

(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 2023/217221 A1

(51) 国际专利分类号:
H02M 1/06 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/093466

(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:
202210519685.5 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)。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)。柏传军(BAI, Chuanjun); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu

211102 (CN)。刘磊(LIU, Lei); 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,

(54) Title: BRIDGE ARM CIRCUIT HAVING CAPACITOR-ASSISTED TURN-OFF, CONVERTER, METHOD, APPARATUS, AND SYSTEM

(54) 发明名称: 电容辅助关断的桥臂电路、换流器及方法和装置、系统

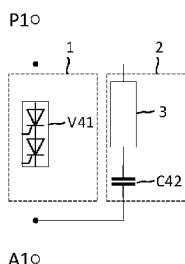


图 1

(57) Abstract: The present application provides a bridge arm circuit having capacitor-assisted turn-off, a converter, a method, an apparatus and a system. The bridge arm circuit having capacitor-assisted turn-off comprises a main branch and an assisted turn-off branch. The main branch comprises a first semi-controlled valve. The assisted turn-off branch is connected in parallel with the main branch, the assisted turn-off branch comprising a power electronic switch and a first capacitor, connected in series; the power electronic switch bidirectionally conducts current, is bidirectionally controllable to turn on, and unidirectionally controllable to turn off.

(57) 摘要: 本申请提供电容辅助关断的桥臂电路、换流器及方法和装置、系统。所述电容辅助关断的桥臂电路包括主支路和辅助关断支路, 所述主支路包括第一半控阀; 所述辅助关断支路与所述主支路并联连接, 所述辅助关断支路包括串联连接的电力电子开关和第一电容器, 所述电力电子开关双向通流, 双向可控开通, 单向可控关断。



WO 2023/217221 A1

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))。

电容辅助关断的桥臂电路、换流器及方法和装置、系统

技术领域

本申请涉及高压直流输电技术领域，具体涉及电容辅助关断的桥臂电路、换流器及方法和装置、系统。

背景技术

高压、特高压直流输电系统的换流器一般采用十二脉动电路作为基本单元，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。柔性直流输电和混合直流输电的电压源换流器一般采用模块化多电平换流器，每个桥臂由半桥或全桥子模块串联，子模块采用全控器件和电容，虽然无换相失败问题，但是成本高、损耗大，且存在振荡风险。

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、抑制换相失败和振荡能力提出更高要求。现有的高压直流输电、柔性直流输电、混合直流输电技术很难满足直流输电系统对成本和性能的严苛要求。

发明内容

本申请实施例提供一种电容辅助关断的桥臂电路，包括并联连接的主支路和辅助关断支路，所述主支路包括第一半控阀，所述第一半控阀包括半控开关；所述辅助关断支路包括串联连接的电力电子开关和第一电容器，所述电力电子开关双向通流，双向可控开通，单向可控关断。

根据一些实施例，所述主支路还包括第一全控阀，与所述第一半控阀串联连接；所述第一半控阀、所述第一全控阀两端分别并联避雷器，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，所述第一全控阀包括全控开关。

根据一些实施例，所述辅助关断支路还包括电阻或/和电抗，所述电阻或/和电抗与所述电力电子开关和所述第一电容器串联连接；所述电力电子开关、所述第一电容器两端分别并联避雷器，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，所述电力电子开关包括至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括反并联连接的全控开关和半控开关。

根据一些实施例，所述电力电子开关包括至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括全控开关、不控开关和半控开关，所述不控开关与所述全控开关串联连接；所述半控开关与所述全控开关和所述不控开关的串联电路反并联连接。

根据一些实施例，所述电力电子开关包括至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括反并联连接的全控开关。

根据一些实施例，所述电力电子开关包括串联连接的第一半控开关组和全控开关组，所述第一半控开关组包括至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括反并联连接的半控开关；所述全控开关组包括至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，与所述第一半控开关组串联连接；所述第一电容器串联在所述第一半控开关组与所述全控开关组之间或者串联在所述主支路与所述第一半控开关组或所述全控开关组之间。根据一些实施例，所述电力电子开关包括串联连接的第二半控开关组和全控开关组，所述第二半控开关组包括至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括反并联连接的半控开关和不控开关；所述全控开关组包括至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，与所述第二半控开关组串联连接；所述第一电容器串联在所述第二半控开关组与所述全控开关组之间或者串联在所述主支路与所述第二半控开关组或所述全控开关组之间。

根据一些实施例，所述电力电子开关包括至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括全控开关、不控开关、第一半控开关和第二半控开关，所述第一半控开关与所述全控开关和所述不控开关串联连接；所述第二半控开关与所述全控开关、所述不控开关和所述第一半控开关的串联电路反并联连接。

根据一些实施例，所述电力电子开关包括至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括：全控开关、第一半控开关和第二半控开关，所述第一半控开关与所述全控开关串联连接；所述第二半控开关与所述全控开关和所述第一半控开关的串联电路反并联连接。

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、IGBT、GTO、MOSFET 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，所述辅助关断支路还包括快速隔离开关，所述快速隔离开关与所述电力电子开关串联连接。

本申请实施例还提供一种电容辅助关断的换流器，所述换流器包括三相六桥臂，至少有一个桥臂为如上所述的电容辅助关断的桥臂电路。

根据一些实施例，所述换流器的三个上桥臂的辅助关断支路共用一个第一电容器，所述换流器的三个下桥臂的辅助关断支路共用另一个第一电容器。

本申请实施例还提供一种高压直流输电系统，所述高压直流输电系统包括如上所述的电容辅助关断的换流器。

本申请实施例还提供一种如上所述的电容辅助关断的换流器的控制方法，包括：控制所述换流器的所述桥臂电路的主支路运行在逆变状态；在所述桥臂电路向另一桥臂换相结束时，控制所述桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关反向导通，所述辅助关断支路的第一电容器反向充电，使所述第一电容器呈现负压；当发生故障可能引起所述桥臂电路换相失败时，控制所述桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关正向导通，使所述桥臂电路的主支路的电流转移到辅助关断支路；所述桥臂电路的主支路关断后，控制所述桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关正向关断，实现了电流从所述桥臂电路所在相转移到另一相。

根据一些实施例，所述桥臂电路的主支路关断为所述桥臂电路的主支路的所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。

本申请实施例还提供一种如上所述的电容辅助关断的换流器的控制装置，包括检测单元和控制单元，所述检测单元用于检测所述电容辅助关断的换流器的运行参数和故障；所述控制单元基于所述电容辅助关断的换流器的运行参数，控制所述换流器的所述桥臂电路的主支路运行在逆变状态；在所述桥臂电路向另一桥臂换相结束时，控制所述桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关反向导通，所述辅助关断

支路的第一电容器反向充电，使所述第一电容器呈现负压；当发生故障可能引起所述桥臂电路换相失败时，控制所述桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关正向导通，使所述桥臂电路的主支路的电流转移到辅助关断支路，所述桥臂电路的主支路关断后，控制所述桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关正向关断，实现了电流从所述桥臂电路所在相转移到另一相。

本申请实施例提供的技术方案，桥臂换相时，利用换相时产生的负压为桥臂电路的辅助支路电容器反向充电，故障时，利用电容器的负压使桥臂电路的主支路关断，再利用辅助关断支路的电力电子开关关断，强迫电流从桥臂电路所在相转移到另一相，实现了基于半控器件的电网换相换流器可控换相，有效抑制换相失败发生，保证了换流器可靠运行。

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电容辅助关断的桥臂电路示意图之一。

图 2 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的桥臂电路示意图之二。

图 3 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的桥臂电路示意图之三。

图 4a-图 4h 是本申请实施例提供的电力电子开关示意图。

图 5 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之一。

图 6 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之二。

图 7 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之三。

图 8 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之

四。

图 9 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之五。

图 10 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之六。

图 11 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之七。

图 12 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之八。

图 13 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之九。

图 14a 是本申请实施例的一种电容辅助关断的换流器的单相接地故障试验结果；图 14b 是本申请实施例的一种电容辅助关断的换流器的三相接地故障试验结果。

图 15 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器的控制方法流程示意图。

图 16 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器的控制装置示意图。

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”等是用于区别不同对象，而不是用于描述特定顺序。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电容辅助关断的桥臂电路示意图之一。

电容辅助关断的桥臂电路包括并联连接的主支路 1 和辅助关断支路 2。

如图 1 所示，主支路 1 包括第一半控阀 V41。辅助关断支路 2 包括串联连接的电力电子开关 3 和第一电容器 C42，电力电子开关 3 双向通流，双向可控开通，单向可控关断。

根据一些实施例，主支路 1 还包括第一全控阀 V411，第一全控阀 V411 与第一半控阀 V41 串联连接，如图 2 所示。

根据一些实施例，第一半控阀 V41、第一全控阀 V411、电力电子开关 3、第一电容器 C42 两端分别并联避雷器，第一全控阀 V411 两端并联第二半控阀 V412，第一半控阀 V41 和第二半控阀 V412 分别包括半控开关，第一全控阀 V411 包括全控开关。

根据一些实施例，辅助关断支路 2 还包括电阻 R42 或/和电抗 L42，电阻 R42 或/和电抗 L42 与电力电子开关 3 和第一电容器 C42 串联连接，如图 3 所示，辅助关断支路 2 中，电阻 R42、电抗 L42 与电力电子开关 3 和第一电容器 C42 串联连接。

根据一些实施例，第一电容器 C42 包括串联连接的至少一个电容元件，第一电容器 C42 的至少一个电容元件分别并联均压电阻。

根据一些实施例，电力电子开关 3 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和半控开关，如图 4a 所示，全控开关包括 IGCT6，半控开关包括晶闸管 4，并不以此为限。

根据一些实施例，电力电子开关 3 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括全控开关、不控开关和半控开关，全控开关和不控开关串联后再与半控开关反并联连接，如图 4b 所示，全控开关包括 IGBT5 和与之反并联的二极管 7，不控开关包括二极管 7，半控开关包括晶闸管 4，并不以此为限。需要指出的是，全控开关中的二极管 7 不是必需的。

根据一些实施例，电力电子开关 3 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关，如图 4c 所示，全控开关包括 IGCT6，并不以此为限。

根据一些实施例，电力电子开关 3 包括第一半控开关组 9 和全控开关组 8，第一半控开关组 9 与全控开关组 8 串联连接，第一半控开

关组 9 包括至少一个串联连接的开关组,开关组包括反并联连接的两个半控开关,全控开关组 8 包括至少一个串联连接的开关组,开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关,如图 4d 所示,第一半控开关组 9 的一个开关组包括两个晶闸管 4,全控开关组 8 的一个开关组包括 IGBT5 和与之反并联的二极管 7,并不以此为限。

根据一些实施例,电力电子开关 3 包括第二半控开关组 10 和全控开关组 8,第二半控开关组 10 与全控开关组 8 串联连接,第二半控开关组 10 包括至少一个串联连接的开关组,开关组包括反并联连接的半控开关和不控开关,全控开关组 8 包括至少一个串联连接的开关组,开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关,如图 4e 所示,第二半控开关组 10 的一个开关组包括晶闸管 4 和与之反并联的二极管 7,全控开关组 8 的一个开关组包括 IGBT5 和与之反并联的二极管 7。本实施例的电力电子开关 3 也可以如图 4f 所示,半控开关和不控开关反并联连接后再与全控开关串联连接,并不以此为限。

根据一些实施例,电力电子开关 3 包括至少一个串联连接的开关组,开关组包括全控开关 11、不控开关 13、第一半控开关 12 和第二半控开关 14,全控开关 11、不控开关 13 和第一半控开关 12 串联连接,第二半控开关 14 与上述全控开关 11、不控开关 13 和第一半控开关 12 的串联电路反并联连接,如图 4g 所示,全控开关 11 包括串联连接的 IGBT5 和与之反并联的二极管 7,不控开关 13 包括串联连接的二极管 7,第一半控开关 12 包括串联连接的晶闸管 4,第二半控开关 14 包括串联连接的晶闸管 4,并不以此为限。

根据一些实施例,电力电子开关 3 包括至少一个串联连接的开关组,开关组包括全控开关 11、第一半控开关 12 和第二半控开关 14,全控开关 11 和第一半控开关 12 串联连接,第二半控开关 14 与上述全控开关 11 和第一半控开关 12 的串联电路反并联连接,如图 4h 所示,全控开关 11 包括串联连接的 IGBT5 和与之反并联的二极管 7,第一半控开关 12 包括串联连接的晶闸管 4,第二半控开关 14 包括串联连接的晶闸管 4,并不以此为限。

全控开关包括串联连接的至少一个全控器件,全控器件包括 IGCT(Integrated Gate Commutated Thyristors,集成门极换流晶闸管)、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor,绝缘栅双极型晶体管)、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。半控开关包括串联连接的至少一个半控器件,半控器件包括晶闸管。不控开关包括串联连接的至少一个

不控器件，不控器件包括二极管，但并不以此为限。可选地，全控开关包括串联连接的至少一个全控器件和与之反并联的不控器件。

晶闸管 4 配置相应的触发电路和缓冲电路。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，辅助关断电路 2 还包括快速隔离开关，快速隔离开关为机械开关，与电力电子开关 3 串联连接。

图 5 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之一，电容辅助关断的换流器有三相六个桥臂，每个桥臂都由图 1 所示的桥臂电路构成。

每个桥臂电路包括并联连接的主支路和辅助关断支路。主支路包括第一半控阀。辅助关断支路包括串联连接的电力电子开关和第一电容器，电力电子开关双向通流，双向可控开通，单向可控关断。

A 相上桥臂主支路由第一半控阀 V41 组成，辅助关断支路由电力电子开关 3 和第一电容器 C42 串联组成。

B 相上桥臂主支路由第一半控阀 V61 组成，辅助关断支路由电力电子开关 3 和第一电容器 C62 串联组成。

C 相上桥臂主支路由第一半控阀 V21 组成，辅助关断支路由电力电子开关 3 和第一电容器 C22 串联组成。

A 相下桥臂主支路由第一半控阀 V11 组成，辅助关断支路由电力电子开关 3 和第一电容器 C12 串联组成。

B 相下桥臂主支路由第一半控阀 V31 组成，辅助关断支路由电力电子开关 3 和第一电容器 C32 串联组成。

C 相下桥臂主支路由第一半控阀 V51 组成，辅助关断支路由电力电子开关 3 和第一电容器 C52 串联组成。

图 6 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之二。

在图 5 实施例基础上，电力电子开关采用如图 4a 的结构，包括多个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和半控开关，全控开关包括 IGCT6，半控开关包括晶闸管 4。第一半控阀、电

力电子开关、第一电容器分别并联避雷器，保护器件。

如图 6 所示，第一半控阀 V41 并联避雷器 F41，电力电子开关 V42 并联避雷器 F42，第一电容器 C42 并联避雷器 F74。第一半控阀 V61 并联避雷器 F61，电力电子开关 V62 并联避雷器 F62，第一电容器 C62 并联避雷器 F76。第一半控阀 V21 并联避雷器 F21，电力电子开关 V22 并联避雷器 F22，第一电容器 C22 并联避雷器 F72。第一半控阀 V11 并联避雷器 F11，电力电子开关 V12 并联避雷器 F12，第一电容器 C12 并联避雷器 F71。第一半控阀 V31 并联避雷器 F31，电力电子开关 V32 并联避雷器 F32，第一电容器 C32 并联避雷器 F73。第一半控阀 V51 并联避雷器 F51，电力电子开关 V52 并联避雷器 F52，第一电容器 C52 并联避雷器 F75。

根据一些实施例，电力电子开关采用如图 4a 的结构，只包括一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和半控开关，如图 7 所示，全控开关包括串联连接的 IGCT6，半控开关包括串联连接的晶闸管 4。

如图 7 所示，第一半控阀 V41 并联避雷器 F41，电力电子开关包括反并联连接的全控开关 V43 和半控开关 V44，电力电子开关并联避雷器 F43，第一电容器 C42 并联避雷器 F74。第一半控阀 V61 并联避雷器 F61，电力电子开关包括反并联连接的全控开关 V63 和半控开关 V64，且并联避雷器 F63，第一电容器 C62 并联避雷器 F76。第一半控阀 V21 并联避雷器 F21，电力电子开关包括反并联连接的全控开关 V23 和半控开关 V24，且并联避雷器 F23，第一电容器 C22 并联避雷器 F72。第一半控阀 V11 并联避雷器 F11，电力电子开关包括反并联连接的全控开关 V13 和半控开关 V14，且并联避雷器 F13，第一电容器 C12 并联避雷器 F71。第一半控阀 V31 并联避雷器 F31，电力电子开关包括反并联连接的全控开关 V33 和半控开关 V34，且并联避雷器 F33，第一电容器 C32 并联避雷器 F73。第一半控阀 V51 并联避雷器 F51，电力电子开关包括反并联连接的全控开关 V53 和半控开关 V54，且并联避雷器 F53，第一电容器 C52 并联避雷器 F75。

图 8 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之四。

在图 5 实施例基础上，电力电子开关采用如图 4d 所示的结构，包括串联连接的第一半控开关组和全控开关组，第一半控开关组包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的半控开关，半

控开关包括晶闸管，全控开关组包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括串联连接的全控开关与不控开关，全控开关包括 IGBT，不控开关包括二极管。第一半控阀、第一半控开关组、全控开关组、第一电容器分别并联避雷器，保护器件。第一电容器串联在主支路与全控开关组之间。

A 相上桥臂中，第一半控阀 V41 并联避雷器 F41，第一半控开关组 V45 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的半控开关，第一半控开关组 V45 并联避雷器 F44，全控开关组 V46 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，全控开关组 V46 并联避雷器 F45，第一电容器 C42 并联避雷器 F74。

B 相上桥臂中，第一半控阀 V61 并联避雷器 F61，第一半控开关组 V65 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的半控开关，第一半控开关组 V65 并联避雷器 F64，全控开关组 V66 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，全控开关组 V66 并联避雷器 F65，第一电容器 C62 并联避雷器 F76。

C 相上桥臂中，第一半控阀 V21 并联避雷器 F21，第一半控开关组 V25 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的半控开关，第一半控开关组 V25 并联避雷器 F24，全控开关组 V26 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，全控开关组 V26 并联避雷器 F25，第一电容器 C22 并联避雷器 F72。

A 相下桥臂中，第一半控阀 V11 并联避雷器 F11，第一半控开关组 V15 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的半控开关，第一半控开关组 V15 并联避雷器 F14，全控开关组 V16 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，全控开关组 V16 并联避雷器 F15，第一电容器 C12 并联避雷器 F71。

B 相下桥臂中，第一半控阀 V31 并联避雷器 F31，第一半控开关组 V35 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的半控开关，第一半控开关组 V35 并联避雷器 F34，全控开关组 V36 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，全控开关组 V36 并联避雷器 F35，第一电容器 C32 并联避雷器 F73。

C 相下桥臂中，第一半控阀 V51 并联避雷器 F51，第一半控开关组 V55 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的半控开关，第一半控开关组 V55 并联避雷器 F54，全控开关组 V56 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，全控开关组 V56 并联避雷器 F55，第一电容器 C52 并联避雷器 F75。

图 9 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之五。

在图 5 实施例基础上，电力电子开关采用如图 4c 所示的结构，包括串联连接的第二半控开关组和全控开关组，第二半控开关组包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的半控开关和不控开关，半控开关包括晶闸管，不控开关包括二极管，全控开关组包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括串联连接的全控开关与不控开关，全控开关包括 IGBT，不控开关包括二极管。第一半控阀、第二半控开关组、全控开关组、第一电容器分别并联避雷器，保护器件。第一电容器串联在主支路与全控开关组之间。

A 相上桥臂中，第一半控阀 V41 并联避雷器 F41，第二半控开关组 V47 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的不控开关和半控开关，第二半控开关组 V47 并联避雷器 F44，全控开关组 V46 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，全控开关组 V46 并联避雷器 F46，第一电容器 C42 并联避雷器 F74。

B 相上桥臂中，第一半控阀 V61 并联避雷器 F61，第二半控开关组 V67 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的不控开关和半控开关，第二半控开关组 V67 并联避雷器 F64，全控开关组 V66 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，全控开关组 V66 并联避雷器 F66，第一电容器 C62 并联避雷器 F76。

C 相上桥臂中，第一半控阀 V21 并联避雷器 F21，第二半控开关组 V27 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的不控开关和半控开关，第二半控开关组 V27 并联避雷器 F24，全控开关组 V26 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，全控开关组 V26 并联避雷器 F26，第一电容器 C22 并联避雷器 F72。

A 相下桥臂中，第一半控阀 V11 并联避雷器 F11，第二半控开关组 V17 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的不控开关和半控开关，第二半控开关组 V17 并联避雷器 F14，全控开关组 V16 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，全控开关组 V16 并联避雷器 F16，第一电容器 C12 并联避雷器 F71。

B 相下桥臂中，第一半控阀 V31 并联避雷器 F31，第二半控开关组 V37 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的不控开关和半控开关，第二半控开关组 V37 并联避雷器 F34，全控开关组 V36 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，全控开关组 V36 并联避雷器 F36，第一电容器 C32 并联避雷器 F73。

C 相下桥臂中，第一半控阀 V51 并联避雷器 F51，第二半控开关组 V57 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的不控开关和半控开关，第二半控开关组 V57 并联避雷器 F54，全控开关组 V56 包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，全控开关组 V56 并联避雷器 F56，第一电容器 C52 并联避雷器 F75。

根据一些实施例，第一电容器也可以串联连接在第二半控开关组和全控开关之间，如图 10 所示。

图 11 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之七。

在图 5 实施例基础上，辅助关断支路包括串联连接的电力电子开关、电阻和第一电容器，电力电子开关采用如图 4a 所示的结构，包括多个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的全控开关和半控开关，全控开关包括 IGCT6，半控开关包括晶闸管 4。第一半控阀、电力电子开关、第一电容器并联避雷器。三个上桥臂共用第一电容器和电阻，三个下桥臂共用第一电容器和电阻。

A 相上桥臂中，第一半控阀 V41 并联避雷器 F41，电力电子开关 V42 并联避雷器 F42，第一电容器 C42 并联避雷器 F74。

B 相上桥臂中，第一半控阀 V61 并联避雷器 F61，电力电子开关 V62 并联避雷器 F62，第一电容器 C42 并联避雷器 F74。

C 相上桥臂中，第一半控阀 V21 并联避雷器 F21，电力电子开关

V22 并联避雷器 F22，第一电容器 C42 并联避雷器 F74。

A 相下桥臂中，第一半控阀 V11 并联避雷器 F11，电力电子开关 V12 并联避雷器 F12，第一电容器 C12 并联避雷器 F71。

B 相下桥臂中，第一半控阀 V31 并联避雷器 F31，电力电子开关 V32 并联避雷器 F32，第一电容器 C12 并联避雷器 F71。

C 相下桥臂中，第一半控阀 V51 并联避雷器 F51，电力电子开关 V52 并联避雷器 F52，第一电容器 C12 并联避雷器 F71。

三个上桥臂共用第一电容器 V42 和电阻 R42，三个上桥臂的电力电子开关连接同一母线 P2；三个下桥臂共用第一电容器 V12 和电阻 R12，三个下桥臂的电力电子开关连接同一母线 N2。

图 12 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之八。

在图 5 实施例基础上，电力电子开关采用如图 4d 所示的结构，包括串联连接的第一半控开关组和全控开关组，第一半控开关组包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括反并联连接的半控开关，半控开关包括晶闸管，全控开关组包括至少一个串联连接的开关组，开关组包括串联连接的全控开关与不控开关，全控开关包括 IGBT，不控开关包括二极管。第一半控阀、第一半控开关组、全控开关组、第一电容器分别并联避雷器，保护器件。三个上桥臂共用第一电容器和全控开关组，三个下桥臂共用第一电容器和全控开关组。

A 相上桥臂中，第一半控阀 V41 并联避雷器 F41，第一半控开关组 V45 并联避雷器 F44，全控开关组 V46 并联避雷器 F45，第一电容器 C42 并联避雷器 F74。

B 相上桥臂中，第一半控阀 V61 并联避雷器 F61，第一半控开关组 V65 并联避雷器 F64，全控开关组 V46 并联避雷器 F45，第一电容器 C42 并联避雷器 F74。

C 相上桥臂中，第一半控阀 V21 并联避雷器 F21，第一半控开关组 V25 并联避雷器 F24，全控开关组 V46 并联避雷器 F45，第一电容器 C42 并联避雷器 F74。

A 相下桥臂中，第一半控阀 V11 并联避雷器 F11，第一半控开关组 V15 并联避雷器 F14，全控开关组 V16 并联避雷器 F15，第一电容器 C12 并联避雷器 F71。

B 相下桥臂中，第一半控阀 V31 并联避雷器 F31，第一半控开关组 V35 并联避雷器 F34，全控开关组 V16 并联避雷器 F15，第一电容器 C12 并联避雷器 F71。

C 相下桥臂中，第一半控阀 V51 并联避雷器 F51，第一半控开关组 V55 并联避雷器 F54，全控开关组 V16 并联避雷器 F15，第一电容器 C12 并联避雷器 F71。

三个上桥臂共用全控开关 V46 和第一电容器 V42，三个上桥臂的第一半控开关组连接同一母线 P2。三个下桥臂共用全控开关 V16 和第一电容器 V12，三个下桥臂的第一半控开关组连接同一母线 N2。

图 13 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器示意图之九。

在图 5 实施例基础上，电力电子开关采用如图 4g 所示的结构，包括一个串联连接的开关组，开关组包括全控开关、不控开关、第一半控开关和第二半控开关，全控开关、不控开关和第一半控开关串联连接，第二半控开关与上述全控开关、不控开关和第一半控开关的串联电路反并联连接，全控开关包括串联连接的 IGBT 和与之反并联的二极管，不控开关包括串联连接的二极管 7，第一半控开关包括串联连接的晶闸管 4，第二半控开关包括串联连接的晶闸管 4。第一半控阀、全控开关、不控开关、第一半控开关、第二半控开关和第一电容器分别并联避雷器。

A 相上桥臂中，第一半控阀 V41 并联避雷器 F41，全控开关 V46 并联避雷器 F45，不控开关 V48 并联避雷器 F47，第一半控开关 V49 并联避雷器 F48，第一电容器 C42 并联避雷器 F74。

B 相上桥臂中，第一半控阀 V61 并联避雷器 F61，不控开关 V68 并联避雷器 F67。

C 相上桥臂中，第一半控阀 V21 并联避雷器 F21，不控开关 V28 并联避雷器 F27。

A 相下桥臂中，第一半控阀 V11 并联避雷器 F11，全控开关 V16 并联避雷器 F15，不控开关 V18 并联避雷器 F17，第一半控开关 V19 并联避雷器 F18，第一电容器 C12 并联避雷器 F71。

B 相下桥臂中，第一半控阀 V31 并联避雷器 F31，不控开关 V38 并联避雷器 F37。

C 相下桥臂中，第一半控阀 V51 并联避雷器 F51，不控开关 V58 并联避雷器 F57。

三个上桥臂共用全控开关 V46、第一半控开关 V49 和第一电容器 C42，三个上桥臂的不控开关连接同一母线 P2。三个下桥臂共用全控开关 V16、第一半控开关 V19 和第一电容器 C12，三个下桥臂的不控开关连接同一母线 N2。

本实施例中，只 A 相上桥臂和 A 相下桥臂分别配置了第二半控开关 V40 和第二半控开关 V10。

图 14a 示出了图 13 所示电容辅助关断的换流器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 为全控开关 V16、第一半控开关 V19 的脉冲，MAIN_BRANCH_CP4 为全控开关 V46、第一半控开关 V49 的脉冲，CHARGE_BRANCH_CP1 为第二半控开关 V10 的脉冲，CHARGE_BRANCH_CP2 为第二半控开关 V40 的脉冲；UCAP_YUP 为第一电容器 C42 的电压，UCAP_YDOWN 为第一电容器 C12 的电压。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，控制全控开关 V46、第一半控开关 V49 导通，相应地，电流转移到全控开关 V46、第一半控开关 V49 和不控开关 V48、V68 或 V28，当第一半控阀 V41、V61 或 V21 关断后，控制全控开关 V46 关断；当检测到第一半控阀 V11、V31 或 V51 可能发生换相失败时，控制全控开关 V16、第一半控开关 V19 导通，相应地，电流转移到全控开关 V16、第一半控开关 V19 和不控开关 V18、V38 或 V58，当第一半控阀 V11、V31 或 V51 关断后，控制全控开关 V16 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，第一电容器 C42 的电压 UCAP_YUP、第一电容器 C12 的电压 UCAP_YDOWN 的负压减小，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 14b 示出了图 13 所示电容辅助关断的换流器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高压直流输电系统，高压直流输电系统包括如上所述的电容辅助关断的换流器。

图 15 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器的控制方法流程示意图。

在 S110 中，控制换流器的桥臂电路的主支路运行在逆变状态。

控制如上图 6-图 13 的换流器的主支路 1 的第一半控阀 V11、V21、V31、V41、V51 和 V61 运行在逆变状态。

在 S120 中，在桥臂电路向另一桥臂换相结束时，控制桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关反向导通，辅助关断支路的第一电容器反向充电，使第一电容器呈现负压。

以如图 6 和图 11 的 A 相上桥臂为例，在换流器的 A 相上桥臂向 B 相上桥臂换相结束时，控制 A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的电力电子开关 V42 反向导通，辅助关断支路 2 的第一电容器 C42 反向充电，使第一电容器 C42 呈现负压。

以如图 7 的 A 相上桥臂为例，在换流器的 A 相上桥臂向 B 相上桥臂换相结束时，控制 A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的半控开关 V44 反向导通，辅助关断支路 2 的第一电容器 C42 反向充电，使第一电容器 C42 呈现负压。

以如图 8 和图 12 的 A 相上桥臂为例，在换流器的 A 相上桥臂向 B 相上桥臂换相结束时，控制 A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的第一半控开关组 V45 反向导通，辅助关断支路 2 的第一电容器 C42 反向充电，使第一电容器 C42 呈现负压。

以如图 9 和图 10 的 A 相上桥臂为例，在换流器的 A 相上桥臂向 B 相上桥臂换相结束时，控制 A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的第二半控开关组 V47 反向导通，辅助关断支路 2 的第一电容器 C42 反向充电，使第一电容器 C42 呈现负压。

以如图 13 的 A 相上桥臂为例，在换流器的 A 相上桥臂向 B 相上桥臂换相结束时，控制 A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的第二半控开关 V40 反向导通，辅助关断支路 2 的第一电容器 C42 反向充电，使第一电容器 C42 呈现负压。

上桥臂的电压正方向由换流器的直流母线正极指向交流相，以图 6 所示的 A 相上桥臂为例，第一电容器 C42 的电压正方向由换流器的直流母线正极 P1 指向 A 相端点 A1，以图 6 所示的 A 相下桥臂为例，第一电容器 C12 的电压正方向由 A 相端点 A1 指向换流器的直流母线负极 N1。

在 S130 中，当发生故障可能引起电容辅助关断的换流器的桥臂电路换相失败时，控制换相的桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关正向导通，使换相的桥臂电路的主支路的电流转移到辅助关断支路。

上述换相的桥臂电路为正常运行时向另一桥臂换相的桥臂。

上述故障包括但不限于换流器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。上述可能引起电容辅助关断的换流器的桥臂电路换相失败根据桥臂电路主支路的第一半控阀的关断时刻和交流电压确定，如果桥臂电路主支路的第一半控阀在正常交流电压下的关断时刻还没有关断，则判断为可能引起换流器的桥臂电路换相失败，但不以此为限。

以如图 6 和图 11 的 A 相上桥臂为例，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电容辅助关断的换流器的 A 相上桥臂换相失败时，控制 A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的电力电子开关 V42 正向导通，A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的第一电容器 C42 施加反压到主支路 1，主支路 1 的电流转移到辅助关断支路 2。

以如图 7 的 A 相上桥臂为例，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电容辅助关断的换流器的 A 相上桥臂换相失败时，控制 A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的全控开关 V43 正向导通，A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的第一电容器 C42 施加反压到主支路 1，主支路 1 的电流转移到辅助关断支路 2。

以如图 8 和图 12 的 A 相上桥臂为例，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电容辅助关断的换流器的 A 相上桥臂换相失败时，控制 A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的第一半控开关组 V45 和全控开关组 V46 正向导通，A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的第一电容器 C42 施加反压到主支路 1，主支路 1 的电流转移到辅助关断支路 2。

以如图 9 和图 10 的 A 相上桥臂为例，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电容辅助关断的换流器的 A 相上桥臂换相失败时，控制 A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的第二半控开关组 V47 和全控开关组 V46 正向导通，A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的第一电容器 C42 施加反压到主支路 1，主支路 1 的电流转移到辅助关断支路 2。

以如图 13 的 A 相上桥臂为例，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电容辅助关断的换流器的 A 相上桥臂换相失败时，控制三个上桥臂共用的辅助关断支路 2 的全控开关 V46 和第一半控开关 V49 正向导通，三个上桥臂共用的辅助关断支路 2 的第一电容器 C42 施加反压到 A 相上桥臂的主支路 1，A 相上桥臂的主支路 1 的电流转移到辅助关断支路 2。以如图 13 的 B 相上桥臂为例，当 B 相第一上桥臂向 C 相第一上桥臂换相时，此时，如果发生故障可能引起电容辅助关断的换流器的 B 相上桥臂换相失败时，控制三个上桥臂共用的辅助关断支路 2 的全控开关 V46 和第一半控开关 V49 正向导通，三个上桥臂共用的辅助关断支路 2 的第一电容器 C42 施加反压到 B 相上桥臂的主支路 1，B 相上桥臂的主支路 1 的电流转移到辅助关断支路 2。

在 S140 中，桥臂电路的主支路关断后，控制桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关正向关断，实现了电流从桥臂电路所在相转移到另一相。

以如图 6 和图 11 的 A 相上桥臂为例，A 相上桥臂的第一半控阀 V41 关断后，控制 A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的电力电子开关 V42 正向关断，强迫电流从 A 相换为 B 相。

以如图 7 的 A 相上桥臂为例，A 相上桥臂的第一半控阀 V41 关断后，控制 A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的全控开关 V43 正向关断，强迫电流从 A 相换为 B 相。

以如图 8、图 9、图 10、图 12 和图 13 的 A 相上桥臂为例，A 相上桥臂的第一半控阀 V41 关断后，控制 A 相上桥臂的辅助关断支路 2 的全控开关 V46 正向关断，强迫电流从 A 相换为 B 相。

桥臂电路的主支路关断为桥臂电路的主支路的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。

图 16 是本申请实施例提供的一种电容辅助关断的换流器的控制装置示意图，控制装置 300 包括检测单元 310 和控制单元 320。

检测单元 310 用于检测电容辅助关断的换流器的运行参数。

控制单元 320 基于电容辅助关断的换流器的运行参数控制换流器的桥臂电路的主支路运行在逆变状态，在桥臂电路向另一桥臂换相结束时，控制桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关反向导通，辅助关断支路的第一电容器反向充电，使第一电容器呈现负压。当发生故障可能引起桥臂电路换相失败时，控制单元 320 控制桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关正向导通，使桥臂电路的主支路的电流转移到辅助关断支路，桥臂电路的主支路关断后，控制桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关正向关断，实现了电流从桥臂电路所在相转移到另一相。

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、一种电容辅助关断的桥臂电路，包括：

主支路，包括第一半控阀，所述第一半控阀包括半控开关；

辅助关断支路，与所述主支路并联连接，所述辅助关断支路包括串联连接的电力电子开关和第一电容器，所述电力电子开关双向通流，双向可控开通，单向可控关断。

2、如权利要求 1 所述的桥臂电路，其中，所述主支路还包括：

第一全控阀，与所述第一半控阀串联连接；所述第一半控阀、所述第一全控阀两端分别并联避雷器，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，所述第一全控阀包括全控开关。

3、如权利要求 1 所述的桥臂电路，其中，所述辅助关断支路还包括：

电阻或/和电抗，与所述电力电子开关和所述第一电容器串联连接；所述电力电子开关、所述第一电容器两端分别并联避雷器，所述第一电容器包括串联连接的至少一个电容元件。

4、如权利要求 1 所述的桥臂电路，其中，所述电力电子开关包括：

至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括反并联连接的全控开关和半控开关。

5、如权利要求 1 所述的桥臂电路，其中，所述电力电子开关包括：

至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括：

全控开关；

不控开关，与所述全控开关串联连接；

半控开关，与所述全控开关和所述不控开关的串联电路反并联连接。

6、如权利要求 1 所述的桥臂电路，其中，所述电力电子开关包括：
至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括反并联连接的全控开关。

7、如权利要求 1 所述的桥臂电路，其中，所述电力电子开关包括：
第一半控开关组，包括至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括反并联连接的半控开关；

全控开关组，包括至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，与所述第一半控开关组串联连接；

所述第一电容器串联在所述第一半控开关组与所述全控开关组之间或者串联在所述主支路与所述第一半控开关组或所述全控开关组之间。

8、如权利要求 1 所述的桥臂电路，其中，所述电力电子开关包括：
第二半控开关组，包括至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括反并联连接的半控开关和不控开关；

全控开关组，包括至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括反并联连接的全控开关和不控开关，与所述第二半控开关组串联连接；

所述第一电容器串联在所述第二半控开关组与所述全控开关组之间或者串联在所述主支路与所述第二半控开关组或所述全控开关组之间。

9、如权利要求 1 所述的桥臂电路，其中，所述电力电子开关包括：
至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括：

全控开关；

不控开关；

第一半控开关，与所述全控开关和所述不控开关串联连接；

第二半控开关，与所述全控开关、所述不控开关和所述第一半控开关的串联电路反并联连接。

10、如权利要求 1 所述的桥臂电路，其中，所述电力电子开关包括：

至少一个串联连接的开关组，所述开关组包括：

全控开关；

第一半控开关，与所述全控开关串联连接；

第二半控开关，与所述全控开关和所述第一半控开关的串联电路反并联连接。

11、如权利要求 5 所述的桥臂电路，其中，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、IGBT、GTO、MOSFET 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。

12、如权利要求 1 所述的桥臂电路，其中，所述辅助关断支路还包括：

快速隔离开关，与所述电力电子开关串联连接。

13、一种电容辅助关断的换流器，所述换流器包括三相六桥臂，至少有一个桥臂为权 1 至权 12 之任一项所述的电容辅助关断的桥臂电路。

14、如权利要求 13 所述的换流器，其中，所述换流器的三个上桥臂的辅助关断支路共用一个第一电容器，所述换流器的三个下桥臂的辅助关断支路共用另一个第一电容器。

15、一种高压直流输电系统，所述高压直流输电系统包括如权利要求 13 或 14 所述的电容辅助关断的换流器。

16、一种如权利要求 13 或 14 所述的电容辅助关断的换流器的控

控制所述换流器的所述桥臂电路的主支路运行在逆变状态；

在所述桥臂电路向另一桥臂换相结束时，控制所述桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关反向导通，所述辅助关断支路的第一电容器反向充电，使所述第一电容器呈现负压；

当发生故障可能引起所述桥臂电路换相失败时，控制所述桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关正向导通，使所述桥臂电路的主支路的电流转移到辅助关断支路；

所述桥臂电路的主支路关断后，控制所述桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关正向关断，实现了电流从所述桥臂电路所在相转移到另一相。

17、如权利要求 16 所述的制方法，其中，所述桥臂电路的主支路关断为所述桥臂电路的主支路的所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。

18、一种如权利要求 13 或 14 所述的电容辅助关断的换流器的控制装置，包括：

检测单元，用于检测所述电容辅助关断的换流器的运行参数和故障；

控制单元，基于所述电容辅助关断的换流器的运行参数，控制所述换流器的所述桥臂电路的主支路运行在逆变状态；在所述桥臂电路向另一桥臂换相结束时，控制所述桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关反向导通，所述辅助关断支路的第一电容器反向充电，使所述第一电容器呈现负压；当发生故障可能引起所述桥臂电路换相失败时，控制所述桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关正向导通，使所述桥臂电路的主支路的电流转移到辅助关断支路，所述桥臂电路的主支路关断后，控制所述桥臂电路的辅助关断支路的电力电子开关正向关断，实现了电流从所述桥臂电路所在相转移到另一相。

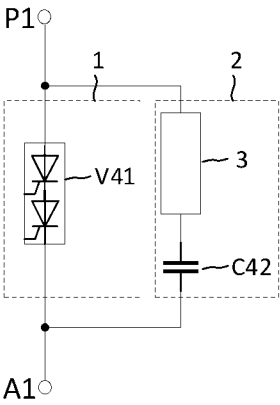


图 1

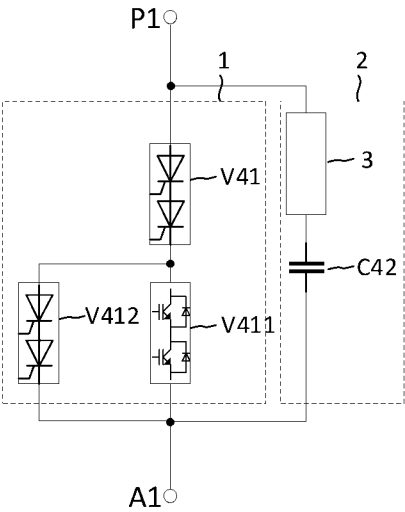


图 2

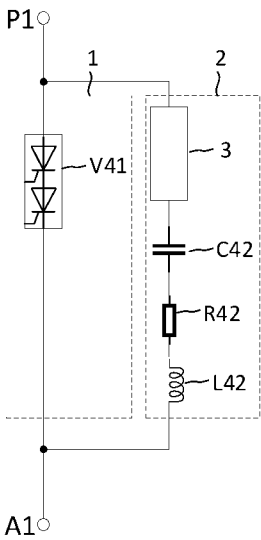


图 3

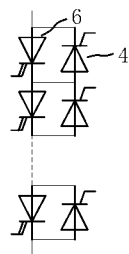


图 4a

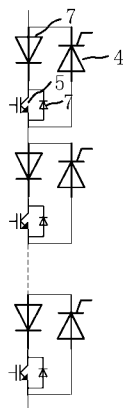


图 4b

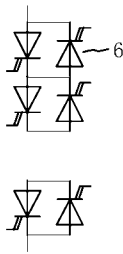


图 4c

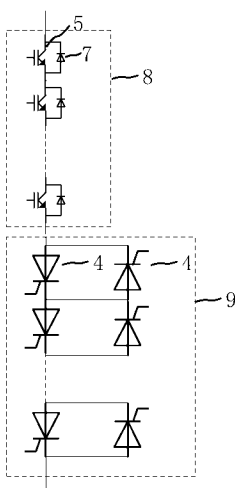


图 4d

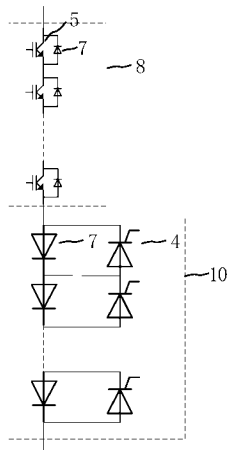


图 4e

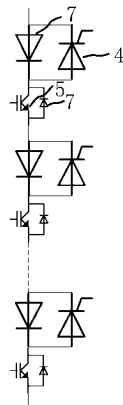


图 4f

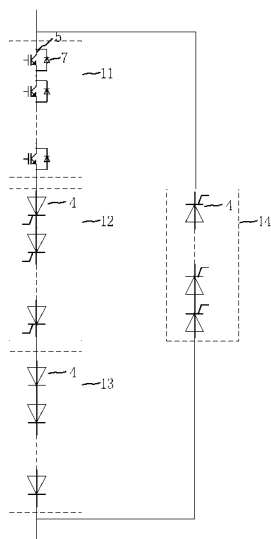


图 4g

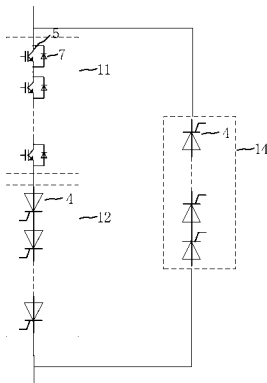


图 4h

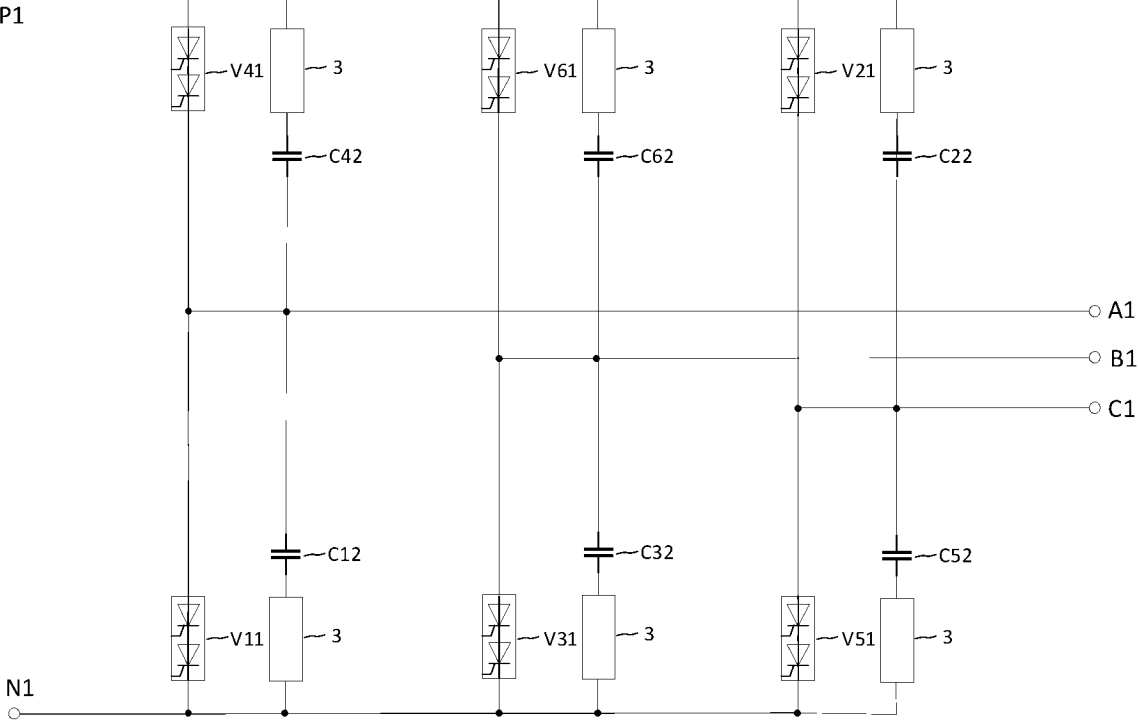


图 5

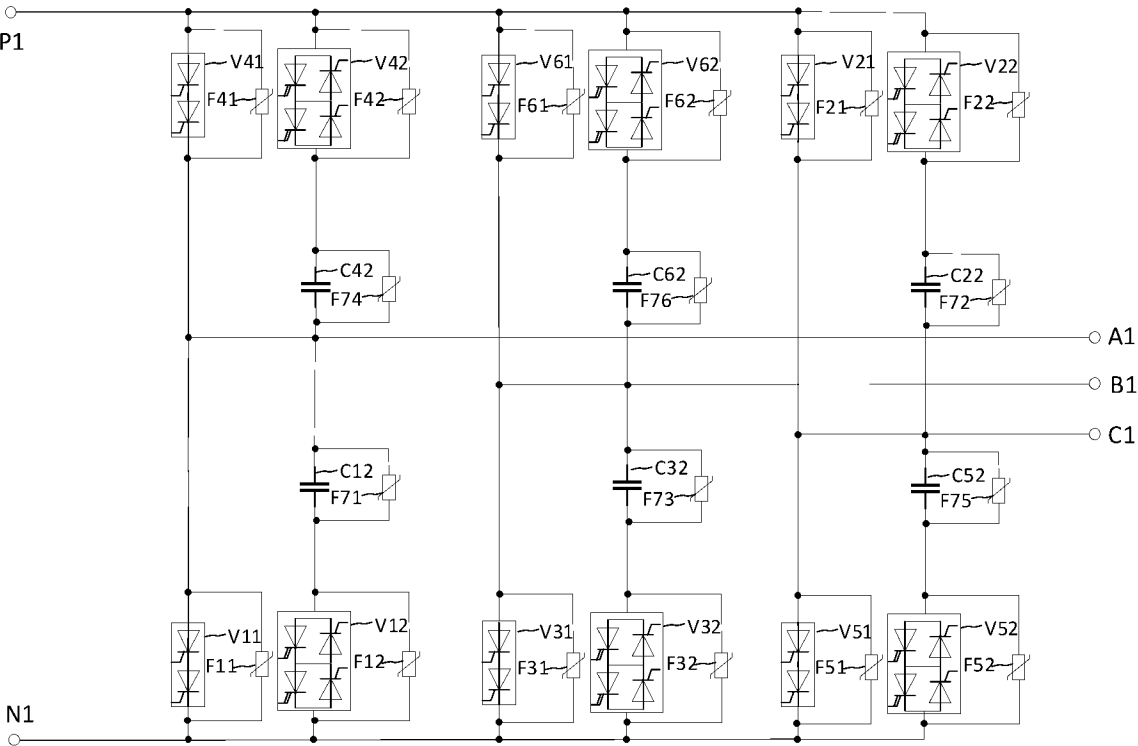


图 6

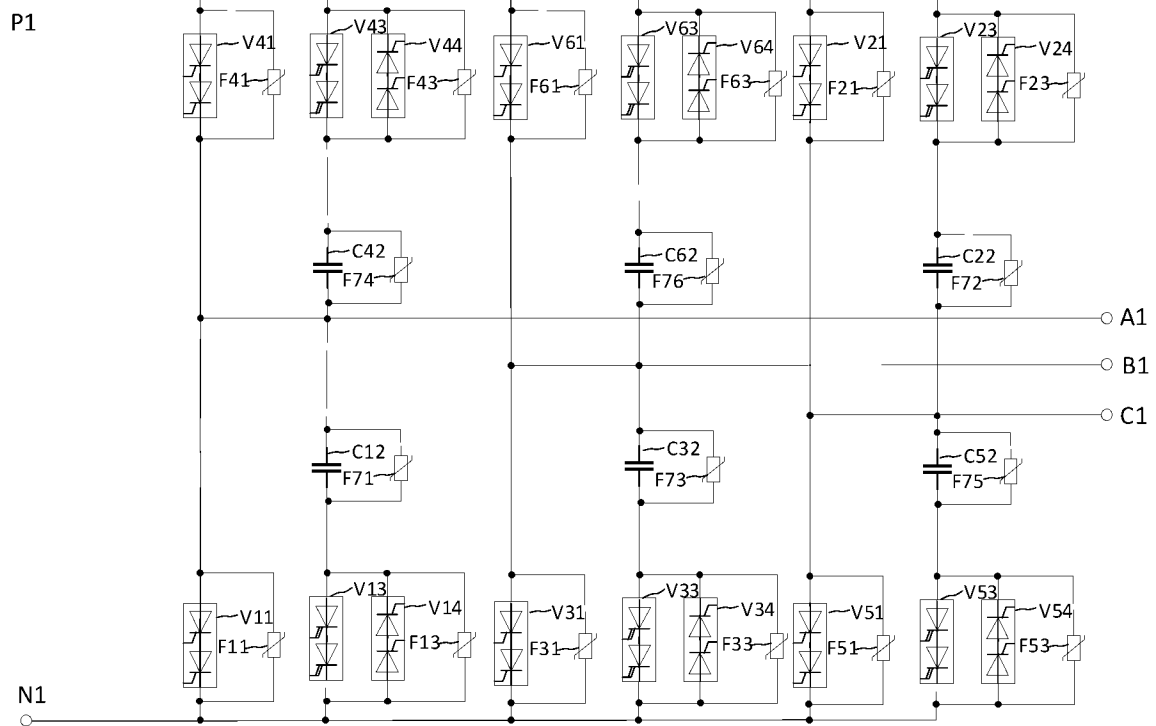


图 7

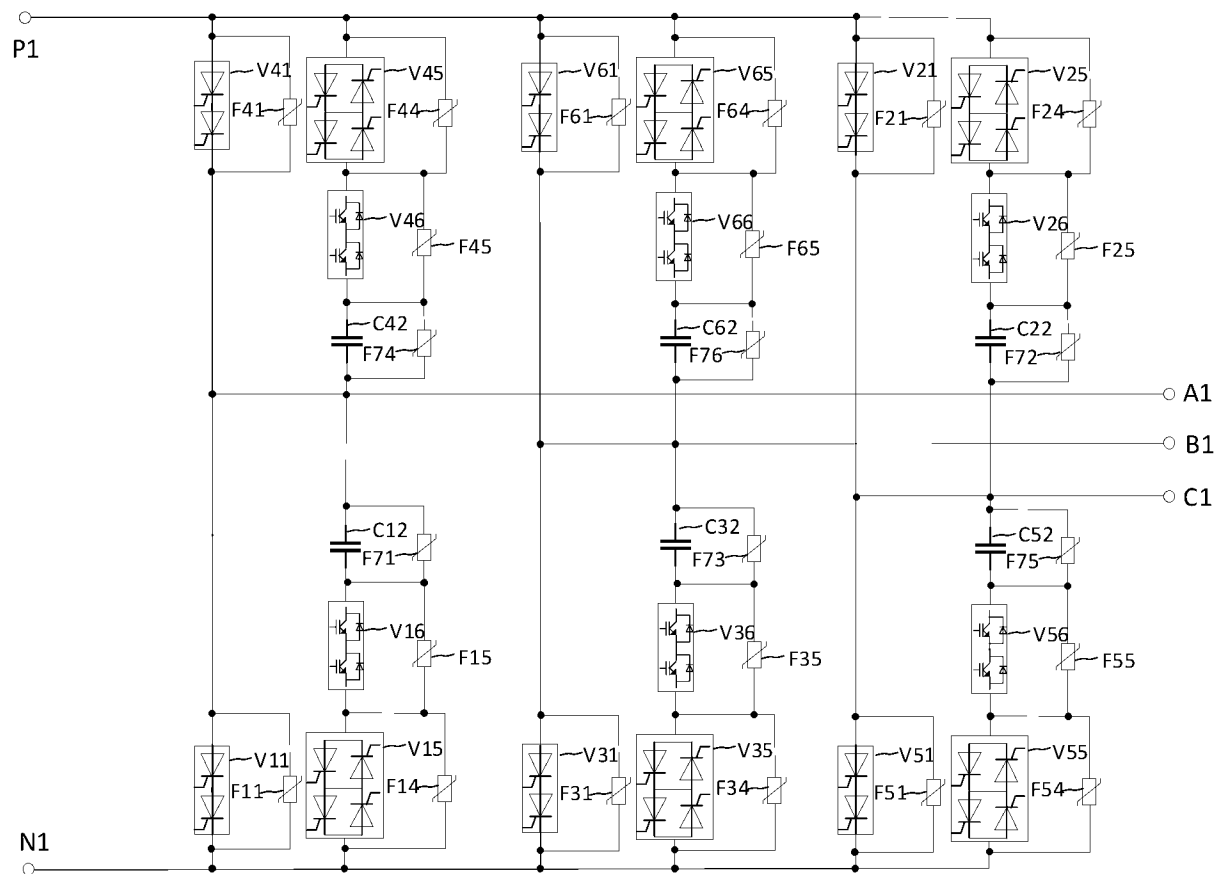


图 8

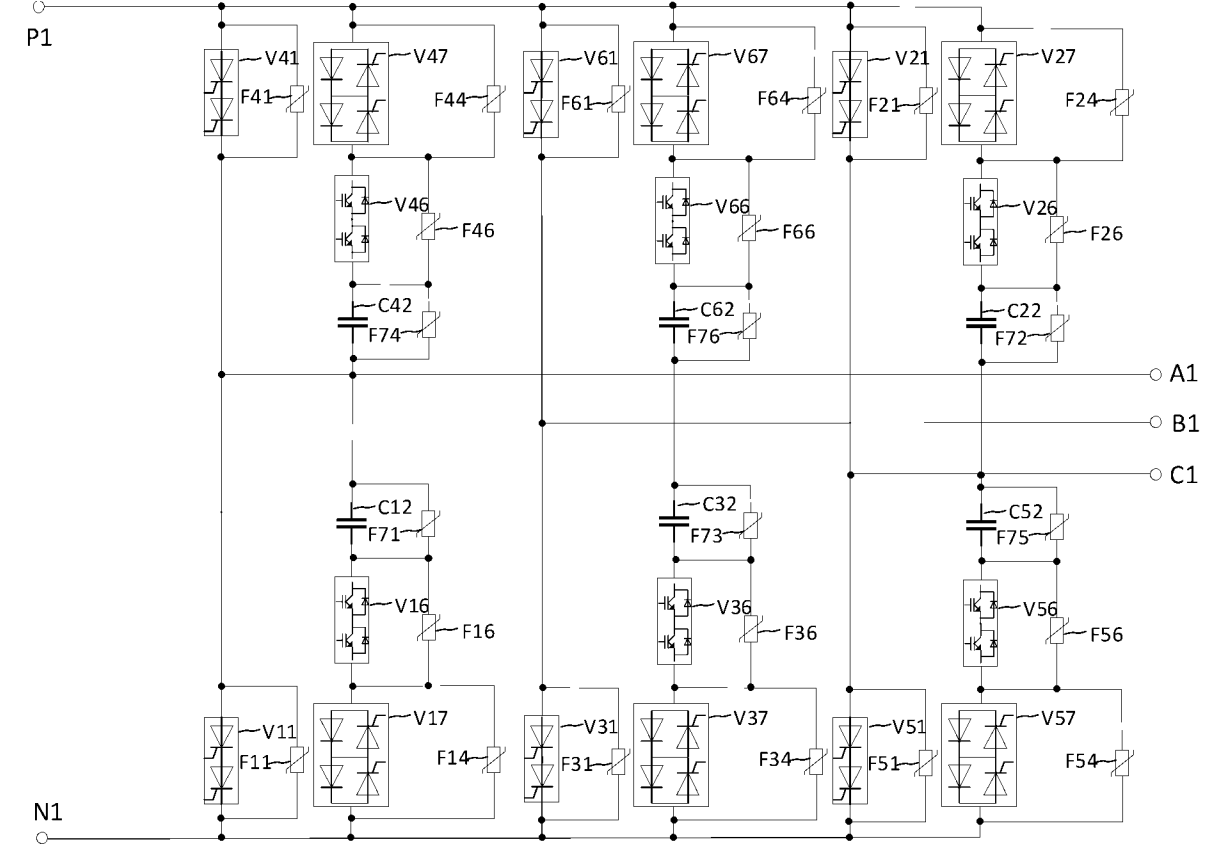


图 9

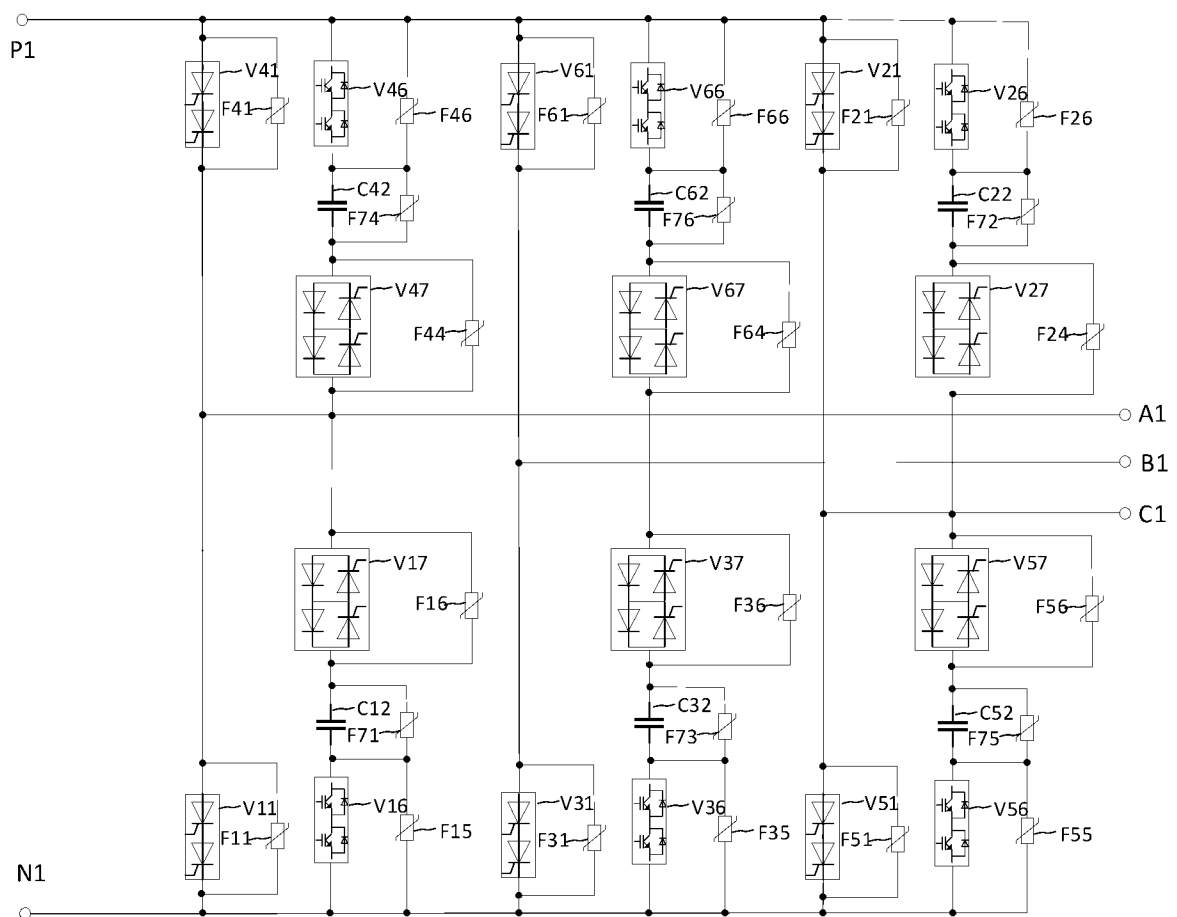


图 10

P1

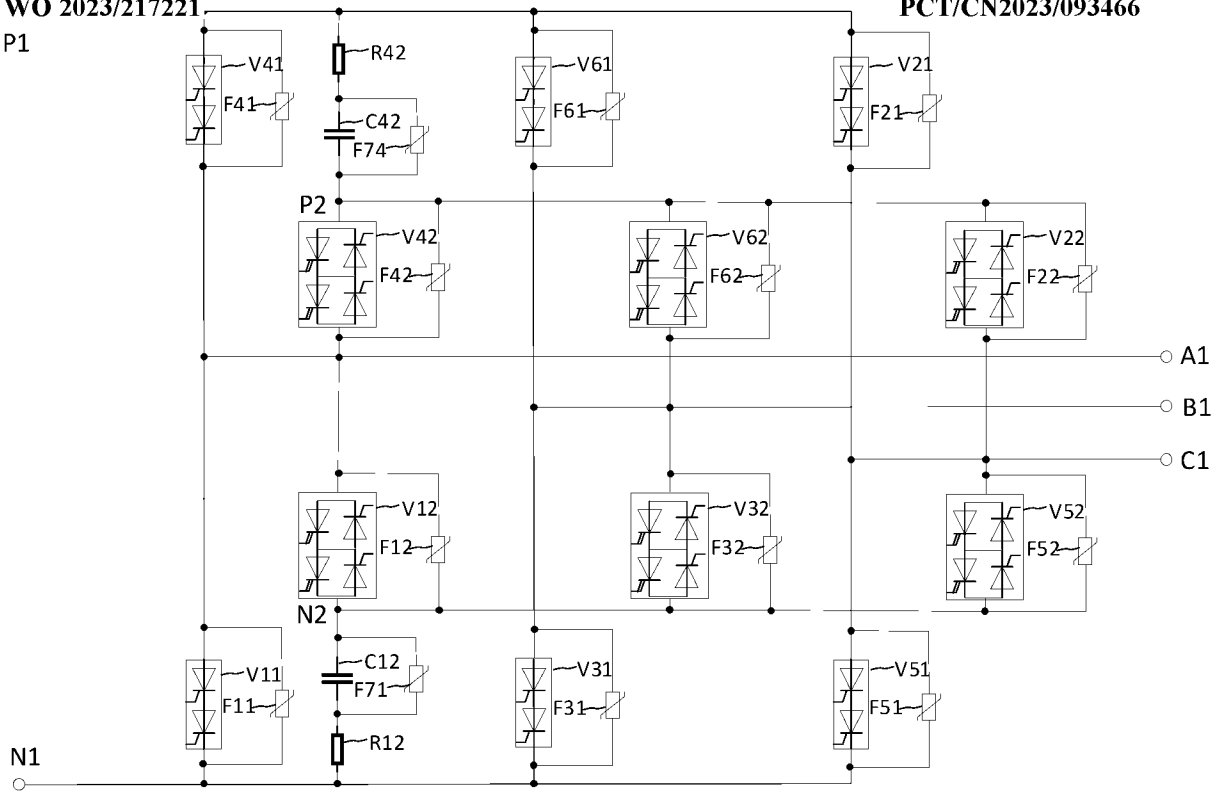


图 11

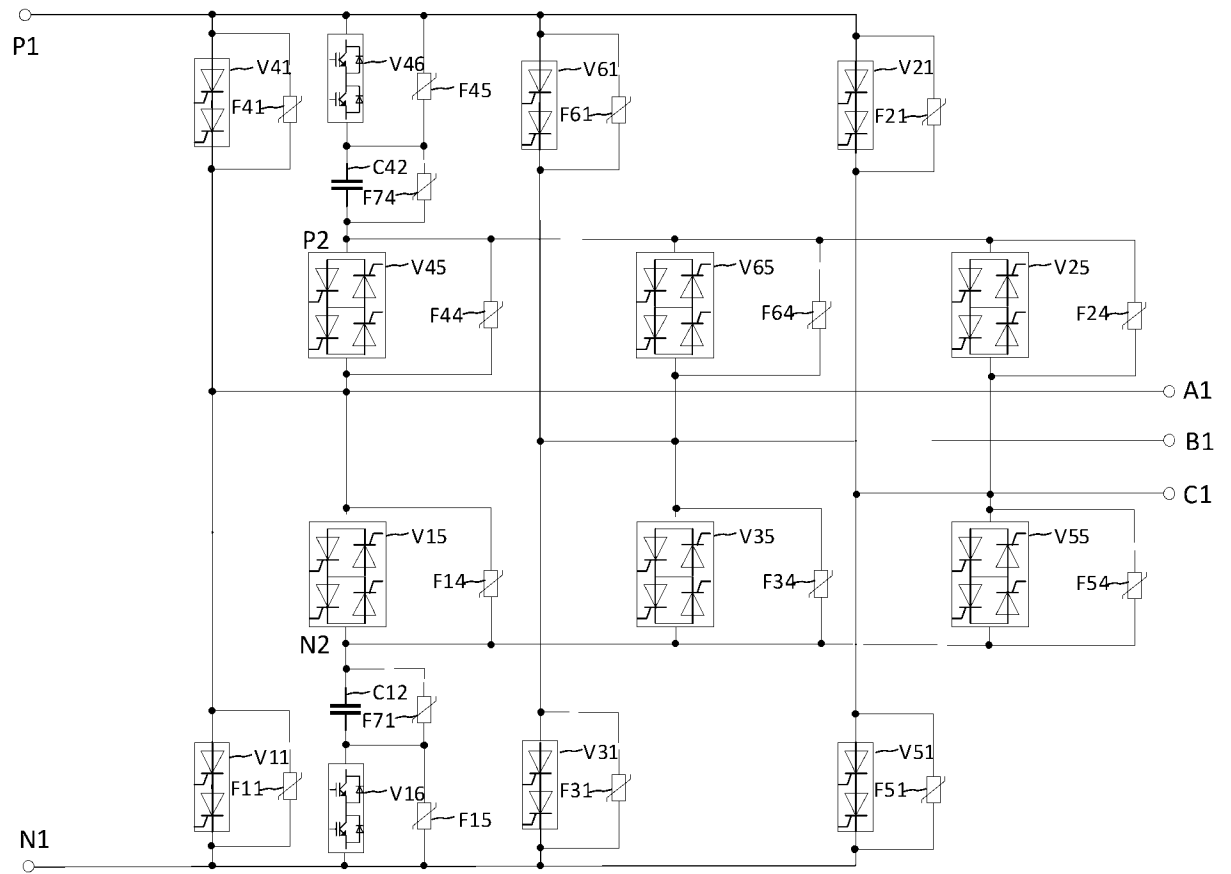


图 12

P1

N1

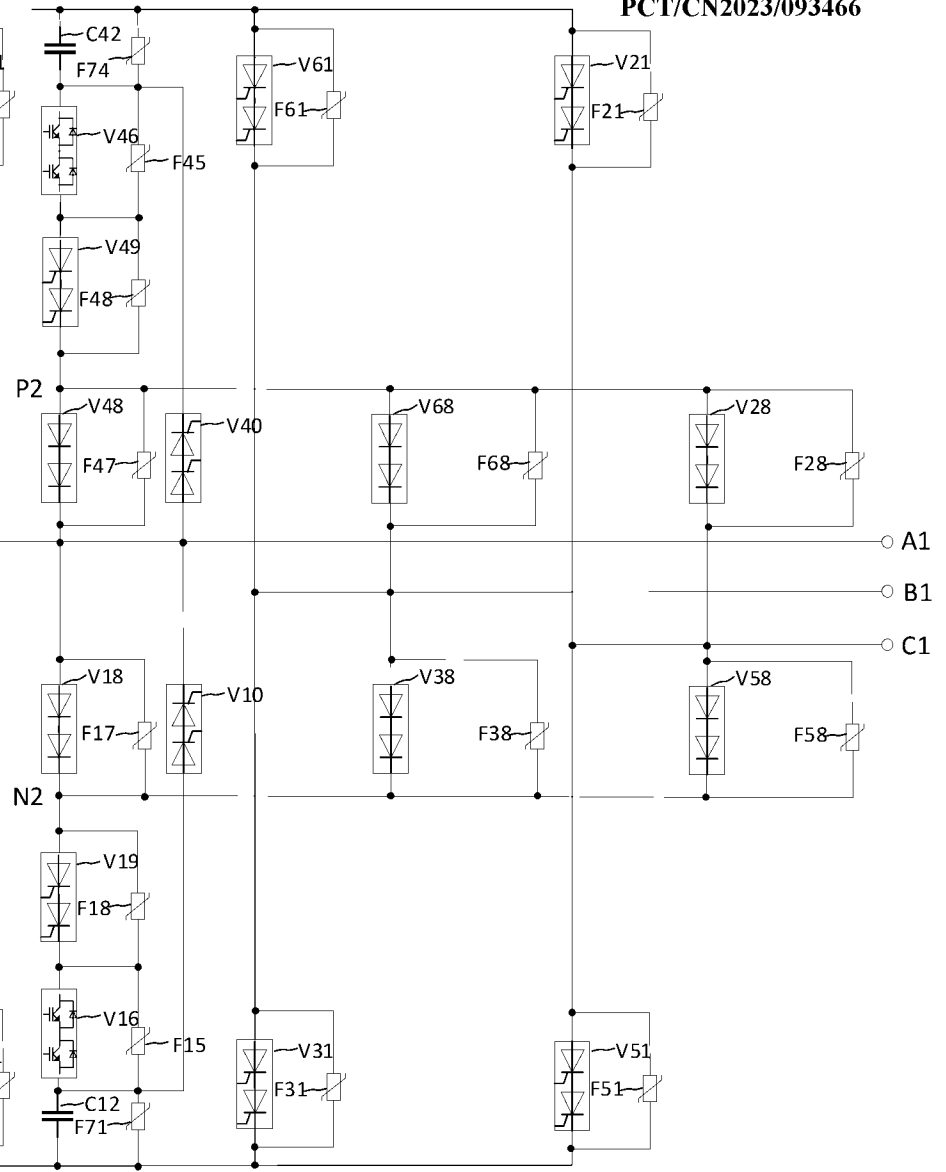


图 13

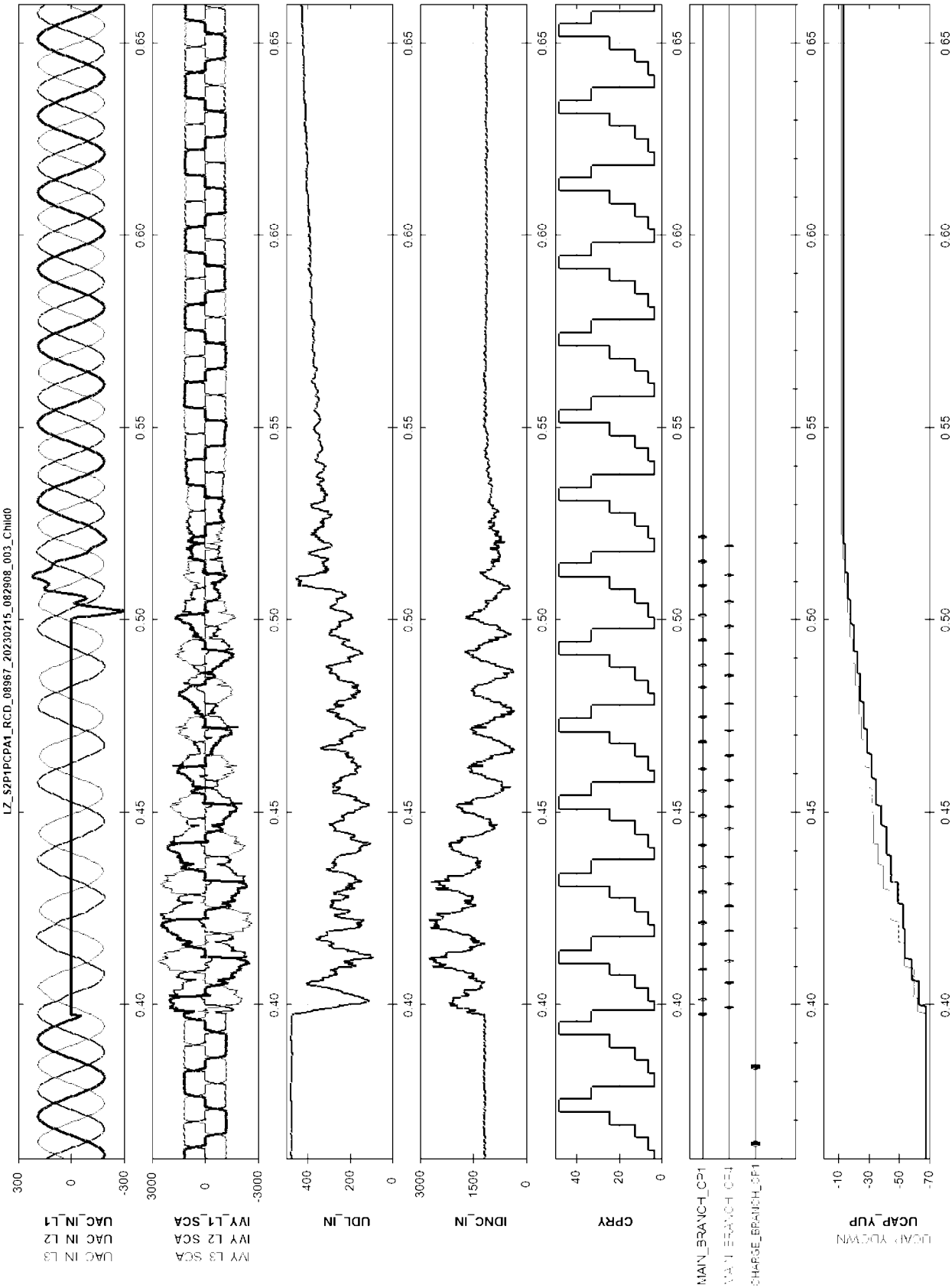


图 14a

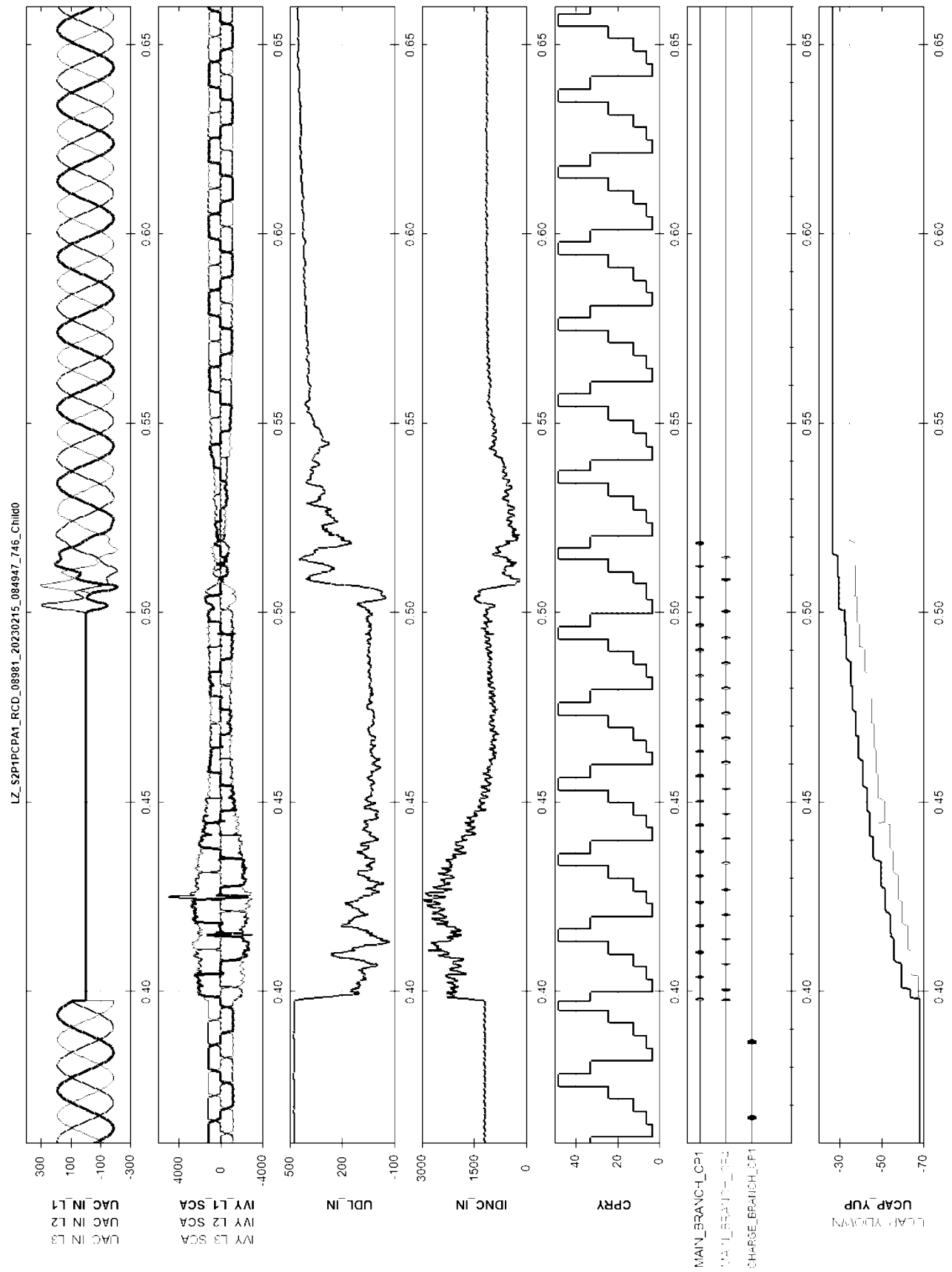


图 14b

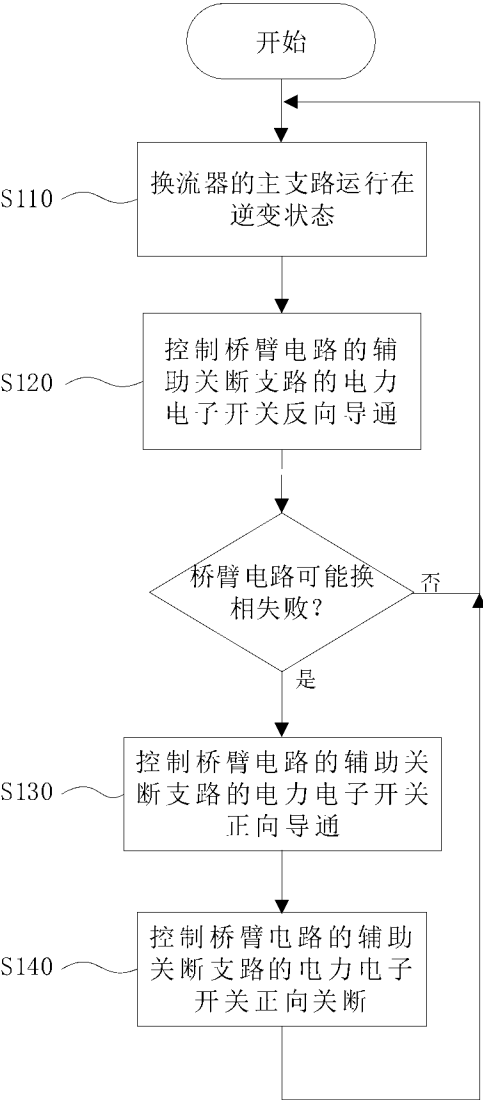


图 15

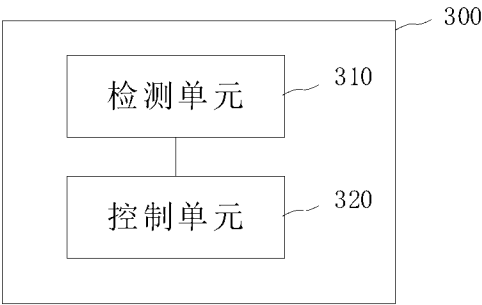


图 16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/093466

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02M1/06(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)

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: 南瑞继保, 常州博瑞, 换相, 失败, 辅助, 电容, 故障, 转移, 负压, 反向, 换流器, converter, phase, fault, reverse, charge, capacity

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 112803795 A (GLOBAL ENERGY INTERCONNECTION RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 14 May 2021 (2021-05-14) description, paragraphs 47-90, and figures 1-15	1-18
X	CN 112803815 A (GLOBAL ENERGY INTERCONNECTION RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 14 May 2021 (2021-05-14) description, paragraphs 71-136, and figures 1-37	1-18
X	CN 112803798 A (GLOBAL ENERGY INTERCONNECTION RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 14 May 2021 (2021-05-14) description, paragraphs 55-104, and figures 1-19	1-18
A	US 2018159421 A1 (THE UNIVERSITY OF BIRMINGHAM) 07 June 2018 (2018-06-07) entire document	1-18
A	CN 112701657 A (NORTHEAST ELECTRIC POWER UNIVERSITY) 23 April 2021 (2021-04-23) entire document	1-18
A	CN 106786349 A (PINGGAO GROUP CO., LTD. et al.) 31 May 2017 (2017-05-31) entire document	1-18



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

21 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/CN2023/093466

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	112803795	A	14 May 2021	CN	214256147	U	21 September 2021
				WO	2022160929	A1	04 August 2022
CN	112803815	A	14 May 2021	CN	214380688	U	08 October 2021
				WO	2022160791	A1	04 August 2022
CN	112803798	A	14 May 2021	CN	214380680	U	08 October 2021
US	2018159421	A1	07 June 2018	US	10305370	B2	28 May 2019
				EP	3292626	A1	14 March 2018
				EP	3292626	B1	03 August 2022
				GB	201507669	D0	17 June 2015
				WO	2016177991	A1	10 November 2016
CN	112701657	A	23 April 2021	None			
CN	106786349	A	31 May 2017	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2023/093466

A. 主题的分类

H02M1/06 (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)

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: 南瑞继保, 常州博瑞, 换相, 失败, 辅助, 电容, 故障, 转移, 负压, 反向, 换流器, converter, phase, fault, reverse, charge, capacity

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 112803795 A (全球能源互联网研究院有限公司) 2021年5月14日 (2021 - 05 - 14) 说明书第47-90段及图1-15	1-18
X	CN 112803815 A (全球能源互联网研究院有限公司) 2021年5月14日 (2021 - 05 - 14) 说明书第71-136段及附图1-37	1-18
X	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) 说明书第55-104段及附图1-19	1-18
A	US 2018159421 A1 (THE UNIVERSITY OF BIRMINGHAM) 2018年6月7日 (2018 - 06 - 07) 全文	1-18
A	CN 112701657 A (东北电力大学) 2021年4月23日 (2021 - 04 - 23) 全文	1-18
A	CN 106786349 A (平高集团有限公司 等) 2017年5月31日 (2017 - 05 - 31) 全文	1-18

☐ 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21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

闫朝

电话号码 (+86) 010-53961504

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/093466

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	112803795	A	2021年5月14日		CN	214256147	U	2021年9月21日
					WO	2022160929	A1	2022年8月4日
CN	112803815	A	2021年5月14日		CN	214380688	U	2021年10月8日
					WO	2022160791	A1	2022年8月4日
CN	112803798	A	2021年5月14日		CN	214380680	U	2021年10月8日
US	2018159421	A1	2018年6月7日		US	10305370	B2	2019年5月28日
					EP	3292626	A1	2018年3月14日
					EP	3292626	B1	2022年8月3日
					GB	201507669	D0	2015年6月17日
					WO	2016177991	A1	2016年11月10日
CN	112701657	A	2021年4月23日		无			
CN	106786349	A	2017年5月31日		无			