



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110707939 B

(45) 授权公告日 2021.02.05

(21) 申请号 201911001224.3

审查员 姜婷婷

(22) 申请日 2019.10.21

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110707939 A

(43) 申请公布日 2020.01.17

(73) 专利权人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路  
1037号

(72) 发明人 张宇 关清心

(74) 专利代理机构 华中科技大学专利中心

42201

代理人 曹葆青 李智

(51) Int. Cl.

H02M 3/335 (2006.01)

H02M 7/487 (2007.01)

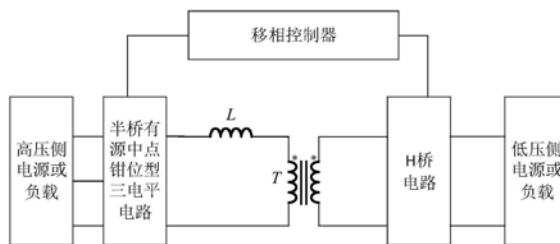
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

基于隔离式半桥ANPC三电平和H桥的DC-DC  
变换器

(57) 摘要

本发明公开一种基于隔离式半桥有源中点  
钳位型 (ANPC) 三电平和H桥的双有源桥DC-DC变  
换器,包括高压侧半桥ANPC三电平电路、辅助电  
感器、变压器和低压侧H桥电路。高压侧半桥ANPC  
三电平电路和低压侧H桥电路用于整流和逆变,  
通过辅助电感器和变压器连接。其中,辅助电感  
器用于实现功率传输及开关管的零电压开通,变  
压器用于电气隔离和电压变换。本发明的优点  
是:利用ANPC三电平电路,提高了电压等级,利  
用其冗余开关状态,可改善功率损耗分布,提高最  
大输出功率,降低散热器尺寸;利用低压侧H桥电  
路,可实现低成本和低通态损耗;通过辅助电感  
器和移相控制器,可有效地降低开关损耗,减小  
变换器的体积,提高变换器的功率密度和效率,  
降低成本。



1. 一种基于隔离式半桥有源中点钳位型ANPC三电平和H桥的DC-DC变换器,其特征在于,包括:半桥ANPC有源桥、辅助电感器、H桥电路、变压器以及移相控制器;

所述半桥ANPC有源桥和辅助电感器连接于变压器的高压网侧,H桥电路连接于变压器的低压网侧;半桥ANPC有源桥的直流侧与高压侧电源或负载相连,H桥电路的直流侧与低压侧电源或负载相连;当能量从DC-DC变换器的高压网侧流向低压网侧时,输入侧的半桥ANPC有源桥电路处于逆变状态,输出侧的H桥电路处于整流状态;当能量从DC-DC变换器的低压网侧流向高压网侧时,输入侧的H桥电路处于逆变状态,输出侧的半桥ANPC有源桥电路处于整流状态;

半桥ANPC有源桥输出正电平、零电平以及负电平,半桥ANPC通过开关管将串联开关管的中点通过有源开关器件连接到两个直流分压电容的串联中点,使得每个半桥ANPC有源桥中的每个开关管承受的电压应力均为直流母线电压的一半,其中,两个直流分压电容串联接于直流母线电压,每个直流分压电容上的电压均为直流母线电压的一半;所述直流母线电压为高压侧电源或负载上的电压;

所述高压网侧半桥ANPC有源桥电路内具有第一移相角,所述低压网侧H桥电路内具有第二移相角,半桥ANPC有源桥电路与H桥电路间具有第三移相角;所述移相控制器输出对三个移相角的控制信号,实现对高压网侧与低压网侧之间传输功率的控制;

所述半桥ANPC有源桥的三电平桥臂包括六个开关管 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_6$ ;第一开关管 $S_1$ 、第二开关管 $S_2$ 、第三开关管 $S_3$ 和第四开关管 $S_4$ 依次正向串联,两端与高压侧电源或负载的高压端和低压端相连;第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 正向串联,两端分别与所述第一开关管 $S_1$ 和第二开关管 $S_2$ 的串联中点及所述第三开关管 $S_3$ 和第四开关管 $S_4$ 的串联中点相连;第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 的串联中点 $O$ 与分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 的串联中点相连,并与变压器的一侧的一端相连;第二开关管 $S_2$ 和第三开关管 $S_3$ 的串联中点 $O'$ 作为半桥ANPC有源桥的交流侧输出端,与所述辅助电感器的一端相连,电感器的另一端连接变压器一侧的另一端;

当ANPC有源桥输出零电平时,所述第二开关管 $S_2$ 、第三开关管 $S_3$ 、第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 可同时导通;距离ANPC有源桥输出端最近的两个开关管为第二开关管 $S_2$ 和第三开关管 $S_3$ ;则ANPC有源桥输出各电平之间通过如下方式切换:当ANPC有源桥的正电平切换为零电平时,先关断第一开关管 $S_1$ ,接着开通第五开关管 $S_5$ ,再开通第三开关管 $S_3$ ;当ANPC有源桥的零电平切换为负电平时,先关断第二开关管 $S_2$ ,再关断第六开关管 $S_6$ ,接着开通第四开关管 $S_4$ ;

当ANPC有源桥输出零电平时,第二开关管 $S_2$ 和第五开关管 $S_5$ 导通,和/或所述第三开关管 $S_3$ 和第六开关管 $S_6$ 导通;其中,若第五开关管 $S_5$ 导通,或第五开关管 $S_5$ 关断、第二开关管 $S_2$ 、第三开关管 $S_3$ 以及第六开关管 $S_6$ 导通,则第一开关管 $S_1$ 关断;若第六开关管 $S_6$ 导通,或第六开关管 $S_6$ 关断、第二开关管 $S_2$ 、第三开关管 $S_3$ 以及第五开关管 $S_5$ 导通,则第四开关管 $S_4$ 关断。

2. 根据权利要求1所述的基于隔离式半桥有源中点钳位型ANPC三电平和H桥的DC-DC变换器,其特征在于,当半桥ANPC有源桥的输出在正电平、零电平、负电平以及零电平之间循环切换时,控制距离半桥ANPC有源桥输出端最近的两个开关管均在没有承受电压的情况下进行开关状态切换,使得距离半桥ANPC有源桥输出端最近的两个开关管的开关损耗为零,降低距离半桥ANPC有源桥输出端最近的两个开关管的总损耗,所述总损耗包括开关损耗和通态损耗;其中,距离半桥ANPC有源桥输出端最近的两个开关管的通态损耗相比半桥ANPC

有源桥其他开关管的通态损耗更高。

3. 根据权利要求1或2所述的基于隔离式半桥有源中点钳位型ANPC三电平和H桥的DC-DC变换器,其特征在于,

高压侧分压电路由两个高压侧分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 构成,分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 串联,两端与高压侧电源或负载的高压端和低压端相连;其串联中点与第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 的串联中点相连;

所述H桥电路包括四个开关管 $S_{H1}$ 、 $S_{H2}$ 、 $S_{H3}$ 、 $S_{H4}$ 及直流稳压电容 $C_3$ ;

第七开关管 $S_{H1}$ 与第八开关管 $S_{H2}$ 正向串联成第一串联支路,第九开关管 $S_{H3}$ 和第十开关管 $S_{H4}$ 正向串联成第二串联支路,两个串联支路均与直流稳压电容 $C_3$ 并联;第七开关管 $S_{H1}$ 与第八开关管 $S_{H2}$ 的串联中点及第九开关管 $S_{H3}$ 和第十开关管 $S_{H4}$ 的串联中点分别与变压器另一侧的两端相连。

4. 根据权利要求3所述的基于隔离式半桥有源中点钳位型ANPC三电平和H桥的DC-DC变换器,其特征在于,所述ANPC有源桥的直流输入电源为两端口的单一直流电源或三端口的正负直流电源,采用两端口的单一直流电源时,其正极与直流第一分压电容的正极相连,其负极与直流第二分压电容的负极相连,此时需要中点电压平衡算法的辅助控制;采用三端口的正负直流电源时,其正极与直流第一分压电容的正极相连,其负极与直流第二分压电容的负极相连,其中点与第一端点相连。

5. 根据权利要求3所述的基于隔离式半桥有源中点钳位型ANPC三电平和H桥的DC-DC变换器,其特征在于,当ANPC有源桥输出正电平时,第一开关管 $S_1$ 、第二开关管 $S_2$ 和第六开关管 $S_6$ 导通;第三开关管 $S_3$ 和第四开关管 $S_4$ 关断,所述第六开关管 $S_6$ 导通使得第三开关管 $S_3$ 和第四开关管 $S_4$ 的串联中点和分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 的串联中点相连,从而在任意电流方向下保证第三开关管 $S_3$ 和第四开关管 $S_4$ 承受的电压均为直流母线电压的一半。

6. 根据权利要求3所述的基于隔离式半桥有源中点钳位型ANPC三电平和H桥的DC-DC变换器,其特征在于,当ANPC有源桥输出负电平时,第三开关管 $S_3$ 、第四开关管 $S_4$ 和第五开关管 $S_5$ 导通;第一开关管 $S_1$ 和第二开关管 $S_2$ 关断,所述第五开关管 $S_5$ 导通使得第一开关管 $S_1$ 和第二开关管 $S_2$ 的串联中点和分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 的串联中点相连,从而在任意电流方向下保证第一开关管 $S_1$ 和第二开关管 $S_2$ 承受的电压均为直流母线电压的一半。

7. 根据权利要求5或6所述的基于隔离式半桥有源中点钳位型ANPC三电平和H桥的DC-DC变换器,其特征在于,当ANPC有源桥的负电平切换为零电平时,先关断第四开关管 $S_4$ ,接着开通第六开关管 $S_6$ ,再开通第二开关管 $S_2$ ;当ANPC有源桥的零电平切换为正电平时,先关断第三开关管 $S_3$ ,再关断第五开关管 $S_5$ ,接着开通第一开关管 $S_1$ 。

8. 根据权利要求5或6所述的基于隔离式半桥有源中点钳位型ANPC三电平和H桥的DC-DC变换器,其特征在于,所述第二开关管 $S_2$ 和第三开关管 $S_3$ 在输出零电平和非零电平时都会产生通态损耗;

所述第一开关管 $S_1$ 和第四开关管 $S_4$ 在输出非零电平时产生通态损耗;

所述第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 在输出零电平时产生通态损耗;

所述第二开关管 $S_2$ 和第三开关管 $S_3$ 均在零电压下开通或者关断,开关损耗为零。

## 基于隔离式半桥ANPC三电平和H桥的DC-DC变换器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及隔离式双向DC-DC变换器电路拓扑技术领域,更具体地,涉及一种基于隔离式半桥有源中点钳位型(Active Neutral Point Clamped,ANPC)三电平和H桥的DC-DC变换器。

### 背景技术

[0002] 双有源桥(Dual Active Bridge,DAB)的隔离式双向DC-DC变换器(Isolated Bidirectional DC-DC Converter)具有模块化对称结构、双向功率传输能力和软开关实现容易等优点,可以作为直流配电网中各级母线间的接口电路,也可用于直流驱动等领域。

[0003] 传统的双有源桥隔离式双向DC-DC变换器所采用的有源桥结构多为H桥电路变换器。这种变换器具有可靠性高、结构简单、开关数目少的特点,但每个开关承受的电压应力均为对应的直流母线电压。因此,这种结构的高压侧电压范围受到开关管耐压等级的限制,很难在高压条件下应用。同时,高耐压开关管存在着开关损耗大、开关频率低的问题,限制了变换器的性能和效率的提升。

[0004] 然而,在许多应用场合,例如直流输电网不同电压等级间的电压变送,需要双有源桥隔离式双向DC-DC变换器实现较大的输入输出电压的变换比。此时,若高压侧的有源桥结构仍采用全桥电路变换器,则所需开关管电压等级和成本都会急剧增加。同时,当隔离式双向DC-DC变换器具有较大的输入输出电压的变换比时,低压侧的电流远大于高压侧。若双有源桥均采用多电平变换器,则低压侧的通态损耗将大幅增加。

### 发明内容

[0005] 针对现有双有源桥型隔离式双向DC-DC变换电路的缺陷,本发明的目的在于解决以H桥电路作为有源桥电路形式的双有源桥型隔离式双向DC-DC变换器在应用于高压侧电压等级高并具有较大的输入输出电压变换比的场合时的耐压低、性能差及成本高等问题。

[0006] 为实现上述目的,本发明提供一种基于隔离式半桥ANPC三电平和H桥组合的DC-DC变换器,包括:半桥ANPC有源桥、辅助电感器、H桥电路、变压器以及移相控制器;

[0007] 所述半桥ANPC有源桥和辅助电感器连接于变压器的高压网侧,H桥电路连接于变压器的低压网侧;半桥ANPC有源桥的直流侧与高压侧电源或负载相连,H桥电路的直流侧与低压侧电源或负载相连;当能量从DC-DC变换器的高压网侧流向低压网侧时,输入侧的半桥ANPC有源桥电路处于逆变状态,输出侧的H桥电路处于整流状态;当能量从DC-DC变换器的低压网侧流向高压网侧时,输入侧的H桥电路处于整流状态,输出侧的半桥ANPC有源桥电路处于逆变状态;

[0008] 半桥ANPC有源桥可以输出正电平、零电平以及负电平,半桥ANPC通过开关管将串联开关管的中点通过有源开关器件连接到两个直流分压电容的串联中点,使得每个半桥ANPC有源桥中的每个开关管承受的电压应力均为直流母线电压的一半,其中,两个直流分压电容串联接于直流母线电压,每个直流分压电容上的电压均为直流母线电压的一半;所

述直流母线电压为高压侧电源或负载上的电压；

[0009] 所述高压网侧半桥ANPC有源桥电路内具有第一移相角，所述低压网侧H桥电路内具有第二移相角，半桥ANPC有源桥电路与H桥电路间具有第三移相角；所述移相控制器输出对三个移相角的控制信号，实现对高压网侧与低压网侧之间传输功率的控制。

[0010] 可选地，当半桥ANPC有源桥的输出在正电平、零电平、负电平以及零电平之间循环切换时，可使距离半桥ANPC有源桥输出端最近的两个开关管均在没有承受电压的情况下进行开关状态切换，以使得距离半桥ANPC有源桥输出端最近的两个开关管的开关损耗为零，降低距离半桥ANPC有源桥输出端最近的两个开关管的总损耗，所述总损耗包括开关损耗和通态损耗；其中，距离半桥ANPC有源桥输出端最近的两个开关管的通态损耗相比半桥ANPC有源桥其他开关管的通态损耗更高。

[0011] 可选地，所述半桥ANPC有源桥的三电平桥臂包括六个开关管 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_6$ ；第一开关管 $S_1$ 、第二开关管 $S_2$ 、第三开关管 $S_3$ 和第四开关管 $S_4$ 依次正向串联，两端与高压侧电源或负载的高压端和低压端相连；第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 正向串联，两端分别与所述第一开关管 $S_1$ 和第二开关管 $S_2$ 的串联中点及所述第三开关管 $S_3$ 和第四开关管 $S_4$ 的串联中点相连；第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 的串联中点 $O$ 与分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 的串联中点相连，并与变压器的一侧的一端相连；第二开关管 $S_2$ 和第三开关管 $S_3$ 的串联中点 $O'$ 作为半桥ANPC有源桥交流侧输出端，与所述辅助电感器的一端相连，电感器的另一端连接变压器一侧的另一端；

[0012] 高压侧分压电路由两个高压侧分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 构成，分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 串联，两端与高压侧电源或负载的高压端和低压端相连；其串联中点与第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 的串联中点相连。

[0013] 可选地，所述H桥电路包括四个开关管 $S_{H1}$ 、 $S_{H2}$ 、 $S_{H3}$ 、 $S_{H4}$ 及直流稳压电容 $C_3$ ；

[0014] 第七开关管 $S_{H1}$ 与第八开关管 $S_{H2}$ 正向串联成第一串联支路，第九开关管 $S_{H3}$ 和第十开关管 $S_{H4}$ 正向串联成第二串联支路，两个串联支路均与直流稳压电容 $C_3$ 并联；第七开关管 $S_{H1}$ 与第八开关管 $S_{H2}$ 的串联中点及第九开关管 $S_{H3}$ 和第十开关管 $S_{H4}$ 的串联中点分别与变压器另一侧的两端相连。

[0015] 可选地，所述ANPC有源桥的直流输入电源可以为两端口的单一直流电源，也可以是三端口的正负直流电源，采用两端口的单一直流电源时，其正极与直流第一分压电容的正极相连，其负极与直流第二分压电容的负极相连，此时需要中点电压平衡算法的辅助控制；采用三端口的正负直流电源时，其正极与直流第一分压电容的正极相连，其负极与直流第二分压电容的负极相连，其中点与第一端点相连。

[0016] 可选地，当ANPC有源桥输出正电平时，第一开关管 $S_1$ 、第二开关管 $S_2$ 和第六开关管 $S_6$ 导通；第三开关管 $S_3$ 和第四开关管 $S_4$ 关断，所述第六开关管 $S_6$ 导通使得第三开关管 $S_3$ 和第四开关管 $S_4$ 的串联中点和分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 的串联中点相连，从而在任意电流方向下可以保证第三开关管 $S_3$ 和第四开关管 $S_4$ 承受的电压均为直流母线电压的一半。

[0017] 可选地，当ANPC有源桥输出负电平时，第三开关管 $S_3$ 、第四开关管 $S_4$ 和第五开关管 $S_5$ 导通；第一开关管 $S_1$ 和第二开关管 $S_2$ 关断，所述第五开关管 $S_5$ 导通使得第一开关管 $S_1$ 和第二开关管 $S_2$ 的串联中点和分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 的串联中点相连，从而在任意电流方向下可以保证第一开关管 $S_1$ 和第二开关管 $S_2$ 承受的电压均为直流母线电压的一半。

[0018] 可选地,当ANPC有源桥输出零电平时,第二开关管 $S_2$ 和第五开关管 $S_5$ 导通,和/或所述第三开关管 $S_3$ 和第六开关管 $S_6$ 导通;其中,若第五开关管 $S_5$ 导通,或第五开关管 $S_5$ 关断、第二开关管 $S_2$ 、第三开关管 $S_3$ 以及第六开关管 $S_6$ 导通,则第一开关管 $S_1$ 关断;若第六开关管 $S_6$ 导通,或第六开关管 $S_6$ 关断、第二开关管 $S_2$ 、第三开关管 $S_3$ 以及第五开关管 $S_5$ 导通,则第四开关管 $S_4$ 关断。

[0019] 可选地,当ANPC有源桥输出零电平时,所述第二开关管 $S_2$ 、第三开关管 $S_3$ 、第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 可同时导通;所述距离ANPC有源桥输出端最近的两个开关管为第二开关管 $S_2$ 和第三开关管 $S_3$ ;

[0020] 则ANPC有源桥输出各电平之间通过如下方式切换:

[0021] 当ANPC有源桥的正电平切换为零电平时,先关断第一开关管 $S_1$ ,接着开通第五开关管 $S_5$ ,再开通第三开关管 $S_3$ ;

[0022] 当ANPC有源桥的零电平切换为负电平时,先关断第二开关管 $S_2$ ,再关断第六开关管 $S_6$ ,接着开通第四开关管 $S_4$ 。

[0023] 可选地,当ANPC有源桥的负电平切换为零电平时,先关断第四开关管 $S_4$ ,接着开通第六开关管 $S_6$ ,再开通第二开关管 $S_2$ ;当ANPC有源桥的零电平切换为正电平时,先关断第三开关管 $S_3$ ,再关断第五开关管 $S_5$ ,接着开通第一开关管 $S_1$ 。

[0024] 可选地,所述第二开关管 $S_2$ 和第三开关管 $S_3$ 在输出零电平和非零电平时都会产生通态损耗;

[0025] 所述第一开关管 $S_1$ 和第四开关管 $S_4$ 在输出非零电平时产生通态损耗;

[0026] 所述第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 在输出零电平时产生通态损耗;

[0027] 所述第二开关管 $S_2$ 和第三开关管 $S_3$ 均在零电压下开通或者关断,开关损耗为零。

[0028] 总体而言,通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比,具有以下有益效果:

[0029] 本发明通过在高压侧采用半桥有源中点钳位型三电平电路使高压侧可采用低耐压等级和低成本的开关器件,以及高压侧可实现低开关损耗;通过半桥有源中点钳位型三电平电路具有冗余开关状态的特点可改善高压侧功率器件的损耗分布,在相同输出功率下降低开关管的最大温升,减小所需散热器的体积;通过在低压侧采用H桥电路,可实现在低压大电流下的低开关管数量和低通态损耗,提高系统的效率。在较大的输入输出电压变换比的场合时成本过高,则所采用的开关管的电压应力增加,开关频率降低,磁性元件的体积重量等增加导致成本提高。本发明通过保证每个开关管所承受的电压应力均为直流母线电压的一半,可以有效控制器件的电压应力,并且保证较高的开关频率。本发明降低了距离半桥ANPC有源桥输出端最近的两个开关管的总损耗,改善了功率分布,降低了所需散热器体积,降低了整体系统成本。

[0030] 本发明可以极好地适配高压及大电压变换比的应用场合,所需开关管电压等级不高,成本较低,具有高压侧低开关损耗、低压侧低通态损耗的优势。该方法适用于电压变比大于2的DC/DC直流变换场合,该场合下低压侧和高压侧有较大的电压差距,高压侧需要降低器件的电压应力以使得器件可以工作在较高的开关频率,对于低压侧,电流较大,需要降低电流回路中串联的器件数量以保证低通态损耗。因此在高压侧采用ANPC电路在低压侧采用H桥电路可以有效地解决这一问题。

## 附图说明

[0031] 图1为基于半桥有源中点钳位型三电平和H桥的隔离式双向DC-DC变换器的结构图；

[0032] 图2为基于半桥有源中点钳位型三电平和H桥的隔离式双向DC-DC变换器的主电路拓扑图；

[0033] 图3为第二移相角  $\phi_2=1$ , 第三移相角  $\phi > 0$  时的移相工作波形图；

[0034] 图4为第二移相角  $\phi_2=1$ , 第三移相角  $\phi < 0$  时的移相工作波形图。

## 具体实施方式

[0035] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0036] 本发明的目的在于解决双有源桥隔离式双向DC-DC变换器以H桥电路作为有源桥电路形式应用于具有较大的输入输出电压变换比的场合时性能差及成本过高的问题。本发明提供一种适用于高压-低压间的电压传输的基于半桥有源中点钳位型三电平和H桥的隔离式双向DC-DC变换器。

[0037] 本发明提供一种基于半桥有源中点钳位型三电平和H桥的隔离式双向DC-DC变换器,通过在高压侧采用半桥有源中点钳位型三电平电路实现整体器件的低耐压等级和低成本,以及高压侧的低开关损耗,通过在低压侧采用H桥电路实现低压侧的低开关数目和低通态损耗,提高系统的效率。

[0038] 本发明提供的基于半桥有源中点钳位型三电平和H桥的隔离式双向DC-DC变换器包括主电路及其移相控制器。

[0039] 所述主电路在变压器T的高压侧依次配置有辅助电感器L、高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路、及高压侧直流电源或负载,在变压器低压侧配置有低压侧H桥电路及低压侧直流电源或负载。

[0040] 其中,所述高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路的直流侧与高压侧电源或负载相连;所述低压侧H桥电路的直流侧与低压侧电源或负载相连;所述辅助电感器与高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路的交流侧相连;所述辅助电感器与变压器高压侧相连。

[0041] 所述高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路由半桥有源中点钳位型三电平桥臂和高压侧分压电路构成。

[0042] 所述半桥有源中点钳位型三电平桥臂由六个开关管 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_6$ ;所述第一开关管 $S_1$ 、第二开关管 $S_2$ 、第三开关管 $S_3$ 和第四开关管 $S_4$ 依次正向串联,两端与高压侧直流电源或负载的高压端和低压端相连。所述第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 正向串联,两端分别与所述第一开关管 $S_1$ 和第二开关管 $S_2$ 的串联中点及所述第三开关管 $S_3$ 和第四开关管 $S_4$ 的串联中点相连。所述第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 的串联中点 $O$ 与分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 的串联中点相连,并与变压器T相连;所述第二开关管 $S_2$ 和第三开关管 $S_3$ 的串联中点 $O'$ 为桥臂交流侧输出端,与辅助电感器L相连。所述高压侧分压电路由两个高压侧分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 构成;所述高压侧分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 串联,两端分别与高压侧电源或负载的高压端和低压端相连;其串联中

点与半桥有源中点钳位型三电平桥臂第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 的串联中点相连。

[0043] 所述低压侧H桥电路由四个开关管 $S_{H1}$ 、 $S_{H2}$ 、 $S_{H3}$ 、 $S_{H4}$ 及直流稳压电容 $C_3$ 构成；所述H桥第一开关管 $S_{H1}$ 与H桥第二开关管 $S_{H2}$ 正向串联，与同样正向串联的H桥第三开关管 $S_{H3}$ 和H桥第四开关管 $S_{H4}$ ，及直流稳压电容 $C_3$ 并联；所述第一开关管 $S_{H1}$ 与H桥第二开关管 $S_{H2}$ 的串联中点及所述H桥第三开关管 $S_{H3}$ 和H桥第四开关管 $S_{H4}$ 的串联中点与变压器T的低压侧输出端子相连。

[0044] 所述高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路内具有第一移相角 $\phi_1$ ，所述低压侧H桥电路内具有第二移相角 $\phi_2$ ，所述高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路与所述低压侧H桥电路间具有第三移相角 $\phi$ ；所述移相控制器输出对三个移相角的控制信号。

[0045] 当能量从所述高压侧流向所述低压侧时，所述高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路处于逆变状态，所述低压侧H桥电路处于整流状态；当从所述低压侧流向所述高压侧时，所述高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路处于整流状态，所述低压侧H桥电路处于逆变状态。

[0046] 所述高压侧直流电源或负载及低压侧直流电源或负载中至少有一个直流电源作为系统的能量来源。所述高压侧直流电源或负载所用直流电源可以为两端口直流电源，也可为带中点三端口直流电源；若为带中点三端口直流电源，其电压中点与高压侧分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 的串联中点相连。

[0047] 参照图1，本发明提供的基于半桥有源中点钳位型三电平和H桥的隔离式双向DC-DC变换器包括主电路及其移相控制器。

[0048] 参照图2，所述主电路在变压器T的高压侧依次配置有辅助电感器L、高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路、及高压侧直流电源或负载，在变压器低压侧配置有低压侧H桥电路及低压侧直流电源或负载。

[0049] 其中，所述高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路的直流侧与高压侧电源或负载相连；所述低压侧H桥电路的直流侧与低压侧电源或负载相连；所述辅助电感器与高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路的交流侧相连；所述辅助电感器与变压器高压侧相连。

[0050] 所述高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路由半桥有源中点钳位型三电平桥臂和高压侧分压电路构成。

[0051] 所述半桥有源中点钳位型三电平桥臂由六个开关管 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_6$ ；所述第一开关管 $S_1$ 、第二开关管 $S_2$ 、第三开关管 $S_3$ 和第四开关管 $S_4$ 依次正向串联，两端与高压侧直流电源或负载的高压端P和低压端N相连。所述第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 正向串联，两端分别与所述第一开关管 $S_1$ 和第二开关管 $S_2$ 的串联中点及所述第三开关管 $S_3$ 和第四开关管 $S_4$ 的串联中点相连。所述第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 的串联中点O与分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 的串联中点相连，并与变压器T相连；所述第二开关管 $S_2$ 和第三开关管 $S_3$ 的串联中点O'为桥臂交流侧输出端，与辅助电感器L相连。所述高压侧分压电路由两个高压侧分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 构成；所述高压侧分压电容 $C_1$ 和 $C_2$ 串联，两端分别与高压侧电源或负载的高压端P和低压端N相连；其串联中点与半桥有源中点钳位型三电平桥臂第五开关管 $S_5$ 和第六开关管 $S_6$ 的串联中点相连。

[0052] 所述低压侧H桥电路由四个开关管 $S_{H1}$ 、 $S_{H2}$ 、 $S_{H3}$ 、 $S_{H4}$ 及直流稳压电容 $C_3$ 构成；所述H桥第一开关管 $S_{H1}$ 与H桥第二开关管 $S_{H2}$ 正向串联，与同样正向串联的H桥第三开关管 $S_{H3}$ 和H桥第四开关管 $S_{H4}$ ，及直流稳压电容 $C_3$ 并联；所述第一开关管 $S_{H1}$ 与H桥第二开关管 $S_{H2}$ 的串联中点



及所述H桥第三开关管 $S_{H3}$ 和H桥第四开关管 $S_{H4}$ 的串联中点与变压器T的低压侧输出端子相连。

[0053] 在本发明基于半桥有源中点钳位型三电平和H桥的隔离式双向DC/DC变换器中,高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路内具有第一移相角 $\phi_1$ ,低压侧H桥电路内具有第二移相角 $\phi_2$ ,高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路与低压侧H桥电路间具有第三移相角 $\phi$ ;移相控制器输出对三个移相角的控制信号。

[0054] 在本发明基于半桥有源中点钳位型三电平和H桥的隔离式双向DC/DC变换器的实施例中移相控制器采用双重移相控制,即低压侧H桥电路工作在两电平状态下,第二移相角 $\phi_2=1$ 。移相控制器通过控制高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路的第一移相角 $\phi_1$ 和高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路与低压侧H桥电路间的第三移相角 $\phi$ 实现对传输功率的实时控制。

[0055] 下面说明本发明基于半桥有源中点钳位型三电平和H桥的隔离式双向DC-DC变换器移相控制的工作原理。

[0056] 本发明基于半桥有源中点钳位型三电平和H桥的隔离式双向DC-DC变换器中高压侧直流电源或负载及低压侧直流电源或负载中至少有一个直流电源作为系统的能量来源。本发明基于半桥有源中点钳位型三电平和H桥的隔离式双向DC-DC变换器的工作模式分为两种,一种是能量从高压侧流向低压侧,此时高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路处于逆变状态,低压侧H桥电路处于整流状态,高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路与低压侧H桥电路间的第三移相角 $\phi$ 为正;一种是能量从低压侧流向高压侧,此时高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路处于整流状态,低压侧H桥电路处于逆变状态,高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路与低压侧H桥电路间的第三移相角 $\phi$ 为负。

[0057] 参照图3,给出了 $\phi > 0$ 时的移相工作波形图。其中, $V_1$ 为高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路的输出电压, $V_2$ 为低压侧H桥电路的输出电压, $V_L$ 为辅助电感器上的电压, $T_s$ 为开关周期, $i_L$ 为辅助电感器电流。

[0058] 参照图4,给出了 $\phi < 0$ 时的移相工作波形图。

[0059] 通过设计合适的调制方法,可以实现零电压开通。例如,通过移相控制器,使高压侧输出电平在高压侧电流从辅助电感器流向高压侧半桥有源中点钳位型三电平电路时,才进行从零电平到正电平的切换。若零电平通过导通第三开关管 $S_3$ 和第六开关管 $S_6$ 实现,则关断第三开关管 $S_3$ 可使电流换流至第一开关管 $S_1$ 和第二开关管 $S_2$ 所对应的二极管,输出电平切换为正电平。此时,再开通第一开关管 $S_1$ 和第二开关管 $S_2$ ,则第一开关管 $S_1$ 和第二开关管 $S_2$ 均为零电压开通。

[0060] 本发明基于半桥有源中点钳位型三电平和H桥的隔离式双向DC-DC变换器的移相控制在不同的输入/输出电压和负载变化的情况下,通过调节两个移相角,使系统能够传输最大功率,减小了的电压和电流应力及器件的损耗,减小了变压器的体积和相对的损耗,减少了无功功率的存在,也提高了系统的效率。

[0061] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

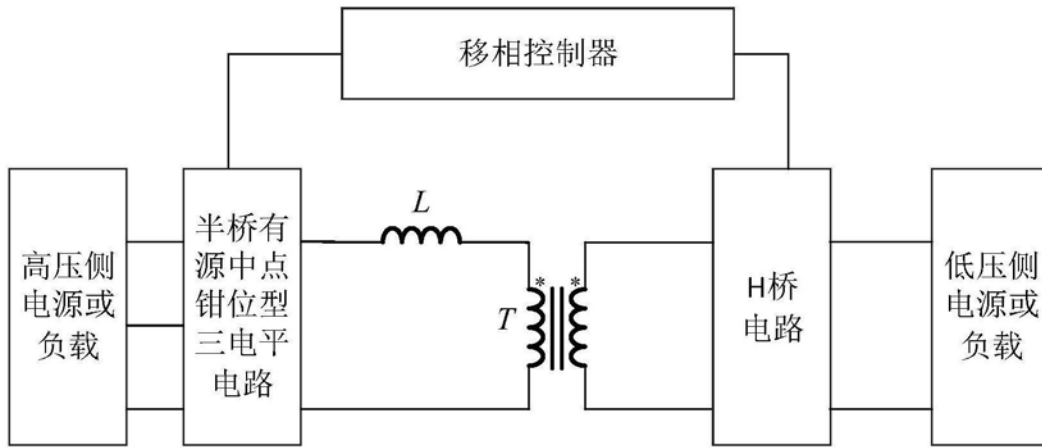


图1

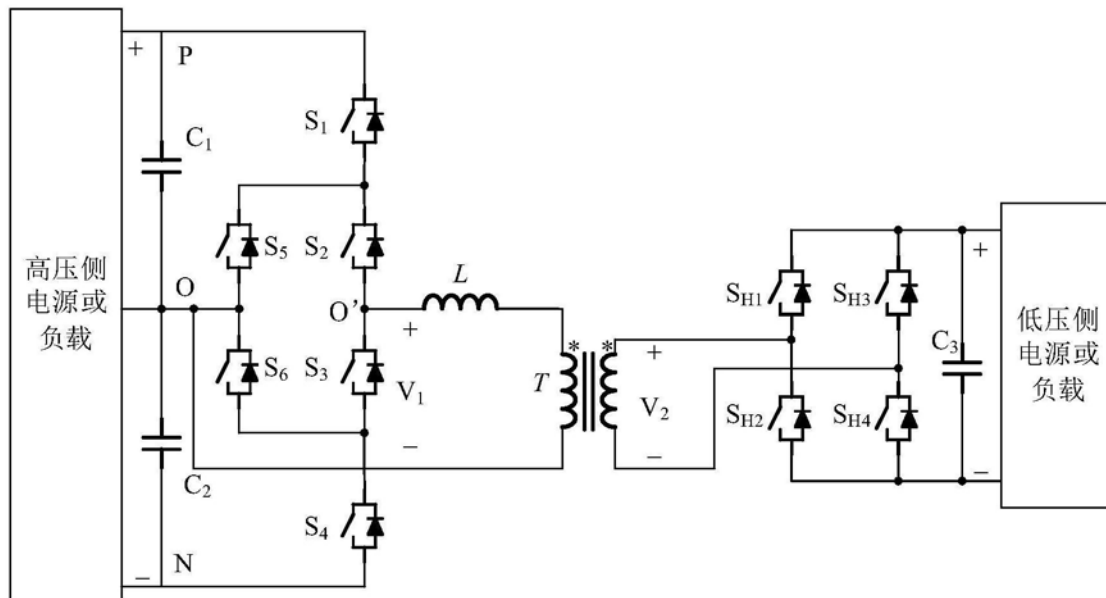


图2

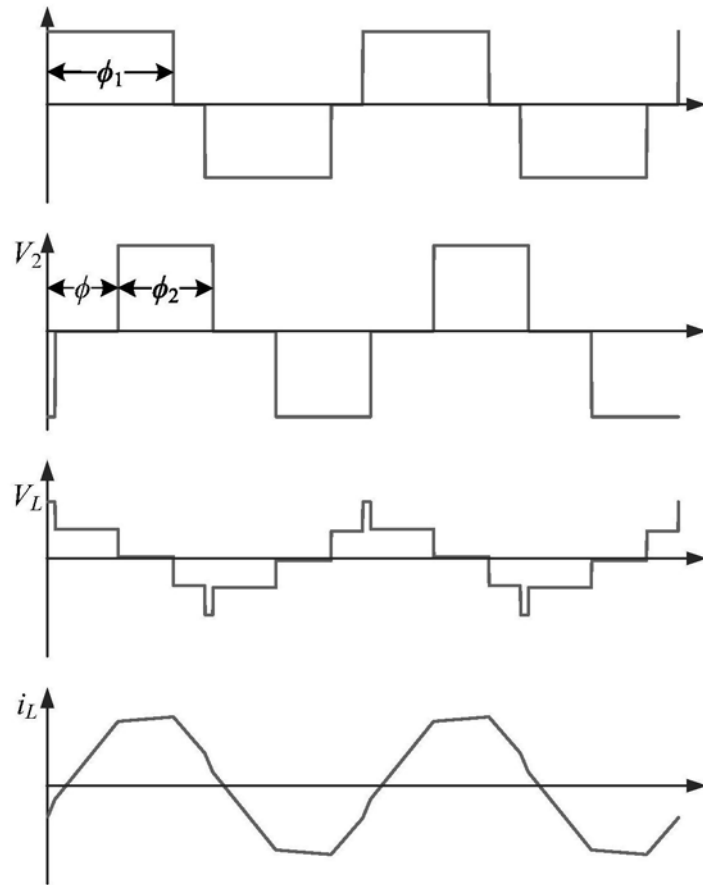


图3

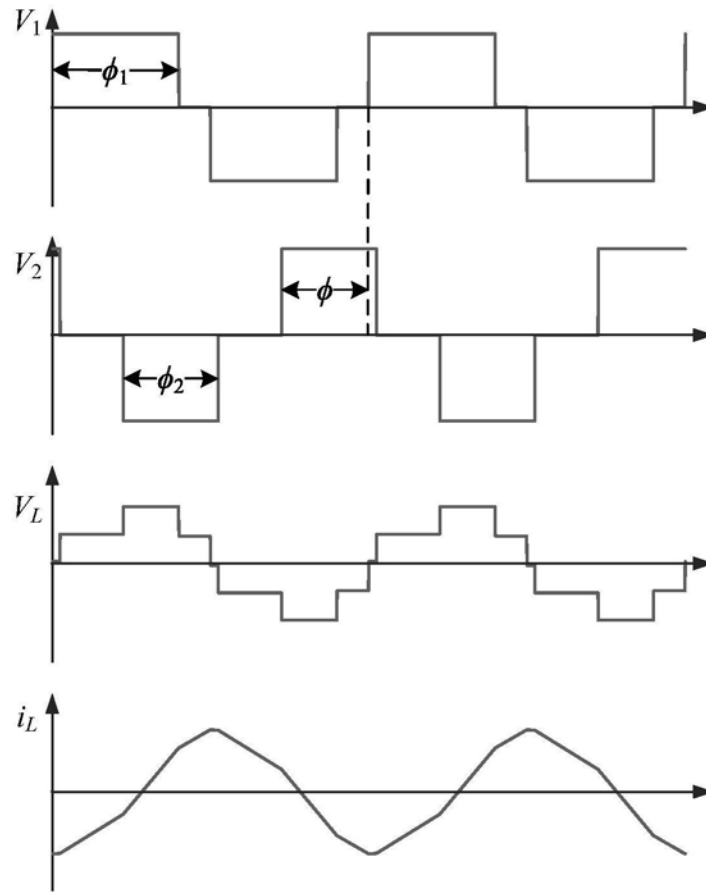


图4