



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110334443 A

(43)申请公布日 2019.10.15

(21)申请号 201910603397.6

(22)申请日 2019.07.05

(71)申请人 天合光能股份有限公司

地址 213022 江苏省常州市新北区天合光
伏产业园天合路2号

(72)发明人 孙凯 吴军 全鹏 赵明

(74)专利代理机构 浙江永鼎律师事务所 33233

代理人 郭小丽

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

G06Q 50/06(2012.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种计算双面光伏组件背面失配损失的方法

(57)摘要

本发明公开了一种计算双面光伏组件背面失配损失的方法,包括以下步骤:将双面组件背面分为n等分,形成n个部分,其中n为大于等于2的整数;分别计算双面组件背面n个部分的辐照;以背面最大辐照转换成电学模型计算得到双面组件背面的功率;分别将背面n个部分的辐照转换成电学模型进行功率计算,将最大功率与此时失配功率进行对比,计算得到双面组件背面失配损失。本发明可以得到双面光伏组件背面各个部分辐照,进而计算双面组件背面辐照不均导致的失配损失,可以根据双面组件背面特性进行设计优化,比如对于固定安装的双面组件,计算对比不同安装高度下双面组件背面辐照不均失配损失,优化双面系统的设计,提高系统发电量。

1. 一种计算双面光伏组件背面失配损失的方法,其特征在于,包括以下步骤:

(a) 将双面组件背面分为n等分,形成n个部分,其中n为大于等于2的整数;

(b) 分别计算双面组件背面n个部分的辐照;

(c) 以背面最大辐照转换成电学模型计算得到双面组件背面的功率;

(d) 分别将背面n个部分的辐照转换成电学模型进行功率计算,将最大功率与此时失配功率进行对比,计算得到双面组件背面失配损失。

2. 如权利要求1所述的计算双面光伏组件背面失配损失的方法,其特征在于,所述n为3,3个部分分别为上、中、下三个部分。

3. 如权利要求2所述的计算双面光伏组件背面失配损失的方法,其特征在于,所述步骤(b)中计算双面组件背面n个部分的辐照按照式(1)、(2)、(3)以及(4)计算:

$$I_{\text{rear}}(t) = I_{\text{ground}}(t) + I_{\text{sky}} + I_{\text{beam}} \quad (t = \text{上、中、下}) \quad (1)$$

其中,t为上、中、下, $I_{\text{rear}}(t)$ 为双面组件背面辐照; I_{ground} 为双面组件地面反射、 I_{sky} 为双面组件空中散射、 I_{beam} 为双面组件背面直接辐照;

$$I_{\text{ground}}(t) = \sum_i \rho_i * G_i * VF_{i-m}(t) \quad (2)$$

其中,地面反射分为四个区域,分别为阴影区1和阴影区2,光亮区3和光亮区4,即*i* = 1, 2, 3, 4, ρ_i 为每个区域地面反射率; $VF_{i-m}(t)$ 为每个区域对双面组件背面上、中、下三个不同部分的视角系数; G_i 为每个区域的水平总辐照,包括水平直射辐照和水平散射辐照;

$$VF_{i-m}(t) = \frac{1}{A_1} \iint_{A_1 A_2} \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi r^2} dA_1 dA_2 \quad (3)$$

其中,r为面 A_1 与面 A_2 上任意点的连线; θ_1 为面 A_1 法线与连线r的夹角; θ_2 为面 A_2 法线与连线r的夹角;

$$I_{\text{sky}} = (1 - A) I_d \frac{1 - \cos(\beta)}{2}, \quad A = \frac{I_n}{I_0} \quad (4)$$

其中, I_d 为水平散射辐照; β 为组件倾角; I_n 为水平直射辐照; I_0 为大气层外水平辐照。

4. 如权利要求3所述的计算双面光伏组件背面失配损失的方法,其特征在于,所述步骤(c)中背面最大辐照转换成电学模型计算双面组件背面的功率的计算方法包括:

选择 $I_{\text{rear}}(t)$ 中辐照最大的部分为双面组件背面辐照基准,利用光伏组件单二极管四参数法模型进行该辐照下组件的最大工作点功率为 P_1 ,按照式(5)进行模拟计算,

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left(\frac{V + R_s * I}{A V_T} \right) - 1 \right\} \quad (5)$$

其中,I为工作电流,V为工作电压, I_{ph} 为光生电流, I_0 为二极管反向饱和电流, R_s 为串联电阻, $V_T = \frac{kT}{q}$,A为二极管理想因子,k为玻尔兹曼常数,q为电子电荷,T为组件工作温度。

5. 如权利要求4所述的计算双面光伏组件背面失配损失的方法,其特征在于,所述步骤(d)中将背面3个部分的辐照转换成电学模型进行功率计算的方法包括:

此时将三个部分不同辐照带入失配模型计算,按照式(6)进行相关计算,得到整个组件的最大工作点功率为 P_2 ;

$$I_{sc} = I_{sc, ref} \frac{S}{S_{ref}} (1 + a \Delta T) \quad (6)$$

其中, I_{sc} 为组件短路电流, $I_{sc,ref}$ 为标准测试条件下组件的短路电流, S 为工作辐照, S_{ref} 为标准测试条件下的辐照, 为 $1000\text{W}/\text{m}^2$, a 为电流温度系数, ΔT 为组件工作温度与标准测试条件下的温度 (25°C) 差。

6. 如权利要求5所述的计算双面光伏组件背面失配损失的方法, 其特征在于, 将步骤(c) 和步骤(d) 中计算的两个最大功率点进行对比, 得到双面组件背面失配损失为 $(P_1 - P_2) / P_1 * 100\%$ 。

一种计算双面光伏组件背面失配损失的方法

技术领域

[0001] 本发明属于光伏技术领域,具体涉及一种计算双面光伏组件背面失配损失的方法。

背景技术

[0002] 随着光伏发电的快速发展,技术不断提升,成本不断下降,竞争形势愈发激烈,降低度电成本成为光伏企业不断追求的目标。与普通组件相比,双面光伏组件由于正反两面均可发电,极大地提升了系统的发电能效,因此备受市场青睐。然而,在双面组件的安装与应用方面,还有许多问题需要解决,例如如何确定双面组件的安装高度、间距使得双面组件发电量最优,双面组件在实际应用过程中背面的辐照分布不均,导致系统发生失配,如何计算背面失配。

[0003] 文献“Shoukry I,Libal J,Kopecek R,et al.Modelling of Bifacial Gain for Stand-alone and in-field Installed Bifacial PV Modules[J].Energy Procedia, 2016,92:600-608.”通过测试发现,光伏阵列排布下的双面光伏组件,阵列头尾两排的背面发电量增益最大,并向中间逐渐减少;同样地,同一组串的双面光伏组件,位于两端的组件发电量增益明显大于中间组件的增益,说明双面组件背面辐照分布不均,所以研究双面组件背面辐照意义重大。

发明内容

[0004] 为了解决上述问题,本发明提供了一种计算双面光伏组件背面失配损失的方法,可以计算双面组件失配的损失。

[0005] 本发明的技术方案为:一种计算双面光伏组件背面失配损失的方法,包括以下步骤:

[0006] (a) 将双面组件背面分为n等分,形成n个部分,其中n为大于等于2的整数;

[0007] (b) 分别计算双面组件背面n个部分的辐照;

[0008] (c) 以背面最大辐照转换成电学模型计算得到双面组件背面的功率;

[0009] (d) 分别将背面n个部分的辐照转换成电学模型进行功率计算,将最大功率与此时失配功率进行对比,计算得到双面组件背面失配损失。

[0010] 作为优选,所述n为3,3个部分分别为上、中、下三个部分。

[0011] 作为优选,所述步骤(b)中计算双面组件背面n个部分的辐照按照式(1)、(2)、(3)以及(4)计算:

[0012] $I_{\text{rear}}(t) = I_{\text{ground}}(t) + I_{\text{sky}} + I_{\text{beam}}(t = \text{上、中、下})$ (1)

[0013] 其中,t为上、中、下, $I_{\text{rear}}(t)$ 为双面组件背面辐照; I_{ground} 为双面组件地面反射、 I_{sky} 为双面组件空中散射、 I_{beam} 双面组件背面直接辐照;

[0014] $I_{\text{ground}}(t) = \sum_i \rho_i * G_i * VF_{i-m}(t)$ (2)

[0015] 其中,地面反射分为四个区域,分别为阴影区1和阴影区2,光亮区3和光亮区4,即i

$=1,2,3,4$, ρ_i 为每个区域地面反射率; $VF_{i-m}(t)$ 为每个区域对双面组件背面上、中、下三个不同部分的视角系数; G_i 为每个区域的水平总辐照,包括水平直射辐照和水平散射辐照;

$$[0016] \quad VF_{i-m}(t) = \frac{1}{A_1} \iint_{A_1 A_2} \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi r^2} dA_1 dA_2 \quad (3)$$

[0017] 其中, r 为面 A_1 与面 A_2 上任意点的连线; θ_1 为面 A_1 法线与连线 r 的夹角; θ_2 为面 A_2 法线与连线 r 的夹角;

$$[0018] \quad I_{sky} = (1 - A) I_d \frac{1 - \cos(\beta)}{2}, \quad A = \frac{I_n}{I_0} \quad (4)$$

[0019] 其中, I_d 为水平散射辐照; β 为组件倾角; I_n 为水平直射辐照; I_0 为大气层外水平辐照。

[0020] 作为优选,所述步骤(c)中背面最大辐照转换成电学模型计算双面组件背面的功率的计算方法包括:

[0021] 选择 $I_{rear}(t)$ 中辐照最大的部分为双面组件背面辐照基准,利用光伏组件单二极管四参数法模型进行该辐照下组件的最大工作点功率为 P_1 ,按照式(5)进行模拟计算,

$$[0022] \quad I = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left(\frac{V + R_s I}{AV_T} \right) - 1 \right\} \quad (5)$$

[0023] 其中, I 为工作电流, V 为工作电压, I_{ph} 为光生电流, I_0 为二极管反向饱和电流, R_s 为串联电阻, $V_T = \frac{kT}{q}$, A 为二极管理想因子, k 为玻尔兹曼常数, q 为电子电荷, T 为组件工作温度。

[0024] 作为优选,所述步骤(d)中将背面3个部分的辐照转换成电学模型进行功率计算的方法包括:

[0025] 此时将三个部分不同辐照带入失配模型计算,按照式(6)进行相关计算,得到整个组件的最大工作点功率为 P_2 ;

$$[0026] \quad I_{sc} = I_{sc, ref} \frac{S}{S_{ref}} (1 + a\Delta T) \quad (6)$$

[0027] 其中, I_{sc} 为组件短路电流, $I_{sc, ref}$ 为标准测试条件下组件的短路电流, S 为工作辐照, S_{ref} 为标准测试条件下的辐照,为 $1000W/m^2$, a 为电流温度系数, ΔT 为组件工作温度与标准测试条件下的温度($25^\circ C$)差。

[0028] 作为优选,将步骤(c)和步骤(d)中计算的两个最大功率点进行对比,得到双面组件背面失配损失为 $(P_1 - P_2) / P_1 * 100\%$ 。

[0029] 与现有技术相比,本发明的有益效果体现在:

[0030] 本发明可以得到双面光伏组件背面各个部分辐照,进而计算双面组件背面辐照不均导致的失配损失,可以根据双面组件背面特性进行设计优化,比如对于固定安装的双面组件,计算对比不同安装高度下双面组件背面辐照不均失配损失,优化双面系统的设计,提高系统发电量。

附图说明

[0031] 图1为本发明中双面组件 n 等分示意图。

- [0032] 图2为本发明中双面组件3等分示意图。
 [0033] 图3为本发明中组件测试场地示意图。
 [0034] 图4为本发明中双面组件背面辐照计位置示意图。
 [0035] 图5为本发明中双面组件背面IV曲线(以最大辐照为基准)。
 [0036] 图6为本发明中双面面组件背面IV曲线(失配)。

具体实施方式

[0037] 实施例1

[0038] 一种计算双面光伏组件背面失配损失的方法,包括以下步骤:

[0039] (a) 将双面组件背面分为n等分,形成n个部分,其中n为大于等于2的整数,n根据所安装的组件类型和排数决定,本实施例中以分为三个部分为例,n等分的计算方式一样,见图1和图2所示;

[0040] (b) 分别计算双面组件背面n个部分的辐照,按照式(1)、(2)、(3)以及(4)计算,双面组件上中下三个部分分别取双面组件背面从下至上1/3、1/2、2/3处的辐照,

$$[0041] \quad I_{\text{rear}}(t) = I_{\text{ground}}(t) + I_{\text{sky}} + I_{\text{beam}} \quad (t = \text{上、中、下}) \quad (1)$$

[0042] 其中,t为上、中、下, $I_{\text{rear}}(t)$ 为双面组件背面辐照; I_{ground} 为双面组件地面反射、 I_{sky} 为双面组件空中散射、 I_{beam} 双面组件背面直接辐照;

$$[0043] \quad I_{\text{ground}}(t) = \sum_i \rho_i * G_i * VF_{i-m}(t) \quad (2)$$

[0044] 其中,地面反射分为四个区域,分别为阴影区1和阴影区2,光亮区3和光亮区4,即 $i = 1, 2, 3, 4$, ρ_i 为每个区域地面反射率; $VF_{i-m}(t)$ 为每个区域对双面组件背面上、中、下三个不同部分的视角系数; G_i 为每个区域的水平总辐照,包括水平直射辐照和水平散射辐照;

$$[0045] \quad VF_{i-m}(t) = \frac{1}{A_1} \iint_{A_1 A_2} \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi r^2} dA_1 dA_2 \quad (3)$$

[0046] 其中,r为面 A_1 与面 A_2 上任意点的连线; θ_1 为面 A_1 法线与连线r的夹角; θ_2 为面 A_2 法线与连线r的夹角;

$$[0047] \quad I_{\text{sky}} = (1 - A) I_d \frac{1 - \cos(\beta)}{2}, \quad A = \frac{I_n}{I_0} \quad (4)$$

[0048] 其中, I_d 为水平散射辐照; β 为组件倾角; I_n 为水平直射辐照; I_0 为大气层外水平辐照。

[0049] (c) 以背面最大辐照转换成电学模型计算得到双面组件背面的功率:

[0050] 选择 $I_{\text{rear}}(t)$ 中辐照最大的部分为双面组件背面辐照基准,利用光伏组件单二极管四参数法模型进行该辐照下组件的最大工作点功率为 P_1 ,按照式(5)进行模拟计算,

$$[0051] \quad I = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left(\frac{V + R_s * I}{AV_T} \right) - 1 \right\} \quad (5)$$

[0052] 其中,I为工作电流,V为工作电压, I_{ph} 为光生电流, I_0 为二极管反向饱和电流, R_s 为串联电阻, $V_T = \frac{kT}{q}$,A为二极管理想因子,k为玻尔兹曼常数,q为电子电荷,T为组件工作温度。

[0053] (d) 分别将背面n个部分的辐照转换成电学模型进行功率计算,将最大功率与此时

失配功率进行对比,计算得到双面组件背面失配损失,具体过程如下:

[0054] 将三个部分不同辐照带入失配模型计算,按照式(6)进行相关计算,得到整个组件的最大工作点功率为 P_2 ;

$$[0055] \quad I_{sc} = I_{sc, ref} \frac{S}{S_{ref}} (1 + a\Delta T) \quad (6)$$

[0056] 其中, I_{sc} 为组件短路电流, $I_{sc,ref}$ 为标准测试条件下组件的短路电流, S 为工作辐照, S_{ref} 为标准测试条件下的辐照,为 $1000\text{W}/\text{m}^2$, a 为电流温度系数, ΔT 为组件工作温度与标准测试条件下的温度(25°C)差。

[0057] 将步骤(c)和步骤(d)中计算的两个最大功率点进行对比,得到双面组件背面失配损失为 $(P_1 - P_2) / P_1 * 100\%$ 。

[0058] 以在天合光能股份有限公司东南区实验场地上的平单轴系统上安装了三排光伏组件为例,如图3所示,地面铺的白板,反射率约为0.6,并在其背面1/3、1/2、2/3处安装上辐照计进行背面辐照计算,见图4。

[0059] 实验测试时间为2019年3月26日,以组件背面2/3处为例进行测试,其测试结果如表1所示,可以发现,背面辐照模拟和实测误差在5%以内,所以模型计算的辐照具有一定的参考意义。

[0060] 现已该测试场地组件为例,选择11:30的实测,数据分别模拟了双面组件背面上中下三个部分的辐照,结果见表2。其中选取天合光能股份有限公司双面组件背面在STC条件测试下的电学参数,见表3。

[0061] 表1

[0062]

时间	水平直射	水平散射	水平总辐照	辐照计(背面上部分)	模拟(背面上部分)	误差
9:55	445	289	734	169	171	-1%
10:06	401	325	726	177	178	-1%
10:18	461	287	748	181	183	-1%
10:27	444	319	763	197	199	-1%
10:39	309	365	674	190	188	1%
10:50	210	442	652	195	192	2%
11:00	11	364	375	124	127	-2%
11:10	16	373	389	131	133	-1%
11:22	348	432	780	236	238	-1%
11:31	417	373	790	233	239	-3%
11:42	551	311	862	250	257	-3%

[0063] 表2

[0064]

时间	水平直射 (W/m^2)	水平散射 (W/m^2)	水平总辐照 (W/m^2)	模拟(背面上部分) (W/m^2)	模拟(背面中间部分) (W/m^2)	模拟(背面下部分) (W/m^2)
11:30	417	373	790	239	225	275

[0065] 表3

[0066]

组件最大功率 (W)	填充因子	开路电压(V)	短路电流(A)	最大功率下的电压 (V)	最大功率下的电流 (A)	串联电阻(Ω)	并联电阻(Ω)
230.80	0.79	46.91	6.20	39.24	5.88	0.75	157.72

[0067] 首先以背面最高辐照为基准计算双面组件背面最大工作点功率,其IV曲线如图5所示,最大功率 P_1 为63.38W。

[0068] 其次再计算以三个部分不同辐照下双面组件背面最大工作点功率,其IV曲线如图6所示,最大功率 P_2 为54.09W。

[0069] 所以双面组件背面失配损失的功率为9W,占比约为14%。



图1

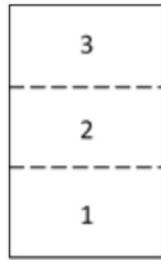


图2



图3

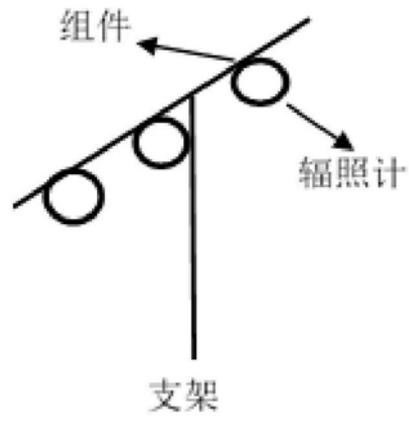


图4

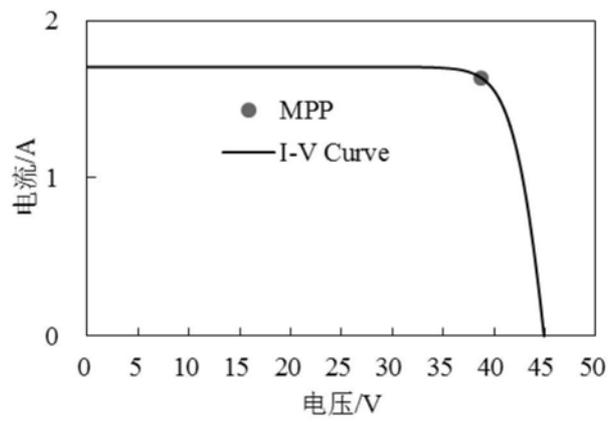


图5

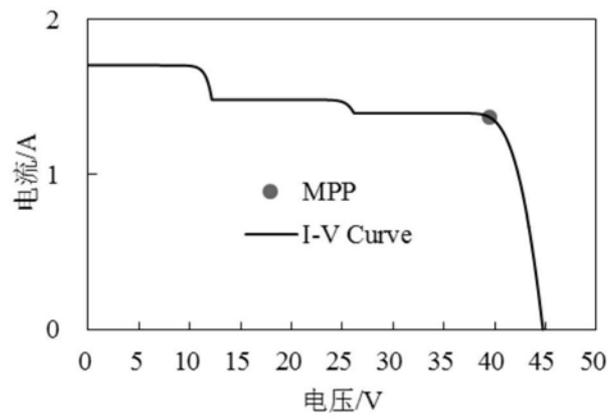


图6