

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102710162 A

(43) 申请公布日 2012. 10. 03

(21) 申请号 201210192684. 0

(22) 申请日 2012. 06. 12

(71) 申请人 阳光电源股份有限公司  
地址 230088 安徽省合肥市高新区天湖路 2 号

(72) 发明人 汪洪亮 赵为

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227  
代理人 李秋香 王宝筠

(51) Int. Cl.  
H02M 7/483 (2007. 01)  
H02M 1/088 (2006. 01)

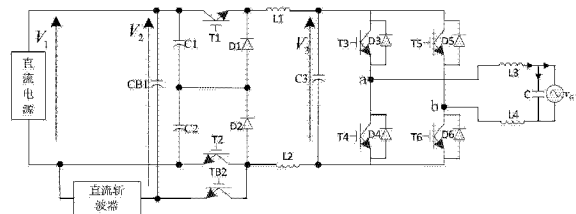
权利要求书 5 页 说明书 17 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种七电平电路、并网逆变器及其调制方法和装置

(57) 摘要

一种七电平电路,包括直流升压电路、对称双 Buck 电路;直流升压电路包括:与第四电容和直流斩波器;第二开关管和第二二极管的公共端与直流斩波器和第四电容的公共端间连有第八开关管;对称双 Buck 电路包括:第一、二电容串联后并联在直流电源两侧,第一、二二极管串联后与直流电源并联,第一电容与第一二极管之间设置有第一开关管,第二二极管与第二电容之间设置有第二开关管;第一二极管与七电平电路输出端之间设置有第一电感,第二开关管和第二二极管的公共端与七电平电路输出端之间设置有第二电感;第一、二电容的公共点与第一、二二极管的公共点相连。本发明提供一种七电平电路、并网逆变器及其控制方法和装置,兼顾漏电流和高效率两方面的问题。



1. 一种七电平电路,其特征在于,所述七电平电路包括直流升压电路、与直流电源相并联的对称双 Buck 电路;

所述直流升压电路包括:与直流电源并联的第四电容 CB1 和直流斩波器;第二开关管和第二二极管的公共端与所述直流斩波器和第四电容 CB1 的公共端之间连有第八开关管;

所述对称双 Buck 电路包括:第一电容和第二电容串联后并联在所述直流电源两侧,第一二极管和第二二极管串联后与所述直流电源并联,第一电容与第一二极管之间设置有第一开关管,第二二极管与第二电容之间设置有第二开关管;第一二极管和第一开关管的公共端与所述七电平电路输出端之间设置有第一电感,第二开关管和第二二极管的公共端与所述七电平电路输出端之间设置有第二电感;第一电容与第二电容的连接点与第一二极管和第二二极管的连接点直接相连。

2. 根据权利要求 1 所述的七电平电路,其特征在于,所述直流斩波器包括:所述第四电容 CB1 与直流电源的负母线端之间串联的第三二极管和第五电感,直流电源的正母线端与第三二极管和第五电感的公共端之间设置的第七开关管。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的七电平电路的调制方法,其特征在于,包括:

控制所述第一开关管、第二开关管和第八开关管的开关状态,使得第一电容和第二电容的公共端的电压是直流电源输出电压  $V_1$  的一半;使得所述七电平电路的输出电压  $V_3$  为电网电压的绝对值。

4. 根据权利要求 3 所述的七电平电路的调制方法,其特征在于,包括:

当直流电源输出电压高于调制波的峰值时,所述直流升压电路不工作,控制第一、二开关管的开通和关断,使得所述七电平电路按照五电平调节方式工作;所述调制波在一个周期  $T$  中有三个过零点,分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;  $t_4$  为周期  $T$  的中点;获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;

将  $t_0$  延迟  $1/4$  个周期  $T$  则是第一半周期的中点  $t_2$ ;将  $t_0$  延迟  $3/4$  个周期  $T$  则是第二半周期的中点  $t_6$ ;

调制波的第一半周期的波形和第二半周期的分别与  $V_1/2$  对应的直线有两个交点,分别为  $t_1$  和  $t_3$ ,以及  $t_5$  和  $t_7$ ;

$t_0-t_1$  时间段,控制第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制第二开关管关断;

$t_1-t_2$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通;

$t_2-t_3$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通;

$t_3-t_4$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断;

$t_4-t_5$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第二开关管关断;

$t_5-t_6$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通;

$t_6-t_7$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一

开关管导通；

$t_7-t_8$  时间段，控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通，控制所述第一开关管关断。

5. 根据权利要求 3 所述的七电平电路的调制方法，其特征在于，

当直流电源输出电压高于调制波的峰值时，所述直流升压电路工作，控制第一、二、八开关管的开通和关断，使得所述七电平电路按照七电平调节方式工作；

调制波在一个周期  $T$  中有三个过零点，分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ； $t_4$  为周期  $T$  的中点；获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ；

将  $t_0$  延迟  $1/4$  个周期  $T$  则是第一半周期的中点  $t_2$ ；将  $t_0$  延迟  $3/4$  个周期  $T$  则是第二半周期的中点  $t_6$ ；

调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与  $V1/2$  对应的直线有两个交点，分别记为  $t_1$  和  $t_3$ ，以及  $t_5$  和  $t_7$ ；

在时间点  $t_1$  和  $t_2$  之间设置时间点  $t_{1x}$ ，在时间点  $t_2$  和  $t_3$  之间设置时间点  $t_{3x}$ ，时间点  $t_{1x}$  和时间点  $t_{3x}$  以时间点  $t_2$  为中心；

在时间点  $t_5$  和  $t_6$  之间设置时间点  $t_{5x}$ ，在时间点  $t_6$  和  $t_7$  之间设置时间点  $t_{7x}$ ，时间点  $t_{5x}$  和时间点  $t_{7x}$  以时间点  $t_6$  为中心；且  $t_{1x}-t_{3x}$  时间段等于  $t_{5x}-t_{7x}$  时间段；

$t_0-t_1$  时间段，控制第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通，控制第二开关管关断，控制第八开关管关断；

$t_1-t_{1x}$  时间段，控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断，控制所述第二开关管导通，控制第八开关管关断；

$t_{1x}-t_{3x}$  时间段，控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断；控制第一开关管导通；控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通；

$t_{3x}-t_3$  时间段，控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断，控制所述第一开关管导通，控制第八开关管关断；

$t_3-t_4$  时间段，控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通，控制所述第一开关管关断，控制第八开关管关断；

$t_4-t_5$  时间段，控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通，控制所述第二开关管关断，控制第八开关管关断；

$t_5-t_{5x}$  时间段，控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断，控制所述第二开关管导通，控制第八开关管关断；

$t_{5x}-t_{7x}$  时间段，控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断；控制第一开关管导通；控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通；

$t_{7x}-t_7$  时间段，控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断，控制所述第一开关管导通，控制第八开关管关断；

$t_7-t_8$  时间段，控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通，控制所述第一开关管关断，控制第八开关管关断。

6. 根据权利要求 3 所述的七电平电路的调制方法，其特征在于，

当直流电源输出电压低于调制波的峰值时，所述直流升压电路工作，控制第一、二、八开关管的开通和关断，使得所述七电平电路按照七电平调节方式工作；

调制波在一个周期  $T$  中有三个过零点,分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;  $t_4$  为周期  $T$  的中点;获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;

将  $t_0$  延迟  $1/4$  个周期  $T$  则是第一半周期的中点  $t_2$ ;将  $t_0$  延迟  $3/4$  个周期  $T$  则是第二半周期的中点  $t_6$ ;

调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与  $V1/2$  对应的直线有两个交点,分别记为  $t_1$  和  $t_3$ ,以及  $t_5$  和  $t_7$ ;

调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与  $V1$  对应的直线有两个交点,分别记为  $t_{1y}$  和  $t_{3y}$ ,以及  $t_{5y}$  和  $t_{7y}$ ;

$t_0-t_1$  时间段,控制第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制第二开关管关断,控制直流升压电路中的第八开关管关断;

$t_1-t_{1y}$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通,控制第八开关管关断;

$t_{1y}-t_{3y}$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断;控制第一开关管导通;控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通;

$t_{3y}-t_3$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通,控制第八开关管关断;

$t_3-t_4$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断,控制第八开关管关断;

$t_4-t_5$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第二开关管关断,控制第八开关管关断;

$t_5-t_{5y}$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通,控制第八开关管关断;

$t_{5y}-t_{7y}$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断;控制第一开关管导通;控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通;

$t_{7y}-t_7$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通,控制第八开关管关断;

$t_7-t_8$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断,控制第八开关管关断。

7. 一种根据权利要求 1 或 2 所述的七电平电路的调制装置,其特征在于,所述调制装置通过控制所述第一开关管、第二开关管和第八开关管的开关状态,使得第一电容和第二电容的公共端的电压是直流电源输出电压  $V1$  的一半;使得所述七电平电路的输出电压  $V3$  为电网电压的绝对值。

8. 根据权利要求 7 所述的七电平电路的调制装置,其特征在于,所述装置包括:第一开关管工作状态确定单元、第一时间确定单元和第一控制单元;

所述第一开关管工作状态确定单元,用于当直流电源输出电压高于调制波的峰值时,所述直流升压电路不工作,控制第一、二开关管的开通和关断,使得所述七电平电路按照五电平调节方式工作;

所述第一时间确定单元,用于确定调制的时间段;具体为:所述调制波在一个周期  $T$  中有三个过零点,分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;  $t_4$  为周期  $T$  的中点;获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;将

$t_0$  延迟  $1/4$  个周期  $T$  则是第一半周期的中点  $t_2$ ; 将  $t_0$  延迟  $3/4$  个周期  $T$  则是第二半周期的中点  $t_6$ ; 调制波的第一半周期的波形和第二半周期的分别与  $V1/2$  对应的直线有两个交点, 分别为  $t_1$  和  $t_3$ , 以及  $t_5$  和  $t_7$ ;

所述第一控制单元, 用于控制第一、二、八开关管的开关状态, 具体为:  $t_0-t_1$  时间段, 控制第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通, 控制第二开关管关断;  $t_1-t_2$  时间段, 控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断, 控制所述第二开关管导通;  $t_2-t_3$  时间段, 控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断, 控制所述第一开关管导通;  $t_3-t_4$  时间段, 控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通, 控制所述第一开关管关断;  $t_4-t_5$  时间段, 控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通, 控制所述第二开关管关断;  $t_5-t_6$  时间段, 控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断, 控制所述第二开关管导通;  $t_6-t_7$  时间段, 控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断, 控制所述第一开关管导通;  $t_7-t_8$  时间段, 控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通, 控制所述第一开关管关断。

9. 根据权利要求 7 所述的七电平电路的调制装置, 其特征在于, 包括: 第二开关管工作状态确定单元、第二时间确定单元和第二控制单元;

第二开关管工作状态确定单元, 用于当直流电源输出电压高于调制波的峰值时, 所述直流升压电路工作, 控制第一、二、八开关管的开通和关断, 使得所述七电平电路按照七电平调节方式工作;

所述第二时间确定单元, 用于确定调制的时间段; 具体为: 调制波在一个周期  $T$  中有三个过零点, 分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;  $t_4$  为周期  $T$  的中点; 获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ; 将  $t_0$  延迟  $1/4$  个周期  $T$  则是第一半周期的中点  $t_2$ ; 将  $t_0$  延迟  $3/4$  个周期  $T$  则是第二半周期的中点  $t_6$ ; 调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与  $V1/2$  对应的直线有两个交点, 分别记为  $t_1$  和  $t_3$ , 以及  $t_5$  和  $t_7$ ; 在时间点  $t_1$  和  $t_2$  之间设置时间点  $t_{1x}$ , 在时间点  $t_2$  和  $t_3$  之间设置时间点  $t_{3x}$ , 时间点  $t_{1x}$  和时间点  $t_{3x}$  以时间点  $t_2$  为中心; 在时间点  $t_5$  和  $t_6$  之间设置时间点  $t_{5x}$ , 在时间点  $t_6$  和  $t_7$  之间设置时间点  $t_{7x}$ , 时间点  $t_{5x}$  和时间点  $t_{7x}$  以时间点  $t_6$  为中心; 且  $t_{1x}-t_{3x}$  时间段等于  $t_{5x}-t_{7x}$  时间段;

所述第二控制单元, 用于控制第一、二、八开关管的开关状态, 具体为:  $t_0-t_1$  时间段, 控制第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通, 控制第二开关管关断, 控制第八开关管关断;  $t_1-t_{1x}$  时间段, 控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断, 控制所述第二开关管导通, 控制第八开关管关断;  $t_{1x}-t_{3x}$  时间段, 控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断; 控制第一开关管导通; 控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通;  $t_{3x}-t_3$  时间段, 控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断, 控制所述第一开关管导通, 控制第八开关管关断;  $t_3-t_4$  时间段, 控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通, 控制所述第一开关管关断, 控制第八开关管关断;  $t_4-t_5$  时间段, 控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通, 控制所述第二开关管关断, 控制第八开关管关断;  $t_5-t_{5x}$  时间段, 控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断, 控制所述第二开关管导通, 控制第八开关管关断;  $t_{5x}-t_{7x}$  时间段, 控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断; 控制第一开关管导通; 控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通;  $t_{7x}-t_7$  时间段, 控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关

断,控制所述第一开关管导通,控制第八开关管关断; $t_7-t_8$ 时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断,控制第八开关管关断。

10. 根据权利要求7所述的七电平电路的调制装置,其特征在于,所述装置包括:第三开关管工作状态确定单元、第三时间确定单元和第三控制单元;

所述第三开关管工作状态确定单元,用于当直流电源输出电压低于调制波的峰值时,所述直流升压电路工作,控制第一、二、八开关管的开通和关断,使得所述七电平电路按照七电平调节方式工作;

所述第三时间确定单元,用于确定调制的时间段;具体为:调制波在一个周期 $T$ 中有三个过零点,分别记为 $t_0$ 、 $t_4$ 和 $t_8$ ;  $t_4$ 为周期 $T$ 的中点;获得这三个过零点 $t_0$ 、 $t_4$ 和 $t_8$ ;将 $t_0$ 延迟 $1/4$ 个周期 $T$ 则是第一半周期的中点 $t_2$ ;将 $t_0$ 延迟 $3/4$ 个周期 $T$ 则是第二半周期的中点 $t_6$ ;调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与 $V1/2$ 对应的直线有两个交点,分别记为 $t_1$ 和 $t_3$ ,以及 $t_5$ 和 $t_7$ ;调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与 $V1$ 对应的直线有两个交点,分别记为 $t_{1y}$ 和 $t_{3y}$ ,以及 $t_{5y}$ 和 $t_{7y}$ ;

所述第三控制单元,用于控制第一、二、八开关管的开关状态,具体为: $t_0-t_1$ 时间段,控制第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制第二开关管关断,控制直流升压电路中的第八开关管关断; $t_1-t_{1y}$ 时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通,控制第八开关管关断; $t_{1y}-t_{3y}$ 时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断;控制第一开关管导通;控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通; $t_{3y}-t_3$ 时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通,控制第八开关管关断; $t_3-t_4$ 时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断,控制第八开关管关断; $t_4-t_5$ 时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第二开关管关断,控制第八开关管关断; $t_5-t_{5y}$ 时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通,控制第八开关管关断; $t_{5y}-t_{7y}$ 时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断;控制第一开关管导通;控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通; $t_{7y}-t_7$ 时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通,控制第八开关管关断; $t_7-t_8$ 时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断,控制第八开关管关断。

11. 一种并网逆变器,其特征在于,包括权利要求1或2所述的七电平电路,以及与所述七电平电路输出侧并联的工频换相逆变电路。

12. 一种并网逆变器,其特征在于,包括权利要求1或2所述的七电平电路,与所述七电平电路输出侧并联的工频换相逆变电路,以及并联在所述七电平电路与工频换相逆变电路之间的第三电容。

13. 一种控制并网逆变器的方法,其特征在于,所述并网逆变器包括权利要求1或2所述的七电平电路,所述七电平电路采用如权利要求3至6任一项所述的调制方法。

14. 一种控制并网逆变器的装置,其特征在于,所述并网逆变器包括权利要求1或2所述的七电平电路,所述七电平电路采用如权利要求7至10任一项所述的调制装置。

## 一种七电平电路、并网逆变器及其调制方法和装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力电子技术领域,特别涉及一种七电平电路、并网逆变器及其调制方法和装置。

### 背景技术

[0002] 逆变器的分类,一般是根据逆变器应用场合和控制方式的不同可分为离网型逆变器和并网型逆变器,在并网型逆变器中根据是否带有变压器又可分为变压器隔离型逆变器和无变压器型逆变器。

[0003] 无变压器型逆变器由于系统结构简单,效率高,体积小,成本低等诸多优点,得到了快速的发展。

[0004] 但是无变压器型逆变器由于不能实现直流输入源和交流负载间的电气隔离,漏电流问题是其可靠性的关键指标之一。

[0005] 为获得较高的效率,常采用单极性调制策略,传统的 H4 拓扑已不能同时兼顾漏电流和高效率。为消除单极性 SPWM 调制产生的高频共模电压,必须使得续流阶段的续流回路嵌位在太阳能电池电压的一半,才能达到消除共模电压漏电流的目的。采用改进型拓扑,如 H5、H6、Heric 拓扑,实现了单极性调制策略,在一定程度上解决了漏电流问题,其桥臂输出电压等效为三电平输出。

### 发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是提供一种七电平电路、并网逆变器及其调制方法和系统,实现兼顾漏电流和高效率两方面的问题。

[0007] 本发明提供一种七电平电路,所述七电平电路包括直流升压电路、与直流电源相并联的对称双 Buck 电路;

[0008] 所述直流升压电路包括:与直流电源并联的第四电容 CB1 和直流斩波器;第二开关管和第二二极管的公共端与所述直流斩波器和第四电容 CB1 的公共端之间连有第八开关管;

[0009] 所述对称双 Buck 电路包括:第一电容和第二电容串联后并联在所述直流电源两侧,第一二极管和第二二极管串联后与所述直流电源并联,第一电容与第一二极管之间设置有第一开关管,第二二极管与第二电容之间设置有第二开关管;第一二极管和第一开关管的公共端与所述七电平电路输出端之间设置有第一电感,第二开关管和第二二极管的公共端与所述七电平电路输出端之间设置有第二电感;第一电容与第二电容的连接点与第一二极管和第二二极管的连接点直接相连。

[0010] 优选地,所述直流斩波器包括:所述第四电容 CB1 与直流电源的负母线端之间串联的第三二极管和第五电感,直流电源的正母线端与第三二极管和第五电感的公共端之间设置的第七开关管。

[0011] 优选地,包括:

[0012] 控制所述第一开关管、第二开关管和第八开关管的开关状态,使得第一电容和第二电容的公共端的电压是直流电源输出电压  $V_1$  的一半;使得所述七电平电路的输出电压  $V_3$  为电网电压的绝对值。

[0013] 优选地,包括:

[0014] 当直流电源输出电压高于调制波的峰值时,所述直流升压电路不工作,控制第一、二开关管的开通和关断,使得所述七电平电路按照五电平调节方式工作;所述调制波在一个周期  $T$  中有三个过零点,分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;  $t_4$  为周期  $T$  的中点;获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;

[0015] 将  $t_0$  延迟  $1/4$  个周期  $T$  则是第一半周期的中点  $t_2$ ;将  $t_0$  延迟  $3/4$  个周期  $T$  则是第二半周期的中点  $t_6$ ;

[0016] 调制波的第一半周期的波形和第二半周期的分别与  $V_1/2$  对应的直线有两个交点,分别为  $t_1$  和  $t_3$ ,以及  $t_5$  和  $t_7$ ;

[0017]  $t_0-t_1$  时间段,控制第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制第二开关管关断;

[0018]  $t_1-t_2$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通;

[0019]  $t_2-t_3$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通;

[0020]  $t_3-t_4$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断;

[0021]  $t_4-t_5$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第二开关管关断;

[0022]  $t_5-t_6$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通;

[0023]  $t_6-t_7$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通;

[0024]  $t_7-t_8$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断。

[0025] 优选地,当直流电源输出电压高于调制波的峰值时,所述直流升压电路工作,控制第一、二、八开关管的开通和关断,使得所述七电平电路按照七电平调节方式工作;

[0026] 调制波在一个周期  $T$  中有三个过零点,分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;  $t_4$  为周期  $T$  的中点;获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;

[0027] 将  $t_0$  延迟  $1/4$  个周期  $T$  则是第一半周期的中点  $t_2$ ;将  $t_0$  延迟  $3/4$  个周期  $T$  则是第二半周期的中点  $t_6$ ;

[0028] 调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与  $V_1/2$  对应的直线有两个交点,分别记为  $t_1$  和  $t_3$ ,以及  $t_5$  和  $t_7$ ;

[0029] 在时间点  $t_1$  和  $t_2$  之间设置时间点  $t_{1x}$ ,在时间点  $t_2$  和  $t_3$  之间设置时间点  $t_{3x}$ ,时间点  $t_{1x}$  和时间点  $t_{3x}$  以时间点  $t_2$  为中心;

[0030] 在时间点  $t_5$  和  $t_6$  之间设置时间点  $t_{5x}$ ,在时间点  $t_6$  和  $t_7$  之间设置时间点  $t_{7x}$ ,时间



点  $t_{5x}$  和 时间点  $t_{7x}$  以 时间点  $t_2$  为 中心 ; 且  $t_{1x}-t_{3x}$  时 间 段 等 于  $t_{5x}-t_{7x}$  时 间 段 ;

[0031]  $t_0-t_1$  时 间 段 , 控 制 第 一 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 关 断 和 导 通 , 控 制 第 二 开 关 管 关 断 , 控 制 直 流 升 压 电 路 中 的 第 八 开 关 管 关 断 ;

[0032]  $t_1-t_{1x}$  时 间 段 , 控 制 所 述 第 一 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 导 通 和 关 断 , 控 制 所 述 第 二 开 关 管 导 通 , 控 制 第 八 开 关 管 关 断 ;

[0033]  $t_{1x}-t_{3x}$  时 间 段 , 控 制 所 述 第 二 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 导 通 和 关 断 ; 控 制 第 一 开 关 管 导 通 ; 控 制 所 述 第 八 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 关 断 和 导 通 ;

[0034]  $t_{3x}-t_3$  时 间 段 , 控 制 所 述 第 二 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 导 通 和 关 断 , 控 制 所 述 第 一 开 关 管 导 通 , 控 制 第 八 开 关 管 关 断 ;

[0035]  $t_3-t_4$  时 间 段 , 控 制 所 述 第 二 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 关 断 和 导 通 , 控 制 所 述 第 一 开 关 管 关 断 , 控 制 第 八 开 关 管 关 断 ;

[0036]  $t_4-t_5$  时 间 段 , 控 制 所 述 第 一 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 关 断 和 导 通 , 控 制 所 述 第 二 开 关 管 关 断 , 控 制 第 八 开 关 管 关 断 ;

[0037]  $t_5-t_{5x}$  时 间 段 , 控 制 所 述 第 一 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 导 通 和 关 断 , 控 制 所 述 第 二 开 关 管 导 通 , 控 制 第 八 开 关 管 关 断 ;

[0038]  $t_{5x}-t_{7x}$  时 间 段 , 控 制 所 述 第 二 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 导 通 和 关 断 ; 控 制 第 一 开 关 管 导 通 ; 控 制 所 述 第 八 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 关 断 和 导 通 ;

[0039]  $t_{7x}-t_7$  时 间 段 , 控 制 所 述 第 二 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 导 通 和 关 断 , 控 制 所 述 第 一 开 关 管 导 通 , 控 制 第 八 开 关 管 关 断 ;

[0040]  $t_7-t_8$  时 间 段 , 控 制 所 述 第 二 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 关 断 和 导 通 , 控 制 所 述 第 一 开 关 管 关 断 , 控 制 第 八 开 关 管 关 断 。

[0041] 优 选 地 , 当 直 流 电 源 输 出 电 压 低 于 调 制 波 的 峰 值 时 , 所 述 直 流 升 压 电 路 工 作 , 控 制 第 一、二、八 开 关 管 的 开 通 和 关 断 , 使 得 所 述 七 电 平 电 路 按 照 七 电 平 调 节 方 式 工 作 ;

[0042] 调 制 波 在 一 个 周 期  $T$  中 有 三 个 过 零 点 , 分 别 记 为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$  ;  $t_4$  为 周 期  $T$  的 中 点 ; 获 得 这 三 个 过 零 点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$  ;

[0043] 将  $t_0$  延 迟  $1/4$  个 周 期  $T$  则 是 第 一 半 周 期 的 中 点  $t_2$  ; 将  $t_0$  延 迟  $3/4$  个 周 期  $T$  则 是 第 二 半 周 期 的 中 点  $t_6$  ;

[0044] 调 制 波 的 第 一 半 周 期 的 波 形 和 第 二 半 周 期 的 波 形 分 别 与  $V1/2$  对 应 的 直 线 有 两 个 交 点 , 分 别 记 为  $t_1$  和  $t_3$  , 以 及  $t_5$  和  $t_7$  ;

[0045] 调 制 波 的 第 一 半 周 期 的 波 形 和 第 二 半 周 期 的 波 形 分 别 与  $V1$  对 应 的 直 线 有 两 个 交 点 , 分 别 记 为  $t_{1y}$  和  $t_{3y}$  , 以 及  $t_{5y}$  和  $t_{7y}$  ;

[0046]  $t_0-t_1$  时 间 段 , 控 制 第 一 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 关 断 和 导 通 , 控 制 第 二 开 关 管 关 断 , 控 制 直 流 升 压 电 路 中 的 第 八 开 关 管 关 断 ;

[0047]  $t_1-t_{1y}$  时 间 段 , 控 制 所 述 第 一 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 导 通 和 关 断 , 控 制 所 述 第 二 开 关 管 导 通 , 控 制 第 八 开 关 管 关 断 ;

[0048]  $t_{1y}-t_{3y}$  时 间 段 , 控 制 所 述 第 二 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 导 通 和 关 断 ; 控 制 第 一 开 关 管 导 通 ; 控 制 所 述 第 八 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 关 断 和 导 通 ;

[0049]  $t_{3y}-t_3$  时 间 段 , 控 制 所 述 第 二 开 关 管 按 照 正 弦 脉 冲 宽 度 调 制 导 通 和 关 断 , 控 制 所 述 第 一 开 关 管 导 通 , 控 制 第 八 开 关 管 关 断 ;

[0050]  $t_3-t_4$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断,控制第八开关管关断;

[0051]  $t_4-t_5$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第二开关管关断,控制第八开关管关断;

[0052]  $t_5-t_{5y}$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通,控制第八开关管关断;

[0053]  $t_{5y}-t_{7y}$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断;控制第一开关管导通;控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通;

[0054]  $t_{7y}-t_7$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通,控制第八开关管关断;

[0055]  $t_7-t_8$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断,控制第八开关管关断。

[0056] 本发明提供一种七电平电路的调制装置,所述调制装置通过控制所述第一开关管、第二开关管和第八开关管的开关状态,使得第一电容和第二电容的公共端的电压是直流电源输出电压  $V1$  的一半;使得所述七电平电路的输出电压  $V3$  为电网电压的绝对值;

[0057] 优选地,所述装置包括:第一开关管工作状态确定单元、第一时间确定单元和第一控制单元;

[0058] 所述第一开关管工作状态确定单元,用于当直流电源输出电压高于调制波的峰值时,所述直流升压电路不工作,控制第一、二开关管的开通和关断,使得所述七电平电路按照五电平调节方式工作;

[0059] 所述第一时间确定单元,用于确定调制的时间段;具体为:所述调制波在一个周期  $T$  中有三个过零点,分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;  $t_4$  为周期  $T$  的中点;获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;将  $t_0$  延迟  $1/4$  个周期  $T$  则是第一半周期的中点  $t_2$ ;将  $t_0$  延迟  $3/4$  个周期  $T$  则是第二半周期的中点  $t_6$ ;调制波的第一半周期的波形和第二半周期的分别与  $V1/2$  对应的直线有两个交点,分别为  $t_1$  和  $t_3$ ,以及  $t_5$  和  $t_7$ ;

[0060] 所述第一控制单元,用于控制第一、二、八开关管的开关状态,具体为: $t_0-t_1$  时间段,控制第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制第二开关管关断; $t_1-t_2$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通; $t_2-t_3$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通; $t_3-t_4$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断; $t_4-t_5$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第二开关管关断; $t_5-t_6$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通; $t_6-t_7$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通; $t_7-t_8$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断。

[0061] 优选地,包括:第二开关管工作状态确定单元、第二时间确定单元和第二控制单元;

[0062] 第二开关管工作状态确定单元,用于当直流电源输出电压高于调制波的峰值时,所述直流升压电路工作,控制第一、二、八开关管的开通和关断,使得所述七电平电路按照

七电平调节方式工作；

[0063] 所述第二时间确定单元,用于确定调制的时间段;具体为:调制波在一个周期  $T$  中有三个过零点,分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;  $t_4$  为周期  $T$  的中点;获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;将  $t_0$  延迟  $1/4$  个周期  $T$  则是第一半周期的中点  $t_2$ ;将  $t_0$  延迟  $3/4$  个周期  $T$  则是第二半周期的中点  $t_6$ ;调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与  $V1/2$  对应的直线有两个交点,分别记为  $t_1$  和  $t_3$ ,以及  $t_5$  和  $t_7$ ;在时间点  $t_1$  和  $t_2$  之间设置时间点  $t_{1x}$ ,在时间点  $t_2$  和  $t_3$  之间设置时间点  $t_{3x}$ ,时间点  $t_{1x}$  和时间点  $t_{3x}$  以时间点  $t_2$  为中心;在时间点  $t_5$  和  $t_6$  之间设置时间点  $t_{5x}$ ,在时间点  $t_6$  和  $t_7$  之间设置时间点  $t_{7x}$ ,时间点  $t_{5x}$  和时间点  $t_{7x}$  以时间点  $t_6$  为中心;且  $t_{1x}-t_{3x}$  时间段等于  $t_{5x}-t_{7x}$  时间段;

[0064] 所述第二控制单元,用于控制第一、二、八开关管的开关状态,具体为: $t_0-t_1$  时间段,控制第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制第二开关管关断,控制直流升压电路中的第八开关管关断; $t_1-t_{1x}$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通,控制第八开关管关断; $t_{1x}-t_{3x}$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断;控制第一开关管导通;控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通; $t_{3x}-t_3$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通,控制第八开关管关断; $t_3-t_4$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断,控制第八开关管关断; $t_4-t_5$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第二开关管关断,控制第八开关管关断; $t_5-t_{5x}$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通,控制第八开关管关断; $t_{5x}-t_{7x}$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断;控制第一开关管导通;控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通; $t_{7x}-t_7$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通,控制第八开关管关断; $t_7-t_8$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断,控制第八开关管关断。

[0065] 优选地,所述装置包括:第三开关管工作状态确定单元、第三时间确定单元和第三控制单元;

[0066] 所述第三开关管工作状态确定单元,用于当直流电源输出电压低于调制波的峰值时,所述直流升压电路工作,控制第一、二、八开关管的开通和关断,使得所述七电平电路按照七电平调节方式工作;

[0067] 所述第三时间确定单元,用于确定调制的时间段;具体为:调制波在一个周期  $T$  中有三个过零点,分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;  $t_4$  为周期  $T$  的中点;获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;将  $t_0$  延迟  $1/4$  个周期  $T$  则是第一半周期的中点  $t_2$ ;将  $t_0$  延迟  $3/4$  个周期  $T$  则是第二半周期的中点  $t_6$ ;调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与  $V1/2$  对应的直线有两个交点,分别记为  $t_1$  和  $t_3$ ,以及  $t_5$  和  $t_7$ ;调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与  $V1$  对应的直线有两个交点,分别记为  $t_{1y}$  和  $t_{3y}$ ,以及  $t_{5y}$  和  $t_{7y}$ ;

[0068] 所述第三控制单元,用于控制第一、二、八开关管的开关状态,具体为: $t_0-t_1$  时间段,控制第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制第二开关管关断,控制直流升压电路中的第八开关管关断; $t_1-t_{1y}$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导

通和关断,控制所述第二开关管导通,控制第八开关管关断; $t_{1y}-t_{3y}$ 时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断;控制第一开关管导通;控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通; $t_{3y}-t_3$ 时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通,控制第八开关管关断; $t_3-t_4$ 时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断,控制第八开关管关断; $t_4-t_5$ 时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第二开关管关断,控制第八开关管关断; $t_5-t_{5y}$ 时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通,控制第八开关管关断; $t_{5y}-t_{7y}$ 时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断;控制第一开关管导通;控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通; $t_{7y}-t_7$ 时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通,控制第八开关管关断; $t_7-t_8$ 时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断,控制第八开关管关断。

[0069] 本发明还提供一种并网逆变器,包括所述的七电平电路,以及与所述七电平电路输出侧并联的工频换相逆变电路。

[0070] 本发明还提供一种并网逆变器,包括所述的七电平电路,与所述七电平电路输出侧并联的工频换相逆变电路,以及并联在所述七电平电路与工频换相逆变电路之间的第三电容。

[0071] 本发明还提供一种控制并网逆变器的方法,所述并网逆变器包括所述的七电平电路,所述七电平电路采用所述的调制方法。

[0072] 本发明还提供一种控制并网逆变器的装置,所述并网逆变器包括所述的七电平电路,所述七电平电路采用所述的调制装置。

[0073] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0074] 本发明实施例所述七电平电路,由于电路包括直流升压电路、与直流电源相并联的对称双 Buck 电路;所述直流升压电路工作时,可以实现七电平调节方式工作。

[0075] 当本发明实施例所述七电平电路应用于并网逆变器时,可以满足在前级直流电源输出电压不能达到逆变电压的要求时,通过直流升压电路的升压,从而达到逆变电压的要求,实现逆变。

[0076] 本发明实施例所述并网逆变器的调制方法和装置,在电网电压的第一半周期和第二半周期是间隔地出现第三模态 C 和第四模态 D,这样可以有效抵消第三模态 C 和第四模态 D 时双 Buck 电路的第一电容 C1 和第二电容 C2 上产生的电压波动。并且第一、二电容 C1、C2 和第一、二电感 L1、L2 的持续放电和持续充电时间都较短,大大减小了第一、二电容 C1、C2 和第一、二电感 L1、L2 的端电压波动,从而减小输出电压的纹波,改善了输出波形。并且,本发明实施例所述并网逆变器的调制方法和装置,可以使得开关管按照五电平或者七电平的调节方式工作,提高了效率。同时由于电平数目增多,电平之间的电压差减少,共模电压也相应减少,从而抑制了漏电流。

## 附图说明

[0077] 图 1 是本发明七电平电路应用于并网逆变器第一实施例电路图;

- [0078] 图 2 是本发明七电平电路应用于并网逆变器第二实施例电路图；
- [0079] 图 3a 是本发明实施例七电平电路的第一种工作模态 A 示意图；
- [0080] 图 3b 是本发明实施例七电平电路的第二种工作模态 B 示意图；
- [0081] 图 3c 是本发明实施例七电平电路的第三种工作模态 C 示意图；
- [0082] 图 3d 是本发明实施例七电平电路的第四种工作模态 D 示意图；
- [0083] 图 3e 是本发明实施例七电平电路的第五种工作模态 E 示意图；
- [0084] 图 4 是本发明实施例所述并网逆变器中七电平电路的调制方法第一实施例的原理图；
- [0085] 图 5 是本发明实施例所述并网逆变器中七电平电路的调制方法第二实施例的原理图；
- [0086] 图 6 是本发明实施例所述并网逆变器中七电平电路的调制方法第三实施例的原理图；
- [0087] 图 7 是本发明实施例所述并网逆变器中七电平电路的调制装置第一实施例的结构图；
- [0088] 图 8 是本发明实施例所述并网逆变器中七电平电路的调制装置第二实施例的结构图；
- [0089] 图 9 是本发明实施例所述并网逆变器中七电平电路的调制装置第三实施例的结构图。

### 具体实施方式

[0090] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。

[0091] 参见图 1，该图是本发明七电平电路应用于并网逆变器第一实施例电路图。

[0092] 一种七电平电路，包括直流升压电路、与直流电源相并联的对称双 Buck 电路。

[0093] 所述直流升压电路包括：与直流电源并联的第四电容 CB1 和直流斩波器；第二开关管 T2 和第二二极管 D2 的公共端与所述直流斩波器和第四电容 CB1 的公共端之间连有第八开关管 TB2。

[0094] 所述对称双 Buck 电路包括：第一电容 C1 和第二电容 C2 串联后并联在所述直流电源两侧，第一二极管 D1 和第二二极管 D2 串联后与所述直流电源并联，第一电容 C1 与第一二极管 D1 之间设置有第一开关管 T1，第二二极管 D2 与第二电容 C2 之间设置有第二开关管 T2；第一二极管 D1 和第一开关管的公共端与七电平电路输出端之间设置有第一电感 L1，第二开关管 T2 和第二二极管 D2 的公共端与所述七电平电路输出端之间设置有第二电感 L2。第一电容与第二电容的连接点与第一二极管和第二二极管的连接点直接相连。

[0095] 本发明实施例所述七电平电路，由于电路包括直流升压电路、与直流电源相并联的对称双 Buck 电路；所述直流升压电路工作时，可以实现七电平调节方式工作。

[0096] 参见图 1，本发明实施例所述七电平电路应用于并网逆变器时，所述逆变电路包括所述的七电平电路，以及与所述七电平电路相并联的工频换相逆变电路。

[0097] 当本发明第一实施例所述七电平电路应用于并网逆变器时，可以满足在直流电源输出电压不能达到逆变电压的要求时，通过直流升压电路的升压，从而达到逆变电压的要

求,实现逆变。

[0098] 在所述七电平电路与工频换相逆变电路之间还可以并联有第三电容,进一步减小 THD。

[0099] 参见图 2,该图是本发明七电平电路应用于并网逆变器第二实施例电路图。

[0100] 本发明第二实施例相对第一实施例的区别在于,所述直流斩波器给出具体的实现方式。

[0101] 所述直流斩波器包括:所述第四电容 CB1 与直流电源的负母线端之间串联的第三二极管 DB1 和第五电感 LB1;直流电源的正母线端与第三二极管 DB1 和第五电感 LB1 的公共端之间设置的第七开关管 TB1。

[0102] 参见图 2,本发明实施例所述七电平电路应用于并网逆变器时,所述逆变电路包括所述的七电平电路,以及与所述七电平电路相并联的工频换相逆变电路。

[0103] 当本发明第二实施例所述七电平电路应用于并网逆变器时,可以满足在直流电源输出电压不能达到逆变电压的要求时,通过直流升压电路的升压,从而达到逆变电压的要求,实现逆变。

[0104] 在所述七电平电路与工频换相逆变电路之间还可以并联有第三电容 C3,进一步减小 THD。

[0105] 本发明实施例所述的七电平电路的调制方法,包括:

[0106] 控制所述第一开关管 T1、第二开关管 T2 和第八开关管 TB2 的开关状态,使得第一电容 C1 和第二电容 C2 的公共端的电压是直流电源输出电压 V1 的一半;使得所述七电平电路的输出电压 V3 为电网电压的绝对值;

[0107] 参见图 3a 至图 3e,图 3a 是本发明实施例七电平电路的第一种工作模式 A 示意图;图 3b 是本发明实施例七电平电路的第二种工作模式 B 示意图;图 3c 是本发明实施例七电平电路的第三种工作模式 C 示意图;图 3d 是本发明实施例七电平电路的第四种工作模式 D 示意图;图 3e 是本发明实施例七电平电路的第五种工作模式 E 示意图。

[0108] 本发明实施例七电平电路的第一种工作模式 A:第一、二开关管 T1、T2 同时导通;第八开关管 TB2 关断。

[0109] 第一、二电容 C1、C2 同时放电,此时第三电容 C3 电压为直流电源电压 V1,即  $V3=V1$ 。

[0110] 本发明七电平电路的第二种工作模式 B:第一、二、八开关管 T1、T2、TB2 同时关断;第一、二电感 L1、L2 通过第一、二二极管 D1、D2 续流,第三电容 C3 电压为 0,即  $V3=0$ 。

[0111] 本发明七电平电路的第三种工作模式 C:第一开关管 T1 导通,第二、八开关管 T2、TB2 关断。第一电容 C1 为负载供电,电容 C3 电压为 V1,即  $V3=V1/2$ 。

[0112] 本发明七电平电路的第四种工作模式状态 D:第一、八开关管 T1、TB2 关断,第二开关管 T2 导通。第二电容 C2 为负载供电,第三电容 C3 的电压为 V1,即  $V3=V1/2$ 。

[0113] 本发明七电平电路的第五种工作模式状态 E:第二开关管 T2 关断,第一开关管 T1、第八开关管 TB2 导通。第四电容 CB1 为负载供电,第三电容 C3 的电压为 V2,即  $V3=V2$ 。

[0114] 参见图 4 是本发明实施例所述并网逆变器中七电平电路的调制方法第一实施例的原理图。

[0115] 图 4 中并网电压绝对值的瞬时值为 u,并网电流的瞬时值为 i。由于调制波根据所

述电网电压采样处理后获得,所述调制波波形与所述电网电压波形基本一致,差别可忽略不计。因此图中采用电网电压波形,可被认为是调制波。

[0116] 本实施例提供的七电平电路的调制方法,第一电容 C1 和第二电容 C2 的公共端的电压是直流电压 V1 的一半即  $V1/2$ ;

[0117] 当直流电源输出电压高于调制波峰值时,所述直流升压电路不工作,第一、二开关管 T1、T2 按照五电平调节方式工作。

[0118] 当本发明七电平电路应用于光伏并网逆变器时,判断光伏 PV 电压也称最大功率点跟踪电压(MPPT)高于调制波的峰值时,所述直流升压电路不工作,第一、二开关管 T1、T2 按照五电平调节方式工作,第三至第六开关管 T3、T4、T5、T6 起工频换相作用。

[0119] 调制波在一个周期 T 中有三个过零点,分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;  $t_4$  为周期 T 的中点;获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ 。

[0120] 将  $t_0$  延迟  $1/4$  个周期 T 则是第一半周期的中点  $t_2$ ;将  $t_0$  延迟  $3/4$  个周期 T 则是第二半周期的中点  $t_6$ 。

[0121] 调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与  $V1/2$  对应的直线有两个交点,调制波第一半周期的波形与  $V1/2$  对应的直线的两个交点对应的的时间分别记为  $t_1$  和  $t_3$ ,调制波第二半周期的波形与  $V1/2$  对应的直线的两个交点对应的的时间分别记为  $t_5$  和  $t_7$ 。

[0122]  $t_0-t_1$  时间段,控制第一开关管 T1 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制第二开关管 T2 关断;

[0123]  $t_1-t_2$  时间段,控制所述第一开关管 T1 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管 T2 导通;

[0124]  $t_2-t_3$  时间段,控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管 T1 导通;

[0125]  $t_3-t_4$  时间段,控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管 T1 关断;

[0126]  $t_4-t_5$  时间段,控制所述第一开关管 T1 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第二开关管 T2 关断;

[0127]  $t_5-t_6$  时间段,控制所述第一开关管 T1 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管 T2 导通;

[0128]  $t_6-t_7$  时间段,控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管 T1 导通;

[0129]  $t_7-t_8$  时间段,控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管 T1 关断。

[0130] 需要说明的是,本发明实施例中开关管间断地导通和关断,是由驱动脉冲信号来实现,例如,给第一开关管 T1 的控制端提供驱动脉冲信号,则在驱动脉冲信号的高电平时间段内第一开关管 T1 导通,则驱动脉冲信号的低电平时间段内第一开关管 T1 则关断。第二开关管 T2 的导通和关断情况类似。该驱动脉冲信号是按照正弦脉冲宽度调制得到的。

[0131] 由图 4 可以看出,  $t_0-t_1$  时间段,本发明七电平电路的第二种工作模态 B 与本发明七电平电路的第三种工作模态 C 切换;

[0132]  $t_1-t_2$  时间段,本发明七电平电路的第一种工作模态 A 与本发明七电平电路的第四

种工作模态 D 切换；

[0133]  $t_2-t_3$  时间段, 本发明七电平电路的第一种工作模态 A 与本发明七电平电路的第三种工作模态 C 切换；

[0134]  $t_3-t_4$  时间段, 本发明七电平电路的第二种工作模态 B 与本发明七电平电路的第四种工作模态 D 切换；

[0135]  $t_4-t_5$  时间段, 本发明七电平电路的第二种工作模态 B 与本发明七电平电路的第三种工作模态 C 切换；

[0136]  $t_5-t_6$  时间段, 本发明七电平电路的第一种工作模态 A 与本发明七电平电路的第四种工作模态 D 切换；

[0137]  $t_6-t_7$  时间段, 本发明七电平电路的第一种工作模态 A 与本发明七电平电路的第三种工作模态 C 切换；

[0138]  $t_7-t_8$  时间段, 本发明七电平电路的第二种工作模态 B 与本发明七电平电路的第四种工作模态 D 切换。

[0139] 从图 4 可以看出, 在调制波的第一半周期切换的工作模态分别是 BC、AD、AC 和 BD。由于第一种工作模态 A 和第二种工作模态 B 中电路结构是对称的, 在第一种工作模态 A 中第一电容 C1、第二电容 C2 的状态是相同的, 同时放电, 因此, 第一种工作模态 A 时可以认为直流电源的电压不变, 第一电容 C1 和第二电容 C2 的中点电流为零, 第一电容 C1 和第二电容 C2 的电压保持恒定, 不会发生偏移。

[0140] 在第二种工作模态 B 中, 第一电容 C1 和第二电容 C2 的状态也是相同的, 同时不放电, 因此, 第二种工作模态 B 时可以认为第一电容 C1 和第二电容 C2 的中点电流为零, 第一电容 C1 和第二电容 C2 的电压保持恒定, 不会发生偏移。因此, 第一电容 C1 和第二电容 C2 上电压稳定不会产生波动。因此, 在调制中, 可以不考虑第一种工作模态 A 和第二种工作模态 B 时第一电容 C1 和第二电容 C2 上的电压波动。

[0141] 第三种工作模态 C 时, 第一电容 C1 放电, 第二电容 C2 充电。这样第一电容 C1 和第二电容 C2 的电压发生偏移。

[0142] 第四种工作模态 D 时, 第一电容 C1 充电, 第二电容 C2 放电。这样, 第一电容 C1 和第二电容 C2 的电压发生偏移。

[0143] 因此, 本发明实施例主要考虑第三种工作模态 C 和第四种工作模态 D 时第一电容 C1 和第二电容 C2 上的电压波动。在调制波的第一半周期中, 可以看作切换的工作模态是: 第三种工作模态 C、第四种工作模态 D、第三种工作模态 C、第四种工作模态 D。这样就使得第三种工作模态 C 和第四种工作模态 D 间隔地出现, 从而可以有效地抵消第三种工作模态 C 和第四种工作模态 D 中第一电容 C1 和第二电容 C2 上产生的电压波动。同理, 在调制波的第二半周期切换的工作模态也是模态第三种工作模态 C、第四种工作模态 D、第三种工作模态 C、第四种工作模态 D。

[0144] 具体地, 在调制波的第一半周期中,  $t_0-t_1$  时间段第三种工作模态 C 使第一电容 C1 放电, 电压下降;  $t_1-t_2$  时间段第四种工作模态 D 使第一电容 C1 充电, 电压上升;  $t_2-t_3$  时间段, 第三种工作模态 C 使第一电容 C1 放电, 电压下降;  $t_3-t_4$  时间段, 第四种工作模态 D 使第一电容 C1 充电, 电压上升。

[0145] 本发明实施例提供的七电平电路的调制方法, 第一电容 C1 上的电压波动明显地



降低。由于第二电容 C2 上的波动电压与第一电容 C1 上的类似,在此不再赘述。

[0146] 本发明实施例提供的七电平电路的调制方法,在调制波的第一半周期和第二半周期是间隔地出现第三种工作模态 C 和第四种工作模态 D,这样可以有效抵消第三种工作模态 C 和第四种工作模态 D 时第一电容 C1 和第二电容 C2 上产生的电压波动。并且第一电容 C1、第二电容 C2 和第一电感 L1、第二电感 L2 的持续放电和持续充电时间都较短,大大减小了第一电容 C1、第二电容 C2 和第一电感 L1、第二电感 L2 的端电压波动,从而减小输出电压的纹波,改善了输出波形。

[0147] 需要说明的是,获得调制波在一个周期 T 的三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$  可以有很多实现方式,例如,可以通过并网锁相环找出调制波过零点的时刻,来获得这三个过零点。

[0148] 需要说明的是,所述周期 T 是由电网频率决定的,例如,当电网频率为 50Hz 时,所述周期 T 为 20ms。

[0149] 参见图 5,该图是本发明实施例所述并网逆变器中七电平电路的调制方法第二实施例的原理图。

[0150] 当直流电源输出电压(应用于光伏并网逆变器时,为光伏 PV 电压或者最大功率点跟踪电压)高于调制波的峰值时,所述直流升压电路工作,第一、二、八开关管 T1、T2、TB2 可以按照七电平调节方式工作。

[0151] 图 5 这种情况下,直流电源输出电压 V1 已经达到电网电压的峰值,但此时直流升压电路继续工作,使得直流升压电路的输出电压 V2 大于直流电源输出电压 V1。

[0152] 对  $t_{1x}$ 、 $t_{3x}$  ( $t_{1x}$ - $t_{3x}$  即为直流升压电路工作时段)给出了两条设计准则加以限定。

[0153] (1) 在满足 THD 要求的情况下,只要满足直流升压电路输出电压 V2 大于直流电源输出电压 V1,控制 V2 尽可能地取值较小,以保证  $t_{1x}$ - $t_{3x}$  时间段尽管直流升压电路工作,但是由于增加了一个电平调制,总体来看,仍可保证七电平电路的效率较高。

[0154] (2) 在满足 THD 要求的情况下, $t_{1x}$  尽可能地取值较小一点,以保证从 V1/2 电平到 V1 电平的切换时间与从 V1 电平到 V2 电平的切换时间基本相同,这样整个周期下来,仍可保证七电平电路的效率较高。

[0155] 综上所述,采用图 5 所示的调制方法时,可以实现七电平,因此效率高于采用图 4 所示调制方法的效率。

[0156] 本发明七电平电路中的第一电容 C1 和第二电容 C2 的公共端的电压是直流电压 V1 的一半即 V1/2;所述直流升压电路中第四电容 CB1 的电压为 V2;

[0157] 调制波在一个周期 T 中有三个过零点,分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;  $t_4$  为周期 T 的中点;获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;

[0158] 将  $t_0$  延迟 1/4 个周期 T 则是第一半周期的中点  $t_2$ ;将  $t_0$  延迟 3/4 个周期 T 则是第二半周期的中点  $t_6$ ;

[0159] 调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与 V1/2 对应的直线有两个交点,调制波第一半周期的波形与 V1/2 对应的直线的两个交点对应的的时间分别记为  $t_1$  和  $t_3$ ,调制波第二半周期的波形与 V1/2 对应的直线的两个交点对应的的时间分别记为  $t_5$  和  $t_7$ ;

[0160] 在时间点  $t_1$  和  $t_2$  之间设置时间点  $t_{1x}$ ,在时间点  $t_2$  和  $t_3$  之间设置时间点  $t_{3x}$ ,时间点  $t_{1x}$  和时间点  $t_{3x}$  以时间点  $t_2$  为中心;

[0161] 在时间点  $t_5$  和  $t_6$  之间设置时间点  $t_{5x}$ , 在时间点  $t_6$  和  $t_7$  之间设置时间点  $t_{7x}$ , 时间点  $t_{5x}$  和时间点  $t_{7x}$  以时间点  $t_2$  为中心; 且  $t_{1x}-t_{3x}$  时间段等于  $t_{5x}-t_{7x}$  时间段;

[0162]  $t_0-t_1$  时间段, 控制第一开关管 T1 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通, 控制第二开关管 T2 关断, 控制直流升压电路中的第八开关管 TB2 关断;

[0163]  $t_1-t_{1x}$  时间段, 控制所述第一开关管 T1 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断, 控制所述第二开关管 T2 导通, 控制第八开关管 TB2 关断;

[0164]  $t_{1x}-t_{3x}$  时间段, 控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断; 控制第一开关管 T1 导通; 控制所述第八开关管 TB2 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通; ;

[0165]  $t_{3x}-t_3$  时间段, 控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断, 控制所述第一开关管 T1 导通, 控制第八开关管 TB2 关断;

[0166]  $t_3-t_4$  时间段, 控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通, 控制所述第一开关管 T1 关断, 控制第八开关管 TB2 关断;

[0167]  $t_4-t_5$  时间段, 控制所述第一开关管 T1 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通, 控制所述第二开关管 T2 关断, 控制第八开关管 TB2 关断;

[0168]  $t_5-t_{5x}$  时间段, 控制所述第一开关管 T1 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断, 控制所述第二开关管 T2 导通, 控制第八开关管 TB2 关断;

[0169]  $t_{5x}-t_{7x}$  时间段, 控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断; 控制第一开关管 T1 导通; 控制所述第八开关管 TB2 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通;

[0170]  $t_{7x}-t_7$  时间段, 控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断, 控制所述第一开关管 T1 导通, 控制第八开关管 TB2 关断;

[0171]  $t_7-t_8$  时间段, 控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通, 控制所述第一开关管 T1 关断, 控制第八开关管 TB2 关断。

[0172] 由图 5 可以看出,  $t_0-t_1$  时间段, 第二种工作模式 B 与第三种工作模式 C 切换;

[0173]  $t_1-t_{1x}$  时间段, 第一种工作模式 A 与第四种工作模式 D 切换;

[0174]  $t_{1x}-t_{3x}$  时间段, 第一种工作模式 A 与第五种工作模式 E 切换;

[0175]  $t_{3x}-t_3$  时间段, 第一种工作模式 A 与第三种工作模式 C 切换;

[0176]  $t_3-t_4$  时间段, 第二种工作模式 B 与第四种工作模式 D 切换;

[0177]  $t_4-t_5$  时间段, 第二种工作模式 B 与第三种工作模式 C 切换;

[0178]  $t_5-t_{5x}$  时间段, 第一种工作模式 A 与第四种工作模式 D 切换;

[0179]  $t_{5x}-t_{7x}$  时间段, 第一种工作模式 A 与第五种工作模式 E 切换;

[0180]  $t_{7x}-t_7$  时间段, 第一种工作模式 A 与第三种工作模式 C 切换;

[0181]  $t_7-t_8$  时间段, 第二种工作模式 B 与第四种工作模式 D 切换。

[0182] 参见图 6, 该图是本发明并网逆变器中七电平电路的调制方法第三实施例的原理图。

[0183] 当直流电源输出电压(当应用于光伏并网逆变器时, 为光伏 PV 电压或者最大功率点跟踪电压) 低于调制波峰值时, 所述直流升压电路工作, 第一、二、八开关管 T1、T2、TB2 按照七电平调节方式工作;

[0184] 本发明七电平电路中的第一电容 C1 和第二电容 C2 的公共端的电压是直流电压 V1 的一半即  $V1/2$ ; 所述直流升压电路中第四电容 CB1 的电压为 V2;

[0185] 调制波在一个周期  $T$  中有三个过零点, 分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;  $t_4$  为周期  $T$  的中点; 获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;

[0186] 将  $t_0$  延迟  $1/4$  个周期  $T$  则是第一半周期的中点  $t_2$ ; 将  $t_0$  延迟  $3/4$  个周期  $T$  则是第二半周期的中点  $t_6$ ;

[0187] 调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与  $V1/2$  对应的直线有两个交点, 调制波第一半周期的波形与  $V1/2$  对应的直线的两个交点对应的的时间分别记为  $t_1$  和  $t_3$ , 调制波第二半周期的波形与  $V1/2$  对应的直线的两个交点对应的的时间分别记为  $t_5$  和  $t_7$ ;

[0188] 调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与  $V1$  对应的直线有两个交点, 调制波第一半周期的波形与  $V1$  对应的直线的两个交点对应的的时间分别记为  $t_{1y}$  和  $t_{3y}$ , 调制波第二半周期的波形与  $V1$  对应的直线的两个交点对应的的时间分别记为  $t_{5y}$  和  $t_{7y}$ ;

[0189]  $t_0-t_1$  时间段, 控制的第一开关管 T1 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通, 控制的第二开关管 T2 关断, 控制直流升压电路中的第八开关管 TB2 关断;

[0190]  $t_1-t_{1y}$  时间段, 控制所述第一开关管 T1 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断, 控制所述第二开关管 T2 导通, 控制第八开关管 TB2 关断;

[0191]  $t_{1y}-t_{3y}$  时间段, 控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断; 控制第一开关管 T1 导通; 控制所述第八开关管 TB2 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通;

[0192]  $t_{3y}-t_3$  时间段, 控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断, 控制所述第一开关管 T1 导通, 控制第八开关管 TB2 关断;

[0193]  $t_3-t_4$  时间段, 控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通, 控制所述第一开关管 T1 关断, 控制第八开关管 TB2 关断;

[0194]  $t_4-t_5$  时间段, 控制所述第一开关管 T1 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通, 控制所述第二开关管 T2 关断, 控制第八开关管 TB2 关断;

[0195]  $t_5-t_{5y}$  时间段, 控制所述第一开关管 T1 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断, 控制所述第二开关管 T2 导通, 控制第八开关管 TB2 关断;

[0196]  $t_{5y}-t_{7y}$  时间段, 控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断; 控制第一开关管 T1 导通; 控制所述第八开关管 TB2 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通;

[0197]  $t_{7y}-t_7$  时间段, 控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制导通和关断, 控制所述第一开关管 T1 导通, 控制第八开关管关断;

[0198]  $t_7-t_8$  时间段, 控制所述第二开关管 T2 按照正弦脉冲宽度调制关断和导通, 控制所述第一开关管 T1 关断, 控制第八开关管 TB2 关断。

[0199] 由图 5 可以看出,  $t_0-t_1$  时间段, 第二种工作模态 B 与第三种工作模态 C 切换;

[0200]  $t_1-t_{1y}$  时间段, 第一种工作模态 A 与第四种工作模态 D 切换;

[0201]  $t_{1y}-t_{3y}$  时间段, 第一种工作模态 A 与第五种工作模态 E 切换;

[0202]  $t_{3y}-t_3$  时间段, 第一种工作模态 A 与第三种工作模态 C 切换;

[0203]  $t_3-t_4$  时间段, 第二种工作模态 B 与第四种工作模态 D 切换;

[0204]  $t_4-t_5$  时间段, 第二种工作模态 B 与第三种工作模态 C 切换;

[0205]  $t_5-t_{5y}$  时间段, 第一种工作模态 A 与第四种工作模态 D 切换;

[0206]  $t_{5y}-t_{7y}$  时间段, 第一种工作模态 A 与第五种工作模态 E 切换;

[0207]  $t_{7y}-t_7$  时间段, 第一种工作模态 A 与第三种工作模态 C 切换;

[0208]  $t_7-t_8$  时间段,第二种工作模态 B 与第四种工作模态 D 切换。

[0209] 基于上述本发明实施例所述并网逆变器中七电平电路的调制方法,本发明还提供了本发明实施例所述并网逆变器中七电平电路的调制装置,下面结合具体实施例来详细说明其组成部分。

[0210] 参见图 7,该图是本发明实施例所述并网逆变器中七电平电路的调制装置的结构图。

[0211] 所述调制装置通过控制所述第一开关管、第二开关管和第八开关管的开关状态,使得第一电容和第二电容的公共端的电压是直流电源输出电压  $V_1$  的一半;使得所述七电平电路的输出电压  $V_3$  为电网电压的绝对值;

[0212] 一种前文实施例所述的并网逆变器的调制装置第一实施例,具体可以包括:第一开关管工作状态确定单元 11、第一时间确定单元 12 和第一控制单元 13。

[0213] 第一开关管工作状态确定单元 11,用于当直流电源输出电压(应用于光伏并网逆变器时,为光伏 PV 电压或称最大功率点跟踪电压)高于调制波峰值时,所述直流升压电路不工作,控制第一、二开关管 T1、T2 的开通和关断,使得所述七电平电路按照五电平调节方式工作,第三至第六开关管 T3、T4、T5、T6 按照工频换相作用工作;所述调制波根据所述电网电压采样处理后获得,所述调制波波形与所述电网电压波形一致;

[0214] 所述第一时间确定单元 12,用于确定调制的时间段;具体为:调制波在一个周期  $T$  中有三个过零点,分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;  $t_4$  为周期  $T$  的中点;获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;将  $t_0$  延迟  $1/4$  个周期  $T$  则是第一半周期的中点  $t_2$ ;将  $t_0$  延迟  $3/4$  个周期  $T$  则是第二半周期的中点  $t_6$ ;调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与  $V_1/2$  对应的直线有两个交点,记调制波第一半周期的波形与  $V_1/2$  对应的直线的两个交点对应的的时间分别为  $t_1$  和  $t_3$ ,记调制波第二半周期的波形与  $V_1/2$  对应的直线的两个交点对应的的时间分别为  $t_5$  和  $t_7$ ;其中,第一电容和第二电容的公共端的电压是直流电压  $V_1$  的一半  $V_1/2$ ;

[0215] 所述第一控制单元 13,用于控制的第一、二、八开关管的开关状态,具体为: $t_0-t_1$  时间段,控制第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制第二开关管关断; $t_1-t_2$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通; $t_2-t_3$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通; $t_3-t_4$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断; $t_4-t_5$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第二开关管关断; $t_5-t_6$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通; $t_6-t_7$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通; $t_7-t_8$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断。

[0216] 需要说明的是,第一时间确定单元 12 获得调制波在一个周期  $T$  的三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$  可以有很多实现方式,例如,可以通过并网锁相环找出调制波过零点的时刻,来获得这三个过零点。

[0217] 需要说明的是,所述周期  $T$  是由电网频率决定的,例如,当电网频率为 50Hz 时,所述周期  $T$  为 20ms。

[0218] 参见图 8,该图是本发明实施例所述并网逆变器中七电平电路的调制装置的结构

图。

[0219] 所述调制装置通过控制所述第一开关管、第二开关管和第八开关管的开关状态,使得第一电容和第二电容的公共端的电压是直流电源输出电压  $V1$  的一半;所述七电平电路的输出电压  $V3$  为电网电压的绝对值;

[0220] 一种前文实施例所述并网逆变器的调制装置第二实施例,具体可以包括:第二开关管工作状态确定单元 21、第二时间确定单元 22 和第二控制单元 23;

[0221] 第二开关管工作状态确定单元 21,用于当直流电源输出电压(应用于光伏并网逆变器时,为光伏 PV 电压或称最大功率点跟踪电压)高于调制波的峰值时,所述直流升压电路工作,控制第一、二、八开关管 T1、T2、TB2 的开通和关断,使得所述七电平电路按照七电平调节方式工作;

[0222] 所述第二时间确定单元 22,用于确定调制的时间段;具体为:调制波在一个周期  $T$  中有三个过零点,分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;  $t_4$  为周期  $T$  的中点;获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;将  $t_0$  延迟  $1/4$  个周期  $T$  则是第一半周期的中点  $t_2$ ;将  $t_0$  延迟  $3/4$  个周期  $T$  则是第二半周期的中点  $t_6$ ;调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与  $V1/2$  对应的直线有两个交点,记调制波第一半周期的波形与  $V1/2$  对应的直线的两个交点对应的的时间分别为  $t_1$  和  $t_3$ ,记调制波第二半周期的波形与  $V1/2$  对应的直线的两个交点对应的的时间分别为  $t_5$  和  $t_7$ ;在时间点  $t_1$  和  $t_2$  之间设置时间点  $t_{1x}$ ,在时间点  $t_2$  和  $t_3$  之间设置时间点  $t_{3x}$ ,时间点  $t_{1x}$  和时间点  $t_{3x}$  以时间点  $t_2$  为中心;在时间点  $t_5$  和  $t_6$  之间设置时间点  $t_{5x}$ ,在时间点  $t_6$  和  $t_7$  之间设置时间点  $t_{7x}$ ,时间点  $t_{5x}$  和时间点  $t_{7x}$  以时间点  $t_6$  为中心;且  $t_{1x}-t_{3x}$  时间段等于  $t_{5x}-t_{7x}$  时间段;其中,的第一电容和第二电容的公共端的电压是直流电压  $V1$  的一半  $V1/2$ ;所述直流升压电路中第四电容 CB1 的电压为  $V2$ ;

[0223] 所述第二控制单元 23,用于控制的第一开关管和第二开关管以及第八开关管的开关状态,具体为: $t_0-t_1$  时间段,控制第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制第二开关管关断,控制直流升压电路中的第八开关管关断; $t_1-t_{1x}$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通,控制第八开关管关断; $t_{1x}-t_{3x}$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断;控制第一开关管导通;控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通; $t_{3x}-t_3$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通,控制第八开关管关断; $t_3-t_4$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断,控制第八开关管关断; $t_4-t_5$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第二开关管关断,控制第八开关管关断; $t_5-t_{5x}$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通,控制第八开关管关断; $t_{5x}-t_{7x}$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断;控制第一开关管导通;控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通; $t_{7x}-t_7$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通,控制第八开关管关断; $t_7-t_8$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断,控制第八开关管关断。

[0224] 需要说明的是,第二时间确定单元 22 获得调制波在一个周期  $T$  的三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$  可以有很多中实现方式,例如,可以通过并网锁相环找出调制波过零点的时刻,来获

得这三个过零点。

[0225] 需要说明的是,所述周期  $T$  是由电网频率决定的,例如,当电网频率为 50Hz 时,所述周期  $T$  为 20ms。

[0226] 参见图 9,该图是本发明实施例所述并网逆变器中七电平电路的调制装置第三实施例的结构图。

[0227] 本发明实施例所述并网逆变器中七电平电路的调制装置第三实施例,具体可以包括:第三开关管工作状态确定单元 31、第三时间确定单元 32 和第三控制单元 33。

[0228] 第三开关管工作状态确定单元 31,用于当直流电源输出电压(应用于光伏并网逆变器时,为光伏 PV 电压或称最大功率点跟踪电压)低于调制波的峰值时,所述直流升压电路工作,控制第一、二、八开关管 T1、T2、TB2 的开通和关断,使得所述七电平电路按照七电平调节方式工作;

[0229] 所述第三时间确定单元 32,用于确定调制的时间段;具体为:调制波在一个周期  $T$  中有三个过零点,分别记为  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;  $t_4$  为周期  $T$  的中点;获得这三个过零点  $t_0$ 、 $t_4$  和  $t_8$ ;将  $t_0$  延迟  $1/4$  个周期  $T$  则是第一半周期的中点  $t_2$ ;将  $t_0$  延迟  $3/4$  个周期  $T$  则是第二半周期的中点  $t_6$ ;调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与  $V1/2$  对应的直线有两个交点,记调制波第一半周期的波形与  $V1/2$  对应的直线的两个交点对应的的时间分别为  $t_1$  和  $t_3$ ,记调制波第二半周期的波形与  $V1/2$  对应的直线的两个交点对应的的时间分别为  $t_5$  和  $t_7$ ;调制波的第一半周期的波形和第二半周期的波形分别与  $V1$  对应的直线有两个交点,调制波第一半周期的波形与  $V1$  对应的直线的两个交点对应的的时间分别记为  $t_{1y}$  和  $t_{3y}$ ,调制波第二半周期的波形与  $V1$  对应的直线的两个交点对应的的时间分别记为  $t_{5y}$  和  $t_{7y}$ ;其中,的第一电容和第二电容的公共端的电压是直流电压  $V1$  的一半  $V1/2$ ;所述直流升压电路中第四电容 CB1 的电压为  $V2$ ;

[0230] 所述第三控制单元 33,用于控制的第一开关管和第二开关管以及第八开关管的开关状态,具体为: $t_0-t_1$  时间段,控制第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制第二开关管关断,控制直流升压电路中的第八开关管关断; $t_1-t_{1y}$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通,控制第八开关管关断; $t_{1y}-t_{3y}$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断;控制第一开关管导通;控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通; $t_{3y}-t_3$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通,控制第八开关管关断; $t_3-t_4$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断,控制第八开关管关断; $t_4-t_5$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第二开关管关断,控制第八开关管关断; $t_5-t_{5y}$  时间段,控制所述第一开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第二开关管导通,控制第八开关管关断; $t_{5y}-t_{7y}$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断;控制第一开关管导通;控制所述第八开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通; $t_{7y}-t_7$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制导通和关断,控制所述第一开关管导通,控制第八开关管关断; $t_7-t_8$  时间段,控制所述第二开关管按照正弦脉冲宽度调制关断和导通,控制所述第一开关管关断,控制第八开关管关断。

[0231] 需要说明的是,第三时间确定单元 32 获得调制波在一个周期  $T$  的三个过零点  $t_0$ 、

$t_4$  和  $t_8$  可以有很多中实现方式,例如,可以通过并网锁相环找出调制波过零点的时刻,来获得这三个过零点。

[0232] 需要说明的是,所述周期  $T$  是由电网频率决定的,例如,当电网频率为 50Hz 时,所述周期  $T$  为 20ms。

[0233] 本发明还公开了一种并网逆变器,包括前文所述的七电平电路,以及与所述七电平电路输出侧并联的工频换相逆变电路。

[0234] 本发明还公开了一种并网逆变器,包括前文所述的七电平电路,与所述七电平电路输出侧并联的工频换相逆变电路,以及在所述七电平电路与工频换相逆变电路之间,并联有第三电容。

[0235] 本发明还公开了一种控制并网逆变器的方法,所述并网逆变器包括前文所述的七电平电路,所述七电平电路采用前文所述的任何一种调制方法。

[0236] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例而已,并非对本发明作任何形式上的限制。虽然本发明已以较佳实施例揭露如上,然而并非用以限定本发明。任何熟悉本领域的技术人员,在不脱离本发明技术方案范围情况下,都可利用上述揭示的方法和技术内容对本发明技术方案做出许多可能的变动和修饰,或修改为等同变化的等效实施例。因此,凡是未脱离本发明技术方案的内容,依据本发明的技术实质对以上实施例所做的任何简单修改、等同变化及修饰,均仍属于本发明技术方案保护的范围内。

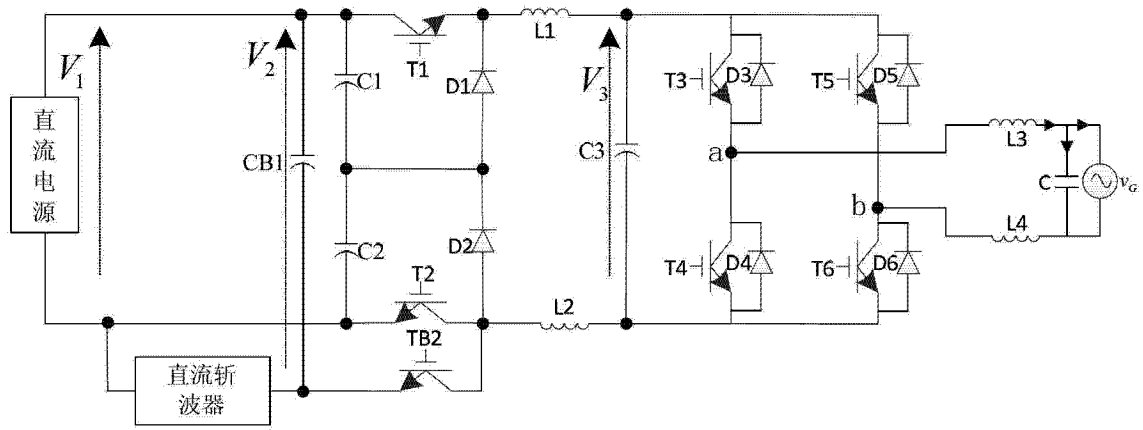


图 1

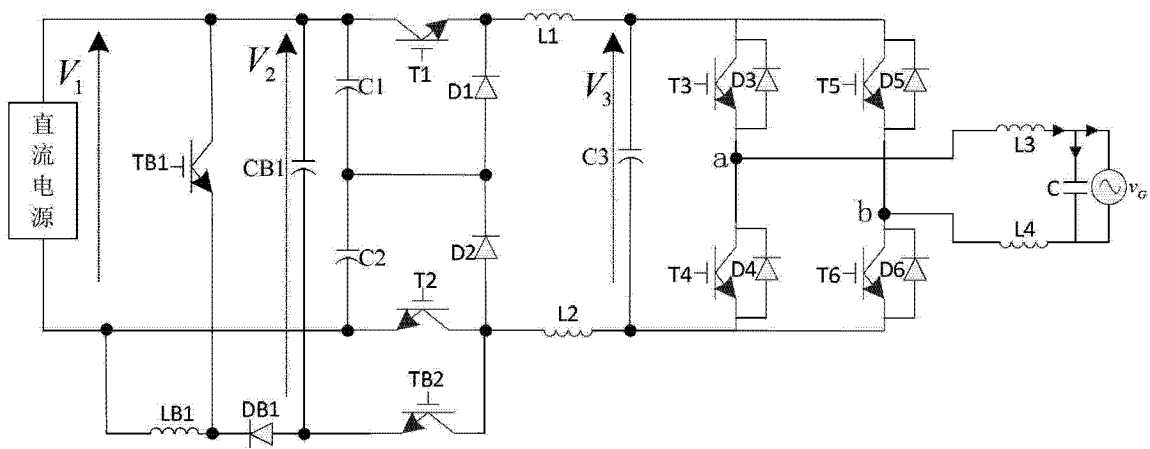


图 2

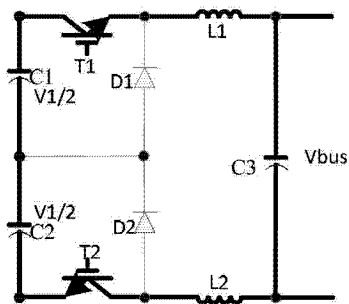


图 3A

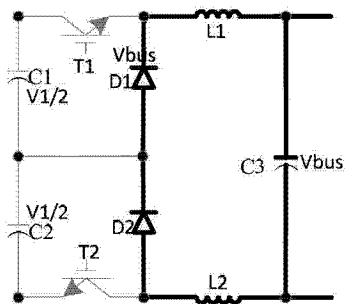


图 3B

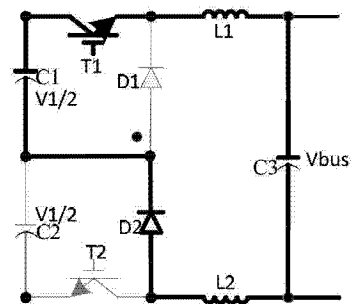


图 3C



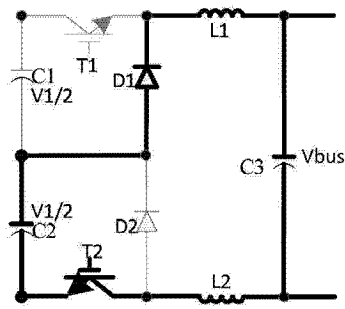


图 3D

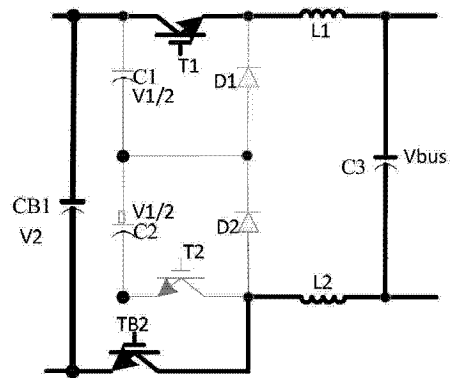


图 3E

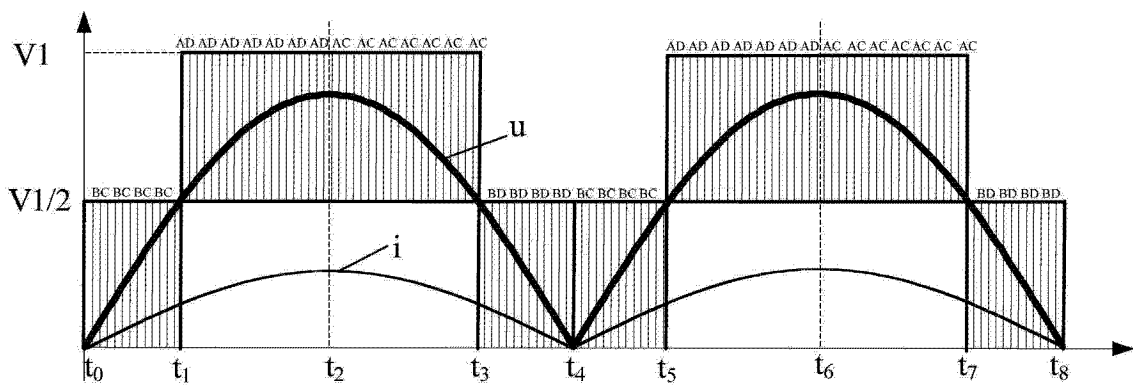


图 4

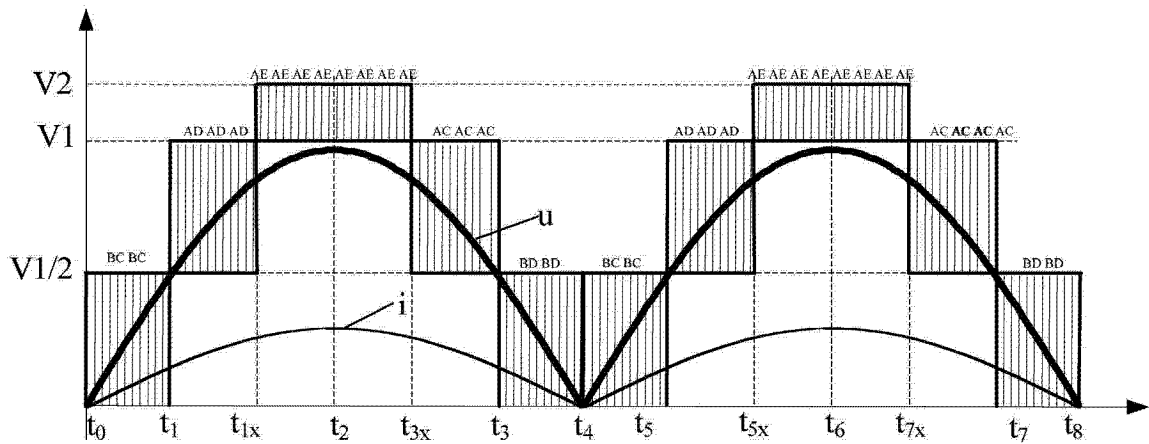


图 5

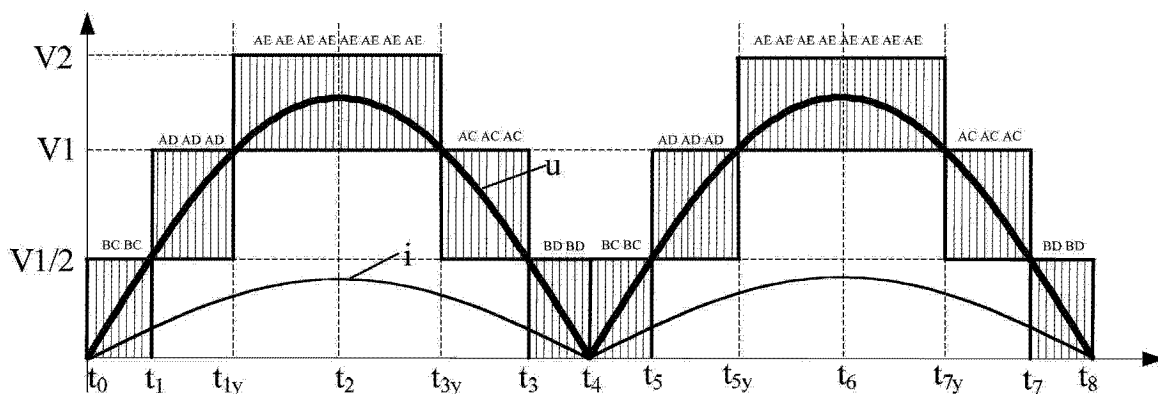


图 6

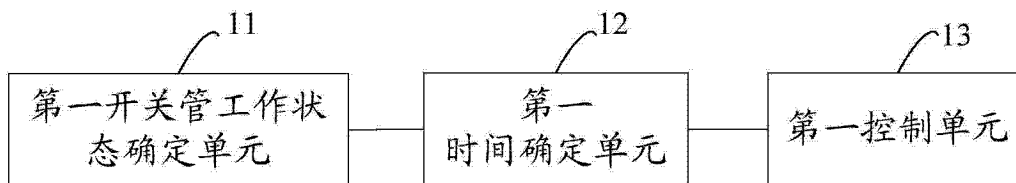


图 7

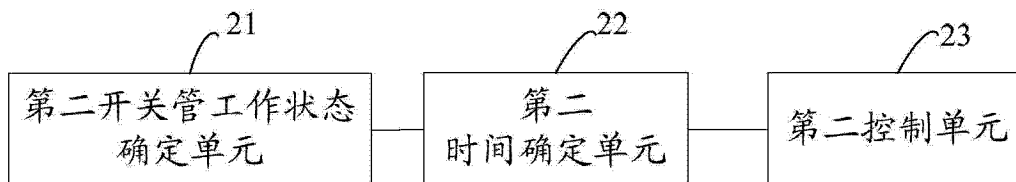


图 8

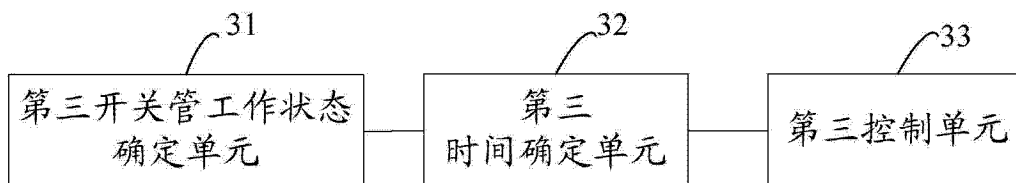


图 9