



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113206602 B

(45) 授权公告日 2023. 12. 01

(21) 申请号 202110390857.9

H02M 7/219 (2006.01)

(22) 申请日 2021.04.12

H02M 7/04 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

H02J 7/02 (2016.01)

申请公布号 CN 113206602 A

B60L 53/00 (2019.01)

(43) 申请公布日 2021.08.03

(56) 对比文件

(73) 专利权人 三峡大学

CN 110112903 A, 2019.08.09

地址 443002 湖北省宜昌市西陵区大学路8号

CN 111416534 A, 2020.07.14

CN 111416536 A, 2020.07.14

CN 112003467 A, 2020.11.27

(72) 发明人 马辉 徐甜川 敬成 代红

审查员 房琦

(74) 专利代理机构 宜昌市三峡专利事务所

42103

专利代理师 吴思高

(51) Int. Cl.

H02M 7/06 (2006.01)

H02M 7/217 (2006.01)

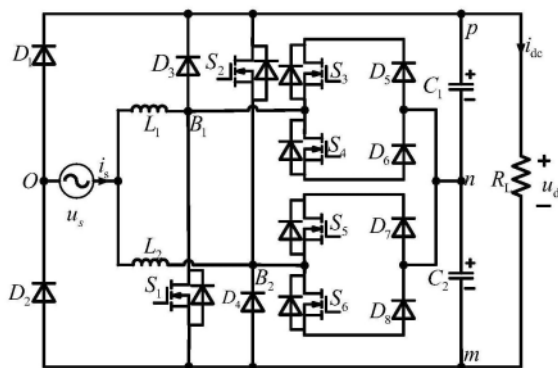
权利要求书2页 说明书5页 附图7页

(54) 发明名称

基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器

(57) 摘要

基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器,该直流充电器包括伪图腾柱桥臂、滤波电路、单相网格三电平整流桥;所述伪图腾柱桥臂包括开关管:S₁、S₂,二极管D₃、D₄;所述滤波电路包括电感L₁、L₂;所述单相网格三电平整流桥包括二极管D₁、D₂,双回路网孔双向开关管、电容C₁、C₂、负载R_L;双回路网孔双向开关管包括开关管S₃、S₄,二极管D₅、D₆,开关管S₅、S₆,二极管D₇、D₈。本发明基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器,融合伪图腾柱整流技术及三电平拓扑技术,相对于传统的升压功率因数校正整流器,能有效地降低开关管的应力,开关管的导通损耗小,且不存在桥臂直通现象;同时由于电路中存在网孔型双向开关支路,基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器的可靠性被大大提高。



1. 基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器,其特征在于该直流充电器包括:
 伪图腾柱桥臂、滤波电路、单相网格三电平整流桥;
 所述伪图腾柱桥臂包括开关管: S_1 、 S_2 ,二极管 D_3 、 D_4 ;
 所述滤波电路包括电感 L_1 、 L_2 ;
 所述单相网格三电平整流桥包括二极管 D_1 、 D_2 ,双回路网孔双向开关管、电容 C_1 、 C_2 、负载 R_L ;
 双回路网孔双向开关管包括开关管 S_3 、 S_4 ,二极管 D_5 、 D_6 ,开关管 S_5 、 S_6 ,二极管 D_7 、 D_8 ;
 交流电源 u_s 一端分别连接二极管 D_1 阳极、二极管 D_2 阴极,交流电源 u_s 另一端分别连接电感 L_1 一端、电感 L_2 一端;
 电感 L_1 另一端分别连接二极管 D_3 阳极、开关管 S_1 漏极、开关管 S_3 源极、开关管 S_4 漏极;
 电感 L_2 另一端分别连接二极管 D_4 阴极、开关管 S_2 源极、开关管 S_5 源极、开关管 S_6 漏极;
 开关管 S_3 漏极连接二极管 D_5 阴极,二极管 D_5 阳极连接二极管 D_6 阴极,二极管 D_6 阳极连接开关管 S_4 源极;
 开关管 S_5 漏极连接二极管 D_7 阴极,二极管 D_7 阳极连接二极管 D_8 阴极,二极管 D_8 阳极连接开关管 S_6 源极;
 二极管 D_1 阴极分别连接二极管 D_3 阴极、开关管 S_2 漏极、电容 C_1 正极;
 二极管 D_2 阳极分别连接二极管 D_4 阳极、开关管 S_1 源极、电容 C_2 负极;
 电容 C_1 负极分别连接二极管 D_5 阳极、二极管 D_6 阴极、二极管 D_7 阳极、二极管 D_8 阴极;
 负载 R_L 两端分别连接电容 C_1 正极、电容 C_2 负极;
 电路正常工作时,电感 L_1 的电流为 i_{L1} ,电感 L_2 的电流为 i_{L2} ,对电网输出电流 i_s 有: $i_s = i_{L1} + i_{L2}$,稳定状态下电路包含6个工作模式:
 (1) 正半周期三种工作模式:电网电压 u_s 和输出电流 i_s 均大于0;
 模式一:开关管 $S_1 \sim S_6$ 全部关断,交流电源 u_s 和电感 L_1 与电感 L_2 向负载 R_L 提供能量,二极管 D_2 、 D_3 以及开关管 S_2 上的体二极管正偏导通,直流输出电压 $u_{dc} > u_s$,电感电流线性减少,电容 C_1 、 C_2 处于充电状态,充电电流等于 $i_s - i_{dc}$,电压 $u_{B10} = u_{B20} = u_{c1} + u_{c2} = +u_{dc}$;
 模式二:开关管 S_1 、 S_2 、 S_3 关断,开关管 S_4 、 S_5 、 S_6 导通,电容 C_2 充电,充电电流为 $i_s - i_{dc}$,电容 C_1 向负载放电,提供电流 i_{dc} ,电压 $u_{B10} = u_{B20} = u_{c1} = +u_{dc}/2$;
 模式三:开关管 $S_2 \sim S_6$ 全部关断,开关管 S_1 导通,二极管 D_2 正偏导通,交流电源 u_s 向电感 L_1 充电,电感 L_1 电流呈现线性上升,电容 C_1 和 C_2 向负载 R_L 放电,此时电压 $u_{B10} = 0$, $u_{B20} = u_s$;
 (2) 负半周期三种工作方式:电网电压 u_s 和输出电流 i_s 均小于0;
 模式四:开关管 S_2 导通,开关管 S_1 、 S_3 、 S_4 、 S_5 、 S_6 关断,二极管 D_1 正偏导通,交流电源 u_s 向电感 L_2 充电,电感 L_2 电流呈现线性上升,电容 C_1 和 C_2 继续向负载 R_L 放电,此时电压 $u_{B20} = 0$, $u_{B10} = u_s$;
 模式五:开关管 S_3 、 S_4 、 S_5 导通,开关管 S_1 、 S_2 、 S_6 关断,电容 C_1 充电,充电电流为 $-i_s - i_{dc}$,电容 C_2 向负载放电,提供电流 i_{dc} ,电压 $u_{B10} = u_{B20} = u_{c2} = -u_{dc}/2$;
 模式六:开关管全关断,交流电源 u_s 和电感 L_1 与电感 L_2 向负载 R_L 提供能量,二极管 D_4 、 D_1 和开关管 S_2 上的体二极管正偏导通,直流输出电压 $u_{dc} > u_s$,电感电流线性减少,电容 C_1 、 C_2 处于充电状态,充电电流等于 $i_s - i_{dc}$,电压 $u_{B10} = u_{B20} = -u_{c1} - u_{c2} = -u_{dc}$ 。
2. 根据权利要求1所述基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器,其特征在于:所述

伪图腾柱桥臂为全控开关管和二极管组成一对不对称的整流桥臂,每支桥臂包括1个功率开关器件,1个钳位二极管。

3.根据权利要求1所述基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器,其特征在于:所述单相网格三电平整流桥包含两个双向开关管,任意一个双向开关管由2个全控型开关管和2个二极管组成,与电感 L_1 相连的结构为上网孔型双向开关,与电感 L_2 相连的结构为下网孔型双向开关。

4.根据权利要求1所述基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器,其特征在于:所述开关管 $S_1 \sim S_6$ 均为带有体二极管的MOSFET、或者IGBT。

基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器

技术领域

[0001] 本发明涉及电力电子电能变换技术领域,具体涉及一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器。

背景技术

[0002] 随着近几年经济的飞速发展,电动汽车保有量不断攀升,发展纯电动汽车最重技术之一要是充电技术,大量充电站和充电桩的建设带来的大量充电设备接入电网,充电电源的性能会对电网和充电设备带来不同的影响。传统单相充电器的前端由于二极管整流桥的存在,使得充电器效率无法进一步提高,而全桥型的交直流变换器用全控开关管代替二极管作为整流桥,直流充电器的效率得到提高的同时,也带来了桥臂直通、开关损耗增大等问题。其中,伪图腾柱两电平整流电路结构以高效率、无桥臂直通的特点占据优势。但是伪图腾柱两电平器件承受直流侧电压,器件承受电压大、管子通态损耗大等问题,使得基于两电平伪图腾柱结构的直流充电器成本高、效率等问题。另外,两电平伪图腾柱结构限制直流充电器在中高压功率直流充电场合下的应用。

发明内容

[0003] 本发明提供一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器,将传统的伪图腾柱式结构与三电平整流桥结合,利用一对双向开关管结构保持伪图腾柱两电平整流器优势的同时,利用三电平技术解决两电平整流器功率器件所受电压应力高的问题。该三电平整流器提高了电路的可靠性、降低开关电压应力、提高电流正弦度、降低了谐波含量。

[0004] 本发明采取的技术方案为:

[0005] 基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器,该直流充电器包括:

[0006] 伪图腾柱桥臂、滤波电路、单相网格三电平整流桥;

[0007] 所述伪图腾柱桥臂包括开关管 S_1 、 S_2 ,二极管 D_3 、 D_4 ;

[0008] 所述滤波电路包括电感 L_1 、 L_2 ;

[0009] 所述单相网格三电平整流桥包括二极管 D_1 、 D_2 ,双回路网孔双向开关管、电容 C_1 、 C_2 、负载 R_L ;

[0010] 双回路网孔双向开关管包括开关管 S_3 、 S_4 ,二极管 D_5 、 D_6 ,开关管 S_5 、 S_6 ,二极管 D_7 、 D_8 ;

[0011] 交流电源 u_s 一端分别连接二极管 D_1 阳极、二极管 D_2 阴极,交流电源 u_s 另一端分别连接电感 L_1 一端、电感 L_2 一端;

[0012] 电感 L_1 另一端分别连接二极管 D_3 阳极、开关管 S_1 漏极、开关管 S_3 源极、开关管 S_4 漏极;

[0013] 电感 L_2 另一端分别连接二极管 D_4 阴极、开关管 S_2 源极、开关管 S_5 源极、开关管 S_6 漏极;

[0014] 开关管 S_3 漏极连接二极管 D_5 阴极,二极管 D_5 阳极连接二极管 D_6 阴极,二极管 D_6 阳极连接开关管 S_4 源极;

[0015] 开关管 S_5 漏极连接二极管 D_7 阴极,二极管 D_7 阳极连接二极管 D_8 阴极,二极管 D_8 阳极连接开关管 S_6 源极;

[0016] 二极管 D_1 阴极分别连接二极管 D_3 阴极、开关管 S_2 漏极、电容 C_1 正极;

[0017] 二极管 D_2 阳极分别连接二极管 D_4 阳极、开关管 S_1 源极、电容 C_2 负极;

[0018] 电容 C_1 负极分别连接二极管 D_5 阳极、二极管 D_6 阴极、二极管 D_7 阳极、二极管 D_8 阴极;

[0019] 负载 R_L 两端分别连接电容 C_1 正极、电容 C_2 负极。

[0020] 所述伪图腾柱桥臂由全控开关管和二极管组成一对不对称的整流桥臂,每支桥臂包括1个功率开关器件,1个钳位二极管。

[0021] 所述单相网格三电平整流桥包含两个双向开关管,任意一个双向开关管由2个全控型开关管和2个二极管组成,与电感 L_1 相连的结构为上网孔型双向开关,与电感 L_2 相连的结构为下网孔型双向开关。

[0022] 所述单相网格三电平整流桥中包含两个相同结构的网孔双向开关,分别与两并联电感 L_1 、 L_2 连接,用于控制电感电流在电容之间的双向流通,实现桥臂之间的三电平输出。

[0023] 该直流充电器电路在交流电源的一端并联两个相同的电感,双管结构升压变换器使得部分开关管电压/电流应力较低,开关管的导通损耗小,电压增益更高。

[0024] 基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器中的桥臂采用伪图腾柱式结构,保留伪图腾柱式结构不存在桥臂直通隐患、无开关管体二极管反向恢复问题,可靠性高、效率高等优点。所述开关管 $S_1 \sim S_6$ 均为带有体二极管的MOSFET(金属-氧化物半导体场效应晶体管)或IGBT(绝缘栅双极型晶体管)。

[0025] 本发明一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器,具有如下有益效果:

[0026] 1) 本发明采用伪图腾柱式结构,保留伪图腾柱整流器无桥臂直通隐患、无开关管体二极管反向恢复问题、可靠性高、效率高等优点。

[0027] 2) 本发明将伪图腾柱结构与单相网格三电平整流桥相结合,在传统的伪图腾整流器的基础上,增加一组二极管桥臂和双向开关管,降低了开关应力,解决了开关管耐压高的问题,适合高压输出场合。

[0028] 3) 本发明采用双回路网孔双向开关管分别与电感 L_1 、 L_2 相连,单个网孔双向开关管的损坏不会影响电路的三电平输出,使得直流充电电路的可靠性大大提高。

[0029] 4) 本发明基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器,融合伪图腾柱整流技术及三电平拓扑技术,相对于传统的升压功率因数校正整流器,能有效地降低开关管的应力,开关管的导通损耗小,且不存在桥臂直通现象;同时由于电路中存在网孔型双向开关支路,基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器的可靠性被大大提高。

附图说明

[0030] 图1为本发明一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器主拓扑结构图。

[0031] 图2为本发明一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器工作状态阶段一图。

[0032] 图3为本发明一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器工作状态阶段二图。

[0033] 图4为本发明一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器工作状态阶段三

图。

[0034] 图5为本发明一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器工作状态阶段四图。

[0035] 图6为本发明一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器工作状态阶段五图。

[0036] 图7为本发明一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器工作状态阶段六图。

[0037] 图8为本发明一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器中开关管 $S_1 \sim S_6$ 对应的脉冲分配图。

[0038] 图9为本发明一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器稳定状态下输入侧电压电流波形图。

[0039] 图10为本发明一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器稳定状态下电感 L_1 的电流波形图。

[0040] 图11为本发明一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器稳定状态下电感 L_2 的电流波形图。

[0041] 图12为本发明一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器稳定状态下电压 u_{B10} 波形图。

[0042] 图13为本发明一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器稳定状态下电压 u_{B20} 波形图。

[0043] 图14为本发明一种基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器稳定状态下直流输出电压 u_{dc} 波形图。

具体实施方式

[0044] 如图1所示,基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器,该直流充电器包括一对伪图腾柱桥臂、滤波电路、单相网格三电平整流桥。

[0045] 所述一对伪图腾柱桥臂结构包括两个全控功率开关管 S_1 、 S_2 ,2个普通二极管 D_3 、 D_4 ,由全控开关管和二极管组成一对不对称的整流桥臂,每支桥臂包括1个功率开关器件,1个钳位二极管。 S_1 漏极与电感 L_1 和二极管 D_3 阳极相连于节点 B_1 , S_2 源极与电感 L_2 和二极管 D_4 阴极相连于节点 B_2 。

[0046] 所述滤波电路由滤波电感 L_1 和 L_2 组成,两个电感完全一致,分别与全控开关管 S_1 的漏极、 S_2 的源极相连,另一端并联接在交流电源的正极上,定义交流电源的负极为节点0。

[0047] 所述单相网格三电平整流桥由2个二极管 D_1 、 D_2 、一对双向开关管以及2个电容 C_1 、 C_2 和一个负载 R_L 组成。其中,二极管 D_1 阳极连接二极管 D_2 阴极,二极管 D_1 、 D_2 连接点连接交流电源的负极于点0;网孔双向开关管结构由2个全控型开关管和2个普通二极管组成,该单相网格三电平整流桥包含双回路网孔双向开关管,定义与电感 L_1 相连的结构为上网孔双向开关,与电感 L_2 相连的结构为下网孔双向开关。

[0048] 上网孔双向开关包括2个全控型开关管 S_3 、 S_4 ,以及2个普通二极管 D_5 、 D_6 ,全控型开关管 S_3 的源极与全控型开关管 S_4 的漏极相连,其连接点以电感 L_1 连接于点 B_1 ,全控型开关管 S_3 的漏极与二极管 D_5 的阴极串联,全控型开关管 S_4 的源极与二极管 D_6 的阳极串联,二极管 D_5

的阳极与二极管 D_6 的阴极相连。

[0049] 下网孔双向开关与上网孔双向开关一致,全控型开关管 S_5 的源极与全控型开关管 S_6 的漏极相连,其连接点与电感 L_2 连接于节点 B_2 ,全控型开关管 S_6 的源极与二极管 D_8 的阳极串联,全控型开关管 S_5 的漏极和二极管 D_7 的阴极串联,二极管 D_7 的阳极和二极管 D_8 的阴极相连,下网孔双向开关与下网孔双向开关并联与分裂电容 C_1 、 C_2 的连接点相连于节点 n 。电容 C_1 的正极和电容 C_2 的负极分别与负载相连,二极管 D_1 、 D_3 的阴极与开关管 S_2 的漏极相连,其连接点与电容 C_1 的正极相交于节点 p ,二极管 D_2 、 D_4 的阳极与开关管 S_1 的源极相连,其连接点与电容 C_2 的负极相交于节点 m 。

[0050] 具体实验参数如下:

[0051] 基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器输入侧中电网电压有效值为220V,频率50Hz,直流侧输出电压400V,开关频率为20kHz,滤波电感 $L_1=L_2=3\text{mH}$,负载 R_L 的阻值为80 Ω ,输出电容 $C_1=C_2=4700\mu\text{F}$ 。

[0052] 基于单相网格三电平伪图腾柱的直流充电器,电路正常工作时,稳定状态下共有六种工作模式:

[0053] (1) 正半周期的三种工作模式:

[0054] 如图2所示,模式一:开关管 $S_1\sim S_6$ 全部关断,交流电源 u_s 和电感 L_1 与电感 L_2 向负载 R_L 提供能量,二极管 D_2 、 D_3 以及开关管 S_2 上的体二极管正偏导通,直流输出电压 $u_{dc}>u_s$,电感电流线性减少,电容 C_1 、 C_2 处于充电状态,充电电流等于 i_s-i_{dc} ,电压 $u_{B10}=u_{B20}=u_{c1}+u_{c2}=+u_{dc}$;

[0055] 如图3所示,模式二:开关管 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_5 关断,开关管 S_4 、 S_6 导通,电容 C_2 充电,充电电流为 i_s-i_{dc} ,电容 C_1 向负载放电,提供电流 i_{dc} ,电压 $u_{B10}=u_{B20}=u_{c1}=+u_{dc}/2$;

[0056] 如图4所示,模式三:开关管 $S_2\sim S_6$ 全部关断,开关管 S_1 导通,二极管 D_2 正偏导通,交流电源 u_s 向电感 L_1 充电,电感 L_1 电流呈现线性上升,电容 C_1 和 C_2 向负载 R_L 放电,此时电压 $u_{B10}=0$, $u_{B20}=u_s$;

[0057] (2) 负半周期三种工作方式:

[0058] 如图5所示,模式四:开关管 S_2 导通,开关管 S_1 、 S_3 、 S_4 、 S_5 、 S_6 关断,二极管 D_1 正偏导通,交流电源 u_s 向电感 L_2 充电,电感 L_2 电流呈现线性上升,电容 C_1 和 C_2 继续向负载 R_L 放电,此时电压 $u_{B20}=0$, $u_{B10}=u_s$;

[0059] 如图6所示,模式五:开关管 S_3 、 S_5 导通,开关管 S_1 、 S_2 、 S_4 、 S_6 关断,电容 C_1 充电,充电电流为 $-i_s-i_{dc}$,电容 C_2 向负载放电,提供电流 i_{dc} ,电压 $u_{B10}=u_{B20}=u_{c2}=-u_{dc}/2$;

[0060] 如图7所示,模式六:开关管全关断,交流电源 u_s 和电感 L_1 与电感 L_2 向负载 R_L 提供能量,二极管 D_4 、 D_1 和开关管 S_2 上的体二极管正偏导通,直流输出电压 $u_{dc}>u_s$,电感电流线性减少,电容 C_1 、 C_2 处于充电状态,充电电流等于 i_s-i_{dc} ,电压 $u_{B10}=u_{B20}=-u_{c1}-u_{c2}=-u_{dc}$;

[0061] 在图2~图7所示的六种工作模式下,网侧输入电流 i_s 在模态一、二、五和六下返回路径均有两条,即在一个工频周期内,模态三中只有电感 L_1 有电流,模态四中只有电感 L_2 有电流外,其他模态下,均有电流流过两个电感。表1是本发明实施中开关管 $S_1\sim S_6$ 六种工作模式表。

[0062] 表1开关管 $S_1\sim S_6$ 六种工作模式表

模态	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	
1	0	0	0	0	0	0	U_{dc}
2	0	0	0	1	1	1	$U_{dc}/2$
[0063] 3	1	0	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	1	1	1	0	$-U_{dc}/2$
6	0	0	0	0	0	0	$-U_{dc}$

[0064] 如表1所示,在一个周期内,电路共有六种工作模式,当 $u_s > 0$ 时,有 0 、 $+u_{dc}/2$ 、 $+u_{dc}$ 三种状态;当 $u_s < 0$ 时,有 0 、 $-u_{dc}/2$ 、 $-u_{dc}$ 三种状态,在不同的工作模式下,系统各参数也随之变化,其中,用1表示开关管的导通,用0表示开关管的关断。图8是本发明电路中开关管 $S_1 \sim S_6$ 在一个周期中的脉冲分配图,其中将门极驱动电压单位化,用1表示对该开关管施加门极电压,用0表示未对该开关管施加门极电压。

[0065] 由图9所示,将交流电压乘以0.1倍的增益,与电感电流用一个示波器进行比较,交流输入电压与输入电流同相位,能实现高功率因数;

[0066] 图10是流过电感 L_1 的电流,用字母 i_{L1} 表示,图11是流过电感 L_2 的电流,用字母 i_{L2} 表示,验证了除零模态,其他的状态下两电感均有电流通过;

[0067] 图12是电压 u_{B10} 波形图,图13是电压 u_{B20} 波形图,如图12、图13所示,电压 u_{B10} 在正半周期能产生三电平电压,由于开关管切换时有冗余模态,因此电压在 $+u_{dc}$ 模态时存在直接切换至 $+0$ 模态的情况,电压 u_{B20} 在负半周期产生与 u_{B10} 对称的三电平电压;图14表明,该直流充电器实现了直流输出电压稳定。

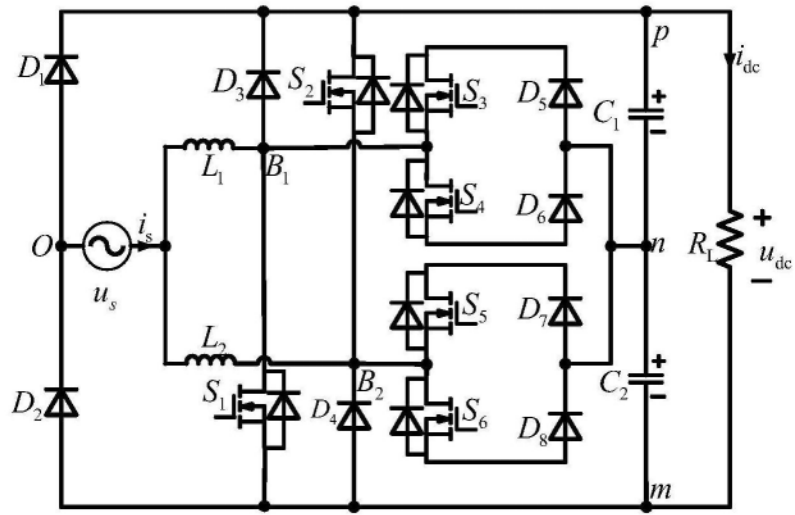


图1

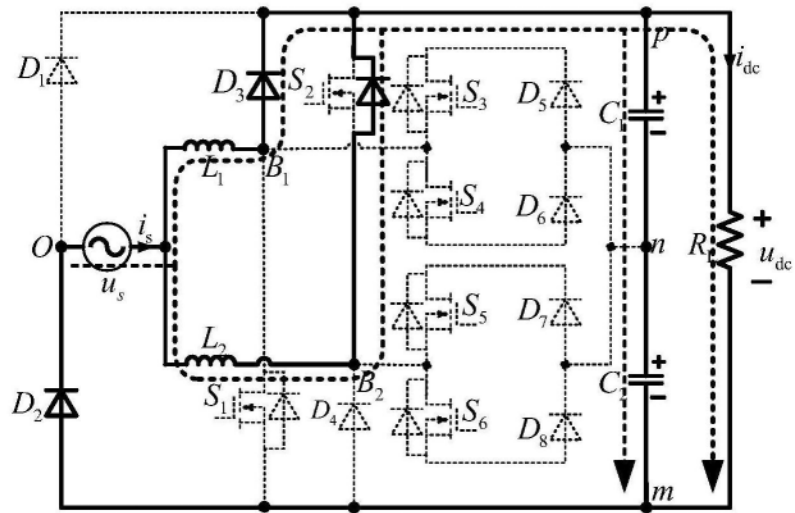


图2

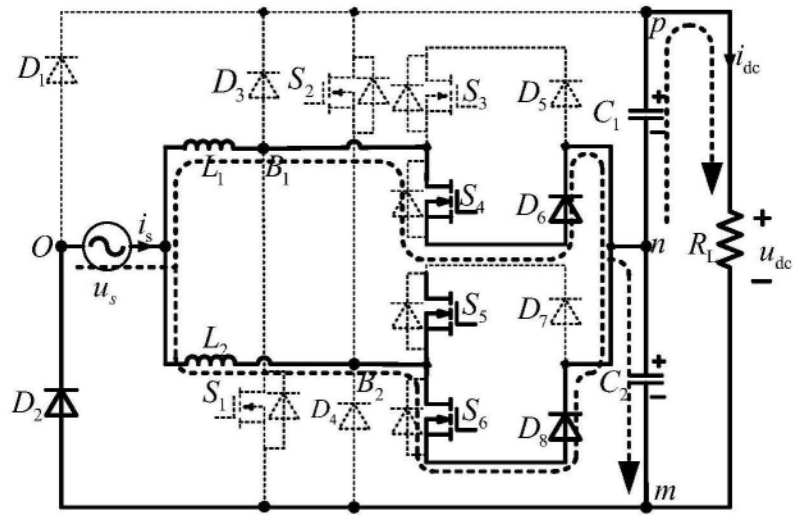


图3

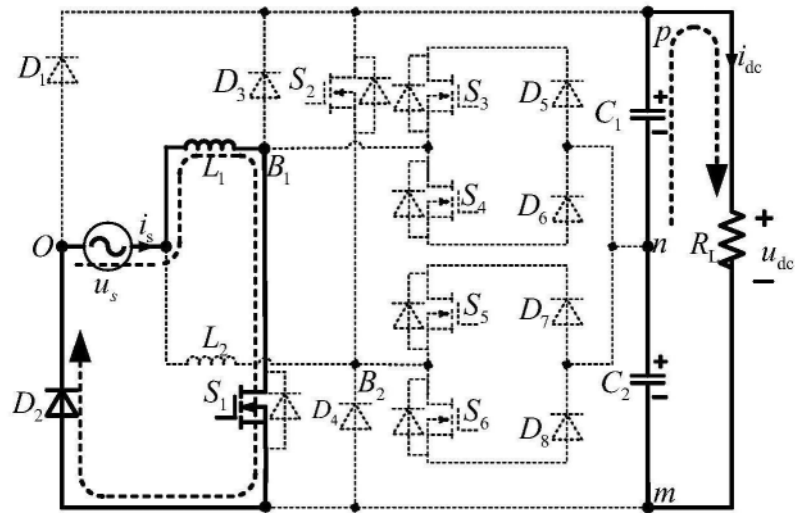


图4

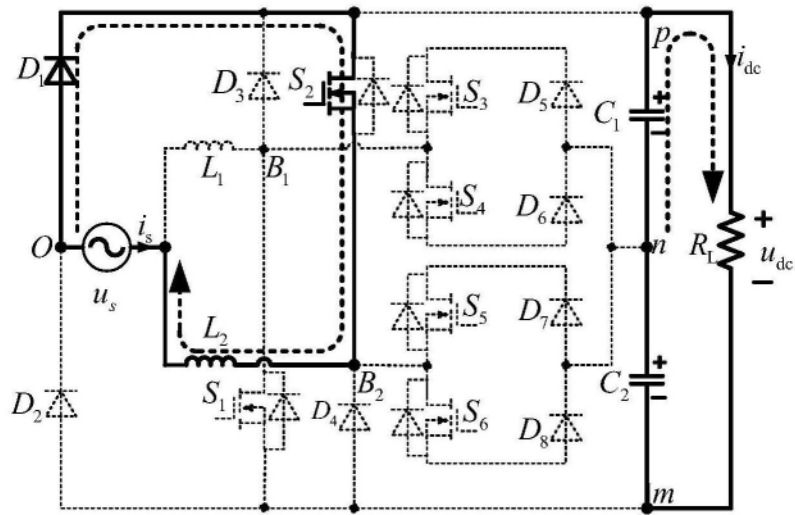


图5

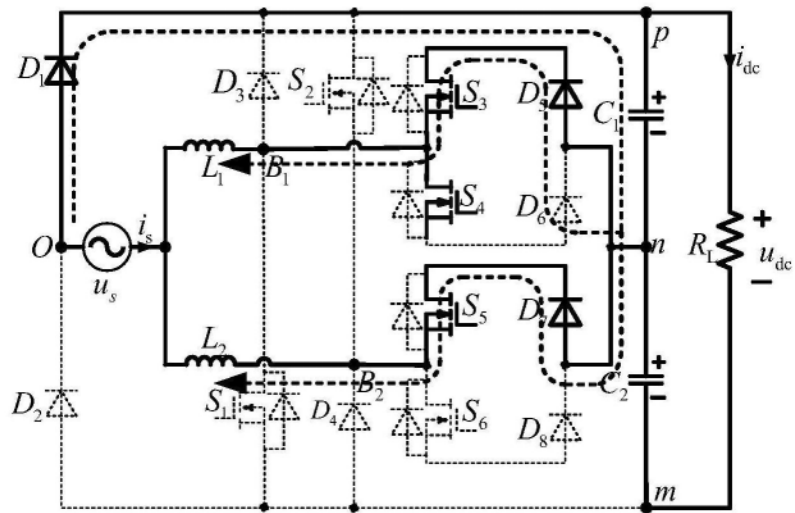


图6

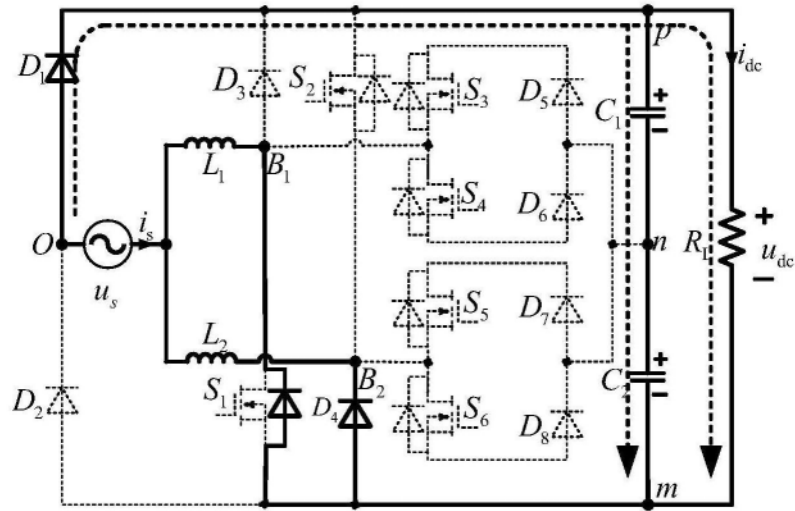


图7

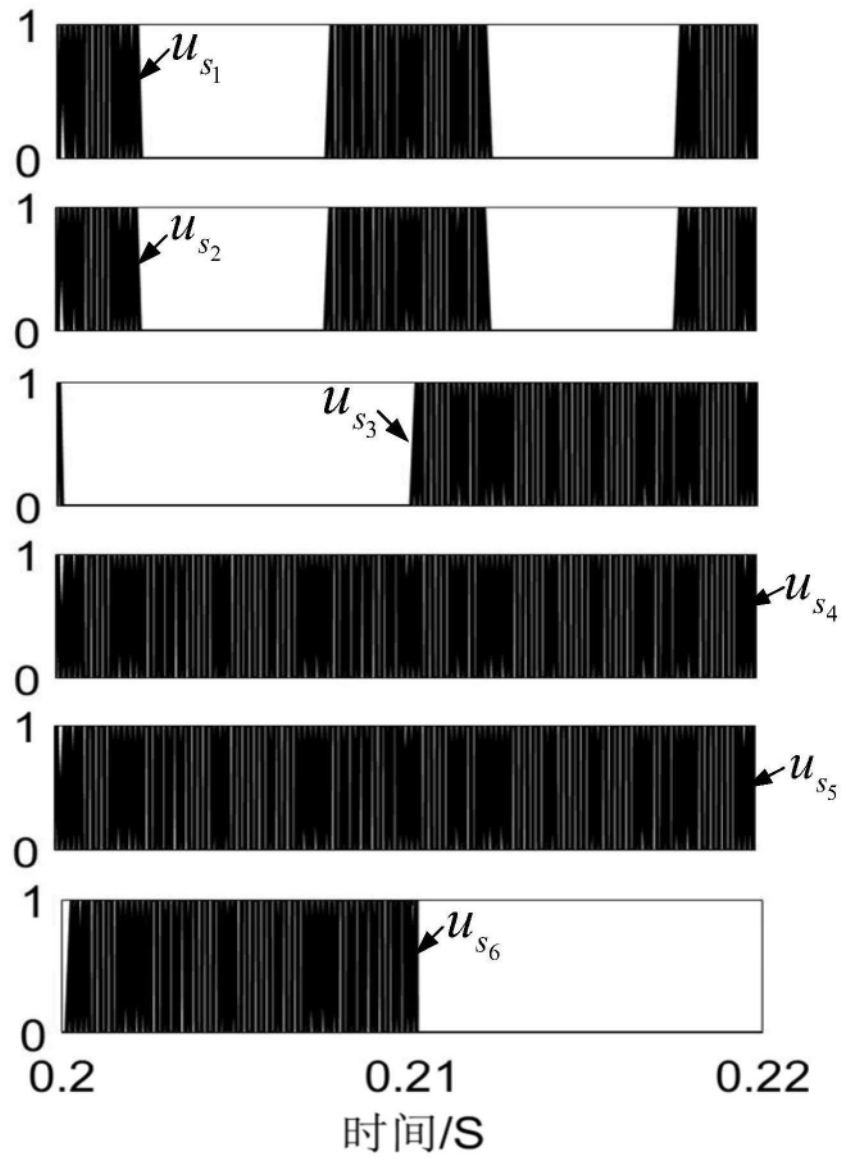


图8

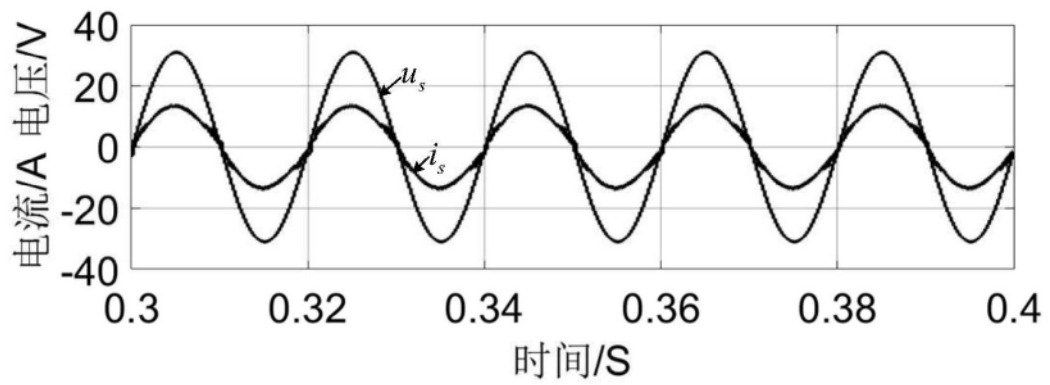


图9

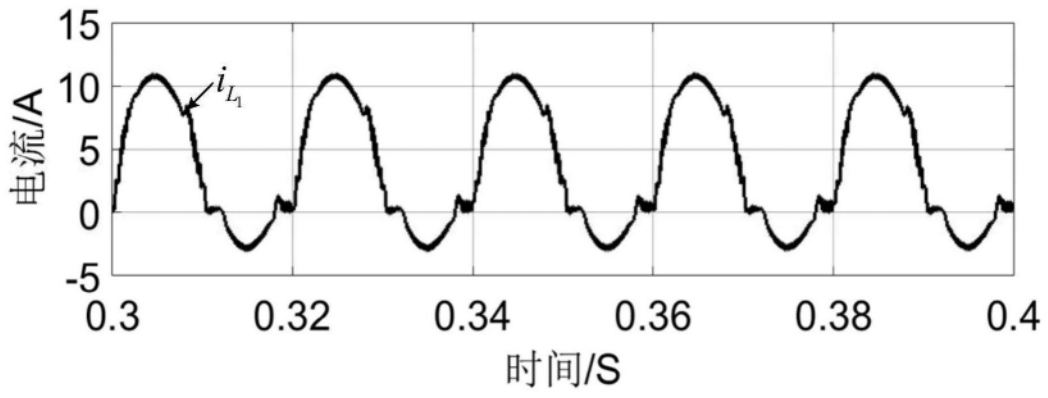


图10

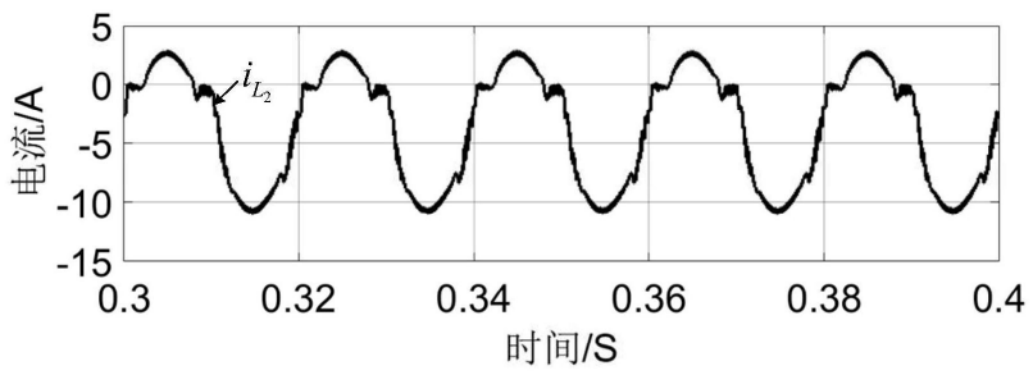


图11

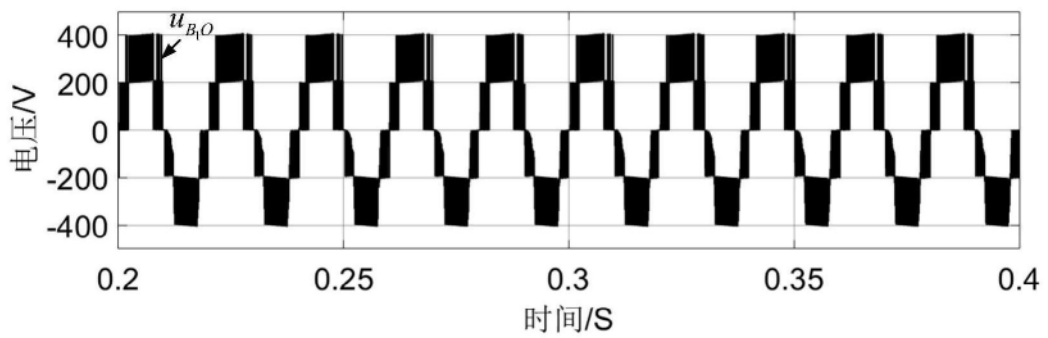


图12

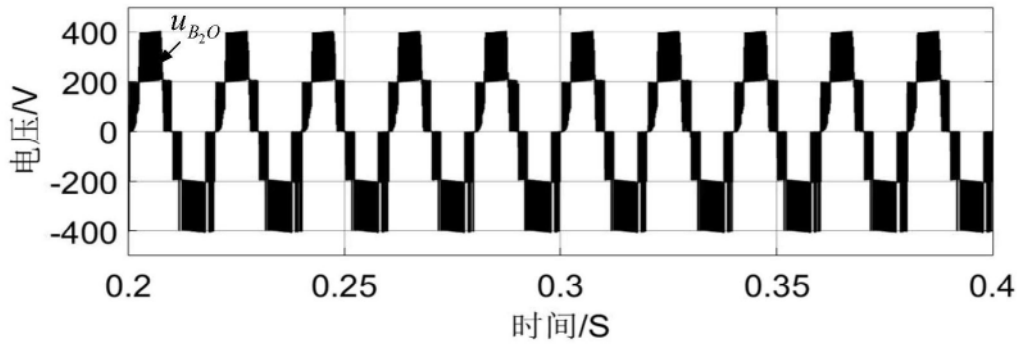


图13

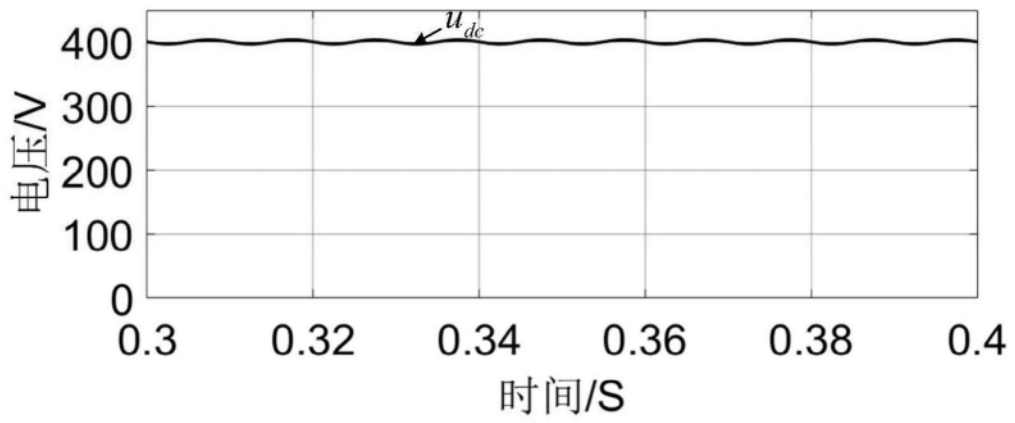


图14