



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111563231 B

(45) 授权公告日 2024. 01. 30

(21) 申请号 202010354721.8

G06F 30/20 (2020.01)

(22) 申请日 2020.04.29

H02S 50/10 (2014.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111563231 A

(56) 对比文件

CN 109711077 A, 2019.05.03

CN 108694276 A, 2018.10.23

(43) 申请公布日 2020.08.21

CN 110794917 A, 2020.02.14

US 2011282601 A1, 2011.11.17

(73) 专利权人 河海大学常州校区
地址 213022 江苏省常州市新北区晋陵北路200号

审查员 徐振新

(72) 发明人 陶云坤 白建波 刘维茜 段文豪
徐国安

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

专利代理师 丁涛

(51) Int. Cl.

G06F 17/11 (2006.01)

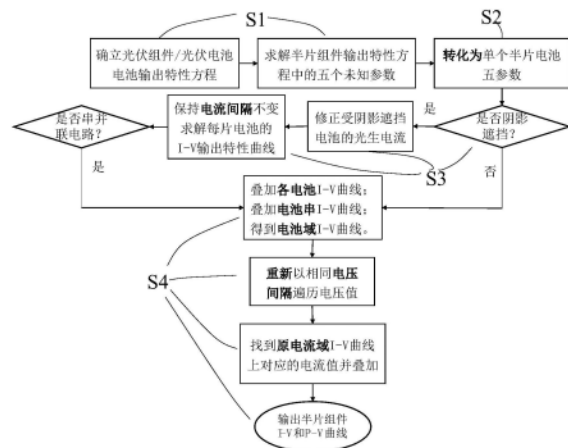
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

精确评估半片光伏组件在阴影遮挡条件下输出特性的方法

(57) 摘要

本发明公开了精确评估半片光伏组件在阴影遮挡条件下输出特性的方法,根据电池串内部半片太阳电池的串联电路,电流 I 不变,对每一个电池串上的所有半片太阳电池的电压 V 求和,得到每一个半片电池串的 $I-V$ 曲线;判断保护此半片电池串的旁路二极管是否导通,得到修正后的每一个半片电池串的 $I-V$ 曲线;根据半片光伏组件内部电池串的并联电路,电压 V 不变,对每一个并联部分的电流 I 求和,得到整个半片光伏组件在阴影条件下的 $I-V$ 和 $P-V$ 曲线。本发明可以快速、简便的模拟分析出半片光伏组件阴影遮挡下的 $I-V$ 和 $P-V$ 输出特性,对在线监测由半片光伏组件构成的光伏系统的失配,实时跟踪半片光伏组件最大功率,提高光伏系统的发电效益具有实际意义。



1. 精确评估半片光伏组件在阴影遮挡条件下输出特性的方法, 其特征在于, 具体步骤如下:

S1、根据半片光伏组件背面的铭牌参数, 得到用于表征半片光伏组件输出特性方程中所需要的五个参数, 具体方法如下:

S1-1、从半片光伏组件背面贴有的铭牌上, 获取四个标准测量条件下的半片光伏组件电性能参数以及半片太阳能电池数量 N_s , 所述半片光伏组件电性能参数包括开路电压 V_{oc} 、短路电流 I_{sc} 、最大功率点电压 V_{mpp} 和最大功率点电流 I_{mpp} ;

S1-2、列出半片光伏组件输出特性方程, 如式(1)所示:

$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp \left(\frac{V + I \cdot R_s}{N_s \cdot \frac{n \cdot k \cdot T_c}{q}} \right) - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (1);$$

式(1)中, I_{ph} 为光生电流; I_o 为二极管反向饱和暗电流; n 为二极管理想因子; R_s 为串联电阻; N_s 为半片太阳能电池数量; k 为玻尔兹曼常数, 取 $1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$; q 为电荷数, 取 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$; T_c 为半片太阳能电池温度, 采用开尔文温度, 为 298.15K ; R_{sh} 为并联电阻; I 和 V 分别是工作电流和工作电压;

S1-3、根据步骤S1-1已知的开路电压 V_{oc} , 短路电流 I_{sc} , 最大功率点电压 V_{mpp} , 最大功率点电流 I_{mpp} , 将其代入半片光伏组件输出特性方程中提取方程中的五个未知参数即为半片光伏组件的五参数, 所述半片光伏组件的五参数包括 $I_{ph, \text{半片光伏组件}}$, $I_{o, \text{半片光伏组件}}$, $n_{\text{半片光伏组件}}$, $R_{s, \text{半片光伏组件}}$, $R_{sh, \text{半片光伏组件}}$;

S2、根据半片光伏组件内的半片太阳能电池数量, 将半片光伏组件的五个参数转换到代表每一个半片太阳能电池电特性的五参数;

S3、根据半片太阳能电池上阴影遮挡的比例, 修正五参数中的光生电流 I_{ph} , 得到代表受阴影遮挡半片太阳能电池电特性的五参数, 将未受阴影遮挡的半片电池的五参数和受阴影遮挡的半片太阳能电池的五参数分别代入半片光伏组件输出特性方程得到每一个半片太阳能电池的I-V曲线; 具体步骤如下:

S3-1、模拟单个半片太阳能电池在不同遮挡比例5%、10%、15%、20%……100%下的输出特性和1片、2片、1串、2串、1排、2排太阳能电池100%遮挡下半片光伏组件输出特性, 根据半片太阳能电池上阴影遮挡的比例, 修正五参数中的光生电流 I_{ph} , 得到代表受阴影遮挡半片电池电特性的五参数, 受阴影遮挡半片太阳能电池的光生电流 I_{ph} 可表示为:

$$I_{ph, \text{遮挡电池}} = a \times I_{ph, \text{半片电池}}, \quad (2);$$

式(2)中, a 为遮挡比例系数, a 最小为0.001, a 最大为1, 阴影遮挡面积越大, 遮挡比例系数 a 越小, 即表示此半片太阳能电池的 I_{ph} 越小;

S3-2、将步骤S2中得到的未受阴影遮挡的半片电池的五参数和步骤S3-1中得到的受阴影遮挡的半片太阳能电池的五参数分别代入公式(1)中, 得到每一个半片太阳能电池的I-V曲线, 其中, 获得I-V曲线上数据点的方式有两种, 第一种方法是从 $-b-b \times I_{ph}$ 遍历工作电流 I , 得到相同电流对应的不同工作电压 V ; 第二种方法是从 $-b-b \times V_{oc}$ 遍历工作电压 V , 得到相同

电压对应的不同工作电流 I ,其中,参数 b 取值为1.2;

S4、根据电池串内部半片太阳电池的串联电路,电流 I 不变,对每一个电池串上的所有半片太阳电池的电压 V 求和,得到每一个半片电池串的 I - V 曲线;根据旁路二极管受反向电压0.7V时即导通的原理,判断保护此半片电池串的旁路二极管是否导通,得到修正后的每一个半片电池串的 I - V 曲线;根据半片光伏组件内部电池串的并联电路,电压 V 不变,对每一个并联部分的电流 I 求和,得到整个半片光伏组件在阴影条件下的 I - V 和 P - V 曲线,具体方法如下:

S4-1、对所有半片太阳电池进行编号,根据半片光伏组件内部电路结构,将并联的两部分电池域分别记为电池域I和电池域II;将电池域I中串联的电池串分为电池串1、电池串2、电池串3,电池域II中串联的电池串分为电池串4、电池串5、电池串6;与电池串1和电池串4相并联的旁路二极管记为二极管I,与电池串2和电池串5相并联的旁路二极管记为二极管II,与电池串3和电池串6相并联的旁路二极管记为二极管III;最终得到半片光伏组件内部任意半片太阳电池的序列号;

S4-2、根据S3-2中所述的获得 I - V 曲线上数据点的第一种方法,计算每个半片太阳电池输出特性,分别将电池串1、2、3、4、5、6中所有半片太阳电池的电压相加,电流保持不变,得到每个电池串的 I - V 曲线;

S4-3、对每个电池串 I - V 曲线上的电压值进行处理,将电压值小于等于该电池串对应的旁路二极管导通电压的数据全部替换成-0.7V,得到更新的每个电池串的 I - V 曲线;

S4-4、分别将电池域I和电池域II中串联的3个电池串的电压相加,保持电流不变,得到每个电池域的 I - V 曲线;

S4-5、根据S3-2中所述的获得 I - V 曲线上数据点的第二种方法,重新绘制电池域I和电池域II的 I - V 曲线,具体步骤如下:首先列出以相同的电压间隔遍历的新电压数据,其次分别找到原始曲线上第一个大于等于和最后一个小于等于新电压值的旧电压,最后对旧电压范围内的电流加和求平均,作为新电压值所对应的电流值,最终得到两组更新的电池域I和电池域II的 I - V 曲线;

S4-6、将S4-5更新的电池域I和电池域II的 I - V 曲线的电流相加,电压保持不变,得到半片光伏组件的 I - V 曲线和 P - V 曲线。

2. 根据权利要求1所述的精确评估半片光伏组件在阴影遮挡条件下输出特性的方法,其特征在于,所述S2的具体步骤如下:

根据S1-3中求得的半片光伏组件的五参数和半片光伏组件内的半片太阳电池数量 N_s ,将半片光伏组件的五参数转化成每个半片太阳电池的五参数,每个半片太阳电池的五参数包括: $I_{ph,半片电池}$, $I_{o,半片电池}$, $n_{半片电池}$, $R_{s,半片电池}$, $R_{sh,半片电池}$, 其中, $I_{ph,半片电池} = I_{ph,半片光伏组件} / 2$; $I_{o,半片电池} = I_{o,半片光伏组件} / 2$; $n_{半片电池} = n_{半片光伏组件}$; $R_{s,半片电池} = R_{s,半片光伏组件} \times 2$; $R_{sh,半片电池} = R_{sh,半片光伏组件} \times 2$ 。

3. 根据权利要求1所述的精确评估半片光伏组件在阴影遮挡条件下输出特性的方法,其特征在于,所述S3-1中,当单片太阳电池的遮挡比例为100%时,则遮挡比例系数 $a = 0.001$ 。

精确评估半片光伏组件在阴影遮挡条件下输出特性的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种精确评估半片光伏组件在阴影遮挡条件下输出特性的方法,属于光伏发电技术领域。

背景技术

[0002] 一般来说,一个光伏发电系统由多个半片光伏组件构成,而半片光伏组件又由固定片数的太阳能电池封装形成,理想情况下的光伏发电系统可以充分利用太阳资源,产生巨大的能源与环境效益。然而,实际情况下,由于安装环境下阴影遮挡的存在,半片光伏组件的发电会受到这些局部阴影的强烈干扰。

[0003] 组件内部并联的旁路二极管在一定程度上解决了组件之间因阴影而产生的失配问题,但同时也造成了组件整体输出表现出不连续性,即在旁路二极管导通与关断状态前后,半片光伏组件的I-V输出特性曲线在该状态点产生台阶,光伏组串的P-V输出特性在该状态点出现峰值;综上,一旦半片光伏组件中有旁路二极管导通,其P-V输出特性即出现多个功率峰值。为了时时刻刻使得半片光伏组件输出当前时刻下的最大功率,针对多个功率峰值的跟踪显得尤为重要,一些高效的MPPT跟踪器件必须具备在阴影条件下评估组件输出特性继而跟踪最大功率的功能。

[0004] 随着晶硅类太阳能电池的效率越来越接近瓶颈,半片光伏组件实现降本增效一方面依靠提高半片光伏组件的封装效率;另一方面则是将电池片切片处理,比如将整片太阳能电池切成一半,制作成半片光伏组件,从而有效减小电阻损耗。

[0005] 常规整片组件是以将所有整片太阳能电池通过纯串联的方式相连,而半片光伏组件电池片数目通常是整片组件的两倍。为了不额外增加半片光伏组件的电压,增加光伏系统的成本以及并网隐患,太阳能电池通常采用先串联后并联的方式,保证组件输出电流和电压不变。然后,正是由于半片光伏组件内部电路发生了变化,在阴影条件输出特性的评估变得更加复杂。以前针对整片组件再阴影条件下的评估方法不再适用于具有串联和并联电路的半片光伏组件。

[0006] 鉴于此,必须通过更加精确的求解每一个半片电池的输出特性,得到半片光伏组件在阴影条件下的I-V和P-V输出特性,继而实现对半片光伏组件最大功率的实时跟踪,实现在线监测光伏系统的失配,提高光伏发电效益。

发明内容

[0007] 针对现有技术中,在太阳能电池切半之后,在半片光伏组件串并联电路中处理各电池的并联关系时,找不到相同电压点,从而无法对电流点求和以评估半片光伏组件在阴影遮挡等条件下的输出特性;以往将半片光伏组件看成整片组件来评估,忽略并联的电路特性是不精确的,无法评估半片光伏组件在失配条件下的性能优势,也与实测不符,本发明提出了一种精确评估半片光伏组件在阴影遮挡条件下输出特性的方,可以快速、简便的模拟分析出半片光伏组件阴影遮挡下的I-V和P-V输出特性,对在线监测由半片光伏组件构成的

光伏系统的失配,实时跟踪半片光伏组件最大功率,提高光伏系统的发电效益具有实际意义。

[0008] 本发明中主要采用的技术方案为:

[0009] 定义本发明中的几个名词:

[0010] 半片电池:使用划片机将原本整片太阳能电池切割成半片,拥有更多优势。

[0011] 半片组件:由半片太阳能电池串并联组成的光伏组件。主流的半片组件由144个半片太阳能电池组成。正常的无阴影等失配工况下,可等效成由72片整片太阳能电池串联组成的常规整片光伏组件。

[0012] 电池串:由每个二极管所管控的串联相接的电池片,半片光伏组件共有6个电池串。

[0013] 电池域:由三个二极管共同管控的并联相接的电池片,半片光伏组件共有两个电池域。

[0014] 排:半片光伏组件竖向布置时,组件短边所在方向。横向布置时相反。

[0015] 列:半片光伏组件竖向布置时,组件长边所在方向。横向布置时相反。

[0016] I-V曲线:表示半片光伏组件在某一辐照度和某一组件温度下的发电性能。

[0017] 一种精确评估半片光伏组件在阴影遮挡条件下输出特性的方法,具体步骤如下:

[0018] S1、根据半片光伏组件背面的铭牌参数,得到用于表征半片光伏组件输出特性方程中所需要的五个参数;

[0019] S2、根据半片光伏组件内的半片太阳能电池数量,将半片光伏组件的五个参数转换到代表每一个半片太阳能电池特性的五参数;

[0020] S3、根据半片太阳能电池上阴影遮挡的比例,修正五参数中的光生电流 I_{ph} ,得到代表受阴影遮挡半片太阳能电池特性的五参数,将未受阴影遮挡的半片电池的五参数和受阴影遮挡的半片太阳能电池的五参数分别代入半片光伏组件输出特性方程得到每一个半片太阳能电池的I-V曲线;

[0021] S4、根据电池串内部半片太阳能电池的串联电路,电流I不变,对每一个电池串上的所有半片太阳能电池的电压V求和,得到每一个半片电池串的I-V曲线;根据旁路二极管受反向电压0.7V时即导通的原理,判断保护此半片电池串的旁路二极管是否导通,得到修正后的每一个半片电池串的I-V曲线;根据半片光伏组件内部电池串的并联电路,电压V不变,对每一个并联部分的电流I求和,得到整个半片光伏组件在阴影条件下的I-V和P-V曲线。

[0022] 优选地,所述步骤S1的具体步骤如下:

[0023] S1-1、从半片光伏组件背面贴有的铭牌上,获取四个标准测量条件下的半片光伏组件电性能参数以及半片太阳能电池数量 N_s ,所述半片光伏组件电性能参数包括开路电压 V_{oc} 、短路电流 I_{sc} 、最大功率点电压 V_{mpp} 和最大功率点电流 I_{mpp} ;

[0024] S1-2、列出半片光伏组件输出特性方程,如式(1)所示:

$$[0025] \quad I = I_{ph} - I_o \left(e^{\left(\frac{V + I \cdot R_s}{N_s \cdot \frac{n \cdot k \cdot T_c}{q}} \right)} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (1);$$

[0026] 式(1)中, I_{ph} 为光生电流; I_o 为二极管反向饱和暗电流; n 为二极管理想因子; R_s 为串联电阻; N_s 为半片太阳能电池数量; K 为玻尔兹曼常数,取 $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$; q 为电荷数,取 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$; T_c 为半片太阳能电池温度,采用开尔文温度,为 298.15 K ; R_{sh} 为并联电阻; I 和 V 分别是工作电流和工作电压;

[0027] S1-3、根据步骤S1-1已知的开路电压 V_{oc} ,短路电流 I_{sc} ,最大功率点电压 V_{mpp} ,最大功率点电流 I_{mpp} ,将其代入半片光伏组件输出特性方程中提取方程中的五个未知参数即为半片光伏组件的五参数,所述半片光伏组件的五参数包括 $I_{ph,半片光伏组件}$, $I_{o,半片光伏组件}$, $n_{半片光伏组件}$, $R_{s,半片光伏组件}$, $R_{sh,半片光伏组件}$ 。

[0028] 优选地,所述步骤S2的具体步骤如下:

[0029] 根据S1-3中求得的半片光伏组件的五参数和半片光伏组件内的半片太阳能电池数量 N_s ,将半片光伏组件的五参数转化成每个半片太阳能电池的五参数,每个半片太阳能电池的五参数包括: $I_{ph,半片电池}$, $I_{o,半片电池}$, $n_{半片电池}$, $R_{s,半片电池}$, $R_{sh,半片电池}$,其中, $I_{ph,半片电池} = I_{ph,半片光伏组件} / 2$; $I_{o,半片电池} = I_{o,半片光伏组件} / 2$; $n_{半片电池} = n_{半片光伏组件}$; $R_{s,半片电池} = R_{s,半片光伏组件} \times 2$; $R_{sh,半片电池} = R_{sh,半片光伏组件} \times 2$ 。

[0030] 优选地,所述步骤S3的具体步骤如下:

[0031] S3-1、模拟单个半片太阳能电池在不同遮挡比例5%、10%、15%、20%……100%下的输出特性和1片、2片、1串、2串、1排、2排太阳能电池100%遮挡下半片光伏组件输出特性,根据半片太阳能电池上阴影遮挡的比例,修正五参数中的光生电流 I_{ph} ,得到代表受阴影遮挡半片电池电特性的五参数,受阴影遮挡半片太阳能电池的光生电流 I_{ph} 可表示为::

[0032] $I_{ph,遮挡电池} = a \times I_{ph,半片电池}$, (2);

[0033] 式(2)中, a 为遮挡比例系数, a 最小为0.001, a 最大为1,阴影遮挡面积越大,遮挡比例系数 a 越小,即表示此半片太阳能电池的 I_{ph} 越小。

[0034] S3-2、将步骤S2中得到的未受阴影遮挡的半片电池的五参数和步骤S3-1中得到的受阴影遮挡的半片太阳能电池的五参数分别代入公式(1)中,得到每一个半片太阳能电池的I-V曲线。

[0035] 优选地,所述步骤S3-2中,获得I-V曲线上数据点的方式有两种,第一种是从 $-b-b \times I_{ph}$ 遍历工作电流 I ,得到相同电流对应的不同工作电压 V ;第二种是从 $-b-b \times V_{oc}$ 遍历工作电压 V ,得到相同电压对应的不同工作电流 I ,其中,参数 b 取值为1.2。

[0036] 优选地,所述步骤S4的具体步骤如下:

[0037] S4-1、对所有半片太阳能电池进行编号,根据半片光伏组件内部电路结构,将并联的两部分电池域分别记为电池域I和电池域II;将电池域I中串联的电池串分为电池串1、电池串2、电池串3,电池域II中串联的电池串分为电池串4、电池串5、电池串6;与电池串1和电池串4相并联的旁路二极管记为二极管I,与电池串2和电池串5相并联的旁路二极管记为二极管II,与电池串3和电池串6相并联的旁路二极管记为二极管III;最终得到半片光伏组件内部任意半片太阳能电池的序列号;

[0038] S4-2、根据步骤S3-2中所述的获得I-V曲线上数据点第一种方法,计算每个半片太阳能电池输出特性,分别将电池串1、2、3、4、5、6中所有半片太阳能电池的电压相加,电流保持不变,得到每个电池串的I-V曲线;

[0039] S4-3、对每个电池串I-V曲线上的电压值进行处理,将电压值小于等于该电池串对应的旁路二极管导通电压的数据全部替换成-0.7V,得到更新的每个电池串的I-V曲线;

[0040] S4-4、分别将电池域I和电池域II中串联的3个电池串电压相加,保持电流不变,得到每个电池域的I-V曲线;

[0041] S4-5、采用S3-2中所述第二种方式重新绘制电池域I和电池域II的I-V曲线,具体步骤如下:首先列出以相同的电压间隔遍历的新电压数据,其次分别找到原始曲线上第一个大于等于和最后一个小于等于新电压值的旧电压,最后对旧电压范围内的电流加和求平均,作为新电压值所对应的电流值,最终得到两组更新的电池域I和电池域II的I-V曲线;

[0042] S4-6、将S4-5更新的电池域I和电池域II的I-V曲线的电流相加,电压保持不变,得到半片光伏组件的I-V曲线和P-V曲线。

[0043] 优选地,所述步骤S3-1中,当单片太阳能电池的遮挡比例为100%时,则遮挡比列系数 $a=0.001$ 。

[0044] 有益效果:本发明提供一种半片光伏组件在阴影遮挡下的精确评估方法,能够计算出半片光伏组件在阴影遮挡等失配条件下的I-V曲线,以及评估半片光伏组件在抗阴影遮挡和热斑上相较于整片组件的优势,对半片光伏组件的普及应用、光伏系统的失配在线监测、最大功率的实时跟踪、提高半片光伏系统的发电效益具有重要的意义。

附图说明

[0045] 图1是本发明半片光伏组件在阴影遮挡下精确评估方法的流程图。

[0046] 图2是单片电池正常情况下与被遮挡时的I-V曲线图。

[0047] 图3是常规的半片光伏组件内部结构示意图。

[0048] 图4是阴影失配条件下,半片光伏组件的输出特性(实测与计算)。

[0049] 图5是相同阴影失配条件下,整片组件的输出特性(实测)。

具体实施方式

[0050] 为了使本技术领域的人员更好地理解本申请中的技术方案,下面对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,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。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,都应当属于本申请保护的范围。

[0051] 本实施例中,所选半片光伏组件为144半片光伏组件,相当于72整片组件的版型大小,其结构示意图如图3所示。整片电池面积为 $158.75\text{mm}\times 158.7\text{mm}$,半片电池面积为 $158.75\text{mm}\times 79.35\text{mm}$ 。

[0052] 如图1所示,本发明提供了一种半片光伏组件在阴影遮挡下的精确评估方法,其主要包括以下步骤:

[0053] S1、根据半片光伏组件背面的铭牌参数,得到用于表征半片光伏组件输出特性方程中所需要的五个参数;

[0054] S1-1、从半片光伏组件背面贴有的铭牌上,获取四个标准测量条件下半片光伏组件的电性能参数以及半片太阳能电池数量 N_s ,如表1所示,半片光伏组件的电性能参数包括:开路电压 $V_{oc}=47.74$ 、短路电流 $I_{sc}=10.03$ 、最大功率点电压 $V_{mpp}=39.39$ 、最大功率点电流 $I_{mpp}=9.42$ 、半片电池片数量 $N_s=144$;半片太阳能电池在标况(STC)下的四个电性能参数如表1中第二行所示,分别为: $V_{oc}=0.663$; $I_{sc}=5.015$; $V_{mpp}=0.547$; $I_{mpp}=4.71$;

[0055] 表1

[0056] 标况下半片光伏组件电性能参数以及计算的半片太阳电池电性能参数

名称	开路电压(V)	短路电流(A)	最大功率点电压(V)	最大功率点电流(A)	最大功率率(W)
半片光伏组件 (铭牌参数)	47.74	10.03	39.39	9.42	370
半片电池	47.74/72	10.03/2	39.39/72	9.42/2	2.57
遮挡电池	47.74/72	10.03/2×0.001	39.39/72	9.42/2×0.001	≈0

[0058] *“72”为串联的半片电池数量;“0.001”为遮挡比例系数a,阴影遮挡越多,a值越小;“2”为整片电池切成两半。

[0059] S1-2、列出半片光伏组件输出特性方程,具体如式(1)所示:

$$I = I_{ph} - I_o \left[e^{\left(\frac{V + I \cdot R_s}{N_s \cdot \frac{n \cdot k \cdot T_c}{q}} \right)} - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (1);$$

[0061] 其中, I_{ph} 为光生电流; I_o 为二极管反向饱和暗电流; n 为二极管理想因子; R_s 为串联电阻; N_s 为半片太阳电池数量; k 为玻尔兹曼常数,取 $1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$; q 为电荷数,取 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$; T_c 为电池片温度,采用开尔文温度,为 298.15K ; R_{sh} 为并联电阻; I 和 V 分别是工作电流和工作电压。

[0062] S1-3、根据步骤S1-1已知的开路电压 V_{oc} , 短路电流 I_{sc} , 最大功率点电压 V_{mpp} , 最大功率点电流 I_{mpp} , 将其代入半片光伏组件输出特性方程中提取方程中的五个未知参数即为半片光伏组件的五参数, 所述半片光伏组件的五参数包括 $I_{ph, \text{半片光伏组件}}$, $I_{o, \text{半片光伏组件}}$, $n_{\text{半片光伏组件}}$, $R_{s, \text{半片光伏组件}}$, $R_{sh, \text{半片光伏组件}}$, 如表2中第一行所示:

[0063] 表2

[0064] 标况下半片光伏组件特性方程五参数及计算的太阳电池特性方程五参数

名称	I_{ph} (A)	I_o (A)	n	R_s (Ω)	R_{sh} (Ω)
半片光伏组件	10.05	$8.28e^{-11}$	1.012	0.28	256.43
半片电池	10.05/2	$8.28e^{-11}/2$	1.012	$0.28/72 \times 2$	$256.43/72 \times 2$
遮挡电池	$10.05/2 \times 0.001$	$8.28e^{-11}/2$	1.012	$0.28/72 \times 2$	$256.43/72 \times 2$

[0066] S2、根据半片光伏组件内的半片太阳电池数量,将半片光伏组件的五个参数转换到代表每一个半片太阳电池电特性的五参数;即根据S1-3中求得的半片光伏组件的五参数和半片光伏组件内的半片太阳电池数量 N_s , 将半片光伏组件的五参数转化成每个半片太阳电池的五参数, 每个所述半片太阳电池的五参数包括: $I_{ph, \text{半片电池}}$, $I_{o, \text{半片电池}}$, $n_{\text{半片电池}}$, $R_{s, \text{半片电池}}$, $R_{sh, \text{半片电池}}$, 其中, $I_{ph, \text{半片电池}} = I_{ph, \text{半片光伏组件}}/2$; $I_{o, \text{半片电池}} = I_{o, \text{半片光伏组件}}/2$; $n_{\text{半片电池}} = n_{\text{半片光伏组件}}$; $R_{s, \text{半片电池}} = R_{s, \text{半片光伏组件}}/72 \times 2$; $R_{sh, \text{半片电池}} = R_{sh, \text{半片光伏组件}}/72 \times 2$, 具体如表2中第二行所示。

[0067] S3、根据半片太阳电池上阴影遮挡的比例,修正五参数中的光生电流 I_{ph} , 得到代表受阴影遮挡半片电池电特性的五参数, 将未受阴影遮挡的半片电池的五参数和受阴影遮挡

的半片太阳能电池的五参数分别代入半片光伏组件输出特性方程得到每一个半片太阳能电池的I-V曲线。

[0068] 具体步骤如下:

[0069] S3-1、模拟单个半片太阳能电池在不同遮挡比例5%、10%、15%、20%……100%下的输出特性和1片、2片、1串、2串、1排、2排太阳能电池100%遮挡下半片光伏组件输出特性,因为阴影对太阳能电池的影响主要是受光率,受阴影遮挡半片太阳能电池的光生电流 I_{ph} 可表示为:

$$[0070] \quad I_{ph,遮挡电池} = a \times I_{ph,半片电池}, \quad (2);$$

[0071] 其中,a为遮挡比例系数,最小为0.001,最大为1,阴影遮挡面积越大,系数a越小,表示此太阳能电池的 I_{ph} 越小。本实施例中,半片电池遮挡100%;遮挡数目为4片;遮挡电池片的编号分别为2-13,2-14,3-13,3-14,其光生电流 I_{ph} 变成 $0.001 \times I_{ph}$ 。具体参数如表2中第三行所示。

[0072] S3-2、将未受阴影遮挡电池的五参数和受阴影遮挡电池的五参数分别代入公式(1)中,得到每一个半片太阳能电池的I-V曲线。其中,获得I-V曲线上数据点的方式有两种,第一种是从 $-b-b \times I_{ph}$ 遍历工作电流I,得到相同电流(即以.01的间隔取工作电流I)对应的不同工作电压V;第二种是从 $-b-b \times V_{oc}$ 遍历工作电压V,得到相同电压(即以.01的间隔取工作电压V)对应的不同工作电流I,其中,参数b取值为1.2,目的是考虑电压和电流为负值的曲线区域。如图2所示。

[0073] S4、根据电池串内部半片太阳能电池的串联电路,电流I不变,对每一个电池串上的所有半片太阳能电池的电压V求和,得到每一个半片电池串的I-V曲线;根据旁路二极管受反向电压0.7V时即导通的原理,判断保护此半片电池串的旁路二极管是否导通,得到修正后的每一个半片电池串的I-V曲线;根据半片光伏组件内部电池串的并联电路,电压V不变,对每一个并联部分的电流I求和,得到整个半片光伏组件在阴影条件下的I-V和P-V曲线。具体步骤如下:

[0074] S4-1、对所有半片电池进行编号,根据半片光伏组件内部电路结构,将并联的两部分电池域分别记为电池域I和电池域II;将电池域I中串联的电池串分为电池串1、电池串2、电池串3,电池域II中串联的电池串分为电池串4、电池串5、电池串6;与电池串1和电池串4相并联的旁路二极管记为二极管I,与电池串2和电池串5相并联的旁路二极管记为二极管II,与电池串3和电池串6相并联的旁路二极管记为二极管III;最终得到半片光伏组件内部任意半片太阳能电池的序列号;例如电池串1中第24片电池,记为1-24,如图3所示;

[0075] S4-2、根据步骤S3-2中所述的获得I-V曲线上数据点第一种方法,计算每个半片太阳能电池输出特性,分别将电池串1、2、3、4、5、6中所有半片太阳能电池的电压相加,电流保持不变,得到每个电池串的I-V曲线;

[0076] S4-3、对每个电池串I-V曲线上的电压值进行处理,将电压值小于等于该电池串对应的旁路二极管导通电压的数据全部替换成-0.7V,得到更新的每个电池串的I-V曲线;(此处考虑了遮挡与非遮挡电池的不同输出特性和旁路二极管的导通和截止);

[0077] S4-4、分别将电池域I和电池域II中串联的3个电池串的电压相加,保持电流不变,得到每个电池域的I-V曲线;如图2中对虚线和实线曲线,纵坐标不变,横坐标相加(考虑负值区域);

[0078] S4-5、考虑到电池域I和电池域II是并联的结构,我们需要对域I和域II的电流相加,而电压保持不变。但是,因为仅域I内存在遮挡,我们以相同的电流间隔分别求得的域I和域II电压,实际上是不相等的,也就无法以相同的电压间隔,对并联两部分的电流叠加。因此,为了得到相同的电压值,采用S3-2中所述第二种方式重新绘制电池域I和电池域II的I-V曲线,具体步骤如下:首先列出以相同的电压间隔(0.01V)遍历的新电压数据,其次分别找到原始曲线(S4-4中所得到的每个电池域的I-V曲线)上第一个大于等于和最后一个小于等于新电压值的旧电压,最后对旧电压范围内的电流加和求平均,作为新电压值所对应的电流值,最终得到两组更新的电池域I和电池域II的I-V曲线;

[0079] S4-6、将更新的电池域I和电池域II的电流相加,电压保持不变,得到半片光伏组件的I-V曲线和P-V曲线。如图2中对虚线和实线部分,横坐标不变,纵坐标相加。(需考虑负值区域)

[0080] 对上述得到的半片光伏组件的I-V曲线和P-V曲线进行验证:

[0081] 在辐照度 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 、环境温度 $25\pm 2^\circ\text{C}$ 、光谱AM1.5的实验室环境下,利用黑色的PVC板材遮挡前述S30中的电池位置;并利用德国PASAN POWER的太阳能模拟器,进行半片光伏组件输出特性的测量。根据S3-1中不同的遮挡方案,调整PVC板材的位置,并使用温度测试仪检测组件温度,组件温度稳定后每隔2min测试一次。将实测的I-V曲线与模拟的I-V曲线绘制在一张图上进行比较。由于分别以0.01的电流和电压间隔进行取值,所以会有5000以上的I-V数据点。最终得到的半片光伏组件的输出特性曲线,电流电压值过多。为了方便作图,在matlab中选取其中的200个I-V数据点,绘制I-V曲线。最终结果如图4所示,可见实验结果与模拟结果基本吻合,验证了评估方法的准确性。 P_1 和 P_2 为图4中P-V曲线上的峰值功率点,在 P_1 点的左侧,组件未受阴影影响的电池片正常工作,半片光伏组件阴影电池所在的两个二极管都处于导通状态。在 P_1 点- P_2 之间,组件内三个二极管都未导通,处于截止状态。半片光伏组件此时以降低电流的方式持续输出,阴影遮挡电池成为负载,消耗能量。但此时最大功率为 P_2 点,因此,半片光伏组件此时是在阴影电池消耗能量的同时,输出最大性能。但是,如果采用以前的方法,不考虑并联电路结构,当成整片组件计算,如图5所示,可以看到结果大为不同,整片组件最大功率108W,半片光伏组件此时最大功率193W;整片组件功率输出损失巨大,为半片光伏组件的2倍。显然,在这种阴影遮挡方式下,半片光伏组件发电性能优势显著,体现出本发明方法的实际意义。

[0082] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

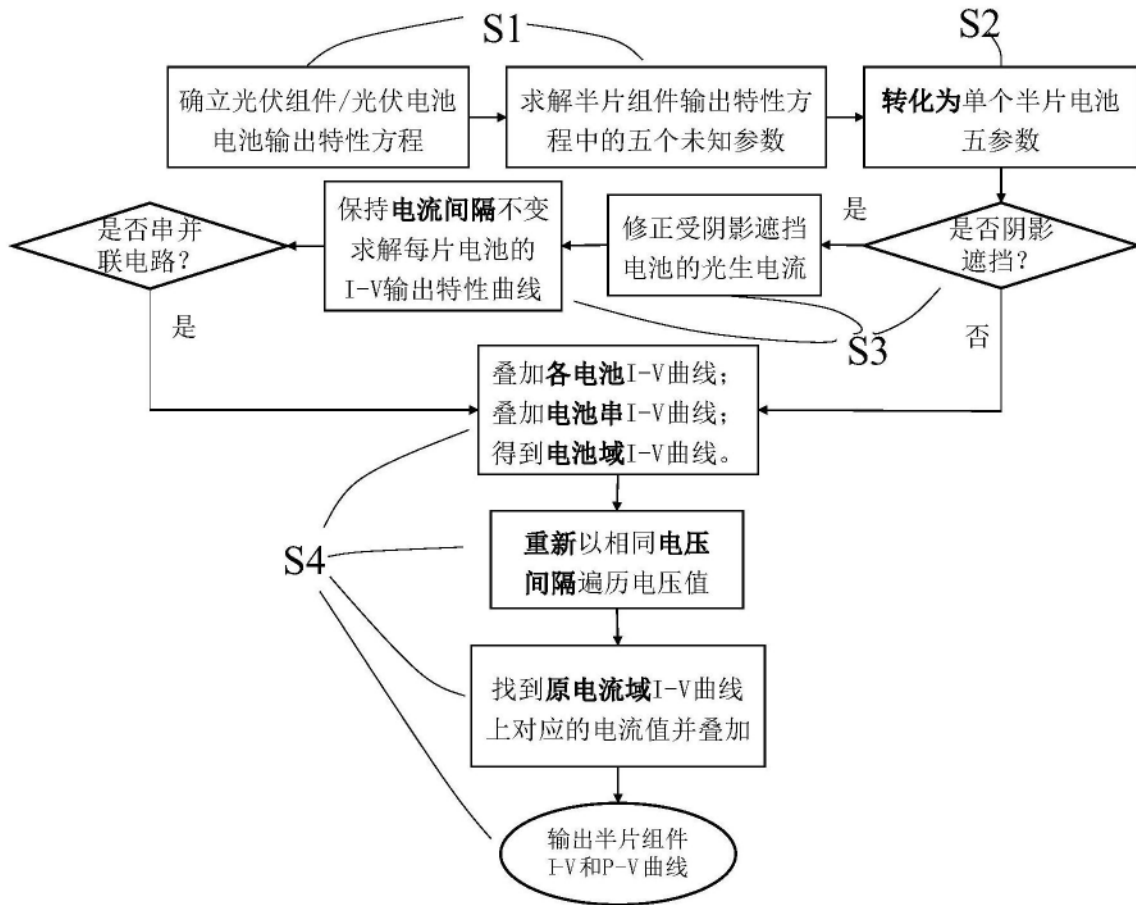


图1

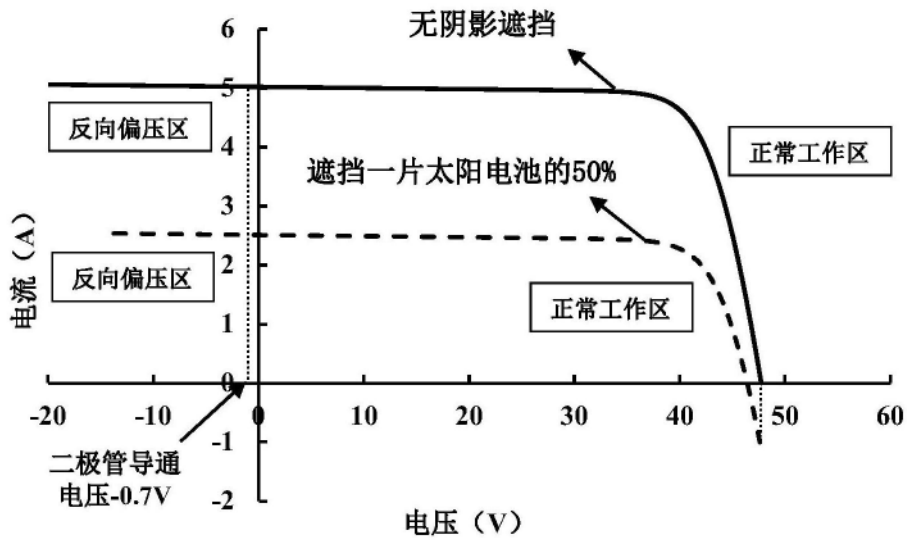


图2

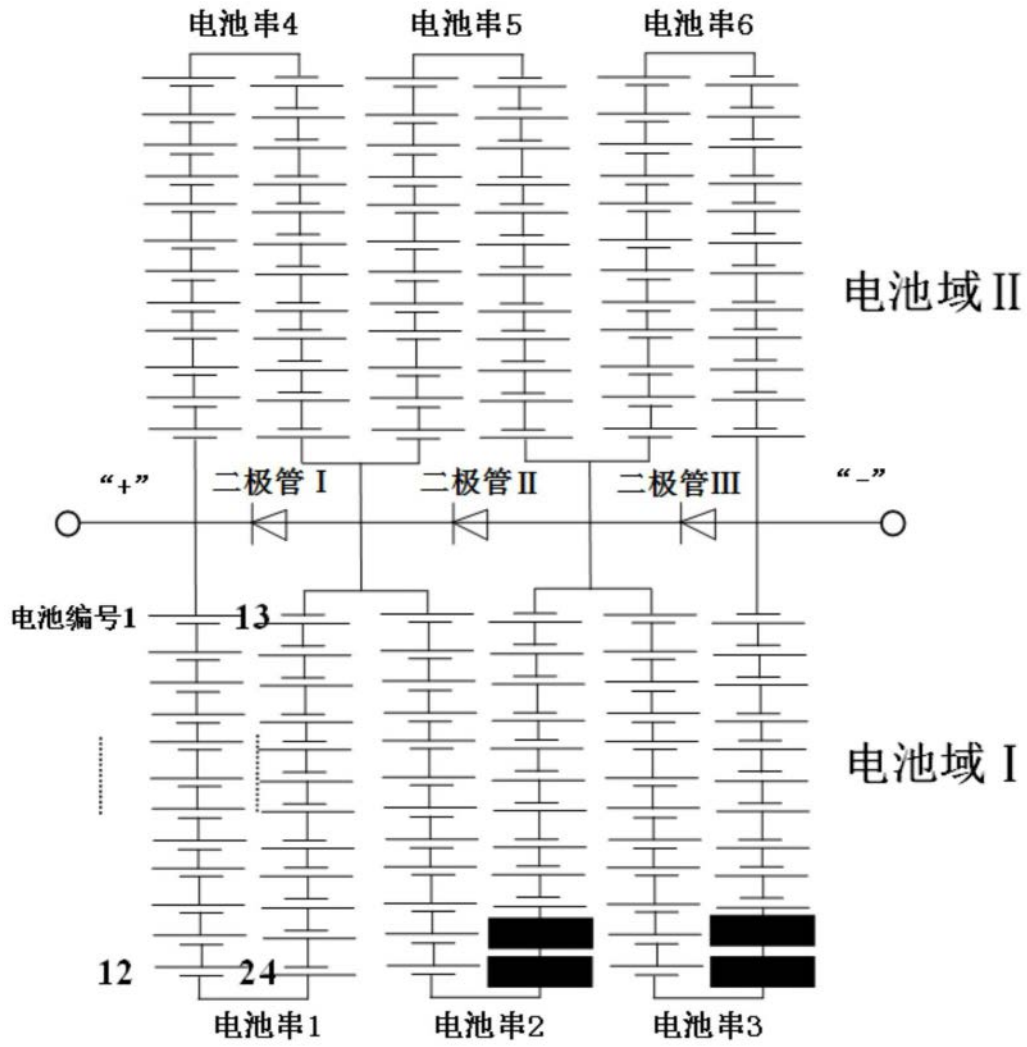


图3

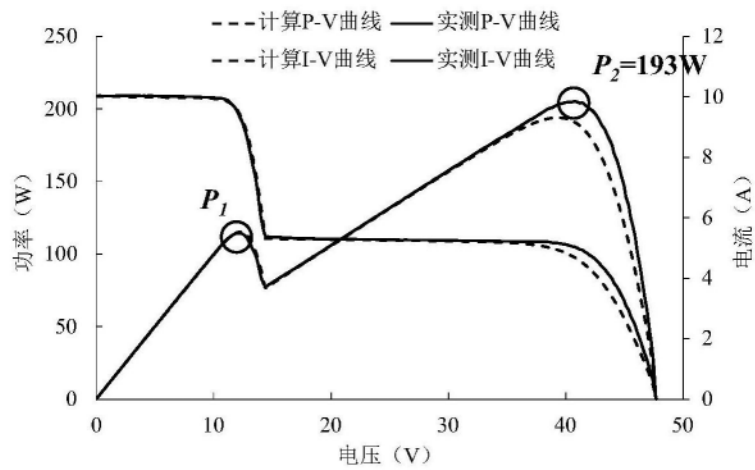


图4

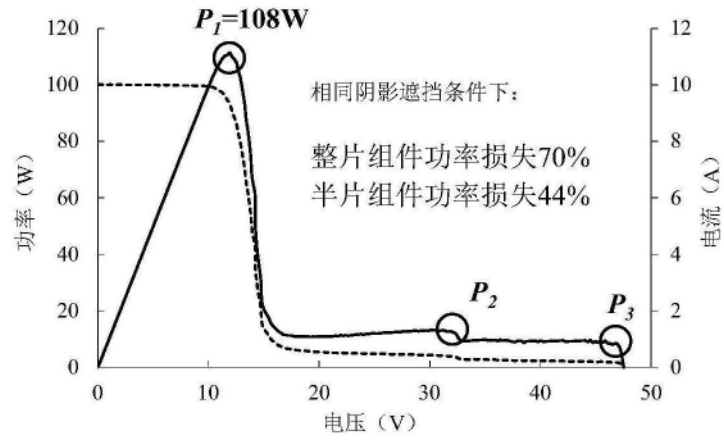


图5