



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114884388 A

(43) 申请公布日 2022. 08. 09

(21) 申请号 202210346017.7

H02M 1/088 (2006.01)

(22) 申请日 2022.04.02

H02M 1/12 (2006.01)

(71) 申请人 国网湖北省电力有限公司宜昌供电公司

H02M 1/14 (2006.01)

H02M 1/32 (2007.01)

H02J 3/38 (2006.01)

地址 443000 湖北省宜昌市沿江大道117号

申请人 三峡大学

(72) 发明人 姚俊伟 王海亮 杨楚原 周晓霞  
邓玲 谢琼瑶 项川 代璐 张宇  
覃思雨 陈兆乐 何奇 罗超  
姜鸣瞻 马辉

(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 7/797 (2006.01)

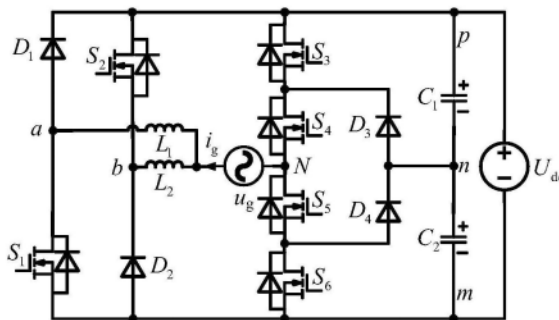
权利要求书3页 说明书5页 附图7页

(54) 发明名称

一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器

(57) 摘要

一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器,包括二极管,开关管 $S_1$ 、 $S_2$ 以及电感 $L_1$ 、 $L_2$ 组成伪图腾柱结构;开关管 $S_3$ ~ $S_6$ ,二极管 $D_3$ 、 $D_4$ 组成的二极管钳位式三电平结构以及串联电容 $C_1$ 、 $C_2$ 组成的直流母线结构。交流电源 $u_g$ 一侧与电感 $L_1$ 、 $L_2$ 相连,电感 $L_1$ 、开关管 $S_1$ 漏极以及 $D_1$ 阳极连接;电感 $L_2$ 与二极管 $D_2$ 阴极以及 $S_2$ 源极;交流电源 $u_g$ 另一侧与开关管 $S_4$ 源极以及 $S_5$ 漏极相连;二极管 $D_1$ 阴极、开关管 $S_2$ 、 $S_3$ 漏极、电容 $C_1$ 正极以及直流电源 $U_{dc}$ 正极连接;二极管 $D_2$ 阳极、开关管 $S_1$ 、 $S_6$ 源极、电容 $C_2$ 负极以及直流电源 $U_{dc}$ 负极连接;二极管 $D_3$ 阳极, $D_4$ 阴极与分裂电容 $C_1$ 、 $C_2$ 相连。本发明能实现能量双向流动、交流电流谐波较小、开关管电压电流应力较低等优点。



1. 一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器,包括开关管 $S_1 \sim S_6$ ,二极管 $D_1 \sim D_4$ ,滤波电感 $L_1, L_2$ ,电容 $C_1, C_2$ ,其特征在于:

开关管 $S_1$ 漏极分别连接二极管 $D_1$ 阳极、滤波电感 $L_1$ 一端;

二极管 $D_1$ 阴极分别连接开关管 $S_2$ 漏极、开关管 $S_3$ 漏极、电容 $C_1$ 正极;

开关管 $S_1$ 源极分别连接二极管 $D_2$ 阳极、开关管 $S_6$ 源极、电容 $C_2$ 负极;

开关管 $S_2$ 源极分别连接滤波电感 $L_2$ 一端、二极管 $D_2$ 阴极;

滤波电感 $L_1$ 另一端、滤波电感 $L_2$ 另一端均连接交流电源 $u_g$ 一侧,交流电源 $u_g$ 另一侧分别连接开关管 $S_4$ 源极、开关管 $S_5$ 漏极;

开关管 $S_4$ 漏极分别连接开关管 $S_3$ 源极、二极管 $D_3$ 阴极;

开关管 $S_5$ 源极分别连接开关管 $S_6$ 漏极、二极管 $D_4$ 阳极;

二极管 $D_3$ 阳极分别连接二极管 $D_4$ 阴极、电容 $C_1$ 负极、电容 $C_2$ 正极;

电容 $C_1$ 正极、电容 $C_2$ 负极分别连接直流电源 $U_{dc}$ 正极、直流电源 $U_{dc}$ 负极。

2. 根据权利要求1所述一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器,其特征在于:所述开关管 $S_1$ 漏极、二极管 $D_1$ 阳极、滤波电感 $L_1$ 一端的连接节点构成节点a;

开关管 $S_2$ 源极、滤波电感 $L_2$ 一端、二极管 $D_2$ 阴极的连接节点构成节点b;

交流电源 $u_g$ 另一侧、开关管 $S_4$ 源极、开关管 $S_5$ 漏极的连接节点构成节点N;

二极管 $D_2$ 阳极、开关管 $S_1, S_6$ 源极、电容 $C_2$ 负极以及直流电源 $U_{dc}$ 负极的连接节点构成节点m;

二极管 $D_3$ 阳极,二极管 $D_4$ 阴极、电容 $C_1$ 负极、电容 $C_2$ 正极的连接节点构成节点n。

3. 根据权利要求1所述一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器,其特征在于:所述电容 $C_1, C_2$ 为直流分裂电容,每个电容承受直流母线电压 $U_{dc}$ 的一半。

4. 根据权利要求1所述一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器,其特征在于:所述开关管 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ 为绝缘栅型双极晶体管IGBT、或者电力场效应管MOSFET。

5. 根据权利要求1所述一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器,其特征在于:所述开关管 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ 均反向并联了二极管。

6. 根据权利要求1~5所述任意一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器,其特征在于:在整流模式下包括以下6种工作模式:

(1) 工作模式一:

电路工作在交流电源正半周期,该工作模式下,节点a与节点N间电压 $u_{aN}=0$ ,节点b与节点N间电压 $u_{bN}=0$ ;开关管 $S_3$ 导通、开关管 $S_4$ 导通、开关管 $S_2$ 体二极管导通,二极管 $D_4$ 导通,其余半导体器件均关断;此过程交流电源 $u_g$ 对电感 $L_1, L_2$ 充电,电感 $L_1, L_2$ 储能;同时,电容 $C_1, C_2$ 放电对直流电源 $U_{dc}$ 充电;

(2) 工作模式二:

电路工作在交流电源正半周期,该工作模式下,节点a与节点N间电压 $u_{aN}=U_{dc}/2$ ,节点b与节点N间电压 $u_{bN}=U_{dc}/2$ ;开关管 $S_4$ 导通、 $S_2$ 体二极管导通,二极管 $D_1, D_3$ 导通,其余半导体器件均关断;此过程电感 $L_1, L_2$ 放电对电容 $C_1$ 充电,电容 $C_2$ 对直流电源 $U_{dc}$ 充电;当交流电压 $u_g > U_{dc}/2$ 时,电感 $L_1$ 充电;当交流电压 $u_g < U_{dc}/2$ 时,电感 $L_1$ 放电;

(3) 工作模式三:

电路工作在交流电源正半周期,该工作模式下,节点a与节点N间电压 $u_{aN}=U_{dc}$ ,节点b与节点N间电压 $u_{bN}=U_{dc}$ ;开关管 $S_2$ 体二极管、 $S_5$ 体二极管、 $S_6$ 体二极管导通,二极管 $D_1$ 导通,其余半导体器件均关断;此过程电感 $L_1$ 、 $L_2$ 放电,一部分电流分经电容 $C_1$ 、 $C_2$ 对其充电,另外一部分向直流电源 $U_{dc}$ 充电;

(4) 工作模式四:

电路工作在交流电源负半周期,该工作模式下,节点a与节点N间电压 $u_{aN}=0$ ,节点b与节点N间电压 $u_{bN}=0$ ;开关管 $S_5$ 导通、 $S_6$ 导通、 $S_1$ 体二极管导通,二极管 $D_2$ 导通,其余半导体器件均关断;此过程交流电源 $u_g$ 对电感 $L_1$ 、 $L_2$ 充电,电感 $L_1$ 、 $L_2$ 储能;同时,电容 $C_1$ 、 $C_2$ 对直流电源 $U_{dc}$ 充电;

(5) 工作模式五:

电路工作在交流电源负半周期,该工作模式下,节点a与节点N间电压 $u_{aN}=-U_{dc}/2$ ,节点b与节点N间电压 $u_{bN}=-U_{dc}/2$ ;开关管 $S_5$ 导通、 $S_1$ 体二极管导通,二极管 $D_2$ 、 $D_4$ 导通,其余半导体器件均关断;此过程电感 $L_1$ 、 $L_2$ 放电对电容 $C_2$ 充电,电容 $C_1$ 对直流电源 $U_{dc}$ 充电;当交流电压幅值 $|u_g|>U_{dc}/2$ 时,电感 $L_2$ 充电;当交流电压幅值 $|u_g|<U_{dc}/2$ 时,电感 $L_2$ 放电;

(6) 工作模式六:

电路工作在交流电源负半周期,该工作模式下,节点a与节点N间电压 $u_{aN}=-U_{dc}$ ,节点b与节点N间电压 $u_{bN}=-U_{dc}$ ;开关管 $S_1$ 体二极管、 $S_3$ 体二极管、 $S_4$ 体二极管导通,二极管 $D_2$ 导通,其余半导体器件均关断;此过程电感 $L_1$ 、 $L_2$ 放电,一部分电流分经电容 $C_1$ 、 $C_2$ 对其充电,另外一部分向直流电源 $U_{dc}$ 充电。

7. 根据权利要求1~5所述任意一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器,其特征在于:在逆变模式下包括以下6种工作模式:

(1) 工作模式①:

电路工作在交流电源正半周期,该工作模式下,节点b与节点N间电压 $u_{bN}=0$ ;开关管 $S_2$ 导通、 $S_3$ 体二极管、 $S_4$ 体二极管导通,其余半导体器件均关断;此过程直流电源 $U_{dc}$ 对电容 $C_1$ 、 $C_2$ 充电,电感 $L_2$ 对交流电源 $u_g$ 充电;

(2) 工作模式②:

电路工作在交流电源正半周期,该工作模式下,节点b与节点N间电压 $u_{bN}=U_{dc}/2$ ;开关管 $S_2$ 导通、 $S_5$ 导通,二极管 $D_4$ 导通,其余半导体器件均关断;此过程直流电源 $U_{dc}$ 放电对电容 $C_2$ 充电,电容 $C_1$ 对电感 $L_2$ 、交流电压 $u_g$ 充电;

(3) 工作模式③:

电路工作在交流电源正半周期,该工作模式下,节点b与节点N间电压 $u_{bN}=U_{dc}$ ;开关管 $S_2$ 、 $S_5$ 、 $S_6$ 导通,其余半导体器件均关断;此过程直流电源 $U_{dc}$ 对电容 $C_1$ 、 $C_2$ 充电并对电感 $L_2$ 、交流电压 $u_g$ 充电;

(4) 工作模式④:

电路工作在交流电源负半周期,该工作模式下,节点a与节点N间电压 $u_{aN}=0$ ;开关管 $S_1$ 导通、 $S_5$ 体二极管导通、 $S_6$ 体二极管导通,其余半导体器件均关断;此过程直流电源 $U_{dc}$ 对电容 $C_1$ 、 $C_2$ 充电,电感 $L_1$ 对交流电源 $u_g$ 充电;

(5) 工作模式⑤:

电路工作在交流电源负半周期,该工作模式下,节点a与节点N间电压 $u_{aN}=-U_{dc}/2$ ;开关

管 $S_1$ 、 $S_4$ 导通,二极管 $D_3$ 导通,其余半导体器件均关断;此过程直流电源 $U_{dc}$ 放电对电容 $C_1$ 充电,电容 $C_2$ 对电感 $L_1$ 、交流电压 $u_g$ 充电;

(6) 工作模式六:

电路工作在交流电源负半周期,该工作模式下,节点a与节点N间电压 $u_{aN} = -U_{dc}$ ;开关管 $S_1$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 导通,其余半导体器件均关断;此过程直流电源 $U_{dc}$ 对电容 $C_1$ 、 $C_2$ 充电并对电感 $L_1$ 、交流电压 $u_g$ 充电。

## 一种适用单相交流直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及多电平变流器领域,具体是一种适用单相交流直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器。

### 背景技术

[0002] 随着单相交流直流混合微交流的日益成熟,逐渐与公共交流一起为用户提供电力支持。单相并网运行下,单相微交流系统以公共交流作为有力支撑,具有削峰填谷的效果。当公共交流发生故障时,可以迅速从公共交流脱离,全力保障医院、交通枢纽等重要负荷短时间持续供电,提高供电的可靠性。单相交流直流混合微交流由单相交流子微网、直流子微网和双AC-DC变流器组成,既可以直接对单相交流负荷供电,也可以直接对直流负荷供电,可以同时发挥直流微交流和交流微交流的优势,其中,双向AC-DC变流器为能量交换枢纽。在单相交流直流混合微交流研究中,现有技术中主要围绕对双向AC-DC变流器控制方法上的研究,对单相变流器拓扑构成研究相对较少。

### 发明内容

[0003] 本发明提供一种适用单相交流直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器,将三电平技术用于双向AC-DC变流器中,适用于单相交流直流混合微交流、V2G系统等能量双向流动场景。相对于传统两电平变流器,多电平变流器具有更高的效率、可靠性,更低的谐波和电压应力。该变流器能实现能量双向流,减少损耗,降低谐波及开关管电压应力并且具有较高的可靠性。

[0004] 本发明采取的技术方案为:

[0005] 一种适用单相交流直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器,包括开关管 $S_1 \sim S_6$ ,二极管 $D_1 \sim D_4$ ,滤波电感 $L_1、L_2$ ,电容 $C_1、C_2$ ,

[0006] 开关管 $S_1$ 漏极分别连接二极管 $D_1$ 阳极、滤波电感 $L_1$ 一端;

[0007] 二极管 $D_1$ 阴极分别连接开关管 $S_2$ 漏极、开关管 $S_3$ 漏极、电容 $C_1$ 正极;

[0008] 开关管 $S_1$ 源极分别连接二极管 $D_2$ 阳极、开关管 $S_6$ 源极、电容 $C_2$ 负极;

[0009] 开关管 $S_2$ 源极分别连接滤波电感 $L_2$ 一端、二极管 $D_2$ 阴极;

[0010] 滤波电感 $L_1$ 另一端、滤波电感 $L_2$ 另一端均连接交流电源 $u_g$ 一侧,交流电源 $u_g$ 另一侧分别连接开关管 $S_4$ 源极、开关管 $S_5$ 漏极;

[0011] 开关管 $S_4$ 漏极分别连接开关管 $S_3$ 源极、二极管 $D_3$ 阴极;

[0012] 开关管 $S_5$ 源极分别连接开关管 $S_6$ 漏极、二极管 $D_4$ 阳极;

[0013] 二极管 $D_3$ 阳极分别连接二极管 $D_4$ 阴极、电容 $C_1$ 负极、电容 $C_2$ 正极;

[0014] 电容 $C_1$ 正极、电容 $C_2$ 负极分别连接直流电源 $U_{dc}$ 正极、直流电源 $U_{dc}$ 负极。

[0015] 所述开关管 $S_1$ 漏极、二极管 $D_1$ 阳极、滤波电感 $L_1$ 一端的连接节点构成节点a;

[0016] 开关管 $S_2$ 源极、滤波电感 $L_2$ 一端、二极管 $D_2$ 阴极的连接节点构成节点b;

[0017] 交流电源 $u_g$ 另一侧、开关管 $S_4$ 源极、开关管 $S_5$ 漏极的连接节点构成节点N;

[0018] 二极管 $D_2$ 阳极、开关管 $S_1$ 、 $S_6$ 源极、电容 $C_2$ 负极以及直流电源 $U_{dc}$ 负极的连接节点构成节点m;

[0019] 二极管 $D_3$ 阳极,二极管 $D_4$ 阴极、电容 $C_1$ 负极、电容 $C_2$ 正极的连接节点构成节点n。

[0020] 所述电容 $C_1$ 、 $C_2$ 为直流分裂电容,每个电容承受直流母线电压 $U_{dc}$ 的一半,用于形成三电平中的 $\pm 0.5U_{dc}$ 电平。

[0021] 所述开关管 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_6$ 为全控型功率器件,包括但不限于绝缘栅型双极晶体管IGBT、电力场效应管MOSFET。

[0022] 所述开关管 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_6$ 均反向并联了二极管。

[0023] 本发明一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器,技术效果如下:

[0024] 1) 本发明三电平伪图腾柱式变流器具备伪图腾柱结构,本发明中应用到二极管钳位型双向开关管结构单元,双向开关由开关管 $S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_6$ ,二极管 $D_3$ 、 $D_4$ 组成,其主要作用在于实现 $\pm 0.5U_{dc}$ 电压流通过路径。本发明拓扑具有功率双向流动、三电平、整流运行时升压、逆变运行时降压的特点。

[0025] 2) 本发明发明三电平伪图腾柱式变流器拓扑具有伪图腾柱单元结构,基于伪图腾柱单元模块可用作三电平模块化的功率单元结构。

[0026] 3) 本发明在单位功率因数校正拓扑结构中,融入了伪图腾柱三电平结构,在变流器拓扑中具有整流运行时双升压、逆变运行时双降压结构。另外,拓扑结构中存在双升(降)结构,该结构无桥臂直通风险、无开关管体二极管反向恢复问题,故电路工作可靠性高。

[0027] 4) 本发明提出二极管和全控器件相融合的伪图腾柱三电平结构,该结构具有可靠性高、能够以较高的开关频率工作,这样相对于传统两电平结构减小了交流电流纹波。

[0028] 5) 本发明拓扑采用伪图腾柱三电平结构,该结构具有较小的电压应力,一定程度上延长了开关管的使用寿命。

[0029] 6) 本发明所提变流器在一个交流输入周期内整流和逆变运行均存在六个工作模式;在整流运行时,该拓扑六个模式中串联回路最多有3个半导体器件导通,导通损耗较低;在逆变运行时,该拓扑在任意两个相邻模式只有一个开关管动作,一定程度上减小了开关损耗。

[0030] 7) 本发明新型伪图腾柱单相变流器具有三电平结构,能实现能量双向流动、交流电流谐波较小、开关管电压电流应力较低等优点。

## 附图说明

[0031] 图1为本发明一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器主拓扑结构图。

[0032] 图2(a)为本发明一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器在整流运行时工作模式一图;

[0033] 图2(b)为本发明一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器在整流运行时工作模式二图;

[0034] 图2(c)为本发明一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器在整流运行时工作模式三图;

[0035] 图2(d)为本发明一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器在整流运行时工作模式四图;

[0036] 图2(e)为本发明一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器在整流运行时工作模式五图;

[0037] 图2(f)为本发明一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器在整流运行时工作模式六图。

[0038] 图3(a)为本发明一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器在逆变运行时工作模式一图;

[0039] 图3(b)为本发明一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器在逆变运行时工作模式二图;

[0040] 图3(c)为本发明一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器在逆变运行时工作模式三图;

[0041] 图3(d)为本发明一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器在逆变运行时工作模式四图;

[0042] 图3(e)为本发明一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器在逆变运行时工作模式五图;

[0043] 图3(f)为本发明一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器在逆变运行时工作模式六图。

[0044] 图4为本发明在整流运行时,交流电压 $u_g$ 、交流电流 $i_g$ ,a点与N点间电压 $u_{aN}$ ,b点与N点间电压 $u_{bN}$ 波形图。

[0045] 图5为本发明在整流运行时,流过电感 $L_1$ 、 $L_2$ 电流 $i_{L1}$ 、 $i_{L2}$ 波形图。

[0046] 图6为本发明在整流运行时,输出电压 $U_{dc}$ 、直流分裂电容 $C_1$ 、 $C_2$ 电压 $U_{C1}$ 、 $U_{C2}$ 波形图。

[0047] 图7为本发明在逆变运行时,交流电压 $u_g$ 、交流电流 $i_g$ ,a点与N点间电压 $u_{aN}$ ,b点与N点间电压 $u_{bN}$ 波形图。

[0048] 图8为本发明在逆变运行时,流过电感 $L_1$ 电流 $i_{L1}$ ,电感 $L_2$ 电流 $i_{L2}$ ,交流电流 $i_g$ 波形图。

[0049] 图9为本发明在逆变运行时,直流分裂电容 $C_1$ 、 $C_2$ 电压 $U_{C1}$ 、 $U_{C2}$ 波形图。

## 具体实施方式

[0050] 如图1所示,一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器,该变流器包括开关管 $S_1 \sim S_6$ ,二极管 $D_1 \sim D_4$ ,滤波电感 $L_1$ 、 $L_2$ ,串联电容 $C_1$ 、 $C_2$ ;

[0051] 所述变流器左侧为二极管,开关管 $S_1$ 、 $S_2$ 以及电感 $L_1$ 、 $L_2$ 组成伪图腾柱结构;右侧为开关管 $S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_6$ ,二极管 $D_3$ 、 $D_4$ 组成的二极管钳位式三电平结构。

[0052] 串联分裂电容 $C_1$ 、 $C_2$ 组成直流母线,由于串联电容大小相等,每个电容承受直流母线电压 $U_{dc}$ 的一半,形成母线电压一半的中点,实现 $\pm 0.5U_{dc}$ 电平变化。

[0053] 双向开关由开关管 $S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_6$ ,二极管 $D_3$ 、 $D_4$ 组成,其主要作用在于实现 $\pm 0.5U_{dc}$ 电压流通过径。

[0054] 开关管 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_6$ 为全控型功率器件,包括但不限于绝缘栅型双极晶体管IGBT、电力场效应管MOSFET等。

[0055] 电路具体参数如下:变流器交流电压有效值为220V,频率为50Hz,开关频率为20kHz,整流运行时直流侧输出电压 $U_{dc}=400V$ ,电感 $L_1=L_2=2mH$ ,直流侧电容 $C_1=C_2=4700\mu F$ 。

[0056] 一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器,在整流运行时,包括以下工作模式:

[0057] (1) 工作模式一:如图2(a)所示,电路工作在交流电源正半周期,该工作模式下a点与N点间电压 $U_{aN}=0$ ,b点与N点间电压 $U_{bN}=0$ 。开关管 $S_3$ 导通、开关管 $S_4$ 导通、开关管 $S_2$ 体二极管导通,二极管 $D_4$ 导通,其余半导体器件均关断。此过程交流电源 $u_g$ 对电感 $L_1$ 、 $L_2$ 充电,电感 $L_1$ 、 $L_2$ 储能;同时,电容 $C_1$ 、 $C_2$ 放电对直流电源 $U_{dc}$ 充电。

[0058] (2) 工作模式二:如图2(b)所示,电路工作在交流电源正半周期,该工作模式下a点与N点间电压 $U_{aN}=U_{dc}/2$ ,b点与N点间电压 $U_{bN}=U_{dc}/2$ 。开关管 $S_4$ 导通、 $S_2$ 体二极管导通,二极管 $D_1$ 、 $D_3$ 导通,其余半导体器件均关断。此过程电感 $L_1$ 、 $L_2$ 放电对电容 $C_1$ 充电,电容 $C_2$ 对直流电源 $U_{dc}$ 充电。当交流电压 $u_g>U_{dc}/2$ 时,电感 $L_1$ 充电;当交流电压 $u_g<U_{dc}/2$ 时,电感 $L_1$ 放电。

[0059] (3) 工作模式三:如图2(c)所示,电路工作在交流电源正半周期,该工作模式下,a点与N点间电压 $U_{aN}=U_{dc}$ ,b点与N点间电压 $U_{bN}=U_{dc}$ 。开关管 $S_2$ 体二极管、 $S_5$ 体二极管、 $S_6$ 体二极管导通,二极管 $D_1$ 导通,其余半导体器件均关断。此过程电感 $L_1$ 、 $L_2$ 放电,一部分电流分经电容 $C_1$ 、 $C_2$ 对其充电,另外一部分向直流电源 $U_{dc}$ 充电。

[0060] (4) 工作模式四:如图2(d)所示,电路工作在交流电源负半周期,该工作模式下a点与N点间电压 $U_{aN}=0$ ,b点与N点间电压 $U_{bN}=0$ 。开关管 $S_5$ 导通、 $S_6$ 导通、 $S_1$ 体二极管导通,二极管 $D_2$ 导通,其余半导体器件均关断。此过程交流电源 $u_g$ 对电感 $L_1$ 、 $L_2$ 充电,电感 $L_1$ 、 $L_2$ 储能;同时,电容 $C_1$ 、 $C_2$ 对直流电源 $U_{dc}$ 充电。

[0061] (5) 工作模式五:如图2(e)所示,电路工作在交流电源负半周期,该工作模式下,a点与N点间电压 $U_{aN}=-U_{dc}/2$ ,b点与N点间电压 $U_{bN}=-U_{dc}/2$ 。开关管 $S_5$ 导通、 $S_1$ 体二极管导通,二极管 $D_2$ 、 $D_4$ 导通,其余半导体器件均关断。此过程电感 $L_1$ 、 $L_2$ 放电对电容 $C_2$ 充电,电容 $C_1$ 对直流电源 $U_{dc}$ 充电。当交流电压幅值 $|u_g|>U_{dc}/2$ 时,电感 $L_2$ 充电;当交流电压幅值 $|u_g|<U_{dc}/2$ 时,电感 $L_2$ 放电。

[0062] (6) 工作模式六:如图2(f)所示,电路工作在交流电源负半周期,该工作模式下,a点与N点间电压 $U_{aN}=-U_{dc}$ ,b点与N点间电压 $U_{bN}=-U_{dc}$ 。开关管 $S_1$ 体二极管、 $S_3$ 体二极管、 $S_4$ 体二极管导通,二极管 $D_2$ 导通,其余半导体器件均关断。此过程电感 $L_1$ 、 $L_2$ 放电,一部分电流分经电容 $C_1$ 、 $C_2$ 对其充电,另外一部分向直流电源 $U_{dc}$ 充电。

[0063] 一种适用单相交直流混合微电网的三电平伪图腾柱式变流器,在逆变运行时,包括以下工作模式:

[0064] (1) 工作模式一:如图3(a)所示,电路工作在交流电源正半周期,该工作模式下b点与N点间电压 $U_{bN}=0$ 。开关管 $S_2$ 导通、 $S_3$ 体二极管、 $S_4$ 体二极管导通,其余半导体器件均关断。

[0065] 此过程直流电源 $U_{dc}$ 对电容 $C_1$ 、 $C_2$ 充电,电感 $L_2$ 对交流电源 $u_g$ 充电。

[0066] (2) 工作模式二:如图3(b)所示,电路工作在交流电源正半周期,该工作模式下b点与N点间电压 $U_{bN}=U_{dc}/2$ 。开关管 $S_2$ 导通、 $S_5$ 导通,二极管 $D_4$ 导通,其余半导体器件均关断。此过程直流电源 $U_{dc}$ 放电对电容 $C_2$ 充电,电容 $C_1$ 对电感 $L_2$ 、交流电压 $u_g$ 充电。

[0067] (3) 工作模式三:如图3(c)所示,电路工作在交流电源正半周期,该工作模式下,b

点与N点间电压 $U_{bN}=U_{dc}$ 。开关管 $S_2$ 、 $S_5$ 、 $S_6$ 导通,其余半导体器件均关断。此过程直流电源 $U_{dc}$ 对电容 $C_1$ 、 $C_2$ 充电并对电感 $L_2$ 、交流电压 $u_g$ 充电。

[0068] (4) 工作模式四:如图3(d)所示,电路工作在交流电源负半周期,该工作模式下a点与N点间电压 $U_{aN}=0$ 。开关管 $S_1$ 导通、 $S_5$ 体二极管导通、 $S_6$ 体二极管导通,其余半导体器件均关断。此过程直流电源 $U_{dc}$ 对电容 $C_1$ 、 $C_2$ 充电,电感 $L_1$ 对交流电源 $u_g$ 充电。

[0069] (5) 工作模式五:如图3(e)所示,电路工作在交流电源负半周期,该工作模式下,a点与N点间电压 $U_{aN}=-U_{dc}/2$ 。开关管 $S_1$ 、 $S_4$ 导通,二极管 $D_3$ 导通,其余半导体器件均关断。此过程直流电源 $U_{dc}$ 放电对电容 $C_1$ 充电,电容 $C_2$ 对电感 $L_1$ 、交流电压 $u_g$ 充电。

[0070] (6) 工作模式六:如图3(f)所示,电路工作在交流电源负半周期,该工作模式下,a点与N点间电压 $U_{aN}=-U_{dc}$ 。开关管 $S_1$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 导通,其余半导体器件均关断。此过程直流电源 $U_{dc}$ 对电容 $C_1$ 、 $C_2$ 充电并对电感 $L_1$ 、交流电压 $u_g$ 充电。

[0071] 图4、图5、图6为本发明整流运行时,负载为160 $\Omega$ 时的实验波形。

[0072] 图4表示本发明在整流运行时,交流输入电压 $u_g$ 和交流输入电流 $i_g$ 波形均保持正弦规律变化,且电流 $i_g$ 波形跟随电压 $u_g$ 波形,基本实现了单位功率因数;a点与N点间电压 $u_{aN}$ 、b点与N点间电压 $u_{bN}$ 符合三电平拓扑特征。

[0073] 图5表示本发明在整流运行时,流过电感 $L_1$ 、 $L_2$ 电流 $i_{L1}$ 、 $i_{L2}$ 波形,电流 $i_{L1}$ 、 $i_{L2}$ 波形正负半周期对称,与电路工作模态分析一致。

[0074] 图6表示本发明在整流运行时,输出电压 $U_{dc}$ 能稳定在400V附近,直流分裂电容 $C_1$ 、 $C_2$ 电压 $U_{C1}$ 、 $U_{C2}$ 波形能实现中点电压平衡。

[0075] 图7、图8、图9为本发明逆变运行时,负载为160 $\Omega$ 时的实验波形。

[0076] 图7表示本发明在逆变运行时,交流电压 $u_g$ 和交流电流 $i_g$ 波形均保持正弦规律变化,且电流 $i_g$ 波形跟随电压 $u_g$ 波形,a点与N点间电压 $u_{aN}$ ,b点与N点间电压 $u_{bN}$ 符合三电平拓扑特征。

[0077] 图8表示本发明在逆变运行时,流过电感 $L_1$ 电流 $i_{L1}$ 仅在正半周期工作,电感 $L_2$ 电流 $i_{L2}$ 波形仅在负半周期工作,符合电路工作模态,且 $i_{L1}$ 与 $i_{L2}$ 之和为交流电流 $i_g$ 。

[0078] 图9表示本发明在逆变运行时,直流分裂电容 $C_1$ 、 $C_2$ 电压 $U_{C1}$ 、 $U_{C2}$ 波形能实现中点电压自平衡。

[0079] 综上对实验结果的分析可知,本发明拓扑能实现能量双向流动,且在整流运行时具有稳定的直流电压输出,在逆变运行时具有正弦化的交流输出。

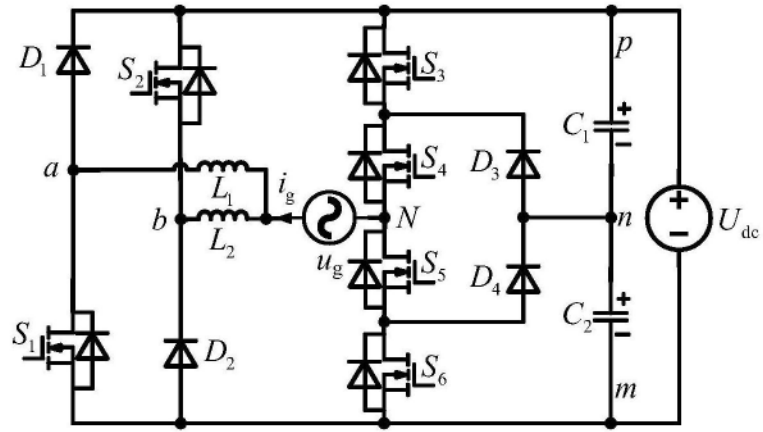


图1

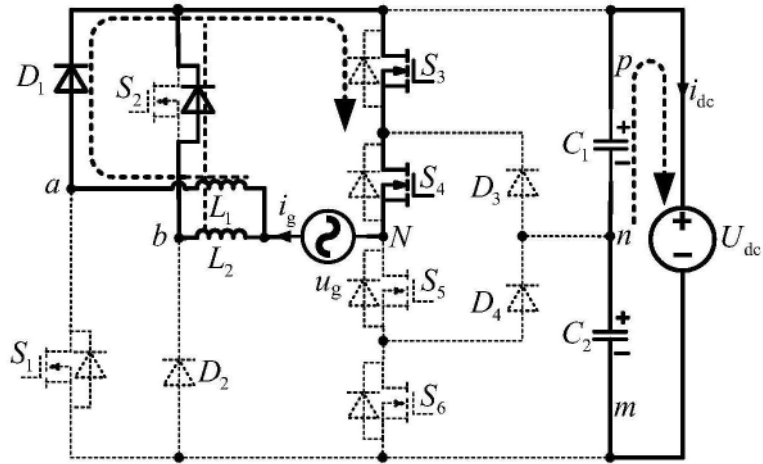


图2 (a)

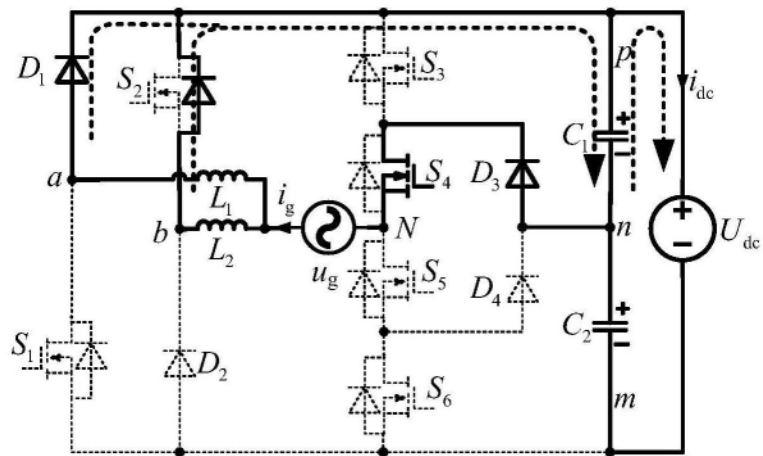


图2 (b)

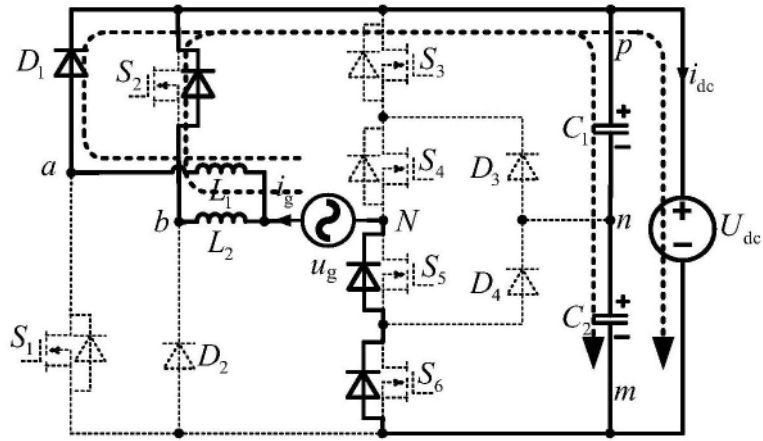


图2 (c)

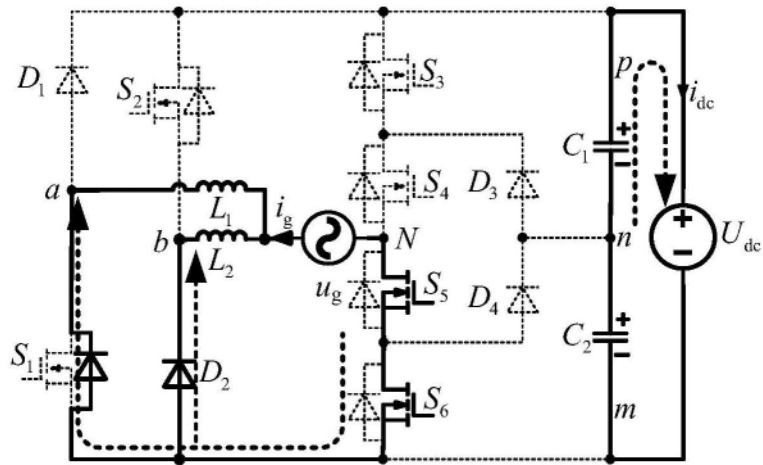


图2 (d)

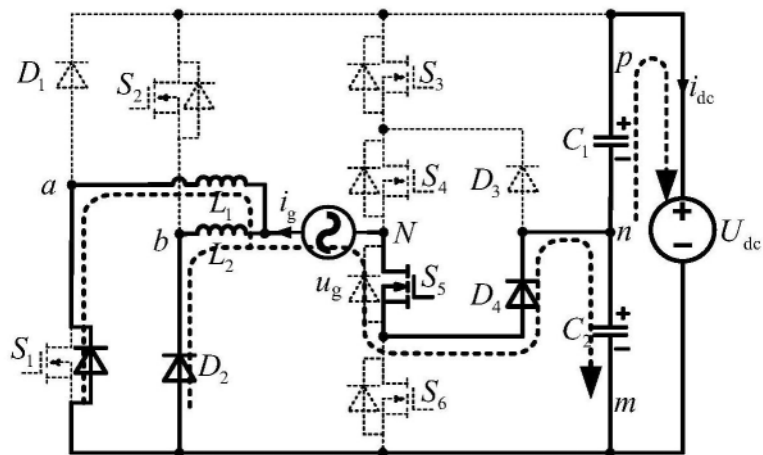


图2 (e)

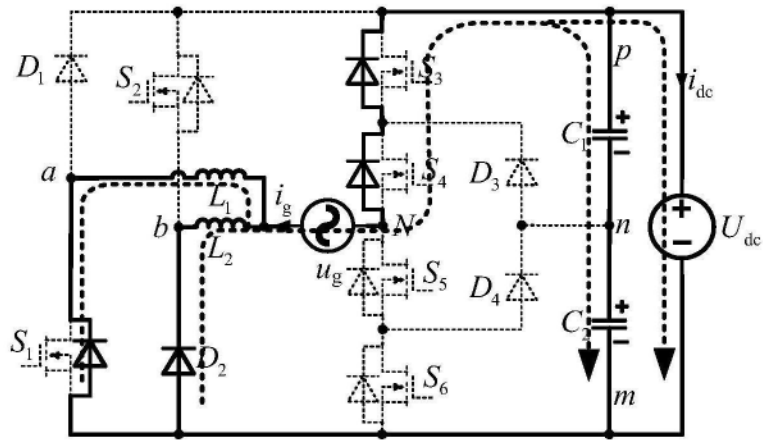


图2 (f)

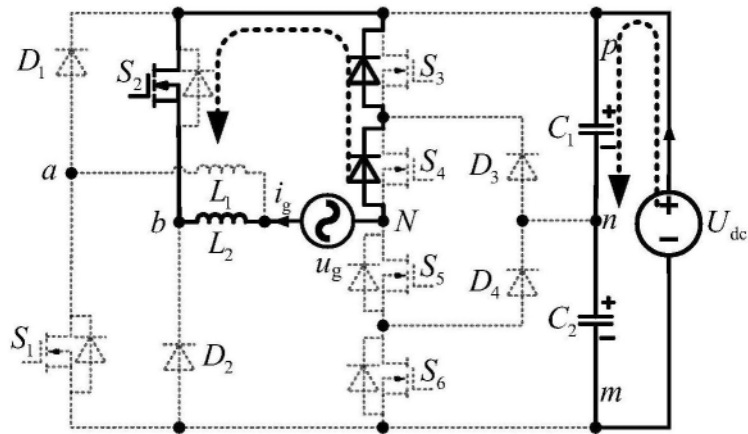


图3 (a)

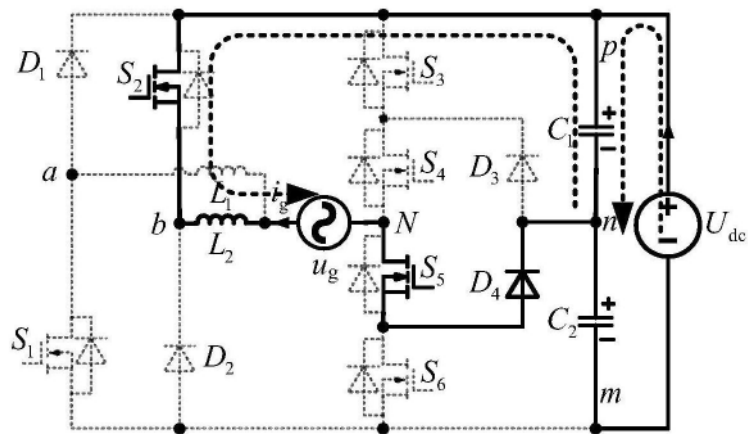


图3 (b)

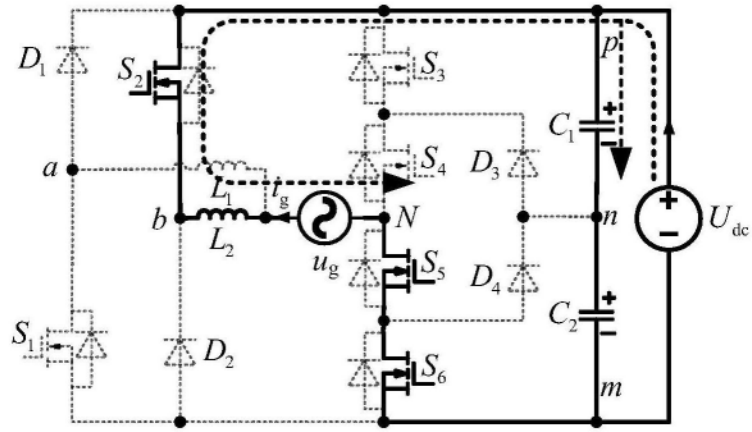


图3 (c)

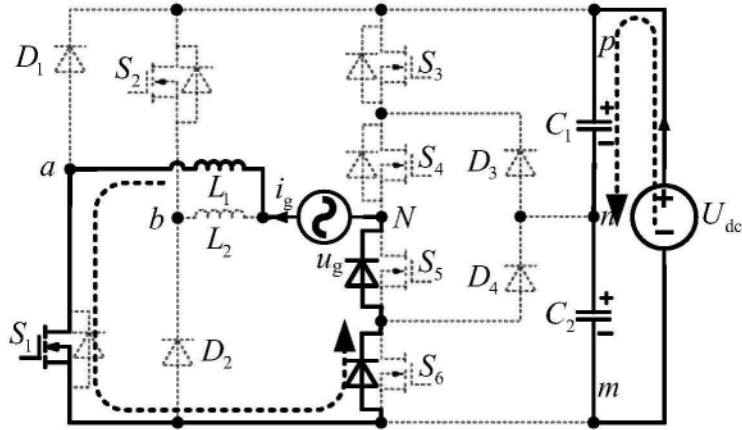


图3 (d)

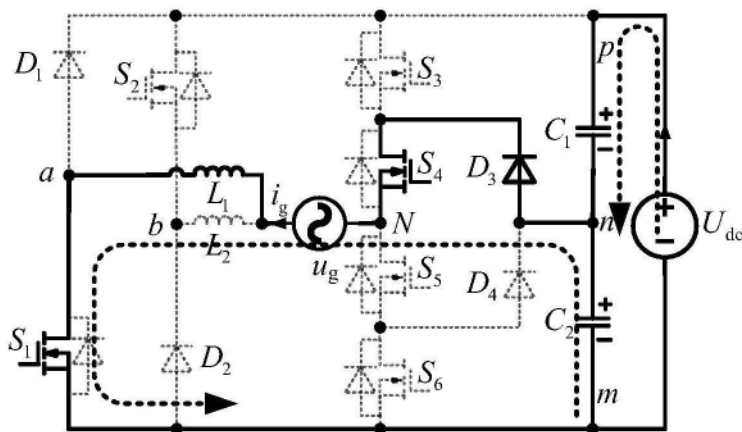


图3 (e)

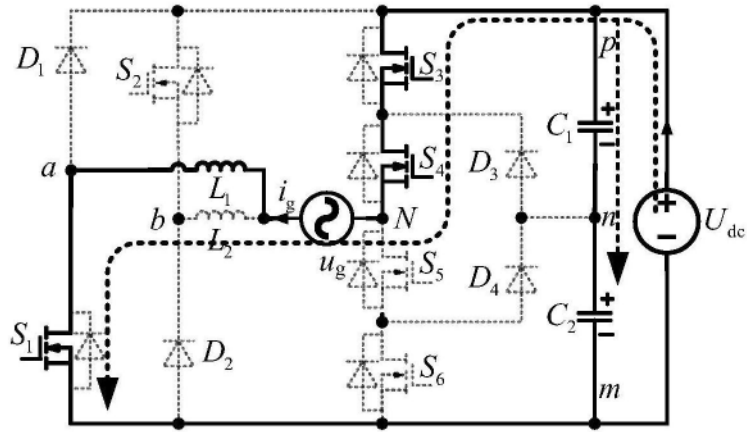


图3 (f)

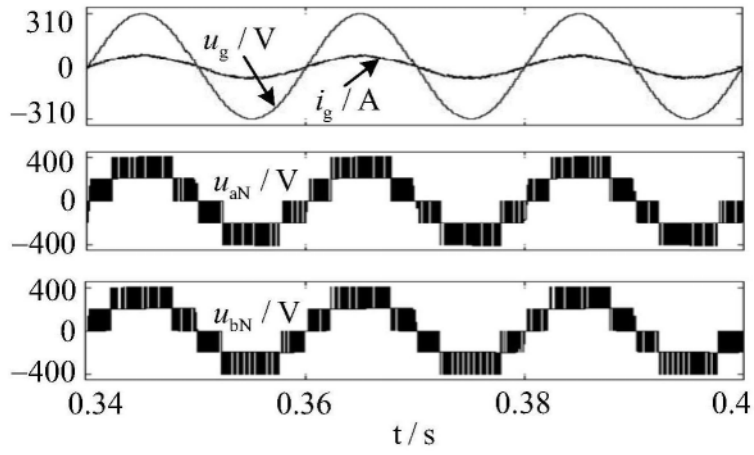


图4

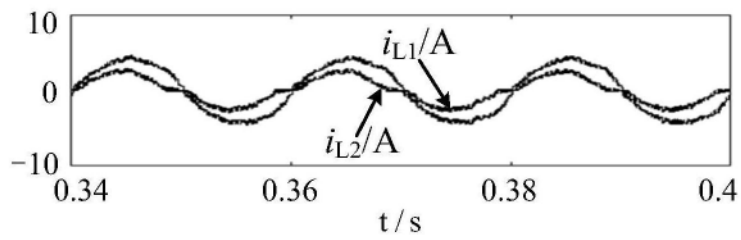


图5

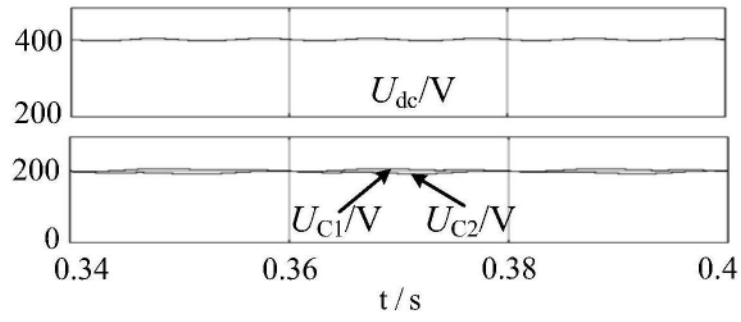


图6

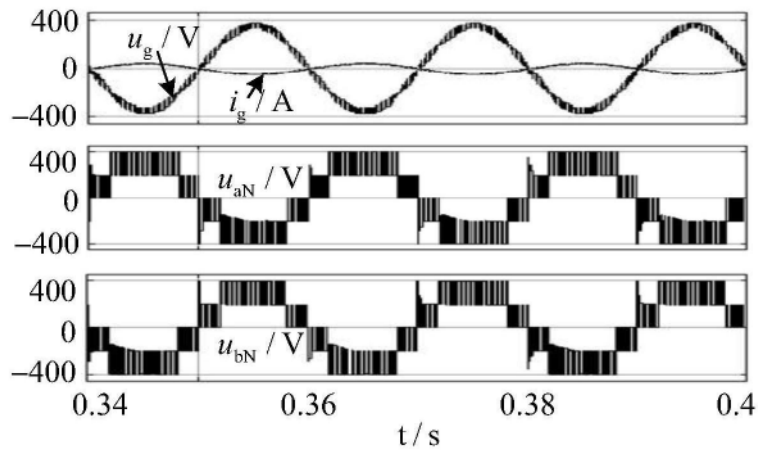


图7

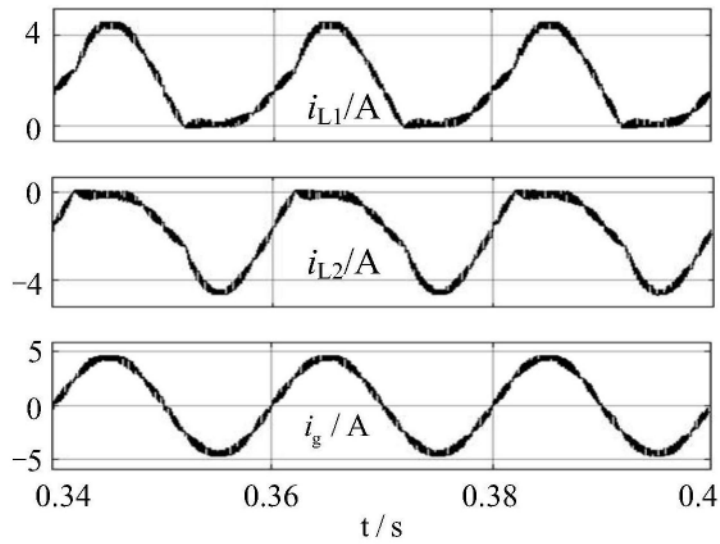


图8

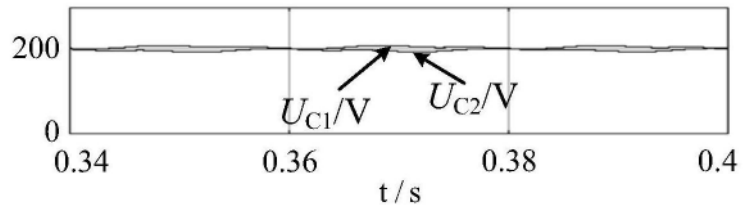


图9