



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107192884 B

(45)授权公告日 2019.06.18

(21)申请号 201710427615.6

(22)申请日 2017.06.08

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107192884 A

(43)申请公布日 2017.09.22

(73)专利权人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华园1号

(72)发明人 邹旭东 王红 杨士元 任杰

(74)专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事
务所(普通合伙) 11201

代理人 罗文群

(51)Int.Cl.

G01R 27/08(2006.01)

H02S 50/15(2014.01)

(56)对比文件

CN 101603988 A, 2009.12.16,

CN 103633157 A, 2014.03.12,

JP 特开2015-197946 A, 2015.11.09,

A.Mashreghi,等.Effect of photoanode

active area on photovoltaic parameters of
dye sensitized solar cells through its
effect on series resistance investigated
by electrochemical impedance
spectroscopy.《J Solid State Electrochem》
.2016,葛红花,等.用交流阻抗法研究BCX电池的性
能.《电化学》.2007,第13卷(第1期),

审查员 焦娇

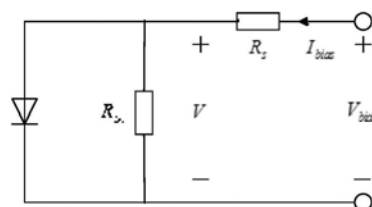
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种基于交流阻抗测试的太阳能电池串联
电阻的测量方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于交流阻抗测试的太阳能电池串联电阻的测量方法,属于新能源与高效节能技术领域。首先将光源持续照射至待测太阳能电池,测量太阳能电池的阻抗谱以及太阳能电池的开路电压;关闭光源,对太阳能电池施加一个直流偏置电压,测量太阳能电池在无光环境下的阻抗谱,调整直流偏置电压的大小,光照前后的阻抗谱相重合,根据重合后的电压和电流计算太阳能电池的串联电阻值。本发明方法测量成本低,减少测量时对测量环境的依赖,而且测量过程简单便捷,在户外环境下可以很方便的实现。本发明测量方法可以测量太阳能电池在任意老化阶段的串联电阻,也可以测量太阳能电池的光照环境下或者无光环境下的串联电阻,因此适用范围广。



1. 一种基于交流阻抗测试的太阳能电池串联电阻的测量方法,其特征在于该方法包括以下步骤:

(1) 将一束光照强度稳定的光源持续照射至待测太阳能电池,测量太阳能电池的阻抗谱以及太阳能电池的开路电压 V_{OC} ;

(2) 关闭光源,将太阳能电池置于无光环境下,对太阳能电池施加一个直流偏置电压,测量太阳能电池在无光环境下的阻抗谱,调整直流偏置电压的大小,使无光环境下测量的太阳能电池阻抗谱与上述步骤(1)的太阳能电池的阻抗谱相重合,并将两个阻抗谱相重合后的太阳能电池两端的电压记为 V_{bias} ,电流记为 I_{bias} ;

(3) 计算太阳能电池在上述阻抗谱相重合时直流偏置电压下的串联电阻值 $(V_{bias}-V_{OC}) / I_{bias}$ 。

2. 一种基于交流阻抗测试的太阳能电池串联电阻的测量方法,其特征在于该方法包括以下步骤:

(1) 将一束光照强度稳定的光源持续照射至待测太阳能电池,测量太阳能电池的阻抗谱以及太阳能电池的开路电压 V_{OC} ;

(2) 增大上述光源的光照强度,对太阳能电池施加一个直流偏置电压,使该直流偏置电压小于上述步骤(1)的太阳能电池的开路电压 V_{OC} ,测量太阳能电池的阻抗谱,调整直流偏置电压的大小,使测量的太阳能电池阻抗谱与上述步骤(1)的太阳能电池的阻抗谱相重合,并将两个阻抗谱相重合后的太阳能电池两端的电压记为 V_{out} ,电流记为 I_{out} ;

(3) 计算太阳能电池在光照下的串联电阻值 $(V_{OC}-V_{out}) / I_{out}$ 。

一种基于交流阻抗测试的太阳能电池串联电阻的测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于交流阻抗测试的太阳能电池串联电阻的测量方法,属于新能源与高效节能技术领域。

背景技术

[0002] PN型太阳能电池包括晶硅类电池和非晶硅类电池,晶体硅太阳能电池主要分为单晶硅、多晶硅电池,非晶体硅类包括III-V族太阳能电池如砷化镓、磷化镓、磷化铟等、II-VI族如硒化铟铜、碲化镉等。一般PN结太阳能电池光照下的直流等效模型如图1所示。其中 I_{ph} 是恒流源,表示光照下电池产生的光电流; R_{sh} 是电池的并联电阻,也被称为漏电阻,表示因为工艺等原因产生的漏电流的大小; R_s 是电池的串联电阻,表示电池的接线电阻及接触电阻。串联电阻的大小直接影响太阳能电池转换效率,在太阳能电池的整个生命周期中,串联电阻的增大在一定程度上反映了电池的老化程度。

[0003] 传统的太阳能串联等效电阻的测量方法主要有两类:曲线拟合法、I-V特性曲线法。曲线拟合法是基于太阳能电池的双二极管模型,利用无光条件下的电压与电流值拟合获得电池参数,由于其误差较大,计算量大,一般较少使用。I-V特性曲线法是利用光照下太阳能电池的I-V特性曲线求得串并联电阻,主要有明暗曲线比较法、斜率法、面积法、最大功率点法等。I-V特性曲线法首先是精确的测量太阳能电池的I-V特性曲线,对测试条件和实验设备的要求都比较高,需要标准光源,测试设备昂贵,一般无法在实验室外进行。其次,具体的实施也有限制,以较为常用的斜率法为例,当太阳电池因为老化或碎裂等原因导致I-V特性曲线不光滑时,斜率法就不再适用;再比如明暗曲线比较法,通过平移黑暗和光照环境下测量得到的I-V特性曲线,使曲线零点附近坐标点重合,利用曲线之间电压的差值求得串联电阻,这种方法测量过程复杂,推导过程也进了近似,误差较大,后来的改进方法虽然提高了精确度,但测量过程更为繁杂。以上测量方法一般应用于离线并且在实验室内的测量研究,难以在户外环境测量。

[0004] 交流阻抗谱的测试原理是在稳定直流偏压的基础上,给稳态系统叠加一个小振幅的交流扰动信号,并观察系统在不同频率下的响应。对太阳能电池来说,通过在电极两端叠加稳态直流偏置电压和一定频率范围的小信号正弦电压,记录不同频率下电池的阻抗值,即可得到太阳能电池在该直流偏置电压阻抗谱。最新的阻抗谱测量技术通过一次在稳态系统叠加多个频率的交流信号,可实现阻抗谱的快速测量,由于任何光源包括自然光在短时间内都可以认为是稳定的,快速测量技术实际上进一步降低了阻抗谱测试对稳定光源的要求。

[0005] 截止2015年,中国的太阳能电站总装机容量已成为世界第一。通过测量电池参数监控太阳能电池的工作状态,精确定位故障并进行精细化的维护和维修,将会极大的减少运营成本,提高发电效率。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提出一种基于交流阻抗测试的太阳能电池等效电阻的测量方法,以克服传统的测量方法在太阳能电站难以实施的缺点,使太阳能电池参数的测量更为简单便捷,通过测量电池参数监控太阳能电池的工作状态,精确定位故障并进行精细化的维护和维修,减少运营成本,提高发电效率。

[0007] 本发明提出的基于交流阻抗测试的太阳能电池串联电阻的测量方法,有两种不同方法,第一种基于交流阻抗测试的太阳能电池串联电阻的测量方法,包括以下步骤:

[0008] (1) 将一束光照强度稳定的光源持续照射至待测太阳能电池,测量太阳能电池的阻抗谱以及太阳能电池的开路电压 V_{oc} ;

[0009] (2) 关闭光源,将太阳能电池置于无光环境下,对太阳能电池施加一个直流偏置电压,测量太阳能电池在无光环境下的阻抗谱,调整直流偏置电压的大小,使无光环境下测量的太阳能电池阻抗谱与上述步骤(1)的太阳能电池的阻抗谱相重合,并将两个阻抗谱相重合后的太阳能电池两端的电压记为 V_{bias} ,电流记为 I_{bias} ;

[0010] (3) 计算太阳能电池在上述阻抗谱相重合时直流偏置电压下的串联电阻值 $(V_{bias}-V_{oc})/I_{bias}$ 。

[0011] 其中的第二种基于交流阻抗测试的太阳能电池串联电阻的测量方法,包括以下步骤:

[0012] (1) 将一束光照强度稳定的光源持续照射至待测太阳能电池,测量太阳能电池的阻抗谱以及太阳能电池的开路电压 V_{oc} ;

[0013] (2) 增大上述光源的光照强度,对太阳能电池施加一个直流偏置电压,使该直流偏置电压小于上述步骤(1)的太阳能电池的开路电压 V_{oc} ,测量太阳能电池的阻抗谱,调整直流偏置电压的大小,使测量的太阳能电池阻抗谱与上述步骤(1)的太阳能电池的阻抗谱相重合,并将两个阻抗谱相重合后的太阳能电池两端的电压记为 V_{out} ,电流记为 I_{out} ;

[0014] (3) 计算太阳能电池在光照下的串联电阻值 $(V_{oc}-V_{out})/I_{out}$ 。

[0015] 本发明提出的基于交流阻抗测试的太阳能电池串联电阻的测量方法,其优点是:

[0016] 本发明方法是一种不再依赖I-V特性曲线的太阳能电池串联电阻的测量方法,因此降低了测量成本,减少测量时对测量环境的依赖。本发明的测量方法,测量过程简单便捷,使太阳能电池串联电阻的测量步骤更为简单,测量的数据少,计算简单,在户外环境下可以很方便的实现。本发明测量方法可以测量太阳能电池在任意老化阶段的串联电阻,也可以测量太阳能电池的光照环境下或者无光环境下的串联电阻,因此适用范围广。

附图说明

[0017] 图1是光照下PN型太阳能电池在开路时的等效电路示意图。

[0018] 图2是太阳能电池的动态模型示意图。

[0019] 图3是实测的太阳能电池的结电容及动态体电阻示意图。

[0020] 图4是无光下PN型太阳能电池的等效电路示意图。

[0021] 图5是光照下PN型太阳能电池在有负载时的等效电路示意图。

具体实施方式

[0022] 本发明提出的基于交流阻抗测试的太阳能电池串联电阻的测量方法,有两种不同方法,第一种基于交流阻抗测试的太阳能电池串联电阻的测量方法,包括以下步骤:

[0023] (1) 将一束光照强度稳定的光源持续照射至待测太阳能电池,测量太阳能电池的阻抗谱以及太阳能电池的开路电压 V_{OC} ;

[0024] (2) 关闭光源,将太阳能电池置于无光环境下,对太阳能电池施加一个直流偏置电压,测量太阳能电池在无光环境下的阻抗谱,调整直流偏置电压的大小,使无光环境下测量的太阳能电池阻抗谱与上述步骤(1)的太阳能电池的阻抗谱相重合,并将两个阻抗谱相重合后的太阳能电池两端的电压记为 V_{bias} ,电流记为 I_{bias} ;

[0025] (3) 计算太阳能电池在上述阻抗谱相重合时直流偏置电压下的串联电阻值 $(V_{bias}-V_{OC})/I_{bias}$ 。

[0026] 其中的第二种基于交流阻抗测试的太阳能电池串联电阻的测量方法,包括以下步骤:

[0027] (1) 将一束光照强度稳定的光源持续照射至待测太阳能电池,测量太阳能电池的阻抗谱以及太阳能电池的开路电压 V_{OC} ;

[0028] (2) 增大上述光源的光照强度,对太阳能电池施加一个直流偏置电压,使该直流偏置电压小于上述步骤(1)的太阳能电池的开路电压 V_{OC} ,测量太阳能电池的阻抗谱,调整直流偏置电压的大小,使测量的太阳能电池阻抗谱与上述步骤(1)的太阳能电池的阻抗谱相重合,并将两个阻抗谱相重合后的太阳能电池两端的电压记为 V_{out} ,电流记为 I_{out} ;

[0029] (3) 计算太阳能电池在光照下的串联电阻值 $(V_{OC}-V_{out})/I_{out}$ 。

[0030] 以下详细介绍本发明方法的工作原理:

[0031] 太阳能电池的实际工况环境包含以下三类:一是稳定光照下电路为开路;二是稳定光照下电池带有负载;三是黑暗无光环境。在阻抗测试中,通过调整直流偏置电压来模拟以上三种不同状态,利用交流扰动信号测量阻抗。稳定光照下,若直流偏置电压等于太阳能电池的开路电压,此时测量的是开路时太阳能电池的阻抗谱;若直流偏置电压小于太阳能电池的开路电压,则此时测量的是太阳能电池在带负载时的阻抗谱,偏置电压即太阳能电池的输出电压,偏置电流即太阳能电池的输出电流。无光环境下,调整直流偏置电压,即可测得太阳能电池在此偏置电压下的阻抗谱。通过测得的阻抗谱,使用已有的交流动态模型拟合可得到太阳能电池在不同工况下的动态参数。

[0032] 太阳能电池的动态模型如图2所示,其中 R_{dp} 是动态体电阻,由二极管动态电阻和并联电阻组成; C_p 是电池的结电容,由耗尽层电容及扩散电容组成; R_{ds} 是电池在动态模型下的串联电阻。需要明确的是,动态参数和静态参数是有区别的,动态交流模型中的串联电阻和静态直流模型中的串联电阻并不相等。图3是无光条件下多晶硅太阳能电池结电容及动态体电阻的实测数据,可以看出电池的电容及动态体电阻与偏置电压是一一映射的关系,偏置电压和PN结电压也一一对应。太阳能电池的电容及动态体电阻与PN结电压可以表示为以下函数:

[0033] $(R_{dp}, C_p) = f(V)$ (1)

[0034] 对于同一块电池来说,无论是在光照条件下还是黑暗条件下,只要PN结端电压相同,太阳能电池的动态体电阻及电容相等。同样,当太阳能电池的动态体电阻及电容相等

时,太阳能电池的PN结端电压相同。若不同环境下太阳能电池的阻抗谱重合,即 $Z(f) = Z'(f)$ 时,曲线拟合所得的太阳能电池的动态体电阻及电容相等,此时:

$$[0035] \quad V_{PN} = V'_{PN} = V_{OC} \quad (2)$$

[0036] V_{PN} 、 V'_{PN} 是电池不同环境下的PN结端电压, $Z(f)$ 、 $Z'(f)$ 分别是指不同环境下电池的阻抗,是频率的函数。在精度要求不高的情况下, $Z(f)$ 、 $Z'(f)$ 也可以用某一频率下的阻抗来代替。利用PN结的这种特性,若限定其中一个环境为光照且开路,则PN结端电压等于开路电压,进而利用等效电路中的电压电流关系求得串联电阻,这就是阻抗标尺法的测量原理。

[0037] 1、阻抗标尺法测量无光条件下太阳能电池的串联电阻:

[0038] 首先,将一束光照强度稳定的光源持续照射至待测太阳能电池,测量太阳能电池的阻抗谱以及太阳能电池的开路电压 V_{OC} 。阻抗谱测试设备的参数设定为:相对电压设定为0V或者将直流偏压设定为 $V = V_{OC}$ 、交流信号的范围在0.1mV-20mV之间,频率范围0.1Hz-300KHz。本步骤所使用的光源可以使用任意强度的稳定光源来实施。在户外条件下,因为测量时间非常短,可以利用天气晴朗时的太阳光来代替稳定光源。

[0039] 此时,太阳能电池的直流等效电路如图1所示。 V' 为PN结两端的电压,阻抗测试设备的端电压等于 V_{OC} 或者相对电压为0V时,端口相当于是开路:

$$[0040] \quad V' = V_{OC} \quad (3)$$

[0041] 然后,关闭光源,将太阳能电池置于无光环境下,对太阳能电池施加一个直流偏置电压,测量太阳能电池在无光环境下的阻抗谱,调整直流偏置电压的大小,使无光环境下测量的太阳能电池阻抗谱与步骤1开路时测得的太阳能电池的阻抗谱相重合,并将两个阻抗谱相重合后的太阳能电池两端的电压记为 V_{bias} ,电流记为 I_{bias} 。此时下,太阳能电池的静态直流模型如图4所示, V_{bias} 与PN结两端电压 V 的关系可以用如下公式表示:

$$[0042] \quad V = V_{bias} - I_{bias} R_{S-dark} \quad (4)$$

[0043] 由于在以上两种环境下,测量所得的太阳能电池的阻抗谱重合,说明两种环境下的动态体电阻及电容相等,由公式2-4可得电池的串联等效电阻为:

$$[0044] \quad R_{S-dark} = (V_{bias} - V_{OC}) / I_{bias} \quad (5)$$

[0045] 2、阻抗标尺法测量光照条件下太阳能电池的串联电阻:

[0046] 首先,将一束光照强度稳定的光源持续照射至待测太阳能电池,测量太阳能电池的阻抗谱,同时测量太阳能电池的开路电压 V_{OC} 。阻抗谱测试设备的参数设定为:相对电压设定为0V或者将直流偏压设定为 $V = V_{OC}$ 、交流信号的范围在0.1mV-20mV之间,频率范围0.1Hz-300KHz。本步骤所使用的光源可以使用任意强度的稳定光源来实施。在户外条件下,因为测量时间非常短,可以利用天气晴朗时的太阳光来代替稳定光源。

[0047] 此时太阳能电池的直流等效模型如图1所示。太阳能电池PN结电压等于电池的开路电压,由公式(3)所示。

[0048] 然后,增大光源的光照强度,对太阳能电池施加一个直流偏置电压,使该直流偏置电压小于步骤1中太阳能电池的开路电压 V_{OC} ,测量太阳能电池的阻抗谱。保持其它参数不变,调整阻抗测试设备的相对直流偏压的大小(模拟电池负载改变时输出电压的改变),测量太阳能电池在有负载时的阻抗谱,使测量的太阳能电池阻抗谱与步骤1开路时测得的阻抗谱相重合。此时太阳能电池的等效电路如图5所示,电池两端的电压记为 V_{out} ,电流记为 I_{out} , V_{out} 与PN结两端电压 V 的关系可以用如下公式表示:

[0049] $V = V_{\text{out}} - I_{\text{out}} R_{\text{s-light}}$ (6)

[0050] 由于在以上两种环境下,测量所得的太阳能电池的阻抗谱重合,说明两种环境下的动态体电阻及电容相等,由公式2、3、6可得电池的串联等效电阻为:

[0051] $R_{\text{s-light}} = (V_{\text{OC}} - V_{\text{out}}) / I_{\text{out}}$ (7)。

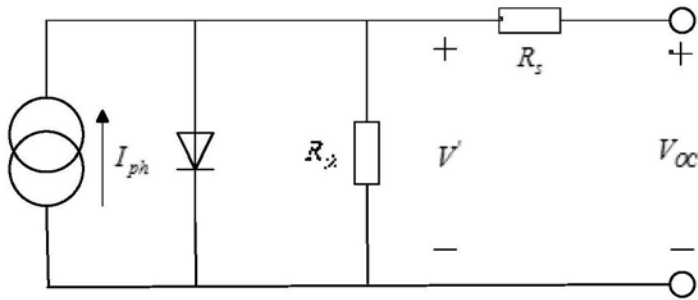


图1

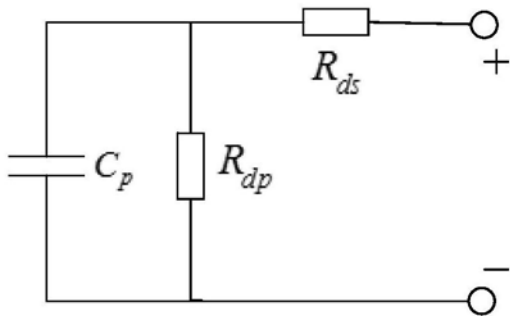


图2

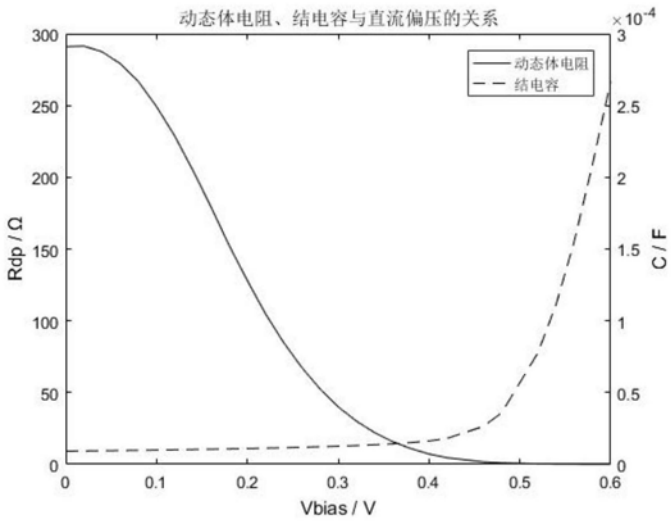


图3

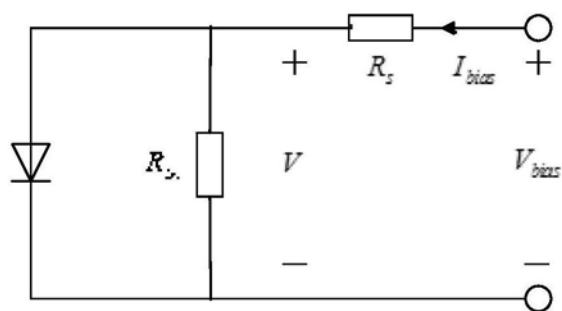


图4

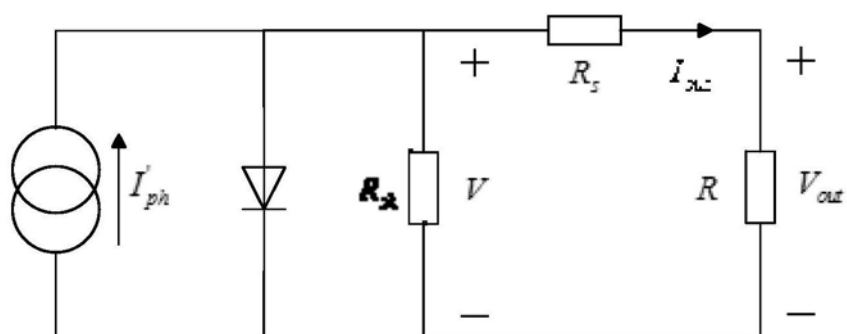


图5