



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 220935028 U

(45) 授权公告日 2024. 05. 10

(21) 申请号 202322674425.8

(22) 申请日 2023.09.28

(73) 专利权人 上海海事大学

地址 201306 上海市浦东新区海港大道
1550号

(72) 发明人 姚志奎 李玥

(74) 专利代理机构 上海唯智赢专利代理事务所
(普通合伙) 31293

专利代理师 韩松

(51) Int. Cl.

H02M 3/335 (2006.01)

H02M 1/14 (2006.01)

H02M 1/32 (2007.01)

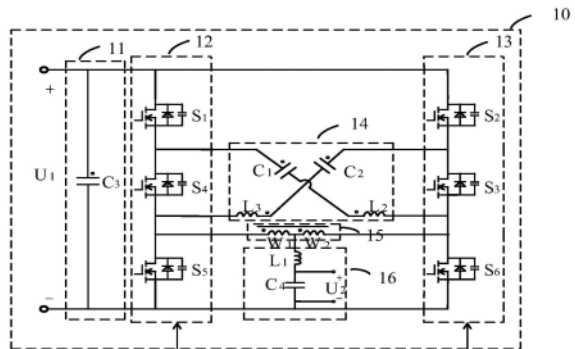
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 实用新型名称

一种双向DC-DC变换器

(57) 摘要

本实用新型公开了一种双向DC-DC变换器，属于电源变换技术领域。它包括第一桥式开关单元、第二桥式开关单元、开关电容单元、耦合电感单元，第二桥式开关单元的两端构成主电路，主电路的正端和负端构成第一外接端，并设有第一电压，即高压侧；所述开关电容单元包括第一电容、第二电容、第二电感和第三电感。本申请与现有技术相比具有以下优点：(1) 有效提高了双向功率传输范围，(2) 采用交错控制运行有效减小输出纹波，(3) 在输入端的开关电容支路引入了小电感，拥有了对输入电流维持能力，在极限占空比所提拓扑仍能实现稳定的电压输出，扩展可获得输出电压范围，(4) 在开关电容单元中两个电容容值不等时仍能实调量得到有效抑制。



1. 一种双向DC-DC变换器,其特征在于:包括第一桥式开关单元、第二桥式开关单元、开关电容单元、耦合电感单元,第二桥式开关单元的两端构成主电路,主电路的正端和负端构成第一外接端,并设有第一电压,即高压侧;

所述开关电容单元包括第一电容、第二电容、第二电感和第三电感,所述第一电容的一端与第一桥式开关单元连接,第一电容的另一端与第二电感的一端相连,所述第二电感的另一端与第二桥式开关单元连接,所述第二电容的一端与第二桥式开关单元连接,所述第二电容的另一端与所述第三电感的一端相连,所述第三电感的另一端与第一桥式开关单元连接;

所述耦合电感单元包括一次侧绕组与二次侧绕组,所述一次侧绕组的同名端分别连接第一桥式开关单元连接,所述一次侧绕组的异名端连接二次侧绕组同名端并引出抽头,所述二次侧绕组的异名端分别连接第二桥式开关单元连接。

2. 根据权利要求1所述的一种双向DC-DC变换器,其特征在于:所述第一桥式开关单元包括第一开关管、第四开关管和第五开关管;

所述第一开关管的阳极分别与主电路的第一电压正端、第二开关管阳极相连,所述第一开关管的阴极与第四开关管的阳极相连,所述第四开关管的阴极与第五开关管的阴极相连,所述第五开关管的阳极分别连接主电路的第一电压的负端、第二桥式开关单元;

所述第一电容的一端分别与第一开关管阴极和第四开关管阳极相连,所述第三电感的另一端分别连接第四开关管阴极和第五开关管阴极;

所述一次侧绕组的同名端分别连接第四开关管阴极和第五开关管阴极。

3. 根据权利要求2所述的一种双向DC-DC变换器,其特征在于:所述第二桥式开关单元包括第二开关管,第三开关管和第六开关管;所述第二开关管阳极还与主电路的第一电压正端相连,所述第二开关管的阴极与第三开关管阳极相连,所述第三开关管的阴极与第六开关管阴极相连,所述第六开关管的阳极还与所述第一电压的负端相连;

所述第五开关管的阳极分别连接主电路的第一电压的负端、第六开关管的阳极;

所述第二电感的另一端分别连接第三开关管阴极和第六开关管阴极,所述第二电容的一端分别连接第二开关管阴极和所述第三开关管阳极,所述二次侧绕组的异名端分别连接第三开关管阴极和第六开关管阴极。

4. 根据权利要求1所述的一种双向DC-DC变换器,其特征在于:还包括第一滤波电路;所述第一滤波电路包括第三电容,所述第三电容的两端分别连接主电路上第一电压的正端和第一电压的负端。

5. 根据权利要求1所述的一种双向DC-DC变换器,其特征在于:还包括第二滤波电路,且所述第二滤波电路的正端和负端设置第二电压,所述第二滤波电路包括第一电感与第四电容,所述第四电容的另一端分别连接第二电压的负端与第二电压的负端,所述第一电感的一端分别连接一次侧绕组异名端与二次侧绕组同名端的引出抽头,所述第一电感的另一端连接第四电容的一端,且所述第二电压的正端和负端构成第二外接端,即低压侧。

6. 根据权利要求5所述的一种双向DC-DC变换器,其特征在于:当第一电压大于第二电压,此时正向直流变换,即从第一电压到第二电压为降压模式,反向直流变换,即从第二电压到第一电压为升压模式。

一种双向DC-DC变换器

技术领域

[0001] 本实用新型涉及一种双向DC-DC变换器,属于电源变换技术领域。

背景技术

[0002] 直流一直流变换器是电能变换领域常用拓扑,实现从一电压水平的直流电到另一电压水平直流电的转换。其中双向直流变换器可实现直流电在高低两种电平间双向变换,在电源领域得到广泛的关注与应用,如储能系统与直流母线间的连接变换器、车载电源系统与混合动力汽车等。

[0003] 传统的LLC谐振双向变换器不太适合工作在宽范围能量双向传输的状态,应用场景受限。近年来,一种新型开关电容结合耦合电感变换器作为一种新式拓扑在一些文献中被提及。其中,在外文文献《Hybrid Resonant Switched-Capacitor Converter for 48-3.4V Direct Conversion》的拓扑中使用了八个开关管、六个开关电容、两个电感以及两组耦合电感,实现了超高降压比;在外文文献《High Density Hybrid Switched Capacitor Converter for Data-Center Application》的拓扑中使用了六个开关管、两个开关电容和两组耦合电感单元,实现了极限占空比下的高降压。

[0004] 但以上两篇外文文献均使用了两组耦合电感,增加了电路的复杂性与不稳定性以及实现的技术难度,且在外文文献《Hybrid Resonant Switched-Capacitor Converter for 48-3.4V Direct Conversion》中使用了八个开关管、六个电容与两个电感,大大增加了电路的附加损耗。

实用新型内容

[0005] 本实用新型针对上述背景技术所提及的技术问题,旨在解决现存LLC双向谐振变换器与现存同类型变换器的开关管数目多与宽范围双向能量传输能力受限等问题,增强了双向变换器的带负载能力,为此设计一种双向DC-DC变换器,与变换电压范围,实现在极限占空比下电压的稳定输出,以及在开关电容单元中两电容值不等时的均压与抑制电路启动过程中的严重超调量。

[0006] 具体采用以下技术方案来实现:

[0007] 一种双向DC-DC变换器,包括第一桥式开关单元、第二桥式开关单元、开关电容单元、耦合电感单元,第二桥式开关单元的两端构成主电路,主电路的正端和负端构成第一外接端,并设有第一电压,即高压侧;

[0008] 所述开关电容单元包括第一电容、第二电容、第二电感和第三电感,所述第一电容的一端与第一桥式开关单元连接,第一电容的另一端与第二电感的一端相连,所述第二电感的另一端与第二桥式开关单元连接,所述第二电容的一端与第二桥式开关单元连接,所述第二电容的另一端与所述第三电感的一端相连,所述第三电感的另一端与第一桥式开关单元连接;

[0009] 所述耦合电感单元包括一次侧绕组与二次侧绕组,所述一次侧绕组的同名端分别

连接第一桥式开关单元连接,所述一次侧绕组的异名端连接二次侧绕组同名端并引出抽头,所述二次侧绕组的异名端分别连接第二桥式开关单元连接。

[0010] 优选的,所述第一桥式开关单元包括第一开关管、第四开关管和第五开关管;

[0011] 所述第一开关管的阳极分别与主电路的第一电压正端、第二开关管阳极相连,所述第一开关管的阴极与第四开关管的阳极相连,所述第四开关管的阴极与第五开关管的阴极相连,所述第五开关管的阳极分别连接主电路的第一电压的负端、第二桥式开关单元;

[0012] 所述第一电容的一端分别与第一开关管阴极和第四开关管阳极相连,所述第三电感的另一端分别连接第四开关管阴极和第五开关管阴极;

[0013] 所述一次侧绕组的同名端分别连接第四开关管阴极和第五开关管阴极。

[0014] 优选的,所述第二桥式开关单元包括第二开关管,第三开关管和第六开关管;所述第二开关管阳极还与主电路的第一电压正端相连,所述第二开关管的阴极与第三开关管阳极相连,所述第三开关管的阴极与第六开关管阴极相连,所述第六开关管的阳极还与所述第一电压的负端相连;

[0015] 所述第五开关管的阳极分别连接主电路的第一电压的负端、第六开关管的阳极;

[0016] 所述第二电感的另一端分别连接第三开关管阴极和第六开关管阴极,所述第二电容的一端分别连接第二开关管阴极和所述第三开关管阳极,所述二次侧绕组的异名端分别连接第三开关管阴极和第六开关管阴极。

[0017] 优选的,双向DC-DC变换器还包括第一滤波电路;所述第一滤波电路包括第三电容,所述第三电容的两端分别连接主电路上第一电压的正端和第一电压的负端。

[0018] 优选的,双向DC-DC变换器还包括第二滤波电路,且所述第二滤波电路的正端和负端设置第二电压,所述第二滤波电路包括第一电感与第四电容,所述第四电容的另一端分别连接第二电压的负端与第二电压的正端,所述第一电感的一端分别连接一次侧绕组异名端与二次侧绕组同名端的引出抽头,所述第一电感的另一端连接第四电容的一端,且所述第二电压的正端和负端构成第二外接端,即低压侧。

[0019] 优选的,当第一电压大于第二电压,此时正向直流变换,即从第一电压到第二电压为降压模式,反向直流变换,即从第二电压到第一电压为升压模式。

[0020] 本实用新型的有益效果是:本申请与现有技术相比具有以下优点:(1)有效提高了双向功率传输范围,即极限占空比条件下($D=0.1$)均能实现稳定的电压输出,具体的,在降压模式下更低的电压输出与升压模式下更高电压输出,分别增大两种模式下相应功率传输范围;(2)采用交错控制运行有效减小输出纹波,(3)在输入端的开关电容支路引入了小电感,拥有了对输入电流维持能力,在极限占空比($D=0.1$)所提拓扑仍能实现稳定的电压输出,扩展了可获得输出电压范围,(4)在开关电容单元中两个电容容值不等时仍能实调量得到有效抑制。

附图说明

[0021] 图1为本实用新型的系统结构图;

[0022] 图2为本实用新型既在变换器降压又在第一工作模式时的示意图;

[0023] 图3为本实用新型既在变换器降压又在第二工作模式时的示意图;

[0024] 图4为本实用新型既在变换器降压又在第三工作模式时的示意图;

- [0025] 图5为本实用新型既在变换器升压又在第一工作模式时的示意图；
[0026] 图6为本实用新型既在变换器升压又在第二工作模式时的示意图；
[0027] 图7为本实用新型既在变换器升压又在第三工作模式时的示意图。

具体实施方式

[0028] 为了对本实用新型的技术手段、创作特征、达成目的与功效易于明白了解，下面结合具体图示，进一步阐述本实用新型。

[0029] 如图1-7所示，一种双向DC-DC变换器，包括双向直流变换器10。其中，双向直流变换器10，包括第一滤波电路11、第一桥式开关单元12、第二桥式开关单元13、开关电容单元14、耦合电感单元15、第二滤波电路16；第二桥式开关单元13的两端构成主电路，主电路的正端和负端构成第一外接端，并设有第一电压，即高压侧；

[0030] 第一滤波电路11包括第三电容 C_3 ，第三电容 C_3 两端分别连接第一电压的正端和第一电压的负端，此外，第三电容 C_3 作为第一外接端的稳压电容；

[0031] 第一桥式开关单元12包括第一开关管 S_1 、第四开关管 S_4 和第五开关管 S_5 ，第一开关管 S_1 、第四开关管 S_4 和第五开关管 S_5 依次串联连接；桥式开关单元13包括第二开关管 S_2 、第三开关管 S_3 和第六开关管 S_6 ；

[0032] 第二开关管 S_2 、第三开关管 S_3 和第六开关管 S_6 依次串联连接；

[0033] 开关电容单元14包括第一电容 C_1 、第二电容 C_2 、第二电感 L_2 、第三电感 L_3 ，第一电容 C_1 的第一端分别连接第一开关管 S_1 的阴极和第四开关管 S_4 的阳极，第一电容 C_1 的第二端连接第二电感 L_2 的第一端，而第二电感 L_2 第二端分别连接第三开关管 S_3 的阴极和第六开关管 S_6 的阴极，第二电容 C_2 第一端分别连接第二开关管 S_2 的阴极和第三开关管 S_3 的阳极，第二电容 C_2 第二端连接第三电感 L_3 的第一端，而第三电感 L_3 第二端分别连接第四开关管 S_4 的阴极和第五开关管 S_5 的阴极；

[0034] 耦合电感单元15包括一次侧绕组 W_1 与二次侧绕组 W_2 ，一次侧绕组 W_1 的同名端分别与第四开关管 S_4 的阴极和第五开关管 S_5 的阴极相连，一次侧绕组 W_1 的异名端连接二次侧绕组 W_2 的同名端并引出抽头连接第二滤波电路16，二次侧绕组 W_2 的异名端分别连接第三开关管 S_3 的阴极与第六开关管 S_6 的阴极；

[0035] 第二滤波电路16包括第一电感 L_1 与第四电容 C_4 ，第一电感 L_1 的第一端连接一次侧绕组 W_1 异名端与二次侧绕组 W_2 同名端的引出抽头，第一电感 L_1 的第二端连接第四电容 C_4 的第一端。而第四电容 C_4 作为第二外接端稳压电容，其两端分别连接第二电压 U_2 的正端与负端，此外，第四电容 C_4 的第二端又与第一电压 U_1 负端相连。

[0036] 当第一电压 U_1 大于第二电压 U_2 ，故而正向直流变换（从第一电压 U_1 到第二电压 U_2 ）为降压模式，反向直流变换（从第二电压 U_2 到第一电压 U_1 ）为升压模式。

[0037] 本发明一实施例中，实现直流电压变换的原理为控制变换器10运行于两或三种工作模式交替的状态，具体如下：

[0038] I、第一工作模式下，控制第一桥式开关单元12中第一开关管 S_1 与第五开关管 S_5 开通、第四开关管 S_4 关断，第二桥式开关单元13中第二开关管 S_2 与第六开关管 S_6 关断、第三开关管 S_3 开通；

[0039] II、第二工作模式下，控制第一桥式开关单元12中第一开关管 S_1 与第五开关管 S_5 关

断、第四开关管 S_4 开通,第二桥式开关单元13中第二开关管 S_2 与第六开关管 S_6 开通、第三开关管 S_3 关断;

[0040] III、第三工作模式下,控制第一桥式开关单元12和第二桥式开关单元13中所有开关管 S_1 至 S_6 关断,但有第一桥式开关单元12中与第二桥式开关单元13中部分开关管的体并联二极管导通提供续流通道。

[0041] 降压模式下直流变换的第一工作模式原理如图2所示:在降压第一工作模式下,开关电容单元第一电容 C_1 串联第二电感 L_2 、耦合电感二次侧绕组 W_2 与第二滤波电路16通过第一开关管 S_1 并联在第一电压 U_1 两端,实现第一电容 C_1 的充电与耦合电感单元的反向励磁(等效励磁电感并联在一次侧绕组 W_1 两端,且看同名端关系);开关电容单元第二电容 C_2 串联第三电感 L_3 通过第三开关管 S_3 与第五开关管 S_5 串联耦合电感二次侧绕组 W_2 与第二滤波电路16构成第二电容 C_2 的放电回路;耦合电感一次侧绕组 W_1 通过第五开关管 S_5 串联连接第二滤波电路16构成续流回路。

[0042] 降压模式下直流变换的第二工作模式原理如图3所示:在降压第二工作模式下,开关电容单元第二电容 C_2 串联第三电感 L_3 、耦合电感一次侧绕组 W_1 与第二滤波电路16通过第二开关管 S_2 并联在第一电压 U_1 两端,实现第二电容 C_2 的充电与耦合电感单元的正向励磁;开关电容单元第一电容 C_1 串联第二电感 L_2 通过第四开关管 S_4 与第六开关管 S_6 串联连接耦合电感一次侧绕组 W_1 与第二滤波电路16构成第一电容 C_1 的放电回路;耦合电感二次侧绕组 W_2 通过第六开关管 S_6 串联第二滤波电路16构成续流回路。

[0043] 降压模式下直流变换的第三工作模式原理如图4所示,在降压第三工作模式下,耦合电感一次侧绕组 W_1 通过第五开关管 S_5 的体并联二极管、耦合电感二次侧绕组 W_2 通过第六开关管 S_6 的体并联二极管分别与第二滤波电路16串联连接构成续流回路。

[0044] 升压模式下直流变换的第一工作模式原理如图5所示。在升压第一工作模式下,耦合电感一次侧绕组 W_1 通过第五开关管 S_5 串联第二滤波电路16连通第二外接端的输入电压源 U_2 ;开关电容单元第二电容 C_2 串联第三电感 L_3 通过第三开关管 S_3 串联耦合电感二次侧绕组 W_2 提供第二电容 C_2 的充电回路也即耦合电感二次侧绕组 W_2 续流回路,开关电容单元第一电容 C_1 通过第一开关管 S_1 放电。

[0045] 升压模式下直流变换的第二工作模式原理如图6所示:在升压第二工作模式下,耦合电感二次侧绕组 W_2 通过第六开关管 S_6 串联第二滤波电路16连通第二外接端的输入电压源 U_2 ;开关电容单元第一电容 C_1 串联第二电感 L_2 通过第四开关管 S_4 串联耦合电感一次侧绕组 W_1 提供第一电容 C_1 的充电回路,也即耦合电感一次侧绕组 W_1 续流回路,开关电容单元第二电容 C_2 通过第二开关管 S_2 放电。

[0046] 升压模式下直流变换的第三工作模式原理如图7所示:在升压第三工作模式下,耦合电感一次侧绕组 W_1 通过第四开关管 S_4 并联体二极管续流,耦合电感二次侧绕组 W_2 通过第三开关管 S_3 并联体二极管续流;开关电容单元第一电容 C_1 串联第二电感 L_2 通过第一开关管 S_1 并联体二极管放电,开关电容单元第二电容 C_2 串联第三电感 L_3 通过第二开关管 S_2 并联体二极管放电。

[0047] 需要说明的是:其实现直流电压变换过程中第一工作模式与第二工作模式属于储能工作模式,第三工作模式属于续流工作模式。

[0048] 实现直流电压变换有两种控制方式:其一为在一开关周期内第一工作模式与第二

工作模式交替互补进行,其二为在一开关周期内第一工作模式与第二工作模式交替运行基础上在两者中间插入第三工作模式,即在一开关周期内运行状态依次控制为第一工作模式、第三工作模式、第二工作模式、第三工作模式。

[0049] 需要说明的是:上述第一至第六开关管 S_1 至 S_6 为金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)。

[0050] 还需要说明的是:上述第一至第六开关管 S_1 至 S_6 为绝缘栅双极性晶体管(IGBT)。但需强调的是若原始的开关管器件中无配置体并联二极管,需在相应开关管两端并联上二极管。

[0051] 双向变换器控制方式可分为:两相交错控制运行模式,在一个开关周期内只存在第一工作模式与第二工作模式而且两种工作模式的运行时间分别占据开关周期的一半,即第一工作模式与第二工作模式在一个开关周期内互补交替。两相交错含死区运行模式,在一个开关周期内,第一工作模式后经过死区时间开启第二工作模式,第二工作模式后经过死区时间开启下一开关周期的第一工作模式,第一工作模式与第二工作模式的运行时间相等,均小于一半的开关周期。在两种控制方式下,不论有无死区,第一工作模式与第二工作模式运行时间相等,以保证开关电容单元14与耦合电感单元15的能量平衡。

[0052] 所述变换器控制为交错运行模式,开关电容单元14上的第一电容与第二电容在一周期内交替充放电,耦合电感单元15上的一次侧绕组与二次侧绕组在一周期内轮流励磁,有效减小输出纹波;但需注意第一桥式开关单元12和第二桥式开关单元13存在短路第一电压端的风险,故而在每一开关周期内控制开关管开断时注意不要短路高压侧。

[0053] 需要说明的是,在有益效果(3)中,所提及的“在输入端的开关电容支路引入了小电感”意思是:第一电容 C_1 、第二电容 C_2 即两个开关电容,小电感为 L_2 、 L_3 ,小电感的“小”体现在与耦合电感的励磁电感的比较上以及其只是在开关电容支路起到一个续流与抑制启动冲击,根据实际电路的参数设置不同可以有不同的更优选择。

[0054] 以上显示和描述了本实用新型的基本原理和主要特征和本实用新型的优点。本行业的技术人员应该了解,本实用新型不受上述实施例的限制,在不脱离本实用新型精神和范围的前提下,本实用新型还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本实用新型范围内。本实用新型要求保护范围由所附的权利要求书及其等效物界定。

10

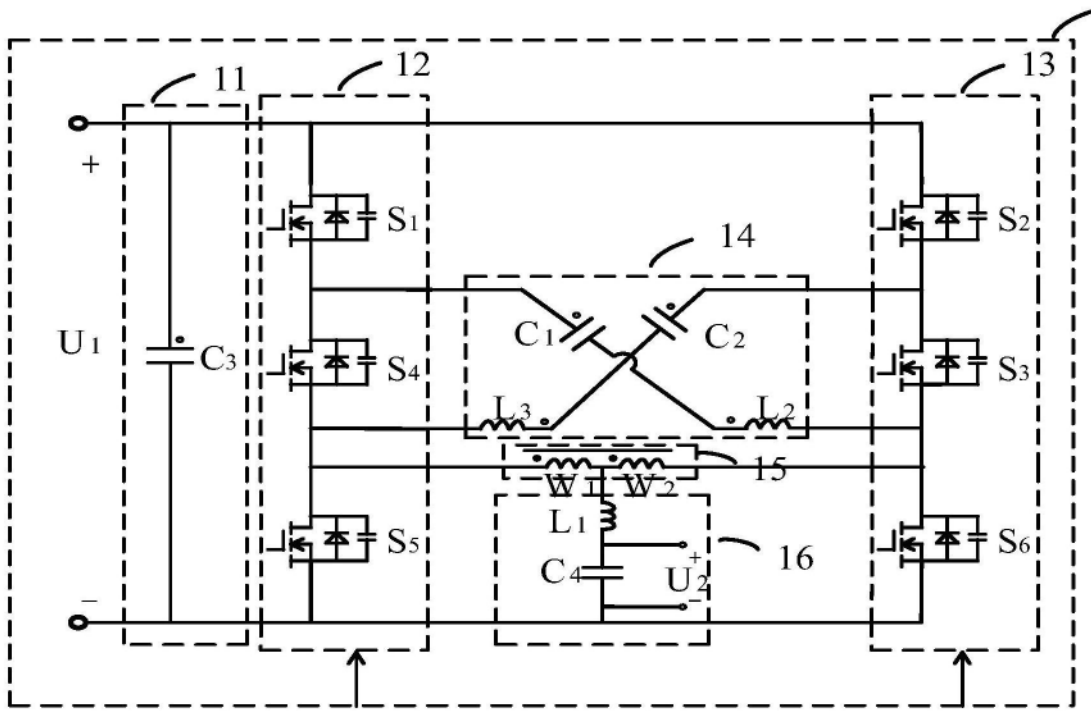


图1

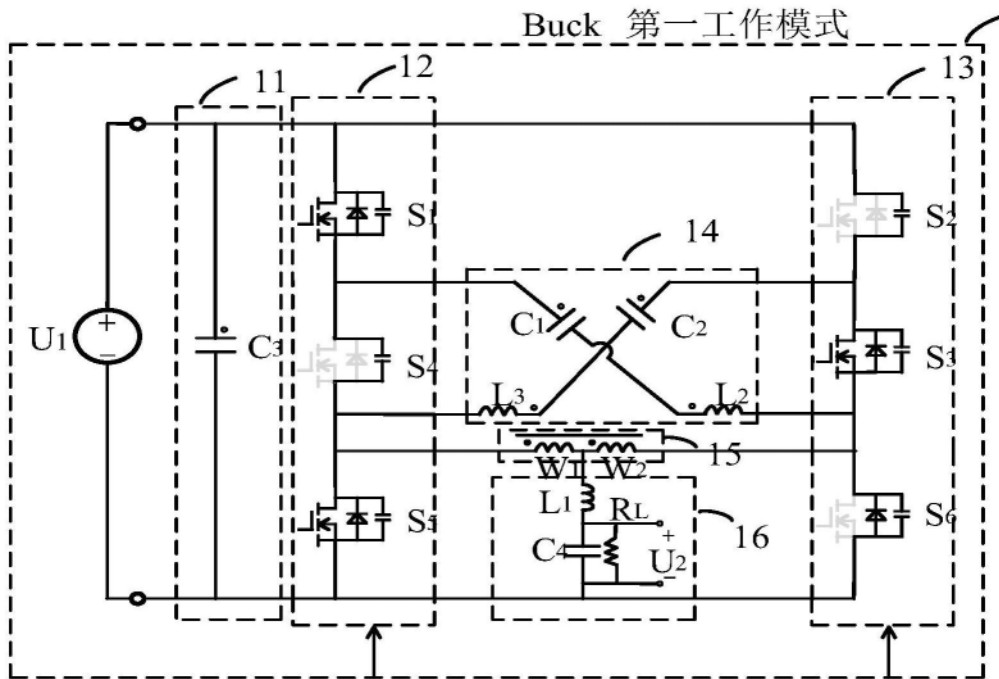


图2

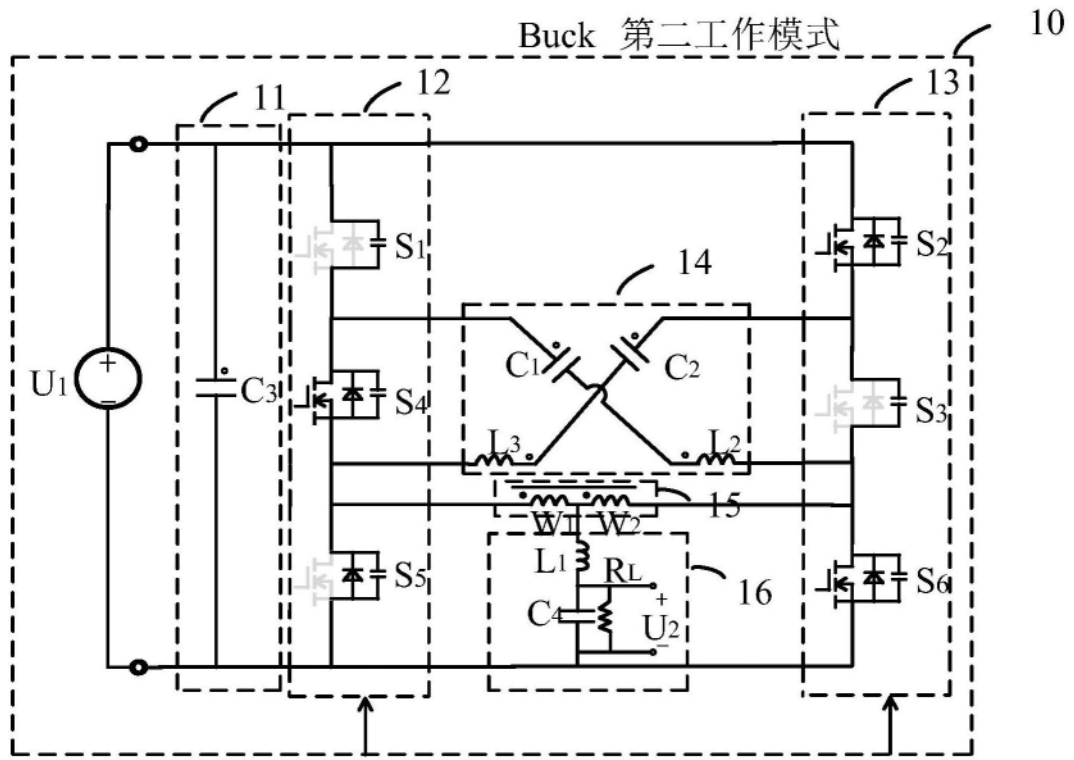


图3

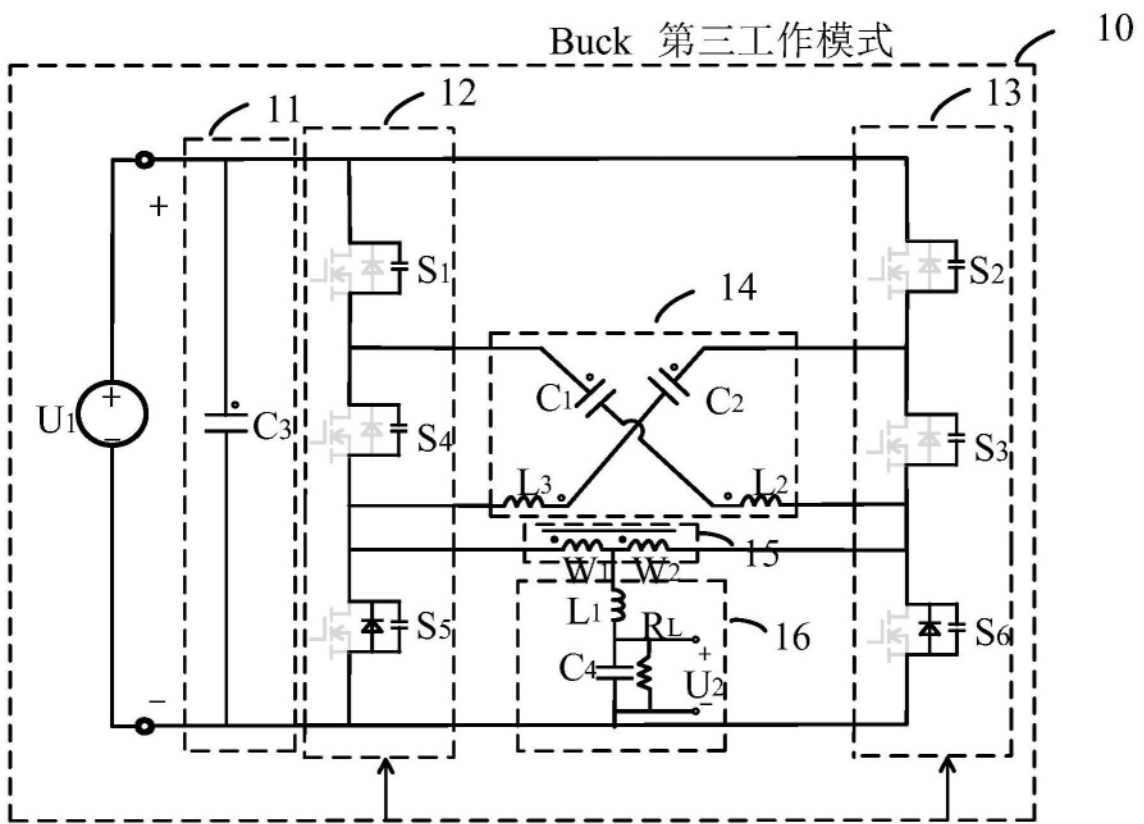


图4

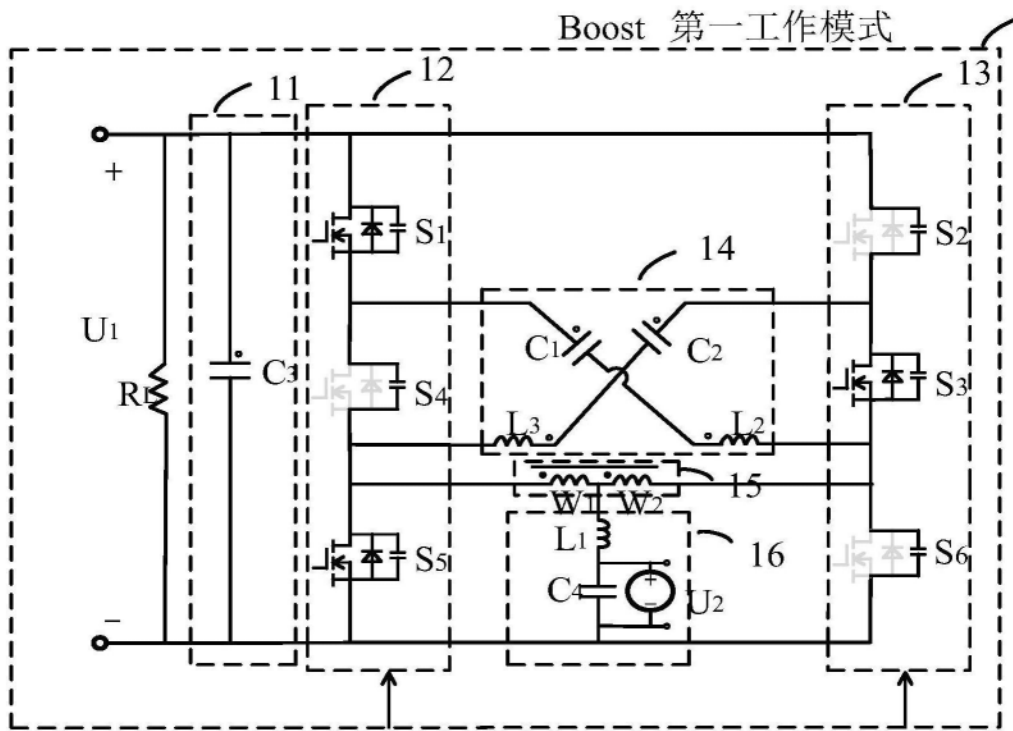


图5

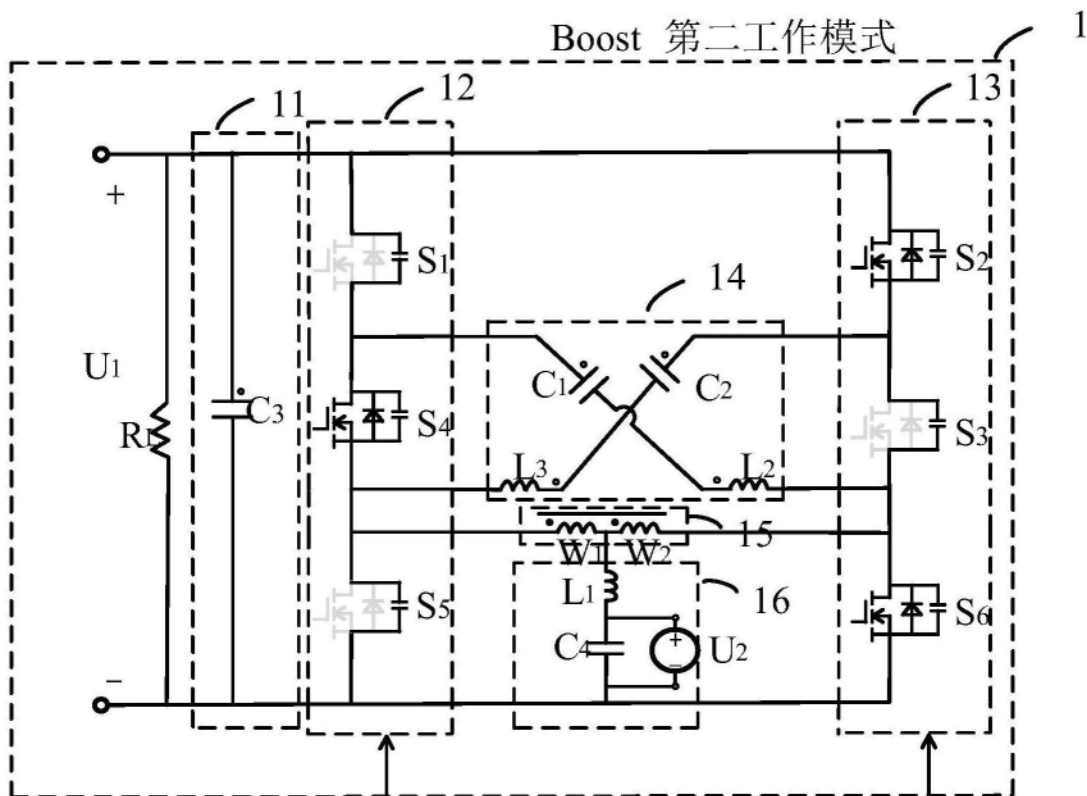


图6

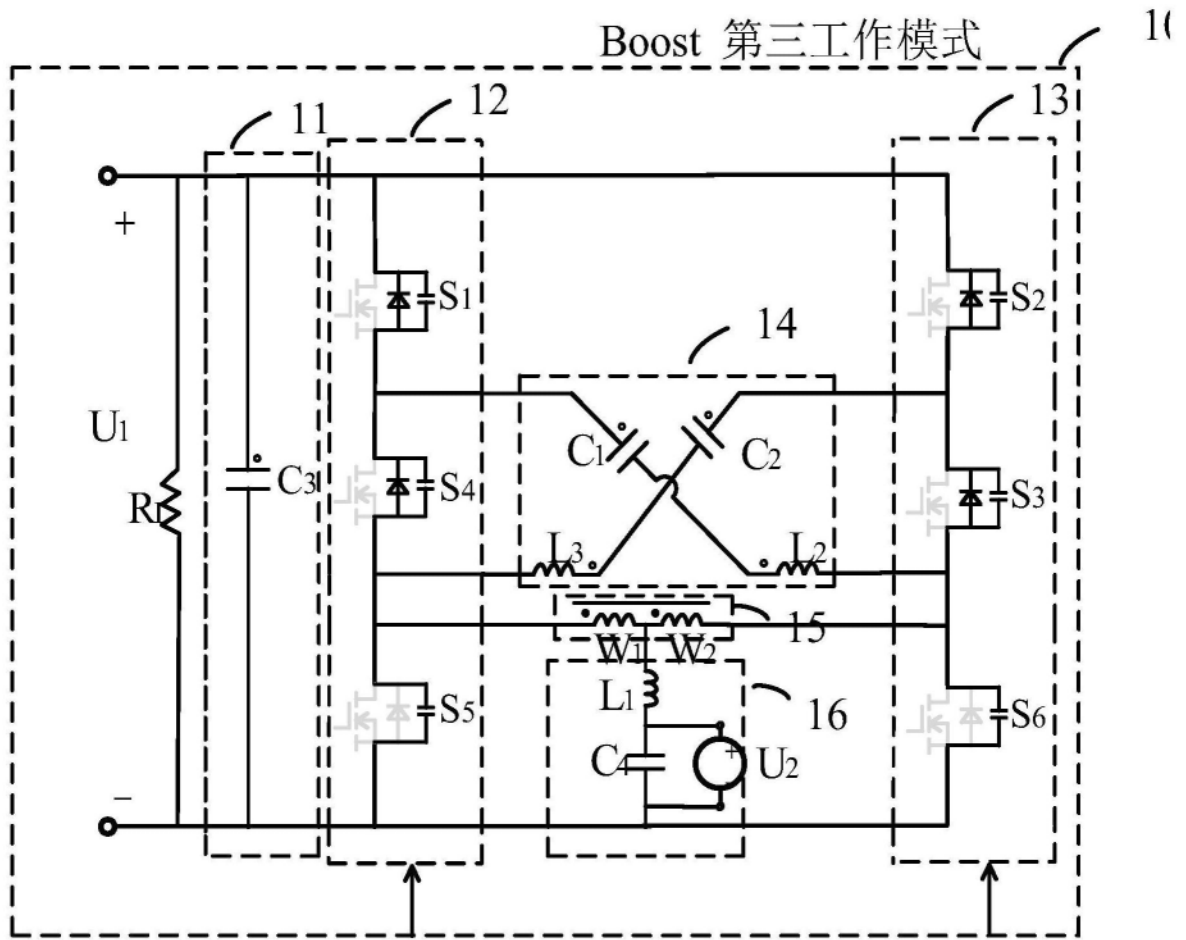


图7