



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102427307 B

(45) 授权公告日 2014. 09. 17

(21) 申请号 201110326742. X

CN 101599713 A, 2009. 12. 09, 全文.

(22) 申请日 2011. 10. 24

CN 102035423 A, 2011. 04. 27, 全文.

(73) 专利权人 阳光电源股份有限公司

审查员 傅远

地址 230088 安徽省合肥市高新区天湖路 2 号

(72) 发明人 汪洪亮 姚丹 宋炆

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 赵景平 逯长明

(51) Int. Cl.

H02M 7/483(2007. 01)

H02M 7/537(2006. 01)

(56) 对比文件

JP 特开 2009-232619 A, 2009. 10. 08, 全文.

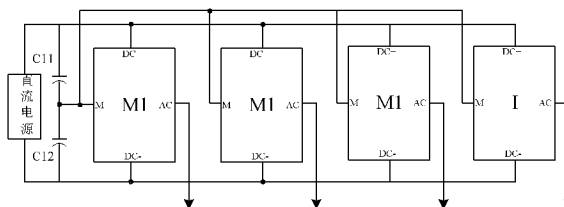
权利要求书1页 说明书7页 附图8页

(54) 发明名称

一种三相四线制三电平逆变器

(57) 摘要

本发明公开了一种三相四线制三电平逆变器,包括:四个拓扑单元,四个拓扑单元中至少包含以下两个拓扑单元:第一拓扑单元和第二拓扑单元这两者之一、以及1字型拓扑单元和T字型拓扑单元这两者之一,第一拓扑单元中的第一开关器件、第二开关器件和第四开关器件串联连接在直流电源之间,第三开关器件的第二端连接所述直流电源的分压中点,第二端连接第一开关器件的第二端和第二开关器件的第一端;第二拓扑单元中的第一开关器件、第三开关器件和第四开关器件串联连接在直流电源之间,第二开关器件的第一端连接所述直流电源的分压中点,第二端连接第三开关器件的第二端和第四开关器件的第一端。利用本发明,可以减小损耗,提高转换效率。



1. 一种三相四线制三电平逆变器,用于将直流电源输出的直流电转换成交流电,其特征在于,包括:四个拓扑单元,所述四个拓扑单元中的每个拓扑单元分别连接在所述直流电源之间,并且所述四个拓扑单元中至少包含以下两个拓扑单元:第一拓扑单元和第二拓扑单元这两者之一、以及 1 字型拓扑单元和 T 字型拓扑单元这两者之一,其中:

所述第一拓扑单元包括:四个开关器件,其中的第一开关器件、第二开关器件和第四开关器件串联连接在所述直流电源之间,其中,第一开关器件的第一端连接所述直流电源的正端,第四开关器件的第二端连接所述直流电源的负端;第三开关器件的第二端连接所述直流电源的分压中点,第三开关器件的第一端连接第一开关器件的第二端和第二开关器件的第一端;第二开关器件的第二端和第四开关器件的第一端相连并作为所述逆变器的一个输出端;

所述第二拓扑单元包括:四个开关器件,其中的第一开关器件、第三开关器件和第四开关器件串联连接在所述直流电源之间,其中,第一开关器件的第一端连接所述直流电源的正端,第四开关器件的第二端连接所述直流电源的负端;第二开关器件的第一端连接所述直流电源的分压中点,第二开关器件的第二端连接第三开关器件的第二端和第四开关器件的第一端;第一开关器件的第二端和第三开关器件的第一端相连并作为所述逆变器的一个输出端。

2. 根据权利要求 1 所述的三相四线制三电平逆变器,其特征在于,每个开关器件均包括:开关管和与所述开关管反并联的二极管。

3. 根据权利要求 2 所述的三相四线制三电平逆变器,其特征在于,所述二极管为独立二极管或所述开关管内部自带的反并联二极管。

4. 根据权利要求 1 所述的三相四线制三电平逆变器,其特征在于,所述第一拓扑单元或第二拓扑单元中的四个开关器件的驱动信号由正弦调制波与三角形载波交截产生,并且:

在所述正弦调制波的正半周期,第二开关器件导通,第四开关器件关断,并且如果所述三角形载波的电平小于所述正弦调制波的电平,则第一开关器件导通,第三开关器件关断;如果所述三角形载波的电平大于所述正弦调制波的电平,则第一开关器件关断,第三开关器件导通;

在所述正弦调制波的负半周期,第一开关器件保持关断状态,第三开关器件保持导通状态,并且如果所述三角形载波的电平大于所述正弦调制波反向后的电平,则第二开关器件导通,第四开关器件关断;如果所述三角形载波的电平小于所述正弦调制波反向后的电平,则第二开关器件关断,第四开关器件导通。

5. 根据权利要求 1 所述的三相四线制三电平逆变器,其特征在于,所述四个拓扑单元中的任意一个拓扑单元的输出端作为零线,其它三个拓扑单元的输出端作为火线。

6. 根据权利要求 1 至 5 任一项所述的三相四线制三电平逆变器,其特征在于,还包括:两个分压电容,串联连接在所述直流电源之间,用于对所述直流电源进行分压,所述两个分压电容的连接点为所述直流电源的分压中点。

7. 根据权利要求 6 所述的三相四线制三电平逆变器,其特征在于,所述两个电容的容抗相同。

## 一种三相四线制三电平逆变器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电压转换技术领域,具体涉及一种三相四线制三电平逆变器。

### 背景技术

[0002] 逆变器是指通过半导体功率开关器件的开通和关断作用,将直流电能转换为交流电能的一种变换器。近年来,三电平逆变器由于具有输出容量大、输出电压高、电流谐波含量小等优点,在高压大功率交流电机变频调速领域得到了广泛的应用。

[0003] 由于受到功率器件容量、零线电流、电网负载平衡要求和用电负载的性质(如三相交流异步电动机等)的限制,单相逆变器容量一般较低,大容量的逆变器多采用三相形式。

[0004] 现有的三相三电平逆变器拓扑的每一相拓扑单元主要有两类,分别是:1 字型拓扑结构和 T 字型拓扑结构。

[0005] 如图 1 所示,是现有技术中 1 字型拓扑结构的示意图。

[0006] 在该 1 字型拓扑结构中,通过在直流正负母线电压之间串联两个容抗相等的电容(即图 1 中的电容 C1 和电容 C2)来获得三个电平:正母线电平、两电容串联接点电平、负母线电平。单相半桥逆变器交流输出的一个接线端子从上述两串联电容的接点 n 引出,另一个交流输出端子从图中 a 点引出。

[0007] 每相拓扑单元的工作过程如下:

[0008] 当半导体开关管 T1、T2 导通,半导体开关管 T3、T4、二极管 D3、D4、D5、D6 截止时,输出节点 a 的电平等于正母线电平。输出侧电流从 a 点流出到电感 L1 时,二极管 D1、D2 截止,电流回路为 T1-T2-L1-V<sub>c</sub>-L2-C1-T1;输出侧电流从 L1 流进 a 点时,二极管 D1、D2 导通,电流回路为 D2-D1-C1-L2-V<sub>c</sub>-L1-D2。

[0009] 当半导体开关管 T2、T3 导通,半导体开关管 T1、T4、二极管 D1、D2、D3、D4 截止时,输出节点 a 的电平等于两电容串联接点电平。输出侧电流从 a 点流出到 L1 时,二极管 D5 导通,二极管 D6 截止,电流回路为 D5-T2-L1-V<sub>c</sub>-L2-D5;输出侧电流从 L1 流进 a 点时,二极管 D6 导通,二极管 D5 截止,电流回路为 T3-D6-L2-V<sub>c</sub>-L1-T3。

[0010] 当半导体开关管 T3、T4 导通,半导体开关管 T1、T2、二极管 D1、D2、D5、D6 截止时,输出节点 a 的电平等于负母线电平。输出侧电流从 a 点流出到 L1 时,二极管 D3、D4 导通,电流回路为 D4-D3-L1-V<sub>c</sub>-L2-C2-D4;输出侧电流从 L1 流进 a 点时,二极管 D3、D4 截止,电流回路为 T3-T4-C2-L2-V<sub>c</sub>-L1-T3。

[0011] 由上述工作过程可知,1 字型三电平逆变器的四组半导体开关管(T1 和 D1, T2 和 D2, T3 和 D3, T4 和 D4)承受的最大电压为直流总输入电压的一半,因此,可以选择额定电压较小的半导体开关管进而减小其开关损耗。但在该拓扑中,需要两个箝位二极管 D5、D6,增加了器件个数和其损耗,同时还增加了半导体开关管 T2、T3 的通态损耗。

[0012] 如图 2 所示,是现有技术中 T 字型拓扑结构的示意图。

[0013] 在该 T 字型拓扑结构中,通过在直流正负母线电压之间串联两个容抗相等的电容

(即图 2 中的电容 C1 和电容 C2) 来获得三个电平:正母线电平,两电容串联接点电平,负母线电平,单相半桥逆变器交流输出的一个接线端子从上述两串联电容的接点 n 引出,另一个交流输出端子从图中 a 点引出。

[0014] 每相拓扑单元的工作过程如下:

[0015] 当半导体开关管 T1、T2 导通,半导体开关管 T3、T4、D2、D3、D4 截止时,输出节点 a 的电平等于正母线电平。输出侧电流从 a 点流出到电感 L1 时,二极管 D1 截止,电流回路为 T1-L1-V<sub>c</sub>-L2-C1-T1;输出侧电流从电感 L1 流进 a 点时,二极管 D1 导通,电流回路为 D1-C1-L2-V<sub>c</sub>-L1-D1。

[0016] 当半导体开关管 T2、T3 导通,半导体开关管 T1、T4、D1、D4 截止时,输出节点 a 的电平等于两电容串联接点电平。输出侧电流从 a 点流出到电感 L1 时,二极管 D3 导通,二极管 D2 截止,电流回路为 T2-D3-L1-V<sub>c</sub>-L2-T2;输出侧电流从电感 L1 流进 a 点时,二极管 D2 导通,二极管 D3 截止,电流回路为 T3-D2-L2-V<sub>c</sub>-L1-T3。

[0017] 当半导体开关管 T3、T4 导通,半导体开关管 T1、T2、D1、D2、D3 截止时,输出节点 a 的电平等于负母线电平。输出侧电流从 a 点流出到电感 L1 时,二极管 D4 导通,电流回路为 D4-L1-V<sub>c</sub>-L2-C2-D4;输出侧电流从电感 L1 流进 a 点时,二极管 D4 截止,电流回路为 T4-C2-L2-V<sub>c</sub>-L1-T4。

[0018] 由上述工作过程可知,T 字型三电平逆变器的四组半导体开关管中 T1、T4 承受的最大电压为直流总输入电压,T2、T3 承受的最大电压为一半直流总输入电压。因此,增加了半导体开关管 T1、T4 的开关损耗,但无需两个箝位二极管,避免了该部分损耗。

## 发明内容

[0019] 本发明实施例针对上述现有技术存在的问题,提供一种三相四线制三电平逆变器,以减小损耗,提高能量转换效率。

[0020] 为此,本发明实施例提供如下技术方案:

[0021] 一种三相四线制三电平逆变器,用于将直流电源输出的直流电转换成交流电,包括:四个拓扑单元,所述四个拓扑单元中的每个拓扑单元分别连接在所述直流电源之间,并且所述四个拓扑单元中至少包含以下两个拓扑单元:第一拓扑单元和第二拓扑单元这两者之一、以及 1 字型拓扑单元和 T 字型拓扑单元这两者之一,其中:

[0022] 所述第一拓扑单元包括:四个开关器件,其中的第一开关器件、第二开关器件和第四开关器件串联连接在所述直流电源之间,其中,第一开关器件的第一端连接所述直流电源的正端,第四开关器件的第二端连接所述直流电源的负端;第三开关器件的第二端连接所述直流电源的分压中点,第三开关器件的第一端连接第一开关器件的第二端和第二开关器件的第一端;第二开关器件的第二端和第四开关器件的第一端相连并作为所述逆变器的一个输出端;

[0023] 所述第二拓扑单元包括:四个开关器件,其中的第一开关器件、第三开关器件和第四开关器件串联连接在所述直流电源之间,其中,第一开关器件的第一端连接所述直流电源的正端,第四开关器件的第二端连接所述直流电源的负端;第二开关器件的第一端连接所述直流电源的分压中点,第二开关器件的第二端连接第三开关器件的第二端和第四开关器件的第一端;第一开关器件的第二端和第三开关器件的第一端相连并作为所述逆变器的

一个输出端。

[0024] 优选地,每个开关器件均包括:开关管和与所述开关管反并联的二极管。

[0025] 可选地,所述二极管为独立二极管或所述开关管内部自带的反并联二极管。

[0026] 优选地,所述第一拓扑单元或第二拓扑单元中的四个开关器件的驱动信号由正弦波与三角形载波交截产生,并且:

[0027] 在所述正弦调制波的正半周期,第二开关器件导通,第四开关器件关断,并且如果所述三角形载波的电平小于所述正弦调制波的电平,则第一开关器件导通,第三开关器件关断;如果所述三角形载波的电平大于所述正弦调制波的电平,则第一开关器件关断,第三开关器件导通;

[0028] 在所述正弦调制波的负半周期,第一开关器件保持关断状态,第三开关器件保持导通状态,并且如果所述三角形载波的电平大于所述正弦调制波反向后的电平,则第二开关器件导通,第四开关器件关断;如果所述三角形载波的电平小于所述正弦调制波反向后的电平,则第二开关器件关断,第四开关器件导通。

[0029] 优选地,所述四个拓扑单元中的任意一个拓扑单元的输出作为零线,其它三个拓扑单元的输出作为火线。

[0030] 优选地,所述三相四线制三电平逆变器还包括:

[0031] 两个分压电容,串联连接在所述直流电源之间,用于对所述直流电源进行分压,所述两个分压电容的连接点为所述直流电源的分压中点。

[0032] 优选地,所述两个电容的容抗相同。

[0033] 本发明实施例提供的三相四线制三电平逆变器,可以在保持三电平逆变器的器件数目最少的同时,降低部分开关管的电压应力,从而可以选用小功率半导体开关管,减小损耗,提高转换效率。

## 附图说明

[0034] 为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明中记载的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0035] 图 1 是现有技术中三相三电平逆变器拓扑的每一相 1 字型拓扑结构示意图;

[0036] 图 2 是现有技术中三相三电平逆变器拓扑的每一相 T 字型拓扑结构示意图;

[0037] 图 3 是本发明实施例中第一拓扑单元的结构示意图;

[0038] 图 4 是本发明实施例中第二拓扑单元的结构示意图;

[0039] 图 5 是本发明实施例中 1 字型拓扑单元的结构示意图;

[0040] 图 6 是本发明实施例中 T 字型拓扑单元的结构示意图;

[0041] 图 7、图 8、图 9、图 10 分别是本发明实施例三相四线制三电平逆变器的一种结构示意图;

[0042] 图 11 是本发明实施例中第一拓扑单元和第二拓扑单元中各开关器件的驱动信号示意图;

[0043] 图 12 是本发明实施例中第一拓扑单元在第一工作模式下的电流回路示意图;

[0044] 图 13 是本发明实施例中第一拓扑单元在第二工作模式下的电流回路示意图;

- [0045] 图 14 是本发明实施例中第一拓扑单元在第三工作模态下的电流回路示意图。
- [0046] 图 15 是本发明实施例中第二拓扑单元在第一工作模态下的电流回路示意图；
- [0047] 图 16 是本发明实施例中第二拓扑单元在第二工作模态下的电流回路示意图；
- [0048] 图 17 是本发明实施例中第二拓扑单元在第三工作模态下的电流回路示意图。

### 具体实施方式

[0049] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明实施例的方案，下面结合附图和实施方式对本发明实施例作进一步的详细说明。

[0050] 本发明实施例提供一种三相四线制三电平逆变器，用于将直流电源输出的直流电转换成交流电，所述直流电源可以是光伏电源，也可以是储能电池。所述三相四线制三电平逆变器的输出侧可以接电网或者是交流负载。

[0051] 在该三相四线制三电平逆变器中包括：四个拓扑单元，所述四个拓扑单元中的每个拓扑单元分别连接在所述直流电源之间，并且所述四个拓扑单元中至少包含以下两个拓扑单元：第一拓扑单元和第二拓扑单元这两者之一、以及 1 字型拓扑单元和 T 字型拓扑单元这两者之一。

[0052] 下面首先对这四个拓扑单元进行详细说明。

[0053] 为了描述方便，将上述第一拓扑单元简称为 M1，第二拓扑单元简称为 M2。

[0054] 如图 3 所示，是本发明实施例中第一拓扑单元的一种结构示意图及其对应的简化框图。

[0055] 该第一拓扑单元包括：四个开关器件，其中的第一开关器件、第二开关器件和第四开关器件串联连接在所述直流电源之间，其中，第一开关器件的第一端连接所述直流电源的正端，第四开关器件的第二端连接所述直流电源的负端；第三开关器件的第二端连接所述直流电源的分压中点，第三开关器件的第一端连接第一开关器件的第二端和第二开关器件的第一端；第二开关器件的第二端和第四开关器件的第一端相连并作为所述逆变器的一个输出端。

[0056] 如图 4 所示，是本发明实施例中第二拓扑单元的一种结构示意图及其对应的简化框图。

[0057] 该第二拓扑单元包括：四个开关器件，其中的第一开关器件、第三开关器件和第四开关器件串联连接在所述直流电源之间，其中，第一开关器件的第一端连接所述直流电源的正端，第四开关器件的第二端连接所述直流电源的负端；第二开关器件的第一端连接所述直流电源的分压中点，第二开关器件的第二端连接第三开关器件的第二端和第四开关器件的第一端；第一开关器件的第二端和第三开关器件的第一端相连并作为所述逆变器的一个输出端。

[0058] 如图 5 所示，是本发明实施例中 1 字型拓扑单元的结构示意图及其对应的简化框图。

[0059] 该 1 字型拓扑单元与现有技术相同，包括：四个开关器件，这四个开关器件依次串联连接在所述直流电源之间，另外，还包括两个箝位二极管 D5、D6。

[0060] 如图 6 所示，是本发明实施例中 T 字型拓扑单元的结构示意图及其对应的简化框图。

[0061] 该 T 字型拓扑单元与现有技术相同,包括:四个开关器件,其中的第一开关器件和第四开关器件串联连接在所述直流电源之间,其中,第一开关器件的第一端连接所述直流电源的正端,第四开关器件的第二端连接所述直流电源的负端;第二开关器件的第二端和第三开关器件的第二端相连接,并且,第二开关器件的第一端连接所述直流电源的分压中点,第三开关器件的第一端分别与第一开关器件的第二端及第四开关器件的第一端相连接。

[0062] 需要说明的是,在实际应用中,上述直流电源的分压中点可以由串联连接在所述直流电源之间的两个分压电容形成,即所述两个分压电容的连接点为所述直流电源的分压中点。

[0063] 上述图 3 至图 6 中的各开关器件包括:开关管和与所述开关管反并联的二极管,所述开关管可以是半导体开关管,比如 MOSFET(高压金属氧化物硅场效应晶体管)、IGBT(绝缘栅双极晶体管)、IGCT(集成门极换流晶闸管)、IEGT(增强注入栅晶体管)等。所述二极管可以是独立二极管或所述开关管内部自带的反并联二极管。相应地,所述开关管的漏极或集电极与所述二极管的阴极相连构成所述开关器件的第一端,所述开关管的源极或发射极与所述二极管的阳极相连构成所述开关器件的第二端。当然,本发明实施例并不限定上述开关管的类型,还可以是其它类型的开关管。

[0064] 如图 3 至图 6 所示,第一开关器件由第一开关管 T1 和第一二极管 D1 组成,第二开关器件由第二开关管 T2 和第二二极管 D2 组成,第三开关器件由第三开关管 T3 和第三二极管 D3 组成,第四开关器件由第四开关管 T4 和第四二极管 D4 组成。

[0065] 基于上述各种拓扑单元,本发明实施例提供的三相四线制三电平逆变器可以有多种变形结构。

[0066] 图 7、图 8、图 9、图 10 分别是本发明实施例三相四线制三电平逆变器的一种结构示意图。

[0067] 如图 7 所示,两个分压电容 C11、C12 串联连接在直流电源之间,两个分压电容 C11、C12 的容抗相同,用于对直流电源进行分压;四个拓扑单元分别为第一拓扑单元 M1、第一拓扑单元 M1、第一拓扑单元 M1 和 1 字型拓扑单元,分别连接在所述直流电源之间。

[0068] 图 8、图 9、图 10 所示三相四线制三电平逆变器与图 7 类似,只是图 8 中的四个拓扑单元分别为第一拓扑单元 M1、第一拓扑单元 M1、第一拓扑单元 M1 和 T 字型拓扑单元;图 9 中的四个拓扑单元分别为第二拓扑单元 M2、第二拓扑单元 M2、第二拓扑单元 M2 和 1 字型拓扑单元;图 10 中的四个拓扑单元分别为第二拓扑单元 M2、第二拓扑单元 M2、第二拓扑单元 M2 和 T 字型拓扑单元。

[0069] 需要说明的是,图 7 至图 10 所示的各三相四线制三电平逆变器中,四个拓扑单元的输出中,可以选择其中任意一个作为零线,其它另外三个拓扑单元的输出作为火线。三条火线对应的三个拓扑单元中相对应的各开关器件的驱动信号相位互差 120 度。

[0070] 另外,图 7 至图 10 所示仅是本发明实施例三相四线制三电平逆变器的几种示例,并不仅限于上述这几种拓扑形式,还可以有其它拓扑形式,只需使四个拓扑单元中至少包含以下两个拓扑单元:第一拓扑单元和第二拓扑单元这两者之一、以及 1 字型拓扑单元和 T 字型拓扑单元这两者之一即可。

[0071] 本发明实施例中第一拓扑单元 M1 和第二拓扑单元 M2、以及 1 字型拓扑单元和 T 字

型拓扑单元中四个开关器件的驱动信号由正弦调制波（即调制信号）与三角形载波（即载波信号）交截产生，如图 11 所示。

[0072] 其中， $U_g$  为正弦波，比如 50Hz， $U_c$  是三角形载波，如 20KHz。S1、S2、S3 和 S4 分别表示第一开关器件、第二开关器件、第三开关器件和第四开关器件的驱动信号， $V_{an}$  表示相应拓扑单元的输出信号。

[0073] 在所述正弦调制波  $U_g$  的正半周期，第二开关器件和第四开关器件以工频信号驱动，第一开关器件和第三开关器件以高频脉冲信号驱动。具体地，如图 21 所示，第二开关器件导通，第四开关器件关断，并且如果所述三角形载波的电平小于所述正弦调制波的电平，即  $U_c < U_g$ ，则第一开关器件导通，第三开关器件关断；如果所述三角形载波的电平大于所述正弦调制波的电平，即  $U_c > U_g$ ，则第一开关器件关断，第三开关器件导通；

[0074] 在所述正弦调制波  $U_g$  的负半周期，第一开关器件和第三开关器件以工频信号驱动，第二开关器件和第四开关器件以高频脉冲信号驱动。具体地，如图 21 所示，第一开关器件保持关断状态，第三开关器件保持导通状态，并且如果所述三角形载波的电平大于所述正弦调制波反向后的电平，即  $U_c > -U_g$ ，则第二开关器件导通，第四开关器件关断；如果所述三角形载波的电平小于所述正弦调制波反向后的电平，即  $U_c < -U_g$ ，则第二开关器件关断，第四开关器件导通。

[0075] 需要说明的是，上述高频脉冲信号为 PWM 脉冲信号，比如可以是 KHz 范围内的脉冲信号。

[0076] 本发明实施例中的上述四个拓扑单元均工作在三个电平的工作模式，1 字型拓扑单元和 T 字型拓扑单元的工作过程与现有技术相同，在此不再详细描述。下面仅结合图 3 和图 4 详细说明本发明实施例中第一拓扑单元 M1 和第二拓扑单元 M2 的工作过程。

[0077] 图 12、图 13 和图 14 分别示出了第一拓扑单元 M1 的三个工作模式，其中：

[0078] 如图 12 所示，当第一开关管 T1、第二开关管 T2 导通，第三开关管 T3、第四开关管 T4、第三二极管 D3、第四二极管 D4 截止时，输出节点 a 的电平等于正母线电平。输出侧电流从节点 a 流出到电感 L 时，第一二极管 D1、第二二极管 D2 截止，电流回路为 T1-T2-L- $V_c$ -C1-T1；输出侧电流从电感 L 流进节点 a 时，第一二极管 D1 和第二二极管 D2 导通，电流回路为 D2-D1-C1- $V_c$ -L-D2。

[0079] 如图 13 所示，当第二开关管 T2、第三开关管 T3 导通，第一开关管 T1、第四开关管 T4、第一二极管 D1、第四二极管 D4 截止时，输出节点 a 的电平等于两个分压电容串联接点 n 的电平，即  $V_{dc}/2$ ，其中， $V_{dc}$  为直流电源的电平。输出侧电流从节点 a 流出到电感 L 时，第三二极管 D3 导通，第二二极管 D2 截止，电流回路为 D3-T2-L- $V_c$ -D3；输出侧电流从第一电感 L1 流进节点 a 时，第二二极管 D2 导通，第三二极管 D3 截止，电流回路为 D2-T3- $V_c$ -L-D2。

[0080] 如图 14 所示，当第三开关管 T3、第四开关管 T4 导通，第一开关管 T1、第二开关管 T2、第一二极管 D1、第二二极管 D2、第三二极管 D3 截止时，输出节点 a 的电平等于负母线电平。输出侧电流从节点 a 流出到电感 L 时，第四二极管 D4 导通，电流回路为 D4-L- $V_c$ -C2-D4；输出侧电流从电感 L 流进节点 a 时，第四二极管 D4 截止，电流回路为 T4-C2- $V_c$ -L-T4。

[0081] 由上述工作过程可以看出，本发明实施例中的第一拓扑单元，无需两个箝位二极管，减少了一个开关管的通态损耗；而且其中两组开关管的电压应力降低一半，因此可以选用小功率半导体开关管，减小损耗，提高转换效率。



[0082] 图 15、图 16 和图 17 分别示出了第二拓扑单元 M2 的三个工作模态,其中:

[0083] 如图 15 所示,当第一开关管 T1、第二开关管 T2 导通,第三开关管 T3、第四开关管 T4、第二二极管 D2、第三二极管 D3、第四二极管 D4 截止时,输出节点 a 的电平等于正母线电平。输出侧电流从节点 a 流出到电感 L 时,第一二极管 D1 截止,电流回路为 T1-L- $V_c$ -C1-T1;输出侧电流从电感 L 流进 a 点时,第一二极管 D1 导通,电流回路为 D1-C1- $V_c$ -L-D1。

[0084] 如图 16 所示,当第二开关管 T2、第三开关管 T3 导通,第一开关管 T1、第四开关管 T4、第一二极管 D1、第四二极管 D4 截止时,输出节点 a 的电平等于两个分压电容串联接点 n 的电平,即  $V_{dc}/2$ ,其中,  $V_{dc}$  为直流电源的电平。输出侧电流从节点 a 流出到 L 时,第三二极管 D3 导通,第二二极管 D2 截止,电流回路为 T2-D3-L- $V_c$ -T2;输出侧电流从电感 L 流进节点 a 时,第二二极管 D2 导通,第三二极管 D3 截止,电流回路为 T3-D2- $V_c$ -L-T3。

[0085] 如图 17 所示,当第二开关管 T2、第三开关管 T3 导通,第一开关管 T1、第四开关管 T4、第一二极管 D1、第四二极管 D4 截止时,输出节点 a 的电平等于两个分压电容串联接点 n 的电平,即  $V_{dc}/2$ ,其中,  $V_{dc}$  为直流电源的电平。输出侧电流从节点 a 流出到电感 L 时,第三二极管 D3 导通,第二二极管 D2 截止,电流回路为 T2-D3-L- $V_c$ -T2;输出侧电流从电感 L 流进节点 a 时,第二二极管 D2 导通,第三二极管 D3 截止,电流回路为 T3-D2- $V_c$ -L-T3。

[0086] 由上述工作过程可以看出,本发明实施例中的第二拓扑单元,无需两个箝位二极管,减少了一个开关管的通态损耗;而且其中两组开关管的电压应力降低一半,因此可以选用小功率半导体开关管,减小损耗,提高转换效率。

[0087] 以上对本发明实施例进行了详细介绍,本文中应用了具体实施方式对本发明进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的设备;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

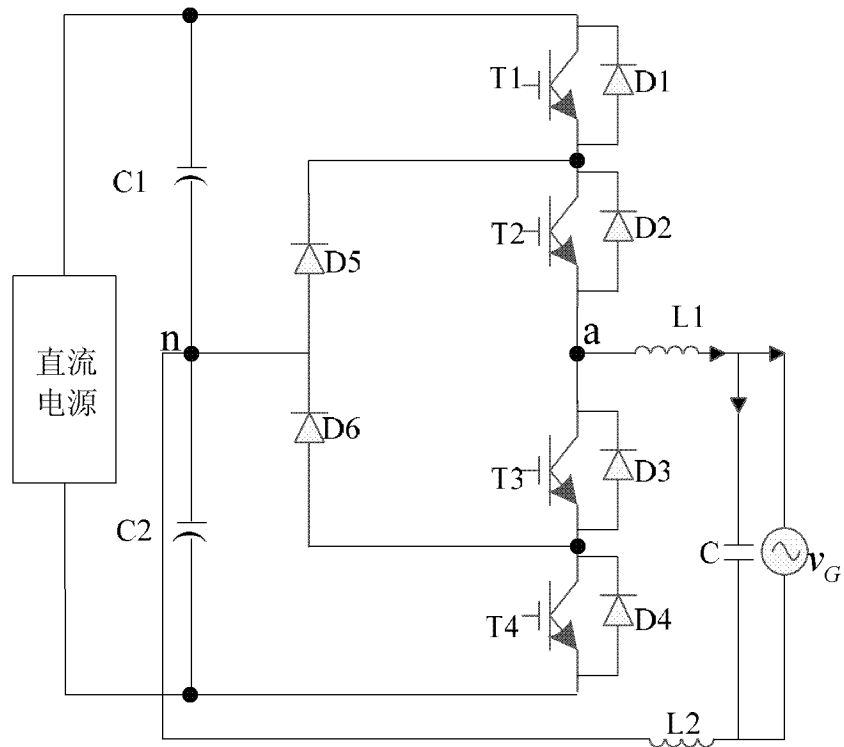


图 1

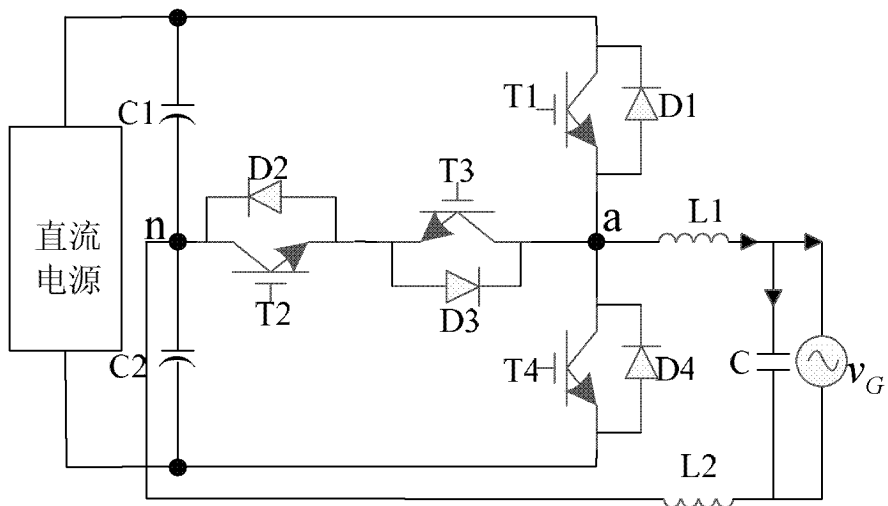


图 2

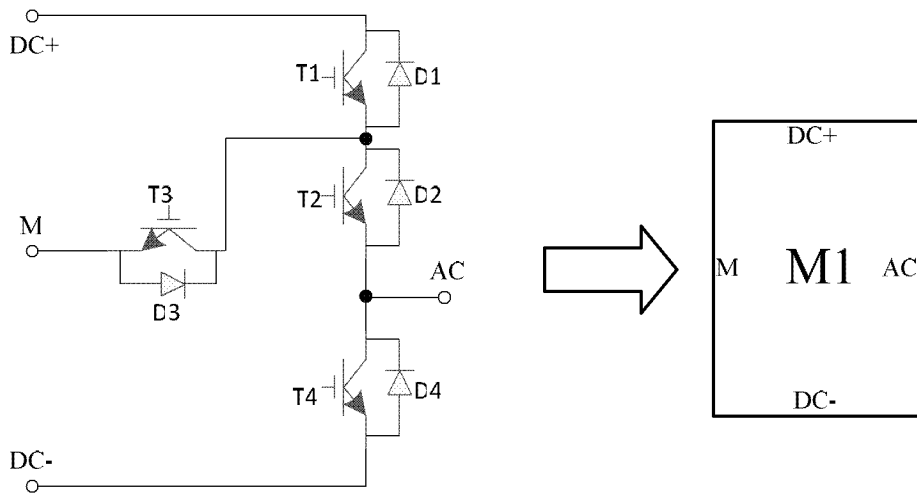


图 3

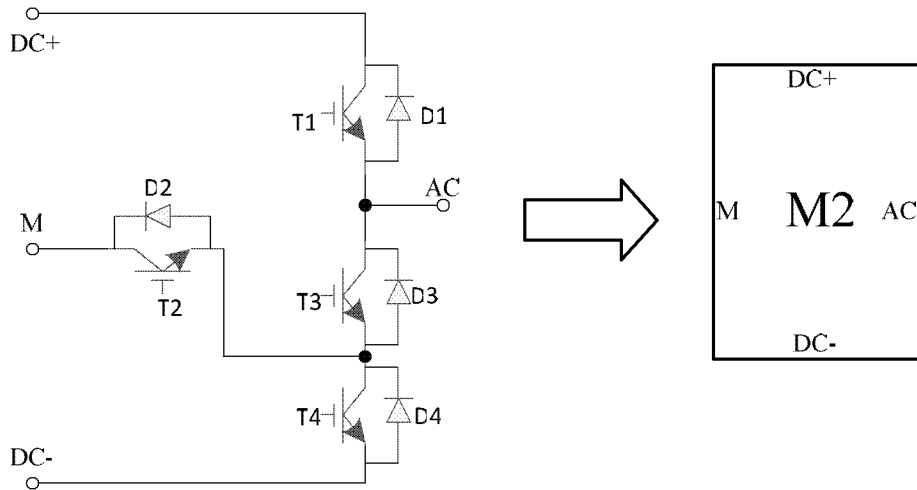


图 4

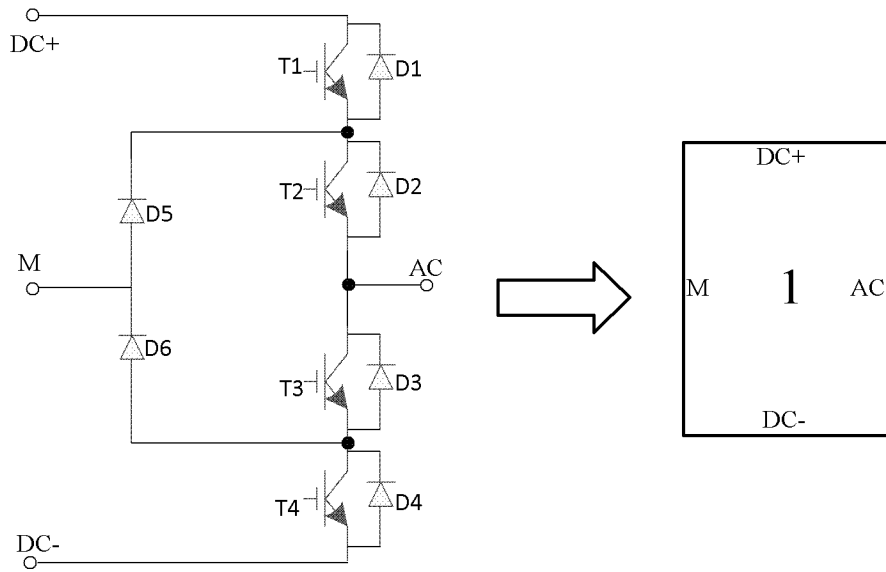


图 5

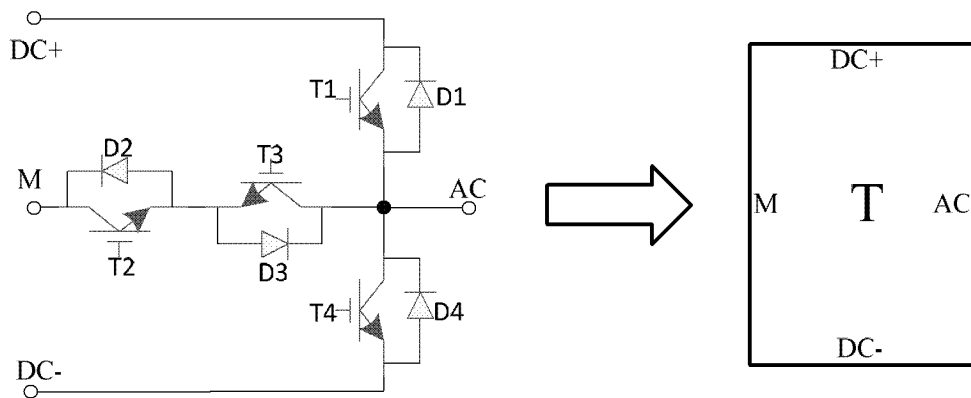


图 6

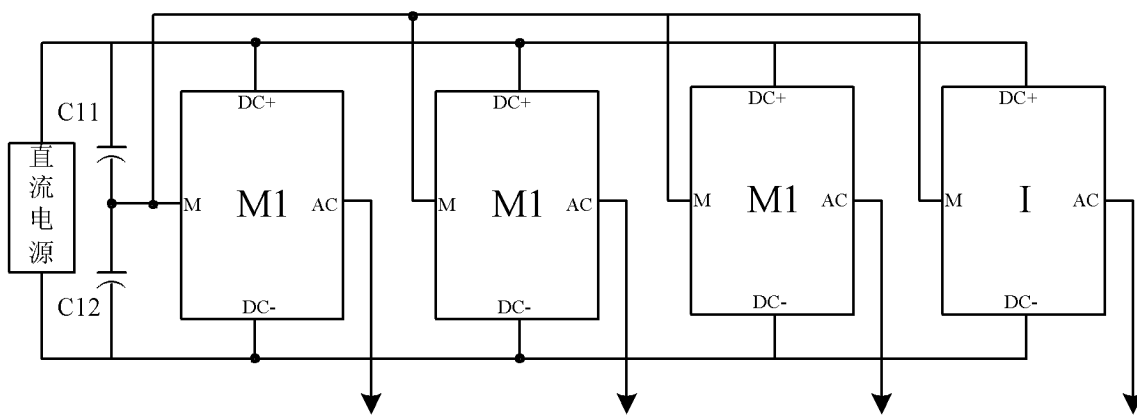


图 7

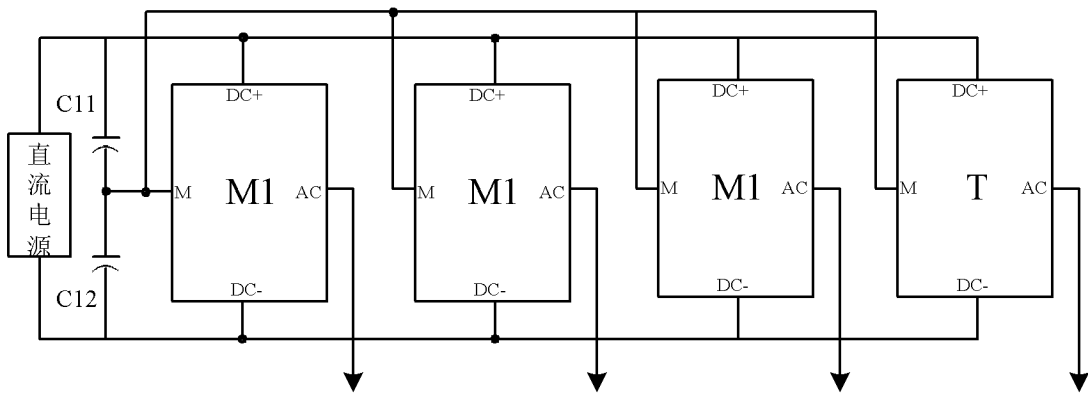


图 8

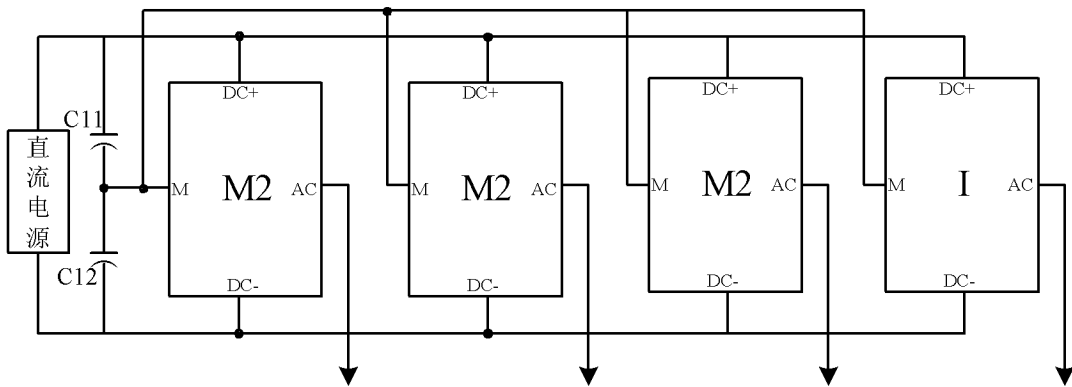


图 9

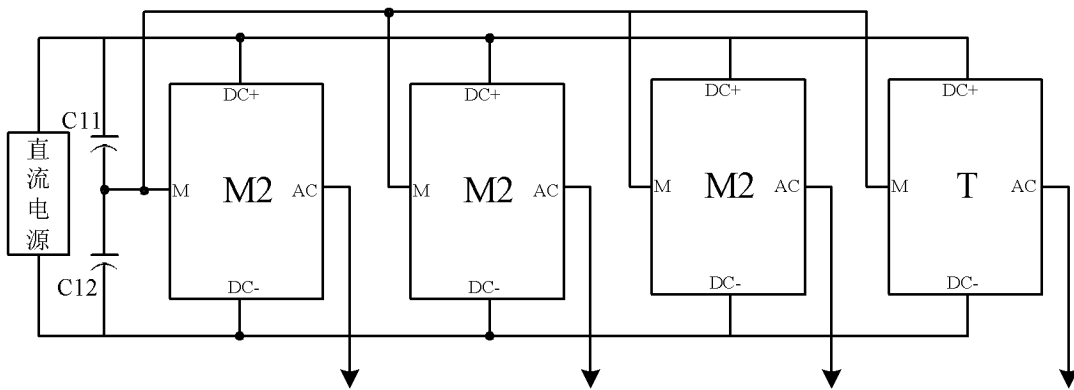


图 10

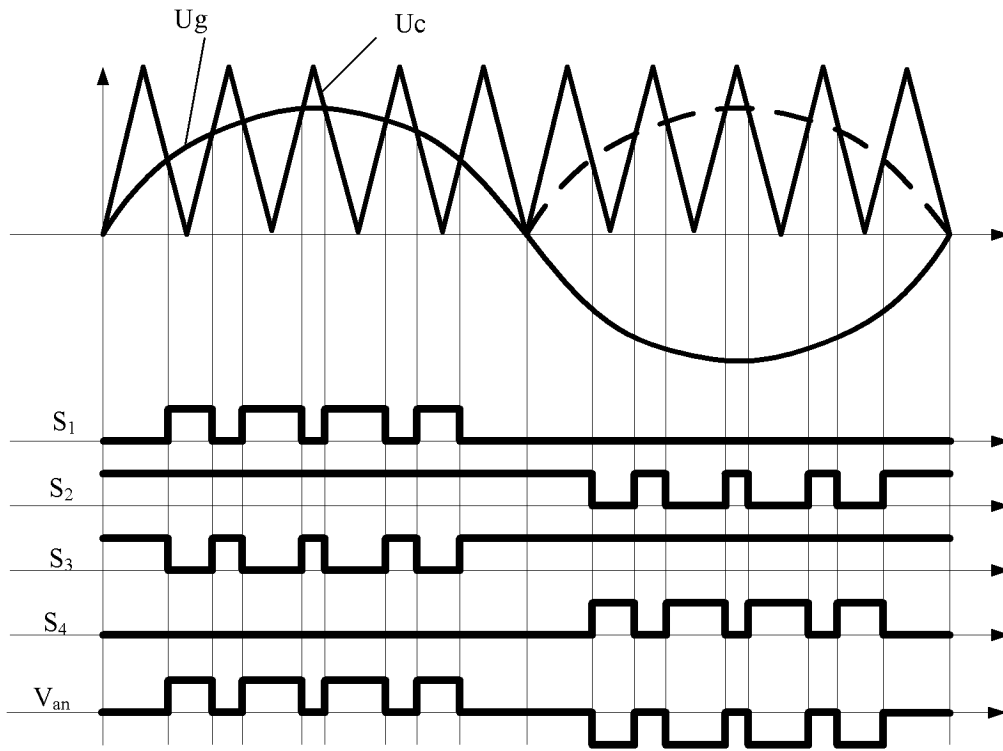


图 11

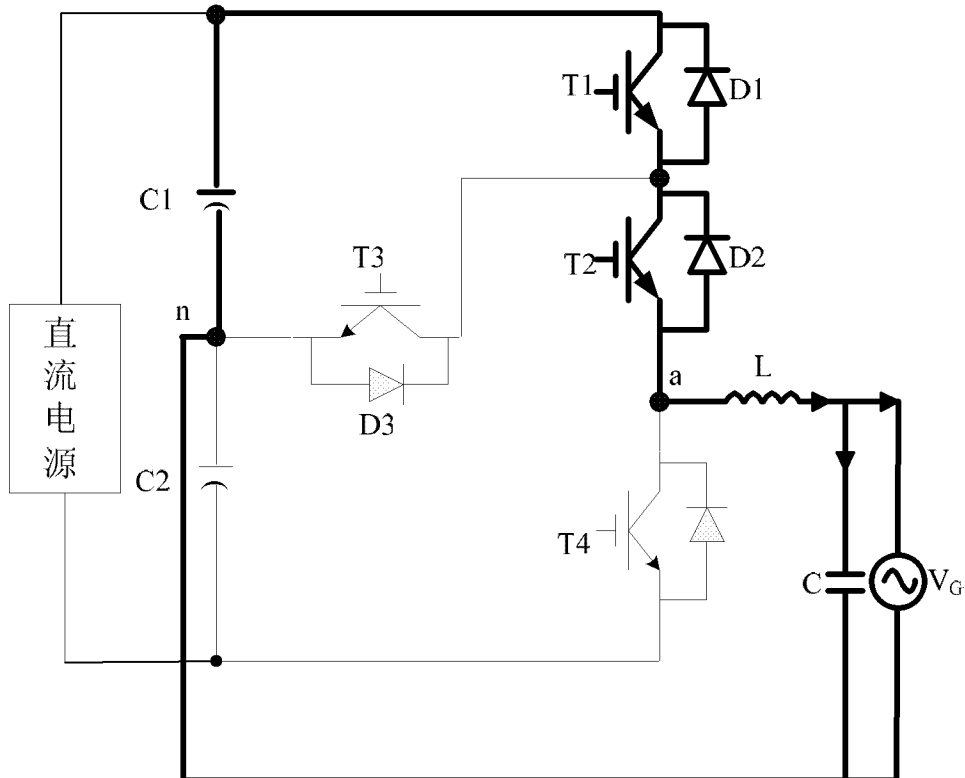


图 12

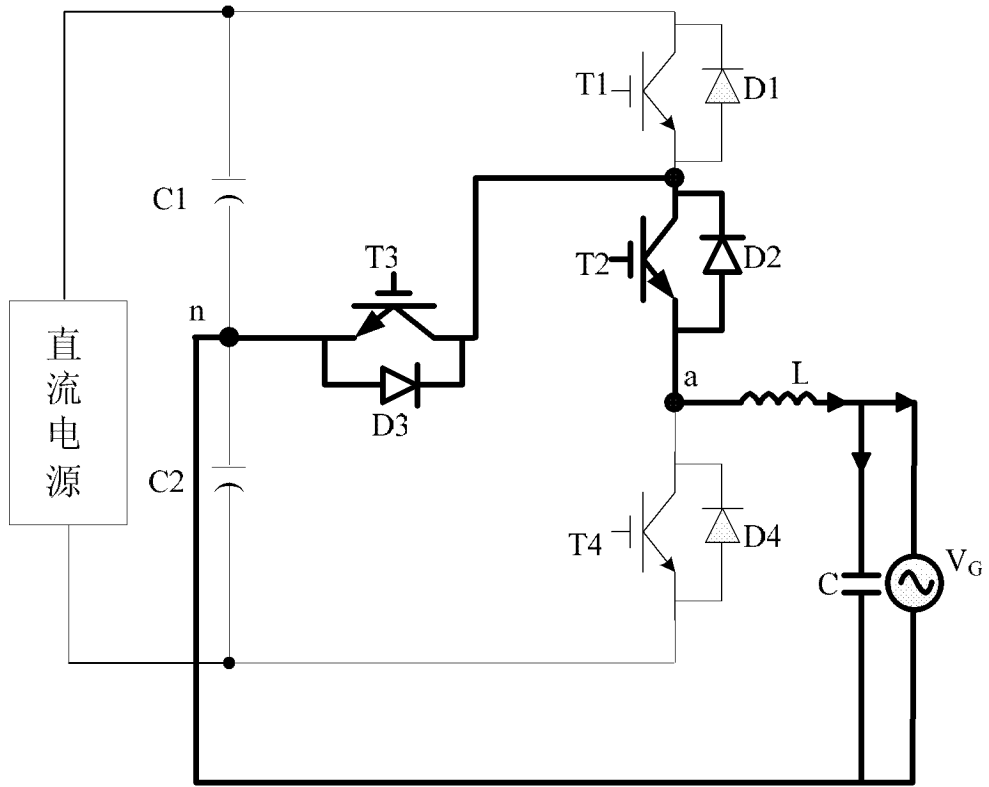


图 13

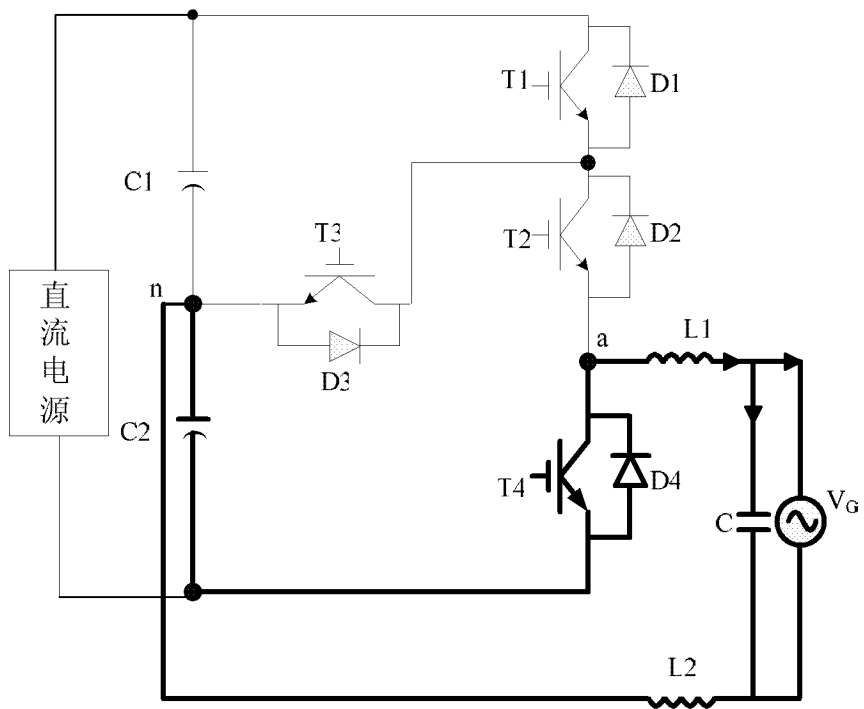


图 14

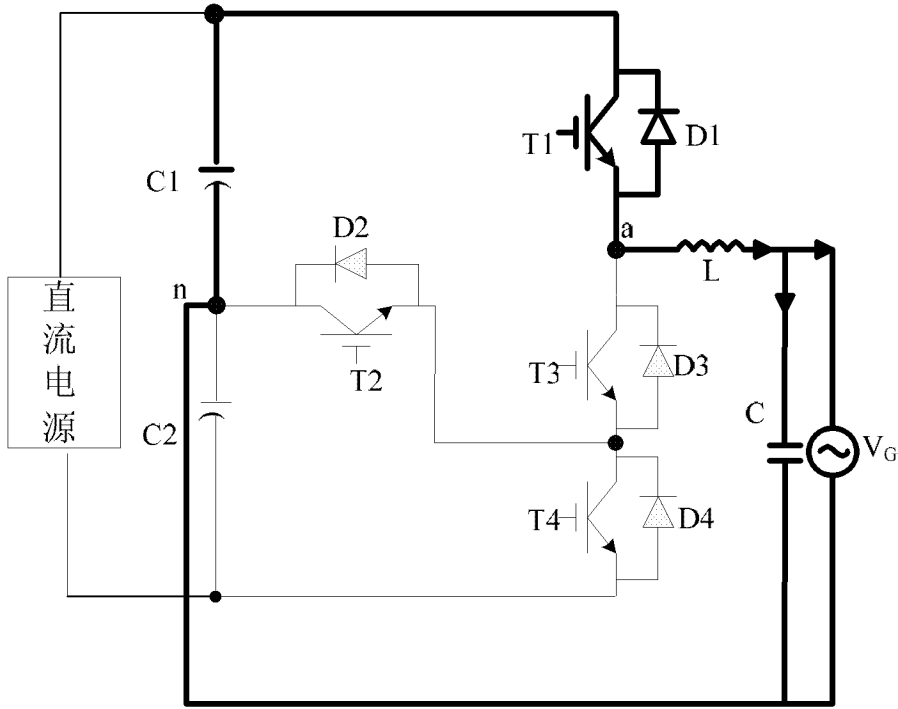


图 15

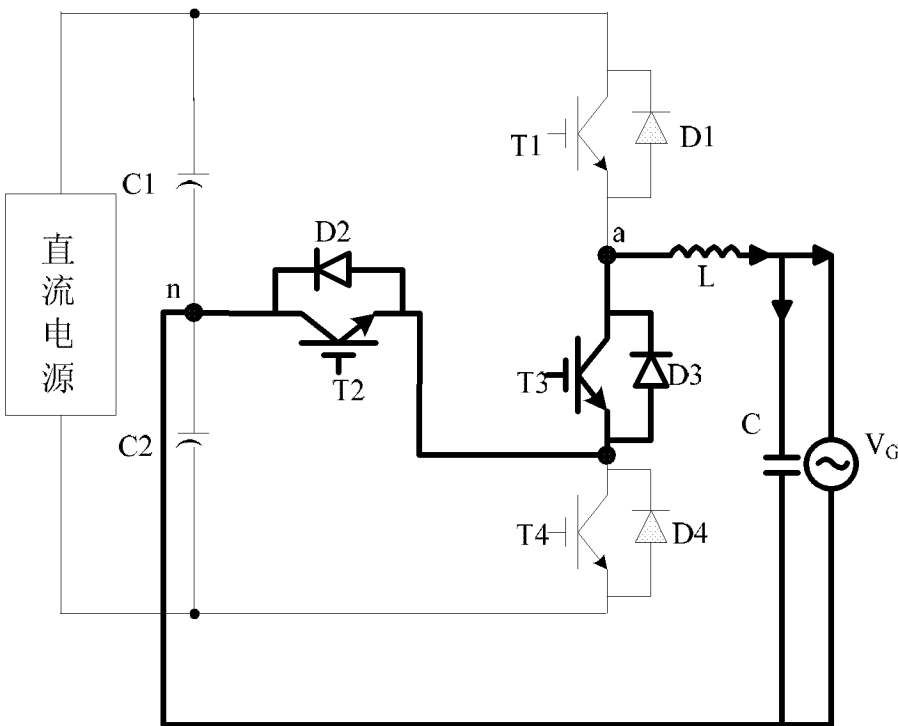


图 16



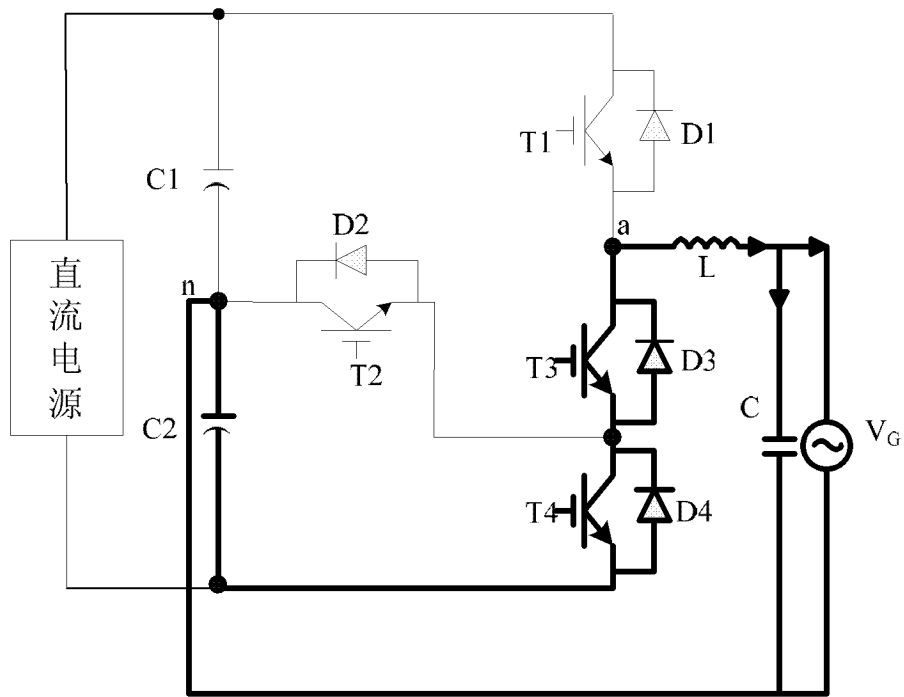


图 17