江苏省南京市孝陵卫200号

(72)发明人 顾玲 杨飞 李强

(74)专利代理机构 南京理工大学专利中心

32203

代理人 朱宝庆

(51)Int.Cl.

H02M 7/797(2006.01)

H02M 7/219(2006.01)

H02M 3/335(2006.01)

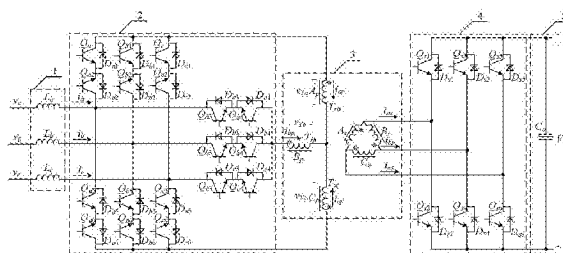
权利要求书6页 说明书12页 附图6页

(54)发明名称

适用于大功率场合三相双向AC/DC变换器及控制方法

(57)摘要

本发明提供了一种适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器,包括交流侧滤波电感、交流侧三相桥臂、隔离变压器、直流侧三相桥臂、输出滤波电容。交流侧滤波电感包含三个电感,交流侧三相桥臂由十八个开关管构成,隔离变压器包含三个变压器,直流侧三相桥臂由六个开关管构成。本发明解决了现有技术中单级式隔离型三相AC/DC变换器在处理大功率时存在的开关管电流应力过大以及单个变压器处理功率过大的问题。



1. 一种适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器,其特征在于,交流侧电路、隔离变压器和直流侧电路,交流侧每一相电路包括电感、桥臂,直流侧包括三相桥臂和输出滤波电容,隔离变压器由三个变压器构成,原、副边分别有三个对外连接的端口;

交流侧每一相电路的桥臂包括上双向开关、中双向开关、下双向开关三个双向开关,其中

上双向开关、中双向开关、下双向开关的一端分别相连后与对应的电感的一端相连,

每相桥臂的上双向开关、中双向开关、下双向开关的另一端分别与其它两相对应双向开关的另一端相连构成了三个公共连接点,再分别与隔离变压器原边绕组的三个对外连接的端口相连;

直流侧三相桥臂包含三个桥臂,其中

每个桥臂分别由两个开关管串联组成,三个桥臂的中点分别与隔离变压器(3)副边绕组的三个对外连接的端口相连。

三个桥臂并联,一端连接输出滤波电容的正端,另一端连接输出滤波电容的负端。

2. 根据权利要求1所述的变换器,其特征在于,所述隔离变压器包括三个变压器,变压器的原边绕组、副边绕组采用的连接方式为星形连接或三角形连接;其中

星形连接为三个变压器的绕组异名端相连且同名端作为对外连接的三个端口;

三角形连接为相邻变压器绕组的同名端与异名端相连作为对外连接的端口。

3. 根据权利要求1所述的变换器,其特征在于,交流侧每一双向开关管包括两个相连的开关管和两个二极管,其中

两个开关管的发射极相连,

两个开关管的一个集电极连接交流侧该相电路的电感输出端且另一个集电极接隔离变压器原边绕组对应的对外连接端口,

每一二极管的阳极与对应开关管的发射极连接且阴极与集电极连接。

4. 根据权利要求3所述的变换器,其特征在于,A相桥臂包括第一至第六开关管(Q_{a1} 、 Q_{a2} 、 Q_{a3} 、 Q_{a4} 、 Q_{a5} 、 Q_{a6}),B相桥臂包括第七至第十二开关管(Q_{b1} 、 Q_{b2} 、 Q_{b3} 、 Q_{b4} 、 Q_{b5} 、 Q_{b6}),C相桥臂包括第十三开关管至第十八开关管(Q_{c1} 、 Q_{c2} 、 Q_{c3} 、 Q_{c4} 、 Q_{c5} 、 Q_{c6});

第一开关管(Q_{a1})的发射极与第二开关管(Q_{a2})的发射极相连作为A相的上双向开关,

第三开关管(Q_{a3})的发射极与第四开关管(Q_{a4})的发射极相连作为A相的中双向开关,

第五开关管(Q_{a5})的发射极与第六开关管(Q_{a6})的发射极相连作为A相的下双向开关,

第二开关管(Q_{a2})的集电极与第三开关管(Q_{a3})的集电极、第五开关管(Q_{a5})的集电极相连,

第七开关管(Q_{b1})的发射极与第八开关管(Q_{b2})的发射极相连作为B相的上双向开关,

第九开关管(Q_{b3})的发射极与第十开关管(Q_{b4})的发射极相连作为B相的中双向开关,

第十一开关管(Q_{b5})的发射极与第十二开关管(Q_{b6})的发射极相连作为B相的下双向开关,

第八开关管(Q_{b2})的集电极与第九开关管(Q_{b3})的集电极、第十一开关管(Q_{b5})的集电极相连,

第十三开关管(Q_{c1})的发射极与第十四开关管(Q_{c2})的发射极相连作为C相的上双向开关,

第十五开关管(Q_{c3})的发射极与第十六开关管(Q_{c4})的发射极相连作为C相的中双向开关,

第十七开关管(Q_{c5})的发射极与第十八开关管(Q_{c6})的发射极相连作为C相的下双向开关,

第十四开关管(Q_{c2})的集电极与第十五开关管(Q_{c3})的集电极、第十七开关管(Q_{c5})的集电极相连,

第一开关管(Q_{a1})的集电极与第七开关管(Q_{b1})的集电极、第十三开关管(Q_{c1})的集电极相连作为连接变压器的一个端口,

第四开关管(Q_{a4})的集电极与第十开关管(Q_{b4})的集电极、第十六开关管(Q_{c4})的集电极相连作为连接变压器的一个端口,

第六开关管(Q_{a6})的集电极与第十二开关管(Q_{b6})的集电极、第十八开关管(Q_{c6})的集电极相连作为连接变压器的一个端口。

5. 根据权利要求1所述的变换器,其特征在于,所述直流侧三相桥臂由六个开关管组成,其中

第十九开关管(Q_{s1})的发射极与第二十开关管(Q_{s2})的集电极相连,

第二十一开关管(Q_{s3})的发射极与第二十二开关管(Q_{s4})的集电极相连,

第二十三开关管(Q_{s5})的发射极与第二十四开关管(Q_{s6})的集电极相连,

第十九开关管(Q_{s1})的集电极与第二十一开关管(Q_{s3})的集电极、第二十三开关管Q_{s5}的集电极相连,连接输出滤波电容的正端,

第二十开关管(Q_{s2})的发射极与第二十二开关管(Q_{s4})的发射极、第二十四开关管(Q_{s6})的发射极相连,连接输出滤波电容的负端。

6. 根据权利要求3所述的变换器,其特征在于,每一开关管的二极管为寄生二极管或每一开关管的两个二极管为反并二极管。开关管可以是三极管或者IGBT,开关管的集电极对应三极管或者IGBT的集电极,开关管的发射极对应三极管或者IGBT的发射极;开关管也可以是MOSFET,开关管的集电极对应MOSFET的漏极,开关管的发射极对应MOSFET的源极。

7. 根据权利要求2所述的变换器,其特征在于,若原边绕组、副边绕组采用原边星形且副边三角形的连接方式则提供2:1额外降压比;若原边绕组、副边绕组采用原边三角形且副边星形连接方式则提供1:2额外降压比。

8. 一种针对权利要求1所述变换器的空间矢量控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,采用 $(S_a, S_b, S_c)_{S_a, S_b, S_c}^{ABC}$ 的格式定义开关状态;

步骤2,将所有不同组合的开关状态所合成的空间电压矢量组成六边形,将整个平面划分成6个扇区,并根据三相电流方向进一步划分成12个扇区;

步骤3,根据划分的扇区进行矢量合成按照开关状态切换次数最少以及保证三个变压器伏秒平衡的原则确定开关状态切换次序以及获得各个开关状态的时间;

所述交流侧三相桥臂由十八个开关管组成,三相桥臂中的每相桥臂分别由六个开关管组成,其中

A相桥臂包括第一至第六开关管(Q_{a1}、Q_{a2}、Q_{a3}、Q_{a4}、Q_{a5}、Q_{a6}),B相桥臂包括第七至第十二开关管(Q_{b1}、Q_{b2}、Q_{b3}、Q_{b4}、Q_{b5}、Q_{b6}),C相桥臂包括第十三开关管至第十八开关管(Q_{c1}、Q_{c2}、Q_{c3}、Q_{c4}、Q_{c5}、Q_{c6});

第一开关管 (Q_{a1}) 的发射极与第二开关管 (Q_{a2}) 的发射极相连作为A相的上双向开关,
 第三开关管 (Q_{a3}) 的发射极与第四开关管 (Q_{a4}) 的发射极相连作为A相的中双向开关,
 第五开关管 (Q_{a5}) 的发射极与第六开关管 (Q_{a6}) 的发射极相连作为A相的下双向开关,
 第二开关管 (Q_{a2}) 的集电极与第三开关管 (Q_{a3}) 的集电极、第五开关管 (Q_{a5}) 的集电极相
 连,

第七开关管 (Q_{b1}) 的发射极与第八开关管 (Q_{b2}) 的发射极相连作为B相的上双向开关,
 第九开关管 (Q_{b3}) 的发射极与第十开关管 (Q_{b4}) 的发射极相连作为B相的中双向开关,
 第十一开关管 (Q_{b5}) 的发射极与第十二开关管 (Q_{b6}) 的发射极相连作为B相的下双向开
 关,

第八开关管 (Q_{b2}) 的集电极与第九开关管 (Q_{b3}) 的集电极、第十一开关管 (Q_{b5}) 的集电极
 相连,

第十三开关管 (Q_{c1}) 的发射极与第十四开关管 (Q_{c2}) 的发射极相连作为C相的上双向开
 关,

第十五开关管 (Q_{c3}) 的发射极与第十六开关管 (Q_{c4}) 的发射极相连作为C相的中双向开
 关,

第十七开关管 (Q_{c5}) 的发射极与第十八开关管 (Q_{c6}) 的发射极相连作为C相的下双向开
 关,

第十四开关管 (Q_{c2}) 的集电极与第十五开关管 (Q_{c3}) 的集电极、第十七开关管 (Q_{c5}) 的集
 电极相连,

第一开关管 (Q_{a1}) 的集电极与第七开关管 (Q_{b1}) 的集电极、第十三开关管 (Q_{c1}) 的集电极
 相连作为连接变压器的一个端口,

第四开关管 (Q_{a4}) 的集电极与第十开关管 (Q_{b4}) 的集电极、第十六开关管 (Q_{c4}) 的集电极
 相连作为连接变压器的一个端口,

第六开关管 (Q_{a6}) 的集电极与第十二开关管 (Q_{b6}) 的集电极、第十八开关管 (Q_{c6}) 的集电
 极相连作为连接变压器的一个端口;

所述直流侧三相桥臂由六个开关管组成,其中

第十九开关管 (Q_{s1}) 的发射极与第二十开关管 (Q_{s2}) 的集电极相连,

第二十一开关管 (Q_{s3}) 的发射极与第二十二开关管 (Q_{s4}) 的集电极相连,

第二十三开关管 (Q_{s5}) 的发射极与第二十四开关管 (Q_{s6}) 的集电极相连,

第十九开关管 (Q_{s1}) 的集电极与第二十一开关管 (Q_{s3}) 的集电极、第二十三开关管 (Q_{s5})
 的集电极相连,连接输出滤波电容的正端,

第二十开关管 (Q_{s2}) 的发射极与第二十二开关管 (Q_{s4}) 的发射极、第二十四开关管 (Q_{s6})
 的发射极相连,连接输出滤波电容的负端;

步骤1中 S_a 、 S_b 、 S_c 分别代表交流侧三相桥臂中十八个开关管 $Q_{a1\sim6}$ 、 $Q_{b1\sim6}$ 、 $Q_{c1\sim6}$ 的开关状
 态,交流侧的每一双向开关管包括两个相连的开关管,当 Q_{i1} 导通时 S_i 为 -1^- ,当 Q_{i2} 导通时 S_i
 为 -1^+ ,当 Q_{i3} 导通时 S_i 为 0^+ ,当 Q_{i4} 导通时 S_i 为 0^- ,当 Q_{i5} 导通时 S_i 为 1^+ ,当 Q_{i6} 导通时,
 S_i 为 1^- ,其中 $i = a, b, c$ 分表代表A相、B相、C相; S_d 、 S_e 、 S_f 分别代表直流侧桥臂的六个开关管 $Q_{s1,2}$ 、 $Q_{s3,4}$ 、
 $Q_{s5,6}$ 的开关状态,当开关管 Q_{s1} 导通时 $S_d = 1^+$,当开关管 Q_{s2} 导通时 $S_d = 1^-$,当开关管 Q_{s1} 、 Q_{s2} 都
 不导通时 $S_d = 0$,当开关管 Q_{s3} 导通时 $S_e = 1^+$,当开关管 Q_{s4} 导通时 $S_e = 1^-$,当开关管 Q_{s3} 、 Q_{s4} 都不

导通时 $S_e=0$,当开关管 Q_{s5} 导通时 $S_f=1^+$,当开关管 Q_{s6} 导通时 $S_f=1^-$,当开关管 Q_{s5} 、 Q_{s6} 都不导通时 $S_f=0$;A、B、C分别代表A、B、C三相变压器两端电压方向,当A相变压器两端电压的同名端为正时A为+,当A相变压器两端电压的同名端为负时A为-,当A相变压器两端电压为零时A为0,当B相变压器两端电压的同名端为正时B为+,当B相变压器两端电压的同名端为负时B为-,当B相变压器两端电压为零时B为0,当C相变压器两端电压的同名端为正时C为+,当C相变压器两端电压的同名端为负时C为-,当C相变压器两端电压为零时C为0;

步骤2中,将所有不同组合的开关状态所合成的空间电压矢量组成六边形,该六边形包含6个非零电压矢量、零电压矢量,由6个非零电压矢量方向将整个六边形分成6个大扇区,对每个大扇区按照三相电流方向进一步划分为2个小扇区;非零电压矢量和零电压矢量均定义为基本电压矢量;

步骤3的具体过程在于:

步骤3.1,在每个大扇区边界的两个基本电压矢量方向上各选择非零电压矢量对应的3个开关状态和零电压矢量对应的3个开关状态共9个开关状态,将9个开关状态分成三组,每组包括两个基本电压矢量方向上的各1个开关状态以及零电压矢量对应的1个开关状态,每组三个开关状态的总作用时间为三分之一一个开关周期;

步骤3.2,分别获取每组三个开关状态对应的基本电压矢量的作用时间;

步骤3.3,根据矢量合成的原理和变压器伏秒平衡的原则获得各个开关状态的时间与基本电压矢量的作用时间之间的关系方程组;

步骤3.4,解上述方程组获得各个开关状态对应的时间。

9.一种针对权利要求1所述变换器的空间矢量控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,采用 $(S_a S_b S_c)_{S_a S_b S_c}^{ABC}$ 的格式定义开关状态;

步骤2,将所有不同组合的开关状态所合成的空间电压矢量组成六边形,并对该六边形划分扇区;

步骤3,根据开关切换次数最少和隔离变压器在一个开关周期内伏秒平衡的原则选择开关切换次序,根据划分的扇区进行矢量合成获得各个开关状态的时间;

所述交流侧三相桥臂由十八个开关管组成,三相桥臂中的每相桥臂分别由六个开关管组成,其中

A相桥臂包括第一至第六开关管(Q_{a1} 、 Q_{a2} 、 Q_{a3} 、 Q_{a4} 、 Q_{a5} 、 Q_{a6}),B相桥臂包括第七至第十二开关管(Q_{b1} 、 Q_{b2} 、 Q_{b3} 、 Q_{b4} 、 Q_{b5} 、 Q_{b6}),C相桥臂包括第十三开关管至第十八开关管(Q_{c1} 、 Q_{c2} 、 Q_{c3} 、 Q_{c4} 、 Q_{c5} 、 Q_{c6});

第一开关管(Q_{a1})的发射极与第二开关管(Q_{a2})的发射极相连作为A相的上双向开关,第三开关管(Q_{a3})的发射极与第四开关管(Q_{a4})的发射极相连作为A相的中双向开关,第五开关管(Q_{a5})的发射极与第六开关管(Q_{a6})的发射极相连作为A相的下双向开关,第二开关管(Q_{a2})的集电极与第三开关管(Q_{a3})的集电极、第五开关管(Q_{a5})的集电极相连,

第七开关管(Q_{b1})的发射极与第八开关管(Q_{b2})的发射极相连作为B相的上双向开关,第九开关管(Q_{b3})的发射极与第十开关管(Q_{b4})的发射极相连作为B相的中双向开关,第十一开关管(Q_{b5})的发射极与第十二开关管(Q_{b6})的发射极相连作为B相的下双向开关,

第八开关管(Q_{b2})的集电极与第九开关管(Q_{b3})的集电极、第十一开关管(Q_{b5})的集电极相连,

第十三开关管(Q_{c1})的发射极与第十四开关管(Q_{c2})的发射极相连作为C相的上双向开关,

第十五开关管(Q_{c3})的发射极与第十六开关管(Q_{c4})的发射极相连作为C相的中双向开关,

第十七开关管(Q_{c5})的发射极与第十八开关管(Q_{c6})的发射极相连作为C相的下双向开关,

第十四开关管(Q_{c2})的集电极与第十五开关管(Q_{c3})的集电极、第十七开关管(Q_{c5})的集电极相连,

第一开关管(Q_{a1})的集电极与第七开关管(Q_{b1})的集电极、第十三开关管(Q_{c1})的集电极相连作为连接变压器的一个端口,

第四开关管(Q_{a4})的集电极与第十开关管(Q_{b4})的集电极、第十六开关管(Q_{c4})的集电极相连作为连接变压器的一个端口,

第六开关管(Q_{a6})的集电极与第十二开关管(Q_{b6})的集电极、第十八开关管(Q_{c6})的集电极相连作为连接变压器的一个端口;

所述直流侧三相桥臂由六个开关管组成,其中

第十九开关管(Q_{s1})的发射极与第二十开关管(Q_{s2})的集电极相连,

第二十一开关管(Q_{s3})的发射极与第二十二开关管(Q_{s4})的集电极相连,

第二十三开关管(Q_{s5})的发射极与第二十四开关管(Q_{s6})的集电极相连,

第十九开关管(Q_{s1})的集电极与第二十一开关管(Q_{s3})的集电极、第二十三开关管Q_{s5}的集电极相连,连接输出滤波电容的正端,

第二十开关管(Q_{s2})的发射极与第二十二开关管(Q_{s4})的发射极、第二十四开关管Q_{s6}的发射极相连,连接输出滤波电容的负端;

步骤1中S_a、S_b、S_c分别代表交流侧三相桥臂中十八个开关管Q_{a1~6}、Q_{b1~6}、Q_{c1~6}的开关状态,当Q_{i1,2}导通时S_i为-1,当Q_{i3,4}导通时S_i为0,当Q_{i5,6}导通时S_i为1,其中i=a、b、c;S_d、S_e、S_f分别代表Q_{s1,2}、Q_{s3,4}、Q_{s5,6}的开关状态,当开关管Q_{s1}导通时S_d=1⁺,当开关管Q_{s2}导通时S_d=1⁻,当开关管Q_{s1}、Q_{s2}都不导通时S_d=0,当开关管Q_{s3}导通时S_e=1⁺,当开关管Q_{s4}导通时S_e=1⁻,当开关管Q_{s3}、Q_{s4}都不导通时S_e=0,当开关管Q_{s5}导通时S_f=1⁺,当开关管Q_{s6}导通时S_f=1⁻,当开关管Q_{s5}、Q_{s6}都不导通时S_f=0;A、B、C分别代表A、B、C三相变压器两端电压方向,当A相变压器两端电压的同名端为正时A为+,当A相变压器两端电压的同名端为负时A为-,当A相变压器两端电压为零时A为0,当B相变压器两端电压的同名端为正时B为+,当B相变压器两端电压的同名端为负时B为-,当B相变压器两端电压为零时B为0,当C相变压器两端电压的同名端为正时C为+,当C相变压器两端电压的同名端为负时C为-,当C相变压器两端电压为零时C为0;

步骤2中,将所有不同组合的开关状态所合成的空间电压矢量组成六边形,该六边形包含6个非零电压矢量、零电压矢量,由6个非零电压矢量方向将整个六边形分成6个扇区,在每个扇区内开关状态切换次序不变;非零电压矢量和零电压矢量均定义为基本电压矢量

步骤3的具体过程在于:

步骤3.1,在每个扇区边界的两个基本电压矢量方向上各选择非零电压矢量对应的3个开关状态和零电压矢量对应的3个开关状态共9个开关状态,将9个开关状态分成三组,每组包括两个基本电压矢量方向上的各1个开关状态以及1个零电压矢量对应的开关状态,每组三个开关状态的总作用时间为三分之一开关周期;

步骤3.2,分别获取每组三个开关状态对应的基本电压矢量的作用时间;

步骤3.3,根据矢量合成的原理和变压器伏秒平衡的原则获得各个开关状态的时间与基本电压矢量的作用时间之间的关系方程组;

步骤3.4,解上述方程组获得各个开关状态对应的时间。

适用于大功率场合三相双向AC/DC变换器及控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种AC/DC变换器,特别是一种适用于大功率场合三相双向AC/DC变换器及控制方法。

背景技术

[0002] 能耗严重是目前制约数据中心发展的重要因素,而供电系统是数据中心能耗的主要来源之一。与传统220V交流母线相比,380V直流母线数据中心供电系统可以大大减少功率变换环节,提高系统功率密度、效率以及可靠性,在引入太阳能、风能等可再生能源后的系统中其优势更为显著。

[0003] 由于可再生能源的不稳定性,当直流母线数据中心供电系统引入可再生能源后,在电网和母线之间需要一个接口变换器,以实现电网与系统之间能量的双向传递。在大功率场合,往往需要采用三相双向AC/DC变换器。

[0004] 三相双向AC/DC变换器的传统解决方案是采用三相电压型PWM整流器,该变换器的输入电流连续,网侧功率因数较高。但输出呈升压特性,通常三相380V交流输入电压经其变换后输出电压达600~800V,且变换器本身未实现电气隔离。因此需要通过工频变压器并网或者两级式的结构——加DC/DC变换器进行降压和隔离才能接到直流母线上。为了使前级变换器的输出尽量接近380V直流电压,也可采用三相电流型PWM整流器,其输出电压可以低于输入电压峰值。但该变换器由于输入电流不连续,功率因数较低,因此输入侧需加LC二阶滤波器以滤除电流谐波,从而增加了变换器的体积及成本。

[0005] 为了实现高频电气隔离,一些隔离型三相AC/DC变换器被提出,但这些变换器大多采用单个变压器。在处理大功率时,变压器以及原副边开关管电压以及电流应力均比较大,不利于功率器件的选型以及变压器磁芯的选择,从而影响变换器的设计。为了降低器件应力,通常采用多模块并联,这就增加了体积成本,并且需要考虑并联均流的问题,使得控制也更加复杂。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器,该变换器可以降低开关管电流应力以及降低变压器处理功率。

[0007] 实现本发明目的的技术方案为:一种适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器,其特征在于,交流侧电路、隔离变压器和直流侧电路,交流侧每一相电路包括电感、桥臂,直流侧包括三相桥臂和输出滤波电容,隔离变压器由三个变压器构成,原、副边分别有三个对外连接的端口;交流侧每一相电路的桥臂包括上双向开关、中双向开关、下双向开关三个双向开关,其中上双向开关、中双向开关、下双向开关的一端分别相连后与对应的电感的一端相连,每相桥臂的上双向开关、中双向开关、下双向开关的另一端分别与其它两相对应双向开关的另一端相连构成了三个公共连接点,再分别与隔离变压器原边绕组的三个对外连接的端口相连;直流侧三相桥臂包含三个桥臂,其中每个桥臂分别由两个开关管串联组成,

三个桥臂的中点分别与隔离变压器副边绕组的三个对外连接的端口相连。三个桥臂并联，一端连接输出滤波电容的正端，另一端连接输出滤波电容的负端。

[0008] 一种针对上述变换器的空间矢量控制方法，包括以下步骤：

[0009] 步骤1，采用 $(S_a, S_b, S_c)_{S_d, S_e, S_f}^{ABC}$ 的格式定义开关状态；

[0010] 步骤2，将所有不同组合的开关状态所合成的空间电压矢量组成六边形，将整个平面划分成6个扇区，并根据三相电流方向进一步划分成12个扇区；

[0011] 步骤3，根据划分的扇区进行矢量合成按照开关状态切换次数最少以及保证三个变压器伏秒平衡的原则确定开关状态切换次序以及获得各个开关状态的时间；

[0012] 所述交流侧三相桥臂由十八个开关管组成，三相桥臂中的每相桥臂分别由六个开关管组成，其中

[0013] A相桥臂包括第一至第六开关管，B相桥臂包括第七至第十二开关管，C相桥臂包括第十三开关管至第十八开关管；第一开关管的发射极与第二开关管的发射极相连作为A相的上双向开关，第三开关管的发射极与第四开关管的发射极相连作为A相的中双向开关，第五开关管的发射极与第六开关管的发射极相连作为A相的下双向开关，第二开关管的集电极与第三开关管的集电极、第五开关管的集电极相连，第七开关管的发射极与第八开关管的发射极相连作为B相的上双向开关，第九开关管的发射极与第十开关管的发射极相连作为B相的中双向开关，第十一开关管的发射极与第十二开关管的发射极相连作为B相的下双向开关，第八开关管的集电极与第九开关管的集电极、第十一开关管的集电极相连，第十三开关管的发射极与第十四开关管的发射极相连作为C相的上双向开关，第十五开关管的发射极与第十六开关管的发射极相连作为C相的中双向开关，第十七开关管的发射极与第十八开关管的发射极相连作为C相的下双向开关，第十四开关管的集电极与第十五开关管的集电极、第十七开关管的集电极相连，第一开关管的集电极与第七开关管的集电极、第十三开关管的集电极相连作为连接变压器的一个端口，第四开关管的集电极与第十开关管的集电极、第十六开关管的集电极相连作为连接变压器的一个端口，第六开关管的集电极与第十二开关管的集电极、第十八开关管的集电极相连作为连接变压器的一个端口；所述直流侧三相桥臂由六个开关管组成，其中第十九开关管的发射极与第二十开关管的集电极相连，第二十一开关管的发射极与第二十二开关管的集电极相连，第二十三开关管的发射极与第二十四开关管的集电极相连，第十九开关管的集电极与第二十一开关管的集电极、第二十三开关管的集电极相连，连接输出滤波电容的正端，第二十开关管的发射极与第二十二开关管的发射极、第二十四开关管的发射极相连，连接输出滤波电容的负端；

[0014] 步骤1中 S_a 、 S_b 、 S_c 分别代表交流侧三相桥臂中十八个开关管 $Q_{a1\sim6}$ 、 $Q_{b1\sim6}$ 、 $Q_{c1\sim6}$ 的开关状态，交流侧的每一双向开关管包括两个相连的开关管，当 Q_{i1} 导通时 S_i 为 -1^- ，当 Q_{i2} 导通时 S_i 为 -1^+ ，当 Q_{i3} 导通时 S_i 为 0^+ ，当 Q_{i4} 导通时 S_i 为 0^- ，当 Q_{i5} 导通时 S_i 为 1^+ ，当 Q_{i6} 导通时， S_i 为 1^- ，其中 $i = a, b, c$ 分表代表A相、B相、C相； S_d 、 S_e 、 S_f 分别代表直流侧桥臂的六个开关管 $Q_{s1,2}$ 、 $Q_{s3,4}$ 、 $Q_{s5,6}$ 的开关状态，当开关管 Q_{s1} 导通时 $S_d = 1^+$ ，当开关管 Q_{s2} 导通时 $S_d = 1^-$ ，当开关管 Q_{s1} 、 Q_{s2} 都不导通时 $S_d = 0$ ，当开关管 Q_{s3} 导通时 $S_e = 1^+$ ，当开关管 Q_{s4} 导通时 $S_e = 1^-$ ，当开关管 Q_{s3} 、 Q_{s4} 都不导通时 $S_e = 0$ ，当开关管 Q_{s5} 导通时 $S_f = 1^+$ ，当开关管 Q_{s6} 导通时 $S_f = 1^-$ ，当开关管 Q_{s5} 、 Q_{s6} 都不导通时 $S_f = 0$ ；A、B、C 分别代表A、B、C三相变压器两端电压方向，当A相变压器两端电压的同名端为正时A为+，当A相变压器两端电压的同名端为负时A为-，当A相变压器两端电压为

零时A为0,当B相变压器两端电压的同名端为正时B为+,当B相变压器两端电压的同名端为负时B为-,当B相变压器两端电压为零时B为0,当C相变压器两端电压的同名端为正时C为+,当C相变压器两端电压的同名端为负时C为-,当C相变压器两端电压为零时C为0;

[0015] 步骤2中,将所有不同组合的开关状态所合成的空间电压矢量组成六边形,该六边形包含6个非零电压矢量、零电压矢量,由6个非零电压矢量方向将整个六边形分成6个大扇区,对每个大扇区按照三相电流方向进一步划分为2个小扇区;非零电压矢量和零电压矢量均定义为基本电压矢量;

[0016] 步骤3的具体过程在于:

[0017] 步骤3.1,在每个大扇区边界的两个基本电压矢量方向上各选择非零电压矢量对应的3个开关状态和零电压矢量对应的3个开关状态共9个开关状态,将9个开关状态分成三组,每组包括两个基本电压矢量方向上的各1个开关状态以及零电压矢量对应的1个开关状态,每组三个开关状态的总作用时间为三分之一一个开关周期;

[0018] 步骤3.2,分别获取每组三个开关状态对应的基本电压矢量的作用时间;

[0019] 步骤3.3,根据矢量合成的原理和变压器伏秒平衡的原则获得各个开关状态的时间与基本电压矢量的作用时间之间的关系方程组;

[0020] 步骤3.4,解上述方程组获得各个开关状态对应的时间。

[0021] 采用上述变换器,所述隔离变压器包括三个变压器,每个变压器包括原边绕组和副边绕组,三个变压器之间采用的连接方式为星形连接或三角形连接,其中星形连接为三个变压器的绕组异名端相连且同名端作为对外连接的三个端口,三角形连接为相邻变压器绕组的同名端与异名端相连作为对外连接的三个端口。

[0022] 采用上述变换器,交流侧每一双向开关包括两个相连的开关管和两个二极管,其中两个开关管的发射极相连,两个开关管的一个集电极连接交流侧该相电路的电感输出端且另一个集电极接隔离变压器原边绕组对应的对外连接端口,每一二极管的阳极与对应开关管的发射极连接且阴极与对应开关管的集电极连接。

[0023] 采用上述变换器,直流侧包括三个桥臂,每个桥臂包含两个串联的开关管,其中一个开关管的发射极与隔离变压器副边绕组对应的对外连接的端口连接且集电极作为输出端的正极端,另一个开关管的集电极与隔离变压器副边绕组对应的对外连接的端口连接且发射极作为输出端的负极端。

[0024] 采用上述变换器,输出端两端并联一输出滤波电容。

[0025] 本发明所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器中的隔离变压器具有升降压和电气隔离双重功能,三相交流侧电压通过交流侧滤波电感、交流侧三相桥臂变换为每个变压器两端的单相交流电压,再通过隔离变压器的隔离以及直流侧三相桥臂变换为直流侧电压,可以降低变压器的电压以及电流应力,同时可以降低开关管的电流应力。同时,本发明解决了现有技术中隔离型三相AC/DC变换器在处理大功率时存在的开关管电流应力过大以及单个变压器处理功率过大的问题。除此之外,本发明还具有交流侧电流为正弦波、交流侧功率因数控制和升降压输出等功能。

[0026] 下面结合说明书附图对本发明做进一步描述。

附图说明

[0027] 图1是本发明所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器电路结构示意图(原边星形-副边三角形连接)。

[0028] 图2是本发明所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器电路结构示意图(原边星形-副边星形连接)。

[0029] 图3是本发明所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器电路结构示意图(原边三角形-副边星形连接)。

[0030] 图4是本发明所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器电路结构示意图(原边三角形-副边三角形连接)。

[0031] 图5是本发明所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器控制框图。

[0032] 图6是本发明所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器在 $i_a > 0$ 、 $i_b < 0$ 、 $i_c < 0$ 电流区间内的基本电压空间矢量图。

[0033] 图7是本发明所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器在 $i_a > 0$ 、 $i_b > 0$ 、 $i_c < 0$ 电流区间内的基本电压空间矢量图。

[0034] 图8是本发明所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器的基本矢量图。

[0035] 图9是本发明所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器在 $i_a > 0$ 、 $i_b < 0$ 、 $i_c < 0$ 和 $i_a > 0$ 、 $i_b > 0$ 、 $i_c < 0$ 电流区间内的开关管驱动波形图。

[0036] 图10是本发明所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器的扇区划分图。

具体实施方式

[0037] 下面结合附图和具体实施例,对本发明作进一步详细说明。

[0038] 图1~4为所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器的电路基本结构示意图,由交流侧滤波电感1、交流侧三相桥臂2、隔离变压器3、直流侧三相桥臂4、直流侧滤波电容5组成。交流侧滤波电感1包括A相电感 L_a 、B相电感 L_b 、C相电感 L_c ,交流侧三相桥臂2包括第一开关管 Q_{a1} 、第二开关管 Q_{a2} 、第三开关管 Q_{a3} 、第四开关管 Q_{a4} 、第五开关管 Q_{a5} 、第六开关管 Q_{a6} 、第七开关管 Q_{b1} 、第八开关管 Q_{b2} 、第九开关管 Q_{b3} 、第十开关管 Q_{b4} 、第十一开关管 Q_{b5} 、第十二开关管 Q_{b6} 、第十三开关管 Q_{c1} 、第十四开关管 Q_{c2} 、第十五开关管 Q_{c3} 、第十六开关管 Q_{c4} 、第十七开关管 Q_{c5} 、第十八开关管 Q_{c6} 。 Q_{a1} 由一个单向开关管和二极管 D_{a1} 并联而成, Q_{a2} 由一个单向开关管和二极管 D_{a2} 并联而成, Q_{a3} 由一个单向开关管和二极管 D_{a3} 并联而成, Q_{a4} 由一个单向开关管和二极管 D_{a4} 并联而成, Q_{a5} 由一个单向开关管和二极管 D_{a5} 并联而成, Q_{a6} 由一个单向开关管和二极管 D_{a6} 并联而成。 Q_{b1} 由一个单向开关管和二极管 D_{b1} 并联而成, Q_{b2} 由一个单向开关管和二极管 D_{b2} 并联而成, Q_{b3} 由一个单向开关管和二极管 D_{b3} 并联而成, Q_{b4} 由一个单向开关管和二极管 D_{b4} 并联而成, Q_{b5} 由一个单向开关管和二极管 D_{b5} 并联而成, Q_{b6} 由一个单向开关管和二极管 D_{b6} 并联而成。 Q_{c1} 由一个单向开关管和二极管 D_{c1} 并联而成, Q_{c2} 由一个单向开关管和二极管 D_{c2} 并联而成, Q_{c3} 由一个单向开关管和二极管 D_{c3} 并联而成, Q_{c4} 由一个单向开关管和二极管 D_{c4} 并联而成, Q_{c5} 由一个单向开关管和二极管 D_{c5} 并联而成, Q_{c6} 由一个单向开关管和二极管 D_{c6} 并联而成。 D_{a1} 、 D_{a2} 、 D_{a3} 、 D_{a4} 、 D_{a5} 、 D_{a6} 、 D_{b1} 、 D_{b2} 、 D_{b3} 、 D_{b4} 、 D_{b5} 、 D_{b6} 、 D_{c1} 、 D_{c2} 、 D_{c3} 、 D_{c4} 、 D_{c5} 、 D_{c6} 可以是IGBT的反并二极管,也可以是MOSFET的寄生二极管,当开关频率较低时采用普通的整流二极管,当开关频率较高时,采用快速恢复二极管或者肖特基二极管。

[0039] 具体地,三相桥臂中的每相桥臂分别由六个开关管组成。第一开关管 Q_{a1} 的发射极

与第二开关管 Q_{a2} 的发射极相连作为A相的上双向开关,第三开关管 Q_{a3} 的发射极与第四开关管 Q_{a4} 的发射极相连作为A相的中双向开关,第五开关管 Q_{a5} 的发射极与第六开关管 Q_{a6} 的发射极相连作为A相的下双向开关,第二开关管 Q_{a2} 的集电极与第三开关管 Q_{a3} 的集电极、第五开关管 Q_{a5} 的集电极相连;第七开关管 Q_{b1} 的发射极与第八开关管 Q_{b2} 的发射极相连作为B相的上双向开关,第九开关管 Q_{b3} 的发射极与第十开关管 Q_{b4} 的发射极相连作为B相的中双向开关,第十一开关管 Q_{b5} 的发射极与第十二开关管 Q_{b6} 的发射极相连作为B相的下双向开关,第八开关管 Q_{b2} 的集电极与第九开关管 Q_{b3} 的集电极、第十一开关管 Q_{b5} 的集电极相连;第十三开关管 Q_{c1} 的发射极与第十四开关管 Q_{c2} 的发射极相连作为C相的上双向开关,第十五开关管 Q_{c3} 的发射极与第十六开关管 Q_{c4} 的发射极相连作为C相的中双向开关,第十七开关管 Q_{c5} 的发射极与第十八开关管 Q_{c6} 的发射极相连作为C相的下双向开关,第十四开关管 Q_{c2} 的集电极与第十五开关管 Q_{c3} 的集电极、第十七开关管 Q_{c5} 的集电极相连。第一开关管 Q_{a1} 的集电极与第七开关管 Q_{b1} 的集电极、第十三开关管 Q_{c1} 的集电极相连作为连接变压器的一个端口,第四开关管 Q_{a4} 的集电极与第十开关管 Q_{b4} 的集电极、第十六开关管 Q_{c4} 的集电极相连作为连接变压器的一个端口,第六开关管 Q_{a6} 的集电极与第十二开关管 Q_{b6} 的集电极、第十八开关管 Q_{c6} 的集电极相连作为连接变压器的一个端口。

[0040] 所述隔离变压器的原边绕组包括三个变压器 T_{ra} 、 T_{rb} 、 T_{rc} 构成,变压器的原副边绕组均有两种连接方式:星形连接和三角形连接。其中星形连接方式是指变压器 T_{ra} 、 T_{rb} 、 T_{rc} 的绕组异名端相连,而同名端作为隔离变压器对外连接的三个端口。三角形连接是指变压器 T_{ra} 绕组同名端与变压器 T_{rb} 的异名端相连作为对外连接的第一个端口,变压器 T_{rb} 的同名端与变压器 T_{rc} 的异名端相连作为对外连接的第二个端口,变压器 T_{rc} 的同名端与变压器 T_{ra} 的异名端相连作为对外连接的第三个端口。隔离变压器有四种组合方式:原边星形-副边三角形连接、原边星形-副边星形连接、原边三角形-副边星形连接以及原边三角形-副边三角形连接。

[0041] 所述直流侧三相桥臂由六个开关管组成,包括第十九开关管 Q_{s1} 、第二十开关管 Q_{s2} 、第二十一开关管 Q_{s3} 、第二十二开关管 Q_{s4} 、第二十三开关管 Q_{s5} 、第二十四开关管 Q_{s6} 。其中第十九开关管 Q_{s1} 的发射极与第二十开关管 Q_{s2} 的集电极相连,第二十一开关管 Q_{s3} 的发射极与第二十二开关管 Q_{s4} 的集电极相连,第二十三开关管 Q_{s5} 的发射极与第二十四开关管 Q_{s6} 的集电极相连。第十九开关管 Q_{s1} 的集电极与第二十一开关管 Q_{s3} 的集电极、第二十三开关管 Q_{s5} 的集电极相连,第二十开关管 Q_{s2} 的发射极与第二十二开关管 Q_{s4} 的发射极、第二十四开关管 Q_{s6} 的发射极相连。 Q_{s1} 由一个单向开关管和二极管 D_{s1} 并联而成, Q_{s2} 由一个单向开关管和二极管 D_{s2} 并联而成, Q_{s3} 由一个单向开关管和二极管 D_{s3} 并联而成, Q_{s4} 由一个单向开关管和二极管 D_{s4} 并联而成, Q_{s5} 由一个单向开关管和二极管 D_{s5} 并联而成, Q_{s6} 由一个单向开关管和二极管 D_{s6} 并联而成,并联时单向开关管的发射极与二极管的阳极相连,集电极与二极管的阴极相连。 D_{s1} 、 D_{s2} 、 D_{s3} 、 D_{s4} 、 D_{s5} 、 D_{s6} 可以是IGBT的反并二极管,也可以是MOSFET的寄生二极管,当开关频率较低时,采用普通的整流二极管;当开关频率较高时,采用快速恢复二极管或者肖特基二极管。

[0042] 图1中所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器隔离变压器的连接方式为原边星形-副边三角形连接。交流侧滤波电感1包含三个电感 L_a 、 L_b 、 L_c ,电感 L_a 、 L_b 、 L_c 的一端分别接第二开关管 Q_{a2} 集电极与第三开关管 Q_{a3} 集电极以及第五开关管 Q_{a5} 集电极的连接点、

第八开关管 Q_{b2} 集电极与第九开关管 Q_{b3} 集电极以及第十一开关管 Q_{b5} 集电极的连接点、第十四开关管 Q_{c2} 集电极与第十五开关管 Q_{c3} 集电极以及第十七开关管 Q_{c5} 集电极的连接点。电感 L_a 、 L_b 、 L_c 的另一端分别与交流侧电源(整流或并网逆变)或者三相负载连接(独立逆变)。隔离变压器3中A相变压器原边绕组 A_p 的同名端接第一开关管 Q_{a1} 集电极与第七开关管 Q_{b1} 集电极以及第十三开关管 Q_{c1} 集电极的连接点;B相变压器原边绕组 B_p 的同名端接第四开关管 Q_{a4} 集电极与第十开关管 Q_{b4} 集电极以及第十六开关管 Q_{c4} 集电极的连接点;C相变压器原边绕组 C_p 的同名端接第六开关管 Q_{a6} 集电极与第十二开关管 Q_{b6} 集电极以及第十八开关管 Q_{c6} 集电极的连接点。A相变压器原边绕组 A_p 的异名端与B相变压器原边绕组 B_p 的异名端以及C相变压器原边绕组 C_p 的异名端连接。A相变压器副边绕组 A_s 的同名端与B相变压器副边绕组 B_s 的异名端相连,再与第十九开关管 Q_{s1} 的发射极与第二十开关管 Q_{s2} 的集电极的连接点相连;B相变压器副边绕组 B_s 的同名端与C相变压器副边绕组 C_s 的异名端相连,再与第二十一开关管 Q_{s3} 的发射极与第二十二开关管 Q_{s4} 的集电极的连接点相连;C相变压器副边绕组 C_s 的同名端与A相变压器副边绕组 A_s 的异名端相连,再与第二十三开关管 Q_{s5} 的发射极与第二十四开关管 Q_{s6} 的集电极的连接点相连。直流侧滤波电容5的正端与第十九开关管 Q_{s1} 的集电极与第二十一开关管 Q_{s3} 的集电极以及第二十三开关管 Q_{s5} 的集电极的连接点相连;直流侧滤波电容5负端与第二十开关管 Q_{s2} 的发射极与第二十二开关管 Q_{s4} 的发射极以及第二十四开关管 Q_{s6} 的发射极的连接点相连。

[0043] 图2中所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器隔离变压器的连接方式为原边星形-副边星形连接。交流侧滤波电感1包含三个电感 L_a 、 L_b 、 L_c ,电感 L_a 、 L_b 、 L_c 的一端分别接第二开关管 Q_{a2} 集电极与第三开关管 Q_{a3} 集电极以及第五开关管 Q_{a5} 集电极的连接点、第八开关管 Q_{b2} 集电极与第九开关管 Q_{b3} 集电极以及第十一开关管 Q_{b5} 集电极的连接点、第十四开关管 Q_{c2} 集电极与第十五开关管 Q_{c3} 集电极以及第十七开关管 Q_{c5} 集电极的连接点。电感 L_a 、 L_b 、 L_c 的另一端分别与交流侧电源(整流或并网逆变)或者三相负载连接(独立逆变)。隔离变压器3中A相变压器原边绕组 A_p 的同名端接第一开关管 Q_{a1} 集电极与第七开关管 Q_{b1} 集电极以及第十三开关管 Q_{c1} 集电极的连接点;B相变压器原边绕组 B_p 的同名端接第四开关管 Q_{a4} 集电极与第十开关管 Q_{b4} 集电极以及第十六开关管 Q_{c4} 集电极的连接点;C相变压器原边绕组 C_p 的同名端接第六开关管 Q_{a6} 集电极与第十二开关管 Q_{b6} 集电极以及第十八开关管 Q_{c6} 集电极的连接点。A相变压器原边绕组 A_p 的异名端与B相变压器原边绕组 B_p 的异名端以及C相变压器原边绕组 C_p 的异名端连接。A相变压器副边绕组 A_s 的同名端与第十九开关管 Q_{s1} 的发射极与第二十开关管 Q_{s2} 的集电极的连接点相连;B相变压器副边绕组 B_s 的同名端与第二十一开关管 Q_{s3} 的发射极与第二十二开关管 Q_{s4} 的集电极的连接点相连;C相变压器副边绕组 C_s 的同名端与第二十三开关管 Q_{s5} 的发射极与第二十四开关管 Q_{s6} 的集电极的连接点相连。A相变压器副边绕组 A_s 的异名端与B相变压器副边绕组 B_s 的异名端以及C相变压器副边绕组 C_s 的异名端连接。直流侧滤波电容5的正端与第十九开关管 Q_{s1} 的集电极与第二十一开关管 Q_{s3} 的集电极以及第二十三开关管 Q_{s5} 的集电极的连接点相连;直流侧滤波电容5负端与第二十开关管 Q_{s2} 的发射极与第二十二开关管 Q_{s4} 的发射极以及第二十四开关管 Q_{s6} 的发射极的连接点相连。

[0044] 图3中所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器隔离变压器的连接方式为原边三角形-副边星形连接。交流侧滤波电感1包含三个电感 L_a 、 L_b 、 L_c ,电感 L_a 、 L_b 、 L_c 的一端分别接第二开关管 Q_{a2} 集电极与第三开关管 Q_{a3} 集电极以及第五开关管 Q_{a5} 集电极的连接点、

第八开关管 Q_{b2} 集电极与第九开关管 Q_{b3} 集电极以及第十一开关管 Q_{b5} 集电极的连接点、第十四开关管 Q_{c2} 集电极与第十五开关管 Q_{c3} 集电极以及第十七开关管 Q_{c5} 集电极的连接点。电感 L_a 、 L_b 、 L_c 的另一端分别与交流侧电源(整流或并网逆变)或者三相负载连接(独立逆变)。隔离变压器3中A相变压器原边绕组 A_p 的同名端与B相变压器原边绕组 B_p 的异名端相连,再与第一开关管 Q_{a1} 集电极与第七开关管 Q_{b1} 集电极以及第十三开关管 Q_{c1} 集电极的连接点相连;B相变压器原边绕组 B_p 的同名端与C相变压器原边绕组 C_p 的异名端相连,再与第四开关管 Q_{a4} 集电极与第十开关管 Q_{b4} 集电极以及第十六开关管 Q_{c4} 集电极的连接点相连;C相变压器原边绕组 C_p 的同名端与A相变压器原边绕组 A_p 的异名端相连,再与第六开关管 Q_{a6} 集电极与第十二开关管 Q_{b6} 集电极以及第十八开关管 Q_{c6} 集电极的连接点相连。A相变压器副边绕组 A_s 的同名端与第十九开关管 Q_{s1} 的发射极与第二十开关管 Q_{s2} 的集电极的连接点相连;B相变压器副边绕组 B_s 的同名端与第二十一开关管 Q_{s3} 的发射极与第二十二开关管 Q_{s4} 的集电极的连接点相连;C相变压器副边绕组 C_s 的同名端与第二十三开关管 Q_{s5} 的发射极与第二十四开关管 Q_{s6} 的集电极的连接点相连;A相变压器副边绕组 A_s 的异名端与B相变压器副边绕组 B_s 的异名端以及C相变压器副边绕组 C_s 的异名端连接。直流侧滤波电容5的正端与第十九开关管 Q_{s1} 的集电极、第二十一开关管 Q_{s3} 的集电极以及第二十三开关管 Q_{s5} 的集电极的连接点相连。直流侧滤波电容5负端与第二十开关管 Q_{s2} 的发射极、第二十二开关管 Q_{s4} 的发射极以及第二十四开关管 Q_{s6} 的发射极的连接点相连。

[0045] 图4中所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器隔离变压器的连接方式为原边三角形-副边三角形连接。交流侧滤波电感1包含三个电感 L_a 、 L_b 、 L_c ,电感 L_a 、 L_b 、 L_c 的一端分别接第二开关管 Q_{a2} 集电极与第三开关管 Q_{a3} 集电极以及第五开关管 Q_{a5} 集电极的连接点、第八开关管 Q_{b2} 集电极与第九开关管 Q_{b3} 集电极以及第十一开关管 Q_{b5} 集电极的连接点、第十四开关管 Q_{c2} 集电极与第十五开关管 Q_{c3} 集电极以及第十七开关管 Q_{c5} 集电极的连接点。电感 L_a 、 L_b 、 L_c 的另一端分别与交流侧电源(整流或并网逆变)或者三相负载连接(独立逆变)。隔离变压器3中A相变压器原边绕组 A_p 的同名端与B相变压器原边绕组 B_p 的异名端相连,再与第一开关管 Q_{a1} 集电极与第七开关管 Q_{b1} 集电极以及第十三开关管 Q_{c1} 集电极的连接点相连;B相变压器原边绕组 B_p 的同名端与C相变压器原边绕组 C_p 的异名端相连,再与第四开关管 Q_{a4} 集电极与第十开关管 Q_{b4} 集电极以及第十六开关管 Q_{c4} 集电极的连接点相连;C相变压器原边绕组 C_p 的同名端与A相变压器原边绕组 A_p 的异名端相连,再与第六开关管 Q_{a6} 集电极与第十二开关管 Q_{b6} 集电极以及第十八开关管 Q_{c6} 集电极的连接点相连。A相变压器副边绕组 A_s 的同名端与B相变压器副边绕组 B_s 的异名端相连,再与第十九开关管 Q_{s1} 的发射极与第二十开关管 Q_{s2} 的集电极的连接点相连;B相变压器副边绕组 B_s 的同名端与C相变压器副边绕组 C_s 的异名端相连,再与第二十一开关管 Q_{s3} 的发射极与第二十二开关管 Q_{s4} 的集电极的连接点相连;C相变压器副边绕组 C_s 的同名端与A相变压器副边绕组 A_s 的异名端相连,再与第二十三开关管 Q_{s5} 的发射极与第二十四开关管 Q_{s6} 的集电极的连接点相连。直流侧滤波电容5的正端与第十九开关管 Q_{s1} 的集电极、第二十一开关管 Q_{s3} 的集电极以及第二十三开关管 Q_{s5} 的集电极的连接点相连;直流侧滤波电容5负端与第二十开关管 Q_{s2} 的发射极、第二十二开关管 Q_{s4} 的发射极以及第二十四开关管 Q_{s6} 的发射极的连接点相连。

[0046] 其中隔离变压器的四种组合方式提供本身匝数比以外的不同等效的电压比。原边星形-副边三角形连接提供2:1额外降压比,适用于降压场合;原边三角形-副边星形连接提

供1:2额外降压比,适用于升压场合;原边星形-副边星形连接和原边三角形-副边三角形连接不提供额外升降压比。

[0047] 下面以图1中的适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器为例,结合图5-10分别叙述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器的具体工作原理。

[0048] 在分析之前,作如下假设:1)所有开关管和二极管均为理想器件;2)所有电感、电容和变压器均为理想元件;3)直流侧滤波电容足够大,可近似认为是一个电压源 V_{dc} , V_{dc} 为直流侧电压。

[0049] 在图1中, i_a 、 i_b 、 i_c 分别为三相电感电流, v_a 、 v_b 、 v_c 分别为三相交流侧电压。假设隔离变压器3中三个变压器的原、副边绕组匝数分别均相同,分别为 n_p 、 n_s 。 i_{ap} 、 i_{bp} 、 i_{cp} 分别为A、B、C相变压器原边绕组电流, v_{Ta} 、 v_{Tb} 、 v_{Tc} 分别为A、B、C相变压器原边绕组两端电压, i_{as} 、 i_{bs} 、 i_{cs} 分别为A、B、C相变压器副边绕组电流。

[0050] 当变换器工作在整流模式时,变换器交流侧为输入侧,接三相交流电压源,直流侧为输出侧,接负载;当变换器工作在逆变模式时,变换器直流侧为输入侧,接直流电压源,交流侧为输出侧,接三相负载或者三相交流电压源。如图5所示,采用电压外环、电流内环的双环控制策略以及空间矢量脉宽调制(Space Vector Pulse Width Modulation, SVPWM)调制策略对变换器进行控制。采用基于两相旋转坐标系的前馈解耦控制方法,对两相旋转坐标系下的电流直轴分量 i_d 和交轴分量 i_q 分别进行控制。由于本发明的变换器中引入三个高频变压器,因此需要同时考虑三个变压器的磁复位问题,而已有的SVPWM调制技术的实施过程并不适用于本发明的变换器,需提出适用于本发明变换器的SVPWM调制策略,下面具体介绍本发明提出的SVPWM调制策略。

[0051] 1、开关状态定义

[0052] 采用 $(S_a S_b S_c)_{S_d S_e S_f}^{ABC}$ 的格式定义开关状态,其中 S_a 、 S_b 、 S_c 分别代表 $Q_{a1\sim6}$ 、 $Q_{b1\sim6}$ 、 $Q_{c1\sim6}$ 的开关状态。 Q_{i1} 导通时, S_i 为 -1^- ; Q_{i2} 导通时, S_i 为 -1^+ ; Q_{i3} 导通时, S_i 为 0^+ ; Q_{i4} 导通时, S_i 为 0^- ; Q_{i5} 导通时, S_i 为 1^+ ; Q_{i6} 导通时, S_i 为 1^- ; 其中 $i = a, b, c$ 。 S_d 、 S_e 、 S_f 分别代表 $Q_{s1,2}$ 、 $Q_{s3,4}$ 、 $Q_{s5,6}$ 的开关状态。开关管 Q_{s1} 导通时, $S_d = 1^+$; 开关管 Q_{s2} 导通时, $S_d = 1^-$; 开关管 Q_{s1} 、 Q_{s2} 都不导通时, $S_d = 0$ 。开关管 Q_{s3} 导通时, $S_e = 1^+$; 开关管 Q_{s4} 导通时, $S_e = 1^-$; 开关管 Q_{s3} 、 Q_{s4} 都不导通时, $S_e = 0$ 。开关管 Q_{s5} 导通时, $S_f = 1^+$; 开关管 Q_{s6} 导通时, $S_f = 1^-$; 开关管 Q_{s5} 、 Q_{s6} 都不导通时, $S_f = 0$ 。A、B、C分别代表A、B、C三相变压器两端电压方向。A相变压器两端电压的同名端为正时,A为+,A相变压器两端电压的同名端为负时,A为-,A相变压器两端电压为零时,A为0; B相变压器两端电压的同名端为正时,B为+,B相变压器两端电压的同名端为负时,B为-,B相变压器两端电压为零时,B为0; C相变压器两端电压的同名端为正时,C为+,C相变压器两端电压的同名端为负时,C为-,C相变压器两端电压为零时,C为0。

[0053] 2、开关状态与基本电压矢量的对应关系

[0054] 由于三相电流的对称性,以 $i_a > 0$ 、 $i_b < 0$ 、 $i_c < 0$ 和 $i_a > 0$ 、 $i_b > 0$ 、 $i_c < 0$ 这两个电流区间为例分析各个开关状态对应的基本电压矢量,表1和表2分别给出了两个电流区间内开关状态与电压矢量的对应关系。通过模态分析,在电流正半周内,开关管 Q_{i2} 、 Q_{i3} 、 Q_{i5} 导通;在电流负半周内,开关管 Q_{i1} 、 Q_{i4} 、 Q_{i6} 导通。在整流模式时,副边开关管 $Q_{s1\sim6}$ 可以不给驱动信号,电流流经开关管的反并二极管 $D_{s1\sim6}$,此时 $S_d = 0$, $S_e = 0$, $S_f = 0$ 。

[0055] 表1 $i_a > 0$ 、 $i_b < 0$ 、 $i_c < 0$ 时开关状态与电压矢量的对应关系

[0056]

S_a	S_b	S_c	A	B	C	v	S_a	S_b	S_c	A	B	C	v
-1^+	-1^-	-1^-	0	0	0	0	0^+	0^-	1^-	0	+	-	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$

[0057]

-1^+	-1^-	0^-	+	-	0	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$	0^+	1^-	-1^-	-	+	-	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$
-1^+	-1^-	1^-	+	0	-	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$	0^+	1^-	0^-	0	+	-	$-\alpha(4n_p/3n_s)V_{dc}$
-1^+	0^-	-1^-	+	-	0	$-\alpha(4n_p/3n_s)V_{dc}$	0^+	1^-	1^-	0	+	-	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$
-1^+	0^-	0^-	+	-	0	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	-1^-	-1^-	-	0	+	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$
-1^+	0^-	1^-	+	-	-	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	-1^-	0^-	-	-	+	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$
-1^+	1^-	-1^-	+	0	-	$-\alpha(4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	-1^-	1^-	-	0	+	$-\alpha(4n_p/3n_s)V_{dc}$
-1^+	1^-	0^-	+	-	-	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	0^-	-1^-	-	-	+	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$
-1^+	1^-	1^-	+	0	-	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	0^-	0^-	0	-	+	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$
0^+	-1^-	-1^-	-	+	0	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	0^-	1^-	0	-	+	$-\alpha(4n_p/3n_s)V_{dc}$
0^+	-1^-	0^-	-	+	0	$-\alpha(4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	1^-	-1^-	-	0	+	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$
0^+	-1^-	1^-	-	+	-	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	1^-	0^-	0	-	+	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$
0^+	0^-	-1^-	-	+	0	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	1^-	1^-	0	0	0	0
0^+	0^-	0^-	0	0	0	0							

[0058] 表2 $i_a > 0, i_b > 0, i_c < 0$ 时开关状态与电压矢量的对应关系

[0059]

S_a	S_b	S_c	A	B	C	v	S_a	S_b	S_c	A	B	C	v
-1^+	-1^+	-1^-	0	0	0	0	0^+	0^+	1^-	0	+	-	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$
-1^+	-1^+	0^-	+	-	0	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$	0^+	1^+	-1^-	-	+	+	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$
-1^+	-1^+	1^-	+	0	-	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$	0^+	1^+	0^-	0	-	+	$\alpha(4n_p/3n_s)V_{dc}$
-1^+	0^+	-1^-	-	+	0	$\alpha(4n_p/3n_s)V_{dc}$	0^+	1^+	1^-	0	+	-	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$
-1^+	0^+	0^-	+	-	0	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	-1^+	-1^-	-	0	+	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$
-1^+	0^+	1^-	+	+	-	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	-1^+	0^-	+	-	+	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$
-1^+	1^+	-1^-	-	0	+	$\alpha(4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	-1^+	1^-	+	0	-	$\alpha(4n_p/3n_s)V_{dc}$
-1^+	1^+	0^-	+	-	+	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	0^+	-1^-	-	+	+	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$
-1^+	1^+	1^-	+	0	-	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	0^+	0^-	0	-	+	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$
0^+	-1^+	-1^-	-	+	0	$(4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	0^+	1^-	0	+	-	$\alpha(4n_p/3n_s)V_{dc}$
0^+	-1^+	0^-	+	-	0	$\alpha(4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	1^+	-1^-	-	0	+	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$
0^+	-1^+	1^-	+	+	-	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	1^+	0^-	0	-	+	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$
0^+	0^+	-1^-	-	+	0	$-\alpha^2 (4n_p/3n_s)V_{dc}$	1^+	1^+	1^-	0	0	0	0

0 ⁺	0 ⁺	0 ⁻	0	0	0	0									
----------------	----------------	----------------	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

[0060] 图6和图7分别为 $i_a > 0$ 、 $i_b < 0$ 、 $i_c < 0$ 和 $i_a > 0$ 、 $i_b > 0$ 、 $i_c < 0$ 这两个电流区间内的基本电压矢量图,这里只考虑电压矢量所在区间内的相邻两条基本电压矢量。可以看出由于B相电流方向的改变,基本电压矢量对应的开关状态也相应发生改变。以此类推,图8给出了所述适用于大功率场合的三相双向AC/DC变换器SVPWM调制方法的基本电压矢量图,可以看出,基本电压矢量的方向将整个平面划分成6个扇区。

[0061] 3、开关状态切换次序与电压矢量合成

[0062] 根据开关切换次数最少以及保证三个变压器在一个开关周期内伏秒平衡的原则,选择变压器两端电压方向变化顺序为A正B负—B正C负—C正A负,此时在 $i_a > 0$ 、 $i_b < 0$ 、 $i_c < 0$ 这一电流区间内,开关切换次序为:

$$[0063] \quad \begin{aligned} & (-1^+ -1^0 -)_{000}^{+0} \rightarrow (-1^+ 0^0 -)_{000}^{+0} \rightarrow (0^+ 0^0 -)_{000}^{000} \Big|_{T_s/3} \rightarrow (0^+ 0^+ 1^-)_{000}^{0+} \rightarrow (0^+ 1^+ 1^-)_{000}^{0+} \rightarrow (1^+ 1^+ 1^-)_{000}^{000} \Big|_{T_s/3} \quad (1) \\ & \rightarrow (1^+ 1^+ -1^-)_{000}^{0+} \rightarrow (1^+ -1^+ -1^-)_{000}^{0+} \rightarrow (-1^+ -1^+ -1^-)_{000}^{000} \Big|_{T_s/3} \end{aligned}$$

[0064] 在 $i_a > 0$ 、 $i_b > 0$ 、 $i_c < 0$ 这一电流区间内,开关切换次序为:

$$[0065] \quad \begin{aligned} & (-1^+ -1^0 -)_{000}^{+0} \rightarrow (-1^+ 0^+ 0^-)_{000}^{+0} \rightarrow (0^+ 0^+ 0^-)_{000}^{000} \Big|_{T_s/3} \rightarrow (0^+ 0^+ 1^-)_{000}^{0+} \rightarrow (0^+ 1^+ 1^-)_{000}^{0+} \rightarrow (1^+ 1^+ 1^-)_{000}^{000} \Big|_{T_s/3} \quad (2) \\ & \rightarrow (1^+ 1^+ -1^-)_{000}^{0+} \rightarrow (1^+ -1^+ -1^-)_{000}^{0+} \rightarrow (-1^+ -1^+ -1^-)_{000}^{000} \Big|_{T_s/3} \end{aligned}$$

[0066] 图9给出了 $i_a > 0$ 、 $i_b < 0$ 、 $i_c < 0$ 和 $i_a > 0$ 、 $i_b > 0$ 、 $i_c < 0$ 这两个电流区间内的开关管驱动波形以及三个变压器两端的电压波形。

[0067] 4、扇区划分方法

[0068] 由以上分析可知,在 $i_a > 0$ 、 $i_b < 0$ 、 $i_c < 0$ 和 $i_a > 0$ 、 $i_b > 0$ 、 $i_c < 0$ 这两个电流区间内由于B相电流方向的改变,B相开关状态发生变化。因此,需将扇区1按照电流方向划分为两个小扇区进行矢量合成,因此根据三相电流方向可将整个平面划分为12个小扇区,如图10所示。

[0069] 5、矢量时间计算方法

[0070] 以 $i_a > 0$ 、 $i_b < 0$ 、 $i_c < 0$ 这一电流区间为例说明各开关状态作用时间的计算方法。首先对各个开关状态的时间进行如下定义:

$$[0071] \quad \begin{cases} T_{(-1^+ -1^0 -)_{000}^{+0}} = A \\ T_{(-1^+ 0^0 -)_{000}^{+0}} = B \\ T_{(0^+ 0^0 -)_{000}^{000}} = C \\ T_{(0^+ 0^+ 1^-)_{000}^{0+}} = D \\ T_{(0^+ 1^+ 1^-)_{000}^{0+}} = E \\ T_{(1^+ 1^+ 1^-)_{000}^{000}} = F \\ T_{(1^+ 1^+ -1^-)_{000}^{0+}} = G \\ T_{(1^+ -1^+ -1^-)_{000}^{0+}} = H \\ T_{(-1^+ -1^+ -1^-)_{000}^{000}} = I \end{cases} \quad (3)$$

[0072] 根据图6,假设目标电压矢量 u 在 $\alpha\beta$ 坐标下的分量为 v_α 、 v_β ,可以计算得到0度方向电压矢量、60度方向电压矢量以及零矢量的作用时间分别为 T_1 、 T_2 、 T_0 :

$$[0073] \begin{cases} T_1 = \frac{\sqrt{3}T_s}{2(n_p/n_s)V_{dc}} \left(\frac{\sqrt{3}}{2}v_\alpha - \frac{1}{2}v_\beta \right) \\ T_2 = \frac{\sqrt{3}T_s}{2(n_p/n_s)V_{dc}} v_\beta \\ T_0 = T_s - T_1 - T_2 \end{cases} \quad (4)$$

[0074] 根据矢量合成的原理以及变压器伏秒平衡的原则,可以得到以下表达式:

$$[0075] \begin{cases} A+B=D+E=G+H \\ A+D+G=T_2 \\ B+E+H=T_1 \\ C+F+I=T_0 \\ A+B+C=D+E+F=G+H+I=\frac{T_s}{3} \end{cases} \quad (5)$$

[0076] 选取以上方程组的一组特殊解:

$$[0077] \begin{cases} A=D=G=\frac{T_2}{3} \\ B=E=H=\frac{T_1}{3} \\ C=F=I=\frac{T_0}{3} \end{cases} \quad (6)$$

[0078] 其中开关周期 $T_s=T_0+T_1+T_2$,由此可以计算出每个开关状态对应的时间,从而对变换器进行准确控制。

[0079] 为了简化控制,也可以对每个双向开关内的两个开关管的驱动信号不予区分,即将每个双向开关当做一个整体进行控制,那么从图7可以看出,在 $i_a>0, i_b<0, i_c<0$ 和 $i_a>0, i_b>0, i_c<0$ 这两个电流区间内的驱动波形可以进行统一,因此只需根据六个扇区的划分进行矢量合成,如图8所示,开关状态的定义也可以简化为:

[0080] 采用 $(S_a^A S_b^B S_c^C)_{S_d S_e S_f}^{ABC}$ 的格式定义开关状态,其中 S_a, S_b, S_c 分别代表 $Q_{a1\sim 6}, Q_{b1\sim 6}, Q_{c1\sim 6}$ 的开关状态。 $Q_{i1,2}$ 导通时, S_i 为-1; $Q_{i3,4}$ 导通时, S_i 为0; $Q_{i5,6}$ 导通时, S_i 为1;其中 $i=a, b, c$ 。 S_d, S_e, S_f 分别代表 $Q_{s1,2}, Q_{s3,4}, Q_{s5,6}$ 的开关状态。开关管 Q_{s1} 导通时, $S_d=1^+$;开关管 Q_{s2} 导通时, $S_d=1^-$;开关管 Q_{s1}, Q_{s2} 都不导通时, $S_d=0$ 。开关管 Q_{s3} 导通时, $S_e=1^+$;开关管 Q_{s4} 导通时, $S_e=1^-$;开关管 Q_{s3}, Q_{s4} 都不导通时, $S_e=0$ 。开关管 Q_{s5} 导通时, $S_f=1^+$;开关管 Q_{s6} 导通时, $S_f=1^-$;开关管 Q_{s5}, Q_{s6} 都不导通时, $S_f=0$ 。 A, B, C 分别代表A、B、C三相变压器两端电压方向。A相变压器两端电压的同名端为正时,A为+,A相变压器两端电压的同名端为负时,A为-,A相变压器两端电压为零时,A为0;B相变压器两端电压的同名端为正时,B为+,B相变压器两端电压的同名端为负时,B为-,B相变压器两端电压为零时,B为0;C相变压器两端电压的同名端为正时,C为+,C相变压器两端电压的同名端为负时,C为-,C相变压器两端电压为零时,C为0。

[0081] 在 $i_a>0, i_b<0, i_c<0$ 和 $i_a>0, i_b>0, i_c<0$ 这两个电流区间内的开关状态切换次序均为:

$$\begin{aligned}
 [0082] \quad & (-1-10)_{000}^{+-0} \rightarrow (-100)_{000}^{+-0} \rightarrow (000)_{000}^{000} \Big|_{T_s/3} \rightarrow (001)_{000}^{0+-} \rightarrow (011)_{000}^{0+-} \rightarrow (111)_{000}^{000} \Big|_{T_s/3} \\
 & \rightarrow (11-1)_{000}^{-0+} \rightarrow (1-1-1)_{000}^{-0+} \rightarrow (-1-1-1)_{000}^{000} \Big|_{T_s/3} \quad (7)
 \end{aligned}$$

[0083] 在逆变模式时,直流侧的开关管也需加以驱动信号,其基本控制方法的实现方式与整流模式类似。

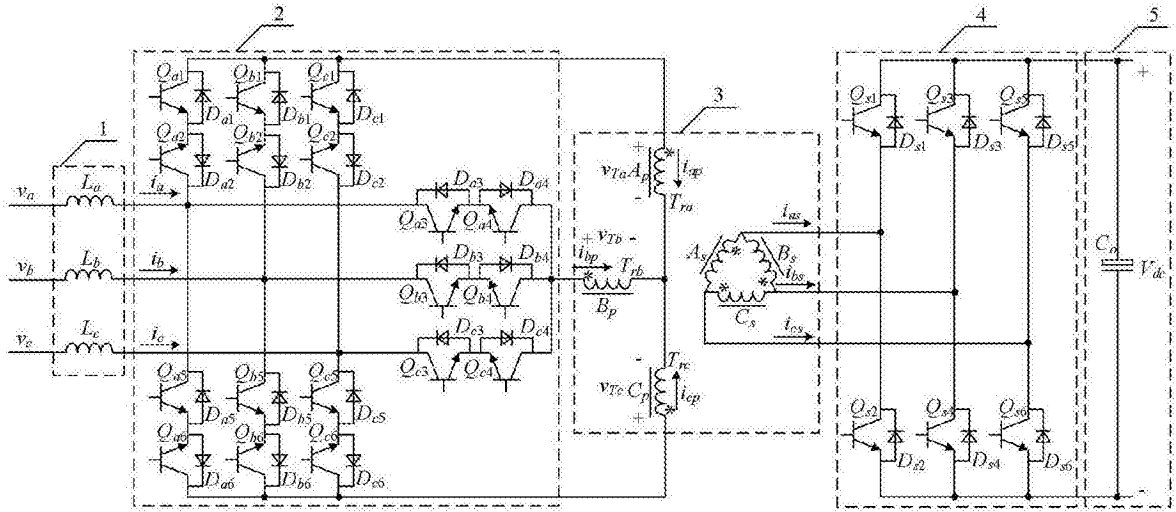


图1

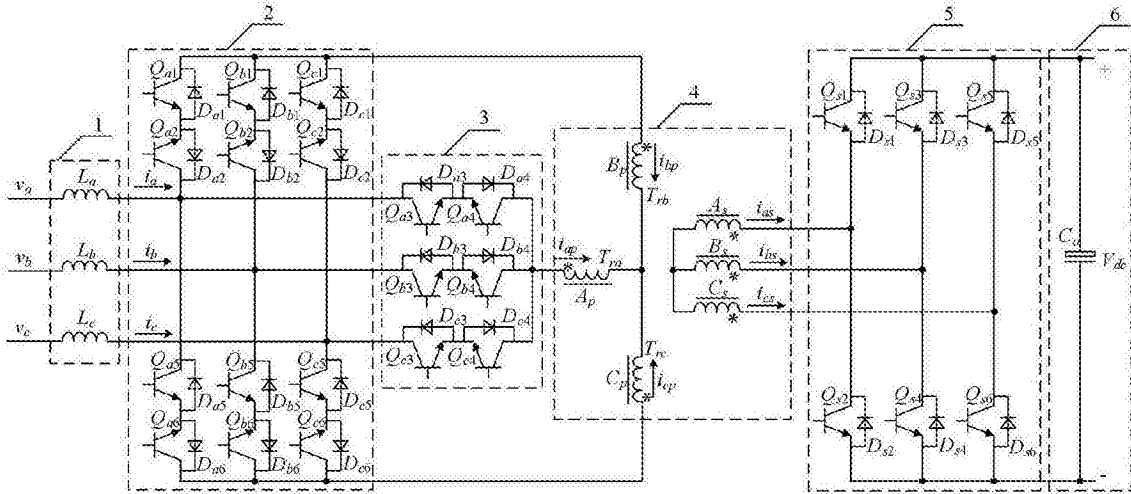


图2

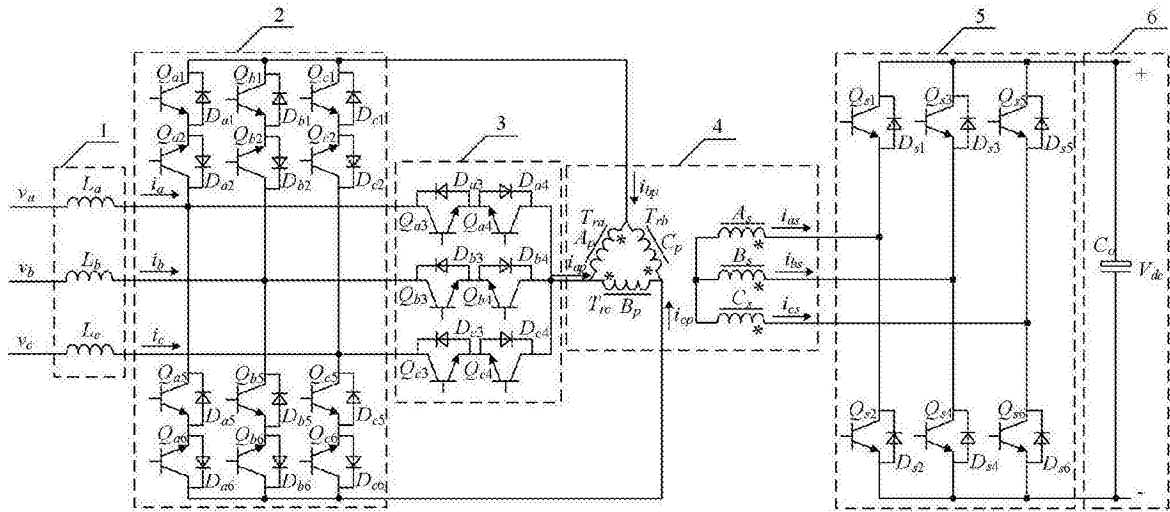


图3

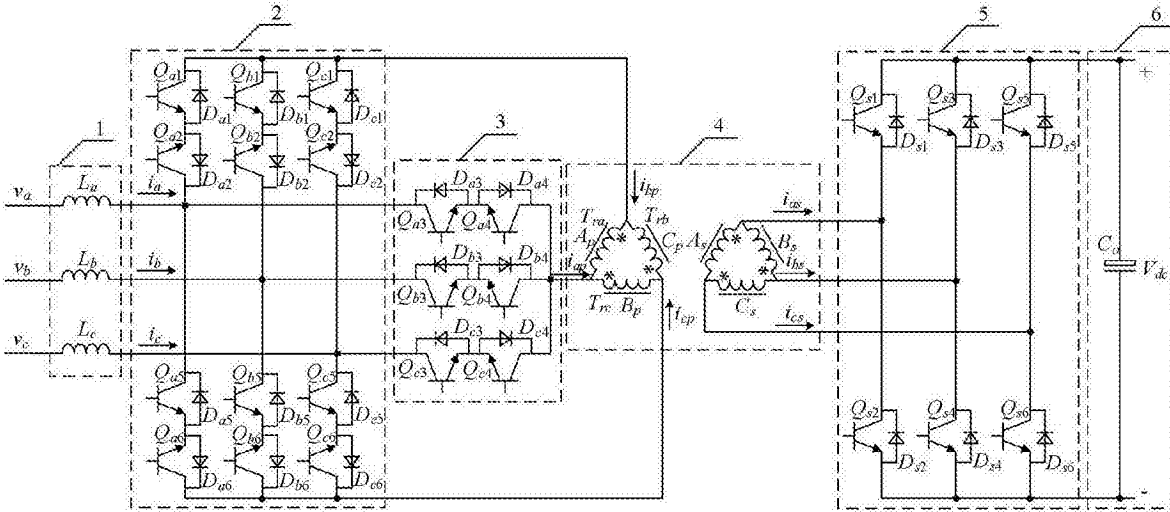


图4

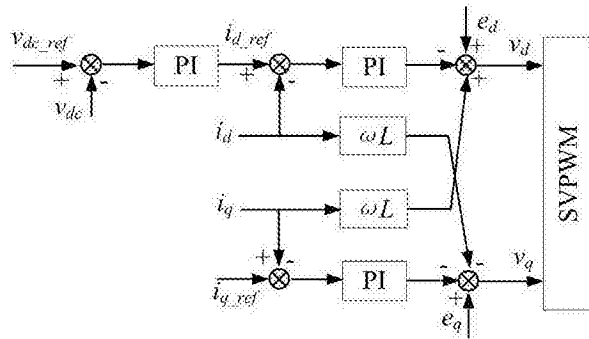


图5

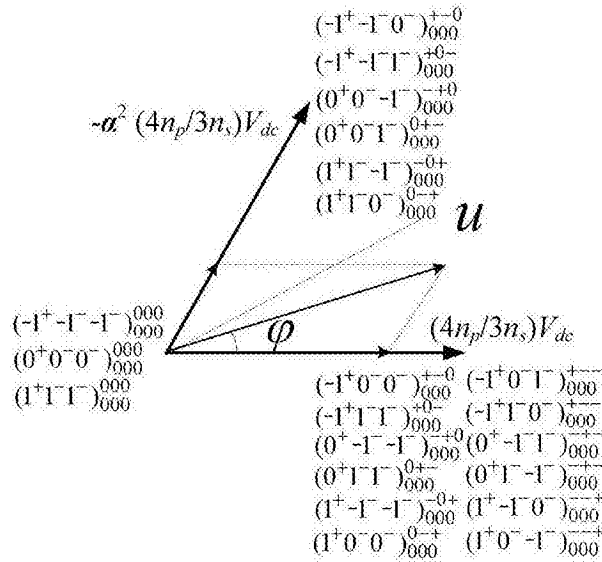


图6

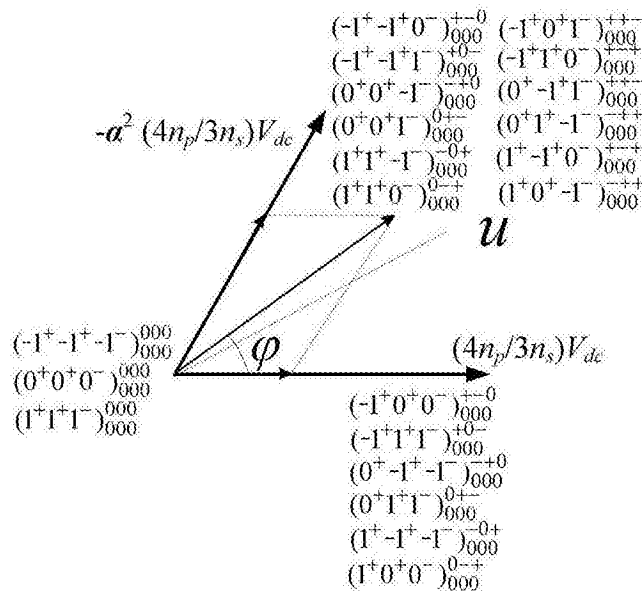


图7

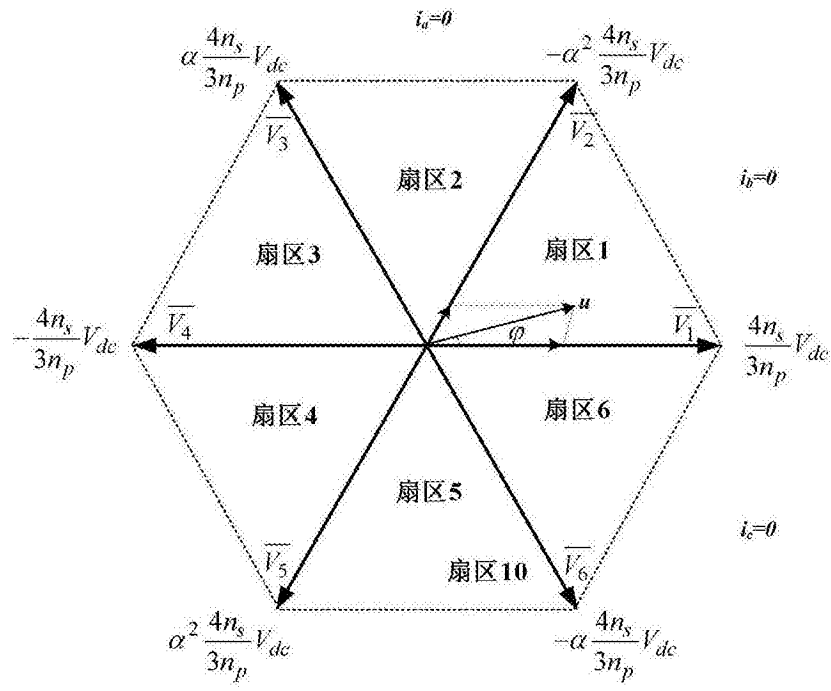


图8

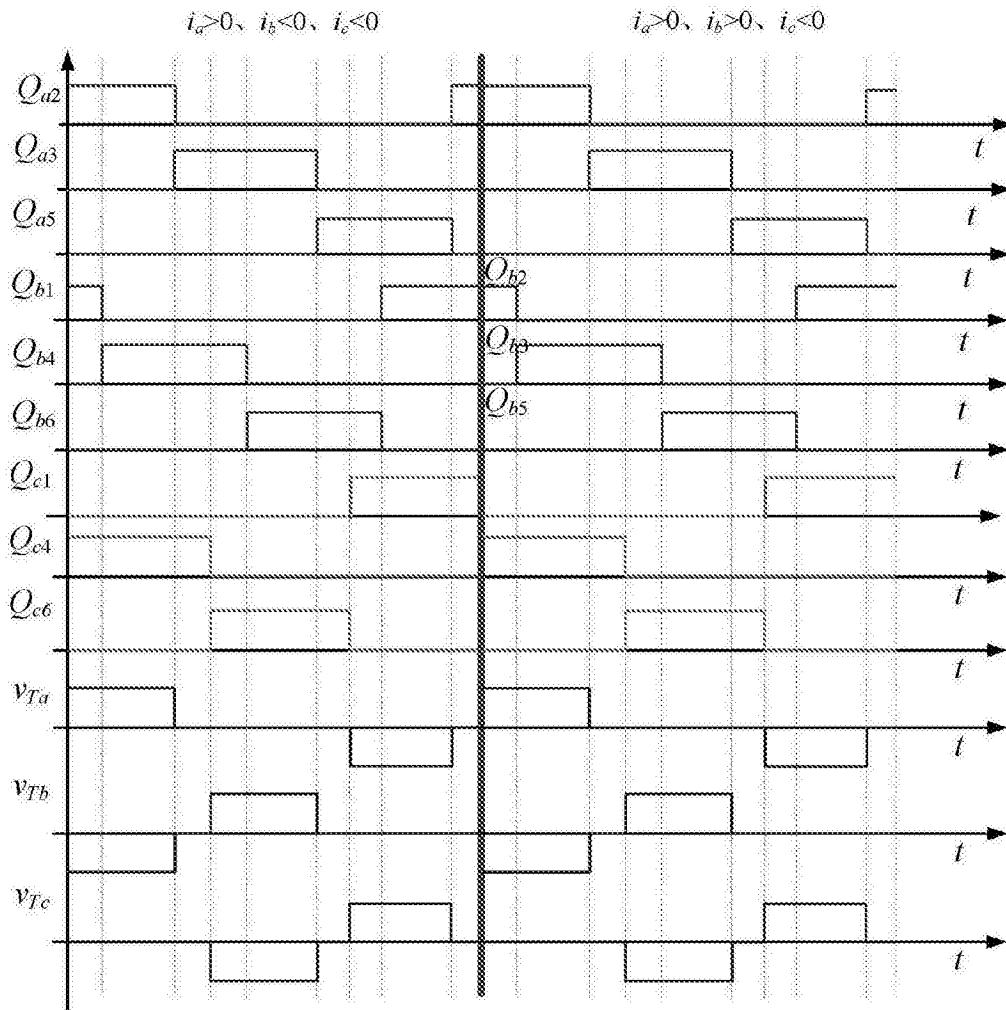


图9

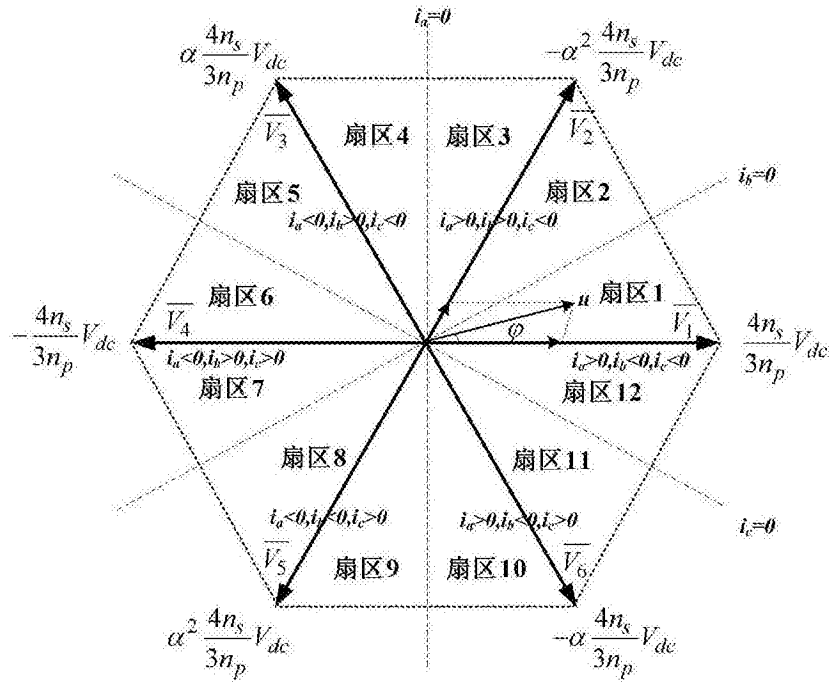


图10