(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
2024 年 8 月 15 日 (15.08.2024)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2024/164811 A1

(51) 国际专利分类号:
H02J 3/00 (2006.01) *H02J 3/38* (2006.01)
H02J 3/12 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2024/072527

(22) 国际申请日: 2024 年 1 月 16 日 (16.01.2024)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202310150573.1 2023年2月7日 (07.02.2023) CN

(71) 申请人: 华为数字能源技术有限公司 (**HUAWEI DIGITAL POWER TECHNOLOGIES CO., LTD.**) [CN/CN]; 中国广东省深圳市福田区香蜜湖街道香安社区安托山六路33号安托山总部大厦A座研发39层01号, Guangdong 518043 (CN)。

(72) 发明人: 张美清 (**ZHANG, Meiqing**); 中国广东省深圳市福田区香蜜湖街道香安社区安托山六路33号安托山总部大厦A座研发39层01号, Guangdong 518043 (CN)。 王硕 (**WANG, Shuo**); 中国广东省深圳市福田区香蜜湖街道香安社区安托山六路33号安托山总部大厦A座研发39层01号, Guangdong 518043 (CN)。 董明轩 (**DONG, Mingxuan**); 中国广东省深圳市福田区香蜜湖街道香安社区安托山六路33号安托山总部大厦A座研发39层01号, Guangdong 518043 (CN)。 辛凯 (**XIN, Kai**); 中国广东省深圳市福田区香蜜湖街道香安社区安托山六路33号安托山总部大厦A座研发39层01号, Guangdong 518043 (CN)。

(74) 代理人: 广州三环专利商标代理有限公司 (**SCIHEAD IP LAW FIRM**); 中国广东省广州市

(54) **Title:** MICROGRID SYSTEM, POWER CONVERTER AND CONTROL METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 微电网系统、功率变换器及其控制方法

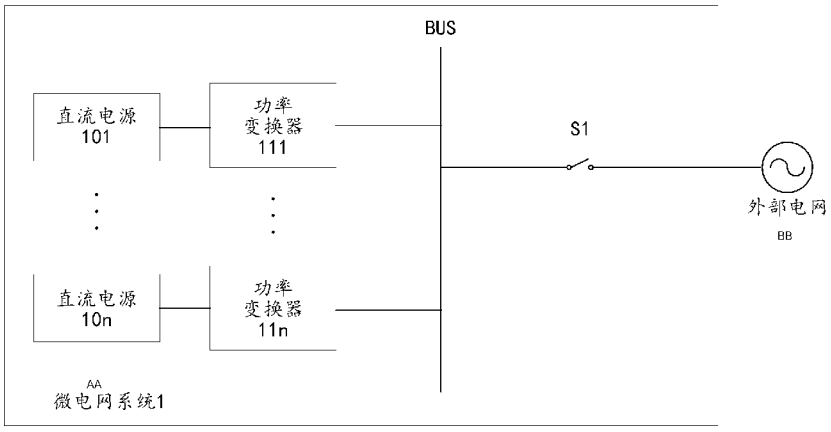


图 2a

101, 10n Direct-current power supply
111, 11n Power converter
AA Microgrid system 1
BB External grid
CC Bus

(57) **Abstract:** Provided in the present application are a microgrid system, a power converter and a control method therefor. The microgrid system comprises at least one power converter, a microgrid bus and a grid-connected switch, the output end of the power converter being connected to the microgrid bus, and the microgrid bus being connected to an external grid via the grid-connected switch. When detecting a grid fault, the power converter is in a first current source control mode and, after the duration of the grid fault reaches a first duration, switches from the first current source control mode to a first voltage source control mode, the first current source control mode being a current source fault ride-through control mode, the first voltage source control mode being a voltage source fault ride-through control mode, the first duration being shorter than a second duration, and the second duration being the time interval between the moment when the grid fault occurs and the moment when the grid-connected switch is disconnected. Using the present application enables microgrid systems to provide voltage support for external grids having faults, and to implement grid-connected/off-grid mode

WO 2024/164811 A1

[见续页]

越秀区先烈中路80号汇华商贸大厦1508室, Guangdong 510070 (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))。

switching before grid-connected switches are disconnected.

(57) 摘要: 本申请提供了一种微电网系统、功率变换器及其控制方法，该微电网系统包括至少一个功率变换器、微电网母线和并网开关，功率变换器的输出端连接微电网母线，微电网母线通过并网开关连接外部电网。功率变换器在检测到电网发生故障的情况下，处于第一电流源控制模式；在电网故障的持续时长达到第一时长后，从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式。第一电流源控制模式为电流源故障穿越控制模式，第一电压源控制模式为电压源故障穿越控制模式，第一时长小于第二时长，第二时长为电网发生故障的时刻至并网开关断开的时刻之间的时间间隔。采用本申请，可使微电网系统在电网故障时为外部电网提供电压支撑，并在并网开关断开前完成并离网模式切换。

微电网系统、功率变换器及其控制方法

本申请要求在2023年02月07日提交中国国家知识产权局、申请号为202310150573.1的中国专利申请的优先权，发明名称为“微电网系统、功率变换器及其控制方法”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及电源技术领域，尤其涉及一种微电网系统、功率变换器及其控制方法。

背景技术

微电网由分布式发电、用电负荷、监控、保护和自动化装置等组成（必要时含储能装置），能够基本实现内部电力电量平衡的小型供用电系统。微电网有并网和离网两种运行模式。并网模式是指在正常情况下，微电网与大电网并网运行，向大电网提供多余的电能或由大电网向本地负载供电并向电池充电。离网模式是指当检测到大电网故障或电能质量不满足要求时，微电网与大电网断开形成孤岛状态，由微电网内的分布式电源和储能电池向本地负荷供电。

随着微电网接入大电网的配电电压等级和容量提高，微电网及其所有的分布式电源和储能已成为电力系统安全稳定的重要组成部分。在大电网出现故障发生电压跌落时，微电网就立即切换为离网模式独立运行，将会给大电网造成较大的功率扰动。此外，大电网大部分的电压跌落都是暂时性的，即所发生的故障大部分不是永久性故障，在线路断路器断开再自动重合闸后系统可以正常运行。因此，在大电网出现故障的情况下，微电网能够为大电网提供电压支撑，并在线路断路器断开之前完成并离网模式切换尤为重要。

发明内容

本申请提供了一种微电网系统、功率变换器及其控制方法，可使微电网系统在电网故障时为外部电网提供电压支撑，并在并网开关断开前完成并离网模式切换。

第一方面，本申请提供了一种微电网系统，该微电网系统包括至少一个功率变换器、微电网母线和并网开关，功率变换器的输入端和输出端分别连接直流电源和微电网母线，微电网母线通过并网开关连接外部电网。功率变换器在检测到电网发生故障的情况下，处于第一电流源控制模式；并在电网故障的持续时长达到第一时长后，从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式。其中，电网包括外部电网或者微电网系统，第一电流源控制模式为电流源故障穿越控制模式，第一电压源控制模式为电压源故障穿越控制模式。并网开关在电网发生故障的情况下经过第二时长后断开，第二时长大于第一时长。可以理解的，微电网系统中的各功率变换器在检测到电网发生故障的情况下，通过控制自身处于电流源故障穿越控制模式，并在并网开关断开前控制自身切换至电压源故障穿越控制模式的方式，使得微电网系统在电网故障时为外部电网提供电压支撑，并在并网开关断开前完成并离网模式切换，从而使微电网系统兼顾故障穿越支撑功能和并离网切换功能，保证微电网系统的稳定运行。

结合第一方面，在第一种可能的实施方式中，在第一电流源控制模式下功率变换器基于电网发生故障时微电网母线的电压跌落值控制功率变换器的输出电压，从而对外部电网提供无功电流支撑，实现微电网系统的电流源故障穿越支撑特性。在第一电压源控制模式下功率变换器基于预设电流幅值范围中的最大预设电流幅值控制功率变换器的输出电压，从而对外部电网提供电压和频率支撑，实现微电网系统的电压源故障穿越支撑特性。

结合第一方面第一种可能的实施方式，在第二种可能的实施方式中，功率变换器根据电网发生故障时微电网母线的电压跌落值获得第一参考输出电流值，根据第一参考输出电流值和第一参考角频率值获得第一参考输出调制电压值，并基于第一参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第一电流源控制模式，从而使得功率变换器基于电压跌落值为外部电网提供一定的电压支撑，进而使得微电网系统在电网故障时能够为外部电网提供电压支撑，实现电流源故障穿越支撑特性。

结合第一方面第一种可能的实施方式或者第一方面第二种可能的实施方式，在第三种可能的实施方式中，功率变换器基于最大预设电流幅值和外部电网的等效阻抗角获得第二参考输出电流值，基于第二参考输出电流值和第二参考角频率值获得第二参考输出调制电压值；基于第二参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第一电压源控制模式。可以理解的，在电网故障的持续时长达到第

一时长后，功率变换器从电流源故障穿越控制模式切换至电压源故障穿越控制模式，可减小由于功率变换器在并网开关断开之前没切换至电压源控制模式而导致的微电网系统失稳的风险，从而提高微电网系统的稳定性。

结合第一方面第三种可能的实施方式，在第四种可能的实施方式中，功率变换器处于第一电压源控制模式下的初始参考输出电流值和初始参考角频率值分别为切换瞬间功率变换器处于第一电流源控制模式下的第一参考输出电流值和第一参考角频率值，可减小模式切换时电流和电压的波动程度，提高电流和电压在模式切换时的平滑度。

结合第一方面至第一方面第四种可能的实施方式中的任一种，在第五种可能的实施方式中，功率变换器还在电网发生故障之前处于第二电流源控制模式，其中，在第二电流源控制模式下功率变换器基于参考输出有功电流值和参考输出无功电流值控制功率变换器的输出电压。可以理解的，在电网发生故障之前，微电网系统处于并网模式，各功率变换器均处于第二电流源控制模式，即电流源控制模式下的正常控制模式，有利于提高微电网系统的稳定性。

结合第一方面第五种可能的实施方式，在第六种可能的实施方式中，功率变换器将参考输出有功电流值和参考输出无功电流值确定为第三参考输出电流值，基于第三参考输出电流值和第三参考角频率值获得第三参考输出调制电压值；基于第三参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第二电流源控制模式。

结合第一方面第五种可能的实施方式或者第一方面第六种可能的实施方式，在第七种可能的实施方式中，功率变换器还基于功率变换器的参考输出有功功率值和实际输出有功功率值获得参考输出有功电流值。可以理解的，参考输出有功电流值的获取方式简单，有利于提供功率变换器的工作效率，进而提高微电网系统的工作效率。

结合第一方面第五种可能的实施方式或者第一方面第六种可能的实施方式，在第八种可能的实施方式中，功率变换器包括直流 DC/直流 DC 电路、直流母线和直流 DC/交流 AC 电路，DC/DC 电路的输出端通过直流母线连接 DC/AC 电路的输入端。功率变换器还基于直流母线的参考母线电压和实际母线电压获得参考输出有功电流值。可以理解的，参考输出有功电流值还可以基于直流母线的母线电压获得，参考输出有功电流值的获取方式多样，灵活性高。

结合第一方面第五种可能的实施方式或者第一方面第六种可能的实施方式，在第九种可能的实施方式中，功率变换器还基于功率变换器的参考输出无功功率值和实际输出无功功率值获得参考输出无功电流值。可以理解的，参考输出无功电流值的获取方式简单，有利于提供功率变换器的工作效率，进而提高微电网系统的工作效率。

结合第一方面第五种可能的实施方式或者第一方面第六种可能的实施方式，在第十种可能的实施方式中，功率变换器还基于功率变换器的参考输出电压和实际输出电压获得参考输出无功电流值。可以理解的，参考输出无功电流值还可以基于功率变换器的输出电压获得，参考输出无功电流值的获取方式多样，灵活性高。

结合第一方面至第一方面第十种可能的实施方式中的任一种，在第十一种可能的实施方式中，功率变换器还在自身处于第一电压源控制模式后，在电网恢复正常的情况下，从第一电压源控制模式切换至第二电压源控制模式，其中，在第二电压源控制模式下功率变换器基于参考电压幅值和参考频率值控制功率变换器的输出电压。进而，在电网恢复正常后，微电网系统能够主动为外部电网提供预设电压频率支撑和预设电压幅值支撑。

结合第一方面第十一种可能的实施方式，在第十二种可能的实施方式中，功率变换器根据参考电压幅值和参考频率值获得第四参考输出调制电压值，并根据第四参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第二电压源控制模式。

结合第一方面至第一方面第十二种可能的实施方式中的任一种，在第十三种可能的实施方式中，功率变换器在自身的输出电压小于电压阈值或者自身的输出电流大于电流阈值的情况下，确定电网发生故障。可以理解的，功率变换器可以通过自身的输出电压或者输出电流的方式判断电网是否故障，该方式无需与微电网控制器通信，可有效提高功率变换器对电网进行故障检测时的效率。

结合第一方面至第一方面第十二种可能的实施方式中的任一种，在第十四种可能的实施方式中，功率变换器在微电网母线的电压小于电压阈值的情况下，确定电网发生故障。可以理解的，功率变换器还可以通过微电网母线的电压判断电网是否故障，电网故障判断方式多样，灵活性高。

结合第一方面至第一方面第十四种可能的实施方式中的任一种，在第十五种可能的实施方式中，微电

网系统还包括微电网控制器，微电网控制器在检测到电网发生故障的情况下，经过第二时长后控制并网开关断开。

结合第一方面第十五种可能的实施方式，在第十六种可能的实施方式中，功率变换器还在切换至第二电压源控制模式后，向微电网控制器发送功率变换器的控制模式，其中，在第二电压源控制模式下功率变换器基于参考电压幅值和参考频率值控制功率变换器的输出电压。微电网控制器在并网开关处于断开状态且接收到的功率变换器的控制模式为第二电压源控制模式的情况下，向功率变换器发送同期控制指令，同期控制指令用于控制功率变换器的输出电压幅值与外部电网的电压幅值之间的幅值差值小于幅值差值阈值，以及功率变换器的输出电压相位与外部电网的电压相位之间的相位差值小于相位差值阈值；并在并网开关的第一端电压幅值与第二端电压幅值之间的幅值差值小于幅值差值阈值，且并网开关的第一端电压相位与第二端电压相位之间的相位差值小于相位差值阈值的情况下，微电网控制器控制并网开关闭合。可以理解的，微电网控制器基于并网开关的开关状态和各功率变换器的控制模式，对各功率变换器的控制模式进行调整，以使各功率变换器在微电网系统处于并网模式时运行在电流源控制模式，在微电网系统处于离网模式时运行在电压源控制模式，从而提高微电网系统的稳定性。

结合第一方面第十六种可能的实施方式，在第十七种可能的实施方式中，微电网控制器还在并网开关处于闭合状态且接收到的功率变换器的控制模式为第二电压源控制模式的情况下，经过第三时长后向功率变换器发送模式切换指令，模式切换指令用于控制功率变换器切换至第二电流源控制模式，在第二电流源控制模式下功率变换器基于参考输出有功电流值和参考输出无功电流值控制功率变换器的输出电压。可以理解的，微电网控制器基于并网开关的开关状态和各功率变换器的控制模式，对各功率变换器的控制模式进行调整，以使各功率变换器在微电网系统处于并网模式时运行在电流源控制模式，在微电网系统处于离网模式时运行在电压源控制模式，从而提高微电网系统的稳定性。

第二方面，本申请提供了一种功率变换器，该功率变换器的输入端和输出端分别连接直流电源和微电网母线，微电网母线通过并网开关连接外部电网。功率变换器在检测到电网发生故障的情况下，处于第一电流源控制模式；在电网故障的持续时长达到第一时长后，从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式，其中，电网包括外部电网或者微电网母线所在的微电网系统，第一电流源控制模式为电流源故障穿越控制模式，第一电压源控制模式为电压源故障穿越控制模式，第一时长小于第二时长，第二时长为电网发生故障的时刻至并网开关断开的时刻之间的时间间隔。进而，功率变换器在检测到电网发生故障的情况下，通过控制自身处于电流源故障穿越控制模式，并在并网开关断开前控制自身切换至电压源故障穿越控制模式的方式，使得功率变换器在电网故障时为外部电网提供电压支撑，并在并网开关断开前完成并离网模式切换，从而使功率变换器兼顾故障穿越支撑功能和并离网切换功能。

结合第二方面，在第一种可能的实施方式中，在第一电流源控制模式下功率变换器基于电网发生故障时微电网母线的电压跌落值，控制功率变换器的输出电压，从而对外部电网提供无功电流支撑，实现功率变换器的电流源故障穿越支撑特性。在第一电压源控制模式下功率变换器基于预设电流幅值范围中的最大预设电流幅值，控制功率变换器的输出电压，从而对外部电网提供电压和频率支撑，实现功率变换器的电压源故障穿越支撑特性。

结合第二方面第一种可能的实施方式，在第二种可能的实施方式中，功率变换器根据电网发生故障时微电网母线的电压跌落值获得第一参考输出电流值，根据第一参考输出电流值和第一参考角频率值获得第一参考输出调制电压值，并基于第一参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第一电流源控制模式，从而使得功率变换器在电网故障时基于电压跌落值为外部电网提供一定的电压支撑，进而实现功率变换器的电流源故障穿越支撑特性。

结合第二方面第一种可能的实施方式或者第二方面第二种可能的实施方式，在第三种可能的实施方式中，功率变换器基于最大预设电流幅值和外部电网的等效阻抗角获得第二参考输出电流值，基于第二参考输出电流值和第二参考角频率值获得第二参考输出调制电压值；基于第二参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第一电压源控制模式。可以理解的，在电网故障的持续时长达到第一时长后，功率变换器从电流源故障穿越控制模式切换至电压源故障穿越控制模式，可减小由于功率变换器在并网开关断开之前没切换至电压源控制模式而导致的微电网系统失稳的风险，从而提高功率变换器的稳定性。

结合第二方面第三种可能的实施方式，在第四种可能的实施方式中，功率变换器处于第一电压源控制模式下的初始参考输出电流值和初始参考角频率值分别为切换瞬间功率变换器处于第一电流源控制模式下的第一参考输出电流值和第一参考角频率值，可减小模式切换时电流和电压的波动程度，提高电流和电

压在模式切换时的平滑度，从而提高功率变换器在模式切换时的稳定性。

结合第二方面至第二方面第四种可能的实施方式中的任一种，在第五种可能的实施方式中，功率变换器还在电网发生故障之前处于第二电流源控制模式，其中，在第二电流源控制模式下功率变换器基于参考输出有功电流值和参考输出无功电流值控制功率变换器的输出电压。可以理解的，在电网故障之前，微电网系统处于并网模式，功率变换器均处于第二电流源控制模式，即电流源控制模式下的正常控制模式，有利于提高功率变换器的稳定性。

结合第二方面第五种可能的实施方式，在第六种可能的实施方式中，功率变换器将参考输出有功电流值和参考输出无功电流值确定为第三参考输出电流值，基于第三参考输出电流值和第三参考角频率值获得第三参考输出调制电压值；基于第三参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第二电流源控制模式。

结合第二方面第五种可能的实施方式或者第二方面第六种可能的实施方式，在第七种可能的实施方式中，功率变换器还基于功率变换器的参考输出有功功率值和实际输出有功功率值获得参考输出有功电流值。可以理解的，参考输出有功电流值的获取方式简单，有利于提供功率变换器的工作效率。

结合第二方面第五种可能的实施方式或者第二方面第六种可能的实施方式，在第八种可能的实施方式中，功率变换器包括直流 DC/直流 DC 电路、直流母线和直流 DC/交流 AC 电路，DC/DC 电路的输出端通过直流母线连接 DC/AC 电路的输入端。功率变换器还基于直流母线的参考母线电压和实际母线电压获得参考输出有功电流值。可以理解的，参考输出有功电流值还可以基于直流母线的母线电压获得，参考输出有功电流值的获取方式多样，灵活性高。

结合第二方面第五种可能的实施方式或者第二方面第六种可能的实施方式，在第九种可能的实施方式中，功率变换器还基于功率变换器的参考输出无功功率值和实际输出无功功率值获得参考输出无功电流值。可以理解的，参考输出无功电流值的获取方式简单，有利于提供功率变换器的工作效率。

结合第二方面第五种可能的实施方式或者第二方面第六种可能的实施方式，在第十种可能的实施方式中，功率变换器还基于功率变换器的参考输出电压和实际输出电压获得参考输出无功电流值。可以理解的，参考输出无功电流值还可以基于功率变换器的输出电压获得，参考输出无功电流值的获取方式多样，灵活性高。

结合第二方面至第二方面第十种可能的实施方式，在第十一种可能的实施方式中，功率变换器还在自身处于第一电压源控制模式后，在电网恢复正常的情况下，从第一电压源控制模式切换至第二电压源控制模式，其中，在第二电压源控制模式下功率变换器基于参考电压幅值和参考频率值控制功率变换器的输出电压。进而，在电网恢复正常后，功率变换器能够主动为外部电网提供预设电压频率支撑和预设电压幅值支撑。

结合第二方面第十一种可能的实施方式，在第十二种可能的实施方式中，功率变换器根据参考电压幅值和参考频率值获得获得第四参考输出调制电压值，并根据第四参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第二电压源控制模式。

结合第二方面至第二方面第十二种可能的实施方式中的任一种，在第十三种可能的实施方式中，功率变换器在自身的输出电压小于电压阈值或者自身的输出电流大于电流阈值的情况下，确定电网发生故障。可以理解的，功率变换器可以通过自身的输出电压或者输出电流的方式判断电网是否故障，该方式无需与微电网控制器通信，可有效提高功率变换器对电网进行故障检测时的效率。

结合第二方面至第二方面第十二种可能的实施方式中的任一种，在第十四种可能的实施方式中，功率变换器在微电网母线的电压小于电压阈值的情况下，确定电网发生故障。可以理解的，功率变换器还可以通过微电网母线的电压判断电网是否故障，电网故障判断方式多样，灵活性高。

第三方面，本申请提供了一种功率变换器的控制方法，该功率变换器的输入端和输出端分别连接直流电源和微电网母线，微电网母线通过并网开关连接外部电网。该方法包括：功率变换器在检测到电网故障的情况下，处于第一电流源控制模式；在电网故障的持续时长达到第一时长后，从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式，其中，电网包括外部电网或者微电网母线所在的微电网系统，第一电流源控制模式为电流源故障穿越控制模式，第一电压源控制模式为电压源故障穿越控制模式，第一时长小于第二时长，第二时长为电网发生故障的时刻至并网开关断开的时刻之间的时间间隔。

结合第三方面，在第一种可能的实施方式中，在第一电流源控制模式下功率变换器基于电网发生故障时微电网母线的电压跌落值，控制功率变换器的输出电压。在第一电压源控制模式下功率变换器基于预设电流幅值范围中的最大预设电流幅值，控制功率变换器的输出电压。

结合第三方面第一种可能的实施方式，在第二种可能的实施方式中，功率变换器根据电网发生故障时微电网母线的电压跌落值获得第一参考输出电流值，根据第一参考输出电流值和第一参考角频率值获得第一参考输出调制电压值，并基于第一参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第一电流源控制模式。

结合第三方面第一种可能的实施方式或者第三方面第二种可能的实施方式，在第三种可能的实施方式中，功率变换器基于最大预设电流幅值和外部电网的等效阻抗角获得第二参考输出电流值，基于第二参考输出电流值和第二参考角频率值获得第二参考输出调制电压值；基于第二参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第一电压源控制模式。

结合第三方面第三种可能的实施方式，在第四种可能的实施方式中，功率变换器处于第一电压源控制模式下的初始参考输出电流值和初始参考角频率值分别为切换瞬间功率变换器处于第一电流源控制模式下的第一参考输出电流值和第一参考角频率值。

结合第三方面至第三方面第四种可能的实施方式中的任一种，在第五种可能的实施方式中，功率变换器还在电网发生故障之前处于第二电流源控制模式，其中，在第二电流源控制模式下功率变换器基于参考输出有功电流值和参考输出无功电流值控制功率变换器的输出电压。

结合第三方面第五种可能的实施方式，在第六种可能的实施方式中，功率变换器将参考输出有功电流值和参考输出无功电流值确定为第三参考输出电流值，基于第三参考输出电流值和第三参考角频率值获得第三参考输出调制电压值；基于第三参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第二电流源控制模式。

结合第三方面第五种可能的实施方式或者第三方面第六种可能的实施方式，在第七种可能的实施方式中，功率变换器还基于功率变换器的参考输出有功功率值和实际输出有功功率值获得参考输出有功电流值。

结合第三方面第五种可能的实施方式或者第三方面第六种可能的实施方式，在第八种可能的实施方式中，功率变换器包括直流 DC/直流 DC 电路、直流母线和直流 DC/交流 AC 电路，DC/DC 电路的输出端通过直流母线连接 DC/AC 电路的输入端。功率变换器还基于直流母线的参考母线电压和实际母线电压获得参考输出有功电流值。

结合第三方面第五种可能的实施方式或者第三方面第六种可能的实施方式，在第九种可能的实施方式中，功率变换器还基于功率变换器的参考输出无功功率值和实际输出无功功率值获得参考输出无功电流值。

结合第三方面第五种可能的实施方式或者第三方面第六种可能的实施方式，在第十种可能的实施方式中，功率变换器还基于功率变换器的参考输出电压和实际输出电压获得参考输出无功电流值。

结合第三方面至第三方面第十种可能的实施方式中的任一种，在第十一种可能的实施方式中，功率变换器还在自身处于第一电压源控制模式后，在电网恢复正常的情况下，从第一电压源控制模式切换至第二电压源控制模式，其中，在第二电压源控制模式下功率变换器基于参考电压幅值和参考频率值控制功率变换器的输出电压。

结合第三方面第十一种可能的实施方式，在第十二种可能的实施方式中，功率变换器根据参考电压幅值和参考频率值获得第四参考输出调制电压值，并根据第四参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第二电压源控制模式。

结合第三方面至第三方面第十二种可能的实施方式中的任一种，在第十三种可能的实施方式中，功率变换器在自身的输出电压小于电压阈值或者自身的输出电流大于电流阈值的情况下，确定电网发生故障。

结合第三方面至第三方面第十二种可能的实施方式中的任一种，在第十四种可能的实施方式中，功率变换器在微电网母线的电压小于电压阈值的情况下，确定电网发生故障。

应理解的是，本申请上述多个方面的实现和有益效果可互相参考。

附图说明

图 1 是本申请提供的微电网系统的应用场景示意图；

图 2a 是本申请提供的微电网系统的一结构示意图；

图 2b 是本申请提供的微电网系统的另一结构示意图；

图 3 是本申请提供的微电网系统的控制时序示意图；

图 4 是本申请提供的微电网系统的一仿真示意图；

图 5 是本申请提供的微电网系统的另一仿真示意图；

图 6 是本申请提供的微电网系统的又一仿真示意图；

图 7 是本申请提供的功率变换器的控制方法的一流程示意图；

图 8 是本申请提供的功率变换器的控制方法的另一流程示意图；

图 9 是本申请提供的微电网控制器的控制方法的流程示意图。

具体实施方式

本申请提供的微电网系统和功率变换器可适用于新能源智能微网领域、输配电领域、新能源领域（如光伏并网领域、风力并网领域）、光伏发电领域、风力发电领域等多种应用领域。本申请提供的微电网系统和功率变换器可适用于不同的应用场景，比如，兼顾并网和离网功能的大型工商业微电网场景、中小型分布式微电网场景等，具体来讲，微电网场景包括光伏供电场景、储能供电场景、光储混合供电场景、光风混合供电场景等。下面以中小型分布式光储混合供电场景为例对微电网系统进行说明。

参见图 1，图 1 是本申请提供的微电网系统的应用场景示意图。如图 1 所示，在中小型分布式光储混合供电场景下，本申请提供的微电网系统可以为图 1 所示的微电网系统，本申请提供的功率变换器可以是图 1 所示的储能变流器或者光伏逆变器。该微电网系统包括储能电池簇 a1、……、储能电池簇 an、光伏组串 b1、……、光伏组串 bm、储能变流器 11、……、储能变流器 1n、光伏逆变器 21、……、光伏逆变器 2m、微电网母线 BUS、并网开关和家电设备。储能变流器 11 的输入端连接储能电池簇 a1，……，储能变流器 1n 的输入端连接储能电池簇 an，储能变流器 11 的输出端、……、储能变流器 1n 的输出端均连接至微电网母线 BUS。光伏逆变器 21 的输入端连接光伏组串 b1，……，光伏逆变器 2m 的输入端连接光伏组串 bm，光伏逆变器 21 的输出端、……、以及光伏逆变器 2m 的输出端均连接至微电网母线 BUS。家电设备连接至微电网母线 BUS。微电网母线 BUS 通过并网开关连接外部电网。在微电网系统并入外部电网开始工作后，上个 n 个储能变流器中的各储能变流器将各自输入端相连的储能电池簇所提供的直流电，进行逆变后得到交流电，并将逆变后的交流电输出至微电网母线 BUS。上述 m 个光伏逆变器将各自输入端相连的光伏组串所提供的直流电，进行逆变后得到交流电，并将逆变后的交流电输出至微电网母线 BUS。从而实现对家电设备和外部电网的供电。此外，在微电网系统并入外部电网开始工作后，各储能变流器、各光伏逆变器和微电网控制器均实时检测电网是否发生故障，其中，电网包括外部电网或者微电网系统。各储能变流器和各光伏逆变器在检测到电网发生故障的情况下，处于第一电流源控制模式。在电网故障的持续时长达到第一时长后，各储能变流器和各光伏逆变器从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式，其中，第一电流源控制模式为电流源故障穿越控制模式，第一电压源控制模式为电压源故障穿越控制模式，第一时长小于第二时长，第二时长为电网发生故障的时刻至并网开关断开的时刻之间的时间间隔。可以理解的，微电网系统中的各储能变流器和各光伏逆变器在检测到电网发生故障的情况下，通过控制自身处于电流源故障穿越控制模式，并在并网开关断开前控制自身切换至电压源故障穿越控制模式的方式，使得微电网系统在电网故障时为外部电网提供电压支撑，并在并网开关断开前完成并离网模式切换，从而使微电网系统兼顾故障穿越支撑功能和并离网切换功能。上述只是对本申请提供的微电网系统的应用场景进行示例，而非穷举，本申请不对应用场景进行限制。

下面结合图 2a 至图 6 对本申请提供的微电网系统和功率变换器的工作原理进行示例说明。

参见图 2a，图 2a 是本申请提供的微电网系统的一结构示意图。如图 2a 所示，微电网系统 1 包括直流电源 101、……、直流电源 10n、功率变换器 111、……、功率变换器 11n、微电网母线 BUS 和并网开关 S1。功率变换器 111 的输入端连接直流电源 101，……，功率变换器 11n 的输入端连接直流电源 10n，功率变换器 111 的输出端、……、功率变换器 11n 的输出端均并联至微电网母线 BUS，微电网母线 BUS 通过并网开关 S1 连接外部电网。其中，本申请中的功率变换器可以是储能变流器、光伏逆变器或者机电变流器等。

在一可选实施方式中，在微电网系统 1 并入外部电网工作后，功率变换器 111、……、功率变换器 11n 中的各功率变换器开始检测电网是否发生故障，其中，电网包括微电网系统 1 或者外部电网。在检测到电网发生故障的情况下，各功率变换器处于第一电流源控制模式，并在电网故障的持续时长达到第一时长后，从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式，其中，第一电流源控制模式为电流源故障穿越控制模式，第一电压源控制模式为电压源故障穿越控制模式，第一时长小于第二时长，第二时长为电网发生故障的时刻至并网开关 S1 断开的时刻之间的时间间隔。

在本申请实施例中，微电网系统 1 中的各功率变换器在检测到电网发生故障的情况下，通过控制自身处于电流源故障穿越控制模式，并在并网开关断开前控制自身切换至电压源故障穿越控制模式的方式，使得微电网系统 1 在电网故障时为外部电网提供电压支撑，并在并网开关 S1 断开前完成并离网模式切换，

从而使微电网系统 1 兼顾故障穿越支撑功能和并离网切换功能。

参见图 2b，图 2b 是本申请提供的微电网系统的另一结构示意图。如图 2b 所示，与图 2a 所示的微电网系统 1 相比，图 2b 所示的微电网系统 1 还包括微电网控制器 12、本地负荷 131 和本地负荷 132。本地负荷 131 和本地负荷 132 均连接至微电网母线 BUS。微电网控制器 12 与功率变换器 111、……、功率变换器 11n、并网开关 S1、本地负荷 131 和本地负荷 132 之间均设置有图 2b 中用虚线表示的通讯线，以建立通信连接。其中，本地负荷 131 和本地负荷 132 分别为一般负荷和关键负荷，一般负荷并不是一直处于并网状态，具体来讲，一般负荷在微电网母线 BUS 的电压小于供电电压阈值时，微电网控制器 12 可以将一般负荷从微电网系统 1 中断开，以保证对关键负荷的正常供电。

在一可选实施方式中，在微电网系统 1 并入外部电网开始运行后，各功率变换器开始检测电网是否故障。在电网发生故障的情况下，各功率变换器处于电流源故障穿越控制模式。并在电网故障的持续时长达到第一时长后，各功率变换器从电流源故障穿越控制模式切换至电压源故障穿越控制模式。同时，在微电网系统 1 并入外部电网开始运行后，微电网控制器 12 开始检测电网是否故障。在电网发生故障的情况下，微电网控制器 12 经过第二时长后控制并网开关 S1 断开。其中，第二时长大于第一时长。在电流源故障穿越控制模式下各功率变换器基于电网故障时微电网母线 BUS 的电压跌落值，控制各自的输出电压；在电压源故障穿越控制模式下各功率变换器基于预设电流幅值范围中的最大预设电流幅值，控制各自的输出电压。

具体的，并网开关 S1 处于闭合状态，微电网系统 1 并入外部电网工作。在微电网系统 1 并入外部电网开始运行后，各功率变换器开始获取各自的输出电压或者输出电流，检测电网是否发生故障。同时，在微电网系统 1 并入外部电网开始运行后，微电网控制器 12 开始获取微电网母线 BUS 的电压，检测电网是否发生故障。由于微电网系统 1 中各功率变换器的工作原理均一致，为了便于介绍，下面以功率变换器 111 为例进行介绍。

在功率变换器的输出电压小于电压阈值或者功率变换器的输出电流大于电流阈值的情况下，功率变换器 111 确定电网发生故障。可选的，功率变换器 111 在微电网母线 BUS 的电压小于电压阈值的情况下，确定电网发生故障。在确定电网发生故障的情况下，功率变换器 111 根据电网故障时微电网母线的电压跌落值获得第一参考输出电流值，并根据第一参考输出电流值和第一参考角频率值获得第一参考输出调制电压值，从而基于第一参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器 111 处于电流源故障穿越控制模式，即电流源控制模式下的故障穿越控制模式。

具体来讲，功率变换器 111 根据电网发生故障时微电网母线 BUS 的电压跌落值（即电压阈值与电网故障时微电网母线 BUS 的电压之间的差值），通过查询电压跌落值与第一参考输出电流之间的预设对应表格的方式，获得该电压跌落值对应的第一参考输出电流值 I_{ref1}。其中，第一参考输出电流值 I_{ref1} 包括第一参考输出有功电流值 I_{dref1} 和第一参考输出无功电流值 I_{qref1}。在上述预设对应表格中，微电网母线 BUS 的电压跌落值越大则第一参考输出电流值 I_{ref1} 越大。之后，功率变换器 111 向电流控制环输入第一参考输出有功电流值 I_{dref1}、第一参考输出无功电流值 I_{qref1}、实际输出有功电流值 I_d 和实际输出无功电流值 I_q 后得到第一参考 q 轴电压值 V_{qref1} 和第一参考 d 轴电压值 V_{dref1}。其中，电流控制环可以是 PI 控制器、PD 控制器和 PID 控制器中的任意一种。

在确定电网发生故障的情况下，功率变换器 111 还将采集到的功率变换器 111 的三相输出电压 V_a, V_b, V_c 从三相静止坐标系变换到两相旋转坐标系，即对采集到的功率变换器 111 的三相输出电压 V_a, V_b, V_c 进行 abc/dq 坐标变换，得到 q 轴电压分量 V_q，从而将 q 轴电压分量 V_q 输入锁相控制环后得到第一参考角频率值 ω_1。之后，功率变换器 111 基于第一参考角频率值 ω_1，生成第一参考电压相位 θ_1，并基于第一参考电压相位 θ_1、第一参考 q 轴电压值 V_{qref1} 和第一参考 d 轴电压值 V_{dref1}，进行 dq/abc 坐标变换后得到第一参考输出调制电压值，并将第一参考输出调制电压值与三角波进行比较得到第一脉冲宽度调制波，从而将该第一脉冲宽度调制波输出至功率变换器 111 中的功率变换电路（如 DC/AC 电路）的开关管，以控制功率变换器 111 的输出电压，从而使功率变换器 111 处于电流源故障穿越控制模式，进而使得功率变换器 111 基于电网故障时微电网母线的电压跌落值控制自身的输出无功电流和有功电流以为外部电网提供电压支撑，实现电流源故障穿越支撑特性。

之后，在电网故障的持续时长达到第一时长后，功率变换器 111 从电流源故障穿越控制模式切换至电压源故障穿越控制模式。

在一可选实施例中，功率变换器 111 基于外部电网的等效阻抗角和预设电流幅值范围中的最大预设电流幅值确定第二参考输出电流值，并基于第二参考输出电流值和第二参考角频率值获得第二参考输出调制电压值，从而基于第二参考输出调制电压值控制功率变换器 111 的输出电压，以使功率变换器 111 处于电

压源故障穿越控制模式，即电压源控制模式下的故障穿越控制模式。

具体的，在电网故障的持续时长达到第一时长后，功率变换器 111 获取外部电网的等效阻抗角，并基于最大预设电流幅值 I_M 和外部电网的等效阻抗角 σ，计算得到第二参考输出电流值 I_{ref2}，即第二参考输出有功电流值 $I_{dref2}=I_M*\cos\sigma$ 和第二参考输出无功电流值 $I_{qref2}=I_M*\sin\sigma$。之后，功率变换器 111 向电流控制环输入第二参考输出有功电流值 I_{dref2}、第二参考输出无功电流值 I_{qref2}、实际输出有功电流值 I_d 和实际输出无功电流值 I_q 后得到第二参考 q 轴电压值 V_{qref2} 和第二参考 d 轴电压值 V_{dref2}。

在电网故障的持续时长达到第一时长后，功率变换器 111 还基于参考输出有功功率 P_{ref} 和实际输出有功功率 P 得到第二参考角频率值 ω_2，并基于第二参考角频率值 ω_2，生成第二参考电压相位 θ_2。之后，功率变换器 111 基于第二参考电压相位 θ_2、第二参考 q 轴电压值 V_{qref2} 和第二参考 d 轴电压值 V_{dref2}，进行 dq/abc 坐标变换后得到第二参考输出调制电压值，并将第二参考输出调制电压值与三角波进行比较得到第二脉冲宽度调制波，从而将该第二脉冲宽度调制波输出至功率变换器 111 中的功率变换电路的开关管，以控制功率变换器 111 的输出电压，从而使功率变换器 111 从电流源故障穿越控制模式切换至电压源故障穿越控制模式。进而，使得功率变换器 111 在处于电压源故障穿越控制模式下时基于最大预设电流幅值完成有功电流和无功电流分配，为外部电网提供电压和频率支撑，实现电压源故障穿越支撑特性。

之后，在微电网控制器 12 在检测到电网故障时（即在检测到微电网母线 BUS 的电压小于电压阈值时）经过第二时长后，微电网控制器 12 控制并网开关 S1 断开。

可以理解的，由于第一时长小于第二时长，因此可以保证在并网开关 S1 断开之前，微电网系统 1 中的各功率变换器完成从电流源控制模式下的故障穿越控制模式切换至电压源控制模式下的故障穿越控制模式，以使微电网系统 1 在故障穿越期间（即从电网故障开始至并网开关 S1 断开之间的时间段）兼顾并离网切换功能和故障穿越支撑功能，并显著降低对通讯延时性能的依赖需求，避免功率变换器为检测离网状态而向外部电网注入扰动信号，从而解决功率变换器模式切换延时较大（即在并网开关 S2 断开之前有些功率变换器没切换至电压源控制模式）导致的微电网系统 1 失稳问题，进而提升微电网系统 1 的稳定性和市场竞争力。

进一步地，由于功率变换器直接从电流源故障穿越控制模式切换至电压源故障穿越控制模式会存在电流扰动，为了减小模式切换时自身的输出电流和输出电压的波动程度，提高输出电流和输出电压在模式切换时的平滑度，可通过设置功率变换器处于电压源故障穿越控制模式下的初始参考输出电流值和初始参考角频率值分别为切换瞬间功率变换器处于电流源故障穿越控制模式下的第一参考输出电流值和第一参考角频率值的方式实现。

具体的，在电网故障的持续时长达到第一时长后，功率变换器 111 将电网故障的持续时长为第一时长时功率变换器 111 处于电流源故障穿越控制模式下的第一参考输出电流值 I_{ref1} 和第一参考角频率值 ω_1，作为功率变换器 111 处于电压源故障穿越控制模式下的初始参考输出电流值 I_{ref20} 和初始参考角频率值 ω_{20}。其中，初始参考电流值 I_{ref20} 包括初始参考输出有功电流值 I_{dref20} 和初始参考输出无功电流值 I_{qref20}。之后，功率变换器 111 向电流控制环输入初始参考输出有功电流值 I_{dref20}、初始参考输出无功电流值 I_{qref20}、实际输出有功电流值 I_d 和实际输出无功电流值 I_q 后得到第二参考 q 轴电压值 V_{qref2} 和第二参考 d 轴电压值 V_{dref2}。功率变换器 111 基于初始参考角频率值生成第二参考电压相位 θ_2。之后，功率变换器 111 基于第二参考电压相位 θ_2、第二参考 q 轴电压值 V_{qref2} 和第二参考 d 轴电压值 V_{dref2}，进行 dq/abc 坐标变换后得到第二参考输出调制电压值，并将第二参考输出调制电压值与三角波进行比较得到第二脉冲宽度调制波，从而将该第二脉冲宽度调制波输出至功率变换器 111 中的功率变换电路的开关管，以控制功率变换器 111 的输出电压，从而使功率变换器 111 处于电压源故障穿越控制模式，完成从电流源故障穿越控制模式切换至电压源故障穿越控制模式。

需要说明的是，在功率变换器 111 基于初始参考输出电流值 I_{ref20} 和初始参考角频率值 ω_{20}，从电流源故障穿越控制模式切换至电压源故障穿越控制模式后，功率变换器 111 可以一直基于初始参考输出电流值 I_{ref20} 和初始参考角频率值 ω_{20} 所确定的第二参考输出电压控制自身的输出电压，以使功率变换器 111 保持在电压源故障穿越控制模式；或者，在功率变换器 111 基于初始参考输出电流值 I_{ref20} 和初始参考角频率值 ω_{20}，从电流源故障穿越控制模式切换至电压源故障穿越控制模式后，功率变换器 111 也可以基于第二参考角频率值、以及由最大预设电流幅值和外部电网的等效阻抗角所确定的第二参考输出电流值，控制功率变换器 111 的输出电压，以使功率变换器 111 保持在电压源故障穿越控制模式。

在微电网系统 1 并入外部电网开始运行后，功率变换器 111 还在检测到电网故障之前处于第二电流源控制模式，即电流源控制模式下的正常控制模式。其中，在第二电流源控制模式下功率变换器 111 基于参

考输出有功电流值和参考输出无功电流值控制自身的输出电压。示例性的，第二电流源控制模式可以为有功功率P/无功功率Q控制模式。

在一可选实施例中，功率变换器111获取自身的实际输出有功功率值，并将自身的实际输出有功功率值和参考有功功率值输入有功无功功率控制环后，得到参考输出有功电流值。

在另一可选实施例中，功率变换器111包括DC/DC电路、直流母线和DC/AC电路，其中，DC/DC电路的输入端连接功率变换器的输入端，DC/DC电路的输出端通过直流母线连接DC/AC电路的输入端，DC/AC电路的输出端连接功率变换器111的输出端。功率变换器111获取直流母线的实际母线电压，并将直流母线的实际母线电压和参考母线电压输入电压控制环后，得到参考输出有功电流值。

在一可选实施例中，功率变换器111还获取自身的实际输出无功功率值，并将自身的参考输出无功功率值和实际输出无功功率值输入有功无功功率控制环后，获得参考输出无功电流值。

在另一可选实施例中，功率变换器还获取自身的实际输出电压，并将自身的参考输出电压和实际输出电压输入电压控制环后，获得参考输出无功电流值。

其中，上述实施例中有功无功功率控制环和电压控制环可以是PI控制器、PD控制器和PID控制器中的任意一种。

功率变换器111可以基于上述获取参考输出有功电流值的任一实施例，与上述获取参考输出无功电流值的任一实施例的任意组合，获得参考输出有功电流值和参考输出无功电流值。功率变换器111将参考输出有功电流值和参考输出无功电流值确定为第三参考输出电流值，并基于第三参考输出电流值和第三参考角频率值获得第三参考输出调制电压值，从而基于第三参考输出调制电压值控制自身的输出电压，以使功率变换器111处于第二电流源控制模式。

为了便于介绍，下面以基于参考输出有功功率值和参考输出无功功率值分别确定参考输出有功电流值和参考输出无功电流值的方式为例，对功率变换器111处于第二电流源控制模式进行说明。

具体的，功率变换器111获取自身的实际输出有功功率值P和实际输出无功功率值Q，并将自身的参考输出有功功率值P_{ref}、参考输出无功功率值Q_{ref}、实际输出有功功率值P和实际输出无功功率值Q输入有功无功功率控制环后，获得第三参考输出有功电流值I_{dref3}和第三参考输出无功电流值I_{qref3}。之后，功率变换器111向电流控制环输入第三参考输出有功电流值I_{dref3}、第三参考输出无功电流值I_{qref3}、实际输出有功电流值I_d和实际输出无功电流值I_q后得到第三参考q轴电压值V_{qref3}和第三参考d轴电压值V_{dref3}。功率变换器111还对采集到的功率变换器111的三相输出电压V_a,V_b,V_c进行abc/dq坐标变换，得到q轴电压分量V_q，从而将q轴电压分量V_q输入锁相控制环后得到第三参考角频率值ω_3。之后，功率变换器111基于第三参考角频率值ω_3，生成第三参考电压相位θ_3，并基于第三参考电压相位θ_3、第三参考q轴电压值V_{qref3}和第三参考d轴电压值V_{dref3}，进行dq/abc坐标变换后得到第三参考输出调制电压值，并将第三参考输出调制电压值与三角波进行比较后得到第三脉冲宽度调制波，从而将该第三脉冲宽度调制波输出至功率变换器111中的功率变换电路的开关管，以控制功率变换器111的输出电压，进而使功率变换器111处于第二电流源控制模式。

此外，在功率变换器111处于电压源故障穿越控制模式后，在电网恢复正常的情况下，从电压源故障穿越控制模式切换至第二电压源控制模式（电压源控制模式下的正常控制模式），其中，在第二电压源控制模式下功率变换器111基于参考电压幅值和参考频率值控制自身的输出电压。反之，在功率变换器111处于电压源故障穿越控制模式后，若电网仍故障，则功率变换器111保持在电压源故障穿越控制模式。示例性的，第二电压源控制器可以为虚拟同步发电机（Virtual Synchronous Generator，VSG）控制模式。

在一可选实施例中，功率变换器111根据参考电压幅值和参考频率值获得第四参考输出调制电压值，并根据第四参考输出调制电压值控制自身的输出电压，以使功率变换器111切换至第二电压源控制模式。

具体的，功率变换器111在基于参考电压幅值和参考频率值得到第四参考输出调制电压值后，将第四参考输出调制电压值与三角波进行比较后得到第四脉冲宽度调制波，从而将该第四脉冲宽度调制波输出至功率变换器111中的功率变换电路的开关管，以控制功率变换器111的输出电压，进而使功率变换器111处于第二电压源控制模式，完成电压源故障穿越控制模式至第二电压源控制模式的模式切换。

功率变换器111在切换至第二电压源控制模式后，向微电网控制器12发送自身的控制模式微电网控制器12接收各功率变换器发送的控制模式，并检测并网开关S1的开关状态。

在一可选实施例中，在功率变换器111的控制模式为第二电压源控制模式且并网开关S1处于断开状态的情况下，微电网控制器12向功率变换器111发送同期控制指令。功率变换器111基于接收到的同期控制指令控制自身的输出电压幅值与外部电网的电压幅值之间的幅值差值小于幅值差值阈值，以及自身的

输出电压相位与外部电网的电压相位之间的相位差值小于相位差值阈值，从而使得功率变换器 111 的输出电压与外部电网电压同步。之后，微电网控制器 12 在并网开关 S1 的第一端电压幅值（即第一端 a1 处的电压幅值）与第二端电压幅值（即第二端 a2 处的电压幅值）之间的幅值差值小于幅值差值阈值，并且，并网开关 S1 的第一端电压相位（即第一端 a1 处的电压相位）与第二端电压相位（即第二端 a2 处的电压相位）之间的相位差值小于相位差值阈值的情况下，控制并网开关 S1 闭合。

在另一可选实施例中，在功率变换器 111 的控制模式为第二电压源控制模式且并网开关 S1 处于闭合状态的情况下，微电网控制器 12 经过第三时长向功率变换器 111 发送模式切换指令。功率变换器 111 基于接收到的模式切换指令，从第二电压源控制模式切换至第二电流源控制模式。

可以理解的，微电网控制器 12 基于并网开关 S1 的开关状态和各功率变换器的控制模式，对各功率变换器的控制模式进行调整，以使各功率变换器在微电网系统 1 处于并网模式时运行在电流源控制模式，在微电网系统 1 处于离网模式时运行在电压源控制模式，从而提高微电网系统 1 的稳定性。

进一步地，为了方便理解，请参见图 3，图 3 是本申请提供的微电网系统的控制时序示意图。如图 3 所示，在 t0 时刻至 t1 时刻内，外部电网的电网电压 V_{mag} 没有发生跌落，即外部电网没有发生故障。此外，在 t0 时刻至 t1 时刻对应的时间段内，并网开关 S1 处于闭合状态，功率变换器 111 处于第二电流源控制模式 CS2。

在 t1 时刻，外部电网的电网电压 V_{mag} 发生跌落，即外部电网发生故障，功率变换器 111 从第二电流源控制模式 CS2 切换为第一电流源控制模式 CS1。此外，在 t1 时刻，并网开关 S1 仍处于闭合状态。

在 t1 时刻至 t2 时刻内，外部电网的电网电压 V_{mag} 没有恢复，外部电网仍故障，功率变换器 111 处于第一电流源控制模式 CS1。此外，在 t1 时刻至 t2 时刻对应的时间段内，并网开关 S1 仍处于闭合状态。

在 t2 时刻，即从 t1 时刻开始经过第一时长 T1 后的时刻，外部电网仍故障，功率变换器 111 从第一电流源控制模式 CS1 切换至第一电压源控制模式 VS1。此外，在 t2 时刻，并网开关 S1 仍处于闭合状态。

在 t2 时刻至 t3 时刻内，外部电网仍故障，功率变换器 111 处于第一电压源控制模式 VS1，并网开关 S1 仍处于闭合状态。

在 t3 时刻，微电网控制器 12 控制并网开关 S1 断开，微电网系统 1 的电压恢复，功率变换器 111 仍处于第一电压源控制模式 VS1。

在 t3 时刻至 t4 时刻内，外部电网仍故障，功率变换器 111 仍处于第一电压源控制模式 VS1，并网开关 S1 处于断开状态。

在 t4 时刻，外部电网的电网电压 V_{mag} 恢复，外部电网恢复正常，功率变换器 111 从第一电压源控制模式 VS1 切换至第二电压源控制模式 VS2。此外，在 t4 时刻，并网开关 S1 处于断开状态。

在 t4 时刻至 t5 时刻内，外部电网正常，功率变换器 1111 处于第二电压源控制模式 VS2，并基于微电网控制器 12 发送的同期控制指令控制自身的输出电压。此外，在 t4 时刻至 t5 时刻所对应的时间段内，并网开关 S1 处于断开状态。

在 t5 时刻，外部电网正常，功率变换器 111 处于第二电压源控制模式 VS2。微电网控制器 12 控制并网开关 S1 闭合，并确定并网开关 S1 的开关状态和功率变换器 111 的控制模式。

在 t5 时刻至 t6 时刻内，外部电网正常，功率变换器 111 仍处于第二电压源控制模式 VS2，并网开关 S1 处于闭合状态。

在 t6 时刻，即从微电网控制器 12 确定并网开关 S1 闭合且功率变换器 111 的控制模式为第二电压源控制模式 VS2 的 t2 时刻开始，经过第三时长 T3 后的时刻，外部电网正常，功率变换器 111 基于微电网控制器 12 发送的模式切换指令，从第二电压源控制模式 VS2 切换至第二电流源控制模式 CS2。此外，在 t6 时刻，并网开关 S1 处于闭合状态。

在本申请实施例中，微电网系统 1 采用“从下而上为主，从上而下为辅”的并离网切换控制方式，也即在电网故障期间，微电网系统 1 中的各功率变换器先自行判断电网是否故障后执行控制模式切换，之后，微电网控制器 12 基于并网开关 S1 的开关状态和各功率变换器的控制模式向各功率变换器补发模式控制指令的并离网切换控制方式，从而使得各功率变换器在故障穿越期间兼顾并离网切换功能和故障穿越支撑功能，并显著降低对通讯延时性能的依赖需求，避免功率变换器为检测离网状态而向外部电网注入扰动信号，从而解决功率变换器切换延时较大导致的微电网系统 1 失稳问题，进而提升微电网系统 1 的稳定性和市场竞争力。此外，本申请实施例提供的并离网切换控制方式，对微电网控制器 12 与各功率变换器之间的通讯延时要求不高，即使通讯延时大也不会造成微电网系统 1 失稳，具有很好的延时鲁棒性。

需要说明的是，在本申请中，并网开关 S1 的闭合或者关断除了可以是由微电网控制器 12 控制之外，

还可以由并网开关 S1 中所包含的控制器直接控制。这里，并网开关 S1 的控制器控制并网开关 S1 断开或者闭合的控制逻辑与微电网控制器 12 控制并网开关 S1 断开或者闭合的控制逻辑一致，此处不再展开说明。

下面结合图 4 至图 6，以功率变换器为储能变流器为例，对本申请提供的微电网系统在故障穿越期间兼顾并离网切换功能和故障穿越支撑功能进行验证。

参见图 4，图 4 是本申请提供的微电网系统的一仿真示意图。如图 4 所示，图 4 中（a）的上下两部分曲线分别表示各储能变流器的三相输出电压 Vabc 和三相输出电流 Iabc，图 4 中（b）是对图 4 中（a）的时间段 7.46s-7.54s 所对应的曲线放大示意图。

如图 4 所示，在运行时间未达到 7s 时，各储能变流器以电流源控制模式下的正常控制模式并网。在运行时间为 7s 时，外部电网发生三相接地故障。在运行时间介于 7s-7.5s 之间时，各储能变流器以电流源模式进行故障穿越，即各储能变流器处于电流源故障穿越控制模式。在运行时间为 7.5s 时，各储能变流器由电流源控制模式切换至电压源控制模式，具体来讲，各储能变流器由电流源故障穿越控制模式切换至电压源故障穿越控制模式。在运行时间介于 7.5s-7.8s 之间时，各储能变流器以电压源模式进行故障穿越，即各储能变流器处于电压源故障穿越控制模式。在运行时间为 7.8s 时，并网开关断开，微电网系统和外部电网恢复，各储能变流器离网运行。在运行时间大于 7.8s 时，各储能变流器以电压源控制模式下的正常控制模式带载独立运行。

基于图 4 可知，本申请提供的微电网系统中的各储能变流器可以在外部电网发生故障的故障穿越期间从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式，兼顾故障穿越支撑功能和并离网切换功能。

参见图 5，图 5 是本申请提供的微电网系统的另一仿真示意图。如图 5 所示，图 5 中（a）的上下两部分曲线分别表示各储能变流器的三相输出电压 Vabc 和三相输出电流 Iabc，图 5 中（b）是对图 5 中（a）的时间段 7.46s-7.54s 所对应的曲线放大示意图。

如图 5 所示，在运行时间未达到 7s 时，各储能变流器以电流源控制模式下的正常控制模式并网。在运行时间为 7s 时，微电网系统内部某一点发生三相接地故障。在运行时间介于 7s-7.5s 之间时，各储能变流器以电流源模式进行故障穿越，即各储能变流器处于电流源故障穿越控制模式。在运行时间为 7.5s 时，各储能变流器由电流源控制模式切换至电压源控制模式，具体来讲，各储能变流器由电流源故障穿越控制模式切换至电压源故障穿越控制模式。在运行时间介于 7.5s-7.8s 之间时，各储能变流器以电压源模式进行故障穿越，即各储能变流器处于电压源故障穿越控制模式。在运行时间为 7.8s 时，并网开关断开，各储能变流器离网运行。在运行时间介于 7.8s-8s 之间时，2 台储能变流器继续以电压源模式进行故障穿越。在运行时间为 8s 时，故障切除，微电网系统的电压恢复。在运行时间大于 8s 时，各储能变流器以电压源控制模式下的正常控制模式带载独立运行。

基于图 5 可知，本申请提供的微电网系统中的各储能变流器在微电网系统发生故障的故障穿越期间依然可以从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式，兼顾故障穿越支撑功能和并离网切换功能。

参见图 6，图 6 是本申请提供的微电网系统的又一仿真示意图。如图 6 所示，图 6 中的左上方的两部分曲线分别表示储能变流器 PCS1 的三相输出电压 Vabc 和三相输出电流 Iabc，左下方的两部分曲线分别为对图 6 中左上方的两部分曲线的时间段 7.45s-7.6s 所对应的曲线放大示意图。图 6 中的右上方的两部分曲线分别表示储能变流器 PCS2 的三相输出电压 Vabc 和三相输出电流 Iabc，右下方的两部分曲线分别为对图 6 中右上方的两部分曲线的时间段 7.45s-7.6s 所对应的曲线放大示意图。

如图 6 所示，在运行时间未达到 7s 时，各储能变流器以电流源控制模式下的正常控制模式并网。在运行时间为 7s 时，外部电网发生三相接地故障。在运行时间介于 7s-7.5s 之间时，各储能变流器以电流源模式进行故障穿越，即各储能变流器处于电流源故障穿越控制模式。在运行时间为 7.5s 时，储能变流器 PCS1 由电流源控制模式切换至电压源控制模式，具体来讲，各储能变流器由电流源故障穿越控制模式切换至电压源故障穿越控制模式。在运行时间介于 7.5s-7.55s 之间时，储能变流器 PCS1 以电压源模式进行故障穿越，储能变流器 PCS2 以电流源模式进行故障穿越。在运行时间为 7.55s 时，储能变流器 PCS2 从电流源故障穿越控制模式切换至电压源故障穿越控制模式。在运行时间介于 7.55s-7.8s 之间时，储能变流器 PCS1 和 PCS2 均以电压源模式进行故障穿越。在运行时间为 7.8s 时，并网开关断开，故障切除，各储能变流器离网运行。在运行时间大于 7.8s 时，各储能变流器以电压源控制模式下的正常工作模式带载独立运行。

基于图 6 可知，本申请提供的微电网系统中的各储能变流器即使在故障穿越期间从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式的时间不同步，依然不会影响微电网系统的稳定性。

参见图 7，图 7 是本申请提供的功率变换器的控制方法的一流程示意图。本申请实施例提供的功率变

换器的控制方法适用于图 2a 和图 2b 所示的微电网系统 1 中的各功率变换器。功率变换器的控制方法可包括步骤：

S101，在检测到电网发生故障的情况下，功率变换器处于第一电流源控制模式。

其中，电网包括外部电网或者微电网系统，第一电流源控制模式为电流源故障穿越控制模式。

在一可选实施方式中，在第一电流源控制模式下功率变换器基于电网故障时微电网母线的电压跌落值，控制功率变换器的输出电压。

具体的，功率变换器在自身的输出电压小于电压阈值或者自身的输出电流大于电流阈值的情况下，根据电网故障时微电网母线的电压跌落值获得第一参考输出电流值，并根据第一参考输出电流值和第一参考角频率值获得第一参考输出调制电压值，从而基于第一参考输出调制电压值控制自身的输出电压，以使功率变换器处于第一电流源控制模式。

S102，在电网故障的持续时长达到第一时长后，功率变换器从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式，第一时长小于第二时长，第二时长为电网发生故障的时刻至并网开关断开的时刻之间的时间间隔。

其中，第一电压源控制模式为电压源故障穿越控制模式。

在一可选实施方式中，在第一电压源控制模式下功率变换器基于预设电流幅值范围中的最大预设电流幅值控制功率变换器的输出电压。

在一可选实施例中，在电网故障的持续时长达到第一时长后，功率变换器基于最大预设电流幅值和外部电网的等效阻抗角确定第二参考输出电流值，基于第二参考输出电流值和第二参考角频率值获得第二参考输出调制电压值，并基于第二参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第一电压源控制模式，完成从第一电流源控制模式至第一电压源控制模式的模式切换。

在另一可选实施方式中，在电网故障的持续时长达到第一时长后，功率变换器将从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式的切换瞬间功率变换器处于第一电流源控制模式下的第一参考输出电流值和第一参考角频率值，分别确定为功率变换器处于第一电压源控制模式下的初始参考输出电流值和初始参考角频率值，并基于初始参考输出电流值和初始参考角频率值获得第二参考输出调制电压值，从而基于第二参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式。

具体实现中，本申请提供的功率变换器的控制方法中功率变换器所执行的更多操作可参见图 2a 和图 2b 所示的微电网系统 1 中的各功率变换器所执行的实现方式，在此不再赘述。

本申请实施例中，在电网发生故障的情况下，功率变换器在检测到电网发生故障的情况下，通过控制自身处于电流源故障穿越控制模式，并在并网开关断开前控制自身切换至电压源故障穿越控制模式的方式，使得功率变换器在电网故障时为外部电网提供电压支撑，并在并网开关断开前完成并离网模式切换，从而使功率变换器兼顾故障穿越支撑功能和并离网切换功能。

参见图 8，图 8 是本申请提供的功率变换器的控制方法的另一流程示意图。本申请实施例提供的功率变换器的控制方法适用于图 2a 和图 2b 所示的微电网系统 1 中的各功率变换器。功率变换器的控制方法可包括步骤：

S201，微电网系统处于并网运行模式下，功率变换器处于第二电流源控制模式。

其中，在第二电流源控制模式下功率变换器基于参考输出有功电流值和参考输出无功电流值控制功率变换器的输出电压。

具体的，微电网系统处于并网运行模式下，功率变换器将参考输出有功电流值和参考输出无功电流值确定为第三参考输出电流值，基于第三参考输出电流值和第三参考角频率值获得第三参考输出调制电压值；基于第三参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第二电流源控制模式。

S202，功率变换器判断电网是否发生故障。

具体的，功率变换器在自身的输出电压小于电压阈值或者自身的输出电流大于电流阈值的情况下，确定电网故障。可选的，功率变换器在微电网母线的电压小于电压阈值的情况下，确定电网故障。其中，电网包括外部电网或者微电网系统。

之后，功率变换器在确定电网发生故障的情况下，执行步骤 S203，否则执行步骤 S201。

S203，功率变换器处于第一电流源控制模式。

具体的，功率变换器根据电网故障时微电网母线的电压跌落值获得第一参考输出电流值，并根据第一参考输出电流值和第一参考角频率值获得第一参考输出调制电压值，从而基于第一参考输出调制电压值控

制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第一电流源控制模式。

S204，功率变换器判断电网是否恢复正常。

具体的，功率变换器在自身的输出电压大于或者等于电压阈值的情况下，确定电网恢复正常。可选的，功率变换器在自身的输出电流小于或者等于电流阈值的情况下，确定电网恢复正常。可选的，功率变换器在微电网母线的电压大于或者等于电压阈值的情况下，确定电网恢复正常。

之后，功率变换器在确定电网恢复正常的情况下，执行步骤 S201，否则执行步骤 S205。

S205，功率变换器判断电网故障的持续时长是否达到第一时长。

其中，第一时长小于第二时长，第二时长为电网发生故障的时刻至并网开关断开的时刻之间的时间间隔。

具体的，功率变换器在确定电网故障的持续时长达到第一时长后，执行步骤 S206，否则执行步骤 S203。

S206，功率变换器从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式。

其中，在第一电压源控制模式下功率变换器基于预设电流幅值范围中的最大预设电流幅值控制功率变换器的输出电压。

在一可选实施方式中，功率变换器基于最大预设电流幅值和外部电网的等效阻抗角确定第二参考输出电流值，基于第二参考输出电流值和第二参考角频率值获得第二参考输出调制电压值；基于第二参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第一电压源控制模式，完成从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式。

在另一可选实施方式中，功率变换器将从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式的切换瞬间功率变换器处于第一电流源控制模式下的第一参考输出电流值和第一参考角频率值，分别确定为功率变换器处于第一电压源控制模式下的初始参考输出电流值和初始参考角频率值，并基于初始参考输出电流值和初始参考角频率值获得第二参考输出调制电压值，从而基于第二参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式。

S207，功率变换器判断电网是否恢复正常。

功率变换器在确定电网恢复正常的情况下，执行步骤 S208，否则执行步骤 S206。

S208，功率变换器从第一电压源控制模式切换至第二电压源控制模式，并向微电网控制器发送功率变换器的控制模式。

其中，在第二电压源控制模式下功率变换器基于参考电压幅值和参考频率值控制功率变换器的输出电压。

具体的，功率变换器根据参考电压幅值和参考频率值获得第四参考输出调制电压值，并根据第四参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第二电压源控制模式，完成从第一电压源控制模式切换至第二电压源控制模式。功率变换器在切换至第二电压源控制模式后，向微电网控制器发送自身的控制模式。

S209，功率变换器判断是否接收到模式切换指令。

功率变换器在接收到模式切换指令的情况下，执行步骤 S210，否则执行步骤 S208。

S210，功率变换器判断模式切换指令是否为第二电流源控制模式切换指令。

功率变换器在模式切换指令为第二电流源控制模式切换指令的情况下，执行步骤 S212，否则执行步骤 S211。

S211，功率变换器从第二电压源控制模式切换至第二电流源控制模式。

其中，在第二电流源控制模式下功率变换器基于参考输出有功电流值和参考输出无功电流值控制功率变换器的输出电压。

具体的，功率变换器将参考输出有功电流值和参考输出无功电流值确定为第三参考输出电流值，基于第三参考输出电流值和第三参考角频率值获得第三参考输出调制电压值；基于第三参考输出调制电压值控制功率变换器的输出电压，以使功率变换器处于第二电流源控制模式，完成从第二电压源控制模式切换至第二电流源控制模式。

S212，功率变换器处于第二电压源控制模式。

这里，步骤 S212 的具体实现方式请参照步骤 S201 的描述，此处不再赘述。

在本申请实施中，由于第一时长小于第二时长，因此可以保证在并网开关断开之前，微电网系统中的各功率变换器完成从电流源控制模式下的故障穿越控制模式切换至电压源控制模式下的故障穿越控制模式，以使各功率变换器在故障穿越期间兼顾并离网切换功能和故障穿越支撑功能，并显著降低对通讯延时

性能的依赖需求，避免功率变换器为检测离网状态而向外部电网注入扰动信号，从而解决功率变换器切换延时较大导致的微电网系统失稳问题。

参见图 9，图 9 是本申请提供的微电网控制器的控制方法的流程示意图。本申请实施例提供的微电网控制器的控制方法适用于图 2a 和图 2b 所示的微电网控制器 12。微电网控制器的控制方法可包括步骤：

S301，在检测到电网发生故障的情况下，微电网控制器经过第二时长控制并网开关断开。

其中，电网包括外部电网或者微电网系统。

具体的，微电网控制器在微电网母线的电压小于电压阈值的情况下，经过第二时长控制并网开关断开。

S302，微电网控制器检测并网开关的开关状态，获取各功率变换器的控制模式。

具体的，微电网控制器检测并网开关的开关状态，并向各功率变换器发送控制模式获取指令以获取各功率变换器的控制模式。

S303，微电网控制器判断并网开关是否断开。

在并网开关断开的情况下，微电网控制器执行步骤 S304，否则执行步骤 S306。

S304，微电网控制器向各功率变换器发送切换为第二电压源控制模式的模式切换指令。

其中，切换为第二电压源控制模式的模式切换指令用于控制各功率变换器切换为第二电压源控制模式。

S305，微电网控制器向各功率变换器发送同期控制指令。

其中，同期控制指令用于控制功率变换器的输出电压幅值与外部电网的电压幅值之间的幅值差值小于幅值差值阈值，以及功率变换器的输出电压相位与外部电网的电压相位之间的相位差值小于相位差值阈值。

S306，微电网控制器判断功率变换器的控制模式是否为第二电压源控制模式。

在功率变换器的控制模式为第二电压源控制模式的情况下，微电网控制器执行步骤 S307，否则执行步骤 S302。

S307，微电网控制器经过第三时长后，向功率变换器发送切换为第二电流源控制模式的第二模式切换指令。

其中，切换为第二电流源控制模式的第二模式切换指令用于控制功率变换器切换为第二电流源控制模式。

在本申请实施例中，微电网控制器基于并网开关的开关状态和各功率变换器的控制模式，对各功率变换器的控制模式进行调整，以使各功率变换器在微电网系统处于并网模式时运行在电流源控制模式，在微电网系统处于离网模式时运行在电压源控制模式，从而提高微电网系统的稳定性。

以上，仅为本申请的具体实施方式，但本申请的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内，可轻易想到变化或替换，都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此，本申请的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

权 利 要 求 书

1. 一种微电网系统，其特征在于，所述微电网系统包括至少一个功率变换器、微电网母线和并网开关，所述功率变换器的输入端和输出端分别连接直流电源和所述微电网母线，所述微电网母线通过所述并网开关连接外部电网，其中：

所述功率变换器，用于在检测到电网发生故障的情况下，处于第一电流源控制模式；在所述电网故障的持续时长达到第一时长后，从所述第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式，其中，所述电网包括所述外部电网或者所述微电网系统，所述第一电流源控制模式为电流源故障穿越控制模式，所述第一电压源控制模式为电压源故障穿越控制模式；所述第一时长小于第二时长，所述第二时长为所述电网发生故障的时刻至所述并网开关断开的时刻之间的时间间隔。

2. 根据权利要求 1 所述的微电网系统，其特征在于，在所述第一电流源控制模式下所述功率变换器基于所述电网发生故障时所述微电网母线的电压跌落值，控制所述功率变换器的输出电压；在所述第一电压源控制模式下所述功率变换器基于预设电流幅值范围中的最大预设电流幅值，控制所述功率变换器的输出电压。

3. 根据权利要求 2 所述的微电网系统，其特征在于，所述功率变换器用于根据所述电网发生故障时所述微电网母线的电压跌落值获得第一参考输出电流值，根据所述第一参考输出电流值和第一参考角频率值获得第一参考输出调制电压值；基于所述第一参考输出调制电压值控制所述功率变换器的输出电压，以使所述功率变换器处于所述第一电流源控制模式。

4. 根据权利要求 2 或 3 所述的微电网系统，其特征在于，所述功率变换器用于基于所述最大预设电流幅值和所述外部电网的等效阻抗角确定第二参考输出电流值，基于所述第二参考输出电流值和第二参考角频率值获得第二参考输出调制电压值；基于所述第二参考输出调制电压值控制所述功率变换器的输出电压，以使所述功率变换器处于所述第一电压源控制模式。

5. 根据权利要求 4 所述的微电网系统，其特征在于，所处功率变换器处于所述第一电压源控制模式下的初始参考输出电流值和初始参考角频率值分别为切换瞬间所述功率变换器处于所述第一电流源控制模式下的第一参考输出电流值和第一参考角频率值。

6. 根据权利要求 1-5 任一项所述的微电网系统，其特征在于，所述功率变换器还用于在所述电网发生故障之前处于第二电流源控制模式，其中，在所述第二电流源控制模式下所述功率变换器基于参考输出有功电流值和参考输出无功电流值控制所述功率变换器的输出电压。

7. 根据权利要求 6 所述的微电网系统，其特征在于，所述功率变换器用于将所述参考输出有功电流值和参考输出无功电流值确定为第三参考输出电流值，基于所述第三参考输出电流值和第三参考角频率值获得第三参考输出调制电压值；基于所述第三参考输出调制电压值控制所述功率变换器的输出电压，以使所述功率变换器处于所述第二电流源控制模式。

8. 根据权利要求 6 或 7 所述的微电网系统，其特征在于，所述功率变换器还用于基于所述功率变换器的参考输出有功功率值和实际输出有功功率值获得所述参考输出有功电流值。

9. 根据权利要求 6 或 7 所述的微电网系统，其特征在于，所述功率变换器包括直流 DC/直流 DC 电路、直流母线和直流 DC/交流 AC 电路，所述 DC/DC 电路的输出端通过所述直流母线连接所述 DC/AC 电路的输入端；

所述功率变换器还用于基于所述直流母线的参考母线电压和实际母线电压获得所述参考输出有功电流值。

10. 根据权利要求 6 或 7 所述的微电网系统，其特征在于，所述功率变换器还用于基于所述功率变换

器的参考输出无功功率值和实际输出无功功率值获得所述参考输出无功电流值。

11. 根据权利要求 6 或 7 所述的微电网系统，其特征在于，所述功率变换器还用于基于所述功率变换器的参考输出电压和实际输出电压获得所述参考输出无功电流值。

12. 根据权利要求 1-11 任一项所述的微电网系统，其特征在于，所述功率变换器还用于在所述功率变换器处于所述第一电压源控制模式后，在所述电网恢复正常的情况下，从所述第一电压源控制模式切换至第二电压源控制模式，其中，在所述第二电压源控制模式下所述功率变换器基于参考电压幅值和参考频率值控制所述功率变换器的输出电压。

13. 根据权利要求 12 所述的微电网系统，其特征在于，所述功率变换器用于根据所述参考电压幅值和所述参考频率值获得第四参考输出调制电压值，并根据所述第四参考输出调制电压值控制所述功率变换器的输出电压，以使所述功率变换器处于所述第二电压源控制模式。

14. 根据权利要求 1-13 任一项所述的微电网系统，其特征在于，所述功率变换器用于在所述功率变换器的输出电压小于电压阈值或者所述功率变换器的输出电流大于电流阈值的情况下，确定所述电网发生故障。

15. 根据权利要求 1-14 任一项所述的微电网系统，所述微电网系统还包括微电网控制器，所述微电网控制器用于在检测到所述电网发生故障的情况下，经过所述第二时长后控制所述并网开关断开。

16. 根据权利要求 15 所述的微电网系统，其特征在于，所述功率变换器还用于在切换至第二电压源控制模式后，向所述微电网控制器发送所述功率变换器的控制模式，其中，在所述第二电压源控制模式下所述功率变换器基于参考电压幅值和参考频率值控制所述功率变换器的输出电压；

所述微电网控制器用于在所述并网开关处于断开状态且接收到的所述功率变换器的控制模式为所述第二电压源控制模式的情况下，向所述功率变换器发送同期控制指令，所述同期控制指令用于控制所述功率变换器的输出电压幅值与所述外部电网的电压幅值之间的幅值差值小于幅值差值阈值，以及所述功率变换器的输出电压相位与所述外部电网的电压相位之间的相位差值小于相位差值阈值；并在所述并网开关的第一端电压幅值与第二端电压幅值之间的幅值差值小于所述幅值差值阈值，且所述并网开关的第一端电压相位与第二端电压相位之间的相位差值小于所述相位差值阈值的情况下，控制所述并网开关闭合。

17. 根据权利要求 16 所述的微电网系统，其特征在于，所述微电网控制器还用于在所述并网开关处于闭合状态且接收到的所述功率变换器的控制模式为所述第二电压源控制模式的情况下，经过第三时长后向所述功率变换器发送模式切换指令，所述模式切换指令用于控制所述功率变换器切换至第二电流源控制模式，在所述第二电流源控制模式下所述功率变换器基于参考输出有功电流值和参考输出无功电流值控制所述功率变换器的输出电压。

18. 一种功率变换器，其特征在于，所述功率变换器的输入端和输出端分别连接直流电源和微电网母线，所述微电网母线通过并网开关连接外部电网；

所述储能变流器，用于在检测到电网发生故障的情况下，处于第一电流源控制模式；在所述电网故障的持续时长达到第一时长后，从所述第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式，其中，所述电网包括所述外部电网或者所述微电网母线所在的微电网系统，所述第一电流源控制模式为电流源故障穿越控制模式，所述第一电压源控制模式为电压源故障穿越控制模式，所述第一时长小于第二时长，所述第二时长为所述电网发生故障的时刻至所述并网开关断开的时刻之间的时间间隔。

19. 根据权利要求 18 所述的功率变换器，其特征在于，在所述第一电流源控制模式下所述功率变换器基于所述电网发生故障时所述微电网母线的电压跌落值，控制所述功率变换器的输出电压，在所述第一电压源控制模式下所述功率变换器基于预设电流幅值范围中的最大预设电流幅值控制所述功率变换器的输出电压。

20. 根据权利要求 19 所述的功率变换器，其特征在于，所述功率变换器用于根据所述电网发生故障时所述微电网母线的电压跌落值获得第一参考输出电流值，根据所述第一参考输出电流值和第一参考角频率值获得第一参考输出调制电压值；基于所述第一参考输出调制电压值控制所述功率变换器的输出电压，以使所述功率变换器处于所述第一电流源控制模式。

21. 根据权利要求 19 或 20 所述的功率变换器，其特征在于，所述功率变换器用于基于所述最大预设电流幅值和所述外部电网的等效阻抗角确定第二参考输出电流值，基于所述第二参考输出电流值和第二参考角频率值获得第二参考输出调制电压值；基于所述第二参考输出调制电压值控制所述功率变换器的输出电压，以使所述功率变换器处于所述第一电压源控制模式。

22. 根据权利要求 21 所述的功率变换器，其特征在于，所处功率变换器处于所述第一电压源控制模式下的初始参考输出电流值和初始参考角频率值分别为切换瞬间所述功率变换器处于所述第一电流源控制模式下的第一参考输出电流值和第一参考角频率值。

23. 根据权利要求 18-22 任一项所述的功率变换器，其特征在于，所述功率变换器还用于在所述电网发生故障之前处于第二电流源控制模式，其中，在所述第二电流源控制模式下所述功率变换器基于参考输出有功电流值和参考输出无功电流值控制所述功率变换器的输出电压。

24. 根据权利要求 23 所述的功率变换器，其特征在于，所述功率变换器用于将所述参考输出有功电流值和参考输出无功电流值确定为第三参考输出电流值，基于所述第三参考输出电流值和第三参考角频率值获得第三参考输出调制电压值；基于所述第三参考输出调制电压值控制所述功率变换器的输出电压，以使所述功率变换器处于所述第二电流源控制模式。

25. 根据权利要求 18-24 任一项所述的功率变换器，其特征在于，所述功率变换器还用于在所述功率变换器处于所述第一电压源控制模式后，在所述电网恢复正常的情况下，从所述第一电压源控制模式切换至第二电压源控制模式，其中，在所述第二电压源控制模式下所述功率变换器基于参考电压幅值和参考频率值控制所述功率变换器的输出电压。

26. 一种功率变换器的控制方法，其特征在于，所述功率变换器的输入端和输出端分别连接直流电源和微电网母线，所述微电网母线通过并网开关连接外部电网；

所述方法包括：

在检测到电网发生故障的情况下，控制所述功率变换器处于第一电流源控制模式，其中，所述电网包括所述外部电网或者所述微电网母线所在的微电网系统，所述第一电流源控制模式为电流源故障穿越控制模式；

在所述电网故障的持续时长达到第一时长后，控制所述功率变换器从所述第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式，其中，所述第一电压源控制模式为电压源故障穿越控制模式，所述第一时长小于第二时长，所述第二时长为所述电网发生故障的时刻至所述并网开关断开的时刻之间的时间间隔。

27. 根据权利要求 26 所述的方法，其特征在于，在所述第一电流源控制模式下所述功率变换器基于所述电网发生故障时所述微电网母线的电压跌落值，控制所述功率变换器的输出电压，在所述第一电压源控制模式下所述功率变换器基于预设电流幅值范围中的最大预设电流幅值控制所述功率变换器的输出电压。

28. 根据权利要求 27 所述的方法，其特征在于，所述基于所述电网发生故障时所述微电网母线的电压跌落值，控制所述功率变换器的输出电压，包括：

根据所述电网发生故障时所述微电网母线的电压跌落值获得第一参考输出电流值，根据所述第一参考输出电流值和第一参考角频率值获得第一参考输出调制电压值；

基于所述第一参考输出调制电压值控制所述功率变换器的输出电压，以使所述功率变换器处于所述第

一电流源控制模式。

29. 根据权利要求 27 或 28 所述的方法，其特征在于，所述基于基于预设电流幅值范围中的最大预设电流幅值，控制所述功率变换器的输出电压，包括：

基于所述最大预设电流幅值和所述外部电网的等效阻抗角获得第二参考输出电流值，基于所述第二参考输出电流值和第二参考角频率值获得第二参考输出调制电压值；

基于所述第二参考输出调制电压值控制所述功率变换器的输出电压，以使所述功率变换器处于所述第一电压源控制模式。

30. 根据权利要求 27 所述的方法，其特征在于，所述功率变换器处于所述第一电压源控制模式下的初始参考输出电流值和初始参考角频率值分别为切换瞬间所述功率变换器处于所述第一电流源控制模式下的第一参考输出电流值和第一参考角频率值。

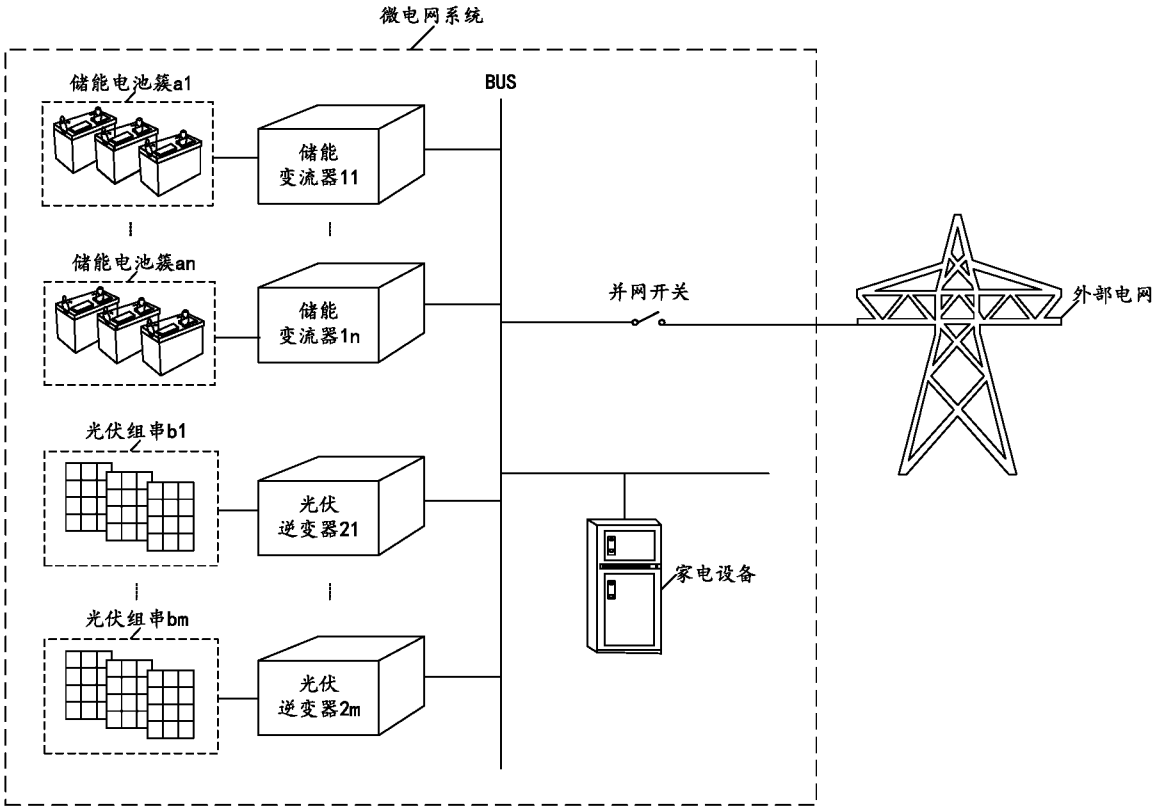

微电网系统
储能电池簇a1
储能电池簇an
光伏组串b1
光伏组串bm
储能变流器11
储能变流器1n
光伏逆变器21
光伏逆变器2m
BUS
并网开关
外部电网
家电设备

图 1

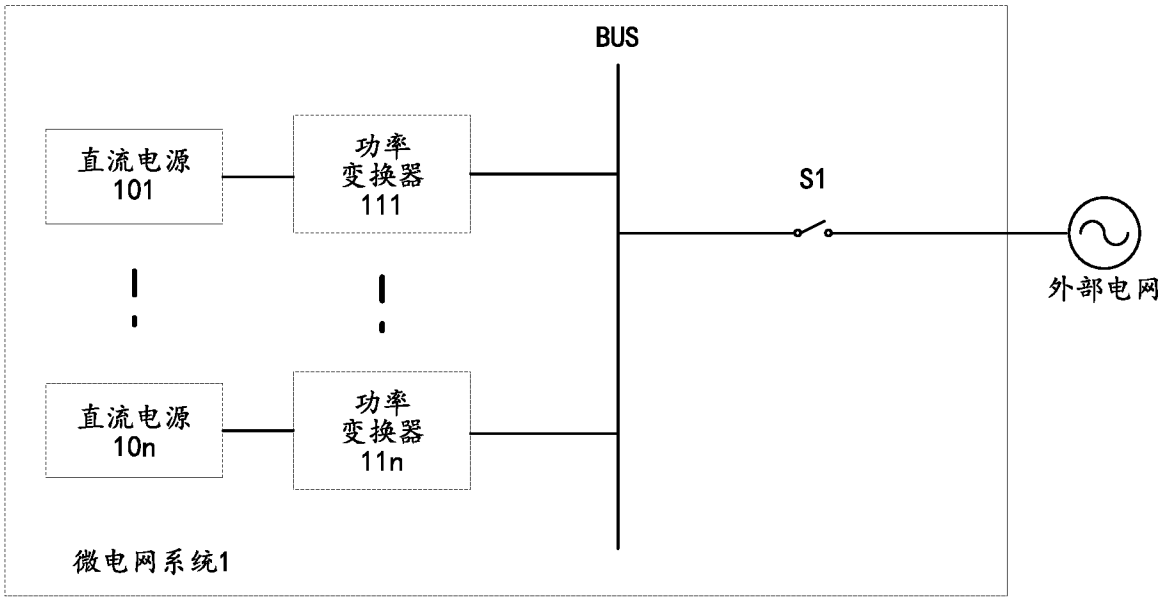


图 2a

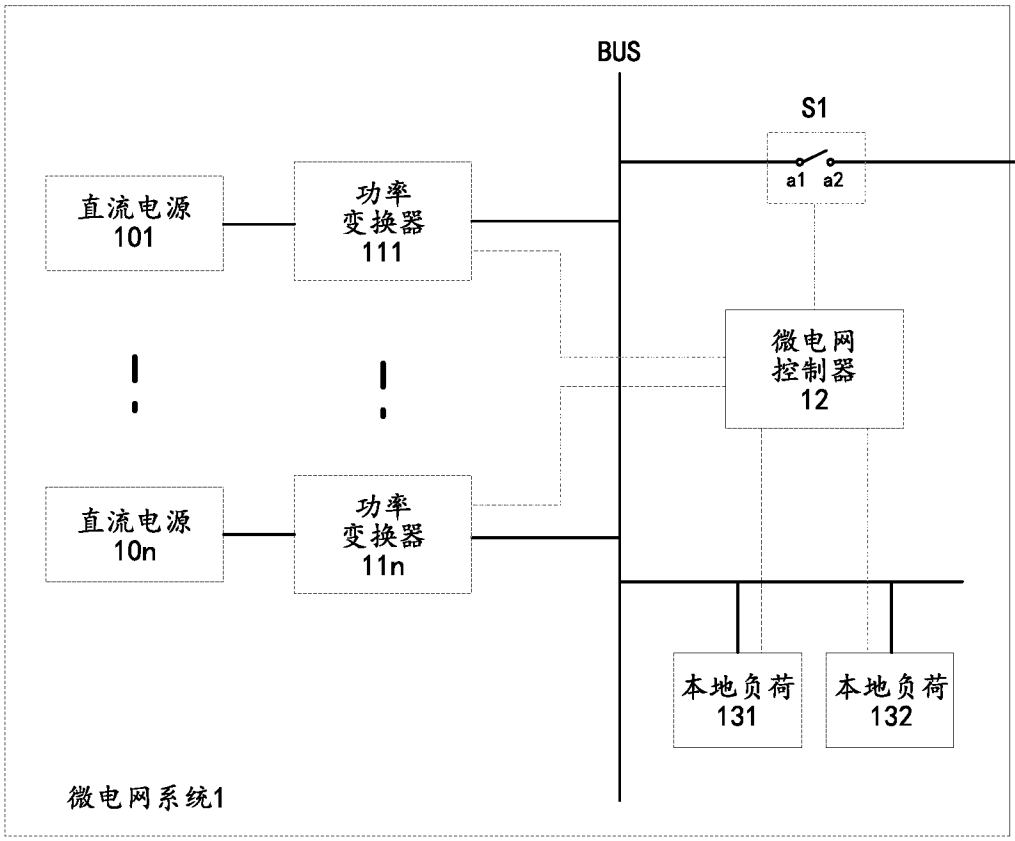

BUS
S1
a1
a2
外部电网
直流电源
101
功率
变换器
111
微电网
控制器
12
直流电源
10n
功率
变换器
11n
本地负荷
131
本地负荷
132
微电网系统1

图 2b

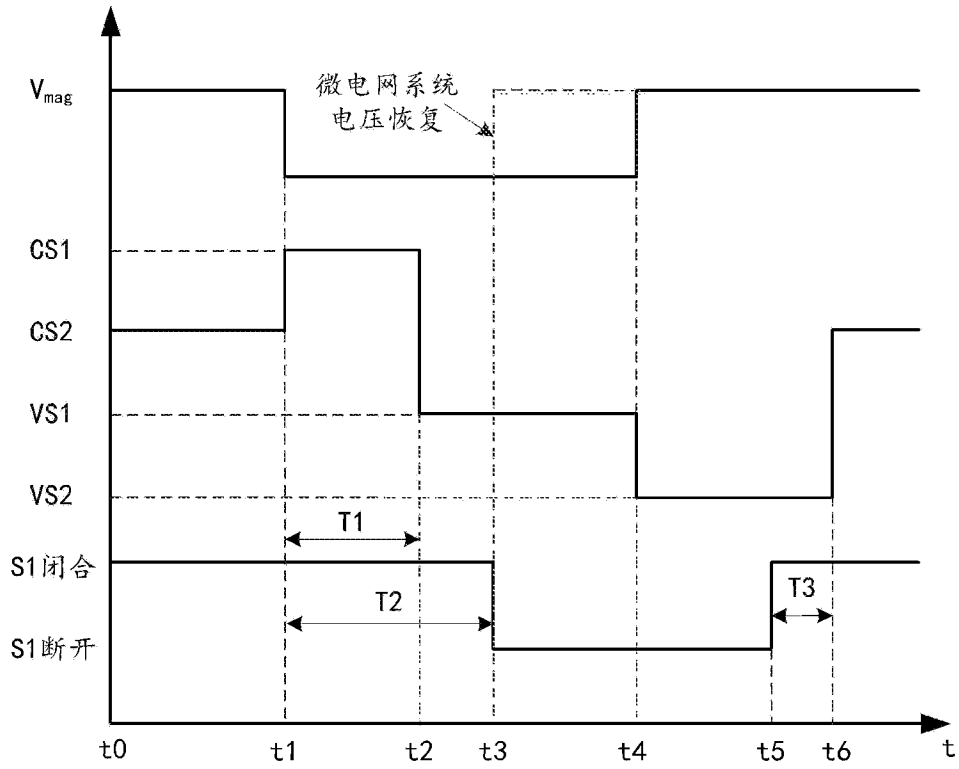

V_{mag}
微电网系统
电压恢复
CS1
CS2
VS1
VS2
T1
S1闭合
T2
T3
S1断开
t0
t1
t2
t3
t4
t5
t6
t

图 3

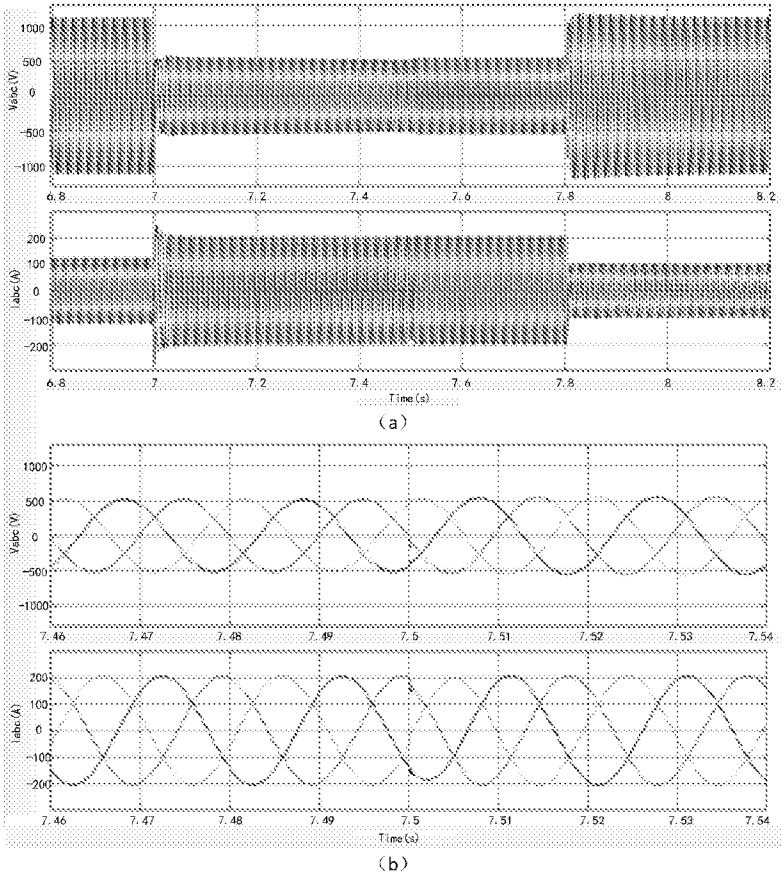
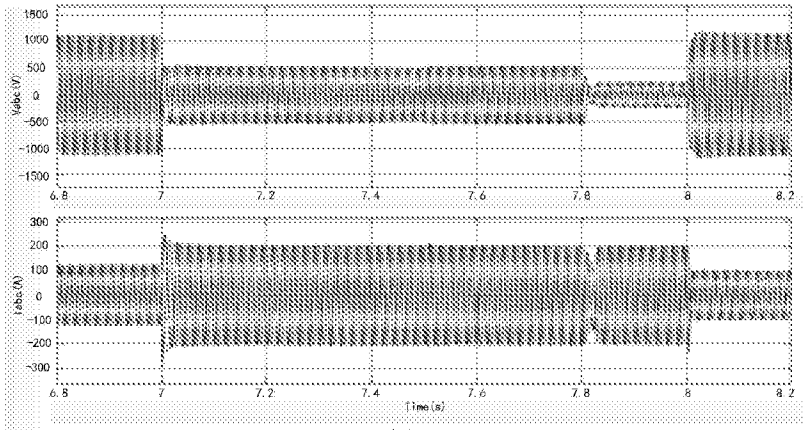
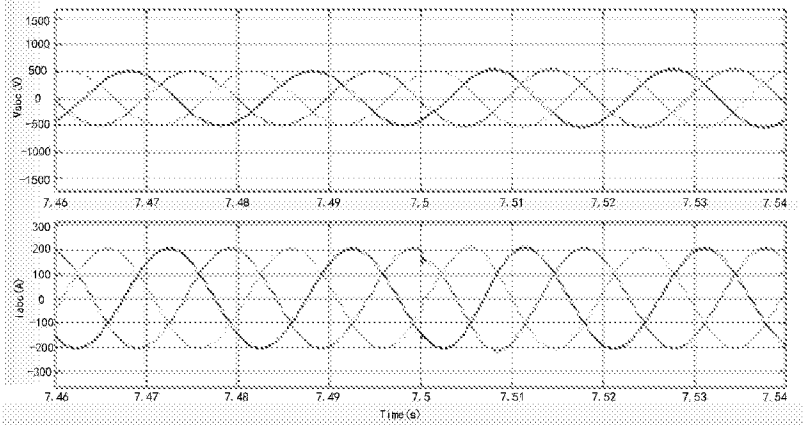

Vabc (V)
1000
500
0
-500
-1000
6.8
7
7.2
7.4
7.6
7.8
8
8.2
Iabc (A)
200
100
0
-100
-200
Time (s)
(a)
Vabc (V)
7.46
7.47
7.48
7.49
7.5
7.51
7.52
7.53
7.54
Iabc (A)
Time (s)
(b)

图 4


Vabc (V)
1500
1000
500
0
-500
-1000
-1500
6.8
7
7.2
7.4
7.6
7.8
8
8.2
Iabc (A)
300
200
100
0
-100
-200
-300
Time (s)

（a）


Vabc (V)
1500
1000
500
0
-500
-1000
-1500
7.46
7.47
7.48
7.49
7.5
7.51
7.52
7.53
7.54
Iabc (A)
300
200
100
0
-100
-200
-300
Time (s)

（b）

图 5

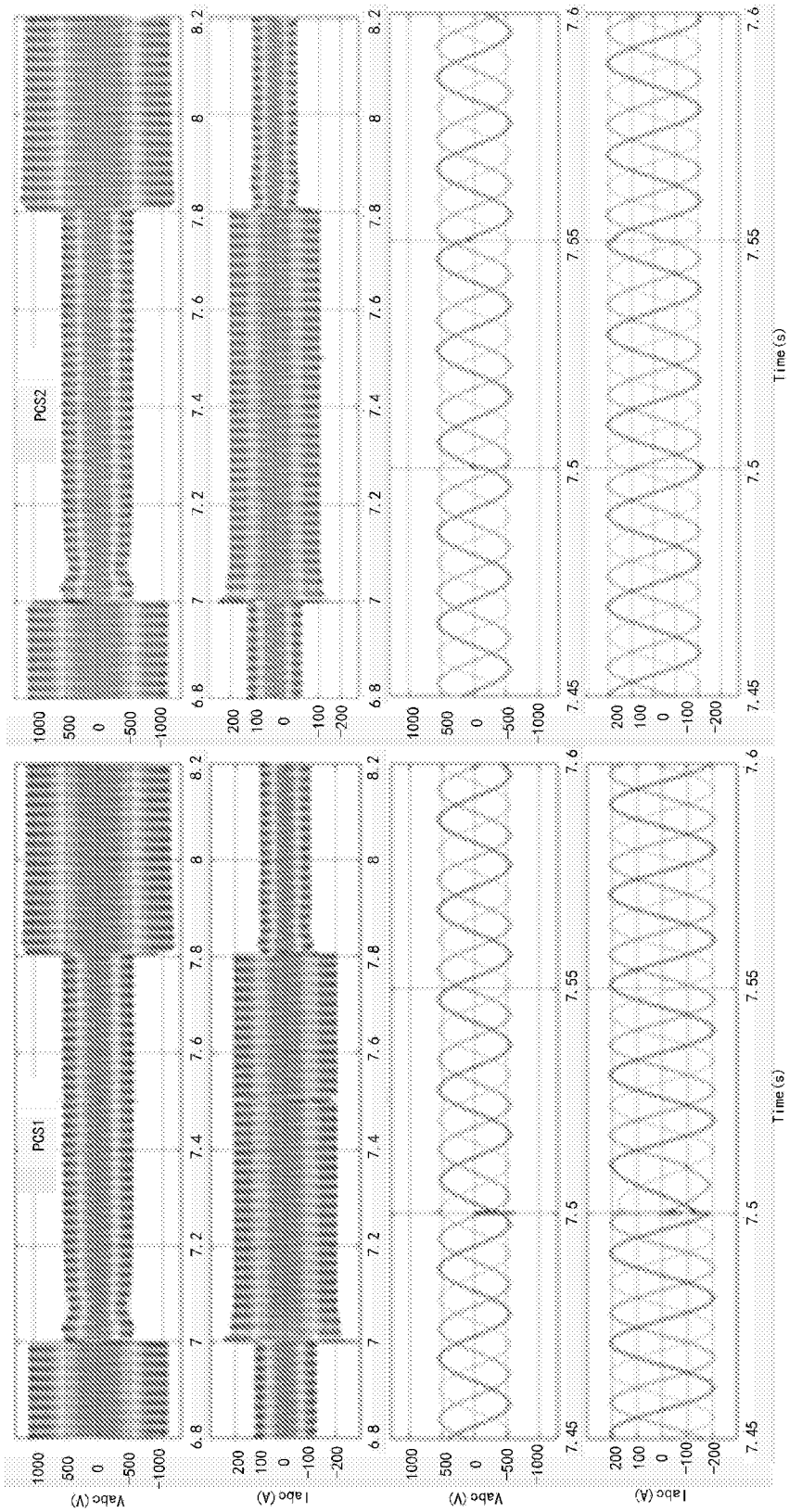


图6

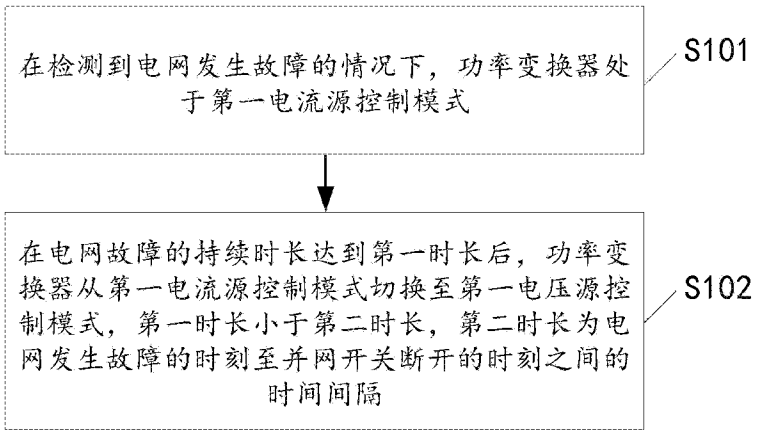

在检测到电网发生故障的情况下，功率变换器处于第一电流源控制模式
S101
在电网故障的持续时长达到第一时长后，功率变换器从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式，第一时长小于第二时长，第二时长为电网发生故障的时刻至并网开关断开的时刻之间的时间间隔
S102

图 7

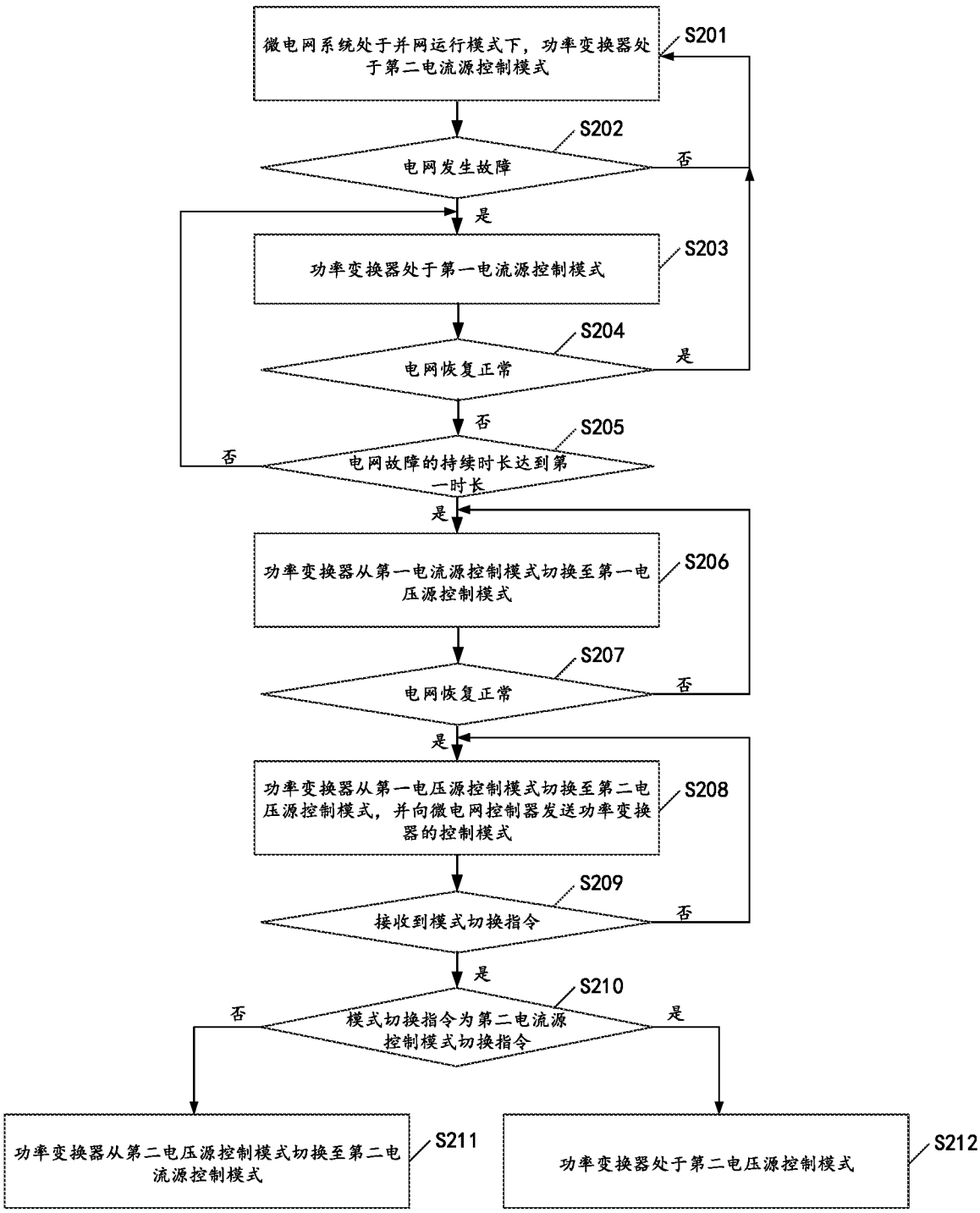

微电网系统处于并网运行模式下，功率变换器处于第二电流源控制模式
S201
电网发生故障
S202
否
是
功率变换器处于第一电流源控制模式
S203
电网恢复正常
S204
是
否
电网故障的持续时长达到第一时长
S205
否
是
功率变换器从第一电流源控制模式切换至第一电压源控制模式
S206
电网恢复正常
S207
否
是
功率变换器从第一电压源控制模式切换至第二电压源控制模式，并向微电网控制器发送功率变换器的控制模式
S208
接收到模式切换指令
S209
否
是
模式切换指令为第二电流源控制模式切换指令
S210
否
是
功率变换器从第二电压源控制模式切换至第二电流源控制模式
S211
功率变换器处于第二电压源控制模式
S212

图 8

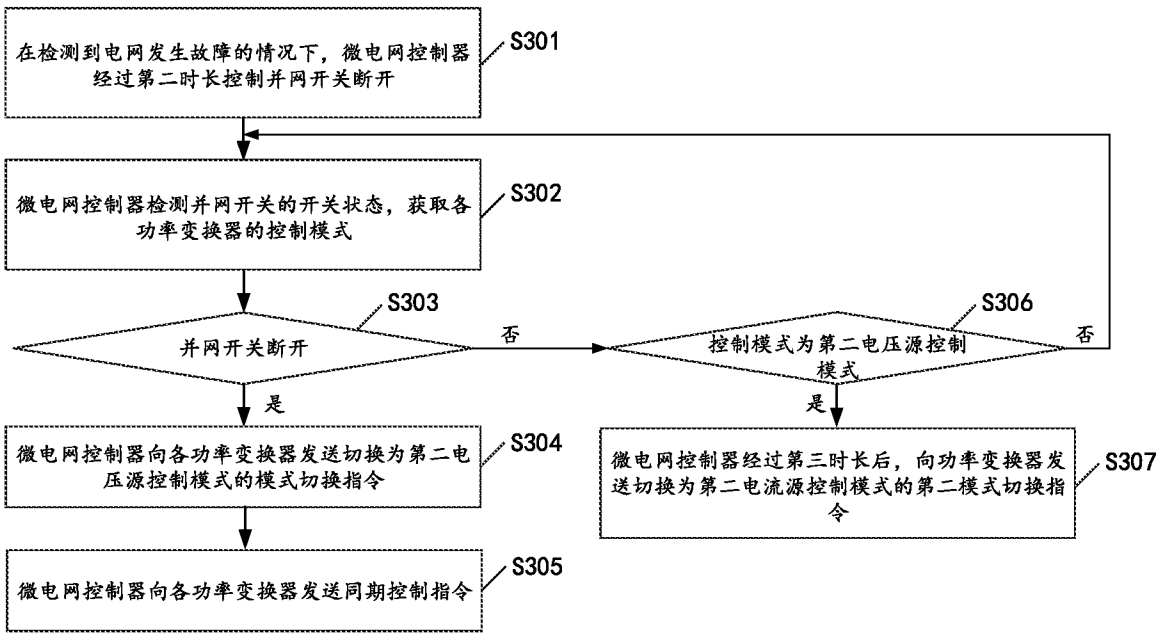

在检测到电网发生故障的情况下，微电网控制器经过第二时长控制并网开关断开
S301
微电网控制器检测并网开关的开关状态，获取各功率变换器的控制模式
S302
并网开关断开
S303
否
是
控制模式为第二电压源控制模式
S306
否
是
微电网控制器向各功率变换器发送切换为第二电压源控制模式的模式切换指令
S304
微电网控制器向各功率变换器发送同期控制指令
S305
微电网控制器经过第三时长后，向功率变换器发送切换为第二电流源控制模式的第二模式切换指令
S307

图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2024/072527

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/00(2006.01)i; H02J 3/12(2006.01)i; H02J 3/38(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)

VEN, CNABS, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE: 微电网, 微网, 切换, 电流源, 电压源, 故障, 穿越, 模式, micro grid, voltage source, current source, change, mode, switch+, fault

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 116231636 A (HUAWEI DIGITAL ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD.) 06 June 2023 (2023-06-06) claims 1-30	1-30
A	CN 110048455 A (HUNAN UNIVERSITY) 23 July 2019 (2019-07-23) description, paragraphs 0008-0075	1-30
A	CN 104201706 A (BEIJING ENERGY CONTROL MASTER CO., LTD.) 10 December 2014 (2014-12-10) entire document	1-30
A	CN 109617075 A (TIANJIN UNIVERSITY) 12 April 2019 (2019-04-12) entire document	1-30
A	CN 115296342 A (CHINA SOUTHERN POWER GRID ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 04 November 2022 (2022-11-04) entire document	1-30
A	US 2021194250 A1 (EAST GROUP CO., LTD.) 24 June 2021 (2021-06-24) entire document	1-30

☐ 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	Date of mailing of the international search report
19 March 2024	**22 March 2024**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) **China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2024/072527

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 116231636 A	06 June 2023	None	
CN 110048455 A	23 July 2019	None	
CN 104201706 A	10 December 2014	None	
CN 109617075 A	12 April 2019	None	
CN 115296342 A	04 November 2022	None	
US 2021194250 A1	24 June 2021	US 11101663 B2	24 August 2021
		WO 2017133269 A1	10 August 2017

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2024/072527

A. 主题的分类

H02J 3/00(2006.01)i；H02J 3/12(2006.01)i；H02J 3/38(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））

VEN，CNABS，CNTXT，WOTXT，EPTXT，USTXT，CNKI，IEEE：微电网，微网，切换，电流源,电压源，故障，穿越，模式，micro grid，voltage source，current source，change，mode，switch+，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
PX	CN 116231636 A (华为数字能源技术有限公司) 2023年6月6日 (2023 - 06 - 06) 权利要求1-30	1-30
A	CN 110048455 A (湖南大学) 2019年7月23日 (2019 - 07 - 23) 说明书第0008-0075段	1-30
A	CN 104201706 A (北京艾科迈新能源科技有限公司) 2014年12月10日 (2014 - 12 - 10) 全文	1-30
A	CN 109617075 A (天津大学) 2019年4月12日 (2019 - 04 - 12) 全文	1-30
A	CN 115296342 A (南方电网科学研究院有限责任公司) 2022年11月4日 (2022 - 11 - 04) 全文	1-30
A	US 2021194250 A1 (EAST GROUP CO., LTD.) 2021年6月24日 (2021 - 06 - 24) 全文	1-30

☐ 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	国际检索报告邮寄日期
2024年3月19日	2024年3月22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	受权官员 李坤鹏 电话号码 (+86) 010-53961270

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2024/072527

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	116231636	A	2023年6月6日	无			
CN	110048455	A	2019年7月23日	无			
CN	104201706	A	2014年12月10日	无			
CN	109617075	A	2019年4月12日	无			
CN	115296342	A	2022年11月4日	无			
US	2021194250	A1	2021年6月24日	US	11101663	B2	2021年8月24日
				WO	2017133269	A1	2017年8月10日