

(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
2018 年 11 月 29 日 (29.11.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/214810 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02J 3/38 (2006.01) **H02J 3/16** (2006.01)
H02J 3/18 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2018/087438
- (22) 国际申请日: 2018 年 5 月 18 日 (18.05.2018)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710363104.2 2017年5月22日 (22.05.2017) CN
- (71) 申请人: 国网浙江省电力公司宁波供电公司 (STATE GRID NING BO CURRENT SUPPLY COMPANY OF ZHEJIANG ELECTRIC POWER COMPANY) [CN/CN]; 中国浙江省宁波市丽园北路 1408 号, Zhejiang 315016 (CN)。 国家电网

网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街 86 号, Beijing 100031 (CN)。

- (72) 发明人: 周开河 (ZHOU, Kaihe); 中国浙江省宁波市丽园北路 1408 号, Zhejiang 315016 (CN)。 朱承治 (ZHU, Chengzhi); 中国浙江省宁波市丽园北路 1408 号, Zhejiang 315016 (CN)。 徐孝忠 (XU, Xiaozhong); 中国浙江省宁波市丽园北路 1408 号, Zhejiang 315016 (CN)。 龚向阳 (GONG, Xiangyang); 中国浙江省宁波市丽园北路 1408 号, Zhejiang 315016 (CN)。 王威 (WANG, Wei); 中国浙江省宁波市丽园北路 1408 号, Zhejiang 315016 (CN)。 王波 (WANG, Bo); 中国浙江省宁波市丽园北路 1408 号, Zhejiang 315016 (CN)。 虞殷树 (YU, Yinshu); 中国浙江省宁波市丽园北路 1408 号, Zhejiang 315016 (CN)。 方云辉 (FANG,

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR CONTROLLING VOLTAGE OF DISTRIBUTED PHOTOVOLTAIC POWER DISTRIBUTION NETWORK

(54) 发明名称: 一种分布式光伏配电网电压的控制方法及装置

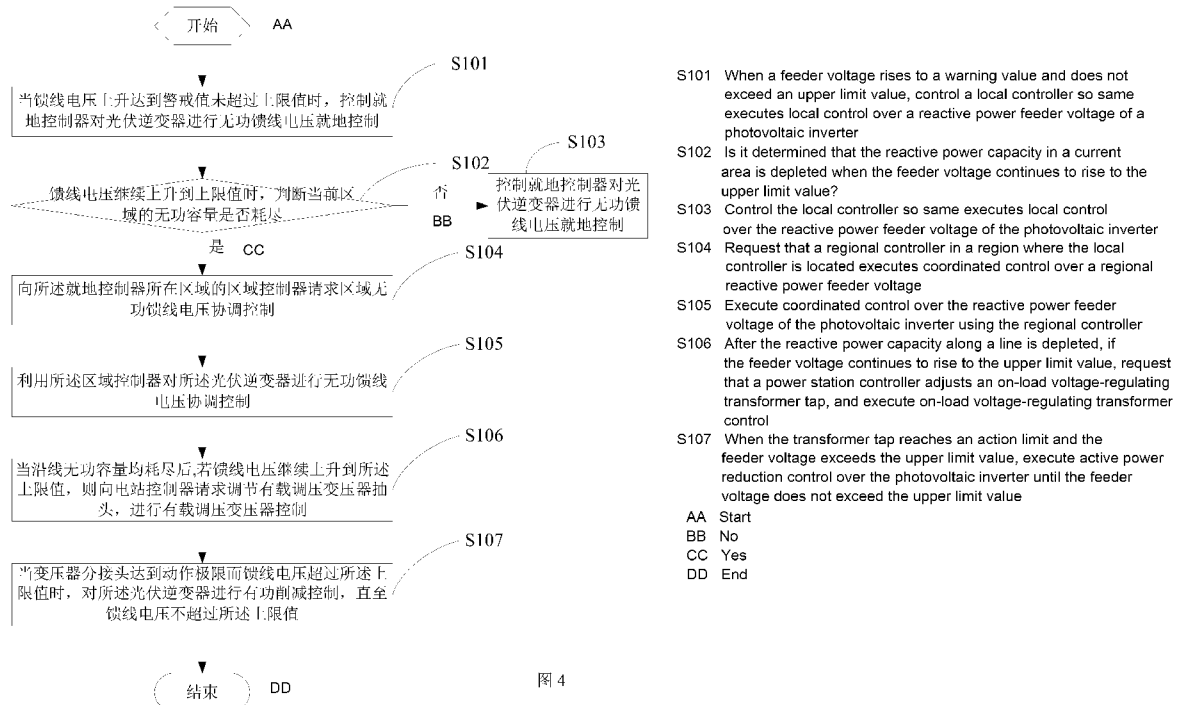


图 4

(57) Abstract: Disclosed are a method and apparatus for controlling the voltage of a distributed photovoltaic power distribution network, which use a step-by-step control strategy from bottom to top. The method involves: when a feeder voltage rises to a warning value and does not exceed an upper limit value, a local controller executing local control over a reactive power feeder voltage of a photovoltaic inverter; when reactive power in a current area is depleted and the feeder voltage still reaches the upper limit value, using a regional controller to execute coordinated control over a regional reactive power feeder voltage; and when the reactive power capacity along a

Yunhui); 中国浙江省宁波市丽园北路1408号, Zhejiang 315016 (CN)。 **张锋(ZHANG, Feng)**; 中国浙江省宁波市丽园北路1408号, Zhejiang 315016 (CN)。 **何宇(HE, Yu)**; 中国浙江省宁波市丽园北路1408号, Zhejiang 315016 (CN)。

(74) 代理人: 北京品源专利代理有限公司(BEYOND ATTORNEYS AT LAW); 中国北京市海淀区莲花池东路39号西金大厦6层, Beijing 100036 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

line is depleted and the feeder voltage still reaches the upper limit value, a power station controller executing on-load voltage-regulating transformer control, and when a transformer tap reaches an action limit and the feeder voltage exceeds the upper limit value, executing active power reduction control over the photovoltaic inverter until the feeder voltage does not exceed the upper limit value.

(57) 摘要: 本申请公开了一种分布式光伏配电网电压的控制方法及装置, 采用自下而上的逐级控制策略, 当馈线电压上升达到警戒值未超过上限值时, 由就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制; 在当前区域的无功耗尽, 而馈线电压仍达到上限值时, 采用区域控制器进行区域无功馈线电压协调控制; 当沿线无功容量均耗尽, 而馈线电压仍达到上限值时, 由电站控制器进行有载调压变压器控制, 并在变压器分接头达到动作极限而馈线电压超过上限值时, 对光伏逆变器进行有功削减控制, 直至馈线电压不超过上限值。

一种分布式光伏配电网电压的控制方法及装置

技术领域

本申请涉及光伏并网技术领域，例如一种分布式光伏配电网电压的控制方法及装置。

背景技术

随着全球能源、环境和气候问题的日益严峻，加快开发利用可再生能源以推动经济发展成为全社会的共识。在可再生能源的开发技术中，光伏发电技术日趋成熟并得到了广泛应用。

在光伏发电系统中，应用最为广泛的是分布式光伏发电系统。分布式光伏发电系统是建在城市建筑物屋顶的光伏发电项目，需接入公共电网（主要是配电网），与公共电网一起为附近的用户供电。由于光伏发电系统具有间歇性出力的特点，其发电功率受天气影响很大，因此光伏发电系统的发电功率容易出现快速剧烈变化的情况。尤其是当光伏发电系统的发电功率较大而系统负荷较轻时，光伏发电系统会出现逆向潮流，使电网电压上升出现过电压，导致电网馈线上的电压波动频繁。

发明内容

以下是对本文详细描述的主题的概述。本概述并非是为了限制权利要求的保护范围。

为解决分布式光伏发电系统接入配电网带来的过电压问题，目前的控制方案主要有两种：第一种是集中式控制方案，该方案由电站控制器收集网络信息，然后电站控制器根据最优化目标和约束条件对收集的网络信息进行数据分析，最后把所得控制变量最优解发送回各发电单元。该方案对电站控制器的依赖程度较高，一旦电站控制器发生故障，电站控制器对全系统的控制就会失灵。第二种是分布式控制方案，该方案中各发电单元以分布式方式控制，由各分布式控制器利用本地信息独自进行调节。该方案没有充分利用全

网设备，调节程度和调节效果有限。因此，如何提供一种分布式光伏配电网电压的控制方法以解决现有控制方案存在的问题是本领域技术人员亟需解决的技术问题。

有鉴于此，本发明实施例公开一种分布式光伏配电网电压的控制方法及装置，以解决集中式控制方案对电站控制器依赖程度高，分布式控制方案调节程度和调节效果有限的问题。

第一方面，本发明实施例提供一种分布式光伏配网电压的控制方法，包括：

当馈线电压上升达到警戒值未超过上限值时，控制就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制；

当利用所述就地控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制后，馈线电压继续上升到所述上限值时，判断当前区域的无功容量是否耗尽；

基于所述当前区域的无功容量耗尽的判断结果，向所述就地控制器所在区域的区域控制器请求区域无功馈线电压协调控制；

利用所述区域控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压协调控制；

当沿线无功容量均耗尽后，基于馈线电压继续上升到所述上限值的结果，向电站控制器请求调节有载调压变压器抽头，进行有载调压变压器控制；

当变压器分接头达到动作极限而馈线电压超过所述上限值时，对所述光伏逆变器进行有功削减控制，直至馈线电压不超过所述上限值。

可选的，所述当馈线电压上升达到警戒值未超过上限值时，控制就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制的过程包括：

当馈线电压上升达到所述警戒值未超过所述上限值时，控制当前就地控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制，并向所述区域控制器发送剩余无功容量值；

在所述当前就地控制器的无功容量耗尽后，控制所述当前就地控制器沿馈线请求位于相同区域的其它就地控制器进行无功馈线电压就地控制。

可选的，控制就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制包括：

控制所述就地控制器对所述光伏逆变器采用馈线电压无功下垂控制方法进行无功馈线电压就地控制。

可选的，所述利用所述区域控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压协调控制包括：

判断当前馈线电压是否达到所述上限值；

基于所述当前馈线电压达到所述上限值的判断结果，计算无功补偿值，并将所述无功补偿值发送给上下游区域控制器；

基于所述当前馈线电压未达到所述上限值的判断结果，判断是否收到所述上下游区域控制器发送的补偿值；

基于收到所述上下游区域控制器发送的补偿值的判断结果，计算本区域无功补偿值；

向本区域的就地控制器发送所述无功补偿值；

判断本区域是否满足补偿需求；

基于本区域满足补偿需求的判断结果，将剩余补偿值发送给所述上下游区域控制器。

可选的，所述对所述光伏逆变器进行有载调压变压器控制包括：

控制所述电站控制器根据电压控制阈值对所有节点电压进行计算，得到有载调压变压器分接头位置调节指令；

根据所述有载调压变压器分接头位置调节指令，进行有载调压变压器控制。

可选的，所述对所述光伏逆变器进行有功削减控制包括：

当对所述光伏逆变器进行有功控制时，通过所述区域控制器将所述区域控制器所属区域的电气参数信息上发给所述电站控制器；

控制所述电站控制器对所述电气参数信息进行潮流计算，得到雅克比矩阵；

通过所述电站控制器对所述雅克比矩阵求逆得到电压灵敏度矩阵；

控制所述电站控制器将所述电压灵敏度矩阵中的矩阵元素作为灵敏度因子分别下发给对应的区域控制器；

控制每个所述区域控制器接收对应的灵敏度因子，并将灵敏度因子下发给对应的就地控制器；

控制每个就地控制器根据接收的灵敏度因子进行有功削减控制。

第二方面，本发明实施例还提供一种分布式光伏配网电压的控制装置，包括：

第一控制单元，设置为当馈线电压上升达到警戒值未超过上限值时，控制就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制；

第一判断单元，设置为当利用所述就地控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制后，馈线电压继续上升到所述上限值时，判断当前区域的无功容量是否耗尽；

第一请求单元，设置为基于所述当前区域的无功容量耗尽的判断结果，向所述就地控制器所在区域的区域控制器请求区域无功馈线电压协调控制；

第二控制单元，设置为利用所述区域控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压协调控制；

第二请求单元，设置为沿线无功容量均耗尽后，基于馈线电压继续上升到所述上限值的结果，向电站控制器请求调节有载调压变压器抽头，进行有载调压变压器控制；

第三控制单元，设置为当变压器分接头达到动作极限而馈线电压超过所述上限值时，对所述光伏逆变器进行有功削减控制，直至馈线电压不超过所述上限值。

可选的，所述第一控制单元包括：

第一控制子单元，设置为当馈线电压上升达到所述警戒值未超过所述上限值时，控制当前就地控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制，并向所述区域控制器发送剩余无功容量值；

第一请求子单元，设置为在所述当前就地控制器的无功容量耗尽后，控制所述当前就地控制器沿馈线请求位于相同区域的其它就地控制器进行无功馈线电压就地控制。

可选的，所述第一控制单元设置为：

控制所述就地控制器对所述光伏逆变器采用馈线电压无功下垂控制方法进行无功馈线电压就地控制。

可选的，所述第二控制单元包括：

第二判断子单元，设置为判断当前馈线电压是否达到所述上限值；

第一计算子单元, 设置为基于所述当前馈线电压达到所述上限值的判断结果, 计算无功补偿值, 并将所述无功补偿值发送给上下游区域控制器;

第三判断子单元, 设置为基于所述当前馈线电压未达到所述上限值的判断结果, 判断是否收到所述上下游区域控制器发送的补偿值;

第二计算子单元, 设置为基于收到所述上下游区域控制器发送的补偿值的判断结果, 计算本区域无功补偿值;

第一发送子单元, 设置为向本区域的就地控制器发送所述无功补偿值;

第四判断子单元, 设置为判断本区域是否满足补偿需求;

第二发送子单元, 设置为基于本区域满足补偿需求的判断结果, 将剩余补偿值发送给所述上下游区域控制器。

可选的, 所述第二请求单元包括:

第二控制子单元, 设置为控制所述电站控制器根据电压控制阈值对所有节点电压进行计算, 得到有载调压变压器分接头位置调节指令;

第三控制子单元, 设置为根据所述有载调压变压器分接头位置调节指令, 进行有载调压变压器控制。

可选的, 所述第三控制单元包括:

第三发送子单元, 设置为当对所述光伏逆变器进行有功控制时, 通过所述区域控制器将所述区域控制器所属区域的电气参数信息上发给所述电站控制器;

第四控制子单元, 设置为控制所述电站控制器对所述电气参数信息进行潮流计算, 得到雅克比矩阵;

矩阵求逆子单元, 设置为通过所述电站控制器对所述雅克比矩阵求逆得到电压灵敏度矩阵;

第一下发子单元, 设置为控制所述电站控制器将所述电压灵敏度矩阵中的矩阵元素作为灵敏度因子分别下发给对应的区域控制器;

第二下发子单元, 设置为控制每个所述区域控制器接收对应的灵敏度因子, 并将灵敏度因子下发给对应的就地控制器;

第五控制子单元, 设置为控制每个就地控制器根据接收的灵敏度因子进行有功削减控制。

从上述的技术方案可知, 本申请公开了一种分布式光伏配电网电压的控

制方法及装置，采用自下而上的逐级控制策略，当馈线电压上升达到警戒值未超过上限值时，首先由就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制；在当前区域的无功耗尽，而馈线电压仍达到上限值时，采用区域控制器进行区域无功馈线电压协调控制；当沿线无功容量均耗尽，而馈线电压仍达到上限值时，由电站控制器进行有载调压变压器控制，并在变压器分接头达到动作极限而馈线电压超过上限值时，对光伏逆变器进行有功削减控制，直至馈线电压不超过上限值。由此可知，本申请公开的控制方案同时结合了集中式控制方案和分布式控制方案的优势，充分利用了全网设备和沿线光伏逆变器无功容量，有效缓解甚至解决了馈线电压超过上限值的问题，保证了用户的经济利益。

在阅读并理解了附图和详细描述后，可以明白其他方面。

附图说明

图1为本发明实施例应用的配网系统拓扑结构图；

图2为本发明实施例公开的一种对分布式光伏配网电压的控制层级的分层示意图；

图3为本发明实施例公开的一种对分布式光伏配网电压的控制层级的分区示意图；

图4为本发明实施例公开的一种分布式光伏配网电压的控制方法流程图；

图5为本发明实施例公开的一种对馈线电压的无功功率进行下垂控制的示意图；

图6为本发明实施例公开的一种利用区域控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压协调控制的方法流程图；

图7为本发明实施例公开的一种对光伏逆变器进行有功削减的控制流程图；

图8为本发明实施例公开的一种分布式光伏配网电压的控制装置的结构示意图；

图9为本发明实施例公开的一种第二控制单元的结构示意图；

图10为本发明实施例公开的一种第三控制单元的结构示意图。

具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。

本发明实施例公开了一种分布式光伏配电网电压的控制方法及装置，以解决现有集中式控制方案对电站控制器依赖程度高，分布式控制方案调节程度和调节效果有限的问题。

图1为本发明实施例应用的配网系统拓扑结构简图，将上级输配电系统视为一个恒压源AC，经110/10.5kV有载调压变压器后接一条放射状配网馈线，沿馈线接有负荷（如图1中示出的负荷1、负荷i和负荷N）和分布式光伏，其中，分布式光伏经逆变器和变压器并网。

从变压器低压侧开始编号，沿馈线对接有负荷和分布式光伏的节点进行编号，分别为0、1、2、……、N，相应每段线路阻抗为 $R_1 + jX_1$ 、……、 $R_i + jX_i$ 、 $R_N + jX_N$ ，其中， R_i 表示节点编号为i的线路电阻， X_i 表示节点编号为i的线路电抗， j 为复数标记。节点接有负荷和DG（Distributed Generation，分布式发电）单元，每个DG单元由PV(Photo Voltaic，太阳光电)组件、逆变器和变压器组成，下标表示其接入位置。

在对分布式光伏配网电压进行控制前，本申请首先对分布式光伏配网电压的控制层级进行了分层，如图2所示，将控制层级自下而上分为：用户层电压自治控制、馈线层电压协调控制和电站层电压统筹控制。用户层电压自治控制的代理为用户代理，对应就地控制器；馈线层电压协调控制的代理为馈线代理，对应区域控制器；电站层电压统筹控制的代理为变电站代理，对应电站控制器。每类代理根据实际情况可有多多个。

用户层电压的就地控制由用户内部厂站系统中的就地控制器来实现。当对光伏逆变器进行无功就地控制时，就地控制器利用本地光伏逆变器的无功容量进行调节；而当对光伏逆变器进行无功协调控制和有功控制时，就地控制器根据区域控制器下发的决策对本地用户光伏逆变器的输出功率进行调整，以实现电压控制。

馈线层电压协调控制由馈线上的区域控制器利用分布式多代理技术实

现。当馈线电压超过上限值而本地无功容量耗尽时，区域控制器通过相邻代理间的通信和本地计算得到解决电压过电压的决策。当进行有功控制时，区域控制器接收电站控制器的电压灵敏度计算结果，并将灵敏度因子下发给对应的就地控制器。

电站层电压统筹控制由变电站中的电站控制器来实现，只在有载调压变压器控制和有功控制时使用。当进行有载调压变压器控制时，电站控制器根据电压控制阈值对所有节点电压进行计算，得到有载调压变压器分接头位置调节指令。当对光伏逆变器进行有功控制时，馈线层的区域控制器将本区域功率和电压等电气参数信息点对点向上发送给变电站层的电站控制器，在电站控制器中进行潮流计算得到雅克比矩阵，对雅克比矩阵求逆得到电压灵敏度矩阵，然后将电压灵敏度矩阵中的矩阵元素作为灵敏度因子分别下发给对应的区域控制器。

本领域技术人员可以理解的是，在配网馈线阻抗比恒定不变的条件下，馈线上电压的最高点为有功功率或无功功率的注入节点，即线路首端可为分布式光伏的接入点。因此，在对分布式光伏逆变器的控制层级进行分层后，还可以根据分布式光伏接入点将配电网分区。

对配电网的分区策略主要在馈线层电压协调控制实现。具体的，根据馈线末端光伏用户电压灵敏度因子的大小，对光伏用户进行分区，可将灵敏度因子相对接近且和其他灵敏度因子相差较大的光伏用户，组成一个电压自治控制区域。其中，电压灵敏度因子可根据控制变量和扰动变量取期望的随机潮流计算得到。

举例说明，如图3所示，主干馈线上有光伏用户A和光伏用户B，分支馈线上有光伏用户X和光伏用户Y。光伏用户A内部有三组光伏阵列，分别经逆变器变为交流电，经配电箱与负荷一起接入0.4kV母线，然后经变压器升压并入主干馈线。光伏用户B内部光伏组件分两组经五个逆变器变为交流电，经配电箱和单独变压器并入主干馈线，负荷经单独变压器并网。光伏用户X类比光伏用户A，光伏用户Y类比光伏用户B。每一个光伏并网用户都装有一个就地控制器，能够得到并网点电压、光伏出力大小等信息。开始，可根据历史期望数据或规划容量等计算潮流，得到电压灵敏度因子。图3中显示的是光伏用户X和光伏用户Y的灵敏度相近且与光伏用户A和光伏用户B相差都较大，所以将

光伏用户X和光伏用户Y视为一个区域，光伏用户A和光伏用户B分别单独构成一个区域，相应设置区域控制器。

如图4所示，本发明实施例公开的一种分布式光伏配网电压的控制方法流程图，该方法包括如下步骤：

步骤 S101、当馈线电压上升达到警戒值未超过上限值时，控制就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制；

可选的，就地控制器对光伏逆变器采用电压无功下垂控制策略进行无功馈线电压就地控制。也即通过监测电力用户公共连接点或并网点电压，并根据电压相对变动量按一定比例要求控制光伏逆变器输出的无功功率，以调节改善并网点电压。

如图5所示，横坐标为馈线电压（用V表示），纵坐标为光伏逆变器的无功功率（用Q表示），首先在用户层级对光伏逆变器进行无功控制，若馈线电压仍达到上限值，则再在馈线层级对光伏逆变器进行无功控制。可选的，用户层级的就地控制器监测用户并网电压，当馈线电压处于正常运行范围时，就地控制器控制本地光伏逆变器的有功功率跟随最大功率点即MPPT（Maximum Power Point Tracking，最大功率点跟踪）控制，光伏逆变器不进行无功调节；当馈线电压上升达到警戒值未超过上限值时，调节光伏逆变器无功功率以预防电压馈线电压超越上限值。

其中，光伏逆变器的无功功率最大值受公式（1）和公式（2）约束，即光伏逆变器的无功功率受限于光伏逆变器容量和并网点功率因数考核要求，公式（1）和公式（2）的表达式具体如下：

$$P_{PV,i}^2 + Q_{PV,i}^2 \leq S_{INV,i}^2 \quad (1) ;$$

$$\frac{P_{PV,i}}{\sqrt{P_{PV,i}^2 + Q_{PV,i}^2}} \leq \cos \theta_{max} = PF_{min} \quad (2) ;$$

式中， $P_{PV,i}$ 表示第i个光伏系统的有功功率， $Q_{PV,i}$ 表示第i个光伏系统的无功功率， $S_{INV,i}$ 表示第i个光伏系统的光伏逆变器的容量， PF_{min} 表示最小功率因数， θ_{max} 表示最小功率因数 PF_{min} 对应的功率因数角。

步骤 S102、当利用所述就地控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制后，馈线电压继续上升到所述上限值时，判断当前区域的无功容量是否耗尽，如果没有耗尽，则执行步骤 S103，如果耗尽，执行步骤 S104；

需要说明的是，当利用就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制后，馈线电压低于上限值，则对分布式光伏配网电压的控制流程结束。

步骤 S103、控制就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制；

步骤 S104、向所述就地控制器所在区域的区域控制器请求区域无功馈线电压协调控制，并继续执行步骤 S105；

若当前区域无功容量耗尽而后馈线电压仍超过上限值，则需转由馈线层对光伏逆变器进行无功控制。

步骤 S105、利用所述区域控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压协调控制；

当利用区域控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压协调控制后，馈线电压低于上限值，则对分布式光伏配网电压的控制流程结束。

可选的，区域控制器根据馈线电压超过上限值的程度，向上下相邻电压区域控制器发送无功补偿需求量。在相邻区域中，就地控制器与对应的区域控制器点对点通信，就地控制器向对应区域控制器发送自身剩余无功容量，区域控制器根据相邻区域需求补偿量和本区域剩余容量决定本区域补偿量。若无法满足需求，若馈线电压仍越限，则继续向上下游相邻区域控制器点对点通信，完成上述过程，以此类推。

步骤 S106、当沿线无功容量耗尽后，若馈线电压继续上升到所述上限值，则向电站控制器请求调节有载调压变压器抽头，进行有载调压变压器控制；

可选的，馈线上的区域控制器采集本区域节点电压信息，并点对点发送给变电站的电站控制器。当沿线光伏逆变器的无功容量均耗尽却仍存在馈线电压超过上限值时，电站控制器根据电压控制阈值对所有节点电压进行公式

(3) 和公式 (4) 计算，公式 (3) 和公式 (4) 的表达式如下：

$$n_{\text{next}} \in [n_{\text{tap min}}, n_{\text{tap max}}] \cap [n_{\text{tap now}}, n_{\text{tap now}} + x_{\text{rate max}}] \quad (3)$$

$$[x_{\text{rate min}}, x_{\text{rate max}}] = \bigcap_{i=1,2,\dots,n} \left[\frac{V_{\text{th min}}}{V_i}, \frac{V_{\text{th max}}}{V_i} \right] \quad (4)$$

式中， $n_{\text{tap min}}$ 为分接头位置最小可调值， $n_{\text{tap max}}$ 为分接头位置最大可调值，

$x_{\text{rate min}}$ 为分接头最小可调比例, $x_{\text{rate max}}$ 为分接头最大可调比例, $n_{\text{tap now}}$ 为有载调压变压器当前分接头位置, n 为区域数量, $V_{\text{th min}}$ 为电压下限值, $V_{\text{th max}}$ 为电压上限值, V_i 为光伏并网点电压, i 为光伏用户序号。

由此可以得到有载调压变压器分接头位置调节指令, 根据有载调压变压器分接头位置调节指令, 进行有载调压变压器控制。这样可以缓解甚至解决馈线电压超过上限值的问题, 从而减少或避免光伏有功出力削减, 保证用户经济收益。

当沿线无功没有耗尽时, 继续判断馈线电压是否达到上限值。

步骤 S107、当变压器分接头达到动作极限而馈线电压超过所述上限值时, 对所述光伏逆变器进行有功削减控制, 直至馈线电压不超过所述上限值。

当变压器分接头未达到动作极限而馈线电压超过所述上限值时, 继续执行步骤 S106。

综上可知, 采用自下而上的逐级控制策略, 当馈线电压上升达到警戒值未超过上限值时, 首先由就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制; 在当前区域的无功耗尽, 而馈线电压仍达到上限值时, 采用区域控制器进行区域无功馈线电压协调控制; 当区域控制器的无功耗尽, 而馈线电压仍达到上限值时, 由电站控制器进行有载调压变压器控制, 并在变压器分接头达到动作极限而馈线电压超过上限值时, 对光伏逆变器进行有功削减控制, 直至馈线电压不超过上限值。由此可知, 本申请公开的控制方案同时结合了集中式控制方案和分布式控制方案的优势, 充分利用了全网设备和沿线光伏逆变器无功容量, 有效缓解甚至解决了馈线电压超过上限值的问题, 保证了用户的经济利益。

可选的, 上述实施例中的步骤 S101, 包括:

当馈线电压上升达到警戒值未超过上限值时, 当前就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制, 并向区域控制器发送剩余无功容量值;

在当前就地控制器的无功容量耗尽后, 沿馈线请求位于相同区域的其它就地控制器进行无功馈线电压就地控制。

可选的,如图6所示,本申请一实施例公开的一种利用区域控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压协调控制的方法流程图,该方法包括步骤:

步骤S201、判断当前馈线电压是否达到上限值,如果是,则执行步骤S202,如果不是,执行步骤S203;

步骤S202、计算无功补偿值,并将无功补偿值发送给上下游区域控制器;

步骤S203、判断是否收到所述上下游区域控制器发送的补偿值,如果否,则返回执行步骤S201,如果是,执行步骤S204;

步骤S204、计算本区域无功补偿值;

步骤S205、向本区域的就地控制器发送所述无功补偿值;

步骤S206、判断本区域是否满足补偿需求,如果否,则返回执行步骤S201,如果是,则执行步骤S207;

步骤S207、将剩余补偿值发送给上下游区域控制器。

可选的,步骤S106对光伏逆变器进行有载调压变压器控制的过程包括:

控制电站控制器根据电压控制阈值对所有节点电压进行计算,得到有载调压变压器分接头位置调节指令;

根据有载调压变压器分接头位置调节指令,进行有载调压变压器控制。

可选的,馈线上的区域控制器采集本区域节点电压信息,并点对点发送给变电站的电站控制器。当沿线光伏逆变器的无功容量均耗尽却仍存在馈线电压超过上限值时,电站控制器根据电压控制阈值对所有节点电压进行公式(3)和公式(4)计算,公式(3)和公式(4)的表达式如下:

$$n_{\text{next}} \in [n_{\text{tapmin}}, n_{\text{tapmax}}] \cap [n_{\text{tapnow}} x_{\text{ratemin}}, n_{\text{tapnow}} x_{\text{ratemax}}] \quad (3)$$

$$[x_{\text{ratemin}}, x_{\text{ratemax}}] = \bigcap_{i=1,2,\dots,n} \left[\frac{V_{\text{thmin}}}{V_i}, \frac{V_{\text{thmax}}}{V_i} \right] \quad (4)$$

式中, n_{tapmin} 为分接头位置最小可调值, n_{tapmax} 为分接头位置最大可调值, x_{ratemin} 为分接头最小可调比例, x_{ratemax} 为分接头最大可调比例, n_{tapnow} 为有载调压变压器当前分接头位置, n 为区域数量, V_{thmin} 为电压下限值, V_{thmax} 为电压上限值, V_i 为光伏并网点电压, i 为光伏用户序号。

由此可以得到有载调压变压器分接头位置调节指令,根据有载调压变压器分接头位置调节指令,对光伏逆变器进行有载调压变压器控制。这样可以

缓解甚至解决馈线电压超过上限值的问题，从而减少或避免光伏有功出力削减，保证用户经济收益。

可选的，如图7所示，本申请一实施例公开的一种对光伏逆变器进行有功削减的控制流程图，包括步骤：

步骤 S301、当对光伏逆变器进行有功控制时，通过区域控制器将区域控制器所属区域的电气参数信息上发给电站控制器；

其中，电气参数包括：本地电压和功率等。

步骤 S302、控制电站控制器对电气参数信息进行潮流计算，得到雅克比矩阵；

馈线电压是沿线所有负荷和光伏共同作用的结果，也就是说，每个光伏用户都对馈线电压的抬升有贡献，但贡献度不同。因为削减光伏出力会影响多个用户的经济收益，所以为了在沿线多个用户之间较公平地分担有功削减量，拟采用牛顿拉夫逊算法进行沿线潮流分析，求得雅克比矩阵。

步骤 S303、通过电站控制器对雅克比矩阵求逆得到电压灵敏度矩阵；

需要说明的是，对雅克比矩阵求逆得到逆矩阵并不全是电压灵敏度矩阵，电压灵敏度矩阵只是逆矩阵中的一部分。其中，电压灵敏度矩阵中的元素即为灵敏度因子，表示光伏出力对电压上升的贡献率，见公式（5）所示。公式（5）的表达式如下：

$$\begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} = J^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{\theta P} & S_{\theta Q} \\ S_{VP} & S_{VQ} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中， $\Delta\theta$ 为节点电压相角修正量向量， $\Delta|V|$ 为节点电压幅值修正量向量， ΔP 为节点不平衡有功功率向量， ΔQ 为节点不平衡无功功率向量， $S_{\theta P}$ 为相角有功灵敏度矩阵， $S_{\theta Q}$ 为相角无功灵敏度矩阵， S_{VP} 为电压有功灵敏度矩阵， S_{VQ} 为电压无功灵敏度矩阵， J^{-1} 为雅可比矩阵的逆矩阵。

灵敏度矩阵 S_{VP} 中的每个元素，如 $S_{ij}^{S_{VP}}$ 表示第j个光伏的有功输出量对第i个母线处电压上升的贡献率，用其来表示第i个母线处电压越限时第j个光伏应该削减的有功比例。

步骤 S304、控制所述电站控制器将所述电压灵敏度矩阵中的矩阵元素作为灵敏度因子分别下发给对应的区域控制器；

步骤 S305、控制每个所述区域控制器接收对应的灵敏度因子，并将灵敏度因子下发给对应的就地控制器；

步骤 S306、控制每个就地控制器根据接收的灵敏度因子进行有功削减控制。

可选的，有功控制也可以采用下垂控制策略。不同于分布式无功控制的固定下垂系数，有功控制需要根据就灵敏度矩阵确定的灵敏度因子比例来确定下垂系数。

其中，并不是沿线所有光伏用户均参与有功削减，只有电压越限点所在区域内光伏用户才削减有功。对于其他区域内的光伏用户，由于其削减有功调节效果有限，并且还影响该区域光伏用户的收益，因此其他区域的光伏用户不削减有功。

在对光伏逆变器进行有功控制时，主馈线上每个电压区域控制器与变电站中的电站控制器进行点对点通信，就地控制器向电压区域控制器发送本地电压、功率等电力参数信息；电压区域控制器对电力参数信息进行潮流分析，计算得到雅克比矩阵，对雅克比矩阵求逆得到灵敏度矩阵；区域控制器将灵敏度矩阵中的每个灵敏度因子点对点发送给对应电压区域控制器，电压区域控制器把灵敏度因子对应的控制参数下发给本区域的每个电压就地控制器，实现第馈线电压的调节。

在开始削减光伏有功出力时，由于逆变器容量一定，无功补偿增加，因此，当光伏有功出力削减到一定程度时，受功率因数限制，若光伏逆变器并网点已经达到功率因数最小值，而馈线电压仍超过上限值，则需继续削减光伏有功出力，同时减少无功补偿。

综上所述，本申请以电压灵敏度分区和分布式自治控制为基础，自下而上逐级控制，先就地控制，再区域协调控制，最后整体统筹控制。从而避免了每个电气设备间频繁大量通信，不仅可以快速控制馈线电压，而且又可以对馈线电压长期进行一定优化。在控制手段方面，先无功补偿控制，再调节有载调压变压器分接头，最后有功削减控制。这样既充分利用了配网中每种设备，又避免了过度投资，还最大程度保证光伏用户的经济效益。

与上述方法实施例相对应，本申请还公开了一种分布式光伏配网电压的

控制装置。

参见图8，本发明实施例公开的一种分布式光伏配网电压的控制装置的结构示意图，控制装置包括：

第一控制单元 401，设置为当馈线电压上升达到警戒值未超过上限值时，控制就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制；

可选的，就地控制器对光伏逆变器采用电压无功下垂控制策略进行无功馈线电压就地控制。也即通过监测电力用户公共连接点或并网点的电压，并根据电压相对变动量按一定比例要求控制光伏逆变器输出的无功功率，以调节改善并网点电压。

第一判断单元 402，设置为当利用所述就地控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制后，馈线电压继续上升到所述上限值时，判断当前区域的无功容量是否耗尽；

第一请求单元 403，设置为基于所述当前区域的无功容量耗尽的判断结果，向所述就地控制器所在区域的区域控制器请求区域无功馈线电压协调控制；

若当前区域无功容量耗尽而后馈线电压仍超过上限值，则需转由馈线层对光伏逆变器进行无功控制。

第二控制单元 404，设置为利用所述区域控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压协调控制；

可选的，区域控制器根据馈线电压超过上限值的程度，向上下相邻电压区域控制器发送无功补偿需求量。在相邻区域中，就地控制器与对应的区域控制器点对点通信，就地控制器向对应区域控制器发送自身剩余无功容量，区域控制器根据相邻区域需求补偿量和本区域剩余容量决定本区域补偿量。若无法满足需求，若馈线电压仍越限，则继续向上下游相邻区域控制器点对点通信，完成上述过程，以此类推。

第二请求单元 405，设置为当利用所述区域控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压协调控制后，若馈线电压继续上升到所述上限值，则向电站控制器请求调节有载调压变压器抽头，进行有载调压变压器控制；

可选的，馈线上的区域控制器采集本区域节点电压信息，并点对点发送给变电站的电站控制器。当沿线光伏逆变器的无功容量均耗尽却仍存在馈线

电压超过上限值时，电站控制器根据电压控制阈值对所有节点电压进行公式 (3) 和公式 (4) 计算，公式 (3) 和公式 (4) 的表达式如下：

$$n_{\text{next}} \in [n_{\text{tap min}}, n_{\text{tap max}}] \cap [n_{\text{tap now}} x_{\text{rate min}}, n_{\text{tap now}} x_{\text{rate max}}] \quad (3)$$

$$[x_{\text{rate min}}, x_{\text{rate max}}] = \bigcap_{i=1,2,\dots,n} \left[\frac{V_{\text{th min}}}{V_i}, \frac{V_{\text{th max}}}{V_i} \right] \quad (4)$$

式中， $n_{\text{tap min}}$ 为分接头位置最小可调值， $n_{\text{tap max}}$ 为分接头位置最大可调值， $x_{\text{rate min}}$ 为分接头最小可调比例， $x_{\text{rate max}}$ 为分接头最大可调比例， $n_{\text{tap now}}$ 为有载调压变压器当前分接头位置， n 为区域数量， $V_{\text{th min}}$ 为电压下限值， $V_{\text{th max}}$ 为电压上限值， V_i 为光伏并网点电压， i 为光伏用户序号。

由此可以得到有载调压变压器分接头位置调节指令，根据有载调压变压器分接头位置调节指令，进行有载调压变压器控制。这样可以缓解甚至解决馈线电压超过上限值的问题，从而减少或避免光伏有功出力削减，保证用户经济收益。

第三控制单元 406，设置为当变压器分接头达到动作极限而馈线电压超过所述上限值时，对所述光伏逆变器进行有功削减控制，直至馈线电压不超过所述上限值。

综上可知，采用自下而上的逐级控制策略，当馈线电压上升达到警戒值未超过上限值时，由就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制；在当前区域的无功容量耗尽，而馈线电压仍达到上限值时，采用区域控制器进行区域无功馈线电压协调控制；当沿线无功容量均耗尽，而馈线电压仍达到上限值时，由电站控制器进行有载调压变压器控制，并在变压器分接头达到动作极限而馈线电压超过上限值时，对光伏逆变器进行有功削减控制，直至馈线电压不超过上限值。由此可知，本申请公开的控制方案同时结合了集中式控制方案和分布式控制方案的优势，充分利用了全网设备和沿线光伏逆变器无功容量，有效缓解甚至解决了馈线电压超过上限值的问题，保证了用户的经济利益。

可选的，第一控制单元 401 包括：

第一控制子单元, 设置为当馈线电压上升达到所述警戒值未超过所述上限值时, 控制当前就地控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制, 并向所述区域控制器发送剩余无功容量值;

第一请求子单元, 设置为在所述当前就地控制器的无功容量耗尽后, 控制所述当前就地控制器沿馈线请求位于相同区域的其它就地控制器进行无功馈线电压就地控制。

可选的, 如图 9 所示, 本发明实施例公开的一种第二控制单元的结构示意图, 第二控制单元包括:

第二判断子单元 501, 设置为判断当前馈线电压是否达到所述上限值;

第一计算子单元 502, 可设置为基于所述当前馈线电压达到所述上限值的判断结果, 计算无功补偿值, 并将所述无功补偿值发送给上下游区域控制器;

第三判断子单元 503, 设置为基于所述当前馈线电压未达到所述上限值的判断结果, 判断是否收到所述上下游区域控制器发送的补偿值;

第二计算子单元 504, 设置为基于收到所述上下游区域控制器发送的补偿值的判断结果, 则计算本区域无功补偿值;

第一发送子单元 505, 设置为向本区域的就地控制器发送所述无功补偿值;

第四判断子单元 506, 设置为判断本区域是否满足补偿需求;

第二发送子单元 507, 设置为基于本区域满足补偿需求的判断结果, 将剩余补偿值发送给所述上下游区域控制器。

可选的, 第二请求单元 405 包括:

第二控制子单元, 设置为控制所述电站控制器根据电压控制阈值对所有节点电压进行计算, 得到有载调压变压器分接头位置调节指令;

第三控制子单元, 设置为根据所述有载调压变压器分接头位置调节指令, 进行有载调压变压器控制。

可选的, 馈线上的区域控制器采集本区域节点电压信息, 并点对点发送给变电站的电站控制器。当沿线光伏逆变器的无功容量均耗尽却仍存在馈线电压超过上限值时, 电站控制器根据电压控制阈值对所有节点电压进行公式

(3) 和公式 (4) 计算, 公式 (3) 和公式 (4) 的表达式如下:

$$n_{\text{next}} \in [n_{\text{tap min}}, n_{\text{tap max}}] \cap [n_{\text{tap now}} x_{\text{rate min}}, n_{\text{tap now}} x_{\text{rate max}}] \quad (3)$$

$$[x_{\text{rate min}}, x_{\text{rate max}}] = \bigcap_{i=1,2,\dots,n} \left[\frac{V_{\text{th min}}}{V_i}, \frac{V_{\text{th max}}}{V_i} \right] \quad (4)$$

式中, $n_{\text{tap min}}$ 为分接头位置最小可调值, $n_{\text{tap max}}$ 为分接头位置最大可调值, $x_{\text{rate min}}$ 为分接头最小可调比例, $x_{\text{rate max}}$ 为分接头最大可调比例, $n_{\text{tap now}}$ 为有载调压变压器当前分接头位置, n 为区域数量, $V_{\text{th min}}$ 为电压下限值, $V_{\text{th max}}$ 为电压上限值, V_i 为光伏并网点电压, i 为光伏用户序号。

由此可以得到有载调压变压器分接头位置调节指令, 根据有载调压变压器分接头位置调节指令, 进行有载调压变压器控制。这样可以缓解甚至解决馈线电压超过上限值的问题, 从而减少或避免光伏有功出力削减, 保证用户经济收益。

可选的, 如图 10 所示, 本发明实施例公开的一种第三控制单元的结构示意图, 第三控制单元包括:

第三发送子单元 601, 设置为当对所述光伏逆变器进行有功控制时, 通过所述区域控制器将所述区域控制器所属区域的电气参数信息上发给所述电站控制器;

其中, 电气参数包括: 本地电压和功率等。

第四控制子单元 602, 设置为控制所述电站控制器对所述电气参数信息进行潮流计算, 得到雅克比矩阵;

馈线电压是沿线所有负荷和光伏共同作用的结果, 也就是说, 每个光伏用户都对馈线电压的抬升有贡献, 但贡献度不同。因为削减光伏出力要影响各用户的经济收益, 所以为了在沿线各用户之间较公平地分担有功削减量, 拟采用牛顿拉夫逊算法进行沿线潮流分析, 求得雅克比矩阵。

矩阵求逆子单元 603, 设置为通过所述电站控制器对所述雅克比矩阵求逆得到电压灵敏度矩阵;

需要说明的是, 对雅克比矩阵求逆得到逆矩阵并不全是电压灵敏度矩阵, 电压灵敏度矩阵只是逆矩阵中的一部分。其中, 电压灵敏度矩阵中的元素即为灵敏度因子, 表示光伏出力对电压上升的贡献率, 见公式 (5) 所示。公式

(5) 的表达式具体如下：

$$\begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} = J^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{\theta P} & S_{\theta Q} \\ S_{VP} & S_{VQ} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中， $\Delta\theta$ 为节点电压相角修正量向量， $\Delta|V|$ 为节点电压幅值修正量向量， ΔP 为节点不平衡有功功率向量， ΔQ 为节点不平衡无功功率向量， $S_{\theta P}$ 为相角有功灵敏度矩阵， $S_{\theta Q}$ 为相角无功灵敏度矩阵， S_{VP} 为电压有功灵敏度矩阵， S_{VQ} 为电压无功灵敏度矩阵， J^{-1} 为雅可比矩阵的逆矩阵。

灵敏度矩阵 S_{VP} 中的每个元素，如 s_{ij} 表示第j个光伏的有功输出量对第i个母线处电压上升的贡献率，用其来表示第i个母线处电压越限时第j个光伏应该削减的有功比例。

第一下发子单元 604，设置为控制所述电站控制器将所述电压灵敏度矩阵中的矩阵元素作为灵敏度因子分别下发给对应的区域控制器；

第二下发子单元 605，设置为控制每个所述区域控制器接收对应的灵敏度因子，并将灵敏度因子下发给对应的就地控制器；

第五控制子单元 606，设置为控制每个就地控制器根据接收的灵敏度因子进行有功削减控制。

可选的，有功控制也可以采用下垂控制策略。不同于分布式无功控制的固定下垂系数，有功控制需要根据就灵敏度矩阵确定的灵敏度因子比例来确定下垂系数。

其中，并不是沿线所有光伏用户均参与有功削减，只有电压越限点所在区域内光伏用户才削减有功。对于其他区域内的光伏用户，由于其削减有功调节效果有限，并且还影响该区域光伏用户的收益，因此其他区域的光伏用户不削减有功。

在对光伏逆变器进行有功控制时，主馈线上每个电压区域控制器与变电站中的电站控制器进行点对点通信，就地控制器向电压区域控制器发送本地电压、功率等电力参数信息；电压区域控制器对电力参数信息进行潮流分析，计算得到雅克比矩阵，对雅克比矩阵求逆得到灵敏度矩阵；区域控制器将灵敏度矩阵中的各灵敏度因子点对点发送给对应电压区域控制器，电压区域控制器把灵敏度因子对应的控制参数下发给本区域的各电压就地控制器，实现馈线电压的调节。

在开始削减光伏有功出力时，由于逆变器容量一定，无功补偿增加，因此，当光伏有功出力削减到一定程度时，受功率因数限制，若光伏逆变器并网点已经达到功率因数最小值，而馈线电压仍超过上限值，则需继续削减光伏有功出力，同时减少无功补偿。

综上可知，本申请以电压灵敏度分区和分布式自治控制为基础，自下而上逐级控制，先就地控制，再区域协调控制，最后整体统筹控制。从而避免了多个电气设备间频繁大量通信，不仅可以快速控制馈线电压，而且又可以对馈线电压长期进行一定优化。在控制手段方面，先无功补偿控制，再调节有载调压变压器分接头，最后有功削减控制。这样既充分利用了配网中每种设备，又避免了过度投资，还最大程度保证光伏用户的经济效益。

需要说明的是，装置实施例中，每个组成部分的具体工作原理，请参见方法实施例对应部分，此次不再赘述。

可选的，本发明实施例还公开一种包含计算机可执行指令的存储介质，所述计算机可执行指令在由计算机处理器执行时用于执行一种分布式光伏配网电压的控制方法，该方法包括：

当馈线电压上升达到警戒值未超过上限值时，控制就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制；

当利用所述就地控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制后，馈线电压继续上升到所述上限值时，判断当前区域的无功容量是否耗尽；

基于所述当前区域的无功容量耗尽的判断结果，向所述就地控制器所在区域的区域控制器请求区域无功馈线电压协调控制；

利用所述区域控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压协调控制；

当沿线无功容量均耗尽后，基于馈线电压继续上升到所述上限值的结果，向电站控制器请求调节有载调压变压器抽头，进行有载调压变压器控制；

当变压器分接头达到动作极限而馈线电压超过所述上限值时，对所述光伏逆变器进行有功削减控制，直至馈线电压不超过所述上限值。

当然，本发明实施例所提供的一种包含计算机可执行指令的存储介质，其计算机可执行指令不限于如上所述的方法操作，还可以执行本发明任意实施例所提供的分布式光伏配网电压的控制方法中的相关操作。

最后，还需要说明的是，在本文中，诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

本说明书中各个实施例采用递进的方式描述，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处，各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

对所公开的实施例的上述说明，使本领域专业技术人员能够实现或使用本申请。

权 利 要 求 书

1、一种分布式光伏配网电压的控制方法，包括：

当馈线电压上升达到警戒值未超过上限值时，控制就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制；

当利用所述就地控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制后，馈线电压继续上升到所述上限值时，判断当前区域的无功容量是否耗尽；

基于所述当前区域的无功容量耗尽的判断结果，向所述就地控制器所在区域的区域控制器请求区域无功馈线电压协调控制；

利用所述区域控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压协调控制；

当沿线无功容量均耗尽后，基于馈线电压继续上升到所述上限值的结果，向电站控制器请求调节有载调压变压器抽头，进行有载调压变压器控制；

当变压器分接头达到动作极限而馈线电压超过所述上限值时，对所述光伏逆变器进行有功削减控制，直至馈线电压不超过所述上限值。

2、根据权利要求1所述的控制方法，其中，所述当馈线电压上升达到警戒值未超过上限值时，控制就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制的过程包括：

当馈线电压上升达到所述警戒值未超过所述上限值时，控制当前就地控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制，并向所述区域控制器发送剩余无功容量值；

在所述当前就地控制器的无功容量耗尽后，控制所述当前就地控制器沿馈线请求位于相同区域的其它就地控制器进行无功馈线电压就地控制。

3、根据权利要求1所述的控制方法，其中，控制就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制包括：

控制所述就地控制器对所述光伏逆变器采用馈线电压无功下垂控制方法进行无功馈线电压就地控制。

4、根据权利要求1所述的控制方法，其中，所述利用所述区域控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压协调控制包括：

判断当前馈线电压是否达到所述上限值；

基于所述当前馈线电压达到所述上限值的判断结果，计算无功补偿值，并将所述无功补偿值发送给上下游区域控制器；

基于所述当前馈线电压未达到所述上限值的判断结果，判断是否收到所述上下游区域控制器发送的补偿值；

基于收到所述上下游区域控制器发送的补偿值的判断结果，计算本区域无功补偿值；

向本区域的就地控制器发送所述无功补偿值；

判断本区域是否满足补偿需求；

基于本区域满足补偿需求的判断结果，将剩余补偿值发送给所述上下游区域控制器。

5、根据权利要求1所述的控制方法，其中，所述对所述光伏逆变器进行有载调压变压器控制包括：

控制所述电站控制器根据电压控制阈值对所有节点电压进行计算，得到有载调压变压器分接头位置调节指令；

根据所述有载调压变压器分接头位置调节指令，进行有载调压变压器控制。

6、根据权利要求1所述的控制方法，其中，所述对所述光伏逆变器进行有功削减控制包括：

当对所述光伏逆变器进行有功控制时，通过所述区域控制器将所述区域控制器所属区域的电气参数信息上发给所述电站控制器；

控制所述电站控制器对所述电气参数信息进行潮流计算，得到雅克比矩阵；

通过所述电站控制器对所述雅克比矩阵求逆得到电压灵敏度矩阵；

控制所述电站控制器将所述电压灵敏度矩阵中的矩阵元素作为灵敏度因子分别下发给对应的区域控制器；

控制每个所述区域控制器接收对应的灵敏度因子，并将灵敏度因子下发给对应的就地控制器；

控制每个就地控制器根据接收的灵敏度因子进行有功削减控制。

7、一种分布式光伏配网电压的控制装置，包括：

第一控制单元，设置为：当馈线电压上升达到警戒值未超过上限值时，控制就地控制器对光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制；

第一判断单元，设置为当利用所述就地控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制后，馈线电压继续上升到所述上限值时，判断当前区域的无功容量是否耗尽；

第一请求单元，设置为基于所述当前区域的无功容量耗尽的判断结果，向所述就地控制器所在区域的区域控制器请求区域无功馈线电压协调控制；

第二控制单元，设置为利用所述区域控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压协调控制；

第二请求单元，设置为沿线无功容量均耗尽后，基于馈线电压继续上升到所述上限值的结果，向电站控制器请求调节有载调压变压器抽头，进行有载调压变压器控制；

第三控制单元，设置为当变压器分接头达到动作极限而馈线电压超过所述上限值时，对所述光伏逆变器进行有功削减控制，直至馈线电压不超过所述上限值。

8、根据权利要求7所述的控制装置，其中，所述第一控制单元包括：

第一控制子单元，设置为当馈线电压上升达到所述警戒值未超过所述上限值时，控制当前就地控制器对所述光伏逆变器进行无功馈线电压就地控制，并向所述区域控制器发送剩余无功容量值；

第一请求子单元，设置为在所述当前就地控制器的无功容量耗尽后，控制所述当前就地控制器沿馈线请求位于相同区域的其它就地控制器进行无功馈线电压就地控制。

9、根据权利要求7所述的控制装置，其中，所述第一控制单元设置为：

控制所述就地控制器对所述光伏逆变器采用馈线电压无功下垂控制方法进行无功馈线电压就地控制。

10、根据权利要求7所述的控制装置，其中，所述第二控制单元包括：

第二判断子单元，设置为判断当前馈线电压是否达到所述上限值；

第一计算子单元，设置为基于所述当前馈线电压达到所述上限值的判断结果，计算无功补偿值，并将所述无功补偿值发送给上下游区域控制器；

第三判断子单元，设置为基于所述当前馈线电压未达到所述上限值的判断结果，判断是否收到所述上下游区域控制器发送的补偿值；

第二计算子单元，设置为基于收到所述上下游区域控制器发送的补偿值的判断结果，计算本区域无功补偿值；

第一发送子单元，设置为向本区域的就地控制器发送所述无功补偿值；

第四判断子单元，设置为判断本区域是否满足补偿需求；

第二发送子单元，设置为基于本区域满足补偿需求的判断结果，将剩余补偿值发送给所述上下游区域控制器。

11、根据权利要求7所述的控制装置，其中，所述第二请求单元包括：

第二控制子单元，设置为控制所述电站控制器根据电压控制阈值对所有节点电压进行计算，得到有载调压变压器分接头位置调节指令；

第三控制子单元，设置为根据所述有载调压变压器分接头位置调节指令，进行有载调压变压器控制。

12、根据权利要求7所述的控制装置，其中，所述第三控制单元包括：

第三发送子单元，设置为当对所述光伏逆变器进行有功控制时，通过所述区域控制器将所述区域控制器所属区域的电气参数信息上发给所述电站控制器；

第四控制子单元，设置为控制所述电站控制器对所述电气参数信息进行潮流计算，得到雅克比矩阵；

矩阵求逆子单元，设置为通过所述电站控制器对所述雅克比矩阵求逆得到电压灵敏度矩阵；

第一下发子单元，设置为控制所述电站控制器将所述电压灵敏度矩阵中的矩阵元素作为灵敏度因子分别下发给对应的区域控制器；

第二下发子单元，设置为控制每个所述区域控制器接收对应的灵敏度因子，并将灵敏度因子下发给对应的就地控制器；

第五控制子单元，设置为控制每个就地控制器根据接收的灵敏度因子进行有功削减控制。

13、一种包含计算机可执行指令的存储介质，所述计算机可执行指令在由计算机处理器执行以实现如权利要求1-6中任一所述的一种分布式光伏配网电压的控制方法。

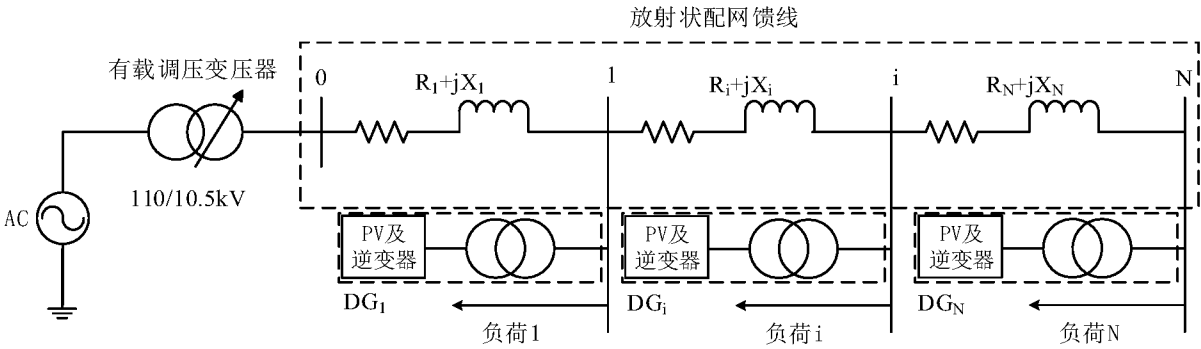


图 1

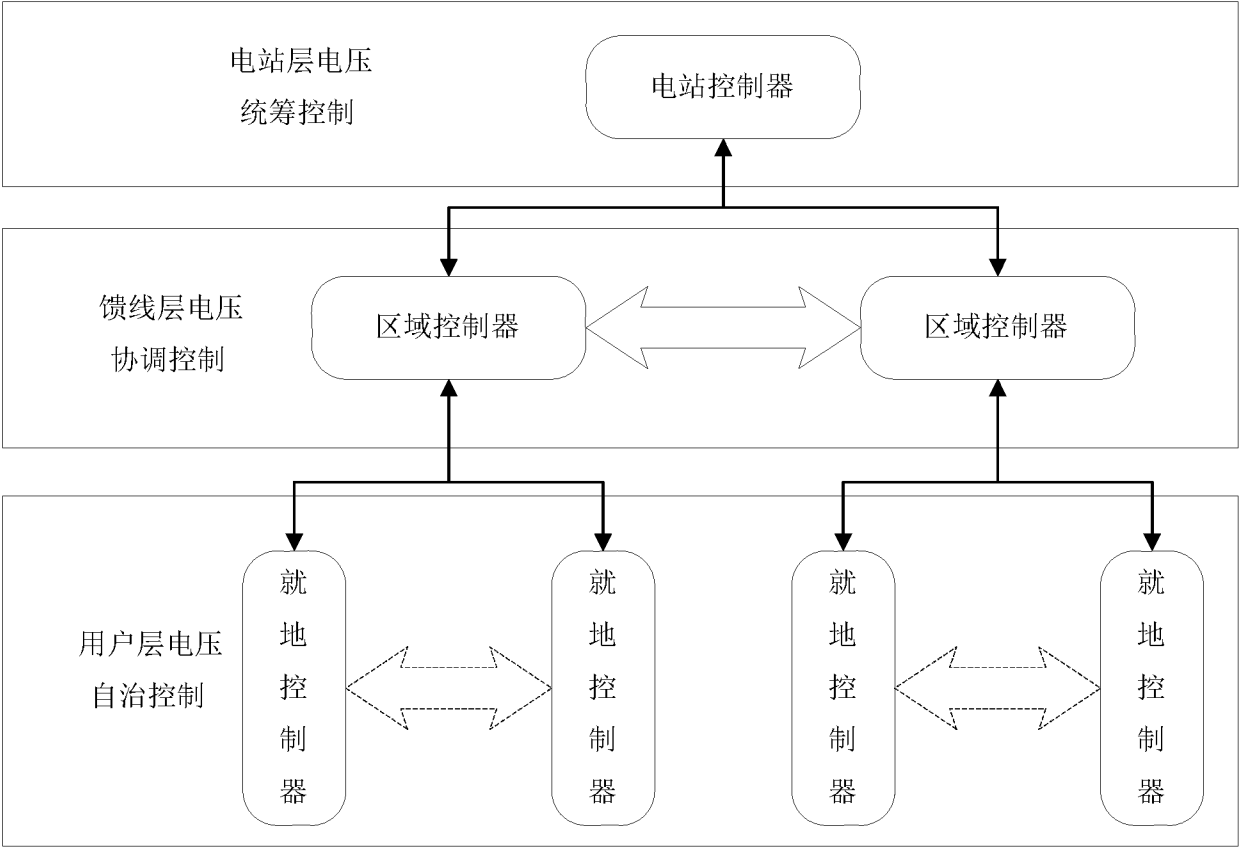


图 2

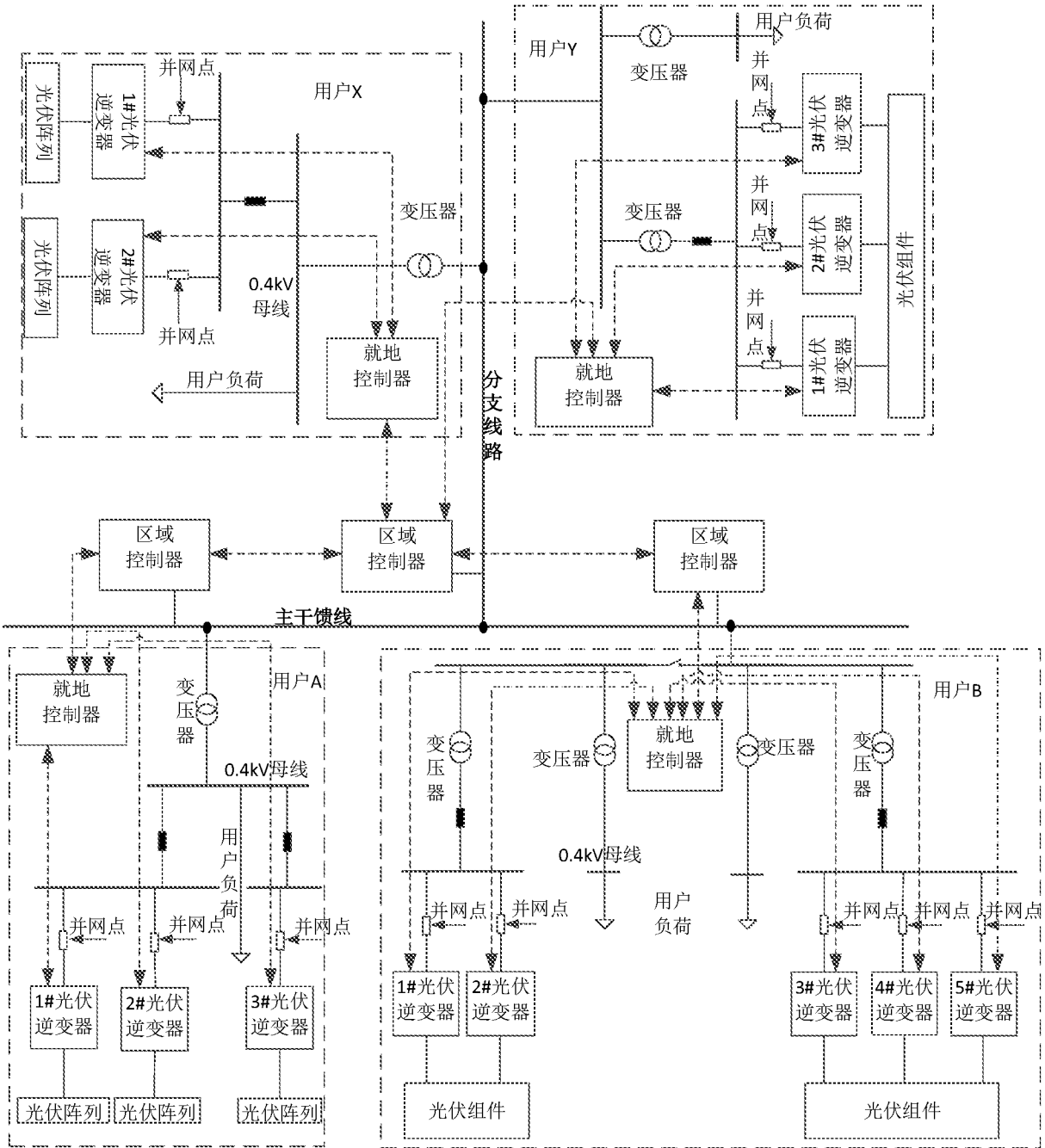


图 3

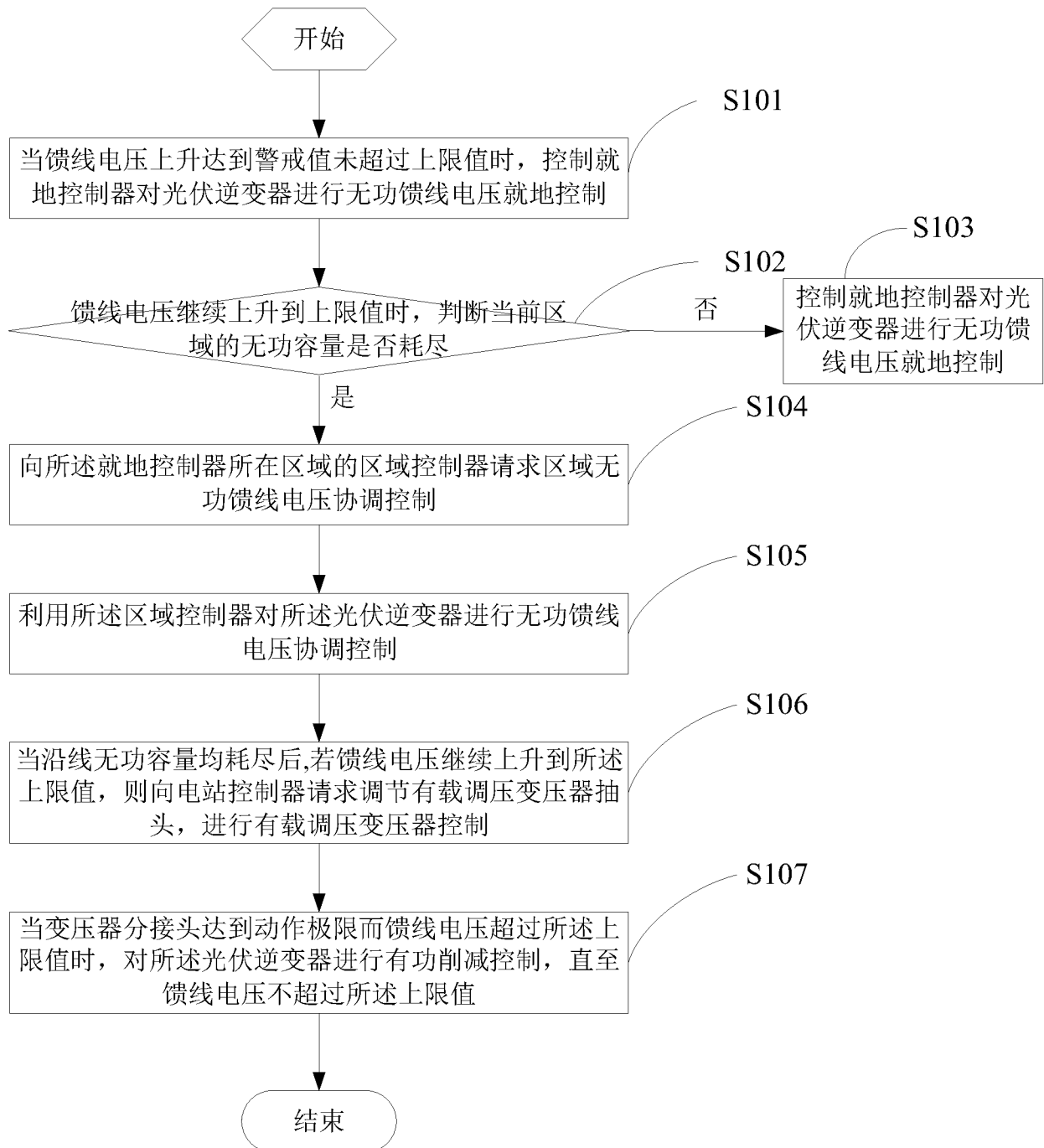


图 4

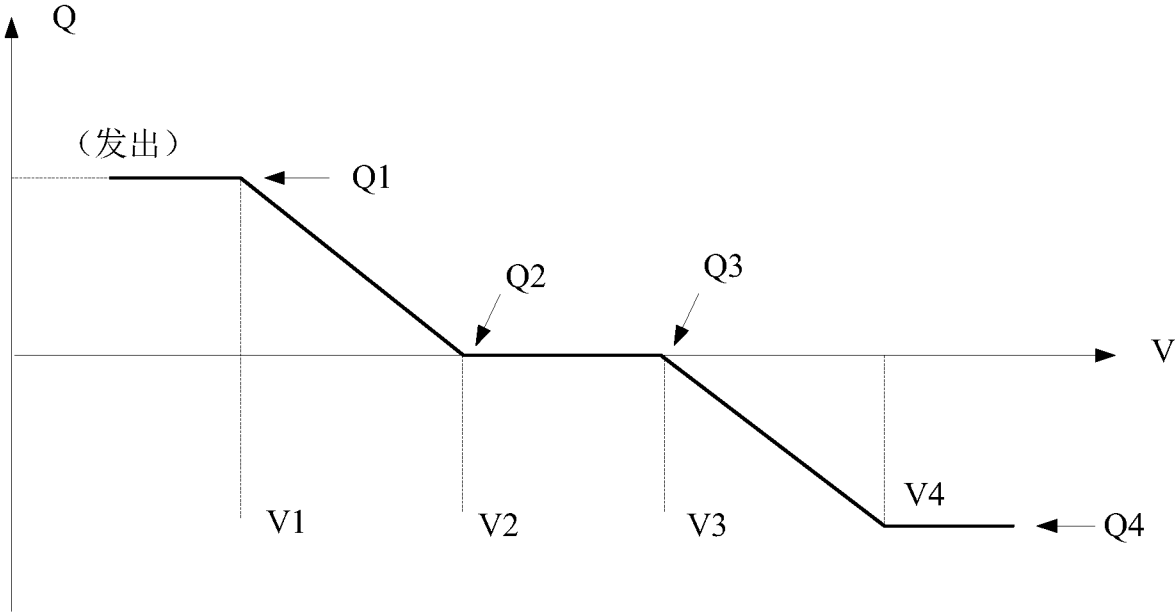


图 5

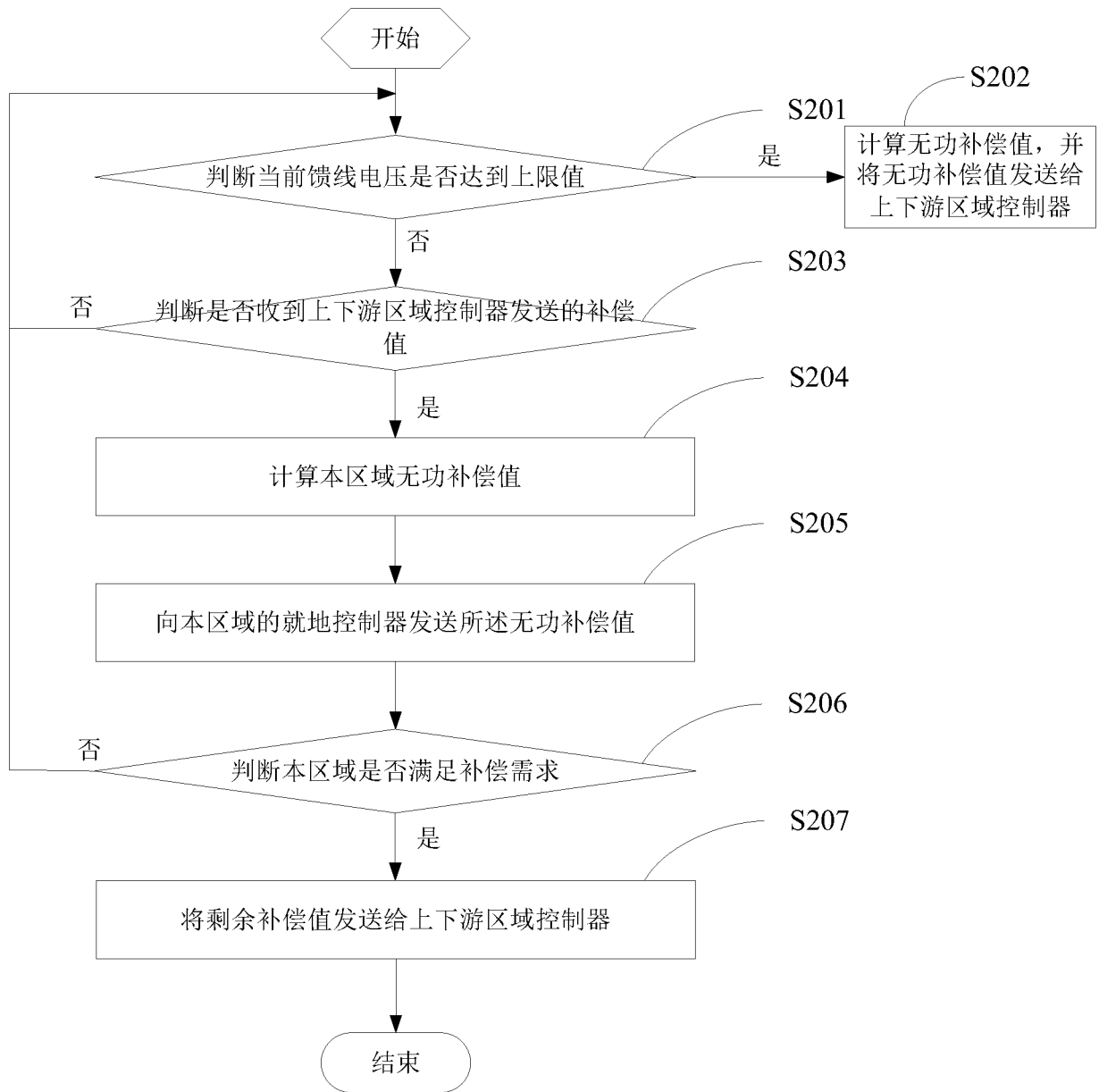


图 6

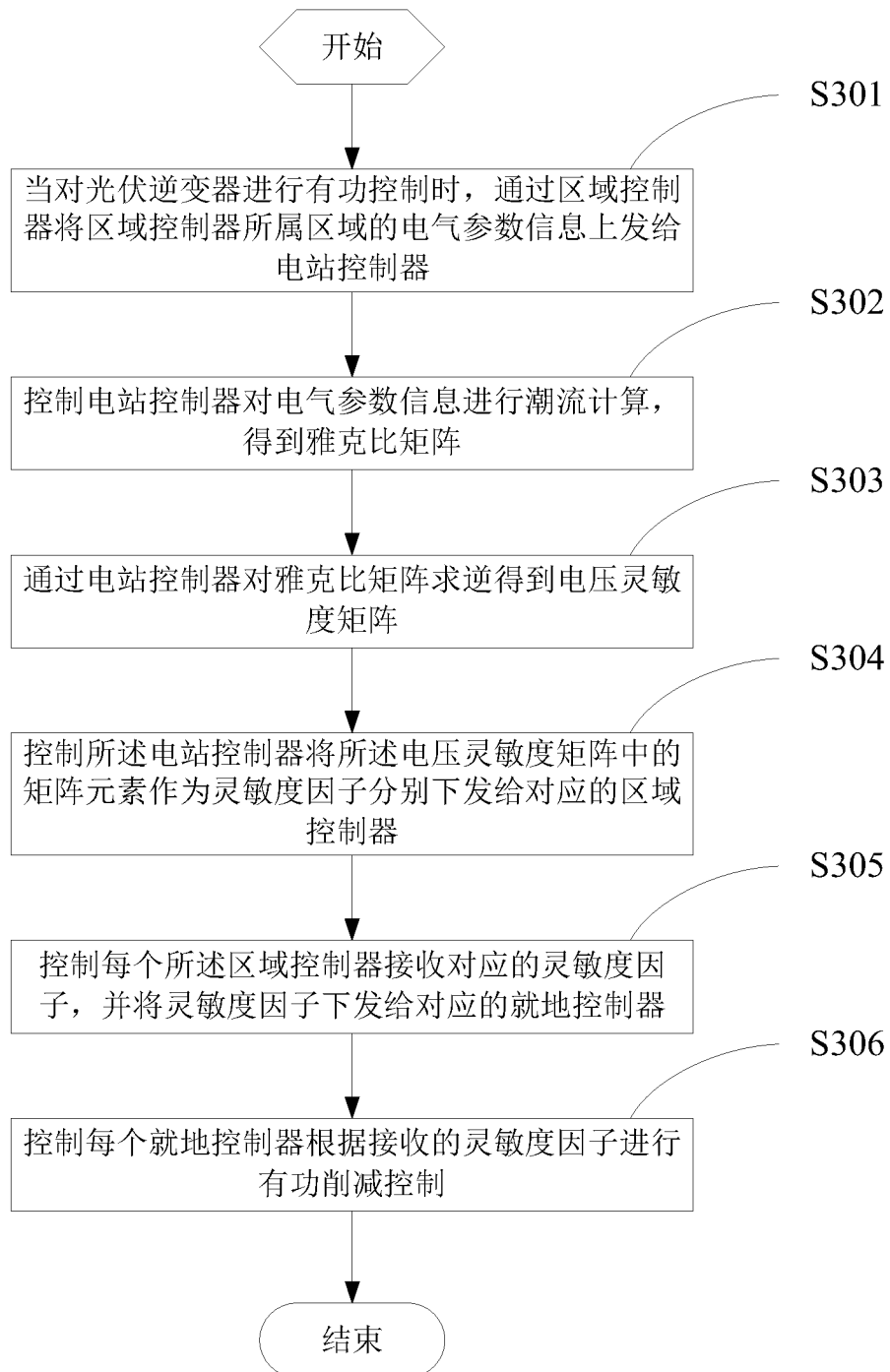


图 7



图 8

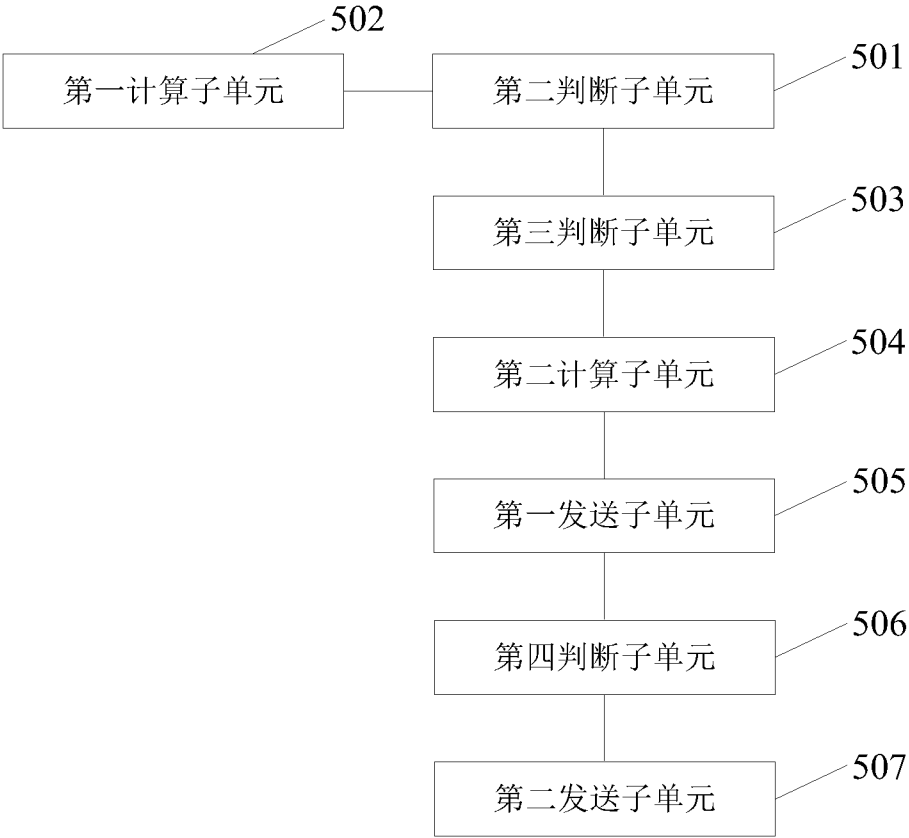


图 9

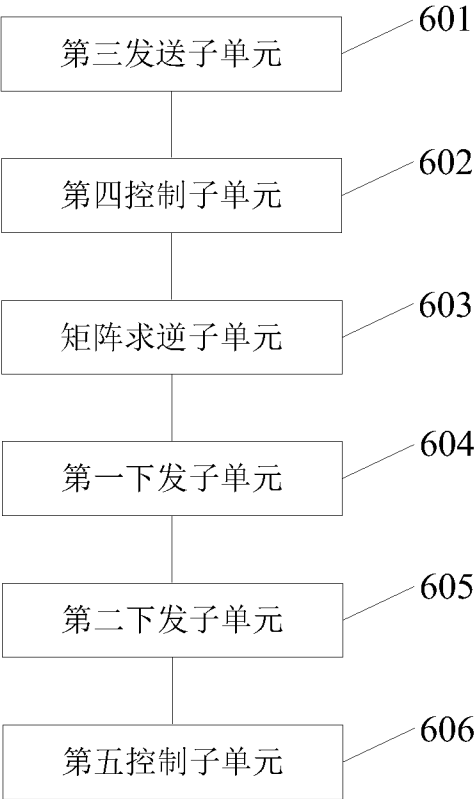


图 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/087438

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/38 (2006.01) i; H02J 3/18 (2006.01) i; H02J 3/16 (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 3

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)

CNXTX; CNABS; VEN; CNKI: 分接头, 区域, 变压器, 容量, 抽头, 就地, 无功, 光伏, 电网, 上限, 有功, 逆变, 协调, 警戒, area, transformer, capacity, tap, on site, reactive, solar, active, inverter, warn

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 107069823 A (NINGBO POWER SUPPLY CORPORATION, STATE GRID ZHEJIANG ELECTRIC POWER COMPANY et al.), 18 August 2017 (18.08.2017), claims 1-12	1-13
A	CN 104201691 A (STATE GRID SHANGHAI MUNICIPAL ELECTRIC POWER COMPANY et al.), 10 December 2014 (10.12.2014), description, paragraphs [0009]-[0049], and figures 1 and 2	1-13
A	US 2015168981 A1 (GEN ELECTRIC), 18 June 2015 (18.06.2015), entire document	1-13
A	CN 103595135 A (STATE GRID CORPORATION OF CHINA et al.), 19 February 2014 (19.02.2014), entire document	1-13
A	CN 205921387 U (SHANGHAI JIAOTONG UNIVERSITY et al.), 01 February 2017 (01.02.2017), entire document	1-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 11 July 2018	Date of mailing of the international search report 30 July 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer WANG, Xiang Telephone No. (86-512) 88995694

International application No.
PCT/CN2018/087438

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (January 2015)

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/087438

A. 主题的分类 H02J 3/38(2006.01)i; H02J 3/18(2006.01)i; H02J 3/16(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) 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)) CNTXT;CNABS;VEN;CNKI: 分接头, 区域, 变压器, 容量, 抽头, 就地, 无功, 光伏, 电网, 上限, 有功, 逆变, 协调, 警戒, area, transformer, capacity, tap, on site, reactive, solar, active, inverter, warn																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 107069823 A (国网浙江省电力公司宁波供电公司 等) 2017年 8月 18日 (2017 - 08 - 18) 权利要求1-12</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104201691 A (国网上海市电力公司 等) 2014年 12月 10日 (2014 - 12 - 10) 说明书第[0009]-[0049]段, 附图1、2</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2015168981 A1 (GEN ELECTRIC) 2015年 6月 18日 (2015 - 06 - 18) 全文</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103595135 A (国家电网公司 等) 2014年 2月 19日 (2014 - 02 - 19) 全文</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 205921387 U (上海交通大学 等) 2017年 2月 1日 (2017 - 02 - 01) 全文</td> <td>1-13</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 107069823 A (国网浙江省电力公司宁波供电公司 等) 2017年 8月 18日 (2017 - 08 - 18) 权利要求1-12	1-13	A	CN 104201691 A (国网上海市电力公司 等) 2014年 12月 10日 (2014 - 12 - 10) 说明书第[0009]-[0049]段, 附图1、2	1-13	A	US 2015168981 A1 (GEN ELECTRIC) 2015年 6月 18日 (2015 - 06 - 18) 全文	1-13	A	CN 103595135 A (国家电网公司 等) 2014年 2月 19日 (2014 - 02 - 19) 全文	1-13	A	CN 205921387 U (上海交通大学 等) 2017年 2月 1日 (2017 - 02 - 01) 全文	1-13
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
PX	CN 107069823 A (国网浙江省电力公司宁波供电公司 等) 2017年 8月 18日 (2017 - 08 - 18) 权利要求1-12	1-13																		
A	CN 104201691 A (国网上海市电力公司 等) 2014年 12月 10日 (2014 - 12 - 10) 说明书第[0009]-[0049]段, 附图1、2	1-13																		
A	US 2015168981 A1 (GEN ELECTRIC) 2015年 6月 18日 (2015 - 06 - 18) 全文	1-13																		
A	CN 103595135 A (国家电网公司 等) 2014年 2月 19日 (2014 - 02 - 19) 全文	1-13																		
A	CN 205921387 U (上海交通大学 等) 2017年 2月 1日 (2017 - 02 - 01) 全文	1-13																		
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																				
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																				
国际检索实际完成的日期 2018年 7月 11日		国际检索报告邮寄日期 2018年 7月 30日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 王翔 电话号码 (86-512) 88995694																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/087438

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	107069823	A	2017年 8月 18日	无	
CN	104201691	A	2014年 12月 10日	CN 104201691	B 2016年 11月 2日
US	2015168981	A1	2015年 6月 18日	无	
CN	103595135	A	2014年 2月 19日	无	
CN	205921387	U	2017年 2月 1日	无	