



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108242895 B

(45)授权公告日 2019.12.17

(21)申请号 201810143791.1

(22)申请日 2018.02.12

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 108242895 A

(43)申请公布日 2018.07.03

(30)优先权数据  
62/458,649 2017.02.14 US  
15/885,941 2018.02.01 US

(73)专利权人 陈扬  
地址 230031 安徽省合肥市高新区徽商优  
山美地2-3017  
专利权人 汪洪亮 刘雁飞 李湛明 傅玥

(72)发明人 陈扬 汪洪亮 刘雁飞 李湛明  
傅玥

(74)专利代理机构 北京旭路知识产权代理有限  
公司 11567

代理人 瞿卫军

(51)Int.Cl.  
H02M 7/219(2006.01)  
H02M 7/25(2006.01)

(56)对比文件  
CN 105720826 A,2016.06.29,  
CN 101060285 A,2007.10.24,  
CN 201541200 U,2010.08.04,  
WO 2012099169 A1,2012.07.26,  
Hongliang Wang;Yang Chen等.《A new LLC  
converter family with synchronous  
rectifier to increase voltage gain for  
hold-up application》.《IEEE》.2015,

审查员 王聪

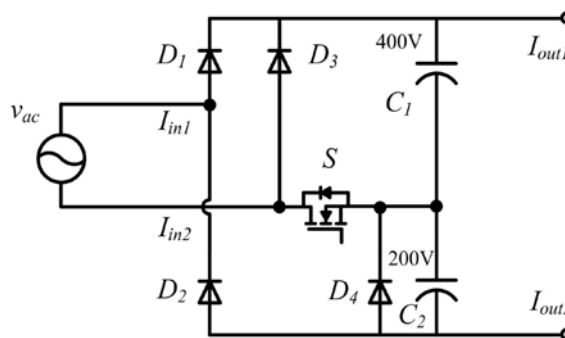
权利要求书2页 说明书14页 附图20页

(54)发明名称

混合式全桥倍压整流器及其单级转换器

(57)摘要

本发明实施例提供一种混合式整流器,这种混合式整流器可作为一个混合式全桥整流器或一个倍压整流器工作。在220V AC输入条件下,这种混合整流器以全桥模式工作,而在110V AC输入条件下,它作为倍压整流器工作。这种混合式整流器可与一个DC-DC转换器如一个LLC谐振转换器结合共同用在电源中。在这种模式转换下,LLC转换器谐振腔设计仅仅需要考虑220V AC的输入条件,以便减小所需操作的输入电压范围,并优化LLC转换器的效率。此外,相对于双级配置,采用单级结构既能够减小尺寸,又可以减小功率损耗。



1. 一种混合式全桥倍压整流器,其特征在于,包括:

第一和第二AC输入端;

第一和第二DC输出端;

数个二极管;

一个开关,其第一个端点与第二AC输入端相连;

所述二极管包括:第一、第二、第三和第四个二极管;

其中,第一个二极管的正极同时与第二个二极管的负极和第一输入端相连;第一个二极管的负极同时与第三个二极管的负极和第一个电容器的正极相连;第三个二极管的正极同时与第二输入端和开关的第一个端点相连;第二个二极管的正极同时与第四个二极管的正极和第二个电容器的负极相连;第四个二极管的负极与开关的第二个端点相连;第一个电容器正极与第一输出端相连,且它的负极同时与第二个电容器的正极和第四个二极管的负极相连;第二个电容器的负极与第二输出端相连;

混合式FB-VD整流器根据至少第一和第二工作模式运作,这两种模式分别对应于低AC输入电压的正负两部分,第一种工作模式包括开关导通第一个方向,第一个电容器充电和第二个电容器放电为负载提供电功率;第二个工作模式包括开关导通第二个方向,第二个电容器充电和第一个电容器放电为负载提供电功率;

对于高AC输入电压,在正半循环中,开关不工作,仅仅由其体二极管导通为第一个电容器充电,高AC输入电压为低输入电压的两倍;在负半循环中,开关不工作,二极管同时为两个电容器充电,高AC输入电压等于低输入电压。

2. 根据权利要求1所述的混合式全桥倍压整流器,其特征在于:低AC输入电压为90-150VAC的交流电,高AC输入电压为200-280VAC的交流电。

3. 根据权利要求2所述的混合式全桥倍压整流器,其特征在于:第一个电容器为400V额定电容器,第二个电容器为200V额定电容器。

4. 根据权利要求1所述的混合式全桥倍压整流器,其特征在于:第一个电容器和第二个电容器具有相同的电容。

5. 根据权利要求2所述的混合式全桥倍压整流器,其特征在于:第一个电容器和第二个电容器都为68 $\mu$ F。

6. 根据权利要求2所述的混合式全桥倍压整流器,其特征在于:第一、第二、第三和第四个二极管都为600V,1A,开关为一个650V,190m $\Omega$ 的MOSFET。

7. 一种电源,其特征在于包括:权利要求1所述的混合式全桥倍压整流器和一个单级DC-DC转换器。

8. 根据权利要求7所述电源,其特征在于:DC-DC转换器可以是一个LLC谐振转换器、LCLC谐振转换器、LCC谐振转换器、串联谐振转换器(SRC)、并联谐振转换器(PRC)、反激式转换器或正向转换器。

9. 根据权利要求7所述电源,其特征在于:DC-DC转换器是一个LLC谐振转换器。

10. 根据权利要求9所述电源,其特征在于:LLC谐振转换器包括一个线匝比为10的变压器。

11. 根据权利要求7所述电源,其特征在于:低AC输入电压为大约90-150VAC的交流电,高AC输入电压为200-280VAC的交流电。

12. 根据权利要求7所述电源,其特征在于:所述电源应用于便携式电子设备。

13. 一种实现混合式全桥倍压整流器的方法,其特征在于包括:

对混合式FB-VD整流器,提供:

第一和第二AC输入端;

第一和第二DC输出端;

数个二极管;

一个开关,其第一个端点与第二AC输入端相连;

其中:采用第一、第二、第三和第四个二极管来实现混合式全桥倍压整流器,

其中,

第一个二极管的正极同时与第二个二极管的负极和第一输入端相连;第一个二极管的负极同时与第三个二极管的负极和第一个电容器的正极相连;第三个二极管的正极同时与第二输入端和开关的第一个端点相连;第二个二极管的正极同时与第四个二极管的正极和第二个电容器的负极相连;第四个二极管的负极与开关的第二个端点相连;第一个电容器的正极与第一输出端相连,其负极同时与第二个电容器的正极和第四个二极管的负极相连;第二个电容器的负极与第二输出端相连;

所述方法还包括:

根据至少第一和第二种工作模式操作这个混合式FB-VD整流器,这两种模式分别对应于低AC输入电压的正负两部分,第一种工作模式包括开关导通第一个方向,第一个电容器充电和第二个电容器放电为负载提供电功率;第二个工作模式包括开关导通第二个方向,第二个电容器充电和第一个电容器放电为负载提供电功率;

操作混合式FB-VD整流器,使得对于高AC输入电压,在正半循环中,这个开关不工作,仅仅由其体二极管导通为第一个电容器充电,在负半循环中,这个开关不工作,二极管同时为两个电容器充电。

14. 根据权利要求13所述的方法,其特征在于:低AC输入电压为90-150VAC的交流电,高AC输入电压为200-280VAC的交流电。

15. 根据权利要求14所述的方法,其特征在于:第一个电容器为400V额定电容器,第二个电容器为200V额定电容器。

16. 根据权利要求14所述的方法,其特征在于:第一个电容器和第二个电容器都为68 $\mu$ F。

17. 根据权利要求14所述的方法,其特征在于:第一、第二、第三和第四个二极管都为600V,1A,开关为一个650V,190m $\Omega$  MOSFET。

18. 根据权利要求13所述的方法,其特征在于还包括:混合式FB-VD整流器与DC-DC转换器在一个电源中的实施。

19. 根据权利要求18所述的方法,其特征在于:DC-DC转换器是一个LLC谐振转换器、LCLC谐振转换器、LCC谐振转换器、串联谐振转换器(SRC)、并联谐振转换器(PRC)、反激式转换器或正向转换器。

20. 根据权利要求19所述的方法,其特征在于:DC-DC转换器是一个LLC共振转换器。

21. 根据权利要求20所述的方法,其特征在于:LLC共振转换器包含一个线匝比为10的变压器。

## 混合式全桥倍压整流器及其单级转换器

[0001] 本专利申请要求于2017年2月14日提交的专利申请号62/458,649的优先权,于2018年2月1日提交的专利申请号15/88,5941的优先权,以上2个专利申请的公开内容以引用方式全文并入于此。

### 技术领域

[0002] 本发明涉及功率转换器,特别是混合式全桥倍压整流器及其单级转换器。

### 背景技术

[0003] 随着笔记本电脑使用的普及化,人们对具有高效率和高功率密度的交流-直流(AC-DC)电源适配器的需求持续增加。相比于反激式转换器,由于效率高,逻辑链路控制(LLC)拓扑受到了广泛的关注。早期关于以LLC为基础电源适配器的研究主要集中于90W-130W的功率设计,并且,流行采用两级配置以满足功率因数校正(PFC)和直流-直流(DC-DC)转换要求。得益于半导体制造工艺水平的提高,CPU消耗的能量越来越少,对新型电源适配器的设计要求也降低到45W-65W。在这个功率范围内,功率因数不再是一个强制性要求,因而,去除PFC配置成为可能。

[0004] 对于诸如笔记本电脑等便携式设备,AC-DC适配器最好被设计成一个通用型的AC输入。按照惯例,一个具有直流链接电容器的全桥(FB)二极管整流器经常被用作LLC转换器与网络之间的整流阶段。然而,为了实现从90VAC到264VAC的操作,LLC转换器需要具有非常高的DC电压增益,而且,这种设计也会降低效率。为了减小输入电压的操作范围,可以采用混合式全桥倍压(FB-VD)整流器(图1),这种整流器设计对220VAC使用全桥整流器,而对110VAC则采用倍压整流器。但是,如图1所示,传统的单级FB-VD整流器不仅需要很高的开关计数和开关应力,而且它的驱动设计还非常复杂。

### 发明内容

[0005] 为了解决上述问题,本发明提供一种混合式FB-VD整流器,这种整流器可以与DC-DC转换器相结合用于电源适配器,并具有高效、小尺寸和质量轻的优点。相应地,这种电源适配器特别适合用于便携式设备,比如笔记本电脑、掌上电脑和手机等。根据本发明实施例,这种混合式FB-VD整流器在220VAC时作为全桥整流器工作,在110VAC时作为倍压整流器工作。在全桥和倍压两种操作之间的自动转换可以满足不同的AC输入条件。

[0006] 本发明的第一部分内容为第一个混合式FB-VD整流器。这个混合式FB-VD整流器有两个输入端和两个输出端,两个串联起来的电容器连接在两个输出端之间。

[0007] 对于两个输入端和两个输出端,这里所述的第一个混合式FB-VD整流器在110VAC输入条件下至少提供两种工作模式。第一种工作模式是导通从第一输入端到第一输出端之间以及两个电容器的连接共同点和第二输入端之间的支路;与此同时,第一个电容器充电,第二个电容器放电。第二种工作模式是导通两个电容器的连接共同点和第二输入端之间以及从第二输出端到第一输入端之间的支路;与此同时,第一个电容器放电,第二个电容器充

电。

[0008] 对于两个输入端和两个输出端,这里所述的第一个混合式FB-VD整流器在220VAC输入条件下至少提供四种工作模式:(1)导通从第一输入端到第一输出端之间的支路;与此同时,从第二输出端到两个电容器的连接共同点之间以及两个电容器的连接共同点到第二输入端之间的支路都是导通状态,并且,第一个电容器充电,第二个电容器不工作。(2)导通从第二个输出端到两个电容器的连接共同点之间的支路,第一个电容器放电,第二个电容器不工作。(3)导通从第二输入端到第一输出端之间的支路;与此同时,从第二输出到第一输入端的支路为导通状态,并且,第一和第二个电容器同时充电。(4)除了这两个电容器外,所有支路都不导通,并且,这两个电容器同时放电。

[0009] 在本发明的一些实施例中,第一个混合式FB-VD整流器包含四个二极管,一个开关和两个电容器。

[0010] 第一个二极管的正极同时与第二个二极管的负极和第一输入端相连;第一个二极管的负极同时与第三个二极管的负极和第一个电容器的正极相连;第三个二极管的正极同时与第二输入端和开关的第一个端点相连;第二个二极管的正极同时与第四个二极管的正极和第二个电容器的负极相连;第四个二极管的负极与开关的第二个端点相连;第一个电容器的正极与第一输出端相连,且其负极同时与第二个电容器的正极和第四个二极管的负极相连;第二个电容器的负极与第二输出端相连。

[0011] 本发明的第二个部分内容为第一个单级LLC转换器,它包括本发明第一部分所述的混合式FB-VD整流器和LLC转换器,这个混合式FB-VD整流器的输出端与LLC转换器相连。

[0012] 本发明的第三部分为第二个混合式FB-VD整流器。这里所述的第二个混合式FB-VD整流器有两个输入端和两个输出端,它包括三个电容器,且第三个电容器连接在它的两个输出端之间。

[0013] 对于两个输入端和两个输出端,这里所述的第二个混合式FB-VD整流器在110VAC输入条件下至少提供三种工作模式:(1)导通从第一输入端到第一输出端之间的支路;与此同时,第一输出端和第二输入端之间的支路通过第一个电容器导通;第二输出端和第二输入端之间的支路通过第二个电容器导通,且第一和第三个电容器充电,第二个电容器放电。(2)第二个输入端和第一个输出端之间的支路通过第一个电容器导通;与此同时,第二个输入端和第一个输入端之间的支路通过第二个电容器和第二输出端导通,且第二和第三个电容器充电,第一个电容器放电。(3)第二输出端和第一输出端之间的支路通过第一和第二个电容器导通,且所有三个电容器同时放电。

[0014] 对于两个输入端和两个输出端,这里所述的第二个混合式FB-VD整流器在220VAC输入条件下至少提供两种工作模式:(1)从第一输入端到第一输出端之间的支路导通;与此同时,从第二输出端和第二输入端之间的支路导通;第一和第二个电容器不工作,第三个电容器充电。(2)从第二输入端和第一输出端之间的支路导通;与此同时,第二输出端和第一输入端之间的支路导通,第一和第二个电容器不工作,第三个电容器充电。

[0015] 在本发明的一些实施例中,第二个混合式FB-VD整流器包含四个二极管,两个开关和三个电容器。

[0016] 第一个二极管的正极同时与第二个二极管的负极和第一输入端相连;第一个二极管的负极同时与第三个二极管的负极和第一个电容器的正极相连;第三个二极管的正极同

时与第二输入端和第一个开关的第二个端点相连；第二个二极管的正极同时与第四个二极管的正极和第二个开关的第二个端点相连；第四个二极管的负极与第三个二极管的正极相连；第一个电容器的负极与第一个开关的第一个端点相连，并且这个开关的第二个端点与第二个电容器的正极相连；第二个电容器的负极与第二个开关的第一个端点相连；第三个电容器的正极同时与第一输出端和第一个电容器的正极相连，并且这个电容器的负极同时与第二输出端和第二个开关的第二个端点相连。

[0017] 本发明的第四个部分为第二个单级LLC转换器，它包括本发明第三部分所述的混合式FB-VD整流器和LLC转换器，这个混合式FB-VD整流器的输出端与LLC转换器相连。

[0018] 本发明所述的混合式整流器在220VAC时作为全桥整流器工作，在110V AC时作为倍压整流器工作。因此，在理想状态下，LLC转换器的谐振腔的设计仅仅需要考虑220VAC的情况，并且对于具有混合式整流器的单级LLC转换器来说，它所要求达到的DC增益在很大程度上将会大大减小。与目前单级LLC转换器中的传统FB-VD整流器相比，本发明所述混合整流器具有开关数目少、开关应力小和驱动设计简单化的优点，更重要的是，开关中的传导损耗也可大大减小。

[0019] 本发明所述单级LLC转换器可用于诸如笔记本电脑等低功耗电子产品的电源适配器。

[0020] 本发明的另一部分内容为一个混合式FB-VD整流器，包括：第一和第二AC输入端；第一和第二DC输出端；数个二极管；一个开关，且其第一端点连接到第二AC输入端；第一和第二个电容器串联在第一和第二输出端之间；第一和第二个电容器之间的一个共同连接点与开关的第二个端点相连；第二个电容器与一个二极管并联。这个混合式FB-VD整流器根据至少第一和第二工作模式运作，这两种模式分别对应于低AC输入电压的正负两部分。第一种工作模式包括开关导通第一个方向，第一个电容器充电和第二个电容器放电为负载提供电功率；第二个工作模式包括开关导通第二个方向，第二个电容器充电和第一个电容器放电为负载提供电功率。而对于高AC输入电压，在正半循环中，这个开关不工作，仅仅由其体二极管导通为第一个电容器充电。这里的高AC输入电压为低输入电压的两倍。

[0021] 本发明的一个实施例中，低AC输入电压为大约90-150VAC的交流电，高AC输入电压为大约200-280VAC的交流电。

[0022] 本发明的一个实施例中，这里所述的混合式FB-VD整流器包括第一、第二、第三和第四个二极管；其中，第一个二极管的正极同时与第二个二极管的负极和第一输入端相连；第一个二极管的负极同时与第三个二极管的负极和第一个电容器的正极相连；第三个二极管的正极同时与第二输入端和开关的第一个端点相连；第二个二极管的正极同时与第四个二极管的正极和第二个电容器的负极相连；第四个二极管的负极与开关的第二个端点相连；第一个电容器正极与第一输出端相连，且它的负极同时与第二个电容器的正极和第四个二极管的负极相连；第二个电容器的负极与第二输出端相连。

[0023] 在一个实施例中，第一个电容器为400V额定电容器，第二个电容器为200V额定电容器。

[0024] 在一个实施例中，第一个电容器和第二个电容器都具有相同的电容( $\mu\text{F}$ )。

[0025] 在一个实施例中，第一个电容器和第二个电容器都为68 $\mu\text{F}$ 。

[0026] 在一个实施例中，第一、第二、第三和第四个二极管都为600V, 1A, 开关为一个

650V,190mOhm MOSFET。

[0027] 本发明的另一部分内容为一种电源,它包括:上述的混合式FB-VD整流器和一个DC-DC转换器。这个DC-DC转换器可以是一个LLC谐振转换器、LCLC谐振转换器、LCC谐振转换器、串联谐振转换器(SRC)、并联谐振转换器(PRC)、反激式转换器或正向转换器。LLC转换器可为一个单级LLC转换器,它包含一个线匝比为10的变压器。

[0028] 本发明的一个实施例中,低AC输入电压为大约90-150VAC的交流电,高AC输入电压为大约200-280VAC的交流电。

[0029] 本发明的另一部分内容为一种实现混合式FB-VD整流器的方法,包括:对混合式FB-VD整流器,提供:第一和第二AC输入端;第一和第二DC输出端;数个二极管;一个开关,且其第一端点连接到第二AC输入端;第一和第二个电容器串联在第一和第二输出端之间;第一和第二个电容器的一个共同连接点与开关的第二个端点相连;第二个电容器与一个二极管并联。这种方法还包括:根据至少第一和第二种工作模式操作这个混合式FB-VD整流器,这两种模式分别对应于低AC输入电压的正负两部分,第一种工作模式包括开关导通第一个方向,第一个电容器充电和第二个电容器放电为负载提供电功率;第二个工作模式包括开关导通第二个方向,第二个电容器充电和第一个电容器放电为负载提供电功率;操作这个混合式FB-VD整流器,使得对于高AC输入电压,在正半循环中,这个开关不工作,仅仅由其体二极管导通为第一个电容器充电。

[0030] 本发明的一个实施例中,低AC输入电压为大约90-150VAC的交流电,高AC输入电压为大约200-280VAC的交流电。

[0031] 本发明的一个实施例中,这种方法通过采用第一、第二、第三和第四个二极管来实现混合式FB-VD整流器,其中,第一个二极管的正极同时与第二个二极管的负极和第一输入端相连;第一个二极管的负极同时与第三个二极管的负极和第一个电容器的正极相连;第三个二极管的正极同时与第二输入端和开关的第一个端点相连;第二个二极管的正极同时与第四个二极管的正极和第二个电容器的负极相连;第四个二极管的负极与开关的第二个端点相连;第一个电容器正极与第一输出端相连,且它的负极同时与第二个电容器的正极和第四个二极管的负极相连;第二个电容器的负极与第二输出端相连。

[0032] 在一个实施例中,第一个电容器为400V额定电容器,第二个电容器为200V额定电容器。

[0033] 在一个实施例中,第一个电容器和第二个电容器具有相同的电容( $\mu\text{F}$ )。

[0034] 在一个实施例中,第一个电容器和第二个电容器都为68 $\mu\text{F}$ 。

[0035] 在一个实施例中,第一、第二、第三和第四个二极管都为600V,1A,开关为一个650V,190mOhm MOSFET。

[0036] 这种方法还包括混合式FB-VD整流器与DC-DC转换器在一个电源中的实施。这个DC-DC转换器可以是一个LLC谐振转换器、LCLC谐振转换器、LCC谐振转换器、串联谐振转换器(SRC)、并联谐振转换器(PRC)、反激式转换器或正向转换器。LLC转换器可为一个单级LLC转换器,它包含一个线匝比为10的变压器。

[0037] 本发明的一个实施例中,低AC输入电压为大约90-150VAC的交流电,高AC输入电压为大约200-280VAC的交流电。

[0038] 本发明的另一部分内容为一个混合式FB-VD整流器,包括:第一和第二AC输入端;

第一和第二DC输出端；数个二极管；第一个开关与第一个电容器串联；第二个开关与到第二个电容器串联；第三个电容器连接在第一和第二 DC输出端之间；其中，对于低AC输入电压，这个混合式FB-VD整流器根据至少第一、第二和第三个工作模式运作；第一种工作模式对应于AC输入电压的正半循环，包括第一个开关导通为第一个电容器充电，第二个开关导通为第三个电容器充电，第二个电容器放电；第二种工作模式对应于AC输入电压的负半循环，包括第二个开关导通为第二个电容器充电，第一个开关导通为第三个电容器充电，第一个电容器放电；第三种工作模式包括第一和第二个开关导通，第一、第二和第三个电容器放电。对于高AC输入模式，第一和第二个开关不工作，仅仅第三个电容器充电和放电。

[0039] 本发明的一个实施例中，低AC输入电压为大约90-150VAC的交流电，高AC输入电压为大约200-280VAC的交流电。

[0040] 本发明的一个实施例中，这里所述的混合式FB-VD整流器包括第一、第二、第三和第四个二极管；其中，第一个二极管的正极同时与第二个二极管的负极和第一输入端相连；第一个二极管的负极同时与第三个二极管的负极和第一个电容器的正极相连；第三个二极管的正极同时与第二输入端和第一个开关的第二个端点相连；第二个二极管的正极同时与第四个二极管的正极和第二个开关的第二个端点；第四个二极管的负极与第三个二极管的正极相连；第一个电容器负极与第一个开关的第一个端点相连；第一个开关的第二个端点与第二个电容器的正极相连；第二个电容器的负极与第二个开关的第一个端点相连；第三个电容器的正极同时与第一输出端和第一个电容器的正极相连；第三个电容器的负极同时与第二输出端和第二个开关的第二个端点相连。

[0041] 在一个实施例中，第一个电容器和第二个电容器都为200V额定电容器，第三个电容器为400V额定电容器。

[0042] 在一个实施例中，第一个电容器和第二个电容器具有相同的电容( $\mu\text{F}$ )。

[0043] 在一个实施例中，第一个电容器和第二个电容器都为47 $\mu\text{F}$ ，第三个电容器为22 $\mu\text{F}$ 。

[0044] 在一个实施例中，第一、第二、第三和第四个二极管都为600V,1A，第一和第二个开关都为650V,190mOhmMOSFET。

[0045] 本发明的另一部分内容作为一种电源，它包括：上述的混合式FB-VD整流器和一个DC-DC转换器。这个DC-DC转换器可以是一个LLC谐振转换器、LCLC谐振转换器、LCC谐振转换器、串联谐振转换器(SRC)、并联谐振转换器(PRC)、反激式转换器或正向转换器。LLC转换器可为一个单级LLC转换器，它包含一个线匝比为10的变压器。

[0046] 本发明的一个实施例中，低AC输入电压为大约90-150VAC的交流电，高AC输入电压为大约200-280VAC的交流电。

[0047] 本发明的另一部分内容作为一种实现混合式FB-VD整流器的方法，包括：对混合式FB-VD整流器，提供：第一和第二AC输入端；第一和第二DC输出端；数个二极管；第一个开关与第一个电容器串联；第二个开关与第二个电容器串联；第三个电容器连接在第一和第二DC输出端之间；这种方法还包括：对于低AC输入电压，这个混合式FB-VD整流器根据至少第一、第二和第三种工作模式运作。第一种工作模式对应于AC输入电压的正半循环，包括第一个开关导通为第一个电容器充电，第二个开关导通为第三个电容器充电，第二个电容器放电；第二种工作模式对应于AC输入电压的负半循环，包括第二个开关导通为第二个电容器充电，第一个开关导通为第三个电容器充电，第一个电容器放电；第三种工作模式包括第一



和第二个开关导通,第一、第二和第三个电容器放电。对于高AC输入模式,操作这个混合式FB-VD整流器,使得第一和第二个开关都不工作,仅仅第三个电容器进行充电和放电。

[0048] 本发明的一个实施例中,低AC输入电压为大约90-150VAC的交流电,高AC输入电压为大约200-280VAC的交流电。

[0049] 本发明的一个实施例中,这种方法通过采用第一、第二、第三和第四个二极管来实现混合式FB-VD整流器,其中,第一个二极管的正极同时与第二个二极管的负极和第一输入端相连;第一个二极管的负极同时与第三个二极管的负极和第一个电容器的正极相连;第三个二极管的正极同时与第二输入端和第一个开关的第二个端点相连;第二个二极管的正极同时与第四个二极管的正极和第二个开关的第二个端点相连;第四个二极管的负极与第三个二极管的正极相连;第一个电容器的负极与第一个开关的第一个端点相连;第一个开关的第二个端点与第二个电容器的正极相连;第二个电容器的负极与第二个开关的第一个端点相连;第三个电容器的正极同时与第一输出端和第一个电容器的正极相连,且它的负极同时与第二输出端和第二个开关的第二个端点相连。

[0050] 在一个实施例中,第一个电容器和第二个电容器都为200V额定电容器,第三个电容器为400V额定电容器。

[0051] 在一个实施例中,第一个电容器和第二个电容器具有相同的电容( $\mu\text{F}$ )。

[0052] 在一个实施例中,第一个电容器和第二个电容器都为47 $\mu\text{F}$ ,第三个电容器为22 $\mu\text{F}$ 。

[0053] 在一个实施例中,第一、第二、第三和第四个二极管都为600V,1A,第一和第二个开关都为650V,190mOhm MOSFET。

[0054] 这种方法还包括混合式FB-VD整流器与DC-DC转换器在一个电源中的实现。这个DC-DC转换器可以是一个LLC谐振转换器、LCLC谐振转换器、LCC谐振转换器、串联谐振转换器(SRC)、并联谐振转换器(PRC)、反激式转换器或正向转换器。LLC转换器可为一个单级LLC转换器,它包含一个线匝比为10的变压器。

[0055] 本发明的一个实施例中,低AC输入电压为大约90-150VAC的交流电,高AC输入电压为大约200-280VAC的交流电。

[0056] 本发明内容还包括用于控制FB-VD整流器开关的控制器,以及可选择性地控制DC-DC转换器开关的控制器。

## 附图说明

[0057] 为了清晰地描述本发明,如下附图用来详细说明本发明在具体实施例中的应用。

[0058] 图1为具有传统FB-VD整流器的单级LLC转换器的电路示意图。

[0059] 图2为传统FB-VD整流器的电路示意图。

[0060] 图3A为本发明所述实施例中FB-VD整流器#1的电路示意图。

[0061] 图3B为本发明所述实施例中包括FB-VD整流器#1和DC-DC转换器的电源适配器的电路示意图。

[0062] 图4为图3A中FB-VD整流器#1实施例在110VAC输入时的电压(上图)和电流(下图)波形图。

[0063] 图5A为图3A中FB-VD整流器#1实施例在110VAC输入时的正半循环的运作模式示意图。

[0064] 图5B为图3A中FB-VD整流器#1实施例在110VAC输入时的负半循环的运作模式示意图。

[0065] 图6为图3A中FB-VD整流器#1实施例在220VAC输入时的电压(上图) 和电流(下图) 波形图。

[0066] 图7A为图3A中FB-VD整流器#1实施例在220VAC输入时的正半循环中电容器充电过程运作模式示意图。

[0067] 图7B为图3A中FB-VD整流器#1实施例在220VAC输入时的正半循环中电容器放电过程运作模式示意图。

[0068] 图7C为图3A中FB-VD整流器#1实施例在220VAC输入时的负半循环中电容器充电过程运作模式示意图。

[0069] 图7D为图3A中FB-VD整流器#1实施例在220VAC输入时的负半循环中电容器放电过程运作模式示意图。

[0070] 图8A为本发明所述实施例中FB-VD整流器#2的电路示意图。

[0071] 图8B为本发明所述实施例中包括FB-VD整流器#2和DC-DC转换器的电源适配器的电路示意图。

[0072] 图9为图8A中FB-VD整流器#2实施例在110VAC输入时的电压(上图) 和电流(下图) 波形图。

[0073] 图10A为显示图8A中FB-VD整流器#2实施例在110VAC输入时第一种运作模式的电路图。

[0074] 图10B为显示图8A中FB-VD整流器#2实施例在110VAC输入时第二种运作模式的电路图。

[0075] 图10C为显示图8A中FB-VD整流器#2实施例在110VAC输入时第三种运作模式的电路图。

[0076] 图11为图8A中FB-VD整流器#2实施例在220VAC输入时的电压(上图) 和电流(下图) 波形图。

[0077] 图12A为显示图8A中FB-VD整流器#2实施例在220VAC输入时第一种运作模式的电路图。

[0078] 图12B为显示图8A中FB-VD整流器#2实施例在220VAC输入时第二种运作模式的电路图。

[0079] 图13为FB-VD整流器#2实施例 ( $C_1=C_2=47\mu\text{F}$  200V和 $C_3=22\mu\text{F}$  400V) 与传统全桥(FB) (电容为 $68\mu\text{F}$  400V) 整流器在110V 60HzAC输入条件下的整流电压波形图。

[0080] 图14为FB-VD整流器#2实施例 ( $C_1=C_2=47\mu\text{F}$  200V和 $C_3=22\mu\text{F}$  400V) 与传统全桥(FB) (电容为 $68\mu\text{F}$  400V) 整流器在220V 50HzAC输入条件下的整流电压波形图。

[0081] 图15A和图15B为两种电压增益分别为3.5和1.7的LLC转换器的模拟共振电流应力结果图。

[0082] 图16为本发明实施例中FB-VD整流器#1在110V 60HzAC输入条件下的实验波形图。 $V_{ac}$ 输入电压(100V/div);  $V_o$ 整流DC电压(100V/div);  $I_{ac}$  输入电流(2A/div)。

[0083] 图17为本发明实施例中FB-VD整流器#1在220V 50HzAC输入条件下的实验波形图。 $V_{ac}$ 输入电压(100V/div);  $V_o$ 整流DC电压(100V/div);  $V_{C2}$  (20V/div);  $I_{ac}$ 输入电流(2A/

div)。

[0084] 图18为本发明实施例中FB-VD整流器#2在110V 60HzAC输入条件下的实验波形图。 $V_{ac}$ 输入电压(100V/div); $V_o$ 整流DC电压(100V/div); $I_{ac}$ 输入电流(2A/div)。

[0085] 图19为本发明实施例中FB-VD整流器#2在220V 50HzAC输入条件下的实验波形图。 $V_{ac}$ 输入电压(100V/div); $V_o$ 整流DC电压(100V/div); $I_{ac}$ 输入电流(2A/div)。

[0086] 图20为本发明实施例中LLC转换器在200V DC输入电压和700kHz转换频率下的实验波形图。 $V_o$  DC电压(5V/div); $V_{gs2Q2}$ 栅极信号(5V/div); $V_{ds2Q2}$ 漏-源极电压(50V/div); $I_{Lr}$ 共振电流(1A/div)。

[0087] 图21为本发明实施例中LLC转换器在265V DC输入电压和850kHz转换频率下的实验波形图。 $V_o$  DC电压(5V/div); $V_{gs2Q2}$ 栅极信号(5V/div); $V_{ds2Q2}$ 漏-源极电压(100V/div); $I_{Lr}$ 共振电流(1A/div)。

[0088] 图22为本发明实施例中LLC转换器在310V DC输入电压和1MHz转换频率下的实验波形图。 $V_o$  DC电压(10V/div); $V_{gs2Q2}$ 栅极信号(10V/div); $V_{ds2Q2}$ 漏-源极电压(100V/div); $I_{Lr}$ 共振电流(1A/div)。

### 具体实施方式

[0089] 为了便于描述,在本发明实施例中,将二极管作为一个通用器件来代替所有具有单向导电特性的电路元件,二极管的正极即为阳极,负极即为阴极。这样,其他合适的器件就可能被用作本发明中的电路元件。

[0090] 为了便于描述,“开关”一词意在指一个开关;在这个开关作用下中,电流可以双向流动,并在一个方向上承受电压,例如,并联二极管的IGBT或内嵌并联二极管的MOSFET。

[0091] 为了便于描述,在本发明实施例中,将MOSFET作为一个通用器件来代替具有可控传导功能的所有开关器件。以N型沟道MOSFET为例,N型沟道MOSFET的第二个接线端即为漏极,第二个接线端即为源极,控制端为栅极。本发明中每一个开关的控制端由它自己提供的信号控制。这样,其他合适的器件诸如IGBT、TRIAC、机械或固态继电器就可能被用作具有可控传导功能的开关。

[0092] 为了确保每一条电路支路包括开关中的电流都是双向流动的,本发明中的每一个开关都与一个二极管反向并联。例如,在一个MOSFET中,如果电流从漏极流向源极,这个电流就被标注为正向电流;如果电流从源极流向漏极,也就是说,电流为负,那么电流就会在MOSFET或串联二极管中流动。由于这种相反的电流方向,这个串联二极管有时被称为反向二极管。

[0093] 本发明中关于描述的词语“第一”、“第二”等仅仅是用来区分某一个元件或操作,并不是表示它们当中某种真正的关系或顺序。

[0094] 这里所描述的具体实施例涉及混合式FB-VD整流器和包含这个混合式FB-VD整流器的单级DC-DC转换器。这里适合的转换器包括但不限于LLC谐振转换器、LCLC谐振转换器、LCC谐振转换器、串联谐振转换器(SRC)、并联谐振转换器(PRC)、反激式转换器或正向转换器等。虽然本发明实施例主要描述了单级LLC转换器,但本发明并不局限于这种单级LLC转换器。这些实施例在两种AC电压输入条件下操作,即低AC输入电压和高AC输入电压,并且,在一些实施例中,高AC输入电压可能为低AC输入电压的两倍。虽然其他的电压范围也是

可能的,比如90-150V AC和200-280V AC,但这里典型的低AC输入电压大约为110-130V AC,高AC输入电压为大约220-260V AC。在整个描述中,根据实际情况,110V AC和220V AC作为低AC电压和高AC 电压使用,但是本发明实施例并不局限于此。

[0095] 根据本发明,一种混合式FB-VD整流器,在220V AC时作为全桥整流器工作,在110V AC时作为倍压整流器工作。它可以自动在全桥和倍压两种配置之间转换以满足不同的AC输入电压范围。

[0096] 本发明可以在需要进行AC-DC功率转换的应用中使用。但是,由于本发明具有高效率,结构紧凑和质量轻等优点,本发明特别适合应用于便携式器件的 AC-DC电源适配器中,比如智能电话,平板电脑和笔记本电脑。

[0097] 下面,将通过附图对本发明具体实施例进行详细描述。

[0098] 图2显示了传统FB-VD整流器的电路示意图。从图2可见,这个传统FB-VD 整流器由四个二极管、两个开关和两个电容器组成。在实际应用中,比如在220V AC输入时,这两个电容器应该为具有相同电容值的200V额定电解电容器。

[0099] 图3A为本发明实施例中一个混合式FB-VD整流器的电路示意图。为了简洁,这里用“FB-VD整流器#1”指代这个实施例。如图3A所示,FB-VD整流器 #1有两个输入端 $I_{in1}$ ,  $I_{in2}$ 和两个输出端 $I_{out1}$ ,  $I_{out2}$ ,包括四个二极管( $D_1, D_2, D_3, D_4$ )、一个开关(S)和两个电容器( $C_1$ 和 $C_2$ )。

[0100] 第一个二极管 $D_1$ 的正极同时与第二个二极管 $D_2$ 的负极和第一输出端 $I_{in1}$ 相连;第一个二极管 $D_1$ 的负极同时与第三个二极管 $D_3$ 的负极和第一个电容器 $C_1$ 的正极相连;第三个二极管 $D_3$ 的正极同时与第二输入端 $I_{in2}$ 和开关S的第一个端点相连;第二个二极管 $D_2$ 的正极同时与第四个二极管 $D_4$ 的正极和第二个电容器 $C_2$ 的负极相连;第四个二极管 $D_4$ 的负极与开关S的第二个端点相连;第一个电容器 $C_1$ 的正极与第一输出端 $I_{out1}$ 相连,且它的负极同时与第二个电容器 $C_2$ 的正极和第四个二极管 $D_4$ 的负极相连;第二个电容器 $C_2$ 的负极与第二输出端 $I_{out2}$ 相连。

[0101] 在实际应用中,比如在220V AC输入时,第一个电容器 $C_1$ 应为一个400V 额定电解电容器,第二个电容器 $C_2$ 应为一个200V额定电解电容器。这种400V 额定电容器如 $C_1$ 用于220V AC输入。可见,这里仅仅使用了一个开关(MOSFET),而不像传统结构中使用两个开关。

[0102] 与传统结构相比,当FB-VD整流器#1在110V AC以倍压模式工作时,开关中的传导损耗将会减小一半。一般来讲,就效率而言,由于电流应力很高,110V AC是最坏的情况。这样,在110V AC时能够减少损耗将是非常令人满意的。

[0103] 图4显示了110V AC时FB-VD整流器#1的波形。 $V_{ac}$ 为输入电压,  $V_{o\_FBVD\_1}$ 为整流器的输出电压, $V_{C1}$ 和 $V_{C2}$ 分别为 $C_1$ 和 $C_2$ 上的电压应力, $I_{D1}$ 和 $I_{D2}$ 分别为二极管 $D_1$ 和 $D_2$ 上的电流应力。

[0104] 当AC输入电压低于输出电压时,电路中没有电流。两个并联的电容器 $C_1$ 和  $C_2$ 放电为负载提供电功率。在正半循环中,当AC电压强度高于 $C_1$ 电压时, $C_1$ 将会被充电。在负半循环中,当AC电压强度高于 $C_2$ 电压时, $C_2$ 将会被充电。充电电流大约等于二极管的输入电流。在充电过程中,输入电流在整流器中引起损耗,下面将会对这个充电过程进行分析。

[0105] 图5A和图5B显示了FB-VD整流器#1在110V AC时的充电过程。如图 5A所示,在正半循环中, $D_1, C_1, S$ 导通, $C_1$ 由AC源充电。充电回路为:  $V_{ac} \rightarrow D_1 \rightarrow C_1 \rightarrow S \rightarrow V_{ac}$ 。需要注意的是,在这个过程中, $C_2$ 不充电,而是放电给负载提供电功率。如图5B所示,在负半循环中, $S, C_2, D_2$ 导

通,  $C_2$ 由AC源充电。充电回路为:  $V_{ac} \rightarrow S \rightarrow C_2 \rightarrow D_2 \rightarrow V_{ac}$ 。在这个过程中,  $C_1$ 放电给负载提供电功率。

[0106] 图6显示了FB-VD整流器#1在220V AC输入时的波形。尽管 $C_1$ 在400V左右,  $C_2$ 稍微参与功率转换, 但FB-VD整流器#1的输出与全桥整流器类似。为了简洁, 这里不再做详细描述。

[0107] FB-VD整流器#1在220V AC输入时的运行模式如图7A-7D所示。图7A显示了正半循环中的充电过程。 $D_1, C_1$ 和S的体二极管导通并通过回路:  $V_{ac} \rightarrow D_1 \rightarrow C_1 \rightarrow S \rightarrow V_{ac}$ 给 $C_1$ 充电。然而, 由于缺少充电路径,  $C_2$ 不充电。 $D_4$ 给负载提供电功率并将 $C_2$ 稳定在0V。如图7B所示, 在正半循环的放电过程中,  $C_1$ 通过 $D_4$ 放电为负载提供电功率,  $C_2$ 仍然稳定在0V。图7C显示了负半循环中的充电过程。 $C_1$ 和 $C_2$ 同时通过 $D_2$ 和 $D_3$ 充电。充电回路为:  $V_{ac} \rightarrow D_3 \rightarrow C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow D_2 \rightarrow V_{ac}$ 。由于两个电容器的等价电容已经减小到 $C_1$ (或 $C_2$ )的一半, 相对于正半循环, 输入电流也减小大约一半。图7D显示了负半循环中的放电过程。当 $C_2$ 在如图7C所示状态中充电时, 它也参与放电。当 $C_2$ 的电压减小到0V时,  $D_4$ 将导通,  $C_1$ 独自为负载提供电功率。当 $C_2$ 的电压减小到0V时, 这个过程与图7B所示相同。

[0108] 图8A显示了本发明所述实施例的第二个混合式FB-VD整流器的电路图。如图8A所示, 第二个混合式FB-VD整流器有两个输入端 $I_{in1}, I_{in2}$ 和两个输出端 $I_{out1}, I_{out2}$ , 包含4个二极管( $D_1, D_2, D_3, D_4$ ), 二个开关( $S_1$ 和 $S_2$ )以及三个电容器( $C_1, C_2$ 和 $C_3$ )。为了简洁, 这里用FB-VD整流器#2指代第二个混合式FB-VD整流器。

[0109] 第一个二极管 $D_1$ 的正极同时与第二个二极管 $D_2$ 的负极和第一输出端 $I_{in1}$ 相连; 第一个二极管 $D_1$ 的负极同时与第三个二极管 $D_3$ 的负极和第一个电容器 $C_1$ 的正极相连; 第三个二极管 $D_3$ 的正极同时与第二输入端 $I_{in2}$ 和第一个开关 $S_1$ 的第二个端点相连; 第二个二极管 $D_2$ 的正极同时与第四个二极管 $D_4$ 的正极和第二个开关 $S_2$ 的第二个端点相连; 第四个二极管 $D_4$ 的负极与第三个二极管的正极相连; 第一个电容器 $C_1$ 的负极与第一个开关 $S_1$ 的第一个端点相连, 且这个开关的第二个端点与第二个电容器 $C_2$ 的正极相连; 第二个电容器 $C_2$ 的负极与第二个开关 $S_2$ 的第一个端点相连; 第三个电容器 $C_3$ 的正极同时与第一输出端 $I_{out1}$ 和第一个电容器 $C_1$ 的正极相连, 且它 $C_3$ 的负极同时与第二输出端 $I_{out2}$ 和第二个开关 $S_2$ 的第二个端点相连。

[0110] 如图8A所示, 对于FB-VD整流器#2, 这两个开关 $S_1$ 和 $S_2$ 放置于电容器跳线支路上, 而不是像在传统结构中那样放置于正常支路上(见图2)。所以, 这个 $S_1$ 和 $S_2$ 中的传导损耗仅仅为传统结构中 $S_1$ 和 $S_2$ 的一半。从热效应的角度看, 这种FB-VD整流器#2结构也是非常有益的, 因为热源点是分离的。在220V AC操作时,  $C_1$ 和 $C_2$ 是不相连的。

[0111] 在实际应用中, 全桥模式运作需要一个400V额定电容器 $C_3$ , 当输入为220V AC时, 电压波纹远小于110V AC输入的电压波纹, 则 $C_3$ 可取值较小。当操作在110V时,  $C_1, C_2$ 和 $C_3$ 工作。这样,  $C_1$ 和 $C_2$ 的选取值就可以比传统结构的值小。

[0112] 在一个实施例中,  $C_1$ 和 $C_2$ 电容值可选为200V时47 $\mu$ F,  $C_3$ 可选为400V时22 $\mu$ F。这样, 由于电容和额定电压的总乘积(CV)非常接近, 所以,  $C_1, C_2$ 和 $C_3$ 的总尺寸应与传统FB-VD结构中的两个200V时68 $\mu$ F的电容器相似。

[0113] 图9显示了FB-VD整流器#2在110V AC时的波形。 $V_{ac}$ 为60Hz时的输入AC电压;  $V_{o\_FBVD\_2}$ 为整流器的输出电压;  $V_{C1}$ 和 $V_{C2}$ 分别为 $C_1$ 和 $C_2$ 上的电压。 $I_{D1}$ 和 $I_{D2}$ 分别为二极管 $D_1$ 和 $D_2$ 上的电流应力。

[0114] 图10A-10C显示了FB-VD整流器#2在110V AC输入时的运作模式。如图10A所示,在正半循环中, $C_1$ 通过 $D_1$ 和 $S_1$ 充电,充电回路为  $V_{ac} \rightarrow D_1 \rightarrow C_1 \rightarrow S_1 \rightarrow V_{ac}$ 。 $C_3$ 通过 $D_1$ 和 $S_2$ 充电,充电回路为: $V_{ac} \rightarrow D_1 \rightarrow C_3 \rightarrow S_2 \rightarrow C_2 \rightarrow V_{ac}$ 。 $C_2$ 放电,并为 $C_3$ 和负载提供电流。正如我们在图9中所看到的,在 $C_1$ 充电的过程中, $V_{C2}$ 有所减小。

[0115] 如图10B所示,在负半循环中, $C_2$ 通过 $S_2$ 和 $D_2$ 充电,充电回路为:  $V_{ac} \rightarrow C_2 \rightarrow S_2 \rightarrow D_2 \rightarrow V_{ac}$ 。 $C_3$ 通过 $S_1$ 和 $D_2$ 充电,充电回路为: $V_{ac} \rightarrow S_1 \rightarrow C_1 \rightarrow C_3 \rightarrow D_2 \rightarrow V_{ac}$ 。 $C_1$ 放电为 $C_3$ 和负载同时提供电流。如图10C所示,当电容器不充电时, $C_1$ 和  $C_2$ 串联与 $C_3$ 在正和负半循环过程中同时为负载提供电功率。

[0116] 图11显示了FB-VD整流器#2在220V AC输入时的波形。 $C_1, C_2, S_1$ 和  $S_2$ 在220V不工作; $D_1, D_2, D_3, D_4$ 和 $C_3$ 作为全桥整流器工作。

[0117] 图12A和12B显示了FB-VD整流器#2在220V AC时的运作。电容器 $C_3$ 在正和负半循环中的充电过程分别如图12A和12B所示,在正半循环中, $D_1$ 和 $D_4$ 导通,在负半循环中, $D_2$ 和 $D_3$ 导通。当整流器不工作时(也就是, $D_1, D_2, D_3, D_4$ 都不导通时), $C_3$ 为负载提供电功率。

[0118] 这里将从损耗和功率密度的角度对本发明的FB-VD整流器#1和#2与传统结构进行对比和分析。

[0119] 分析所用传统FB-VD整流器和本发明具体实施例的具体结构参数如表1所示,输入功率为65W。为了安全起见,650V MOSFETs作为FB-VD整流器中的开关使用。表中的功率密度以一个65W,1MHz的7.5cm(长)\*3.2cm(宽) \*2.2cm(高)LLC为原型结构进行计算。

[0120] 表1FB-VD整流器的具体参数

	传统 FB-VD 整流器	本 发 明 FB-VD 整流器 #1	本发明 FB-VD 整流器#2
功率	65W		
$D_1 - D_4$	600V 1V@1A (ES1J)		
MOSFETs	650V 190mOhm (IPD65R190C7)		
开关编号	2	1	2
$C_1$	68 $\mu$ F (200 V)	68 $\mu$ F (400 V)	47 $\mu$ F (200 V)
$C_2$	68 $\mu$ F (200 V)	68 $\mu$ F (200 V)	47 $\mu$ F (200 V)
$C_3$	N/A	N/A	22 $\mu$ F (400 V)
CV 乘积	27,200 $\mu$ F*V	40,800 $\mu$ F*V	27,600 $\mu$ F*V
功率密度	1.23 W/cm <sup>3</sup>	1.15 W/cm <sup>3</sup>	1.23 W/cm <sup>3</sup>

[0123] 这三个FB-VD整流器在110V和220V两种情况下的损耗分析分别总结于表2和表3。计算中,输入二极管桥的正向压降为1V,电解电容的损耗角为0.15,这个数值为商业化电解电容器的参数数值。MOSFET的 $R_{dson}$ 如表1所示。各种元器件的电流应力由PSIM(Powers im Inc.,Rockville,MD,USA)仿真得到。

[0124] 在110V AC输入时,由于电流比较高,损耗几乎翻倍,FB-VD整流器#1和 #2相对于传统FB-VD整流器有比较低的总损耗。如表2所示,总损耗从1W减小到大约0.75W,也就是减小了原来的四分之一。因而,总效率提高了大约0.4% (0.25W/65W)。需要强调的是,如果用作同步整流器(SR)运作的MOSFETs 来代替 $D_2$ 和 $D_4$ ,由于传导损耗更低,总效率还会得到更显著地提高。如表3 所示,还可以看到,在220V运作时,这三个FB-VD整流器有相似的损耗。

[0125] 表2110V AC时FB-VD整流器的损耗

	传 统 FB-VD 整流器	本 发 明 FB-VD 整流器#1	本 发 明 FB-VD 整流器#2
[0126] $D_1 - D_4$	0.512W	0.512W	0.548 W
$S_1, S_2$	0.435 W	0.218 W	0.15 W
$C_1, C_2$	0.03 W	0.03 W	0.03 W
$C_3$	N/A	N/A	0.002 W
总和	0.98 W	0.76 W	0.73 W

[0127] 表3220V AC时FB-VD整流器的损耗

	传统 FB-VD 整流器	本 发 明 FB-VD 整流器#1	本 发 明 FB-VD 整流器#2
[0128] $D_1 - D_4$	0.474 W	0.452 W	0.48 W
$S_1, S_2$	0 W	0.07 W	0 W
$C_1, C_2$	0.017 W	0.03 W	0 W
[0129] $C_3$	N/A	N/A	0.02 W
总和	0.49 W	0.55 W	0.5 W

[0130] 正如上所述,混合式FB-VD整流器可与DC-DC转换器结合用于电源适配器以获得高效、小尺寸和质量轻的优点。例如,一个电源适配器可以包含FB-VD 整流器#1或FB-VD整流器#2和一个单级DC-DC转换器,分别如图3B和8B所示,这个混合式FB-VD整流器的输出端与DC-DC转换器的输入端相连。

[0131] 在一个实施例中,这种单级DC-DC转换器可以是一个LLC转换器。例如,可以采用图1中所示的LLC转换器。采用混合式整流器主要是为了缩小LLC运作的DC输入电压范围,也就是LLC段所需电压增益。通过这种方式,可以采用一个较大的励磁电感来减小谐振腔内的磁化和谐振电流(进而减小传导损失)。

[0132] LLC的具体结构设计参数如表4所示。最大DC输入电压由 $264V \times 1.414 = 373V$  ( $264V_{ac} = 220V_{ac} \times 120\%$ ,其中120%为AC电网的最大波动)计算得到。在这电压下,LLC转换器应该在共振频率下工作。以这个为标准,19V 输出电压时的线匝比设计为10:1。

[0133] 表4具体设计参数

[0134]

输入AC电压	90V AC-264V AC
最大输入DC电压	373V DC
输出电压	19V DC
线匝比	10:1
输出功率	65W

[0135] 采用FB-VD整流器#2的整流DC电压作为一个参考值来与全桥整流器(注意:不是传统FB-VD整流器)在220V, 50Hz和110V, 60Hz AC两种输入状态下的整流电压进行比较。对FB-VD整流器#1来说,结果应该是相似的。对于FB-VD整流器#2,采用两个47 $\mu$ F 200V的电容器和一个22 $\mu$ F 400V的电容器。对于全桥整流器,用一个68 $\mu$ F 400V的电容器来匹配FB-VD整流器#2中电容器的CV乘积(尺寸)。图13和14显示了这两种配置的整流DC电压。在图13中,全桥整流器的DC电压范围( $V_{o\_FB}$ )为107V到152V,而FB-VD整流器#2的DC电压范围( $V_{o\_FBVD\_2}$ )增加到225V和260V之间。

[0136] 在图14中,220V输入时,全桥整流器的DC电压范围非常窄,通常在278V 和305V之间。然而,对于FB-VD整流器,DC电压的最小值大约为223V,这个值与它在110V输入时的值非常接近。

[0137] 由此可以得出结论,采用一个包含FB-VD整流器的LLC转换器能够在很大程度上降低整流DC电压范围,同时,我可以看到,DC电压的最小值从107V 增加到223V,这意味着LLC所需的电压增益可以从3.5 (373V/107V)减小到1.7 (373V/223V)。

[0138] 表5LLC设计参数

[0139]

	LLC设计#1	LLC设计#2
Lr	7 $\mu$ H	7 $\mu$ H
Cr	2nF	2nF
Lm	15 $\mu$ H	35 $\mu$ H
增益 ( $V_{in\_min}$ )	3.5 (107V)	1.7 (223V)

[0140] 图15A和15B显示了根据107V和223V最小输入设计的LLC转换器(LLC设计#1和LLC设计#2)的共振电流的比较。表5为这两种结构的设计参数。可见,就RMS值和峰值而言,共振电流快速减小(减半),同时所需电压增益从LLC设计#1的3.5减小到LLC设计#2的1.7。根据上述结果,可知,半桥(HB)开关和变压器(电感器集成)的传导损耗减小了四分之一。

[0141] 为了验证本发明所述的两种FB-VD整流器#1和#2的可行性,这里根据表4 所示参数构建一个65W的原型结构,并采用表1所示FB-VD整流器设计参数。单独测试FB-VD整流器#1和#2产生图16-19所示结果;根据表5所示的LLC设计#2参数构建了一个LLC转换器,并通过测试产生图20-22所示结果。

[0142] 图16显示了FB-VD整流器#1在110V 60Hz AC输入时测量的波形。整流DC电压从225V增加的275V,与模拟结果一致。输入电流应力的峰值为4 A。由于电路中寄生分量的影响,这个数值比模拟结果稍高。

[0143] 图17显示了FB-VD整流器#1在220V 50Hz AC输入时测量的波形。这些结果与模拟非常一致。在正半循环中,仅仅C<sub>1</sub>充电,而在负半循环中,C<sub>1</sub>和 C<sub>2</sub>同时充电,这就是产生非对



称波形的原因。

[0144] 图18显示了FB-VD整流器#2在110V 60Hz AC输入时测量的波形。图 19显示了FB-VD整流器#2在220V 50Hz AC输入时的波形。这些结果与模拟和分析结果非常一致。

[0145] 在实际中,考虑到功率损耗以及100V AC输入操作,LLC的输入电压操作范围应该设计的更宽一些。在这个实施例中,LLC的操作电压范围为200V 到370V。

[0146] 图20显示了200V DC输入操作时LLC设计#2的测量波形。其转换频率为700kHz,共振电流由一个35 $\mu$ H的磁化感应体 $L_m$ 控制在1A之下。从图20 中可看出,在最低输入电压200V,HB开关获得零压转换(ZVS)。

[0147] 图21显示了265V DC输入操作时LLC设计#2的测量波形,这是在110V AC时的最大输入电压。其转换频率为850kHz,共振腔电流为0.85A,作为RMS 值。

[0148] 图22显示了310V DC输入时LLC设计#2的测量波形,这个电压为220V AC输入时的最大电压。其转换频率达到1MHz,共振腔电流为0.75A,作为 RMS值,并获得ZVS操作。

[0149] 需要注意的是,图20-22的波形图中的时间单位(400ns/div)与与图16-19 中波形图中的时间单位(4ms/div)不同。

[0150] 以上所述的实施例仅为了说明本发明的技术思想及特点,其目的在于使本领域的普通技术人员能够了解本发明的内容并据以实施,本专利的范围并不仅局限于上述具体实施例,即凡依本发明所揭示的精神所作的同等变化或修饰,仍涵盖在本发明的保护范围。

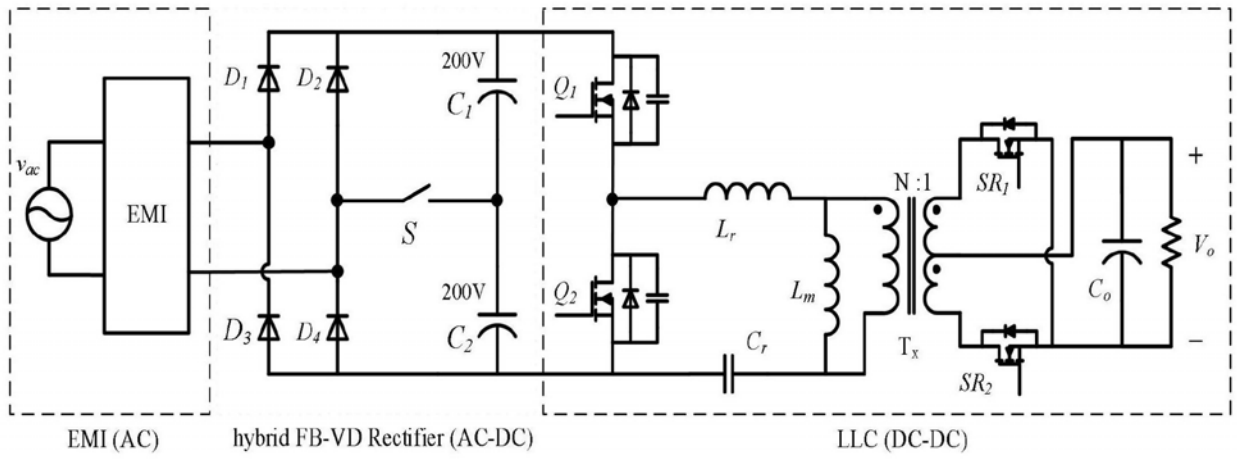


图1

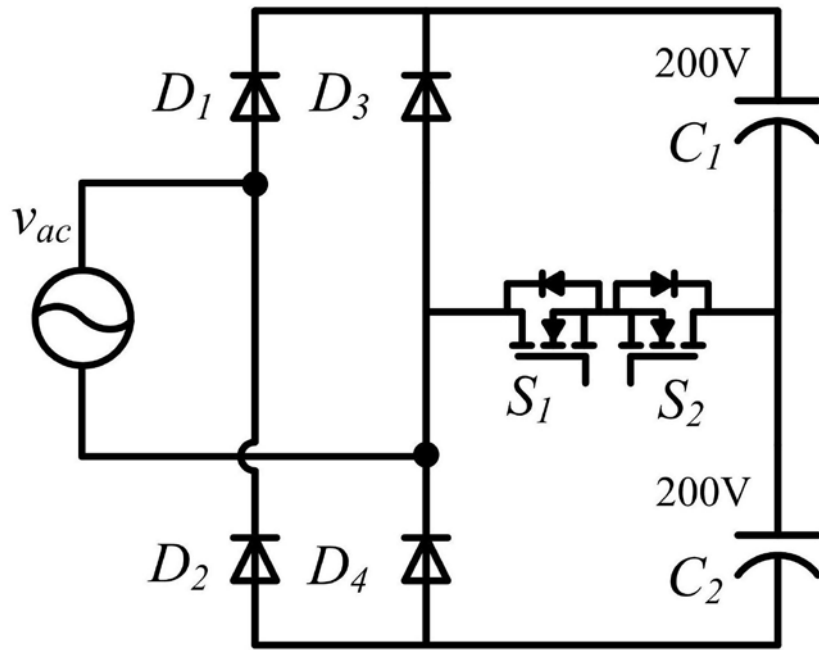


图2

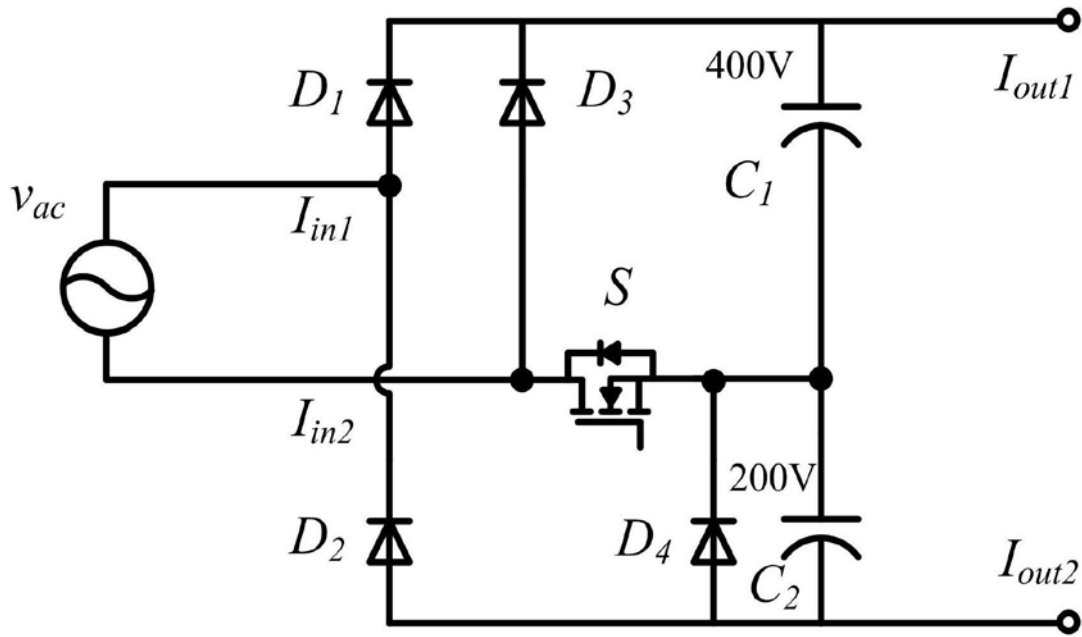


图3A

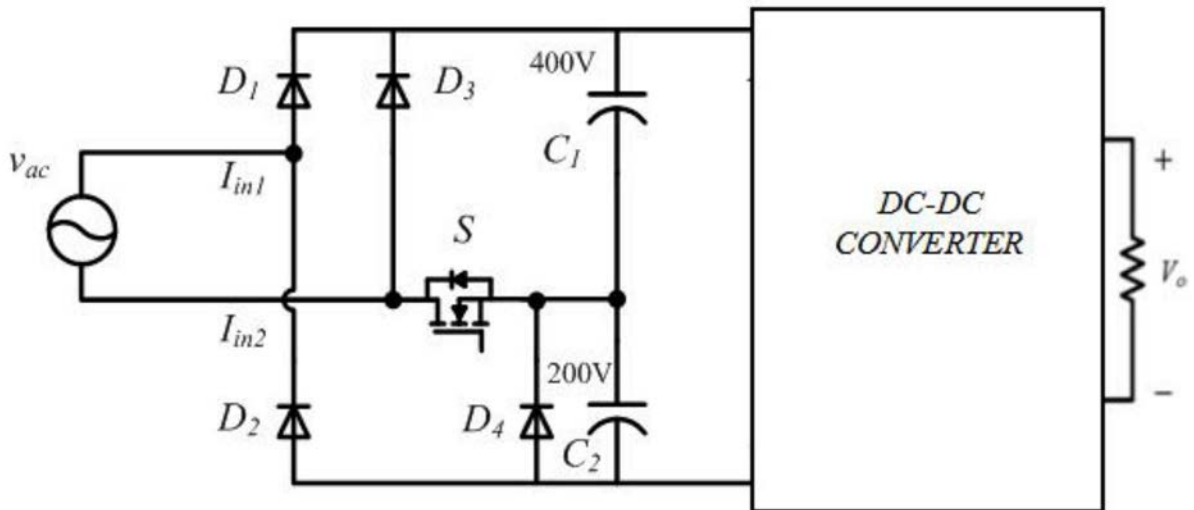


图3B

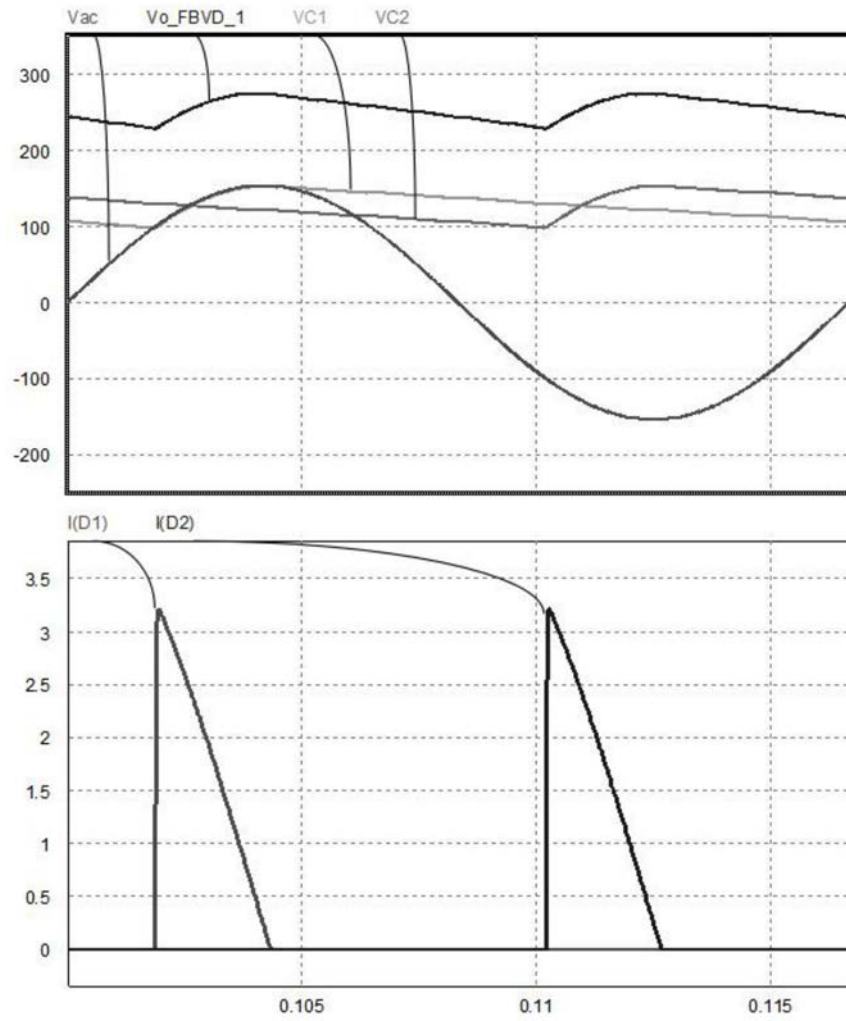


图4

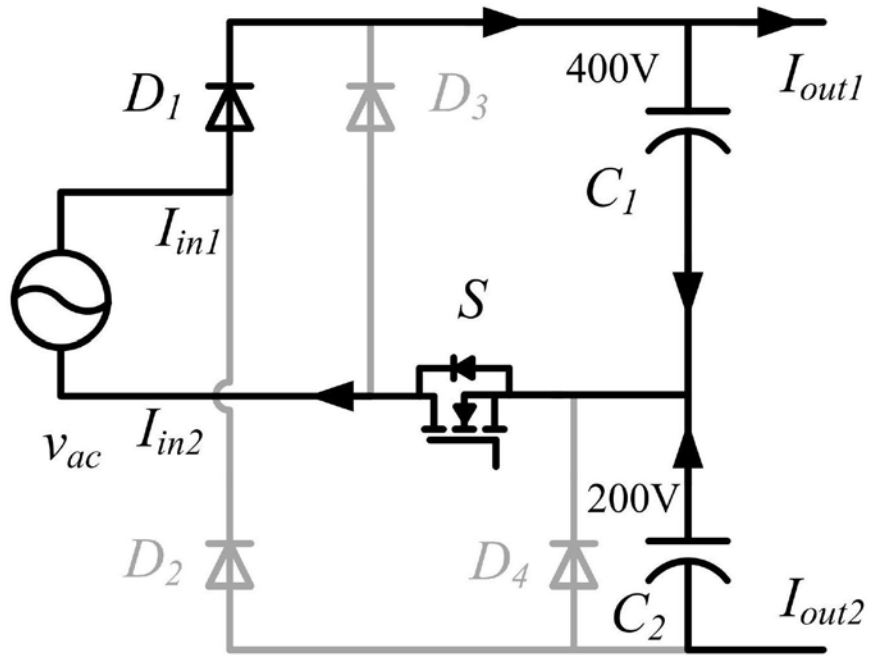


图5A

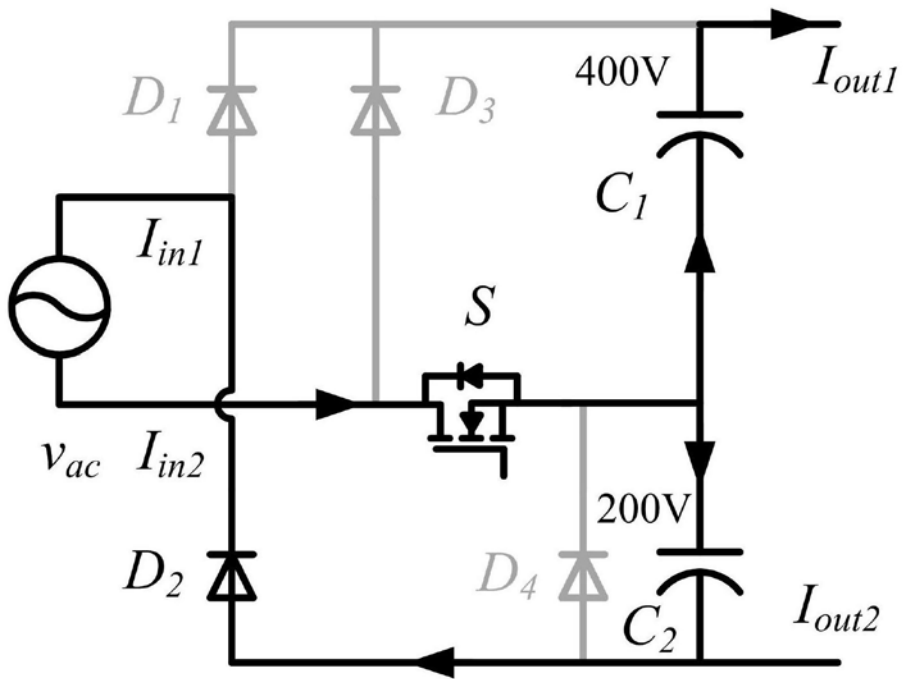


图5B

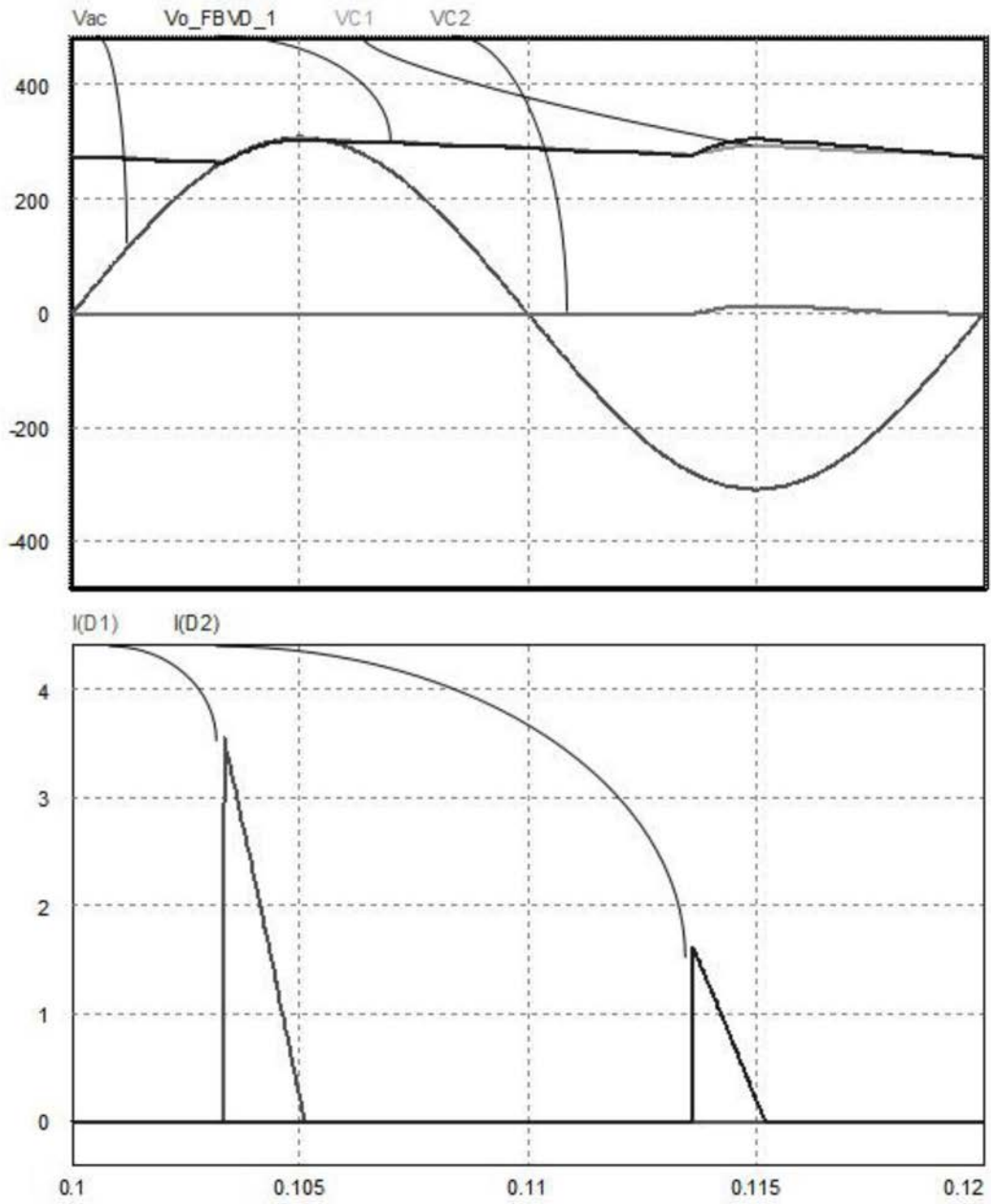


图6

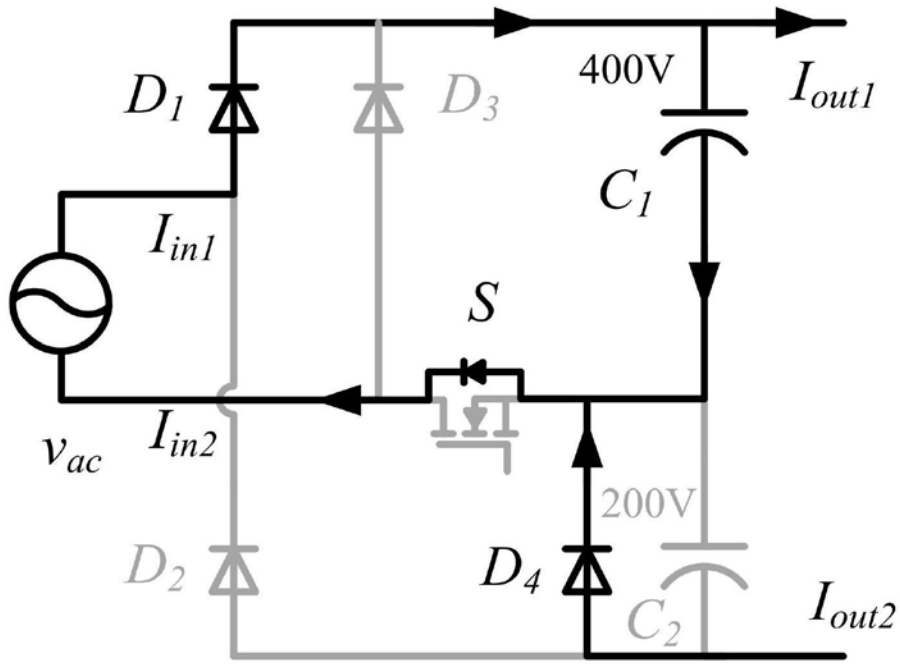


图7A

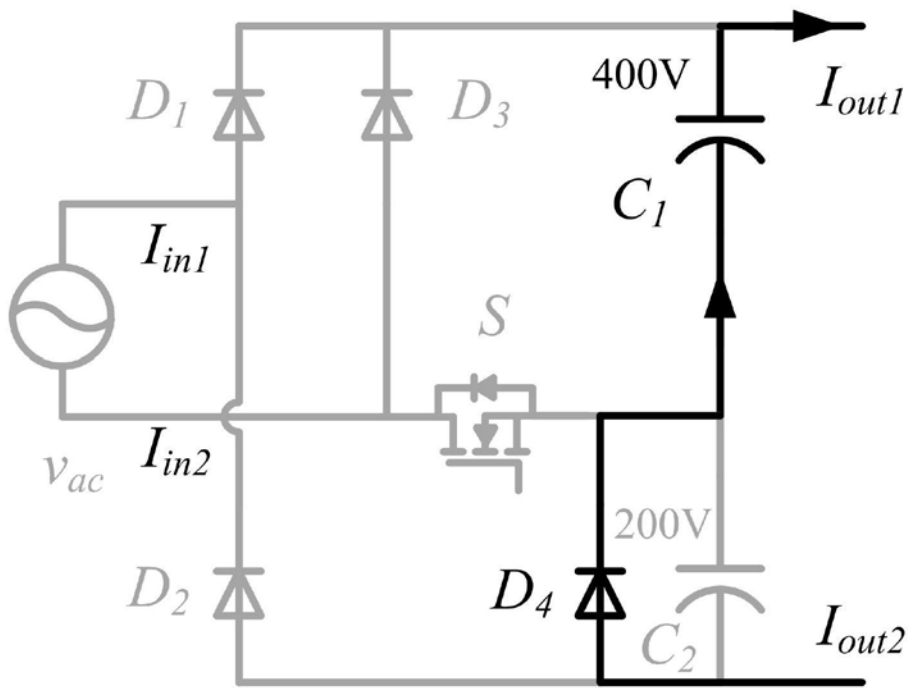


图7B

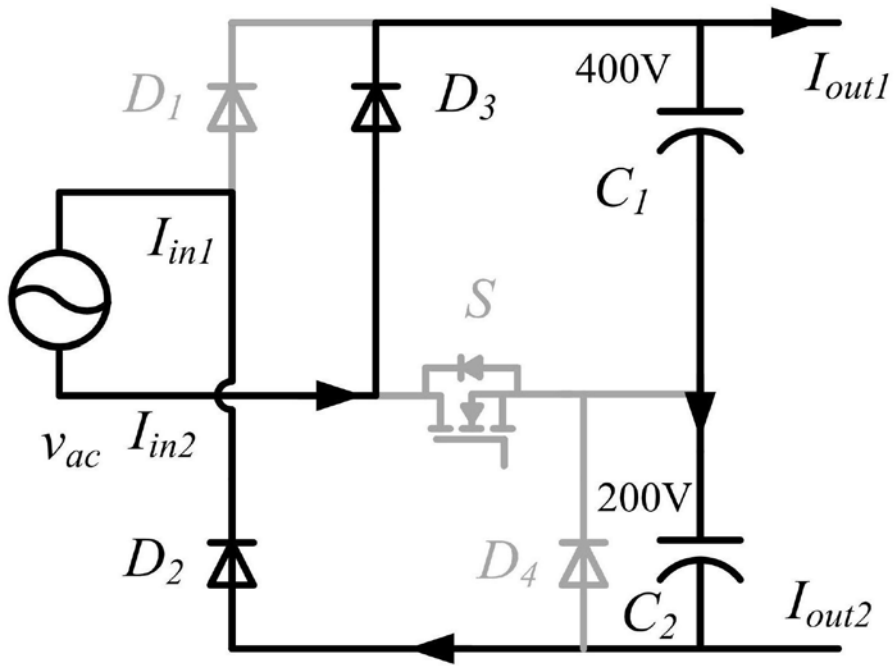


图7C

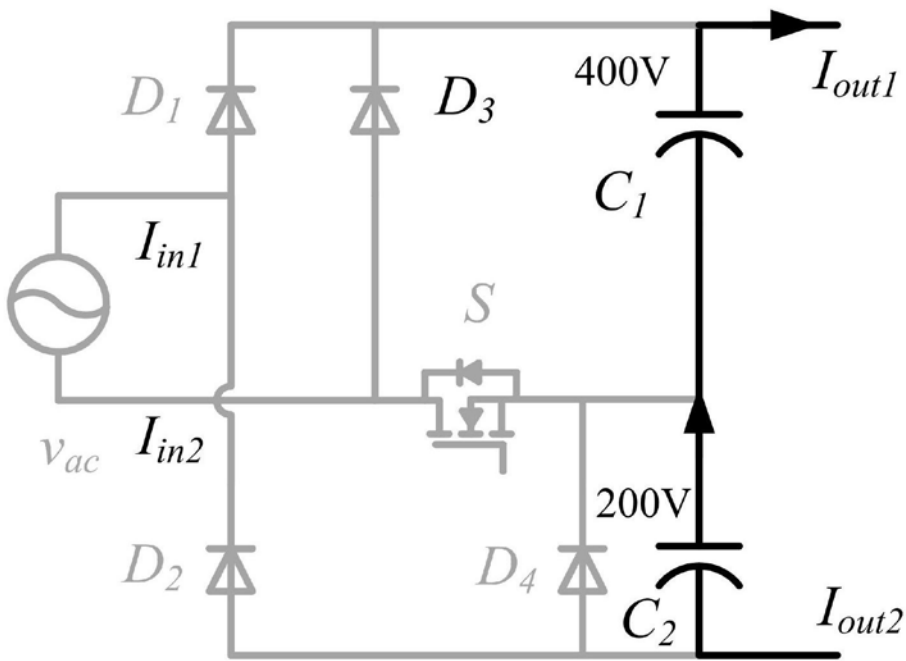


图7D



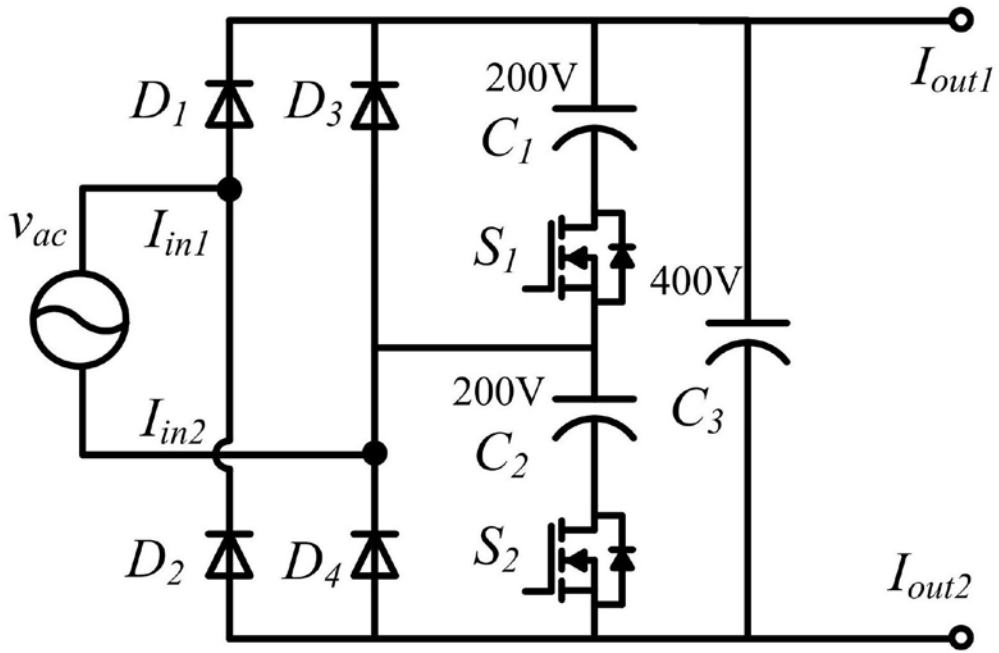


图8A

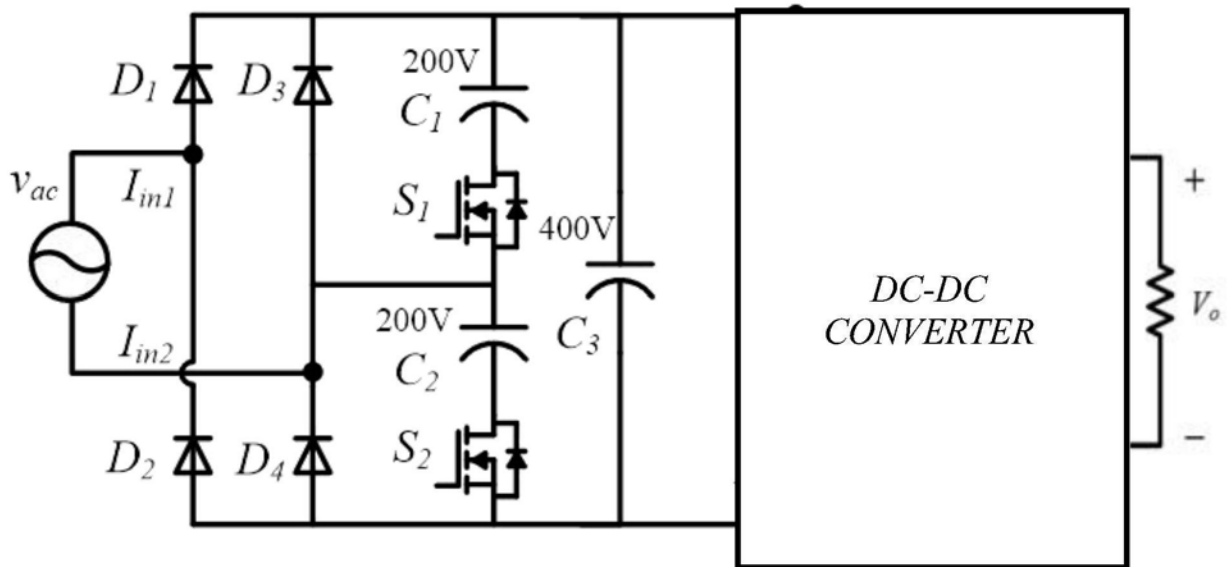


图8B

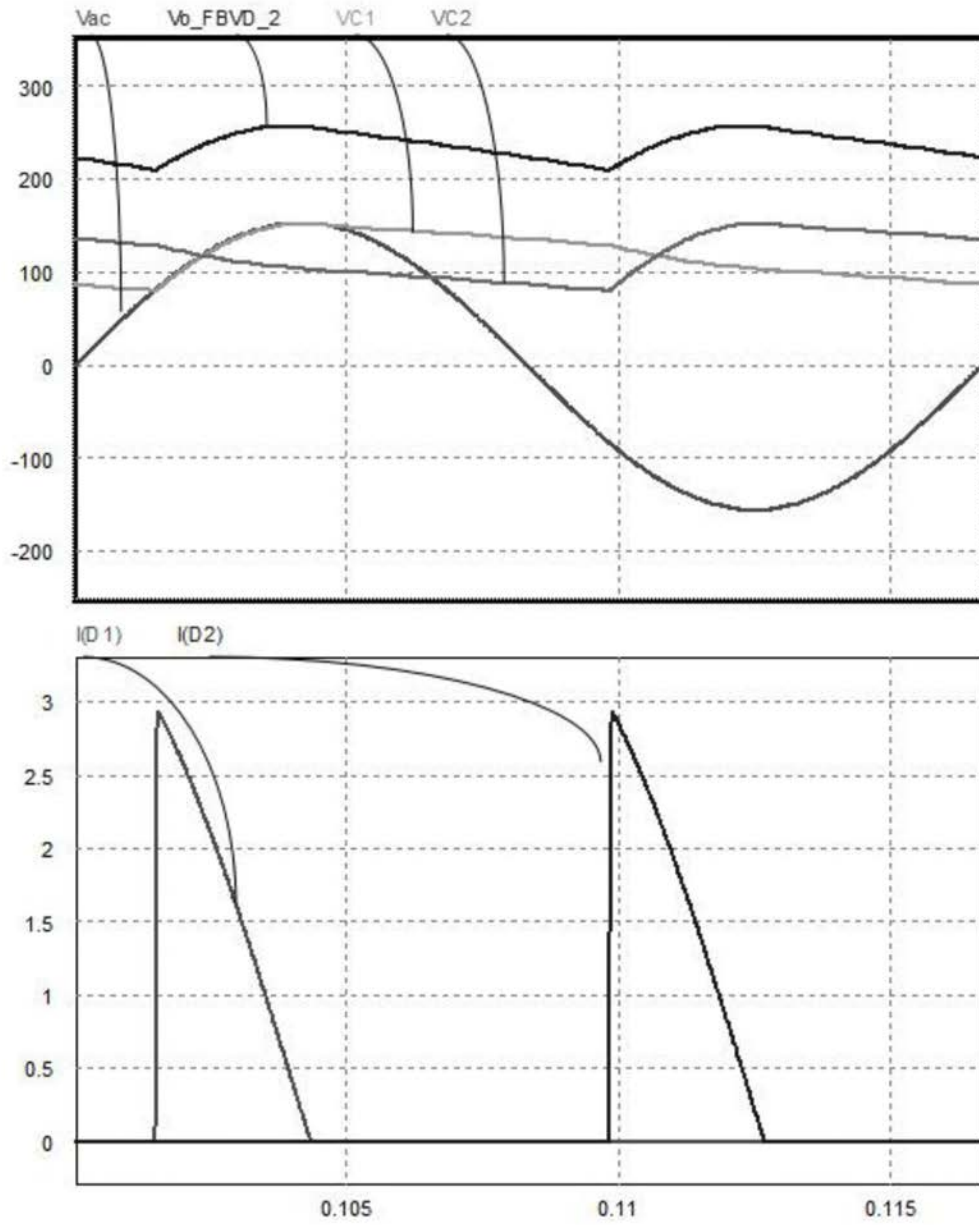


图9

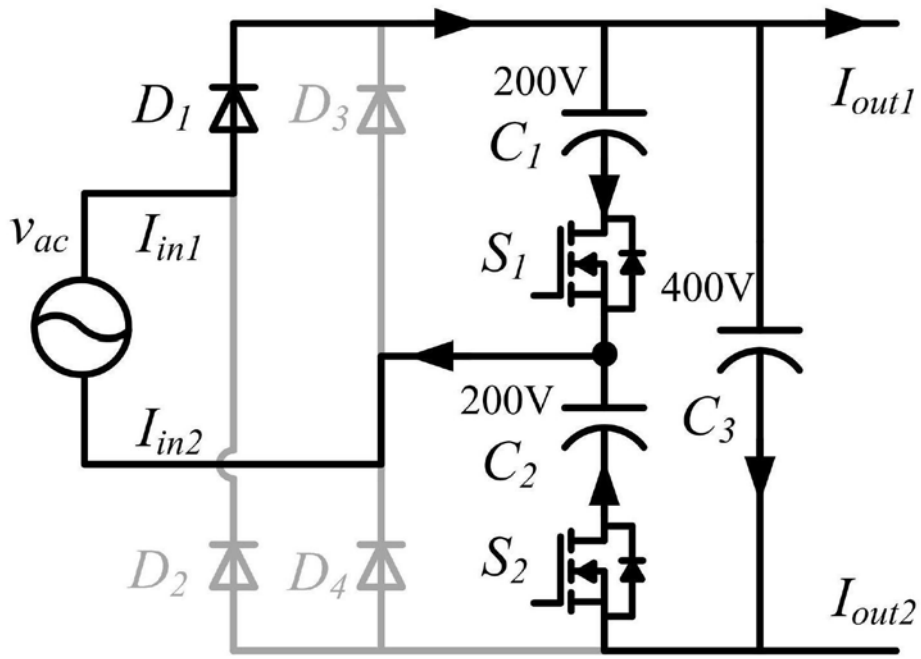


图10A

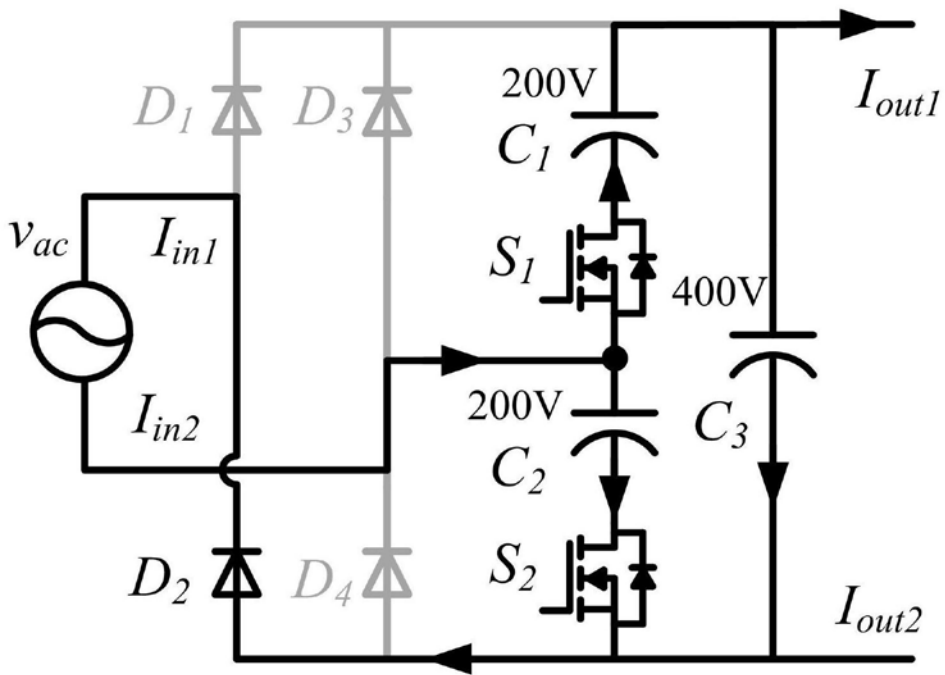


图10B

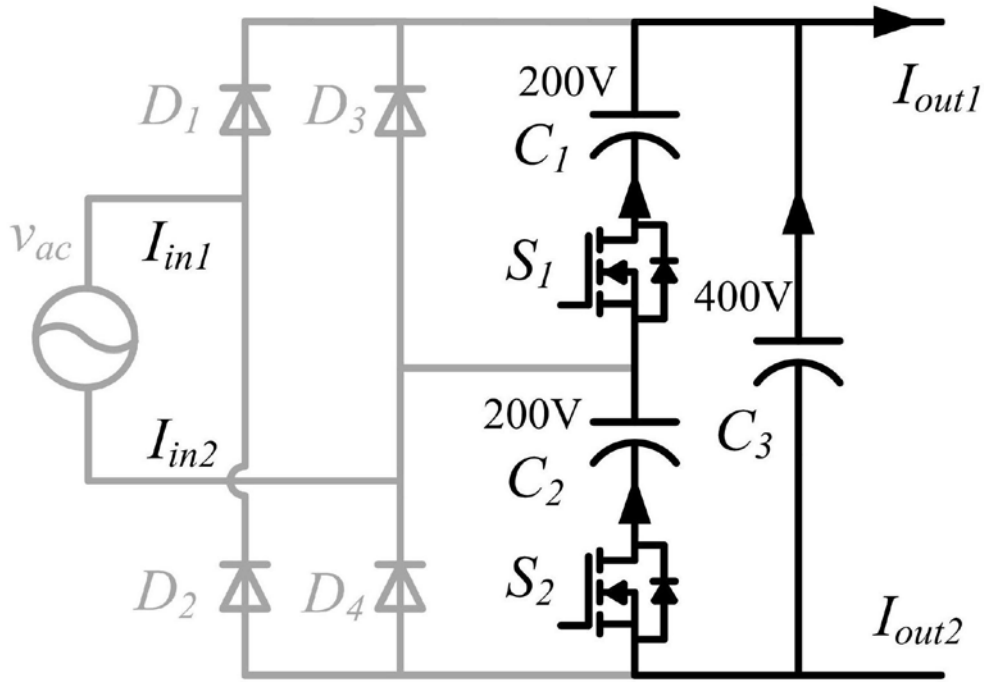


图10C

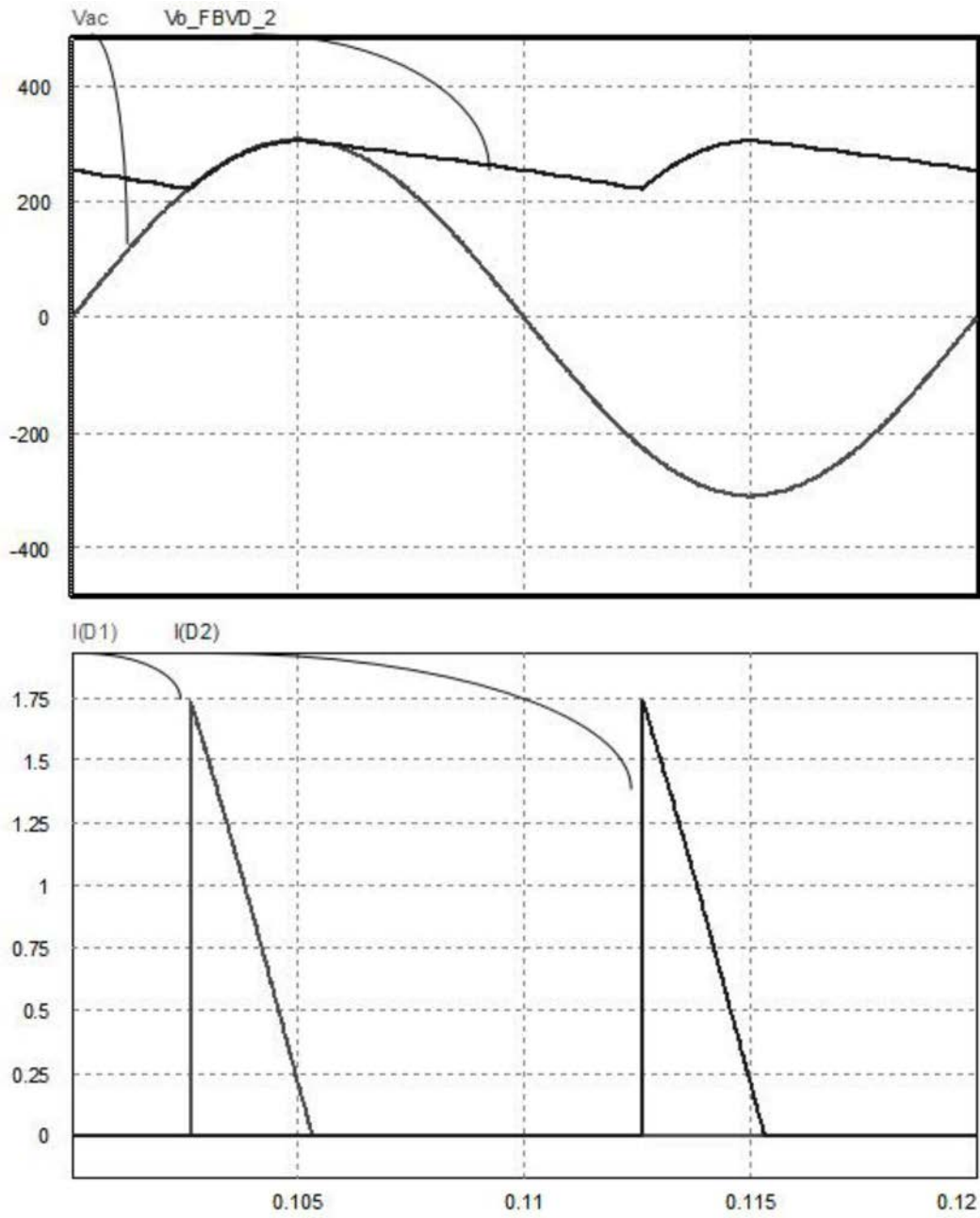


图11

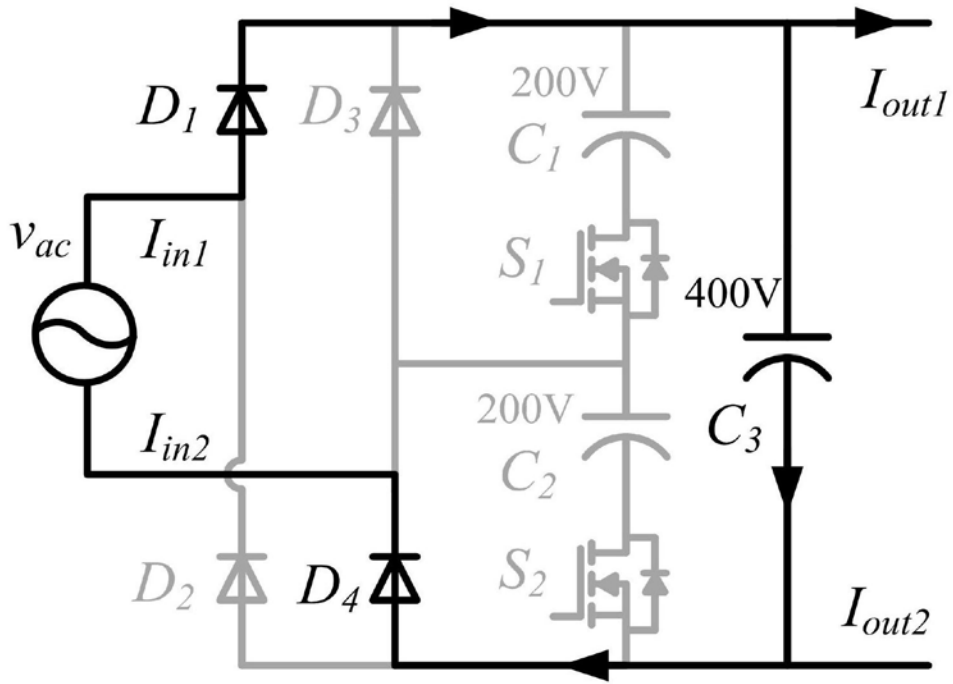


图12A

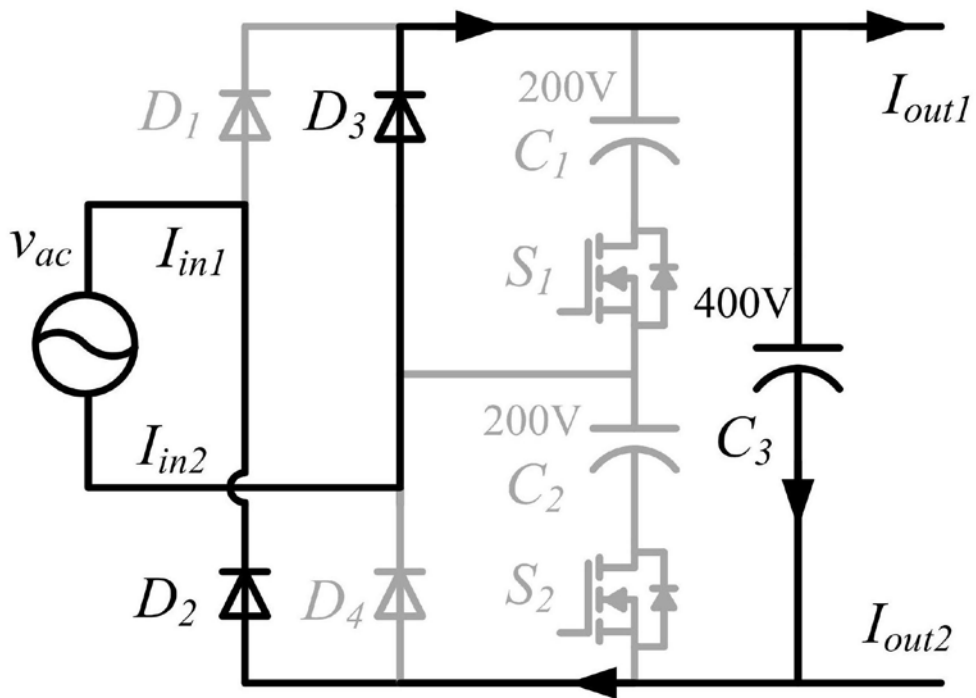


图12B

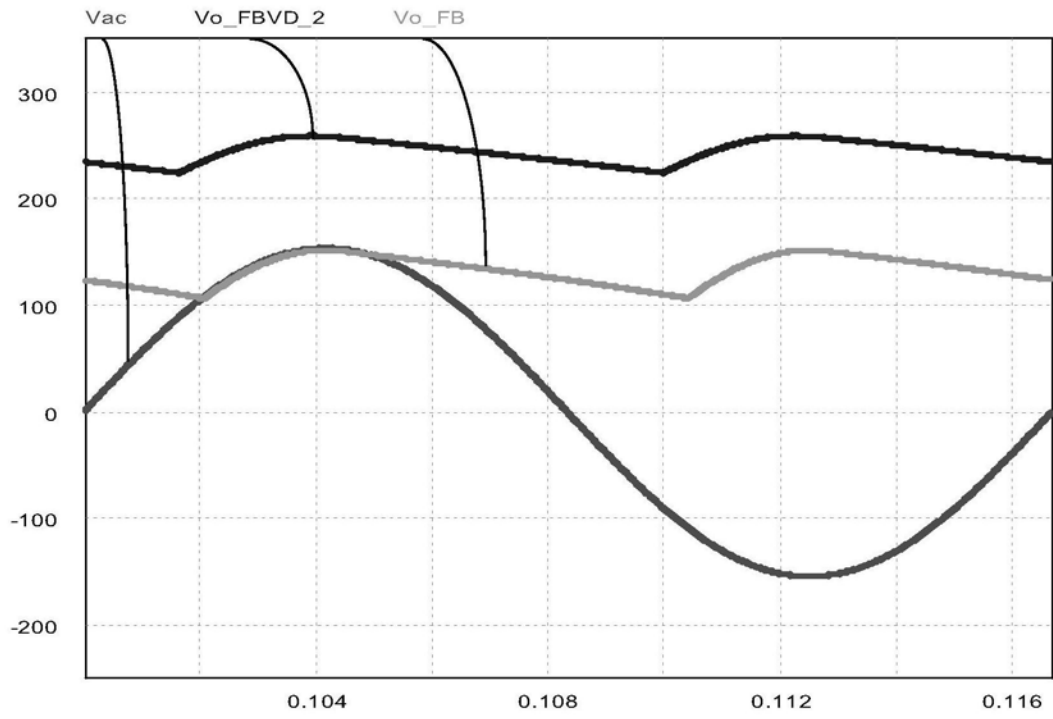


图13

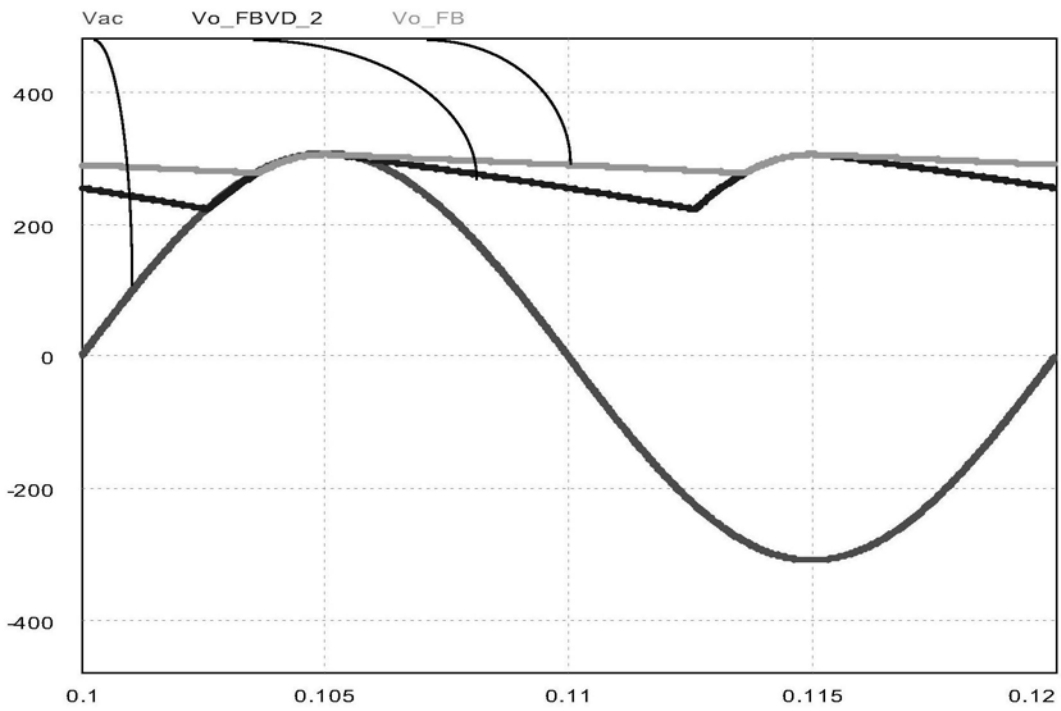


图14

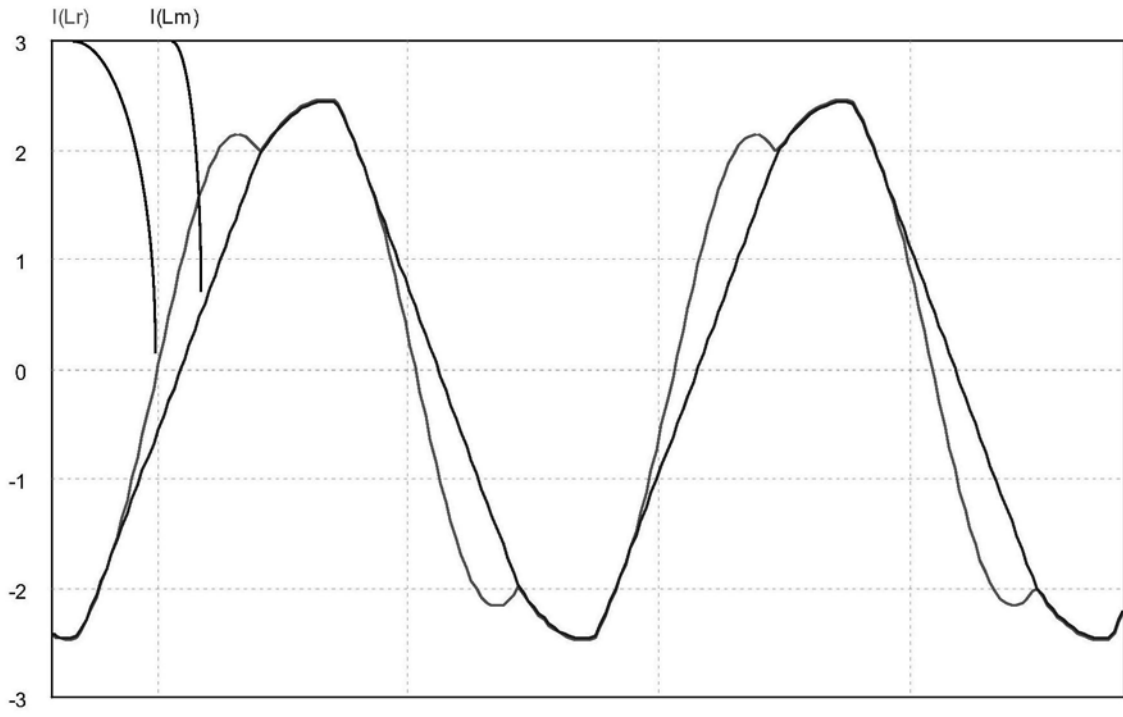


图15A

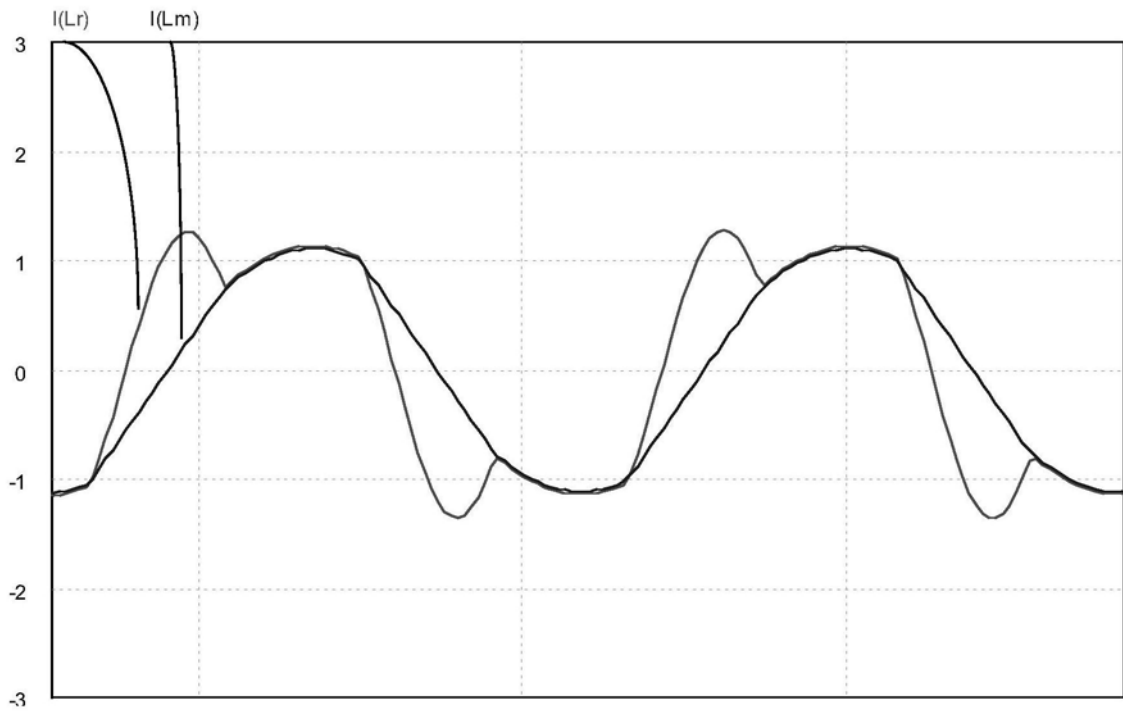


图15B



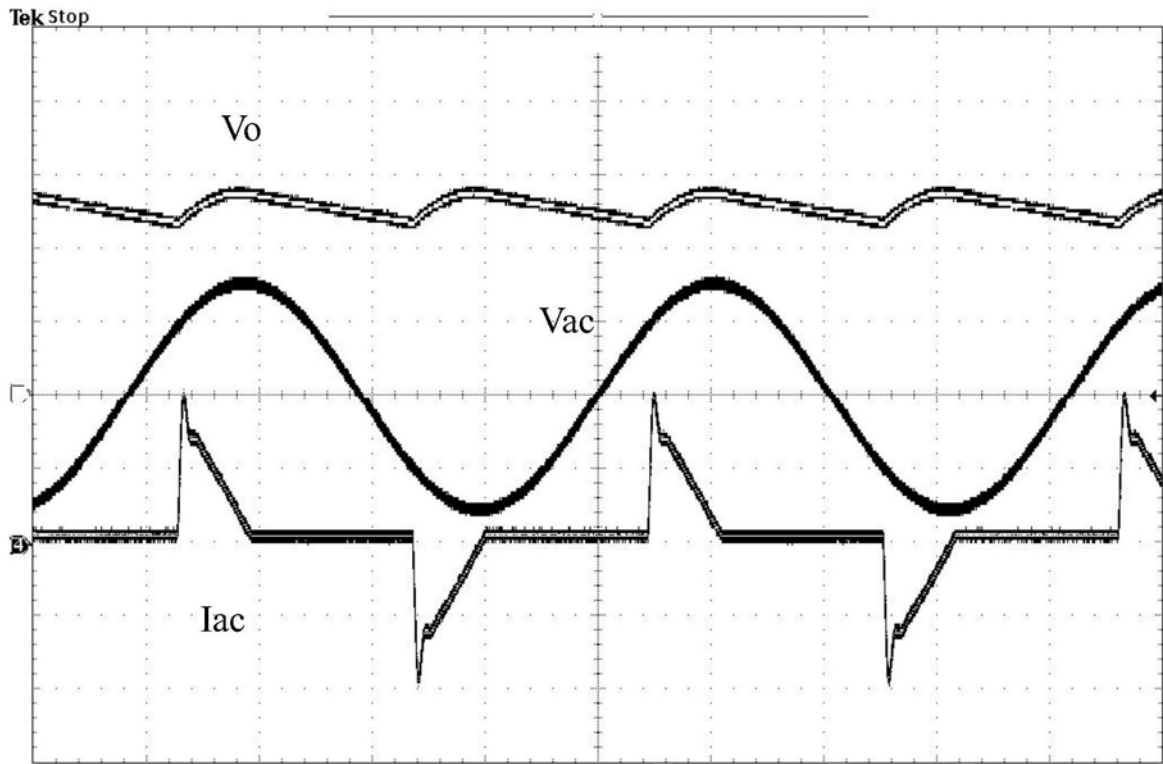


图16

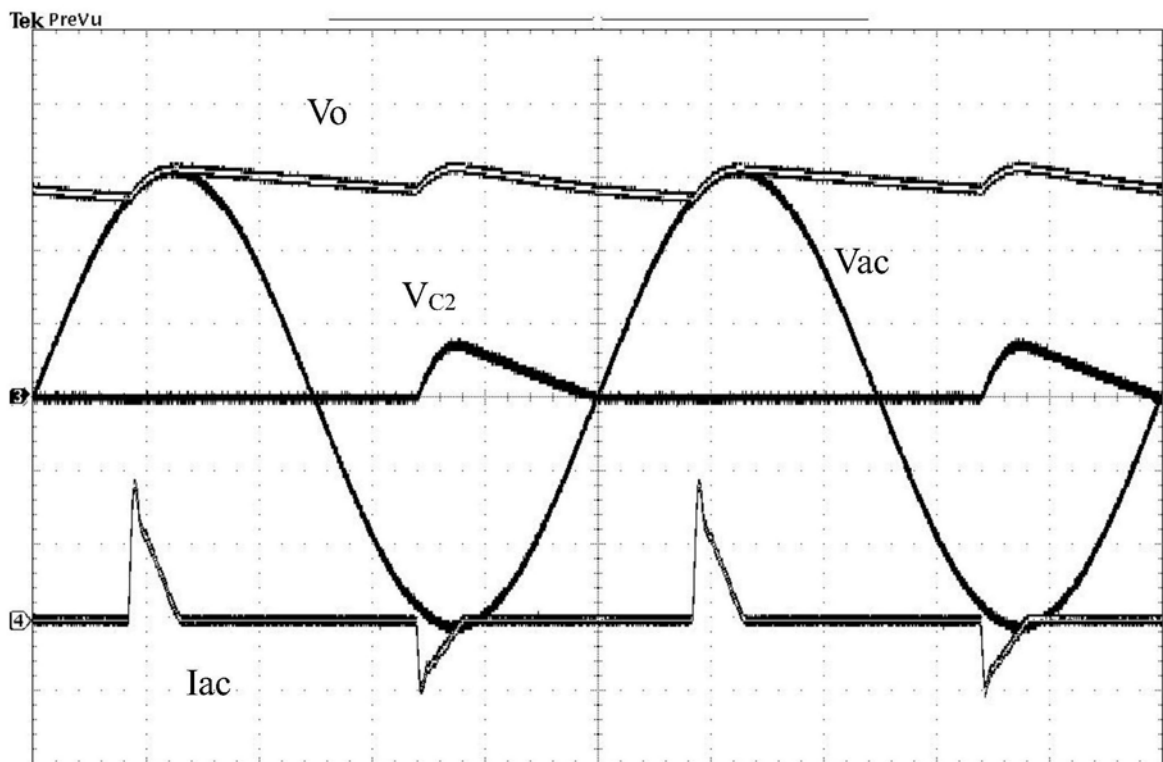


图17

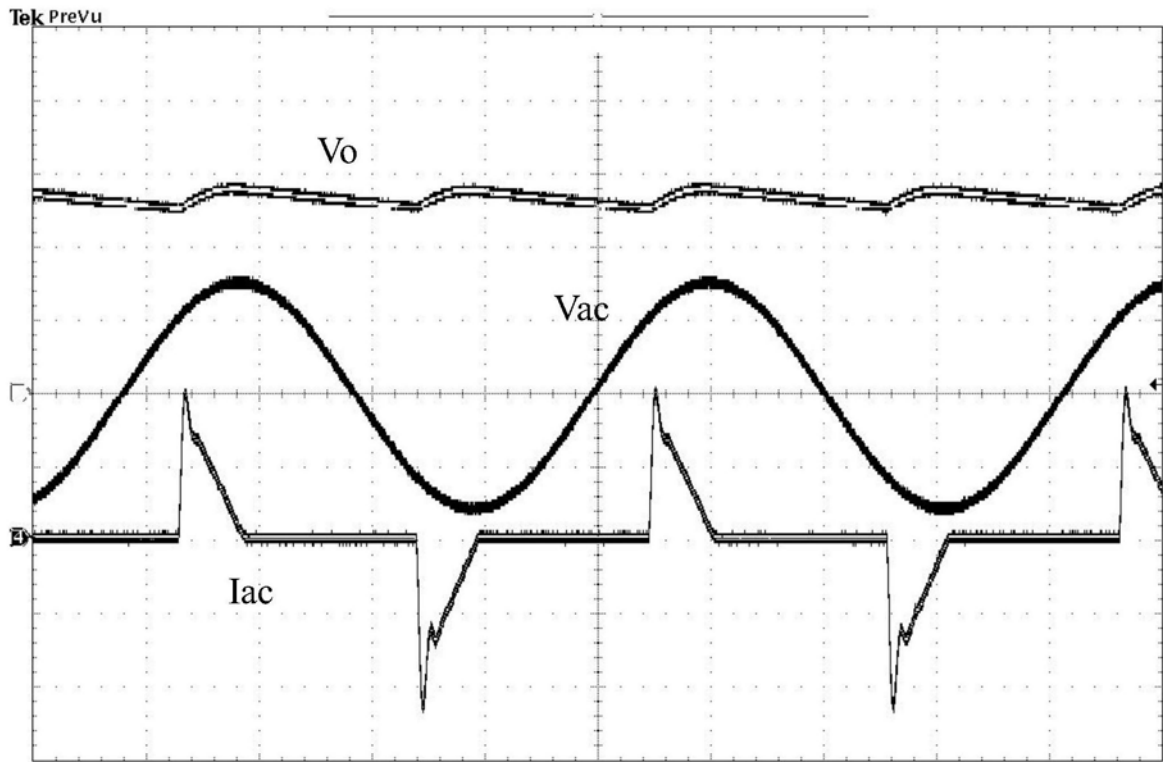


图18

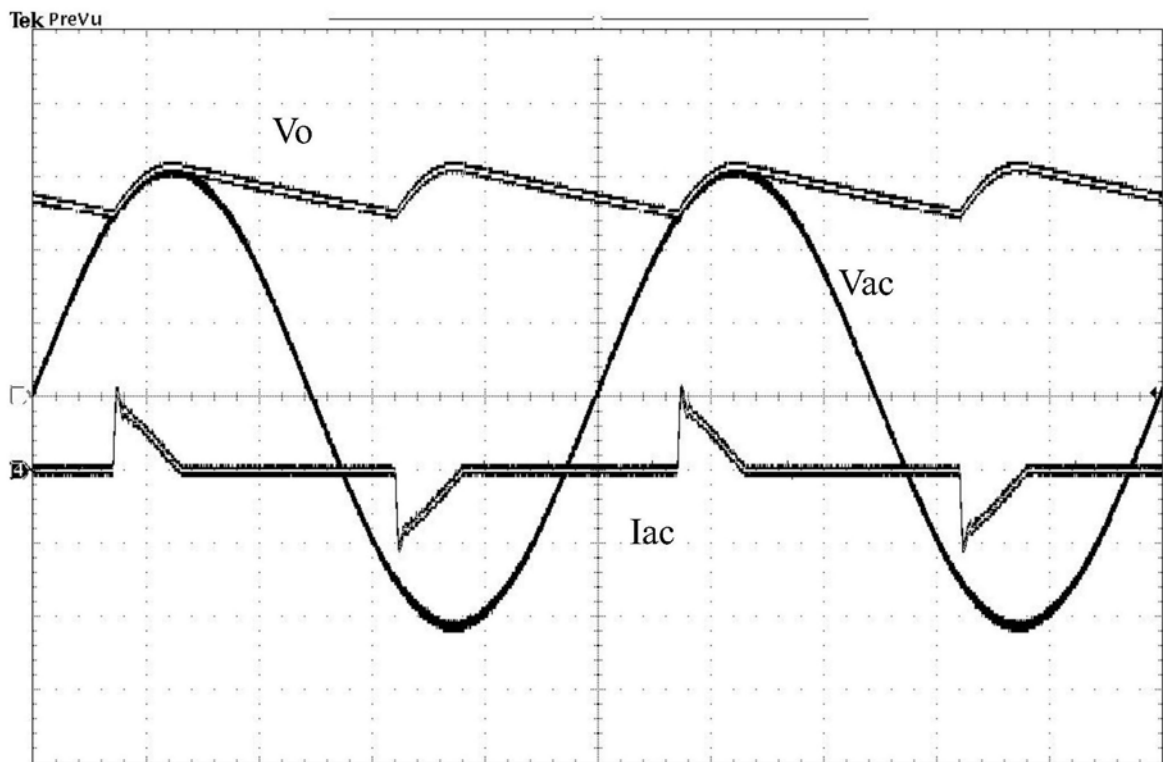


图19

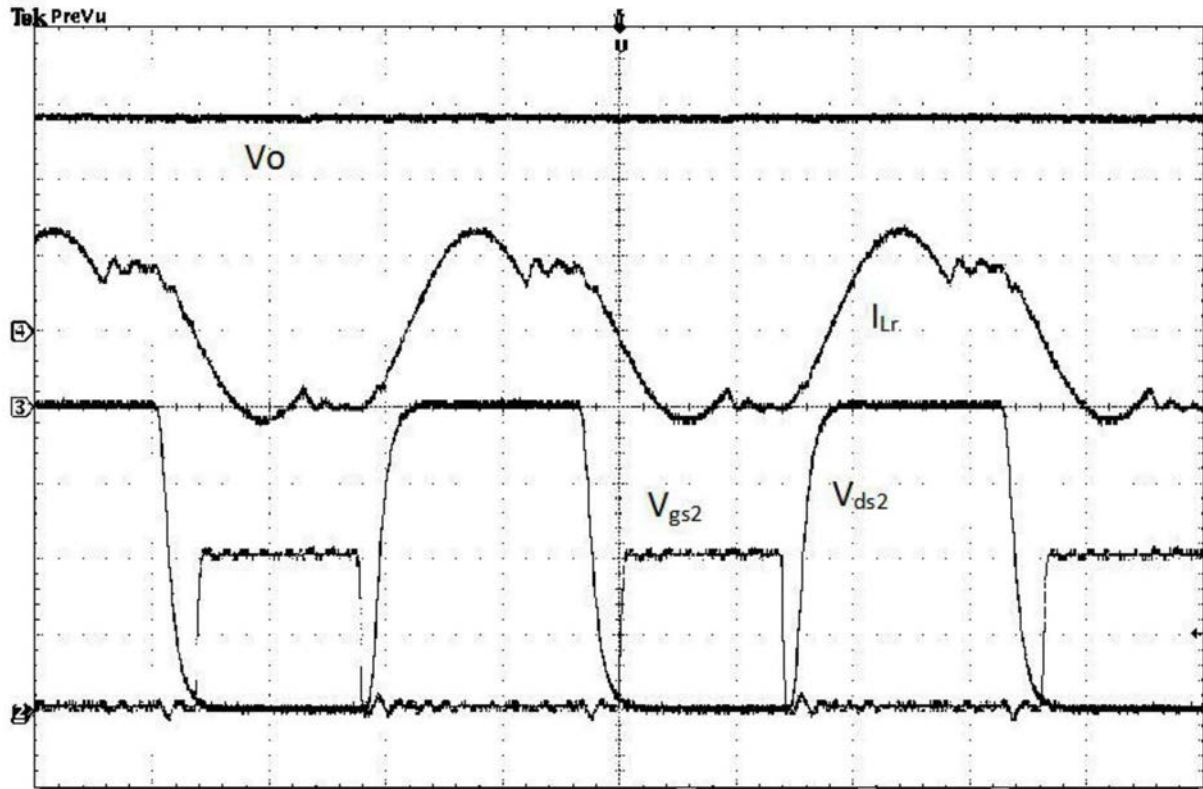


图20

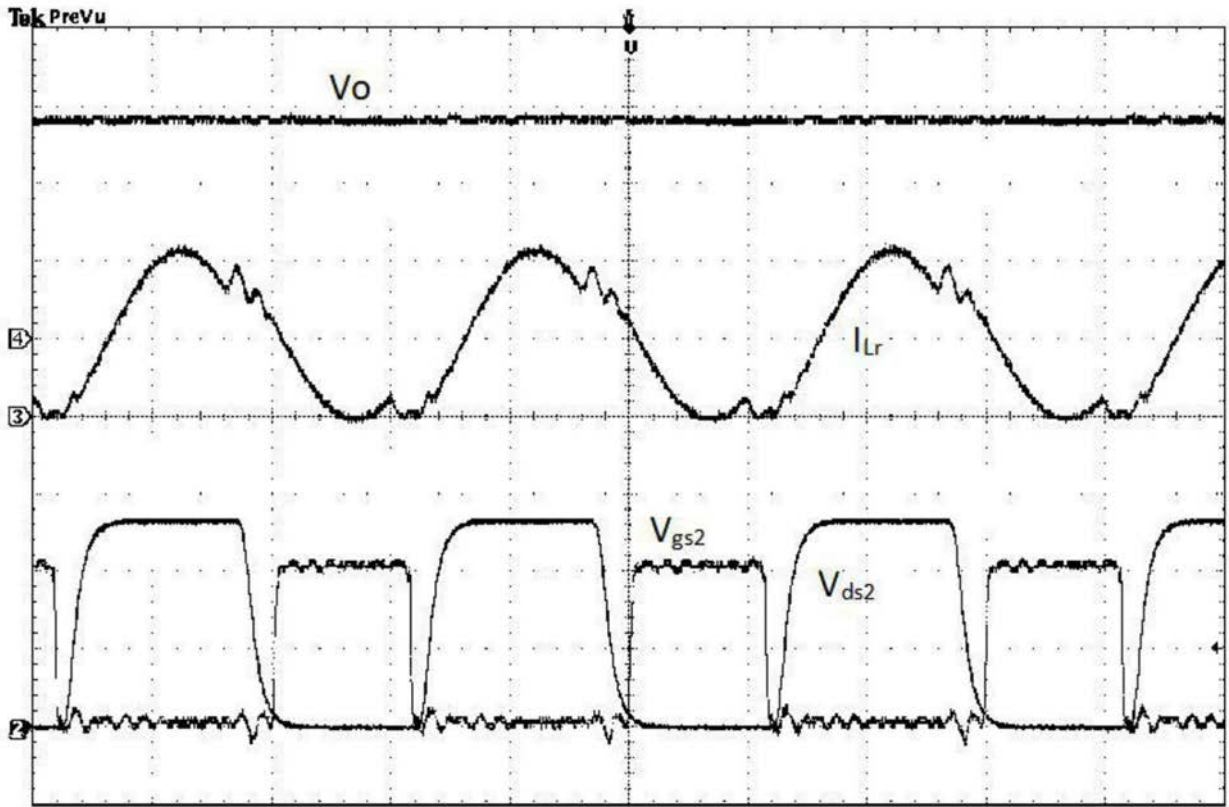


图21

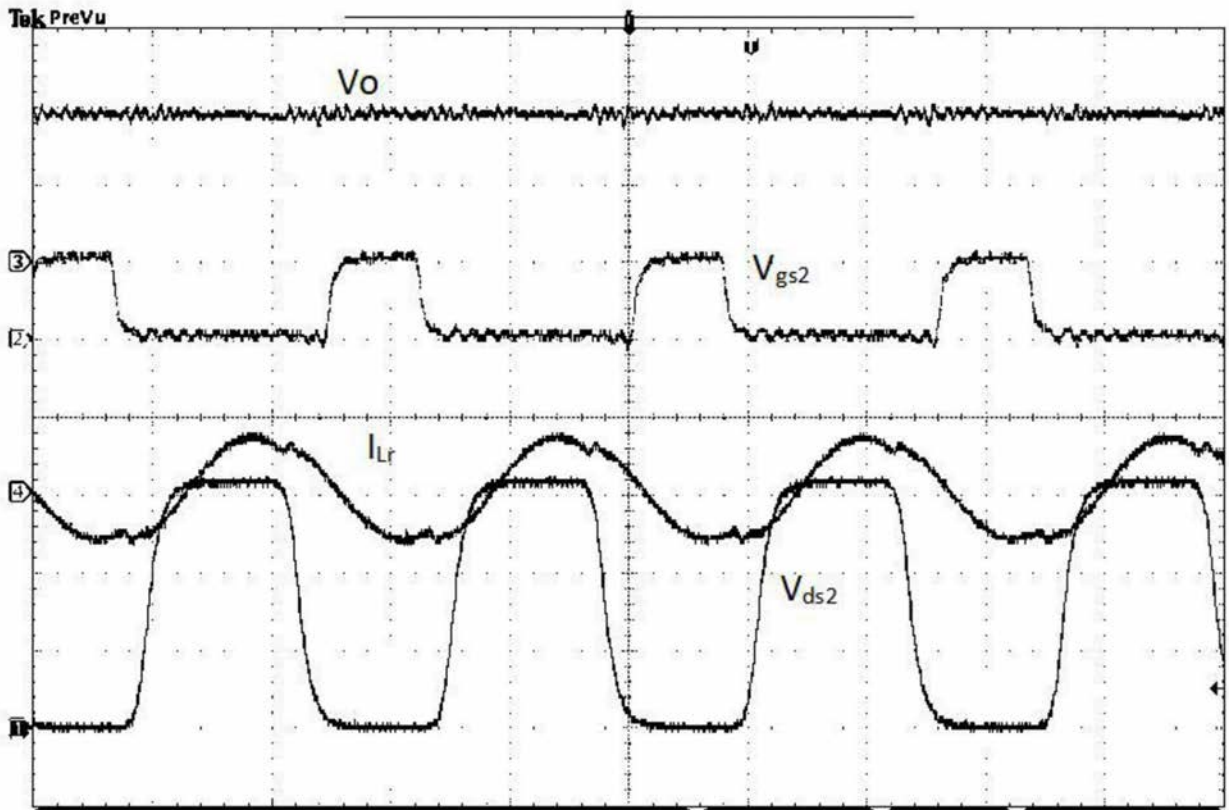


图22