(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104113078 B
(45)授权公告日 2016.08.31

(21)申请号 201410318297.6

(22)申请日 2014.07.03

(73)专利权人 珠海格力电器股份有限公司
地址 519070 广东省珠海市前山金鸡西路六号

(72)发明人 赵志刚 张雪芬 蒋世用 刘克勤 冯重阳

(74)专利代理机构 广州华进联合专利商标代理有限公司 44224
代理人 李芙蓉 李双皓

(51)Int.Cl.
H02J 3/38(2006.01)

(56)对比文件
CN 103529900 A,2014.01.22,
CN 203645345 U,2014.06.11,
CN 102723740 A,2012.10.10,
CN 102436285 A,2012.05.02,
WO 2014/047733 A1,2014.04.03,

审查员 高文杰

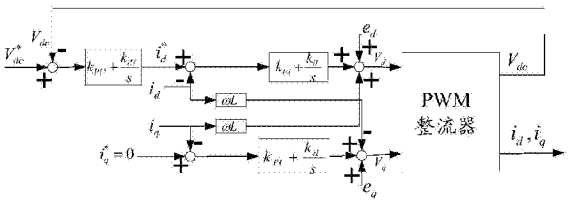
权利要求书4页 说明书12页 附图3页

(54)发明名称

光伏直驱系统及其控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种光伏直驱系统及其控制方法，其中方法包括如下步骤：根据光伏直驱系统中的光伏单元、负载单元和电网单元之间的能量平衡关系，采用电压外环电流内环控制方法，控制电网单元的网侧换流器；根据负载单元中的负载在同步旋转坐标系下的数学模型，采用模型参考自适应控制方法，控制负载运行；根据动态负载跟踪MPPT自适应步长控制方法，控制光伏单元。其通过采用不同的控制方法，分别控制光伏直驱系统中的光伏单元、负载单元和电网单元，实现光伏直驱系统中三元联动控制，从而实现了能量的双向流动及实时并网，有效地解决了现有的光伏空调系统不能实现实时并网，且不能实现全直流并网技术的问题。



CN 104113078 B

1.一种光伏直驱系统控制方法，其特征在于，包括如下步骤：

根据光伏直驱系统中的光伏单元、负载单元和电网单元之间的能量平衡关系，采用电压外环电流内环控制方法，控制所述电网单元的网侧换流器；

根据所述负载单元中的负载在同步旋转坐标系下的数学模型，采用模型参考自适应控制方法，控制所述负载运行；

根据动态负载跟踪MPPT自适应步长控制方法，控制所述光伏单元；

其中，所述根据所述负载单元中的负载在同步旋转坐标系下的数学模型，采用模型参考自适应控制方法，控制所述负载运行，包括如下步骤：

根据所述负载在所述同步旋转坐标系下的数学模型，选取所述负载的本体模型作为参考模型，所述负载在所述同步旋转坐标系下的数学模型中的电流模型作为可调模型，对所述电流模型化简；

将所述电流模型化简后，设计并联可调模型；

根据POPOV超稳定性理论和所述并联可调模型得到所述负载的转速算法；

根据所述负载的所述转速算法，控制所述负载运行。

2.根据权利要求1所述的光伏直驱系统控制方法，其特征在于，所述根据光伏直驱系统中的光伏单元、负载单元和电网单元之间的能量平衡关系，采用电压外环电流内环控制方法，控制所述电网单元的网侧换流器，包括如下步骤：

根据所述光伏单元、所述负载单元和所述电网单元之间的所述能量平衡关系，设置控制目标和约束条件；

根据所述控制目标和所述约束条件，对所述网侧换流器进行坐标转换，得到所述网侧换流器在所述同步旋转坐标系下的数学模型；

根据所述网侧换流器在所述同步旋转坐标系下的数学模型，按照所述电压外环电流内环控制方法对所述网侧换流器进行控制。

3.根据权利要求2所述的光伏直驱系统控制方法，其特征在于，所述根据所述网侧换流器在所述同步旋转坐标系下的数学模型，按照所述电压外环电流内环控制方法对所述网侧换流器进行控制，包括如下步骤：

预设所述网侧换流器的直流侧电压参考值，并实时监测所述网侧换流器的直流侧电压实际值；

对所述直流侧电压参考值与所述直流侧电压实际值的差值进行PI调节后，输出所述网侧换流器的网侧电流的直流分量参考值；

实时检测所述网侧换流器的网侧电流的直流分量实际值，对所述网侧电流的直流分量参考值与所述网侧电流的直流分量实际值的差值进行所述PI调节；

将所述网侧电流的直流分量参考值与所述网侧电流的直流分量实际值的差值进行所述PI调节后的第一输出结果，与所述电网单元输出的电网电压的直流分量以及所述网侧换流器的网侧电感参数求和，得到所述网侧换流器的网侧电压的直流分量后，经脉宽调制后输出第一脉冲信号；

将所述第一脉冲信号输入至所述网侧换流器，控制所述网侧换流器中的功率开关器件运行。

4.根据权利要求3所述的光伏直驱系统控制方法，其特征在于，所述根据所述网侧换流

器在所述同步旋转坐标系下的数学模型，按照所述电压外环电流内环控制方法对所述网侧换流器进行控制，还包括如下步骤：

设置所述网侧换流器的所述网侧电流的交流分量参考值为零，并实时检测所述网侧换流器的所述网侧电流的交流分量实际值；

对所述网侧电流的交流分量参考值与所述网侧电流的交流分量实际值进行所述PI调节；

将所述网侧电流的交流分量参考值与所述网侧电流的交流分量实际值的差值进行所述PI调节后的第二输出结果，与所述电网单元输出的电网电压的交流分量以及所述网侧换流器的所述网侧电感参数求和，得到所述网侧换流器的网侧电压的交流分量后，经脉宽调制后输出第二脉冲信号；

将所述第二脉冲信号输入至所述网侧换流器，控制所述网侧换流器中的所述功率开关器件运行。

5.根据权利要求1所述的光伏直驱系统控制方法，其特征在于，所述根据动态负载跟踪MPPT自适应步长控制方法，控制所述光伏单元，包括如下步骤：

根据三相静止坐标系到所述同步旋转坐标系的变换矩阵，以及瞬时有功功率和瞬时无功功率的定义，分别得到所述负载单元、所述电网单元及所述光伏单元的预测功率；

根据所述负载单元、所述电网单元及所述光伏单元的所述预测功率，和所述光伏单元的输出特性及电导增量法，得到所述光伏单元最大功率点跟踪的步长选择值；

根据所述步长选择值，对所述光伏单元的输出功率进行动态负载跟踪MPPT自适应步长控制，实现所述光伏单元的最大功率点输出。

6.根据权利要求5所述的光伏直驱系统控制方法，其特征在于，所述根据三相静止坐标系到所述同步旋转坐标系的变换矩阵，以及瞬时有功功率和瞬时无功功率的定义，分别得到所述负载单元、所述电网单元及所述光伏单元的预测功率，包括如下步骤：

根据所述变换矩阵，得到所述负载单元和所述电网单元的电压和电流在所述同步旋转坐标系下的表达式；

分别根据所述负载单元和所述电网单元的电压和电流在所述同步旋转坐标系下的表达式，以及所述瞬时有功功率和所述瞬时无功功率的定义，计算得到所述负载单元和所述电网单元的所述瞬时有功功率和所述瞬时无功功率；

根据所述负载单元和所述电网单元的所述瞬时有功功率和所述瞬时无功功率，以及所述能量平衡关系，分别得到所述负载单元、所述电网单元及所述光伏单元的预测功率。

7.根据权利要求6所述的光伏直驱系统控制方法，其特征在于，所述根据所述步长选择值，对所述光伏单元的输出功率进行动态负载跟踪MPPT自适应步长控制，实现所述光伏单元的最大功率点输出，包括如下步骤：

根据所述光伏单元的输出电压和输出电流，判断所述光伏单元的输出电导的变化量和所述光伏单元的输出电导的负值的关系；

根据所述输出电导的变化量与所述输出电导的负值的关系，控制所述光伏单元的输出电压指令值，进而控制所述光伏单元的输出功率。

8.根据权利要求7所述的光伏直驱系统控制方法，其特征在于，所述根据所述输出电导的变化量与所述输出电导的负值的关系，控制所述光伏单元的输出电压指令值，进而控制

所述光伏单元的输出功率，包括如下步骤：

判断所述输出电导的变化量是否等于所述输出电导的负值；

当所述输出电导的变化量等于所述输出电导的负值时，控制所述光伏单元的输出电压指令值保持当前输出电压不变，从而控制所述光伏单元的输出功率；

当所述输出电导的变化量不等于所述输出电导的负值时，根据所述输出电导的变化量与所述输出电导的负值的大小关系，控制所述光伏单元的输出电压指令值以所述步长选择值为间隔增大或减小。

9.根据权利要求8所述的光伏直驱系统控制方法，其特征在于，所述当所述输出电导的变化量不等于所述输出电导的负值时，包括如下步骤：

判断所述输出电导的变化量是否大于所述输出电导的负值；

当所述输出电导的变化量大于所述输出电导的负值时，控制所述光伏单元的输出电压指令值为：所述当前输出电压+所述步长选择值，并进行差值判断计算后，控制所述光伏单元的输出功率；

当所述输出电导的变化量小于所述输出电导的负值时，控制所述光伏单元的输出电压指令值为：所述当前输出电压－所述步长选择值，并进行所述差值判断计算后，控制所述光伏单元的输出功率。

10.根据权利要求8所述的光伏直驱系统控制方法，其特征在于，所述根据所述光伏单元的输出电压和输出电流，判断所述光伏单元的输出电导的变化量和所述光伏单元的输出电导的负值的关系，包括如下步骤：

分别对所述光伏单元的输出电压和输出电流进行采样；

判断当前时刻采集的输出电压与上一时刻采集的输出电压的电压差值；

当所述电压差值不为零时，判断所述光伏单元的输出电导的变化量和所述光伏单元的输出电导的负值的关系。

11.根据权利要求10所述的光伏直驱系统控制方法，其特征在于，所述判断当前时刻采集的输出电压与上一时刻采集的输出电压的电压差值，还包括如下步骤：

当所述电压差值为零时，判断当前时刻采集到的输出电流与上一时刻采集到的输出电流的电流差值；

当所述电流差值为零时，控制所述光伏单元的输出电压指令值保持所述当前输出电压不变，进而控制所述光伏单元的输出功率；

当所述电流差值不为零时，根据所述电流差值与零的关系，控制所述光伏单元的输出电压指令值以所述步长选择值为间隔增大或减小。

12.根据权利要求11所述的光伏直驱系统控制方法，其特征在于，所述当所述电流差值不为零时，根据所述电流差值与零的关系，控制所述光伏单元的输出电压指令值以所述步长选择值为间隔增大或减小，包括如下步骤：

判断所述电流差值是否大于零；

当所述电流差值大于零时，控制所述光伏单元的输出电压指令值为：所述当前输出电压+所述步长选择值后，进行差值判断计算，控制所述光伏单元的输出功率；

当所述电流差值小于零时，控制所述光伏单元的输出电压指令值为：所述当前输出电压－所述步长选择值后，进行差值判断计算，控制所述光伏单元的输出功率。

13.一种光伏直驱系统，其特征在于，包括光伏单元、负载单元、电网单元和控制器；

所述光伏单元的输出端分别与所述负载单元的负载侧换流器的输入端和所述电网单元的网侧换流器的输入端电连接；

所述负载侧换流器的输入端与所述网侧换流器的输入端电连接；

所述控制器分别与所述光伏单元、所述负载单元和所述电网单元连接，包括第一控制模块、第二控制模块和第三控制模块；

所述第一控制模块，用于根据所述光伏单元、所述负载单元和所述电网单元之间的能量平衡关系，采用电压外环电流内环控制方法，控制所述电网单元的所述网侧换流器；

所述第二控制模块，用于根据所述负载单元中的负载在同步旋转坐标系下的数学模型，选取所述负载的本体模型作为参考模型，所述负载在所述同步旋转坐标系下的数学模型中的电流模型作为可调模型，对所述电流模型化简；将所述电流模型化简后，设计并联可调模型；根据POPOV超稳定性理论和所述并联可调模型得到所述负载的转速算法；根据所述负载的所述转速算法，控制所述负载运行；

所述第三控制模块，用于根据动态负载跟踪MPPT自适应步长控制法，控制所述光伏单元。

14.根据权利要求13所述的光伏直驱系统，其特征在于，所述光伏直驱系统为光伏直驱空调系统，所述光伏直驱空调系统包括机载换流器，所述机载换流器包括所述负载侧换流器和所述网侧换流器。

15.根据权利要求14所述的光伏直驱系统，其特征在于，所述光伏直驱空调系统为光伏直驱变频离心机系统。

光伏直驱系统及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电器领域，特别是涉及一种光伏直驱系统及其控制方法。

背景技术

[0002] 随着世界能源危机及环境问题的不断恶化，可再生能源及各种绿色能源的应用变得越来越迫切。太阳能作为一种可再生能源，长期以来一直受到广泛关注。利用太阳能制备的太阳能空调，其实现形式主要有两种：一，是对太阳能进行光热转换，利用热能实现制冷的光热空调；二，是对太阳能进行光电转换，利用电能实现制冷的光伏空调。随着太阳能电池及电力电子技术的发展，光伏空调逐渐替代光热空调，成为太阳能空调的主流方向。

[0003] 目前，光伏空调的实现方案主要为：采用光伏发电并网，然后由电网统一调度，实现空调用电运行。或采用准直流并网技术，将太阳能电池输出的直流电通过DC-DC稳压设备稳压后供给空调用电。空调不工作时进行并网发电。该两种方案容易实现，控制相对简单，在家用光伏空调中得到了广泛应用。

[0004] 但是，针对光伏中央空调系统而言，采用光伏发电并网，能量损耗较大；采用准直流并网技术虽然降低了部分能量损耗，但是余电未能实现实时并网。并且，目前还鲜有可用于光伏中央空调系统的大功率DC-DC稳压设备。因此，对于光伏中央空调系统，不能实现全直流并网技术。

[0005] 同样，以其他电器设备为负载的光伏发用电系统也存在上述问题。

发明内容

[0006] 基于此，有必要针对现有的光伏发用电系统不能实现实时并网的问题，提供一种光伏直驱系统及其控制方法。

[0007] 为实现本发明目的的提供的一种光伏直驱系统控制方法，包括如下步骤：

[0008] 根据光伏直驱系统中的光伏单元、负载单元和电网单元之间的能量平衡关系，采用电压外环电流内环控制方法，控制所述电网单元的网侧换流器；

[0009] 根据所述负载单元中的负载在同步旋转坐标系下的数学模型，采用模型参考自适应控制方法，控制所述负载运行；

[0010] 根据动态负载跟踪MPPT自适应步长控制方法，控制所述光伏单元。

[0011] 在其中一个实施例中，所述根据光伏直驱系统中的光伏单元、负载单元和电网单元之间的能量平衡关系，采用电压外环电流内环控制方法，控制所述电网单元的网侧换流器，包括如下步骤：

[0012] 根据所述光伏单元、所述负载单元和所述电网单元之间的所述能量平衡关系，设置控制目标和约束条件；

[0013] 根据所述控制目标和所述约束条件，对所述网侧换流器进行坐标转换，得到所述网侧换流器在所述同步旋转坐标系下的数学模型；

[0014] 根据所述网侧换流器在所述同步旋转坐标系下的数学模型，按照所述电压外环电

流内环控制方法对所述网侧换流器进行控制。

[0015] 在其中一个实施例中，所述根据所述网侧换流器在所述同步旋转坐标系下的数学模型，按照所述电压外环电流内环控制方法对所述网侧换流器进行控制，包括如下步骤：

[0016] 预设所述网侧换流器的直流侧电压参考值，并实时监测所述网侧换流器的直流侧电压实际值；

[0017] 对所述直流侧电压参考值与所述直流侧电压实际值的差值进行PI调节后，输出所述网侧换流器的网侧电流的直流分量参考值；

[0018] 实时检测所述网侧换流器的网侧电流的直流分量实际值，对所述网侧电流的直流分量参考值与所述网侧电流的直流分量实际值的差值进行所述PI调节；

[0019] 将所述网侧电流的直流分量参考值与所述网侧电流的直流分量实际值的差值进行所述PI调节后的第一输出结果，与所述电网单元输出的电网电压的直流分量、所述网侧换流器的网侧电压的直流分量以及所述网侧换流器的网侧电感参数求和，经脉宽调制后输出第一脉冲信号；

[0020] 将所述第一脉冲信号输入至所述网侧换流器，控制所述网侧换流器中的功率开关器件运行。

[0021] 在其中一个实施例中，所述根据所述网侧换流器在所述同步旋转坐标系下的数学模型，按照所述电压外环电流内环控制方法对所述网侧换流器进行控制，还包括如下步骤：

[0022] 设置所述网侧换流器的所述网侧电流的交流分量参考值为零，并实时检测所述网侧换流器的所述网侧电流的交流分量实际值；

[0023] 对所述网侧电流的交流分量参考值与所述网侧电流的交流分量实际值进行所述PI调节；

[0024] 将所述网侧电流的交流分量参考值与所述网侧电流的交流分量实际值的差值进行所述PI调节后的第二输出结果，与所述电网单元输出的电网电压的交流分量、所述网侧换流器的网侧电压的交流分量以及所述网侧换流器的所述网侧电感参数求和，经脉宽调制后输出第二脉冲信号；

[0025] 将所述第二脉冲信号输入至所述网侧换流器，控制所述网侧换流器中的所述功率开关器件运行。

[0026] 在其中一个实施例中，所述根据所述负载单元中的负载在同步旋转坐标系下的数学模型，采用模型参考自适应控制方法，控制所述负载运行，包括如下步骤：

[0027] 根据所述负载在所述同步旋转坐标系下的数学模型，选取所述负载的本体模型作为参考模型，所述负载在所述同步旋转坐标系下的数学模型中的电流模型作为可调模型，对所述电流模型化简；

[0028] 将所述电流模型化简后，设计并联可调模型；

[0029] 根据POPOV超稳定性理论和所述并联可调模型得到所述负载的转速算法；

[0030] 根据所述负载的所述转速算法，控制所述负载运行。

[0031] 在其中一个实施例中，所述根据动态负载跟踪MPPT自适应步长控制方法，控制所述光伏单元，包括如下步骤：

[0032] 根据三相静止坐标系到所述同步旋转坐标系的变换矩阵，以及瞬时有功功率和瞬时无功功率的定义，分别得到所述负载单元、所述电网单元及所述光伏单元的预测功率；

[0033] 根据所述负载单元、所述电网单元及所述光伏单元的所述预测功率，和所述光伏阵列的输出特性及电导增量法，得到所述光伏单元最大功率点跟踪的步长选择值；

[0034] 根据所述步长选择值，对所述光伏单元的输出功率进行动态负载跟踪MPPT自适应步长控制，实现所述光伏单元的最大功率点输出。

[0035] 在其中一个实施例中，所述根据三相静止坐标系到所述同步旋转坐标系的变换矩阵，以及瞬时有功功率和瞬时无功功率的定义，分别得到所述负载单元、所述电网单元及所述光伏单元的预测功率，包括如下步骤：

[0036] 根据所述变换矩阵，得到所述负载单元和所述电网单元的电压和电流在所述同步旋转坐标系下的表达式；

[0037] 分别根据所述负载单元和所述电网单元的电压和电流在所述同步旋转坐标系下的表达式，以及所述瞬时有功功率和所述瞬时无功功率的定义，计算得到所述负载单元和所述电网单元的所述瞬时有功功率和所述瞬时无功功率；

[0038] 根据所述负载单元和所述电网单元的所述瞬时有功功率和所述瞬时无功功率，以及所述能量平衡关系，分别得到所述负载单元、所述电网单元及所述光伏单元的预测功率。

[0039] 在其中一个实施例中，所述根据所述步长选择值，对所述光伏单元的输出功率进行动态负载跟踪MPPT自适应步长控制，实现所述光伏单元的最大功率点输出，包括如下步骤：

[0040] 根据所述光伏单元的输出电压和输出电流，判断所述光伏单元的输出电导的变化量和所述光伏单元的输出电导的负值的关系；

[0041] 根据所述输出电导的变化量与所述输出电导的负值的关系，控制所述光伏单元的输出电压指令值，进而控制所述光伏单元的输出功率。

[0042] 在其中一个实施例中，所述根据所述输出电导的变化量与所述输出电导的负值的关系，控制所述光伏单元的输出电压指令值，进而控制所述光伏单元的输出功率，包括如下步骤：

[0043] 判断所述输出电导的变化量是否等于所述输出电导的负值；

[0044] 当所述输出电导的变化量等于所述输出电导的负值时，控制所述光伏单元的输出电压指令值保持当前输出电压不变，从而控制所述光伏单元的输出功率；

[0045] 当所述输出电导的变化量不等于所述输出电导的负值时，根据所述输出电导的变化量与所述输出电导的负值的大小关系，控制所述光伏单元的输出电压指令值以所述步长选择值为间隔增大或减小。

[0046] 在其中一个实施例中，所述当所述输出电导的变化量不等于所述输出电导的负值时，包括如下步骤：

[0047] 判断所述输出电导的变化量是否大于所述输出电导的负值；

[0048] 当所述输出电导的变化量大于所述输出电导的负值时，控制所述光伏单元的输出电压指令值为：所述当前输出电压+所述步长选择值，并进行差值判断计算后，控制所述光伏单元的输出功率；

[0049] 当所述输出电导的变化量小于所述输出电导的负值时，控制所述光伏单元的输出电压指令值为：所述当前输出电压－所述步长选择值，并进行所述差值判断计算后，控制所述光伏单元的输出功率。

[0050] 在其中一个实施例中，所述根据所述光伏单元的输出电压和输出电流，判断所述光伏单元的输出电导的变化量和所述光伏单元的输出电导的负值的关系，包括如下步骤：

[0051] 分别对所述光伏单元的输出电压和输出电流进行采样；

[0052] 判断当前时刻采集的输出电压与上一时刻采集的输出电压的电压差值；

[0053] 当所述电压差值不为零时，判断所述光伏单元的输出电导的变化量和所述光伏单元的输出电导的负值的关系。

[0054] 在其中一个实施例中，所述判断当前时刻采集的输出电压与上一时刻采集的输出电压的电压差值，还包括如下步骤：

[0055] 当所述电压差值为零时，判断当前时刻采集到的输出电流与上一时刻采集到的输出电流的电流差值；

[0056] 当所述电流差值为零时，控制所述光伏单元的输出电压指令值保持所述当前输出电压不变，进而控制所述光伏单元的输出功率；

[0057] 当所述电流差值不为零时，根据所述电流差值与零的关系，控制所述光伏单元的输出电压指令值以所述步长选择值为间隔增大或减小。

[0058] 在其中一个实施例中，所述当所述电流差值不为零时，根据所述电流差值与零的关系，控制所述光伏单元的输出电压指令值以所述步长选择值为间隔增大或减小，包括如下步骤：

[0059] 判断所述电流差值是否大于零；

[0060] 当所述电流差值大于零时，控制所述光伏单元的输出电压指令值为：所述当前输出电压+所述步长选择值后，进行所述差值判断计算，控制所述光伏单元的输出功率；

[0061] 当所述电流差值小于零时，控制所述光伏单元的输出电压指令值为：所述当前输出电压－所述步长选择值后，进行所述差值判断计算，控制所述光伏单元的输出功率。

[0062] 相应的，为实现上述任一种光伏直驱系统控制方法，本发明还提供了一种光伏直驱系统，包括光伏单元、负载单元、电网单元和控制器；

[0063] 所述光伏单元的输出端分别与所述负载单元的负载侧换流器的输入端和所述电网单元的网侧换流器的输入端电连接；

[0064] 所述负载侧换流器的输入端与所述网侧换流器的输入端电连接；

[0065] 所述控制器分别与所述光伏单元、所述负载单元和所述电网单元连接，包括第一控制模块、第二控制模块和第三控制模块；

[0066] 所述第一控制模块，用于根据所述光伏单元、所述负载单元和所述电网单元之间的能量平衡关系，采用电压外环电流内环控制方法，控制所述电网单元的所述网侧换流器；

[0067] 所述第二控制模块，用于根据所述负载单元中的负载在同步旋转坐标系下的数学模型，采用模型参考自适应控制方法，控制所述负载运行；

[0068] 所述第三控制模块，用于根据动态负载跟踪MPPT自适应步长控制法，控制所述光伏单元。

[0069] 在其中一个实施例中，所述光伏直驱系统为光伏直驱空调系统，所述光伏直驱空调系统包括机载换流器，所述机载换流器包括所述负载侧换流器和所述网侧换流器。

[0070] 在其中一个实施例中，所述光伏直驱空调系统为光伏直驱变频离心机系统。

[0071] 上述光伏直驱系统及其控制方法的有益效果：其中光伏直驱系统控制方法根据光

伏直驱系统中的光伏单元、负载单元和电网单元之间的能量平衡关系，采用电压外环电流内环控制方法，控制电网单元的网侧换流器。同时，根据负载单元中的负载在同步旋转坐标系下的数学模型，采用模型参考自适应控制方法，控制负载的运行。同时，还根据动态负载跟踪MPPT自适应步长控制方法，控制光伏单元。其通过采用不同的控制方法，分别控制光伏直驱系统中的光伏单元、负载单元和电网单元，实现光伏直驱系统中三元联动控制，达到光伏直驱系统三元换流的控制目的。从而实现了能量的双向流动及实时并网，有效地解决了现有的光伏发用电系统，如光伏空调系统不能实现实时并网，且由于目前鲜有大功率的DC-DC稳压设备不能实现全直流并网技术的问题，使得本发明特别适用于如光伏中央空调系统等负载单元功率较大的光伏发用电系统。

附图说明

[0072] 图1为光伏直驱系统一具体实施例拓扑图；

[0073] 图2为光伏直驱系统一具体实施例的能量流动示意图；

[0074] 图3为光伏直驱系统中网侧换流器控制环路框图；

[0075] 图4为光伏直驱系统中负载侧控制环路框图；

[0076] 图5为光伏直驱系统中光伏单元MPPT自适应步长控制环路框图；

[0077] 图6为光伏直驱系统中光伏单元MPPT控制流程图。

具体实施方式

[0078] 为使本发明技术方案更加清楚，以下结合附图及具体实施例对本发明做进一步详细说明。

[0079] 参见图1，作为一具体实施例的光伏直驱系统，包括光伏单元、负载单元、电网单元和控制器(图中未示出)。

[0080] 光伏单元的输出端分别与负载单元的负载侧换流器(AC-DC)的输入端和电网单元的网侧换流器(DC-AC)的输入端电连接。

[0081] 负载侧换流器(AC-DC)的输入端与网侧换流器(DC-AC)的输入端电连接。

[0082] 控制器分别与光伏单元、负载单元和电网单元连接，包括第一控制模块、第二控制模块和第三控制模块。

[0083] 第一控制模块，用于根据光伏单元、负载单元和电网单元之间的能量平衡关系，采用电压外环电流内环控制方法，控制电网单元的网侧换流器(DC-AC)，实现能量双向流动和实时切换。

[0084] 第二控制模块，用于根据负载单元中的负载在同步旋转坐标系下的数学模型，采用模型参考自适应控制方法，控制负载运行。

[0085] 第三控制模块，用于根据动态负载跟踪MPPT(Maximum Power Point Tracking，最大功率点跟踪)自适应步长控制法，控制光伏单元。

[0086] 其中，负载单元可为空调机组等电气设备。光伏直驱系统为光伏直驱空调系统，光伏直驱空调系统包括机载换流器，机载换流器包括负载侧换流器(AC-DC)和网侧换流器(DC-AC)。

[0087] 具体的，光伏直驱空调系统为光伏直驱变频离心机系统。以下实施例均以额定功

率为380KW的负载单元为负载变频离心机组为负载单元，标称功率为400KW的光伏单元为例，进行说明。

[0088] 通过对上述光伏直驱系统及其三个单元进行分析，参见图2，以图2中所示能量方向为正方向，忽略电网单元的网侧换流器(DC-AC)损耗、负载单元的负载侧换流器(AC-DC)损耗及其他损耗，可知三个单元(光伏单元、负载单元和电网单元)之间始终存在着能量平衡关系：

[0089] $$\begin{cases} V_{dc} = V_{pv} \\ P_{load} = P_{pv} + P_{grid} \\ i_{dc_load} = i_{dc_grid} + i_{pv} \end{cases} \quad (1)$$

[0090] 根据该能量平衡关系，分别对光伏单元、负载单元和电网单元采用不同的控制方法进行联动控制，实现三元换流控制方法，从而达到能量的双向流动及实时并网的目的。

[0091] 作为一种可实施方式，对于电网单元的控制，可根据光伏直驱系统中的光伏单元、负载单元和电网单元之间的能量平衡关系，采用电压外环电流内环控制方法，控制电网单元的网侧换流器(DC-AC)来实现。具体的：

[0092] 步骤S110，根据上述能量平衡关系，设置电网单元的网侧换流器(DC-AC)的控制目标和约束条件。其中，控制目标为：i_{grid}和v_{dc}，其中，i_{grid}为网侧换流器(DC-AC)的网侧电流，v_{dc}为网侧换流器(DC-AC)的直流侧电压。通过对网侧换流器(DC-AC)进行控制，实现i_{grid}与v_{dc}之间的转换，并且使得i_{grid}与v_{grid}之间的相位差$\varphi = 0°/180°$，达到电网单元的换流控制。其中，v_{grid}为网侧换流器(DC-AC)的网侧电压。

[0093] 设置电网单元的网侧换流器(DC-AC)的控制目标后，根据上述能量平衡关系，可以得到对网侧换流器(DC-AC)进行换流的约束条件为：

[0094] (a)$P_{pv_min} \le P_{pv} \le P_{pv_max}$；

[0095] (b)$v_{pv_min} \le v_{pv} \le v_{pv_max}$；

[0096] (c)$i_{pv_min} \le i_{pv} \le i_{pv_max}$；

[0097] 以及对网侧换流器(DC-AC)进行换流的平衡条件为：

[0098] (d)$P_{load}-P_{pv}=P_{grid}$；

[0099] (e)$v_{dc}=v_{pv}$；

[0100] (f)$i_{dc_grid}+i_{pv}=i_{dc_load}$；

[0101] 根据上述控制目标、约束条件和平衡条件，采用基于同步旋转坐标系的电压外环电流内环控制方法对网侧换流器(DC-AC)进行控制。由于电压外环电流内环的双闭环控制技术基于同步旋转坐标系的dq坐标变换。因此，通过执行步骤S120，根据上述控制目标和约束条件，对网侧换流器进行坐标转换，即将网侧换流器(DC-AC)(为三相电压型换流器)的表达式转换到同步旋转坐标系下，得到网侧换流器(DC-AC)在同步旋转坐标系下的数学模型为：

[0102] $$\begin{cases} L\dfrac{di_d}{dt} + Ri_d - \omega L i_q = e_d - v_d \\ L\dfrac{di_q}{dt} + Ri_q + \omega L i_d = -v_q \end{cases} \quad (2)$$

[0103] $$Cv_{dc}\frac{dv_{dc}}{dt}+\frac{v_{dc}^2}{R_{dc}}=\frac{3}{2}(v_d i_d+v_q i_q)$$

[0104] 其中，i_d，i_q分别为网侧换流器(DC-AC)在同步旋转坐标系下的网侧电流的直流分量和网侧电流的交流分量。

[0105] e_d，e_q分别为同步旋转坐标系下的电网电压的直流分量和电网电压的交流分量；V_d，V_q则分别为网侧换流器(DC-AC)在同步旋转坐标系下的网侧电压的直流分量和网侧电压的交流分量。

[0106] v_{dc}则为网侧换流器(DC-AC)的直流侧电压。

[0107] C为网侧换流器(DC-AC)的直流侧电容的电容值。R_{dc}为网侧换流器(DC-AC)直流侧的等效负载电阻值。L、R则分别为网侧换流器(DC-AC)网侧与变压器之间的电抗的电感和等效串联电阻值。

[0108] 将网侧换流器(DC-AC)的网侧三相交流电压和网侧三相交流电流转换为同步旋转坐标系(dq坐标系)下的直流分量。其中，i_d为网侧电流的直流分量，代表了网侧电流的有功分量。i_q为网侧电流的交流分量，代表了网侧电流的无功分量。通过控制$i_q=0$，即可实现电网单元的单位功率因数的控制。

[0109] 通过坐标转换，得到网侧换流器(DC-AC)在同步旋转坐标系下的数学模型后，通过执行步骤S130，根据网侧换流器(DC-AC)在同步旋转坐标系下的数学模型，按照电压外环电流内环控制方法对网侧换流器(DC-AC)进行控制。具体为：

[0110] 参见图3，采用电压外环电流内环的双闭环控制方法，对网侧换流器(DC-AC)进行控制。其中，外环为电压环，内环为电流环。首先，对网侧换流器(DC-AC)的直流分量进行控制。

[0111] 通过执行步骤S131，进行电压外环控制：预设网侧换流器(DC-AC)的直流侧电压参考值V_{dc}^*，并实时监测网侧换流器(DC-AC)的直流侧电压实际值V_{dc}。步骤S132，对网侧换流器(DC-AC)的直流侧电压参考值V_{dc}^*与直流侧电压实际值V_{dc}的差值进行PI调节后，输出网侧换流器(DC-AC)的网侧电流的直流分量参考值i_d^*。

[0112] 其中，k_{pU}为对网侧换流器(DC-AC)的直流侧电压参考值V_{dc}^*与直流侧电压实际值V_{dc}的差值进行PI调节的比例系数；K_{iU}为网侧换流器(DC-AC)的直流侧电压参考值V_{dc}^*与直流侧电压实际值V_{dc}的差值进行PI调节的积分系数；s为复数变量。

[0113] 电流内环控制：步骤S133，同时，实时监测网侧换流器(DC-AC)的网侧电流的直流分量实际值i_d，并对网侧电流的直流分量参考值i_d^*与网侧电流的直流分量实际值i_d的差值进行PI调节。

[0114] 其中，K_{pI}为对网侧电流的直流分量参考值i_d^*与网侧电流的直流分量实际值i_d的差值进行PI调节的比例系数；K_{iI}为对网侧电流的直流分量参考值i_d^*与网侧电流的直流分量实际值i_d的差值进行PI调节的积分系数。

[0115] 进而通过执行步骤S134，将网侧电流的直流分量参考值i_d^*与网侧电流的直流分量

实际值i_d的差值进行PI调节后的第一输出结果，与电网单元输出的电网电压的直流分量e_d、网侧换流器(DC-AC)的网侧电压的直流分量V_d以及网侧换流器(DC-AC)的网侧电感参数(ω、L)求和，经PWM整流器脉宽调制后输出第一脉冲信号。通过步骤S135，将第一脉冲信号输入至网侧换流器(DC-AC)，从而控制网侧换流器(DC-AC)中的功率开关器件运行，实现网侧换流器(DC-AC)的控制。

[0116] 对网侧换流器(DC-AC)的交流分量的控制同直流分量的控制原理相同，由于为实现对网侧换流器(DC-AC)的单位功率因数的控制，需要控制网侧电流的交流分量$i_q=0$。因此，首先，执行步骤S131'，设置网侧换流器(DC-AC)的网侧电流的交流分量参考值$i_q^* = 0$，并实时检测网侧换流器(DC-AC)的网侧电流的交流分量实际值i_q。

[0117] 步骤S132'，对网侧电流的交流分量参考值i_q^*与网侧电流的交流分量实际值i_q进行PI调节。其中，K_{PI}为对网侧电流的交流分量参考值i_q^*与网侧电流的交流分量实际值i_q进行PI调节时的比例系数；K_{II}为对网侧电流的交流分量参考值i_q^*与网侧电流的交流分量实际值i_q进行PI调节时的积分系数。

[0118] 通过步骤S133'，将网侧电流的交流分量参考值i_q^*与网侧电流的交流分量实际值i_q的差值进行PI调节后的第二输出结果，与电网单元输出的电网电压的交流分量e_q、网侧换流器(DC-AC)的网侧电压的交流分量V_q以及网侧换流器(DC-AC)的网侧电感参数(ω、L)求和，经PWM整流器脉宽调制后输出第二脉冲信号。然后执行步骤S134'，将第二脉冲信号输入至网侧换流器(DC-AC)，控制网侧换流器(DC-AC)中的功率开关器件运行。

[0119] 通过对网侧换流器(DC-AC)的控制实现了三元换流控制的控制目标，保证了直流母线电压的稳定和能量的实时切换。

[0120] 对于负载单元的控制，作为一种可实施方式，可根据负载单元中的负载在同步旋转坐标系下的数学模型，采用模型参考自适应控制方法，控制负载运行。具体为：

[0121] 参见图4，负载单元的控制采用一种基于模型参考自适应永磁同步电机无传感器控制技术。根据永磁同步离心机在dq同步旋转坐标系下的数学模型：

[0122] $$\frac{di_d}{dt}=-\frac{R}{L_d}i_d+\frac{L_q}{L_d}\omega_e i_q+\frac{u_d}{L_d} \quad (3)$$

[0123] $$\frac{di_q}{dt}=-\frac{R}{L_q}i_q-\frac{L_d}{L_q}\omega_e i_d-\frac{\psi_f}{L_q}\omega_e+\frac{u_q}{L_q} \quad (4)$$

[0124] 其中，i_d、i_q、u_d、u_q分别为定子电流、电压在d轴和q轴上的分量；L_d、L_q分别为直轴同步电感和交轴同步电感；ω_e为电机电角速度，且$\omega_e=n_p\omega_r$(n_p为电机极对数，ω_r为电机机械角速度)；p为微分算子，且$p=\frac{d}{dt}$；R为永磁同步电机的定子绕组电阻。

[0125] 选取永磁同步电机本体模型为参考模型，电流模型作为可调模型，将上述电流模型化简，并且使转速ω_e被约束于系统矩阵中。得到：

[0126] $$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i_d+\frac{\psi_f}{L_d} \\ i_q \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_d} & \frac{L_q}{L_d}\omega_e \\ -\frac{L_q}{L_d}\omega_e & -\frac{R_s}{L_d} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i_d+\frac{\psi_f}{L_d} \\ i_q \end{bmatrix}+\frac{1}{L_d}\begin{bmatrix} u_d+\frac{R_s\psi_f}{L_d} \\ \frac{L_q}{L_d}u_q \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0127] 令：$i_d^*=i_d+\frac{\psi_f}{L_d}$ ，$i_q^*=i_q$ ，$u_d^*=u_d+\frac{R_s\psi_f}{L_d}$，$u_q^*=\frac{L_q}{L_d}u_q$ (6)

[0128] 将(6)式代入(5)式，得到化简后的电流模型：

[0129] $$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i_d^* \\ i_q^* \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_d} & \frac{L_q}{L_d}\omega_e \\ -\frac{L_q}{L_d}\omega_e & -\frac{R_s}{L_d} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i_d^* \\ i_q^* \end{bmatrix}+\frac{1}{L_d}\begin{bmatrix} u_d^* \\ u_q^* \end{bmatrix} \quad (7)$$

[0130] 将电流模型化简后，设计并联可调模型得到：

[0131] $$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} \hat{i}_d^* \\ \hat{i}_q^* \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_d} & \frac{L_q}{L_d}\hat{\omega}_e \\ -\frac{L_q}{L_d}\hat{\omega}_e & -\frac{R_s}{L_d} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \hat{i}_d^* \\ \hat{i}_q^* \end{bmatrix}+\frac{1}{L_d}\begin{bmatrix} \hat{u}_d^* \\ \hat{u}_q^* \end{bmatrix} \quad (8)$$

[0132] 根据POPOV超稳定性理论(Popov hyper-stability theorem)和并联可调模型，得到负载的转速算法：

[0133] $$\hat{\omega}_e=\int_0^t k_1(i_d\hat{i}_q-i_q\hat{i}_d-\frac{\psi_f}{L_d}(i_q-\hat{i}_q))d\tau+k_2(i_d\hat{i}_q-i_q\hat{i}_d-\frac{\psi_f}{L_d}(i_q-\hat{i}_q))+\hat{\omega}(0) \quad (9)$$

[0134] 以及负载的转子位置：$\hat{\theta}=\int_0^t\hat{\omega}_e d\tau$。

[0135] 将根据POPOV超稳定性理论和并联可调模型得到负载的转速算法作为负载单元的反馈输入，进而控制负载的转速。

[0136] 对于光伏单元的控制，可根据光伏阵列的输出特性以及电导增量法，控制所述光伏单元的输出功率。其主要包括两部分：一、对光伏直驱系统中的光伏单元、负载单元和电网单元进行功率预测；二、对光伏单元的输出功率进行动态负载跟踪MPPT自适应步长控制。

[0137] 其中，由于光伏直驱系统中的电网单元、负载单元均可视为三相正弦子系统，可通过坐标变换对其瞬时功率进行求解。因此，对光伏直驱系统中的光伏单元、负载单元和电网单元的功率预测可通过根据三相静止坐标系到同步旋转坐标系的变换矩阵，以及瞬时有功功率和瞬时无功功率的定义，分别得到负载单元、电网单元及光伏单元的预测功率。具体的：

[0138] 根据三相静止坐标系(abc坐标系)到同步旋转坐标系(dq坐标系)的变换矩阵$T_{abc/dq}$：

[0139] $$T_{abc/dq}=\sqrt{\frac{2}{3}}\begin{bmatrix} \cos\omega t & \cos(\omega t-120^\circ) & \cos(\omega t+120^\circ) \\ \sin\omega t & \sin(\omega t-120^\circ) & \sin(\omega t+120^\circ) \end{bmatrix} \quad (10)$$

[0140] 将三相abc静止坐标系中的矢量U_{abc}和I_{abc}变换到两相旋转dq坐标系后，得到在dq

坐标系下U_{dq}和I_{dq}表达式为：

[0141] $$U_{dq}=\begin{bmatrix}u_d\\u_q\end{bmatrix},I_{dq}=\begin{bmatrix}i_d\\i_q\end{bmatrix} \quad (11)$$

[0142] 瞬时有功功率和瞬时无功功率的定义，得到基于dq坐标系下的瞬时有功功率p和瞬时无功功率q的计算式分别为：

[0143] $p=U_{dq}\cdot I_{dq}=u_di_d+u_qi_q$ (12)

[0144] $q=|U_{dq}*I_{dq}|=u_qi_d-u_di_q$ (13)

[0145] 其中，p为瞬时有功功率，q为瞬时无功功率。瞬时有功功率和瞬时无功功率计算所涉及到的电流矢量和电压矢量可以通过检测及数值计算得到。

[0146] 根据负载单元和电网单元的瞬时有功功率和瞬时无功功率的计算公式，可以得知电网单元和负载单元在下一时刻的预测功率分别为：P^*_{grid}、P^*_{load}。同时，根据光伏单元、负载单元和电网单元之间的能量平衡关系(即式(1))，可以得知光伏单元在下一时刻的预测功率为：

[0147] $$\frac{dP_{pv}}{dt}\approx\frac{P^*_{pv}-P_{pv}}{T_{samp}};\quad (14)$$

[0148] 其中，T_{samp}为离散控制系统的采样时间；P_{pv}为当前时刻光伏单元的输出功率；P^*_{pv}为下一时刻光伏单元的预测功率。

[0149] 得到负载单元、电网单元及光伏单元的预测功率后，对光伏单元进行动态负载跟踪MPPT自适应步长控制，实现光伏单元的最大功率点输出。

[0150] 对光伏单元进行动态负载跟踪MPPT自适应步长控制时，需要选定步长选择值。选定步长选择值的过程可为：

[0151] 根据光伏阵列的输出特性以及电导增量法有：

[0152] $$\begin{cases}\dfrac{dP_{pv}}{dU_{pv}}=I_{pv}+U_{pv}\dfrac{dI_{pv}}{dU_{pv}}\\[2ex]\dfrac{dI_{pv}}{dU_{pv}}=-\dfrac{q}{AKT}(I_{ph}+I_{sat}-I)\end{cases};\quad (15)$$

[0153] 其中，A为常数因子，其取值范围为1—1.5；K为玻尔兹曼参数；T为绝对温度；I_{ph}为光伏阵列的光生电流；I_{sat}为光伏阵列在没有光照时等效二极管的反向饱和电流。I_{pv}为光伏单元的输出电流；U_{pv}为光伏单元的输出电压。

[0154] $\dfrac{dI_{pv}}{dU_{pv}}=-\dfrac{q}{AKT}(I_{ph}+I_{sat}-I)$可视为一恒定值，因此：

[0155] $$\frac{dI_{pv}}{dU_{pv}}=-\frac{q}{AKT}(I_{ph}+I_{sat}-I)=Interf.;\quad (16)$$

[0156] 由此，将式(16)代入式(15)，得到：

[0157] $$\frac{dP_{pv}}{dt}=I_{pv}\frac{dU_{pv}}{dt}-Interf.;\quad(17)$$

[0158] $$\frac{dU_{pv}}{dt}=(K_p+\frac{K_i}{s})\frac{dP_{pv}}{dt}-Interf.;\quad(18)$$

[0159] 根据上式可设计光伏单元的动态负载跟踪MPPT自适应步长控制环路，参见图5，其中，K_p为对$\frac{dP_{pv}}{dt}$与$\frac{dP_{pv}}{dt}$的差值进行PI调节时的比例系数；K_i为对$\frac{dP_{pv}}{dt}$与$\frac{dP_{pv}}{dt}$的差值进行PI调节时的积分系数；s为复数变量。由式18即可得知对光伏单元进行动态负载跟踪MPPT自适应步长控制时的步长选择值。

[0160] 其通过从整个光伏直驱系统(包括负载单元、电网单元和光伏单元)出发，根据光伏系统中的负载单元、负载侧换流器和网侧换流器的工作状态，对负载单元和电网单元进行功率预测，得到光伏单元的预测功率值，从而得到对光伏单元的最大功率点跟踪的步长选择值。根据得到的步长选择值对光伏单元进行动态负载跟踪MPPT自适应步长控制，实现光伏单元的输出功率为最大输出功率的目的。保证了在外界环节变化及光伏系统能量变化时快速稳定精确的对光伏单元进行MPPT寻优。

[0161] 由于光伏阵列的输出特性为非线性直流曲线，其存在唯一的MPP，且该MPP随外界环境的变化而变化。因此，需要实时调整光伏阵列的参数，使得光伏阵列与负载保持为最佳匹配，实现光伏单元的最大功率点输出。

[0162] 根据光伏阵列的输出特性曲线，可知光伏单元的输出功率为MPP时，其输出电导的变化量等于输出电导的负值。因此，可通过判断光伏单元的输出电导的变化量和光伏单元的输出电导的负值的关系，进而控制光伏单元的输出电压指令值，实现光伏单元的最大功率点输出。

[0163] 具体的：参见图6，当判断出光伏单元的输出电导的变化量等于其输出电导的负值(即$\frac{\Delta I}{\Delta U}=-\frac{I}{U}$)时，表明此时光伏单元的输出功率为最大输出功率。因此，控制光伏单元的输出电压指令值V_{ref}保持为当前输出电压V_1不变(即$V_{ref}=V_1$)，控制光伏单元的输出功率为当前输出功率即可。

[0164] 当判断出光伏单元的输出电导的变化量不等于其输出电导的负值时，则需要进一步根据输出电导的变化量与输出电导的负值的大小关系，控制光伏单元的输出电压指令值V_{ref}以步长选择值V_{step}为间隔增大或减小，来实现光伏单元的最大功率点输出。

[0165] 作为一种可实施方式，通过判断输出电导的变化量是否大于输出电导的负值(即$\frac{\Delta I}{\Delta U}>-\frac{I}{U}$)。当输出电导的变化量大于输出电导的负值时，控制光伏单元的输出电压指令值V_{ref}为：当前输出电压V_1+步长选择值V_{step}(即$V_{ref}=V_1+V_{step}$)，并进行差值判断计算后，控制光伏单元的输出功率。

[0166] 当输出电导的变化量小于输出电导的负值时，控制光伏单元的输出电压指令值V_{ref}为：当前输出电压V_1－步长选择值V_{step}(即$V_{ref}=V_1-V_{step}$)，并进行差值判断计算后，控制光伏单元的输出功率。

[0167] 其中，在对光伏单元的输出电导的变化量和光伏单元的输出电导的负值的关系进

行判断之前，还包括如下步骤：

[0168] 分别对光伏单元的输出电压和输出电流进行采样。

[0169] 判断当前时刻采集的输出电压与上一时刻采集的输出电压的电压差值ΔU。

[0170] 当电压差值ΔU不为零时，判断光伏单元的输出电导的变化量和光伏单元的输出电导的负值的关系。

[0171] 当电压差值ΔU为零时，判断当前时刻采集到的输出电流与上一时刻采集到的输出电流的电流差值ΔI。

[0172] 当电流差值ΔI为零时，说明光伏单元的阻抗与负载单元的阻抗相一致，光伏单元的输出功率不变，为最大功率点输出。因此，控制光伏单元的输出电压指令值V_{ref}保持当前输出电压V_1不变(即$V_{ref}=V_1$)。

[0173] 当电流差值ΔI不为零时，表明光伏单元的输入功率有变化，因此需要对光伏单元进行调整。通过判断电流差值ΔI是否大于零，当电流差值ΔI大于零时，表明光伏单元的输入功率变大，相应的，其输出电压增大。因此，控制光伏单元的输出电压指令值V_{ref}为：当前输出电压V_1+步长选择值V_{step}(即$V_{ref}=V_1+V_{step}$)。并进行差值判断计算后，控制光伏单元的输出功率为最大功率点输出。

[0174] 当电流差值ΔI小于零时，表明光伏单元的输入功率减小，相应的，其输出电压减小，因此，控制光伏单元的输出电压指令值V_{ref}为：当前输出电压V_1－步长选择值V_{step}(即$V_{ref}=V_1-V_{step}$)。并进行差值判断计算后，控制光伏单元的输出功率为最大功率点输出。

[0175] 通过上述动态负载跟踪MPPT自适应步长控制光伏单元的输出功率，使得光伏单元的输出功率时刻保持为最大输出功率。其中，通过步长选择值的自适应调整，实现了步长选择值随外界环境的变化及光伏直驱系统的能量的变化而变化，保证了在外界环境变化和光伏直驱系统能量变化时仍能够快速稳定且精确的进行光伏单元的MPPT寻优。

[0176] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本发明的保护范围。因此，本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

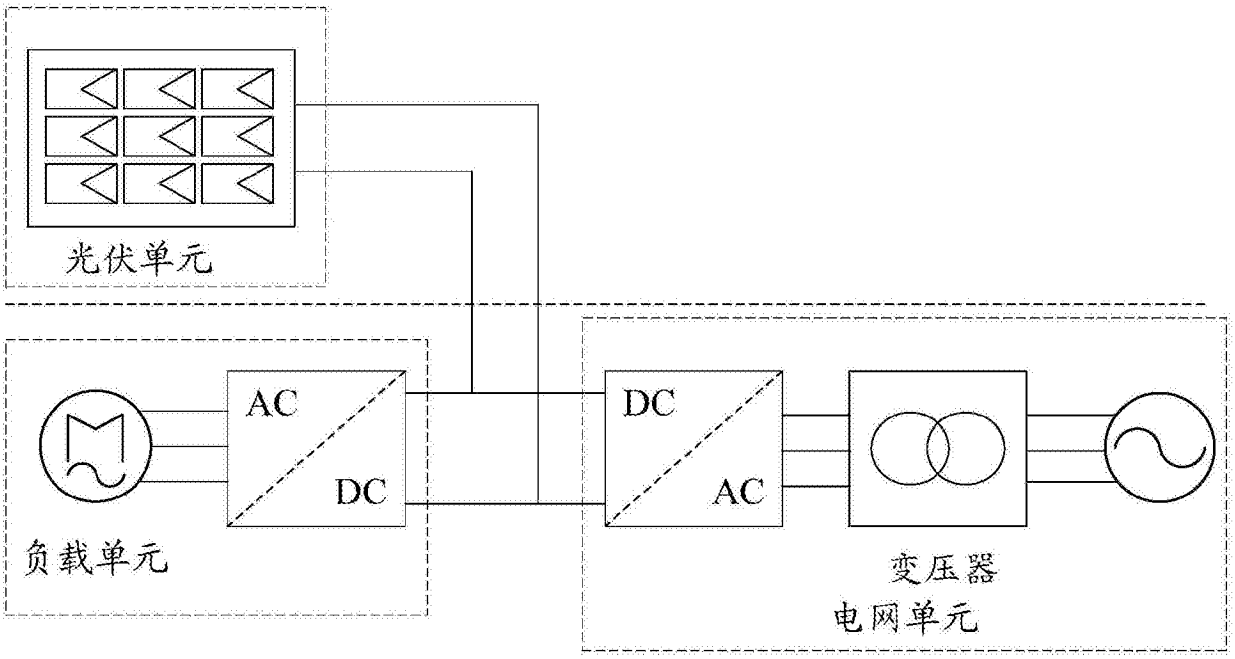

光伏单元
AC
DC
负载单元
DC
AC
变压器
电网单元

图1

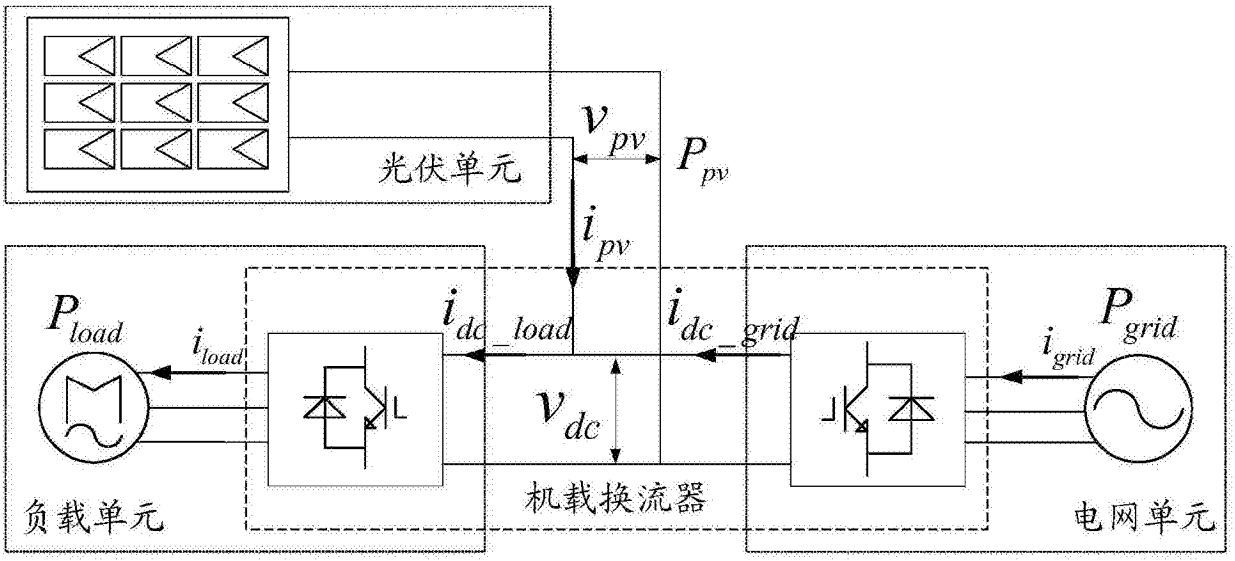

光伏单元
v_{pv}
P_{pv}
i_{pv}
P_{load}
i_{load}
i_{dc_load}
i_{dc_grid}
P_{grid}
i_{grid}
v_{dc}
负载单元
机载换流器
电网单元

图2

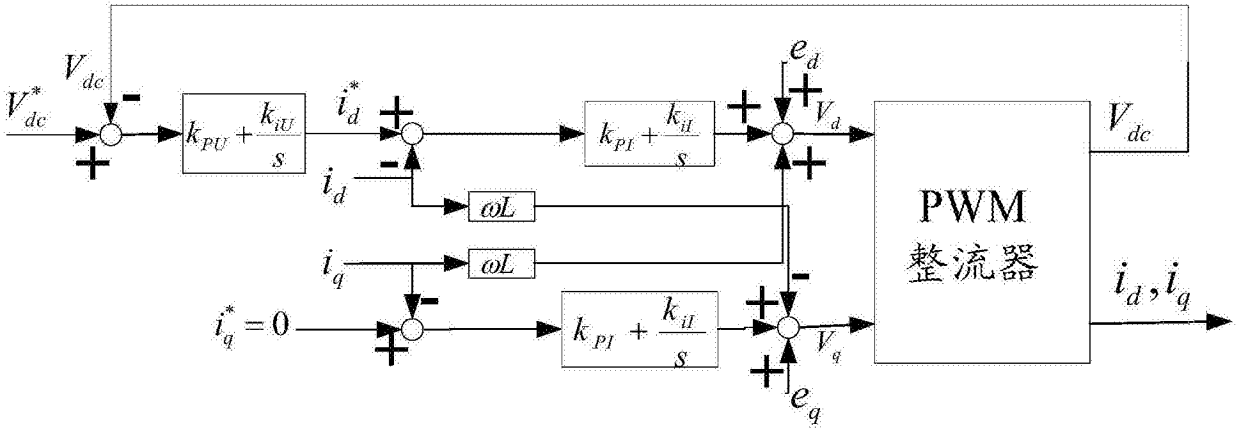

V_{dc}^*
V_{dc}
$k_{PU}+\frac{k_{iU}}{s}$
i_d^*
i_d
ωL
i_q
ωL
$i_q^*=0$
$k_{PI}+\frac{k_{iI}}{s}$
$k_{PI}+\frac{k_{iI}}{s}$
e_d
V_d
V_q
e_q
PWM
整流器
V_{dc}
i_d, i_q

图3

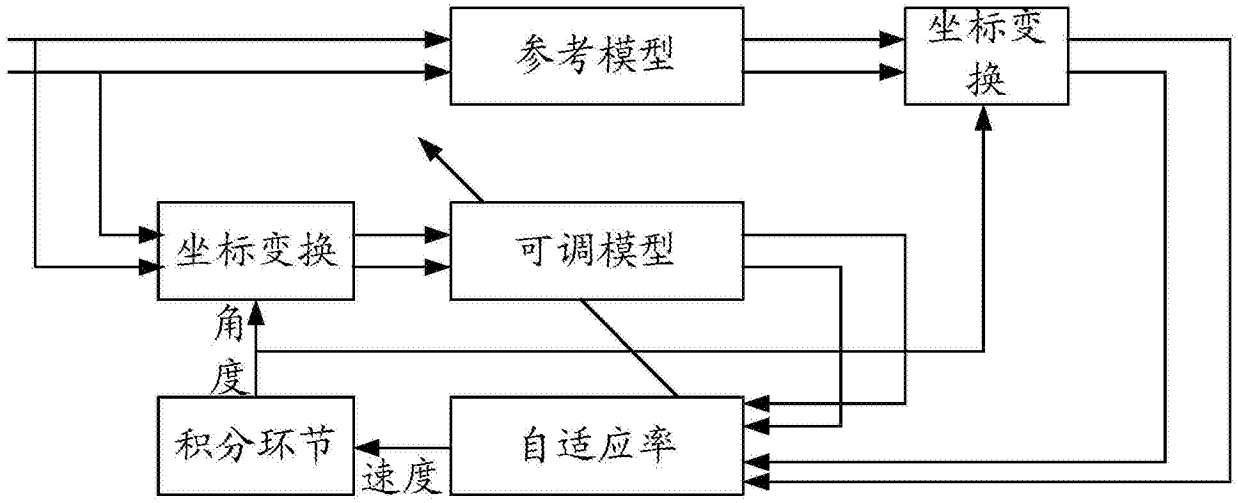

参考模型
坐标变换
坐标变换
可调模型
角度
积分环节
速度
自适应率

图4

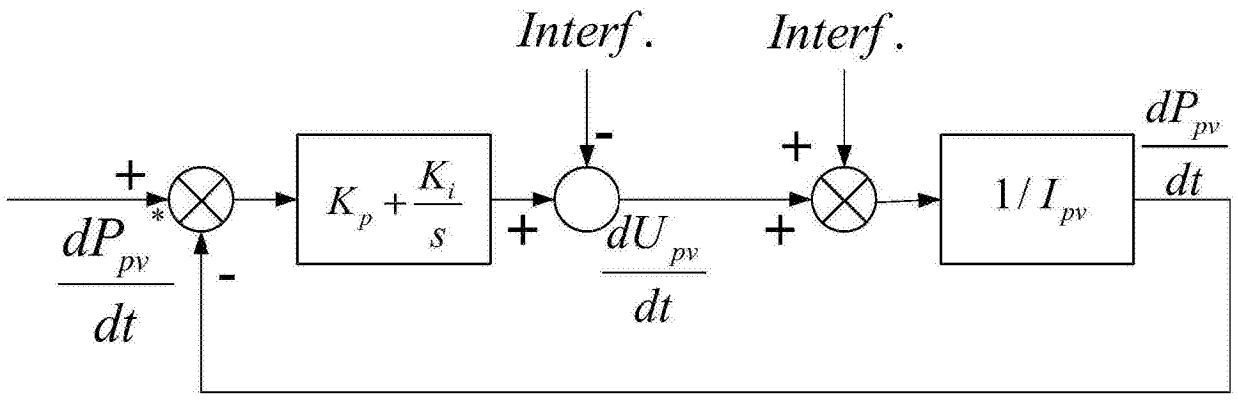

Interf.
Interf.
$\frac{dP_{pv}}{dt}$
$K_p+\frac{K_i}{s}$
$\frac{dU_{pv}}{dt}$
$1/I_{pv}$
$\frac{dP_{pv}}{dt}$

图5

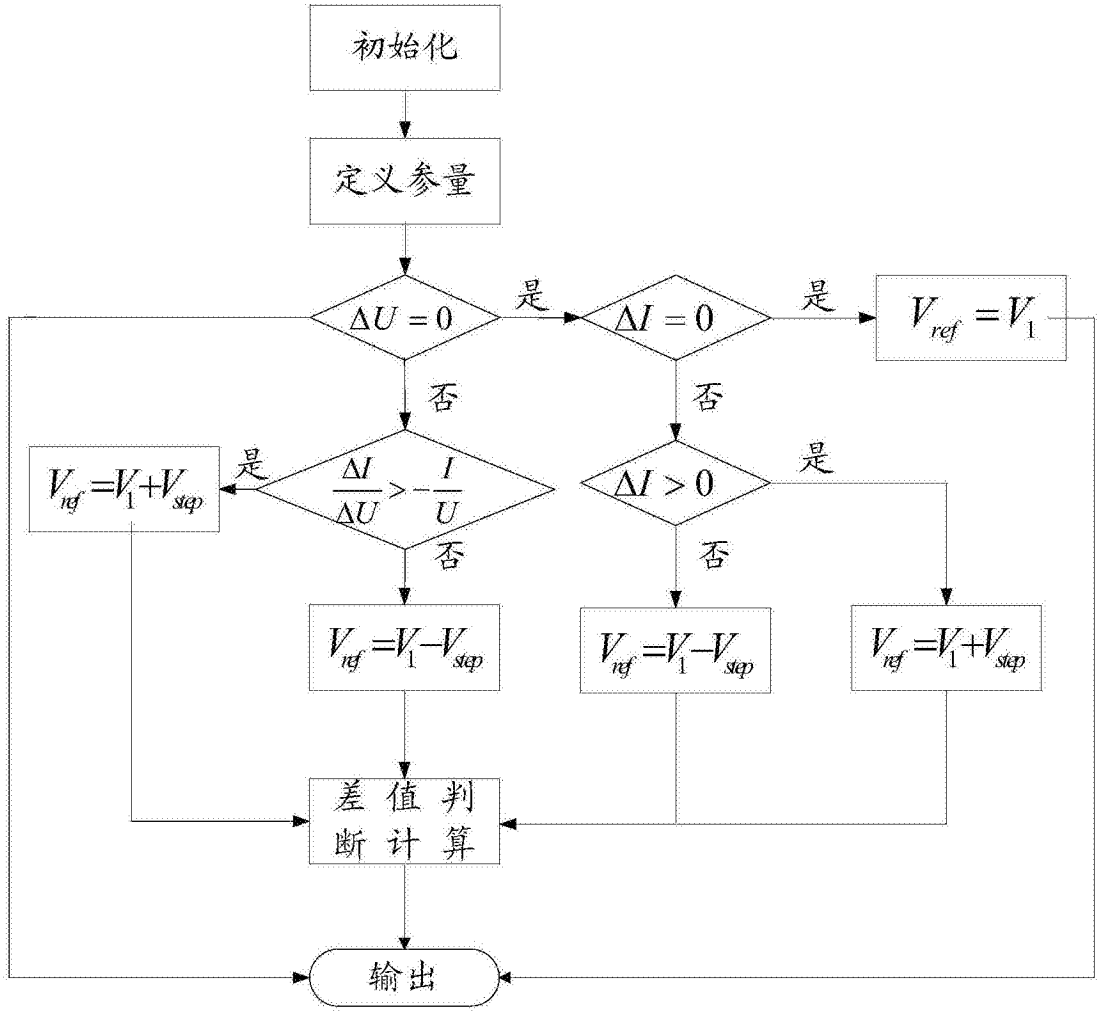

初始化
定义参量
$\Delta U=0$
是
$\Delta I=0$
是
$V_{ref}=V_1$
否
否
$V_{ref}=V_1+V_{step}$
是
$\frac{\Delta I}{\Delta U}>-\frac{I}{U}$
$\Delta I>0$
是
否
否
$V_{ref}=V_1-V_{step}$
$V_{ref}=V_1-V_{step}$
$V_{ref}=V_1+V_{step}$
差值判断计算
输出

图6