

(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



(10) 国际公布号

WO 2022/194196 A1

(43) 国际公布日
2022 年 9 月 22 日 (22.09.2022)

(51) 国际专利分类号:
H02J 3/26 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/081153

(22) 国际申请日: 2022 年 3 月 16 日 (16.03.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202110288300.4 2021年3月18日 (18.03.2021) CN

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

(72) 发明人: 林艺哲 (LIN, Yizhe); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。董云龙 (DONG, Yunlong); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。

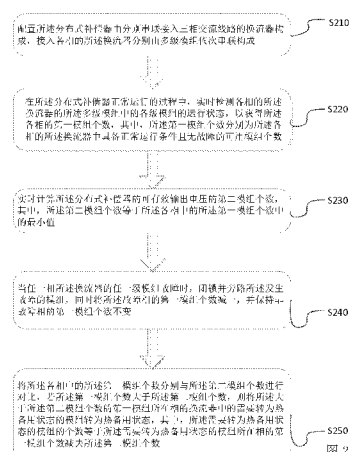
区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。卢宇 (LU, Yu); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。潘磊 (PAN, Lei); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。马秀达 (MA, Xiuda); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。任铁强 (REN, Tieqiang); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 69 号, Jiangsu 211102 (CN)。吴飞翔 (WU, Feixiang); 中国江苏省南京市江宁区苏源大道 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,

(54) Title: COORDINATED CONTROL METHOD AND SYSTEM OF DISTRIBUTED COMPENSATOR, AND COMPUTER DEVICE AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 分布式补偿器的协调控制方法、系统、计算机设备和存储介质



(57) Abstract: Provided in the present application are a coordinated control method and system of a distributed compensator, and a computer device and a storage medium. The method comprises: assembling a distributed compensator; checking the operating state of each stage of module of each phase of converter; calculating the number of modules, which can effectively output voltages, of the distributed compensator; performing locking and bypassing when each module has a fault; and converting the state of a module, which needs to be subjected to conversion, into a hot standby state.

(57) 摘要: 本申请提供一种分布式补偿器的协调控制方法、系统、计算机设备和存储介质。所述方法包括: 装配分布式补偿器; 检测各相换流器每级模组的运行状态; 计算分布式补偿器可有效输出电压的模组个数; 模组故障时闭锁旁路; 将需要转换的模组转为热备用状态。

9210 Configure a distributed compensator to be composed of converters that are connected into three phases of alternating-current lines in series, wherein the converters that are connected into various phases are formed by multiple stages of modules sequentially connected in series

9220 During the process of normal operation of the distributed compensator, check, in real time, the operating state of each stage of module among the multiple stages of modules of each phase of converter, so as to obtain the number of first modules of each phase, wherein the number of first modules is the number of available modules, which have normal operation conditions and do not have faults, among each phase of converter

9230 Calculate, in real time, the number of second modules, which can effectively output voltages, of the distributed compensator, wherein the number of second modules is equal to the minimum value of the numbers of first modules in various phases

9240 When any stage of module of any phase of converter has a fault, lock and bypass the module that has a fault, and in addition, subtract one from the number of first modules in a fault phase, and keep the number of first modules in a non-fault phase unchanged

9250 Compare the number of first modules in each phase with the number of second modules, and if the number of first modules is greater than the number of second modules, convert the state of a module, the state of which needs to be converted into a hot standby state, in a converter of a phase in which the first modules, the number of which is greater than the number of second modules, are located into the hot standby state, wherein the number of modules, the states of which need to be converted into the hot standby state, is equal to the difference of the number of first modules in the phase in which the modules, the states of which need to be converted into the hot standby state, are located and the number of second modules

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))。

分布式补偿器的协调控制方法、系统、计算机设备和存储介质

相关申请

本申请要求于 2021 年 3 月 18 日提交中国专利局、申请号为 202110288300.4、申请名称为“一种分布式补偿器的协调控制方法及系统”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

本申请涉及电力系统柔性交流输电领域，具体涉及一种分布式补偿器的协调控制方法、系统、计算机设备和存储介质。

背景技术

随着大型电力系统的互联以及各种新设备的使用，在使发电、输电更经济、更高效的同时也增加了电力系统的规模和复杂度。再加上大量的分布式发电系统接入电网，使传统的固定由输电网向配电网传送的潮流发生逆向。用户负荷的不断增长，需要潮流控制手段以提高现有的功率输送能力。正在蓬勃发展的智能电网和电力市场间复杂的功率交换也需要频繁的潮流优化控制。

分布式补偿器可以将每个小容量补偿器直接分布式悬挂于电力线路上，实现对静止同步串联补偿器相近的电网潮流的控制功能和效果，可为智能电网提供更灵活、更先进的控制手段，有效提高电力系统的供电能力和安全稳定性。分布式补偿器具有体积小、重量轻等特点。大量分布式子单元可保障设备的冗余性，进而提升装置的可靠性。同时，分布式补偿器装置可分散部署在输电线路或者变电站，占地小。

目前中国国外已有两个分布式补偿器的示范工程（分布式静止同步串联补偿器）项目，两个项目的控制保护系统比较简单，均采用模块就地控制的模式，控制方式不灵活，潮流调节的性能较差。中国国内有部分高校和科研院所开展了多种分布式补偿器（分布式串联电抗器、分布

式静止同步串联补偿器、分布式潮流控制器等)的项目,主要在拓扑结构、仿真建模和系统控制策略上开展研究,尚无关于分布式补偿器出现模组故障时,各回线各相间协调控制的文献和专利。

常见的分布式补偿器结构包括分别串联接入三相交流线路的三相电压源型换流器,各相换流器由多级模组依次串联构成,三相保持平衡。所述分布式补偿器存在单回线运行方式和多回线运行方式。在所述背景技术部分,公开的上述信息仅用于加强对本申请的背景的理解,因此它可以包括不构成对本领域普通技术人员已知的现有技术信息。

发明内容

本申请各示例性实施例提供一种分布式补偿器的协调控制方法、系统、计算机设备和存储介质,其能够快速、平稳地处理分布式补偿器的各相模组故障,保证某一回线的某一相出现模组故障后,各回线各相仍可均衡控制,避免对交流电网造成不平衡扰动。

根据本申请的一方面,提出分布式补偿器的协调控制方法,其中,所述分布式补偿器由分别串联接入三相交流线路的换流器构成,接入各相的所述换流器分别由多级模组依次串联构成,所述方法包括:

在所述分布式补偿器正常运行的过程中,实时检测各相的所述换流器的所述多级模组中的各级模组的运行状态,以获得所述各相的第一模组个数,其中,所述第一模组个数分别为所述各相的所述换流器中具备正常运行条件且无故障的可用模组个数;

实时计算所述分布式补偿器的可有效输出电压的第二模组个数,其中,所述第二模组个数等于所述各相中的所述第一模组个数中的最小值;

当任一相所述换流器的任一级模组故障时,闭锁并旁路所述发生故障的所述模组,同时将所述故障相的第一模组个数减一,并保持非故障相的第一模组个数不变;以及

将所述各相中的所述第一模组个数分别与所述第二模组个数进行对比,若所述第一模组个数大于所述第二模组个数,则将所述大于所述第二模组个数的第一模组所在相的换流器中的需要转为热备用状态的模组转为热备用状态,其中,所述需要转为热备用状态的模组的所述需要转

为热备用状态的模组所在相的第一模组个数减去所述第二模组个数。

在一实施例中，所述换流器是电压源型换流器。

在一实施例中，所述分布式补偿器是单回线运行方式，仅单回交流线路串联接入所述分布式补偿器。

在一实施例中，所述实时计算所述分布式补偿器的可有效输出电压的所述第二模组个数的步骤包括：

确定所述第二模组个数等于所述单回交流线路中的所述各相的所述第一模组个数的最小值作为所述第二模组个数。

在一实施例中，所述分布式补偿器是多回线运行方式，并联的多回交流线路均串联接入所述分布式补偿器。

在一实施例中，所述实时计算所述分布式补偿器的可有效输出电压的所述第二模组个数的步骤包括：

接收所述第二模组个数等于每条所述并联的多回交流线路中的所述各相的所述第一模组个数的最小值，从所述接收的最小值中再确定最小值作为所述第二模组个数。

在一实施例中，所述方法还包括：当所述需要转为热备用状态的模组的个数大于或等于 1 时，依次判断所述各相的所述各级模组是否有故障，若当前模组无故障，则将所述当前模组转为所述热备用状态，并且所述需要转为热备用状态的模组的个数减少 1。

在一实施例中，所述当所述需要转为热备用状态的模组的个数大于或等于 1 时，依次判断所述各相的所述各级模组是否有故障的步骤，包括：当所述当前模组有故障，所述需要转为热备用状态的模组的个数减少 1，所述当前模组不转为所述热备用状态。

在一实施例中，所述方法还包括：当所述需要转为热备用状态的模组的个数等于零时，保持所述需要转为热备用状态的模组所在相的各级模组运行状态不变，并保持实时计算该相的所述需要转为热备用状态的模组的个数的步骤。

在一实施例中，所述热备用状态为，

将所述需要转为热备用状态的模组解锁运行且具备电压输出能力，但保持所述需要转为热备用状态的模组的端口的输出电压为 0 的状态。

在一实施例中，所述换流器是电压源型换流器。

根据本申请的另一方面，提供一种分布式补偿器的协调控制系统，所述分布式补偿器包括分别串联接入三相交流线路的换流器，各相的所述换流器由多级模组依次串联构成，其中，所述协调控制系统包括：

模组状态监视模块，配置为实时检测所述分布式补偿器中所述各相的所述换流器中的各级的模组的运行状态；

有效模组数计算模块，配置为根据每级所述各级的模组的运行状态，实时计算所述各相的第一模组个数，所述分布式补偿器的可有效输出电压的第二模组个数，其中所述第一模组个数为所述各相的所述换流器的具备正常运行条件且无故障的可用模组数；以及

模组热备用状态控制模块，配置为实时计算所述各相的所述换流器中需要转为热备用状态的模组的个数，将所述各相的所述换流器中的所述需要转为热备用状态的模组转为热备用状态。

在一实施例中，所述协调控制系统还包括：

多回线间通讯模块，配置为仅在所述分布式补偿器为多回线运行方式时生效，并确定各条并联的多回交流线路中的第一模组个数的最小值。

在一实施例中，所述模组热备用状态控制模块配置为实时计算所述各相的所述换流器中需要转为热备用状态的模组个数，当所述各相中的一相中的所述需要转为热备用状态的模组个数为零时，则所述一相中没有模组转为热备用状态。

在一实施例中，所述运行状态包括模组解锁、模组闭锁和模组故障。

根据本申请的另一方面，提供一种计算机设备，包括存储器和处理器，所述存储器存储有计算机程序，其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现上述所述方法的步骤。

根据本申请的另一方面，提供一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，其中，所述计算机程序被处理器执行时实现上述所述的方法的步骤。

根据本申请提供的分布式补偿器的协调控制方法、系统、计算机设备和存储介质，可以实现分布式补偿器的协调控制：当某一回线分布式补偿器的某一相出现模组故障后，迅速将故障相的故障模组旁路，同时

更新各回线各相可用模组数，并实时计算各回线有效投入模组数，并根据各相可用模组数和各回线有效投入模组数，选择对应数量的模组转为热备用状态，从而保证各回线各相可有效输出电压的模组个数保持一致，进而保证各相输出一致，实现各回线各相协调均衡控制。采用上述协调控制方案，可以快速、平稳地处理分布式补偿器的模组故障，保证各回线各相在某一相出现模组故障后仍可均衡控制，避免对交流电网造成不平衡扰动。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，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 是现有潮流控制器和柔性直流输电工程某一相出现模组故障后的处理方法流程图。

图 2 是本申请一实施例的分布式补偿器的协调控制方法流程图。

图 3 是本申请一实施例的分布式补偿器的协调控制系统结构示意图。

图 4 是本申请另一实施例的分布式补偿器的协调控制系统的结构示意图。

图 5 是本申请一实施例的模组热备用状态控制模块的控制方法流程图。

图 6 是本申请一实施例提供的模组热备用状态控制模块的结构示意图。

图 7 是本申请另一实施例提供的模组热备用状态控制模块的结构示意图。

图 8 是本申请一实施例中计算机设备的内部结构图。

具体实施方式

如前所述，在上述的常见分布式补偿器结构中，在单回线运行方式下，三相中某一相出现模组故障后，该相可用模组数减少，若无相间协

调控制，非故障相仍保持原状态运行，三相电压源型换流器的电压输出将出现不对称，造成三相交流线路等效阻抗不对称，从而会在交流线路中产生零序和负序电流，影响交流线路正常运行。在多回线运行方式下，各回线并联运行，当某一回线出现模组故障后，若各回线间无协调控制，非故障回线仍保持原状态运行，各回线分布式补偿器的电压输出将不均衡，造成各回线等效阻抗不均衡，回线间将产生不对称环流，影响交流系统正常运行。

目前，采用模块化多电平换流器的潮流控制器或柔性直流输电工程，针对某一相出现模组故障的情况，采用的处理方式多没有相间协调控制，而是在故障相中投入冗余模组来代替被旁路的故障模组，当故障模组数超过了设定的冗余模组数时，即会触发换流器闭锁。分布式补偿器无特定的冗余设计，每个串联模组均可单独运行，换流器具备单模组运行的能力，所有只有当某一相串联模组全部故障时才需要触发换流器闭锁。

因此，当分布式补偿器某一相出现模组故障时，为了充分利用分布式补偿器的冗余性和灵活性，避免模组故障引起的三相不对称和各回线不均衡问题，需要一种可以快速、平稳地处理分布式补偿器各相模组故障的协调控制方法，保证出现模组故障后，各回线各相仍可均衡控制。

现在将参考附图更全面地描述示例实施例。然而，示例实施例能够以多种形式实施，且不应被理解为限于在此阐述的实施例。相反，提供这些实施例使得本申请变得全面和完整，并将示例实施例的构思全面地传达给本领域的技术人员。在图中相同的附图标记表示相同或类似的部分，因而将省略对它们的重复描述。

所描述的特征、结构或特性可以以任何合适的方式结合在一个或更多实施例中。在下面的描述中，提供许多具体细节从而给出对本公开的实施例的充分理解。然而，本领域技术人员将意识到，可以实践本公开的技术方案而没有这些特定细节中的一个或更多，或者可以采用其它的方式、组元、材料、装置或等。在这些情况下，将不详细示出或描述公知结构、方法、装置、实现、材料或者操作。

附图中所示的流程图仅是示例性说明，不是必须包括所有的内容和操作/步骤，也不是必须按所描述的顺序执行。例如，有的操作/步骤还

可以分解，而有的操作/步骤可以合并或部分合并，因此实际执行的顺序有可能根据实际情况改变。

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 是现有潮流控制器和柔性直流输电工程某一相出现模组故障后的处理方法流程图。

如图 1 所示，若采用该方法，分布式补偿器每一相换流器的 N 个串联模组中均设定 N_RE_N 个冗余模组，设定运行模组数为 N_OP_N 。其中，在换流器正常运行过程中，冗余模组并不输出有效电压。当某一相的某个运行模组出现故障时，将该故障模组旁路，并投入一个冗余模组，剩余冗余模组数 N_RE 减 1，从而保持该相运行模组数保持 N_OP_N 不变，以维持换流器原有运行状态。当剩余冗余模组数 N_RE 为 0 时，该相换流器冗余模组耗尽，换流器闭锁。其中， $N\_RE\_N + N\_OP\_N = N$ ，三个数为确定的正整数； N_RE 是一个在位于 N_RE_N 和 0 之间的自然数，会根据故障模组数发生变化，具体关系为 $N\_RE = N\_RE\_N - \text{故障模组数}$ 。

由于分布式补偿器每个串联模组均可单独运行，换流器具备单模组运行的能力，故采用上述方法时，分布式补偿器的冗余性和灵活性未能充分利用。

本申请各示例性实施例提供一种分布式补偿器的协调控制方法、系统、计算机设备及存储介质，从而保证某一回线的某一相出现模组故障

后，各回线、各相仍可均衡控制，保证分布式补偿器仍能正常运行，同时避免对交流电网造成不平衡扰动。

本申请旨在提供一种分布式补偿器的协调控制方法、系统、计算机设备及存储介质，从而能够快速、平稳地处理分布式补偿器的各相模组故障，保证某一回线的某一相出现模组故障后，各回线、各相仍可均衡控制，避免对交流电网造成不平衡扰动。

下面将参照附图，对根据本申请实施例的分布式补偿器的协调控制方法及系统进行详细说明。

图 2 示出根据本申请一实施例的分布式补偿器的协调控制方法流程图。

参见图 2，步骤 S210，配置分布式补偿器。

由分别串联接入三相交流线路的换流器构成所述分布式补偿器，各相所述换流器分别由多级模组依次串联构成。

步骤 S220，检测各相换流器的每级模组的运行状态。

在所述分布式补偿器正常运行的过程中，实时检测各相的所述换流器的所述多级模组中的各级模组的运行状态，以获得所述各相的第一模组个数，其中，所述第一模组个数分别为所述各相的所述换流器中具备正常运行条件且无故障的可用模组个数。

步骤 S230，计算分布式补偿器可有效输出电压的模组个数。

实时计算所述分布式补偿器的可有效输出电压的第二模组个数，其中，所述第二模组个数等于各相中的所述第一模组个数中的最小值。

步骤 S240，模组故障时闭锁旁路。

当检测到任一相的换流器的任一级模组故障时，闭锁并旁路发生故障的所述模组，同时将故障相的第一模组个数减一，并保持非故障相第一模组个数不变。

步骤 S250，将需要转换的模组转为热备用状态。

将各相中的第一模组个数分别与第二模组个数进行对比，若所述第一模组个数大于所述第二模组个数，则将所述第一模组个数的第一模组所在相的换流器中的需要转为热备用状态的模组转为热备用状态，

其中，需要转为热备用状态的模组的个数等于所述需要转为热备用

状态的模组所在相的第一模组个数减去所述第二模组个数。

在一实施例中，所述换流器是三相电压源型换流器。

在一实施例中，所述实时计算所述分布式补偿器的可有效输出电压的所述第二模组个数的步骤包括：确定所述第二模组个数等于所述单回交流线路中的所述各相的第一模组个数的最小值作为所述第二模组个数。

在一实施例中，所述实时计算所述分布式补偿器的可有效输出电压的所述第二模组个数的步骤包括：接收所述第二模组个数等于每条所述并联的多回交流线路中的各相的第一模组个数的最小值，从所述接收的最小值中再确定最小值作为所述第二模组个数。

图 3 示出根据本申请一实施例的分布式补偿器的协调控制系统结构示意图。

参见图 3，在每条回线中，分布式补偿器包括分别串联接入三相交流线路的换流器，各相换流器分别由多级模组依次串联构成。在本实施例中，协调控制系统包括 M 条回线，每条回线中分别串联接入三相交流线路的换流器，各相的换流器分别由 N 级的单元模组依次串联构成。例如，在回线 1 中，各相的换流器包括第一级单元模组、第二级单元模组，至第 N 级单元模组。

图 4 示出根据本申请一实施例的分布式补偿器的协调控制系统的结构示意图。

参见图 4，分布式补偿器的协调控制系统包括模组状态监视模块 10、有效模组数计算模块 20、模组热备用状态控制模块 30 和多回线间通讯模块 40。

如图 4 所示，模组状态监视模块 10，配置为实时检测分布式补偿器中各相换流器中各级的模组的运行状态，并将每级所述模组的运行状态传递给有效模组数计算模块 20。多回线间通讯模块 40 仅在所述分布式补偿器为多回线运行方式时生效，汇总每条所述并联的多回交流线路中的各相所述换流器的可用模组数的最小值，并将所述可用模组数的最小值传递给有效模组数计算模块 20。可以理解的是，对于单回线运行方式，可以省去多回线间通讯模块 40。

如图 4 所示，有效模组数计算模块 20，配置为根据各级的模组的运

行状态，实时计算各相所述换流器的可用模组数，实时计算分布式补偿器的可有效输出电压的第二模组个数，其中所述第一模组个数为所述各相的所述换流器的具备正常运行条件且无故障的可用模组数，并将可有效输出电压的模组个数传递给模组热备用状态控制模块 30。

如图 4 所示，模组热备用状态控制模块 30，配置为实时计算各相所述换流器中需要转为热备用状态的模组的个数，并将各相的所述换流器中的需要转为热备用状态的模组转为热备用状态，其中，各相所述换流器中需要转为热备用状态的模组个数等于各相所述换流器的可用模组个数减去所述分布式补偿器可有效输出电压的模组个数。

在一实施例中，每级模组的运行状态包括模组解锁、模组闭锁和模组故障。

关于分布式补偿器的协调控制系统的具体限定可以参见上文中对于分布式补偿器的协调控制方法的限定，在此不再赘述。上述分布式补偿器的协调控制系统中的各个模块可全部或部分通过软件、硬件及其组合来实现。上述各模块可以硬件形式内嵌于或独立于计算机设备中的处理器中，也可以以软件形式存储于计算机设备中的存储器中，以便于处理器调用执行以上各个模块对应的操作。

图 5 示出根据本申请一实施例的模组热备用状态控制模块的控制方法流程图。

参见图 5，步骤 S510，接收模组状态数据。

模组热备用状态控制模块配置为接收传递来的各相换流器的可用模组个数信号和分布式补偿器可有效输出电压的模组个数信号。

步骤 S520，计算需要转为热备用状态的模组个数。

模组热备用状态控制模块配置为实时计算各相所述换流器中需要转为热备用状态的模组个数，其中，各相所述换流器中需要转为热备用状态的模组个数等于各相所述换流器的可用模组个数减去所述分布式补偿器可有效输出电压的模组个数。

步骤 S530，检测一模组是否需要转为热备用状态。

如果存在需要转换为热备用状态的模组，模组热备用状态控制模块配置为先判断当前模组是否故障，若无故障则转为热备用状态，热备用

状态的模组数量减少 1。

步骤S540，依次检测模组直至无模组需要转为热备用状态。

依次判断各模组状态，直至需要转换为热备用状态的模组数量为零。例如，若检测的模组有故障则继续判断下一模组，热备用状态的模组数量减少 1。如图 6 所示，若本相换流器的可用模组个数大于分布式补偿器有效投入模组个数，则先判断第 1 级模组是否故障，若无故障则转为热备用状态，若有故障则继续判断第 2 级模组，依次类推，直至热备用模组数等于本相换流器的可用模组个数减去分布式补偿器有效投入模组个数。

可替换地，如图 7 所示，若本相换流器的可用模组个数大于分布式补偿器有效投入模组个数，则先判断第 N 级模组是否故障，若无故障则转为热备用状态，若有故障则继续判断第 N-1 级模组，依次类推，直至热备用模组数等于本相换流器的可用模组个数减去分布式补偿器有效投入模组个数。

本申请各示例性实施例，还提供了一种计算机设备，包括存储器和处理器，存储器中存储有计算机程序，该处理器执行计算机程序时实现本申请各实施例提供的分布式补偿器的协调控制方法的步骤。可以理解的是，所实现的控制方法的步骤并不限于上述的各示例性实施例，而是说还可以例如实现额外的和可选的其他操作/步骤，并且有的操作/步骤还可以分解，而有的操作/步骤可以合并或部分合并，因此实际执行的顺序有可能根据实际情况改变。

在一个实施例中，提供了一种计算机设备，该计算机设备可以是终端，其内部结构图可以如图 8 所示。该计算机设备包括通过系统总线连接的处理器、存储器、网络接口、显示屏和输入装置。其中，该计算机设备的处理器用于提供计算和控制能力。该计算机设备的存储器包括非易失性存储介质、内存储器。该非易失性存储介质存储有操作系统和计算机程序。该内存储器为非易失性存储介质中的操作系统和计算机程序的运行提供环境。该计算机设备可以包括网络接口，该网络接口用于与外部的终端通过网络连接通信。该计算机程序被处理器执行时以实现上述分布式补偿器的协调控制方法。该计算机设备还可以包括显示屏，该

显示屏可以是液晶显示屏或者电子墨水显示屏，该计算机设备的输入装置可以是显示屏上覆盖的触摸层，也可以是计算机设备外壳上设置的按键、轨迹球或触控板，还可以是外接的键盘、触控板或鼠标等。

本领域技术人员可以理解，图8中示出的结构，仅仅是与本申请方案相关的部分结构的框图，并不构成对本申请方案所应用于其上的计算机设备的限定，具体的计算机设备可以包括比图中所示更多或更少的部件，或者组合某些部件，或者具有不同的部件布置。

本申请各示例性实施例，还提供了一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，计算机程序被处理器执行时实现本申请各实施例提供的分布式补偿器的协调控制方法的步骤。可以理解以理解的是，所实现的控制方法的步骤并不限于上述的各示例性实施例，而是说还可以例如实现额外的和可选的其他操作/步骤，并且有的操作/步骤还可以分解，而有的操作/步骤可以合并或部分合并，因此实际执行的顺序有可能根据实际情况改变。

以上对本申请实施例进行了详细描述和解释。应清楚地理解，本申请描述了如何形成和使用特定示例，但本申请不限于这些示例的任何细节。相反，基于本申请公开的内容的教导，这些原理能够应用于许多其它实施例。

通过对示例实施例的描述，本领域技术人员易于理解，根据本申请实施例的技术方案至少具有以下优点中的一个或多个。

根据本申请的一些实施例，本申请可以实现分布式补偿器的协调控制：当某一回线分布式补偿器的某一相出现模组故障后，迅速将故障相的故障模组旁路，同时更新各回线各相可用模组数，并实时计算各回线有效投入模组数，并根据各相可用模组数和各回线有效投入模组数，选择对应数量的模组转为热备用状态，从而保证各回线各相可有效输出电压的模组个数保持一致，进而保证各相输出一致，实现各回线各相协调均衡控制。

根据本申请的一些实施例，本申请的分布式补偿器的协调控制方法可以快速、平稳地处理分布式补偿器的模组故障，保证各回线各相在某一相出现模组故障后仍可均衡控制，避免对交流电网造成不平衡扰动。

本申请所使用的对存储器、存储、数据库或其它介质的任何引用可包括非易失性和/或易失性存储器。合适的非易失性存储器可包括只读存储器(ROM)、可编程 ROM(PROM)、电可编程 ROM(EPROM)、电可擦除可编程 ROM(EEPROM)或闪存。易失性存储器可包括随机存取存储器(RAM)，它用作外部高速缓冲存储器。作为说明而非局限，RAM 以多种形式可得，诸如静态 RAM(SRAM)、动态 RAM(DRAM)、同步 DRAM(SDRAM)、双数据率 SDRAM(DDR SDRAM)、增强型 SDRAM(ESDRAM)、同步链路(Synchlink)DRAM(SLDRAM)、存储器总线(Rambus)直接 RAM(RDRAM)、直接存储器总线动态 RAM(DRDRAM)、以及存储器总线动态 RAM(RDRAM)。

以上具体地示出和描述了本申请的示例性实施例。应可理解的是，本申请不限于这里描述的详细结构、设置方式或实现方法。相反，本申请意图涵盖包含在所附权利要求的精神和范围内的各种修改和等效设置。

权 利 要 求 书

1、一种分布式补偿器的协调控制方法，其中，所述分布式补偿器由分别串联接入三相交流线路的换流器构成，接入各相的所述换流器分别由多级模组依次串联构成，所述方法包括：

在所述分布式补偿器正常运行的过程中，实时检测各相的所述换流器的所述多级模组中的各级模组的运行状态，以获得所述各相的第一模组个数，其中，所述第一模组个数分别为所述各相的所述换流器中具备正常运行条件且无故障的可用模组个数；

实时计算所述分布式补偿器的可有效输出电压的第二模组个数，其中，所述第二模组个数等于所述各相中的所述第一模组个数中的最小值；

当任一相所述换流器的任一级模组故障时，闭锁并旁路所述发生故障的模组，同时将所述故障相的第一模组个数减一，并保持非故障相的第一模组个数不变；以及

将所述各相中的所述第一模组个数分别与所述第二模组个数进行对比，若所述第一模组个数大于所述第二模组个数，则将所述大于所述第二模组个数的第一模组所在相的换流器中的需要转为热备用状态的模组转为热备用状态，其中，所述需要转为热备用状态的模组的个数等于所述需要转为热备用状态的模组所在相的第一模组个数减去所述第二模组个数。

2、根据权利要求1所述的方法，其中，所述分布式补偿器是单回线运行方式，仅单回交流线路串联接入所述分布式补偿器。

3、根据权利要求2所述的方法，其中，所述实时计算所述分布式补偿器的可有效输出电压的所述第二模组个数的步骤包括：

确定所述第二模组个数等于所述单回交流线路中的所述各相的所述第一模组个数的最小值作为所述第二模组个数。

4、根据权利要求1所述的方法，其中，所述分布式补偿器是多回线运行方式，并联的多回交流线路均串联接入所述分布式补偿器。

5、根据权利要求4所述的方法，其中，所述实时计算所述分布式补偿器的可有效输出电压的所述第二模组个数的步骤包括：

接收所述第二模组个数等于每条所述并联的多回交流线路中的所述各相的所述第一模组个数的最小值，从所述接收的最小值中再确定最小值作为所述第二模组个数。

6、根据权利要求1所述的方法，其中，所述方法还包括：

当所述需要转为热备用状态的模组的个数大于或等于1时，依次判断所述需要转为热备用状态的模组所在相的所述各级模组是否有故障，若当前模组无故障，则将所述当前模组转为所述热备用状态，并且所述需要转为热备用状态的模组的个数减少1。

7、根据权利要求6所述的方法，其中，所述当所述需要转为热备用状态的模组的个数大于或等于1时，依次判断所述需要转为热备用状态的模组所在相的所述各级模组是否有故障的步骤，包括：

当所述当前模组有故障，所述当前模组不转为所述热备用状态，所述需要转为热备用状态的模组的个数不变。

8、根据权利要求1所述的方法，其中，所述方法还包括：

当所述需要转为热备用状态的模组的个数等于零时，保持所述需要转为热备用状态的模组所在相的各级模组运行状态不变，并保持实时计算该相的所述需要转为热备用状态的模组的个数的步骤。

9、根据权利要求1所述的方法，其中，所述热备用状态为，

将所述需要转为热备用状态的模组解锁运行且具备电压输出能力，但保持所述需要转为热备用状态的模组的端口的输出电压为0的状态。

10、根据权利要求1所述的方法，其中，所述换流器是电压源型换流器。

11、一种分布式补偿器的协调控制系统，其中，所述分布式补偿器包括分别串联接入三相交流线路的换流器，各相的所述换流器由多级模组依次串联构成，其中，所述协调控制系统包括：

模组状态监视模块，配置为实时检测所述分布式补偿器中所述各相的所述换流器中的各级的模组的运行状态；

有效模组数计算模块，配置为根据所述各级的模组的运行状态，实时计算所述各相的第一模组个数，实时计算所述分布式补偿器的可有效输出电压的第二模组个数，其中所述第一模组个数为所述各相的所述换

流器的具备正常运行条件且无故障的可用模组数；以及

模组热备用状态控制模块，配置为实时计算所述各相的所述换流器中需要转为热备用状态的模组的个数，将所述各相的所述换流器中的所述需要转为热备用状态的模组转为热备用状态。

12、根据权利要求 11 所述的协调控制系统，其中，所述协调控制系统还包括：

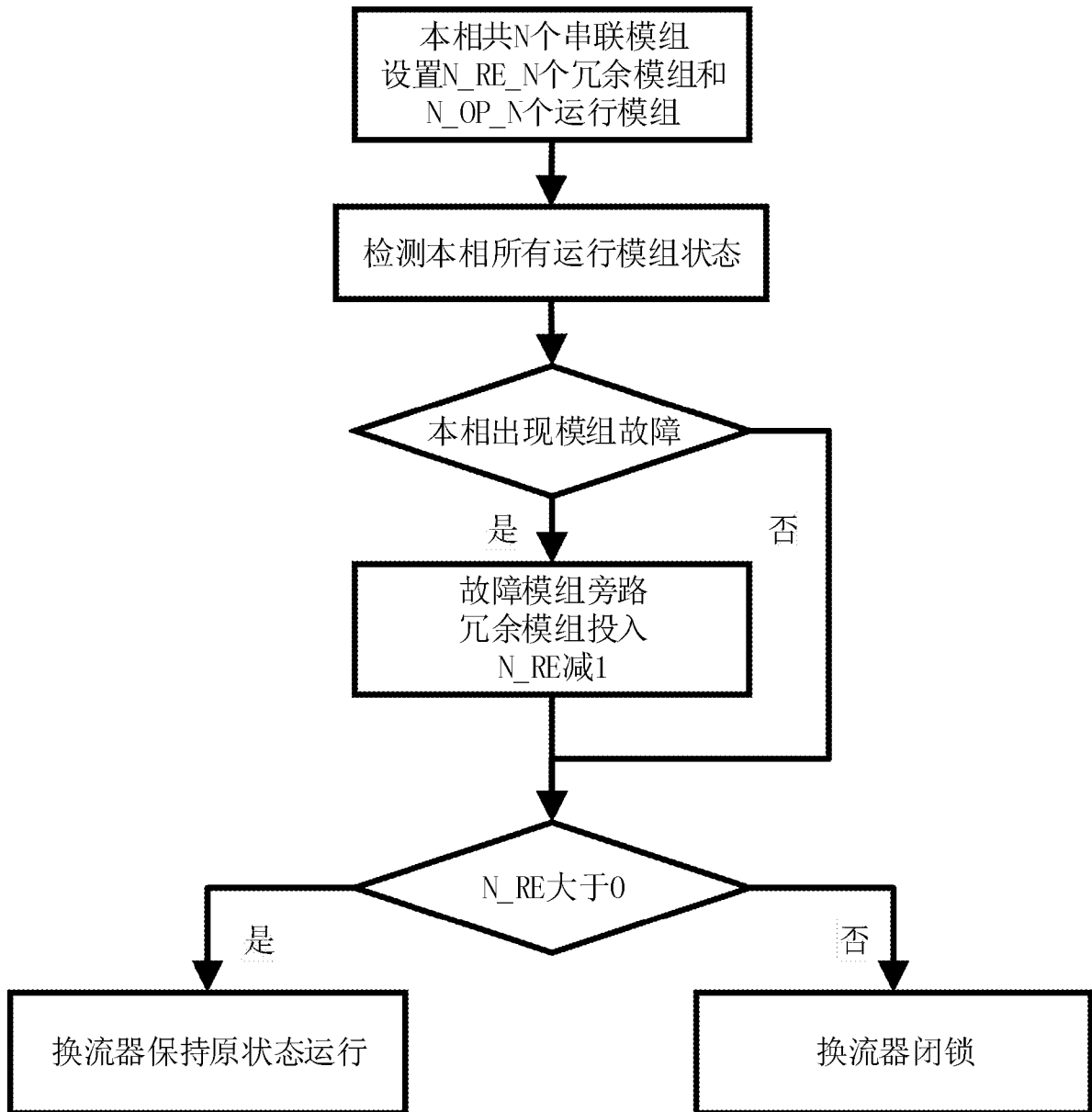
多回线间通讯模块，配置为仅在所述分布式补偿器为多回线运行方式时生效，并确定各条并联的多回交流线路中的第一模组个数的最小值。

13、根据权利要求 11 所述的协调控制系统，其中，所述模组热备用状态控制模块配置为实时计算所述各相的所述换流器中需要转为热备用状态的模组个数，当所述各相中的一相中的所述需要转为热备用状态的模组个数为零时，则所述一相中没有模组转为热备用状态。

14、根据权利要求 11 所述的协调控制系统，其中，所述运行状态包括模组解锁、模组闭锁和模组故障。

15、一种计算机设备，包括存储器和处理器，所述存储器存储有计算机程序，其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求 1 至 10 中任一项所述方法的步骤。

16、一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，其中，所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求 1 至 10 中任一项所述的方法的步骤。



注：N_RE为剩余冗余模组数， $N\_RE\_N + N\_OP\_N = N$

图 1

配置所述分布式补偿器由分别串联接入三相交流线路的换流器构成，接入各相的所述换流器分别由多级模组依次串联构成

在所述分布式补偿器正常运行的过程中，实时检测各相的所述换流器的所述多级模组中的各级模组的运行状态，以获得所述各相的第一模组个数，其中，所述第一模组个数分别为所述各相的所述换流器中具备正常运行条件且无故障的可用模组个数

实时计算所述分布式补偿器的可有效输出电压的第二模组个数，其中，所述第二模组个数等于所述各相中的所述第一模组个数中的最小值

当任一相所述换流器的任一级模组故障时，闭锁并旁路所述发生故障的模组，同时将所述故障相的第一模组个数减一，并保持非故障相的第一模组个数不变

将所述各相中的所述第一模组个数分别与所述第二模组个数进行对比，若所述第一模组个数大于所述第二模组个数，则将所述大于所述第二模组个数的第一模组所在相的换流器中的需要转为热备用状态的模组转为热备用状态，其中，所述需要转为热备用状态的模组的个数等于所述需要转为热备用状态的模组所在相的第一模组个数减去所述第二模组个数

图 2

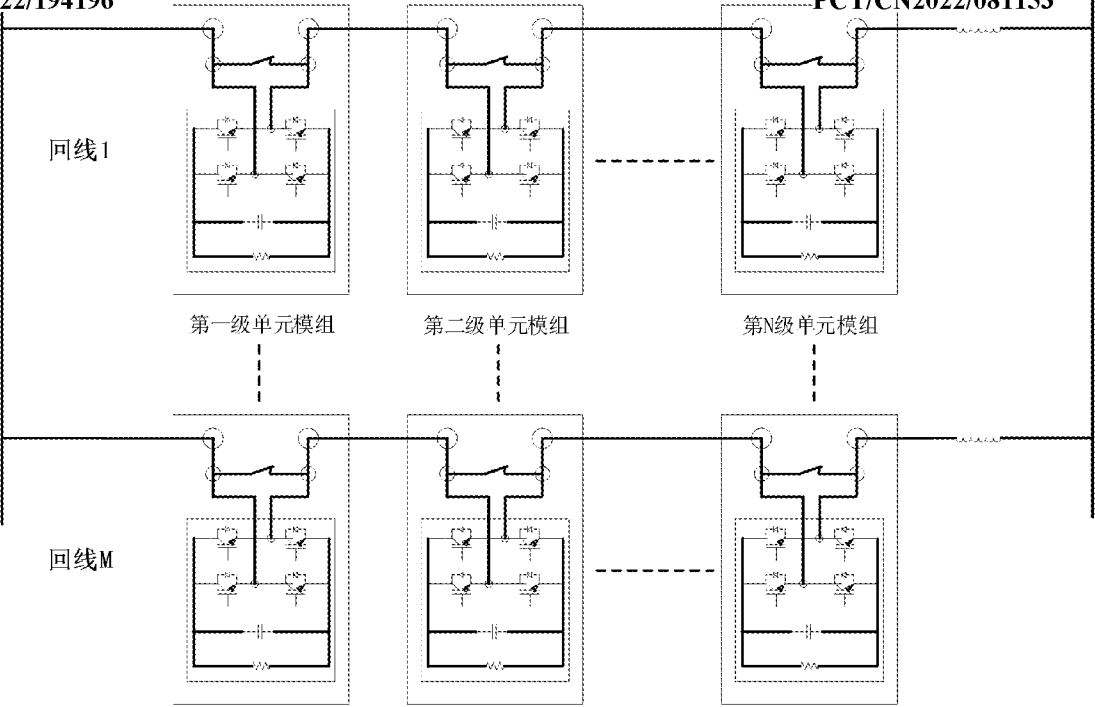


图 3

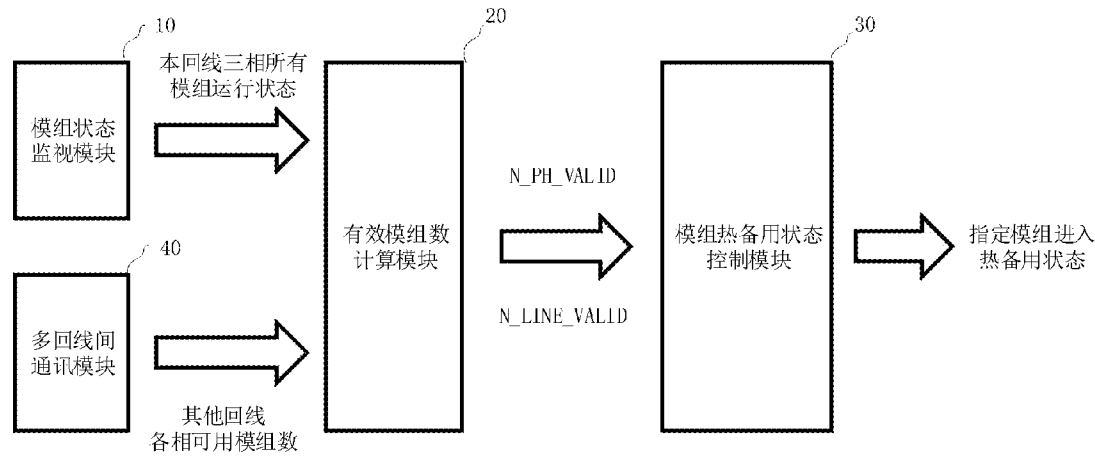


图 4

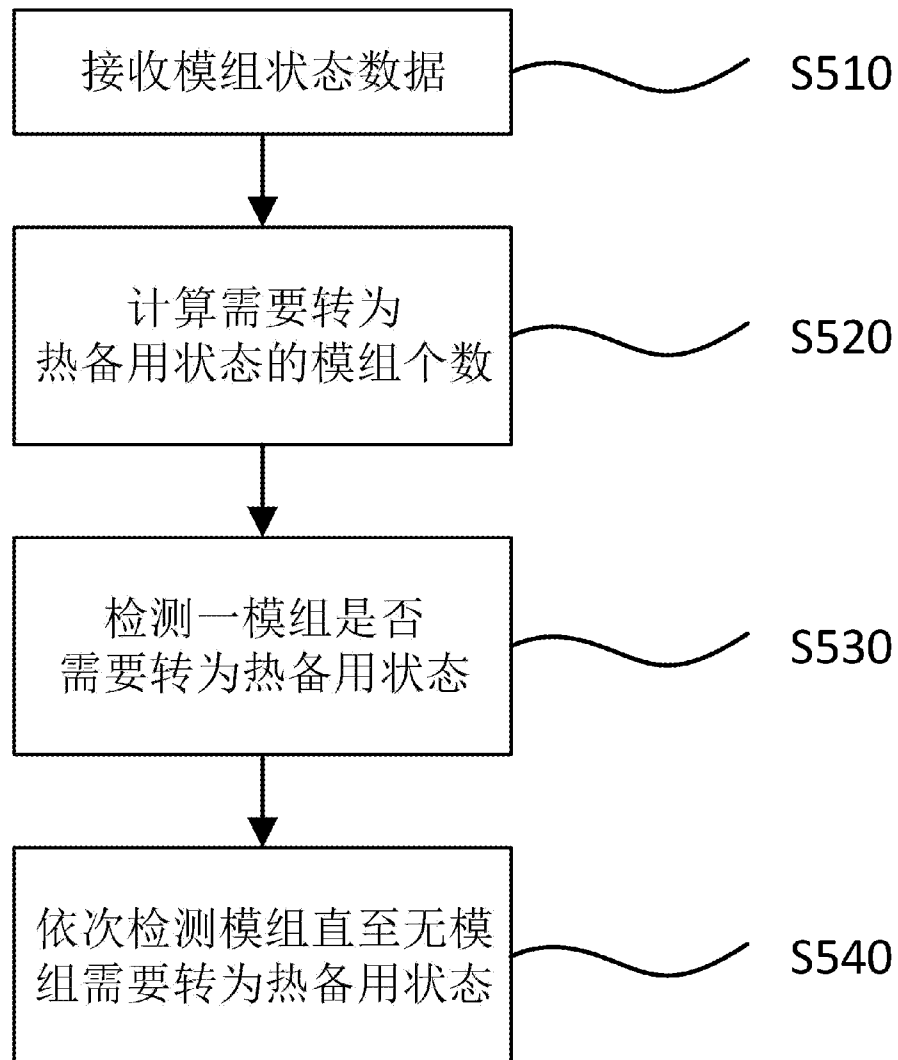


图 5

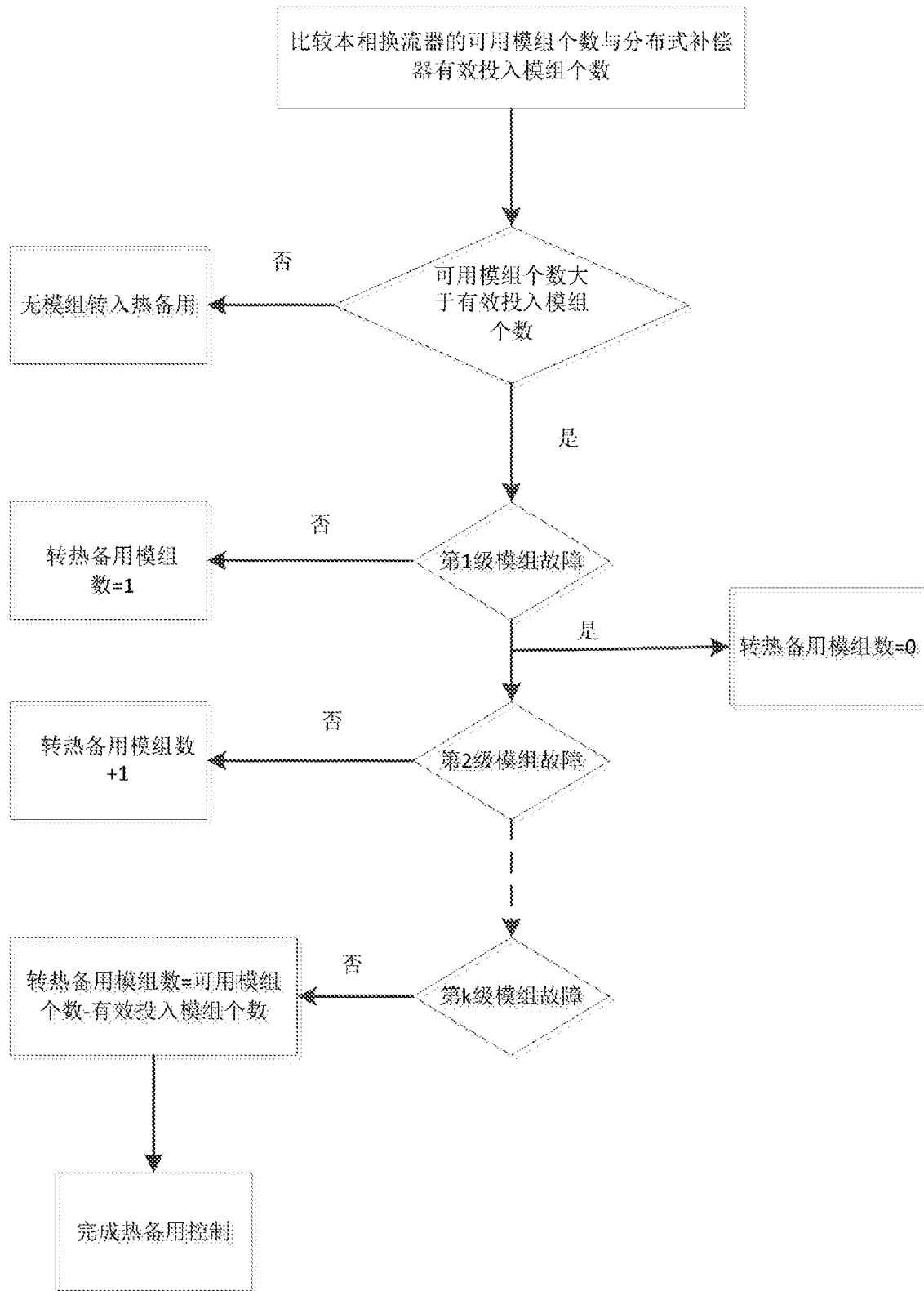


图 6

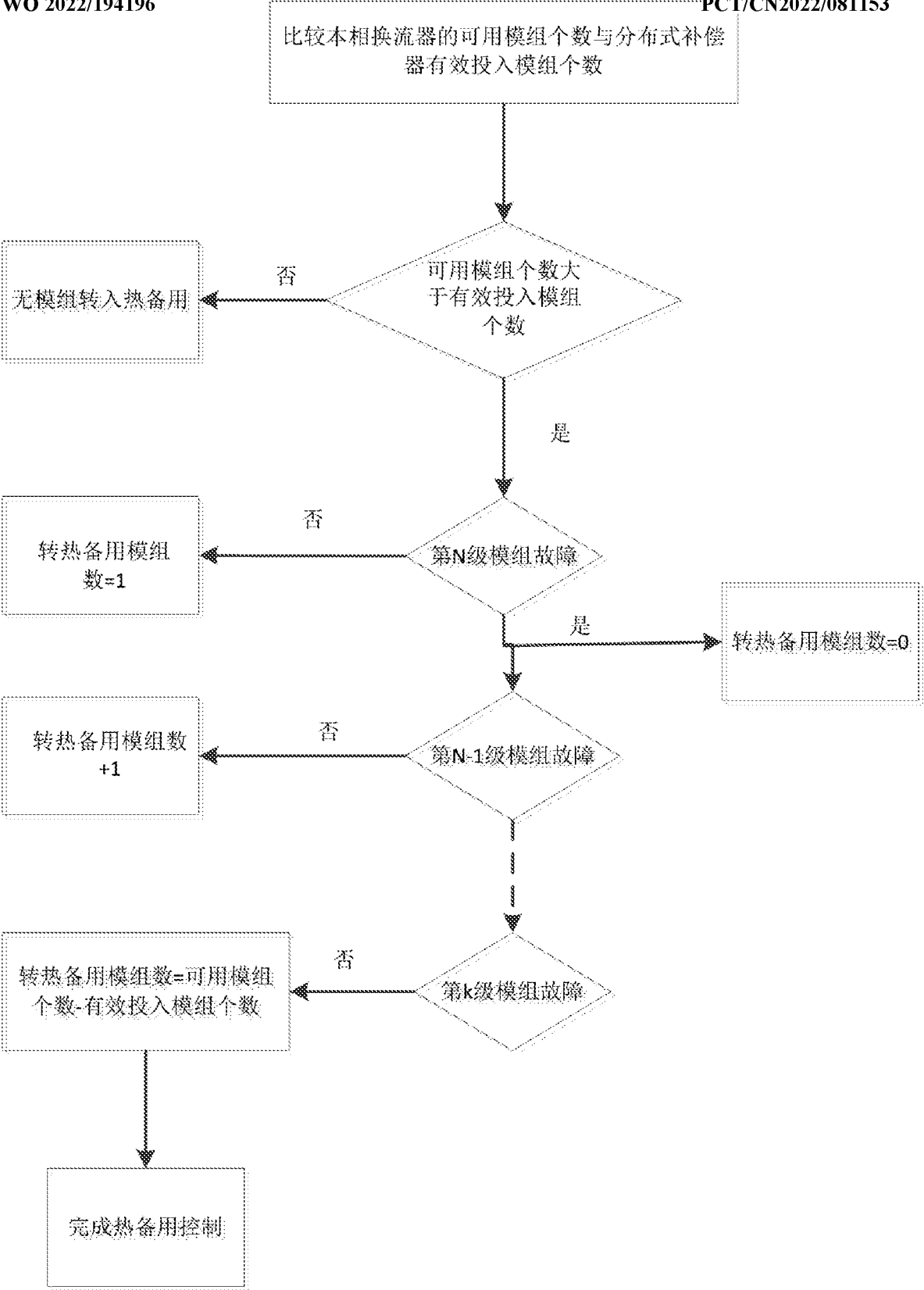


图 7

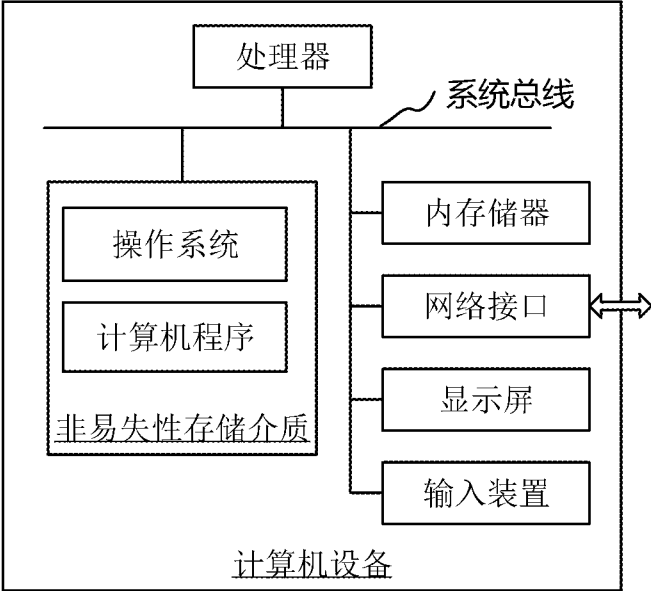


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/081153

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/26(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02J

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)

CNTXT, ENTXT, ENTXTC, DWPI, CNKI, IEEE: 分布, 补偿, 模块, 模组, 串联, 个数, 数量, 热备用, 故障, distribute, compensator, series, module, number, backup, fault

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 112491076 A (NARI-RELAYS ELECTRIC CO., LTD. et al.) 12 March 2021 (2021-03-12) description, paragraphs 61-131, and figures 1-10	1-16
A	CN 112491077 A (NARI-RELAYS ELECTRIC CO., LTD. et al.) 12 March 2021 (2021-03-12) entire document	1-16
A	CN 111600494 A (QINGDAO TOPSCOMM COMMUNICATION CO., LTD.) 28 August 2020 (2020-08-28) entire document	1-16
A	US 5883796 A (WISCONSIN ALUMNI RESEARCH FOUNDATION) 16 March 1999 (1999-03-16) entire document	1-16
A	姚永峰 等 (YAO, Yongfeng et al.). "配电网电容电流分布式补偿策略 (Distributed Compensation Strategy for Capacitive Current in Distribution Network)" 电力系统及其自动化学报 (<i>Proceedings of the CSU-EPSA</i>), Vol. 30, No. 12, 31 December 2018 (2018-12-31), ISSN: 1003-8930, pp. 139-144	1-16



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 May 2022

Date of mailing of the international search report

30 May 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

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

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/081153

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	112491076	A	12 March 2021	None	
CN	112491077	A	12 March 2021	None	
CN	111600494	A	28 August 2020	None	
US	5883796	A	16 March 1999	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/081153

A. 主题的分类

H02J 3/26 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

H02J

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))

CNTXT、ENTXT、ENTXTC、DWPI、CNKI、IEEE: 分布, 补偿, 模块, 模组, 串联, 个数, 数量, 热备用, 故障, distribute, compensator, series, module, number, backup, fault

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 112491076 A (南京南瑞继保电气有限公司 等) 2021年3月12日 (2021 - 03 - 12) 说明书第61-131段, 附图1-10	1-16
A	CN 112491077 A (南京南瑞继保电气有限公司 等) 2021年3月12日 (2021 - 03 - 12) 全文	1-16
A	CN 111600494 A (青岛鼎信通讯股份有限公司) 2020年8月28日 (2020 - 08 - 28) 全文	1-16
A	US 5883796 A (WISCONSIN ALUMNI RES FOUND) 1999年3月16日 (1999 - 03 - 16) 全文	1-16
A	姚永峰 等. “配电网电容电流分布式补偿策略” 《电力系统及其自动化学报》, 第30卷, 第12期, 2018年12月31日 (2018 - 12 - 31), ISSN: 1003-8930, 第139-144页	1-16

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

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

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

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

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

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

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2022年5月19日

国际检索报告邮寄日期

2022年5月30日

ISA/CN的名称和邮寄地址

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

传真号 (86-10) 62019451

受权官员

李路

电话号码 (86-10) 62411656

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/081153

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	112491076	A	2021年3月12日	无	
CN	112491077	A	2021年3月12日	无	
CN	111600494	A	2020年8月28日	无	
US	5883796	A	1999年3月16日	无	