(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 2 月 29 日 (29.02.2024)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2024/041110 A1

(51) 国际专利分类号:
H02J 3/38 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/099663

(22) 国际申请日: 2023 年 6 月 12 日 (12.06.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202211024308.0 2022年8月24日 (24.08.2022) 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)。 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)。 于心宇**(YU, Xinyu)**; 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:北京同达信恒知识产权代理有限公司 **(TDIP & PARTNERS)**; 中国北京市西城区裕民路18号北环中心A座2002, Beijing 100029 (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。

(54) **Title:** PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION SYSTEM AND CONTROL METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 一种光伏发电系统和光伏发电系统的控制方法

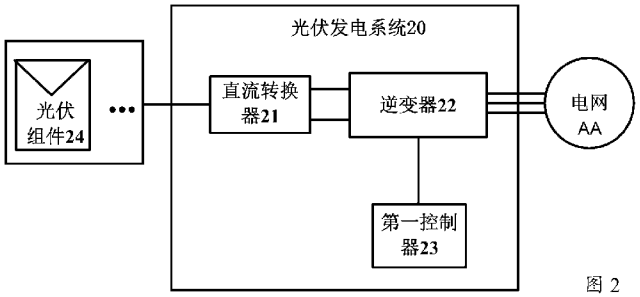


图 2

(57) **Abstract:** A photovoltaic power generation system and a control method therefor, used for implementing fast frequency support. The photovoltaic power generation system comprises: a direct current converter, adapted to be connected to an output of a photovoltaic module and performing voltage conversion on direct current outputted by the photovoltaic module; an inverter, used for converting direct current outputted by the direct current converter into alternating current and then outputting same to a power grid; and a first controller, used for generating a first driving signal according to two of a first voltage of the direct current of the direct current converter, active power outputted by the inverter, and an operating parameter of the power grid, and controlling the operating state of the inverter according to the first driving signal.

(57) 摘要: 一种光伏发电系统和光伏发电系统的控制方法，用于实现快速频率支撑。该光伏发电系统包括：直流转换器，用于连接光伏组件的输出并将光伏组件输出的直流电进行电压转换；逆变器，用于将直流转换器输出的直流电转换为交流电并输出给电网；第一控制器，用于根据直流转换器的直流电的第一电压、逆变器输出的有功功率以及电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，并根据第一驱动信号控制逆变器的运行状态。

WO 2024/041110 A1

[见续页]

(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))。

一种光伏发电系统和光伏发电系统的控制方法

相关申请的交叉引用

本申请要求在2022年08月24日提交中国专利局、申请号为202211024308.0、申请名称为“一种光伏发电系统和光伏发电系统的控制方法”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

本申请涉及光伏领域，尤其涉及一种光伏发电系统和光伏发电系统的控制方法。

背景技术

随着构建以新能源为主体的新型电力系统的国家能源安全新战略逐步推进，风电、光伏等新能源发电系统在电网的角色将逐步从支撑电源转变为主力电源，因此，对新能源设备提出了更高的要求。随着光伏装机容量在电网的渗透率快速提升，光伏设备对电网的支撑能力将成为电力系统安全稳定的重要组成部分。然而，当前光伏建设项目中，光伏设备一般不具备电网频率和电压主动支撑能力，从而在一些高渗透率、大规模光伏通过长输电线路远距离外送的场景中，容易造成系统不稳定的问题。同时，当电网发生低频或过频率事件，新能源电力系统可能脱网。

发明内容

本申请提供一种光伏发电系统和光伏发电系统的控制方法，可以实现快速频率支撑。

第一方面，本申请实施例提供一种光伏发电系统，包括直流转换器、逆变器和逆变控制器。

其中，直流转换器用于连接光伏组件的输出将光伏组件输出的直流电进行电压转换；逆变器用于将直流转换器输出的直流电转换为交流电并输出给电网；第一控制器用于根据直流转换器输出的直流电的第一电压、逆变器输出的有功功率以及电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，并根据第一驱动信号控制逆变器的运行状态。其中，第一电压为直流转换器输出的直流电的电压幅值，电网的运行参数包括无功电流、有功电流、无功功率、有功功率、电压幅值和电网频率中的一个或多个。

本申请实施例提供的光伏发电系统，当电网频率发生变化时，第一电压的幅值会发生变化，以及逆变器输出的有功功率也会造成电网频率的变化，即上述三个参数互相影响，因此，当第一控制器当检测到电网偏离其正常工作时的额定频率，可以利用上述三个参数中的任意两个生成相应的驱动信号并调整逆变器的运行状态，从而使逆变器输出的交流电可以实现频率支撑功能。

在一种可能的设计中，第一控制器具体用于：根据第一电压差值和第一频率差值，生成第一有功功率控制信号；根据第一有功功率控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号。其中，第一电压为直流转换器输出的直流电的电压幅值，电网的运行参数包括无功电流、有功电流、无功功率、有功功率、电压幅值和电网频率中的一个或多个。

采用上述光伏发电系统，可以根据第一电压和第一参考电压之间的第一电压差值执行逆变器输出的有功功率与直流电压之间的下垂控制，以及根据频率差值执行逆变器输出的有功功率与电网频率之间的下垂控制，并利用上述两个下垂控制策略共同决定用于实现频率支撑的有功功率值。

在一种可能的设计中，第一控制器具体用于：根据第一有功功率控制信号和电网的运行参数生成第一调制波信号；根据第一调制波信号与第一载波信号，生成第一驱动信号，其中，第一载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

采用上述光伏发电系统，通过用于控制逆变器输出功率的第一调制波信号对第一载波信号进行调整，得到用于控制逆变器中开关管的导通时序的第一驱动信号，从而调整逆变器输出的有功功率值。

在一种可能的设计中，第一控制器具体用于：利用第一电压差值与第一下垂系数得到第一功率值；第一下垂系数是根据直流转换器输出的直流电和逆变器输出的有功功率之间的对应关系确定；利用第一频率差值与第二下垂系数得到第二功率值；第二下垂系数是根据电网频率与逆变器输出的有功功率之间的对应关系确定的；根据第一功率值、第二功率值和第三功率值，生成第一有功功率控制信号。其中，第三功率值为电站管理系统下发的有功功率初始值，电站管理系统用于控制光伏发电系统的运行状态。

采用上述光伏发电系统，电网频率与逆变器输出的有功功率之间的对应关系以及直流转换器输出的直流电压与逆变器输出的有功功率之间的对应关系选择合适的下垂曲线，从而改善频率支撑效果。

在一种可能的设计中，第一控制器还用于：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取电网频率和第一电压；在确定本次与相邻一次获取的电网频率相同、且本次获取的第一电压大于前一次获取的第一电压时，调整第一驱动信号，以使光伏发电系统输出的有功功率增大，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率小于或等于第一设定值，第一设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最大值。

采用上述光伏发电系统，当电网频率不变、且直流转换器输出的第一电压上升时，则直流转换器输出给逆变器的有功功率增大，在不影响电网运行的情况下，可以控制光伏发电系统输出的有功功率上升。

在一种可能的设计中，第一控制器还用于：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取电网频率和第一电压；在确定本次与相邻一次获取的第一电压相同、且本次获取的电网频率大于前一次获取的电网频率时，调整第一驱动信号，以使光伏发电系统输出的有功功率减小，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第二设定值，第二设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

采用上述光伏发电系统，当电网频率上升时，即表明光伏发电系统输出的有功功率上升，相应的，当电网频率下降，则光伏发电系统输出的有功功率下降，为了不影响电网的运行，当电网频率上升时，可以控制光伏发电系统输出的有功功率下降。

在一种可能的设计中，第一控制器具体用于：根据第一功率差值和第二频率差值，生成第一电压控制信号；根据第一电压控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号。其中，第一功率差值为逆变器输出的有功功率与第一参考功率之间的差值，第二频率差值为电网频率与第二参考频率之间的差值，第一参考功率为电网正常运行时逆变器输出的额定有功功率值，第一参考频率为电网正常运行时的额定频率值。

采用上述光伏发电系统，可以根据第一功率差值执行逆变器输出的有功功率与直流侧电压之间的下垂控制，以及根据第二频率差值执行电网频率与直流侧电压之间的下垂控制，并利用上述两个下垂控制策略共同决定用于控制逆变器驱动信号的直流电压幅值，并通过控制逆变器的驱动信号，实现频率快速支撑。

在一种可能的设计中，第一控制器具体用于：根据第一电压控制信号和电网的运行参数生成第二调制波信号；根据第二调制波信号与第二载波信号，生成第一驱动信号，其中，第二载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

采用上述光伏发电系统，通过用于控制逆变器输出功率的第二调制波信号对第二载波信号进行调整，得到用于控制逆变器中开关管的导通时序的第一驱动信号，从而调整逆变器的输出参数。

在一种可能的设计中，第一控制器具体用于利用第一功率差值与第三下垂系数得到第一直流电压值；第三下垂系数是根据直流转换器输出的有功功率与直流转换器输出的直流电之间的对应关系确定的；利用第二频率差值与第四下垂系数得到第二直流电压值；第四下垂系数是根据电网频率与直流转换器输出的直流电之间的对应关系确定的；根据第一直流电压值、第二直流电压值和第三直流电压值，生成第一电压控制信号，其中，第三直流电压值为电站管理系统下发的直流电压初始值，电站管理系统用于控制光伏发电系统的运行状态。

采用上述光伏发电系统，电网频率与直流转换器输出的第一电压之间的对应关系以及逆变器输出的有功功率与直流转换器输出的第一电压之间的对应关系选择合适的下垂曲线，从而改善频率支撑效果。

在一种可能的设计中，第一控制器还用于：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取电网频率和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的逆变器输出的有功功率相同、且本次获取的电网频率大于前一次获取的电网频率时，调整第一驱动信号，以使直流转换器输出的第一电压增大，以及光伏发电系统输出的有功功率减小。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第三设定值，第三设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

采用上述光伏发电系统，当电网频率上升时，即表明光伏发电系统输出的有功功率超出电网对电能需求，为了不影响电网的运行，当电网频率上升时，可以控制光伏发电系统输出的有功功率下降。

在一种可能的设计中，第一控制器还用于：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取电网频率和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的电网频率相同、且本次获取的逆变器输出的有功功率压大于前一次获取的逆变器输出的有功功率时，调整第一驱动信号，以使直流转换器输出的第一电压增大，以及光伏发电系统输出的有功功率减小，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第四设定值，第四设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

采用上述光伏发电系统，为了避免光伏发电系统输出的有功功率上升超出电网对电能的需求，当检测到光伏发电系统输出有功功率上升时，可以通过调整第一驱动信号，控制光伏发电系统输出的有功功率下降，来实现电网的平稳运行。

在一种可能的设计中，第一控制器具体用于：根据第二功率差值和第二电压差值，生成第一频率控制信号；根据第一频率控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号。其

中，第二功率差值为逆变器输出的有功功率与第二参考功率之间的差值，第二电压差值为第一电压与第二参考电压之间的差值，第二参考功率为电网正常运行时逆变器输出的额定有功功率值，第二参考电压为电网正常运行时直流转换器输出的额定电压值。

采用上述光伏发电系统，可以根据第二功率差值执行电网频率与逆变器输出的有功功率之间的下垂控制，以及根据第二电压差值执行电网频率与直流转换器输出的第一电压之间的下垂控制，并利用上述两个下垂控制策略共同决定逆变器输出的频率，并通过调整逆变器输出的频率实现频率支撑效果。

在一种可能的设计中，第一控制器具体用于：根据第一频率控制信号和电网的运行参数生成第三调制波信号；根据第三调制波信号与第三载波信号，生成第一驱动信号，其中，第三载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

采用上述光伏发电系统，通过用于控制逆变器输出功率的第三调制波信号对第三载波信号进行调整，得到用于控制逆变器中开关管的导通时序的第一驱动信号，从而调整逆变器的输出参数。

在一种可能的设计中，第一控制器具体用于：利用第二功率差值与第五下垂系数，生成第一频率值，第五下垂系数是根据逆变器输出的有功功率与电网频率之间的对应关系确定的；利用第二电压差值与第六下垂系数，生成第二频率值，第六下垂系数是根据直流转换器输出的直流电与电网频率之间的对应关系确定的；根据第一频率值、第二频率值和第三频率值，生成第一频率控制信号。其中，第三频率值为电站管理系统下发的初始频率值，电站管理系统用于控制光伏发电系统的运行状态。

采用上述光伏发电系统，电网频率与逆变器输出的有功功率之间的对应关系以及直流转换器输出的第一电压与电网频率之间的对应关系选择合适的下垂曲线，从而改善频率支撑效果。

在一种可能的设计中，第一控制器还用于：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取第一电压和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的逆变器输出的有功功率相同、且本次获取的第一电压大于前一次获取的第一电压时，调整第一驱动信号，以使逆变器输出的交流电的频率上升，以及光伏发电系统输出的有功功率增大。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率小于或等于第五设定值，以及所述电网频率小于或等于电网正常运行时的频率最大值，第五设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最大值。

采用上述光伏发电系统，当直流转换器输出的第一电压上升时，则直流转换器输出给逆变器的有功功率增大，在不影响电网运行的情况下，可以控制光伏发电系统输出的有功功率上升。

在一种可能的设计中，第一控制器还用于：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取第一电压和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的第一电压相同、且本次获取的逆变器输出的有功功率大于前一次获取的逆变器输出的有功功率时，调整第一驱动信号，以使逆变器输出的交流电的频率下降，以及光伏发电系统输出的有功功率减小。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第六设定值，以及所述电网频率大于或等于电网正常运行时的频率最小值，第六设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

在一种可能的设计中，光伏发电系统还包括与直流转换器连接的第二控制器，用于根

据第三电压差值，生成第二驱动信号，并根据第二驱动信号控制直流转换器输出的有功功率。其中，第三电压差值为第三参考电压与第一电压之间的差值，第三参考电压为电网正常运行时直流转换器输出的额定电压。

采用上述光伏发电系统，由于逆变器与直流转换器连接，即逆变器输出的有功功率主要由直流转换器提供，为了实现逆变器可以输出用于实现频率支撑的有功功率，可以通过直流控制器调整直流转换器输出的有功功率，从而使输出的有功功率满足频率支撑的需求。另外，由于第二控制器可以直接通过第一电压确定电网频率情况，从而无需通过高速传输线获取电网频率，加快了光伏发电系统的频率支撑速度。

在一种可能的设计中，第二控制器具体用于：确定直流转换器的工作模式，工作模式包括单向支撑模式和双向支撑模式；根据直流转换器的工作模式和直流转换器运行参数生成第三参考电压，直流转换器的运行参数包括输入电流、输入电压和输入功率中的一个或多个；根据第三电压差值和第七下垂系数，得到第四功率值，第七下垂系数是根据直流转换器的输出电压和直流转换器输出的有功功率之间的对应关系确定的；根据第四功率值和最大功率值，确定第二有功功率控制信号；根据第二有功功率控制信号和直流转换器的输入参数，生成第二驱动信号。

采用上述光伏发电系统，当电网频率上升时，则直流转换器的输出电压上升，相应的，当电网频率下降，则直流转换器的输出电压下降，因此可以通过直流转换器输出的电压与参考电压之间的第二电压差值，确定当前电网情况，并进行相应的功率调整，实现频率支撑。

在一种可能的设计中，第二控制器还用于根据直流转换器的运行参数，计算最大功率值 MPPE。

采用上述光伏发电系统，直流转换器在无频率支撑的情况下会运行在 MPPT 模式下，并输出最大功率值，当需要进行电网频率支撑时，可以利用 MPPE 进行最大功率值的估算，并在最大功率值的基础上进行功率调整。

在一种可能的设计中，第二控制器具体用于：根据直流转换器的工作模式确定附加预留功率值；根据直流转换器的运行参数和附加预留功率值，生成第三参考电压。

采用上述光伏发电系统，可以根据直流转换器的运行参数和设定的附加预留功率值确定直流转换器的输出功率情况，从而动态调整参考电压值。

第二方面，本申请实施例提供一种光伏发电系统的控制方法，该方法可以应用于光伏发电系统中，其具体包括以下步骤：监控电网的运行参数、逆变器输出的第一电压和直流转换器输出的有功功率；根据第一电压、直流转换器输出的有功功率以及电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，并根据第一驱动信号控制逆变器的运行状态，其中，第一电压为直流转换器输出的直流电的电压幅值，电网的运行参数包括无功电流、有功电流、无功功率、有功功率、电压幅值和电网频率中的一个或多个。

在一种可能的设计中，根据第一电压、逆变器输出的有功功率以及电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，包括：根据第一电压差值和第一频率差值，生成第一有功功率控制信号，其中，第一电压差值为第一电压与第一参考电压之间的差值，第一频率差值为电网频率与第一参考频率之间的差值，第一参考电压为电网正常运行时直流转换器输出的额定电压值，第一参考频率为电网正常运行时的额定频率值；根据第一有功功率控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号。

在一种可能的设计中，根据第一有功功率控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号，包括：根据第一有功功率控制信号和电网的运行参数生成第一调制波信号；根据第一调制波信号与第一载波信号，生成第一驱动信号，其中，第一载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

在一种可能的设计中，根据第一电压差值和第一频率差值，生成第一有功功率控制信号，包括：利用第一电压差值与第一下垂系数得到第一功率值；第一下垂系数是根据直流转换器的输出的直流电压和直流转换器输出的有功功率之间的对应关系确定；利用第一频率差值与第二下垂系数得到第二功率值；第二下垂系数是根据电网频率与逆变器输出的有功功率之间的对应关系确定的；根据第一功率值、第二功率值和第三功率值，生成第一有功功率控制信号，其中，第三功率值为电站管理系统下发的有功功率初始值，电站管理系统用于控制光伏发电系统的运行状态。

在一种可能的设计中，该方法还包括：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取电网频率和第一电压；在确定本次与相邻一次获取的电网频率相同、且本次获取的第一电压大于前一次获取的第一电压时，调整第一驱动信号，以使光伏发电系统输出的有功功率增大，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率小于或等于第一设定值，第一设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最大值。

在一种可能的设计中，该方法还包括：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取电网频率和第一电压；在确定本次与相邻一次获取的第一电压相同、且本次获取的电网频率大于前一次获取的电网频率时，调整第一驱动信号，以使光伏发电系统输出的有功功率减小。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第二设定值，第二设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

在一种可能的设计中，根据第一电压、逆变器输出的有功功率以及电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，包括：根据第一功率差值和第二频率差值，生成第一电压控制信号，其中，第一功率差值为逆变器输出的有功功率与第一参考功率之间的差值，第二频率差值为电网频率与第二参考频率之间的差值，第一参考功率为电网正常运行时逆变器输出的额定有功功率值，第一参考频率为电网正常运行时的额定频率值；根据第一电压控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号。

在一种可能的设计中，根据第一电压控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号，包括：根据第一电压控制信号和电网的运行参数生成第二调制波信号；根据第二调制波信号与第二载波信号，生成第一驱动信号，其中，第二载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

在一种可能的设计中，根据第一功率差值和第二频率差值，生成第一电压控制信号，包括：利用第一功率差值与第三下垂系数得到第一直流电压值；第三下垂系数是根据直流转换器输出的有功功率与直流转换器输出的直流电之间的对应关系确定的；利用第二频率差值与第四下垂系数得到第二直流电压值；第四下垂系数是根据电网频率与直流转换器输出的直流电之间的对应关系确定的；根据第一直流电压值、第二直流电压值和第三直流电压值，生成第一电压控制信号，其中，第三直流电压值为电站管理系统下发的直流电压初始值，电站管理系统用于控制光伏发电系统的运行状态。

在一种可能的设计中，该方法还包括：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取电网频率和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的逆变器输出

的有功功率相同、且本次获取的电网频率大于前一次获取的电网频率时，调整第一驱动信号，以使直流转换器输出的第一电压增大，以及光伏发电系统输出的有功功率减小。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第三设定值，第三设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

在一种可能的设计中，该方法还包括：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取电网频率和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的电网频率相同、且本次获取的逆变器输出的有功功率压大于前一次获取的逆变器输出的有功功率时，调整第一驱动信号，以使直流转换器输出的第一电压增大，以及光伏发电系统输出的有功功率减小。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第四设定值，第四设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

在一种可能的设计中，根据第一电压、逆变器输出的有功功率以及电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，包括：根据第二功率差值和第二电压差值，生成第一频率控制信号，其中，第二功率差值为逆变器输出的有功功率与第二参考功率之间的差值，第二电压差值为第一电压与第二参考电压之间的差值，第二参考功率为电网正常运行时逆变器输出的额定有功功率值，第二参考电压为电网正常运行时直流转换器输出的额定电压值；根据第一频率控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号。

在一种可能的设计中，根据第一频率控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号，包括：根据第一频率控制信号和电网的运行参数生成第三调制波信号；根据第三调制波信号与第三载波信号，生成第一驱动信号，其中，第三载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

在一种可能的设计中，根据第二功率差值和第二电压差值，生成第一频率控制信号，包括：利用第二功率差值与第五下垂系数，生成第一频率值，第五下垂系数是根据逆变器输出的有功功率与电网频率之间的对应关系确定的；利用第二电压差值与第六下垂系数，生成第二频率值，第六下垂系数是根据直流转换器输出的直流电与电网频率之间的对应关系确定的；根据第一频率值、第二频率值和第三频率值，生成第一频率控制信号，其中，第三频率值为电站管理系统下发的初始频率值，电站管理系统用于控制光伏发电系统的运行状态。

在一种可能的设计中，该方法还包括：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取第一电压和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的逆变器输出的有功功率相同、且本次获取的第一电压大于前一次获取的第一电压时，调整第一驱动信号，以使逆变器输出的交流电的频率上升，以及光伏发电系统输出的有功功率增大。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率小于或等于第五设定值，以及所述电网频率小于或等于电网正常运行时的频率最大值。第五设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最大值。

在一种可能的设计中，该方法还包括：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取第一电压和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的第一电压相同、且本次获取的逆变器输出的有功功率大于前一次获取的逆变器输出的有功功率时，调整第一驱动信号，以使逆变器输出的交流电的频率下降，以及光伏发电系统输出的有功功率减小。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第六设定值，以及所述电网频率大于或等于电网正常运行时的频率最小值。第六设定值为电网正常运行

时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

在一种可能的设计中，该方法还包括：根据第一电压和第三电压差值，生成第二驱动信号，并根据第二驱动信号控制直流转换器输出的有功功率，其中，第三电压差值为第三参考电压与第一电压之间的差值，第三参考电压为电网正常运行时直流转换器输出的额定电压。

在一种可能的设计中，根据第一电压和第三电压差值，生成第二驱动信号，包括：确定直流转换器的工作模式，工作模式包括单向支撑模式和双向支撑模式；根据直流转换器的工作模式和直流转换器的运行参数生成第三参考电压，直流转换器的运行参数包括输入电流和输入功率中的一个或多个；根据第三电压差值和第七下垂系数，得到第四功率值，第七下垂系数是根据直流转换器的输出电压和直流转换器输出的有功功率之间的对应关系确定的；根据第四功率值和最大功率值 MPPE，确定第二有功功率控制信号；根据第二有功功率控制信号和直流转换器的输入参数，生成第二驱动信号。

在一种可能的设计中，根据第二有功功率控制信号和直流转换器的输入参数，生成第二驱动信号，包括：根据第二有功功率控制信号与直流转换器的输入参数，生成第四调制波信号；根据第四调制波信号与第四载波信号，生成第二驱动信号，其中，第四载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

在一种可能的设计中，该方法还包括：根据直流转换器的运行参数确定 MPPE。

在一种可能的设计中，根据直流转换器的工作模式和直流转换器的运行参数生成第三参考电压，包括：根据直流转换器的工作模式确定附加预留功率值；根据直流转换器的运行参数和附加预留功率值，生成第三参考电压。

上述第二方面可以达到的技术效果可以参照上述第一方面中有益效果的描述，此处不再重复赘述。

附图说明

图 1 为本申请实施例提供的一种光伏发电系统的结构示意图一；

图 2 为本申请实施例提供的一种光伏发电系统的结构示意图二；

图 3 为本申请实施例提供的一种逆变器输出的有功功率与直流电压之间对应关系示意图；

图 4 为本申请实施例提供的一种逆变器输出的有功功率与电网频率之间的对应关系示意图；

图 5 为本申请实施例提供的一种直流电压与电网频率之间的对应关系示意图；

图 6 为本申请实施例提供的一种光伏发电系统的结构示意图三；

图 7 为本申请实施例提供的一种直流转换器输出的有功功率与直流电压之间的对应关系示意图一；

图 8 为本申请实施例提供的一种光伏发电系统的输出波形示意图一；

图 9 为本申请实施例提供的一种光伏发电系统的输出波形示意图二；

图 10 为本申请实施例提供的一种直流转换器输出的有功功率与直流电压之间的对应关系示意图二；

图 11 为本申请实施例提供的一种光伏发电系统的输出波形示意图三；

图 12 为本申请实施例提供的一种光伏发电系统的输出波形示意图四；

图 13 为本申请实施例提供的一种光伏发电系统的控制方法的流程示意图一;
图 14 为本申请实施例提供的一种光伏发电系统的控制方法的流程示意图二;
图 15 为本申请实施例提供的一种光伏发电系统的控制方法的流程示意图三;
图 16 为本申请实施例提供的一种光伏发电系统的控制方法的流程示意图四;
图 17 为本申请实施例提供的一种光伏发电系统的控制方法的流程示意图五。

具体实施方式

为了使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图，对本申请实施例进行详细描述。本申请的实施方式部分使用的术语仅用于对本申请的具体实施例进行解释，而非旨在限定本申请。显然，所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，并不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通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。

需要说明的是，本申请的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应理解这样使用的数据在适当情况下可以互换，以便这里描述的本申请的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。以下示例性实施例中所描述的实施方式并不代表与本申请相一致的所有实施方式。相反，它们仅是与如所附权利要求书中所详述的、本申请的一些方面相一致的装置和方法的例子。

以下，对本申请实施例中的部分用语进行解释说明，以便于本领域技术人员理解。

（1）本申请实施例中术语“多个”是指两个或两个以上，其它量词与之类似。

（2）本申请实施例中的开关管可以是继电器、金属氧化物半导体场效应晶体管（metal oxide semiconductor field effect transistor，MOSFET），双极结型管（bipolar junction transistor，BJT），绝缘栅双极型晶体管（insulated gate bipolar transistor，IGBT）、碳化硅（SiC）晶体管等多种类型的开关管中的一种或多种，本申请实施例对此不再一一列举。各个开关管的封装形式可以是单管封装，也可以是多管封装，本申请实施例对此并不多作限制。每个开关管皆可以包括第一端、第二端和控制端，其中，控制端用于控制开关管的导通或断开。当开关管导通时，开关管的第一端和第二端之间可以传输电流，当开关管断开时，开关管的第一端和第二端之间无法传输电流。以为 MOSFET 例，开关管的控制端为栅极，开关管的第一端可以是源极，第二端可以是漏极，或者，第一端可以是漏极，第二端可以是源极。

（3）本申请实施例中“连接”可以理解为电连接，两个电学元件连接可以是两个电学元件之间的直接或间接连接。例如，A 与 B 连接，既可以是 A 与 B 直接连接，也可以是 A 与 B 之间通过一个或多个其它电学元件间接连接，例如 A 与 B 连接，也可以是 A 与 C 直接连接，C 与 B 直接连接，A 与 B 之间通过 C 实现了连接。本申请实施例中的“连接”也可以理解为无线连接，即两个电学元件连接可以是两个电学元件电磁连接。

（4）有功-频率下垂控制，利用有功功率与电网的频率之间的近似线性关系，可以构建有功-频率下垂控制。通过有功-频率下垂控制可以在电网无法满足负载需求导致电网的频率发生波动时，可以控制逆变器输出用于控制电网的频率恢复正常的有功功率。

（5）电压-有功下垂控制，建立逆变器输入侧直流电压与逆变器输出的有功功率之间的近似线性关系，并利用该近似线性关系构建电压-有功下垂控制。通过电压-有功下垂控制可以在电网无法满足负载需求导致电网的频率发生波动时，可以控制逆变器输出用于控

制电网的频率恢复正常的有功功率。

（6）电压-频率下垂控制，建立直流电压与电网的频率之间的近似线性关系，并利用该近似线性关系构建电压-频率下垂控制。通过直流电压-频率下垂控制可以在电网无法满足负载需求导致电网的频率发生波动时，可以控制直流转换器输出满足电网频率恢复所需的有功功率。

（7）最大功率点跟踪（maximum power point tracking，MPPT）模式，直流转换器的控制器可以对光伏组件进行最大功率点跟踪，可以显著提高光伏阵列的输出功率，进而提高光伏系统的能量利用率。

（8）最大功率点估计（maximum power point estimation，MPPE）模式，直流转换器的控制器可以对光伏组件进行最大功率点估算。

本申请所公开的方案可以应用于新能源系统，并应用于新能源系统的并网场景中。其中，新能源系统可包括但不限于：光伏发电系统、风力发电系统、水利发电系统等。

在一种具体的应用场景中，上述新能源系统可以为光伏发电系统。图 1 示例性示出了一种光伏发电系统的结构示意图。参照图 1 所示，光伏发电系统主要包括直流转换器、逆变器和控制器。其中，光伏发电系统与光伏组件连接，并将光伏组件输出的电能输出给电网。

在一种可能的实现方式中，光伏发电系统包括光伏组件。

在光伏发电系统并网过程中，光伏组件可以将光能转换为直流电；直流转换器与光伏组件的输出端连接，可以接收光伏组件输出的直流电，并对接收的直流电进行电压转换；逆变器可以接收直流转换器输出的经过电压转换后的直流电，并将接收的直流电转换为交流电，并通过并网点输出给电网，从而实现光伏发电系统并网；控制器与逆变器连接，用于控制逆变器将接收的直流电转换为交流电。其中，直流转换器一般通过直流母线与逆变器连接，即直流转换器输出的直流电的电压幅值即为直流母线电压。

实际使用时，逆变器由多个开关器件组成，控制器通过向逆变器中的多个开关发送驱动信号，控制逆变器中多个开关器件的导通状态，从而控制逆变器的运行。

继续参见图 1 所示，控制器与光伏发电系统上层的电站管理系统连接，并在接收到电站管理系统发送的控制指令时，调整逆变器的运行状态。具体地，电站管理系统可以定期或实时获取电网的运行参数，对电网的运行状态进行监控，当电网故障或者连接的负载大幅变化导致电网的频率发生变换时，电站管理系统可以根据电网的运行情况，计算用于频率支撑所需的有功功率值，并向控制器下发调度指令，控制器接收到上述调度指令后通过调整逆变器中开关管的驱动信号，调整逆变器输出的有功功率值，从而实现电网的频率支撑功能。

实际使用时，控制器的频率支撑功能通过上层的电站管理系统下发的调度指令实现，控制器受电站管理系统协调控制，当电网的频率发生波动时，响应速度慢。

有鉴于此，本申请实施例提供一种光伏发电系统和光伏发电系统的控制方法，用于快速实现频率支撑。为了使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图对本申请作进一步地详细描述。

图 2 为本申请实施例提供的一种光伏发电系统的结构示意图。参见图 2 所示，光伏发电系统 20 包括直流转换器 21、逆变器 22 和第一控制器 23。其中，直流转换器 21 的输入端与光伏组件 24 的输出端连接，直流转换器 21 的输出端与逆变器 22 连接；逆变器 22 与

第一控制器 23 连接。

在一示例中，光伏发电系统 20 中还可以包括光伏组件 24。

参见图 2 所示，在光伏发电系统 20 并网过程中，光伏组件 24 可以将光能转换为直流电，并将该直流电输出给直流转换器 21；直流转换器 21 可以将光伏组件 24 输出的直流电进行电压转换，并将电压转换后的直流电输出；逆变器 22 可以将直流转换器 21 输出的直流电转换为交流电并输出给电网，从而实现光伏发电系统并网；第一控制器 23 与逆变器 22 连接，可以控制逆变器 22 将接收的直流电转换为交流电。其中，直流转换器 21 与逆变器 22 之间通过直流母线连接。

实际使用时，直流转换器 21 通过直流母线与逆变器 22 连接，直流转换器 21 输出的交流电的电压即为直流母线电压。

具体地，第一控制器 23 可以根据直流转换器 21 输出的直流电的第一电压、逆变器 22 输出的有功功率以及电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，并根据第一驱动信号控制逆变器 22 的运行状态，从而实现逆变器 22 输出的交流电可以实现频率支撑功能。

参见图 2 所示，光伏发电系统 20 在并网过程中，当电网频率发生变化时，第一电压的幅值会发生变化，以及逆变器 22 输出的有功功率也会造成电网频率的变化，即上述三个参数互相影响，因此，当第一控制器当检测到电网偏离其正常工作时的额定频率，可以利用上述三个参数中的任意两个参数生成另一个参数的调整值，并通过生成相应的驱动信号，使逆变器 22 输出用于实现频率支撑的交流电，实现光伏发电系统的频率支撑功能。

其中，电网的运行参数可以包括以下一个或多个：无功电流、有功电流、有功功率、无功功率、电压幅值和电网频率。

应理解，在本申请实施例提供的光伏发电系统 20 中，可以通过光伏发电系统 20 本地的第一控制器 23 进行频率支撑计算，相比于现有技术中上层的电站管理系统进行频率支撑计算，减小了电网频率以及相关参数的获取时间和调度指令的下发时间，从而可以实现快速频率支撑，使电网快速恢复至稳定状态。

另外，本申请实施例提供的光伏发电系统 20，将表征光伏发电系统 20 产量情况的第一电压参与频率支撑计算，考虑了光伏发电系统 20 的产电情况，在不影响电网运行的情况下，可以适量增大光伏发电系统 20 输出的有功功率数值，从而加大电网中新能源的占比。

实际使用时，逆变器 22 可以由开关管、二极管、电感、电容等器件组成。逆变器 22 的工作状态可以通过调节这些器件（例如开关管）的工作状态来实现。

具体地，若逆变器 22 中的开关管为 MOS 管，第一控制器 23 可以与 MOS 管的栅极连接，从通过控制 MOS 管的通断来调整逆变器 22 的运行情况；若逆变器 22 中的开关管为 BJT，第一控制器 23 可以与 BJT 的基极连接，从通过控制 BJT 的通断来调整逆变器 22 的运行情况。

下面结合实施例对第一控制器 23 采用不同参数实现频率支撑的过程进行说明。

实施例一

实际使用时，第一控制器 23 根据直流转换器 21 输出的第一电压和电网频率，生成第一驱动信号。

具体地，第一控制器 23 可以计算第一电压与第一参考电压之间的第一电压差值，计算电网频率与第一参考频率之间的第一频率差值；根据第一电压差值和第一频率差值，生

成第一有功功率控制信号；根据第一有功功率控制信号和电网当前运行参数，生成第一驱动信号。其中，第一参考电压电网正常运行时直流转换器 21 输出额定电压值。第一参考频率为电网正常运行时的额定频率值。

实际使用时，当电网频率高于第一参考频率时，则表征电网上当前传输的有功功率高于电网实际需求的有功功率。当电网的频率低于第一参考频率时，则表征电网上当前传输的有功功率低于电网实际需求的有功功率，根据上述电网频率与逆变器输出的有功功率的对应关系，建立有功-频率下垂控制策略。同理，当直流转换器 21 输出的第一电压高于第一参考电压时，则表明直流转换器 21 输出的功率超出电网正常运行时的额定功率值，当逆变器将上述功率发送给电网时，电网上传输的功率会超出电网实际需求的功率。当直流转换器 21 输出的第一电压低于第一参考功率时，则表明直流转换器 21 输出的功率超出电网正常运行时的额定功率，当逆变器将上述功率发送给电网时，电网上传输的功率会小于电网实际需求的功率，基于上述逆变器输出的有功功率与直流母线电压之间的对应关系，建立电压-有功下垂控制策略。通过上述两个下垂控制策略计算得到频率支撑所需的有功功率值。

实际使用时，第一控制器 23 利用第一电压差值与第一下垂系数构成电压-有功下垂控制策略，得到第一功率值；第一控制器 23 利用第一频率差值与第二下垂系数得到第二功率值，其中，第二下垂系数是根据电网频率与逆变器输出的有功功率之间的对应关系确定的；利用上述两个下垂控制策略得到的第一功率值、第二功率值和第三功率值生成频率支撑所需的第一有功功率控制信号。其中，第一下垂系数是根据直流转换器输出的直流电和逆变器输出的有功功率之间的对应关系确定的。同理，第三功率值为电站管理系统下发的有功功率初始值，电站管理系统用于控制光伏发电系统 20 的运行状态。

在一示例中，第一控制器 23 可以分别与直流传感器和交流传感器连接，直流传感器用于检测直流转换器 21 输出的第一电压，交流传感器可以检测电网的运行参数。其中，交流检测单元可以是但不限于电压传感器和电流传感器。例如，霍尔传感器。

实际使用时，当第一控制器 23 获取到上述传感器检测的数值之后，可以利用下述公式计算用于进行功率支撑的第一有功功率控制信号P_{INV}:

$$P_{INV} = K_{up} * \left(U_{bus} - U_{InvBus}^{ref}\right) + K_{pf} * \left(f_{req}^{ref} - f_{req}\right) + P_{cmd} \quad （公式一）$$

其中，K_{up}第一下垂系数，K_{pf}为第二下垂系数，U_{bus}为第一电压，U_{InvBus}^{ref}为第一参考电压，f_{req}为电网的频率，f_{req}^{ref}为第一参考频率，P_{cmd}为上层的电站管理系统下发的有功功率初始值。其中，第一下垂系数K_{up}和第二下垂系数K_{pf}可以是但不限于常数、指数和幂指数。

具体实施时，第一下垂系数是根据直流母线电压与逆变器 22 输出的有功功率之间的对应关系曲线设置的，第二下垂系数是根据逆变器输出的有功功率与电网频率之间的对应关系曲线设置的。其中，上述数值可以通过比例控制器，积分器、其它组合或者用户选择配置。

参见图 2 所示，第一控制器 23 利用上述公式一生成第一有功功率控制信号，利用第一有功功率控制信号以及当前电网的运行参数生成第一调制波信号，该第一调制波信号与第一载波信号比较后生成第一驱动信号，并发送给逆变器 22 中的开关管，逆变器 22 中的开关管在上述第一驱动信号的控制下调整其导通时序，从而调整逆变器 22 输出的有功功率值，实现频率支撑功能。其中，第一载波信号可以是周期固定的正弦波信号或者脉冲信

号。

由上述公式一可知，可以利用直流母线电压的动态变化和电网频率的动态变化对逆变器22输出的有功功率进行动态调整。

具体地，第一控制器23利用电压-有功下垂控制策略和有功-频率下垂控制策略共同调整逆变器22输出的有功功率。参见公式一可知，当电网频率保持不变时，由于直流转换器21工作在MPPT模式下，随着直流母线电压在[Ubusmin，Ubusmax]范围内逐步增大，则说明光伏发电系统20的产电量逐渐增大时，在不影响电网运行的情况下，可以控制逆变器22输出的有功功率值单调上升，其逆变器22输出的有功功率与直流电压之间的对应关系可参见图3所示。其中，上述直流母线电压范围为直流转换器21正常工作时直流母线的运行范围，根据直流转换器21的运行电压和逆变器输出侧的交流电压幅值共同决定。

实际应用时，第一控制器可以在跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，定期获取电网频率和第一电压；在确定本次与相邻一次获取的电网频率相同、且本次获取的第一电压大于前一次获取的第一电压时，调整第一驱动信号，以使光伏发电系统输出的有功功率增大。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率小于或等于第一设定值，第一设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最大值。其中，第一设定值可以根据电网连接的电能设备进行配置。

在一示例中，当逆变器22输出的有功功率增大时，会使电网上的频率上升，电网上的其它设备可以减小传输给电网的电量，从而实现与电网上其它设备的协调控制。

具体地，第一控制器23利用电压-有功下垂控制策略和有功-频率下垂控制策略共同调整逆变器22输出的有功功率。参见公式一可知，当直流母线电压保持不变时，随着电网频率在[freqmin，freqmax]范围逐步增大，则说明当前电网上传输的有功功率逐渐越多、且超出电网实际需求的有功功率，可以控制逆变器22输出的有功功率单调下降，其中，逆变器22输出的有功功率与电网频率之间的对应关系可参见图4所示。其中，上述电网频率范围为电网正常工作时的波动范围。

实际应用时，第一控制器可以在跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，定期获取电网频率和第一电压；在确定本次与相邻一次获取的第一电压相同、且本次获取的电网频率大于前一次获取的电网频率时，调整第一驱动信号，以使光伏发电系统输出的有功功率减小。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第二设定值，第二设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

结合图3和图4，以及公式一的内容可知，在逆变器22输出的有功功率固定的情况下，直流母线电压与电网频率之间的对应关系可参见图5所示。

实施例二

实际使用时，第一控制器23根据逆变器22输出的有功功率和电网频率，生成第一驱动信号。

具体地，第一控制器23可以根据第一功率差值和第二频率差值，生成第一电压控制信号，根据第一电压控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号。其中，第一功率差值为逆变器22输出的有功功率与第一参考功率之间的差值，第二频率差值为电网频率与第二参考频率之间的差值，第一参考功率为电网正常运行时逆变器22输出的额定有功功率值，第一参考频率为电网正常运行时的额定频率值。

实际使用时，当电网频率高于第二参考频率时，则表征电网上当前传输的有功功率高

于电网实际需求的有功功率。当电网的频率低于第二参考频率时，则表征电网上当前传输的有功功率低于电网实际需求的有功功率，根据上述电网频率与有功功率的对应关系，建立有功-频率下垂控制策略。同理，当电网频率高于第二参考频率时，直流母线电压上升，当电网频率低于第一参考频率时，则直流母线电压下降，基于上述电网频率与直流母线电压之间的对应关系，建立电压-频率下垂控制策略。通过上述两个下垂控制策略计算用于频率支撑的第一电压。

具体地，第一控制器 23 利用第一功率差值与第三下垂系数得到第一直流电压值；第三下垂系数是根据直流转换器 21 输出的有功功率与直流转换器 21 输出的直流电之间的对应关系确定的；利用第二频率差值与第四下垂系数得到第二直流电压值；第四下垂系数是根据电网频率与直流转换器输出的直流电之间的对应关系确定的；根据第一直流电压值、第二直流电压值和第三直流电压值，生成第一电压控制信号。其中，第三直流电压值为电站管理系统下发的直流电压初始值，电站管理系统用于控制光伏发电系统的运行状态。

应理解，逆变器 22 可以工作在 MPPT 模式下，当逆变器 22 可以通过调整直流转换器的输出电压，控制直流转换器的输出功率，因此，当逆变器 22 的输入电压发生改变时，其输出给电网的电压也会发生改变，从而实现频率支撑。

在一示例中，第一控制器 23 可以分别与第一传感器和第二传感器连接，第一传感器用于检测电网的运行参数，第二传感器用于检测逆变器 22 输出的有功功率。其中，第一传感器和第二传感器均为交流传感器，例如，霍尔传感器。

具体地，第一控制器 23 利用电网频率的动态变化和逆变器 22 输出的有功功率的动态变化对逆变器侧的直流电压进行动态调整，具体地，第一控制器 23 采用以下公式计算用于频率支撑的第一电压控制信号：

$$U_{InvBus}^{ref} = D_{up} * (P_{INVRef} - P_{INV}) + D_{uf} * \left(f_{req} - f_{req}^{ref}\right) + U_{InvBus0}^{ref} \quad \text{（公式二）}$$

其中，U_{InvBus}^{ref}为生成的第一电压控制信号，$U_{InvBus0}^{ref}$为电站管理系统下发的直流电压初始值，Dup 为第三下垂系数，Duf 为第四下垂系数，P_{INVRef}为功率指令值，P_{INV}为逆变器输出有功功率。f_{req}为电网的频率，f_{req}^{ref}为参考频率。

其中，第三下垂系数是根据直流转换器 21 输出的有功功率与直流转换器输出的直流电之间的对应关系确定的，第四下垂系数是根据电网频率与直流转换器 21 输出的直流电之间的对应关系确定的。

具体地，第三下垂系数是根据直流母线电压与逆变器 22 输出的有功功率之间的对应关系曲线设置的，第四下垂系数是根据直流转换器 21 输出的第一电压与电网频率之间的对应关系曲线设置的。其中，上述数值可以通过比例控制器，积分器、其它组合或者用户选择配置。

参见图 2 所示，第一控制器 23 利用上述公式二生成用于实现频率支撑的第一电压控制信号，利用第一电压控制信号以及当前电网的运行参数生成第二调制波信号，该第二调制波信号与第二载波信号比较后生成第一驱动信号，并发送给逆变器 22 中的开关管，逆变器 22 中的开关管在上述第二驱动信号的控制下调整其导通时序，从而调整逆变器 22 输出的有功功率值，实现频率支撑功能。其中，第二载波信号可以是周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

由上述公式二可知，可以利用电网频率的动态变化和逆变器输出的有功功率的动态变换对直流转换器 21 输出的直流电压进行动态调整。

具体地，第一控制器23利用电压-有功下垂控制策略和电压-频率下垂控制策略共同调整逆变器22接收的直流电压。参见公式二可知，当逆变器22输出的有功功率保持不变时，随着电网频率在[freqmin，freqmax]范围逐步增大，则说明当前电网上传输的有功功率逐渐越多、且超出电网实际需求的有功功率值，为了电网的正常运行，可以增大直流转换器21输出的第一电压幅值，从而降低逆变器22的输出的有功功率。

实际应用时，第一控制器可以跟据第一驱动信号，控制逆变器的运行状态的过程中，定期获取电网频率和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的逆变器输出的有功功率相同、且本次获取的电网频率大于前一次获取的电网频率时，调整第一驱动信号，以使直流转换器输出的第一电压增大，以及光伏发电系统输出的有功功率减小。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第三设定值，第三设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

继续参见公式二可知，当电网频率保持不变时，随着逆变器22输出的有功功率逐步增大时，说明光伏发电系统20的产电量逐渐增大时，在不影响电网运行的情况下，可增大直流转换器输出的第一电压幅值，从而控制逆变器22输出的有功功率值单调下降。

实际应用时，第一控制器可以在跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，定期获取电网频率和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的电网频率相同、且本次获取的逆变器输出的有功功率压大于前一次获取的逆变器输出的有功功率时，调整第一驱动信号，以使直流转换器输出的第一电压增大，以及光伏发电系统输出的有功功率加你下。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第四设定值，第四设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

实施例三

实际应用时，第一控制器23可以利用直流转换器21输出的直流电的第一电压和逆变器22输出的有功功率，生成第一驱动信号。

具体地，第一控制器23根据第二功率差值和第二电压差值，生成第一频率控制信号；根据第一频率控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号。其中，第二功率差值为逆变器输出的有功功率与第二参考功率之间的差值，第二电压差值为第一电压与第二参考电压之间的差值，第二参考功率为电网正常运行时逆变器输出的额定有功功率值，第二参考电压为电网正常运行时直流转换器输出的额定电压值。

实际使用时，当逆变器22输出的有功功率高于第二参考功率时，则表明逆变器22输出的有功功率高于电网实际需求的有功功率，会造成电网频率上升。当逆变器22输出的有功功率低于第二参考功率时，则表明逆变器22输出的与欧公功率低于电网实际需求的有功功率，会造成电网频率下降。基于上述逆变器22输出的有功功率与电网频率之间的对应关系，建立有功-频率下垂控制策略。同理，当直流转换器21输出的第一电压高于第二参考电压时，则表明电网上传输的功率超出电网实际需求的功率，电网频率上升。当直流转换器21输出的第一电压低于第二参考电压时，则表明电网上传输的功率低于电网实际需求的功率，电网频率下降。基于直流转换器21输出的第一电压与电网频率之间的对应关系，建立电压-频率下垂控制策略，并通过上述两个下垂控制策略计算用于进行频率支撑的频率。

具体地，第一控制器23利用第一功率差值与第三下垂系数得到第一直流电压值；第三下垂系数是根据直流转换器输出的有功功率与直流转换器输出的直流电之间的对应关

系确定的；利用第二频率差值与第四下垂系数得到第二直流电压值；第四下垂系数是根据电网频率与直流转换器输出的直流电之间的对应关系确定的；根据第一直流电压值、第二直流电压值和第三直流电压值，生成第一电压控制信号。其中，第三直流电压值为电站管理系统下发的直流电压初始值，电站管理系统用于控制光伏发电系统的运行状态。

具体地，第一控制器 23 可以分别与直流传感器和交流传感器连接，直流传感器用于检测直流转换器 21 输出的第一电压，交流传感器用于检测逆变器 22 输出的有功功率。

实际使用时，第一控制器 23 利用逆变器 22 输出的有功功率的动态变化和直流转换器 21 输出的第一电压的动态变化，对逆变器 22 输出的交流电的频率进行动态调整，具体地，第一控制器 23 采用以下公式计算用于频率支撑的第一频率控制信号：

$$f_{req}^{ref} = R_{fp} * (P_{INVRef} - P_{INV}) + R_{fu} * \left(U_{bus} - U_{InvBus}^{ref}\right) + f_{req0}^{ref} \quad （公式三）$$

其中，f_{req}^{ref}为生成的第一频率控制信号，f_{req0}^{ref}为电站管理系统下发的初始频率值。Rfp 为第五下垂系数，Rfu 为第六下垂系数，P_{INVRef}为第二参考功率，P_{INV}为逆变器输出有功功率。U_{bus}为第一电压，U_{InvBus}^{ref}为第二参考直流电压。

具体地，第五下垂系数是根据逆变器输出的有功功率与电网频率之间的对应关系确定的，第六下垂系数是根据直流转换器输出的直流电与电网频率之间的对应关系确定的。其中，上述数值可以通过比例控制器，积分器、其它组合或者用户选择配置。

参见图 2 所示，第一控制器 23 利用上述公式三生成用于实现频率支撑的第一频率控制信号，利用第一频率控制信号以及当前电网的运行参数生成第三调制波信号，该第三调制波信号与第三载波信号比较后生成第一驱动信号，并发送给逆变器 22 中的开关管，逆变器 22 中的开关管在上述第二驱动信号的控制下调整其导通时序，从而调整逆变器 22 输出的有功功率值，实现频率支撑功能。其中，第三载波信号可以是周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

由上述公式三可知，可以利用直流转换器输出的第一电压的动态变化和逆变器输出的有功功率的动态变化对逆变器输出的交流电的频率进行动态变化。

具体地，第一控制器 23 利用有功-频率下垂控制策略和电压-频率下垂控制策略共同调整逆变器 22 接收的直流电压。参见公式三可知，当逆变器 22 输出的有功功率保持不变时，由于直流转换器 21 工作在 MPPT 模式下，随着直流母线电压在[Ubusmin，Ubusmax]范围内逐步增大，则说明光伏发电系统 20 的产电量逐渐增大时，在不影响电网运行的情况下，可以控制逆变器 22 输出的有功功率值单调上升，逆变器输出的交流电的频率上升，相应的电网频率也会上升。

实际应用时，第一控制器可以在跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，定期获取第一电压和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的逆变器输出的有功功率相同、且本次获取的第一电压大于前一次获取的第一电压时，调整第一驱动信号，以使逆变器输出的交流电的频率上升，以及光伏发电系统输出的有功功率增大。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率小于或等于第五设定值，以及电网频率小于或等于电网正常运行时的频率最大值。第五设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最大值。

继续参见公式三可知，当直流转换器输出的第一电压保持不变的情况下，随着逆变器输出的有功功率逐渐增大，则说明当前电网上传输的有功功率超出电网实际需求的有功功

率，电网频率会上升，为了保证电网正常运行，可以控制逆变器 22 输出的有功功率值单调下降，以及降低逆变器22输出的交流电的频率，从而降低电网频率。

实际应用时，第一控制器可以在跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，定期获取第一电压和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的第一电压相同、且本次获取的逆变器输出的有功功率大于前一次获取的逆变器输出的有功功率时，调整第一驱动信号，以使逆变器输出的交流电的频率下降，以及光伏发电系统输出的有功功率减小。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第六设定值，以及所述电网频率大于或等于电网正常运行时的频率最小值。第六设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

应理解，上述三个实施例的描述只是为了分别介绍第一控制器控制光伏发电系统运行的三种方式，上述三个实施例中的第一设定值和第五设定值可以为相同的数值，第二设定值、第三设定值、第四设定值和第六设定值可以为相同的数值。

实际使用时，可以利用上述公式一单独控制逆变器输出的有功功率，也可以采用上述公式二和公式三控制直流电压和频率，实现复合控制。

参见图 2 和图 3 所示，逆变器 22 与直流转换器 21 连接，逆变器 22 输出的有功功率主要从直流转换器 21 上获取，为了实现逆变器 22 可以快速输出频率支撑所需的有功功率，本申请实施例提供的光伏发电系统 20 中还可以包括第二控制器，参见图 6 所示，第二控制器 25 可以与直流转换器 21 连接，可以根据第三参考电压与第一电压之间的第三电压差值，生成第二驱动信号，并根据第二驱动信号控制直流转换器 21 输出的有功功率。其中，第三参考电压为电网正常运行时直流转换器 21 输出的额定电压。

如前，当电网的频率升高时直流母线电压会上升，以及当电网的频率下降时，直流母线电压会下降。基于上述频率和直流母线电压之间的关系，第二控制器 25 可以通过检测直流母线电压，确定当前电网的频率，从而输出用于频率支撑的有功功率给逆变器 22。

应理解，第二控制器 25 可以通过电网频率和直流母线电压之间的对应关系，直接通过检测当前直流母线电压进行有功功率调整，从而无需利用高速传输线获取电网侧的频率情况，可以解决直流转换器 21 频率支撑受限于频率采样性能和高速通讯性能的问题。同时，直流转换器 21 通过控制直流母线电压可以通过逆变器光伏发电系统产电情况，从而使逆变器可以根据产电情况控制输出至电网的有功功率的多少，并通过电网频率的变换告知电网中连接的其它设备。

具体实现时，第二控制器具体用于：确定直流转换器的工作模式，工作模式包括单向支撑模式和双向支撑模式；根据直流转换器的工作模式和直流转换器的运行参数生成第三参考电压，直流转换器的运行参数包括输入电流、输入电压和输入功率中的一个或多个；根据第三电压差值和第七下垂系数，得到第四功率值，第七下垂系数是根据直流转换器的输出电压和直流转换器输出的有功功率之间的对应关系确定的；根据第四功率值和最大功率值 MPPE，确定第二有功功率控制信号；根据第二有功功率控制信号和直流转换器的输入参数，生成第二驱动信号。

在一示例中，第二控制器内还可以包括直流检测单元，用于检测直流母线电压，得到第一电压，并将第一电压输出给第二下垂计算单元。

在另一示例中，第二控制器 25 与直流传感器连接，直流传感器的信号输入端与直流转换器的输出端连接，直流传感器的信号输出端与第二控制器 25 连接，第二控制器 25 通

过直流传感器获取第一电压。

第二下垂计算单元在接收到第一电压以及模式选择单元生成的参考电压后，利用下述公式计算用于实现频率支撑的第二有功功率控制信号：

$$P_{BST} = P_{MPPE} + D_{PV} * \left(U^{ref}_{BstBus} - U_{bus}\right)$$（公式四）

其中，P_{BST}为生成的第二有功功率控制信号，P_{MPPE}为估算的最大功率值，D_{PV}为第七下垂系数。其中，第七下垂系数D_{PV}可以是但不限于常数、指数和幂指数。

由公式四可知，当光伏组件 24 的光照情况固定的情况下，最大功率值固定，则直流转换器 21 输出的有功功率由参考电压决定。

具体地，第二控制器 25 可以采用以下公式确定第三参考电压U^{ref}_{bstbus}：

$$U^{ref}_{BstBus} = U_{BstBusRef} + dU(P,\ U_{bus},\ \Delta P)$$（公式五）

其中，$U_{BstBusRef}$为设定值，$dU(P,\ U_{bus},\ \Delta P)$为动态电压调整值，P 为逆变器输出的最大功率值，ΔP为设定的附加预留功率值。其中，动态电压调整值可以通过比例控制器，积分器或者其它组合获得。

应理解，当光伏组件 24 的光照情况改变时，则光伏组件 24 的光电转换效率变换，为了实现光伏发电系统的最大产电量，与光伏组件 24 连接的直流转换器 24 通过动态调整其电压值实现工作在 MPPT 模式。

实际使用时，当直流转换器 21 工作在单向支撑模式下时，ΔP为零。当直流转换器 21 工作在双向支撑模式下时，ΔP小于最大功率值、且大于零，例如ΔP可以是最大功率值的 10%，然后也可以选用其它数值，例如，最大功率值的 15%。其中，设置ΔP的目的是为了控制直流转换器降功率运行，实现对电网频率的双向支撑。

参见公式五可知，当上述模式选择单元在确定直流转换器工作在单向支撑模式下时，直流转换器的母线参考电压主要由动态电压点确定，即直流转换器 21 具有功率快速减小的单向支撑能力，但不具备功率快速增大的支撑能力，但是当电网正常运行时，直流转换器可以能够在 MPPT 模式下运行，以保证光伏发电系统的发电量。

参见图 7 所示，直流转换器 21 在 O1 运行点实现最大功率 Pmppt1 输出，并兼具单向功率快速支撑能力。当光伏组件 24 上的光照增强时，MPPT 单元的输出功率增大，通过根据公式四和公式五，MPPT 单元会使直流转换器 21 的动态点上移到最大功率点 O2 点处，即模式选择模块更新直流电压下垂的参考值U^{ref}_{BstBus}到 U2 点，实现直流转换器工作在 MPPT 模式，并兼具单向功率快速支撑能力。当光伏组件 24 上的光照减弱时，按照公式二和公式三的计算，会使直流转换器的工作电压下降至最大功率点 O3 处，实现 MPPT 模式运行，并兼具单向功率快速支撑能力。

参见公式一至公式五的内容，若直流转换器工作在单向支撑模式，当系统检测到电网频率上升时和电网频率下降时，直流转换器输出的有功功率和逆变器输出的有功功率的波动可参见图 8 和图 9 所示。

参见公式五可知，当上述模式选择单元在确定直流转换器工作在双向支撑模式时，直流转换器的母线参考电压不仅由动态点确定，还会利用ΔP降低附加预留功率值，从而使直流母线的参考电压下降，实现直流转换器工作在功率预留模式，即正常工作时，直流转换器降功率输出。从而在电网频率下降或上升时，可以快速增大或减少其输出的功率，实现双向支撑能力。其中，直流转换器输出的有功功率与直流母线电压之间的对应

关系可参见图 10 所示。

参见公式一至公式五的内容，若直流转换器工作在双向支撑模式，当系统检测到电网频率上升时和电网频率下降时，直流转换器输出的有功功率和逆变器输出的有功功率的波动可参见图 11 和图 12 所示。

其中，直流转换器的工作模式的选择，可以根据用户的选择进行设置，也可以接收上层下发的选择指令进行设置。当然还可以采用其它方式进行设置，例如，直流转换器设置有默认工作模式，当光伏发电系统并网时，可以利用默认工作模式控制直流转换器的运行。

可选的，本申请适用于其它新能源系统的并网架构中，例如，风力发电系统和水利发电系统等，上述新能源系统中均为配置并网逆变器，用于将产生的电能并网的应用场景，也适用于大型储能的应用场景、中小型分布式储能应用场景等。在此仅是举例说明，本申请并不限定具体的应用场景。可选地，本申请也适用于新能源系统的离网场景中。

基于上述光伏发电系统实施例，本申请实施例还提供一种光伏发电系统的控制方法，应用于光伏发电系统中，该方法可以由光伏发电系统中的控制器执行。具体地，光伏发电系统中的控制器包括与逆变器连接的第一控制器。如图 13 所示，本申请实施例提供的方法具体包括以下步骤：

步骤 1301：监控电网的运行参数、直流转换器输出的直流电的第一电压和逆变器输出的有功功率。其中，第一电压为直流转换器输出的直流电的电压幅值，电网的运行参数包括无功电流、有功电流、无功功率、有功功率、电压幅值和电网频率中的一种或多种。

具体实现时，可以利用相应的交流传感器或者直流传感器获取电网的运行参数、第一电压和逆变器输出的有功功率，例如电压传感器和电流传感器。

步骤 1302：根据第一电压、逆变器输出的有功功率以及电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，并根据第一驱动信号控制逆变器的运行状态。

在一种可能的实现方式中，根据第一电压、逆变器输出的有功功率以及电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，包括：根据第一电压差值和第一频率差值，生成第一有功功率控制信号，其中，第一电压差值为第一电压与第一参考电压之间的差值，第一频率差值为电网频率与第一参考频率之间的差值，第一参考电压为电网正常运行时直流转换器输出的额定电压值，第一参考频率为电网正常运行时的额定频率值；根据第一有功功率控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号。

在一种可能的实现方式中，根据第一有功功率控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号，包括：根据第一有功功率控制信号和电网的运行参数生成第一调制波信号；根据第一调制波信号与第一载波信号，生成第一驱动信号，其中，第一载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

在一种可能的实现方式中，根据第一电压差值和第一频率差值，生成第一有功功率控制信号，包括：利用第一电压差值与第一下垂系数得到第一功率值；第一下垂系数是根据直流转换器的输出的直流电压和直流转换器输出的有功功率之间的对应关系确定；利用第一频率差值与第二下垂系数得到第二功率值；第二下垂系数是根据电网频率与逆变器输出的有功功率之间的对应关系确定的；根据第一功率值、第二功率值和第三功率值，生成第一有功功率控制信号，其中，第三功率值为电站管理系统下发的有功功率初始值，电站管理系统用于控制光伏发电系统的运行状态。

在一种可能的实现方式，上述控制方法还包括：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行

状态的过程中，获取电网频率和第一电压；在确定本次与相邻一次获取的电网频率相同、且本次获取的第一电压大于前一次获取的第一电压时，调整第一驱动信号，以使光伏发电系统输出的有功功率增大，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率小于或等于第一设定值，第一设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最大值。

在一种可能的实现方式中，上述控制方法还包括：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取电网频率和第一电压；在确定本次与相邻一次获取的第一电压相同、且本次获取的电网频率大于前一次获取的电网频率时，调整第一驱动信号，以使光伏发电系统输出的有功功率口减小，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第二设定值，第二设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

在一种可能的实现方式中，根据第一电压、逆变器输出的有功功率以及电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，包括：根据第一功率差值和第二频率差值，生成第一电压控制信号，其中，第一功率差值为逆变器输出的有功功率与第一参考功率之间的差值，第二频率差值为电网频率与第二参考频率之间的差值，第一参考功率为电网正常运行时逆变器输出的额定有功功率值，第一参考频率为电网正常运行时的额定频率值；根据第一电压控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号。

在一种可能的实现方式中，根据第一电压控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号，包括：根据第一电压控制信号和电网的运行参数生成第二调制波信号；根据第二调制波信号与第二载波信号，生成第一驱动信号，其中，第二载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

在一种可能的实现方式中，根据第一功率差值和第二频率差值，生成第一电压控制信号，包括：利用第一功率差值与第三下垂系数得到第一直流电压值；第三下垂系数是根据直流转换器输出的有功功率与直流转换器输出的直流电之间的对应关系确定的；利用第二频率差值与第四下垂系数得到第二直流电压值；第四下垂系数是根据电网频率与直流转换器输出的直流电之间的对应关系确定的；根据第一直流电压值、第二直流电压值和第三直流电压值，生成第一电压控制信号，其中，第三直流电压值为电站管理系统下发的直流电压初始值，电站管理系统用于控制光伏发电系统的运行状态。

在一种可能的实现方式中，上述控制方法还包括：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取电网频率和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的逆变器输出的有功功率相同、且本次获取的电网频率大于前一次获取的电网频率时，调整第一驱动信号，以使直流转换器输出的第一电压增大，以及光伏发电系统输出的有功功率减小。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第三设定值，第三设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

在一种可能的实现方式中，上述控制方法还包括：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取电网频率和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的电网频率相同、且本次获取的逆变器输出的有功功率压大于前一次获取的逆变器输出的有功功率时，调整第一驱动信号，以使直流转换器输出的第一电压增大，以及光伏发电系统输出的有功功率减小。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第四设定值，第四设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

在一种可能的实现方式中，根据第一电压、逆变器输出的有功功率以及电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，包括：根据第二功率差值和第二电压差值，生成第一频

率控制信号，其中，第二功率差值为逆变器输出的有功功率与第二参考功率之间的差值，第二电压差值为第一电压与第二参考电压之间的差值，第二参考功率为电网正常运行时逆变器输出的额定有功功率值，第二参考电压为电网正常运行时直流转换器输出的额定电压值；根据第一频率控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号。

在一种可能的实现方式中，根据第一频率控制信号和电网的运行参数，生成第一驱动信号，包括：根据第一频率控制信号和电网的运行参数生成第三调制波信号；根据第三调制波信号与第三载波信号，生成第一驱动信号，其中，第三载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

在一种可能的实现方式中，根据第二功率差值和第二电压差值，生成第一频率控制信号，包括：利用第二功率差值与第五下垂系数，生成第一频率值，第五下垂系数是根据逆变器输出的有功功率与电网频率之间的对应关系确定的；利用第二电压差值与第六下垂系数，生成第二频率值，第六下垂系数是根据直流转换器输出的直流电与电网频率之间的对应关系确定的；根据第一频率值、第二频率值和第三频率值，生成第一频率控制信号，其中，第三频率值为电站管理系统下发的初始频率值，电站管理系统用于控制光伏发电系统的运行状态。

在一种可能的实现方式中，上述控制方法还包括：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取第一电压和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的逆变器输出的有功功率相同、且本次获取的第一电压大于前一次获取的第一电压时，调整第一驱动信号，以使逆变器输出的交流电的频率上升，以及光伏发电系统输出的有功功率增大。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率小于或等于第五设定值，以及所述电网频率小于或等于电网正常运行时的频率最大值。第五设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最大值。

在一种可能的实现方式中，上述控制方法还包括：跟据第一驱动信号控制逆变器的运行状态的过程中，获取第一电压和逆变器输出的有功功率；在确定本次与相邻一次获取的第一电压相同、且本次获取的逆变器输出的有功功率大于前一次获取的逆变器输出的有功功率时，调整第一驱动信号，以使逆变器输出的交流电的频率下降，以及光伏发电系统输出的有功功率减小。其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第六设定值，所述电网频率大于或等于电网正常运行时的频率最小值。第六设定值为电网正常运行时光伏发电系统输出的有功功率最小值。

在一种可能的实现方式中，该方法还包括：根据第一电压和第三电压差值，生成第二驱动信号，并根据第二驱动信号控制直流转换器输出的有功功率，其中，第三电压差值为第三参考电压与第一电压之间的差值，第三参考电压为电网正常运行时直流转换器输出的额定电压。

在一种可能的实现方式中，根据第一电压和第三电压差值，生成第二驱动信号，包括：确定直流转换器的工作模式，工作模式包括单向支撑模式和双向支撑模式；根据直流转换器的工作模式和直流转换器的运行参数生成第三参考电压，直流转换器的运行参数包括输入电流和输入功率中的一个或多个；根据第三电压差值和第七下垂系数，得到第四功率值，第七下垂系数是根据直流转换器的输出电压和直流转换器输出的有功功率之间的对应关系确定的；根据第四功率值和最大功率值 MPPE，确定第二有功功率控制信号；根据第二有功功率控制信号和直流转换器的输入参数，生成第二驱动信号。

在一种可能的实现方式中，根据第二有功功率控制信号和直流转换器的输入参数，生成第二驱动信号，包括：根据第二有功功率控制信号与直流转换器的输入参数，生成第四调制波信号；根据第四调制波信号与第四载波信号，生成第二驱动信号，其中，第四载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

在一种可能的实现方式中，该方法还包括：根据直流转换器的运行参数确定 MPPE。

在一种可能的实现方式中，根据直流转换器的工作模式和直流转换器的运行参数生成第三参考电压，包括：根据直流转换器的工作模式确定附加预留功率值；根据直流转换器的运行参数和附加预留功率值，生成第三参考电压。

结合以上描述，如图 14 所示，为第一控制器根据第一电压和电网频率生成第一驱动信号的流程示意图，参见图 14 所示，第一控制器执行以下步骤：

步骤 1401：监控电网的运行参数和第一电压。其中，电网的运行参数可以包括有功功率、无功功率、有功电流、无功电流、电网电压和电网频率中的一个或多个。

步骤 1402：计算第一电压与第一参考电压之间的第一电压差值，以及电网频率和第一参考频率之间的第一频率差值。

步骤 1403：利用第一电压差值和第一频率差值，生成第一有功功率控制信号。

步骤 1404：根据第一有功功率控制信号和电网的运行参数生成第一驱动信号。

步骤 1405：将第一驱动信号输出给逆变器。

如图 15 所示，为第一控制器根据逆变器输出的有功功率和电网频率生成第一驱动信号的流程示意图，参见图 15 所示，第一控制器执行以下步骤：

步骤 1501：监控电网的运行参数和逆变器输出的有功功率。其中，电网的运行参数可以包括有功功率、无功功率、有功电流、无功电流、电网电压和电网频率中的一个或多个。

步骤 1502：计算逆变器输出的有功功率与第一参考功率之间的第一功率差值，以及电网频率和第二参考频率之间的第二频率差值。

步骤 1503：利用第一功率差值和第二频率差值，生成第一电压控制信号。

步骤 1504：根据第一电压控制信号和电网的运行参数生成第一驱动信号。

步骤 1505：将第一驱动信号输出给逆变器。

如图 16 所示，为第一控制器根据逆变器输出的有功功率和直流转换器输出的第一电压生成第一驱动信号的流程示意图，参见图 16 所示，第一控制器执行以下步骤：

步骤 1601：监控直流转换器输出的第一电压和逆变器输出的有功功率。

步骤 1602：计算第一电压与第二参考电压之间的第二电压差值，以及逆变器输出的有功功率和第二参考功率之间的第二功率差值。

步骤 1603：利用第二功率差值和第二电压差值，生成第一频率控制信号。

步骤 1604：根据第一频率控制信号和电网的运行参数生成第一驱动信号。

步骤 1605：将第一驱动信号输出给逆变器。

实际使用时，逆变器输出的有功功率由直流转换器提供，为了实现频率支撑，直流侧也需要进行输出功率的控制，其中，逆变控制器根据参考电压与直流母线电压之间的第二电压差值，生成第二驱动信号，并根据第二驱动信号控制直流转换器输出的有功功率。

具体地，逆变控制器可以根据第二电压差值和第三下垂系数，得到第四功率值，第三下垂系数是根据直流转换器的输出电压和直流转换器输出的有功功率之间的对应关系确定的；根据第四功率值和最大功率值，确定第二有功功率值；根据第二有功功率控制信号

和直流转换器的输入参数，生成第二驱动信号。

进一步，光伏发电系统中的控制器还包括与直流转换器连接的第二控制器，参见图 17 所示，本申请实施例提供的方法还包括以下步骤：

步骤 1701：监控第一电压。

步骤 1702：根据直流转换器的工作模式确定参考电压。

步骤 1703：计算第三参考电压与第一电压之间的第三电压差值。

步骤 1704：利用第三电压差值和最大功率值，生成第二有功功率控制信号。

步骤 1705：根据第二有功功率控制信号和直流转换器的输入参数生成第二驱动信号。

步骤 1706：将第二驱动信号发送给直流转换器。

在上述实施例中，可以全部或部分地通过软件、硬件、固件或者其任意组合来实现。当使用软件实现时，可以全部或部分地以计算机程序产品的形式实现。计算机程序产品包括一个或多个计算机指令。在计算机上加载和执行计算机程序指令时，全部或部分地产生按照本申请实施例的流程或功能。计算机可以是通用计算机、专用计算机、计算机网络、或者其他可编程装置。计算机指令可以存储在计算机可读存储介质中，或者从一个计算机可读存储介质向另一个计算机可读存储介质传输，例如，计算机指令可以从一个网站站点、计算机、服务器或数据中心通过有线（例如同轴电缆、光纤、数字用户线（digital subscriber line，DSL））或无线（例如红外、无线、微波等）方式向另一个网站站点、计算机、服务器或数据中心进行传输。计算机可读存储介质可以是计算机能够存取的任何可用介质或者是包括一个或多个可用介质集成的服务器、数据中心等数据存储设备。可用介质可以是磁性介质，(例如，软盘、硬盘、磁带)、或者半导体介质（例如固态硬盘（solid state disk，SSD））等。

本申请实施例还提供一种可读存储介质，用于存储上述实施例提供的方法或算法。例如，随机存取存储器（random access memory，RAM）、闪存、只读存储器（read only memory，ROM）、EPROM 存储器、非易失性只读存储器（Electronic Programmable ROM，EPROM）、寄存器、硬盘、可移动磁盘或本领域中其它任意形式的存储媒介。

本申请实施例中所描述的方法或算法的步骤可以直接嵌入控制装置。控制装置可以包括 RAM 存储器、闪存、ROM 存储器、EPROM 存储器、寄存器、硬盘、可移动磁盘或本领域中其它任意形式的存储媒介，用于存储本申请实施例提供的方法或算法的步骤。示例性地，存储媒介可以与控制装置中的处理模块或者处理器（或控制器）连接，以使得处理模块、处理器（或控制器）可以从存储媒介中读取信息，并可以向存储媒介存写信息。可选地，存储媒介还可以集成到处理模块、处理器（或控制器）中。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

尽管结合具体特征及其实施例对本申请进行了描述，显而易见的，在不脱离本申请的范围的情况下，可对其进行各种修改和组合。相应地，本说明书和附图仅仅是所附权利要求所界定的本申请的示例性说明，且视为已覆盖本申请范围内的任意和所有修改、变化、组合或等同物。

显然，本领域的技术人员可以对本申请进行各种改动和变型而不脱离本申请的保护范

围。这样，倘若本申请的这些修改和变型属于本申请权利要求及其等同技术的范围之内，则本申请也意图包含这些改动和变型在内。

权 利 要 求

1.一种光伏发电系统，其特征在于，包括:

直流转换器，用于连接光伏组件的输出并将所述光伏组件输出的直流电进行电压转换;

逆变器，用于将所述直流转换器输出的直流电转换为交流电并输出给电网;

第一控制器，用于根据所述直流转换器输出的直流电的第一电压、所述逆变器输出的有功功率以及所述电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，并根据所述第一驱动信号控制所述逆变器的运行状态，其中，所述第一电压为所述直流转换器输出的直流电的电压幅值，所述电网的运行参数包括无功电流、有功电流、无功功率、有功功率、电压幅值和电网频率中的一个或多个。

2.如权利要求 1 所述的系统，其特征在于，所述第一控制器具体用于:

根据第一电压差值和第一频率差值，生成第一有功功率控制信号，其中，所述第一电压差值为所述第一电压与第一参考电压之间的差值，所述第一频率差值为所述电网频率与第一参考频率之间的差值，所述第一参考电压为所述电网正常运行时所述直流转换器输出的额定电压值，所述第一参考频率为所述电网正常运行时的额定频率值;

根据所述第一有功功率控制信号和所述电网的运行参数，生成所述第一驱动信号。

3.如权利要求 2 所述的系统，其特征在于，所述第一控制器具体用于:

根据所述第一有功功率控制信号和所述电网的运行参数生成第一调制波信号;

根据所述第一调制波信号与第一载波信号，生成所述第一驱动信号，其中，所述第一载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

4.如权利要求 2 或 3 所述的系统，其特征在于，所述第一控制器具体用于:

利用所述第一电压差值与第一下垂系数得到第一功率值;所述第一下垂系数是根据所述直流转换器输出的直流电和所述逆变器输出的有功功率之间的对应关系确定的;

利用所述第一频率差值与第二下垂系数得到第二功率值;所述第二下垂系数是根据所述电网频率与所述逆变器输出的有功功率之间的对应关系确定的;

根据所述第一功率值、所述第二功率值和第三功率值，生成所述第一有功功率控制信号，其中，所述第三功率值为电站管理系统下发的有功功率初始值，所述电站管理系统用于控制所述光伏发电系统的运行状态。

5.如权利要求 2-4 任一项所述的系统，其特征在于，所述第一控制器还用于:

跟据所述第一驱动信号控制所述逆变器的运行状态的过程中，获取所述电网频率和所述第一电压;

在确定本次与相邻一次获取的电网频率相同、且本次获取的第一电压大于前一次获取的第一电压时，调整所述第一驱动信号，以使所述光伏发电系统输出的有功功率增大，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率小于或等于第一设定值，所述第一设定值为所述电网正常运行时所述光伏发电系统输出的有功功率最大值。

6.如权利要求 2-4 任一项所述的系统，其特征在于，所述第一控制器还用于:

跟据所述第一驱动信号控制所述逆变器的运行状态的过程中，获取所述电网频率和所述第一电压;

在确定本次与相邻一次获取的第一电压相同、且本次获取的电网频率大于前一次获取的电网频率时，调整所述第一驱动信号，以使所述光伏发电系统输出的有功功率减小，其

中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第二设定值，所述第二设定值为所述电网正常运行时所述光伏发电系统输出的有功功率最小值。

7.如权利要求 1 所述的系统，其特征在于，所述第一控制器具体用于：

根据第一功率差值和第二频率差值，生成第一电压控制信号，其中，第一功率差值为所述逆变器输出的有功功率与第一参考功率之间的差值，所述第二频率差值为所述电网频率与第二参考频率之间的差值，所述第一参考功率为所述电网正常运行时所述逆变器输出的额定有功功率值，所述第一参考频率为所述电网正常运行时的额定频率值；

根据所述第一电压控制信号和所述电网的运行参数，生成所述第一驱动信号。

8.如权利要求 7 所述的系统，其特征在于，所述第一控制器具体用于：

根据所述第一电压控制信号和所述电网的运行参数生成第二调制波信号；

根据所述第二调制波信号与第二载波信号，生成所述第一驱动信号，其中，所述第二载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

9.如权利要求 7 或 8 所述的系统，其特征在于，所述第一控制器具体用于：

利用所述第一功率差值与第三下垂系数得到第一直流电压值；所述第三下垂系数是根据所述直流转换器输出的有功功率与所述直流转换器输出的直流电之间的对应关系确定的；

利用所述第二频率差值与所述第四下垂系数得到第二直流电压值；所述第四下垂系数是根据所述电网频率与所述直流转换器输出的直流电之间的对应关系确定的；

根据所述第一直流电压值、所述第二直流电压值和第三直流电压值，生成所述第一电压控制信号，其中，所述第三直流电压值为电站管理系统下发的直流电压初始值，所述电站管理系统用于控制所述光伏发电系统的运行状态。

10.如权利要求 7-9 任一项所述的系统，其特征在于，所述第一控制器还用于：

跟据所述第一驱动信号控制所述逆变器的运行状态的过程中，获取所述电网频率和所述逆变器输出的有功功率；

在确定本次与相邻一次获取的逆变器输出的有功功率相同、且本次获取的电网频率大于前一次获取的电网频率时，调整所述第一驱动信号，以使所述直流转换器输出的第一电压增大，以及所述光伏发电系统输出的有功功率减小，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第三设定值，所述第三设定值为所述电网正常运行时所述光伏发电系统输出的有功功率最小值。

11.如权利要求 7-9 任一项所述的系统，其特征在于，所述第一控制器还用于：

跟据所述第一驱动信号控制所述逆变器的运行状态的过程中，获取所述电网频率和所述逆变器输出的有功功率；

在确定本次与相邻一次获取的电网频率相同、且本次获取的逆变器输出的有功功率压大于前一次获取的逆变器输出的有功功率时，调整所述第一驱动信号，以使所述直流转换器输出的第一电压增大，以及所述光伏发电系统输出的有功功率减小，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第四设定值，所述第四设定值为所述电网正常运行时所述光伏发电系统输出的有功功率最小值。

12.如权利要求 1 所述的系统，其特征在于，所述第一控制器具体用于：

根据第二功率差值和第二电压差值，生成第一频率控制信号，其中，所述第二功率差值为所述逆变器输出的有功功率与第二参考功率之间的差值，所述第二电压差值为所述第

一电压与第二参考电压之间的差值，所述第二参考功率为所述电网正常运行时所述逆变器输出的额定有功功率值，所述第二参考电压为所述电网正常运行时所述直流转换器输出的额定电压值；

根据所述第一频率控制信号和所述电网的运行参数，生成所述第一驱动信号。

13.如权利要求 12 所述的系统，其特征在于，所述第一控制器具体用于：

根据所述第一频率控制信号和所述电网的运行参数生成第三调制波信号；

根据所述第三调制波信号与第三载波信号，生成所述第一驱动信号，其中，所述第三载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

14.如权利要求 12 或 13 所述的系统，其特征在于，所述第一控制器具体用于：

利用所述第二功率差值与第五下垂系数，生成第一频率值，所述第五下垂系数是根据所述逆变器输出的有功功率与所述电网频率之间的对应关系确定的；

利用所述第二电压差值与第六下垂系数，生成第二频率值，所述第六下垂系数是根据所述直流转换器输出的直流电与所述电网频率之间的对应关系确定的；

根据所述第一频率值、所述第二频率值和第三频率值，生成所述第一频率控制信号，其中，所述第三频率值为电站管理系统下发的初始频率值，所述电站管理系统用于控制所述光伏发电系统的运行状态。

15.如权利要求 12-14 任一项所述的系统，其特征在于，所述第一控制器还用于：

跟据所述第一驱动信号控制所述逆变器的运行状态的过程中，获取所述第一电压和所述逆变器输出的有功功率；

在确定本次与相邻一次获取的逆变器输出的有功功率相同、且本次获取的第一电压大于前一次获取的第一电压时，调整所述第一驱动信号，以使所述逆变器输出的交流电的频率上升，以及所述光伏发电系统输出的有功功率增大，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率小于或等于第五设定值，以及所述电网频率小于或等于电网正常运行时的频率最大值，所述第五设定值为所述电网正常运行时所述光伏发电系统输出的有功功率最大值。

16.如权利要求 12-14 任一项所述的系统，其特征在于，所述第一控制器还用于：

跟据所述第一驱动信号控制所述逆变器的运行状态的过程中，获取所述第一电压和所述逆变器输出的有功功率；

在确定本次与相邻一次获取的第一电压相同、且本次获取的逆变器输出的有功功率大于前一次获取的逆变器输出的有功功率时，调整所述第一驱动信号，以使所述逆变器输出的交流电的频率下降，以及所述光伏发电系统输出的有功功率减小，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第六设定值，以及所述电网频率大于或等于电网正常运行时的频率最小值，所述第六设定值为所述电网正常运行时所述光伏发电系统输出的有功功率最小值。

17.如权利要求 1-16 任一项所述的系统，其特征在于，所述光伏发电系统还包括与所述直流转换器连接的第二控制器，用于：根据所述第一电压与第三电压差值，生成第二驱动信号，并根据所述第二驱动信号控制所述直流转换器输出的有功功率，其中，所述第三电压差值为第三参考电压与所述第一电压之间的差值，所述第三参考电压为所述电网正常运行时所述直流转换器输出的额定电压。

18.如权利要求 17 所述的系统，其特征在于，所述第二控制器具体用于：

确定所述直流转换器的工作模式，所述工作模式包括单向支撑模式和双向支撑模式；

根据所述直流转换器的工作模式和所述直流转换器的运行参数生成所述第三参考电压，所述直流转换器的运行参数包括输入电流、输入电压和输入功率中的一个或多个；

根据所述第三电压差值和第七下垂系数，得到第四功率值，所述第七下垂系数是根据所述直流转换器的输出电压和所述直流转换器输出的有功功率之间的对应关系确定的；

根据所述第四功率值和最大功率值 MPPE，确定所述第二有功功率控制信号；

根据所述第二有功功率控制信号和所述直流转换器的输入参数，生成所述第二驱动信号。

19.如权利要求 18 所述的系统，其特征在于，所述第二控制器具体用于：

根据所述第二有功功率控制信号与所述直流转换器的输入参数，生成第四调制波信号；

根据所述第四调制波信号与第四载波信号，生成所述第二驱动信号，其中，所述第四载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

20.如权利要求 18 或 19 所述的系统，其特征在于，所述第二控制器还用于：根据所述直流转换器的运行参数，计算所述 MPPE。

21.如权利要求 17-20 任一项所述的系统，其特征在于，所述直流控制器具体用于：

根据所述直流转换器的工作模式确定附加预留功率值；

根据所述直流转换器的运行参数和所述附加预留功率值，生成所述第三参考电压。

22.一种光伏发电系统的控制方法，其特征在于，应用于光伏发电系统中，包括：

监控电网的运行参数、直流转换器输出的直流电的第一电压和所述逆变器输出的有功功率；

根据所述第一电压、所述逆变器输出的有功功率以及所述电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，并根据所述第一驱动信号控制所述逆变器的运行状态，其中，所述第一电压为所述逆变器输出的直流电的电压幅值，所述电网的运行参数包括无功电流、有功电流、无功功率、有功功率、电压幅值和电网频率中的一个或多个。

23.如权利要求 22 所述的方法，其特征在于，所述根据所述第一电压、所述逆变器输出的有功功率以及所述电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，包括：

根据第一电压差值和第一频率差值，生成第一有功功率控制信号，其中，所述第一电压差值为所述第一电压与第一参考电压之间的差值，所述第一频率差值为所述电网频率与第一参考频率之间的差值，所述第一参考电压为所述电网正常运行时所述直流转换器输出的额定电压值，所述第一参考频率为所述电网正常运行时的额定频率值；

根据所述第一有功功率控制信号和所述电网的运行参数，生成所述第一驱动信号。

24.如权利要求 23 所述的方法，其特征在于，所述根据所述第一有功功率控制信号和所述电网的运行参数，生成所述第一驱动信号，包括：

根据所述第一有功功率控制信号和所述电网的运行参数生成第一调制波信号；

根据所述第一调制波信号与第一载波信号，生成所述第一驱动信号，其中，所述第一载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

25.如权利要求 23 或 24 所述的方法，其特征在于，所述根据第一电压差值和第一频率差值，生成第一有功功率控制信号，生成第一驱动信号，包括：

利用所述第一电压差值与第一下垂系数得到第一功率值；所述第一下垂系数是根据直流转换器的输出的直流电压和所述直流转换器输出的有功功率之间的对应关系确定；

利用所述第一频率差值与第二下垂系数得到第二功率值；所述第二下垂系数是根据所述电网频率与所述逆变器输出的有功功率之间的对应关系确定的；

根据所述第一功率值、所述第二功率值和第三功率值，生成所述第一有功功率控制信号，其中，所述第三功率值为电站管理系统下发的有功功率初始值，所述电站管理系统用于控制所述光伏发电系统的运行状态。

26.如权利要求 23-25 任一项所述的方法，其特征在于，还包括：

跟据所述第一驱动信号控制所述逆变器的运行状态的过程中，获取所述电网频率和所述第一电压；

在确定本次与相邻一次获取的电网频率相同、且本次获取的第一电压大于前一次获取的第一电压时，调整所述第一驱动信号，以使所述光伏发电系统输出的有功功率增大，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率小于或等于第一设定值，所述第一设定值为所述电网正常运行时所述光伏发电系统输出的有功功率最大值。

27.如权利要求 23-25 任一项所述的方法，其特征在于，还包括：

跟据所述第一驱动信号控制所述逆变器的运行状态的过程中，获取所述电网频率和所述第一电压；

在确定本次与相邻一次获取的第一电压相同、且本次获取的电网频率大于前一次获取的电网频率时，调整所述第一驱动信号，以使所述光伏发电系统输出的有功功率减小，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第二设定值，所述第二设定值为所述电网正常运行时所述光伏发电系统输出的有功功率最小值。

28.如权利要求 22 所述的方法，其特征在于，所述根据所述第一电压、所述逆变器输出的有功功率以及所述电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，包括：

根据第一功率差值和第二频率差值，生成第一电压控制信号，其中，第一功率差值为所述逆变器输出的有功功率与第一参考功率之间的差值，所述第二频率差值为所述电网频率与第二参考频率之间的差值，所述第一参考功率为所述电网正常运行时所述逆变器输出的额定有功功率值，所述第一参考频率为所述电网正常运行时的额定频率值；

根据所述第一电压控制信号和所述电网的运行参数，生成所述第一驱动信号。

29.如权利要求 28 所述的方法，其特征在于，所述根据所述第一电压控制信号和所述电网的运行参数，生成所述第一驱动信号，包括：

根据所述第一电压控制信号和所述电网的运行参数生成第二调制波信号；

根据所述第二调制波信号与第二载波信号，生成所述第一驱动信号，其中，所述第二载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

30.如权利要求 28 或 29 所述的方法，其特征在于，所述根据第一功率差值和第二频率差值，生成第一电压控制信号，包括：

利用所述第一功率差值与第三下垂系数得到第一直流电压值；所述第三下垂系数是根据所述直流转换器输出的有功功率与所述直流转换器输出的直流电之间的对应关系确定的；

利用所述第二频率差值与所述第四下垂系数得到第二直流电压值；所述第四下垂系数是根据所述电网频率与所述直流转换器输出的直流电之间的对应关系确定的；

根据所述第一直流电压值、所述第二直流电压值和第三直流电压值，生成所述第一电压控制信号，其中，所述第三直流电压值为电站管理系统下发的直流电压初始值，所述电

站管理系统用于控制所述光伏发电系统的运行状态。

31.如权利要求 28-30 任一项所述的方法，其特征在于，还包括:

跟据所述第一驱动信号控制所述逆变器的运行状态的过程中，获取所述电网频率和所述逆变器输出的有功功率;

在确定本次与相邻一次获取的逆变器输出的有功功率相同、且本次获取的电网频率大于前一次获取的电网频率时，调整所述第一驱动信号，以使所述直流转换器输出的第一电压增大，以及所述光伏发电系统输出的有功功率减小，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第三设定值，所述第三设定值为所述电网正常运行时所述光伏发电系统输出的有功功率最小值。

32.如权利要求 28-30 任一项所述的方法，其特征在于，还包括:

跟据所述第一驱动信号控制所述逆变器的运行状态的过程中，获取所述电网频率和所述逆变器输出的有功功率;

在确定本次与相邻一次获取的电网频率相同、且本次获取的逆变器输出的有功功率压大于前一次获取的逆变器输出的有功功率时，调整所述第一驱动信号，以使所述直流转换器输出的第一电压增大，以及所述光伏发电系统输出的有功功率减小，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第四设定值，所述第四设定值为所述电网正常运行时所述光伏发电系统输出的有功功率最小值。

33.如权利要求 22 所述的方法，其特征在于，所述根据所述第一电压、所述逆变器输出的有功功率以及所述电网的运行参数中的两个，生成所述第一驱动信号，包括:

根据第二功率差值和第二电压差值，生成第一频率控制信号，其中，所述第二功率差值为所述逆变器输出的有功功率与第二参考功率之间的差值，所述第二电压差值为所述第一电压与第二参考电压之间的差值，所述第二参考功率为所述电网正常运行时所述逆变器输出的额定有功功率值，所述第二参考电压为所述电网正常运行时所述直流转换器输出的额定电压值;

根据所述第一频率控制信号和所述电网的运行参数，生成所述第一驱动信号。

34.如权利要求 33 所述的方法，其特征在于，所述根据所述第一频率控制信号和所述电网的运行参数，生成所述第一驱动信号，包括:

根据所述第一频率控制信号和所述电网的运行参数生成第三调制波信号;

根据所述第三调制波信号与第三载波信号，生成所述第一驱动信号，其中，所述第三载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

35.如权利要求 33 或 34 所述的方法，其特征在于，所述根据第二功率差值和第二电压差值，生成第一频率控制信号，包括:

利用所述第二功率差值与第五下垂系数，生成第一频率值，所述第五下垂系数是根据所述逆变器输出的有功功率与所述电网频率之间的对应关系确定的;

利用所述第二电压差值与第六下垂系数，生成第二频率值，所述第六下垂系数是根据所述直流转换器输出的直流电与所述电网频率之间的对应关系确定的;

根据所述第一频率值、所述第二频率值和第三频率值，生成所述第一频率控制信号，其中，所述第三频率值为电站管理系统下发的初始频率值，所述电站管理系统用于控制所述光伏发电系统的运行状态。

36.如权利要求 33-35 任一项所述的方法，其特征在于，还包括:

跟据所述第一驱动信号控制所述逆变器的运行状态的过程中，获取所述第一电压和所述逆变器输出的有功功率；

在确定本次与相邻一次获取的逆变器输出的有功功率相同、且本次获取的第一电压大于前一次获取的第一电压时，调整所述第一驱动信号，以使所述逆变器输出的交流电的频率上升，以及所述光伏发电系统输出的有功功率增大，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率小于或等于第五设定值，以及所述电网频率小于或等于电网正常运行时的频率最大值，所述第五设定值为所述电网正常运行时所述光伏发电系统输出的有功功率最大值。

37.如权利要求 33-35 任一项所述的方法，其特征在于，还包括：

跟据所述第一驱动信号控制所述逆变器的运行状态的过程中，获取所述第一电压和所述逆变器输出的有功功率；

在确定本次与相邻一次获取的第一电压相同、且本次获取的逆变器输出的有功功率大于前一次获取的逆变器输出的有功功率时，调整所述第一驱动信号，以使所述逆变器输出的交流电的频率下降，以及所述光伏发电系统输出的有功功率减小，其中，调整第一驱动信号后光伏发电系统输出的有功功率大于或等于第六设定值，以及所述电网频率大于或等于电网正常运行时的频率最小值，所述第六设定值为所述电网正常运行时所述光伏发电系统输出的有功功率最小值。

38.如权利要求 22-37 任一项所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

根据所述第一电压和第三电压差值，生成第二驱动信号，并根据所述第二驱动信号控制所述直流转换器输出的有功功率，其中，第三电压差值为第三参考电压与所述第一电压之间的差值，所述第三参考电压为所述电网正常运行时所述直流转换器输出的额定电压。

39.如权利要求 28 所述的方法，其特征在于，所述根据所述第一电压和第三电压差值，生成第二驱动信号，包括：

确定所述直流转换器的工作模式，所述工作模式包括单向支撑模式和双向支撑模式；

根据所述直流转换器的工作模式和所述直流转换器的运行参数生成所述第三参考电压，所述直流转换器的运行参数包括输入电流和输入功率中的一个或多个；

根据所述第三电压差值和第七下垂系数，得到第四功率值，所述第七下垂系数是根据所述直流转换器的输出电压和所述直流转换器输出的有功功率之间的对应关系确定的；

根据所述第四功率值和最大功率值 MPPE，确定所述第二有功功率控制信号；

根据所述第二有功功率控制信号和所述直流转换器的输入参数，生成所述第二驱动信号。

40.如权利要求 39 所述的方法，其特征在于，所述根据所述第二有功功率控制信号和所述直流转换器的输入参数，生成所述第二驱动信号，包括：

根据所述第二有功功率控制信号与所述直流转换器的输入参数，生成第四调制波信号；

根据所述第四调制波信号与第四载波信号，生成所述第二驱动信号，其中，所述第四载波信号为周期固定的正弦波信号或者脉冲信号。

41.如权利要求 39 或 40 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：根据所述直流转换器的运行参数确定所述 MPPE。

42.如权利要求 39-41 任一项所述的方法，其特征在于，所述根据所述直流转换器的工作模式和所述直流转换器的运行参数生成所述第三参考电压，包括：

根据所述直流转换器的工作模式确定附加预留功率值;

根据所述直流转换器的运行参数和所述附加预留功率值，生成所述第三参考电压。

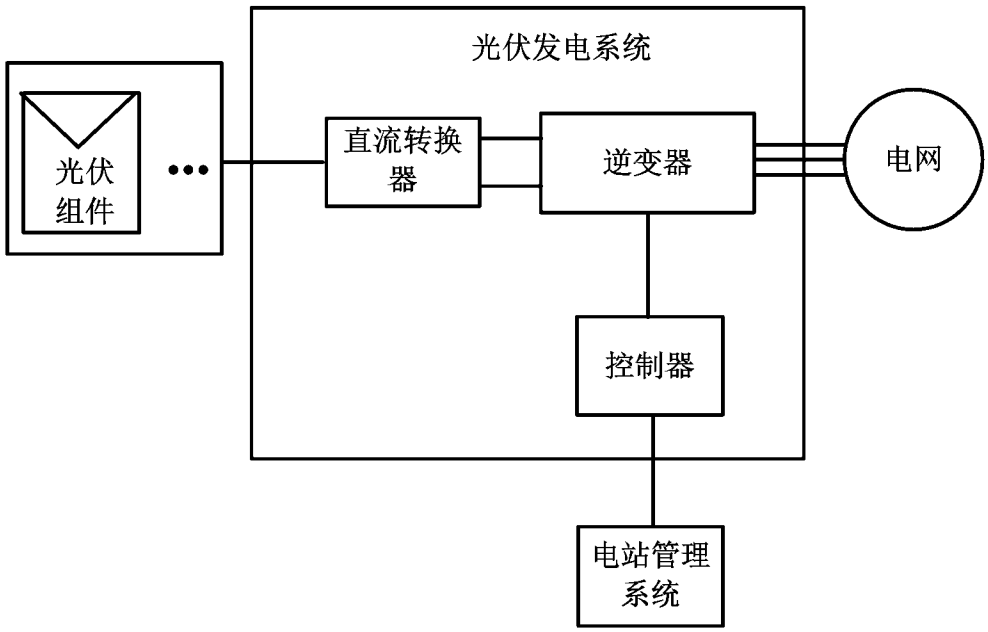

光伏发电系统
光伏组件
直流转换器
逆变器
电网
控制器
电站管理系统

图 1

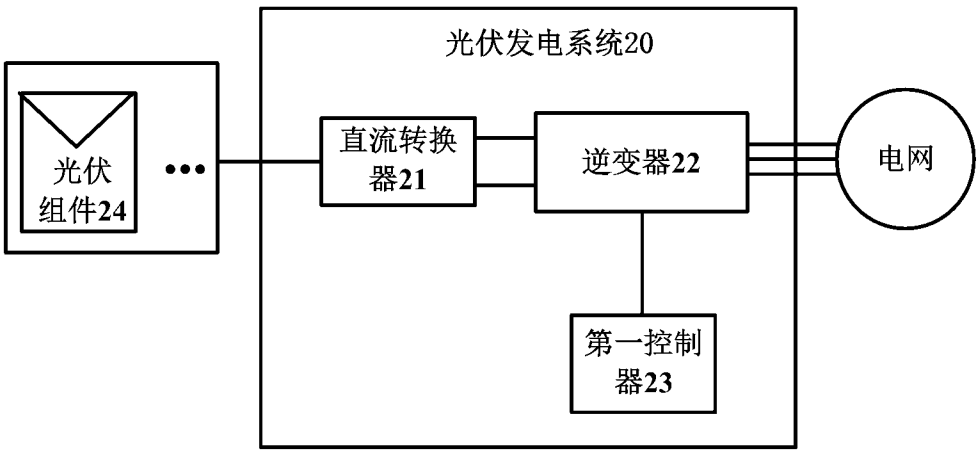

光伏发电系统20
光伏组件24
直流转换器21
逆变器22
电网
第一控制器23

图 2

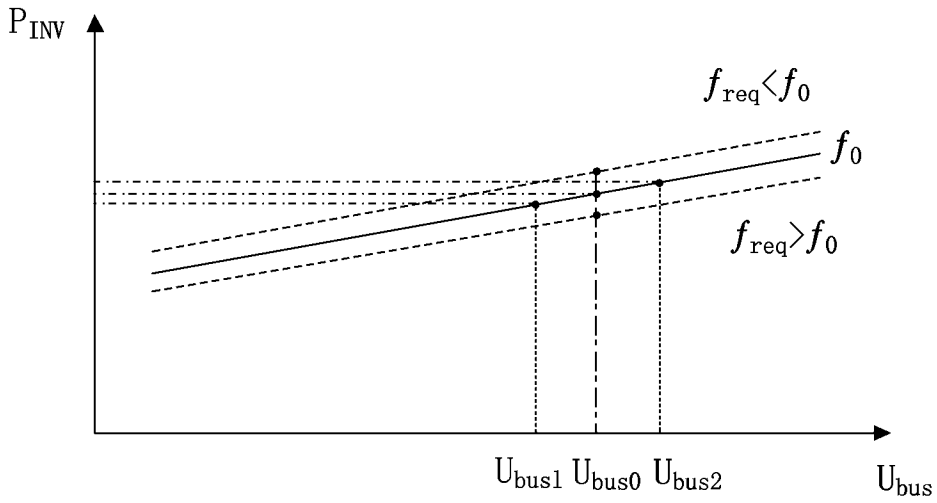

P_{INV}
$f_{req}<f_0$
f_0
$f_{req}>f_0$
U_{bus1} U_{bus0} U_{bus2}
U_{bus}

图 3

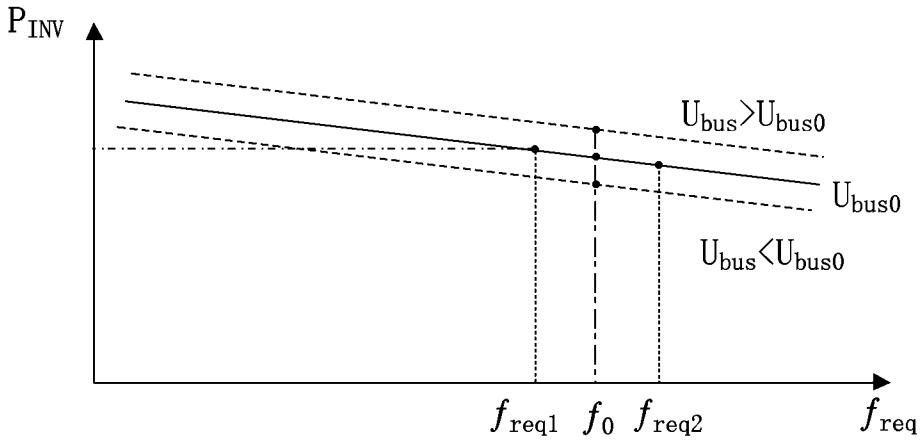

P_{INV}
$U_{bus}>U_{bus0}$
U_{bus0}
$U_{bus}<U_{bus0}$
f_{req1} f_0 f_{req2}
f_{req}

图 4

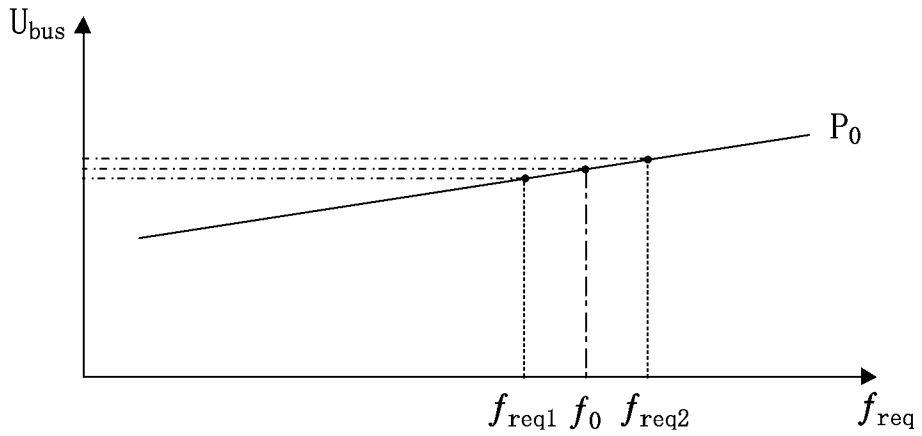

U_{bus}
P_0
f_{req1} f_0 f_{req2}
f_{req}

图 5

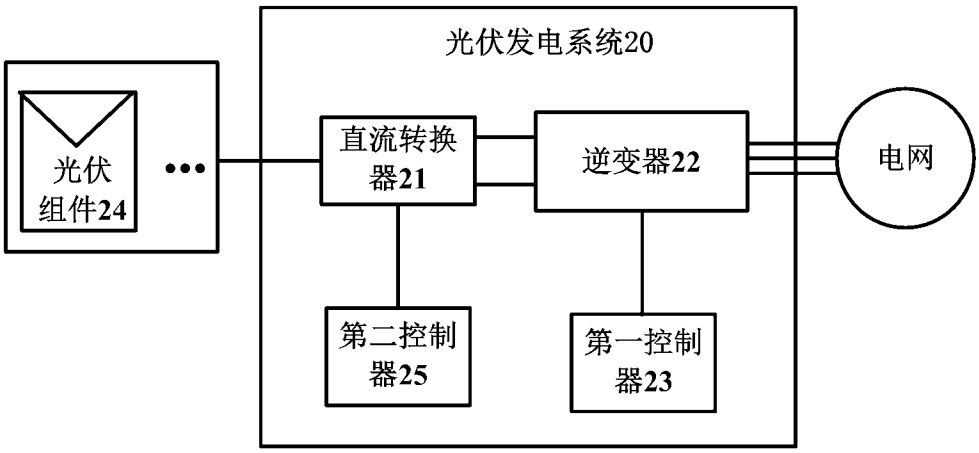

光伏发电系统20
光伏组件24
直流转换器21
逆变器22
电网
第二控制器25
第一控制器23

图 6

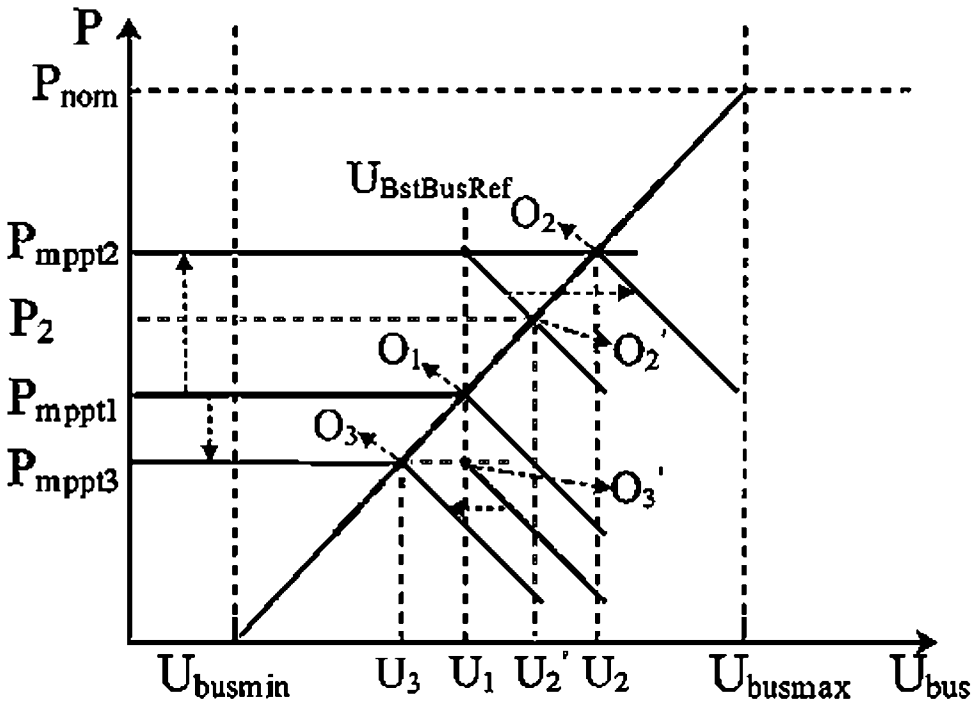
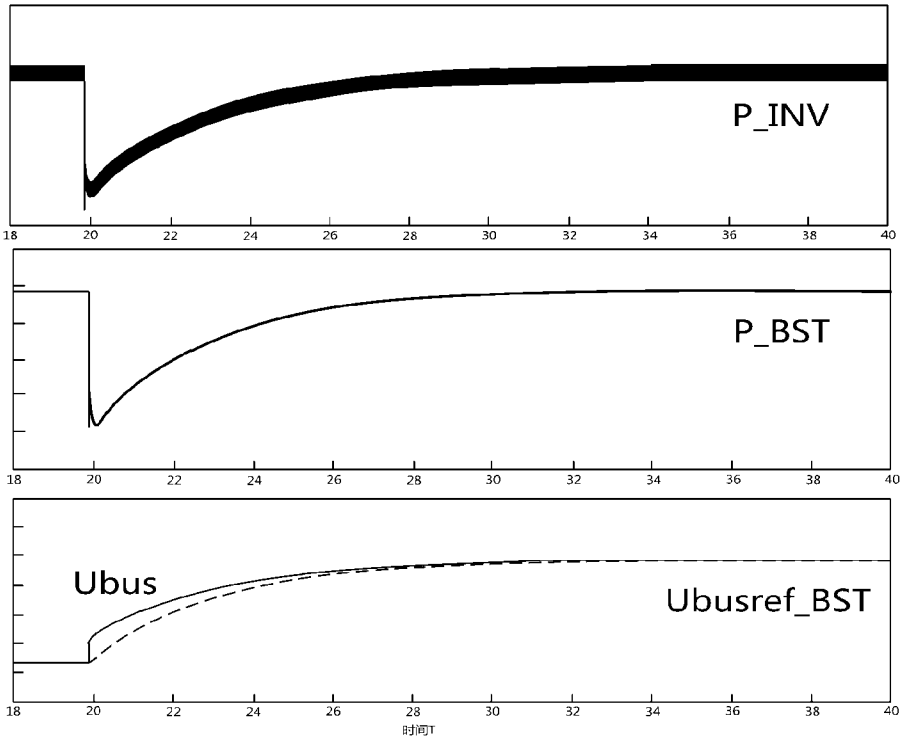
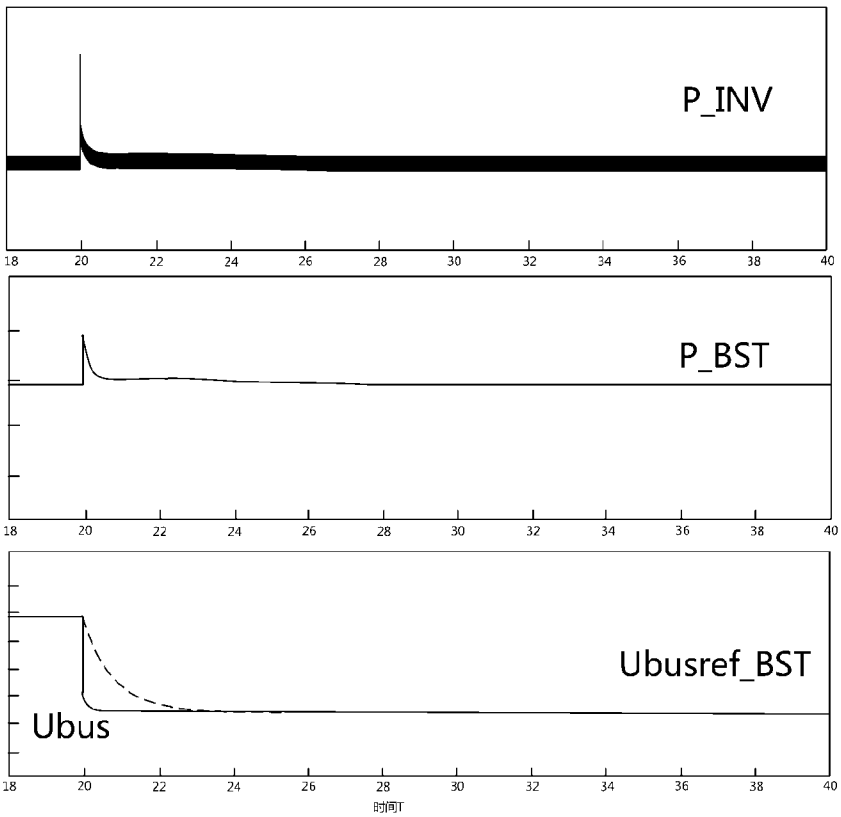

P
Pnom
UBstBusRef
O2
Pmppt2
P2
O1
O2'
Pmppt1
O3
Pmppt3
O3'
Ubusmin
U3
U1
U2'
U2
Ubusmax
Ubus

图 7



系统频率突升工况

图 8



系统频率突降工况

图 9

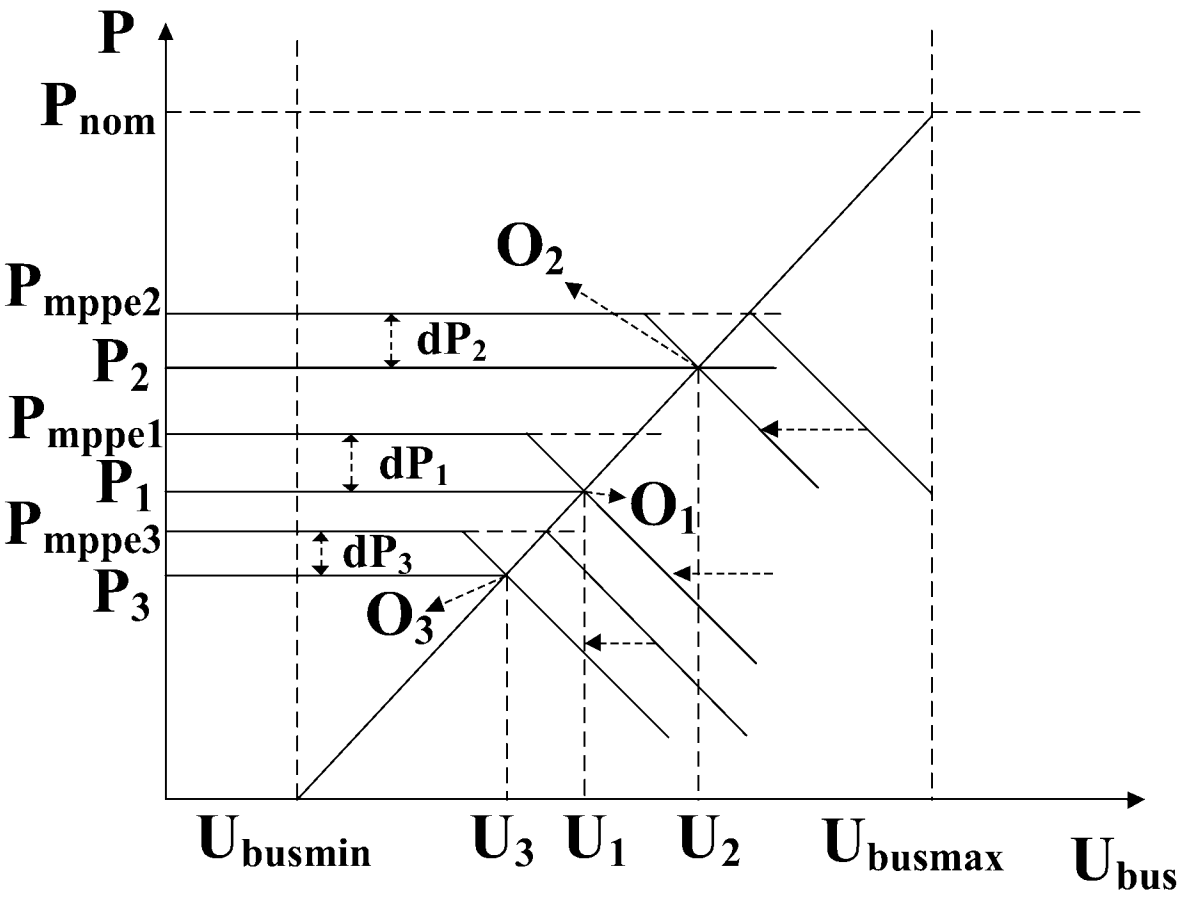
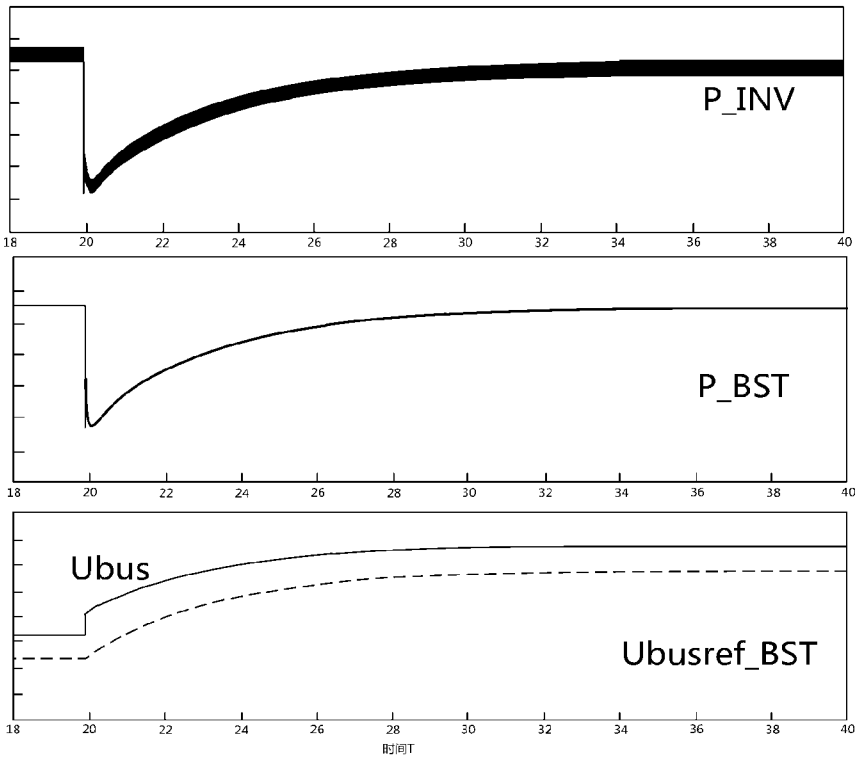
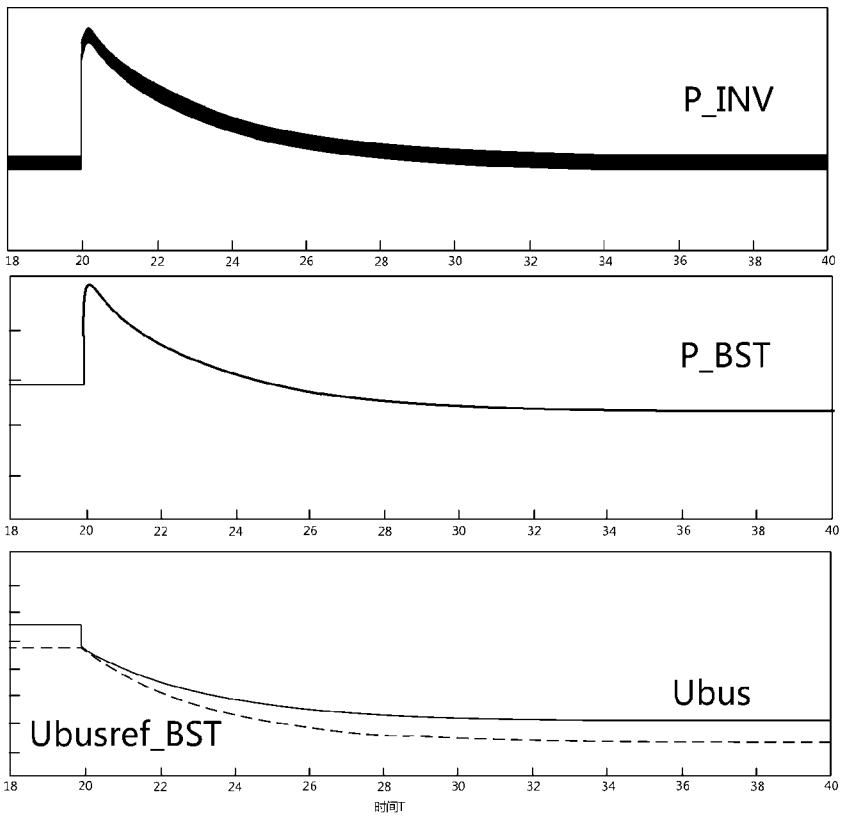

P
Pnom
Pmppe2
P2
Pmppe1
P1
Pmppe3
P3
O2
dP2
dP1
O1
dP3
O3
Ubusmin
U3
U1
U2
Ubusmax
Ubus

图 10



系统频率突升工况

图 11



系统频率突降工况

图 12

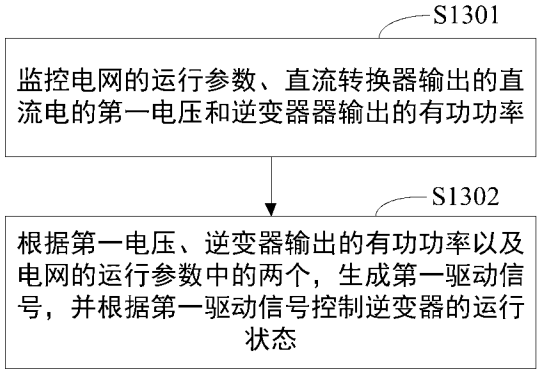

S1301
监控电网的运行参数、直流转换器输出的直流电的第一电压和逆变器器输出的有功功率
S1302
根据第一电压、逆变器输出的有功功率以及电网的运行参数中的两个，生成第一驱动信号，并根据第一驱动信号控制逆变器的运行状态

图 13

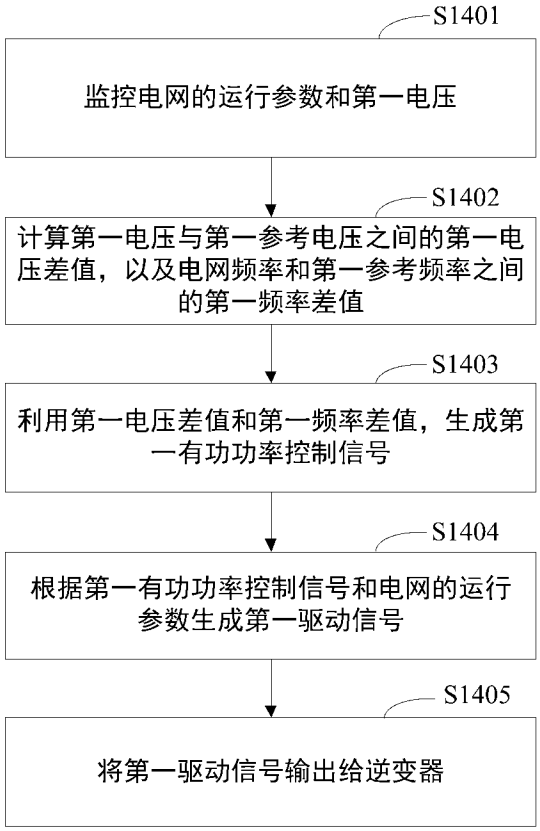

S1401
监控电网的运行参数和第一电压
S1402
计算第一电压与第一参考电压之间的第一电压差值，以及电网频率和第一参考频率之间的第一频率差值
S1403
利用第一电压差值和第一频率差值，生成第一有功功率控制信号
S1404
根据第一有功功率控制信号和电网的运行参数生成第一驱动信号
S1405
将第一驱动信号输出给逆变器

图 14

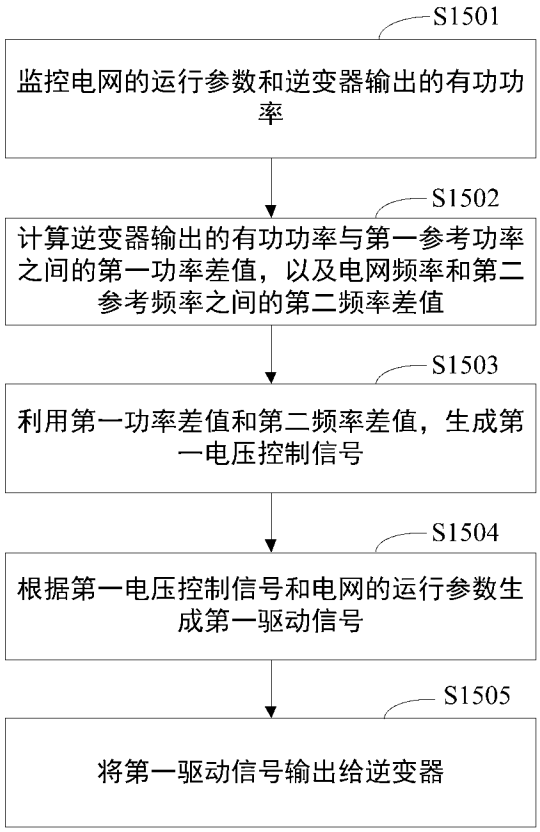

S1501
监控电网的运行参数和逆变器输出的有功功率
S1502
计算逆变器输出的有功功率与第一参考功率之间的第一功率差值，以及电网频率和第二参考频率之间的第二频率差值
S1503
利用第一功率差值和第二频率差值，生成第一电压控制信号
S1504
根据第一电压控制信号和电网的运行参数生成第一驱动信号
S1505
将第一驱动信号输出给逆变器

图 15

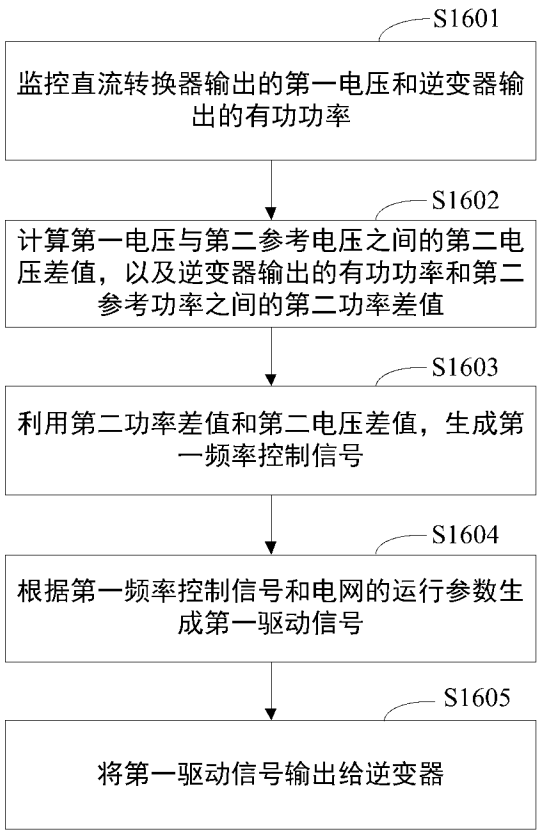

S1601
监控直流转换器输出的第一电压和逆变器输出的有功功率
S1602
计算第一电压与第二参考电压之间的第二电压差值，以及逆变器输出的有功功率和第二参考功率之间的第二功率差值
S1603
利用第二功率差值和第二电压差值，生成第一频率控制信号
S1604
根据第一频率控制信号和电网的运行参数生成第一驱动信号
S1605
将第一驱动信号输出给逆变器

图 16

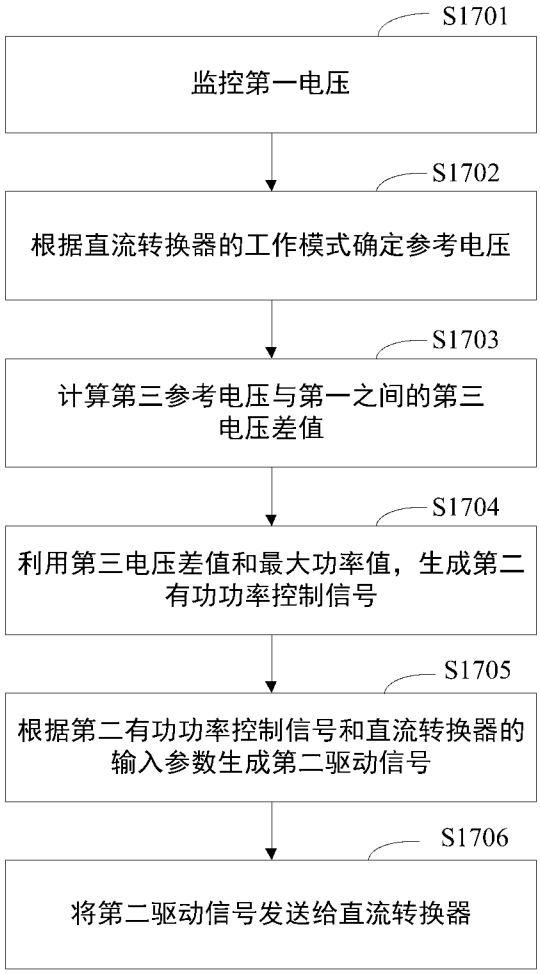

S1701
监控第一电压
S1702
根据直流转换器的工作模式确定参考电压
S1703
计算第三参考电压与第一之间的第三电压差值
S1704
利用第三电压差值和最大功率值，生成第二有功功率控制信号
S1705
根据第二有功功率控制信号和直流转换器的输入参数生成第二驱动信号
S1706
将第二驱动信号发送给直流转换器

图 17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2023/099663

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J3/38(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)

IPC: H02J3/-

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)

CNABS; CNTXT; DWPI; EPTXT; USTXT; WOTXT; CNKI; IEEE: 光伏, 直流, 电压, 功率, 频率, 逆变器, PV, DC, voltage, power, frequency, inverter

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 115411771 A (HUAWEI DIGITAL POWER TECHNOLOGIES CO., LTD.) 29 November 2022 (2022-11-29) description, paragraphs 1-214, and figures 1-17	1-42
X	CN 107591834 A (NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY (BAODING) et al.) 16 January 2018 (2018-01-16) description, paragraphs 34-54, and figures 1-3	1, 12-16, 22, 33-37
Y	CN 107591834 A (NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY (BAODING) et al.) 16 January 2018 (2018-01-16) description, paragraphs 34-54, and figures 1-3	17-21, 38-42
A	CN 107591834 A (NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY (BAODING) et al.) 16 January 2018 (2018-01-16) description, paragraphs 34-54, and figures 1-3	2-11, 23-32

☑ 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
28 August 2023	**01 September 2023**

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

International application No.
PCT/CN2023/099663

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	胡玉华 (HU, Yuhua). "级联H桥光伏逆变器及其有功备用式虚拟同步控制研究 (Non-official translation: Study of Cascaded H-bridge Photovoltaic Inverters and Their Active Standby Virtual Synchronous Control)" *中国优秀硕士学位论文全文数据库工业科技II辑 (Engineering Science & Technology II, C鑰na Master's Theses Full-text Database),* 28 February 2021 (2021-02-28), pages C042-777 ISSN: 1674-0246, chapter 4	1-6, 22-27
Y	胡玉华 (HU, Yuhua). "级联H桥光伏逆变器及其有功备用式虚拟同步控制研究 (Non-official translation: Study of Cascaded H-bridge Photovoltaic Inverters and Their Active Standby Virtual Synchronous Control)" *中国优秀硕士学位论文全文数据库工业科技II辑 (Engineering Science & Technology II, C鑰na Master's Theses Full-text Database),* 28 February 2021 (2021-02-28), pages C042-777 ISSN: 1674-0246, chapter 4	17-21, 38-42
A	胡玉华 (HU, Yuhua). "级联H桥光伏逆变器及其有功备用式虚拟同步控制研究 (Non-official translation: Study of Cascaded H-bridge Photovoltaic Inverters and Their Active Standby Virtual Synchronous Control)" *中国优秀硕士学位论文全文数据库工业科技II辑 (Engineering Science & Technology II, C鑰na Master's Theses Full-text Database),* 28 February 2021 (2021-02-28), pages C042-777 ISSN: 1674-0246, chapter 4	7-16, 28-37
Y	杜永安 等 (DU, Yong'an et al.). "光伏发电接入柔直互联区域调频策略 (Frequency Regulation for PV Generation Connected to an Interconnection Area by VSC-HVDC)" *电力系统保护与控制 (Power System Protection and Control),* 16 March 2021 (2021-03-16), section 3	17-21, 38-42
A	JP 2016119820 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 30 June 2016 (2016-06-30) entire document	1-42

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2023/099663

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 115411771 A	29 November 2022	None	
CN 107591834 A	16 January 2018	None	
JP 2016119820 A	30 June 2016	JP 6455661 B2	23 January 2019

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2023/099663

A. 主题的分类

H02J3/38(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)

IPC: H02J3/-

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））

CNABS;CNTXT;DWPI;EPTXT;USTXT;WOTXT;CNKI;IEEE: 光伏，直流，电压，功率，频率，逆变器，PV, DC, voltage, power, frequency, inverter

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 115411771 A (华为数字能源技术有限公司) 2022年11月29日 (2022-11-29) 说明书第1-214段，图1-17	1-42
X	CN 107591834 A (华北电力大学（保定） 等) 2018年1月16日 (2018-01-16) 说明书第34-54段，图1-3	1,12-16,22,33-37
Y	CN 107591834 A (华北电力大学（保定） 等) 2018年1月16日 (2018-01-16) 说明书第34-54段，图1-3	17-21,38-42
A	CN 107591834 A (华北电力大学（保定） 等) 2018年1月16日 (2018-01-16) 说明书第34-54段，图1-3	2-11,23-32
X	胡玉华. "级联H桥光伏逆变器及其有功备用式虚拟同步控制研究" 中国优秀硕士学位论文全文数据库工业科技II辑, 2021年2月28日 (2021-02-28)，第C042-777页 ISSN：1674-0246, 第四章	1-6,22-27

☑ 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
2023年8月28日	2023年9月1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 陈丽婷 电话号码 (+86) 020-28958359

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2023/099663

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
Y	胡玉华. "级联H桥光伏逆变器及其有功备用式虚拟同步控制研究" 中国优秀硕士学位论文全文数据库工业科技II辑, 2021年2月28日 (2021-02-28), 第C042-777页 ISSN：1674-0246, 第四章	17-21,38-42
A	胡玉华. "级联H桥光伏逆变器及其有功备用式虚拟同步控制研究" 中国优秀硕士学位论文全文数据库工业科技II辑, 2021年2月28日 (2021-02-28), 第C042-777页 ISSN：1674-0246, 第四章	7-16,28-37
Y	杜永安 等. "光伏发电接入柔直互联区域调频策略" 电力系统保护与控制, 2021年3月16日 (2021-03-16), 第3节	17-21,38-42
A	JP 2016119820 A (FUJI ELECTRIC CO LTD) 2016年6月30日 (2016-06-30) 全文	1-42

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/099663

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 115411771 A	2022年11月29日	无	
CN 107591834 A	2018年1月16日	无	
JP 2016119820 A	2016年6月30日	JP 6455661 B2	2019年1月23日