

# (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  
2022年9月9日 (09.09.2022)



(10) 国际公布号  
**WO 2022/183996 A1**

(51) 国际专利分类号:  
*H02H 7/26* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/078134

(22) 国际申请日: 2022年2月28日 (28.02.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:  
202110234171.0 2021年3月3日 (03.03.2021) CN

(71) 申请人: 南京南瑞继保电气有限公司 (NR ELECTRIC CO., LTD) (已故发明人的继承人) [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) (已故发明人的继承人) [CN/CN]; 中国江苏省南京市江宁

区苏源大道69号, Jiangsu 211102 (CN)。 常州博瑞电力自动化设备有限公司 (NR ELECTRIC POWER ELECTRONICS CO., LTD.) (已故发明人的继承人) [CN/CN]; 中国江苏省常州市武进区五一路328/398号, Jiangsu 213025 (CN)。

(72) 发明人: 石巍 (SHI, Wei); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道69号, Jiangsu 211102 (CN)。

(72) 发明人: 曹冬明 (CAO, Dongming) (已故)。

(72) 发明人: 方太勋 (FANG, Taixun); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道69号, Jiangsu 211102 (CN)。 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)。 杨兵 (YANG, Bing); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道69号, Jiangsu 211102 (CN)。 吕玮 (LV, Wei); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道69号,

(54) Title: MULTIPORT HYBRID DIRECT-CURRENT CIRCUIT BREAKER, APPARATUS, SYSTEM, AND CONTROL METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 多端口混合式直流断路器、装置、系统及其控制方法

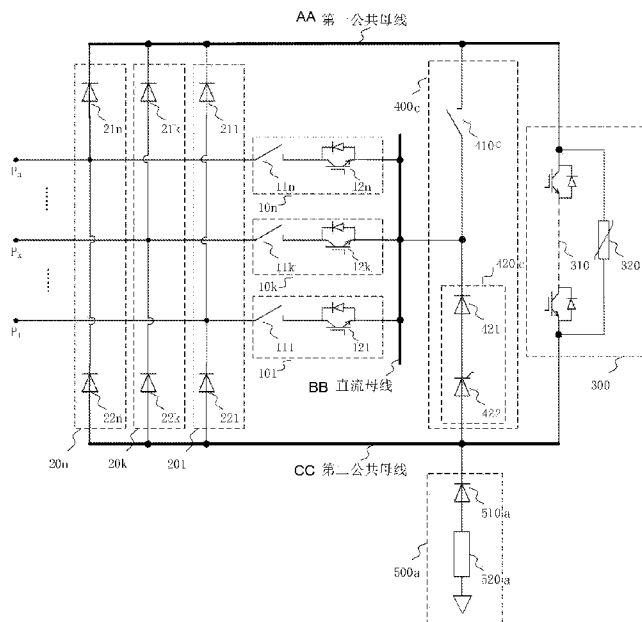


图 10

AA First common bus  
BB Direct-current bus  
CC Second common bus

(57) Abstract: Provided are a multiport hybrid direct-current circuit breaker and a control method therefor. The multiport hybrid direct-current circuit breaker comprises at least two flow branches (101, ..., 10k, ..., and 10n), at least two commutator branches (201, ..., 20k, ..., and 20n), and a disconnecting branch (300). The flow branches (101, ..., 10k, ..., and 10n) comprise first fast mechanical switches (111, ..., 11k, ..., and 11n) and one-way commutator switches (121, ..., 12k, ..., and 12n) connected in series. The flow branches (101, ..., 10k, ..., and 10n) are connected with each other at one end and constitute a direct-current bus. The commutator



WO 2022/183996 A1

Jiangsu 211102 (CN)。王文杰(WANG, Wenjie); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道69号, Jiangsu 211102 (CN)。许元震(XU, Yuanzhen); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道69号, Jiangsu 211102 (CN)。陈羽(CHEN, Yu); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道69号, Jiangsu 211102 (CN)。孙超(SUN, Chao); 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, ST, 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, 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))。

branches (201, ..., 20k, ..., and 20n) comprise diode upper bridge arms (211, ..., 21k, ..., and 21n) and diode lower bridge arms (221, ..., 22k, ..., and 22n) connected in series in a same direction. The flow channels (101, ..., 10k, ..., and 10n) are each connected at the other end in a one-to-one correspondence to the midpoints of the commutator branches (201, ..., 20k, ..., and 20n) and correspondingly constitute one port. The disconnecting branch (300) comprises a one-way disconnecting switch (310) and a nonlinear resistor (320) connected in parallel. The disconnecting branch (300) and the commutator branches (201, ..., 20k, ..., and 20n) are connected to each other in parallel and constitute a first common bus and a second common bus.

(57) 摘要: 提供一种多端口混合式直流断路器及其控制方法。多端口混合式直流断路器包括至少两条通流支路(101, ..., 10k, ..., 10n)、至少两条换向支路(201, ..., 20k, ..., 20n)和分断支路(300), 通流支路(101, ..., 10k, ..., 10n)包括串联连接的第一快速机械开关(111, ..., 11k, ..., 11n)和单向换流开关(121, ..., 12k, ..., 12n), 通流支路(101, ..., 10k, ..., 10n)的一端相互连接并构成直流母线; 换向支路(201, ..., 20k, ..., 20n)包括同向串联连接的二极管上桥臂(211, ..., 21k, ..., 21n)和二极管下桥臂(221, ..., 22k, ..., 22n), 每条通流支路(101, ..., 10k, ..., 10n)的另一端一一对应连接于每条换向支路(201, ..., 20k, ..., 20n)的中间点, 并构成一个端口; 分断支路(300)包括并联连接的单向分断开关(310)和非线性电阻(320), 分断支路(300)和换向支路(201, ..., 20k, ..., 20n)相互并联连接并构成第一公共母线和第二公共母线。

# 多端口混合式直流断路器、装置、系统及其控制方法

## 相关申请

本申请要求于 2021 年 3 月 3 日提交中国专利局、申请号为 202110234171.0、申请名称为“多端口混合式直流断路器及其控制方法”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

本申请涉及直流电网技术领域，具体涉及多端口混合式直流断路器、装置、系统及其控制方法。

## 背景技术

随着直流电网网架结构的复杂化的趋势，直流电网系统中需要加装的直流断路器数目将大幅增加。直流断路器投入成本过高已成为目前限制直流电网发展的瓶颈问题。考虑到由大量电力电子器件串并联构成的分断开关是直流断路器的主要成本，近年来提出了多端口直流断路器的设计思路，即同一直流母线上所有进出线共用昂贵的分断开关。因此，采用多端口直流断路器可保证各进出线故障电流分断能力的同时，大幅减少直流电网中直流断路器的数量和投入成本。

## 发明内容

本申请各示例性实施例提供一种多端口混合式直流断路器，包括至少两条通流支路、至少两条换向支路和分断支路，所述至少两条通流支路的每一者均包括串联连接的第一快速机械开关和单向换流开关，所述至少两条通流支路的一端相互连接并构成直流母线，所述至少两条通流支路的每一者的所述单向换流开关的分断电流方向相同；所述至少两条换向支路的每一者均包括同向串联连接的二极管上桥臂和二极管下桥臂，所述至少两条通流支路的另一端相应地连接于对应的换向支路的二极管上桥臂和二极管下桥臂之间的中间点，以构成端口；以及分断支路包括并联连接的单向分断开关和非线性电阻，其中，所述分断支路和所述至少两条换向支路相互并联连接并在并联连接的两端分别构成

第一公共母线和第二公共母线，所述分断支路的所述单向分断开关的分断电流方向为所述第一公共母线指向所述第二公共母线的方向，所述换向支路的所述二极管上桥臂的阴极连接于所述第一公共母线的方向，所述换向支路的所述二极管下桥臂的阳极均连接于所述第二公共母线。

在一实施例中，所述多端口混合式直流断路器还包括一条母线故障保护支路，所述母线故障保护支路包括第二快速机械开关，其中，所述第二快速机械开关的一端连接于直流母线，另一端连接于第一公共母线；或所述第二快速机械开关的一端连接于直流母线，另一端连接于第二公共母线。

在一实施例中，所述多端口混合式直流断路器还包括一条母线故障保护支路，所述母线故障保护支路包括串联连接的第二快速机械开关和单向导通开关，所述母线故障保护支路两端分别连接于所述第一公共母线和所述第二公共母线，所述母线故障保护支路的所述第二快速机械开关和所述单向导通开关之间的中间点连接于所述直流母线；其中，所述第二快速机械开关的一端连接于所述第一公共母线，且所述单向导通开关的一端连接于所述第二公共母线，所述单向导通开关的导通方向为所述第二公共母线指向所述直流母线的方向，所述通流支路的所述单向换流开关的分断电流方向为指向所述直流母线的方向；或

所述第二快速机械开关的一端连接于所述第二公共母线，所述单向导通开关的一端连接于所述第一公共母线，所述单向导通开关的导通方向为所述直流母线指向所述第一公共母线的方向，所述通流支路的所述单向换流开关的分断电流方向为指向所述端口的方向。

在一实施例中，所述单向导通开关包括串联连接的至少一个二极管和串联连接的至少一个第三开关半导体器件，且所述至少一个二极管和所述至少一个第三开关半导体器件相互串联。

在一实施例中，所述第三开关半导体器件包括 SCR、IGBT、IEGT、IGCT 或 MOSFET 的至少一种。

在一实施例中，还包括：辅助耗能支路，包括串联连接的二极管组和线性电阻；以及其中，当所述第二快速机械开关的一端连接于所述直流母线，另一端连接于所述第一公共母线时，所述辅助耗能支路的一端连接于所述第二公共母线，所述辅助耗能支路的另一端连接于大地或金属回线，其中，所述二极管组的阴极连接于所述第二公共母线；或当所述第二快速机械开关的一端连接于所述直流母线，另一端连接于所述第二公共母线时，所述辅助耗能支路的一端连接于所述第一公共母线，所述辅助耗能支路的另一端连接于大地或金属回线，所述二极管组的阳极连接于所述第一公共母线。

在一实施例中，所述二极管组包括串联连接的至少一个二极管。

在一实施例中，所述第一快速机械开关包括串联连接的至少一个机械开关断口；和/或

所述第二快速机械开关包括串联连接的至少一个机械开关断口。

在一实施例中，所述单向换流开关包括串联连接的至少一个第一开关半导体器件；和/或所述单向分断开关包括串联连接的至少一个第二开关半导体器件。

在一实施例中，所述第一开关半导体器件和所述第二开关半导体器件包括IGBT、IEGT、IGCT或MOSFET中的至少一种。

在一实施例中，所述二极管上桥臂包括串联连接的至少一个二极管；以及所述二极管下桥臂包括串联连接的至少一个二极管。

本申请实施例还提供如上所述多端口混合式直流断路器的控制方法，包括基于所述多端口混合式直流断路器的工作模式进行控制通流支路、换向支路和分断支路的通断，所述工作模式包括正常运行模式、分闸模式和合闸模式。

在一实施例中，所述多端口混合式直流断路器处于所述正常运行模式下时，控制每条通流支路处于导通状态，分断支路处于关断状态；以及当所述多端口混合式直流断路器还包括母线故障保护支路时，所述方法还包括：所述多端口混合式直流断路器处于所述正常运行模式下时，控制所述母线故障保护支路处于关断状态。

在一实施例中，所述多端口混合式直流断路器处于所述分闸模式下，当所述多端口混合式直流断路器所连接的端口需要切除时，控制所述分断支路的单向分断开关导通、所有所述通流支路的单向换流开关关断，电流开始通过所述换向支路转移至所述分断支路的所述单向分断开关；当所有所述通流支路的电流接近于零时，控制被需要切除的所述端口所处的通流支路的第一快速机械开关分闸；当被切除的所述端口所处的所述通流支路的所述第一快速机械开关，分开至绝缘电压位置时，控制所述分断支路的所述单向分断开关关断、所有所述通流支路的所述单向换流开关导通，并控制被需要切除的所述端口的电流，以转移至所述分断支路的非线性电阻以及辅助耗能支路的线性电阻中；以及当被切除的所述端口的所述电流逐渐下降至零时，除被需要切除的所述端口之外的其他端口的电流恢复至各自的通流支路中，分闸成功并结束分闸操作。

在一实施例中，所述多端口混合式直流断路器处于所述合闸模式下，且当与所述多端口混合式直流断路器所连接的端口需要接入时，控制所述分断支路的单向分断开关导通；以及其中，若所述多端口混合式直流断路器未合于故障，则控制需要接入的所述端口所处的所述通流支路的所述第一快速机械开关闭合；以及当需要接入的所述端口所处的通流支路的第一快速机械开关处于合位后，控制所述分断支路的单向分断开关关断，合闸成功并结束合闸操作。

在一实施例中，若所述多端口混合式直流断路器合于故障，则控制所述分断支路的所述单向分断开关关断，合闸失败并结束合闸操作。

在一实施例中,所述多端口混合式直流断路器还包括母线故障保护支路时,所述工作模式还包括:母线故障保护模式,所述多端口混合式直流断路器处于母线故障保护模式下,基于故障类型进行控制;以及所述方法还包括:所述故障类型为所述直流母线接地故障时,控制所述分断支路的单向分断开关导通、所述母线故障保护支路的单向导通开关导通、所有所述通流支路的单向换流开关关断,电流开始通过所述换向支路转移至所述分断支路的所述单向分断开关;当所有所述通流支路的电流接近于零时,控制所有所述通流支路的所述第一快速机械开关分闸;以及当所有所述通流支路的所述第一快速机械开关分开至绝缘电压位置时,控制所述分断支路的所述单向分断开关关断、所有所述通流支路的所述单向换流开关导通,电流转移至所述分断支路的非线性电阻,当所述电流下降至零时,分闸成功并结束分闸操作。

在一实施例中,所述故障类型为所述多端口混合式直流断路器接通于直流电网系统正极且第一公共母线发生接地故障时,所述多端口混合式直流断路器无法完成母线隔离操作,并控制所述母线故障保护支路的第二快速机械开关闭合以启动失灵后备保护;所述故障类型为多端口混合式直流断路器接通于直流电网系统负极且第二公共母线接地故障时,所述多端口混合式直流断路器无法完成母线隔离操作,控制母线故障保护支路的第二快速机械开关闭合以启动失灵后备保护;所述故障类型为多端口混合式直流断路器接通于直流电网系统正极且第二公共母线接地故障时,所述多端口混合式直流断路器正常运行模式下母线差动保护不会动作,若此时进行分闸操作则触发所述母线差动保护,且所述多端口混合式直流断路器中止所述分闸操作并启动后备失灵保护;和/或所述故障类型为多端口混合式直流断路器接通于直流电网系统负极且第一公共母线接地故障时,所述多端口混合式直流断路器正常运行模式下母线差动保护不会动作,若此时进行所述分闸操作则触发所述母线差动保护,且所述多端口混合式直流断路器中止所述分闸操作并启动后备失灵保护。

本申请实施例还提供如上所述多端口混合式直流断路器的控制方法的直流电网系统的故障保护装置,包括上述的多端口混合式直流断路器。

本申请实施例还提供使用如上述所述多端口混合式直流断路器的控制方法的直流电网系统,包括上述的故障保护装置。

本申请实施例提供的技术方案,通过共用价格昂贵的分断开关能够实现多条输电线路的故障保护,输电线路越多、经济性更好;相比现有两端口或多端口混合式直流断路器,电流流经路径半导体数量减半,通流损耗更低、经济性更好;具有母线故障保护能力,提高了直流断路器的可靠性;具有辅助耗能能力,通过高可靠性的线性电阻进行辅助耗能,从而降低了对非线性电阻能量的需求,提高了直流断路器的可靠性;保持混合式直流断路器额定电流快速开断、故障电流快速开断和快速重合闸。

## 附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案，下面将对实施例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申请的一些实施例，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，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 是本申请一实施例的多端口混合式直流断路器的拓扑图。

图 2 是本申请一实施例的通过母线故障保护支路接通于直流电网系统正极时的多端口混合式直流断路器的拓扑图。

图 3 是本申请一实施例的通过母线故障保护支路接通于直流电网系统负极时的多端口混合式直流断路器的拓扑图。

图 4 是本申请一实施例的通过母线故障保护支路接通于直流电网系统正极时的多端口混合式直流断路器第三拓扑图。

图 5 是本申请一实施例的通过母线故障保护支路接通于直流电网系统负极时的多端口混合式直流断路器的拓扑图。

图 6 是本申请一实施例的具有辅助耗能支路且接通于直流电网系统正极时的多端口混合式直流断路器的拓扑图。

图 7 是本申请一实施例的具有辅助耗能支路且接通于直流电网系统负极时的多端口混合式直流断路器的拓扑图。

图 8 是本申请一实施例的具有辅助耗能支路且通过母线故障保护支路接通于直流电网系统正极时的多端口混合式直流断路器的拓扑图。

图 9 是本申请一实施例的具有辅助耗能支路且通过母线故障保护支路接通于直流电网系统负极时的多端口混合式直流断路器的拓扑图。

图 10 是本申请一实施例的具有辅助耗能支路且通过母线故障保护支路接通于直流电网系统正极时的多端口混合式直流断路器的拓扑图。

图 11 是本申请一实施例的具有辅助耗能支路且通过母线故障保护支路接通于直流电网系统负极时的多端口混合式直流断路器的拓扑图。

图 12 是本申请一实施例的多端口混合式直流断路器的分断开关示意图。

## 具体实施方式

就当前的技术背景而言，现有技术中采用多端口的直流断路器，在多端口直流断路器的电流流经路线上设置的半导体数量往往相对较多，通流损耗较高。在母线故障保护电路方面，也仅考虑了直流母线故障而未考虑多端口直流断路器内部的两条公共母线故障。基于当前的行业需求与技术现状，可见，亟需一种可解决上述技术问题的多端口直流断路器。

下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域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，都属于本申请保护的范围。

应当理解，本申请的说明书和权利要求书中使用的术语“包括”和“包含”指示所描述特征、整体、步骤、操作、元素和/或组件的存在，但并不排除一个或多个其它特征、整体、步骤、操作、元素、组件和/或其集合的存在或添加。

在本申请中，使用诸如“第一”，“第二”等的序数术语来修饰元件并不表示一个元件相对于另一个元件的任何优先级，位次或顺序，或者执行方法中的动作的时间顺序。除非另外特别说明，否则此类序数词仅用作标签以将具有特定名称的一个元件与具有（除序数词外在一实施例中相同名称的另一元件区分开。在所有附图中，除非在在上下文中另有定义，可以注意到，通过参考标记中的相同的数字标记来表示相似或相同的具有同样功能的部件，通过具有相同数字标记的参考标记的不同字母后缀来区分相似或相同的具有同样功能的部件的不同实施例。

图 1 是本申请一实施例的多端口混合式直流断路器的拓扑图。

如图 1 所示，多端口混合式直流断路器包括  $n$  条通流支路  $101, \dots, 10k, \dots, 10n$ 、 $n$  条换向支路  $201, \dots, 20k, \dots, 20n$  和 1 条分断支路 300，其中  $n$  为端口总数， $k$  表示任意第  $k$  条支路，其中  $1 \leq k \leq n$ ， $n$  为正整数。

每条通流支路  $10k$  分别包括串联连接的第一快速机械开关  $11k$  和单向换流开关  $12k$ 。每条换向支路  $20k$  分别包括同向串联连接的二极管上桥臂  $21k$  和二极管下桥臂  $22k$ 。通流支路  $10k$  与换向支路  $20k$  一一对应。所有通流支路  $101-10n$  的一端相互连接并构成直流母线，即所有通流支路  $101-10n$  的一端连接于直流母线。每条通流支路  $10k$  的另一端连接于换向支路  $20k$  的位于二极管上桥臂  $21k$  和二极管下桥臂  $22k$  之间的中间点并构成一个端口  $P_k$ ，该端口连接于需要保护的设备或线路。分断支路 300 包括并联连接的单向分断开关 310 和非线性电阻 320。

分断支路 300 和所有换向支路  $201-20n$  相互并联连接并构成第一公共母线和第二公共母线。分断支路 300 的单向分断开关 310 的分断电流方向为第一公共母线指向第二公共母线，即被配置为能够开断从第一公共母线流向第二公共母线的电流。换向支路  $201-20n$  的二极管上桥臂  $211-21n$  的阴极均连接于第一公共母线，且换向支路  $201-20n$  的二极管下桥臂  $221-22n$  的阳极均连接于第二公共母线。每条通流支路  $101-10n$  的单向换流开关  $121-12n$  的分断电流方向相同，即全部指向直流母线或全部指向端口。

本实施例的多端口混合式直流断路器可在不考虑直流母线故障的场合下应用。

本实施例的多端口混合式直流断路器工作模式包括：正常运行模式、分闸

模式以及合闸模式。

多端口混合式直流断路器在正常运行模式下，每条通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 和单向换流开关 121-12n 均处于导通状态，分断支路 300 的单向分断开关 310 处于关断状态。

多端口混合式直流断路器在分闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要切除时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 关断，电流开始通过换向支路 201-20n 转移至分断支路 300 的单向分断开关 310。

第二步：当所有通流支路 101-10n 的电流接近于零时，控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分闸。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分开至绝缘电压位置时，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断、所有通流支路的单向换流开关 121-12n 导通，第  $P_k$  端口的电流转移至分断支路 300 的非线性电阻 320 中并逐渐下降至零、非第  $P_k$  端口的其他端口的电流恢复至各自的通流支路中，分闸成功并结束分闸操作。

多端口混合式直流断路器在合闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要接入时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通。

第二步：若多端口混合式直流断路器未合于故障，则控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 闭合；若多端口混合式直流断路器合于故障，则控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸失败并结束合闸操作。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 处于合位后，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸成功并结束合闸操作。

可选地，多端口混合式直流断路器还可以设有母线故障保护支路，其包括第二快速机械开关。该第二快速机械开关的一端连接于直流母线，另一端连接于第一公共母线或第二公共母线。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下时，当直流母线或第一公共母线或第二公共母线发生接地故障时，直流断路器无法完成母线隔离操作，因此控制母线故障保护支路的第二快速机械开关闭合以启动失灵后备保护。

图 2 是本申请实施例的一种接通于直流电网系统正极时的多端口混合式直流断路器第二拓扑图，相比于图 1 所示的多端口混合式直流断路器，本实施例增加了母线故障保护支路 400a。

母线故障保护支路 400a 包括第二快速机械开关 410a，第二快速机械开关

410a 一端连接于直流母线，另一端连接于第一公共母线。

本实施例的多端口混合式直流断路器的工作模式包括正常运行模式、分闸模式、合闸模式和母线故障保护模式。

可以理解的是，母线故障保护支路的一端可以连接于第一公共母线，另一端连接于直流母线，也可以母线故障保护支路的一端连接于第二公共母线，另一端连接于直流母线，当多端口混合式直流断路器接通于直流电网系统正极时，所述母线故障保护支路的一端连接于直流母线，另一端连接于第一公共母线；当多端口混合式直流断路器接通于直流电网系统负极时，所述母线故障保护支路的一端连接于直流母线，另一端连接于第二公共母线。

本实施例中，多端口混合式直流断路器在正常运行模式下，每条通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 和单向换流开关 121-12n 均处于导通状态，分断支路 300 的单向分断开关 310 处于关断状态，母线故障保护支路 400a 的第二快速机械开关 410a 也处于关断状态。

多端口混合式直流断路器在分闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要切除时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 关断，电流开始通过换向支路 201-20n 转移至分断支路 300 的单向分断开关 310。

第二步：当所有通流支路 101-10n 的电流接近于零时，控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分闸。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分开至绝缘电压位置时，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断、所有通流支路的单向换流开关 121-12n 导通，第  $P_k$  端口的电流转移至分断支路 300 的非线性电阻 320 中并逐渐下降至零、非第  $P_k$  端口的其他端口的电流恢复至各自的通流支路中，分闸成功并结束分闸操作。

多端口混合式直流断路器在合闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要接入时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通；

第二步：若多端口混合式直流断路器未合于故障，则控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 闭合；若多端口混合式直流断路器合于故障，则控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸失败并结束合闸操作。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 处于合位后，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸成功并结束合闸操作。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下时，当直流母线或第一公

共母线或第二公共母线发生接地故障时，由于直流断路器无法完成母线隔离操作，因此将控制母线故障保护支路 400a 的第二快速机械开关 410a 闭合以启动失灵后备保护。

图 3 是本申请实施例的接通于直流电网系统负极时的多端口混合式直流断路器第二拓扑图，相比于图 1 所示实施例，本实施例增加了母线故障保护支路 400b。

母线故障保护支路 400b 包括第二快速机械开关 410b，第二快速机械开关 410b 一端连接于直流母线，另一端连接于第二公共母线。

本实施例的多端口混合式直流断路器工作模式包括：正常运行模式、分闸模式、合闸模式和母线故障保护模式。

多端口混合式直流断路器在正常运行模式下，每条通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 和单向换流开关 121-12n 均处于导通状态，分断支路 300 的单向分断开关 310 处于关断状态，母线故障保护支路 400 的第二快速机械开关 410 均处于关断状态。

多端口混合式直流断路器在分闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要切除时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 关断，电流开始通过换向支路 201-20n 转移至分断支路 300 的单向分断开关 310。

第二步：当所有通流支路 101-10n 的电流接近于零时，控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分闸。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分开至绝缘电压位置时，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断、所有通流支路的单向换流开关 121-12n 导通，第  $P_k$  端口的电流转移至分断支路 300 的非线性电阻 320 中并逐渐下降至零、非第  $P_k$  端口的电流恢复至各自的通流支路中，分闸成功并结束分闸操作。

多端口混合式直流断路器在合闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要接入时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通。

第二步：若多端口混合式直流断路器未合于故障，则控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 闭合；若多端口混合式直流断路器合于故障，则控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸失败并结束合闸操作。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 处于合位后，

控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸成功并结束合闸操作。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下时，当直流母线或第一公共母线或第二公共母线发生接地故障时，由于直流断路器无法完成母线隔离操作，因此将控制母线故障保护支路 400b 的第二快速机械开关 410b 闭合以启动失灵后备保护。

图 4 和图 5 所示的实施例与图 2 和图 3 所示的实施例的不同之处在于，多端口混合式直流断路器的母线故障保护支路还包括单向导通开关，该单向导通开关的一端连接于直流母线，另一端连接于未与第二快速机械开关连接的公共母线上，即，当第二快速机械开关的一端连接于第一公共母线时，则单向导通开关的另一端连接于第二公共母线，反之亦然。

图 4 是本申请实施例的一种接通于直流电网系统正极时的多端口混合式直流断路器第三拓扑图，相比于图 1 实施例，本实施例增加了母线故障保护支路 400c。

母线故障保护支路 400c 包括串联连接的第二快速机械开关 410c 和单向导通开关 420c，第二快速机械开关 410c 的一端连接于直流母线，另一端连接于第一公共母线，而单向导通开关 420c 的一端连接于直流母线，另一端连接于第二公共母线。母线故障保护支路 400c 的第二快速机械开关 410c 和单向导通开关 420c 之间的中间点连接于直流母线。单向导通开关 420c 的导通方向为第二公共母线指向直流母线的方向。此外，通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 的分断电流方向指向直流母线的方向。

本实施例的多端口混合式直流断路器的工作模式包括正常运行模式、分闸模式、合闸模式和母线故障保护模式。

多端口混合式直流断路器在正常运行模式下，每条通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 和单向换流开关 121-12n 均处于导通状态，分断支路 300 的单向分断开关 310 处于关断状态，母线故障保护支路 400 的第二快速机械开关 410 和单向导通开关 420 均处于关断状态。

多端口混合式直流断路器在分闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要切除时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 关断，电流开始通过换向支路 201-20n 转移至分断支路 300 的单向分断开关 310。

第二步：当所有通流支路 101-10n 的电流接近于零时，控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分闸。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分开至绝缘电压位置时，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断、所有通流支路的单

向换流开关 121-12n 导通，第  $P_k$  端口的电流转移至分断支路 300 的非线性电阻 320 中并逐渐下降至零、非第  $P_k$  端口的电流恢复至各自的通流支路中，分闸成功并结束分闸操作。

多端口混合式直流断路器在合闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要接入时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通；

第二步：若多端口混合式直流断路器未合于故障，则控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 闭合；若多端口混合式直流断路器合于故障，则控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸失败并结束合闸操作。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 处于合位后，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸成功并结束合闸操作。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下时，当直流母线接地故障时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通、母线故障保护支路 400c 的单向导通开关 420c 导通、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 关断，电流开始通过换向支路 201-20n 转移至分断支路 300 的单向分断开关 310。

第二步：当所有通流支路 101-10n 的电流接近于零时，控制所有通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 分闸。

第三步：当所有通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 分开至绝缘电压位置时，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 导通，电流转移至分断支路 300 的非线性电阻 320 并下降至零，分闸成功并结束分闸操作。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下时，当第一公共母线接地故障时，由于多端口混合式直流断路器无法完成母线隔离操作，因此将控制母线故障保护支路 400c 的第二快速机械开关 410c 闭合以启动失灵后备保护。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下时，当第二公共母线接地故障时，多端口混合式直流断路器的在正常运行模式下的母线差动保护不会动作。若此时进行分闸操作则母线差动保护会动作，直流断路器则中止分闸操作并启动后备失灵保护。

图 5 是本申请实施例的一种接通于直流电网系统负极时的多端口混合式直流断路器第三拓扑图，相比于图 1 所示本申请多端口混合式直流断路器，本实施例增加了母线故障保护支路 400d。

母线故障保护支路 400d 包括串联连接的第二快速机械开关 410d 和单向导通开关 420d。第二快速机械开关 410d 连接于第二公共母线。单向导通开关 420d 连接于第一公共母线，母线故障保护支路 400 的中间点连接于直流母线，单向导通开关 420 的导通方向为直流母线指向第一公共母线。此外，通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 的分断电流方向指向端口。

本实施例多端口混合式直流断路器的工作模式包括正常运行模式、分闸模式、合闸模式和母线故障保护模式。

多端口混合式直流断路器在正常运行模式下，每条通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 和单向换流开关 121-12n 均处于导通状态，分断支路 300 的单向分断开关 310 处于关断状态，母线故障保护支路 400 的第二快速机械开关 410 和单向导通开关 420 均处于关断状态。

多端口混合式直流断路器在分闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要切除时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 关断，电流开始通过换向支路 201-20n 转移至分断支路 300 的单向分断开关 310。

第二步：当所有通流支路 101-10n 的电流接近于零时，控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分闸；

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分开至绝缘电压位置时，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断、所有通流支路的单向换流开关 121-12n 导通，第  $P_k$  端口的电流转移至分断支路 300 的非线性电阻 320 中并逐渐下降至零、非第  $P_k$  端口的电流恢复至各自的通流支路中，分闸成功并结束分闸操作。

多端口混合式直流断路器在合闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要接入时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通；

第二步：若未合于故障，则控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 闭合；若合于故障，则控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸失败并结束合闸操作。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 处于合位后，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸成功并结束合闸操作。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下，当直流母线接地故障时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通、母线故障保护支路

400 的单向导通开关 420 导通、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 关断，电流开始通过换向支路 201-20n 转移至分断支路 300 的单向分断开关 310。

第二步：当所有通流支路 101-10n 的电流接近于零时，控制所有通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 分闸。

第三步：当所有通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 分开至绝缘电压位置时，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 导通，电流转移至分断支路 300 的非线性电阻 320 并下降至零，分闸成功并结束分闸操作。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下，当第一公共母线接地故障时，多端口混合式直流断路器正常运行模式下母线差动保护不会动作，若此时进行分闸操作则母线差动保护会动作，直流断路器中止分闸操作并启动后备失灵保护。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下，当第二公共母线接地故障时，由于多端口混合式直流断路器无法完成母线隔离操作，因此控制母线故障保护支路 400d 的第二快速机械开关 410d 闭合以启动失灵后背保护。

图 6 和图 7 所示的实施例与图 4 和图 5 所示的实施例的不同之处在于，多端口混合式直流断路器的可以不设置母线故障保护支路，不设置母线故障保护电路的情况下，可以增设辅助耗能电路，该辅助耗能电路的一端可以连接于第一公共母线，也可以连接与第二公共母线。

图 6 是本申请实施例的一种接通于直流电网系统正极时的多端口混合式直流断路器第四拓扑图，相比于图 1 所示实施例，本实施例增加了辅助耗能支路 500a。

辅助耗能支路 500a 包括串联连接的二极管 510a 和线性电阻 520a。辅助耗能支路 500a 的一端连接于第二公共母线，另一端连接于大地或金属回线。二极管 510a 的阴极指向第二公共母线。该拓扑方案可在不考虑直流母线故障的场合下应用，本实施例的多端口混合式直流断路器的工作模式包括正常运行模式、分闸模式和合闸模式。

多端口混合式直流断路器在正常运行模式下时，每条通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 和单向换流开关 121-12n 均处于导通状态，分断支路 300 的单向分断开关 310 处于关断状态。

多端口混合式直流断路器在分闸模式下时，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要切除时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 关断，电流开始通过换向支路 201-20n 转移

至分断支路 300 的单向分断开关 310。

第二步：当所有通流支路 101-10n 的电流接近于零时，控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分闸。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分开至绝缘电压位置时，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断、所有通流支路的单向换流开关 121-12n 导通，第  $P_k$  端口的电流转移至分断支路 300 的非线性电阻 320 和辅助耗能支路 500a 的线性电阻 520a 中并逐渐下降至零、非第  $P_k$  端口的其他端口的电流恢复至各自的通流支路中，分闸成功并结束分闸操作。

多端口混合式直流断路器在合闸模式下时，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要接入时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通。

第二步：若多端口混合式直流断路器未合于故障，则控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 闭合；若多端口混合式直流断路器合于故障，则控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸失败并结束合闸操作。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 处于合位后，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸成功并结束合闸操作。

图 7 是本申请实施例的一种接通于直流电网系统负极时的多端口混合式直流断路器第四拓扑图，相比于图 1 实施例，本实施例增加了一条辅助耗能支路 500b，辅助耗能支路 500b 包括串联连接的二极管 510b 和线性电阻 520b。

辅助耗能支路 500b 的一端连接于第一公共母线，另一端连接于大地或金属回线，二极管 510b 的阳极指向第一公共母线。本实施例多端口混合式直流断路器可在不考虑直流母线故障的场合下应用，多端口混合式直流断路器的工作模式包括正常运行模式、分闸模式、合闸模式。

多端口混合式直流断路器在正常运行模式下，每条通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 和单向换流开关 121-12n 均处于导通状态，分断支路 300 的单向分断开关 310 处于关断状态。

多端口混合式直流断路器在分闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要切除时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 关断，电流开始通过换向支路 201-20n 转移至分断支路 300 的单向分断开关 310。

第二步：当所有通流支路 101-10n 的电流接近于零时，控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分闸。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分开至绝缘电压位置时，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断、所有通流支路的单向换流开关 121-12n 导通，第  $P_k$  端口的电流转移至分断支路 300 的非线性电阻 320 和辅助耗能支路 500 的线性电阻 520 中并逐渐下降至零、非第  $P_k$  端口的电流恢复至各自的通流支路中，分闸成功并结束分闸操作。

多端口混合式直流断路器在合闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要接入时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通。

第二步：若多端口混合式直流断路器未合于故障，则控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 闭合；若多端口混合式直流断路器合于故障，则控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸失败并结束合闸操作。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 处于合位后，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸成功并结束合闸操作。

图 8 和图 9 所示的实施例与图 7 和图 8 所示的实施例的不同之处在于，多端口混合式直流断路器的可以在设置辅助耗能电路的情况下，增设母线故障保护电路，其中，辅助耗能电路的一端可以连接于第一公共母线，也可以连接于第二公共母线，当辅助耗能电路的一端连接于第二公共母线时，母线故障保护电路连接于第一公共母线与直流母线之间；当辅助耗能电路的一端连接于第一公共母线时，母线故障保护电路连接于第二公共母线与直流母线之间。

图 10 所示的实施例与图 8 和图 9 所示实施例的不同之处在于，母线故障保护支路还包括单向导通开关，该单向导通开关的一端连接于直流母线，另一端连接于未与第二快速机械开关连接的公共母线上。

图 8 是本申请实施例的一种接通于直流电网系统正极时的多端口混合式直流断路器第五拓扑图，相比于图 1 实施例，本实施例增加了母线故障保护支路 400a 和辅助耗能支路 500a。

母线故障保护支路 400a 包括第二快速机械开关 410a，第二快速机械开关 410a 一端连接于直流母线，另一端连接于第一公共母线。辅助耗能支路 500a 包括串联连接的二极管 510a 和线性电阻 520a，辅助耗能支路 500a 的一端连接于第二公共母线，另一端连接于大地或金属回线，二极管 510a 的阴极指向第二公共母线。本实施例多端口混合式直流断路器的工作模式包括正常运行模式、分闸模式、合闸模式和母线故障保护模式。

多端口混合式直流断路器在正常运行模式下，每条通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 和单向换流开关 121-12n 均处于导通状态，分断支路 300 的单向分断开关 310 处于关断状态，母线故障保护支路 400a 的第二快速机械开关 410a 均处于关断状态。

多端口混合式直流断路器在分闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要切除时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 关断，电流开始通过换向支路 201-20n 转移至分断支路 300 的单向分断开关 310。

第二步：当所有通流支路 101-10n 的电流接近于零时，控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分闸。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分开至绝缘电压位置时，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断、所有通流支路的单向换流开关 121-12n 导通，第  $P_k$  端口的电流转移至分断支路 300 的非线性电阻 320 和辅助耗能支路 500a 的线性电阻 520a 中并逐渐下降至零、非第  $P_k$  端口的电流恢复至各自的通流支路中，分闸成功并结束分闸操作。

多端口混合式直流断路器在合闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要接入时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通。

第二步：若多端口混合式直流断路器未合于故障，则控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 闭合；若多端口混合式直流断路器合于故障，则控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸失败并结束合闸操作。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 处于合位后，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸成功并结束合闸操作。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下，当直流母线或第一公共母线或第二公共母线发生接地故障时，由于直流断路器无法完成母线隔离操作，控制母线故障保护支路 400a 的第二快速机械开关 410a 闭合以启动失灵后备保护。

图 9 是本申请实施例的一种接通于直流电网系统负极时的多端口混合式直流断路器第五拓扑图，相比于图 1 实施例，本实施例增加了一条母线故障保护支路 400b 和一条辅助耗能支路 500b。

母线故障保护支路 400b 包括第二快速机械开关 410b，第二快速机械开关 410b 一端连接于直流母线，另一端连接于第二公共母线。辅助耗能支路 500b 包括串联连接的二极管 510b 和线性电阻 520b。辅助耗能支路 500b 的一端连接于第一公共母线，另一端连接于大地或金属回线，二极管 510b 的阳极指向所述第一公共母线。

本实施例多端口混合式直流断路器的工作模式包括正常运行模式、分闸模

式、合闸模式和母线故障保护模式。

多端口混合式直流断路器在正常运行模式下，每条通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 和单向换流开关 121-12n 均处于导通状态，分断支路 300 的单向分断开关 310 处于关断状态，母线故障保护支路 400b 的第二快速机械开关 410b 均处于关断状态。

多端口混合式直流断路器在分闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要切除时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 关断，电流开始通过换向支路 201-20n 转移至分断支路 300 的单向分断开关 310。

第二步：当所有通流支路 101-10n 的电流接近于零时，控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分闸。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分开至绝缘电压位置时，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断、所有通流支路的单向换流开关 121-12n 导通，第  $P_k$  端口的电流转移至分断支路 300 的非线性电阻 320 和辅助耗能支路 500b 的线性电阻 520b 中并逐渐下降至零、非第  $P_k$  端口的电流恢复至各自的通流支路中，分闸成功并结束分闸操作。

多端口混合式直流断路器在合闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要接入时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通。

第二步：若多端口混合式直流断路器未合于故障，则控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 闭合；若多端口混合式直流断路器合于故障，则控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸失败并结束合闸操作。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 处于合位后，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸成功并结束合闸操作。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下，当直流母线或第一公共母线或第二公共母线发生接地故障时，由于直流断路器无法完成母线隔离操作，控制母线故障保护支路 400b 的第二快速机械开关 410b 闭合以启动失灵后备保护。

图 10 是本申请实施例的一种接通于直流电网系统正极时的多端口混合式直流断路器第六拓扑图，相比于图 1 实施例，增加了一条母线故障保护支路 400c 和一条辅助耗能支路 500a。

母线故障保护支路 400c 包括串联连接的第二快速机械开关 410c 和单向导

通开关 420c, 第二快速机械开关 410c 连接于第一公共母线, 单向导通开关 420c 连接于所述第二公共母线, 母线故障保护支路 400c 的中间点连接于直流母线, 单向导通开关 420c 的导通方向为第二公共母线指向直流母线。

辅助耗能支路 500a 包括串联连接的二极管 510a 和线性电阻 520a, 辅助耗能支路 500a 的一端连接于第二公共母线, 另一端连接于大地或金属回线, 二极管 510a 的阴极指向第二公共母线。此外, 通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 的分断电流方向指向直流母线。本实施例多端口混合式直流断路器的工作模式包括正常运行模式、分闸模式、合闸模式和母线故障保护模式。

多端口混合式直流断路器在正常运行模式下, 每条通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 和单向换流开关 121-12n 均处于导通状态, 分断支路 300 的单向分断开关 310 处于关断状态, 母线故障保护支路 400b 的第二快速机械开关 410b 和单向导通开关 420b 均处于关断状态;

多端口混合式直流断路器在分闸模式下, 当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要切除时, 动作过程如下。

第一步: 控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 关断, 电流开始通过换向支路 201-20n 转移至分断支路 300 的单向分断开关 310。

第二步: 当所有通流支路 101-10n 的电流接近于零时, 控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分闸。

第三步: 当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分开至绝缘电压位置时, 控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断、所有通流支路的单向换流开关 121-12n 导通, 第  $P_k$  端口的电流转移至分断支路 300 的非线性电阻 320 和辅助耗能支路 500a 的线性电阻 520a 中并逐渐下降至零、非第  $P_k$  端口的电流恢复至各自的通流支路中, 分闸成功并结束分闸操作。

多端口混合式直流断路器在合闸模式下, 当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要接入时, 动作过程如下。

第一步: 控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通。

第二步: 若多端口混合式直流断路器未合于故障, 则控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 闭合; 若多端口混合式直流断路器合于故障, 则控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断, 合闸失败并结束合闸操作。

第三步: 当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 处于合位后, 控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断, 合闸成功并结束合闸操作。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下, 当直流母线接地故障时, 动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通、母线故障保护支路 400c 的单向导通开关 420c 导通、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 关断，电流开始通过换向支路 201-20n 转移至分断支路 300 的单向分断开关 310。

第二步：当所有通流支路 101-10n 的电流接近于零时，控制所有通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 分闸。

第三步：当所有通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 分开至绝缘电压位置时，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 导通，电流转移至分断支路 300 的非线性电阻 320 并下降至零，分闸成功并结束分闸操作。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下，当第一公共母线接地故障时，多端口混合式直流断路器无法完成母线隔离操作，将启动失灵后备保护并控制母线故障保护支路 400c 的第二快速机械开关 410c 闭合。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下，由于多端口混合式直流断路器正常运行模式下母线差动保护不会动作，若此时进行分闸操作则母线差动保护会动作，直流断路器中止分闸操作以启动后备失灵保护。

图 11 是本申请实施例的一种接通于直流电网系统负极时的多端口混合式直流断路器第六拓扑图。

相比于图 1 实施例，本实施例增加了一条母线故障保护支路 400d 和一条辅助耗能支路 500b。

母线故障保护支路 400d 包括串联连接的第二快速机械开关 410d 和单向导通开关 420d，第二快速机械开关 410 连接于第二公共母线，单向导通开关 420d 连接于所述第一公共母线，母线故障保护支路 400d 的中间点连接于直流母线，单向导通开关 420d 的导通方向为直流母线指向第一公共母线。辅助耗能支路 500b 包括串联连接的二极管 510b 和线性电阻 520b。

辅助耗能支路 500b 的一端连接于第一公共母线，另一端连接于大地或金属回线，二极管 510b 的阳极指向所述第一公共母线。此外，通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 的分断电流方向指向端口。本实施例多端口混合式直流断路器的工作模式包括正常运行模式、分闸模式、合闸模式和母线故障保护模式。

多端口混合式直流断路器在正常运行模式下，每条通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 和单向换流开关 121-12n 均处于导通状态，分断支路 300 的单向分断开关 310 处于关断状态，母线故障保护支路 400d 的第二快速机械开关 410d 和单向导通开关 420d 均处于关断状态。

多端口混合式直流断路器在分闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要切除时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 关断，电流开始通过换向支路 201-20n 转移至分断支路 300 的单向分断开关 310。

第二步：当所有通流支路 101-10n 的电流接近于零时，控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分闸。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 分开至绝缘电压位置时，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断、所有通流支路的单向换流开关 121-12n 导通，第  $P_k$  端口的电流转移至分断支路 300 的非线性电阻 320 和辅助耗能支路 500b 的线性电阻 520b 中并逐渐下降至零、非第  $P_k$  端口的电流恢复至各自的通流支路中，分闸成功并结束分闸操作。

多端口混合式直流断路器在合闸模式下，当多端口混合式直流断路器所连接的第  $P_k$  端口需要接入时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通。

第二步：若未合于故障，则控制第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 闭合；若合于故障，则控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸失败并结束合闸操作。

第三步：当第  $P_k$  端口的通流支路 10k 的第一快速机械开关 11k 处于合位后，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断，合闸成功并结束合闸操作。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下，当直流母线接地故障时，动作过程如下。

第一步：控制分断支路 300 的单向分断开关 310 导通、母线故障保护支路 400d 的单向导通开关 420d 导通、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 关断，电流开始通过换向支路 201-20n 转移至分断支路 300 的单向分断开关 310。

第二步：当所有通流支路 101-10n 的电流接近于零时，控制所有通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 分闸。

第三步：当所有通流支路 101-10n 的第一快速机械开关 111-11n 分开至绝缘电压位置时，控制分断支路 300 的单向分断开关 310 关断、所有通流支路 101-10n 的单向换流开关 121-12n 导通，电流转移至分断支路 300 的非线性电阻 320 并下降至零，分闸成功并结束分闸操作。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下，当第一公共母线接地故障时，多端口混合式直流断路器正常运行模式下母线差动保护不会动作，若此

时进行分闸操作则母线差动保护会动作，直流断路器中止分闸操作并启动后备失灵保护。

多端口混合式直流断路器在母线故障保护模式下，当第二公共母线接地故障时，由于多端口混合式直流断路器无法完成母线隔离操作，控制母线故障保护支路 400d 的第二快速机械开关 410d 闭合以失灵后备保护。

图 1-图 11 中，第一快速机械开关 111-11n 包括串联连接的至少一个机械开关断口，二极管组 211-21n, 221-22n, 510 包括串联连接的至少一个二极管。单向换流开关 121-12n 包括串联连接的至少一个第一开关半导体器件，单向分断开关 310 包括串联连接的至少一个第二开关半导体器件，其中，第一开关半导体器件和第二开关半导体器件可以相应包括 IGBT、IEGT、IGCT、MOSFET 中的一种或组合。

需要说明的是，所述第一开关半导体器件是指，应用于单向换流开关和单向分断开关的串联组件，第二开关半导体器件是指，应用于单向导通开关的串联组件，即分别为开关半导体器件，其数量和分布位置根据实际电路结构确定，第一开关半导体器件和第二开关半导体器件均为泛指，并不是对其数量和位置上的限定，其仅仅用于指示不同类别的开关半导体器件。

第一二极管和第二二极管仅仅为对其分布位置上的不同限定，不对其种类和数量作出限定，其实际均为二极管。

单向导通开关 420d 或 420c 包括串联连接的至少一个二极管和串联连接的至少一个第三开关半导体器件，二极管和第三开关半导体器件相互串联连接。第三开关半导体器件包括 SCR、IGBT、IEGT、IGCT、MOSFET 的一种或组合。此外，非线性电阻工程中通常采用避雷器实现。

图 12 是本申请一实施例的多端口混合式直流断路器的分断开关示意图。在本实施例中，该分断开关可以包括串联连接的多个单向分断开关 310 和与多个单向分断开关 310 并联连接的非线性电阻 320。

根据本申请实施例的又一个方面，还提供了一种应用前述方法的直流电网系统的故障保护装置，包括多端口混合式直流断路器。

根据本申请实施例的又一个方面，还提供了一种应用前述方法的直流电网系统，包括前述的故障保护装置。

以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合，为使描述简洁，未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。

以上所述实施例仅表达了本申请的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本发明的保护范围。因此，发明专利的保护范围应以所附权

利要求为准。

# 权 利 要 求 书

1、一种多端口混合式直流断路器，包括：

至少两条通流支路，其中，所述至少两条通流支路的每一者均包括串联连接的第一快速机械开关和单向换流开关，所述至少两条通流支路的一端相互连接并构成直流母线，所述至少两条通流支路的每一者的所述单向换流开关的分断电流方向相同；

至少两条换向支路，其中，所述至少两条换向支路的每一者均包括同向串联连接的二极管上桥臂和二极管下桥臂，所述至少两条通流支路的另一端相应地连接于对应的换向支路的二极管上桥臂和二极管下桥臂之间的中间点，以构成端口；以及

分断支路，所述分断支路包括并联连接的单向分断开关和非线性电阻，其中，所述分断支路和所述至少两条换向支路相互并联连接并在并联连接的两端分别构成第一公共母线和第二公共母线，所述分断支路的所述单向分断开关的分断电流方向为所述第一公共母线指向所述第二公共母线的方向，所述至少两条换向支路的所述二极管上桥臂的阴极均连接于所述第一公共母线，以及所述换向支路的所述二极管下桥臂的阳极均连接于所述第二公共母线。

2、如权利要求 1 所述的多端口混合式直流断路器，还包括：

母线故障保护支路，包括第二快速机械开关，

其中，所述第二快速机械开关的一端连接于所述直流母线，另一端连接于所述第一公共母线；或

所述第二快速机械开关的一端连接于所述直流母线，另一端连接于所述第二公共母线。

3、如权利要求 1 所述的多端口混合式直流断路器，还包括：

母线故障保护支路，包括串联连接的第二快速机械开关和单向导通开关，所述母线故障保护支路的两端分别连接于所述第一公共母线和所述第二公共母线，所述母线故障保护支路的所述第二快速机械开关和所述单向导通开关之间的中间点连接于所述直流母线；以及

其中，所述第二快速机械开关的一端连接于所述第一公共母线，且所述单向导通开关的一端连接于所述第二公共母线，所述单向导通开关的导通方向为所述第二公共母线指向所述直流母线的方向，所述通流支路的所述单向换流开关的分断电流方向为指向所述直流母线的方向；或

所述第二快速机械开关的一端连接于所述第二公共母线，所述单向导通开关的一端连接于所述第一公共母线，所述单向导通开关的导通方向为所述直流母线指向所述第一公共母线的方向，所述通流支路的所述单向换流开关的分断电流方向为指向所述端口的方向。

4、如权利要求 1 所述的多端口混合式直流断路器，其中，

所述单向导通开关包括串联连接的至少一个二极管和串联连接的至少一个第三开关半导体器件，且所述至少一个二极管和所述至少一个第三开关半导体器件相互串联。

5、如权利要求 4 所述的多端口混合式直流断路器，其中，

所述第三开关半导体器件包括 SCR、IGBT、IEGT、IGCT 或 MOSFET 的至少一种。

6、如权利要求 1 至 5 中任一项所述的多端口混合式直流断路器，还包括：辅助耗能支路，包括串联连接的二极管组和线性电阻；以及

其中，当所述第二快速机械开关的一端连接于所述直流母线，另一端连接于所述第一公共母线时，所述辅助耗能支路的一端连接于所述第二公共母线，所述辅助耗能支路的另一端连接于大地或金属回线，其中，所述二极管组的阴极连接于所述第二公共母线；或

当所述第二快速机械开关的一端连接于所述直流母线，另一端连接于所述第二公共母线时，所述辅助耗能支路的一端连接于所述第一公共母线，所述辅助耗能支路的另一端连接于大地或金属回线，所述二极管组的阳极连接于所述第一公共母线。

7、如权利要求 6 所述的多端口混合式直流断路器，其中，所述二极管组包括串联连接的至少一个二极管。

8、如权利要求 1 至 7 中任一项所述的多端口混合式直流断路器，其中，所述第一快速机械开关包括串联连接的至少一个机械开关断口；和/或所述第二快速机械开关包括串联连接的至少一个机械开关断口。

9、如权利要求 1 至 7 中任一项所述的多端口混合式直流断路器，其中，所述单向换流开关包括串联连接的至少一个第一开关半导体器件；和/或所述单向分断开关包括串联连接的至少一个第二开关半导体器件。

10、如权利要求 9 所述的多端口混合式直流断路器，其中，

所述第一开关半导体器件和所述第二开关半导体器件包括 IGBT、IEGT、IGCT 或 MOSFET 中的至少一种。

11、如权利要求 1 所述的多端口混合式直流断路器，其中，

所述二极管上桥臂包括串联连接的至少一个二极管；以及所述二极管下桥臂包括串联连接的至少一个二极管。

12、一种如权利要求 1 至 11 中任一项所述的多端口混合式直流断路器的控制方法，包括：

基于所述多端口混合式直流断路器的工作模式，控制通流支路、换向支路和分断支路的通断，所述工作模式包括正常运行模式、分闸模式和合闸模式。

13、如权利要求 12 所述的方法，其中，所述方法还包括：

所述多端口混合式直流断路器处于所述正常运行模式下时，控制每条所述通流支路处于导通状态，所述分断支路处于关断状态；以及

当所述多端口混合式直流断路器还包括母线故障保护支路时，所述方法还包括：

所述多端口混合式直流断路器处于所述正常运行模式下时，控制所述母线故障保护支路处于关断状态。

14、如权利要求 12 所述的方法，其中，所述方法还包括：

所述多端口混合式直流断路器处于所述分闸模式下，当所述多端口混合式直流断路器所连接的端口需要切除时，控制所述分断支路的单向分断开关导通、所有所述通流支路的单向换流开关关断，电流开始通过所述换向支路转移至所述分断支路的所述单向分断开关；

当所有所述通流支路的电流接近于零时，控制被需要切除的所述端口所处的通流支路的第一快速机械开关分闸；

当被切除的所述端口所处的所述通流支路的所述第一快速机械开关，分开至绝缘电压位置时，控制所述分断支路的所述单向分断开关关断、所有所述通流支路的所述单向换流开关导通，并控制被需要切除的所述端口的电流，以转移至分断支路的非线性电阻以及辅助耗能支路的线性电阻中，以及当被切除的所述端口的所述电流逐渐下降至零时，除被需要切除的所述端口之外的其他端口的电流恢复至各自的通流支路中，分闸成功并结束分闸操作。

15、如权利要求 12 所述的控制方法，其中，所述方法还包括：

所述多端口混合式直流断路器处于所述合闸模式下，且当与所述多端口混合式直流断路器所连接的端口需要接入时，控制所述分断支路的单向分断开关导通；以及

其中，若所述多端口混合式直流断路器未合于故障，则控制需要接入的所述端口所处的通流支路的第一快速机械开关闭合；以及

当需要接入的所述端口所处的所述通流支路的所述第一快速机械开关处于合位后，控制所述分断支路的单向分断开关关断，合闸成功并结束合闸操作。

16、如权利要求 15 所述的控制方法，其中，所述方法还包括：

若所述多端口混合式直流断路器合于故障，则控制所述分断支路的所述单向分断开关关断，合闸失败并结束合闸操作。

17、如权利要求 12 所述的控制方法，其中，

所述多端口混合式直流断路器还包括母线故障保护支路，所述工作模式还包括：

母线故障保护模式，所述多端口混合式直流断路器处于所述母线故障保护模式下，基于故障类型进行控制，以及所述方法还包括：

所述故障类型为所述直流母线接地故障时，控制所述分断支路的单向分断开关导通、所述母线故障保护支路的单向导通开关导通、所有所述通流支路的单向换流开关关断，电流开始通过所述换向支路转移至所述分断支路的所述单向分断开关；

当所有所述通流支路的电流接近于零时，控制所有所述通流支路的所述第一快速机械开关分闸；以及

当所有所述通流支路的所述第一快速机械开关分开至绝缘电压位置时，控制所述分断支路的所述单向分断开关关断、所有所述通流支路的所述单向换流开关导通，电流转移至所述分断支路的非线性电阻，当所述电流下降至零时，分闸成功并结束分闸操作。

18、如权利要求 17 所述的控制方法，其中，

所述故障类型为所述多端口混合式直流断路器接通于直流电网系统的正极且第一公共母线发生接地故障时，所述多端口混合式直流断路器无法完成母线隔离操作，并控制所述母线故障保护支路的第二快速机械开关闭合以启动失灵后备保护；

所述故障类型为多端口混合式直流断路器接通于直流电网系统的负极且第二公共母线发生接地故障时，所述多端口混合式直流断路器无法完成母线隔离操作，控制所述母线故障保护支路的第二快速机械开关闭合以启动失灵后备保护；

所述故障类型为多端口混合式直流断路器接通于直流电网系统的正极且第二公共母线发生接地故障时，所述多端口混合式直流断路器在所述正常运行模式下的母线差动保护不会动作，若此时进行所述分闸操作则触发所述母线差动保护，且所述多端口混合式直流断路器中止所述分闸操作并启动后备失灵保护；和/或

所述故障类型为多端口混合式直流断路器接通于直流电网系统的负极且第一公共母线发生接地故障时，所述多端口混合式直流断路器在所述正常运行模式下的母线差动保护不会动作，若此时进行所述分闸操作则触发所述母线差动保护，且所述多端口混合式直流断路器中止所述分闸操作并启动后备失灵保护。

19、一种直流电网系统的故障保护装置,包括权利要求 1 至 18 中任一项所述的多端口混合式直流断路器。

20、一种直流电网系统,包括权利要求 19 所述的故障保护装置。

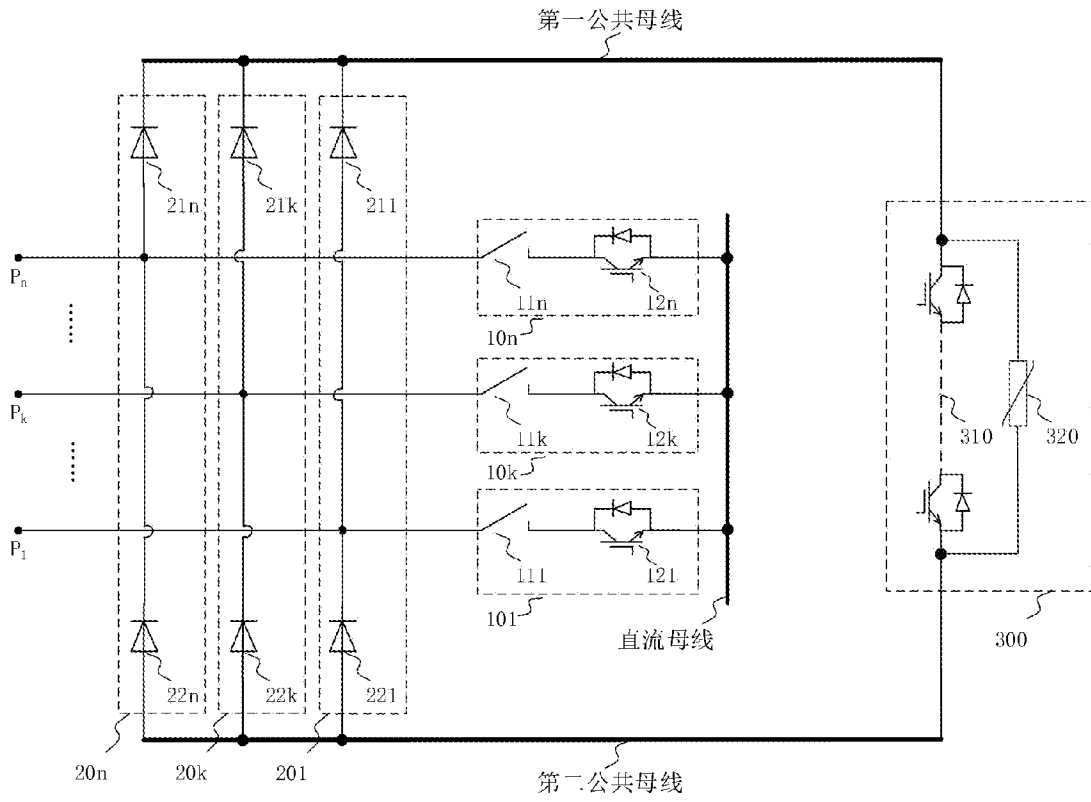


图 1

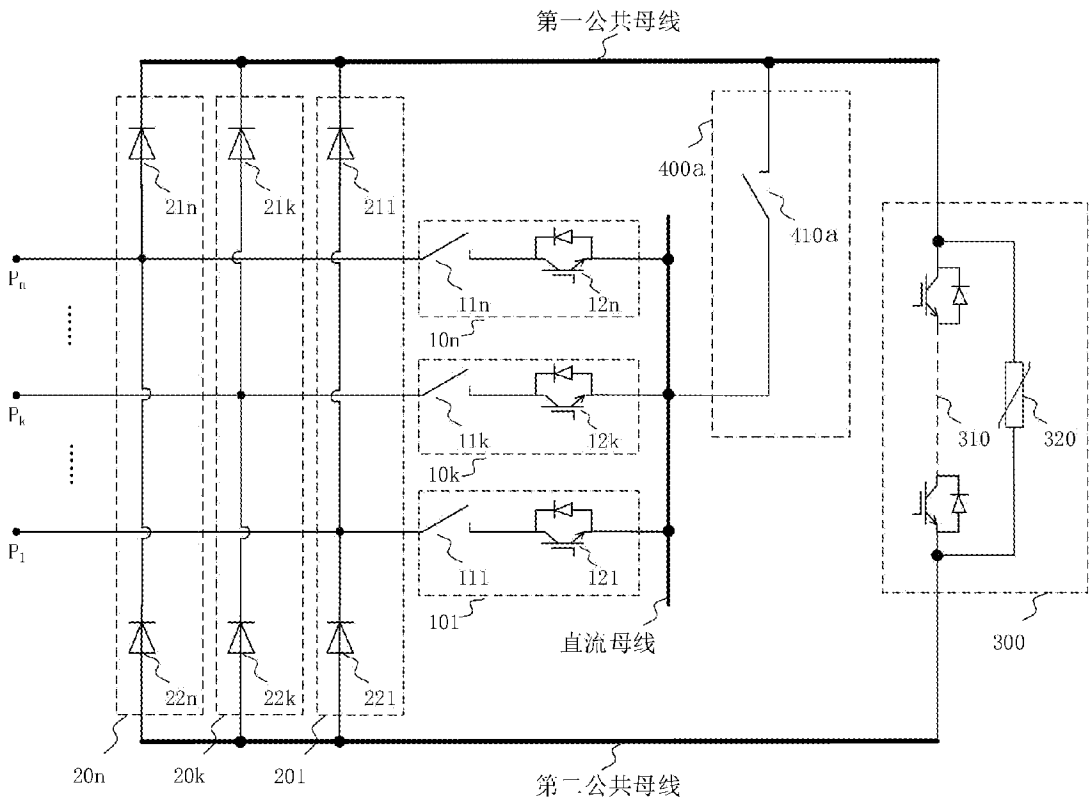


图 2

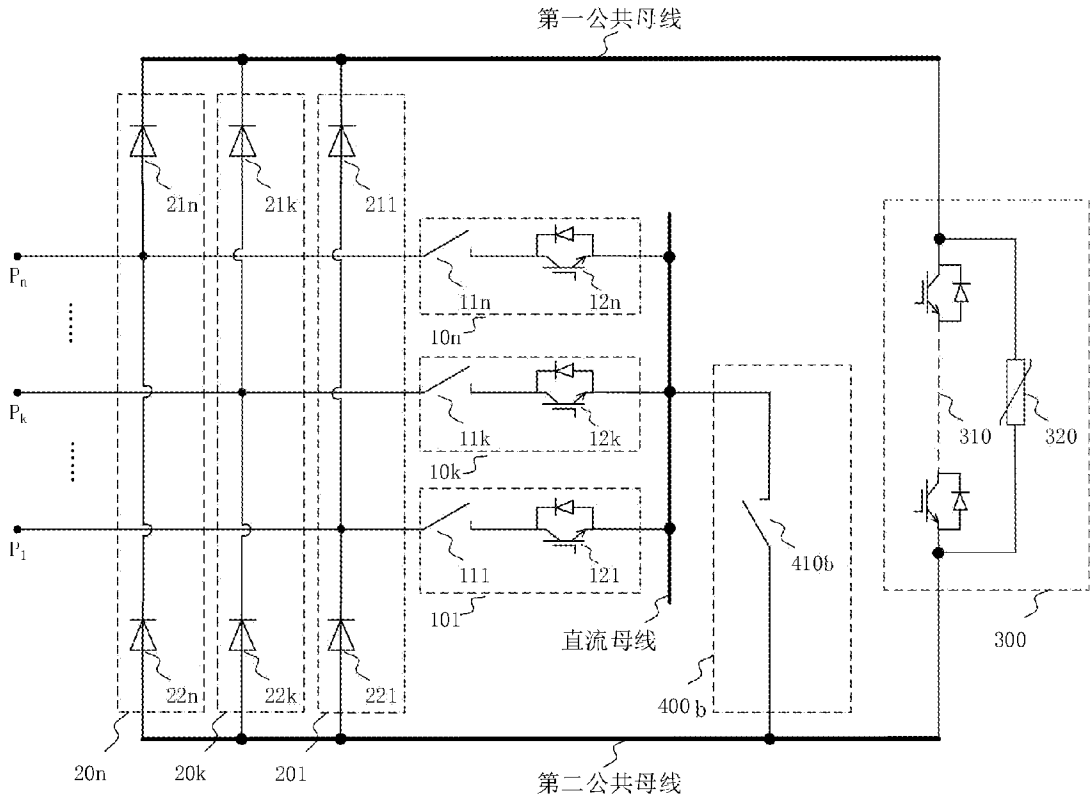


图 3

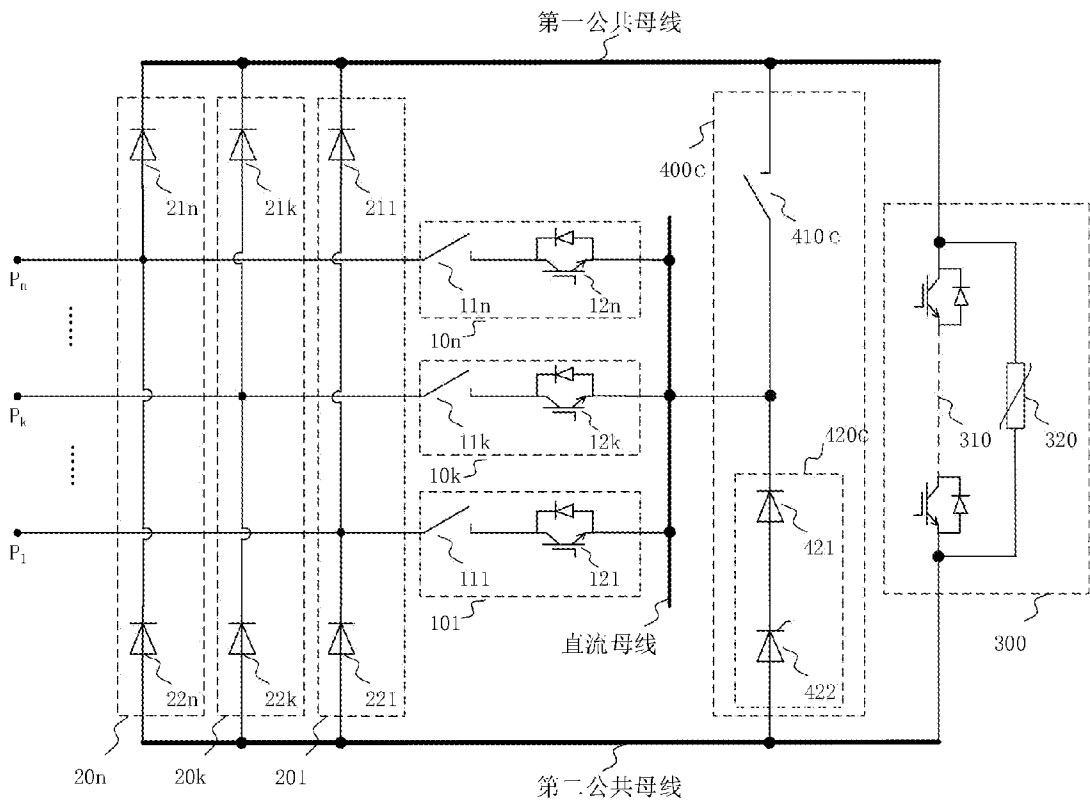


图 4

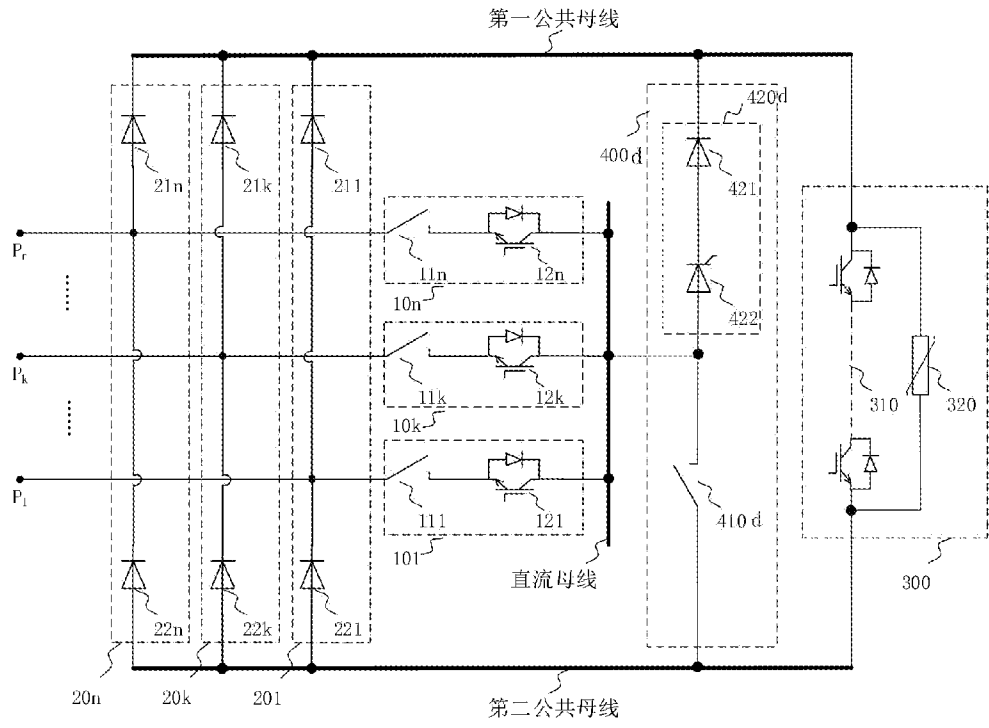


图 5

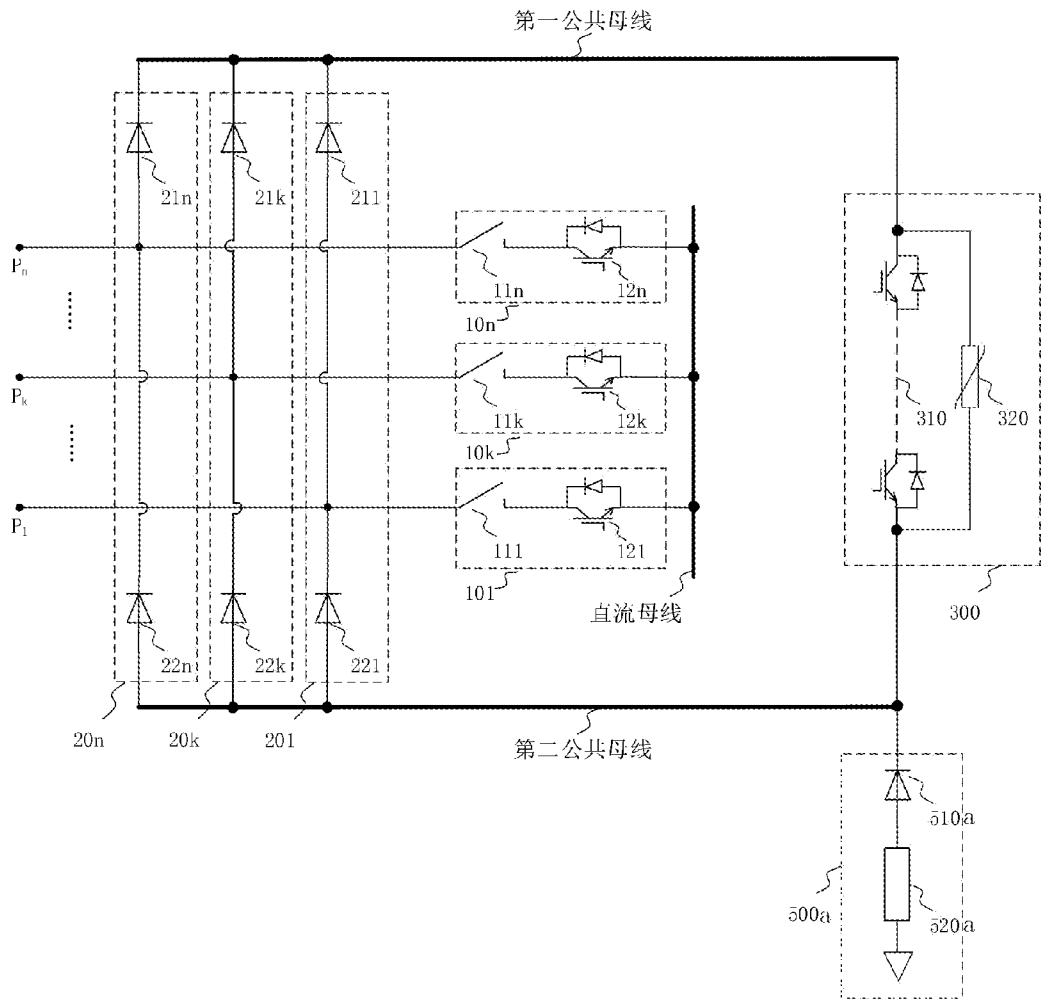


图 6

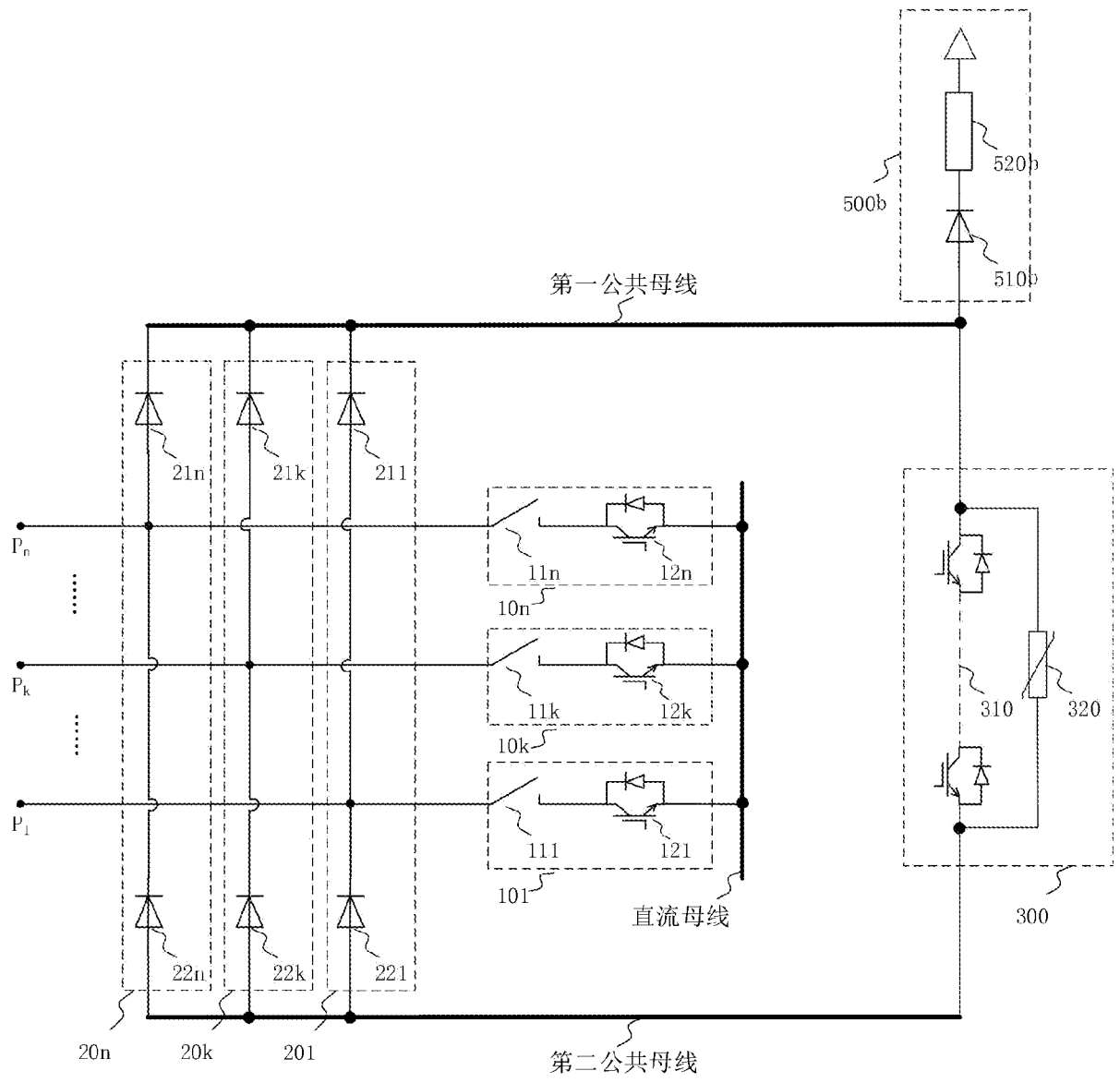


图 7

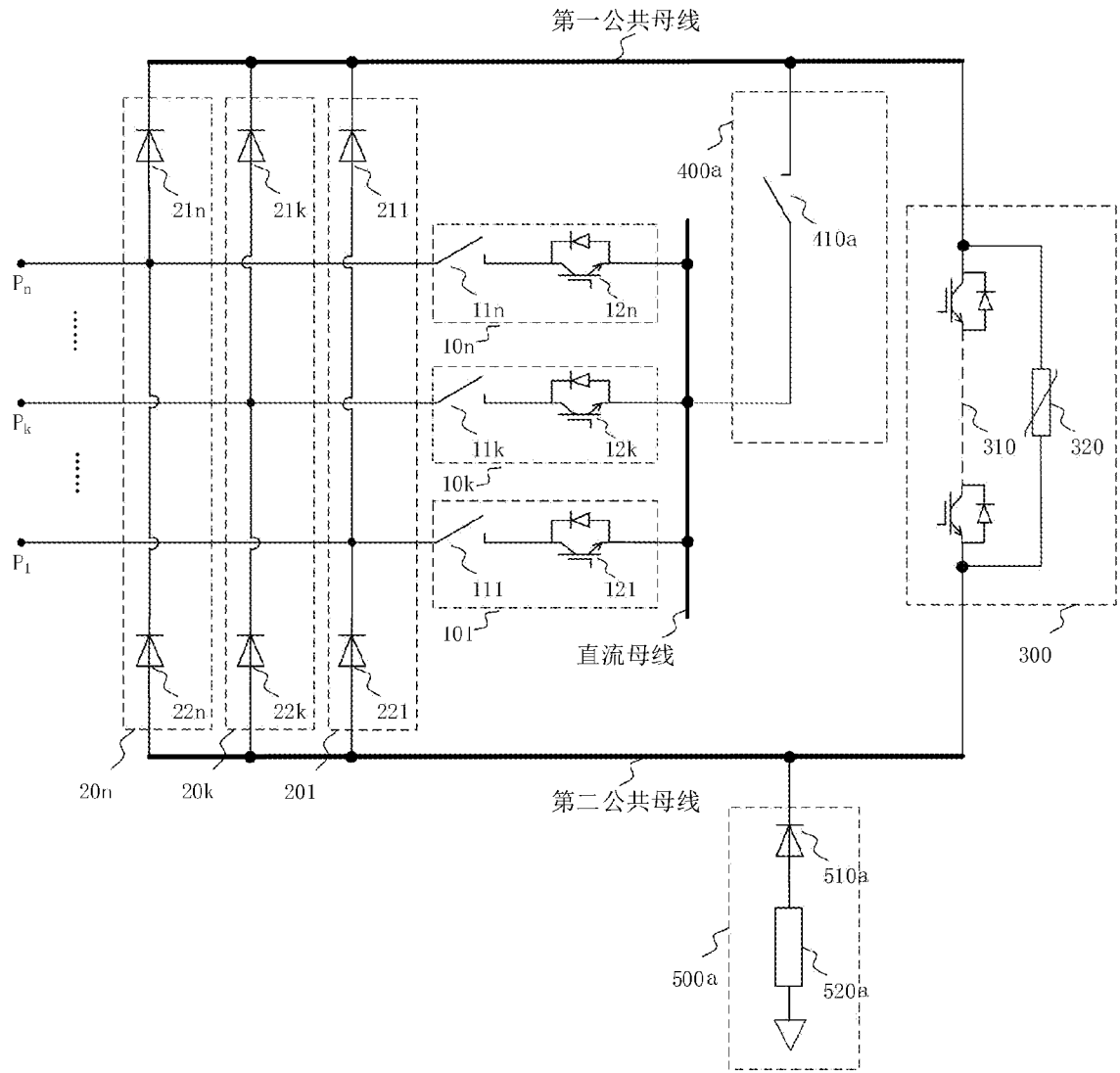


图 8

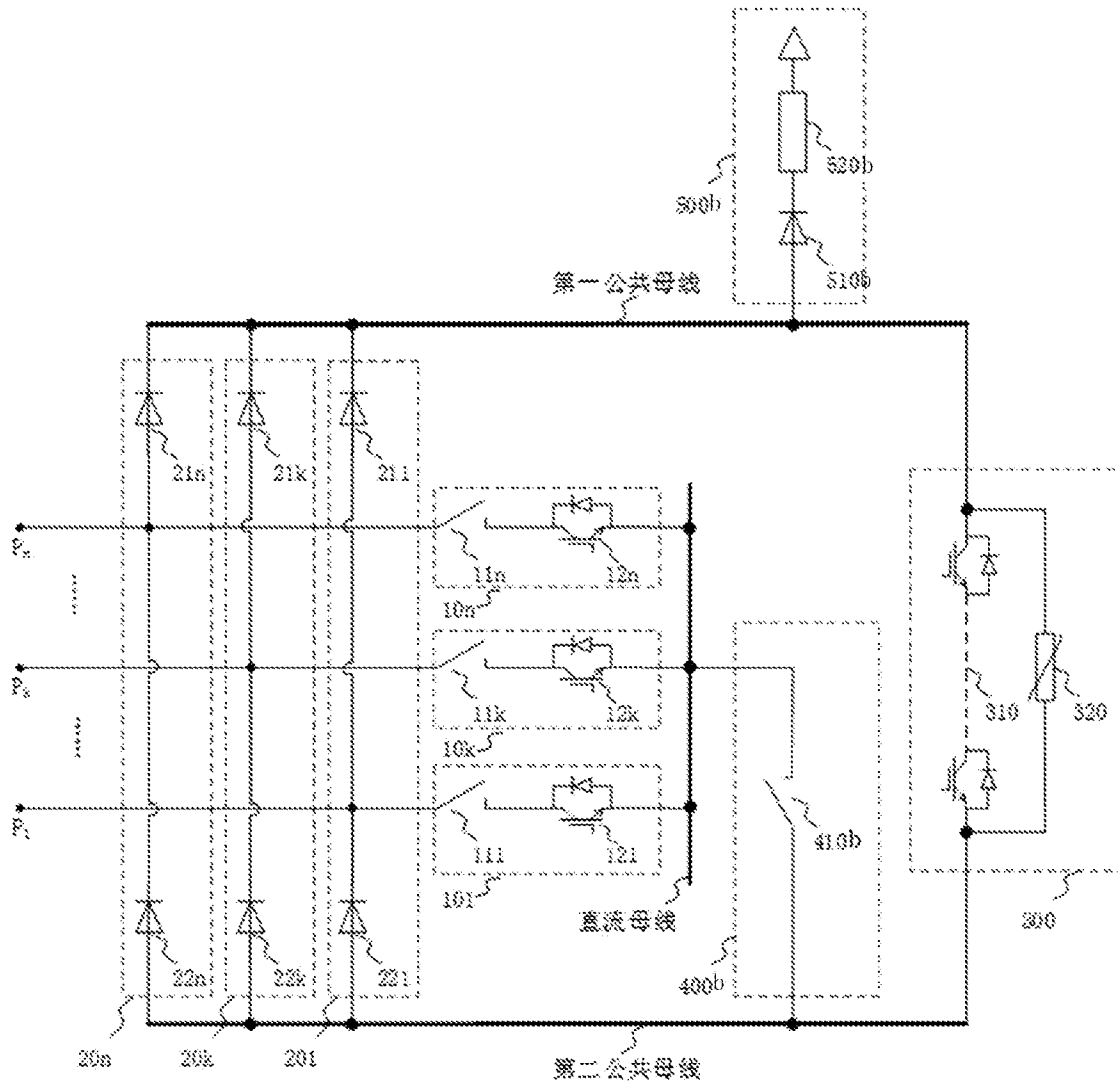


图 9

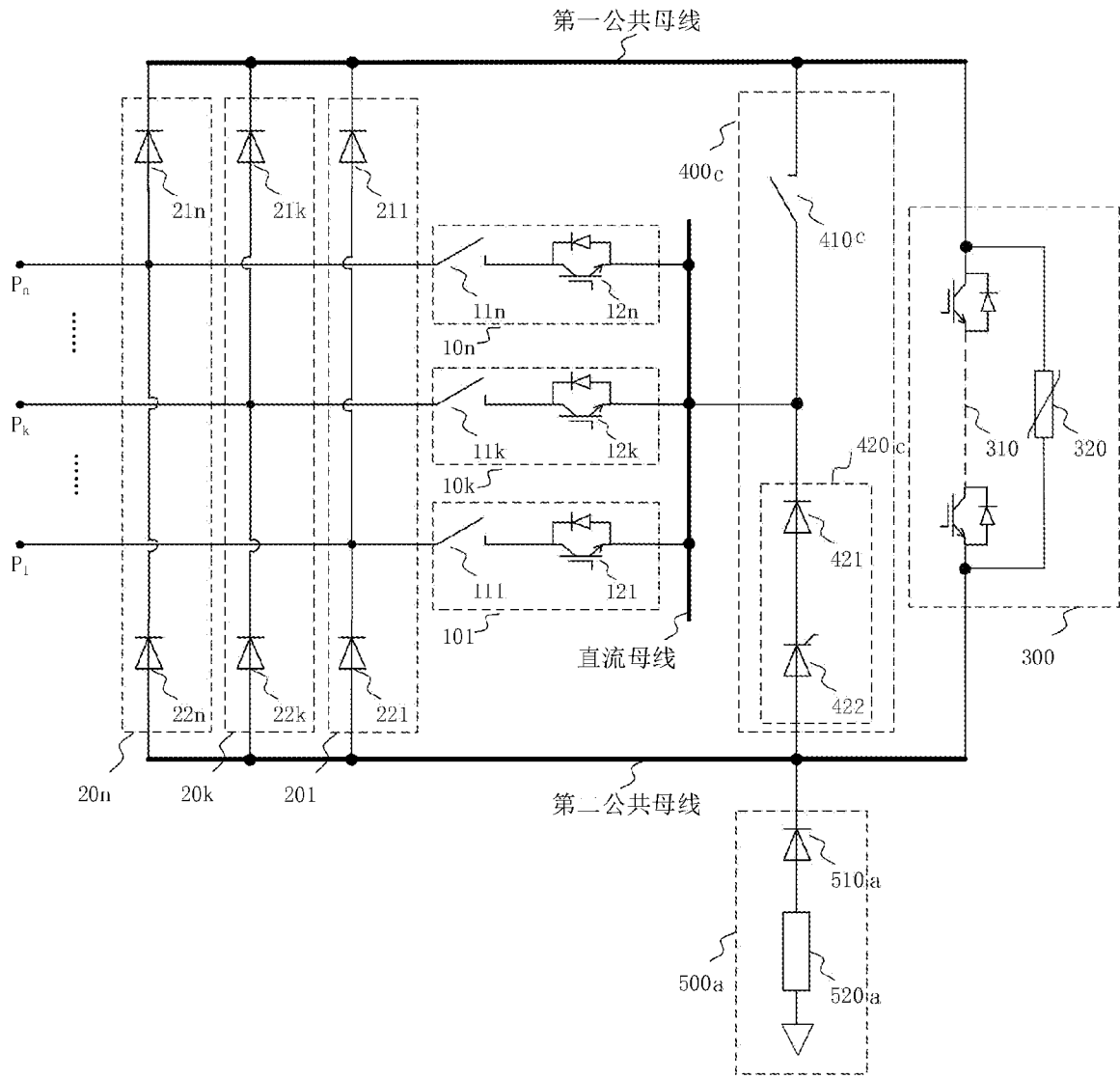


图 10

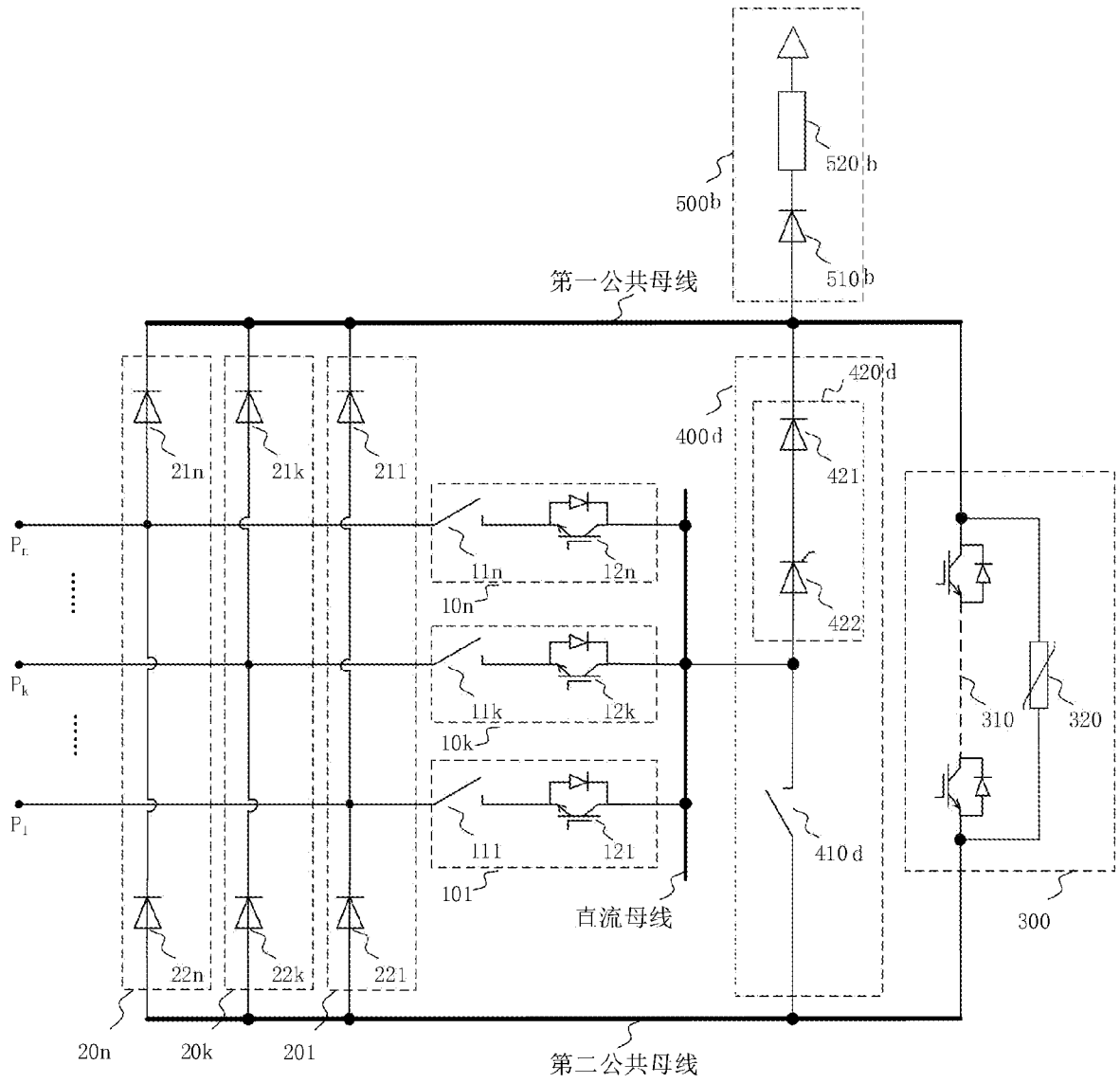


图 11

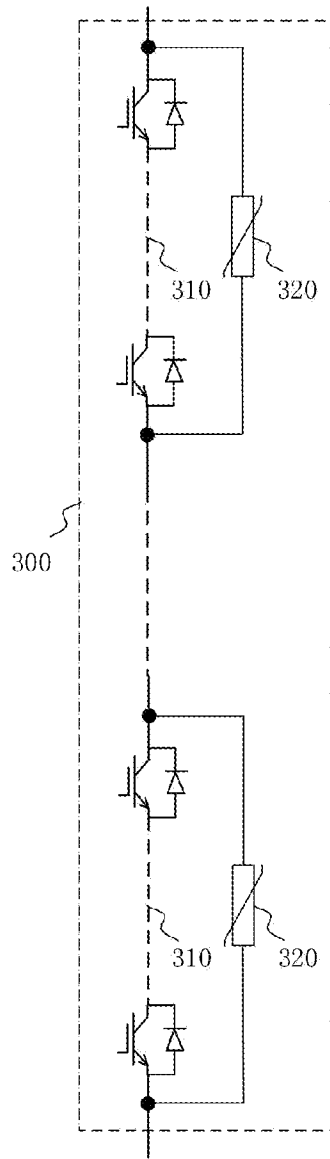


图 12

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/078134

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> H02H 7/26(2006.01)i  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) 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) WPABSC; CNTXT; ENTXTC; CNKI; IEEE: 换向, 直流断路器, 桥, 直流母线, 机械开关, 电阻, 多端口, 故障, 母线, 公共, 母线保护, 接地, 单向, 耗能, 转移支路, 二极管, DC circuit breaker, bridge, bus, common, Fault, mechanical, resistance, Multiport, switch, energy consumption, diode		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 110048377 A (SHANDONG UNIVERSITY et al.) 23 July 2019 (2019-07-23) description, paragraphs 48-99, and figures 1-14	1-20
A	CN 109193625 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 11 January 2019 (2019-01-11) entire document	1-20
A	CN 111509663 A (EXAMING & EXPERIMENTAL CENTER OF EXTRA HIGH VOLTAGE TRANSMISSION COMPANY, CHINA SOUTHERN POWER GRID CO., LTD.) 07 August 2020 (2020-08-07) entire document	1-20
A	JP 2018036054 A (EIRAKU DENKI KK) 08 March 2018 (2018-03-08) entire document	1-20
A	CN 109193580 A (SHANDONG UNIVERSITY) 11 January 2019 (2019-01-11) entire document	1-20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>22 April 2022</b>		Date of mailing of the international search report <b>11 May 2022</b>
Name and mailing address of the ISA/CN <b>China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China</b> Facsimile No. (86-10)62019451		Authorized officer   Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/CN2022/078134**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110048377	A	23 July 2019	CN	110048377	B	30 June 2020
CN	109193625	A	11 January 2019	CN	109193625	B	19 June 2020
CN	111509663	A	07 August 2020	None			
JP	2018036054	A	08 March 2018	None			
CN	109193580	A	11 January 2019	CN	109193580	B	27 December 2019

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/078134

<p><b>A. 主题的分类</b></p> <p>H02H 7/26 (2006.01) i</p> <p>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</p>																				
<p><b>B. 检索领域</b></p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>H02H</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>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))</p> <p>WPABSC;CNTXT;ENTXTC;CNKI;IEEE:换向, 直流断路器, 桥, 直流母线, 机械开关, 电阻, 多端口, 故障, 母线, 公共, 母线保护, 接地, 单向, 耗能, 转移支路, 二极管, DC circuit breaker, bridge, bus, common, Fault, mechanical, resistance, Multiport, switch, energy consumption, diode</p>																				
<p><b>C. 相关文件</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 110048377 A (山东大学 等) 2019年7月23日 (2019 - 07 - 23) 说明书第48-99段, 附图1-14</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109193625 A (华南理工大学) 2019年1月11日 (2019 - 01 - 11) 全文</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 111509663 A (中国南方电网有限责任公司超高压输电公司检修试验中心) 2020年8月7日 (2020 - 08 - 07) 全文</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2018036054 A (EIRAKU DENKI KK) 2018年3月8日 (2018 - 03 - 08) 全文</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109193580 A (山东大学) 2019年1月11日 (2019 - 01 - 11) 全文</td> <td>1-20</td> </tr> </tbody> </table>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 110048377 A (山东大学 等) 2019年7月23日 (2019 - 07 - 23) 说明书第48-99段, 附图1-14	1-20	A	CN 109193625 A (华南理工大学) 2019年1月11日 (2019 - 01 - 11) 全文	1-20	A	CN 111509663 A (中国南方电网有限责任公司超高压输电公司检修试验中心) 2020年8月7日 (2020 - 08 - 07) 全文	1-20	A	JP 2018036054 A (EIRAKU DENKI KK) 2018年3月8日 (2018 - 03 - 08) 全文	1-20	A	CN 109193580 A (山东大学) 2019年1月11日 (2019 - 01 - 11) 全文	1-20
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
X	CN 110048377 A (山东大学 等) 2019年7月23日 (2019 - 07 - 23) 说明书第48-99段, 附图1-14	1-20																		
A	CN 109193625 A (华南理工大学) 2019年1月11日 (2019 - 01 - 11) 全文	1-20																		
A	CN 111509663 A (中国南方电网有限责任公司超高压输电公司检修试验中心) 2020年8月7日 (2020 - 08 - 07) 全文	1-20																		
A	JP 2018036054 A (EIRAKU DENKI KK) 2018年3月8日 (2018 - 03 - 08) 全文	1-20																		
A	CN 109193580 A (山东大学) 2019年1月11日 (2019 - 01 - 11) 全文	1-20																		
<p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p>																				
<p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“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)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” 同族专利的文件</p>																				
<p>国际检索实际完成的日期</p> <p>2022年4月22日</p>		<p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2022年5月11日</p>																		
<p>ISA/CN的名称和邮寄地址</p> <p>中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088</p> <p>传真号 (86-10)62019451</p>		<p>授权官员</p> <p>王红芬</p> <p>电话号码 (86-27)59371842</p>																		

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/078134

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	110048377	A	2019年7月23日	CN 110048377 B	2020年6月30日
CN	109193625	A	2019年1月11日	CN 109193625 B	2020年6月19日
CN	111509663	A	2020年8月7日	无	
JP	2018036054	A	2018年3月8日	无	
CN	109193580	A	2019年1月11日	CN 109193580 B	2019年12月27日