(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2015 年 8 月 27 日 (27.08.2015)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2015/123922 A1

(51) 国际专利分类号:
H02J 1/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2014/076926

(22) 国际申请日: 2014 年 5 月 7 日 (07.05.2014)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201410057877.4 2014 年 2 月 20 日 (20.02.2014) CN

(71) 申请人: **南京南瑞继保电气有限公司 (NR ELECTRIC CO., LTD)** [CN/CN]; 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。 **南京南瑞继保工程技术有限公司 (NR ENGINEERING CO., LTD)** [CN/CN]; 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。

(72) 发明人: **谢晔源 (XIE, Yeyuan)**; 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。 **曹冬明 (CAO, Dongming)**; 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。 **邵震霞 (SHAO, Zhenxia)**; 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。 **董云龙 (DONG, Yunlong)**; 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。

(74) 代理人: **南京经纬专利商标代理有限公司 (NANJING JINGWEI PATENT & TRADEMARK AGENCY CO., LTD)**; 中国江苏省南京市鼓楼区中山路 179 号 12 楼 B 座, Jiangsu 210005 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[见续页]

(54) **Title**: CURRENT CONVERTER MODULE UNIT, CURRENT CONVERTER, DIRECT-CURRENT TRANSMISSION SYSTEM AND CONTROL METHOD

(54) **发明名称**: 一种换流器模块单元、换流器、直流输电系统及控制方法

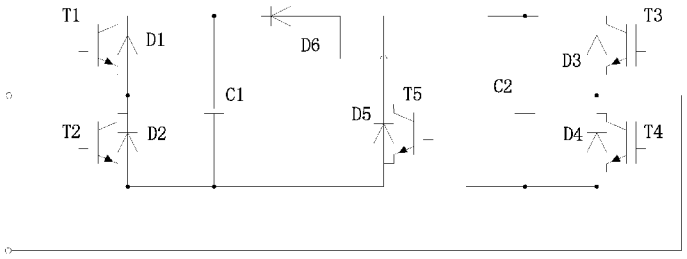


图 1 / **Fig. 1**

(57) **Abstract**: A current converter module unit, a converter, a direct-current transmission system and a control method. In the converter module unit, the positive electrode of a first switch module (T1, D1) is connected to the positive electrode of a first energy storage element (C1), and the negative electrode of a second switch module (T2, D2) is connected to the negative electrode of the first energy storage element; the negative electrode of a diode (D6) is connected to the positive electrode of the first switch module, the positive electrode of the diode is respectively connected to the negative electrode of a second energy storage element (C2) and the negative electrode of a fourth switch module (T4, D4), the positive electrode of the fourth switch module is connected to the negative electrode of a third switch module (T3, D3), and the positive electrode of the second energy storage element is connected to the positive electrode of the third switch module; and the positive electrode of the third switch module is connected to the positive electrode of a fifth switch module (T5, D5), and the negative electrode of the fifth switch module is connected to the negative electrode of the second switch module. This structure can provide a favourable direct-current side fault ride-through performance, thereby overcoming the limitation and deficiency of structures such as a full-bridge module and a clamping double-module, and having better economical and technological performances.

(57) **摘要**:

[见续页]

WO 2015/123922 A1

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种换流器模块单元、换流器、直流输电系统及控制方法，换流器模块单元中第一开关模块（T1，D1）的正极连接第一储能元件（C1）的正极，第二开关模块（T2，D2）的负极连接第一储能元件的负极；二极管（D6）的负极连接第一开关模块的正极，二极管的正极分别连接第二储能元件（C2）的负极及第四开关模块（T4，D4）的负极，第四开关模块的正极连接第三开关模块（T3，D3）的负极，第二储能元件的正极连接第三开关模块的正极；第三开关模块的正极连接第五开关模块（T5，D5）的正极，第五开关模块的负极连接第二开关模块的负极。此结构可提供良好的直流侧故障穿越性能，克服全桥模块和箝位双模块等结构的局限和不足，在经济性和技术性上均有较好表现。

说　　明　　书

一种换流器模块单元、换流器、直流输电系统及控制方法

技术领域

本发明属于柔性直流输电领域，特别涉及一种换流器模块单元，基于该换流器模块单元的模块化多电平换流器、直流输电系统，以及前述换流器模块单元、模块化多电平换流器及直流输电系统的控制方法。

背景技术

柔性直流输电系统的核心是基于全控器件的电压源变流器。多电平技术是实现高压大容量电压源变流器的优选方案。相对于二电平换流器，多电平换流器可以使用低压器件实现高电压等级输出，而并不需要开关器件的直接串联。近几年来，模块化多电平换流器（Modular Multilevel Converter，MMC）的出现使多电平换流器在柔性直流输电领域也得到了成功的应用。模块化多电平换流器的换流器采用模块化设计，由若干个结构完全相同的基本单元模块串联构成，每一个模块称为换流器模块单元，通过增加换流器中的串联模块个数和电流水平，可以应用于不同的电压及功率等级场合。

然而传统的半桥模块单元存在无法有效处理直流故障的固有缺陷，当换流器直流侧发生故障时，由于全控器件的反并联续流二极管容易构成故障点与交流系统直接连通的能量馈送回路，无法单纯依靠换流器动作完成直流侧故障电流的清除，只能依靠交流设备切断与交流系统的连接，但该方法存在响应速度较慢、重启动配合动作时序复杂、系统恢复时间较长等问题，限制了传统半桥模块换流器的工程应用。

为提高 MMC 换流器的直流故障穿越能力，基本模块结构演变出两种单元：全桥模块和箝位双模块，这两种模块单元均能实现换流器的直流故障清除与穿越，但都存在各自的不足：

全桥模块主要由四只全控开关和直流支撑电容组成，相较传统半桥模块，使用的开关器件多一倍，模块输出直流电容电压或旁路时均同时有两个全控开关流过电流，损耗也大一倍。

箝位双模块为两个传统半桥模块通过一个全控开关和两个箝位二极管级联

而成，相较全桥模块有效减少了全控开关数量，降低了运行损耗，但该单元存在两方面的问题：一是当箝位双模块处在所有全控开关闭锁状态时，由于拓扑中二极管的结构不对称，在启动交流充电时每个桥臂的等效电容是不一致的，电容电压的上升速率不一致，从而使得整个换流器的高电位取能和监控的一致性较差，容易造成系统误判；二是在直流故障时，箝位双模块的两个直流支撑电容并联投入到交流系统电压和故障点之间，模块直流电压的上升较慢，清除故障的动态响应时间较长。

鉴于以上分析，本发明人对换流器模块单元的结构进行研究改进，本案由此产生。

发明内容

本发明的目的，在于提供一种换流器模块单元及控制方法，其可提供良好的直流侧故障穿越性能，克服全桥模块和箝位双模块等结构的局限和不足，在经济性和技术性上均有较好表现。

为了达成上述目的，本发明的解决方案是：

一种换流器模块单元，包括两个储能元件、5 个开关模块和一个二极管，其中，第一开关模块的负极连接第二开关模块的正极，第一开关模块的正极连接第一储能元件的正极，第二开关模块的负极连接第一储能元件的负极；二极管的负极连接第一开关模块的正极，二极管的正极分别连接第二储能元件的负极及第四开关模块的负极，而第四开关模块的正极连接第三开关模块的负极，所述第二储能元件的正极连接第三开关模块的正极；所述第三开关模块的正极还连接第五开关模块的正极，而第五开关模块的负极连接第二开关模块的负极；并将第一开关模块的负极作为换流器模块单元的第一引出端，将第三开关模块的负极作为换流器模块单元的第二引出端。

上述各开关模块均包括开关管及与其反向并联的续流二极管，并以开关管的正极作为其所在开关模块的正极，以开关管的负极作为其所在开关模块的负极。

上述开关管采用可关断半导体器件。

上述开关管采用 IGBT、IGCT、GTO 或 MOSFET；采用 IGBT 时，其集电极作为所述开关管的正极，其发射极作为所述开关管的负极；采用 IGCT 或 GTO 时，其阳极作为所述开关管的正极，其阴极作为所述开关管的负极；采用 MOSFET 时，

其漏极作为所述开关管的正极，其源极作为所述开关管的负极。

上述储能元件采用电容。

一种如前所述的一种换流器模块单元的控制方法，控制换流器模块单元工作在以下六种工作状态：

正向电流充电状态：在正向电流下，控制第一、四、五开关模块中的开关管开通，控制第二、三开关模块中的开关管关断；

正向电流旁路状态：在正向电流下，控制第二、三、五开关模块中的开关管开通，控制第一、四开关模块中的开关管关断；

负向电流放电状态：在负向电流下，控制第一、四、五开关模块中的开关管开通，控制第二、三开关模块中的开关管关断；

负向电流旁路状态：在负向电流下，控制第二、三、五开关模块中的开关管开通，控制第一、四开关模块中的开关管关断；

正向电流闭锁状态：在正向电流下，控制 5 个开关模块中的开关管全部关断；

负向电流闭锁状态：在负向电流下，控制 5 个开关模块中的开关管全部关断。

一种模块化多电平换流器，包括上桥臂和下桥臂，所述上、下桥臂均包括有相互级联的至少两个如前所述的换流器模块单元，所述同一桥臂中的所有换流器模块单元同向连接，上桥臂中第一个换流器模块单元的第一引出端作为该模块化多电平换流器的正极点，下桥臂中最后一个换流器模块单元的第二引出端作为该模块化多电平换流器的负极点，所述正、负极点均用以接入直流网络中；而上桥臂中最后一个换流器模块单元的第二引出端与下桥臂中第一个换流器模块单元的第一引出端相互连接，作为该模块化多电平换流器的交流端点，用以接入交流网络中。

上述上、下桥臂中分别串联有至少一个电抗器。

上述上、下桥臂中，每个换流器模块单元的第一、二引出端之间还并联旁路装置。

上述换流器由混合换流器模块单元构成。

一种单极直流输电系统，包括整流器和逆变器，所述整流器由三个如前所述的一种模块化多电平换流器并联构成，该三个模块化多电平换流器的交流端点分别连接交流系统或负载的三相；所述逆变器由另外三个如前所述的一种模块化多电平换流器并联构成，该三个模块化多电平换流器的交流端点分别连接交流系统

或负载的三相；所述整流器中三个模块化多电平换流器的正极点与逆变器中三个模块化多电平换流器的正极点通过直流连接进行连接，整流器中三个模块化多电平换流器的负极点与逆变器中三个模块化多电平换流器的负极点也通过直流连接进行连接。

一种如前所述的一种单极直流输电系统的控制方法，包括如下步骤：

（a1）判断直流侧是否故障，若故障则转步骤（a2）；

（a2）当出现直流故障时，对故障所在极的每个换流器模块单元中的开关管加关断信号；

（a3）待直流故障消除后，重新启动各换流器模块单元。

一种双极直流输电系统，包括整流侧和逆变侧，整流侧包括 2n 个同向相互串联的整流器，n 为自然数，所述每个整流器均包括相互并联的三个如前所述的模块化多电平换流器，在每个整流器中，该三个模块化多电平换流器的交流端点分别连接交流系统或负载的三相，正极点短接后作为该整流器的正极，负极点短接后作为该整流器的负极；

所述逆变侧包括另外 2n 个同向相互串联的逆变器，n 为自然数，所述每个逆变器均包括相互并联的三个如前所述的模块化多电平换流器，在每个逆变器中，该三个模块化多电平换流器的交流端点分别连接交流系统或负载的三相，正极点短接后作为该逆变器的正极，负极点短接后作为该逆变器的负极；

前述 2n 个整流器同向串联，前述 2n 个逆变器同向串联，两条串联线路的中性点其中之一接地，或两条串联线路的中性点之间通过直流连接进行连接；

前述整流侧中第一个整流器的正极通过直流连接连接逆变侧中第一个逆变器的正极，整流侧中最后一个整流器的负极通过直流连接连接逆变侧中最后一个逆变器的负极。

上述直流连接指采用架空线连接、地下电缆连接、海底电缆连接或硬连接。

上述整流侧的正极与中性点之间，或负极与中性点之间并联滤波器；或逆变侧的正极与中性点之间，或负极与中性点之间并联滤波器。

一种如前所述的一种双极直流输电系统的控制方法，包括如下步骤：

（b1）判断直流侧是否故障，若故障则转步骤（b2）；

（b2）当出现直流故障时，对故障所在极的每个换流器模块单元中的开关管加关断信号；

（b3）待直流故障消除后，重新启动各换流器模块单元。

采用上述方案后，本发明通过采用新颖的换流器模块单元结构，具有以下有益效果：

（1）采用开关模块和二极管交叉连接的形式，将两个半桥模块组合在一起，构成本发明的换流器模块单元结构，提供了良好的直流故障穿越能力；

（2）所述换流器模块单元能实现多电平电压源和清除直流短路故障的功能，而且使用的器件少，运行损耗小，具有工程实用价值；

（3）在换流器启动和故障闭锁状态下，所述换流器模块单元的所有二极管回路相对于两个端子是对称的，从而提供了至少两个有益的特性：一是启动状态从交流充电时，每个桥臂的等效电容是一致的，电容电压的上升速率基本一致，从而使得整个换流器的高电位取能和监控更加一致和协调；二是故障闭锁状态下，换流器模块单元的两个电容串联投入到交流电源和故障点之间，故障时迅速抬升直流电压，快速清除直流短路故障，动态响应快；

（4）所述换流器模块单元构成的换流器，其基本控制策略可以和传统半桥模块构成的换流器兼容，具有可移植性；

（5）所述换流器模块单元构成的换流器，由于其包括五个功率半导体开关模块和两个电容，能通过高级控制策略，在模块两个接线端输出 0、Vc、2Vc 三种电平，相较传统半桥模块换流器的 0、Vc 两电平，控制方式更灵活。

附图说明

图 1 是本发明一种换流器模块单元的单元图；

图 2 是本发明一种换流器模块单元在正向电流下的充电工况示意图；

图 3 是本发明一种换流器模块单元在正向电流下的旁路工况示意图；

图 4 是本发明一种换流器模块单元在负向电流下的放电工况示意图；

图 5 是本发明一种换流器模块单元在负向电流下的旁路工况示意图；

图 6 是本发明一种换流器模块单元在开关管全闭锁下流过正向电流的工况示意图；

图 7 是本发明一种换流器模块单元在开关管全闭锁下流过负向电流的工况示意图；

图 8 是本发明一种模块化多电平换流器的单元图；

图 9 是本发明一种直流输电系统的第一实施例单元图；

图 10 是本发明一种模块化多电平换流器清除直流侧短路的工况示意图；

图 11 是本发明一种直流输电系统的第二实施例单元图。

具体实施方式

以下将结合附图，对本发明的技术方案进行详细说明。

如图 1 所示，本发明提供一种换流器模块单元，包括两个储能元件 C1、C2、5 个开关模块和一个二极管 D6，其中，第一开关模块的负极连接第二开关模块的正极，第一开关模块的正极连接第一储能元件的正极，第二开关模块的负极连接第一储能元件 C1 的负极；二极管 D6 的负极连接第一开关模块的正极，二极管 D6 的正极分别连接第二储能元件 C2 的负极及第四开关模块的负极，而第四开关模块的正极连接第三开关模块的负极，所述第二储能元件 C2 的正极连接第三开关模块的正极；所述第三开关模块的正极还连接第五开关模块的正极，而第五开关模块的负极连接第二开关模块的负极；并将第一开关模块的负极作为换流器模块单元的第一引出端，将第三开关模块的负极作为换流器模块单元的第二引出端。

在本实施例中，储能元件 C1、C2 可都采用电容，而对于每个开关模块来说，均包括开关管 T1-T5 及与其反向并联的二极管 D1-D5（也即俗称的“续流二极管”），所述续流二极管的负极与对应开关管的正极相连，续流二极管的正极与对应开关管的负极相连，并以开关管的正极作为其所在开关模块的正极，以开关管的负极作为其所在开关模块的负极；所述开关管可采用所有具有可关断功能的功率半导体器件（即可关断半导体器件），当开关管采用 IGBT 时，以其集电极作为所述开关管的正极，以其发射极作为所述开关管的负极；所述开关管采用 IGCT 或 GTO 时，以其阳极作为所述开关管的正极，以其阴极作为所述开关管的负极；所述开关管采用 MOSFET 时，以其漏极作为所述开关管的正极，以其源极作为所述开关管的负极。

配合图 1 所示的电路架构，本发明还提供一种该换流器模块单元的控制方法，所述控制方法可控制换流器模块单元工作在六种工作状态：正向电流充电状态，正向电流旁路状态，负向电流放电状态，负向电流旁路状态，正向电流闭锁状态，以及负向电流闭锁状态。

（1）开关管 T1、T4、T5 加开通信号，开关管 T2 和 T3 加关断信号，在正向电流下，续流二极管 D1、D5、D4 依次导通，向储能元件 C1 和 C2 充电，换流器模块单元进入正向电流充电状态，如图 2 所示；

（2）开关管 T2、T3、T5 加开通信号，开关管 T1 和 T4 加关断信号，在正向电流下，续流二极管 D5 导通，旁路储能元件 C1 和 C2，换流器模块单元进入正向电流旁路状态，如图 3 所示；

（3）开关管 T1、T4、T5 加开通信号，开关管 T2 和 T3 加关断信号，在负向电流下，储能元件 C1 和 C2 放电，换流器模块单元进入负向电流放电状态，如图 4 所示；

（4）开关管 T2、T3、T5 加开通信号，开关管 T1 和 T4 加关断信号，在负向电流下，续流二极管 D3、D2 依次导通，旁路储能元件 C1 和 C2，换流器模块单元进入负向电流旁路状态，如图 5 所示；

（5）开关管 T1 至 T5 加关断信号，在正向电流下，续流二极管 D1、D5、D4 依次导通，储能元件 C1 和 C2 充电，换流器模块单元进入正向电流闭锁状态，如图 6 所示；

（6）开关管 T1 至 T5 加关断信号，在负向电流下，续流二极管 D3、D6、D2 依次导通，储能元件 C1 和 C2 充电，换流器模块单元进入负向电流闭锁状态，如图 7 所示。

如图 8 所示，本发明还提供一种由前述换流器模块单元构成的模块化多电平换流器，包括上桥臂和下桥臂，所述上、下桥臂均包括有相互级联的至少两个换流器模块单元，且上、下桥臂中包含的换流器模块单元的数量可以相同，也可以不同，各换流器模块单元的具体电路结构可以相同，也可以不同；在同一个桥臂（上桥臂或下桥臂）中，前一个换流器模块单元的第二引出端连接后一个换流器模块单元的第一引出端，并将第一个换流器模块单元的第一引出端作为所述上/下桥臂的第一端，将最后一个换流器模块单元的第二引出端作为所述上/下桥臂的第二端，所述上桥臂的第一端作为模块化多电平换流器的正极点，用以接入直流网络中，下桥臂的第二端作为模块化多电平换流器的负极点，用以接入直流网络中，而上桥臂的第二端与下桥臂的第一端连接在一起，共同作为所述模块化多电平换流器的交流端点 Uac，用以接入交流网络中。

在本实施例中，所述上、下桥臂还可分别串联电抗器，该电抗器可串联在除

第一、二端的任意位置，通常是将电抗器串联在交流端点处，由于一个电抗器可看作多个子电抗器串联组成，因此所述电抗器的数目不作限制，只要上/下桥臂中的电抗总值达到该桥臂对应的要求即可。

作为一种优选方案，还可在所述每个换流器模块单元的第一、二引出端之间并联开关或其它旁路装置，用于在某一个换流器模块单元发生故障时将其退出，提高模块化多电平换流器的可用率。

如图 12 所示，作为一种优选的方案，所述模块化多电平换流器由所述换流器模块单元与其它拓扑结构的换流器模块单元相互级联构成，即由混合换流器模块单元级联构成。

如图 11 所示，本发明还提供一种单极直流输电系统，包括整流器和逆变器，所述整流器包括相互并联的三个前述模块化多电平换流器，所述三个模块化多电平换流器的交流端点分别连接交流系统或负载的三相；所述逆变器包括另外三个相互并联的三个模块化多电平换流器，该三个模块化多电平换流器的交流端点分别连接交流系统或负载的三相；所述整流器中三个模块化多电平换流器的正极点与逆变器中三个模块化多电平换流器的正极点通过 f

进行连接，整流器中三个模块化多电平换流器的负极点与逆变器中三个模块化多电平换流器的负极点也通过直流连接进行连接。

此种连接结构称为伪双极系统，即其中的一个极的正极点与直流连接相连，负极点也与直流连接相连，通过整流器将电能由交流侧传输至直流侧，再通过逆变器将电能由直流侧传输至交流侧。

针对前述单极直流输电系统，本发明还提供一种控制方法，用于快速清除直流故障而不中断直流传输，该控制方法包括如下步骤：

（a1）判断直流侧是否故障，若故障则转步骤（a2）；

（a2）当出现直流故障时，对故障所在极的每个换流器模块单元中的开关管加关断信号；

（a3）待直流故障消除后，重新启动各换流器模块单元。

本发明提供一种双极直流输电系统，包括整流侧和逆变侧，整流侧包括 2n 个同向相互串联的整流器，n 为自然数，所述每个整流器均包括相互并联的三个前述模块化多电平换流器，在每个整流器中，该三个模块化多电平换流器的交流端点分别连接交流系统或负载的三相，正极点短接后作为该整流器的正极，负极

点短接后作为该整流器的负极；所述逆变侧包括另外 2n 个同向相互串联的逆变器，n 为自然数，所述每个逆变器均包括相互并联的三个前述模块化多电平换流器，在每个逆变器中，该三个模块化多电平换流器的交流端点分别连接交流系统或负载的三相，正极点短接后作为该逆变器的正极，负极点短接后作为该逆变器的负极；前述整流侧中第一个整流器的正极通过直流连接连接逆变侧中第一个逆变器的正极，整流侧中最后一个整流器的负极通过直流连接连接逆变侧中最后一个逆变器的负极；同时，前述 2n 个整流器同向串联，形成一条串联线路，前述 2n 个逆变器同向串联，形成另一条串联线路，使得这两条串联线路中的一条的中性点接地，或将两条串联线路的中性点通过直流连接进行连接。

图 9 所示是 n=1 的电路结构图，通过整流侧将电能由交流侧传输至直流侧，再通过逆变侧将电能由直流侧传输至交流侧。

在本实施例中，直流连接既可以采用架空线、地下电缆或海底电缆的方式，也可以采用硬连接的方式，所谓硬连接是指直接将两侧模块化多电平换流器的正极点或负极点对接连接，构成所谓背靠背系统。

作为一种优选方案，对于整流侧或逆变侧，还可以在整流侧（或逆变侧）的正极与中性点之间，或负极与中性点之间并联滤波器。

针对前述双极直流输电系统，本发明还提供一种控制方法，用于快速清除直流故障而不中断直流传输，该控制方法包括如下步骤：

（b1）判断直流侧是否故障，若故障则转步骤（b2）；

（b2）当出现直流故障时，对故障所在极的每个换流器模块单元中的开关管加关断信号；

（b3）待直流故障消除后，重新启动各换流器模块单元。

需要说明的是，基于前述单/双极直流输电系统，可衍伸出多端直流输电系统的架构，既可以是将图 11 所示单极直流输电系统中的整流极或/和逆变极设置为多个，并相互并联，也可以是将图 9 所示双极直流输电系统中的整流侧或/和逆变侧设置为多个，并相互并联；前述直流连接两侧的整流器-逆变器、整流侧-逆变侧的数目可以相同，也可以设置为不同，只需满足其变换参数匹配即可。由单/双极直流输电系统衍伸成多端直流输电系统的思路已经清楚，在此不再详述。

对于前述多种直流输电系统，当直流连接采用架空线的时候，时常会发生短路故障，现有技术方案由于存在短路电流馈送回路，只能采用断开交流侧连接的

方式来消除短路故障、保护设备和电力传输安全，这种方式会将中断全部电力传输，将带来严重的经济损失。而采用本案提出的换流器模块单元构成上述直流输电系统后的有益效果是：在直流侧短路时，可以通过换流器控制实现直流侧故障的自清除和故障极的重启动，显著改善整个系统的性能，从而突破目前应用范围的限制。

直流侧故障自清除原理是：模块化多电平换流器的正极点 A 发生短路流过故障电流，换流器闭锁所有开关管，故障电流通过每个换流器模块单元的二极管 D2、D3、D6 回路向 C1 和 C2 串联充电，如图 10 所示。这样所有串联换流器模块单元总的输出等效为直流电压源 Vdc，当 Vdc 大于短路时外部施加电压的峰值时，直流故障电流自行被清除，继而实现直流故障的快速恢复。

本发明中的换流器模块单元也可以用于无功补偿设备、有功或无功发生设备、电能回馈等基于电压源型换流器的设备。

以上实施例仅为说明本发明的技术思想，不能以此限定本发明的保护范围，凡是按照本发明提出的技术思想，在技术方案基础上所做的任何改动，均落入本发明保护范围之内。

权 利 要 求 书

1、一种换流器模块单元，其特征在于：包括两个储能元件、5 个开关模块和一个二极管，其中，第一开关模块的负极连接第二开关模块的正极，第一开关模块的正极连接第一储能元件的正极，第二开关模块的负极连接第一储能元件的负极；二极管的负极连接第一开关模块的正极，二极管的正极分别连接第二储能元件的负极及第四开关模块的负极，而第四开关模块的正极连接第三开关模块的负极，所述第二储能元件的正极连接第三开关模块的正极；所述第三开关模块的正极还连接第五开关模块的正极，而第五开关模块的负极连接第二开关模块的负极；并将第一开关模块的负极作为换流器模块单元的第一引出端，将第三开关模块的负极作为换流器模块单元的第二引出端。

2、如权利要求 1 所述的一种换流器模块单元，其特征在于：所述各开关模块均包括开关管及与其反向并联的续流二极管，并以开关管的正极作为其所在开关模块的正极，以开关管的负极作为其所在开关模块的负极。

3、如权利要求 2 所述的一种换流器模块单元，其特征在于：所述开关管采用可关断半导体器件。

4、如权利要求 2 所述的一种换流器模块单元，其特征在于：所述开关管采用 IGBT、IGCT、GTO 或 MOSFET；采用 IGBT 时，其集电极作为所述开关管的正极，其发射极作为所述开关管的负极；采用 IGCT 或 GTO 时，其阳极作为所述开关管的正极，其阴极作为所述开关管的负极；采用 MOSFET 时，其漏极作为所述开关管的正极，其源极作为所述开关管的负极。

5、如权利要求 1 或 2 所述的一种换流器模块单元，其特征在于：所述储能元件采用电容。

6、一种如权利要求 2 所述的一种换流器模块单元的控制方法，其特征在于控制换流器模块单元工作在以下六种工作状态：

正向电流充电状态：在正向电流下，控制第一、四、五开关模块中的开关管开通，控制第二、三开关模块中的开关管关断；

正向电流旁路状态：在正向电流下，控制第二、三、五开关模块中的开关管开通，控制第一、四开关模块中的开关管关断；

负向电流放电状态：在负向电流下，控制第一、四、五开关模块中的开关管

开通，控制第二、三开关模块中的开关管关断；

负向电流旁路状态：在负向电流下，控制第二、三、五开关模块中的开关管开通，控制第一、四开关模块中的开关管关断；

正向电流闭锁状态：在正向电流下，控制 5 个开关模块中的开关管全部关断；

负向电流闭锁状态：在负向电流下，控制 5 个开关模块中的开关管全部关断。

7、一种模块化多电平换流器，其特征在于：包括上桥臂和下桥臂，所述上、下桥臂均包括有相互级联的至少两个如权利要求 1 所述的，所述同一桥臂中的所有换流器模块单元同向连接，上桥臂中第一个换流器模块单元的第一引出端作为该模块化多电平换流器的正极点，下桥臂中最后一个换流器模块单元的第二引出端作为该模块化多电平换流器的负极点，所述正、负极点均用以接入直流网络中；而上桥臂中最后一个换流器模块单元的第二引出端与下桥臂中第一个换流器模块单元的第一引出端相互连接，作为该模块化多电平换流器的交流端点，用以接入交流网络中。

8、如权利要求 7 所述的一种模块化多电平换流器，其特征在于：所述上、下桥臂中分别串联有至少一个电抗器。

9、如权利要求 7 所述的一种模块化多电平换流器，其特征在于：所述上、下桥臂中，每个换流器模块单元的第一、二引出端之间还并联旁路装置。

10、如权利要求 7 所述的一种模块化多电平换流器，其特征在于：由混合换流器模块单元级联。

11、一种单极直流输电系统，其特征在于：包括整流器和逆变器，所述整流器由三个如权利要求 7 所述的一种模块化多电平换流器并联构成，该三个模块化多电平换流器的交流端点分别连接交流系统或负载的三相；所述逆变器由另外三个如权利要求 7 所述的一种模块化多电平换流器并联构成，该三个模块化多电平换流器的交流端点分别连接交流系统或负载的三相；所述整流器中三个模块化多电平换流器的正极点与逆变器中三个模块化多电平换流器的正极点通过直流连接进行连接，整流器中三个模块化多电平换流器的负极点与逆变器中三个模块化多电平换流器的负极点也通过直流连接进行连接。

12、一种如权利要求 11 所述的一种单极直流输电系统的控制方法，其特征在于包括如下步骤：

（a1）判断直流侧是否故障，若故障则转步骤（a2）；

（a2）当出现直流故障时，对故障所在极的每个换流器模块单元中的开关管加关断信号；

（a3）待直流故障消除后，重新启动各换流器模块单元。

13、一种双极直流输电系统，其特征在于：包括整流侧和逆变侧，整流侧包括 2n 个同向相互串联的整流器，n 为自然数，所述每个整流器均包括相互并联的三个如权利要求 7 所述的模块化多电平换流器，在每个整流器中，该三个模块化多电平换流器的交流端点分别连接交流系统或负载的三相，正极点短接后作为该整流器的正极，负极点短接后作为该整流器的负极；

所述逆变侧包括另外 2n 个同向相互串联的逆变器，n 为自然数，所述每个逆变器均包括相互并联的三个如权利要求 7 所述的模块化多电平换流器，在每个逆变器中，该三个模块化多电平换流器的交流端点分别连接交流系统或负载的三相，正极点短接后作为该逆变器的正极，负极点短接后作为该逆变器的负极；

前述 2n 个整流器同向串联，前述 2n 个逆变器同向串联，两条串联线路的中性点其中之一接地，或两条串联线路的中性点之间通过直流连接进行连接；

前述整流侧中第一个整流器的正极通过直流连接连接逆变侧中第一个逆变器的正极，整流侧中最后一个整流器的负极通过直流连接连接逆变侧中最后一个逆变器的负极。

14、如权利要求 13 所述的一种双极直流输电系统，其特征在于：所述直流连接指采用架空线连接、地下电缆连接、海底电缆连接或硬连接。

15、如权利要求 13 所述的一种双极直流输电系统，其特征在于：所述整流侧的正极与中性点之间，或负极与中性点之间并联滤波器；或逆变侧的正极与中性点之间，或负极与中性点之间并联滤波器。

16、一种如权利要求 13 所述的一种双极直流输电系统的控制方法，其特征在于包括如下步骤：

（b1）判断直流侧是否故障，若故障则转步骤（b2）；

（b2）当出现直流故障时，对故障所在极的每个换流器模块单元中的开关管加关断信号；

（b3）待直流故障消除后，重新启动各换流器模块单元。

说 明 书 附 图

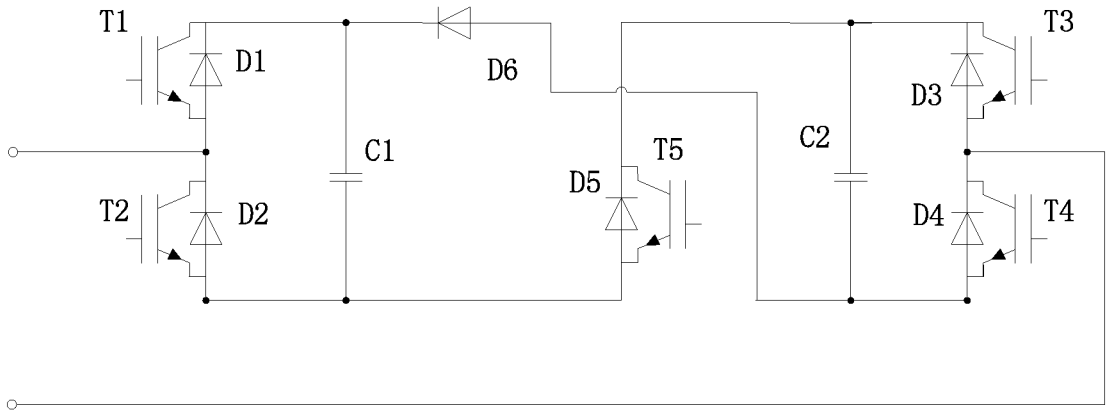


图 1

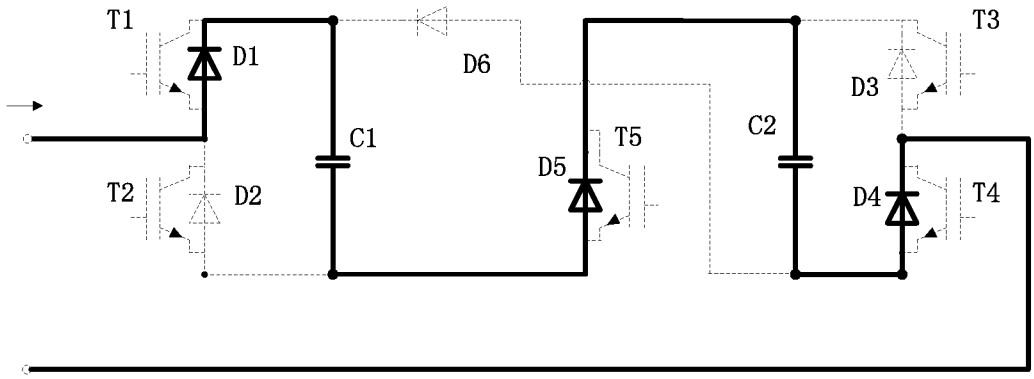


图 2

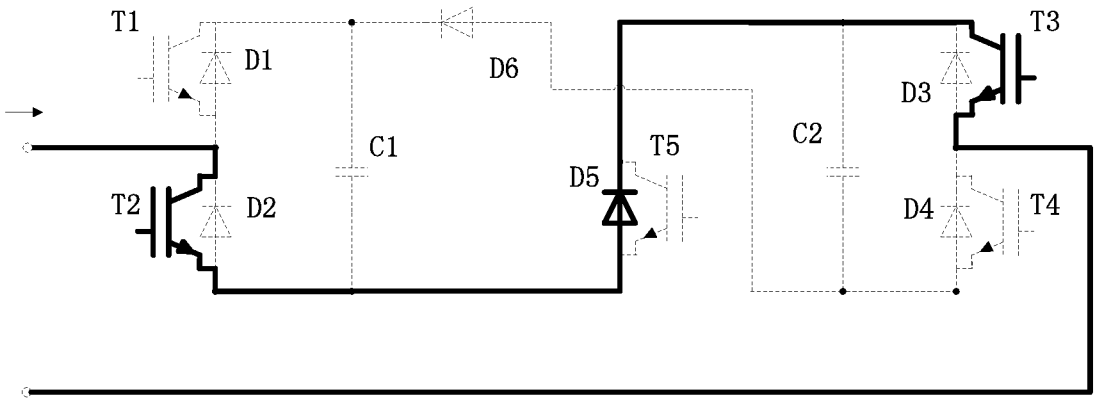


图 3

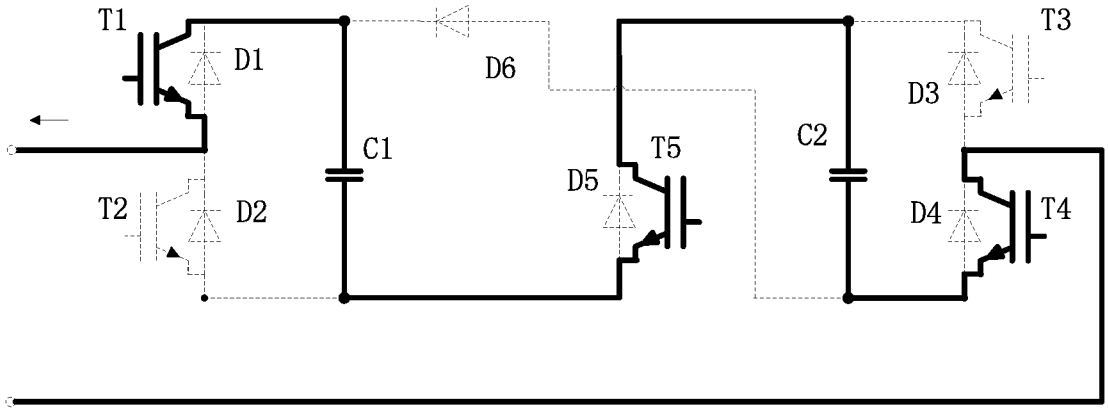

T1
D1
D6
T3
D3
C1
T5
C2
D5
T2
D2
D4
T4

图 3

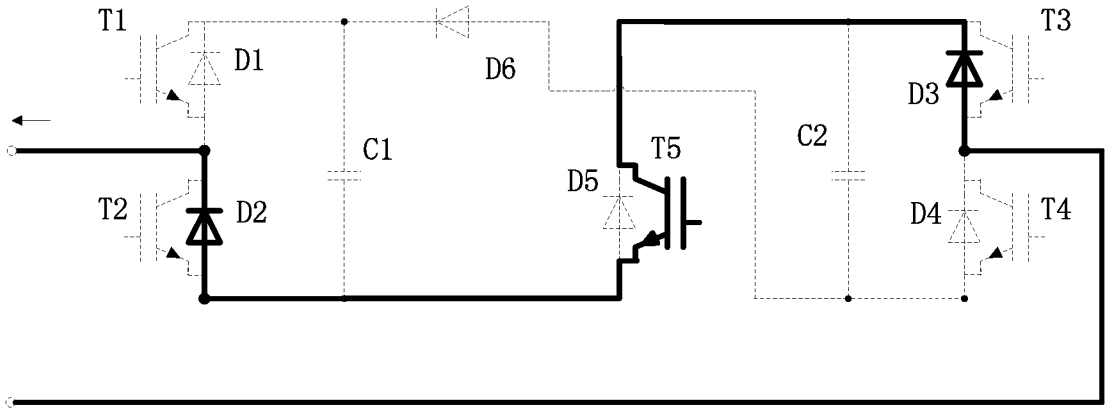

T1
D1
D6
T3
D3
C1
T5
C2
D5
T2
D2
D4
T4

图 5

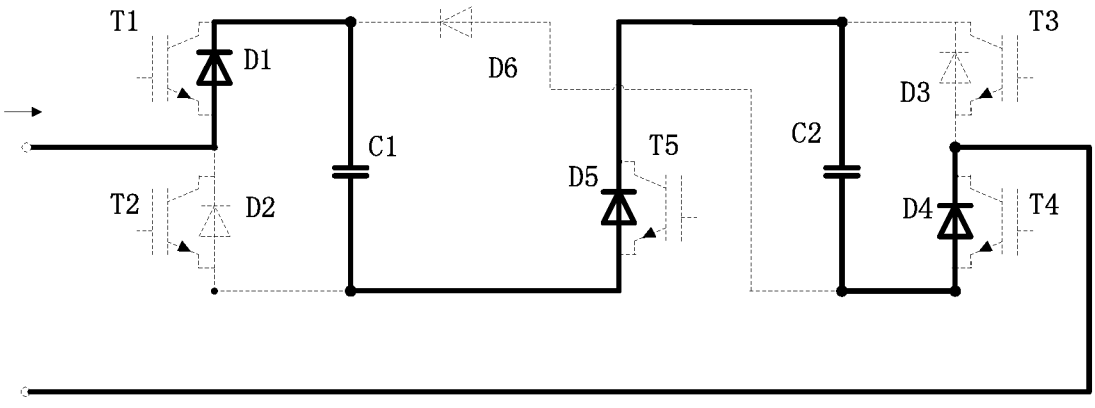

T1
D1
D6
T3
D3
C1
T5
C2
D5
T2
D2
D4
T4

图 6

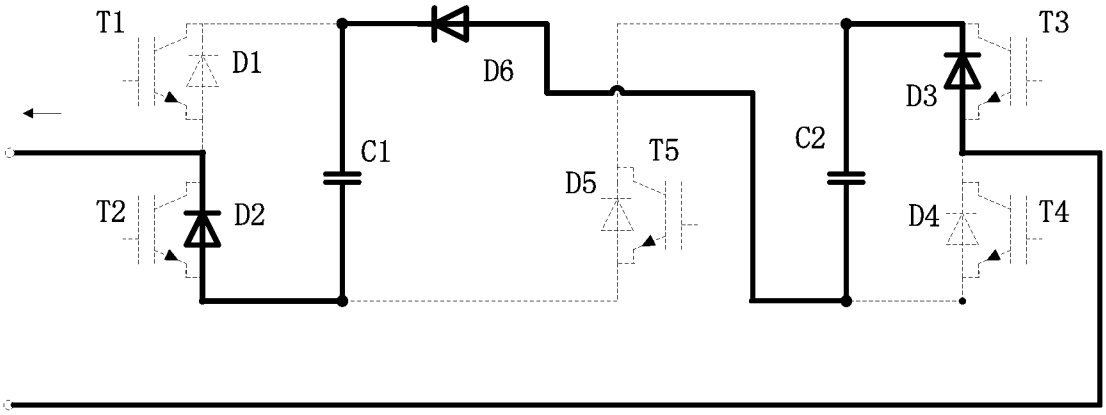

T1
D1
D6
T3
D3
C1
T5
C2
T2
D2
D5
D4
T4

图 7

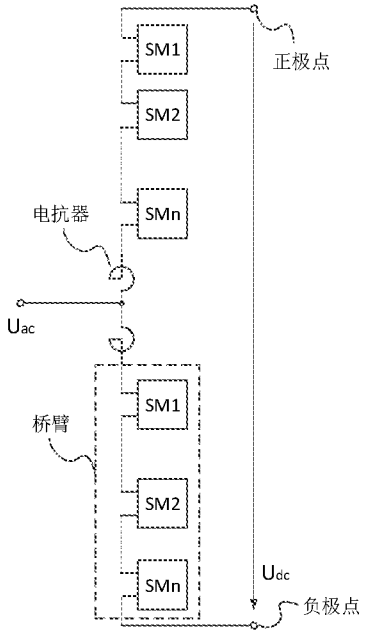

SM1
正极点
SM2
SMn
电抗器
Uac
SM1
桥臂
SM2
SMn
Udc
负极点

图 8

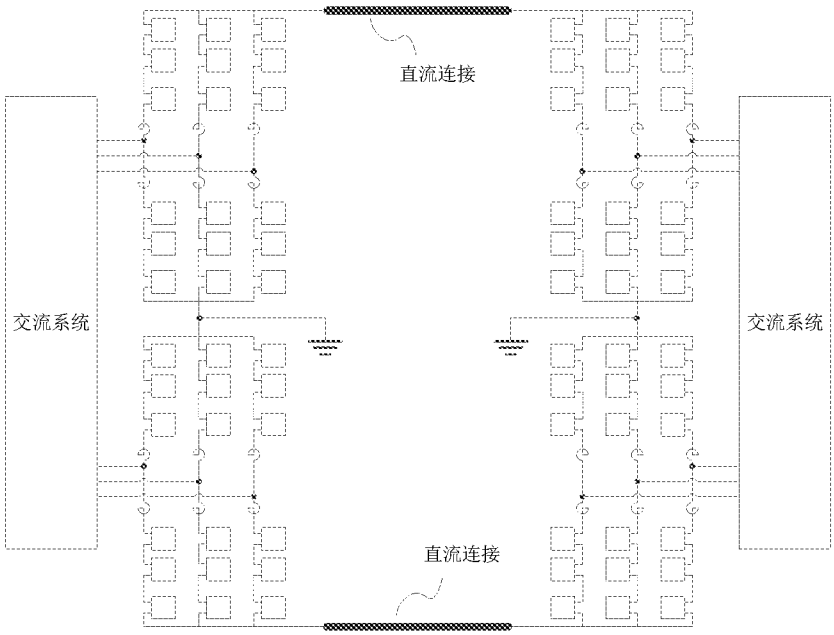


图 9

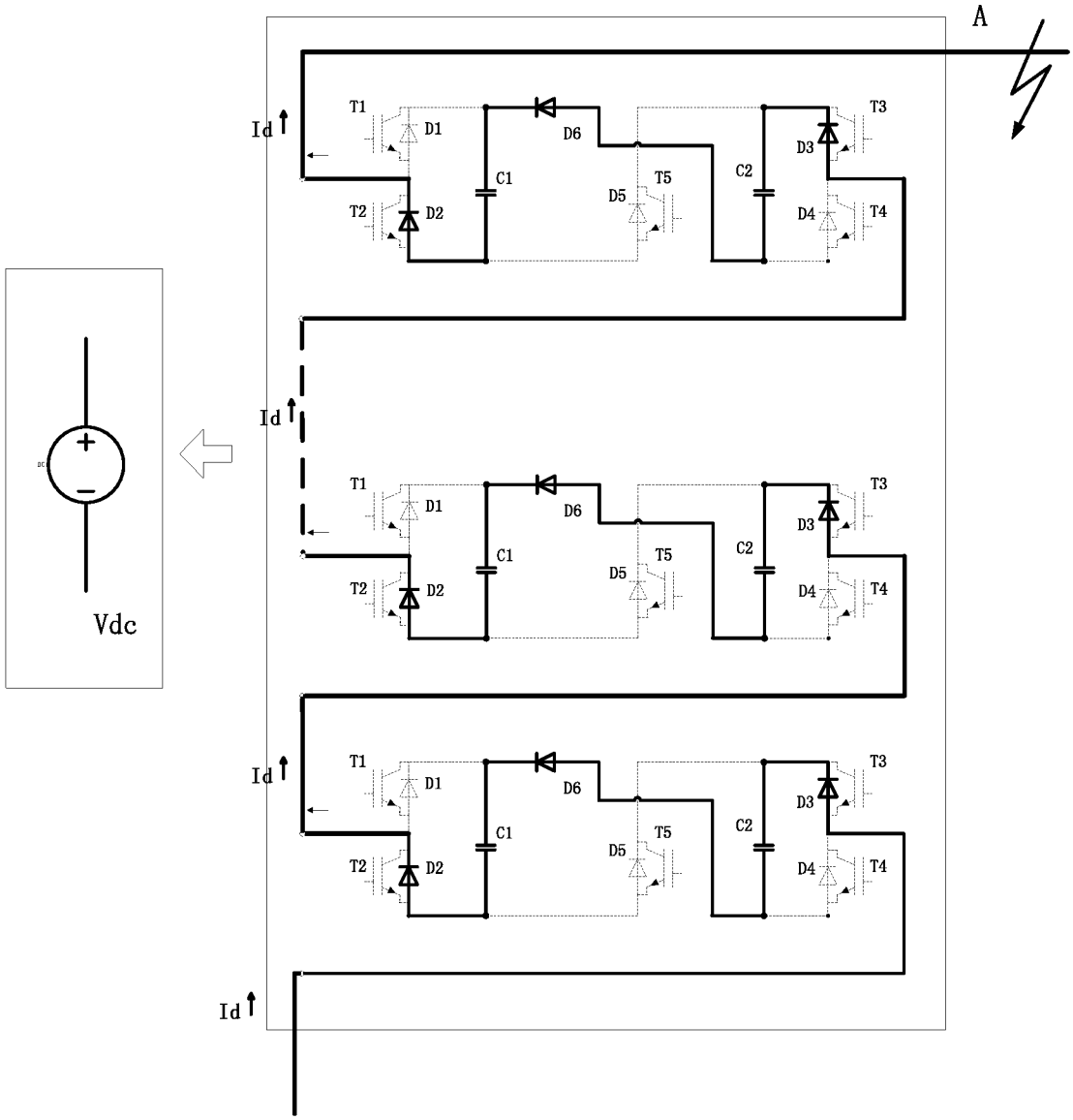


图 10

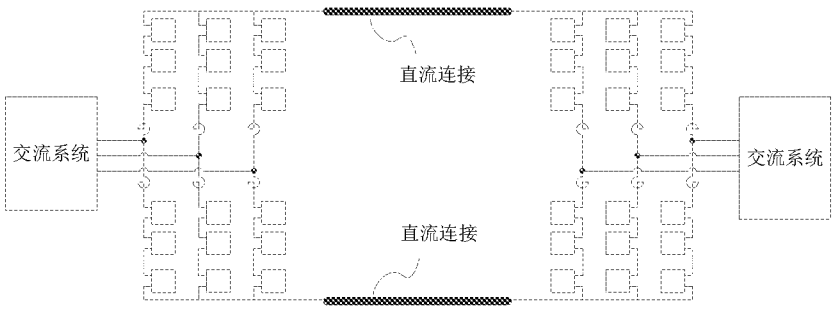


图 11

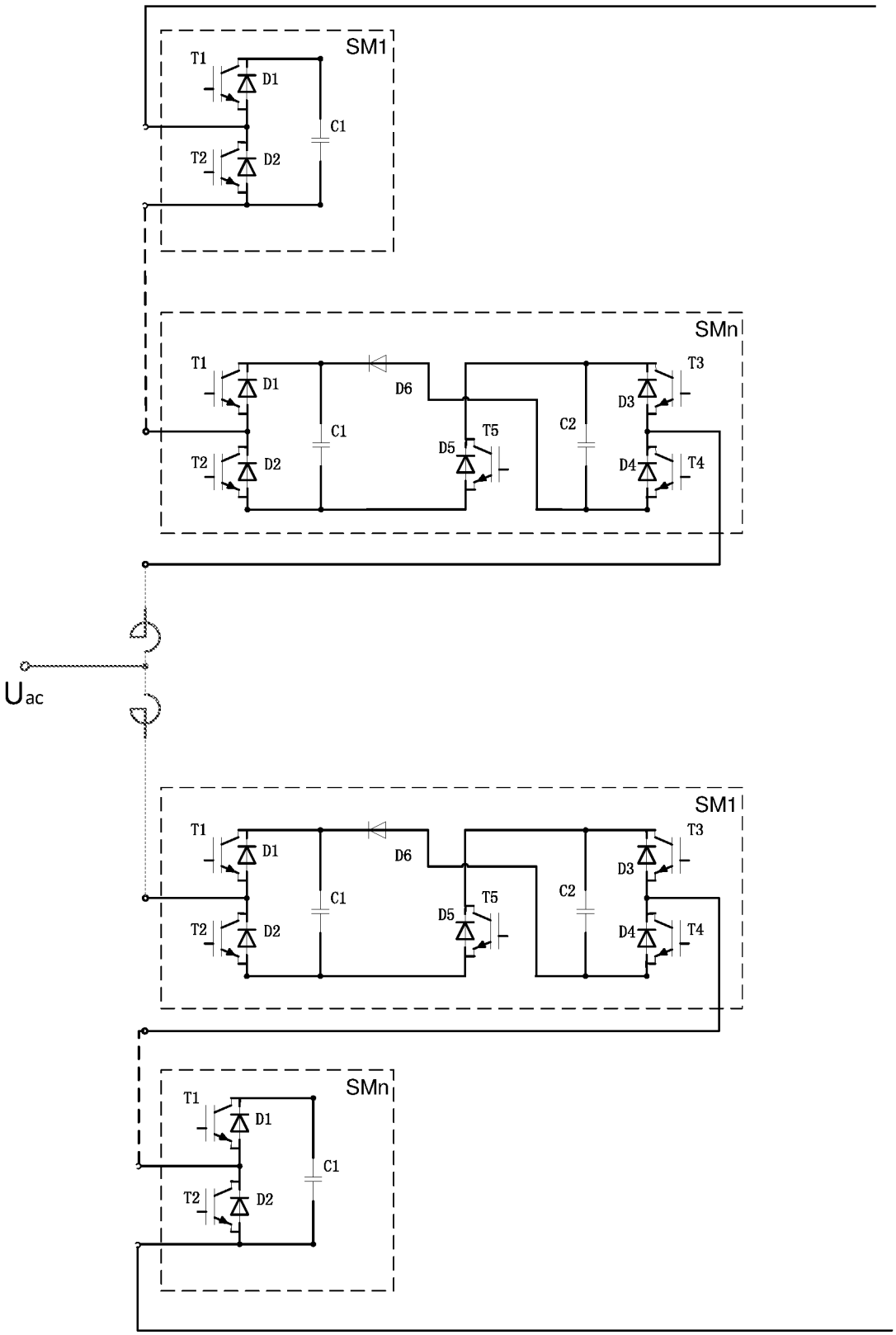

SM1
T1
D1
C1
T2
D2
SMn
T1
D1
D6
T3
D3
C1
T5
C2
D5
T2
D2
D4
T4
Uac
SM1
T1
D1
D6
T3
D3
C1
T5
C2
D5
T2
D2
D4
T4
SMn
T1
D1
C1
T2
D2

图 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2014/076926

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 1/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02J; H02M; H02H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: MMC, modul+, multilevel, converter, single, double, pole

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 102611096 A (UNIV ZHEJIANG) 25 July 2012 (25.07.2012) see description, paragraphs [0002] to [0066], and figures 1-5 and 8	1-5, 7-9, 11-16
Y	CN 102611096 A (UNIV ZHEJIANG) 25 July 2012 (25.07.2012) see description, paragraphs [0002] to [0066], and figures 1-5 and 8	6, 10
Y	XUE, Yinglin ET AL. "DC Fault Ride-through Mechanism and Improved Topology Scheme of C-MMC", Proceedings of the CSEE, vol. 33 no. 21, 25 July 2013 (25.07.2013) see pages 63-69	6, 10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
04 November 2014	25 November 2014
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer WU, Wei Telephone No. (86-10) 62411688

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2014/076926

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102611096 A	25 July 2012	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2014/076926

A. 主题的分类

H02J 1/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H02J; H02M; H02H

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNPAT，CNKI，WPI，EPODOC：模块化，多电平，换流器，变流器，MMC，单极，双极，modul+，multilevel，converter，single，double，pole

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 102611096 A (浙江大学) 2012年 7月 25日 (2012-07-25) 说明书第【0002】-【0066】段，附图1-5、8	1-5、7-9、11-16
Y	CN 102611096 A (浙江大学) 2012年 7月 25日 (2012-07-25) 说明书第【0002】-【0066】段，附图1-5、8	6、10
Y	薛英林等. "C-MMC直流故障穿越机理及改进拓扑方案" 《中国电机工程学报》，第第21期卷，第第33卷期，2013年 7月 25日 (2013-07-25)， 第63-69页	6、10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2014年 11月 04日	2014年 11月 25日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 中国	吴伟
传真号 (86-10)62019451	电话号码 (86-10)62411688

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2014/076926

检索报告引用的专利文件	公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN 102611096 A	2012年 7月 25日	无	