(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105191093 B
(45)授权公告日 2018.03.13

(21)申请号 201380071072.9
(22)申请日 2013.01.21
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105191093 A
(43)申请公布日 2015.12.23
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.07.21
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2013/051027 2013.01.21
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2014/111164 EN 2014.07.24
(73)专利权人 ABB 技术有限公司
地址 瑞士苏黎世
(72)发明人 A.纳米 王立伟
(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 徐予红 姜甜
(51)Int.Cl.
H02M 1/32(2006.01)
H02M 7/797(2006.01)
H02M 7/483(2006.01)
(56)对比文件
CN 102859861 A,2013.01.02,
WO 2011/124258 A1,2011.10.13,
审查员 孙建萍

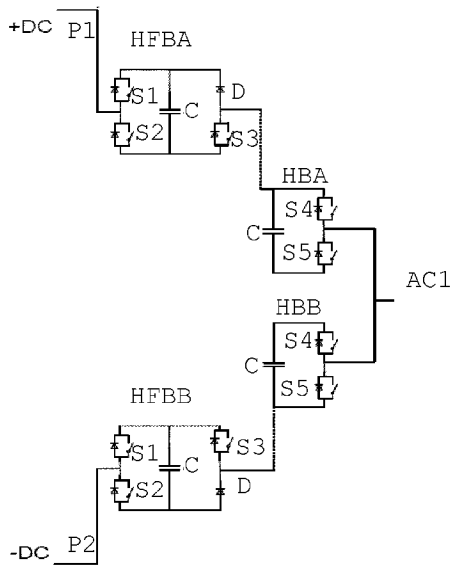
权利要求书2页 说明书10页 附图7页

(54)发明名称

具有混合全桥单元的多级转换器

(57)摘要

在AC与DC之间转换的多级转换器(10)包括相臂,其在DC极(P1)与AC端子(AC1)之间具有多个单元,这些单元包括至少一个混合全桥单元(HFBA),其包括:第一单元连接端子,用于耦合于DC极;第二单元连接端子,用于耦合于AC端子;能量存储元件(C),其具有正和负端;第一组串联连接的半导体装置(S1,S2),其与能量存储元件(C)并联,其中这些之间的结形成一个单元连接端子;和第二组串联连接的半导体装置,其与能量存储元件(C)并联并且包括第三半导体装置(S3)和由多个单向传导元件组成的第四半导体装置,这些单向传导元件包括至少一个单向传导元件(D),其中这些之间的结形成另外的单元连接端子。



CN 105191093 B

1.一种多级电压源转换器(10),其配置成在交流电(AC)与直流电(DC)之间转换并且包括:

在两个DC极(P1,P2)之间连接的相脚,每个相脚包括上相臂和下相臂,所述相臂包括在DC极(P1,P2)与AC端子(AC1)之间的多个单元,所述单元包括用于故障电流处理操作的至少一个混合全桥单元(HFBA;HFBB;HFBC;HFBD),其中所述相臂中的每个单元能控制成有助于满足参考电压以用于获得在所述相脚的AC端子上的波形,

所述混合全桥单元包括:

第一单元连接端子,用于耦合于所述DC极,

第二单元连接端子,用于耦合于所述AC端子,

能量存储元件(C),其具有正和负端,

第一组串联连接的半导体装置,所述第一组与所述能量存储元件(C)并联连接并且其中所述第一组的半导体装置(SU1,SU2)包括具有第一和第二反并联单向传导元件(D1,D2)的第一和第二开关元件(T1,T2),其中所述第一开关元件(T1)与所述第二开关元件(T2)之间的结形成一个单元连接端子(TEFBA1;TEFBB1;TEFBC2;TEFBD2),

第二组串联连接的半导体装置,所述第二组与所述能量存储元件(C)以及与所述第一组并联连接,并且其中所述第二组仅包括第三半导体装置(SU3)和第四半导体装置(SU4),所述第三半导体装置具有带反并联单向传导元件(D3)的第三开关元件(T3),其中所述第三开关元件(T3)与所述第四半导体装置(SU4)之间的结形成另外的单元连接端子(TEFBA2;TEFBB2;TEFBC1;TEFBD1),所述第四半导体装置由至少一个单向传导元件(D)组成,并且所述第二组中的第三半导体装置(SU3)的第三开关元件(T3)在所述转换器的正常操作中总是配置成导通,

其中,在所述两个DC极(P1,P2)的第一极(P1)与所述AC端子(AC1)之间的正相臂中提供一个混合全桥单元(HFBA;HFBC),并且在所述两个DC极(P1,P2)的第二极(P2)与所述AC端子(AC1)之间的负相臂中提供另一个混合全桥单元(HFBB;HFBD)。

2.如权利要求1所述的多级电压源转换器,其中所述混合全桥单元的所有开关元件配置成如果由于DC极故障引起的故障电流行进通过所述相臂则关闭。

3.如权利要求1或2所述的多级电压源转换器,其中所述混合全桥单元的单向传导元件的传导方向朝向所述能量存储元件的正端。

4.如权利要求1或2所述的多级电压源转换器,其中所述第四半导体装置使所述能量存储元件在具有抵消所述相臂中的负电流的极性的第一与第二单元连接端子之间耦合。

5.如权利要求1或2所述的多级电压源转换器,其中,在所述正相臂中的混合全桥单元中,所述另外的单元连接端子是使所述混合全桥单元(HFBC)耦合于所述第一极(P1)的第一单元连接端子(TEFBC1)并且所述至少一个单向传导元件(D)使所述另外的单元连接端子(TEFBC1)耦合于所述能量存储元件(C)的负端。

6.如权利要求1或2所述的多级电压源转换器,其中,在所述正相臂中的混合全桥单元中,所述另外的单元连接端子是使所述混合全桥单元(HFBA)耦合于所述AC端子(AC1)的第二单元连接端子(TEFBA2)并且所述至少一个单向传导元件(D)使所述另外的单元连接端子(TEFBA2)耦合于所述能量存储元件(C)的正端。

7.如权利要求1或2所述的多级电压源转换器,其中在所述负相臂中的混合全桥单元

中，所述另外的单元连接端子是使所述混合全桥单元(HFBD)耦合于所述第二极(P2)的第一单元连接端子(TEFBD1)并且所述至少一个单向传导元件(D)使所述另外的单元连接端子(TEFBD1)耦合于所述能量存储元件的正端。

8.如权利要求1或2所述的多级电压源转换器，其中在所述负相臂中的混合全桥单元中，所述另外的单元连接端子是使所述混合全桥单元(HFBB)耦合于所述相脚的AC端子(AC1)的第二单元连接端子(TEFBB2)并且所述至少一个单向传导元件(D)使所述另外的单元连接端子(TEFBB2)耦合于所述能量存储元件(C)的负端。

9.如权利要求1或2所述的多级电压源转换器，其中所述相臂中混合全桥单元的百分比在20-100的范围内。

10.如权利要求9所述的多级电压源转换器，其中所述相臂中混合全桥单元的百分比是50。

11.如权利要求1或2所述的多级电压源转换器，其中所述相臂包括至少一个半桥转换器单元(HBA;HBB)。

12.如权利要求1或2所述的多级电压源转换器，其中所述相臂包括至少一个导向开关，所述导向开关配置成使所述AC端子(AC1)连接到由所述相臂中的单元产生的波形。

具有混合全桥单元的多级转换器

技术领域

[0001] 本发明大体上涉及多级转换器。更特定地，本发明涉及配置成在交流电与直流电之间转换的多级转换器。

背景技术

[0002] 关注多级转换器在许多不同的输电环境中使用。它们可例如用作直流输电系统(例如高压直流(HVDC))和交流输电系统(例如柔性交流输电系统(FACTS))中的电压源转换器。它们也可用作无功补偿电路，例如静止VAR补偿器。

[0003] 为了减少电力电子转换器的输出中的谐波失真(其中输出电压可以采取若干分立级别)，已经提出所谓的多级转换器。特别地，已经提出这样的转换器，其中多个级联转换器单元每个包括多个开关装置和采用DC电容器形式的能量存储单元。

[0004] 这样的转换器的示例可以在IEEE 2004 的Marquardt的“New Concept for high voltage-Modular multilevel converter(对于高压模块化多级转换器的新概念)”、EPE 2003、WO 2010/149200和WO 2011/124260的A. Lesnicar、R. Marquardt的“A new modular voltage source inverter topology(新的模块化电压源逆变器拓扑)”中找到。

[0005] 这样的转换器中的转换器元件可例如具有半桥、全桥或钳位双单元类型。

[0006] 上和下臂中的半桥连接提供单极单元电压贡献并且给予最简单的链式链路转换器结构。该类型由IEEE 2004 的Marquardt的“New Concept for high voltage-Modular multilevel converter(对于高压模块化多级转换器的新概念)”和EPE 2003的A. Lesnicar、R. Marquardt的“A new modular voltage source inverter topology(新的模块化电压源逆变器拓扑)”描述。

[0007] 然而，半桥拓扑存在在DC故障(例如DC极间或DC极接地故障)情况下故障电流阻断能力受到限制这一问题。

[0008] 解决此的一个方式是通过使用全桥单元。这在WO 2011/012174中描述。全桥单元的串联连接给予通过单元电容器的能量存储元件的四象限功率流以及通过施加反向电压给予DC故障电压阻断能力。然而，与半桥单元相比，全桥单元的使用使部件数量加倍。

[0009] 减少部件数量连同保持故障电流限制能力的一个方式是通过使半桥和全桥类型的单元混合。一半的单元则可以是全桥单元，用于由于级联转换器单元的定级来施加反向电压。这例如在WO 2011/042050中描述。单元的混合使部件数量进一步减少，同时保持良好的故障电流限制能力。

[0010] 然而，关于部件减少连同故障电流限制仍然有提高的空间。

发明内容

[0011] 本发明针对减少电压源转换器中的部件数量连同提供足够的故障电流限制。

[0012] 该目标根据第一方面通过多级转换器实现，该多级转换器配置成在交流电与直流电之间转换并且包括：

[0013] 至少一个相臂，其在DC极与AC端子之间具有多个单元，这些单元包括用于故障电流处理操作的至少一个混合全桥单元，

[0014] 所述混合全桥单元包括：

[0015] 第一单元连接端子，用于耦合于DC极，

[0016] 第二单元连接端子，用于耦合于AC端子，

[0017] 能量存储元件，其具有正和负端，

[0018] 第一组串联连接的半导体装置，该组与能量存储元件并联连接并且其中第一组的半导体装置包括第一和第二开关元件，其具有第一和第二反并联单向传导元件，其中第一与第二半导体装置之间的结形成一个单元连接端子，

[0019] 第二组串联连接的半导体装置，该组与能量存储元件以及与第一组并联连接并且其中第二组半导体装置包括：第三半导体装置，其具有带反并联单向传导元件的第三开关元件，和由至少一个单向传导元件组成的第四半导体装置，其中第一与第二半导体装置之间的结形成另外的单元连接端子。

[0020] 本发明具有许多优势。它提供与具有数量减少的部件的相似常规转换器结构相等的故障限制能力。这结合具有低复杂性和低成本的模块化单元结构。另一个优势是用于控制单元所需要的控制信号的数量减少。

附图说明

[0021] 本发明将在下面参考附图描述，其中

[0022] 图1示意地示出在两个极之间连接的基于单元的电压源转换器，

[0023] 图2示意地示出第一类型的混合全桥单元的结构，

[0024] 图3示意地示出第一类型的半桥单元的结构，

[0025] 图4示意地示出第二类型的混合全桥单元的结构，

[0026] 图5示意地示出第二类型的全桥单元的结构，

[0027] 图6示意地示出采用第一和第二类型的混合全桥单元以及第一和第二类型的半桥单元的电压源转换器相脚的第一实现，

[0028] 图7示意地示出在正AC电压出现第一极接地故障的情况下通过图6的转换器的上相臂的故障电流路径，

[0029] 图8示意地示出在负AC电压出现第一极接地故障的情况下通过图6的转换器的上相臂的故障电流路径，

[0030] 图9示意地示出在负AC电压出现第二极接地故障的情况下通过图6的转换器的下相臂的故障电流路径，

[0031] 图10示意地示出在正AC电压出现第二极接地故障的情况下通过图6的转换器的下相臂的故障电流路径，

[0032] 图11示意地示出第三类型的混合全桥单元的结构，以及

[0033] 图12示意地示出第四类型的混合全桥单元的结构。

具体实施方式

[0034] 在下面，将给出本发明的优选实施例的详细描述。

[0035] 图1示出采用基于单元的电压源转换器10的形式的多级转换器的一个变体。转换器操作成在交流电(AC)与直流电(DC)之间转换。图1中的转换器10包括三相桥，其由多个相脚组成。在该情况下存在三个相脚。然而应认识到作为备选可例如仅存在两个相脚。从而存在第一相脚PL1、第二相脚PL2和第三相脚PL3。相脚通常特定地在两个DC极(第一DC极P1和第二DC极P2)之间连接并且相脚的中点连接到对应的交流端子AC1、AC2、AC3。相脚的中点在这里经由电抗器LAC1、LAC2和LAC3连接到对应的AC端子。相脚由此分成两半：上半和下半，其中这样的半个也叫作相臂。

[0036] 第一DC极P1此外具有可能为正的第一电势+DC，而第二DC极具有可能为负的第二电势-DC。第一极P1因此也可叫作正极，而第二极P2可叫作负极。这些极此外可以是例如高压直流(HVDC)输电系统等DC输电系统或柔性交流传输系统(FACTS)的部分。

[0037] 如上文提到的，图1的电压源转换器仅仅是其中可使用本发明的多级转换器的一个示例。例如可能在两个极之间提供彼此串联的三个相脚，其中这些则组成第一组相脚。然后可能提供与该第一组并联的第二组串联连接的相脚。在该情况下，第一组相脚的中点形成主AC端子并且第二组相脚的中点形成对于三个相的辅AC端子。

[0038] 多级转换器的再另一个实现是静止VAR补偿器。

[0039] 图1中的示例中的电压源转换器10的相臂包括单元。单元是可开关以用于对对应AC端子上的电压提供电压贡献的装置。单元则包括一个或多个能量存储元件，例如采用电容器的形式，并且单元可开关以提供对应于能量存储元件的电压的电压贡献或零电压贡献。如果在单元中包括超过一个能量存储元件，甚至另外的电压贡献是可能的。

[0040] 单元有利地在相臂中串联或级联连接。

[0041] 在图1中给出的示例中，在每个相臂中存在五个串联连接或级联单元。从而，第一相脚PL1的上相臂包括五个单元C1u1、C2u1、C3u1、C4u1和C5u1，而第一相脚PL1的下相臂包括五个单元C1l1、C2l1、C3l1、C4l1和C5l1。采用相似的方式，第二相脚PL2的上相臂包括五个单元C1u2、C2u2、C3u2、C4u2和C5u2，而第二相脚PL2的下相臂包括五个单元C1l2、C2l2、C3l2、C4l2和C5l2。最后，第三相脚PL3的上相臂包括五个单元C1u3、C2u3、C3u3、C4u3和C5u3，而第三相脚PL3的下相臂包括五个单元C1l3、C2l3、C3l3、C4l3和C5l3。在图1中提供的单元的数量仅仅是示例。因此必须强调相臂中单元的数量可变化。在每个相臂中具有多得多的单元，尤其在HVDC应用中，这通常是有利的。相臂可例如包括几百个单元。然而也可存在更少的单元。

[0042] 相臂中每个单元的控制通常通过对单元提供针对控制该单元的贡献以满足参考电压的控制信号而进行。可提供该参考电压用于获得相脚的AC端子上的波形，例如正弦波。为了控制单元，因此存在控制装置12。

[0043] 提供控制装置12用于控制转换器的所有相臂。然而，为了简化图，在图1中仅指示第一相脚PL的上相臂的控制。

[0044] 采用相似方式控制其他相臂以便在三个AC端子AC1、AC2和AC3上形成输出波形。

[0045] 存在许多可以在转换器中使用的不同单元类型，例如全桥单元、半桥单元和钳位双单元。

[0046] 本发明基于使用混合全桥单元。混合全桥单元在这里论述的上下文中定义为全桥单元，其中包括反并联单向传导元件对中的至少一个开关元件的一个桥装置被至少一个单

向传导元件代替。在这里使用的定义中的混合全桥单元在一个特定示例中从而是全桥，其中开关中的一个被二极管代替。由此单元此外可以叫作不对称全桥单元或不对称混合全桥单元。

[0047] 图2示出要在第一相脚的上相臂中提供的第一类型的混合全桥单元HFBA。

[0048] 单元HFBA从而是混合全桥转换器单元并且包括能量存储元件，在这里采用电容器C的形式，该电容器C与第一组半导体装置SU1和SU2并联连接。能量存储元件提供电压Udm，并且因此具有正和负端，其中正端具有比负端更高的电势。第一组中的半导体装置SU1和SU2彼此串联连接。第一组在这里包括两个半导体装置SU1和SU2(示出为虚线框)。这两个半导体装置SU1和SU2在这里作为两个串联连接的开关S1和S2而提供，其中每个开关可采用可以是IGBT(绝缘栅双极晶体管)晶体管的开关元件连同反并联单向传导元件的形式实现。在图2中，第一半导体装置SU1因此作为第一开关S1提供，其具有带第一反并联二极管D1的第一晶体管T1。第一二极管D1在晶体管T1的发射极与集电极之间连接并且具有从发射极到集电极以及朝向能量存储元件C的正端的传导方向。第二半导体装置SU2作为第二开关S2提供，其具有带第二反并联二极管D2的第二晶体管T2。第二二极管D2采用与第一二极管D1相同的与能量存储元件C有关的方式连接，即朝能量存储元件C的正端传导电流。第一半导体装置SU1此外连接到能量存储元件C的正端，而第二半导体装置SU2连接到能量存储元件C的负端。

[0049] 还存在第二组串联连接的半导体装置SU3和SU4。该第二组半导体装置在这里与第一组以及与能量存储元件C并联连接。第二组包括第三半导体装置SU3和第四半导体装置SU4。该第三半导体装置SU3作为第三开关S3提供，在这里通过具有反并联第三二极管D3的第三晶体管T3而提供。然而，第四半导体装置SU4不是开关。它仅包括一个类型的半导体元件、单向传导元件、二极管D。第四半导体装置SU4从而由单向传导元件组成，其中这样的元件的数量是至少一个。第二组半导体装置从而在另外的支路中与电容器C并联提供。第四半导体装置SU4此外连接到能量存储元件C的正端，而第三半导体装置SU3连接到能量存储元件C的负端。二极管D3和D此外都具有朝向能量存储元件C的正端的电流传导方向。

[0050] 该第一类型的混合全桥单元HFBA包括第一单元连接端子TEFBA1和第二单元连接端子TEFBA2，每个对单元提供到电压源转换器的第一相脚的上相臂的连接。在该第一类型的混合全桥单元中，第一单元连接端子TEFBA1更特定地提供从上相臂到第一与第二半导体装置SU1和SU2之间的结的连接，而第二单元连接端子TEFBA2提供在上相臂与第三和第四半导体装置SU3和SU4之间的连接点之间的连接。第一和第二半导体装置SU1和SU2之间的结从而提供一个单元连接端子TEFBA1，而第三和第四半导体装置SU3和SU4之间的结提供另外的单元连接端子TEFBA2。这些连接端子TEFBA1和TEFBA2从而提供这样的点，单元HFBA可以在这些点处连接到第一相脚的上相臂。第一单元连接端子TEFBA1由此联接上相臂与第一组串联连接开关中的两个(在这里是第一和第二开关)之间的连接点或结，而第二单元连接端子TEFBA2联接上相臂与第二组串联连接半导体装置中的两个(在这里是第三开关和单独二极管D)之间的连接点。第一单元连接端子TEFBA1此外面对第一极并且由此使单元耦合于第一极，而第二单元连接端子TEFBA2面对相脚的AC端子并且由此使单元耦合于AC端子。由此，另外的二极管D也使第二单元连接端子TEFBA2耦合于能量存储元件的正端。

[0051] 词语耦合规定成指示更多的部件(例如更多的单元和感应器)可在极与单元之间

连接，而词语连接规定成指示两个部件(例如两个单元)之间的直接连接。从而在连接到彼此的两个部件中间没有部件。

[0052] 图3示意地示出可在第一相脚的上相臂中使用的第一类型的半桥转换器单元HBA。该单元还包括能量存储元件，在这里采用电容器C的形式，该电容器C与一组开关并联连接。该能量存储元件C还提供电压Udm，并且从而也具有正和负端，其中正端具有比负端更高的电势。该组中的开关彼此串联连接。该组在这里包括第四和第五开关S4和S5(示出为虚线框)，其中每个开关S4、S5可采用可以是IGBT(绝缘栅双极晶体管)晶体管的开关元件连同反并联单向传导元件(其可以是二极管)的形式实现。在图3中，因此存在第四开关S4和第五开关S5，该第四开关S4具有带第四反并联二极管D4的第四晶体管T4，其中该二极管D4具有朝向能量存储元件C的正端的电流传导方向，该第五开关S5与第四开关S4串联连接并且具有带反并联二极管D5的第五晶体管T5，其中该二极管D5具有与第四二极管D4相同的电流传导方向。第四开关S4连接到能量存储元件C的正端，而第五开关S5连接到能量存储元件C的负端。

[0053] 该第一类型的半桥单元HBA还包括第一单元连接端子TEHBA1和第二单元连接端子TEHBA2，每个对单元提供到电压源转换器的第一相脚的上相臂的连接。在该第一类型的单元中，第一单元连接端子TEHBA1更特定地提供从上相臂到第四开关S4与电容器C之间的结的连接，而第二连接端子TEHBA2提供从上相臂到第四与第五开关S4和S5之间的结的连接。这些单元连接端子从而提供这样的点，单元可以在这些点处连接到上相臂。第二单元连接端子TEHBA2从而联接相臂与第一组串联连接开关中的两个(在这里是第四和第五开关S4和S5)之间的连接点或结，而第一单元连接端子TEHBA1联接上相臂与第四开关S4和电容器C的正端之间的连接点。第一单元连接端子TEHBA1在这里也面对第一极，而第二单元连接端子TEHBA2面对相脚的AC端子。

[0054] 图4示出可在第一相脚的第二相臂中提供的第二类型的混合全桥单元HFBB。

[0055] 单元HFBB从而是混合全桥转换器单元并且还包括能量存储元件，在这里采用电容器C的形式，该电容器C与第一组开关装置并联连接。该能量存储元件C还提供电压Udm，并且因此具有正和负端，其中正端具有比负端更高的电势。第一组在这里还包括采用开关S1和S2形式的两个串联连接的半导体装置SU1和SU2(示出为虚线框)。在图4中，存在第一开关S1，其具有带第一反并联二极管D1的第一晶体管T1，其中二极管D1具有朝向能量存储元件C的正端的电流传导方向。还存在第二开关，其包括带有反并联二极管D2并且具有与第一二极管D1相同的电流传导的第二晶体管T2。第一半导体装置SU1在这里也连接到能量存储元件C的正端，而第二半导体装置SU2连接到能量存储元件C的负端。

[0056] 在该情况下还存在彼此串联连接的第二组半导体装置。该第二组半导体装置在这里与第一组以及与能量存储元件C并联连接。第二组在这里还包括第三半导体装置SU3和第四半导体装置SU4，其中该第三半导体装置SU3通过第三开关S3提供，该第三开关S3包括具有反并联第三二极管D3的第三晶体管T3，并且第四半导体装置SU4仅使用单向传导元件(在该示例中是二极管D)提供。第四半导体装置SU4由此由多个单向传导元件组成，其包括至少一个元件。第二组半导体装置从而在另外的支路中与电容器C并联提供。第四半导体装置SU4在该情况下连接到能量存储元件C的负端，而第三半导体装置SU3连接到能量存储元件C的正端。二极管D3和D两者的电流传导方向都朝向能量存储元件C的正端。

[0057] 该第二类型的混合全桥单元HFBB包括第一单元连接端子TEFBB1和第二单元连接端子TEFBB2，每个对单元提供到电压源转换器的下相臂的连接，即第一相脚的下相臂。正如在第一类型的混合全桥单元中一样，第一单元连接端子TEFBB1提供从下相臂到第一与第二半导体装置SU1和SU2之间的结的连接，而第二单元连接端子TEFBB2提供在下相臂与第三和第四半导体装置SU3和SU4之间的连接点之间的连接。第一与第二半导体装置SU1和SU2之间的结从而提供单元连接端子并且第三与第四半导体装置SU3和SU4之间的结提供另外的单元连接端子。在该情况下，第一单元连接端子TEFBB1此外面对第二极并且由此使单元耦合于第二极，而第二单元连接端子TEFBB2面对相脚的AC端子。第二单元连接端子由此使单元耦合于相脚的AC端子，而至少一个单向传导元件使第二单元连接端子耦合于能量存储元件C的负端。

[0058] 图5示出供在第一相脚的下相臂中连接的对应第二类型的半桥单元HBB。它包括一组开关，其包括采用与第一类型的半桥单元的第四和第五开关相同的方式连接的第四和第五开关S4和S5。然而，在该第二类型的半桥单元中，第一单元连接端子TEHBB1提供从下相臂到第四与第五开关S4和S5之间的结的连接，而第二单元连接端子TEHBB2提供从下相臂到第五开关S5与电容器C的负端之间的结的连接。在该情况下第一单元连接端子TEHBB1也面对第二极，而第二单元连接端子TEHBB2面对相脚的AC端子。

[0059] 图6示意地示出这样的相脚，其中上相臂包括第一类型的混合全桥单元和第二类型的半桥单元，而下相臂包括第二类型的混合全桥单元和采用上文描述的方式连接的第二类型的半桥单元。

[0060] 上相臂中混合全桥单元的数量可以在上相臂的所有单元的20与100%之间，可有利地在20与50%之间并且作为示例可以是50%，而上相臂中余下的单元是半桥单元。在下相臂中可提供相同的分布。

[0061] 在转换器单元的正常操作中，在 6中示出的相脚的上相臂的第一类型的混合全桥单元和第一类型的半桥根据下文的开关表(表1)操作。在表中，示出第一类型的混合全桥单元的第一、第二和第三开关S1、S2和S3的开关状态连同第一类型的半桥单元的第四和第五开关S4和S5的开关状态。此外，在表中，两个单元视为在一起提供电压Vout的对。表因此示出引起使第一极电压+DC下降的电压贡献的开关状态的组合。从而存在使极电压下降了跨单元的电压的电压贡献-2Udm、使极电压下降跨单个单元的电压的电压贡献-Udm和零电压贡献。在表中，指示相臂电流Iarm(即通过上相臂的电流)的方向。如以在表中看到的，开关状态独立于相臂中的电流方向。

[0062]

S1	S2	S3	S4	S5	Vout	Iarm
1	0	1	0	1	-2Udm	Iarm<0
1	0	1	1	0	-Udm	&
0	1	1	0	1	-Udm	Iarm>0
0	1	1	1	0	0	

[0063] 表1

[0064] 采用相似的方式，在图6中示出的相脚的下相臂的第二类型的混合全桥单元和第二类型的半桥单元的开关的开关状态根据下文的开关表(表2)操作。在表中，示出第二类型

的混合全桥单元的第一、第二和第三开关S1、S2和S3的开关状态连同第二类型的半桥单元的第四和第五开关S4和S5的开关状态。两个单元在这里也视为在一起提供电压Vout的对。表从而示出引起提升第二极电压-DC的电压贡献的开关状态的组合。从而存在使极电压提升跨两个单元的电压的电压贡献+2Udm、使极电压提升跨单个单元的电压的电压贡献+Udm和零电压贡献。在表中也指示相臂电流Iarm(即通过下相臂的电流)的方向。如在这里也可以看到的,开关状态独立于相臂中的电流方向。

[0065]

S1	S2	S3	S4	S5	Vout	Iarm
1	0	1	0	1	0	Iarm<0 & Iarm>0
1	0	1	1	0	+Udm	
0	1	1	0	1	+Udm	
0	1	1	1	0	+2Udm	

[0066] 表2

[0067] 在混合全桥单元中,第二支路的半导体装置(即,包括第三和第四半导体装置的支路,在这里是具有第三开关S3和二极管D的支路)在正常操作中是多余的。这可以通过总是导通的第三开关S3看到。这意指第三开关S3在正常操作中确实总是提供在相脚的AC端子与对应极之间的电流路径。还可以看到因此不需要与全桥单元的第四半导体装置的二极管D并联的任何开关元件。

[0068] 使用全桥单元的原因通常不是为了改进正常操作,而是能够在DC极故障(例如极间故障或极接地故障)的情况下限制并且有时也阻断故障电流。当存在极接地故障时,如相脚的AC端子处的电压可以视为形成AC电压源VAC,其可以对相脚馈送AC电压。当出现这样的故障时,所有开关的开关元件可通过转换器的控制装置来断开。第三开关S3的开关元件可更特定地是断开的,对于第一类型的混合全桥单元HFBA至少在AC电压的负半周期并且对于第二类型的混合全桥单元HFBB至少在AC电压的正半周期。

[0069] 图7示出在AC电压源VAC的AC电压循环的正半周期处正的极接地故障的情况下通过图6的上相臂的故障电流并且图8示出在AC电压源VAC的AC电压循环的负半周期处正的极接地故障的情况下通过图6的上相臂的故障电流。

[0070] 如可以在图7中看到的,故障电流在AC电压源VAC的正半周期中将从AC电压源VAC行进通过第四开关S4、二极管D、混合单元电容器并且通过第二开关S2的二极管到第一极。还可以看到因为第一极在正常操作期间具有正电势,二极管D与使混合单元能量存储装置的负端耦合于第一极的混合单元的第一与第二单元连接端子之间的支路中连接的第二开关S2在一起。这样可以看到二极管D使混合单元能量存储装置的末端耦合于极,该末端具有与在正常操作中极的极性相反的极性。

[0071] 如可以在图8中看到的,故障电流在AC电压源VAC的负半周期将从第一极流过第一开关S1、混合单元电容器、第三开关S3的二极管、半桥单元电容器和第五开关S5的二极管到AC电压源VAC。在这里可以看到需要第三开关S3的开关元件以便在图7中描绘的情形下电流经过混合单元电容器。然而,不需要与二极管D并联的开关元件以用于在图8中的情形下获得相同结果。

[0072] 如可以看到的,在两个情况下(即,对于两个电流方向)插入有单元电压,其限制故

障电流。还可以看到当故障电流为正(即,从第一极朝AC端子行进)时,则在路径中插入两个单元的电压并且由此限制故障电流。还可以看到二极管D起到使混合全桥单元HFBA的能量存储元件在具有抵消相臂中的负电流的极性的混合全桥单元HFBA的第一与第二单元连接端子之间耦合的作用。这意指当二极管D传导时,混合全桥单元电容器的负端面对第一极P1并且正端面对AC端子AC1。

[0073] 如果存在负的极接地故障,相似的情形近在眼前。

[0074] 图9示出在AC电压源VAC的AC电压循环的负半周期处负的极接地故障情况下通过图6的下相臂的故障电流并且图10示出在AC电压源VAC的AC电压循环的正半周期处负的极接地故障情况下通过图6的下相臂的故障电流。

[0075] 如可以在图9中看到的,故障电流在电压源VAC的负半周期将从第二极流过第一开关S1的二极管、混合单元电容器、二极管D和第五开关S5的二极管到AC电压源VAC。还可以看到因为第二极在正常操作期间具有负电势,二极管D与在使混合单元能量存储装置的正端耦合于第二极的混合单元的第一与第二单元连接端子之间的支路中提供的第一开关S1在一起。这样可以看到二极管D使混合单元能量存储装置的末端耦合于极,该末端具有与正常操作中极的极性相反的极性。

[0076] 如可以在图10中看到的,故障电流在AC电压源VAC的正半周期将从AC电压源VAC行进通过第四开关S4、半桥单元电容器、第三开关S3的二极管、混合单元电容器并且通过第二开关S2的二极管到第二极。在这里还可以看到需要第三开关S3的开关元件以便在图9中描绘的情形下电流经过混合单元电容器。然而,不需要与二极管D并联的开关元件以用于在图10中的情形下获得相同结果。

[0077] 如可以看到的,在两个情况下插入有单元电压,其限制故障电流。还可以看到当故障电流为正(即,从第二极朝AC源行进)时,则在路径中插入两个单元的电压并且由此限制故障电流。在该情况下还可以看到二极管D起到使混合全桥单元HFBB的能量存储元件在具有抵消相臂中的负电流的极性的混合全桥单元HFBB的第一与第二单元连接端子之间耦合的作用。这意指当二极管D传导时,混合全桥单元电容器的正端面对第二极P2并且负端面对AC端子AC1。

[0078] 如果在相臂中提供足充足的这样的混合单元,故障电流因为对应极的极接地故障而可完全被阻断。

[0079] 从而可以看到如与使半桥单元与常规全桥单元混合的常规拓扑相比,获得相同的故障限制或故障阻断能力,然而使用更少部件。此外,结构的复杂性也保持为低的,这直接影响总转换器设计的成本、损耗和模块化。

[0080] 从而对于在HVDC、FACTS和其他相似应用中使用的级联转换器中的DC故障电流限制或DC故障电流阻断提供有备选混合单元配置。结构从而与具有相似特征(DC电压阻断和故障阻断能力)的其他单元配置相比给予更低数量的部件。

[0081] 该结构采用与正常级联的两级半桥单元(CTL)相同的方式操作,同时混合单元的有源开关、第三开关中的一个总是导通并且根据不同的开关状态产生2Udm、Udm、0电压级。然而,在DC故障的情况下,该第三开关关断以根据上或下相臂中的故障位置来提供相反的电压极性。这导致DC故障被阻断或限制。

[0082] 单元结构包括5个晶体管反并联二极管对和仅仅一个附加二极管,其与转换器配

置(其中存在半桥单元和常规全桥单元的混合)相比可以节省一个有源开关。

[0083] 应认识到在上和下相臂两者中使用的混合单元结构可变化。

[0084] 可在上相臂中使用的第三类型的混合单元结构HFBC示意地在图11中示出。该类型通过第四半导体装置SU4(其中二极管D连接到单元电容器C的负端)和第三半导体装置SU3(其连接到单元电容器C的正端)而与第一类型的结构不同。在第三与第四半导体装置SU3和SU4之间的结处进一步提供第一单元连接端子TEFBC1,而在第一与第二半导体装置SU1和SU2之间提供第二单元连接端子TEFBC2。在该类型的单元中,第一单元连接端子TEFBC1是使单元HFBC耦合于第一极的另外的单元连接端子并且至少一个单向传导元件使第一单元连接端子TEFBC1耦合于能量存储元件C的负端。

[0085] 可在下相臂中使用的第四类型的混合单元结构HFBD示意地在图12中示出。这通过第四半导体装置SU4(其中二极管D连接到单元电容器C的正端)和第三半导体装置SU3(其连接到单元电容器C的负端)而与第二类型的结构不同。在第三与第四半导体装置SU3和SU4之间的结处进一步提供第一单元连接端子TEFBD1,而在第一与第二半导体装置SU1和SU2之间提供第二单元连接端子TEFBD2。在该类型的单元中,第一单元连接端子TEFBD1(其在这里是另外的单元连接端子)使单元耦合于第二极并且至少一个单向传导元件D使第一单元连接端子TEFBD1耦合于能量存储元件C的正端。

[0086] 第三类型的混合单元可代替上臂中的第一类型。第三类型也可与第一类型组合。从而在上相臂中可既存在第一又存在第三类型的混合单元的单元。

[0087] 采用相似方式,第四类型的混合单元可代替下臂中的第二类型。它也可与第二类型组合。从而在下相臂中可既存在第二又存在第四类型的混合单元的单元。

[0088] 存在可能除已经提到的那些以外的许多另外的变化。相臂中仅仅一个包括混合全桥单元,这是可能的。如果极中的一个的极接地故障极其罕见,这可是要关注的。如果极中的一个是架空线而另一个通过电缆来提供,可是这样的情况。相臂的所有单元也可以是混合单元。

[0089] 此外混合全桥单元和半桥单元之间的分布可变化。相臂中混合全桥单元的百分比可例如在20与100%之间变化。作为备选,它可在20与50%之间变化。50%通常是全故障电流阻断能力所需要的百分比。如果冗余是个问题,可希望更高的百分比,而如果仅期望故障电流限制则可使用更低的。其他单元(即,不是混合全桥单元的单元)此外不必是半桥单元。它们也可以是全桥单元或钳位双单元。此外在两个相臂中混合全桥单元的不同分布是可能的。混合全桥单元此外可在除示出的那些以外的其他类型的转换器中提供,例如在采用全桥单元结合导向开关的转换器中,该导向开关以基频操作用于选择性地使AC端子连接到由相臂中的单元产生的波形。

[0090] 本发明还提供下列另外的优势:

[0091] -它提供容错单元结构,其可以用于任何种类的级联转换器。

[0092] -与用于DC故障阻断的现有单元结构相比,它降低部件的数量

[0093] -在所需的额定电压基础上,在传导路径中提供与存在半桥和常规全桥单元混合时相同数量的设备

[0094] -需要的栅极驱动电路的数量与存在半桥单元和常规全桥单元混合时相比减少

[0095] -它提供模块化且容易实现的单元设计结构

[0096] -它允许形成混合全桥单元和半桥单元的连接与混合全桥单元的串联连接的混合的可能性

[0097] -它提供DC故障电压阻断能力

[0098] -它提供成本有效的结构

[0099] -它提供紧凑结构

[0100] -它提供降低级联拓扑的成本的可能性

[0101] -它提供降低级联拓扑的损耗的可能性

[0102] 本发明可以采用多种方式变化，这从前面的论述显而易见。因此将认识到本发明仅受到下列权利要求的限制。

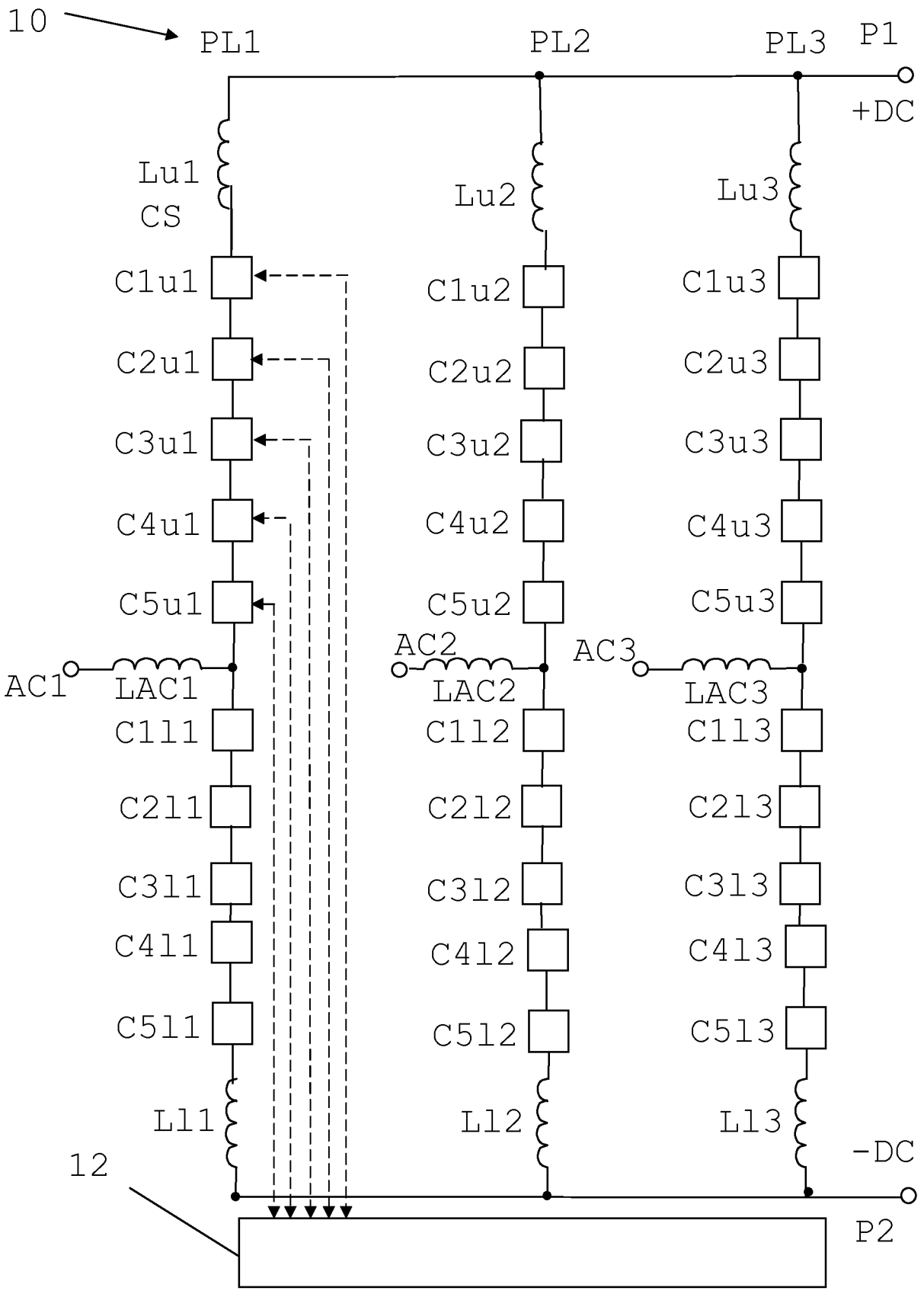

10
PL1
PL2
PL3
P1
+DC
Lu1
CS
Lu2
Lu3
C1u1
C2u1
C3u1
C4u1
C5u1
C1u2
C2u2
C3u2
C4u2
C5u2
C1u3
C2u3
C3u3
C4u3
C5u3
AC1
LAC1
AC2
LAC2
AC3
LAC3
C1l1
C2l1
C3l1
C4l1
C5l1
C1l2
C2l2
C3l2
C4l2
C5l2
C1l3
C2l3
C3l3
C4l3
C5l3
Ll1
Ll2
Ll3
12
-DC
P2

图 1

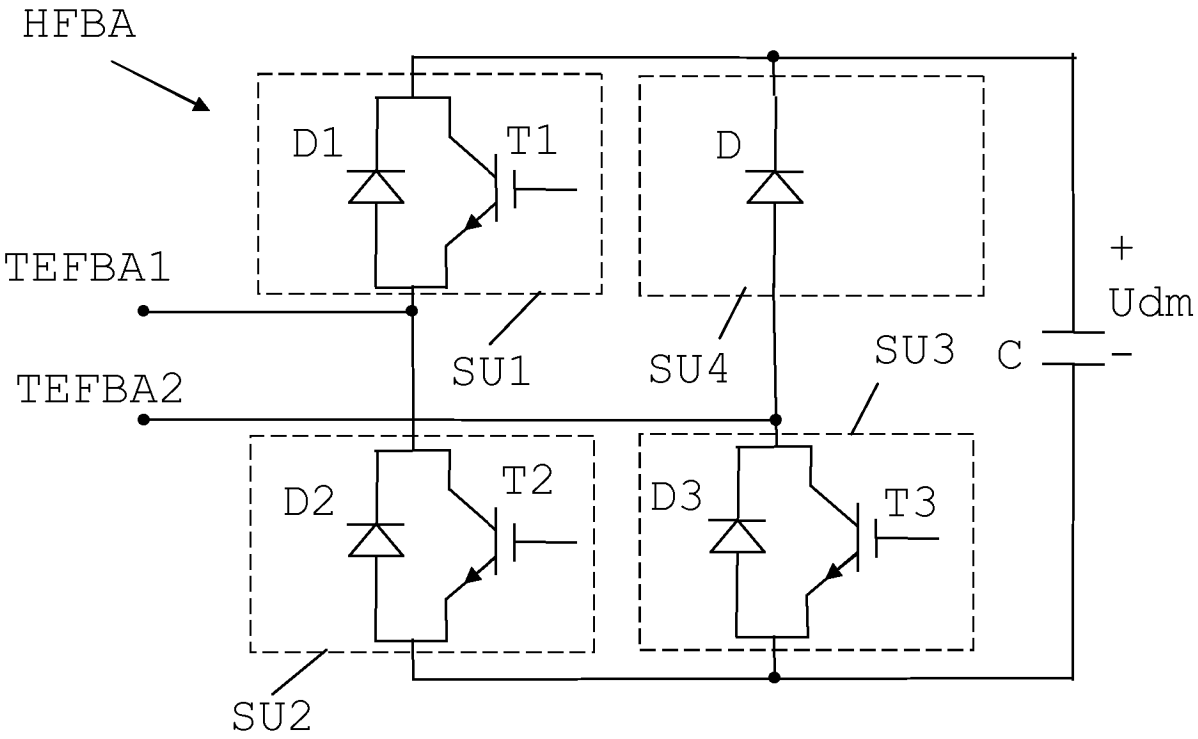

HFBA
D1
T1
D
TEFBA1
+
Udm
SU1
SU4
SU3
C
-
TEFBA2
D2
T2
D3
T3
SU2

图 2

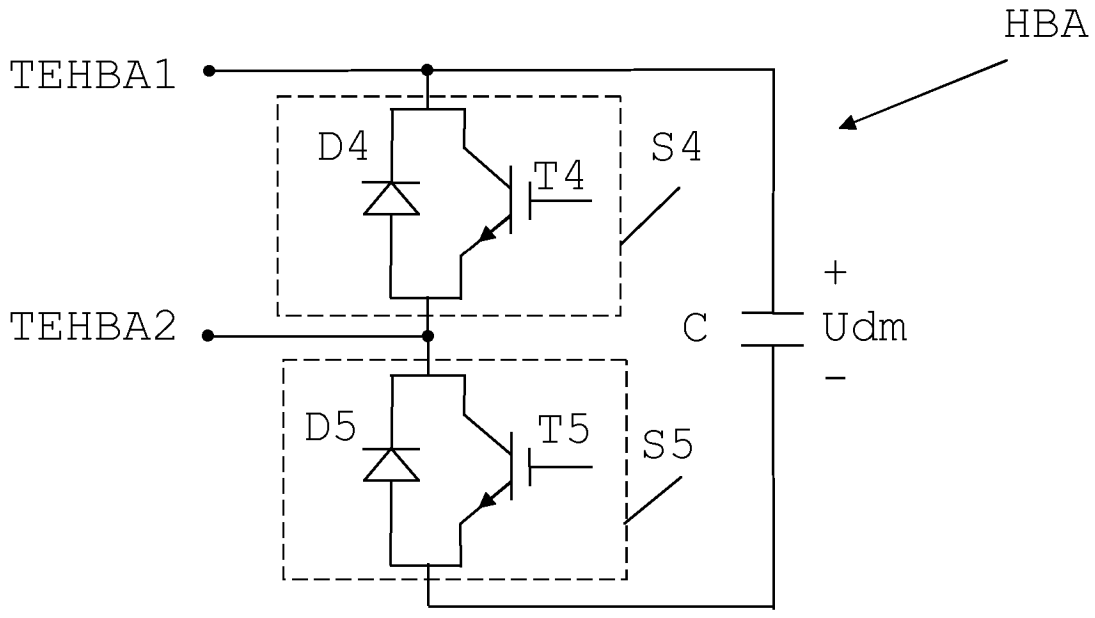

HBA
TEHBA1
D4
T4
S4
+
TEHBA2
C
Udm
-
D5
T5
S5

图 3

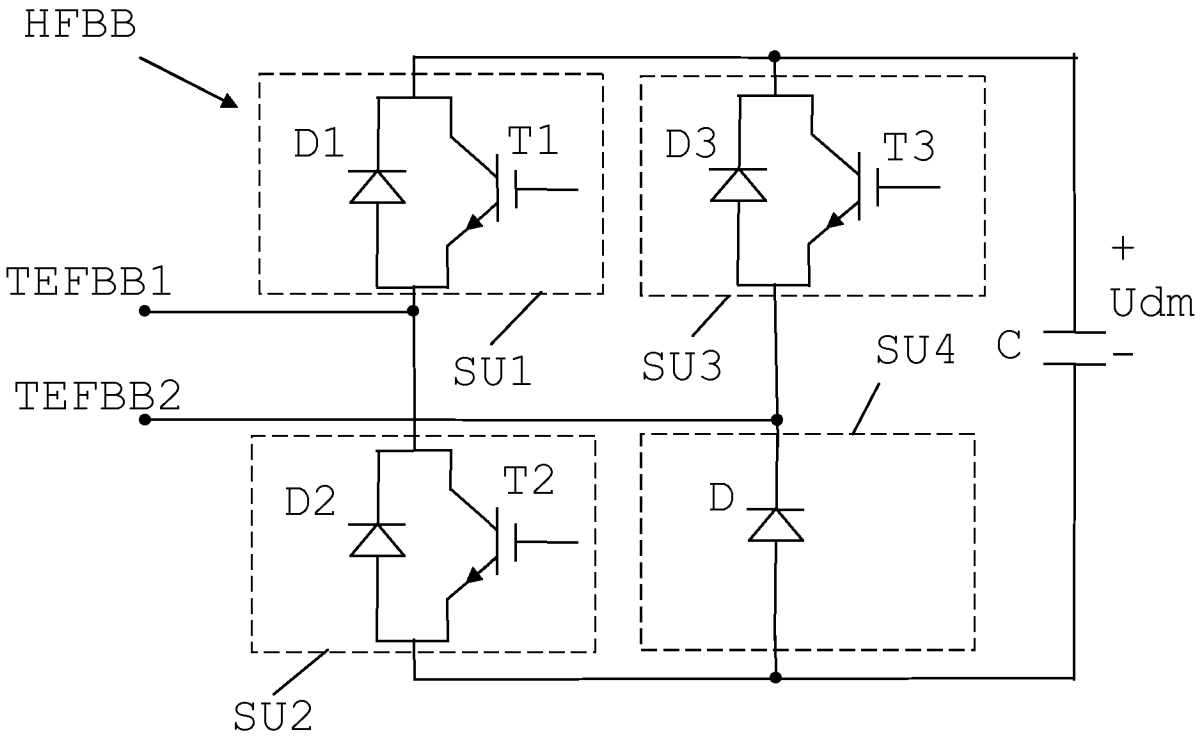

HFBB
D1
T1
D3
T3
TEFBB1
SU1
SU3
SU4
C
+
Udm
-
TEFBB2
D2
T2
D
SU2

图 4

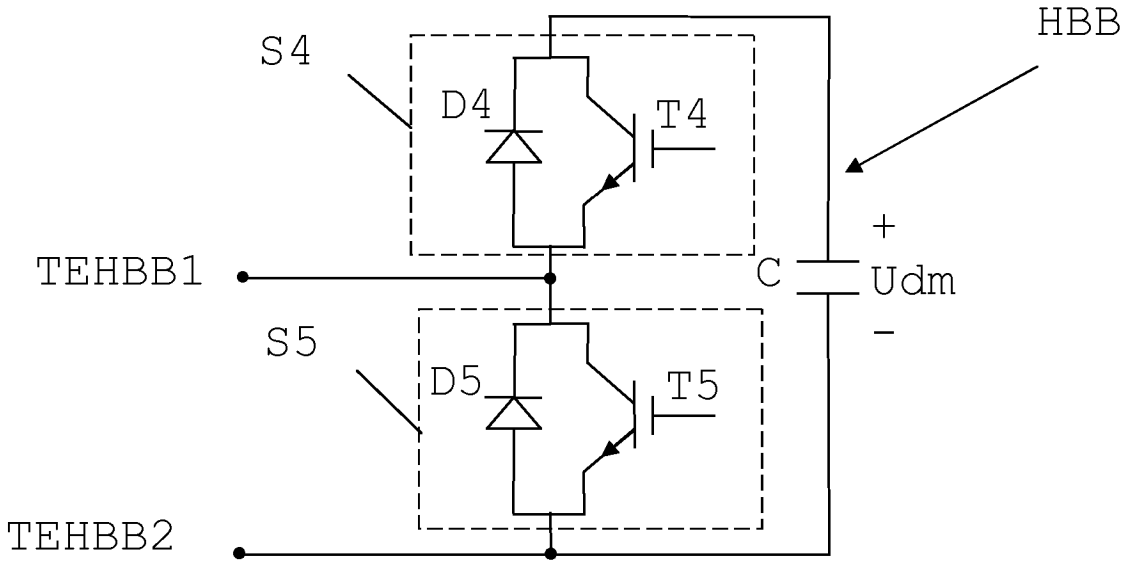

S4
D4
T4
HBB
+
TEHBB1
C
Udm
-
S5
D5
T5
TEHBB2

图 5

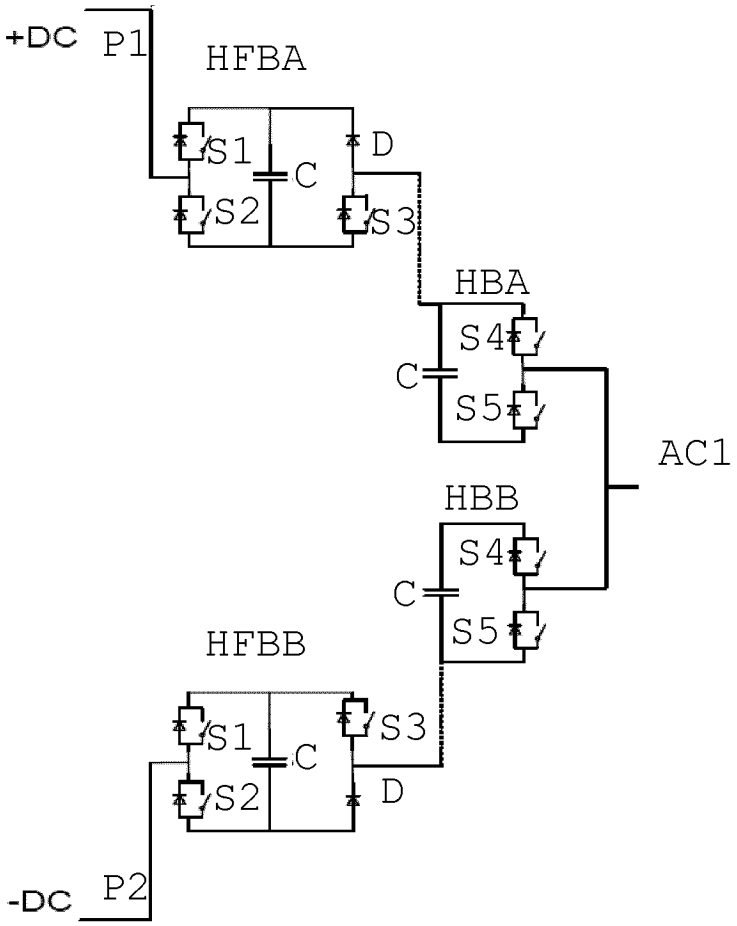

+DC
P1
HFBA
S1
C
D
S2
S3
HBA
S4
C
S5
AC1
HBB
S4
C
S5
HFBB
S1
C
S3
S2
D
-DC
P2

图 6

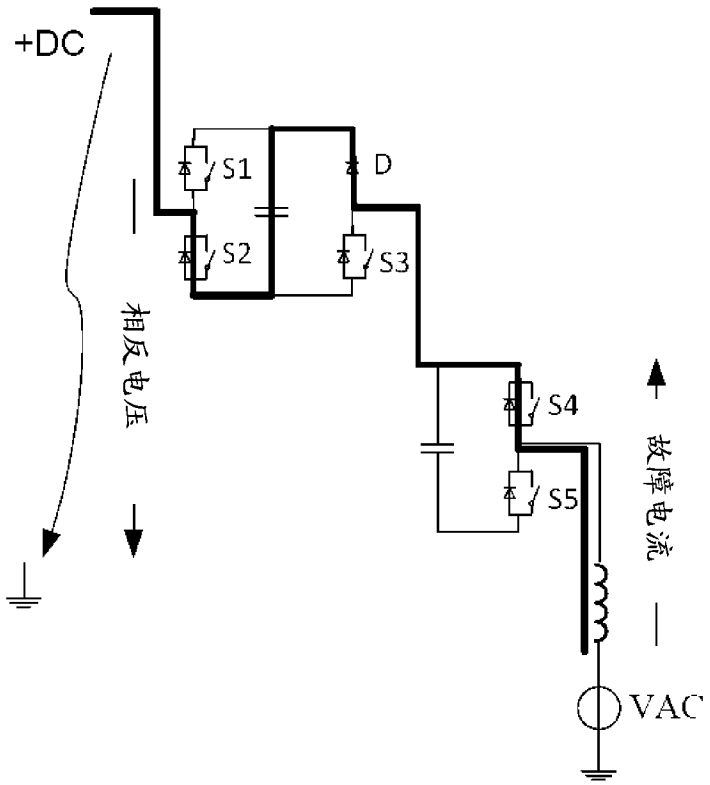

+DC
S1
D
S2
S3
相反电压
S4
S5
故障电流
VAC

图 7

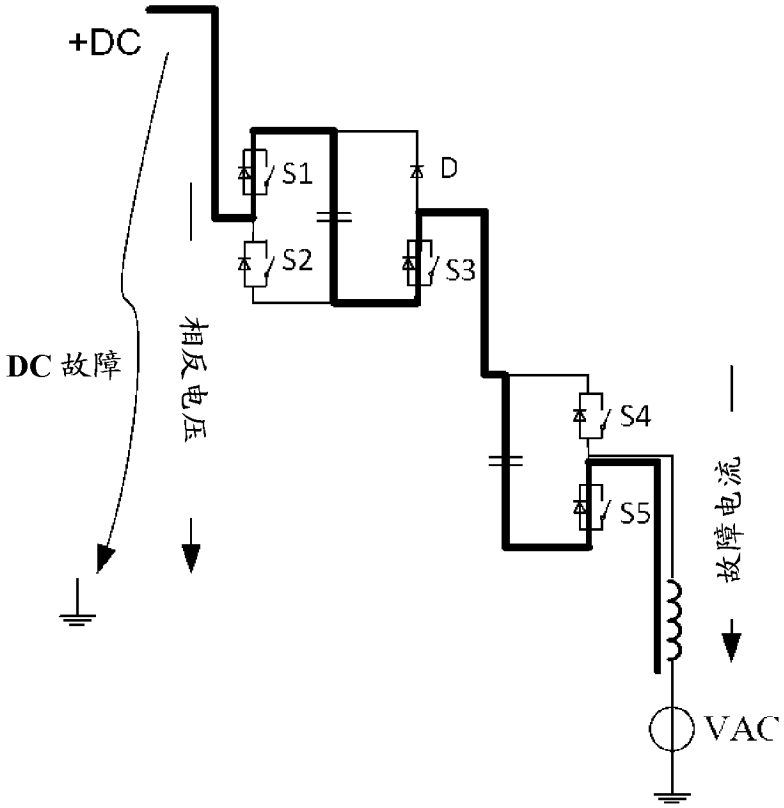

+DC
S1
D
S2
S3
DC 故障
相反电压
S4
S5
故障电流
VAC

图 8

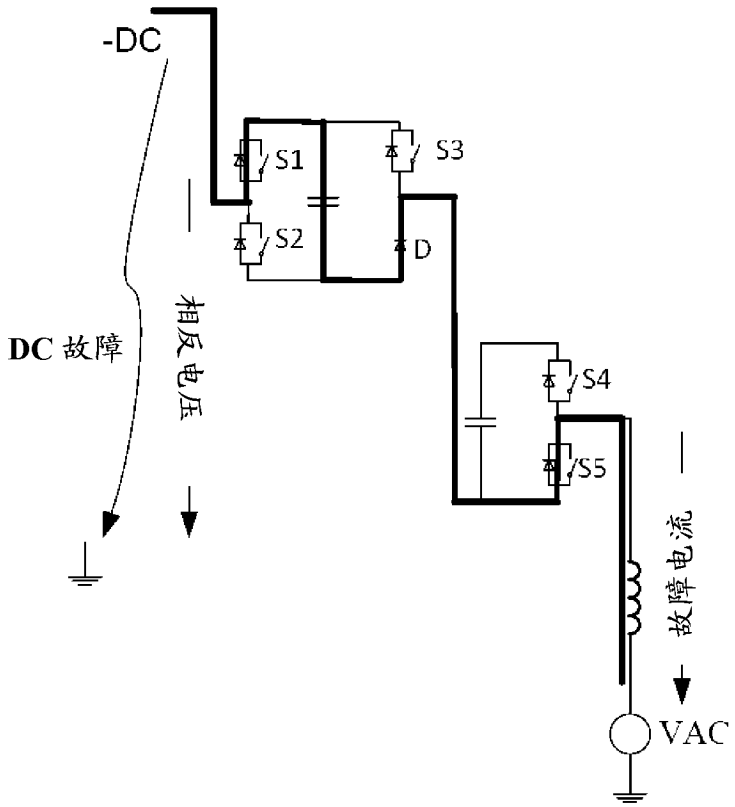

-DC
S1
S2
S3
D
S4
S5
DC 故障
相反电压
故障电流
VAC

图 9

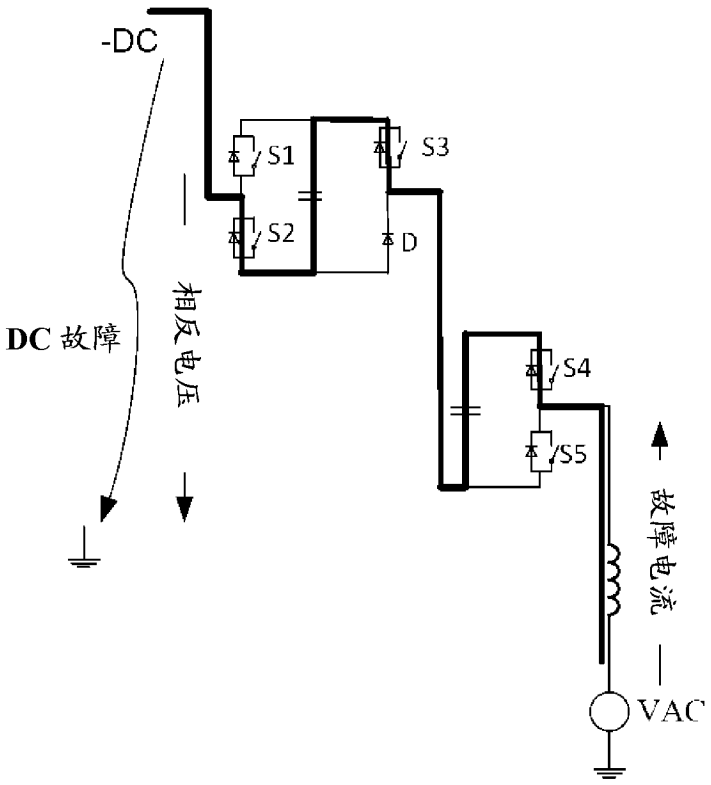

-DC
S1
S2
S3
D
S4
S5
DC 故障
相反电压
故障电流
VAC

图 10

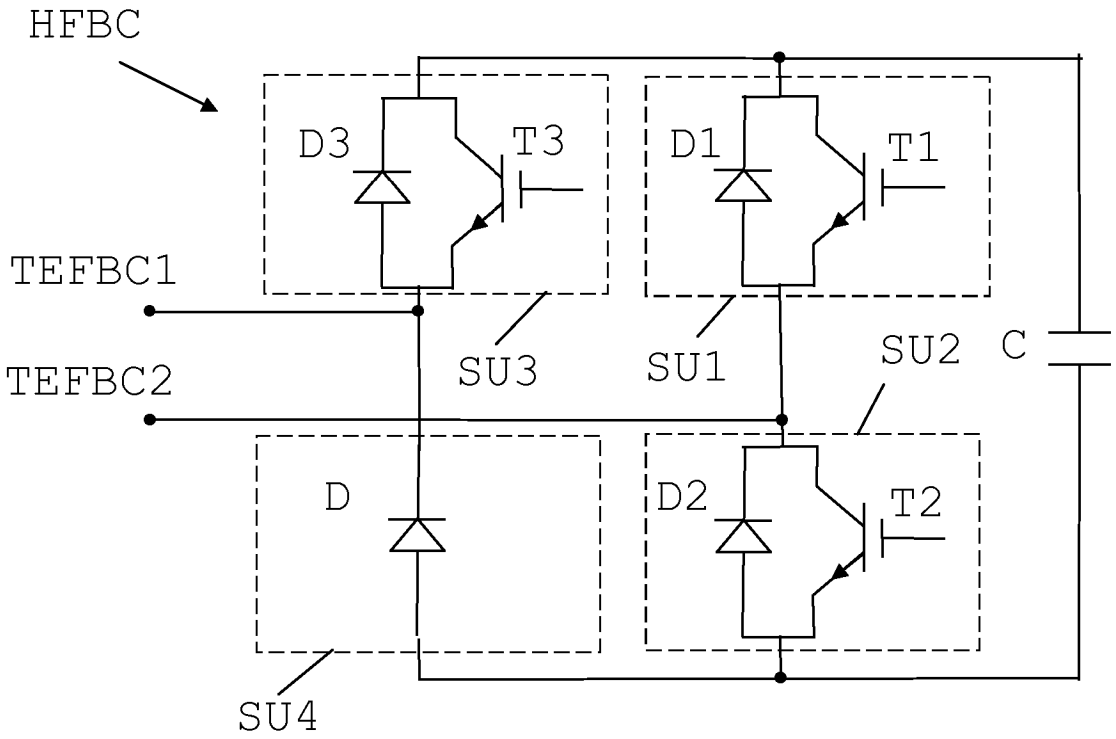

HFBC
D3
T3
D1
T1
TEFBC1
TEFBC2
SU3
SU1
SU2
C
D
D2
T2
SU4

图 11

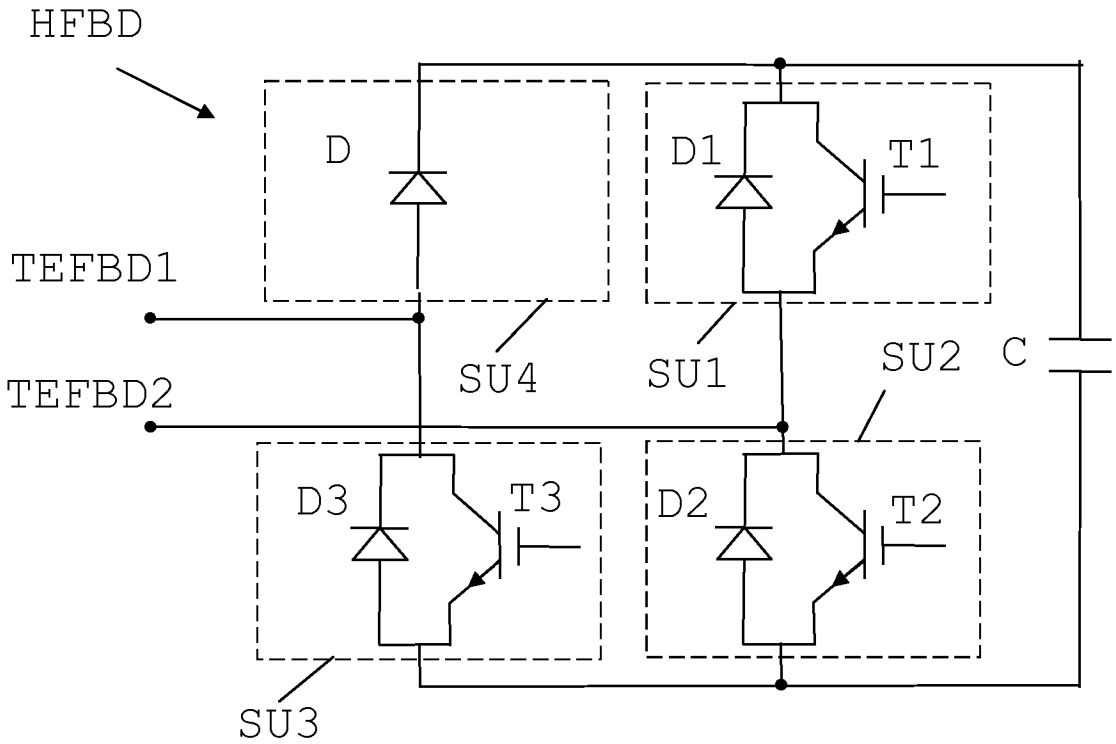

HFBD
D
D1
T1
TEFBD1
TEFBD2
SU4
SU1
SU2
C
D3
T3
D2
T2
SU3

图 12