



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107370187 A

(43)申请公布日 2017. 11. 21

(21)申请号 201710807355.5

(22)申请日 2017.09.08

(71)申请人 中南大学

地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号

(72)发明人 孙尧 侯小超 韩华 栗梅 王辉 吕辉环

(74)专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

代理人 王莹 吴欢燕

(51)Int.Cl.

H02J 3/38(2006.01)

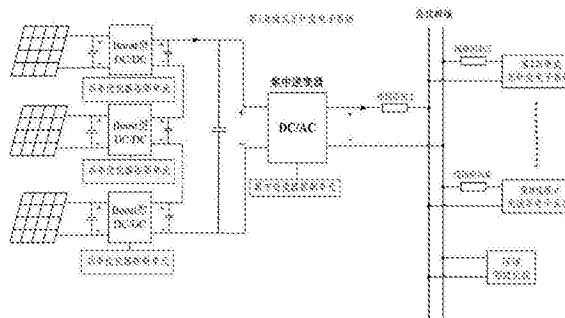
权利要求书3页 说明书13页 附图2页

(54)发明名称

一种光伏微电网系统和光伏微电网系统控制方法

(57)摘要

本发明提供一种光伏微电网系统和光伏微电网系统控制方法。其中,光伏微电网系统包括:并联的多个双级式光伏发电子系统;任一所述双级式光伏发电子系统包括:多个功率优化器、多个功率优化器控制单元、集中逆变器和集中逆变器控制单元。其中,光伏微电网系统控制方法包括:对于任一光伏发电子系统,获取集中逆变器输出的有功功率和无功功率;获取集中逆变器的可用最大有功功率和可用最大无功功率;获取参考电压;生成所述集中逆变器的控制信号。本发明提供的一种光伏微电网系统和光伏微电网系统控制方法,实现了多个光伏发电子系统在无通信条件下的协调控制,保证负载功率的自主、合理分配和光伏微电网系统电压及频率的稳定。



1. 一种光伏微电网系统,其特征在于,包括:并联的多个双级式光伏发电子系统;

任一所述双级式光伏发电子系统,包括:多个功率优化器、多个功率优化器控制单元、集中逆变器和集中逆变器控制单元;

所述多个功率优化器串联;多个功率优化器串联后的输出端与所述集中逆变器的输入端连接;

每个所述功率优化器对应一个所述功率优化器控制单元;所述功率优化器控制单元,用于根据所述功率优化器的输出电压,切换为两种不同工作模式,对所述功率优化器进行滞环控制;

所述集中逆变器控制单元,用于根据所述集中逆变器的可用最大有功功率,对所述集中逆变器的输出功率进行控制,以使得每一双级式光伏发电子系统的集中逆变器的可用最大有功功率与输出功率之差相等。

2. 根据权利要求1所述的光伏微电网系统,其特征在于,所述集中逆变器控制单元包括:功率计算模块、功率外环控制模块、可用最大功率动态预估模块、电压电流控制模块和PWM调制模块;

所述功率计算模块,用于根据所述集中逆变器的输出电压和输出电流,获取所述集中逆变器输出的有功功率 P_0 和无功功率 Q_0 ;

所述可用最大功率动态预估模块,用于根据所述集中逆变器的输入电流和输入电压,获取所述集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$;

所述功率外环控制模块,用于根据所述集中逆变器输出的有功功率 P_0 、无功功率 Q_0 、可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$,获取参考电压 $V_r \sin \omega_r t$;

所述电压电流控制模块,用于根据所述参考电压 $V_r \sin \omega_r t$,生成集中逆变器内电压参考信号;

所述PWM调制模块,用于调制所述集中逆变器内电压参考信号,生成所述集中逆变器的控制信号。

3. 根据权利要求2所述的光伏微电网系统,其特征在于,所述功率计算模块获取的所述集中逆变器输出的有功功率 P_0 和无功功率 Q_0 分别为

$$P_o = \frac{V_{oac} I_{oac}}{\tau s + 1}; \quad Q_o = \frac{V'_{oac} I_{oac}}{\tau s + 1}$$

其中, V_{oac} 为集中逆变器的输出电压, I_{oac} 为集中逆变器的输出电流, V'_{oac} 为 V_{oac} 滞后90度的电压, τ 为低通滤波常数。

4. 根据权利要求2所述的光伏微电网系统,其特征在于,所述可用最大功率动态预估模块获取的所述集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$ 分别为:

当所述集中逆变器的输入电压 V_{bus} 低于 V_{bus_min} 时,所述集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$ 分别为

$$P_{\max_t}^* = P_{realtime} = V_{bus} i_{bus}; \quad Q_{\max_t}^* = \sqrt{S_{max}^2 - P_{\max_t}^2}$$

其中, $P_{\max_t}^*$ 为集中逆变器的可用最大有功功率, $Q_{\max_t}^*$ 为集中逆变器的可用最大无功功率, $P_{realtime}$ 为集中逆变器的实时功率, S_{max} 为集中逆变器视在容量的最大值, V_{bus_min} 为集中

逆变器允许的最小输出电压, i_{bus} 为集中逆变器的输入电流, V_{bus} 为集中逆变器的输入电压;
当所述集中逆变器的输入电压 V_{bus} 高于 $V_{bus,max}$ 时, 集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{max_t}^*$ 分别为

$$P_{max_t}^*(k+1) = P_{max_t}^*(k)$$

$$Q_{max_t}^*(k+1) = \sqrt{S_{max}^2 - P_{max_t}^{*2}(k+1)}$$

其中, $P_{max_t}^*(k)$ 为第 k 拍时集中逆变器的可用最大有功功率, $P_{max_t}^*(k+1)$ 为第 $(k+1)$ 拍时集中逆变器的可用最大有功功率, $Q_{max_t}^*(k+1)$ 为第 $(k+1)$ 拍时集中逆变器的可用最大无功功率, S_{max} 为集中逆变器视在容量的最大值, $V_{bus,max}$ 为集中逆变器允许的最大输出电压。

5. 根据权利要求4所述的光伏微电网系统, 其特征在于, 所述功率外环控制模块获取的所述参考电压中的 ω_r 和 V_r 分别为

$$\omega_r = \omega^* - m(P_o - P_{max_t}^*) + k(V_{bus} - V_{bus}^*)$$

$$V_r = V^* - n(Q_o - Q_{max_t}^*)$$

其中, ω_r 、 V_r 分别为集中逆变器输出电压的角频率和幅值参考值, ω^* 、 V^* 分别为集中逆变器在额定状态下输出电压的角频率和幅值, m 、 n 分别为集中逆变器有功-角频率下垂 ($P-\omega$) 和无功-电压下垂 ($Q-V$) 的下垂系数, $P_{max_t}^*$ 、 $Q_{max_t}^*$ 分别为集中逆变器的可用最大有功功率和可用最大无功功率, V_{bus} 、 V_{bus}^* 分别为集中逆变器的输入电压及其额定参考值, k 为调节系数。

6. 根据权利要求4所述的光伏微电网系统, 其特征在于, 根据所述集中逆变器的输入电压额定参考值 V_{bus}^* , 确定所述集中逆变器允许的最小输出电压和所述集中逆变器允许的最大输出电压。

7. 根据权利要求1或2所述的光伏微电网系统, 其特征在于, 所述功率优化器控制单元, 根据所述功率优化器的输出电压, 切换为两种不同工作模式, 进一步包括:

当所述功率优化器的输出电压 V_{dc} 低于 $V_{dc,min}$ 时, 所述功率优化器控制单元切换为最大功率跟踪工作模式; 其中, $V_{dc,min}$ 为功率优化器允许的最小输出电压;

当所述功率优化器的输出电压 V_{dc} 高于 $V_{dc,max}$ 时, 所述功率优化器控制单元切换为直通工作模式; 其中, $V_{dc,max}$ 为功率优化器允许的最大输出电压。

8. 根据权利要求7所述的光伏微电网系统, 其特征在于, 根据所述功率优化器的输出电压参考值 V_{dc}^* , 确定所述功率优化器允许的最小输出电压 $V_{dc,min}$ 和所述功率优化器允许的最大输出电压 $V_{dc,max}$;

所述功率优化器的输出电压参考值 V_{dc}^* 为

$$V_{dc}^* = \frac{V_{bus}^*}{n}$$

其中, V_{bus}^* 为集中逆变器的输入电压额定参考值, n 为双级式离网光伏发电电子系统中功率优化器的总数量。

9. 一种光伏微电网系统控制方法, 其特征在于, 包括: 对于任一光伏发电电子系统,

S1、根据集中逆变器的输出电压 V_{oac} 和输出电流 I_{oac} ，获取所述集中逆变器输出的有功功率 P_o 和无功功率 Q_o ；

S2、根据所述集中逆变器的输入电流 i_{bus} 和输入电压 V_{bus} ，获取所述集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{max_t}^*$ ；

S3、根据所述集中逆变器的有功功率 P_o 、无功功率 Q_o 、可用最大有功功率 $P_{max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{max_t}^*$ ，获取参考电压 $V_r \sin \omega_r t$ ；

S4、根据所述参考电压 $V_r \sin \omega_r t$ ，生成所述集中逆变器的控制信号。

10. 根据权利要求9所述的光伏微电网系统控制方法，其特征在于，所述步骤S4进一步包括：

S41、根据所述参考电压 $V_r \sin \omega_r t$ ，生成集中逆变器内电压参考信号；

S42、调制所述集中逆变器内电压参考信号，生成所述集中逆变器的控制信号。

一种光伏微电网系统和光伏微电网系统控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光伏发电技术领域,更具体地,涉及一种光伏微电网系统和光伏微电网系统控制方法。

背景技术

[0002] 光伏发电具有环境污染少、安装地点灵活、能源利用率高等优点,是目前分布式发电的重要发展趋势之一。光伏微电网作为整合分布式光伏电源的有效载体,能够协调不同区域的光伏发电系统,一定程度上克服部分光伏发电的随机不确定性和地域依赖性,提高系统的整体平稳供电能力和供电电能质量。光伏微电网运行于离网模式时,光伏发电系统具有一定的随机波动性,难以保持光伏微电网系统的电压和频率稳定。

[0003] 光伏微电网的光伏发电系统主要分为单级式光伏发电系统和双级式光伏发电系统。双级式光伏发电系统,主要由光伏板组件、DC/DC变换器和集中逆变器组成。通过对其中所有双级式光伏发电系统的集中逆变器的协调控制,可以在光伏微电网系统运行于离网模式时,稳定光伏微电网系统的电压和频率。现有的对集中逆变器的协调控制,基于双级式光伏发电系统间的通信,通过协调双级式光伏发电系统间功率平衡来调节系统电压或频率,需要较高的通信带宽,不具有即插即用特性和较高的可靠性。

发明内容

[0004] 本发明为了克服现有光伏微电网系统的多个光伏发电子系统的协调控制,需要较高的通信带宽的不足,提供一种光伏微电网系统和光伏微电网系统控制方法。

[0005] 根据本发明的一个方面,提供一种光伏微电网系统,包括:并联的多个双级式光伏发电子系统;任一所述双级式光伏发电子系统,包括:多个功率优化器、多个功率优化器控制单元、集中逆变器和集中逆变器控制单元;所述多个功率优化器串联;多个功率优化器串联后的输出端与所述集中逆变器的输入端连接;每个所述功率优化器对应一个所述功率优化器控制单元;所述功率优化器控制单元,用于根据所述功率优化器的输出电压,切换为两种不同工作模式,对所述功率优化器进行滞环控制;所述集中逆变器控制单元,用于根据所述集中逆变器的可用最大有功功率,对所述集中逆变器的输出功率进行控制,以使得每一双级式光伏发电子系统的集中逆变器的可用最大有功功率与输出功率之差相等。

[0006] 优选地,所述集中逆变器控制单元包括:功率计算模块、功率外环控制模块、可用最大功率动态预估模块、电压电流控制模块和PWM调制模块;所述功率计算模块,用于根据所述集中逆变器的输出电压和输出电流,获取所述集中逆变器输出的有功功率 P_0 和无功功率 Q_0 ;所述可用最大功率动态预估模块,用于根据所述集中逆变器的输入电流和输入电压,获取所述集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$;所述功率外环控制模块,用于根据所述集中逆变器输出的有功功率 P_0 、无功功率 Q_0 、可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$,获取参考电压 $V_r \sin \omega_r t$;所述电压电流控制模块,用于根据所述参考电压 $V_r \sin \omega_r t$,生成集中逆变器内电压参考信号;所述PWM调制模块,用于调制

所述集中逆变器内电压参考信号,生成所述集中逆变器的控制信号。

[0007] 优选地,所述功率计算模块获取的所述集中逆变器输出的有功功率 P_0 和无功功率 Q_0 分别为

$$[0008] \quad P_o = \frac{V_{oac} I_{oac}}{\tau S + 1}; \quad Q_o = \frac{V_{oac}' I_{oac}}{\tau S + 1}$$

[0009] 其中, V_{oac} 为集中逆变器的输出电压, I_{oac} 为集中逆变器的输出电流, V_{oac}' 为 V_{oac} 滞后90度的电压, τ 为低通滤波常数。

[0010] 优选地,所述可用最大功率动态预估模块获取的所述集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{max_t}^*$ 分别为:

[0011] 当所述集中逆变器的输入电压 V_{bus} 低于 $V_{bus,min}$ 时,所述集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{max_t}^*$ 分别为

$$[0012] \quad P_{max_t}^* = P_{realtime} = V_{bus} i_{bus}; \quad Q_{max_t}^* = \sqrt{S_{max}^2 - P_{max_t}^{*2}}$$

[0013] 其中, $P_{max_t}^*$ 为集中逆变器的可用最大有功功率, $Q_{max_t}^*$ 为集中逆变器的可用最大无功功率, $P_{realtime}$ 为集中逆变器的实时功率, S_{max} 为集中逆变器视在容量的最大值, $V_{bus,min}$ 为集中逆变器允许的最小输出电压, i_{bus} 为集中逆变器的输入电流, V_{bus} 为集中逆变器的输入电压;

[0014] 当所述集中逆变器的输入电压 V_{bus} 高于 $V_{bus,max}$ 时,集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{max_t}^*$ 分别为

$$[0015] \quad P_{max_t}^*(k+1) = P_{max_t}^*(k)$$

$$[0016] \quad Q_{max_t}^*(k+1) = \sqrt{S_{max}^2 - P_{max_t}^{*2}(k+1)}$$

[0017] 其中, $P_{max_t}^*(k)$ 为第k拍时集中逆变器的可用最大有功功率, $P_{max_t}^*(k+1)$ 为第(k+1)拍时集中逆变器的可用最大有功功率, $Q_{max_t}^*(k+1)$ 为第(k+1)拍时集中逆变器的可用最大无功功率, S_{max} 为集中逆变器视在容量的最大值, $V_{bus,max}$ 为集中逆变器允许的最大输出电压。

[0018] 优选地,所述功率外环控制模块获取的所述参考电压中的 ω_r 和 V_r 分别为

$$[0019] \quad \omega_r = \omega^* - m(P_o - P_{max_t}^*) + k(V_{bus} - V_{bus}^*)$$

$$[0020] \quad V_r = V^* - n(Q_o - Q_{max_t}^*)$$

[0021] 其中, ω_r 、 V_r 分别为集中逆变器输出电压的角频率和幅值参考值, ω^* 、 V^* 分别为集中逆变器在额定状态下输出电压的角频率和幅值, m 、 n 分别为集中逆变器有功-角频率下垂($P-\omega$)和无功-电压下垂($Q-V$)的下垂系数, $P_{max_t}^*$ 、 $Q_{max_t}^*$ 分别为集中逆变器的可用最大有功功率和可用最大无功功率, V_{bus} 、 V_{bus}^* 分别为集中逆变器的输入电压及其额定参考值, k 为调节系数。

[0022] 优选地,根据所述集中逆变器的输入电压额定参考值 V_{bus}^* ,确定所述集中逆变器允许的最小输出电压和所述集中逆变器允许的最大输出电压。

[0023] 优选地,所述功率优化器控制单元,根据所述功率优化器的输出电压,切换为两种

不同工作模式,进一步包括:

[0024] 当所述功率优化器的输出电压 V_{dc} 低于 $V_{dc,min}$ 时,所述功率优化器控制单元切换为最大功率跟踪工作模式;其中, $V_{dc,min}$ 为功率优化器允许的最小输出电压;

[0025] 当所述功率优化器的输出电压 V_{dc} 高于 $V_{dc,max}$ 时,所述功率优化器控制单元切换为直通工作模式;其中, $V_{dc,max}$ 为功率优化器允许的最大输出电压。

[0026] 优选地,根据所述功率优化器的输出电压参考值 V_{dc}^* ,确定所述功率优化器允许的最小输出电压 $V_{dc,min}$ 和所述功率优化器允许的最大输出电压 $V_{dc,max}$;

[0027] 所述功率优化器的输出电压参考值 V_{dc}^* 为

$$[0028] \quad V_{dc}^* = \frac{V_{bus}^*}{n}$$

[0029] 其中, V_{bus}^* 为集中逆变器的输入电压额定参考值, n 为双级式离网光伏发电电子系统中功率优化器的总数量。

[0030] 根据本发明的另一个方面,提供一种光伏微电网系统控制方法包括:对于任一光伏发电电子系统,

[0031] S1、根据集中逆变器的输出电压 V_{oac} 和输出电流 I_{oac} ,获取所述集中逆变器输出的有功功率 P_o 和无功功率 Q_o ;

[0032] S2、根据所述集中逆变器的输入电流 i_{bus} 和输入电压 V_{bus} ,获取所述集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{max_t}^*$;

[0033] S3、根据所述集中逆变器的有功功率 P_o 、无功功率 Q_o 、可用最大有功功率 $P_{max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{max_t}^*$,获取参考电压 $V_r \sin \omega_r t$;

[0034] S4、根据所述参考电压 $V_r \sin \omega_r t$,生成所述集中逆变器的控制信号。

[0035] 优选地,所述步骤S4进一步包括:

[0036] S41、根据所述参考电压 $V_r \sin \omega_r t$,生成集中逆变器内电压参考信号;

[0037] S42、调制所述集中逆变器内电压参考信号,生成所述集中逆变器的控制信号。

[0038] 本发明提供了一种光伏微电网系统和光伏微电网系统控制方法,实现了多个光伏发电电子系统在无通信条件下的协调控制,保证负载功率的自主、合理分配和光伏微电网系统电压及频率的稳定。

附图说明

[0039] 图1为本发明实施例一种光伏微电网系统的结构示意图;

[0040] 图2为本发明实施例光伏微电网系统中的集中逆变器控制单元的结构示意图;

[0041] 图3为本发明实施例光伏微电网系统中的功率优化器控制单元的控制原理示意图;

[0042] 图4为本发明实施例一种光伏微电网系统控制方法的流程图。

具体实施方式

[0043] 下面结合附图和实施例,对本发明的具体实施方式作进一步详细描述。以下实施例用于说明本发明,但不用来限制本发明的范围。

[0044] 图1为本发明实施例一种光伏微电网系统的结构示意图。如图1所示,一种光伏微电网系统包括:并联的多个双级式光伏发电子系统;任一双级式光伏发电子系统,包括:多个功率优化器、多个功率优化器控制单元、集中逆变器和集中逆变器控制单元;多个功率优化器串联;多个功率优化器串联后的输出端与集中逆变器的输入端连接;每个功率优化器对应一个功率优化器控制单元;功率优化器控制单元,用于根据功率优化器的输出电压,切换为两种不同工作模式,对功率优化器进行滞环控制;集中逆变器控制单元,用于根据集中逆变器的可用最大有功功率,对所述集中逆变器的输出功率进行控制,以使得每一双级式光伏发电子系统的集中逆变器的可用最大有功功率与输出功率之差相等。

[0045] 光伏微电网系统包括多个双级式光伏发电子系统。其中,多个为至少两个。参考图1,光伏微电网系统包括M个双级式光伏发电子系统。其中, $M \geq 2$ 。M个双级式光伏发电子系统相互并联,均连接于公共母线。公共母线上还连接有区域等效负载。

[0046] 下面以第1双级式光伏发电子系统为例,说明每一个双级式光伏发电子系统的结构。其他双级式光伏发电子系统的结构,即第2双级式光伏发电子系统至第M双级式光伏发电子系统的结构,均与第1双级式光伏发电子系统的结构相同,此处不再赘述。

[0047] 第1双级式光伏发电子系统包括:多个功率优化器、多个功率优化器控制单元、集中逆变器和集中逆变器控制单元。

[0048] 第1双级式光伏发电子系统的前级为多个功率优化器。第1双级式光伏发电子系统功率优化器数量为n,其中, $n \geq 2$ 。n个功率优化器均为升压型直流/直流(Boost型DC/DC)功率优化器。

[0049] 每个功率优化器的输入端均与光伏板组件的输出端通过功率优化器的输入端电容连接。每个功率优化器对与其相连的光伏板组件进行控制。

[0050] 每个功率优化器的输出端还包括输出端电容。

[0051] n个功率优化器的输出端进行串联,能够提高前级的升压能力。

[0052] 每个功率优化器对应一个功率优化器控制单元。每个功率优化器控制单元,对与其相连的功率优化器进行控制。功率优化器控制单元,根据功率优化器的输出电压,切换为两种不同工作模式,生成功率优化器的控制信号,对功率优化器的半导体开关的占空比进行控制,实现对功率优化器的滞环控制。

[0053] 第1双级式光伏发电子系统的前级为后级为集中逆变器。集中逆变器的输入端,通过直流母线电容与n个功率优化器串联后的输出端连接,并通过直流母线电容实现一定程度的解耦功能。

[0054] 集中逆变器的输出侧通过线路阻抗1与光伏微电网的公共母线相连。

[0055] 集中逆变器为DC/AC逆变器。为了较好地实现直流/交流(DC/AC)电力变换的能力,集中逆变器可以采用典型的单相全桥电压型逆变器,但不限于此。

[0056] 集中逆变器控制单元,根据集中逆变器的可用最大有功功率控制集中逆变器的输出功率。通过每一集中逆变器控制单元根据集中逆变器的可用最大有功功率,对集中逆变器的输出功率的控制,使每一双级式光伏发电子系统的集中逆变器的可用最大有功功率与输出功率之差相等。

[0057] 本发明实施例通过每一集中逆变器控制单元根据集中逆变器的可用最大有功功率,对集中逆变器的输出功率的控制,实现了多个光伏发电子系统在无通信条件下的协调

控制,保证负载功率的自主、合理分配和光伏微电网系统电压及频率的稳定,具有即插即用性和较高的可靠性。进一步地,本发明实施例提供的光伏微电网系统,尤其适用于高渗透率光伏的微电网,在系统总光伏发电量大于负荷需求量的情况下,不需要大量储能装置来稳定系统的输出功率,不需要储能系统和辅助能源的支撑,大大减少了光伏微电网中辅助型可调度能源的投资,节约了系统的建造成本,不会造成储能装置的浪费。进一步地,基于功率优化器串联结构的双级式光伏发电电子系统,实现整体电压的升压功能和较高的系统转换效率,具有结构简单、控制灵活、转换效率高和稳定可靠等优点。

[0058] 图2为本发明实施例光伏微电网系统中的集中逆变器控制单元的结构示意图。基于上述实施例,如图2所示,集中逆变器控制单元包括:功率计算模块、功率外环控制模块、可用最大功率动态预估模块、电压电流控制模块和PWM调制模块。

[0059] 功率计算模块,用于根据集中逆变器的输出电压和输出电流,获取集中逆变器输出的有功功率 P_0 和无功功率 Q_0 。

[0060] 可用最大功率动态预估模块,用于根据集中逆变器的输入电流和输入电压,获取集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$ 。

[0061] 功率外环控制模块,用于根据集中逆变器输出的有功功率 P_0 、无功功率 Q_0 、可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$,获取参考电压 $V_r \sin \omega_r t$ 。

[0062] 电压电流控制模块,用于根据参考电压 $V_r \sin \omega_r t$,生成集中逆变器内电压参考信号。

[0063] PWM调制模块,用于调制集中逆变器内电压参考信号,生成集中逆变器的控制信号。

[0064] 具体地,功率计算模块根据集中逆变器的输出电压 V_{oac} 和输出电流 I_{oac} ,获取集中逆变器输出的有功功率 P_0 和无功功率 Q_0 。集中逆变器的输出电压 V_{oac} 和输出电流 I_{oac} ,可以通过本领域常规的电压检测和电流检测方法获得。例如,可以通过电压互感器获得集中逆变器的输出电压 V_{oac} ,通过电流互感器获得集中逆变器的输出电流 I_{oac} ,但不限于此。

[0065] 功率计算模块,将获取的有功功率 P_0 和无功功率 Q_0 发送给功率外环控制模块。

[0066] 可用最大功率包括可用最大有功功率和可用最大无功功率。

[0067] 可用最大功率动态预估模块,根据集中逆变器的输入电流 i_{bus} 和输入电压 V_{bus} ,获取集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$ 。

[0068] 可用最大功率动态预估模块,将获取的集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$ 发送给功率外环控制模块。

[0069] 功率外环控制模块,接收并根据功率计算模块发送的集中逆变器输出的有功功率 P_0 和无功功率 Q_0 ,以及可用最大功率动态预估模块发送的集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$,对集中逆变器进行功率外环控制,并生成参考电压 $V_r \sin \omega_r t$ 。

[0070] 集中逆变器输出的有功功率 P_0 和无功功率 Q_0 ,以及集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$,是对集中逆变器进行控制的依据。通过对每一双级式光伏发电电子系统的集中逆变器的控制,使每一双级式光伏发电电子系统的集中逆变器的可用最大有功功率与输出功率之差相等。

[0071] 功率外环控制模块,将参考电压 $V_r \sin \omega_r t$ 发送给电压电流控制模块。

[0072] 电压电流控制模块,根据接收的功率外环控制模块生成的参考电压 $V_r \sin \omega_r t$,对

逆变器的输出电容电压和电感电流进行双闭环跟踪控制,生成集中逆变器内电压参考信号。

[0073] 电压电流控制模块,将集中逆变器内电压参考信号发送给PWM调制模块。

[0074] PWM调制模块,对接收的电压电流控制模块生成的集中逆变器内电压参考信号,进行PWM调制(Pulse-width modulation,脉冲宽度调制),生成集中逆变器的控制信号,对集中逆变器的半导体开关的占空比进行控制。

[0075] 本发明实施例通过集中逆变器控制单元,根据集中逆变器的可用最大功率,对集中逆变器的输出功率的控制,实现了多个光伏发电电子系统在无通信条件下的协调控制,保证负载功率的合理分配和光伏微电网系统电压和频率的稳定,具有即插即用性和较高的可靠性。

[0076] 基于上述实施例,功率计算模块获取的集中逆变器输出的有功功率 P_0 和无功功率 Q_0 分别为

$$[0077] \quad P_o = \frac{V_{oac} I_{oac}}{\tau s + 1}; \quad Q_o = \frac{V_{oac}' I_{oac}}{\tau s + 1}$$

[0078] 其中, V_{oac} 为集中逆变器的输出电压, I_{oac} 为集中逆变器的输出电流, V_{oac}' 为 V_{oac} 滞后90度的电压, τ 为低通滤波常数。

[0079] 可用最大功率动态预估模块获取的集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$ 分别为:

[0080] 当集中逆变器的输入电压 V_{bus} 低于 $V_{bus,min}$ 时,集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$ 分别为

$$[0081] \quad P_{\max_t}^* = P_{realtime} = V_{bus} i_{bus}; \quad Q_{\max_t}^* = \sqrt{S_{\max}^2 - P_{\max_t}^{*2}}$$

[0082] 其中, $P_{\max_t}^*$ 为集中逆变器的可用最大有功功率, $Q_{\max_t}^*$ 为集中逆变器的可用最大无功功率, $P_{realtime}$ 为集中逆变器的实时功率, S_{\max} 为集中逆变器视在容量的最大值, $V_{bus,min}$ 为集中逆变器允许的最小输出电压, i_{bus} 为集中逆变器的输入电流, V_{bus} 为集中逆变器的输入电压;

[0083] 当集中逆变器的输入电压 V_{bus} 高于 $V_{bus,max}$ 时,集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$ 分别为

$$[0084] \quad P_{\max_t}^*(k+1) = P_{\max_t}^*(k)$$

$$[0085] \quad Q_{\max_t}^*(k+1) = \sqrt{S_{\max}^2 - P_{\max_t}^{*2}(k+1)}$$

[0086] 其中, $P_{\max_t}^*(k)$ 为第k拍时集中逆变器的可用最大有功功率, $P_{\max_t}^*(k+1)$ 为第(k+1)拍时集中逆变器的可用最大有功功率, $Q_{\max_t}^*(k+1)$ 为第(k+1)拍时集中逆变器的可用最大无功功率, S_{\max} 为集中逆变器视在容量的最大值, $V_{bus,max}$ 为集中逆变器允许的最大输出电压。

[0087] 功率外环控制模块获取的所述参考电压中的 ω_r 和 V_r 分别为

$$[0088] \quad \omega_r = \omega^* - m(P_o - P_{\max_t}^*) + k(V_{bus} - V_{bus}^*)$$

$$[0089] \quad V_r = V^* - n(Q_o - Q_{\max,t}^*)$$

[0090] 其中, ω_r 、 V_r 分别为集中逆变器输出电压的角频率和幅值参考值, ω^* 、 V^* 分别为集中逆变器在额定状态下输出电压的角频率和幅值, m 、 n 分别为集中逆变器有功-角频率下垂 ($P-\omega$) 和无功-电压下垂 ($Q-V$) 的下垂系数, $P_{\max,t}^*$ 、 $Q_{\max,t}^*$ 分别为集中逆变器的可用最大有功功率和可用最大无功功率, V_{bus} 、 V_{bus}^* 分别为集中逆变器的输入电压及其额定参考值, k 为调节系数。

[0091] 根据集中逆变器的输入电压额定参考值 V_{bus}^* , 确定集中逆变器允许的最小输出电压和集中逆变器允许的最大输出电压。

[0092] 具体地, 功率计算模块, 根据集中逆变器的输出电压 V_{oac} 和输出电流 I_{oac} , 确定集中逆变器输出的有功功率 P_o 和无功功率 Q_o 。集中逆变器输出的有功功率 P_o 和无功功率 Q_o 分别可以通过以下公式计算得出:

$$[0093] \quad P_o = \frac{V_{oac} I_{oac}}{\tau s + 1}; \quad Q_o = \frac{V_{oac}' I_{oac}}{\tau s + 1}$$

[0094] 其中, V_{oac} 为集中逆变器的输出电压, I_{oac} 为集中逆变器的输出电流, V_{oac}' 为 V_{oac} 滞后90度的电压, τ 为低通滤波常数。

[0095] 功率计算模块, 获取有功功率 P_o 和无功功率 Q_o 后, 将获取的有功功率 P_o 和无功功率 Q_o 发送给功率外环控制模块。

[0096] 光伏发电子系统在实际运行中, 会出现工作状态不稳定的情况。当出现工作状态不稳定时, 集中逆变器的可用最大功率会变化。因此, 可用最大功率动态预估模块, 需要根据光伏发电子系统的工作状态, 获取集中逆变器的可用最大功率。

[0097] 光伏发电子系统受自然环境条件限制, 集中逆变器的输出功率受集中逆变器的输入功率的限制。当集中逆变器的输入功率和输出功率相互匹配时, 光伏发电子系统稳定运行; 当集中逆变器的输入功率和输出功率不匹配时, 光伏发电子系统运行不稳定。

[0098] 当集中逆变器的输入功率小于输出功率时, 集中逆变器的可用最大功率不足, 直流母线电容电压持续降低, 光伏发电子系统运行不稳定, 前级的功率优化器运行于最大功率跟踪工作模式 (MPPT工作模式)。因此, 需要可用最大功率动态预估模块动态刷新集中逆变器的可用最大功率, 减小的集中逆变器输出。

[0099] 当集中逆变器的输入功率大于输出功率时, 集中逆变器的可用最大功率过剩, 直流母线电容电压开始上升, 此时可用最大功率动态预估模块不需要动态刷新可用最大功率参考值。前级的功率优化器的输出减少, 即集中逆变器的输入功率减少, 直至达到集中逆变器的输入功率和输出功率平衡。

[0100] 光伏发电子系统的运行状态是否稳定, 可以根据集中逆变器的输入电压 V_{bus} 确定。

[0101] 当集中逆变器的输入电压 V_{bus} 低于 $V_{bus, \min}$ 时, 光伏发电子系统运行不稳定。其中, $V_{bus, \min}$ 为集中逆变器允许的最小输出电压, V_{bus} 为集中逆变器的输入电压。

[0102] 集中逆变器允许的最小输出电压 $V_{bus, \min}$ 根据集中逆变器的输入电压额定参考值 V_{bus}^* 确定。

[0103] $V_{bus, \min} = k_1 \times V_{bus}^*$ 。其中, k_1 为集中逆变器最小输出电压系数, $k_1 < 1$, k_1 的取值根据实际光伏微电网的情况确定。

[0104] 优选地, $k_1=0.85$ 。此时, $V_{bus,min}=0.85V_{bus}^*$ 。

[0105] 当集中逆变器的输入电压 V_{bus} 低于 $V_{bus,min}$ 时, 可用最大功率动态预估模块动态刷新集中逆变器的可用最大功率。集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{max_t}^*$ 可以通过以下公式获取:

$$[0106] \quad P_{max_t}^* = P_{realtime} = V_{bus} i_{bus}; \quad Q_{max_t}^* = \sqrt{S_{max}^2 - P_{max_t}^{*2}}$$

[0107] 其中, $P_{max_t}^*$ 为集中逆变器的可用最大有功功率, $Q_{max_t}^*$ 为集中逆变器的可用最大无功功率, $P_{realtime}$ 为集中逆变器的实时功率, S_{max} 为集中逆变器视在容量的最大值, $V_{bus,min}$ 为集中逆变器允许的最小输出电压, i_{bus} 为集中逆变器的输入电流, V_{bus} 为集中逆变器的输入电压。

[0108] 集中逆变器的输入电流 i_{bus} 和输入电压 V_{bus} , 可以通过本领域常规的电压检测和电流检测方法获得。例如, 可以通过电压互感器获得集中逆变器的输入电压 V_{bus} , 通过电流互感器获得集中逆变器的输入电流 i_{bus} , 但不限于此。

[0109] 当集中逆变器的输入电压 V_{bus} 高于 $V_{bus,max}$ 时, 光伏发电子系统运行于稳定状态。其中, $V_{bus,max}$ 为集中逆变器允许的最大输出电压, V_{bus} 为集中逆变器的输入电压。

[0110] 集中逆变器允许的最大输出电压 $V_{bus,max}$ 根据集中逆变器的输入电压额定参考值 V_{bus}^* 确定。

[0111] $V_{bus,max}=k_2 \times V_{bus}^*$ 。其中, k_2 为集中逆变器最大输出电压系数, $k_2 > 1$, k_2 的取值根据实际光伏微电网的情况确定。

[0112] 优选地, $k_2=1.05$ 。此时, $V_{bus,max}=1.05V_{bus}^*$ 。

[0113] 当集中逆变器的输入电压 V_{bus} 高于 $V_{bus,max}$ 时, 不需要动态刷新集中逆变器的可用最大功率, 将上一拍的所述集中逆变器的可用最大功率 $P_{max_t}^*(k)$ 缓存给下一拍 $P_{max_t}^*(k+1)$ 。集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{max_t}^*(k)$ 和可用最大无功功率 $Q_{max_t}^*$ 可以通过以下公式获取:

$$[0114] \quad P_{max_t}^*(k+1) = P_{max_t}^*(k)$$

$$[0115] \quad Q_{max_t}^*(k+1) = \sqrt{S_{max}^2 - P_{max_t}^{*2}(k+1)}$$

[0116] 其中, $P_{max_t}^*(k)$ 为第 k 拍时集中逆变器的可用最大有功功率, $P_{max_t}^*(k+1)$ 为第 $(k+1)$ 拍时集中逆变器的可用最大有功功率, $Q_{max_t}^*(k+1)$ 为第 $(k+1)$ 拍时集中逆变器的可用最大无功功率, S_{max} 为集中逆变器视在容量的最大值, $V_{bus,max}$ 为集中逆变器允许的最大输出电压。

[0117] 可用最大功率动态预估模块, 获取的集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{max_t}^*$ 后, 将获取的集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{max_t}^*$ 发送给功率外环控制模块。

[0118] 功率外环控制模块, 接收功率计算模块发送的集中逆变器输出的有功功率 P_0 和无功功率 Q_0 , 以及可用最大功率动态预估模块发送的集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{max_t}^*$ 和

可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$ 后,根据集中逆变器的有功功率 P_o 、无功功率 Q_o 、可用最大有功功率 $P_{\max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{\max_t}^*$,可以对集中逆变器进行控制,生成参考电压 $V_r \sin \omega_r t$ 。

[0119] 参考电压 $V_r \sin \omega_r t$ 中 ω_r 和 V_r 可以通过以下公式获取:

$$[0120] \quad \omega_r = \omega^* - m(P_o - P_{\max_t}^*) + k(V_{bus} - V_{bus}^*)$$

$$[0121] \quad V_r = V^* - n(Q_o - Q_{\max_t}^*)$$

[0122] 其中, ω_r 、 V_r 分别为集中逆变器输出电压的角频率和幅值参考值, ω^* 、 V^* 分别为集中逆变器在额定状态下输出电压的角频率和幅值, m 、 n 分别为集中逆变器有功-角频率下垂($P-\omega$)和无功-电压下垂($Q-V$)的下垂系数, $P_{\max_t}^*$ 、 $Q_{\max_t}^*$ 分别为集中逆变器的可用最大有功功率和可用最大无功功率, V_{bus} 、 V_{bus}^* 分别为集中逆变器的输入电压及其额定参考值, k 为调节系数。

[0123] 功率外环控制模块,生成参考电压 $V_r \sin \omega_r t$ 后,将参考电压 $V_r \sin \omega_r t$ 发送给电压电流控制模块。

[0124] 当多个并联光伏发电子系统形成光伏微电网系统时,由于光伏微电网系统的频率一致性,稳态情况下各个光伏发电子系统将达到相同的输出频率值,因此,通过本实施例提供的光伏微电网系统的控制方法对每一光伏发电子系统的集中逆变器的控制,可以达到

$$[0125] \quad P_{\max_t_1}^* - P_{o_1} = \dots = P_{\max_t_i}^* - P_{o_i} = \dots = P_{\max_t_M}^* - P_{o_M}$$

[0126] 其中, $P_{\max_t_i}^*$ 、 P_{o_i} 分别为第 i 个光伏发电子系统的集中逆变器的可用最大有功功率和输出功率, $1 \leq i \leq M$; $P_{\max_t_M}^*$ 、 P_{o_M} 为第 M 个光伏发电子系统的集中逆变器的可用最大有功功率和输出功率。

[0127] 本发明实施例提供的功率计算模块、功率外环控制模块和可用最大功率动态预估模块,基于集中逆变器的可用最大有功功率对集中逆变器进行控制,实现了多个光伏发电子系统在无通信条件下的协调控制,保证负载功率的自主、合理分配和光伏微电网系统电压及频率的稳定,具有即插即用性和较高的可靠性。源端光伏发电能力较强的子系统输出更高的功率值,源端光伏发电能力较弱的子系统输出更低的功率值,保证了所有光伏发电子系统均保留了相同的功率裕量,便于更好的动态功率调节;并且因光伏发电子系统的输出功率不平衡,造成部分光伏发电子系统的使用寿命缩短。进一步地,本发明实施例提供的功率计算模块、功率外环控制模块和可用最大功率动态预估模块,基于集中逆变器的可用最大有功功率对集中逆变器进行控制,充分考虑了集中逆变器的稳定运行区域与容量受限,能使光伏发电子系统的工作状态快速从不稳定恢复到稳定,更好地保证光伏微电网系统电压及频率的稳定。

[0128] 图3为本发明实施例光伏微电网系统中的功率优化器控制单元的控制原理示意图。基于上述实施例,如图3所示,功率优化器控制单元,根据功率优化器的输出电压,切换为两种不同工作模式,进一步包括:当功率优化器的输出电压 V_{dc} 低于 $V_{dc,\min}$ 时,功率优化器控制单元切换为最大功率跟踪工作模式;其中, $V_{dc,\min}$ 为功率优化器允许的最小输出电压;当功率优化器的输出电压 V_{dc} 高于 $V_{dc,\max}$ 时,功率优化器控制单元切换为直通工作模式;其中, $V_{dc,\max}$ 为功率优化器允许的最大输出电压。

[0129] 具体地,由于光伏板组件的输出特性影响功率优化器的输出特性,因此当部分光

伏板组件被遮挡时,光伏板组件的运行状态不稳定,从而导致功率优化器的运行状态不稳定。

[0130] 当功率优化器的运行工作点位于其P-U输出特性曲线的左半段,即 $\frac{\Delta P}{\Delta U} > 0$ 时,功率优化器的运行状态不稳定;当功率优化器的运行工作点位于其P-U输出特性曲线的右半段,即 $\frac{\Delta P}{\Delta U} < 0$ 时,功率优化器的运行状态稳定。因此需要保证功率优化器的运行工作点稳定在右半段,即在出现较大扰动时,功率优化器的运行工作点位于其P-U输出特性曲线的左半段,通过功率优化器控制单元的控制使功率优化器的运行工作点从其P-U输出特性曲线的左半段回到右半段。

[0131] 根据功率优化器的工作状态是否稳定,功率优化器控制单元在两种不同工作模式间进行相应切换。

[0132] 当功率优化器的运行状态稳定时,功率优化器控制单元切换为直通工作模式,使功率优化器继续运行于稳定状态。

[0133] 当功率优化器运行状态不稳定时,功率优化器控制单元切换为最大功率跟踪工作模式,控制功率优化器的输出,使功率优化器从不稳定的运行状态回到稳定的运行状态。

[0134] 当功率优化器的输出电压 V_{dc} 低于 $V_{dc,min}$ 时,功率优化器控制单元切换为最大功率跟踪工作模式;其中, $V_{dc,min}$ 为功率优化器允许的最小输出电压;

[0135] 当功率优化器的输出电压 V_{dc} 高于 $V_{dc,max}$ 时,功率优化器控制单元切换为直通工作模式;其中, $V_{dc,max}$ 为功率优化器允许的最大输出电压。

[0136] 具体地,功率优化器的运行状态是否稳定,通过功率优化器的输出电压判断。可以设定功率优化器的稳定状态信号为1,不稳定状态信号为-1。

[0137] 当功率优化器的输出电压 V_{dc} 低于 $V_{dc,min}$ 时,功率优化器处于不稳定运行状态;当功率优化器的输出电压 V_{dc} 高于 $V_{dc,max}$ 时,功率优化器脱离不稳定运行状态,回到稳定运行状态。其中, $V_{dc,min}$ 为功率优化器允许的最小输出电压, $V_{dc,max}$ 为功率优化器允许的最大输出电压。

[0138] 当功率优化器的输出电压 V_{dc} 减小至低于 $V_{dc,min}$ 时,功率优化器的处于不稳定运行状态,其运行工作点位于其P-U输出特性曲线的左半段。功率优化器控制单元运行于最大功率跟踪工作模式(MPPT工作模式),生成功率优化器的控制信号,控制功率优化器,通过控制功率优化器的半导体开关管占空比,对功率优化器的输出侧电容的滞环控制,控制功率优化器的输出。具体控制过程包括:使功率优化器的输出侧电容快速充电,功率优化器的输出电压逐渐增大,功率优化器的运行工作点逐渐脱离P-U输出特性曲线左半段的不稳定状态,回到P-U输出特性曲线右半段的稳定状态。当功率优化器的输出电压 V_{dc} 增大至高于 $V_{dc,max}$ 时,功率优化器脱离不稳定运行状态,回到稳定运行状态。

[0139] 当功率优化器的运行状态稳定时,其运行工作点位于其P-U输出特性曲线的右半段,功率优化器控制单元运行于直通工作模式,控制功率优化器,此时功率优化器的半导体开关管占空比为0,光伏板组件的输出特性即为功率优化器输出特性。

[0140] 参考图3,对于第n个功率优化器控制单元,根据第n个功率优化器的输出电压 V_{dcn} 切换为两种不同工作模式,生成相应的控制信号。当第n个功率优化器控制单元运行于最大

功率跟踪工作模式时,根据第n个功率优化器的输入电压和输入电流,即第n个功率优化器连接的光伏板组件的输出电压 V_{pvn} 和输出电流 i_{pvn} ,生成第n个功率优化器的控制信号;当第n个功率优化器控制单元运行于直通工作模式时,生成第n个功率优化器的控制信号,第n个功率优化器的半导体开关管占空比为0。

[0141] 本发明实施例通过功率优化器控制单元切换工作模式,以稳定所述对应的功率优化器的运行状态,充分考虑了光伏板组件的动态响应和稳定运行区域,实现了部分光伏板组件受遮挡时串联的功率优化器间的自主功率分配,在实际工程应用中具有有效性和可行性,避免了因多个光伏板组件或功率优化器的输出功率不平衡,造成光伏板组件或功率优化器的使用寿命的缩短。

[0142] 基于上述实施例,功率优化器允许的最小输出电压 $V_{dc,min}$ 和功率优化器允许的最大输出电压 $V_{dc,max}$,根据功率优化器的输出电压参考值 V_{dc}^* 确定;

[0143] 功率优化器的输出电压参考值 V_{dc}^* 为

$$[0144] \quad V_{dc}^* = \frac{V_{bus}^*}{n}$$

[0145] 其中, V_{bus}^* 为集中逆变器的输入电压额定参考值,n为双级式离网光伏发电系统中功率优化器的总数量。

[0146] 具体地,功率优化器允许的最小输出电压 $V_{dc,min}$ 和功率优化器允许的最大输出电压 $V_{dc,max}$,均根据功率优化器的输出电压参考值 V_{dc}^* 确定。

[0147] 功率优化器的输出电压参考值 V_{dc}^* ,根据集中逆变器的输入电压额定参考值 V_{bus}^* 和双级式离网光伏发电系统中功率优化器的总数量n确定。集中逆变器的输入电压额定参考值 V_{bus}^* ,即n个功率优化器串联后的输出电压额定参考值。因此,可以将n个功率优化器串联后的输出电压额定参考值,平均分配到每个功率优化器。功率优化器的输出电压参考值

$$V_{dc}^* \text{ 为 } V_{dc}^* = \frac{V_{bus}^*}{n}。$$

[0148] 功率优化器允许的最小输出电压 $V_{dc,min}$,由功率优化器的输出电压参考值 V_{dc}^* 确定。

[0149] $V_{dc,min} = k_3 \times V_{dc}^*$ 。其中, k_3 为功率优化器最小输出电压系数, $k_3 < 1$, k_3 的取值根据实际光伏微电网的情况确定。

[0150] 优选地, $k_3 = 0.9$ 。此时, $V_{dc,min} = 0.9V_{dc}^*$ 。

[0151] 功率优化器允许的最大输出电压 $V_{dc,max}$,由功率优化器的输出电压参考值 V_{dc}^* 确定。

[0152] $V_{dc,max} = k_4 \times V_{dc}^*$ 。其中, k_4 为功率优化器最大输出电压系数, $k_4 > 1$, k_4 的取值根据实际光伏微电网的情况确定。

[0153] 优选地, $k_4 = 1.1$ 。此时, $V_{dc,max} = 1.1V_{dc}^*$ 。

[0154] 本发明实施例通过功率优化器的输出电压参考值确定功率优化器允许的最小输出电压和功率优化器允许的最大输出电压,能够方便、准确地确定功率优化器的工作状态是否稳定,及时切换功率优化器的工作模式,快速实现负载功率的合理分配和光伏微电网

系统电压及频率的稳定。

[0155] 图4为本发明实施例一种光伏微电网系统控制方法的流程图。如图4所示,一种光伏微电网系统控制方法包括:对于任一光伏发电子系统,S1、根据集中逆变器的输出电压 V_{oac} 和输出电流 I_{oac} ,获取集中逆变器输出的有功功率 P_o 和无功功率 Q_o ;S2、根据集中逆变器的输入电流 i_{bus} 和输入电压 V_{bus} ,获取集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{max_t}^*$;S3、根据集中逆变器的有功功率 P_o 、无功功率 Q_o 、可用最大有功功率 $P_{max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{max_t}^*$,获取参考电压 $V_r \sin \omega_r t$;S4、根据参考电压 $V_r \sin \omega_r t$,生成集中逆变器的控制信号。

[0156] 步骤S4进一步包括:S41、根据参考电压 $V_r \sin \omega_r t$,生成集中逆变器内电压参考信号;S42、调制集中逆变器内电压参考信号,生成集中逆变器的控制信号。

[0157] 具体地,步骤S1、步骤S2和步骤S3,可以分别通过上述光伏微电网系统实施例中的功率计算模块、可用最大功率动态预估模块和功率外环控制模块实现。步骤S1中获取集中逆变器输出的有功功率 P_o 和无功功率 Q_o 、步骤S2中获取集中逆变器的可用最大有功功率 $P_{max_t}^*$ 和可用最大无功功率 $Q_{max_t}^*$,以及步骤S3中获取参考电压 $V_r \sin \omega_r t$ 的具体过程,详见上述光伏微电网系统实施例,此处不再赘述。

[0158] 步骤S4、根据参考电压 $V_r \sin \omega_r t$,生成集中逆变器的控制信号。

[0159] 根据参考电压 $V_r \sin \omega_r t$,生成集中逆变器的控制信号,通过控制集中逆变器的半导体开关的占空比,对集中逆变器的输出电容电压和电感电流进行双闭环跟踪控制,控制集中逆变器的输出功率。对于典型的单相全桥电压型逆变器,通过生成集中逆变器的控制信号,控制集中逆变器的四个半导体开关的占空比,控制集中逆变器的输出功率。

[0160] 步骤S4的步骤S41中,根据参考电压 $V_r \sin \omega_r t$,可以对集中逆变器的输出电容电压和电感电流进行双闭环跟踪控制,生成集中逆变器内电压参考信号。

[0161] 步骤S4的步骤S42中,调制集中逆变器内电压参考信号,生成集中逆变器的控制信号。对集中逆变器内电压参考信号的调制,一般采用PWM调制。

[0162] 通过本发明实施例提供的光伏微电网系统控制方法,当多个并联光伏发电子系统形成光伏微电网系统时,由于光伏微电网系统的频率一致性,稳态情况下各个光伏发电子系统将达到相同的输出频率值,因此,通过本实施例提供的光伏微电网系统的控制方法对每一光伏发电子系统的集中逆变器的控制,可以达到

$$[0163] \quad P_{max_t_1}^* - P_{o_1} = \dots = P_{max_t_i}^* - P_{o_i} = \dots = P_{max_t_M}^* - P_{o_M}$$

[0164] 其中, $P_{max_t_i}^*$ 、 P_{o_i} 为第 i 个光伏发电子系统的集中逆变器的可用最大有功功率估计和输出功率, $1 \leq i \leq M$; $P_{max_t_M}^*$ 、 P_{o_M} 为第 M 个光伏发电子系统的集中逆变器的可用最大有功功率和输出功率。

[0165] 本发明实施例通过基于集中逆变器的可用最大功率的控制方法,实现了多个光伏发电子系统在无通信条件下的协调控制,保证负载功率的自主、合理分配和光伏微电网系统电压及频率的稳定,具有即插即用性和较高的可靠性。源端光伏发电能力较强的子系统输出更高的功率值,源端光伏发电能力较弱的子系统输出更低的功率值,保证了所有光伏发电子系统均保留了相同的功率裕量,便于更好的动态功率调节;并且因光伏发电子系统

的输出功率不平衡,造成部分光伏发电子系统的使用寿命缩短。进一步地,本发明实施例提供的光伏微电网控制方法,充分考虑了集中逆变器的稳定运行区域与容量受限,能使光伏发电子系统的工作状态快速从不稳定恢复到稳定,更好地保证光伏微电网系统电压及频率的稳定。

[0166] 最后,本发明提供的系统仅为较佳的实施方案,并非用于限定本发明的保护范围。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

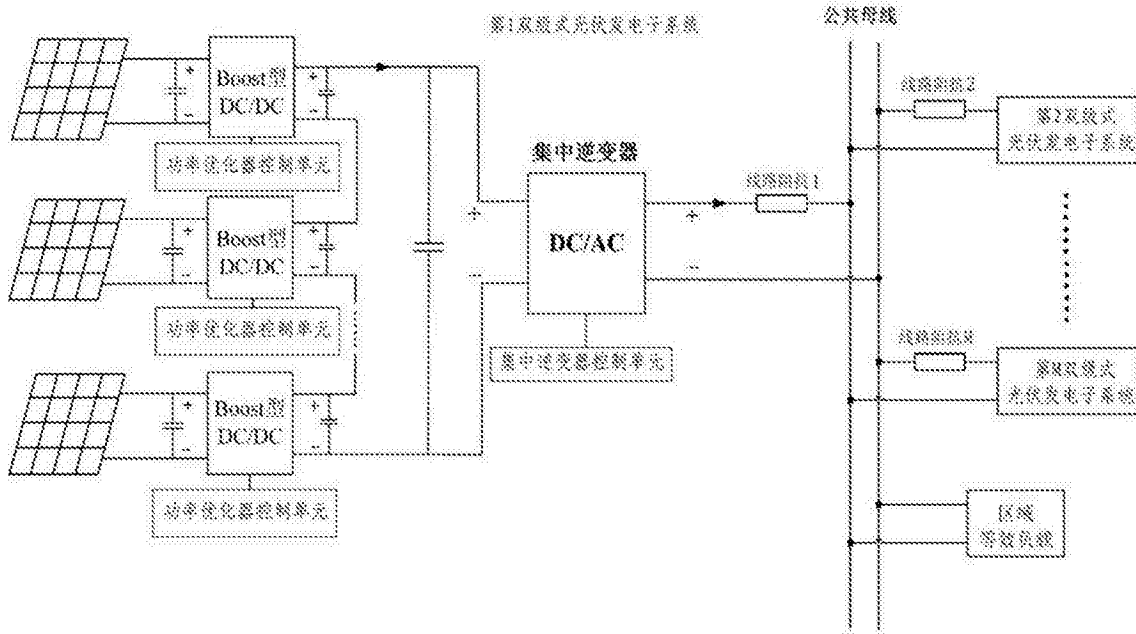


图1

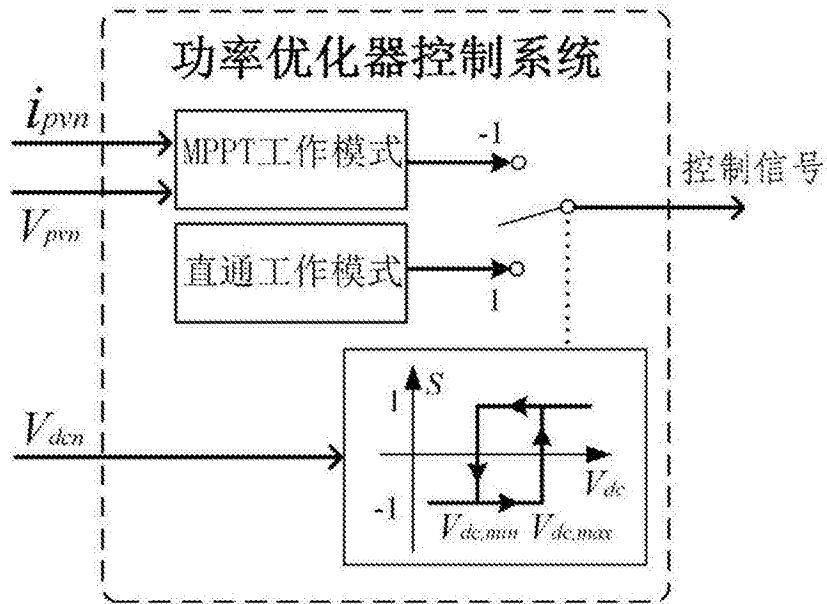
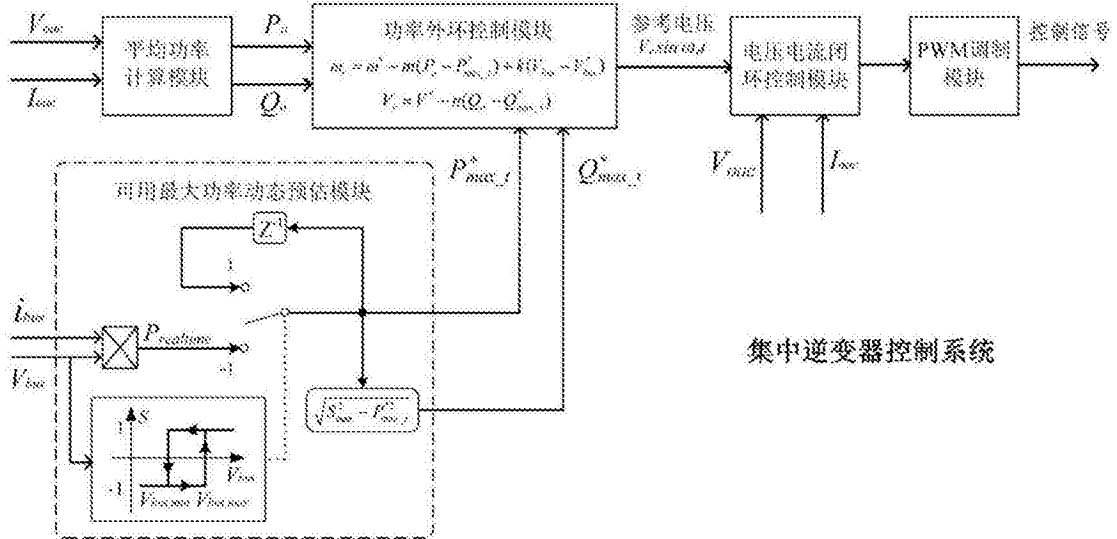


图2



集中逆变器控制系统

图3

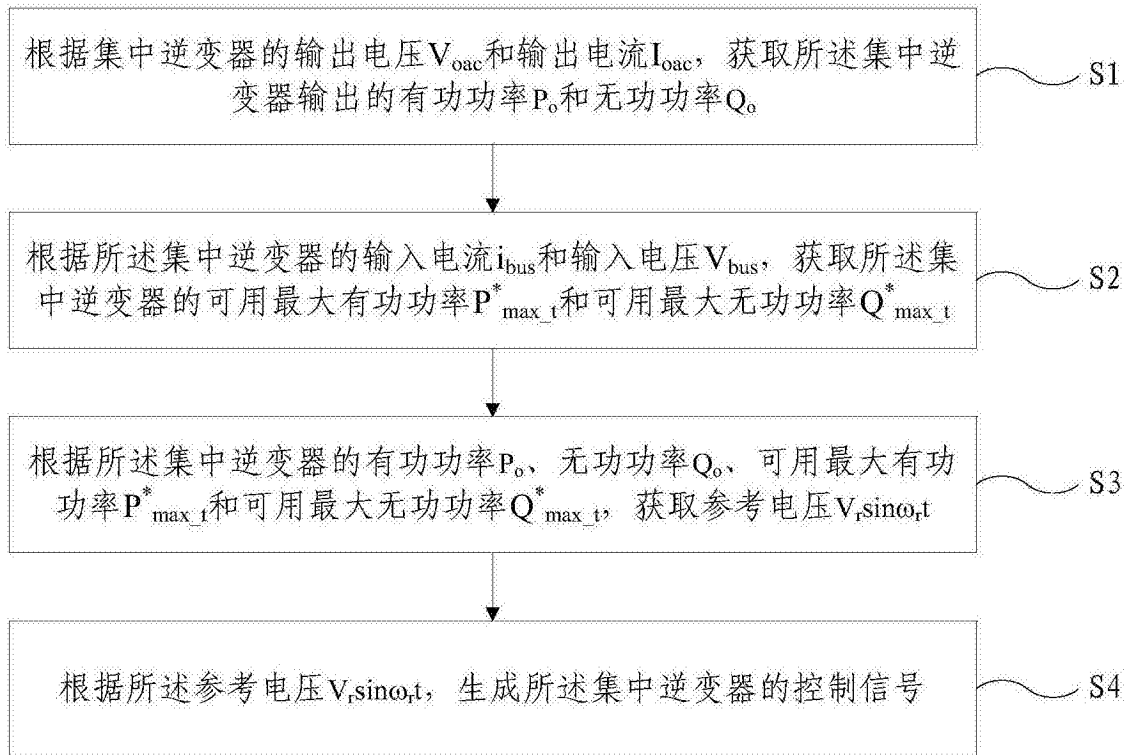


图4