

(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
2023 年 11 月 16 日 (16.11.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/217218 A1

(51) 国际专利分类号:
H02M 7/162 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/093459

(22) 国际申请日: 2023 年 5 月 11 日 (11.05.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202210519702.5 2022 年 5 月 12 日 (12.05.2022) CN

(71) 申请人: 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)。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)。常州博

瑞电力自动化设备有限公司(NR ELECTRIC POWER ELECTRONICS CO., LTD.) [CN/CN]; 中国江苏省常州市武进区潞城街道五一路 328、398 号, Jiangsu 213000 (CN)。

(72) 发明人: 卢东斌(LU, Dongbin); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。卢宇(LU, Yu); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。李海英(LI, Haiying); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。张庆武(ZHANG, Qingwu); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。周晨(ZHOU, Chen); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。

(74) 代理人: 北京律和信知识产权代理事务所(普通合伙)(BEIJING LAWSING IP FIRM); 中

(54) Title: DUAL-CONVERTER PARALLEL CIRCUIT AND CONTROL METHOD AND DEVICE THEREFOR, AND DIRECT CURRENT POWER TRANSMISSION SYSTEM

(54) 发明名称: 双换流器并联电路及其控制方法和装置、直流输电系统

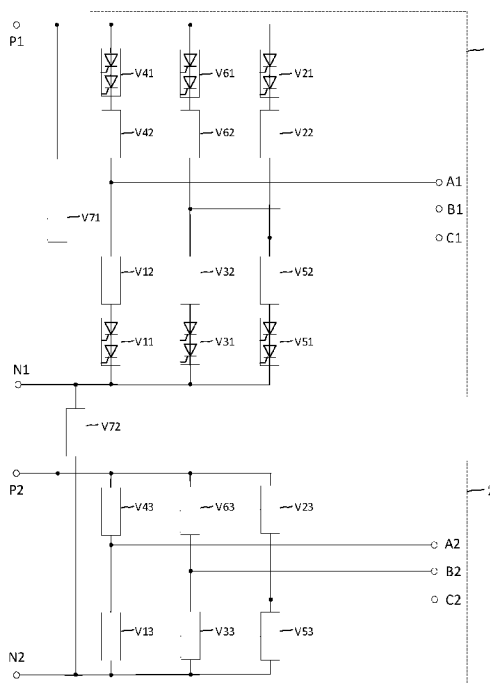


图 1

(57) Abstract: The present application provides a dual-converter parallel circuit and a control method and device therefor, and a direct current power transmission system. The dual-converter parallel circuit comprises a first converter, a second converter and a connecting circuit. The first converter comprises three first upper bridge arms and three first lower bridge arms, and each first upper bridge arm and each first lower bridge arm both comprise a first semi-controlled valve and a first fully-controlled valve which are connected in series.

国北京市海淀区知春路6号锦秋国际大厦
A座2008室, Beijing 100089 (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,
CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ,
IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN,
MU, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, 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, ME, 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))。

The second converter comprises three second upper bridge arms and three second lower bridge arms, and each second upper bridge arm and each second lower bridge arm both comprise a second valve. The connecting circuit comprises a third valve and a fourth valve.

(57) 摘要: 本申请提供双换流器并联电路及其控制方法和装置、直流输电系统。所述双换流器并联电路包括第一换流器、第二换流器和连接电路, 第一换流器包括三个第一上桥臂和三个第一下桥臂, 每个第一上桥臂和第一下桥臂均包括串联连接的第一半控阀和第一全控阀; 第二换流器包括三个第二上桥臂和三个第二下桥臂, 每个第二上桥臂和第二下桥臂均包括第二阀; 连接电路包括第三阀和第四阀。

双换流器并联电路及其控制方法和装置、直流输电系统

技术领域

本申请涉及高压直流输电技术领域，具体涉及双换流器并联电路及其控制方法和装置、直流输电系统。

背景技术

高压、特高压直流输电容量大，现有技术采用十二脉动电路结构的电网换相换流器，每个十二脉动电路有两个三相六桥臂电路串联，每个桥臂采用单个大容量晶闸管串联，由于晶闸管不能控制关断，现有的换流器结构存在换相失败问题。同时，大容量晶闸管相比小容量晶闸管并联方案成本高。柔性直流输电和混合直流输电的电压源换流器采用半桥结构或全桥结构的模块化多电平换流器，虽然无换相失败问题，但是 IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor，绝缘栅双极型晶体管）器件容量小，成本高、损耗大，且电压源换流器存在振荡风险。现有的高压直流输电、柔性直流输电、混合直流输电技术都存在着一些缺陷。

随着接入的高压、特高压直流输电系统逐渐增多，已在多个区域电网形成了多馈入直流输电系统，当发生多条直流同时换相失败时，可能对该区域交流电网安全运行构成威胁。随着新能源发电占比增高，交流电压支撑能力下降，对直流输电系统的稳定运行和抑制换相失败能力提出更高要求。在现有电网换相换流器基础上增加辅助电路来解决换相失败问题成为近几年直流输电技术研究的重要方向，但是，现有采用辅助电路的换流器拓扑结构复杂、成本高、可靠性低，很难满足工程要求。

发明内容

本申请实施例提供一种双换流器并联电路，包括第一换流器、第二换流器、连接电路，所述第一换流器为三相六桥臂电路，包括三个第一上桥臂和三个第一下桥臂，每个所述第一上桥臂和所述第一下桥臂均包括串联连接的第一半控阀和第一全控阀，所述第一半控阀包括半控开关，所述第一全控阀包括单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种；所述第二换流器为三相六桥臂电路，包括三个第二上桥臂和三个第二下桥臂，每个所述第二上桥臂和所述第二下桥臂均包括第二阀；所述连接电路包括第三阀和第四阀，所述第二阀、第三阀、第四阀包括不控开关、半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，其中，所述第三阀连接所述第一换流器的直流母线正极或第一上桥臂的第一半控阀的第一分段点和所述第二换流器的直流母线正极，所述第四阀连接所述第一换流器的直流母线负极或第一下桥臂的第一半控阀的第二分段

点和所述第二换流器的直流母线负极；或者所述第三阀连接所述第一换流器的直流母线正极或第一上桥臂的第一半控阀的第一分段点和所述第二换流器的直流母线负极，所述第四阀连接所述第一换流器的直流母线负极或第一下桥臂的第一半控阀的第二分段点和所述第二换流器的直流母线正极。

根据一些实施例，所述第一分段点按照耐压水平将所述第一上桥臂的第一半控阀分为两段，所述第二分段点按照耐压水平将所述第一下桥臂的第一半控阀分为两段，两段的耐压比取值范围为 0.2~5 之间。

根据一些实施例，当所述第三阀连接所述第一分段点时，每个第一上桥臂的所述第一半控阀的第一分段点分别与一个所述第三阀连接；当所述第四阀连接所述第二分段点时，每个第一下桥臂的所述第一半控阀的第二分段点分别与一个所述第四阀连接。

根据一些实施例，所述第一半控阀、第一全控阀、第二阀、第三阀、第四阀两端分别并联避雷器。

根据一些实施例，所述第一全控阀两端并联第二半控阀，所述第二半控阀包括半控开关。

根据一些实施例，所述连接电路还包括第五阀，或第一电容器和第一电阻器的并联电路，或所述并联电路和所述第五阀串联的电路，连接所述第二换流器的直流母线正极和直流母线负极，所述第一电容器包括串联连接的至少一个电容元件。

根据一些实施例，所述连接电路还包括第六阀和第七阀，所述第六阀连接所述第一换流器的直流母线正极和所述第二换流器的直流母线正极，所述第七阀连接所述第一换流器的直流母线负极和所述第二换流器的直流母线负极；所述第五阀、第六阀、第七阀包括不控开关、半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀、串联连接的全控开关和快速隔离开关的至少一种，所述第五阀、第六阀、第七阀、第一电容器两端分别并联避雷器或/和第二半控阀。

根据一些实施例，所述连接电路还包括避雷器，或者第二电容器和第二电阻器的并联电路，所述避雷器与所述第三阀或/和所述第四阀串联连接；第二电容器和第二电阻器的并联电路，与所述第三阀或/和所述第四阀串联连接。

根据一些实施例，所述第一换流器和所述第二换流器的交流输出端按相并联连接或通过隔离开关或/和刀闸按相并联连接，并连接到同一台换流变压器，所述第一换流器和所述第二换流器的直流母线输入端通过隔离开关或/和刀闸按正负极并联连接。

本申请实施例还提供一种高压直流输电系统，包括如上所述的双换流器并联电路。

本申请实施例还提供一种所述双换流器并联电路的控制方法，包括：控制所述第一换流器运行在逆变状态；如果所述第二阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制所述第二换流器运行在逆变状态或闭锁状态；如果所述第三阀、第四阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制所述第三阀、第四阀运行在闭锁状态；当发生故障可能引起所述第一换流器的换相

桥臂换相失败时,包括:如果所述第二阀、第三阀、第四阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC单阀的至少一种,控制与所述换相桥臂对应的第二换流器的相应桥臂及所述第三阀或所述第四阀导通;当所述双换流器并联电路还包括第五阀且所述第五阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC单阀的至少一种,控制所述第五阀导通;控制所述换相桥臂的第一全控阀关断,使所述换相桥臂的电流转移到所述第二换流器的相应桥臂及所述第三阀或所述第四阀;所述换相桥臂的第一半控阀关断后,如果所述第二阀、第三阀、第四阀包括单向全控开关、双向全控开关、MMC单阀的至少一种,控制所述第二换流器的相应桥臂、所述第三阀或所述第四阀关断,如果所述第二阀、第三阀、第四阀只包括不控开关、半控开关的至少一种,当所述双换流器并联电路还包括第五阀且所述第五阀包括单向全控开关、双向全控开关、MMC单阀的至少一种,控制所述第五阀关断,实现了电流从所述换相桥臂所在相转移到另一相,所述第二换流器的相应桥臂为与所述第一换流器换相桥臂连接相同极性直流母线和相同相的桥臂。

根据一些实施例,当所述双换流器并联电路还包括第六阀、第七阀时,所述控制方法还包括:在控制所述换相桥臂的第一全控阀关断时,闭锁所述第二换流器,控制所述第六阀或所述第七阀关断;所述可能引起所述第一换流器的换相桥臂换相失败的工况消失后,控制所述第六阀或/和所述第七阀导通。

根据一些实施例,当所述双换流器并联电路还包括第五阀时,所述控制方法还包括:控制所述第二换流器运行在整流状态或空载加压状态,为所述第五阀的驱动电路供电;当所述第五阀两端并联第二半控阀,所述第五阀过压、过流或故障时,控制所述第二半控阀导通;当控制所述第五阀关断,所述第五阀过压、过流或故障时,控制所述换相桥臂的第一半控阀和第一全控阀导通。

根据一些实施例,当所述双换流器并联电路还包括第六阀和第七阀时,所述控制方法还包括:控制所述第六阀和所述第七阀导通,使得所述第一换流器和所述第二换流器共用直流母线,使得所述第二换流器运行在逆变状态;当所述第一全控阀、第二阀、第三阀、第四阀、第六阀或第七阀两端并联第二半控阀时,所述第一全控阀、第二阀、第三阀、第四阀、第六阀或第七阀过压、过流或故障时,控制所述第二半控阀导通;当控制所述第二换流器的相应桥臂、第三阀或第四阀、第六阀或第七阀关断,所述第二换流器的相应桥臂、第三阀或第四阀、第六阀或第七阀过压、过流或故障时,控制所述换相桥臂的第一半控阀和第一全控阀导通。

本申请实施例还提供一种如上所述的双换流器并联电路的控制装置,包括检测单元和控制单元,所述检测单元用于检测所述双换流器并联电路的运行参数和故障;所述控制单元基于所述双换流器并联电路的运行参数,控制所述第一换流器运行在逆变状态;如果所述第二阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC单阀的至少一种,控制所述第二换流器运行在逆变状态或闭锁状态;如果所述第三阀、第四阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC单阀的至少一种,控制所述第三阀、第四阀运行在闭锁状态,当发生故障可能引起所述第一换流器的换相桥臂换相失败时,如果所

述第二阀、第三阀、第四阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种,所述控制单元还控制与所述换相桥臂对应的第二换流器的相应桥臂及所述第三阀或所述第四阀导通,当所述双换流器并联电路还包括第五阀且所述第五阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种,控制所述第五阀导通;控制所述换相桥臂的第一全控阀关断,使所述换相桥臂的电流转移到所述第二换流器的相应桥臂及所述第三阀或所述第四阀,所述换相桥臂的第一半控阀关断后,如果所述第二阀、第三阀、第四阀包括单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种,控制所述第二换流器的相应桥臂、所述第三阀或所述第四阀关断,如果所述第二阀、第三阀、第四阀只包括不控开关、半控开关的至少一种,当所述双换流器并联电路还包括第五阀且所述第五阀包括单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种,控制所述第五阀关断,实现了电流从所述换相桥臂所在相转移到另一相,所述第二换流器的相应桥臂为与所述第一换流器换相桥臂连接相同极性直流母线和相同相的桥臂。

本申请实施例提供的技术方案,第二换流器的桥臂电路及连接电路与第一换流器的桥臂电路形成并联电路,利用第一换流器换相的第一全控阀关断来实现电流转移到第二换流器的相应桥臂及连接电路,通过关断第二换流器的相应桥臂或连接电路的全控开关实现了基于半控器件的第一换流器可控换相,有效抑制换相失败发生,同时第一换流器和第二换流器组成的双换流器能够并联运行,提高了双换流器的容量和增加了系统的冗余度。

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 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之一。

图 2 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之二。

图 3 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之三。

图 4 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之四。

图 5 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之五。

图 6 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之六。

图 7a-7k 是本申请实施例提供的阀结构示意图。

图 8 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之七。

图 9 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之八。

图 10 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之九。

图 11 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之十。

图 12 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之十一。

图 13 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之十二。

图 14 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之十三。

图 15 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之十四。

图 16 是本申请实施例的一种双换流器并联电路的控制方法流程示意图。

图 17a 是本申请实施例的一种双换流器并联电路的单相接地故障试验结果；图 17b 是本申请实施例的一种双换流器并联电路的三相接地故障试验结果。

图 18a 是本申请实施例的另一种双换流器并联电路的单相接地故障试验结果；图 18b 是本申请实施例的另一种双换流器并联电路的三相接地故障试验结果。

图 19 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路的控制装置示意图。

具体实施方式

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，本申请的权利要求、说明书及附图中的术语“第一”、“第二”、“第三”、“第四”、“第五”、“第六”、“第七”等用于区别不同对象，而并不用于描述特定顺序。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。

图 1 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之一。如图 1 所示，双换流器并联电路包括第一换流器 1、第二换流器 2 和连接电路。

第一换流器 1 包括三相六个桥臂，为三个第一上桥臂和三个第一下桥臂，每个第一上桥臂和第一下桥臂均包括串联连接的第一半控阀和第一全控阀。A 相第一上桥臂包括串联连接的第一半控阀 V41 和第一全控阀 V42，B 相第一上桥臂包括串联连接的第一半控阀 V61 和第一全控阀 V62，C 相第一上桥臂包括串联连接的第一半控阀 V21 和第一全控阀 V22。A 相第一下桥臂包括串联连接的第一半控阀 V11 和第一全控阀 V12，B 相第一下桥臂包括串联连接的第一半控阀 V31 和第一全控阀 V32，C 相第一下桥臂包括串联连接的第一半控阀 V51 和第一全控阀 V52。

第二换流器 2 包括三相六个桥臂，为三个第二上桥臂和三个第二下桥臂，每个第二上桥臂和第二下桥臂均包括第二阀。A 相第二上桥臂包括第二阀 V43，B 相第二上桥臂包括第二阀 V63，C 相第二上桥臂包括第二阀 V23，A 相第二下桥臂包括第二阀 V13，B 相第二下桥臂包括第二阀 V33，C 相第二下桥臂包括第二阀 V53。

连接电路包括第三阀 V71 和第四阀 V72。第三阀 V71 连接第一换流器 1 的直流母线正极 P1 和第二换流器 2 的直流母线正极 P2，第四阀 V72 连接第一换流器 1 的直流母线负极 N1 和第二换流器 2 的直流母线负极 N2，如图 1 所示。

根据一些实施例，第三阀 V71 连接第一换流器 1 的直流母线正极 P1 和第二换流器 2 的直流母线负极 N2，第四阀 V72 连接第一换流器 1 的直流母线负极 N1 和第二换流器 2 的直流母线正极 P2，如图 2 所示。

图 3 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之三。如图 3 所示，双换

流器并联电路包括第一换流器 1、第二换流器 2 和连接电路。

第一换流器 1 包括三相六个桥臂，为三个第一上桥臂和三个第一下桥臂，每个第一上桥臂和第一下桥臂均包括串联连接的第一半控阀和第一全控阀。A 相第一上桥臂包括串联连接的第一半控阀 V41 和第一全控阀 V42，B 相第一上桥臂包括串联连接的第一半控阀 V61 和第一全控阀 V62，C 相第一上桥臂包括串联连接的第一半控阀 V21 和第一全控阀 V22。A 相第一下桥臂包括串联连接的第一半控阀 V11 和第一全控阀 V12，B 相第一下桥臂包括串联连接的第一半控阀 V31 和第一全控阀 V32，C 相第一下桥臂包括串联连接的第一半控阀 V51 和第一全控阀 V52。

第二换流器 2 包括三相六个桥臂，为三个第二上桥臂和三个第二下桥臂，每个第二上桥臂和第二下桥臂均包括第二阀。A 相第二上桥臂包括第二阀 V43，B 相第二上桥臂包括第二阀 V63，C 相第二上桥臂包括第二阀 V23，A 相第二下桥臂包括第二阀 V13，B 相第二下桥臂包括第二阀 V33，C 相第二下桥臂包括第二阀 V53。

连接电路包括第三阀 V71、V81、V91 和第四阀 V72、V82、V92。第三阀 V71 连接第一半控阀 V41 的第一分段点和第二换流器 2 的直流母线正极 P2。第三阀 V81 连接第一半控阀 V61 的第一分段点和第二换流器 2 的直流母线正极 P2。第三阀 V91 连接第一半控阀 V21 的第一分段点和第二换流器 2 的直流母线正极 P2。第四阀 V72 连接第一半控阀 V11 的第二分段点和第二换流器 2 的直流母线负极 N2。第四阀 V82 连接第一半控阀 V31 的第二分段点和第二换流器 2 的直流母线负极 N2。第四阀 V92 连接第一半控阀 V51 的第二分段点和第二换流器 2 的直流母线负极 N2。

根据一些实施例，第三阀 V71 连接第一半控阀 V41 的第一分段点和第二换流器 2 的直流母线负极 N2，第三阀 V81 连接第一半控阀 V61 的第一分段点和第二换流器 2 的直流母线负极 N2，第三阀 V91 连接第一半控阀 V21 的第一分段点和第二换流器 2 的直流母线负极 N2，第四阀 V72 连接第一半控阀 V11 的第二分段点和第二换流器 2 的直流母线正极 P2，第四阀 V82 连接第一半控阀 V31 的第二分段点和第二换流器 2 的直流母线正极 P2，第四阀 V92 连接第一半控阀 V51 的第二分段点和第二换流器 2 的直流母线正极 P2，如图 4 所示。

第二阀、第三阀、第四阀包括不控开关、半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC（Modular Multilevel Converter，模块化多电平换流器）单阀的至少一种，但并不以此为限。

图 5 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之五。如图 5 所示，双换流器并联电路包括第一换流器 1、第二换流器 2 和连接电路。

第一换流器 1 包括三相六个桥臂，为三个第一上桥臂和三个第一下桥臂，每个第一上桥臂和第一下桥臂均包括串联连接的第一半控阀和第一全控阀。A 相第一上桥臂包括串联连接的第一半控阀 V41 和第一全控阀 V42，B 相第一上桥臂包括串联连接的第一半控阀 V61 和第一全控阀 V62，C 相第一上桥臂包括串联连接的第一半控阀 V21 和第一全控阀 V22。A 相第一下桥臂包括串联连接的第一半控阀 V11 和第一全控阀 V12，B 相第一下桥臂包括串联连接的第一半控阀 V31 和第一全控阀 V32，C 相第一下桥臂包括串联连接的第一半控阀 V51 和第一全控阀 V52。

第二换流器 2 包括三相六个桥臂，为三个第二上桥臂和三个第二下桥臂，每个第二上桥臂和第二下桥臂均包括第二阀。A 相第二上桥臂包括第二阀 V43，B 相第二上桥臂包括第二阀 V63，C 相第二上桥臂包括第二阀 V23，A 相第二下桥臂包括第二阀 V13，B 相第二下桥臂包括第二阀 V33，C 相第二下桥臂包括第二阀 V53。

连接电路包括第三阀 V71、第四阀 V72、第五阀 V73。第三阀 V71 连接第一换流器 1 的直流母线正极 P1 和第二换流器 2 的直流母线负极 N2，第四阀 V72 连接第一换流器 1 的直流母线负极 N1 和第二换流器 2 的直流母线正极 P2，第五阀 V73 连接第二换流器 2 的直流母线正极 P2 和直流母线负极 N2，如图 5 所示。

根据一些实施例，连接电路还包括第六阀 V74、第七阀 V75。第六阀 V74 连接第一换流器 1 的直流母线正极 P1 和第二换流器 2 的直流母线正极 P2，第七阀 V75 连接第一换流器 1 的直流母线负极 N1 和第二换流器 2 的直流母线负极 N2，如图 6 所示。

根据一些实施例，第五阀 V73 还可以用第一电容器和第一电阻器的并联电路代替，或者用第一电容器和第一电阻器的并联电路再和第五阀 V73 的串联电路代替。其中，第一电容器包括串联连接的至少一个电容元件，但并不以此为限。可选地，为了控制第一电容器的充放电时间，还串联电阻、电感元件。

第二阀、第三阀、第四阀、第五阀、第六阀、第七阀包括不控开关、半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，但并不以此为限。

根据一些实施例，所述全控开关包括串联连接的至少一个全控器件，所述全控器件包括 IGCT (Integrated Gate Commutated Thyristors, 集成门极换流晶闸管)、IGBT、GTO (Gate Turn-Off Thyristor, 门极可关断晶闸管)、MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, 金属-氧化物半导体场效应晶体管) 的至少一种；所述半控开关包括串联连接的至少一个半控器件，所述半控器件包括晶闸管；所述不控开关包括串联连接的至少一个不控器件，所述不控器件包括二极管。

根据一些实施例，一种不控开关包括串联连接的二极管 3，如图 7a 所示，不能控制开通和关断，具有单向通流能力和单向阻断电压能力。

根据一些实施例，一种半控开关包括串联连接的晶闸管 4，如图 7b 所示，只控制开通，不能控制关断，具有单向通流能力和双向阻断电压能力。可选地，半控开关由晶闸管 4 和二极管 3 串联或并联组成。

根据一些实施例，一种单向全控开关包括串联连接的 IGBT 模块，IGBT 模块包括 IGBT5 和与之反并联的二极管 3，如图 7c 所示，只单向控制开通和关断，具有双向通流和单向阻断电压能力。

根据一些实施例，一种单向全控开关包括串联连接的 IGCT6，如图 7d 所示，只单向控制开通和关断，具有单向通流和双向阻断电压能力。

根据一些实施例，一种单向全控开关包括串联连接的 IGBT 模块和二极管 3，如图 7e 所示，只单向控制开通和关断，具有单向通流和双向阻断电压能力。

根据一些实施例，一种单向全控开关包括 IGCT6 和晶闸管 4 反并联后串联电路，如图 7f 所示，双向控制开通和单向控制关断，具有双向通流和双向阻断电压能力。

根据一些实施例，一种双向全控开关包括串联连接的正向 IGBT 模块和反向 IGBT 模块，如图 7g 所示，能双向控制开通和关断，具有双向通流能力和双向阻断电压能力。

根据一些实施例，一种双向全控开关包括正向 IGCT6 和反向 IGCT6 并联后的串联电路，如图 7h 所示，能双向控制开通和关断，具有双向通流能力和双向阻断电压能力。

根据一些实施例，一种 MMC 单阀包括串联连接的子模块，子模块包括两个 IGBT 模块和电容 7，如图 7i 所示，两个 IGBT 模块的连接点作为子模块的正极，其中一个 IGBT 模块的另一端作为子模块的负极，子模块串联连接，只单向控制开通和关断，具有双向通流能力和单向阻断电压能力。

根据一些实施例，一种 MMC 单阀包括串联连接的子模块，子模块包括四个 IGBT 模块和电容 7，如图 7j 所示，IGBT 模块两两串联连接后并联连接，与电容 7 也并联连接，IGBT 模块两两串联连接的连接点分别作为子模块的正极、负极，子模块串联连接，能双向控制开通和关断，具有双向通流能力和双向阻断电压能力。

根据一些实施例，第五阀、第六阀、第七阀包括串联连接的全控开关和快速隔离开关，如图 7k 所示，全控开关和快速隔离开关 8 串联结构。快速隔离开关 8 提供足够的耐压水平，减少第五阀、第六阀、第七阀的通态损耗和全控开关的耐压水平。需要指出的是，图 7c、图 7e、图 7g、图 7i、图 7j 和图 7k 中的 IGBT 可选用 IGCT、GTO、MOSFET。

根据一些实施例，晶闸管 4 配置相应的触发电路；IGBT5 配置相应的驱动电路和缓冲电路；IGCT6 配置相应的驱动电路和缓冲电路。缓冲电路至少由电容，或电阻和电容串联电路组成。

根据一些实施例，第一半控阀、第一全控阀、第二阀、第三阀、第四阀、第五阀、第六阀、第七阀、第一电容器两端可以分别并联避雷器或/和第二半控阀。如果第一半控阀分段，在两段的两端可以分别并联避雷器。如果第五阀包括半控开关、全控开关，且二者是串联关系，则半控开关、全控开关分别并联避雷器。

根据一些实施例，第一全控阀两端可以并联第二半控阀。

根据一些实施例，第三阀 V71 还串联避雷器后再与第一换流器 1 的直流母线正极 P1、第二换流器 2 的直流母线正极 P2 或第二换流器 2 的直流母线负极 N2 连接，第四阀 V72 还串联避雷器后再与第一换流器 1 的直流母线负极 N1、第二换流器 2 的直流母线负极 N2 或第二换流器 2 的直流母线正极 P2 连接。如图 8 所示，第一换流器 1 的第一半控阀 V11、V21、V31、V41、V51 和 V61 分别并联第一避雷器 F11、F21、F31、F41、F51 和 F61，第一换流器 1 的第一全控阀 V12、V22、V32、V42、V52 和 V62 分别并联第二避雷器 F12、F22、F32、F42、F52 和 F62。第二换流器 2 的第二阀 V13、V23、V33、V43、V53 和 V63 分别并联第三避雷器 F13、F23、F33、F43、F53 和 F63。第三阀 V71 并联第四避雷器 F71，第四阀 V72 并联第五避雷器 F72，第三阀 V71 串联第六避雷器 F76，第四阀 V72 串联第七避雷器 F77。第二避雷器 F12、F22、F32、F42、F52 和 F62 的耐压水平高于第六避雷器 F76 和第七避雷器 F77。需要指出的是，第六避雷器 F76 和第七避雷器 F77 并不是必须串联。如果第一半控阀分为两段，则第一避雷器也要分为两段，并且分别和第一半控阀两段并联。

根据一些实施例，第三阀 V71 还串联第二电容器和第二电阻器的并联电路后再与第一换流器 1 的直流母线正极 P1、第二换流器 2 的直流母线正极 P2 或第二换流器 2 的直流母线负极 N2 连接，第四阀 V72 还串联第二电容器和第二电阻器的并联电路后再与第一换流器 1 的直流母线负极 N1、第二换流器 2 的直流母线负极 N2 或第二换流器 2 的直流母线正极 P2 连接。

根据一些实施例，第一换流器 1 和第二换流器 2 的交流输出端可按相并联连接，即

A1 和 A2 连接, B1 和 B2 连接, C1 和 C2 连接, 并分别连接到同一台换流变压器的三相。

图 9 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之八。如图 9 所示, 双换流器并联电路包括第一换流器 1、第二换流器 2 和连接电路。

在图 1 实施例基础上, 根据一些实施例, 第一换流器 1 和第二换流器 2 的交流输出端按相并联连接, 即 A1 和 A2 连接, B1 和 B2 连接, C1 和 C2 连接, 并连接到同一台换流变压器的三相, 如图 9 所示。

根据一些实施例, 第一半控阀 V11、V21、V31、V41、V51 和 V61 分别包括半控开关, 由晶闸管 4 串联组成, 第一全控阀 V12、V22、V32、V42、V52 和 V62 分别包括单向全控开关, 由 IGBT 模块串联组成, 第二阀 V13、V23、V33、V43、V53 和 V63 分别包括半控开关, 由晶闸管 4 串联组成, 第三阀 V71 包括单向全控开关, 由 IGBT 模块串联组成, 第四阀 V72 包括单向全控开关, 由 IGBT 模块串联组成。

根据一些实施例, 第一换流器 1 的第一半控阀 V11、V21、V31、V41、V51 和 V61 分别并联第一避雷器 F11、F21、F31、F41、F51 和 F61, 第一换流器 1 的第一全控阀 V12、V22、V32、V42、V52 和 V62 分别并联第二避雷器 F12、F22、F32、F42、F52 和 F62。第二换流器 2 的第二阀 V13、V23、V33、V43、V53 和 V63 分别并联第三避雷器 F13、F23、F33、F43、F53 和 F63。第三阀 V71 并联第四避雷器 F71, 第四阀 V72 并联第五避雷器 F72, 如图 9 所示。

图 10 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之九。如图 10 所示, 双换流器并联电路包括第一换流器 1、第二换流器 2 和连接电路。

在图 1 实施例基础上, 根据一些实施例, 第一换流器 1 和第二换流器 2 的交流输出端按相并联连接, 即 A1 和 A2 连接, B1 和 B2 连接, C1 和 C2 连接, 并连接到同一台换流变压器的三相, 如图 10 所示。

根据一些实施例, 第一半控阀 V11、V21、V31、V41、V51 和 V61 分别包括半控开关, 由晶闸管 4 串联组成, 第一全控阀 V12、V22、V32、V42、V52 和 V62 分别包括单向全控开关, 由 IGBT 模块串联组成, 第二阀 V13、V23、V33、V43、V53 和 V63 分别包括不控开关, 由二极管 3 串联组成, 第三阀 V71 包括半控开关 V711 和单向全控开关 V712, 半控开关 V711 由晶闸管 4 串联组成, 单向全控开关 V712 由 IGBT 模块串联组成, 第四阀 V72 包括串联连接的半控开关 V721 和单向全控开关 V722, 半控开关 V721 由晶闸管 4 串联组成, 单向全控开关 V722 由 IGBT 模块串联组成。需要指出的是, 第三阀 V71 或第四阀 V72 的半控开关作用为提供正向耐压, 可用单向全控开关进行替代, 因此, 第三阀 V71 或第四阀 V72 也可全部由单向全控开关组成。

根据一些实施例, 第一换流器 1 的第一半控阀 V11、V21、V31、V41、V51 和 V61 分别并联第一避雷器 F11、F21、F31、F41、F51 和 F61, 第一换流器 1 的第一全控阀 V12、V22、V32、V42、V52 和 V62 分别并联第二避雷器 F12、F22、F32、F42、F52 和 F62。第二换流器 2 的第二阀 V13、V23、V33、V43、V53 和 V63 分别并联第三避雷器 F13、F23、F33、F43、F53 和 F63。第三阀 V71 的半控开关 V711 并联避雷器 F711, 单向全控开关 V712 并联第四避雷器 F71, 第四阀 V72 的半控开关 V721 并联避雷器 F721, 单向全控开关 V722 并联第五避雷器 F72, 如图 10 所示。

图 11 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之十。

如图 11 所示, 与图 5 实施例相同的是, 第三阀 V71 连接第一换流器 1 的直流母线

正极 P1 和第二换流器 2 的直流母线负极 N2，第四阀 V72 连接第一换流器 1 的直流母线负极 N1 和第二换流器 2 的直流母线正极 P2。第五阀 V73 连接第二换流器 2 的直流母线正极 P2 和直流母线负极 N2。

第一半控阀 V11、V21、V31、V41、V51 和 V61 分别包括半控开关，由晶闸管 4 串联组成，第一全控阀 V12、V22、V32、V42、V52 和 V62 分别包括单向全控开关，由 IGBT 模块串联组成，第二阀 V13、V23、V33、V43、V53 和 V63 分别包括半控开关，由晶闸管 4 串联组成，第三阀 V71 包括不控开关，由二极管 3 串联组成，第四阀 V72 包括不控开关，由二极管 3 串联组成，第五阀 V73 包括单向全控开关，由 IGBT 模块串联组成。

在图 5 实施例基础上，第一换流器 1 的第一半控阀 V11、V21、V31、V41、V51 和 V61 分别并联第一避雷器 F11、F21、F31、F41、F51 和 F61，第一换流器 1 的第一全控阀 V12、V22、V32、V42、V52 和 V62 分别并联第二避雷器 F12、F22、F32、F42、F52 和 F62。第二换流器 2 的第二阀 V13、V23、V33、V43、V53 和 V63 分别并联第三避雷器 F13、F23、F33、F43、F53 和 F63。第三阀 V71 并联第四避雷器 F71，第四阀 V72 并联第五避雷器 F72，第五阀 V73 并联第八避雷器 F73。

第一换流器 1 和第二换流器 2 的交流输出端按相并联连接，即 A1 和 A2 连接，B1 和 B2 连接，C1 和 C2 连接，并连接到同一台换流变压器的三相。

图 12 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之十一。

如图 12 所示，与图 5 实施例相同的是，第三阀 V71 连接第一换流器 1 的直流母线正极 P1 和第二换流器 2 的直流母线负极 N2，第四阀 V72 连接第一换流器 1 的直流母线负极 N1 和第二换流器 2 的直流母线正极 P2。第五阀 V73 连接第二换流器 2 的直流母线正极 P2 和直流母线负极 N2。

第一半控阀 V11、V21、V31、V41、V51 和 V61 分别包括半控开关，由晶闸管 4 串联组成，第一全控阀 V12、V22、V32、V42、V52 和 V62 分别包括单向全控开关，由 IGBT 模块串联组成，第二阀 V13、V23、V33、V43、V53 和 V63 分别包括不控开关，由二极管 3 串联组成，第三阀 V71 包括不控开关，由二极管 3 串联组成，第四阀 V72 包括不控开关，由二极管 3 串联组成，第五阀 V73 包括半控开关 V731 和单向全控开关 V732，半控开关 V731 由晶闸管 4 串联组成，单向全控开关 V732 由 IGBT 模块串联组成。需要指出的是，第五阀 V73 也可全部由单向全控开关组成。

在图 5 实施例基础上，第一换流器 1 的第一半控阀 V11、V21、V31、V41、V51 和 V61 分别并联第一避雷器 F11、F21、F31、F41、F51 和 F61，第一换流器 1 的第一全控阀 V12、V22、V32、V42、V52 和 V62 分别并联第二避雷器 F12、F22、F32、F42、F52 和 F62。第二换流器 2 的第二阀 V13、V23、V33、V43、V53 和 V63 分别并联第三避雷器 F13、F23、F33、F43、F53 和 F63。第三阀 V71 并联第四避雷器 F71，第四阀 V72 并联第五避雷器 F72，第五阀 V73 的半控开关 V731 并联避雷器 F731，第五阀 V73 的单向全控开关 V732 并联第八避雷器 F73。

第一换流器 1 和第二换流器 2 的交流输出端按相并联连接，即 A1 和 A2 连接，B1 和 B2 连接，C1 和 C2 连接，并连接到同一台换流变压器的三相。

图 13 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之十二。

如图 13 所示,与图 11 实施例相同的是,第三阀 V71 连接第一换流器 1 的直流母线正极 P1 和第二换流器 2 的直流母线负极 N2,第四阀 V72 连接第一换流器 1 的直流母线负极 N1 和第二换流器 2 的直流母线正极 P2。第五阀 V73 连接第二换流器 2 的直流母线正极 P2 和直流母线负极 N2。

在图 11 实施例基础上,第一全控阀 V12、V22、V32、V42、V52 和 V62 两端分别并联第二半控阀 V14、V24、V34、V44、V54 和 V64。第一半控阀 V11、V21、V31、V41、V51 和 V61 分别包括半控开关,由晶闸管 4 串联组成,第一全控阀 V12、V22、V32、V42、V52 和 V62 分别包括单向全控开关,由 IGBT 模块串联组成,第二阀 V13、V23、V33、V43、V53 和 V63 分别包括半控开关,由晶闸管 4 串联组成,第三阀 V71 包括半控开关,由晶闸管 4 串联组成,第四阀 V72 包括半控开关,由晶闸管 4 串联组成,第五阀 V73 包括单向全控开关,由 IGBT 模块串联组成,第二半控阀 V14、V24、V34、V44、V54 和 V64 分别包括半控开关,由晶闸管 4 串联组成。

根据一些实施例,第二阀还可以包括不控开关,由二极管 3 串联组成。

图 14 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之十三。

如图 14 所示,与图 6 实施例相同的是,第三阀 V71 连接第一换流器 1 的直流母线正极 P1 和第二换流器 2 的直流母线负极 N2,第四阀 V72 连接第一换流器 1 的直流母线负极 N1 和第二换流器 2 的直流母线正极 P2。第五阀 V73 连接第二换流器 2 的直流母线正极 P2 和直流母线负极 N2。第六阀 V74 连接第一换流器 1 的直流母线正极 P1 和第二换流器 2 的直流母线正极 P2,第七阀 V75 连接第一换流器 1 的直流母线负极 N1 和第二换流器 2 的直流母线负极 N2。

在图 6 实施例基础上,第五阀 V73 并联第八避雷器 F73,第六阀 V74 并联第九避雷器 F74,第七阀 V75 并联第十避雷器 F75。第一换流器 1 和第二换流器 2 的交流输出端通过隔离开关或/和刀闸 S13、S14、S15、S23、S24 和 S25 按相并联连接,并连接到同一台换流变压器的三相。第一换流器 1 的直流母线输入端通过隔离开关或/和刀闸 S10 和 S20 和第二换流器 2 的直流母线输入端通过隔离开关或/和刀闸 S12 和 S21 按正负极并联连接。第一半控阀 V11、V21、V31、V41、V51 和 V61 分别包括半控开关,由晶闸管 4 串联组成,第一全控阀 V12、V22、V32、V42、V52 和 V62 分别包括单向全控开关,由 IGBT 模块串联组成,第二阀 V13、V23、V33、V43、V53 和 V63 分别包括半控开关,由晶闸管 4 串联组成,第三阀 V71 包括半控开关,由晶闸管 4 串联组成,第四阀 V72 包括半控开关,由晶闸管 4 串联组成,第五阀 V73 包括单向全控开关,由 IGBT 模块串联组成,第六阀 V74 包括单向全控开关,由 IGBT 模块串联组成,第七阀 V75 包括单向全控开关,由 IGBT 模块串联组成。

当第一换流器 1 需要检修时,控制隔离开关或/和刀闸 S13、S14、S15、S10 和 S20 分开,隔离第一换流器 1;当第二换流器 2 需要检修时,控制隔离开关或/和刀闸 S23、S24、S25、S12 和 S21 分开,隔离第二换流器 2。

图 15 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路示意图之十四。

如图 15 所示,与图 5 实施例相同的是,第三阀 V71 连接第一换流器 1 的直流母线正极 P1 和第二换流器 2 的直流母线负极 N2,第四阀 V72 连接第一换流器 1 的直流母线负极 N1 和第二换流器 2 的直流母线正极 P2。

如图 15 所示,在图 5 实施例基础上,第五阀被第一电容器 C11 和第一电阻器 R11 的并联电路代替。

第一电容器 C11 和第一电阻器 R11 的并联电路串联连接第二换流器 2 的直流母线正极 P2 和直流母线负极 N2。第一电容器 C11 并联第十一避雷器 F78。第一换流器 1 和第二换流器 2 的交流输出端按相并联连接, 即 A1 和 A2 连接, B1 和 B2 连接, C1 和 C2 连接, 并分别连接到同一台换流变压器的三相。第一半控阀 V11、V21、V31、V41、V51 和 V61 分别包括半控开关, 由晶闸管 4 串联组成, 第一全控阀 V12、V22、V32、V42、V52 和 V62 分别包括单向全控开关, 由 IGBT 模块串联组成, 第二阀 V13、V23、V33、V43、V53 和 V63 分别包括半控开关, 由晶闸管 4 串联组成, 第三阀 V71 包括单向全控开关, 由 IGCT6 和晶闸管 4 并联后再串联组成, 第四阀 V72 包括单向全控开关, 由 IGCT6 和晶闸管 4 并联后再串联组成, 第一电容器 C11 由电容元件串联组成。

本申请实施例还提供一种高压直流输电系统, 高压直流输电系统包括如上所述的双换流器并联电路。

图 16 是本申请实施例提供的一种双换流器并联电路的控制方法流程示意图, 包括以下流程。

在 S110 中, 控制第一换流器运行在逆变状态。

在逆变状态中, 第一换流器的第一全控阀在第一半控阀关断后再关断。如图 9、图 10、图 11、图 12、图 13、图 14 和图 15 所示, 以 A 相第一上桥臂为例, 第一换流器 1 的第一全控阀 V42 在第一半控阀 V41 关断后再关断。

如果第一全控阀还并联第二半控阀, 当第一全控阀过压、过流或故障时, 控制第二半控阀导通。如图 13 所示, 以 A 相第一上桥臂为例, 当第一全控阀 V42 过压、过流或故障时, 控制第二半控阀 V44 导通。

在 S120 中, 如果第二阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种, 控制第二换流器运行在逆变状态或闭锁状态。

如图 9、图 11、图 13、图 14 和图 15 所示, 第二阀包括半控开关, 当第二换流器的直流侧有电源, 交流输出端通过换流变压器连接交流系统时, 第二换流器运行在逆变状态; 否则, 第二换流器运行在闭锁状态。如图 10 和图 12 所示, 第二换流器运行在不控状态。

在 S130 中, 如果所述第三阀、第四阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种, 控制第三阀、第四阀运行在闭锁状态。

需要指出的是, 只有双换流器并联电路还包括第五阀时, 且第五阀为单向全控开关、双向全控开关或 MMC 单阀时, 第三阀、第四阀才选用不控开关或半控开关, 当第三阀、第四阀为不控开关时, 第三阀、第四阀运行在不控状态。

如图 9、图 10 和图 15 所示, 第三阀 V71、第四阀 V72 至少包括全控开关, 控制第三阀、第四阀运行在闭锁状态。如图 11 和图 12 所示, 第三阀 V71、第四阀 V72 选用不控开关, 第三阀 V71、第四阀 V72 运行在不控状态。如图 13 和图 14 所示, 第三阀 V71、第四阀 V72 选用半控开关, 控制第三阀、第四阀运行在闭锁状态。

在本实施例中, 第一换流器、第二换流器可独立运行, 也可并联运行。

当双换流器并联电路还包括第五阀时, 如图 11、图 13 和图 14 所示, 控制方法还包括以下 S131。

S131, 控制第二换流器运行在整流状态或空载加压状态, 为第五阀的驱动电路供电。

如图 11、图 13 和图 14 所示, 第二换流器 2 的空载加压状态为第二换流器 2 在直

流侧开路情况下通过控制触发角来实现电压调节并为第五阀 V73 的驱动电路供电，实现高电位取能。

如果第五阀 V73 还并联第二半控阀，当第五阀 V73 过压、过流或故障时，控制第二半控阀导通。

当控制第五阀关断，第五阀过压、过流或故障时，控制换相桥臂的第一半控阀和第一全控阀导通。

当双换流器并联电路还包括第六阀和第七阀时，如图 14 所示，控制方法还包括以下 S132。

S132，控制第六阀和第七阀导通，使得第一换流器和第二换流器共用直流母线，解锁第二换流器，使得第二换流器运行在逆变状态。

如图 14 所示，直流电源从直流母线 P1 和 N1 输入，控制第六阀 V74 和第七阀 V75 导通，使得第一换流器 1 和第二换流器 2 共用直流母线 P1，解锁第二换流器 2，使得第二换流器 2 运行在逆变状态。

如图 16 所示，当发生故障可能引起第一换流器的换相桥臂换相失败时，控制方法还包括以下流程。

在 S140 中，如果第二阀、第三阀、第四阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制第二换流器的相应桥臂及第三阀或第四阀导通，第二换流器的相应桥臂为与第一换流器的换相桥臂连接相同极性直流母线和相同相的桥臂；当双换流器并联电路还包括第五阀且第五阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制第五阀导通。

需要指出的是，控制第二换流器的相应桥臂及第三阀或第四阀导通，为在第二换流器的相应桥臂及第三阀或第四阀施加触发脉冲，第二换流器的相应桥臂及第三阀或第四阀导通有电流还需要第二换流器的相应桥臂及第三阀或第四阀承受使其导通的正向电压。上述换相桥臂为正常运行时向另一桥臂换相的桥臂。

当发生故障可能引起第一换流器的第一上桥臂换相失败时，控制第二换流器的相应上桥臂及第三阀导通。当发生故障可能引起第一换流器的第一下桥臂换相失败时，控制第二换流器的相应下桥臂及第四阀导通。

如图 9、图 10 和图 15 所示，以 A 相第一上桥臂为例，当 A 相第一上桥臂向 B 相第一上桥臂换相时，此时，如果发生故障可能引起第一换流器的 A 相第一上桥臂换相失败时，控制第二换流器的 A 相第二上桥臂及第三阀 V71 导通。以 A 相第一下桥臂为例，当 A 相第一下桥臂向 B 相第一下桥臂换相时，此时，如果发生故障可能引起第一换流器的 A 相第一下桥臂换相失败时，控制第二换流器的 A 相第二下桥臂及第四阀 V72 导通。

上述故障包括双换流器并联电路连接的交流系统故障或直流系统故障，交流系统故障可根据交流电压零序分量增大、交流电压突变、交流电压幅值跌落、交流电压谐波增大、直流电流增大进行判断，直流系统故障可根据直流电压跌落、直流电流增大进行判断，但不以此为限。上述可能引起第一换流器的换相桥臂换相失败根据换相桥臂的第一半控阀的关断时刻、阀侧交流电流和交流电压确定，如果换相桥臂的第一半控阀在正常交流电压下的关断时刻还没有关断，则判断为可能引起第一换流器的换相桥臂换相失败，但不以此为限。

当双换流器并联电路还包括第五阀时，如图 11、图 12、图 13 和图 14 所示，S140

还包括以下流程 S141。

S141, 在控制第二换流器的相应桥臂及第三阀或第四阀导通的同时, 控制第五阀导通。

如图 11、图 12、图 13 和图 14 所示, 以 A 相第一上桥臂为例, 当 A 相第一上桥臂向 B 相第一上桥臂换相时, 此时, 如果发生故障可能引起第一换流器的 A 相第一上桥臂换相失败时, 控制第二换流器的 A 相第二上桥臂及第三阀 V71、第五阀 V73 导通; 以 A 相第一下桥臂为例, 当 A 相第一下桥臂向 B 相第一下桥臂换相时, 此时, 如果发生故障可能引起第一换流器的 A 相第一下桥臂换相失败时, 控制第二换流器的 A 相第二下桥臂及第四阀 V72、第五阀 V73 导通。

在 S150 中, 控制换相桥臂的第一全控阀关断, 使换相桥臂的电流转移到第二换流器的相应桥臂及第三阀或第四阀。

需要指出的是, 控制换相桥臂的第一全控阀关断后, 第二换流器的相应桥臂及第三阀或第四阀才承受使阀导通的正向电压, 第二换流器的相应桥臂及第三阀或第四阀导通有电流。

在发生故障时, 第一换流器的第一全控阀在第一半控阀关断前先关断。如图 9、图 10、图 11、图 12、图 13、图 14 和图 15 所示, 以 A 相第一上桥臂为例, 控制第一换流器 1 的 A 相第一上桥臂的第一全控阀 V42 关断, 使 A 相第一上桥臂的电流转移到第二换流器 2 的 A 相第二上桥臂 V43 及第三阀 V71; 以 A 相第一下桥臂为例, 控制第一换流器 1 的 A 相第一下桥臂的第一全控阀 V12 关断, 使 A 相第一下桥臂的电流转移到第二换流器 2 的 A 相第二下桥臂 V13 及第四阀 V72。

在 S160 中, 换相桥臂的第一半控阀关断后, 如果第二阀、第三阀、第四阀包括单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种, 控制换相桥臂对应的第二换流器的相应桥臂、第三阀或第四阀关断, 如果第二阀、第三阀、第四阀只包括不控开关、半控开关的至少一种, 当所述双换流器并联电路还包括第五阀且所述第五阀包括单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种, 控制所述第五阀关断, 实现了电流从换相桥臂所在相转移到另一相。

如图 9、图 10 和图 15 所示, 以 A 相第一上桥臂为例, 第一半控阀 V41 关断后, 控制第三阀 V71 关断, 强迫电流从 A 相换为 B 相, 相应地, 第三避雷器 F71 动作吸收第三阀 V71 的关断能量; 以 A 相第一下桥臂为例, 第一半控阀 V11 关断后, 控制第四阀 V72 关断, 强迫电流从 A 相换为 B 相, 相应地, 第四避雷器 F72 动作吸收第四阀 V72 的关断能量。图 15 中, 第一电容器 C11 在此过程中吸收的电量通过第一电阻器 R11 释放。

如图 9、图 10 和图 15 所示, 以 A 相第一上桥臂为例, 控制第三阀 V71 关断时, 如果第三阀 V71 过压、过流或故障时, 控制第一换流器的第一上桥臂的第一半控阀 V41 和第一全控阀 V42 导通; 以 A 相第一下桥臂为例, 控制第四阀 V72 关断时, 如果第四阀 V72 过压、过流或故障时, 控制第一换流器的第一上桥臂的第一半控阀 V11 和第一全控阀 V12 导通。

在本实施例中, 第一换流器因故障可能发生换相失败时, 控制第二换流器及连接电路导通, 将电流转移到串联全控器件的第二换流器及连接电路中, 通过控制全控器件关断实现基于半控器件的第一换流器可控换相, 有效抑制换相失败发生, 保证了双换流器可靠运行。

上述换相桥臂的第一半控阀关断为上述第一半控阀正向电流小于维持电流并恢复正向阻断能力。具体而言,恢复正向阻断能力是指在正向电流小于维持电流且延时关断时间后恢复正向阻断能力,关断时间小于 700us,但并不以此为限。

当双换流器并联电路还包括第五阀时,如图 11、图 12、图 13 和图 14 所示,S160 还包括以下流程 S161。

S161,换相桥臂的第一半控阀关断后,控制第五阀关断来控制第二换流器的相应桥臂及第三阀或第四阀关断。

如图 11、图 12、图 13 和图 14 所示,以 A 相第一上桥臂为例,第一半控阀 V41 关断后,控制第五阀 V73 关断,强迫电流从 A 相换为 B 相,相应地,第八避雷器 F73 动作吸收第五阀 V73 的关断能量;以 A 相第一下桥臂为例,第一半控阀 V11 关断后,控制第五阀 V73 关断,强迫电流从 A 相换为 B 相,相应地,第八避雷器 F73 动作吸收第五阀 V73 的关断能量。以 A 相第一上桥臂为例,控制第五阀 V73 关断时,如果第五阀 V73 过压、过流或故障时,控制第一换流器 1 的 A 相第一上桥臂的第一半控阀 V41 和第一全控阀 V42 导通;以 A 相第一下桥臂为例,控制第五阀 V73 关断时,如果第五阀 V73 过压、过流或故障时,控制第一换流器 1 的 A 相第一上桥臂的第一半控阀 V11 和第一全控阀 V12 导通。

当双换流器并联电路还包括第六阀和第七阀时,如图 14 所示,S160 还包括以下流程 S162 和 S163。

S162,在控制换相桥臂的第一全控阀关断时,闭锁第二换流器,控制第六阀或第七阀关断。

如图 14 所示,以 A 相第一上桥臂为例,控制 A 相第一上桥臂的第一全控阀 V42 关断时,控制第六阀 V74 关断;以 A 相第一下桥臂为例,控制 A 相第一下桥臂的第一全控阀 V12 关断时,控制第七阀 V75 关断。

S163,当可能引起所述第一换流器的换相桥臂换相失败的工况消失后,控制第六阀或/和第七阀导通。

如图 14 所示,当可能引起所述第一换流器的换相桥臂换相失败的工况消失后,控制第六阀 V74 和第七阀 V75 导通,解锁第二换流器 2,第二换流器 2 运行在逆变状态,第一换流器 1 和第二换流器 2 并联运行。

图 17a 示出了图 10 所示双换流器并联电路的单相接地故障试验结果。UAC_IN_L1、UAC_IN_L2 和 UAC_IN_L3 为三相交流电压;IVY_L1_SCA、IVY_L2_SCA 和 IVY_L3_SCA 为三相阀侧交流电流;UDL_IN 为直流电压;IDNC 为直流电流;CPRY 为第一半控阀 V11、V21、V31、V41、V51 和 V61 的触发标识,如 CPHY=12,换算成二进制为 0x1001,则为第一半控阀 V41 和 V11 导通;MAIN_BRANCH_CP1、MAIN_BRANCH_CP2、MAIN_BRANCH_CP3、MAIN_BRANCH_CP4、MAIN_BRANCH_CP5 和 MAIN_BRANCH_CP6 分别为第一全控阀 V12、V22、V32、V42、V52 和 V62 的脉冲,AUX_BRANCH_CP1 为第四阀 V72 (V721 和 V722) 的脉冲,AUX_BRANCH_CP4 为第三阀 V71 (V711 和 V712) 的脉冲。交流系统 A 相发生接地故障后,交流电压 UAC_IN_L1 变为 0,当检测到第一半控阀 V41、V61 或 V21 可能发生换相失败时,控制第三阀 V71 导通,相应地,控制第一全控阀 V42、V62 或 V22 关断,电流转移到第三阀 V71 和第二阀 V43、V63 或 V23,当第一半控阀 V41、V61 或 V21 关断后,控制第三阀 V71 关断;当检测到第一半控阀 V11、V31 或 V51 可能发生

换相失败时, 控制第四阀 V72 导通, 相应地, 控制第一全控阀 V12、V32 或 V52 关断, 电流转移到第四阀 V72 和第二阀 V13、V33 或 V53, 当第一半控阀 V11、V31 或 V51 关断后, 控制第四阀 V72 关断。在整个故障期间, 阀侧交流电流 IVY_L1_SCA、IVY_L2_SCA 和 IVY_L3_SCA 仍能够换流成功, 直流电压 UDL_IN 维持 50%左右, 直流电流 IDNC 也可以维持故障前水平波动。试验结果表明, 该拓扑结构在单相交流故障时可实现自换相, 维持一定功率输送, 不会发生换相失败。图 17b 示出了图 10 所示双换流器并联电路的三相接地故障试验结果。交流系统三相发生接地故障后, 交流电压 UAC_IN_L1、UAC_IN_L2 和 UAC_IN_L3 都为 0, 在整个故障期间, 阀侧交流电流 IVY_L1_SCA、IVY_L2_SCA 和 IVY_L3_SCA 仍能够换流成功, 实现了故障期间不依赖交流电压的自换相, 并能够提供受控的短路电流。

图 18a 示出了图 12 所示双换流器并联电路的单相接地故障试验结果。UAC_IN_L1、UAC_IN_L2 和 UAC_IN_L3 为三相交流电压; IVY_L1_SCA、IVY_L2_SCA 和 IVY_L3_SCA 为三相阀侧交流电流; UDL_IN 为直流电压; IDNC 为直流电流; CPHY 为第一半控阀 V11、V21、V31、V41、V51 和 V61 的触发标识, 如 CPHY=12, 换算成二进制为 0x1001, 则为第一半控阀 V41 和 V11 导通; MAIN_BRANCH_CPH1、MAIN_BRANCH_CPH2、MAIN_BRANCH_CPH3、MAIN_BRANCH_CPH4、MAIN_BRANCH_CPH5 和 MAIN_BRANCH_CPH6 分别为第一全控阀 V12、V22、V32、V42、V52 和 V62 的脉冲, AUX_BRANCH_CPH1 为第五阀 V73 (V731 和 V732) 的脉冲。交流系统 A 相发生接地故障后, 交流电压 UAC_IN_L1 变为 0, 当检测到第一半控阀 V41、V61 或 V21 可能发生换相失败时, 控制第五阀 V73 导通, 相应地, 控制第一全控阀 V42、V62 或 V22 关断, 电流转移到第三阀 V71、第五阀 V73 和第二阀 V43、V63 或 V23, 当第一半控阀 V41、V61 或 V21 关断后, 控制第五阀 V73 关断; 当检测到第一半控阀 V11、V31 或 V51 可能发生换相失败时, 控制第五阀 V73 导通, 相应地, 控制第一全控阀 V12、V32 或 V52 关断, 电流转移到第四阀 V72、第五阀 V73 和第二阀 V13、V33 或 V53, 当第一半控阀 V11、V31 或 V51 关断后, 控制第五阀 V73 关断。在整个故障期间, 阀侧交流电流 IVY_L1_SCA、IVY_L2_SCA 和 IVY_L3_SCA 仍能够换流成功, 直流电压 UDL_IN 维持 50%左右, 直流电流 IDNC 也可以维持故障前水平波动。试验结果表明, 该拓扑结构在单相交流故障时可实现自换相, 维持一定功率输送, 不会发生换相失败。图 18b 示出了图 12 所示双换流器并联电路的三相接地故障试验结果。交流系统三相发生接地故障后, 交流电压 UAC_IN_L1、UAC_IN_L2 和 UAC_IN_L3 都为 0, 在整个故障期间, 阀侧交流电流 IVY_L1_SCA、IVY_L2_SCA 和 IVY_L3_SCA 仍能够换流成功, 实现了故障期间不依赖交流电压的自换相, 并能够提供受控的短路电流。

本申请实施例还提供一种如上所述的双换流器并联电路的控制装置 300, 如图 19 所示, 控制装置包括检测单元 310 和控制单元 320。

检测单元 310 用于检测双换流器并联电路的运行参数和故障。控制单元 320 基于双换流器并联电路的运行参数, 控制第一换流器运行在逆变状态, 如果第二阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种, 控制第二换流器运行在逆变状态或闭锁状态, 如果第三阀、第四阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种, 控制第三阀、第四阀运行在闭锁状态, 当发生故障可能引起第一换流器的换相桥臂换相失败时, 如果第二阀、第三阀、第四阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种, 控制单元还控制换相桥臂对应的第二

换流器的相应桥臂及第三阀或第四阀导通，当双换流器并联电路还包括第五阀且所述第五阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制所述第五阀导通；控制换相桥臂的第一全控阀关断，使换相桥臂的电流转移到第二换流器的相应桥臂及第三阀或第四阀，换相桥臂的第一半控阀关断后，如果第二阀、第三阀、第四阀包括单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制换相桥臂对应的第二换流器的相应桥臂、第三阀或第四阀关断，如果第二阀、第三阀、第四阀只包括不控开关、半控开关的至少一种，当所述双换流器并联电路还包括第五阀且所述第五阀包括单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制所述第五阀关断，实现了电流从换相桥臂所在相转移到另一相，第二换流器的相应桥臂为与第一换流器换相桥臂连接相同极性直流母线和相同相的桥臂。

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

权 利 要 求 书

1、一种双换流器并联电路，包括：

第一换流器，为三相六桥臂电路，包括三个第一上桥臂和三个第一下桥臂，每个所述第一上桥臂和所述第一下桥臂均包括串联连接的第一半控阀和第一全控阀，所述第一半控阀包括半控开关，所述第一全控阀包括单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种；

第二换流器，为三相六桥臂电路，包括三个第二上桥臂和三个第二下桥臂，每个所述第二上桥臂和所述第二下桥臂均包括第二阀；

连接电路，包括第三阀和第四阀，所述第二阀、第三阀、第四阀包括不控开关、半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，其中，

所述第三阀连接所述第一换流器的直流母线正极或第一上桥臂的第一半控阀的第一分段点和所述第二换流器的直流母线正极，所述第四阀连接所述第一换流器的直流母线负极或第一下桥臂的第一半控阀的第二分段点和所述第二换流器的直流母线负极；或者

所述第三阀连接所述第一换流器的直流母线正极或第一上桥臂的第一半控阀的第一分段点和所述第二换流器的直流母线负极，所述第四阀连接所述第一换流器的直流母线负极或第一下桥臂的第一半控阀的第二分段点和所述第二换流器的直流母线正极。

2、如权利要求 1 所述的双换流器并联电路，其中，所述第一分段点按照耐压水平将所述第一上桥臂的第一半控阀分为两段，所述第二分段点按照耐压水平将所述第一下桥臂的第一半控阀分为两段，两段的耐压比取值范围为 0.2~5 之间。

3、如权利要求 1 所述的双换流器并联电路，其中，当所述第三阀连接所述第一分段点时，每个第一上桥臂的所述第一半控阀的第一分段点分别与一个所述第三阀连接；当所述第四阀连接所述第二分段点时，每个第一下桥臂的所述第一半控阀的第二分段点分别与一个所述第四阀连接。

4、如权利要求 1 所述的双换流器并联电路，其中，所述第一半控阀、第一全控阀、第二阀、第三阀、第四阀两端分别并联避雷器。

5、如权利要求 1 所述的双换流器并联电路，其中，所述第一全控阀两端并联第二半控阀，所述第二半控阀包括半控开关。

6、如权利要求 1 所述的双换流器并联电路，其中，所述连接电路还包括：

第五阀，或第一电容器和第一电阻器的并联电路，或所述并联电路和所述第五阀串联的电路，连接所述第二换流器的直流母线正极和直流母线负极，所述第一电容器包括串联连接的至少一个电容元件。

7、如权利要求 6 所述的双换流器并联电路，其中，所述连接电路还包括：

第六阀，连接所述第一换流器的直流母线正极和所述第二换流器的直流母线正极，

第七阀，连接所述第一换流器的直流母线负极和所述第二换流器的直流母线负极；

所述第五阀、第六阀、第七阀包括不控开关、半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀、串联连接的全控开关和快速隔离开关的至少一种，所述第五阀、第六阀、第七阀、第一电容器两端分别并联避雷器或/和第二半控阀。

8、如权利要求 1 所述的双换流器并联电路，其中，所述连接电路还包括：

避雷器，与所述第三阀或/和所述第四阀串联连接；或者

第二电容器和第二电阻器的并联电路，与所述第三阀或/和所述第四阀串联连接。

9、如权利要求 1 所述的双换流器并联电路，其中，所述第一换流器和所述第二换流器的交流输出端按相并联连接或通过隔离开关或/和刀闸按相并联连接，并连接到同一台换流变压器，所述第一换流器和所述第二换流器的直流母线输入端通过隔离开关或/和刀闸按正负极并联连接。

10、一种高压直流输电系统，包括所述权利要求 1 至 9 之任一项所述的双换流器并联电路。

11、一种如权利要求 1 至 9 之任一项所述的双换流器并联电路的控制方法，包括：

控制所述第一换流器运行在逆变状态；

如果所述第二阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制所述第二换流器运行在逆变状态或闭锁状态；

如果所述第三阀、第四阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制所述第三阀、第四阀运行在闭锁状态；

当发生故障可能引起所述第一换流器的换相桥臂换相失败时，包括：

如果所述第二阀、第三阀、第四阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制与所述换相桥臂对应的第二换流器的相应桥臂及所述第三阀或所述第四阀导通；当所述双换流器并联电路还包括第五阀且所述第五阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制所述第五阀导通；

控制所述换相桥臂的第一全控阀关断，使所述换相桥臂的电流转移到所述第二换流器的相应桥臂及所述第三阀或所述第四阀；

所述换相桥臂的第一半控阀关断后，如果所述第二阀、第三阀、第四阀包括单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制所述第二换流器的相应桥臂、所述第三阀或所述第四阀关断，如果所述第二阀、第三阀、第四阀只包括不控开关、半控开关的至少一种，当所述双换流器并联电路还包括第五阀且所述第五阀包括单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制所述第五阀关断，实现了电流从所述换相桥臂所在相转移到另一相，所述第二换流器的相应桥臂为与所述第一换流器的换相桥臂连接相同极性直流母线和相同相的桥臂。

12、如权利要求 11 所述的控制方法，其中，当所述双换流器并联电路还包括第六

阀、第七阀时，所述控制方法还包括：

在控制所述换相桥臂的第一全控阀关断时，闭锁所述第二换流器，控制所述第六阀或所述第七阀关断；

所述可能引起所述第一换流器的换相桥臂换相失败的工况消失后，控制所述第六阀或/和所述第七阀导通。

13、如权利要求 11 所述的控制方法，当所述双换流器并联电路还包括第五阀时，所述控制方法还包括：

控制所述第二换流器运行在整流状态或空载加压状态，为所述第五阀的驱动电路供电；

当所述第五阀两端并联第二半控阀，所述第五阀过压、过流或故障时，控制所述第二半控阀导通；

当控制所述第五阀关断，所述第五阀过压、过流或故障时，控制所述换相桥臂的第一半控阀和第一全控阀导通。

14、如权利要求 11 所述的控制方法，其中，当所述双换流器并联电路还包括第六阀和第七阀时，所述控制方法还包括：

控制所述第六阀和所述第七阀导通，使得所述第一换流器和所述第二换流器共用直流母线，使得所述第二换流器运行在逆变状态；

当所述第一全控阀、第二阀、第三阀、第四阀、第六阀或第七阀两端并联第二半控阀时，所述第一全控阀、第二阀、第三阀、第四阀、第六阀或第七阀过压、过流或故障时，控制所述第二半控阀导通；

当控制所述第二换流器的相应桥臂、第三阀或第四阀、第六阀或第七阀关断，所述第二换流器的相应桥臂、第三阀或第四阀、第六阀或第七阀过压、过流或故障时，控制所述换相桥臂的第一半控阀和第一全控阀导通。

15、一种如权利要求 1 至 9 之任一项所述的双换流器并联电路的控制装置，包括：

检测单元，用于检测所述双换流器并联电路的运行参数和故障；

控制单元，基于所述双换流器并联电路的运行参数，控制所述第一换流器运行在逆变状态；如果所述第二阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制所述第二换流器运行在逆变状态或闭锁状态；如果所述第三阀、第四阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制所述第三阀、第四阀运行在闭锁状态，当发生故障可能引起所述第一换流器的换相桥臂换相失败时，如果所述第二阀、第三阀、第四阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，所述控制单元还控制与所述换相桥臂对应的第二换流器的相应桥臂及所述第三阀或所述第四阀导通，当所述双换流器并联电路还包括第五阀且所述第五阀包括半控开关、单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制所述第五阀导通；控制所述换相桥臂的第一全控阀关断，使所述换相桥臂的电流转移到所述第二换流器的相应桥臂及所述第三阀或所述第四阀，所述换相桥臂的第一半控阀关断

后，如果所述第二阀、第三阀、第四阀包括单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制所述第二换流器的相应桥臂、所述第三阀或所述第四阀关断，如果所述第二阀、第三阀、第四阀只包括不控开关、半控开关的至少一种，当所述双换流器并联电路还包括第五阀且所述第五阀包括单向全控开关、双向全控开关、MMC 单阀的至少一种，控制所述第五阀关断，实现了电流从所述换相桥臂所在相转移到另一相，所述第二换流器的相应桥臂为与所述第一换流器换相桥臂连接相同极性直流母线和相同相的桥臂。

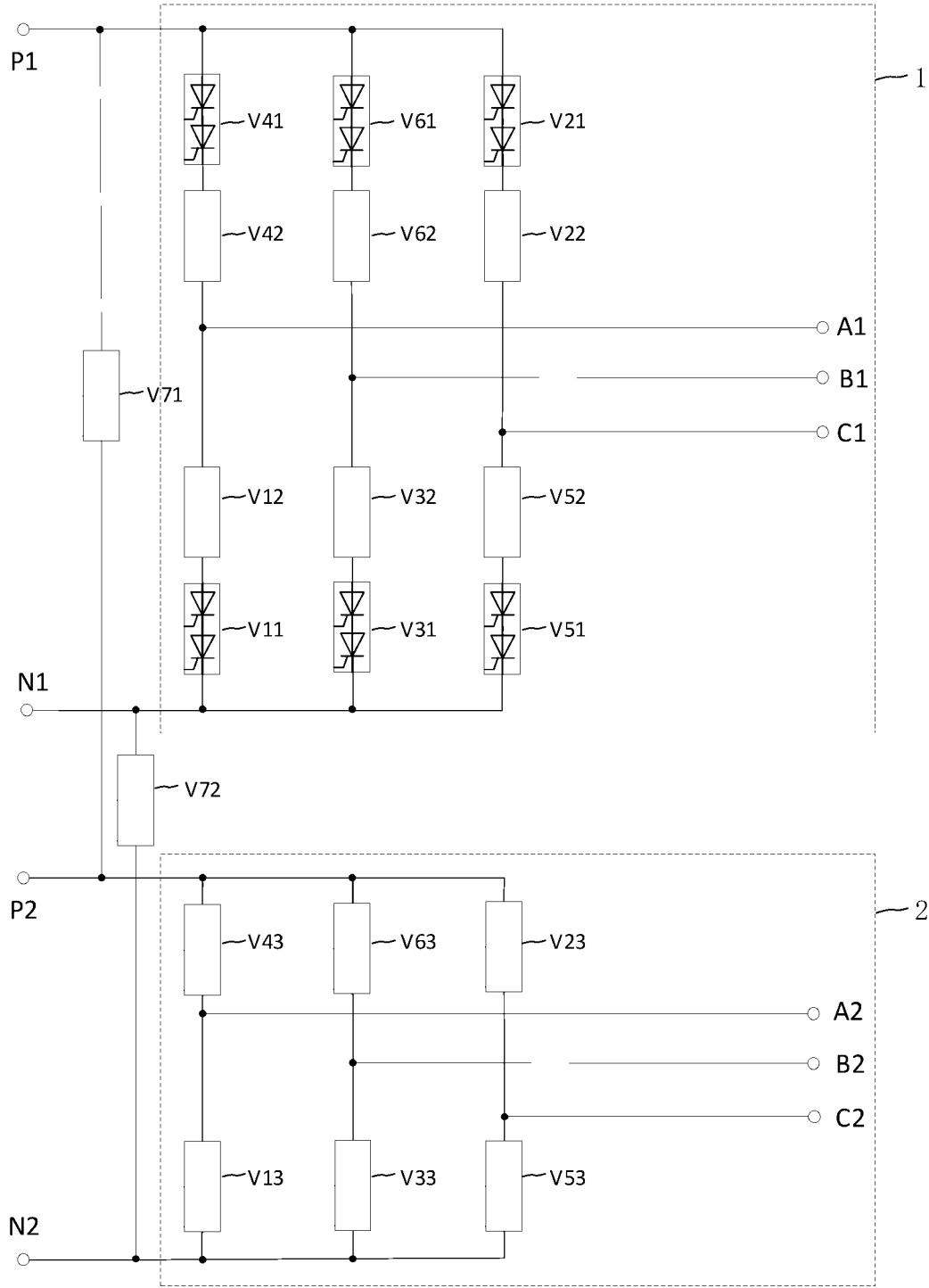


图 1

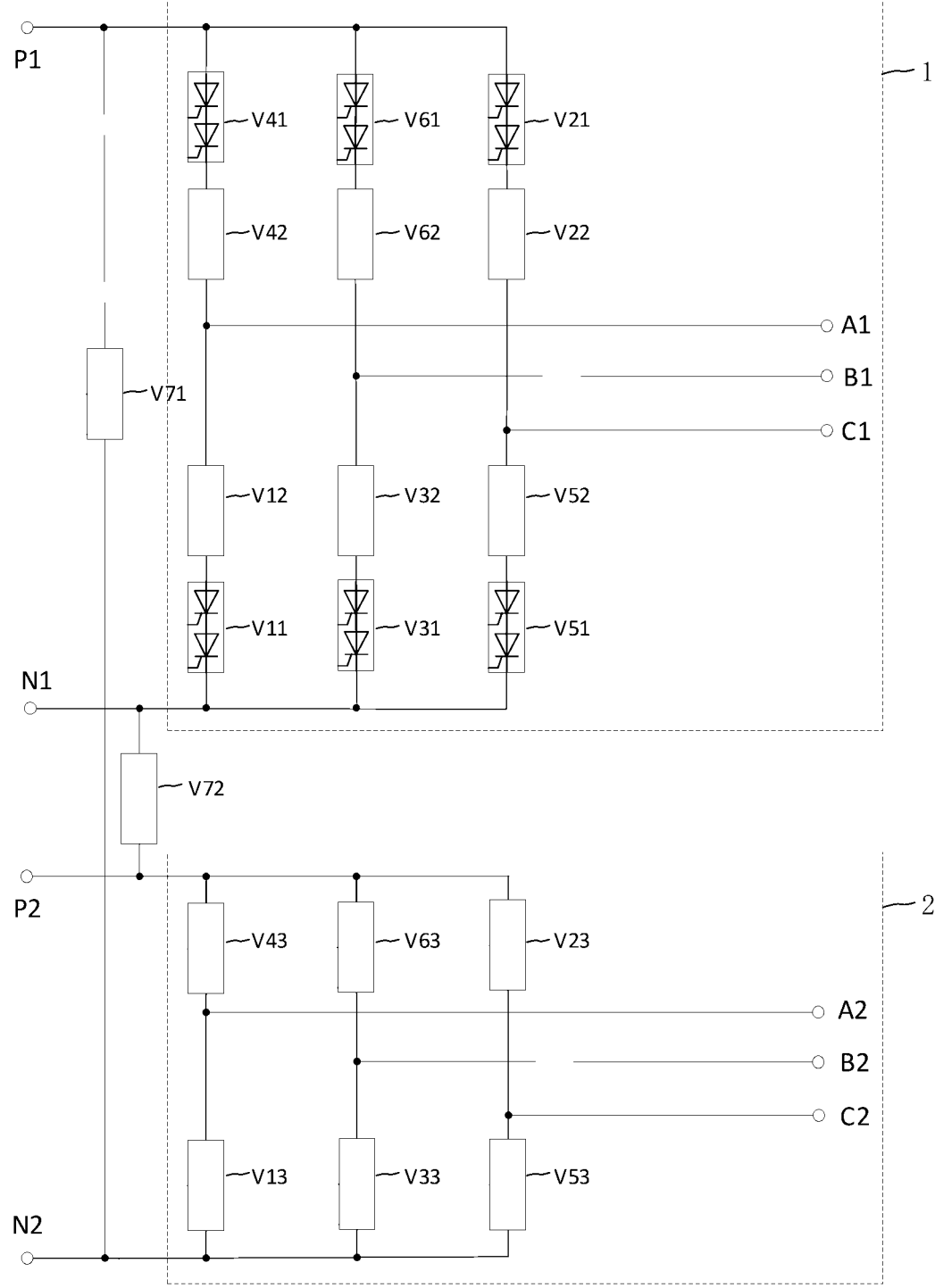


图 2

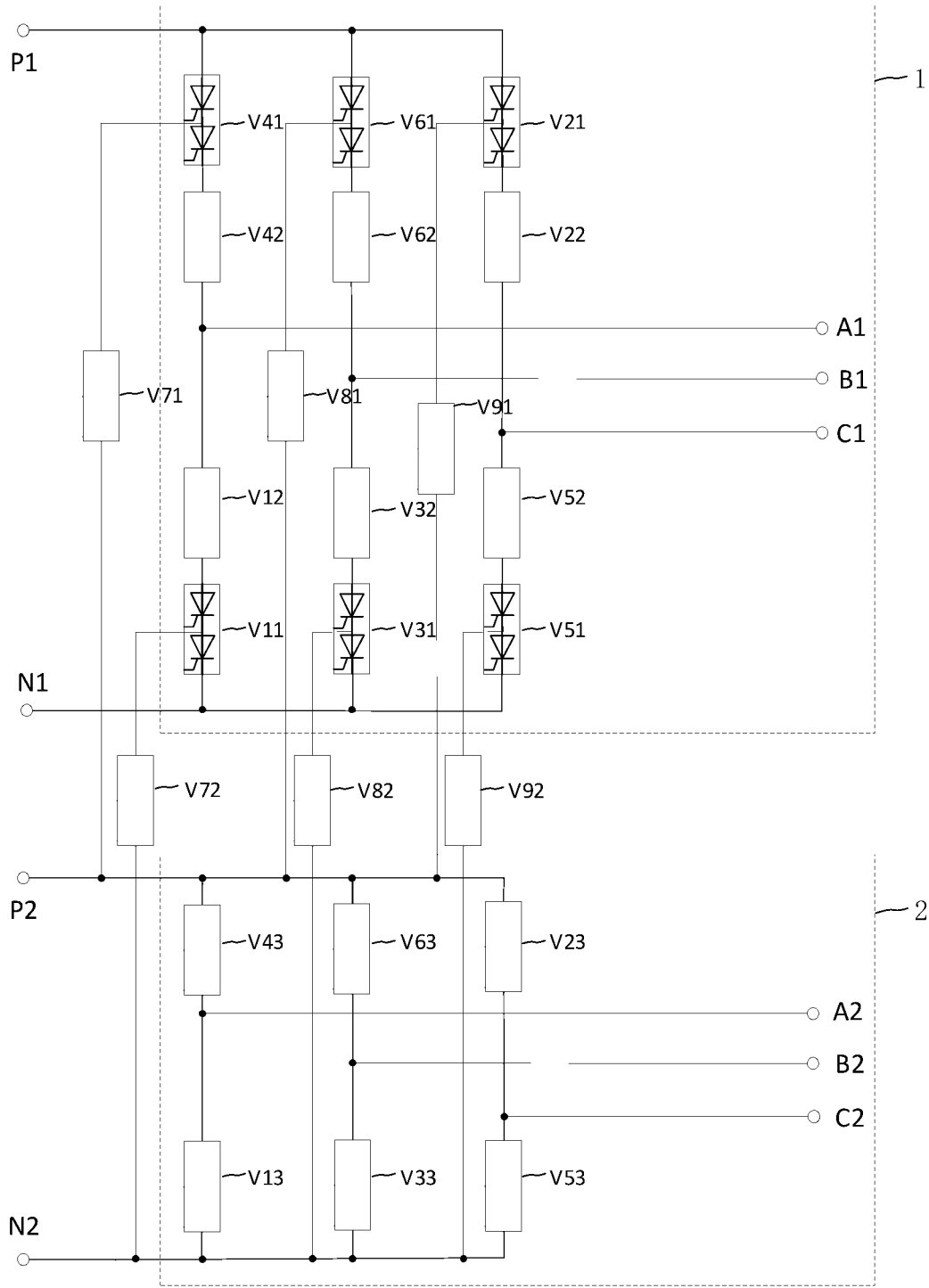


图 3

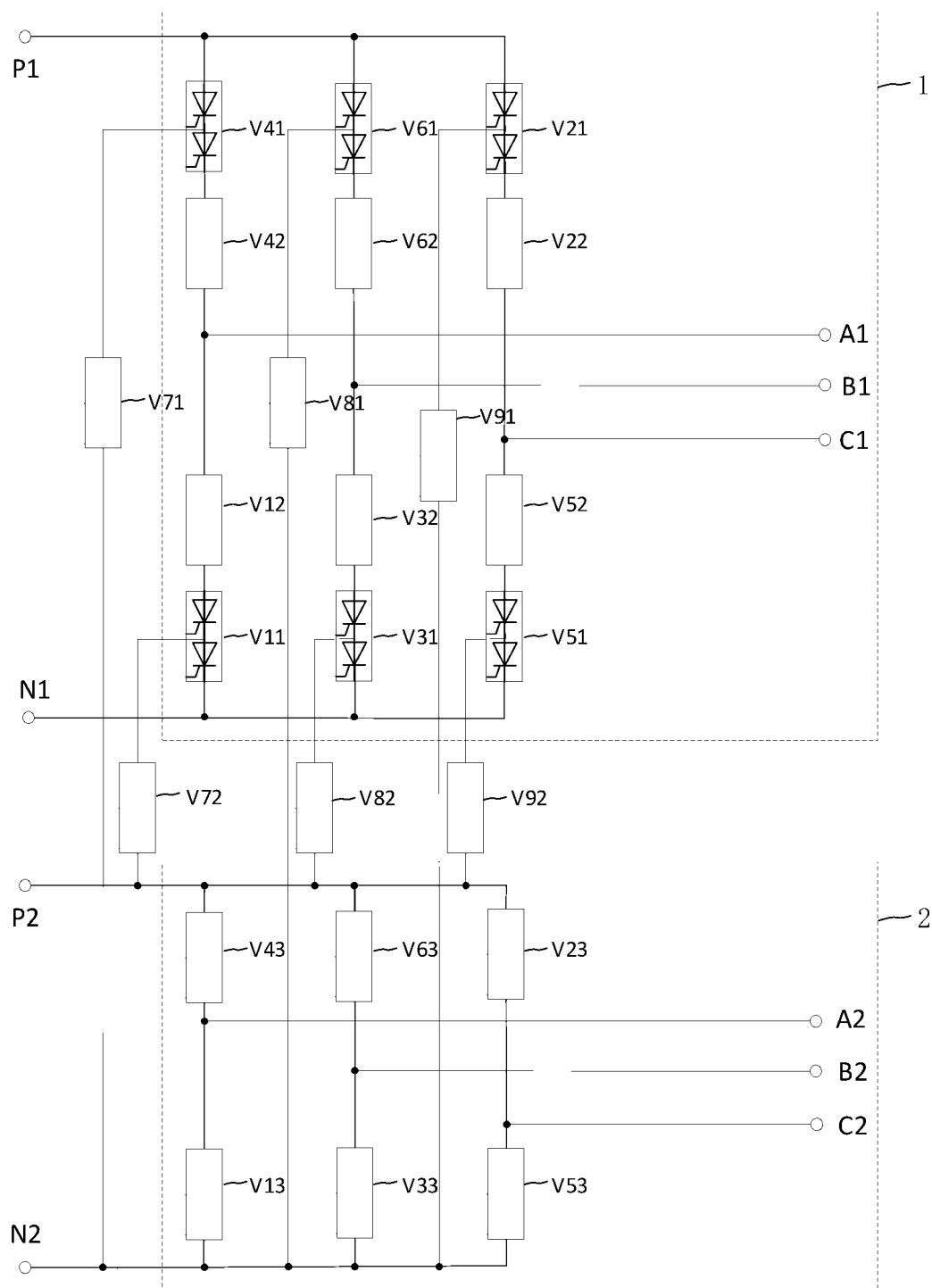


图 4

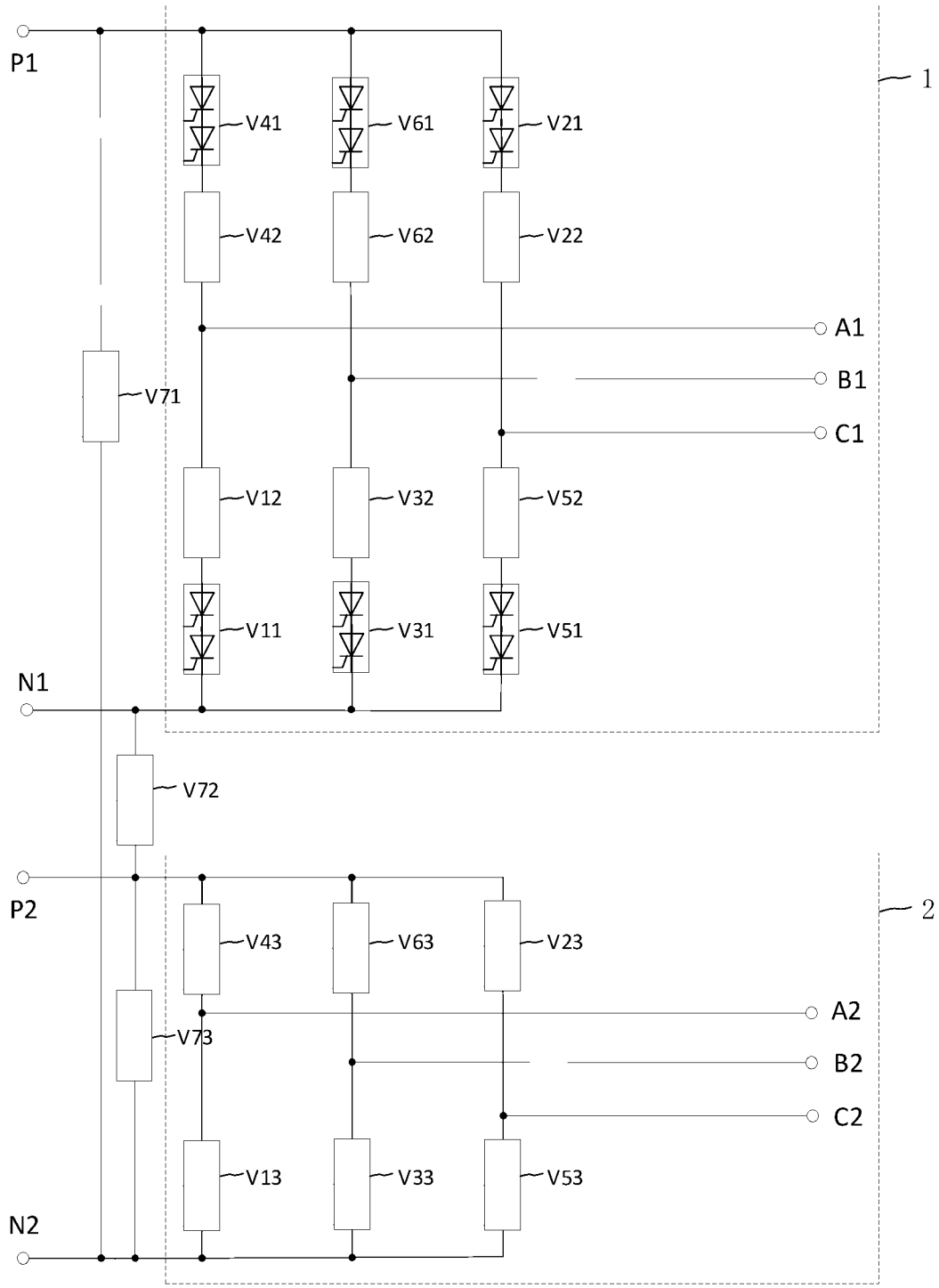


图 5

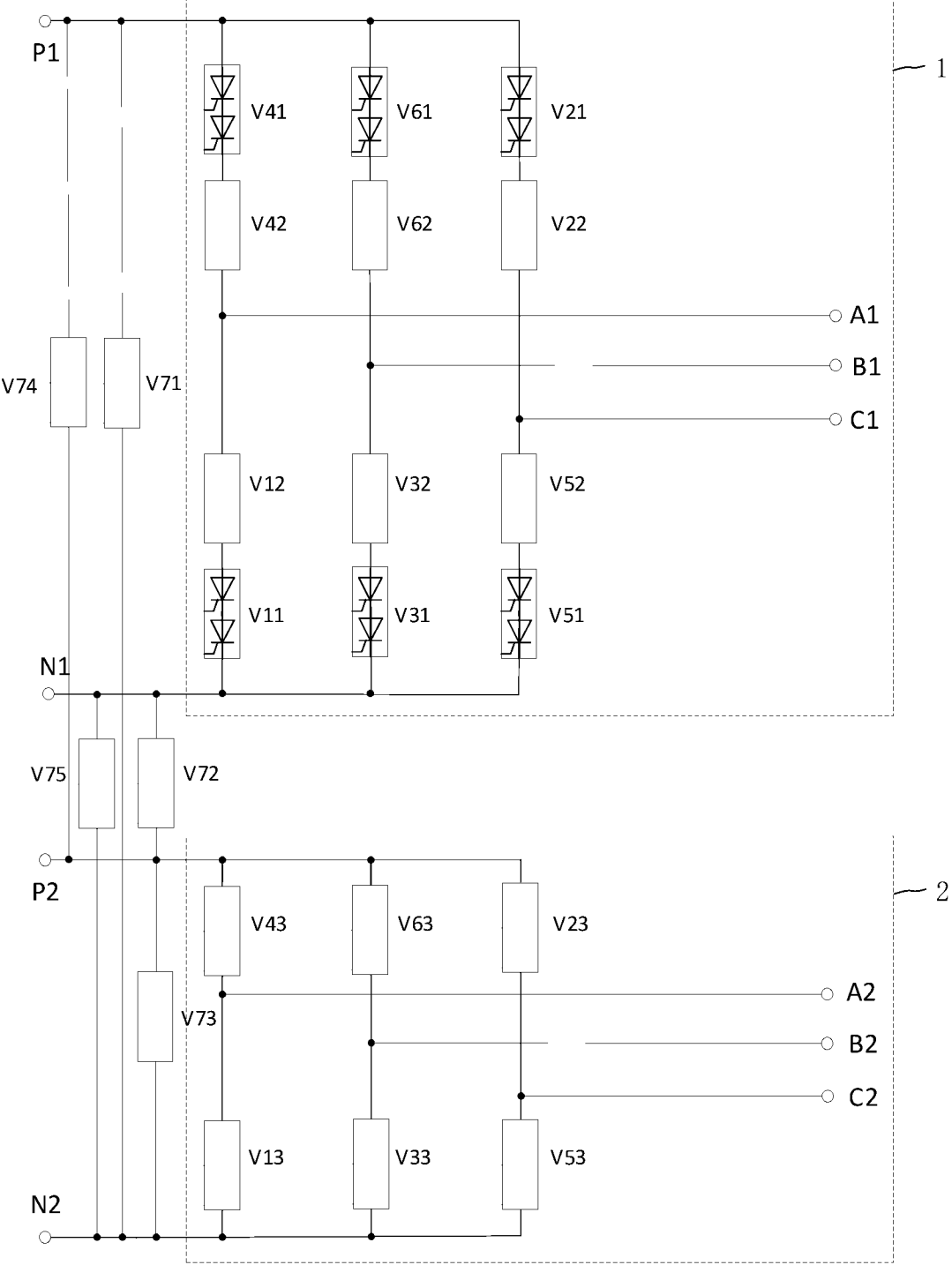


图 6

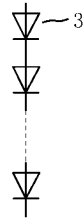


图 7a

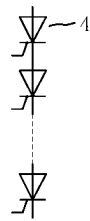


图 7b

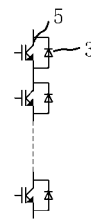


图 7c

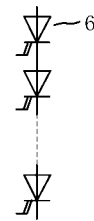


图 7d

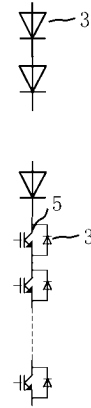


图 7e

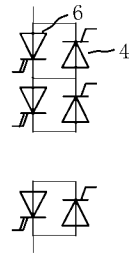


图 7f

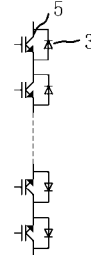


图 7g

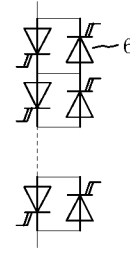


图 7h

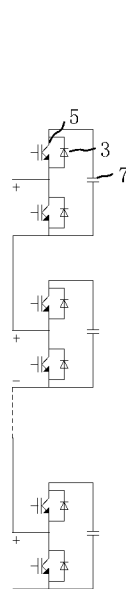


图 7i

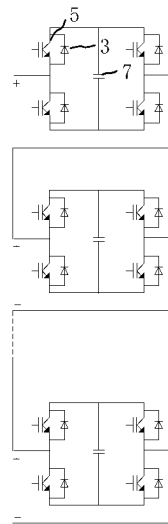


图 7j

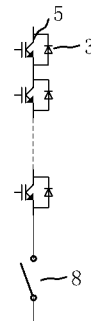


图 7k

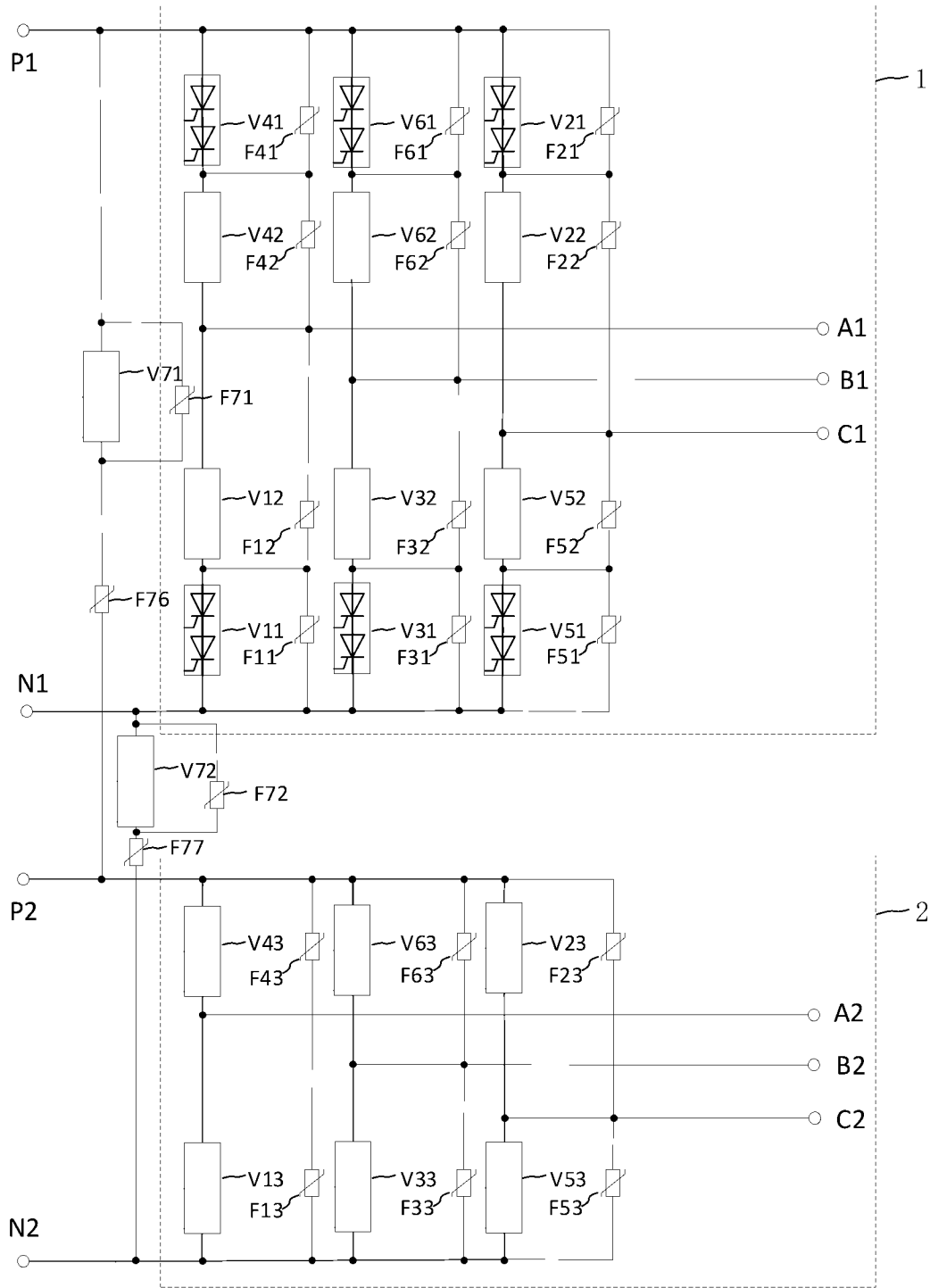


图 8

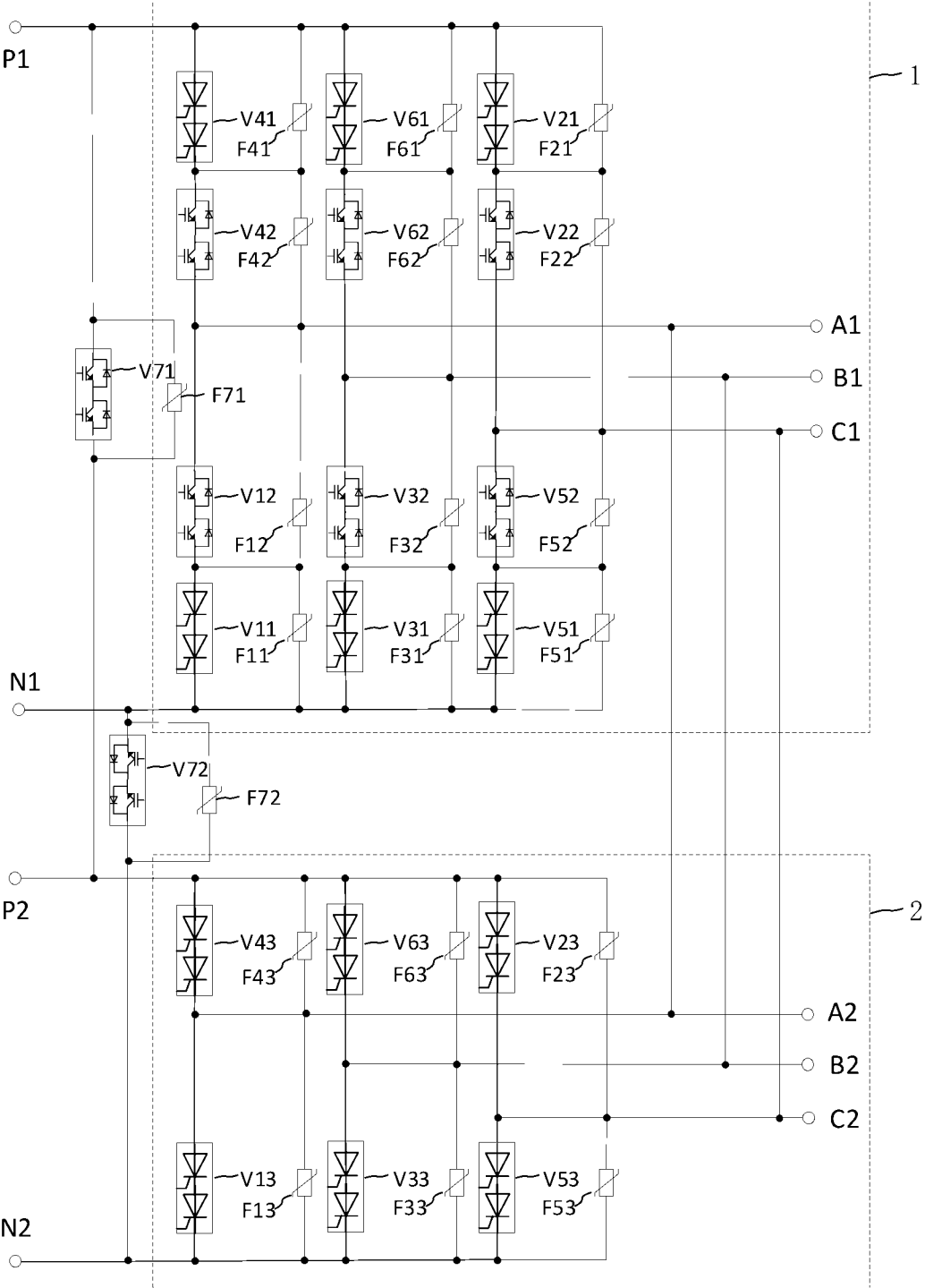


图 9

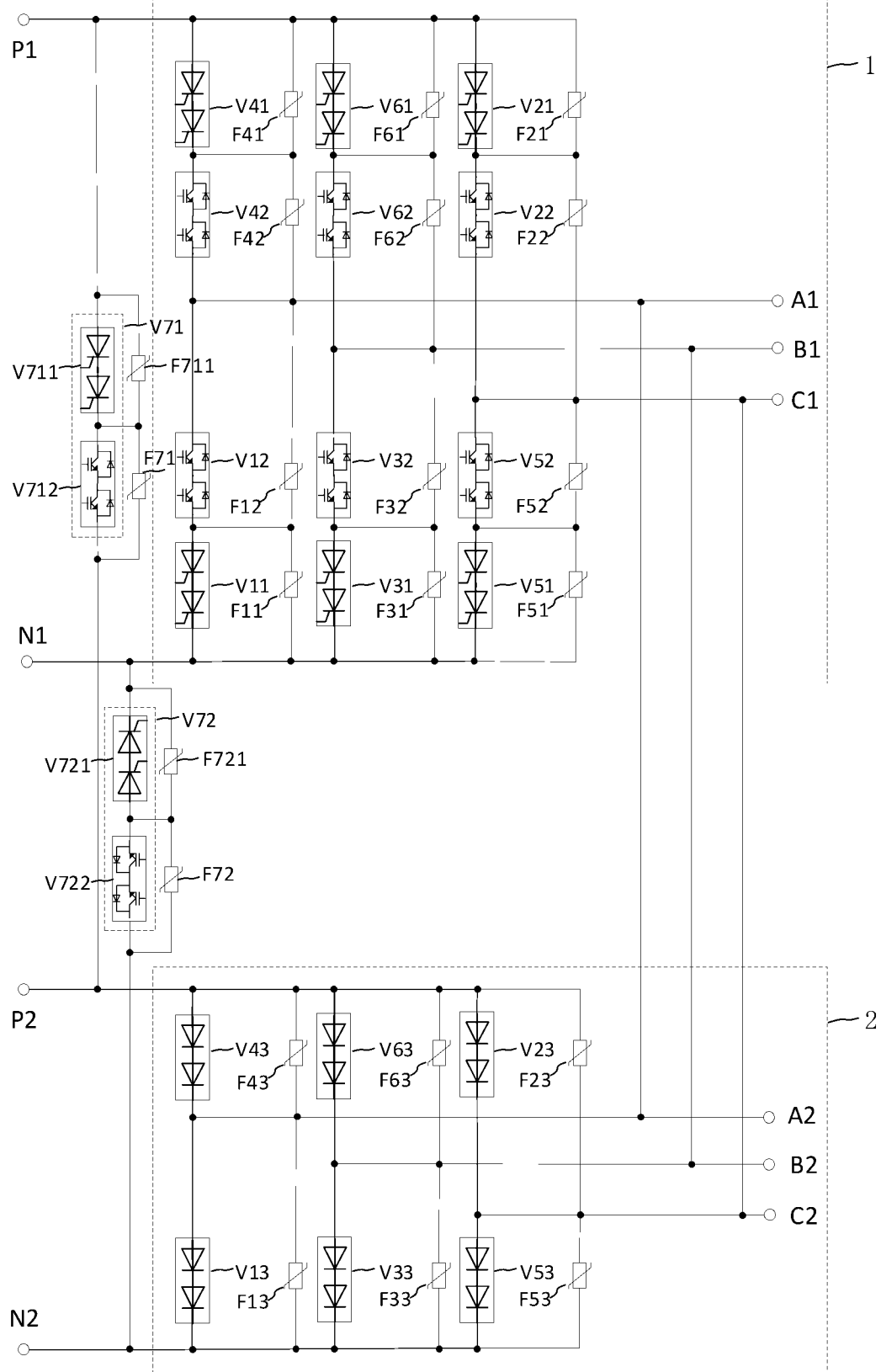


图 10

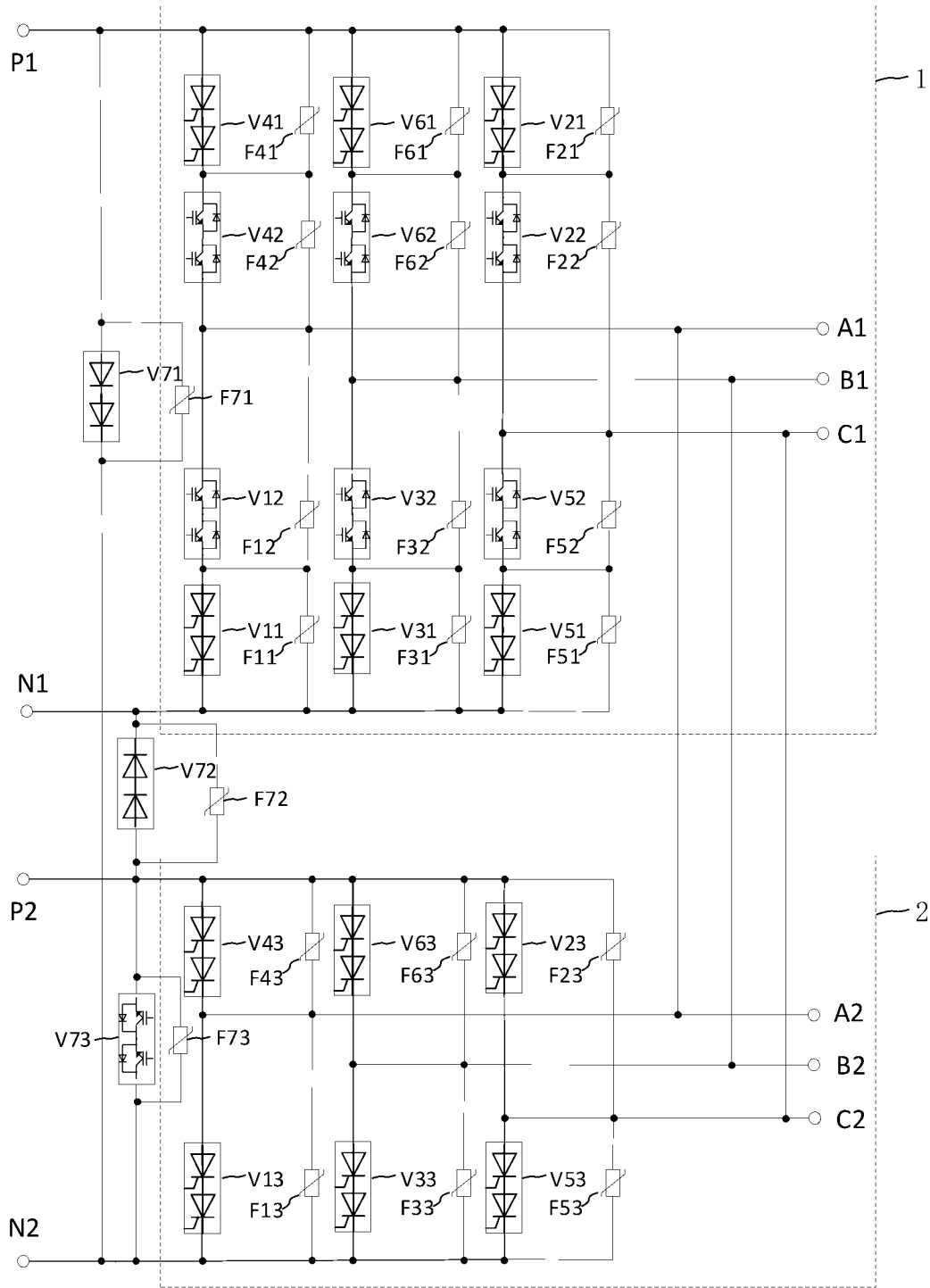


图 11

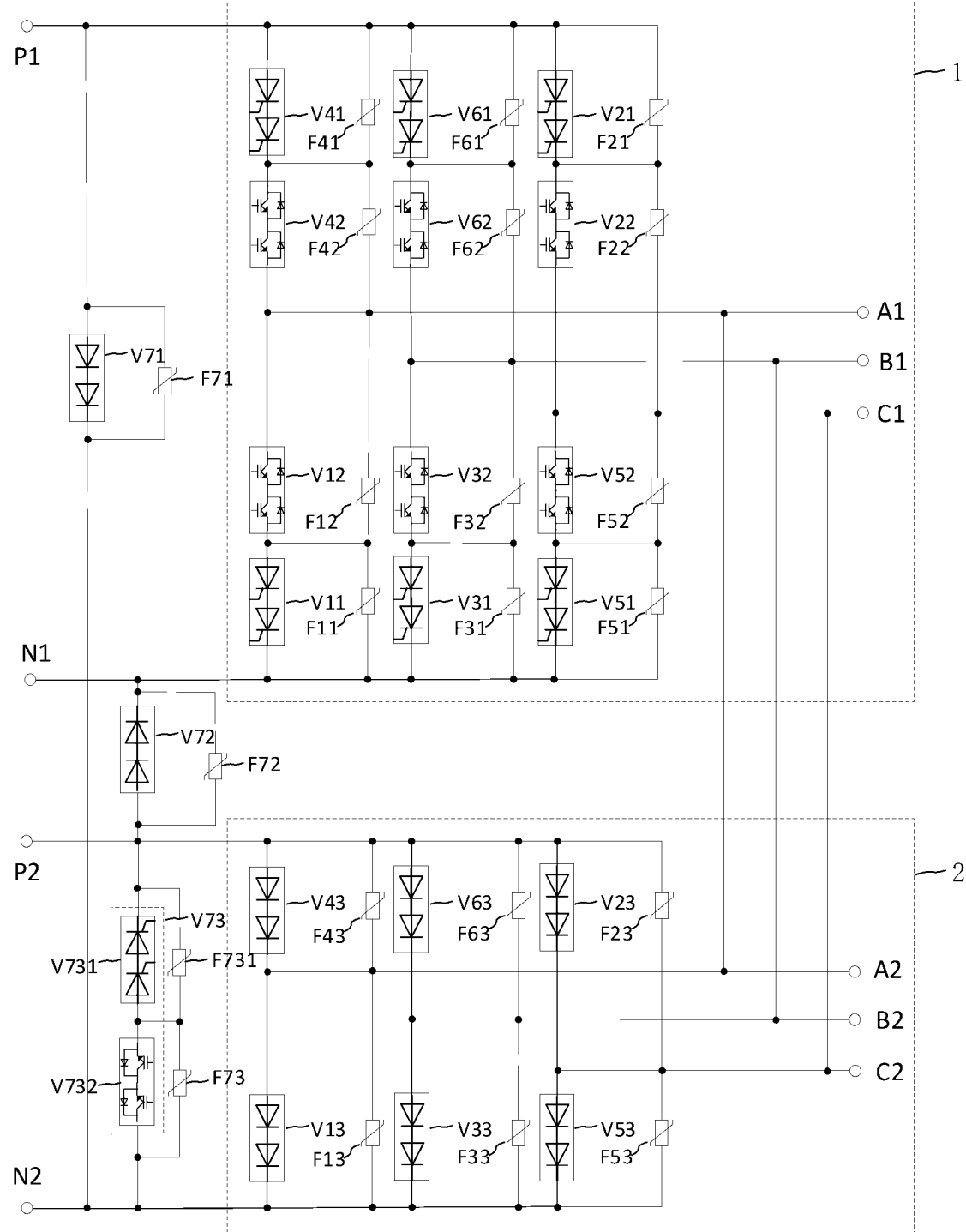


图 12

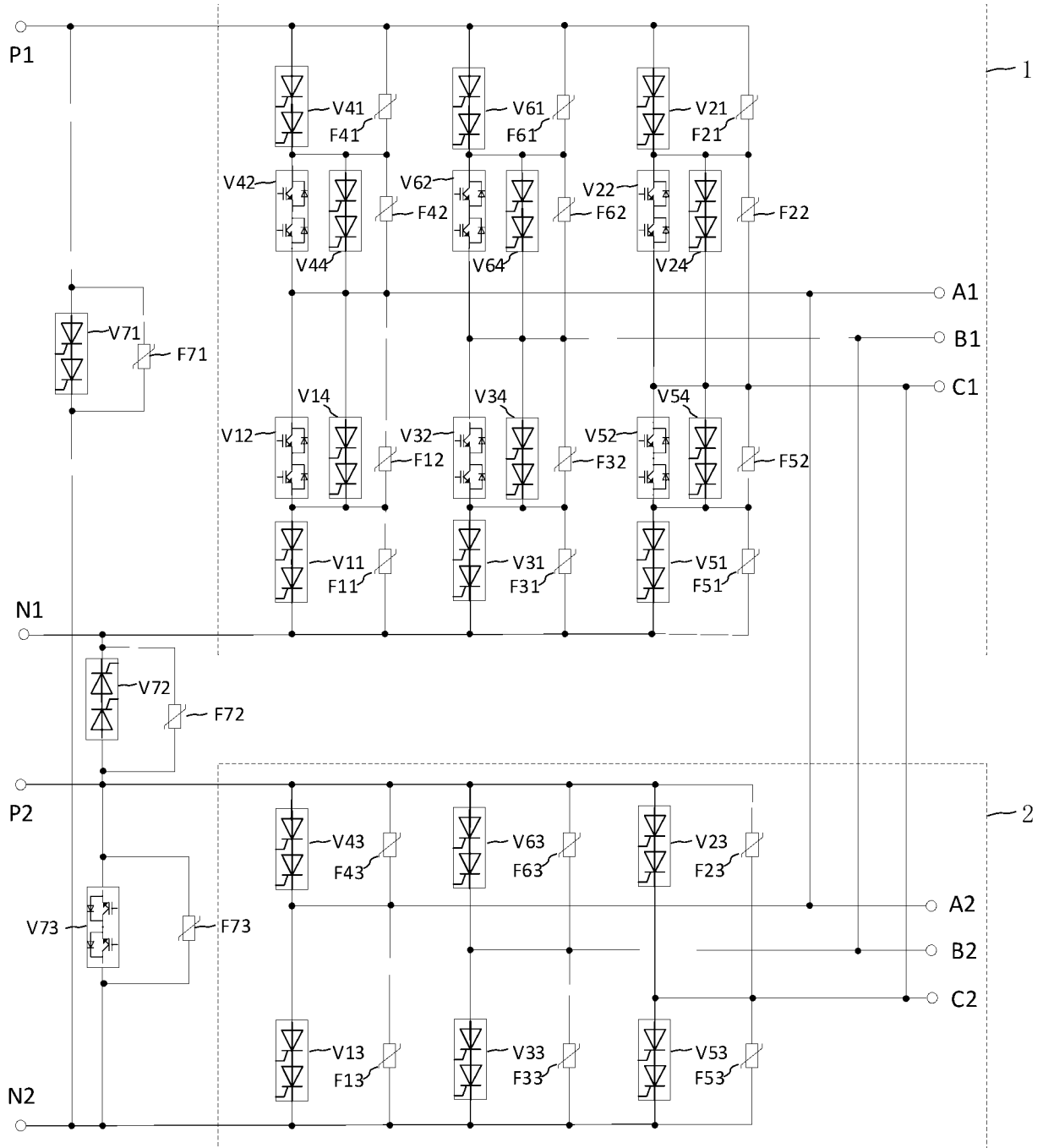


图 13

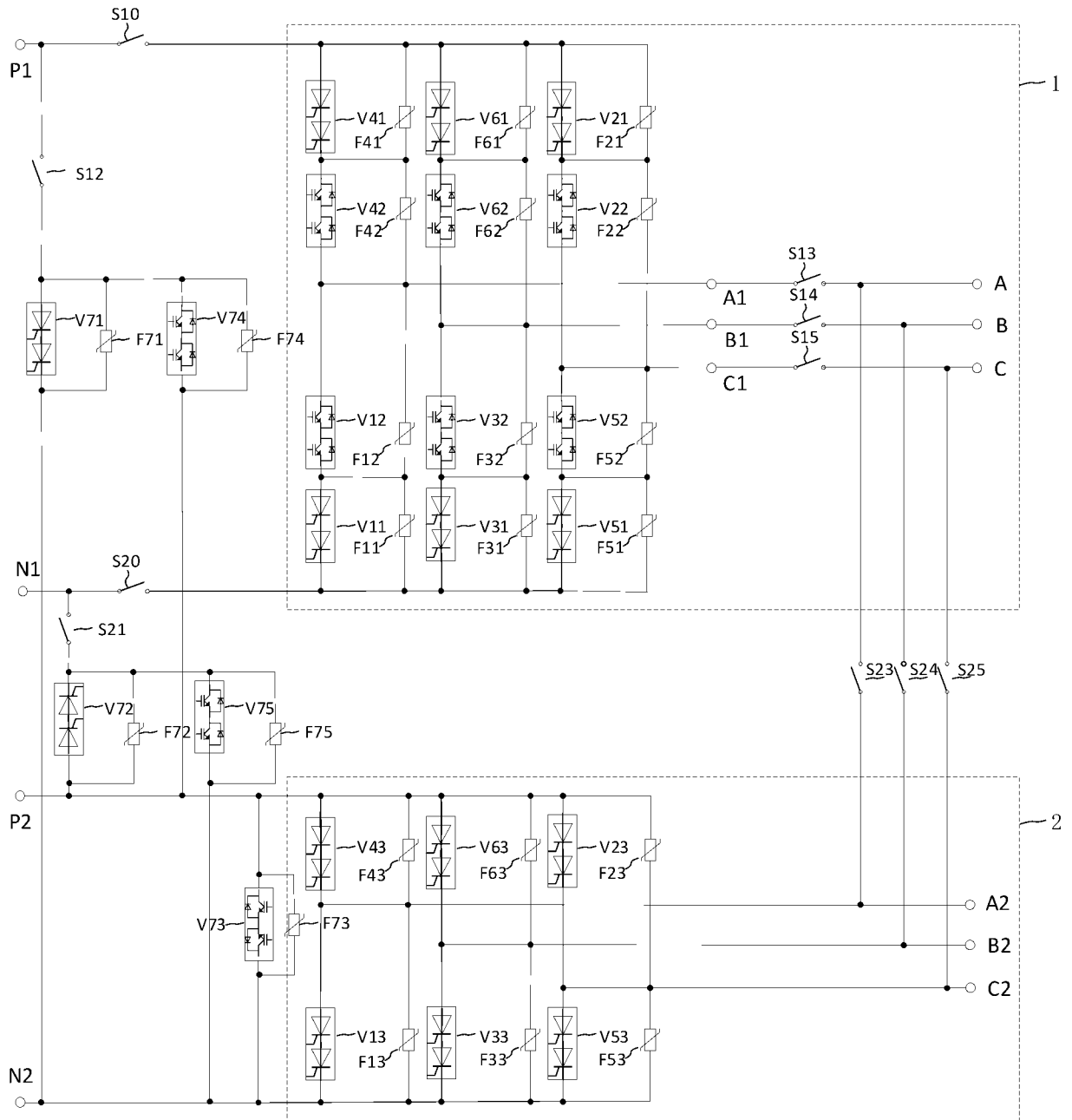


图 14

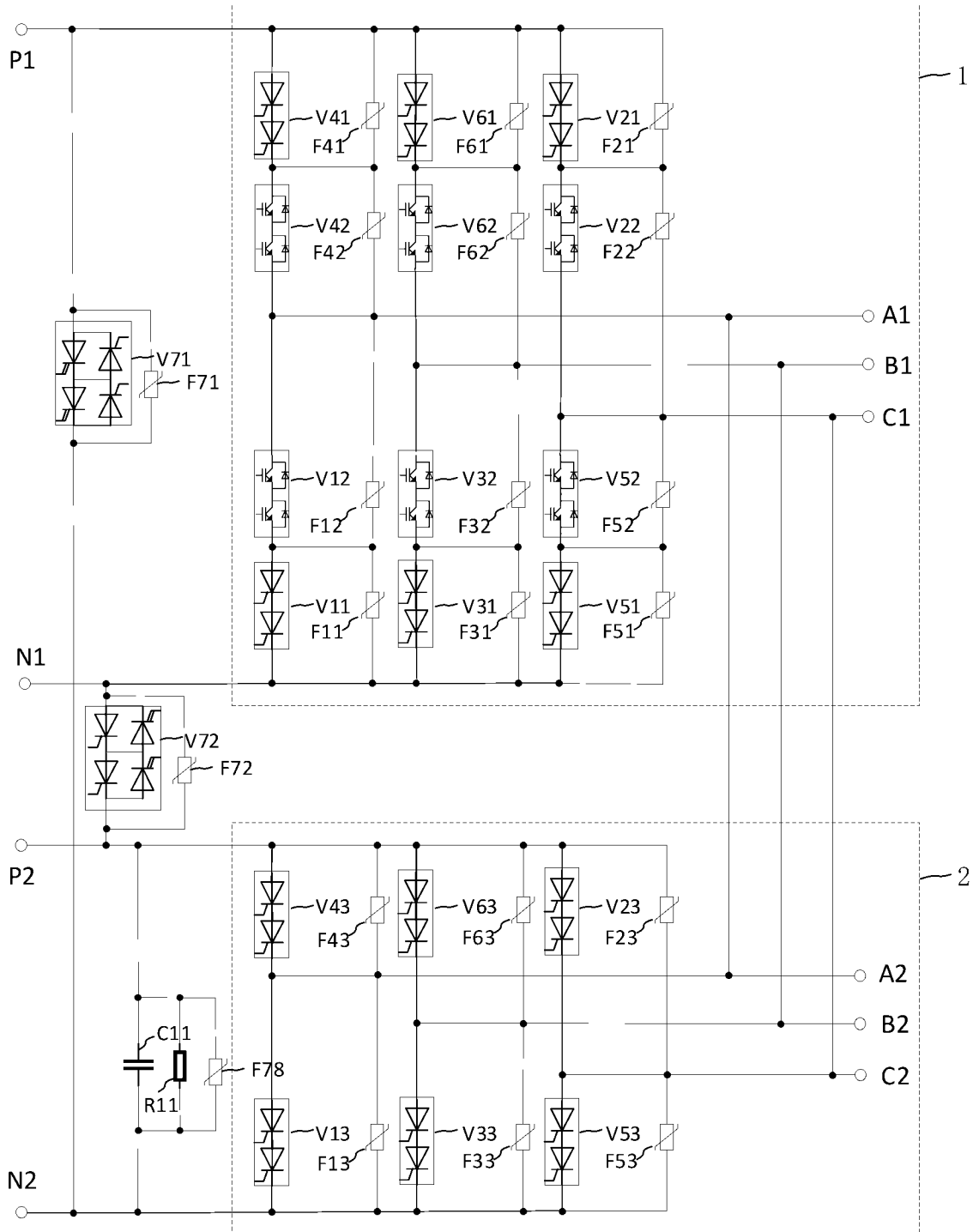


图 15

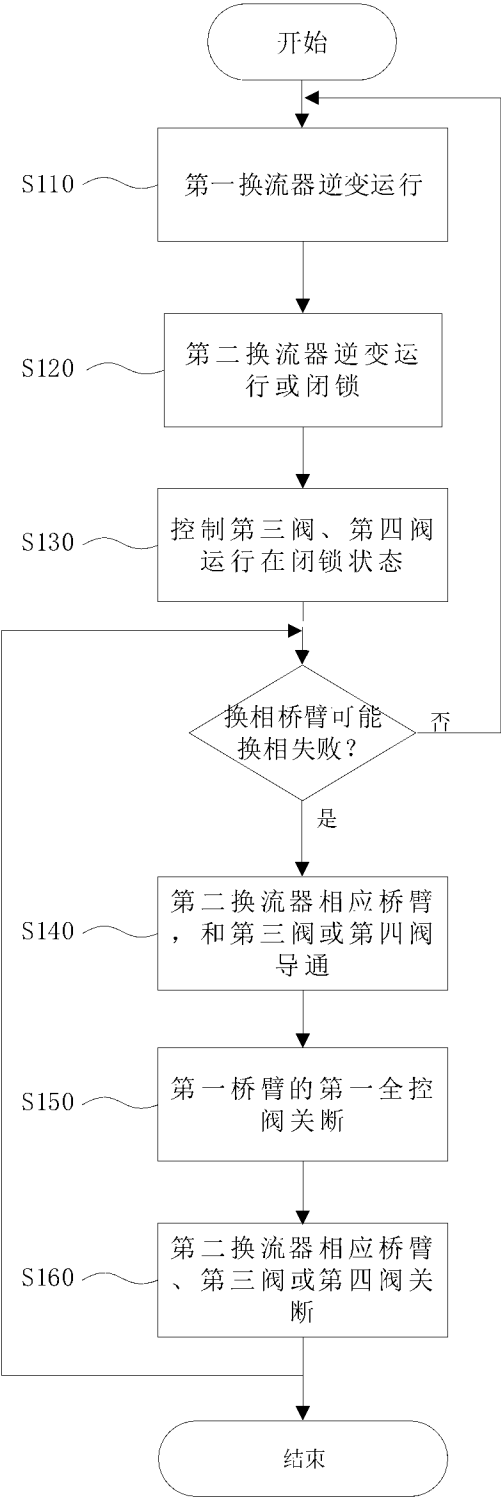


图 16

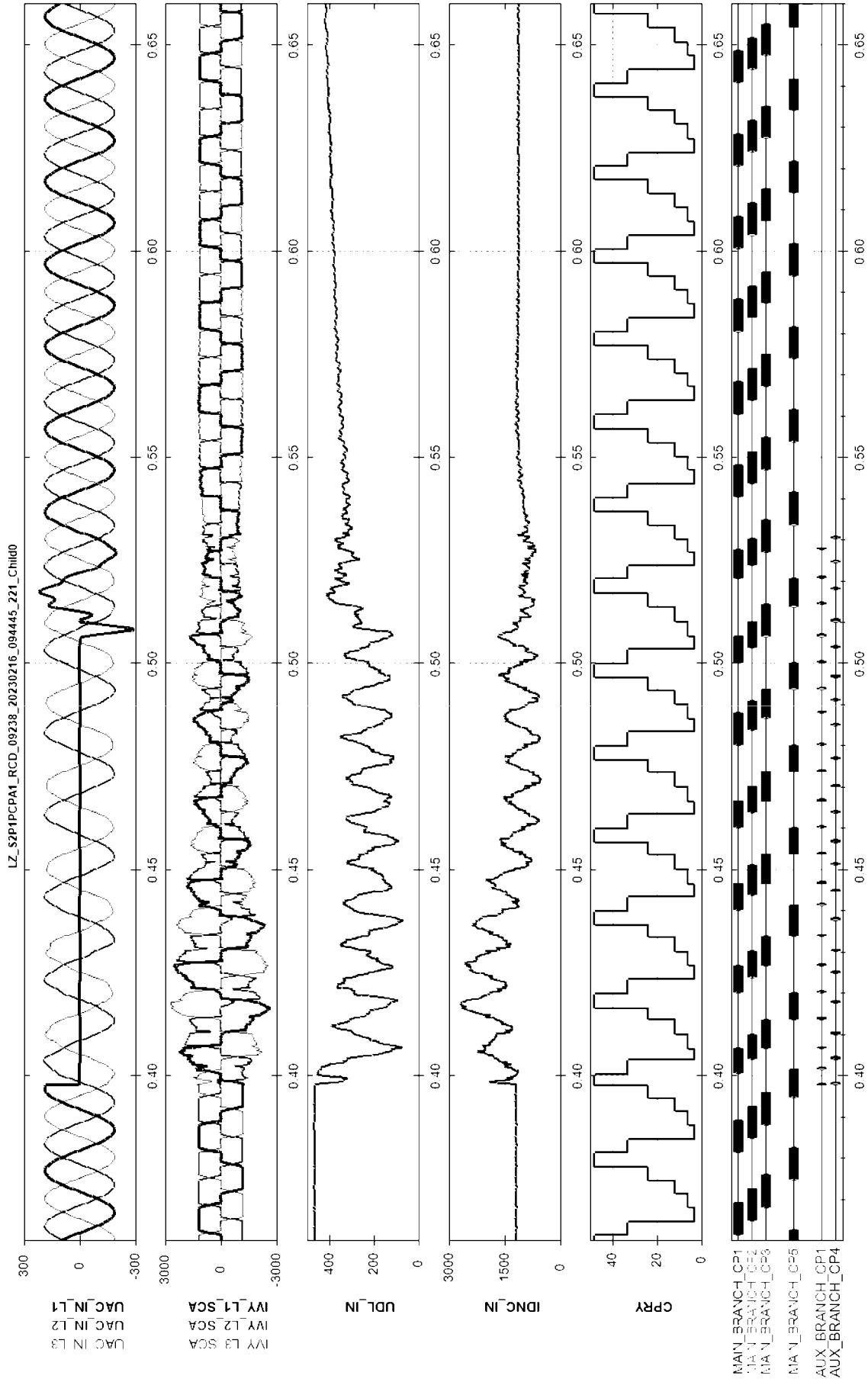


图 17a

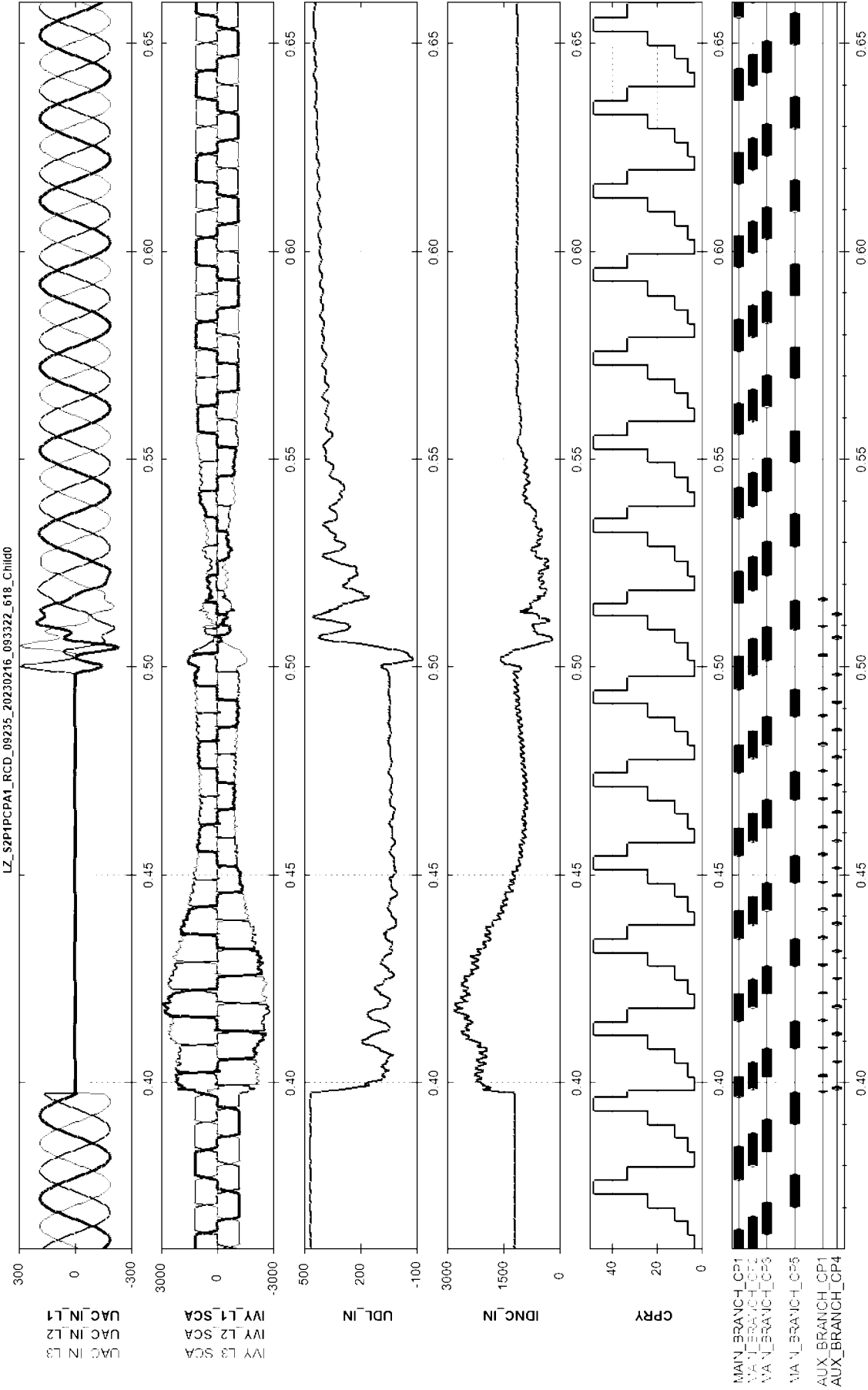


图 17b

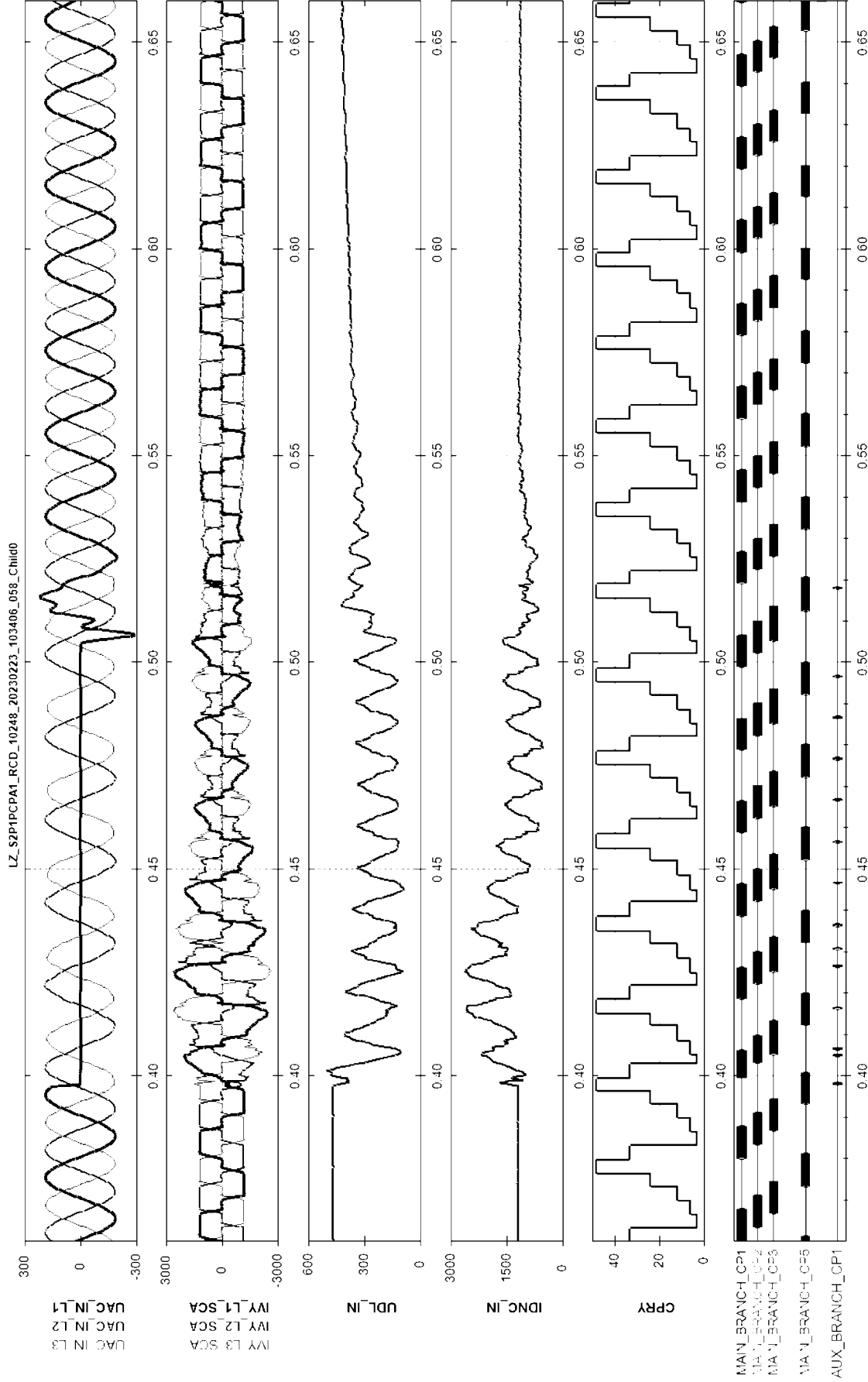


图 18a

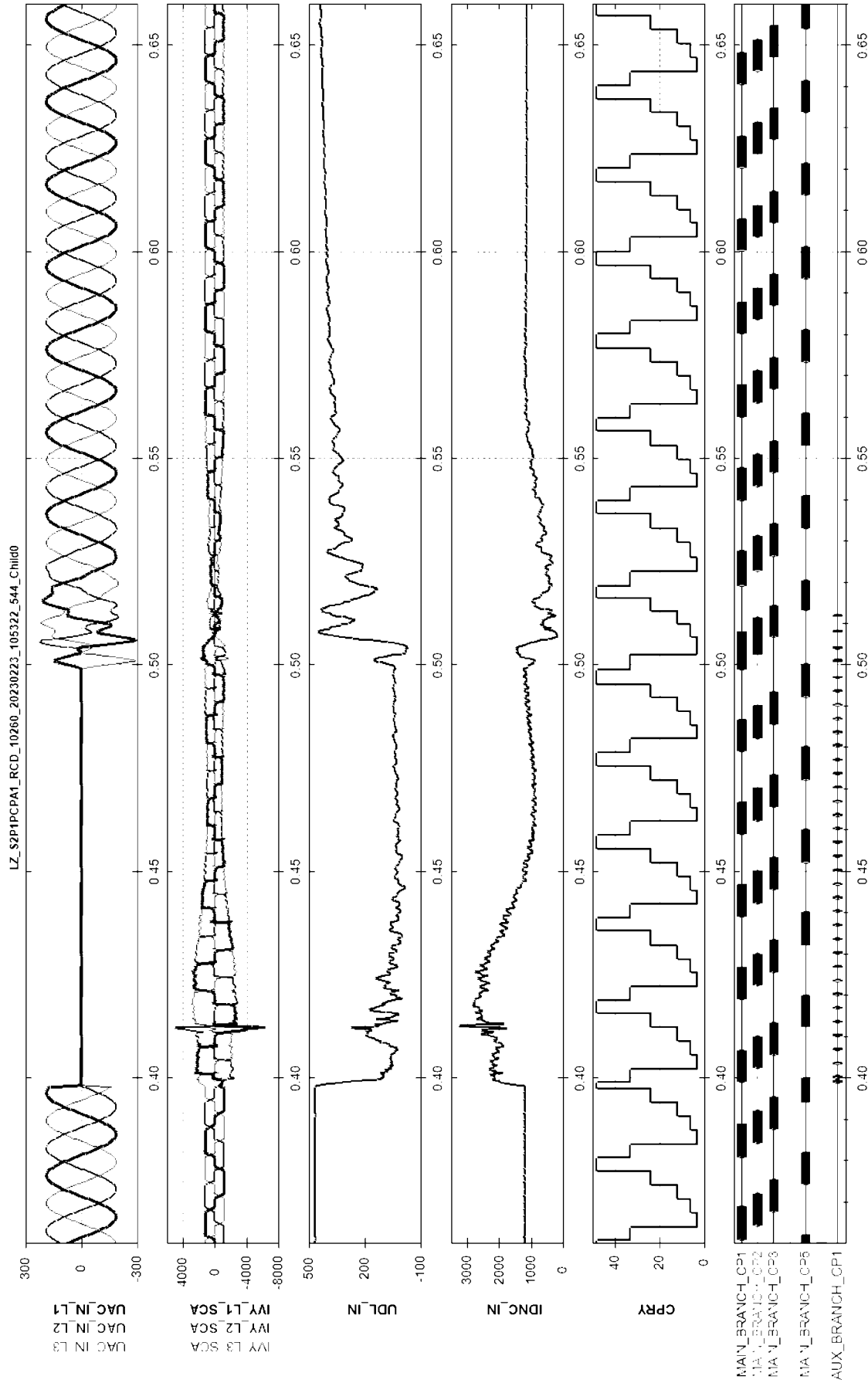


图 18b

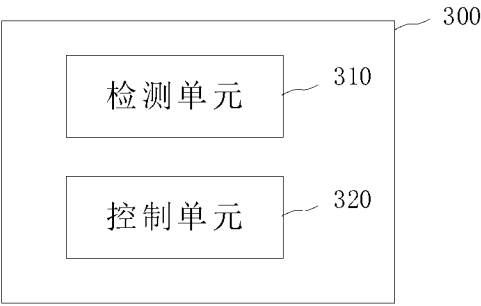


图 19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/093459

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02M7/162(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)

IPC: H02M

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)

VEN, CNABS, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE: 换流器, 并联, 桥臂, 全控, 半控, 连接, 桥接, 阀, converter, parallel, bridge, collect+, link, valve

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 112311272 A (GLOBAL ENERGY INTERCONNECTION RESEARCH INSTITUTE CO., LTD. et al.) 02 February 2021 (2021-02-02) description, paragraphs 4-166, and figures 1-8	1-15
A	CN 110556802 A (NR ELECTRIC CO., LTD. et al.) 10 December 2019 (2019-12-10) description, paragraphs 2-77, and figure 1	1-15
A	CN 106100404 A (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, CHINA SOUTHERN POWER GRID et al.) 09 November 2016 (2016-11-09) entire document	1-15
A	CN 112803798 A (GLOBAL ENERGY INTERCONNECTION RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 14 May 2021 (2021-05-14) entire document	1-15
A	CN 112803799 A (GLOBAL ENERGY INTERCONNECTION RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 14 May 2021 (2021-05-14) entire document	1-15
A	US 2014254228 A1 (DELTA ELECTRONICS INC.) 11 September 2014 (2014-09-11) entire document	1-15

☐ 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

“D” document cited by the applicant in the international application

“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

14 June 2023

Date of mailing of the international search report

20 June 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/093459

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	112311272	A	02 February 2021	None			
CN	110556802	A	10 December 2019	None			
CN	106100404	A	09 November 2016	None			
CN	112803798	A	14 May 2021	CN	214380680	U	08 October 2021
CN	112803799	A	14 May 2021	CN	214256149	U	21 September 2021
				WO	2022160927	A1	04 August 2022
US	2014254228	A1	11 September 2014	US	9093923	B2	28 July 2015
				CN	104038085	A	10 September 2014

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2023/093459

A. 主题的分类 H02M7/162 (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) IPC: H02M 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)) VEN, CNABS, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE: 换流器, 并联, 桥臂, 全控, 半控, 连接, 桥接, 阀, converter, parallel, bridge, collect+, link, valve		
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
A	CN 112311272 A (全球能源互联网研究院有限公司 等) 2021年2月2日 (2021 - 02 - 02) 说明书第4-166段、图1-8	1-15
A	CN 110556802 A (南京南瑞继保电气有限公司 等) 2019年12月10日 (2019 - 12 - 10) 说明书第2-77段、图1	1-15
A	CN 106100404 A (南方电网科学研究院有限责任公司 等) 2016年11月9日 (2016 - 11 - 09) 全文	1-15
A	CN 112803798 A (全球能源互联网研究院有限公司) 2021年5月14日 (2021 - 05 - 14) 全文	1-15
A	CN 112803799 A (全球能源互联网研究院有限公司) 2021年5月14日 (2021 - 05 - 14) 全文	1-15
A	US 2014254228 A1 (DELTA ELECTRONICS INC.) 2014年9月11日 (2014 - 09 - 11) 全文	1-15
☐ 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 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “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 2023年6月14日		国际检索报告邮寄日期 2023年6月20日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		授权官员 黄勇 电话号码 (+86) 010-53961255

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/093459

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	112311272	A	2021年2月2日	无			
CN	110556802	A	2019年12月10日	无			
CN	106100404	A	2016年11月9日	无			
CN	112803798	A	2021年5月14日	CN	214380680	U	2021年10月8日
CN	112803799	A	2021年5月14日	CN	214256149	U	2021年9月21日
				WO	2022160927	A1	2022年8月4日
US	2014254228	A1	2014年9月11日	US	9093923	B2	2015年7月28日
				CN	104038085	A	2014年9月10日