



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 212969479 U

(45) 授权公告日 2021.04.13

(21) 申请号 202022187734.9

(22) 申请日 2020.09.29

(73) 专利权人 阳光电源(上海)有限公司  
地址 201203 上海市浦东新区自由贸易试  
验区祖冲之路887弄78号4楼

(72) 发明人 丁顺 王新宇 姜安营 俞雁飞  
李晓迅

(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 张柳

(51) Int.Cl.

H02M 7/5387 (2007.01)

H02M 1/32 (2007.01)

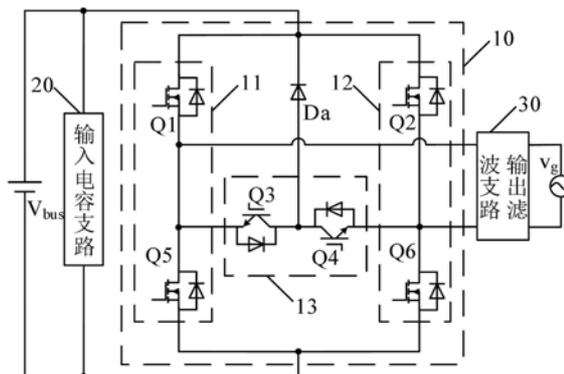
权利要求书2页 说明书12页 附图13页

(54) 实用新型名称

一种Heric逆变电路和Heric逆变器

(57) 摘要

本申请提供了一种Heric逆变电路和Heric逆变器。该Heric逆变电路具体包括:Heric拓扑、输入电容支路、输出滤波支路以及辅助二极管。在该逆变电路中,在Heric拓扑中续流桥臂的中点与Heric拓扑直流侧的任一极之间设置有该辅助二极管,并且,该辅助二极管的方向为:由续流桥臂的中点指向Heric拓扑直流侧的正极,或者,由Heric拓扑直流侧的负极指向续流桥臂的中点,所以当续流桥臂中的相应开关管,即续流管,出现尖峰电压时,辅助二极管可以将尖峰电压钳制,从而抑制尖峰电压的产生,降低Heric拓扑中续流管上的尖峰电压。



1. 一种Heric逆变电路,其特征在于,包括:Heric拓扑、输入电容支路、输出滤波支路以及辅助二极管;其中:

所述输出滤波支路的接收侧与所述Heric拓扑的交流侧相连,所述输出滤波支路的输出侧作为所述Heric逆变电路的交流侧;

所述输入电容支路连接于所述Heric拓扑的直流侧两极之间,其两端作为所述Heric逆变电路的直流侧;

所述辅助二极管,设置于所述Heric拓扑中续流桥臂的中点与所述Heric拓扑直流侧的任一极之间;且所述辅助二极管的方向为:由所述续流桥臂的中点指向所述Heric拓扑直流侧的正极,或者,由所述Heric拓扑直流侧的负极指向所述续流桥臂的中点。

2. 根据权利要求1所述的Heric逆变电路,其特征在于,当所述辅助二极管的方向为由所述续流桥臂的中点指向所述Heric拓扑直流侧的正极时,所述续流桥臂中两个开关管的反并联二极管的阴极相连。

3. 根据权利要求1所述的Heric逆变电路,其特征在于,当所述辅助二极管的方向为由所述Heric拓扑直流侧的负极指向所述续流桥臂的中点时,所述续流桥臂中两个开关管的反并联二极管的阳极相连。

4. 根据权利要求1-3任一项所述的Heric逆变电路,其特征在于,在所述Heric拓扑的两个逆变桥臂中,与所述辅助二极管无连接关系的开关管,其导通时刻分别为:所述续流桥臂中与自身相连的开关管的关断时刻。

5. 根据权利要求4所述的Heric逆变电路,其特征在于,在所述Heric拓扑的两个逆变桥臂中,与所述辅助二极管无连接关系的开关管,其关断时刻分别为:所述续流桥臂中与自身相连的开关管的导通时刻。

6. 根据权利要求1-3任一项所述的Heric逆变电路,其特征在于,在所述Heric拓扑的两个逆变桥臂中,与所述辅助二极管相连的开关管,其驱动信号分别与:所述续流桥臂中与自身无连接关系的开关管的驱动信号,存在死区时间。

7. 根据权利要求1-3任一项所述的Heric逆变电路,其特征在于,所述Heric拓扑包括:第一逆变桥臂、第二逆变桥臂和续流桥臂;

所述第一逆变桥臂和所述第二逆变桥臂并联连接,并联的一端作为所述Heric拓扑的直流侧正极,并联的另一端作为所述Heric拓扑的直流侧负极;

所述续流桥臂设置于所述第一逆变桥臂的中点和所述第二逆变桥臂的中点之间;

所述第一逆变桥臂的中点和所述第二逆变桥臂的中点分别作为所述Heric拓扑的交流侧两端。

8. 根据权利要求7所述的Heric逆变电路,其特征在于,所述第一逆变桥臂包括:第一开关管和第五开关管;所述第二逆变桥臂包括:第二开关管和第六开关管;所述续流桥臂包括:第三开关管和第四开关管;

所述第一开关管的漏极作为所述第一逆变桥臂的第一端,与所述Heric拓扑的直流侧正极相连;

所述第一开关管的源极与所述第五开关管的漏极相连,连接点作为所述第一逆变桥臂的中点;

所述第五开关管的源极作为所述第一逆变桥臂的第二端,与所述Heric拓扑的直流侧

负极相连；

所述第二开关管的漏极作为所述第二逆变桥臂的第一端，与所述Heric拓扑的直流侧正极相连；

所述第二开关管的源极与所述第六开关管的漏极相连，连接点作为所述第二逆变桥臂的中点；

所述第六开关管的源极作为所述第二逆变桥臂的第二端，与所述Heric拓扑的直流侧负极相连；

所述第三开关管的射极作为所述续流桥臂的第一端，与所述第一逆变桥臂的中点相连；

所述第三开关管的集电极和所述第四开关管的集电极相连，连接点作为所述续流桥臂的中点；

所述第四开关管的射极作为所述续流桥臂的第二端，与所述第二逆变桥臂的中点相连。

9. 根据权利要求1-3任一项所述的Heric逆变电路，其特征在于，所述输出滤波支路，包括：第一输出电感支路、第二输出电感支路和输出电容支路；其中：

所述第一输出电感支路的第一端与所述Heric拓扑交流侧的第一端相连，所述第一输出电感支路的第二端组作为所述输出滤波支路交流侧的第一端；

所述第二输出电感支路的第一端与所述Heric拓扑交流侧的第二端相连，所述第二输出电感支路的第二端作为所述输出滤波支路交流侧的第二端；

所述输出电容支路设置于所述第一输出电感支路的第二端与所述第二输出电感支路的第二端之间。

10. 根据权利要求1-3任一项所述的Heric逆变电路，其特征在于，所述Heric拓扑的各个开关管分别为MOS晶体管或者IGBT。

11. 一种Heric逆变器，其特征在于，包括：控制器、检测模块、N个驱动电路以及如权利要求1-10任一项所述的Heric逆变电路；N为正整数；其中：

所述Heric逆变电路的直流侧作为所述Heric逆变器的直流侧、与直流电源相连，所述Heric逆变电路的交流侧作为所述Heric逆变器的交流侧、与交流电源相连；

所述控制器的输出端通过各个所述驱动电路与所述Heric逆变电路中对应开关管的控制端相连；

所述控制器的输入端与所述检测模块的输出端相连，所述检测模块的各个检测端分别设置于所述Heric逆变电路的直流侧和交流侧。

12. 根据权利要求11所述的Heric逆变器，其特征在于，还包括：DCDC变换电路；其中：

所述DCDC变换电路连接于所述Heric逆变器的直流侧与所述Heric逆变电路的直流侧之间。

## 一种Heric逆变电路和Heric逆变器

### 技术领域

[0001] 本实用新型涉及电力电子技术领域,特别是涉及一种Heric逆变电路和Heric逆变器。

### 背景技术

[0002] 目前,小功率的单相逆变器,通常采用具有变换效率高、功率密度高、成本低等优点的非隔离型光伏并网逆变器;并且,非隔离型光伏并网逆变器,通常又采用在器件成本、变换效率和漏电流方面都有较好表现的Heric拓扑。

[0003] 在Heric拓扑中,高频管和续流管均工作在硬开关状态,即在高频管和续流管上会产生较大的电压尖峰,并且自身的开关损耗较高;尤其当Heric拓扑工作在非单位功率因数的工况时,其中的续流管会因承受过高的尖峰电压应力而受损。

[0004] 因此,如何降低Heric拓扑中续流管上的尖峰电压成为目前亟待解决的问题。

### 实用新型内容

[0005] 有鉴于此,本实用新型提供了一种Heric逆变电路和Heric逆变器,以降低Heric拓扑中续流管上的尖峰电压。

[0006] 为实现上述目的,本实用新型实施例提供如下技术方案:

[0007] 本申请一方面提供一种Heric逆变电路,包括:Heric拓扑、输入电容支路、输出滤波支路以及辅助二极管;其中:

[0008] 所述输出滤波支路的接收侧与所述Heric拓扑的交流侧相连,所述输出滤波支路的输出侧作为所述Heric逆变电路的交流侧;

[0009] 所述输入电容支路连接于所述Heric拓扑的直流侧两极之间,其两端作为所述Heric逆变电路的直流侧;

[0010] 所述辅助二极管,设置于所述Heric拓扑中续流桥臂的中点与所述Heric拓扑直流侧的任一极之间;且所述辅助二极管的方向为:由所述续流桥臂的中点指向所述Heric拓扑直流侧的正极,或者,由所述Heric拓扑直流侧的负极指向所述续流桥臂的中点。

[0011] 可选的,当所述辅助二极管的方向为由所述续流桥臂的中点指向所述Heric拓扑直流侧的正极时,所述续流桥臂中两个开关管的反并联二极管的阴极相连。

[0012] 可选的,当所述辅助二极管的方向为由所述Heric拓扑直流侧的负极指向所述续流桥臂的中点时,所述续流桥臂中两个开关管的反并联二极管的阳极相连。

[0013] 可选的,在所述Heric拓扑的两个逆变桥臂中,与所述辅助二极管无连接关系的开关管,其导通时刻分别为:所述续流桥臂中与自身相连的开关管的关断时刻。

[0014] 可选的,在所述Heric拓扑的两个逆变桥臂中,与所述辅助二极管无连接关系的开关管,其关断时刻分别为:所述续流桥臂中与自身相连的开关管的导通时刻。

[0015] 可选的,在所述Heric拓扑的两个逆变桥臂中,与所述辅助二极管相连的开关管,其驱动信号分别与:所述续流桥臂中与自身无连接关系的开关管的驱动信号,存在死区时

间。

[0016] 可选的,所述Heric拓扑包括:第一逆变桥臂、第二逆变桥臂和续流桥臂;

[0017] 所述第一逆变桥臂和所述第二逆变桥臂并联连接,并联的一端作为所述Heric拓扑的直流侧正极,并联的另一端作为所述Heric拓扑的直流侧负极;

[0018] 所述续流桥臂设置于所述第一逆变桥臂的中点和所述第二逆变桥臂的中点之间;

[0019] 所述第一逆变桥臂的中点和所述第二逆变桥臂的中点分别作为所述Heric拓扑的交流侧两端。

[0020] 可选的,所述第一逆变桥臂包括:第一开关管和第五开关管;所述第二逆变桥臂包括:第二开关管和第六开关管;所述续流桥臂包括:第三开关管和第四开关管;

[0021] 所述第一开关管的漏极作为所述第一逆变桥臂的第一端,与所述Heric拓扑的直流侧正极相连;

[0022] 所述第一开关管的源极与所述第五开关管的漏极相连,连接点作为所述第一逆变桥臂的中点;

[0023] 所述第五开关管的源极作为所述第一逆变桥臂的第二端,与所述Heric拓扑的直流侧负极相连;

[0024] 所述第二开关管的漏极作为所述第二逆变桥臂的第一端,与所述Heric拓扑的直流侧正极相连;

[0025] 所述第二开关管的源极与所述第六开关管的漏极相连,连接点作为所述第二逆变桥臂的中点;

[0026] 所述第六开关管的源极作为所述第二逆变桥臂的第二端,与所述Heric拓扑的直流侧负极相连;

[0027] 所述第三开关管的射极作为所述续流桥臂的第一端,与所述第一逆变桥臂的中点相连;

[0028] 所述第三开关管的集电极和所述第四开关管的集电极相连,连接点作为所述续流桥臂的中点;

[0029] 所述第四开关管的射极作为所述续流桥臂的第二端,与所述第二逆变桥臂的中点相连。

[0030] 可选的,所述输出滤波支路,包括:第一输出电感支路、第二输出电感支路和输出电容支路;其中:

[0031] 所述第一输出电感支路的第一端与所述Heric拓扑交流侧的第一端相连,所述第一输出电感支路的第二端组作为所述输出滤波支路交流侧的第一端;

[0032] 所述第二输出电感支路的第一端与所述Heric拓扑交流侧的第二端相连,所述第二输出电感支路的第二端作为所述输出滤波支路交流侧的第二端;

[0033] 所述输出电容支路设置于所述第一输出电感支路的第二端与所述第二输出电感支路的第二端之间。

[0034] 可选的,所述Heric拓扑的各个开关管分别为MOS晶体管或者IGBT。

[0035] 本申请另一方面提供一种Heric逆变器,包括:控制器、检测模块、N个驱动电路以及如本申请上一方面任一项所述的Heric逆变电路;N为正整数;其中:

[0036] 所述Heric逆变电路的直流侧作为所述Heric逆变器的直流侧、与直流电源相连,

所述Heric逆变电路的交流侧作为所述Heric逆变器的交流侧、与交流电源相连；

[0037] 所述控制器的输出端通过各个所述驱动电路与所述Heric逆变电路中对应开关管的控制端相连；

[0038] 所述控制器的输入端与所述检测模块的输出端相连，所述检测模块的各个检测端分别设置于所述Heric逆变电路的直流侧和交流侧。

[0039] 可选的，还包括：DCDC变换电路；其中：

[0040] 所述DCDC变换电路连接于所述Heric逆变器的直流侧与所述Heric逆变电路的直流侧之间。

[0041] 由上述技术方案可知，本实用新型提供了一种逆变电路，其具体包括：Heric拓扑、输入电容支路、输出滤波支路以及辅助二极管。在该逆变电路中，在Heric拓扑中续流桥臂的中点与Heric拓扑直流侧的任一极之间设置有该辅助二极管，并且，该辅助二极管的方向为：由续流桥臂的中点指向Heric拓扑直流侧的正极，或者，由Heric拓扑直流侧的负极指向续流桥臂的中点，所以当续流桥臂中的相应开关管，即续流管，出现尖峰电压时，辅助二极管可以将尖峰电压钳制，从而抑制尖峰电压的产生，降低Heric拓扑中续流管上的尖峰电压。

## 附图说明

[0042] 为了更清楚地说明本实用新型实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本实用新型的实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据提供的附图获得其他的附图。

[0043] 图1为现有技术中Heric逆变电路的结构示意图；

[0044] 图2为现有技术中Heric逆变电路中负载电压 $v_g$ 和负载电流 $i_g$ 的波形示意图；

[0045] 图3为在现有技术中的Heric逆变电路工作于正半周期无功电流区域时，第一开关管、第六开关管以及第四开关管的驱动信号示意图；

[0046] 图4为根据图3所示的驱动信号进行仿真试验的结果示意图；

[0047] 图5为本申请实施例提供的Heric逆变电路的一种结构示意图；

[0048] 图6为负载电流 $i_g$ 由续流通路切换到高频通路时，图5所示的Heric逆变电路的等效电路；

[0049] 图7为负载电流 $i_g$ 由续流通路切换到高频通路时，现有技术中Heric逆变电路的等效电路；

[0050] 图8为现有技术中的一种软开关电路的结构示意图；

[0051] 图9为现有技术中的一种改进型Heric单相逆变器的结构示意图；

[0052] 图10为现有技术中的改进的单相非隔离光伏逆变器的结构示意图；

[0053] 图11为本申请实施例提供的Heric逆变电路的另一种结构示意图；

[0054] 图12为负载电流 $i_g$ 由续流通路切换到高频通路，且采用另一种控制方式时，图5所示的Heric逆变电路的等效电路；

[0055] 图13a为图5所示的Heric逆变电路工作于正半周期无功电流区域时，第一开关管、第六开关管以及第四开关管的一种驱动信号示意图；

- [0056] 图13b为根据图13a所示的驱动信号进行仿真试验的结果示意图；
- [0057] 图14a为图5所示的Heric逆变电路且工作于负半周期无功电流区域时，第二开关管、第五开关管以及第三开关管的一种驱动信号示意图；
- [0058] 图14b为根据图14a所示的驱动信号进行仿真试验的结果示意图；
- [0059] 图15为图11所示的Heric逆变电路工作于正半周期无功电流区域时，第一开关管、第六开关管以及第四开关管的一种驱动信号示意图；
- [0060] 图16为图11所示的Heric逆变电路工作于负半周期无功电流区域时，第二开关管、第五开关管以及第三开关管的一种驱动信号示意图；
- [0061] 图17为图5所示的Heric逆变电路工作于正半周期无功电流区域时，第一开关管、第六开关管以及第四开关管的另一种驱动信号示意图；
- [0062] 图18为图5所示的Heric逆变电路工作于负半周期无功电流区域时，第二开关管、第五开关管以及第三开关管的另一种驱动信号示意图；
- [0063] 图19a为图11所示的Heric逆变电路工作于正半周期无功电流区域时，第一开关管、第六开关管以及第四开关管的另一种驱动信号示意图；
- [0064] 图19b为图11所示的Heric逆变电路工作于负半周期无功电流区域时，第二开关管、第五开关管以及第三开关管的另一种驱动信号示意图；
- [0065] 图20a和图20b分别为Heric逆变拓扑的又两种结构示意图；
- [0066] 图21为本申请实施例提供的Heric逆变器的一种结构示意图；
- [0067] 图22为本申请实施例提供的Heric逆变器的另一种结构示意图。

### 具体实施方式

[0068] 下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

[0069] 在本申请中，诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0070] 在现有技术中，Heric逆变电路的结构可参见图1所示，具体包括：Heric拓扑10、输入电容 $C_{bus}$ 、第一输出电感L1、第二输出电感L2和输出电容 $C_g$ 。

[0071] 在该Heric逆变电路中，Heric拓扑10的直流侧作为Heric逆变电路的直流侧；Heric拓扑10交流侧的第一端与第一输出电感L1的第一端相连，第一输出电感L1的第二端作为Heric逆变电路交流侧的第一端；Heric拓扑10交流侧的第二端与第二输出电感L2的第一端相连，第二输出电感L2的第二端作为Heric逆变电路交流侧的第二端。

[0072] 输入电容 $C_{bus}$ 连接于Heric拓扑10直流侧的两极之间，输出电容 $C_g$ 连接于第一输出

电感L1的第二端与第二输出电感L2的第二端之间。

[0073] 具体而言,Heric拓扑10的电路结构如图1所示,具体包括:第一逆变桥臂11、第二逆变桥臂12和续流桥臂13。

[0074] 在Heric拓扑10中,第一逆变桥臂11和第二逆变桥臂12并联连接,并联的一端作为Heric拓扑10的直流侧正极,并联的另一端作为Heric拓扑10的直流侧负极;续流桥臂13设置于第一逆变桥臂11的中点和第二逆变桥臂12的中点之间;第一逆变桥臂11的中点和第二逆变桥臂12的中点分别作为Heric拓扑10的交流侧两端。

[0075] 其中,第一逆变桥臂11由第一开关管Q1和第五开关管Q5组成。具体的,若第一开关管Q1和第五开关管Q5均为带体二极管的MOS晶体管,此时,第一开关管Q1的漏极作为第一逆变桥臂11的第一端,与Heric拓扑10的直流侧正极相连;第一开关管Q1的源极与第五开关管Q5的漏极相连,连接点作为第一逆变桥臂11的中点;第五开关管Q5的源极作为第一逆变桥臂11的第二端,与Heric拓扑10的直流侧负极相连。

[0076] 其中,第二逆变桥臂12由第二开关管Q2和第六开关管Q6组成,具体的,若第二开关管Q2和第六开关管Q6均为带体二极管的MOS晶体管,此时,第二开关管Q2的漏极作为第二逆变桥臂12的第一端,与Heric拓扑10的直流侧正极相连;第二开关管Q2的源极与第六开关管Q6的漏极相连,连接点作为第二逆变桥臂12的中点;第六开关管Q6的源极作为第二逆变桥臂12的第二端,与Heric拓扑10的直流侧负极相连。

[0077] 其中,续流桥臂13由第三开关管Q3和第四开关管Q4组成。具体的,若第三开关管Q3和第四开关管Q4均为带体二极管的MOS晶体管,此时,续流桥臂13的内部结构如图1所示:第三开关管Q3的射极作为续流桥臂13的第一端,与第一逆变桥臂11的中点相连;第三开关管Q3的集电极和第四开关管Q4的集电极相连,连接点作为续流桥臂13的中点;第四开关管Q4的射极作为续流桥臂13的第二端,与第二逆变桥臂12的中点相连。

[0078] 另外,Heric拓扑10中的各个开关管还可以为带反并联二极管的IGBT,或者其他带反并联二极管的可控开关管,甚至各个开关管的实现形式可以不必相同,进而可以组成各种混合组合形式,比如Q1、Q2、Q5及Q6为带体二极管的MOS晶体管,而Q3和Q4为带反并联二极管的IGBT(如各结构示意图所示);各个开关管的具体选型视其应用环境而定即可,均在本申请的保护范围内。

[0079] 在实际应用中,当上述Heric逆变电路在非单位因数工况下运行时,其负载电压 $v_g$ 和负载电流 $i_g$ 如图2所示,无论正半周期,还是负半周期,均存在无功电流区域;由于上述Heric逆变电路在正半周期无功电流区域和在负半周期无功电流区域的工作原理相似,可类比得到,因此下面仅以Heric逆变电路工作于正半周期无功电流区域为例,对该Heric逆变电路中续流管的两端电压进行说明。

[0080] 当Heric逆变电路工作于正半周期无功电流区域时,第二开关管Q2和第五开关管Q5始终关断,第三开关管Q3始终导通;第一开关管Q1的驱动信号 $v_{gs1}$ 、第六开关管Q6的驱动信号 $v_{gs6}$ 以及第四开关管Q4的驱动信号 $v_{gs4}$ 如图3所示,第一开关管Q1和第六开关管Q6同步动作,并与第四开关管Q4交替导通。

[0081] 另外,如图3所示,为了保证上述Heric逆变电路中的开关管无直通风险,因此在交替导通的开关管之间设置有死区。

[0082] 当第四开关管Q4关断、第一开关管Q1以及第六开关管Q6导通时,负载电流 $i_g$ 流经

第一开关管Q1和第六开关管Q6,即高频通路;当第四开关管Q4导通、第一开关管Q1和第六开关管Q6关断时,负载电流 $i_g$ 流经第三开关管Q3和第四开关管Q4,即续流通路。

[0083] 当上述Heric逆变电路处于死区内,第四开关管Q4、第一开关管Q1以及第六开关管Q6均关断;当上述Heric逆变电路处于第四开关管Q4导通前的死区时,上述Heric逆变电路中的负载电流 $i_g$ 处于由高频通路到续流通路的切换过程;当上述Heric逆变电路处于第一开关管Q1和第六开关管Q6导通前的死区时,上述Heric逆变电路中的负载电流 $i_g$ 处于由续流通路到高频通路的切换过程。

[0084] 当采用图3所示的第一开关管Q1、第六开关管Q6以及第四开关管Q4的驱动信号,对上述Heric逆变电路在正半周期无功电流区域内进行仿真试验时,仿真试验结果如图4所示:当负载电流 $i_g$ 由续流通路切换为高频通路的过程中,第一开关管Q1和第六开关管Q6的两端有电压产生,如图4中的 $v_{ds1}$ 和 $v_{ds6}$ 所示,第四开关管Q4的两端产生尖峰电压,第三开关管Q3的两端没有电压产生,如图4中的 $v_{ds3}$ 所示。

[0085] 由于上述Heric逆变电路在负半周期无功电流区域内的工作原理与在正半周期无功电流区域内的工作原理相似,因此,由上述说明可知,当Heric逆变电路处于无功电流区域时,在其续流管上会产生较大的尖峰电压,可能危及续流管的工作安全。

[0086] 为降低Heric拓扑10中续流管上的尖峰电压,保证Heric拓扑10中续流管的工作安全,本申请实施例提供一种Heric逆变电路,其内部电路结构如图5所示,具体包括:Heric拓扑10、输入电容支路20、输出滤波支路30以及辅助二极管Da。

[0087] 需要说明的是,Heric拓扑10与图1中所示的Heric拓扑10相同,此处不再一一赘述,可参见上述说明。

[0088] 在该Heric逆变电路中,输出滤波支路30的接收侧与Heric拓扑10的交流侧相连,输出滤波支路30的输出侧作为Heric逆变电路的交流侧;输入电容支路20连接于Heric拓扑10的直流侧两极之间;辅助二极管Da设置于Heric拓扑10中续流桥臂13的中点与Heric拓扑10直流侧的正极之间,其方向为:如图5所示,由续流桥臂13的中点指向Heric拓扑10的直流侧正极。

[0089] 由于当本实施例中的Heric逆变电路处于非单位因数工况时,在正半周期无功电流区域和在负半周期无功电流区域的工作原理相似,可类比得到,因此下面以本实施例中的Heric逆变电路工作于正半周期无功电流区域为例,对该Heric逆变电路中续流管的两端电压进行说明。

[0090] 当本实施例提供的Heric逆变电路处于正半周期无功电流区域内时,其内部各个开关管的控制与上述Heric逆变电路中的相应开关管的控制相同,此处不再一一赘述,可参见上述说明。

[0091] 当本实施例提供的Heric逆变电路中的负载电流 $i_g$ 由续流通路切换到高频通路时,该Heric逆变电路的等效电路如图6所示:负载电流 $i_g$ 由第三开关管Q3、辅助二极管Da进入Heric拓扑10的直流侧正极,通过第六开关管Q6进入Heric拓扑10的直流侧负极;第四开关管Q4的集电极通过与辅助二极管Da的阳极相连、射极与第六开关管Q6的漏极相连。

[0092] 而在现有技术中,当Heric逆变电路中的负载电流 $i_g$ 由续流通路切换到高频通路时,Heric逆变电路的等效电路如图7所示:负载电流 $i_g$ 通过第三开关管Q3进入Heric拓扑10的直流侧正极、通过第六开关管Q6进入Heric拓扑10的直流侧负极;第四开关管Q4的集电极

通过第三开关管Q3与第一开关管Q1的源极相连、射极与第六开关管Q6的漏极相连。

[0093] 对别两者可知,在两者中,第四开关管Q4的射极均与第六开关管Q6的漏极相连,且负载电流 $i_g$ 均通过第六开关管Q6进入Heric拓扑10的直流侧负极,即在两者中,第四开关管Q4的射极电位相同;然而,在本实施例中,第四开关管Q4的集电极通过辅助二极管Da与Heric拓扑10的直流侧正极相连,即第四开关管Q4集电极处的电位被钳制;而在现有技术中,第四开关管Q4的集电极通过第三开关管Q3和第一开关管Q1与Heric拓扑10的直流侧的正极相连,再考虑第一开关管Q1和第三开关管Q3导通会产生与自身串联的寄生电感,如此一来,可能会引起第四开关管Q4集电极处的电位波动;从而在两者中,第四开关管Q4的集电极电位不相同,进而在两者第四开关管Q4的射极电位相同的情况下,本实施例中的第四开关管Q4的集电极电位被钳制,即本实施例中的第四开关管Q4两端所产生的尖峰电压降低,因此当本实施例提供的Heric逆变电路处于正半周期无功电流区域内时,可以降低在自身第四开关管Q4两端所产生的尖峰电压。

[0094] 由于本实施例中Heric逆变电路在负半周期无功电流区域内的工作原理与在正半周期无功电流区域内的工作原理相似,参照上述说明可得到如下结论:当本实施例提供的Heric逆变电路处于负半周期无功电流区域内时,可以降低在自身第三开关管Q3两端所产生的尖峰电压。

[0095] 综上所述,本实施例提供的Heric逆变电路,通过设置的辅助二极管Da,可以在续流桥臂13中第三开关管Q3或第四开关管Q4,即续流管,出现尖峰电压时,将尖峰电压钳制,从而可以抑制尖峰电压的产生,因此降低了Heric拓扑10中续流管上的尖峰电压。

[0096] 具体而言,以自身处于正半周期无功电流区域为例,分别对本实施例提供的Heric逆变电路中的第四开关管Q4两端电压和现有技术中的Heric逆变电路中的第四开关管Q4两端电压进行说明。

[0097] 当本实施例提供的Heric逆变电路中的负载电流 $i_g$ 由续流通路切换到高频通路时,考虑到第三开关管Q3和第六开关管Q6会产生与自身串联的寄生电感,如图6所示,分别为第三寄生电感 $L_{s3}$ 和第六寄生电感 $L_{s6}$ ;并且,在第三寄生电感 $L_{s3}$ 和第六寄生电感 $L_{s6}$ 的两端存在电压,分别记为: $v_{L_{s3}}$ 和 $v_{L_{s6}}$ ;另外,由于第一开关管Q1和第六开关管Q6存在正向恢复现象,所以第六开关管Q6的两端存在电压,分别记为: $v_{ds1}$ 和 $v_{ds6}$ ;因此,本实施例的Heric逆变电路中,第四开关管Q4的两端电压 $v_{ds4}$ 表示为:

$$[0098] \quad v_{ds4} = V_{bus} + v_{L_{s6}} + v_{ds6}$$

[0099] 同理,当本实施例提供的Heric逆变电路处于负半周期无功电流区域时,本实施例的Heric逆变电路中,第三开关管Q3的两端电压 $v_{ds3}$ 表示为:

$$[0100] \quad v_{ds3} = V_{bus} + v_{L_{s5}} + v_{ds5}$$

[0101] 当现有技术中的Heric逆变电路中的负载电流 $i_g$ 由续流通路切换到高频通路时,考虑到第一开关管Q1、第三开关管Q3和第六开关管Q6会产生与自身串联的寄生电感,如图7所示,分别为:第一寄生电感 $L_{s1}$ 、第三寄生电感 $L_{s3}$ 和第六寄生电感 $L_{s6}$ ;并且,在第一寄生电感 $L_{s1}$ 、第三寄生电感 $L_{s3}$ 和第六寄生电感 $L_{s6}$ 的两端存在电压,分别记为: $v_{L_{s1}}$ 、 $v_{L_{s3}}$ 和 $v_{L_{s6}}$ ;另外,由于第一开关管Q1和第六开关管Q6存在正向恢复现象,所以第一开关管Q1和第六开关管Q6的两端存在电压,分别记为: $v_{ds1}$ 和 $v_{ds6}$ ;因此,第四开关管Q4的两端电压 $v_{ds4}$ 可以表示为:

$$[0102] \quad v_{ds4} = V_{bus} + v_{Ls1} + v_{ds1} + v_{Ls3} + v_{ds6} + v_{Ls6}$$

[0103] 同理,当现有技术中的Heric逆变电路处于负半周期无功电流区域时,现有技术提供的Heric逆变电路中,第三开关管Q3的两端电压 $v_{ds3}$ 表示为:

$$[0104] \quad v_{ds3} = V_{bus} + v_{Ls2} + v_{ds2} + v_{Ls4} + v_{ds5} + v_{Ls5}$$

[0105] 由此可知,本实施例提供的Heric逆变电路中的续流管,即第三开关管Q3或第四开关管Q4,两端电压的尖峰小于现有技术中的Heric逆变电路中的续流管两端电压的尖峰。

[0106] 值得说明的是,在现有技术中,有一种软开关电路,可以实现Heric逆变电路中高频开关管的零电压开关。该软开关电路增加六个辅助开关管、一个二极管和两个电感以构成软开关辅助电路,其连接关系如图8所示。该软开关辅助电路配合开关控制时序,在高频管开关时刻之前进行辅助电感的充电,在高频管开通前使用辅助电感对其寄生电容进行放电,从而实现零电压开通,在高频管关断前使用辅助电感对其寄生电容进行放电,从而实现零电压关断;因此,按照适当的辅助开关管时序控制,可以实现4个高频管的零电压开通和零电压关断,降低了开关损耗。

[0107] 然而该电路增加了过多的器件,从而拓扑结构较为复杂,使得控制复杂度、其检成本增加以及系统可靠性降低;同时,所增加的辅助电流同样会产生驱动损耗、开关损耗和导通损耗,因此会对该方法降低开关损耗的效果造成影响。

[0108] 在现有技术中,还有一种改进型Heric单相逆变器,在Heric拓扑的基础上,增加了一个开关管和两个辅助电感,其连接关系如图9所示。当负载电流由高频通路切换为续流通路时,增加的辅助电感远高于原回路中的寄生电感,因此可以大大降低换流过程中的电流变化速度,因此在换流初始时刻,即开关管开关瞬间,开通的开关管导通电流几乎为零,从而明显降低开关管的开关损耗,或者被迫导通的二极管导通电流也几乎为零,从而明显降低二极管的反向恢复损耗。

[0109] 但是,辅助电感与开关管直接串联,需要保证开关管关断时的电感电流方向,否则将会产生开关管损坏风险。在电路工作于非单位功率因数情况时,几乎无法避免这种风险,因此对该电路的应用场合有严格的限制。另外,增加的开关管与直流母线中点相连,因此需要增加额外的中点电位控制。

[0110] 在现有技术中,还有一种改进的单相非隔离光伏逆变器,其结构如图10所示,对Heric拓扑的续流桥臂进行了更换,并且还增加了钳位二极管,以限制续流管的电压尖峰。在该光伏逆变器中,使用1个开关管和4个二极管代替两个反向串联的开关管,实现了续流通路的双向导通。在续流通路续流时,只需要开通1个开关管,即可实现续流通路的双向导通。另外增加了2个二极管,提供无功电流通路,同时对续流管的电压尖峰具有钳位作用。

[0111] 不过,该方法增加了器件成本。同时,由于回路中的器件数量增加,增加了系统的导通损耗。

[0112] 综上所述,本申请提供的Heric逆变电路,仅通过增加一个辅助二极管,便实现了对续流管两端尖峰电压的有效抑制,从而使得该Heric逆变电路的内部结构简单、成本低以及控制复杂度低;并且,辅助二极管仅在续流管两端产生尖峰电压时起到钳位作用,从而不会引入明显损耗,不会使该Heric逆变电路的损耗增加。

[0113] 在实际应用中,Heric拓扑10中的续流桥臂13显然还有另一种实施方式,其内部结构如图11所示,具体包括:第三开关管Q3和第四开关管Q4。

[0114] 在该续流桥臂13中,第三开关管Q3和第四开关管Q4均为带体二极管的IGBT,因此,第三开关管Q3的集电极作为续流桥臂13的第一端,与第一逆变桥臂11的中点相连;第三开关管Q3的射极与第四开关管Q4的射极相连,连接点作为续流桥臂13的中点;第四开关管Q4的集电极作为续流桥臂13的第二端,与第二逆变桥臂12的中点相连。

[0115] 当Heric拓扑10中的续流桥臂13采用上述实施方式时,本申请另一实施例在上述实施方式的基础上,提供另一种Heric逆变电路,除以下区别外,其内部结构与上述实施例提供的Heric逆变电路基本相同。

[0116] 如图11所示,区别在于:在该实施例中的Heric逆变电路中,辅助二极管Da设置于Heric拓扑10中续流桥臂13的中点与Heric拓扑10的直流侧负极相连,且其方向为:由Heric的直流侧负极指向续流桥臂13的中点。

[0117] 需要说明的是,本实施例提供的Heric逆变电路的工作原理与上述实施例提供的Heric逆变电路基本相同,通过简单的类比推导即知:本实施例提供的Heric逆变电路,通过设置的辅助二极管Da,可以在续流桥臂13中第三开关管Q3或第四开关管Q4,即续流管,出现尖峰电压时,将尖峰电压钳制,从而抑制尖峰电压的产生,降低Heric拓扑10中续流管上的尖峰电压,此处不再一一赘述。

[0118] 上述两个实施例提供了Heric逆变电路的两种实施方式,但是均未对其内部各个开关管的控制方式进行改变,而本申请实施例提供Heric逆变电路的另一种实施方式。

[0119] 在该实施方式中,该Heric逆变电路的内部结构可以与图5所示的Heric逆变电路相同,也可以与图11所示的Heric逆变电路相同,此处不做具体限定,可视具体情况进行选择。

[0120] 但本实施例中的Heric逆变电路与上述两个实施例中的Heric逆变电路的区别具体在于:在Heric拓扑10的两个逆变桥臂中,与辅助二极管Da无连接关系的开关管,其导通时刻分别为:续流桥臂13中与自身相连的开关管的关断时刻。

[0121] 具体而言,当本实施例中的Heric逆变电路的结构与图5所示的Heric逆变电路的结构相同时,该Heric逆变电路中各个开关管的控制与现有技术的区别在于:当本实施例中的Heric逆变电路处于非单位因数工况下时,若该Heric逆变电路处于正半周期,则如图13a所示,在该Heric逆变电路中,在第四开关管Q4关断后,第六开关管Q6可以立即导通,不再需要等待死区时间;若该Heric逆变电路处于负半周期,则如图14a所示,在该Heric逆变电路中,在第三开关管Q3关断后,第五开关管Q5可以立即导通,不再需要等待死区时间。

[0122] 下面以自身处于正半周期无功电流区域为例,对该Heric逆变电路中的第四开关管Q4两端电压进行说明。

[0123] 当该Heric逆变电路中的负载电流 $i_g$ 由续流通路切换到高频通路时,该Heric逆变电路的等效电路如图12所示:负载电流 $i_g$ 的路径与图6所示的Heric逆变电路相同,然而,该Heric逆变电路中的第六开关管Q6已导通,所以第六开关管Q6上不存在正向恢复现象,因此该Heric逆变电路中,第四开关管Q4的两端电压 $v_{ds4}$ 可以表示为:

$$[0124] \quad v_{ds4} = V_{bus} + v_{Ls6}$$

[0125] 需要说明的是,该Heric逆变电路在负半周期无功电流区域内的工作原理与在正半周期无功电流区域内的工作原理相似,此处不再一一赘述,参见上述说明即可。

[0126] 当采用图13a所示的第一开关管Q1的驱动信号 $v_{gs1}$ 、第六开关管Q6的驱动信号 $v_{gs6}$

以及第四开关管Q4的驱动信号 $v_{gs4}$ ,对该Heric逆变电路在正半周期无功电流区域内进行仿真试验时,仿真试验的结果如图13b所示:当负载电流 $i_g$ 由续流通路切换为高频通路的过程中,第三开关管Q3的两端依然没有电压产生,如图13b中的 $v_{ds3}$ 所示,第一开关管Q1和第六开关管Q6两端没有电压产生,如图13b中的 $v_{ds1}$ 和 $v_{ds6}$ 所示,第四开关管Q4两端产生的尖峰电压相较于上述实施例降低,如图13b中 $v_{ds4}$ 的所示。

[0127] 当采用图14a所示的第二开关管Q2的驱动信号 $v_{gs2}$ 、第五开关管Q5的驱动信号 $v_{gs5}$ 以及第三开关管Q3的驱动信号 $v_{gs3}$ ,对该Heric逆变电路在负半周期无功电流区域内进行仿真试验时,仿真试验的结果如图14b所示:当负载电流 $i_g$ 由续流通路切换为高频通路的过程中,第四开关管Q4的两端依然没有电压产生,如图14b中的 $v_{ds4}$ 所示,第二开关管Q2和第五开关管Q5两端没有电压产生,如图14b中的 $v_{ds2}$ 和 $v_{ds5}$ 所示,第三开关管Q3两端产生的尖峰电压相较于上述实施例进一步降低,如图14b中的 $v_{ds3}$ 所示。

[0128] 具体而言,当本实施例中的Heric逆变电路的结构与图11所示的Heric逆变电路的结构相同时,该Heric逆变电路中各个开关管的控制方式与现有技术的区别为:若该Heric逆变电路处于正半周期,则如图15所示,在该Heric逆变电路中,在第四开关管Q4关断后,第一开关管Q1可以立即导通,不再需要等待死区时间;若该Heric逆变电路处于负半周期,则如图16所示,在该Heric逆变电路中,在第三开关管Q3关断后,第五开关管Q5可以立即导通,不再需要等待死区时间。

[0129] 需要说明的是,该Heric逆变电路中的续流管,即第三开关管Q3或第四开关管Q4,相较于图11所示的Heric逆变电路中的续流管而言,其两端电压的变换与本实施例中的上一种实施方式相同,此处不再一一赘述,可参见上述说明。

[0130] 还需要说明的是,显然,采用图15所示的第一开关管Q1的驱动信号 $v_{gs1}$ 、第六开关管Q6的驱动信号 $v_{gs6}$ 以及第四开关管Q4的驱动信号 $v_{gs4}$ ,对该Heric逆变电路在正半周期无功电流区域内进行仿真试验的结果与本实施例中的上一种实施方式相同;采用图16所示的第二开关管Q2的驱动信号 $v_{gs2}$ 、第五开关管Q5的驱动信号 $v_{gs5}$ 以及第三开关管Q3的驱动信号 $v_{gs3}$ ,对该Heric逆变电路在负半周期无功电流区域内进行仿真试验的结果与本实施例中的上一种实施方式相同,此处不再一一赘述。

[0131] 在上一实施例的基础上,本申请另一实施例提供Heric逆变电路的另一种实施方式,其中,本实施例中的Heric逆变电路与上一实施例中的Heric逆变电路的区别在于:在Heric拓扑10的两个逆变桥臂中,与辅助二极管Da无连接关系的开关管,其关断时刻分别为:续流桥臂13中与自身相连的开关管的导通时刻。

[0132] 具体而言,当本实施例中的Heric逆变电路的结构与图5所示的Heric逆变电路的结构相同时,该Heric逆变电路中各个开关管的控制方式与上一实施例的相应实施方式的区别在于:当本实施例中的Heric逆变电路处于非单位因数工况下时,若该Heric逆变电路处于正半周期,则如图17所示,在该Heric逆变电路中,在第四开关管Q4导通前,第六开关管Q6可以一直导通;若该Heric逆变电路处于负半周期,则如图18所示,在该Heric逆变电路中,在第三开关管Q3导通前,第五开关管Q5可以一直导通。

[0133] 需要说明的是,该Heric逆变电路中的续流管,即第三开关管Q3或第四开关管Q4,相较于图5所示的Heric逆变电路中的续流管而言,其两端电压的变换与上一实施例中的相应实施方式相同,此处不再一一赘述,可参见上述说明。

[0134] 还需要说明的是,显然,采用图17所示的第一开关管Q1的驱动信号 $v_{gs1}$ 、第六开关管Q6的驱动信号 $v_{gs6}$ 以及第四开关管Q4的驱动信号 $v_{gs4}$ ,对该Heric逆变电路在正半周期无功电流区域内进行仿真试验的结果与上一实施例中的相应实施方式相同;采用图18所示的第二开关管Q2的驱动信号 $v_{gs2}$ 、第五开关管Q5的驱动信号 $v_{gs5}$ 以及第三开关管Q3的驱动信号 $v_{gs3}$ ,对该Heric逆变电路在负半周期无功电流区域内进行仿真试验的结果与上一实施例中的相应实施方式相同,此处不再一一赘述。

[0135] 具体而言,当本实施例中的Heric逆变电路的结构与图11所示的Heric逆变电路的结构相同时,该Heric逆变电路中各个开关管的控制方式与上一实施例的相应实施方式的区别在于:若该Heric逆变电路处于正半周期,则如图19a所示,在该Heric逆变电路中,在第四开关管Q4导通前,第一开关管Q1可以一直导通;若该Heric逆变电路处于负半周期,则如图19b所示,在该Heric逆变电路中,在第三开关管Q3导通前,第五开关管Q5可以一直导通,不再需要等待死区时间。

[0136] 需要说明的是,该Heric逆变电路中的续流管,即第三开关管Q3或第四开关管Q4,相较于图11所示的Heric逆变电路中的续流管而言,其两端电压的变换与上一实施例中的相应实施方式相同,此处不再一一赘述,可参见上述说明。

[0137] 还需要说明的是,显然,采用图19a所示的第一开关管Q1的驱动信号 $v_{gs1}$ 、第六开关管Q6的驱动信号 $v_{gs6}$ 以及第四开关管Q4的驱动信号 $v_{gs4}$ ,对该Heric逆变电路在正半周期无功电流区域内进行仿真试验的结果与上一实施例中的相应实施方式相同;采用图19b所示的第二开关管Q2的驱动信号 $v_{gs2}$ 、第五开关管Q5的驱动信号 $v_{gs5}$ 以及第三开关管Q3的驱动信号 $v_{gs3}$ ,对该Heric逆变电路在负半周期无功电流区域内进行仿真试验的结果与上一实施例中的相应实施方式相同,此处不再一一赘述。

[0138] 值得说明的是,上述两个实施例提供的Heric逆变电路中,在没有对现有技术中对Heric逆变电路的控制方式造成影响的前提下,对其进行了改进,使得本申请中的Heric逆变电路中续流管,即第三开关管Q3或者第四开关管Q4,两端所产生的尖峰电压降低,避免Heric逆变电路中的续流管遭受损坏。

[0139] 本申请实施例针对上述实施例中的输出滤波电路,提供其一种具体实施方式,其内部结构可参见图20a或图20b具体包括:第一输出电感支路31、第二输出电感支路32和输出电容支路33。

[0140] 在输出滤波支路30中,第一输出电感支路31的第一端与Heric拓扑10交流侧的第一端相连,第一输出电感支路31的第二端作为输出滤波支路30交流侧的第一端;第二输出电感支路32的第一端与Heric拓扑10交流侧的第二端相连,第二输出电感支路32的第二端组作为输出滤波支路30交流侧的第二端;输出电容支路33设置于第一输出电感支路31的第二端与第二输出电感支路32的第二端之间。

[0141] 具体而言,第一输出电感支路31和第二输出电感支路32均包括至少一个输出电感,当输出电感的个数大于1时,全部输出电感可串联连接组成相应的输出电感支路;上述仅为全部输出电感之间的一种连接方式,在实际应用中,包括但不限于上述连接方式,可视具体情况而定,此处不做具体限定,均在本申请的保护范围内。

[0142] 优选的,如图20a或图20b所示,第一输出电感支路31只包括第一输出电感L1,其中,第一输出电感L1的两端分别为第一输出电感支路31的第一端和第二端;第二输出电感

支路32只包括第二输出电感L2,其中,第二输出电感L2的两端分别为第二输出电感支路32的第一端和第二端。

[0143] 具体而言,输入电容支路20和输出电容支路33均包括至少一个电容,当电容的个数大于1时,全部电容可串联连接组成相应的电容支路;上述仅为全部电容之间的一种连接方式,在实际应用中,包括但不限于上述连接方式,可视具体情况而定,此处不做具体限定,均在本申请的保护范围内。

[0144] 优选的,如图20a或图20b所示,输入电容支路20只包括输入电容 $C_{bus}$ ,其中,输入电容 $C_{bus}$ 的两端分别为输入电容支路20的两端;输出电容支路33包括输出电容 $C_g$ ,其中,输出电容 $C_g$ 的两端分别为输出电容支路33的两端。

[0145] 本申请另一实施例提供一种Heric逆变器,其内部结构如图21所示,具体包括:控制器100、检测模块200、N个驱动电路300以及上述实施例提供的Heric逆变电路400。

[0146] 其中,N为正整数,其取值可视具体情况而定,此处不做具体限定,均在本申请的保护范围内。

[0147] 在该Heric逆变器中,Heric逆变电路400的直流侧作为Heric逆变器的直流侧、与直流电源相连;Heric逆变电路400的交流侧作为Heric逆变器的交流侧、与交流电源相连;控制器100的输出端通过各个驱动电路300与Heric逆变电路400中对应的开关管的控制端相连;控制器100的输入端与检测模块200的输出端相连,检测模块200的各个检测端分别设置于逆变电路的直流侧和交流侧。

[0148] 如图22所示,该Heric逆变器在上述实施方式的基础上,还包括:DCDC变换电路500;其中,DCDC变换电路500连接于Heric逆变器的直流侧与Heric逆变电路400的直流侧之间。

[0149] 需要说明的是,该Heric逆变器采用上述实施例提供的Heric逆变电路400,可以降低自身续流管两端产生的尖峰电压,从而保证自身内部续流管的工作安全,因此也保证了自身的工作安全。

[0150] 本实用新型中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的装置而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0151] 以上所述,仅是本实用新型的较佳实施例而已,并非对本实用新型作任何形式上的限制。虽然本实用新型已以较佳实施例揭露如上,然而并非用以限定本实用新型。任何熟悉本领域的技术人员,在不脱离本实用新型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实用新型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,凡是未脱离本实用新型技术方案的内容,依据本实用新型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,均仍属于本实用新型技术方案保护的范围内。

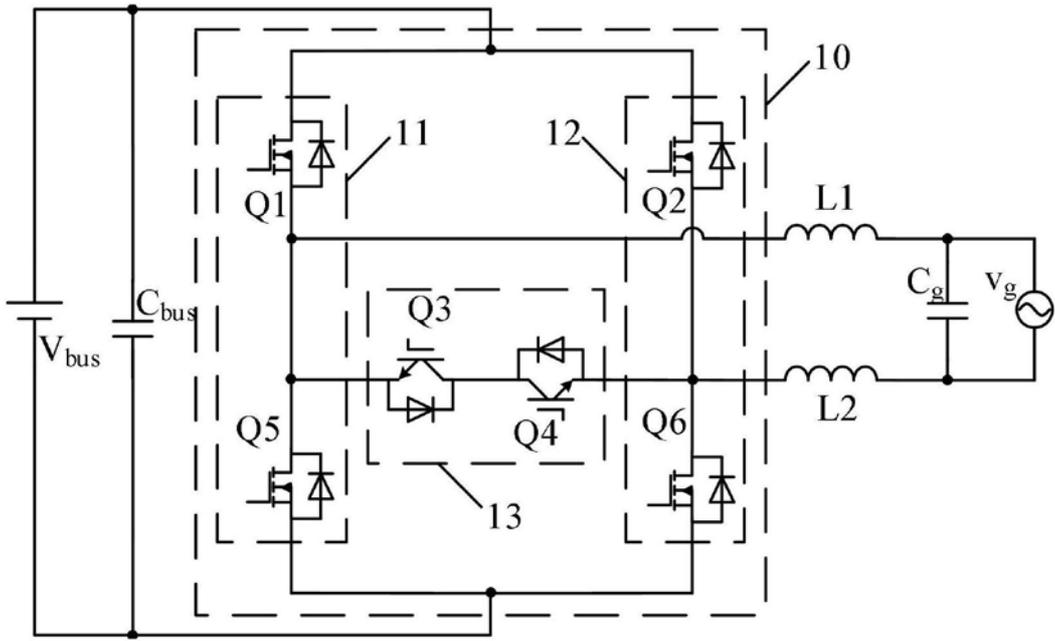
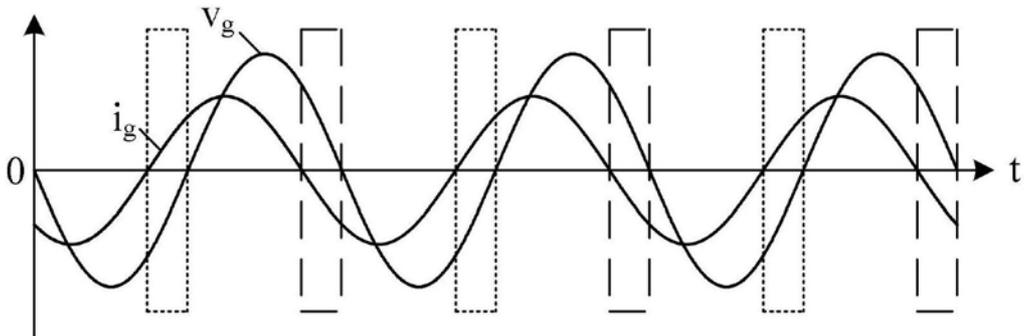


图1



□ 正半周期无功电流区域 □ 负半周期无功电流区域

图2

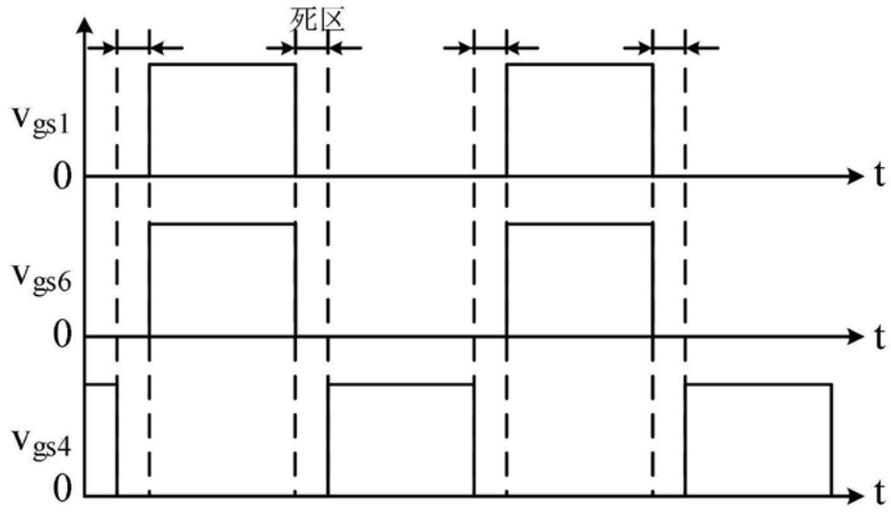


图3

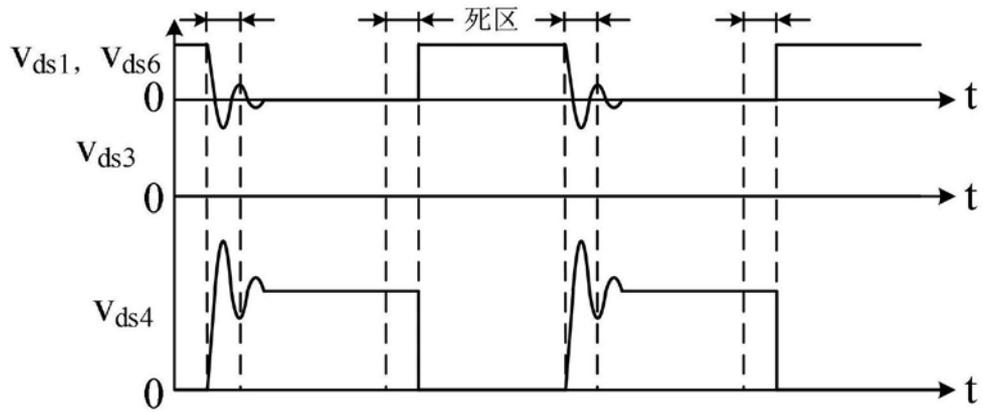


图4

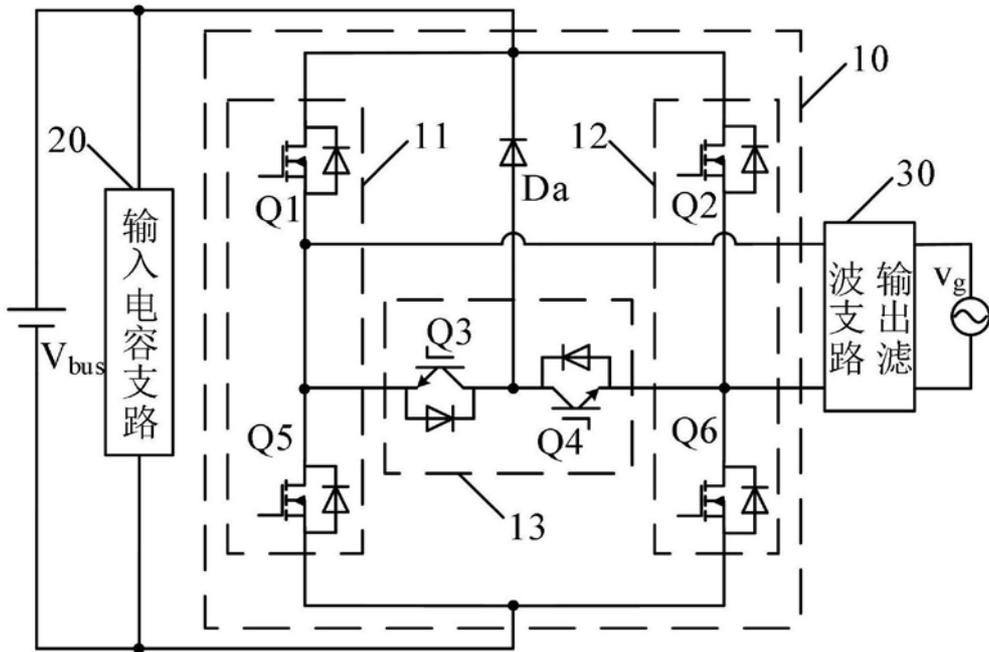


图5

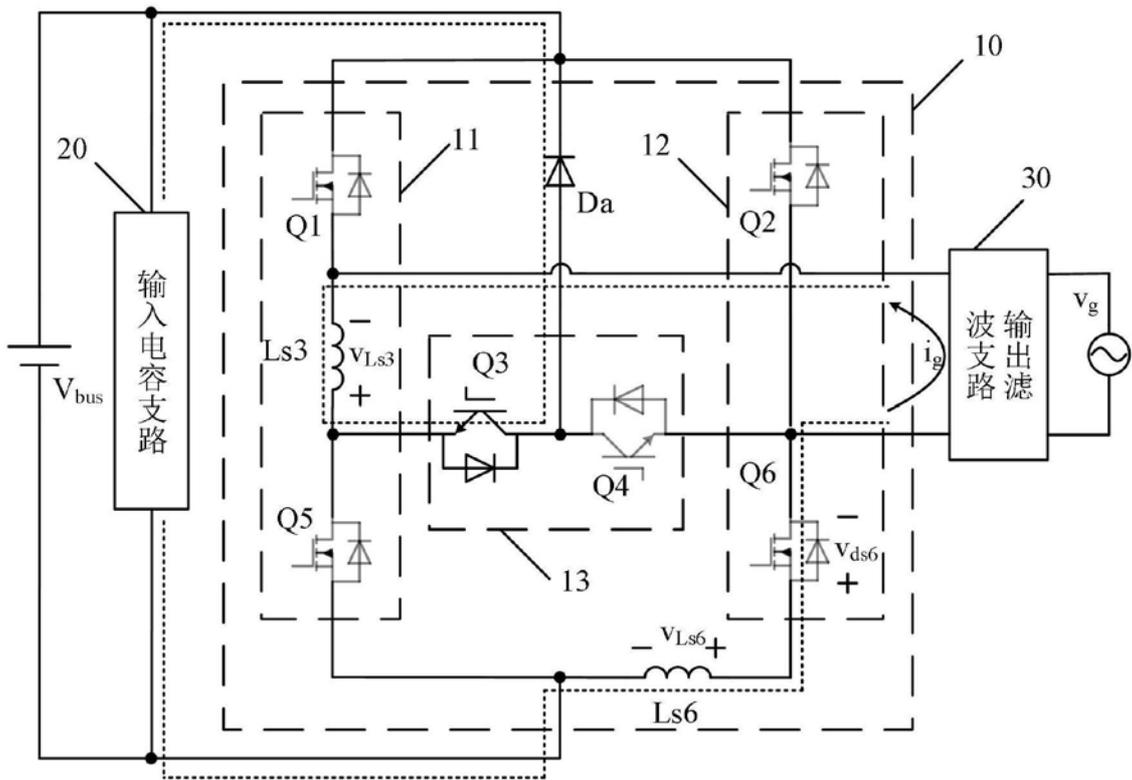


图6

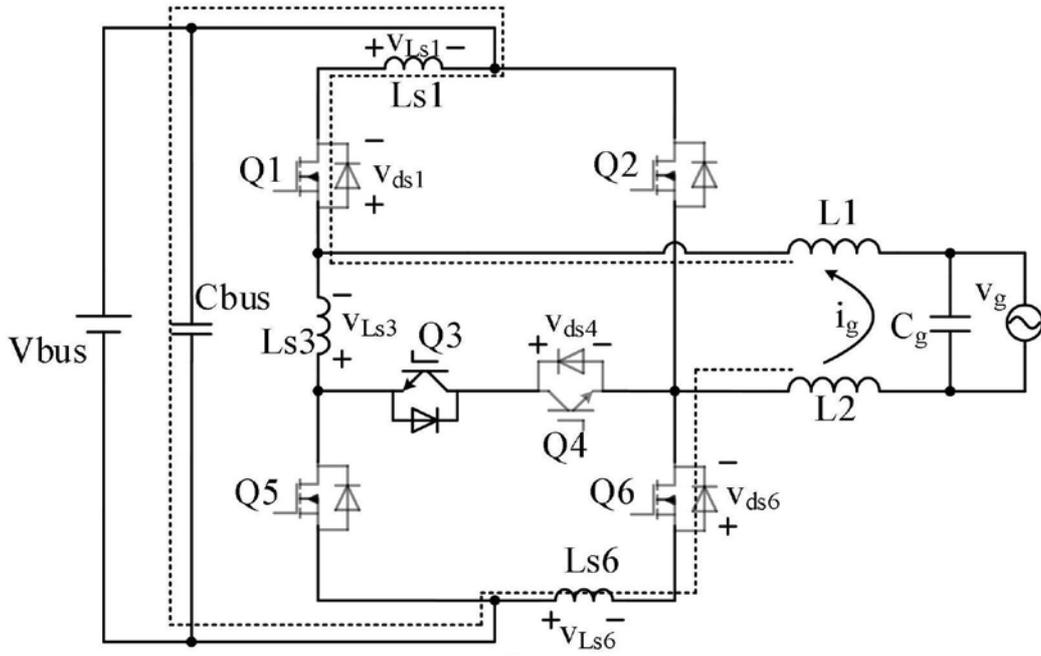


图7

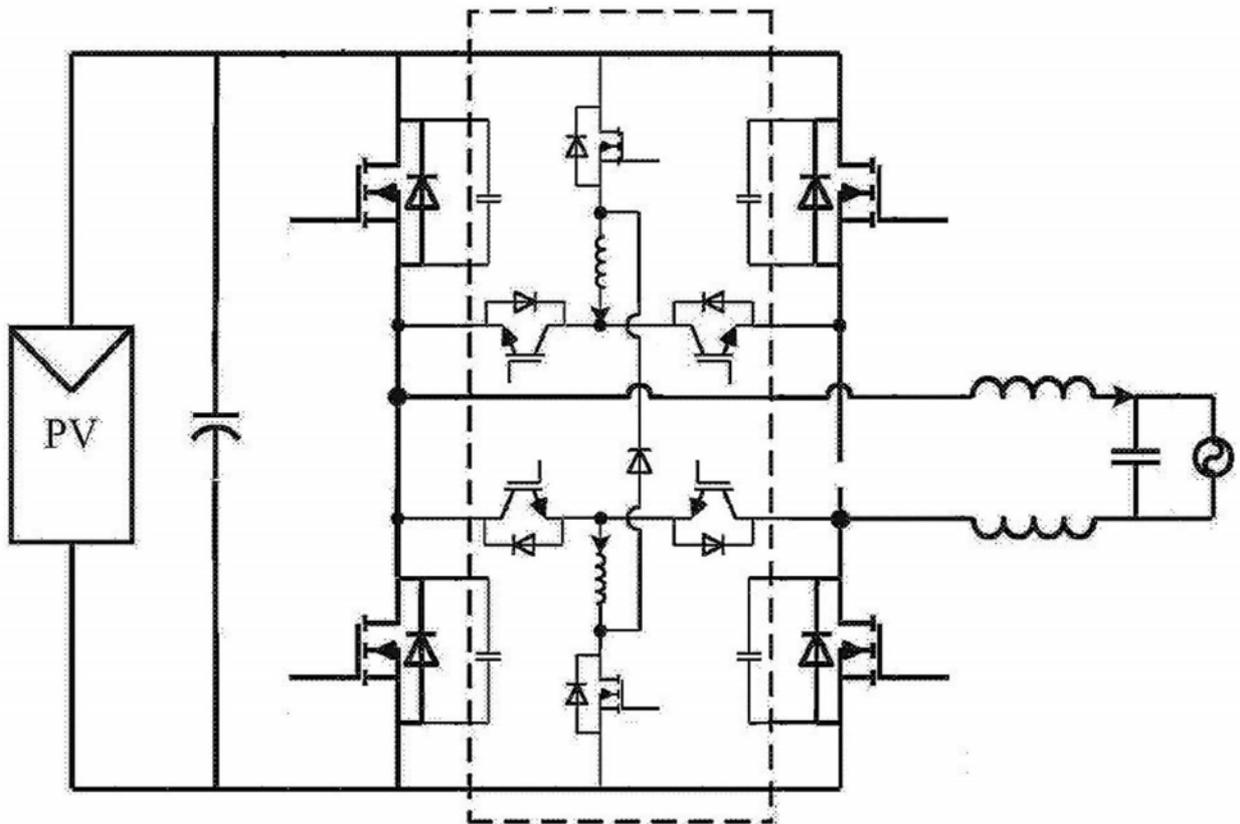


图8

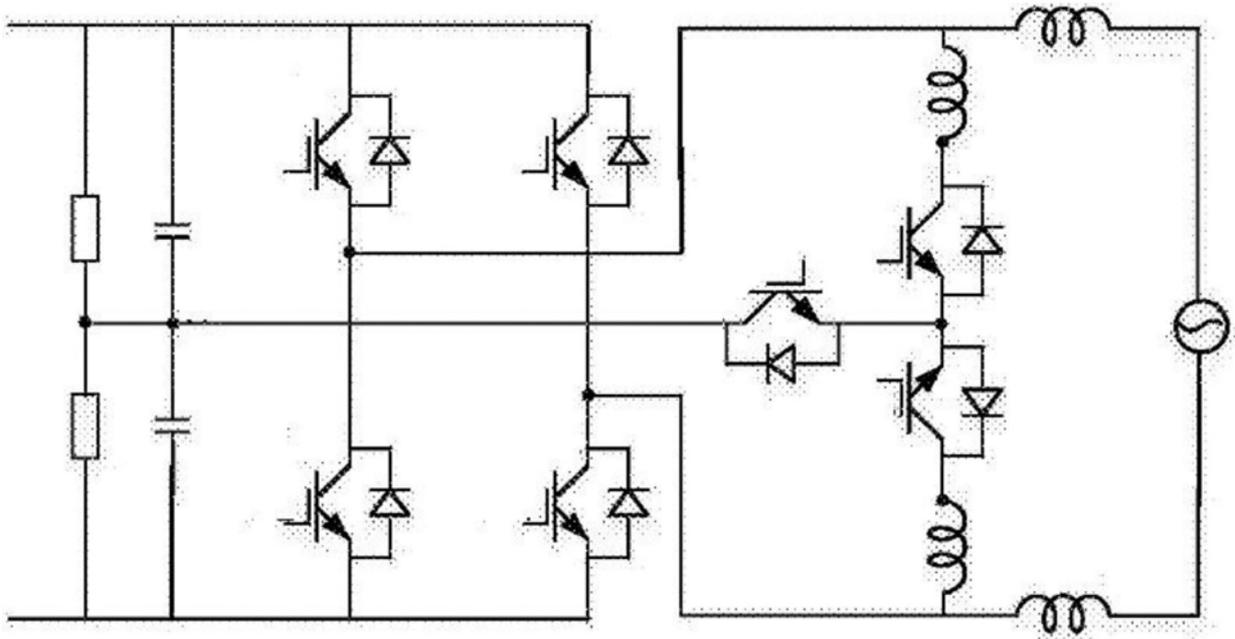


图9

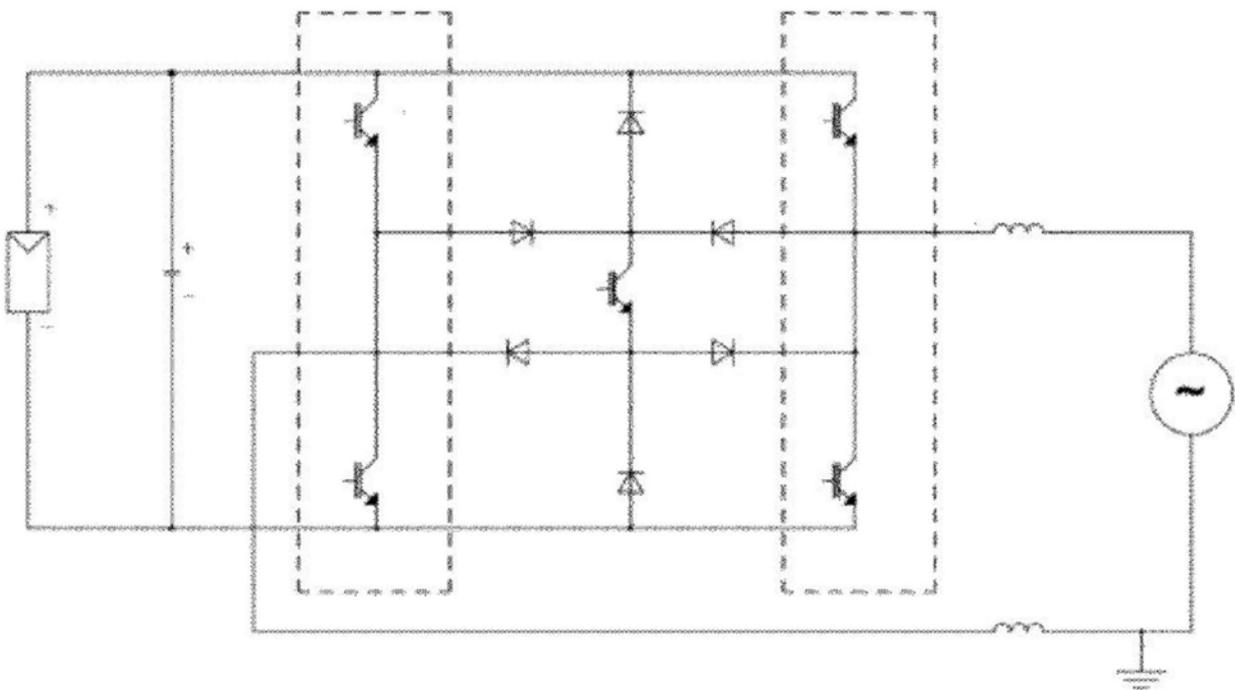


图10

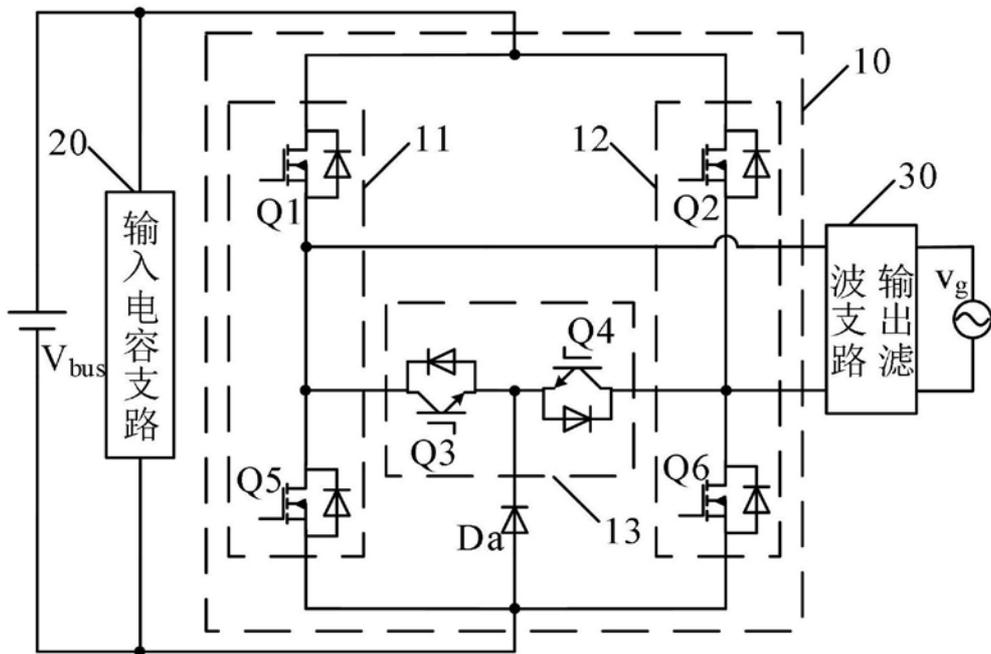


图11

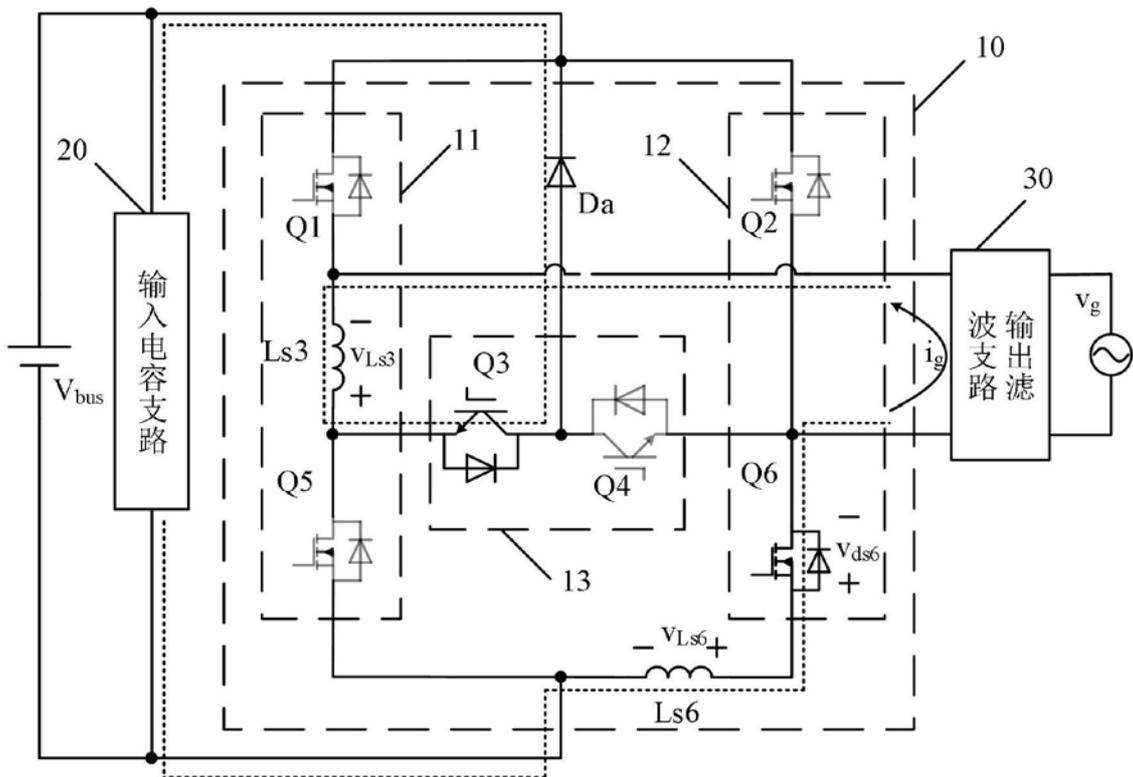


图12

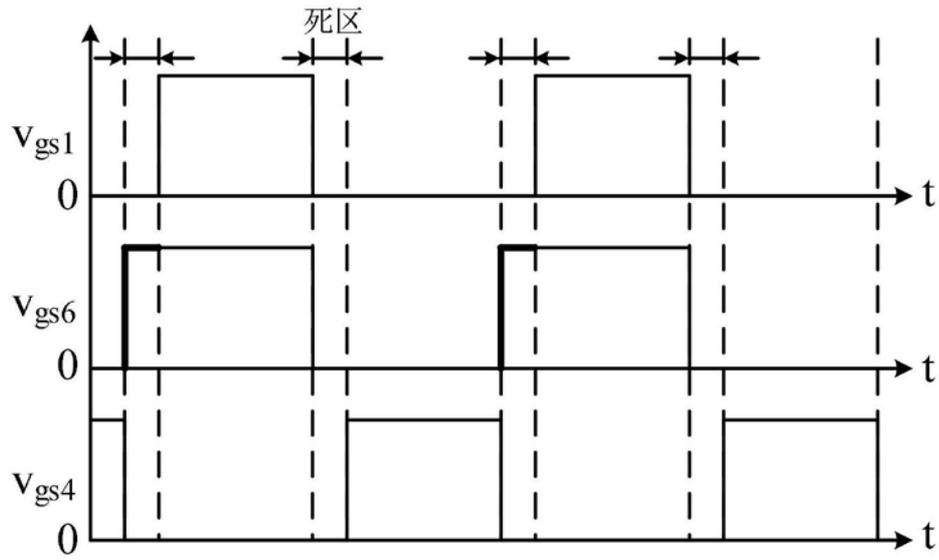


图13a

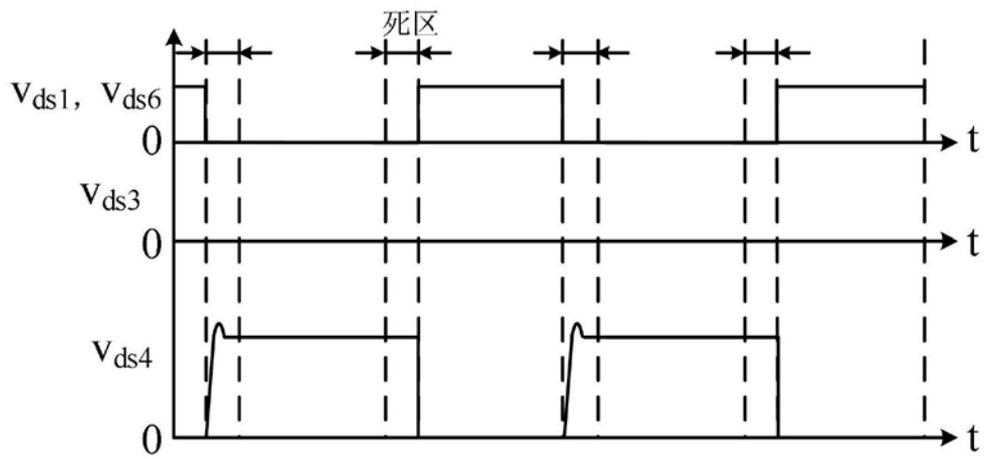


图13b

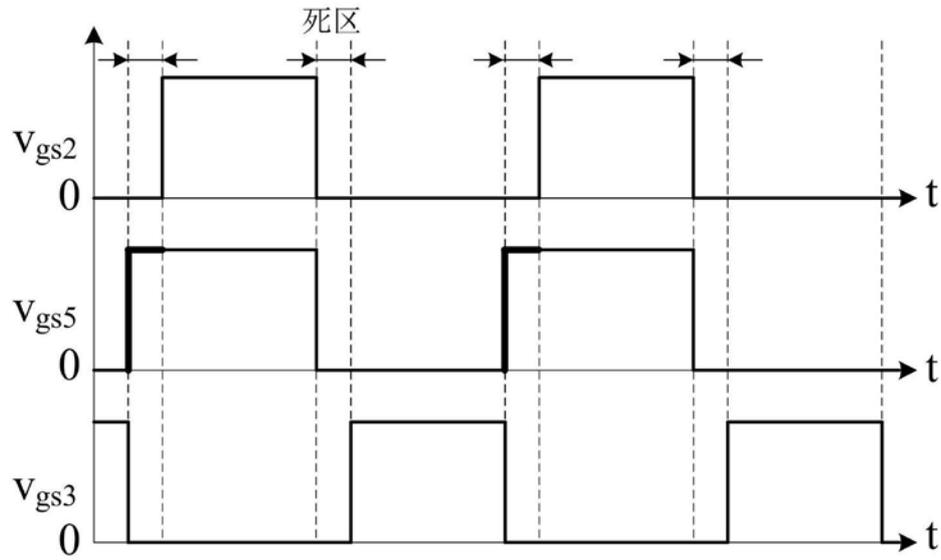


图14a

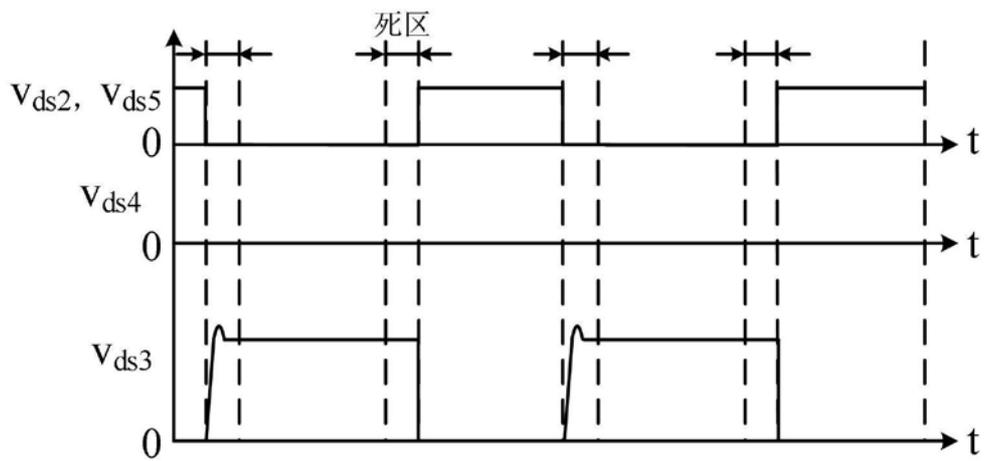


图14b

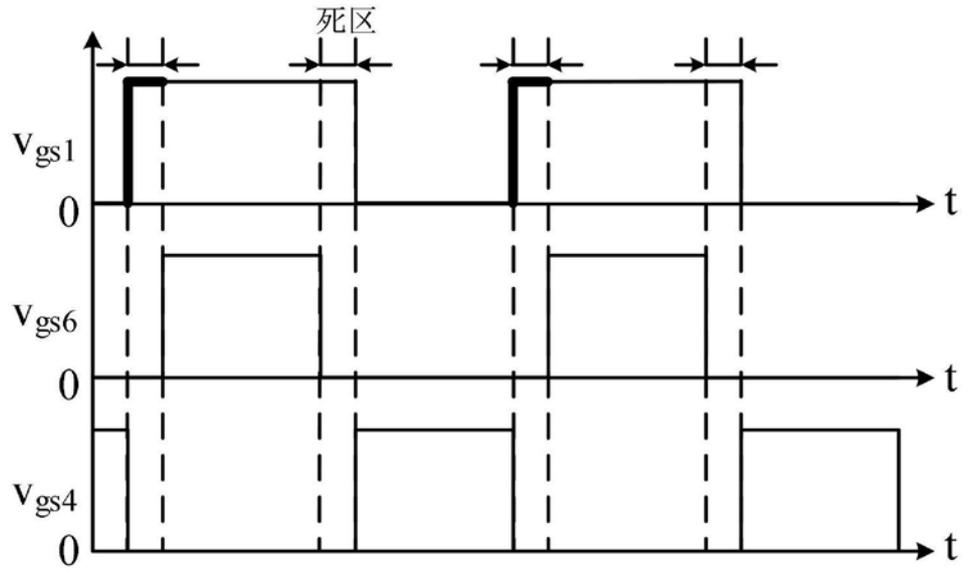


图15

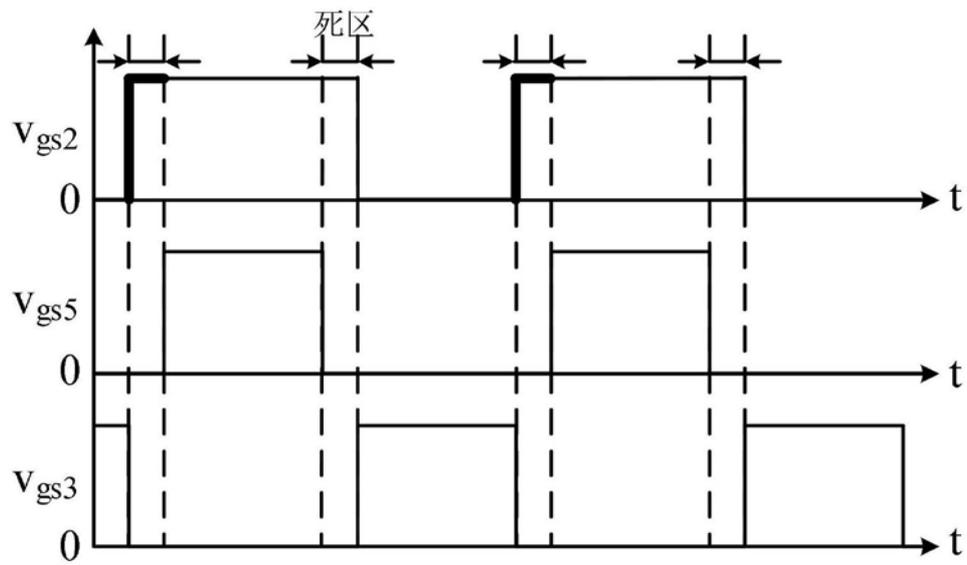


图16

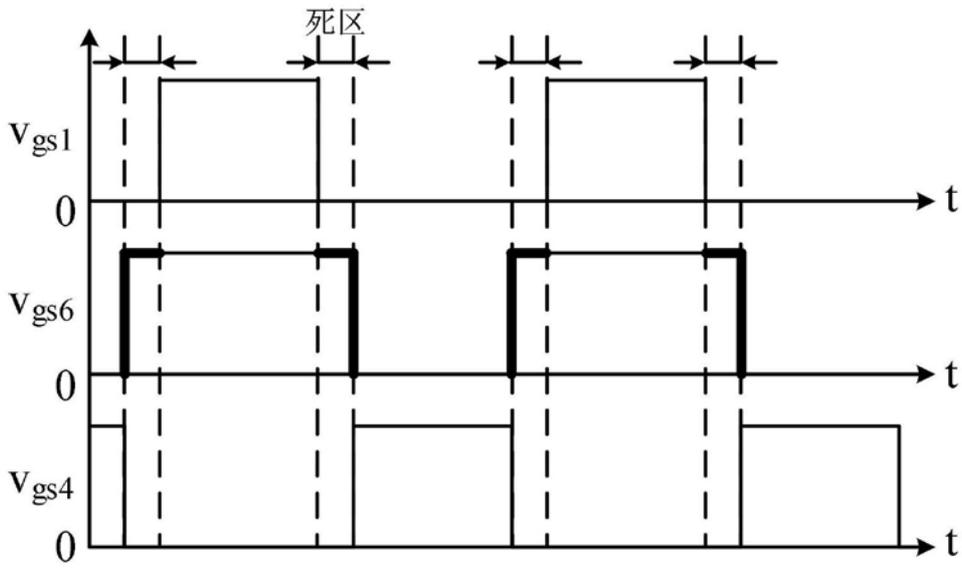


图17

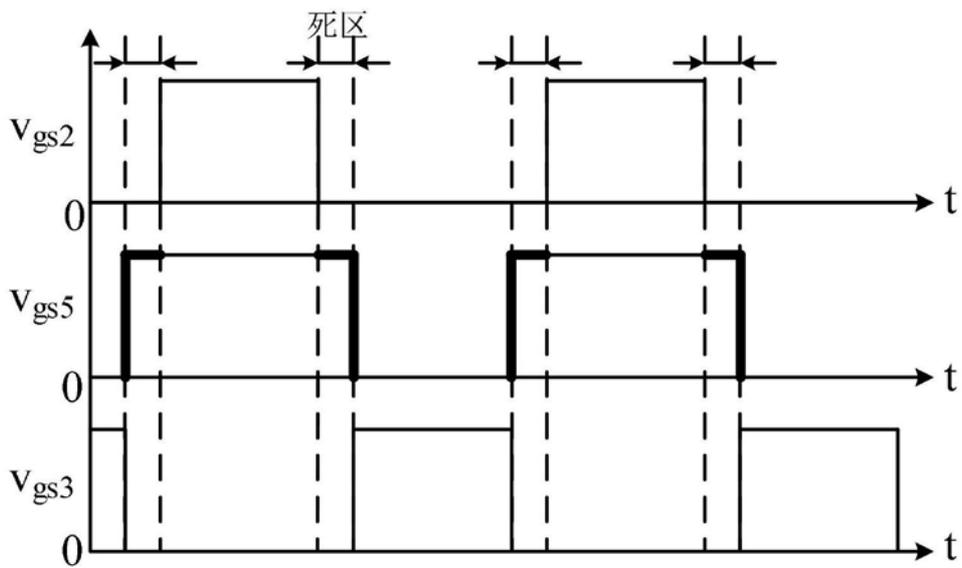


图18

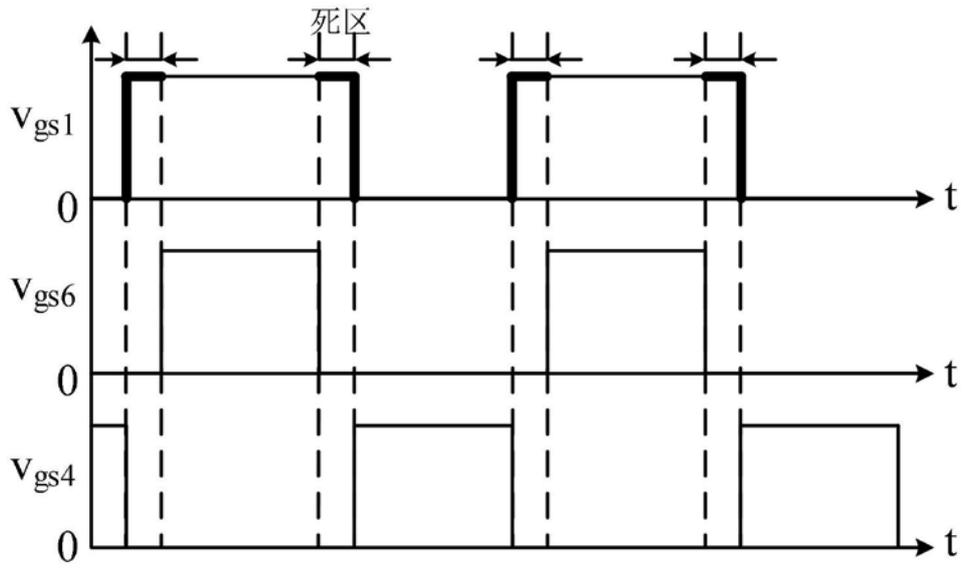


图19a

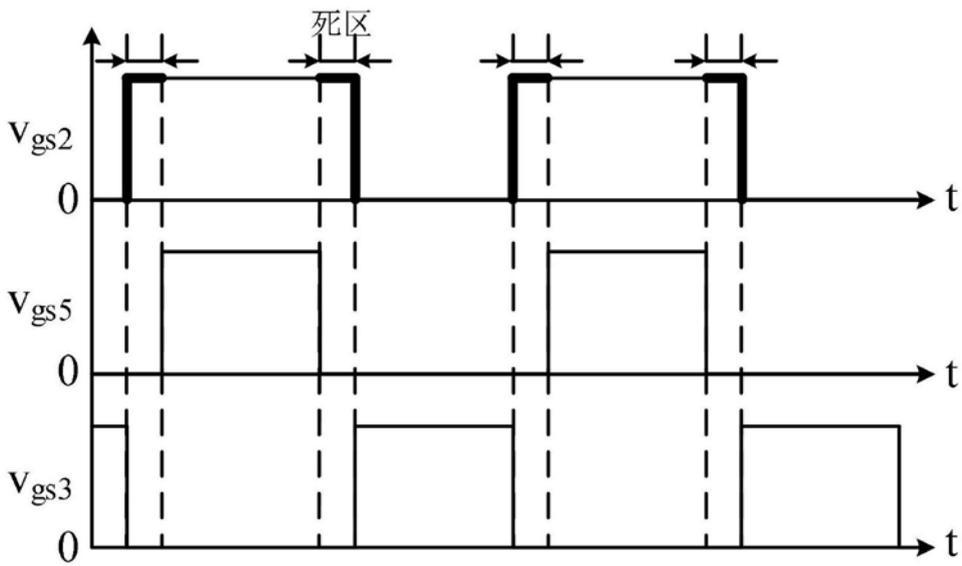


图19b

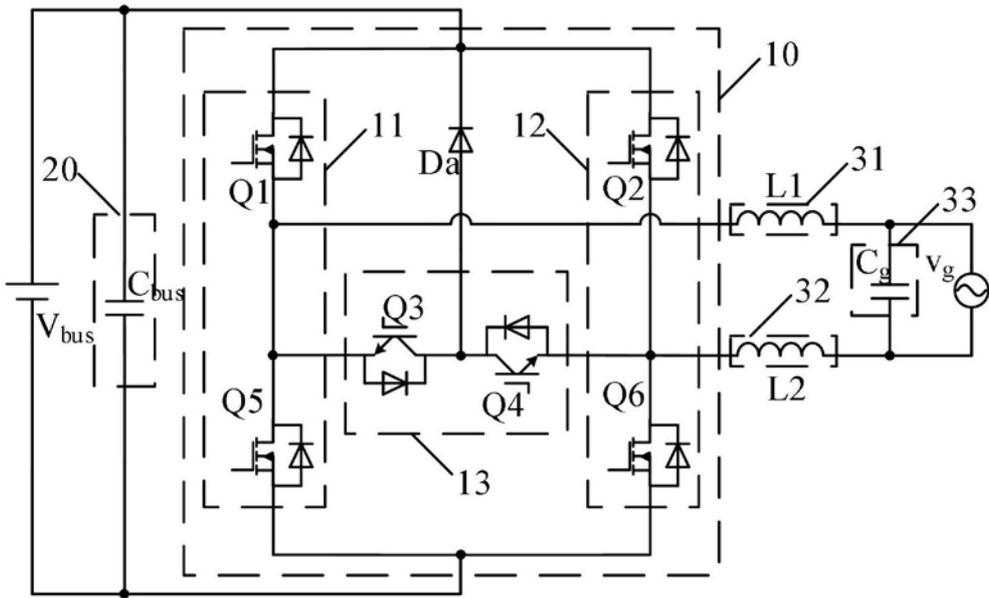


图20a

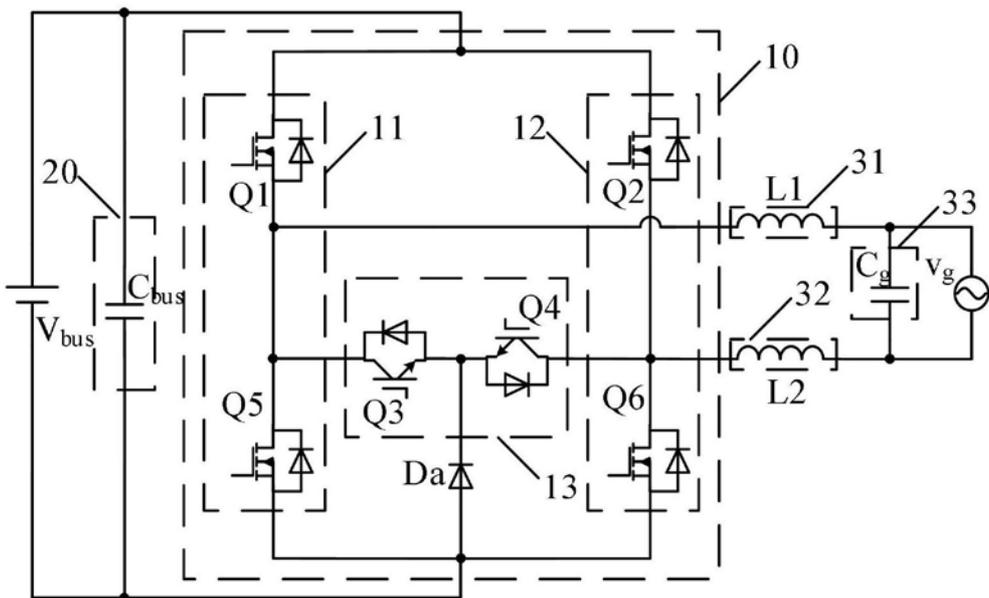


图20b

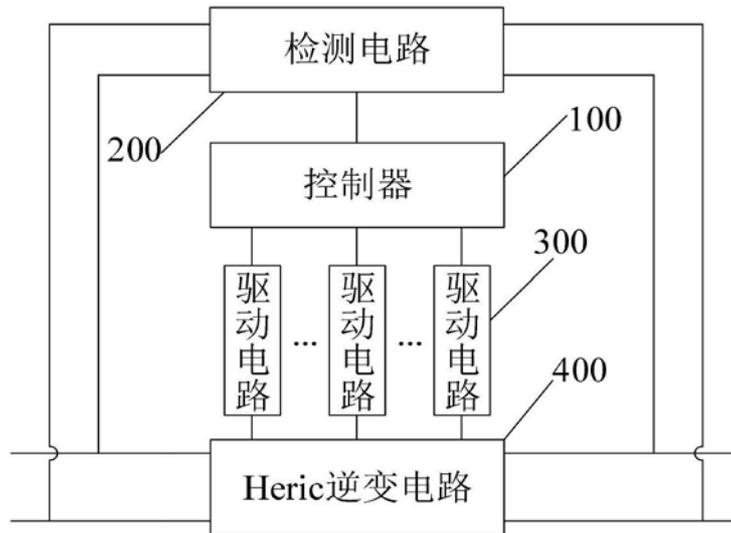


图21

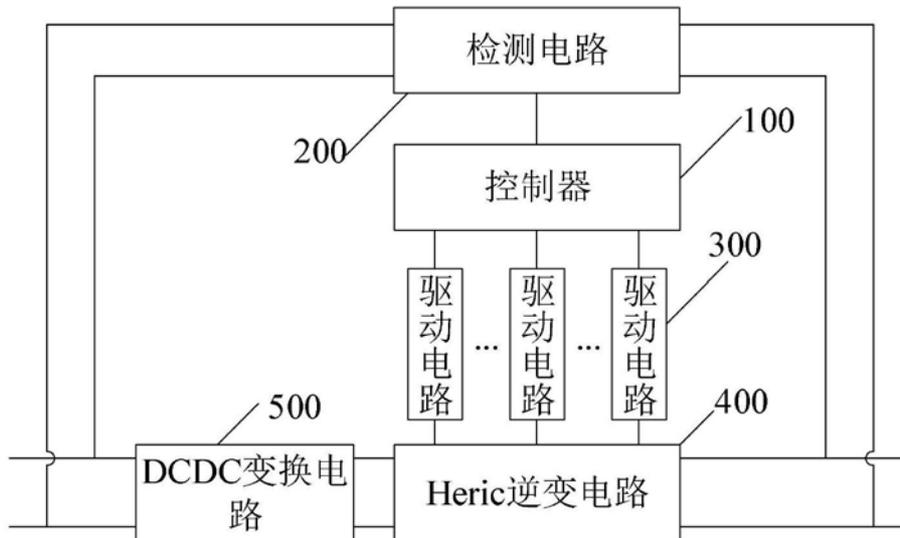


图22