

(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
2017年2月16日 (16.02.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/024598 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02J 1/10 (2006.01) H02H 3/02 (2006.01)
H02H 7/28 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/086975
- (22) 国际申请日: 2015年8月14日 (14.08.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201510483656.8 2015年8月7日 (07.08.2015) CN
- (71) 申请人: 国家电网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA (SGCC)) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街86号, Beijing 100031 (CN)。 国网浙江省电力公司电力科学研究院 (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE OF STATE GRID ZHEJIANG ELECTRIC POWER COMPANY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市朝晖八区华电弄1号, Zhejiang 310014 (CN)。
- (72) 发明人: 许烽 (XU, Feng); 中国浙江省杭州市朝晖八区华电弄1号, Zhejiang 310014 (CN)。 裘鹏

- (QIU, Peng); 中国浙江省杭州市朝晖八区华电弄1号, Zhejiang 310014 (CN)。 陆翌 (LU, Yi); 中国浙江省杭州市朝晖八区华电弄1号, Zhejiang 310014 (CN)。 黄晓明 (HUANG, Xiaoming); 中国浙江省杭州市朝晖八区华电弄1号, Zhejiang 310014 (CN)。 陆承宇 (LU, Chengyu); 中国浙江省杭州市朝晖八区华电弄1号, Zhejiang 310014 (CN)。 楼伯良 (LOU, Boliang); 中国浙江省杭州市朝晖八区华电弄1号, Zhejiang 310014 (CN)。 黄弘扬 (HUANG, Hongyang); 中国浙江省杭州市朝晖八区华电弄1号, Zhejiang 310014 (CN)。 华文 (HUA, Wen); 中国浙江省杭州市朝晖八区华电弄1号, Zhejiang 310014 (CN)。
- (74) 代理人: 北京集佳知识产权代理有限公司 (UNITALEN ATTORNEYS AT LAW); 中国北京市朝阳区建国门外大街22号赛特广场7层, Beijing 100004 (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,

[见续页]

(54) Title: MMC-HVDC SYSTEM, AND DIRECT-CURRENT SIDE ISOLATION DEVICE AND ISOLATION METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: MMC-HVDC 系统及其直流侧隔离装置和隔离方法

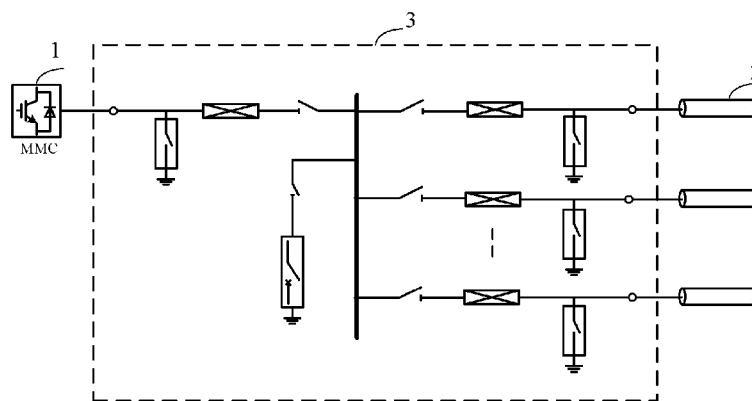


图7

(57) Abstract: An MMC-HVDC system, and a direct-current side isolation device and an isolation method therefor. The isolation device comprises: a first isolation switch, a current transfer switch, an input/output end and a direct-current breaker. One end of the direct-current breaker is grounded, while the other end is connected to all the first isolation switches, and each of the first isolation switches is respectively connected to an input/output end via the current transfer switch. The current transfer switch comprises: a first lightning arrester and a first IGBT group or an H-bridge group connected to the first lightning arrester in parallel. The first IGBT group consists of N first IGBTs and N second IGBTs. The H-bridge group comprises N H-bridge circuits which are connected in series, and each of the H-bridge circuits comprises one first capacitor and four third IGBTs, where $N \geq kU_0/U_1$, and $N \in Z$. The invention can realize the isolation of an MMC and a plurality of direct-current circuits from the MMC-HVDC system, thereby saving on the investment costs of a power grid.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2017/024598 A1



JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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。

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

(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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种 MMC-HVDC 系统及其直流侧隔离装置和隔离方法, 其中隔离装置包括: 第一隔离开关、电流转移开关、输入输出端和一直流断路器; 直流断路器一端接地, 另一端与所有第一隔离开关相连; 每个第一隔离开关分别通过电流转移开关与一输入输出端相连; 电流转移开关包括: 第一避雷器和与该第一避雷器并联连接的第一 IGBT 组或 H 桥组, 第一 IGBT 组由 N 个第一 IGBT 和 N 个第二 IGBT 组成, H 桥组包括 N 个相互串联的 H 桥电路, 每个 H 桥电路包括 1 个第一电容和 4 个第三 IGBT, $N \geq kU_0/U_1$, $N \in \mathbb{Z}$, 可实现将 MMC 和多条直流电路与 MMC-HVDC 系统隔离, 且节省了电网的投资成本。

MMC-HVDC系统及其直流侧隔离装置和隔离方法

本申请要求于 2015 年 8 月 7 日提交中国专利局、申请号为 201510483656.8、发明名称为“一种 MMC-HVDC 系统及其直流侧隔离装置和
5 隔离方法”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本发明涉及电力系统控制技术领域，特别是涉及一种 MMC-HVDC 系统及其直流侧隔离装置和隔离方法。

背景技术

10 为了解决新能源并网与消纳问题，基于电压源换流器（voltage source converter, VSC）的高压直流输电（high-voltage direct current, HVDC）技术和直流电网技术已经成为学术研究的热点。相比与传统的交流输电技术以及基于电网换相换流器的高压直流输电技术，基于 VSC-HVDC 不但具有线路损耗低、传输容量大、传输距离远等优点，而且不存在系统同步运行稳定性问题，
15 可以充分提高可再生能源的利用率。

在众多拓扑结构中，基于模块化多电平换流器（modular multilevel converter, MMC）的 HVDC 具有显著优势，MMC 拓扑采用子模块级联的方式构成，避免了绝缘栅双极型晶体管（Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT）的直接串联，大大降低了其制造难度。此外，它还具有交流输出电压谐波畸变率低、开关损耗小等优点，更适合于构建高压直流输电系统以及直流电网，具有广阔的应用前景。
20

在现有 MMC-HVDC 工程中，通常通过在 MMC-HVDC 系统的 MMC 和每条直流线路上均引入直流断路器，通过关断某直流断路器来使与该直流断路器相连的 MMC 或直流线路与该 MMC-HVDC 系统隔离。由于现有
25 MMC-HVDC 工程中换流器多采用半桥子模块（half bridge sub-module, HBSM），而 HBSM 不具有直流故障自清除能力，因此，可以通过在 MMC-HVDC 系统的 MMC 和每条直流线路上均引入直流断路器，通过直流断

路器使故障 MMC 和/或故障直流线路与该 MMC-HVDC 系统隔离, 来清除该 MMC-HVDC 系统的直流故障。然而, 由于直流断路器的造价昂贵, 通过在 MMC-HVDC 系统的 MMC 和每条直流线路上均引入直流断路器来隔离 MMC 和/或直流线路, 将使用到大量的直流断路器, 而随着网状结构逐渐成为主流, 5 MMC-HVDC 系统中使用的直流线路的逐渐增加, 所需要安装使用的直流断路器的数目也随之而增加, 这将在一定程度上增加电网的投资成本, 造成电网的投资成本过高的问题。

发明内容

有鉴于此, 本发明实施例提供一种 MMC-HVDC 系统及其直流侧隔离装置 10 和隔离方法, 以解决现有技术中通过在 MMC-HVDC 系统的 MMC 和每条直流线路上均引入直流断路器来隔离 MMC 和/或直流线路, 在一定程度上增加电网的投资成本, 造成电网的投资成本过高的问题。

为实现上述目的, 本发明实施例提供如下技术方案:

一种用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离装置, 包括: 第一隔离开关、电 15 流转移开关、输入输出端和一直流断路器; 其中,

所述直流断路器的一端接地, 另一端与所有所述第一隔离开关均相连; 每个所述第一隔离开关分别通过所述电流转移开关与一输入输出端相连;

所述电流转移开关包括: 第一避雷器和与所述第一避雷器并联连接的第一 IGBT 组或 H 桥组, 所述第一 IGBT 组包括 N 个带反向并联二极管的第一 IGBT 20 和 N 个带反向并联二极管的第二 IGBT, 所述第一 IGBT 和所述第二 IGBT 反向串联连接; 所述 H 桥组包括 N 个相互串联的 H 桥电路, 每个所述 H 桥电路包括 1 个第一电容和 4 个带反向并联二极管的第三 IGBT;

其中, $N \geq kU_0/U_1$, $N \in Z$, k 为冗余系数, U_0 为所述第一避雷器的保护 25 水平, U_1 为所述第一 IGBT 和所述第二 IGBT 的承压或为所述第三 IGBT 的承压。

其中, 所述隔离装置还包括: 第二隔离开关, 每个所述直流断路器分别通过所述第二隔离开关与所有所述第一隔离开关相连。

其中, 所述隔离装置还包括: 辅助放电支路, 每个所述辅助放电支路的一端接地, 另一端与一所述输入输出端相连;

所述辅助放电支路包括：串联连接的辅助放电开关和电阻器，所述辅助放电开关包括相互并联的晶闸管组和第二避雷器，所述晶闸管组包括至少一个相互串联的晶闸管，当所述辅助放电开关处于开通状态时，电流从所述晶闸管的正极流向负极。

- 5 其中，所述直流断路器包括至少一个相互串联的开关单元，所述开关单元包括第三避雷器和与所述第三避雷器并联连接的第二 IGBT 组或半 H 桥组，所述第二 IGBT 组包括至少一个相互串联的带反向并联二极管的第四 IGBT，所述半 H 桥组包括至少一个相互串联的半 H 桥电路，每个所述半 H 桥电路包括 1 个第二电容和 2 个带反向并联二极管的第五 IGBT，当所述直流断路器处于
- 10 开通状态时，电流从所述第四 IGBT 或所述第五 IGBT 的集电极流向发射极；

$$\text{其中，所述开关单元的数目 } N_s \geq \frac{kk_1 U_{dc}}{U_e}, \quad N_s \in Z;$$

$$\text{所述第三 IGBT 的数目 } N_e \geq \frac{U_e}{U_i}, \quad N_e \in Z;$$

其中， k 为冗余系数， k_1 为过电压可承受系数， U_{dc} 为直流电压， U_e 为所述第三避雷器的保护水平， U_i 为所述第四 IGBT 或所述第五 IGBT 的承压。

- 15 其中，所述隔离装置还包括：直流母线，所述直流断路器通过所述直流母线与所有所述第一隔离开关均相连。

一种 MMC-HVDC 系统，包括：MMC、直流线路和上述的隔离装置；其中，

所述 MMC 和所述直流线路均与所述隔离装置的输入输出端相连；

- 20 当所述隔离装置的直流断路器开通，且所述隔离装置的电流转移开关关断，与所述关断的电流转移开关相连的第一隔离开关断开时，所述 MMC-HVDC 的冗余电能从所述直流断路器流出，所述关断的电流转移开关相对应的 MMC 或直流线路与所述 MMC-HVDC 系统隔离。

- 25 其中，所述 MMC-HVDC 系统还包括：平波电抗器，所述 MMC 通过所述平波电抗器与所述隔离装置的输入输出端相连。

一种用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离方法，基于上述的 MMC-HVDC 系统，其特征在于，包括：

-4-

确定需要隔离的 MMC 和/或直流线路；

将隔离装置的直流断路器开通，并将所述需要隔离的 MMC 和/或直流线路相对应的电流转移开关关断；

5 当流过所述关断的电流转移开关的电流为零时，将与所述关断的电流转移开关相连的第一隔离开关断开，所述 MMC-HVDC 的冗余电能从所述直流断路器流出，所述需要隔离的 MMC 和/或直流线路与所述 MMC-HVDC 系统隔离。

10 其中，所述确定需要隔离的 MMC 或直流线路后还包括：将所述隔离装置辅助放电支路的辅助放电开关开通，将所述隔离装置辅助放电支路的辅助放电开关和所述隔离装置的直流断路器均开通后，将所述需要隔离的 MMC 和/或直流线路相对应的电流转移开关关断。

其中，所述需要隔离的 MMC 和/或直流线路与所述 MMC-HVDC 系统隔离后还包括：

将所述隔离装置的直流断路器关断；

15 当流过所述直流断路器的电流为零时，将所述隔离装置的第二隔离开关断开。

基于上述技术方案，本发明实施例提供的一种 MMC-HVDC 系统和用于该 MMC-HVDC 系统的隔离装置及隔离方法，其中，隔离装置包括第一隔离开关、电流转移开关、输入输出端和一直流断路器，该直流断路器的一端接地，另一端与所有第一隔离开关均相连，每个第一隔离开关均通过一个电流转移开关与一输入输出端相连。当需要将某直流线路或是 MMC 与 MMC-HVDC 系统进行隔离时，通过将直流断路器开通，并将与该 MMC 或该直流线路相连的电流转移开关和第一隔离开关分别关闭和断开后，该 MMC 或该直流线路与 MMC-HVDC 系统物理隔离，同时因为 MMC 和/或直流线路与系统的物理隔离，系统冗余的电能将通过该直流断路器泄放流出，至此，便可实现该 MMC 25 或该直流线路与 MMC-HVDC 系统的完全安全隔离，只需要使用一台直流断路器，便可实现将 MMC 和多条直流电路与 MMC-HVDC 系统的隔离。同时，本发明实施例提供的隔离装置中电流转移开关包括第一避雷器和与该第一避雷器并联连接的第一 IGBT 组或 H 桥组，与该第一避雷器并联的第一 IGBT 组由 N 个带反向并联二极管的第一 IGBT 和 N 个带反向并联二极管的第二 IGBT 反

向串联连接组成, 与该第一避雷器并联的 H 桥组由 N 个相互串联的 H 桥电路组成, 每个 H 桥电路包括 1 个第一电容和 4 个带反向并联二极管的第三 IGBT, 其中, $N \geq kU_0/U_1$, $N \in Z$, k 为冗余系数, U_0 为第一避雷器的保护水平, U_1 为第一 IGBT 和第二 IGBT 的承压或为第三 IGBT 的承压, 可以看出, 无论电

5 转移开关包括第一避雷器和第一 IGBT 组, 还是包括第一避雷器和 H 桥组, 与 MMC 和每条直流线路相连的电流转移开关造价均比直流断路器低廉, 因此, 使用本发明实施例提供的隔离装置将在一定程度上节省了电网的投资成本。

附图说明

10 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案, 下面将对实施例或现有技术描述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的实施例, 对于本领域普通技术人员来讲, 在不付出创造性劳动的前提下, 还可以根据提供的附图获得其他的附图。

图 1 为本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离装置的结构示意图;

15 图 2 为本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离装置的电流转移开关的结构示意图;

图 3 为本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离装置的电流转移开关的结构示意图;

20 图 4 为本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离装置的辅助放电支路的结构示意图;

图 5 为本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离装置的直流断路器的结构示意图;

图 6 为本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离装置的直流断路器的另一结构示意图;

25 图 7 为本发明是实施例提供的 MMC-HVDC 系统的结构示意图;

图 8 为本发明是实施例提供的 MMC-HVDC 系统的另一结构示意图;

图 9 为本发明实施例提供的使用 4 台 MMC 的直流输电系统;

图 10 为本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离方法的流程图;

图 11 为本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离方法的另一流程图;

图 12 为本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离方法中进一步泄放冗余电能的方法流程图。

5 具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

10 图 1 为本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离装置的结构示意图,只需要使用一台直流断路器,便可实现将 MMC 和多条直流电路与 MMC-HVDC 系统的隔离,同时,与 MMC 和每条直流线路相连的电流转移开关造价比直流断路器低廉,在一定程度上节省了电网的投资成本;参照图 1,该隔离装置 1 可以包括:第一隔离开关 100、电流转移开关 200、输入输出端
15 300 和一直流断路器 400;其中,

直流断路器 400 的一端接地,另一端与所有第一隔离开关 100 均相连。当 MMC-HVDC 系统正常工作,无需隔离其中的 MMC 和直流线路时,直流断路器 400 处于关断状态;当 MMC-HVDC 系统内 MMC 和/或直流线路出现故障,或是需要对 MMC-HVDC 系统内 MMC 和/或直流线路进行检修,而将
20 MMC-HVDC 系统内 MMC 和/或直流线路进行隔离时,则将直流断路器 400 置于开通状态,当将与该需要进行隔离的 MMC 和/或直流线路相对应的第一隔离开关 100 断开时,系统内冗余的电能将通过该直流断路器 400 流出,保证 MMC-HVDC 系统的安全运行。

每个第一隔离开关 100 分别通过电流转移开关 200 与一输入输出端 300
25 相连。当 MMC-HVDC 系统正常工作,无需隔离其中的 MMC 和直流线路时,第一隔离开关 100 处于闭合状态,电流转移开关 200 处于开通状态;当需要将 MMC-HVDC 系统内 MMC 和/或直流线路进行隔离时,则将需要进行隔离的 MMC 和/或直流线路相对应的电流转移开关 200 关断,当流过该关断的电流转移开关 200 的电流为零时,将与该关断的电流转移开关 200 相连的第一隔离开

关 100 断开。

可选的，第一隔离开关 100 可以为隔离动作为 2ms（毫秒）的超快速机械式隔离开关。

参照图 2，本发明实施例提供的隔离装置的电流转移开关 200 的结构示意图，电流转移开关 200 包括：第一 IGBT 组 210 和第一避雷器 220，第一 IGBT 组 210 和第一避雷器 220 并联连接，第一 IGBT 组 210 包括 N 个带反向并联二极管的第一 IGBT 和 N 个带反向并联二极管的第二 IGBT，第一 IGBT 和第二 IGBT 反向串联连接。

当电流转移开关 200 处于开通状态时，流过电流转移开关 200 的电流将从第一 IGBT 的 IGBT 管集电极流向发射极，从第二 IGBT 的二极管正极流向负极。其中，电流转移开关 200 处于开通状态是指，电流转移开关 200 内第一 IGBT 组 210 的所有 IGBT 管均处于开通状态，同理，电流转移开关 200 处于关断状态，是指电流转移开关 200 内第一 IGBT 组 210 的所有 IGBT 管均处于关断状态。

其中，电流转移开关 200 内第一 IGBT 组内第一 IGBT 和第二 IGBT 的数目 $N \geq kU_0/U_1$ ， $N \in Z$ 。其中， k 为冗余系数， U_0 为第一避雷器 220 的保护水平， U_1 为第一 IGBT 组 210 内第一 IGBT 和第二 IGBT 的承压。

参照图 3，本发明实施例提供的隔离装置的电流转移开关 200 的另一结构示意图，电流转移开关 200 包括：H 桥组 230 和第一避雷器 220，H 桥组 230 和第一避雷器 220 并联连接，H 桥组 230 包括 N 个相互串联的 H 桥电路 231，每个所述 H 桥电路 231 包括 1 个第一电容和 4 个带反向并联二极管的第三 IGBT。

具体的，4 个带反向并联二极管的第三 IGBT 组成 H 桥电路 231 的 4 条垂直腿，即每个 H 桥电路 231 包括 4 个桥臂，每个桥臂包括 1 个带反向并联二极管的第三 IGBT，而第一电容作为 H 桥电路 231 中的横杠部分。而电流转移开关 200 处于开通状态则是指，电流转移开关 200 内 H 桥组 230 的所有 IGBT 管均处于开通状态，同理，电流转移开关 200 处于关断状态，是指电流转移开关 200 内 H 桥组 230 的所有 IGBT 管均处于关断状态。

其中，电流转移开关 200 内第三 IGBT 的数目 $N \geq kU_0/U_1$ ， $N \in Z$ 。其中，

k 为冗余系数, U_0 为第一避雷器 220 的保护水平, U_1 为 H 桥电路 231 内第三 IGBT 的承压。

基于上述技术方案,本发明实施例提供的一种 MMC-HVDC 系统和用于该 MMC-HVDC 系统的隔离装置及隔离方法,其中,隔离装置包括第一隔离开关、
5 电流转移开关、输入输出端和一直流断路器,该直流断路器的一端接地,另一端与所有第一隔离开关均相连,每个第一隔离开关均通过一个电流转移开关与一输入输出端相连。当需要将某直流线路或是 MMC 与 MMC-HVDC 系统进行隔离时,通过将直流断路器开通,并将与该 MMC 或该直流线路相连的电流转移开关和隔离开关分别关闭和断开后,该 MMC 或该直流线路与 MMC-HVDC
10 系统物理隔离,同时因为 MMC 和/或直流线路与系统的物理隔离,系统冗余的电能将通过该直流断路器泄放流出,至此,便可实现该 MMC 或该直流线路与 MMC-HVDC 系统的完全安全隔离,只需要使用一台直流断路器,便可实现将 MMC 和多条直流电路与 MMC-HVDC 系统的隔离。同时,本发明实施例提供的隔离装置中电流转移开关包括第一避雷器和与该第一避雷器并联连接的第一 IGBT 组或 H 桥组,与该第一避雷器并联的第一 IGBT 组由 N 个带反向并联二极管的第一 IGBT 和 N 个带反向并联二极管的第二 IGBT 反向串联连接组成,与该第一避雷器并联的 H 桥组由 N 个相互串联的 H 桥电路组成,每个 H 桥电路包括 1 个第一电容和 4 个带反向并联二极管的第三 IGBT,其中,
15 $N \geq kU_0/U_1$, $N \in Z$, k 为冗余系数, U_0 为第一避雷器的保护水平, U_1 为第一 IGBT 和第二 IGBT 的承压或为第三 IGBT 的承压,可以看出,无论电流转移开关包括第一避雷器和第一 IGBT 组,还是包括第一避雷器和 H 桥组,与 MMC 和每条直流线路相连的电流转移开关造价均比直流断路器低廉,因此,使用本发明实施例提供的隔离装置将在一定程度上节省了电网的投资成本。

可选的,参照图 1,本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的
25 隔离装置还可以包括第二隔离开关 500,每个直流断路器 400 可分别通过第二隔离开关 500 与所有第一隔离开关 100 相连。

当 MMC-HVDC 系统正常工作,无需隔离其中的 MMC 和直流线路时,第二隔离开关 500 处于闭合状态;当需要将 MMC-HVDC 系统内 MMC 和/或直流线路进行隔离时,在将需要隔离的 MMC 和/或直流线路与 MMC-HVDC 系

统隔离后,可以在检测到流过直流断路器 400 的电流为 0 时,通过断开第二隔离 500 开关,来使冗余的电流进一步泄放流出。

可选的,参照图 1,本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离装置还可以包括辅助放电支路 600,每个辅助放电支路 600 的一端接地,另一端与一输入输出端 300 相连,使辅助放电支路 600 辅助直流断路器 400 进行冗余电能的流出。

可选的,图 4 示出了本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离装置的辅助放电支路 600 的结构示意图,参照图 4,该辅助放电支路 600 可以包括:辅助放电开关 610 和电阻器 620。

辅助放电开关 610 和电阻器 620 串联连接,辅助放电开关 610 包括晶闸管组 611 和第二避雷器 612,晶闸管组 611 和第二避雷器 612 并联连接,晶闸管组 611 包括晶闸管,所有晶闸管串联连接。其中,辅助放电开关 610 处于开通状态,是指辅助放电开关 610 内所有晶闸管均处于开通状态,同理,辅助放电开关 610 处于关断状态,是指辅助放电开关 610 内所有晶闸管均处于关断状态。

当 MMC-HVDC 系统正常工作,无需隔离其中的 MMC 和直流线路时,辅助放电开关 610 处于关断状态;当需要将 MMC-HVDC 系统内 MMC 和/或直流线路进行隔离时,则将需要将辅助放电开关 610 开通,使辅助放电开关 610 处于开通状态。

其中,为了使辅助放电开关 610 处于开通状态时,电能能够顺利从辅助放电开关 610 流出,应该将晶闸管组 611 的正极作为辅助放电开关 610 的高压端,将晶闸管组 611 的负极作为辅助放电开关 610 的低压端,即,晶闸管组 611 内所有晶闸管的正极均接于靠近输入输出端 300 一端,即远离接地端的一端,将晶闸管组 611 内所有晶闸管的负极均接于远离输入输出端 300 一端,即接近接地端的一端,使当辅助放电开关 610 处于开通状态时,电流能够从晶闸管的正极流向负极。

可选的,图 5 和图 6 示出了本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离装置的直流断路器 400 的两种结构示意图,参照图 5 和图 6,该直流断路器 400 可以包括:开关单元 410,各个开关单元 410 串联连接。

可选的,参照图 5,开关单元 410 可以包括第二 IGBT 组 411 和第三避雷

器 412, 第二 IGBT 组 411 和第三避雷器 412 并联链接, 第二 IGBT 组 411 由至少一个带反向并联二极管的第四 IGBT 组成, 所有带反向并联二极管的第四 IGBT 均串联连接。其中, 直流断路器 400 处于开通状态, 是指直流断路器 400 内第二 IGBT 组 411 的所有 IGBT 管处于开通状态, 而直流断路器 400 处于关断状态, 是指直流断路器 400 内第二 IGBT 组 411 的所有 IGBT 管处于关断状态。

其中, 为了使直流断路器 400 处于开通状态时, 电能能够顺利从直流断路器 400 流出, 将第二 IGBT 组 411 的集电极作为开关单元 410 的高压端, 将第二 IGBT 组 411 的发射极作为开关单元 410 的低压端, 即, 将第二 IGBT 组 411 内所有第四 IGBT 的集电极接于靠近第一隔离开关 100 的一端, 即远离接地端的一端, 将第二 IGBT 组 411 内所有第四 IGBT 的发射极接于远离第一隔离开关 100 的一端, 即接近接地端的一端, 使当直流断路器 400 处于开通状态时, 电流能够从第四 IGBT 的集电极流向发射极。

当直流断路器 400 处于开通状态, 且有电流流过该直流断路器 400 时, 流过直流断路器 400 的电流将全部从第二 IGBT 组 411 内第四 IGBT 的集电极流向发射极, 而不会从二极管流过。

可选的, 参照图 6, 开关单元 410 可以包括半 H 桥组 413 和第三避雷器 412, 半 H 桥组 413 和第三避雷器 412 并联链接, 半 H 桥组 413 由至少一个半 H 桥电路组成, 所有半 H 桥电路均串联连接。

其中, 半 H 桥组 413 包括至少一个相互串联的半 H 桥电路, 每个半 H 桥电路包括 1 个第二电容和 2 个带反向并联二极管的第五 IGBT。具体的, 将 2 个第五 IGBT 中的一个 IGBT 的集电极作为半 H 桥电路的高压端, 发射级作为半 H 桥电路的低压端, 使当直流断路器 400 处于开通状态时, 电流能够从该 IGBT 的集电极流向发射极, 并将该 IGBT 的集电极与另一个 IGBT 的发射级相连, 发射级与第二电容的一端相连, 将该第二电容另一端与另一个 IGBT 的集电极相连。

其中, 直流断路器 400 处于开通状态, 是指直流断路器 400 内半 H 桥组 413 的所有 IGBT 管处于开通状态, 而直流断路器 400 处于关断状态, 是指直流断路器 400 内半 H 桥组 413 的所有 IGBT 管处于关断状态。

-11-

可选的, 可以通过 $N_s \geq \frac{kk_1 U_{dc}}{U_e}$, $N_s \in Z$, 来确定直流断路器 400 所使用的开关单元 410 的数目 N_s 。

其中, k 为冗余系数, k_1 为过电压可承受系数, U_{dc} 为直流电压, U_e 为第三避雷器 412 的保护水平。

5 可选的, 可以通过 $N_e \geq \frac{U_e}{U_i}$, $N_e \in Z$, 来确定第二 IGBT 组 411 内使用的带反向并联二极管的第三 IGBT 的数目或确定半 H 桥组 413 内使用的半 H 桥电路的数目。

其中, U_e 为第三避雷器 412 的保护水平, U_i 为第四 IGBT 或第五 IGBT 的承压。具体的, 当开关单元 410 包括第二 IGBT 组 411 和第三避雷器 412 时, 10 U_i 为第四 IGBT 的承压, 当开关单元 410 包括半 H 桥组 413 和第三避雷器 412 时, U_i 为第五 IGBT 的承压。

可选的, 当需要将 MMC-HVDC 系统内 MMC 和/或直流线路进行隔离时, 在控制直流断路器 400 处于开通状态, 并分别将与该 MMC 或该直流线路相连的电流转移开关 200 和第一隔离开关 100 分别关闭和断开, 使需要隔离的 MMC 15 和/或直流线路与 MMC-HVDC 系统隔离后, 可以在检测到第一隔离开关 100 完全关闭后, 再关闭直流断路器 400, 即再关闭直流断路器 400 内的所有第三 IGBT, 使剩余的冗余电能通过直流断路器 400 的第三避雷器 412 进一步得被泄放流出。

可选的, 参照图 1, 本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的 20 隔离装置还可以包括直流母线 700, 直流断路器 400 可以通过直流母线 700 与所有第一隔离开关 100 均相连。

本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离装置, 只需要使用一台直流断路器, 便可实现将 MMC 和多条直流电路与 MMC-HVDC 系统的隔离, 而与 MMC 和每条直流线路相连的多个电流转移开关造价比直流断路器 25 低廉, 在一定程度上节省了电网的投资成本。

下面对本发明实施例提供的 MMC-HVDC 系统进行介绍,下文描述的 MMC-HVDC 系统包括上文描述的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离装置。

图 7 为本发明是实施例提供的 MMC-HVDC 系统的结构示意图,参照图 7, 5 该 MMC-HVDC 系统可以包括: MMC1、直流线路 2 和隔离装置 3, 将 MMC1 和直流线路 2 均与隔离装置 3 的输入输出端相连。

一般每个 MMC-HVDC 系统中均包括一台 MMC1 和多条直流线路 2, 每 10 台 MMC1 均与直流线路 2 相互连接。MMC-HVDC 系统正常工作时,由 MMC1 将交流电转换为直流电,并输出给电流线路 2 后,由直流线路 2 对接收的直流电进行传递;或是由直流线路 2 将直流电传递给 MMC1 后,由 MMC1 将接收的直流电转换为交流电后输出给系统的交流侧。

将 MMC1 和直流线路 2 均与隔离装置 3 的输入输出端相连,即将 MMC1 和直流线路 2 通过隔离装置 3 进行连接后,当隔离装置 3 的直流断路器开通, 15 且隔离装置 3 的电流转移开关关断,与该关断的电流转移开关相连的第一隔离开关断开时,MMC-HVDC 的冗余电能将从隔离装置 3 的直流断路器流出,该关断的电流转移开关相对应的 MMC1 或直流线路 2 将与该 MMC-HVDC 系统隔离。

也就是说,当需要将 MMC-HVDC 系统内 MMC 和/或直流线路进行隔离 20 时,例如当 MMC-HVDC 系统内 MMC 和/或直流线路出现故障,或是需要对 MMC-HVDC 系统内 MMC 和/或直流线路进行检修时。可以通过将隔离装置 3 的直流断路器开通,并将该需要隔离的 MMC1 和/或直流线路 2 在隔离装置 3 内对应的电流转移开关和第一隔离开关分别关断和断开,使该需要隔离的 MMC1 和/或直流线路 2 与 MMC-HVDC 系统物理隔离,且使该 MMC-HVDC 系统的冗余电能从隔离装置 3 的直流断路器流出,来使该需要隔离的 MMC1 25 和/或直流线路 2 将与 MMC-HVDC 系统隔离。

可选的,图 8 示出了本发明是实施例提供的 MMC-HVDC 系统的另一结构示意图,参照图 8,该 MMC-HVDC 系统还可以包括:平波电抗器 4,MMC1 可以通过平波电抗器 4 与隔离装置 3 的输入输出端相连。通过平波电抗器 4, 可以抑制通过平波电抗器 4 的直流电内的纹波,并抑制短路电流的上升。

在多端 MMC-HVDC 系统，即使用到 2 个以上 MMC 的直流输电系统中，例如，图 9 中示出的本发明实施例提供的使用 4 台 MMC 的直流输电系统，每个 MMC 相对应一个 MMC-HVDC 系统，参照图 9，该使用 4 台 MMC 的直流输电系统，包括 4 台 MMC，4 台隔离装置和 5 条直流线路，每台 MMC 均与一台隔离装置相连，每台隔离装置均与其所在 MMC-HVDC 系统内的所有直流电线路相连。

当该使用 4 台 MMC 的直流输电系统正常工作，无需隔离其中的 MMC 和直流线路时，该系统中的隔离装置内的第一隔离开关处于闭合状态、电流转换开关处于开通状态，直流断路器处于关断状态，除此外，第二隔离开关处于闭合状态，辅助放电支路的辅助放电开关处于关断状态。

其中，参照图 9，当该使用 4 台 MMC 的直流输电系统发生故障或是需要检修时，例如，当该使用 4 台 MMC 的直流输电系统中的直流线路 12 发生故障时，需要隔离装置 I 和隔离装置 II 同时进行隔离操作，将该直流线路 12 分布与隔离装置 I 和隔离装置 II 所在的 MMC-HVDC 系统隔离，从而将该直流线路 12 与该直流输电系统中隔离。以其中的一台隔离装置为例，可以通过将隔离装置内的直流断路器关断，后将电流转换开关关断，在当流过该关断的电流转移开关的电流为零时，将与该关断的电流转移开关相连的第一隔离开关断开，使该隔离装置所在的 MMC-HVDC 系统的冗余电能从直流断路器和辅助放电支路流出，使该发生故障的直流线路 12 与该隔离装置所在的 MMC-HVDC 系统隔离。

并且，在确定需要进行隔离的为直流线路 12 时，可以同时将该隔离装置内的辅助放电支路的辅助放电开关和直流断路器同时开通，使辅助放电支路的辅助直流断路器进行冗余电能的流出。在检测到第一隔离开关完全断开后，可以再控制直流断路器关断，使剩余的冗余电能通过直流断路器的第三避雷器进一步得被泄放流出。当流过直流断路器的电流为零时，还可以再将该隔离装置的第二隔离开关断开，使冗余的电流再进一步泄放流出。

本发明实施例提供的 MMC-HVDC 系统，每台 MMC 只需要配置一台隔离装置，每台隔离装置只需要一台直流断路器，便可实现将 MMC 和多条直流电路与 MMC-HVDC 系统的隔离，而与 MMC 和每条直流线路相连的多个电流转

移开关造价比直流断路器低廉，在一定程度上节省了电网的投资成本。

下面对本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离方法介绍，下文描述的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离方法基于上文描述的
5 MMC-HVDC 系统，该 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离方法可应用于该 MMC-HVDC 系统，实现对该 MMC-HVDC 系统内需要隔离的 MMC 和/或直流线路与该 MMC-HVDC 系统隔离。

图 10 为本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离方法的流程图，参照图 10，该隔离方法包括：

10 步骤 S100：确定需要隔离的 MMC 和/或直流线路；

当 MMC-HVDC 系统内 MMC 和/或直流线路出现故障，或是需要对 MMC-HVDC 系统内 MMC 和/或直流线路进行检修时，则需要将该 MMC-HVDC 系统内该 MMC 和/或该直流线路进行隔离，在对 MMC-HVDC 系统内 MMC 和/或直流线路时，需要先确定需要隔离的 MMC 和/或直流线路。

15 当只需要隔离 MMC 时，则确定隔离的为 MMC，在多端 MMC-HVDC 中则需要确认需要隔离为哪一台或是哪几台 MMC；当只需要对直流线路进行隔离时，则确定需要隔离的为哪一条或是哪几条直流线路；当既需要隔离 MMC 又需要隔离直流线路时，则确定需要隔离的 MMC 和直流线路分别为哪一个或哪几个。

20 步骤 S110：将隔离装置的直流断路器开通，并将所述需要隔离的 MMC 和/或直流线路相对应的电流转移开关关断；

在确定需要隔离的 MMC 和/或直流线路后，则将该需要隔离的 MMC 和/或直流线路所连接的隔离装置内的直流断路器开通，并将该隔离装置中需要隔离的 MMC 和/或直流线路相对应的电流转移开关关断。

25 并且，为了保证冗余电能能够及时从流出，应该先将隔离装置的直流断路器开通，再将所述需要隔离的 MMC 和/或直流线路相对应的电流转移开关关断。

步骤 S120：当流过所述关断的电流转移开关的电流为零时，将与所述关断的电流转移开关相连的第一隔离开关断开；

在将隔离装置中电流转移开关关断后,流过该关断的电流转移开关的电流将逐渐减少,当流过该关断的电流转移开关的电流为零时,将与该关断的电流转移开关相连的第一隔离开关断开。

5 步骤 S130: 所述 MMC-HVDC 的冗余电能从所述直流断路器流出, 所述需要隔离的 MMC 和/或直流线路与所述 MMC-HVDC 系统隔离。

再将直流断路器开通, 并将与该需要隔离的 MMC 或直流线路相连的电流转移开关和隔离开关分别关闭和断开后, 该 MMC-HVDC 的冗余电能将从直流断路器流出, 该需要隔离的 MMC 和/或直流线路与其所在的 MMC-HVDC 系统隔离。

10 可选的, 图 11 示出了本发明实施例提供的用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离方法的另一流程图, 参照图 11, 该隔离方法可以包括:

步骤 S200: 确定需要隔离的 MMC 和/或直流线路;

步骤 S210: 将隔离装置的直流断路器开通, 并将所述隔离装置辅助放电支路的辅助放电开关开通;

15 当隔离装置中包括辅助直流断路器进行冗余电能源出的辅助放电支路时, 在确定需要进行隔离 MMC 和/或直流线路后, 应该使辅助放电支路内的辅助放电开关和直流断路器同时开通, 使辅助放电支路 600 辅助直流断路器 400 进行冗余电能的流出。

20 步骤 S220: 将所述需要隔离的 MMC 和/或直流线路相对应的电流转移开关关断;

同样的, 为了保证冗余电能能够及时从流出, 应该先将隔离装置的辅助放电支路内的辅助放电开关和直流断路器开通, 再将所述需要隔离的 MMC 和/或直流线路相对应的电流转移开关关断。

25 步骤 S230: 当流过所述关断的电流转移开关的电流为零时, 将与所述关断的电流转移开关相连的第一隔离开关断开;

步骤 S240: 所述 MMC-HVDC 的冗余电能从所述直流断路器流出, 所述需要隔离的 MMC 和/或直流线路与所述 MMC-HVDC 系统隔离;

可选的, 图 12 示出了本发明实施例提供的隔离方法中进一步泄放冗余电能的方法流程图, 参照图 12, 该进一步泄放冗余电能的方法可以包括:

步骤 S300: 将所述隔离装置的直流断路器关断;

在检测到隔离装置内第一隔离开关完全断开后,可以再控制直流断路器关断,使剩余的冗余电能通过直流断路器的避雷器进一步得被泄放流出。

5 步骤 S310: 当流过所述直流断路器的电流为零时,将所述隔离装置的第二隔离开关断开。

当流过直流断路器的电流为零时,即直流断路器内第二 IGBT 组和第三避雷器均无电流流过时,还可以再将隔离装置的第二隔离开关断开,来使冗余的电流再进一步泄放流出。

10 本发明实施例提供的隔离方法,用于 MMC-HVDC 系统,具体的,用于 MMC-HVDC 系统的直流侧,每台 MMC 只需要配置一台隔离装置,每台隔离装置只需要一台直流断路器,便可实现将 MMC 和多条直流电路与 MMC-HVDC 系统的隔离,而与 MMC 和每条直流线路相连的多个电流转移开关造价比直流断路器低廉,在一定程度上节省了电网的投资成本。

15 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的装置而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

20 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

权 利 要 求

1、一种用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离装置，其特征在于，包括：
第一隔离开关、电流转移开关、输入输出端和一直流断路器；其中，

5 所述直流断路器的一端接地，另一端与所有所述第一隔离开关均相连；每个所述第一隔离开关分别通过所述电流转移开关与一输入输出端相连；

所述电流转移开关包括：第一避雷器和与所述第一避雷器并联连接的第一 IGBT 组或 H 桥组，所述第一 IGBT 组包括 N 个带反向并联二极管的第一 IGBT 和 N 个带反向并联二极管的第二 IGBT，所述第一 IGBT 和所述第二 IGBT 反向串联连接；所述 H 桥组包括 N 个相互串联的 H 桥电路，每个所述 H 桥电路
10 包括 1 个第一电容和 4 个带反向并联二极管的第三 IGBT；

其中， $N \geq kU_0/U_1$ ， $N \in Z$ ， k 为冗余系数， U_0 为所述第一避雷器的保护水平， U_1 为所述第一 IGBT 和所述第二 IGBT 的承压或为所述第三 IGBT 的承压。

2、根据权利要求 1 所述的隔离装置，其特征在于，还包括：第二隔离开关，每个所述直流断路器分别通过所述第二隔离开关与所有所述第一隔离开关
15 相连。

3、根据权利要求 1 所述的隔离装置，其特征在于，还包括：辅助放电支路，每个所述辅助放电支路的一端接地，另一端与一所述输入输出端相连；

所述辅助放电支路包括：串联连接的辅助放电开关和电阻器，所述辅助放电开关包括相互并联的晶闸管组和第二避雷器，所述晶闸管组包括至少一个相互串联的晶闸管，当所述辅助放电开关处于开通状态时，电流从所述晶闸管的
20 正极流向负极。

4、根据权利要求 1 所述的隔离装置，其特征在于，

所述直流断路器包括至少一个相互串联的开关单元，所述开关单元包括第三避雷器和与所述第三避雷器并联连接的第二 IGBT 组或半 H 桥组，所述第二
25 IGBT 组包括至少一个相互串联的带反向并联二极管的第四 IGBT，所述半 H 桥组包括至少一个相互串联的半 H 桥电路，每个所述半 H 桥电路包括 1 个第二电容和 2 个带反向并联二极管的第五 IGBT，当所述直流断路器处于开通状态时，电流从所述第四 IGBT 或所述第五 IGBT 的集电极流向发射极；

-18-

其中, 所述开关单元的数目 $N_s \geq \frac{kk_1 U_{dc}}{U_e}$, $N_s \in Z$;

所述第四 IGBT 或半 H 桥电路的数目 $N_e \geq \frac{U_e}{U_i}$, $N_e \in Z$;

其中, k 为冗余系数, k_1 为过电压可承受系数, U_{dc} 为直流电压, U_e 为所述第三避雷器的保护水平, U_i 为所述第四 IGBT 或所述第五 IGBT 的承压。

- 5 5、根据权利要求 1 所述的隔离装置, 其特征在于, 还包括: 直流母线, 所述直流断路器通过所述直流母线与所有所述第一隔离开关均相连。
- 6、一种 MMC-HVDC 系统, 其特征在于, 包括: MMC、直流线路和权利要求 1-5 任一项所述的隔离装置; 其中,
所述 MMC 和所述直流线路均与所述隔离装置的输入输出端相连;
- 10 当所述隔离装置的直流断路器开通, 且所述隔离装置的电流转移开关关断, 与所述关断的电流转移开关相连的第一隔离开关断开时, 所述 MMC-HVDC 的冗余电能从所述直流断路器流出, 所述关断的电流转移开关相对应的 MMC 或直流线路与所述 MMC-HVDC 系统隔离。
- 7、根据权利要求 6 所述的 MMC-HVDC 系统, 其特征在于, 还包括: 平
15 波电抗器, 所述 MMC 通过所述平波电抗器与所述隔离装置的输入输出端相连。
- 8、一种用于 MMC-HVDC 系统直流侧的隔离方法, 基于权利要求 6 或 7 所述的 MMC-HVDC 系统, 其特征在于, 包括:
确定需要隔离的 MMC 和/或直流线路;
- 20 将隔离装置的直流断路器开通, 并将所述需要隔离的 MMC 和/或直流线路相对应的电流转移开关关断;
- 当流过所述关断的电流转移开关的电流为零时, 将与所述关断的电流转移开关相连的第一隔离开关断开, 所述 MMC-HVDC 的冗余电能从所述直流断路器流出, 所述需要隔离的 MMC 和/或直流线路与所述 MMC-HVDC 系统隔离。
- 25 9、根据权利要求 8 所述的隔离方法, 其特征在于, 所述确定需要隔离的 MMC 或直流线路后还包括: 将所述隔离装置辅助放电支路的辅助放电开关开通, 将所述隔离装置辅助放电支路的辅助放电开关和所述隔离装置的直流断路

器均开通后，将所述需要隔离的 MMC 和/或直流线路相对应的电流转移开关关断。

10、根据权利要求 8 所述的隔离方法，其特征在于，所述需要隔离的 MMC 和/或直流线路与所述 MMC-HVDC 系统隔离后还包括：

5 将所述隔离装置的直流断路器关断；

当流过所述直流断路器的电流为零时，将所述隔离装置的第二隔离开关断开。

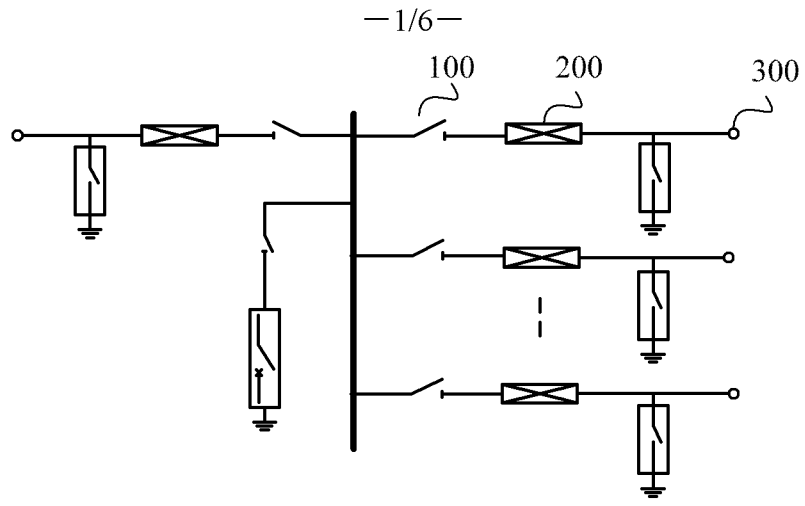


图 1

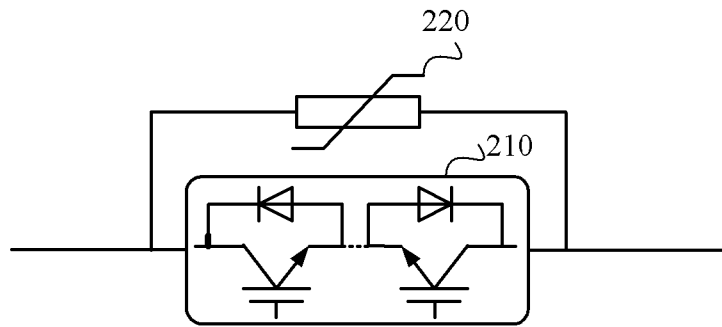


图 2

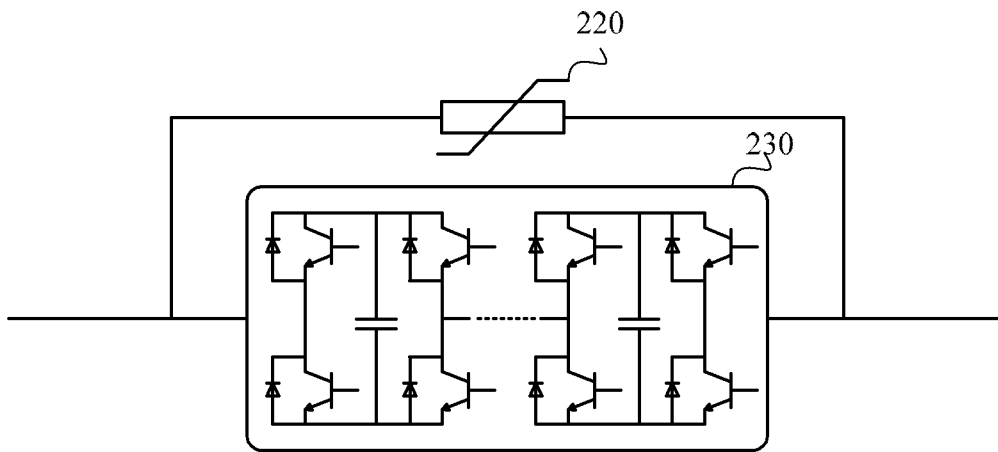


图 3

-2/6-

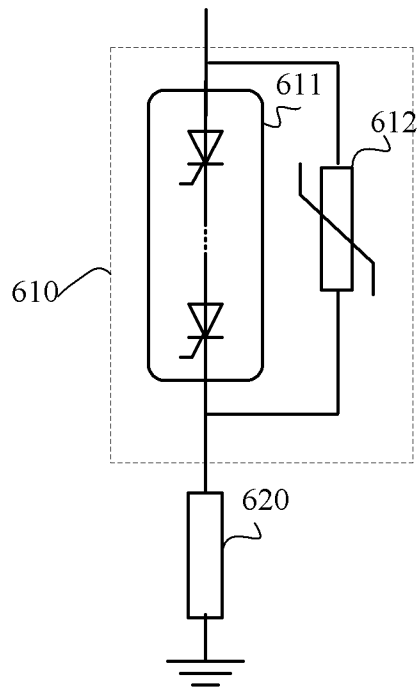


图 4

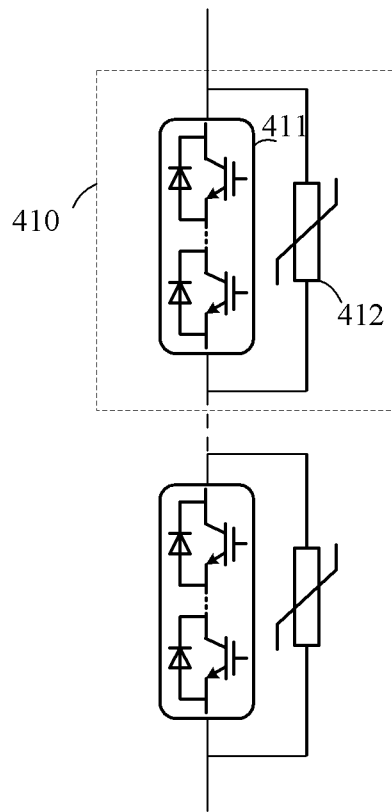


图 5

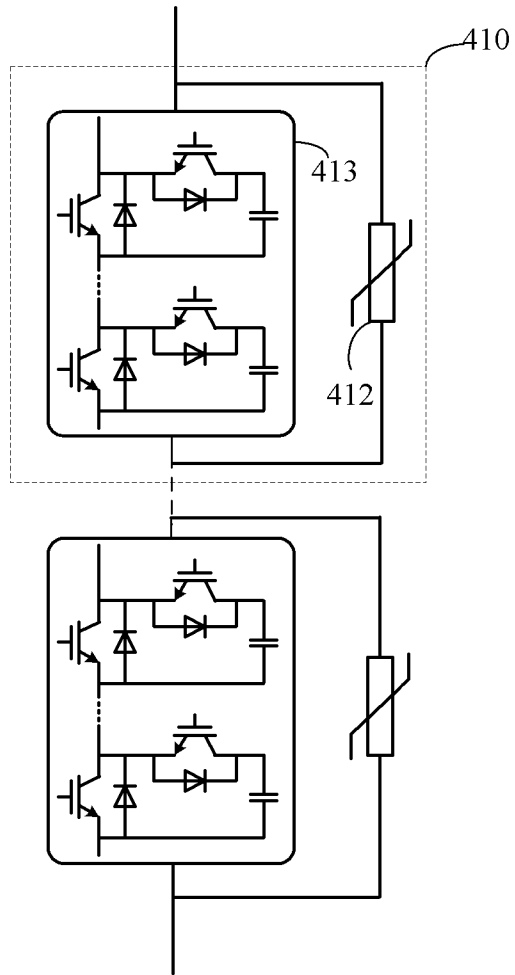


图 6

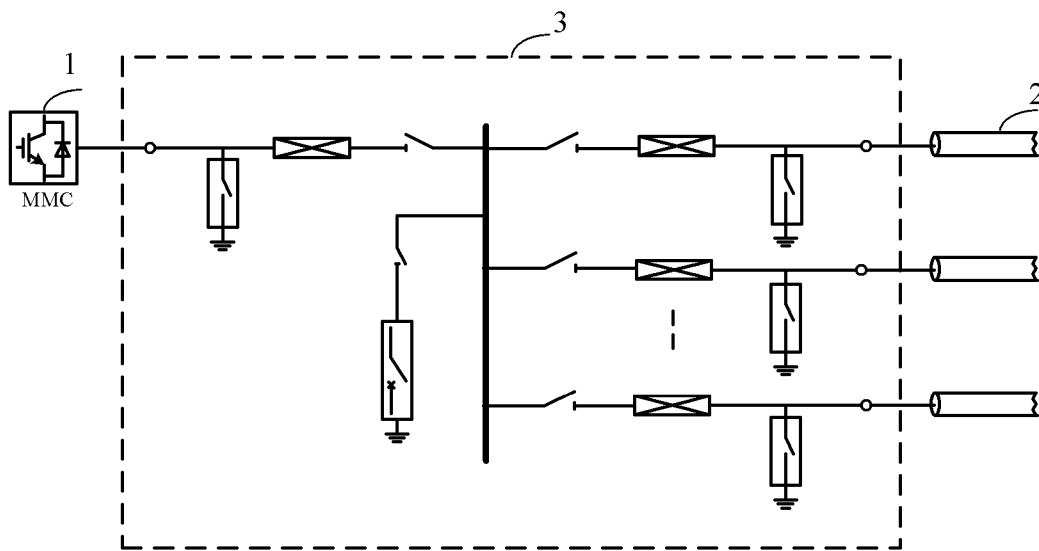


图 7

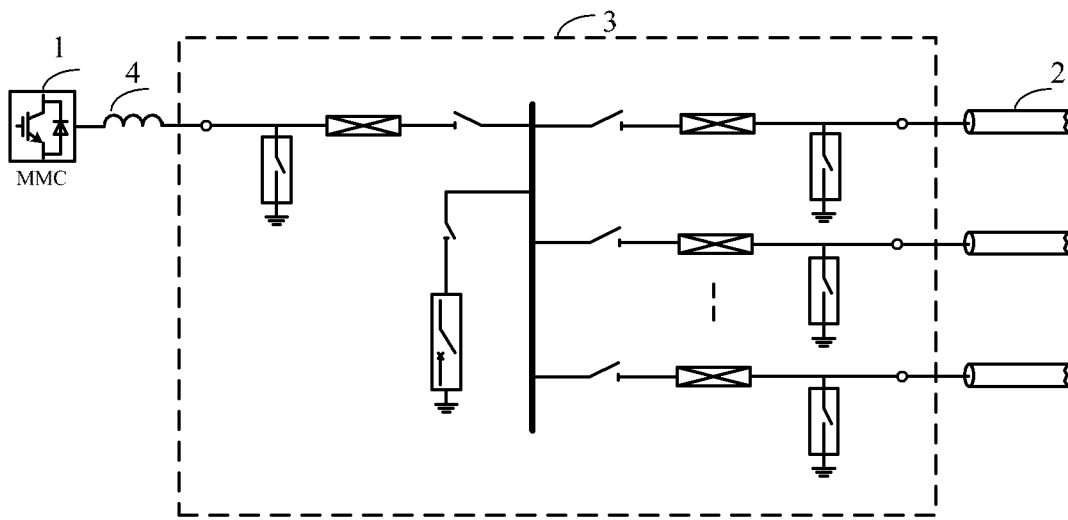


图 8

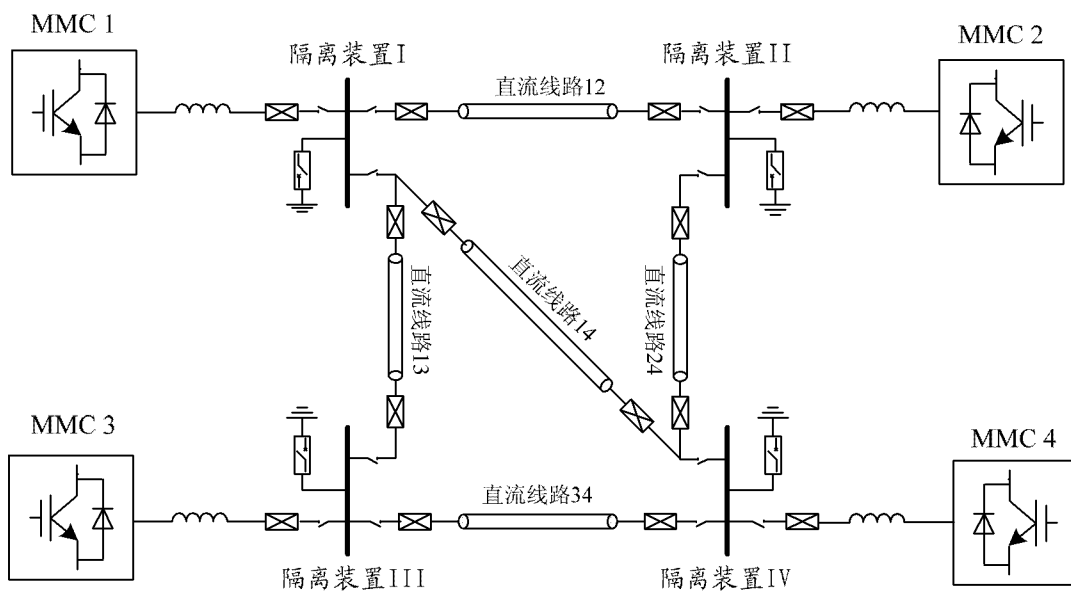


图 9

- 5/6 -

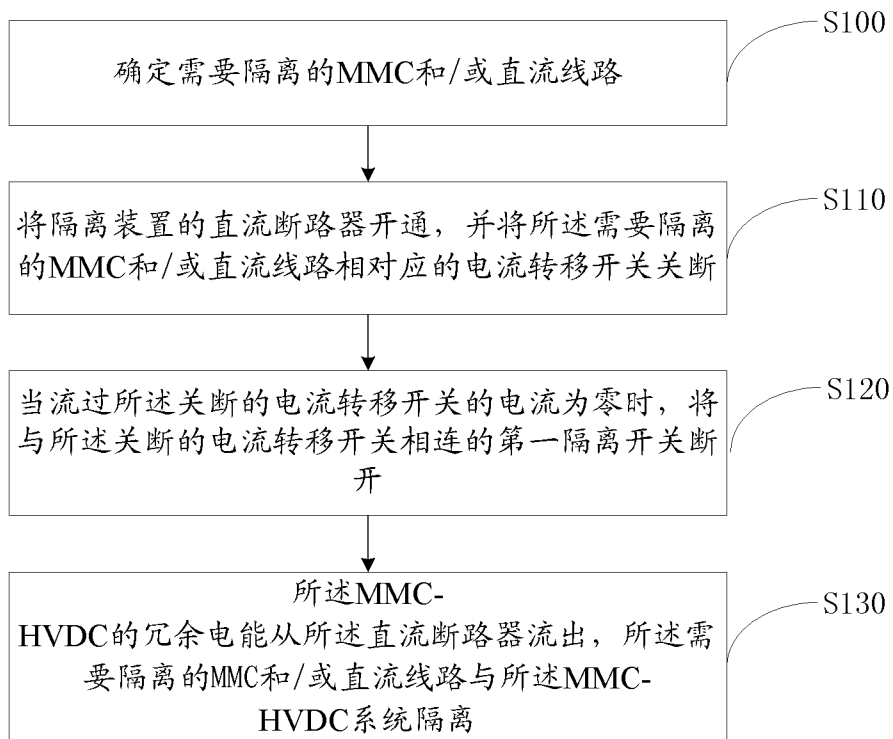


图 10

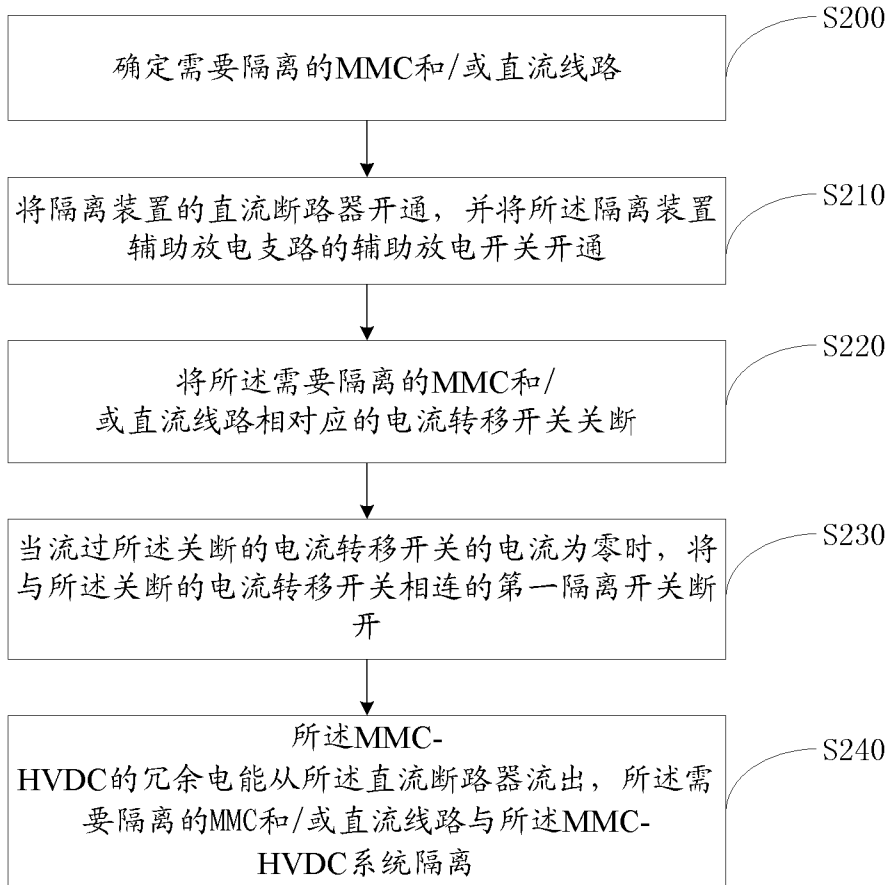


图 11

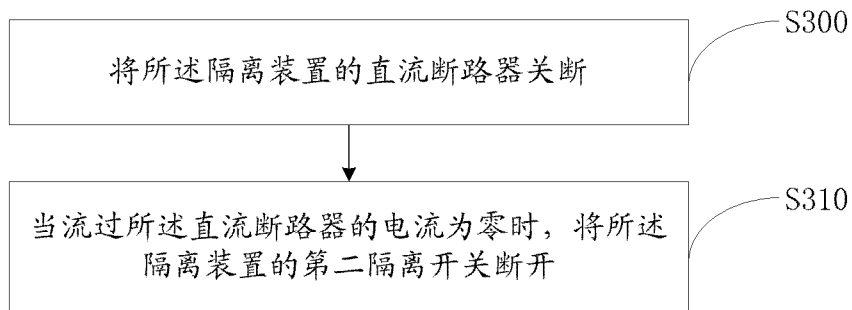


图 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2015/086975

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 1/10 (2006.01) i; H02H 7/28 (2006.01) i; H02H 3/02 (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, 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)

CNKI, CNPAT, EPODOC, WPI, IEEB: XU, Feng; QIU, Peng; LU, Yi; HUANG, Xiaoming; LU, Chengyu; LOU, Boliang; HUANG, Hongyang; HUA, Wen; LIU, Gaoren; ZHANG, Zheren; XU, Zheng; power grid, direct current, lightning arrest, nonlinear resistance, modularized multi-level, current transfer, power, grid, network, assembl+, combin+, DC, direct+, breaker?, arrester+, non?lin+, resist+, MMC+, isolat+, separat+, cut+, off, transfer+, chang+, switch+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 104767185 A (ZHEJIANG UNIVERSITY), 08 July 2015 (08.07.2015), description, paragraphs [0005]-[0035], and figures 1 and 2	1-10
A	CN 104767170 A (STATE GRID CORP. OF CHINA et al.), 08 July 2015 (08.07.2015), the whole document	1-10
A	CN 104702256 A (STATE GRID CORP. OF CHINA et al.), 10 June 2015 (10.06.2015), the whole document	1-10
A	CN 104242265 A (RONGXIN POWER ELECTRONIC CO., LTD. et al.), 24 December 2014 (24.12.2014), the whole document	1-10
A	US 2015022928 A1 (SIEMENS A. G.), 22 January 2015 (22.01.2015), the whole document	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search
07 April 2016 (07.04.2016)

Date of mailing of the international search report
27 April 2016 (27.04.2016)

Name and mailing address of the ISA/CN:
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
ZHUANG, Huimin
Telephone No.: (86-10) **52871064**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2015/086975

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104767185 A	08 July 2015	None	
CN 104767170 A	08 July 2015	None	
CN 104702256 A	10 June 2015	None	
CN 104242265 A	24 December 2014	None	
US 2015022928 A1	22 January 2015	EP 2777059 A1	17 September 2014
		CA 2860171 A1	27 June 2013
		WO 2013093066 A1	27 June 2013

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/086975

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	104767185	A	2015年 7月 8日	无			
CN	104767170	A	2015年 7月 8日	无			
CN	104702256	A	2015年 6月 10日	无			
CN	104242265	A	2014年 12月 24日	无			
US	2015022928	A1	2015年 1月 22日	EP	2777059	A1	2014年 9月 17日
				CA	2860171	A1	2013年 6月 27日
				WO	2013093066	A1	2013年 6月 27日