(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110247546 A
(43)申请公布日 2019.09.17

(21)申请号 201910481579.0

(22)申请日 2019.06.04

(71)申请人 苏州汇川联合动力系统有限公司
地址 215000 江苏省苏州市吴中区越溪镇天鹅荡路52号

(72)发明人 尚明 张鹏真 金茜

(74)专利代理机构 深圳市顺天达专利商标代理有限公司 44217
代理人 陆军

(51)Int.Cl.
H02M 3/07(2006.01)

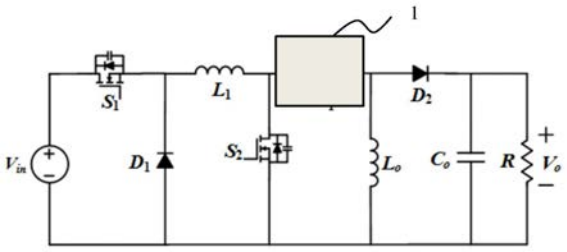
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

非隔离型双开关降压电路及直流-直流变换器

(57)摘要

本发明实施例提供了一种非隔离型双开关降压电路及直流-直流变换器，降压电路包括正输入端、正输出端、负输入端、负输出端、第一开关管、第一电感、第一二极管以及滤波单元，所述降压电路还包括分压单元和放电支路，其中：所述第一开关管、第一电感、分压单元串联连接在所述正输入端和正输出端之间；所述第一二极管的阳极连接到所述负输入端、阴极连接到所述第一开关管和第一电感的连接点；所述分压单元包括至少一个储能电容，且所述第一电感和所述储能电容在所述第一开关管导通时储能，并在所述第一开关管断开时通过所述放电支路放电。本发明提高了开关器件利用率，实现了多级降压效果。



CN 110247546 A

1.一种非隔离型双开关降压电路，包括正输入端、正输出端、负输入端、负输出端、第一开关管、第一电感、第一二极管以及滤波单元，其特征在于，所述降压电路还包括分压单元和放电支路，其中：所述第一开关管、第一电感、分压单元串联连接在所述正输入端和正输出端之间；所述第一二极管的阳极连接到所述负输入端、阴极连接到所述第一开关管和第一电感的连接点；所述分压单元包括至少一个储能电容，且所述第一电感和所述储能电容在所述第一开关管导通时储能，并在所述第一开关管断开时通过所述放电支路放电。

2.根据权利要求1所述的非隔离型双开关降压电路，其特征在于，所述放电支路包括第二开关管，所述第二开关管的一端连接到所述负输入端、另一端连接到所述第一电感和分压单元的连接点，且所述第二开关管在所述第一开关管导通时断开、在所述第一开关管断开时导通。

3.根据权利要求2所述的非隔离型双开关降压电路，其特征在于，所述降压电路还包括控制单元，所述控制单元的输出端分别连接到所述第一开关管和第二开关管的控制端，并输出使所述第一开关管和第二开关管导通状态相反的脉冲宽度调制信号。

4.根据权利要求3所述的非隔离型双开关降压电路，其特征在于，所述分压单元包括第一储能电容，且所述第一储能电容的第一端分别连接到所述第一电感的输出端与所述第二开关管的阴极，所述第一储能电容的第二端连接到所述滤波单元。

5.根据权利要求3所述的非隔离型双开关降压电路，其特征在于，所述分压单元包括第二储能电容、第三储能电容、第二二极管、第三二极管以及第四二极管；所述第二储能电容、第二二极管以及第三储能电容串联连接，所述第二储能电容的第一端连接到所述第一电感，所述第三储能电容的第二端连接到所述滤波单元，且所述第二二极管的阳极与所述第二储能电容的第二端连接、阴极与所述第三储能电容的第一端连接，所述第三二极管的阴极连接到所述第二储能电容的第一端、阳极连接到所述第三储能电容的第一端，所述第四二极管的阴极连接到所述第二储能电容的第二端、阳极连接到所述滤波单元。

6.根据权利要求3所述的非隔离型双开关降压电路，其特征在于，所述分压单元包括N个储能电容，以及M个二极管，其中，所述N为大于或等于3的正整数，M＝3×N-3；所述N个储能电容以相邻储能电容间具有一个二极管的方式依次后串联连接；除了第一端直接连接到所述第一电感的储能电容外，其余的每一储能电容的第一端经由一个二极管连接到所述第一电感；除了第二端直接连接到所述滤波单元的储能电容外，所述滤波单元分别通过一个二极管连接到其余的每一储能电容的第二端。

7.根据权利要求4-6任一项所述的非隔离型双开关降压电路，其特征在于，所述降压电路还包括第二电感、第五二极管，所述分压单元的输出端经由所述第五二极管连接到所述正输出端，所述第二电感的第一端连接到所述分压单元和所述第五二极管的连接点、所述第二电感的第二端连接到所述负输入端。

8.根据权利要求4-6任一项所述的非隔离型双开关降压电路，其特征在于，所述降压电路还包括第三电感、第六二极管，所述分压单元的输出端经由所述第三电感连接到所述正输出端，所述第六二极管的阴极连接到所述分压单元和所述第三电感的连接点、所述第六二极管的阳极连接到所述负输入端。

9.根据权利要求4-6任一项所述的非隔离型双开关降压电路，其特征在于，所述滤波单元包括滤波电容，且所述滤波电容的第一端连接到所述正输出端、第二端连接到所述负输

出端。

10.一种直流-直流变换器，其特征在于，所述直流-直流变换器包括权利要求1-9中任一项所述的非隔离型双开关降压电路。

非隔离型双开关降压电路及直流-直流变换器

技术领域

[0001] 本发明涉及电子技术领域，更具体的说，涉及一种非隔离型双开关降压电路及直流-直流变换器。

背景技术

[0002] 直流-直流变换器是中压汇聚网中匹配电压等级、接入直流设备、实现功率控制的关键设备。直流-直流变换器包括降压电路(buck)。

[0003] 传统buck电路一般采取以下方式进行降压：通过电感对能量进行储存与释放，控制储存时间，达到降压的目的；通过耦合电感，在原有电路降压比基础上加入了耦合电感的匝数比这一控制变量，达到近一步降压的目的；通过加入变压器，组成隔离式降压电路，达到降压、电气离的目的；通过线性稳压器进行降压。

[0004] 然而，上述的传统降压电路(buck)在应用上都存在一定的问题：采用电感的降压电路，在高降压比情况下，即开关管占空比趋于零时，存在着的开关器件利用率低、器件电压和电流应力大、dv/dt大导致的EMI严重、整体电路损耗过大、抗输入电压扰动能力差、以及动态性能差等问题；采用耦合电感或者变压器的降压电路，由于磁芯、骨架的加入，存在电路体积过大，由于电路漏感的存在导致器件应力增大，且容易引起电磁干扰等相关问题；采用线性稳压器的降压电路，在高降比要求情况下，损耗过大，器件发热严重。

发明内容

[0005] 本发明实施例实施例要解决的技术问题在于，针对上述双开关非隔离多降压技术方案在高降比应用情况下开关器件利用率过低、电路漏感等问题，提供一种非隔离型双开关降压电路及直流-直流变换器。

[0006] 本发明实施例实施例解决上述技术问题的技术方案是，提供一种非隔离型双开关降压电路，包括正输入端、正输出端、负输入端、负输出端、第一开关管、第一电感、第一二极管以及滤波单元，所述降压电路还包括分压单元和放电支路，其中：所述第一开关管、第一电感、分压单元串联连接在所述正输入端和正输出端之间；所述第一二极管的阳极连接到所述负输入端、阴极连接到所述第一开关管和第一电感的连接点；所述分压单元包括至少一个储能电容，且所述第一电感和所述储能电容在所述第一开关管导通时储能，在所述第一开关管断开时通过所述放电支路放电。

[0007] 在本发明实施例所述的非隔离型双开关降压电路中，所述放电支路包括第二开关管，所述第二开关管的一端连接到所述负输入端、另一端连接到所述第一电感和分压单元的连接点，且所述第二开关管在所述第一开关管导通时断开、在所述第一开关管断开时导通。

[0008] 在本发明实施例所述的非隔离型双开关降压电路中，所述降压电路还包括控制单元，所述控制单元的输出端分别连接到所述第一开关管和第二开关管的控制端，并输出使所述第一开关管和第二开关管导通状态相反的脉冲宽度调制信号。

[0009] 在本发明实施例所述的非隔离型双开关降压电路中，所述分压单元包括第一储能电容，且所述第一储能电容的第一端分别连接到所述第一电感的输出端与所述第二开关管的阴极，所述第一储能电容的第二端连接到所述滤波单元。

[0010] 在本发明实施例所述的非隔离型双开关降压电路中，所述分压单元包括第二储能电容、第三储能电容、第二二极管、第三二极管以及第四二极管；所述第二储能电容、第二二极管以及第三储能电容串联连接，所述第二储能电容的第一端连接到所述第一电感，所述第三储能电容的第二端连接到所述滤波单元，且所述第二二极管的阳极与所述第二储能电容的第二端连接、阴极与所述第三储能电容的第一端连接，所述第三二极管的阴极连接到所述第二储能电容的第一端、阳极连接到所述第三储能电容的第一端，所述第四二极管的阴极连接到所述第二储能电容的第二端、阳极连接到所述滤波单元。

[0011] 在本发明实施例所述的非隔离型双开关降压电路中，所述分压单元包括N个储能电容，以及M个二极管，其中，所述N为大于或等于3的正整数，M＝3×N-3；所述N个储能电容以相邻储能电容间具有一个二极管的方式依次后串联连接；除了第一端直接连接到所述第一电感的储能电容外，其余的每一储能电容的第一端经由一个二极管连接到所述第一电感；除了第二端直接连接到所述滤波单元的储能电容外，所述滤波单元分别通过一个二极管连接到其余的每一储能电容的第二端。

[0012] 在本发明实施例所述的非隔离型双开关降压电路中，所述降压电路还包括第二电感、第五二极管，所述分压单元的输出端经由所述第五二极管连接到所述正输出端，所述第二电感的第一端连接到所述分压单元和所述第五二极管的连接点、所述第二电感的第二端连接到所述负输入端。

[0013] 在本发明实施例所述的非隔离型双开关降压电路中，所述降压电路还包括第三电感、第六二极管，所述分压单元的输出端经由所述第三电感连接到所述正输出端，所述第六二极管的阴极连接到所述分压单元和所述第三电感的连接点、所述第六二极管的阳极连接到所述负输入端。

[0014] 在本发明实施例所述的非隔离型双开关降压电路中，所述滤波单元包括滤波电容，且所述滤波电容的第一端连接到所述正输出端、第二端连接到所述负输出端。

[0015] 本发明实施例还提供了一种直流-直流变换器，所述直流-直流变换器包括上述的任一实施例中的非隔离型双开关降压电路。

[0016] 本发明实施例的非隔离型双开关降压电路及直流-直流变换器，通过在降压电路中引入电容分压单元，无需耦合电感或变压器，避免了损耗过大以及引入磁性元件产生的电磁干扰、电路漏感等问题，改善了传统降压电路开关管占空比大小限制的问题，提高了开关器件利用率，实现了多级降压效果。同时，通过增加分压电容以及二极管的数量，进一步引入多级分压单元，实现由开关管占空比大小连续控制输出电压的功能，具有多种不同降压效果，可根据实际应用场合进行选择，拓宽了降压电路的应用范围。

附图说明

[0017] 图1是本发明实施例的非隔离型双开关降压电路拓扑图；

[0018] 图2是本发明实施例的一分压型非隔离型双开关降压电路的工作波形图；

[0019] 图3是本发明实施例的一分压型非隔离型双开关降压电路拓扑图；

[0020] 图4是本发明实施例的一分压型非隔离型双开关降压电路第一工作模态图；

[0021] 图5是本发明实施例的一分压型非隔离型双开关降压电路第二工作模态图

[0022] 图6是本发明实施例的二分压型非隔离型双开关降压电路拓扑图；

[0023] 图7是本发明实施例的二分压型非隔离型双开关降压电路第一工作模态图；

[0024] 图8是本发明实施例的二分压型非隔离型双开关降压电路第二工作模态图；

[0025] 图9是本发明实施例的N分压型非隔离型双开关降压电路拓扑图；

[0026] 图10是本发明另一实施例的一分压型非隔离型双开关降压电路拓扑图；

[0027] 图11是本发明另一实施例的二分压型非隔离型双开关降压电路拓扑图；

[0028] 图12是本发明另一实施例的N分压型非隔离型双开关降压电路拓扑图。

具体实施方式

[0029] 为了使本发明实施例的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明实施例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实施例，并不用于限定本发明实施例。

[0030] 本发明实施例的非隔离型双开关降压电路可应用于高降压应用场景，如图1所示，本实施例的非隔离型双开关降压电路包括正输入端$V_{in}+$、正输出端V_o+、负输入端$V_{in}-$、负输出端V_o-、第一开关管S_1、第一电感L_1、第一二极管D_1以及滤波单元，所述降压电路还包括分压单元1和放电支路，其中：所述第一开关管S_1、第一电感L_1、分压单元1串联连接在所述正输入端$V_{in}+$和正输出端V_o+之间；所述第一二极管D_1的阳极连接到所述负输入端$V_{in}-$、阴极连接到所述第一开关管S_1和第一电感L_1的连接点；所述分压单元1包括至少一个储能电容，所述放电支路在所述第一开关管S_1断开时为所述第一电感L_1和储能电容放电。所述滤波单元包括滤波电容C_0，且所述滤波电容C_0的第一端连接到所述正输出端V_o+、第二端连接到所述负输出端V_o-。

[0031] 上述非隔离型双开关降压电路，通过在传统降压电路的基础上，引入电容分压单元，无需耦合电感或变压器，即可在提供高降压比的同时实现降压效果，从而避免开关器件利用率过低、电路漏感等问题。

[0032] 在本发明的一个实施例中，上述放电支路具体可包括第二开关管S_2，该第二开关管S_2的阳极连接到所述负输入端$V_{in}-$、阴极连接到所述第一电感L_1和分压单元1的连接点，且所述第二开关管S_2与第一开关管S_1的导通状态相反，即，第一开关管S_1和第二开关管S_2的驱动信号为互补信号，具体电路工作波形图如图2所示。图中，V_{gs1}为第一开关管S_1的控制信号，V_{gs2}为第二开关管S2的控制信号，且V_{gs1}与V_{gs2}的波形互补，即第一开关管S_1导通时第二开关管S_2断开，第一开关管S_1断开时第二开关管S_2导通。

[0033] 上述第一开关管S_1和第二开关管S_2可通过脉冲宽度调制信号实现通断控制，即降压电路还包括控制单元，该控制单元的输出端分别连接到所述第一开关管S_1和第二开关管S_2的控制端，且该控制单元输出使所述第一开关管S_1和第二开关管S_2导通状态相反的脉冲宽度调制信号，以控制第一开关管S_1和第二开关管S_2的开通和关断。

[0034] 上述降压电路还可包括第二电感L_o、第五二极管D_2，所述分压单元1的输出端经由所述第五二极管D_2连接到所述正输出端V_o+，所述第二电感L_o的第一端连接到所述分压单元1和所述第五二极管D_2的连接点、所述第二电感L_o的第二端连接到所述负输入端V_o-。通过控

制第一开关管S_1和第二开关管S_2的工作状态，第二电感L_o、第五二极管D_2实现储能电容的充电或放电。

[0035] 如图3所示，本发明的实施例提供了一种一分压型非隔离型双开关降压电路，其中一分压单元11包括第一储能电容C_1，且所述第一储能电容C_1的第一端分别连接到所述第一电感L_1的输出端与所述第二开关管S_2的阴极，所述第一储能电容C_1的第二端连接到所述滤波单元。具体地，通过在一分压型非隔离型双开关降压电路拓扑中引入第一储能电容C_1，其中当第一开关管S_1导通，第二开关管S_2关断时，一分压型非隔离型双开关降压电路的第一工作模态如图4所示，输入端的电能通过第一开关管S_1，第一电感L_1、第一储能电容C_1和第五二极管D_2向输出端传递，第二电感L_o通过第五二极管D_2续流，电流下降。当第一开关管S_1关断，第二开关管S_2导通时，一分压型非隔离型双开关降压电路的第二工作模态如图5所示，第一电感L_1通过第二开关管S_2续流，第一储能电容C_1通过第二开关管S_2和第二电感L_o进行放电，第二电感L_o电流上升。一分压型非隔离型双开关降压电路的增益计算公式如下：

[0036] $$G=\frac{V_o}{V_{in}}=1-D_1=D_2 \qquad (1)$$

[0037] 其中，V_o为输出电压，V_{in}为输入电压，D_1为第一开关管S_1的占空比大小，D_2为第二开关管S_2的占空比大小。

[0038] 如图6所示，本发明的实施例提供了一种二分压型非隔离型双开关降压电路，其中，二分压单元12包括第二储能电容C_1'、第三储能电容C_2'、第二二极管D_3'、第三二极管D_4'以及第四二极管D_5'；所述第二储能电容C_1'、第二二极管D_3'以及第三储能电容C_2'串联连接，所述第二储能电容C_1'的第一端连接到所述第一电感L_1，所述第三储能电容C_2'的第二端连接到所述第五二极管D_2的阳极，且所述第二二极管D_3'的阳极与所述第二储能电容C_1'的第二端连接、阴极与所述第三储能电容C_2'的第一端连接，所述第三二极管D_4'的阴极连接到所述第二储能电容C_1'的第一端、阳极连接到第三储能电容C_2'的第一端，所述第四二极管D_5'的阴极连接到所述所述第二储能电容C_1'的第二端、阳极连接到所述第二电感L_o的第一端。其中，第一开关管S_1和第二开关管S_2的驱动信号与一分压型非隔离型双开关降压电路保持一致，输出电压依然通过第一开关管S_1和第二开关管S_2占空比大小进行调节。当第一开关管S_1导通，且第二开关管S_2关断时，二分压型非隔离型双开关降压电路的第一工作模态如图7所示，输入端的电能通过第一开关管S_1，第一电感L_1，第二储能电容C_1'，第三储能电容C_2'和第五二极管D_2向输出端传递，第二电感L_o通过第五二极管D_2续流，电流下降。当第一开关管S_1关断，且第二开关管S_2导通时，二分压型非隔离型双开关降压电路的第二工作模态如图8所示，第一电感L1通过第二开关管S_2续流，第二储能电容C_1'，第三储能电容C_2'通过第二开关管S_2和第二电感L_o进行放电，第二电感L_o电流上升。通过在一分压型非隔离型双开关降压电路基础上增加一个储能电容和三个二极管，二分压型非隔离型双开关降压电路实现了输出电压减半的效果，即相同占空比情况下，输出电压变为原来二分之一。二分压型非隔离型双开关降压电路的增益计算公式如下：

[0039] $$G=\frac{V_o}{V_{in}}=\frac{1-D_1}{2}=\frac{D_2}{2} \qquad (2)$$

[0040] 其中，V_o为输出电压，V_{in}为输入电压，D_1为第一开关管S_1的占空比大小，D_2为第二开关管S_2的占空比大小。

[0041] 如图9所示，本发明的实施例提供了一种N分压型非隔离型双开关降压电路，其中，N分压单元13包括N个储能电容，以及M个二极管。所述N为大于或等于3的正整数，M＝3×N-3；所述N个储能电容以相邻储能电容间具有一个二极管的方式依次后串联连接；除了第一端直接连接到所述第一电感L_1的储能电容C_1”外，其余的每一储能电容的第一端经由一个二极管连接到所述第一电感L_1；除了第二端直接连接到所述第五二极管D_2的阳极的储能电容C_N”外，所述第五二极管D_2的阳极分别通过一个二极管连接到其余的每一储能电容的第二端。其中，第一开关管S_1和第二开关管S_2的驱动信号与一分压型非隔离型双开关降压电路保持一致，输出电压依然通过第一开关管S_1和第二开关管S_2占空比大小进行调节，在一分压降压电路基础上只通过增加分压单元中的储能电容和二极管个数，N分压型非隔离型双开关降压电路实现了输出电压减为原来N分之一的效果。N分压型非隔离型双开关降压电路的增益计算公式如下：

[0042] $$G=\frac{V_o}{V_{in}}=\frac{1-D_1}{N}=\frac{D_2}{N} \quad (3)$$

[0043] 其中，V_o为输出电压，V_{in}为输入电压，D_1为第一开关管S_1的占空比大小，D_2为第二开关管S_2的占空比大小。

[0044] 如图10所示，基于上述的一分压型非隔离型双开关降压电路，本发明提供了另一种实施例的一分压型非隔离型双开关降压电路，降压电路包括第三电感L_o’、第六二极管D_2’，一分压单元11的输出端经由所述第三电感L_o’连接到所述正输出端V_o+，所述第六二极管D_2’的阴极连接到一分压单元11和所述第三电感L_o’的连接点、所述第六二极管D_2’的阳极连接到所述负输入端V_o-，也可实现类似电路降压功能，不同之处在于一分压单元11输出的电压经由第三电感L_o’的滤波后，再输出到滤波电容C_0，即输出端的滤波方式发生了变化。此外，本实施例的电路的增益计算公式如下：

[0045] $$G=\frac{V_o}{V_{in}}=D_1=1-D_2 \quad (4)$$

[0046] 其中，V_o为输出电压，V_{in}为输入电压，D_1为第一开关管S_1的占空比大小，D_2为第二开关管S_2的占空比大小。

[0047] 相应地，如图11所示，在图10的一分压型非隔离型双开关降压电路基础上，本发明提供了另一种实施例二分压型非隔离型双开关降压电路，滤波方式与图10中的一致，该实施例的增益计算公式如下：

[0048] $$G=\frac{V_o}{V_{in}}=\frac{D_1}{2}=\frac{1-D_2}{2} \quad (5)$$

[0049] 其中，V_o为输出电压，V_{in}为输入电压，D_1为第一开关管S_1的占空比大小，D_2为第二开关管S_2的占空比大小。

[0050] 相应地，如图12所示，在图10的一分压型非隔离型双开关降压电路基础上，本发明提供了另一种实施例N分压型非隔离型双开关降压电路，滤波方式与图10中的一致，该实施例的增益计算公式如下：

[0051] $$G=\frac{V_o}{V_{in}}=\frac{D_1}{N}=\frac{1-D_2}{N} \quad (6)$$

[0052] 其中，V_o为输出电压，V_{in}为输入电压，D_1为第一开关管S_1的占空比大小，D_2为第二开

关管S_2的占空比大小。

[0053] 本发明实施例还提供了一种直流-直流变换器，该直流-直流变换器包括上述任一个实施例中的非隔离型双开关降压电路。

[0054] 本发明实施例的非隔离型双开关降压电路及直流-直流变换器，通过在降压电路中引入电容分压单元，避免了传统降压方式采用线性稳压器产生的损耗过大以及引入磁性元件产生的电磁干扰问题，改善了传统降压电路开关管占空比大小限制的问题，实现了多级降压效果。同时，通过增加分压电容以及二极管的数量，进一步引入多级分压单元，实现由开关管占空比大小连续控制输出电压的功能，具有多种不同降压效果，可根据实际应用场合进行选择，拓宽了降压电路的应用范围。

[0055] 以上所述，仅为本发明实施例较佳的具体实施方式，但本发明实施例的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明实施例揭露的技术范围内，可轻易想到的变化或替换，都应涵盖在本发明实施例的保护范围之内。因此，本发明实施例的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

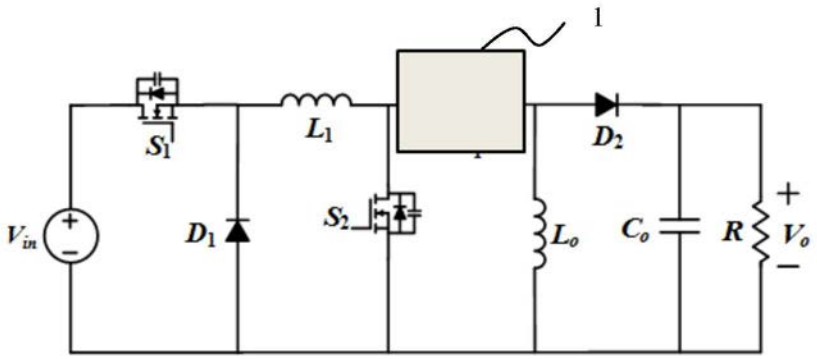

1
S_1
L_1
D_2
V_{in}
D_1
S_2
L_o
C_o
R
V_o

图1

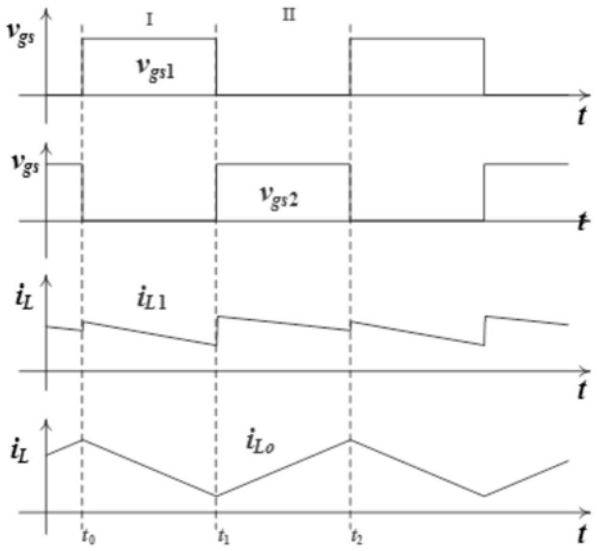

I
II
v_{gs}
v_{gs1}
t
v_{gs}
v_{gs2}
t
i_L
i_{L1}
t
i_L
i_{Lo}
t_0
t_1
t_2
t

图2

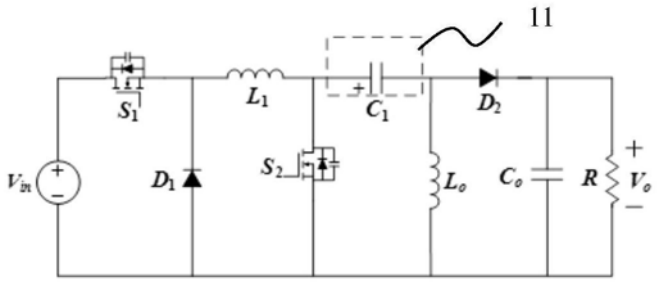

11
S_1
L_1
C_1
D_2
V_{in}
D_1
S_2
L_o
C_o
R
V_o

图3

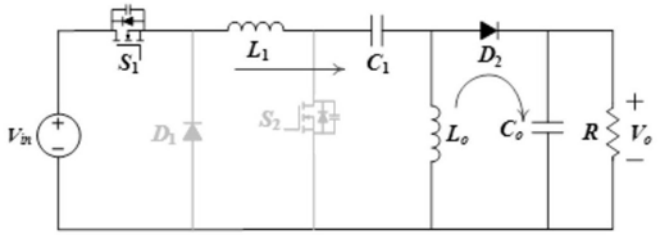

S_1
L_1
C_1
D_2
V_{in}
D_1
S_2
L_o
C_o
R
V_o

图4

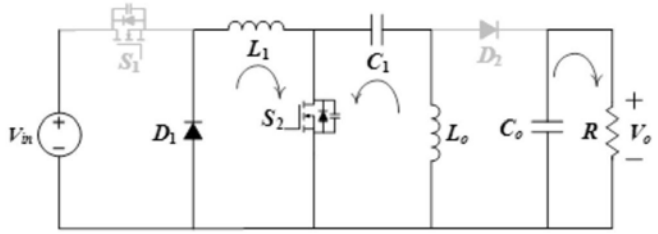

S_1
L_1
C_1
D_2
V_{in}
D_1
S_2
L_o
C_o
R
V_o

图5

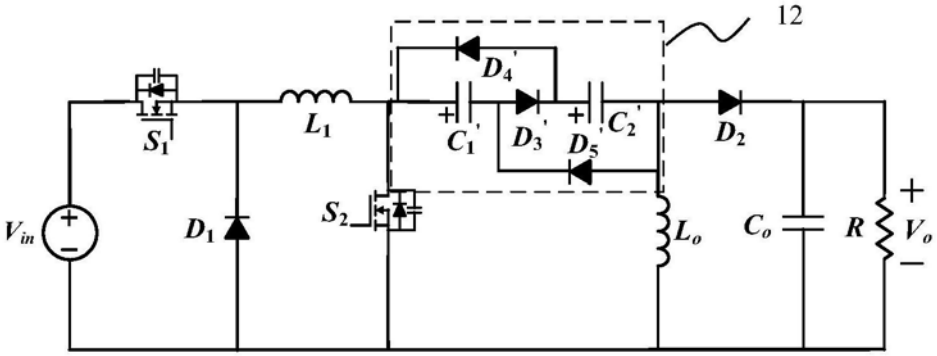

12
D_4'
S_1
L_1
C_1'
D_3'
D_5'
C_2'
D_2
V_{in}
D_1
S_2
L_o
C_o
R
V_o

图6

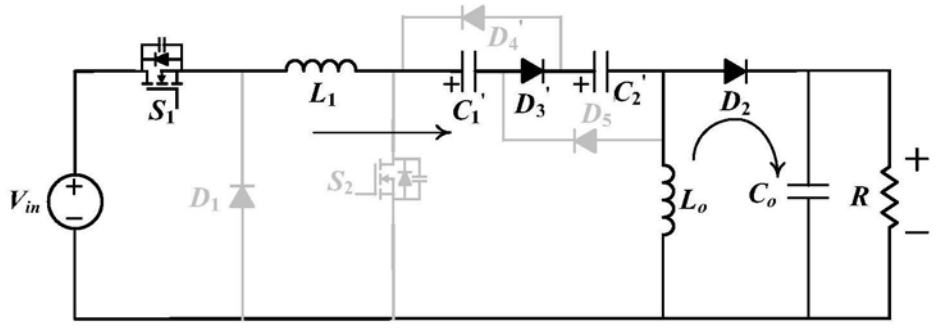

D_4'
S_1
L_1
C_1'
D_3'
D_5'
C_2'
D_2
V_{in}
D_1
S_2
L_o
C_o
R

图7

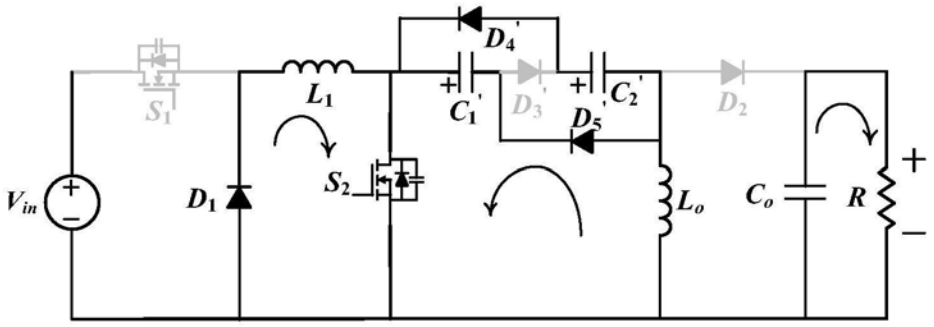

D4'
S1
L1
C1'
D3'
D5'
C2'
D2
Vin
D1
S2
Lo
Co
R
+
–

图8

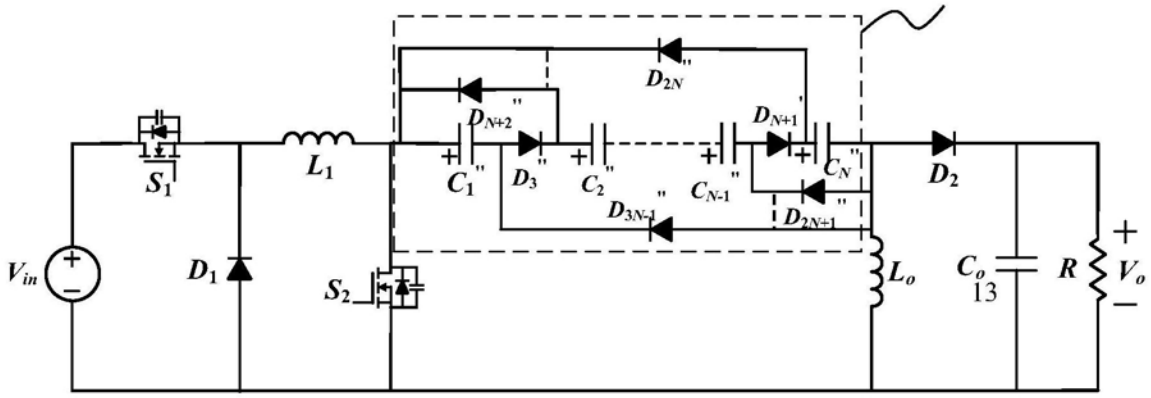

D2N"
DN+2"
DN+1'
S1
L1
C1"
D3"
C2"
CN-1"
CN"
D2
D3N-1"
D2N+1"
Vin
D1
S2
Lo
Co
R
Vo
+
–
13

图9

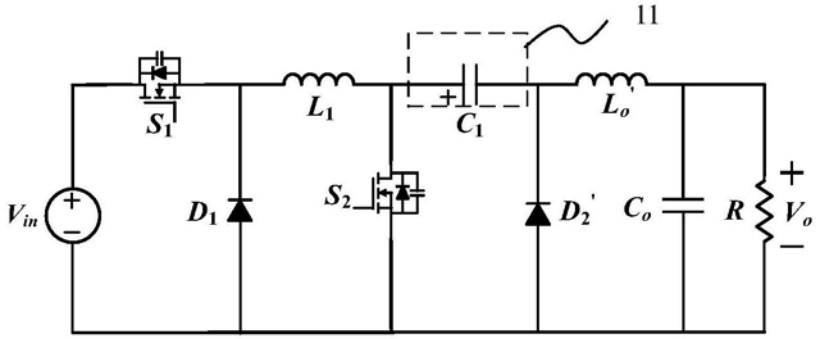

11
S1
L1
C1
Lo'
Vin
D1
S2
D2'
Co
R
Vo
+
–

图10

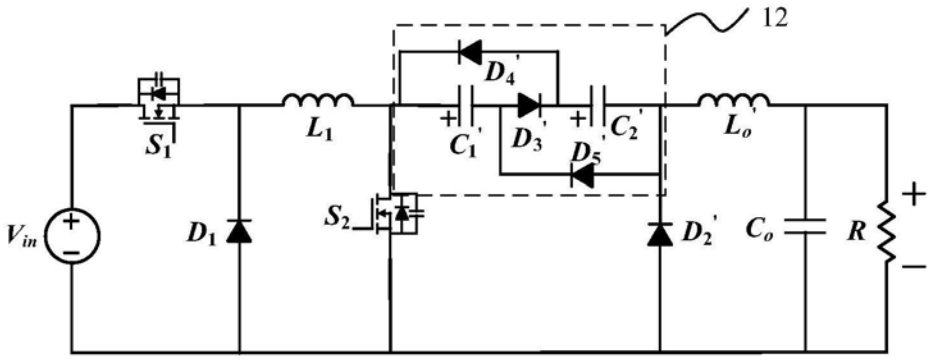

12
D_4'
S_1
L_1
C_1'
D_3'
C_2'
L_o'
D_5'
V_{in}
D_1
S_2
D_2'
C_o
R
+
−

图11

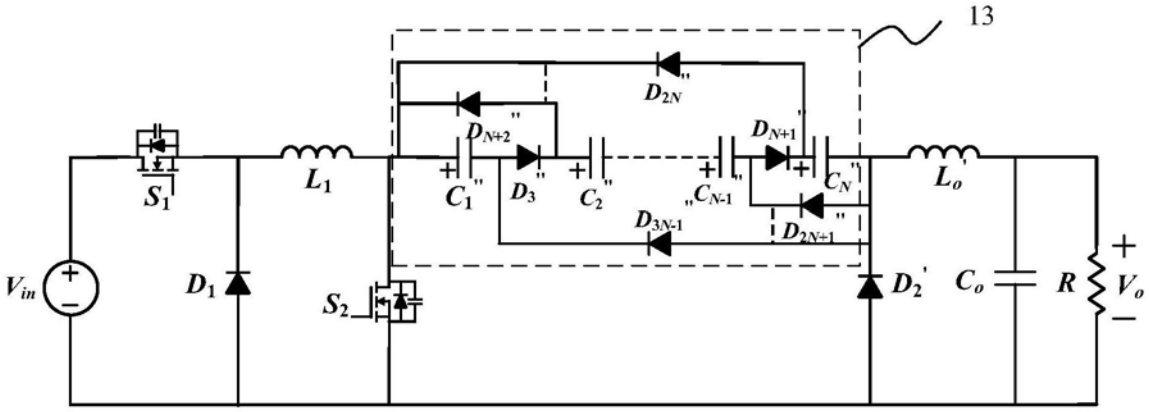

13
D_{2N}''
D_{N+2}''
D_{N+1}''
S_1
L_1
C_1''
D_3''
C_2''
C_{N-1}''
C_N''
L_o'
D_{3N-1}''
D_{2N+1}''
V_{in}
D_1
S_2
D_2'
C_o
R
V_o
+
−

图12