



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 05 662 B4** 2006.03.23

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 05 662.9**
 (22) Anmeldetag: **12.02.2003**
 (43) Offenlegungstag: **09.09.2004**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **23.03.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01R 27/08** (2006.01)
G01R 31/26 (2006.01)
G01R 31/36 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
PV-Engineering GmbH, 58642 Iserlohn, DE

(74) Vertreter:
**Patent- und Rechtsanwälte Meinke, Dabringhaus
 und Partner GbR, 44141 Dortmund**

(72) Erfinder:
Wagner, Andreas, Prof. Dr., 58640 Iserlohn, DE

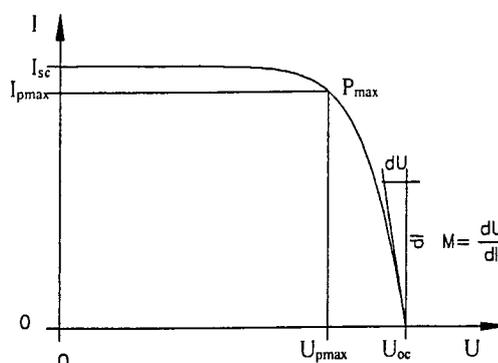
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 100 26 162 C2
JP 09-2 75 219 A
**Kaminski, A. et al. "New Method of Parameter
 Extraction from Dark-I-V Curve", IN: Conference
 Record of 26th IEEE Photovoltaic Specialists,
 1997, Anaheim, CA, USA S. 203-206;**
**Wagner, A: Die Methode der effektiven Solarzellen-
 Kennlinie. Photovoltaik-Engineering Springer-
 Verlag, Berlin, Heidelberg 1999;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Serieninnenwiderstandsmessung von photovoltaischen Zellen und Modulen (PV-Modulen)**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Serieninnenwiderstandsmessung von photovoltaischen Zellen und Modulen (PV-Modulen), bei welchem zwei Strom-Spannungs-Kennlinien des PV-Moduls ermittelt werden, wobei basierend auf diesen Kennlinien der Serieninnenwiderstand bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet, dass nur die erste Strom-Spannungs-Kennlinie unter realen Umgebungsbedingungen am Einsatzort des betreffenden PV-Moduls bei einer ersten Bestrahlungsstärke gemessen und die zweite Strom-Spannungs-Kennlinie aus der gemessenen ersten Strom-Spannungs-Kennlinie durch eine Simulation der Bestrahlungsstärkenverringerung dadurch ermittelt wird, dass der Füllfaktor der gemessenen ersten Strom-Spannungs-Kennlinie ermittelt und aus dem Füllfaktor ein Stromverringierungsfaktor f_i gemäß der Formel

$$f_i = \begin{cases} FF, & \text{wenn } FF \geq 0,7 \\ 2,2 \cdot 10^{-9} \cdot e^{28 \cdot FF}, & \text{wenn } FF < 0,7 \end{cases}$$

bestimmt wird, mittels dessen aus den gemessenen Stromwerten der ersten Strom-Spannungs-Kennlinie die Stromwerte der zweiten Strom-Spannungs-Kennlinie bestimmt werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Serieninnenwiderstandsmessung von photovoltaischen Zellen und Modulen (PV-Modulen), bei welchem zwei Strom-Spannungs-Kennlinien des PV-Moduls ermittelt werden, wobei basierend auf diesen Kennlinien der Serieninnenwiderstand bestimmt wird.

[0002] Die Qualitätskontrolle von photovoltaischen Zellen und Modulen, nachfolgend kurz als PV-Module bezeichnet, ist eine notwendige Dienstleistung für Anwender von PV-Systemen unter Berücksichtigung von Garantieleistungen von 10 und mehr Jahren. Das Betriebsverhalten einer Solarzelle wird durch ihre Strom-Spannungs-Kennlinie (I-U-Kennlinie) dargestellt. Durch Messung aktueller Kennlinien unter natürlichen Umgebungsbedingungen kann die Funktionsfähigkeit eines Solargenerators, der aus einem oder mehreren PV-Modulen besteht, nachgewiesen werden. Abweichungen des Kennlinienverlaufes vom theoretischen Erwartungswert erlauben Rückschlüsse auf interne Störungen, Kabelbrüche, Teilabschaltungen, Fehlanpassungen usw.. Neben dem aktuellen Betriebsverhalten ist zur Erkennung von Degradationserscheinungen aber auch die Messung der stationären Peakleistung und insbesondere des Serieninnenwiderstandes notwendig. Verluste in den PV-Modulen werden durch den Serieninnenwiderstand beschrieben, ein Zunehmen des Serieninnenwiderstandes bewirkt eine Verringerung der Peakleistung, was in Folge zu einer Verringerung des Energieertrages und damit zu finanziellen Einbußen führt. Der experimentelle Aufwand für die Messung des Serieninnenwiderstandes im Labor ist jedoch recht hoch, da es in jedem Falle notwendig ist, das zu überprüfende PV-Modul auszubauen und zu einem Labor zu bringen und dort zu überprüfen. Dieser Aufwand ist so hoch, dass sich eine solche Qualitätskontrolle praktisch nicht lohnt. Vielmehr ist bei etwa gleichem Aufwand sogar eine Neuinstallation eines PV-Moduls möglich.

Stand der Technik

[0003] Um diesem Problem abzuweichen, ist aus DE 100 26 162 C2 ein gattungsgemäßes Verfahren zur Qualitätskontrolle von PV-Modulen bekannt geworden, bei welchem unter realen Umgebungsbedingungen am Einsatzort des betreffenden PV-Moduls zwei Strom-Spannungs-Kennlinien des PV-Moduls bei unterschiedlicher Bestrahlungsstärke gleichen Spektrums gemessen und daraus zwei effektive Kennlinien bestimmt werden, wobei basierend auf diesen effektiven Kennlinien der Serieninnenwiderstand und aus ggf. wenigstens einer Kennlinie die Peakleistung bestimmt werden.

[0004] Mit einem solchen Verfahren ist es möglich, eine Qualitätskontrolle unter normalen Umgebungsbedingungen am Einsatzort des betreffenden PV-Moduls selbst durchzuführen, d.h. ein Ausbau des Moduls, ein Verbringen zu einem Labor und das Einhalten von exakten Standardprüfbedingungen ist nicht erforderlich. Vielmehr ist es möglich, nach Messung der zwei Strom-Spannungs-Kennlinien unter realen Umgebungsbedingungen aus diesen effektive Kennlinien zu ermitteln. Mit den zwei effektiven Kennlinien kann einerseits der Serieninnenwiderstand bestimmt werden, andererseits kann wenigstens eine effektive Kennlinie auf Standardprüfbedingungen übertragen werden, woraus die Peakleistung bestimmt werden kann. Um die Messung bzw. Aufnahme der zweiten Kennlinie durchzuführen, ist es dazu in der Praxis erforderlich, am Einsatzort ohne Änderung des Spektrums die Bestrahlungsstärke zu ändern, was beispielsweise durch ein großflächiges Filter bewirkt wird, das unmittelbar nach der ersten Messung ohne Filter über die PV-Modulfläche gelegt wird. Als Filter wird beispielsweise ein feinmaschiges Netz verwandt ("Fliegengitter"). Dieses bekannte Verfahren eignet sich gut für die Qualitätskontrolle von Einzelzellen oder Einzelmodulen, da für deren Flächen die genannten feinmaschigen Netze problemlos über die Generatorfläche gelegt werden können. Für die Ermittlung des Serieninnenwiderstandes ganzer PV-Modulstränge oder PV-Generatoren, die sich über viele Quadratmeter erstrecken, ist dieses verfahren jedoch kaum mehr auszuführen, da zu große Filter erforderlich sind.

[0005] Aus JP 09275219 A ist grundsätzlich ein Simulationsverfahren zur Umrechnung einer Kennlinie auf andere Einstrahlungen und Temperaturen bekannt. Dieses Simulationsverfahren setzt allerdings voraus, dass der Serieninnenwiderstand bekannt ist, d.h. mit einem solchen Simulationsverfahren läßt sich der Serieninnenwiderstand nicht ermitteln. Aus Kaminski A. et al "New Method of Parameter Extraction from Dark I-V Curve" in: Conference Record of 26th IEEE Photovoltaic Specialists, 1997, Anaheim, CA, USA, S. 203–206 ist ein Verfahren bekannt, bei dem aus einer gemessenen Dunkelkennlinie die Ermittlung des Serieninnenwiderstandes erfolgt. Es handelt sich bei der Messung jedoch um eine Dunkelmessung, d.h. der Solargenerator ist von einer Lichteinstrahlung abgeschirmt, die Bestrahlungsstärke ist gleich 0. Da eine Kennlinienmessung Strom-Spannungs-Zusammenhänge darstellen soll, muss also durch eine extern anzuschließende Mess-Stromquelle bei diesem Verfahren die benötigte Messleistung bereitgestellt werden. Die von der Messquelle bereitzustellende Messleistung entspricht der Nennleistung der zu messenden Zelle bzw. des zu messenden PV-Generators. Bei Leistungen bis etwa 100 W können die notwendigen Gleichstromleistungen in einem Labor bereitgestellt wer-

den, um dieses Verfahren durchzuführen. Bei PV-Modul-Strings von mehrere KW Leistung vor Ort ist eine solche Messquelle nur mit äußerst hohem Kostenaufwand bereitzustellen. Dieses Verfahren ist deshalb zur Bestimmung des Serieninnenwiderstandes von PV-Modul-Strings unter realen Umgebungsbedingungen nicht geeignet.

Aufgabenstellung

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, eine Lösung zu schaffen, mit der eine zuverlässige Qualitätskontrolle von PV-Modulen, insbesondere großflächigen PV-Modulen oder PV-Modulverbänden, einfacher und mit wesentlich geringerem Aufwand am Einsatzort durchgeführt werden kann.

[0007] Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs bezeichneten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass nur die erste Strom-Spannungs-Kennlinie unter realen Umgebungsbedingungen am Einsatzort des betreffenden PV-Moduls bei einer ersten Bestrahlungsstärke gemessen und die zweite Strom-Spannungs-Kennlinie aus der gemessenen ersten Strom-Spannungs-Kennlinie durch eine Simulation der Bestrahlungsstärkenverringeringung dadurch ermittelt wird, dass der Füllfaktor der gemessenen ersten Strom-Spannungs-Kennlinie ermittelt und aus dem Füllfaktor ein Stromverringeringungsfaktor f_i gemäß der Formel

$$f_i = \begin{cases} FF, & \text{wenn } FF \geq 0,7 \\ 2,2 \cdot 10^{-9} \cdot e^{28 \cdot FF}, & \text{wenn } FF < 0,7 \end{cases}$$

bestimmt wird, mittels dessen aus den gemessenen Stromwerten der ersten Strom-Spannungs-Kennlinie die Stromwerte der zweiten Strom-Spannungs-Kennlinie bestimmt werden.

[0008] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es möglich, eine Qualitätskontrolle unter normalen Umgebungsbedingungen am Einsatzort des betreffenden PV-Moduls zur Ermittlung des Serieninnenwiderstandes mit nur einer praktischen Messung durchzuführen, so dass die Notwendigkeit entfällt, eine zweite Messung mit geringerer Bestrahlungsstärke mit gleichem Spektrum durchzuführen, d.h. es ist nicht notwendig, die ggf. großflächigen PV-Module für eine zweite Messung mit einem geeigneten Filter abzudecken. Es wird lediglich eine Messung ohne Filter durchgeführt und eine erste gemessene Strom-Spannungs-Kennlinie aufgenommen. Wesentlich ist dabei, dass zur Ermittlung der zweiten Kennlinie ein Stromverringeringungsfaktor verwendet wird, der vom Füllfaktor abhängig ist, also dem Verhältnis des Produktes des Stromes bei maximaler Leistung und der Spannung bei maximaler Leistung zum Produkt des Kurzschlussstromes und der Leerlaufspannung einer gemessenen ersten Kennlinie, woraus dann aus den gemessenen Stromwerten der ersten Strom-Spannungs-Kennlinie die Stromwerte der zweiten Strom-Spannungs-Kennlinie bestimmt werden können.

[0009] Der Kurzschlussstrom und der Strom bei maximaler Leistung bei verringerter Bestrahlungsstärke verringern sich um einen gleichen Faktor. Dieser Faktor ist laut Norm DIN EN 60891 frei wählbar. Dabei treten allerdings systematische Fehler auf, weshalb die Norm vorschreibt, zwei weitere Messungen mit anderen Bestrahlungsstärken durchzuführen und den tatsächlichen Serieninnenwiderstand aus dem Mittelwert dieser drei Messungen zu ermitteln. Dieser Mittelwert tritt aber auch schon bei einer Serieninnenwiderstandsmessung auf, wenn der Faktor zur Verringerung der Bestrahlungsstärke geeignet gewählt wird, wie sich herausgestellt hat. So ist nämlich ermittelt worden, dass sich aus dem Füllfaktor FF:

$$FF = \frac{I_{pmax1} \cdot U_{pmax1}}{I_{sc1} \cdot U_{oc1}}$$

also dem Verhältnis des Produktes des Stromes bei maximaler Leistung der Spannung bei maximaler Leistung zum Produkt des Kurzschlussstromes und der Leerlaufspannung der gemessenen ersten Kennlinie sich der Stromverringeringungsfaktor folgendermaßen ergibt:

$$f_i = \begin{cases} FF, & \text{wenn } FF \geq 0,7 \\ 2,2 \cdot 10^{-9} \cdot e^{28 \cdot FF}, & \text{wenn } FF < 0,7. \end{cases}$$

[0010] In besonders bevorzugter Ausgestaltung ist vorgesehen, dass aus den Strom-Spannungs-Kennlinien effektive Kennlinien bestimmt werden und aus diesen der Serieninnenwiderstand ermittelt wird. Zu den Einzelheiten der Ermittlung einer effektiven Solarzellen-Kennlinie wird sowohl auf DE 100 26 162 C2 als auch auf die Veröffentlichung "Wagner, Andreas: Die Methode der effektiven Solarzellen-Kennlinie. Photovoltaik Enginee-

ring, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1999" Bezug genommen. Zur Ermittlung der zweiten effektiven Strom-Spannungs-Kennlinie ist es dabei erforderlich, aus den bei der ersten und einzigen Messung aufgenommenen Werten für den Kurzschlussstrom, den Strom bei maximaler Leistung, die Leerlaufspannung und die Spannung bei maximaler Leistung die entsprechenden Werte bei verringerter Bestrahlungsstärke zu ermitteln.

[0011] Dazu ist in bevorzugter Ausgestaltung vorgesehen, dass aus dem gemessenen Kurzschlussstrom und dem gemessenen Strom bei maximaler Leistung der ersten gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinie der Kurzschlussstrom und der Strom bei maximaler Leistung für die zweite Kennlinie mittels des Stromverringerrungsfaktors ermittelt werden.

[0012] Ferner ist bevorzugt vorgesehen, dass für die Ermittlung der zweiten Strom-Spannungs-Kennlinie die Verringerung der Werte der Leerlaufspannung und der Spannung bei maximaler Leistung gegenüber den gemessenen Vergleichswerten der ersten Strom-Spannungs-Kennlinie vernachlässigt wird. Auch die Spannung bei maximaler Leistung und die Maximalspannung verringern sich bei einer Bestrahlungsstärkenverringerrung um einen einheitlichen Spannungsverringerrungsfaktor. Die Verringerung der Spannung liegt jedoch, wie sich herausgestellt hat, im Bereich der Messgenauigkeit von 1 %, so dass eine Spannungsänderung praktisch nicht messbar ist und deshalb eine Änderung der Spannung bei Bestrahlungsstärkenverringerrung vernachlässigt werden kann.

[0013] Im Ergebnis lässt sich somit aus der gemessenen ersten Kennlinie die zweite Kennlinie auf einfache Weise ermitteln, ohne dass es einer zweiten Messung bedarf. Aus dieser zweiten effektiven Kennlinie und der am PV-Modul gemessenen ersten Kennlinie kann dann in bekannter Weise der Serieninnenwiderstand bestimmt werden zu

$$R_s = \frac{U_2 - U_1}{I_{sc1} - I_{sc2}} ,$$

wobei $U_1 = U(I_{sc1} - \Delta I, R_{pv1}, U_{T1}, I_{01}, I_{ph1})$

und $U_2 = U(I_{sc2} - \Delta I, R_{pv2}, U_{T2}, I_{02}, I_{ph2})$,

wie dies im Einzelnen in DE 100 26 162 C2 beschrieben ist, worauf ausdrücklich Bezug genommen wird.

Ausführungsbeispiel

[0014] Die Erfindung ist nachstehend anhand der Zeichnung beispielhaft näher erläutert. Diese zeigt in:

[0015] [Fig. 1](#) eine Strom-Spannungs-Kennlinie eines PV-Moduls,

[0016] [Fig. 2](#) ein Ersatzschaltbild eines PV-Moduls für die effektive Solarzellenkennlinie,

[0017] [Fig. 3](#) zwei Strom-Spannungs-Kennlinien eines BP585F PV-Moduls mit und ohne verändertem Serieninnenwiderstand und

[0018] [Fig. 4](#) zwei Strom-Spannungs-Kennlinien eines amorphen Solarex-PV-Moduls mit und ohne verändertem Serieninnenwiderstand.

[0019] Das Betriebsverhalten eines PV-Moduls wird durch seine Strom-Spannungs-Kennlinie (I-U-Kennlinie) dargestellt, wie eine solche beispielhaft in [Fig. 1](#) wiedergegeben ist. Durch Messung aktueller Kennlinien unter natürlichen Umgebungsbedingungen kann die Funktionsfähigkeit eines Solargenerators, der aus einem oder mehreren PV-Modulen besteht, nachgewiesen werden. Abweichungen des Kennlinienverlaufes vom theoretischen Erwartungswert erlauben Rückschlüsse auf interne Störungen, Kabelbrüche, Teilabschattungen, Fehlanpassungen usw.. Dazu ist es erforderlich, aus der gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinie eine effektive Solarzellen-Kennlinie zu ermitteln, wozu sogenannte Solarzellen-Kennlinien-Modelle erforderlich sind.

[0020] Der Sinn der Kennlinien-Approximation mit Ersatzschaltbildern liegt in der daraus folgenden expliziten Berechenbarkeit von Anpassungsproblemen zwischen PV-Solargeneratoren und Verbrauchern. An eine Berechnungsmethode für Anpassungsaufgaben im Engineering-Bereich müssen daher die folgenden Anforderungen gestellt werden:

- Explizite Berechnung der Strom-Spannungs-Kennlinie $U(I)$
- Explizite Berechnung der Kennlinien-Gleichungsparameter aus den Kennwerten I_{sc} (Kurzschlussstrom),

U_{oc} (Leerlaufspannung), I_{pmax} (Strom bei maximaler Leistung), U_{pmax} (Spannung bei maximaler Leistung),
 – Approximationsgenauigkeit im Bereich der zur Verfügung stehenden Messgenauigkeit (Stand der Technik: 1 %).

[0021] Eine typische Strom-Spannungs-Kennlinie mit den vorgenannten Kennwerten ist in [Fig. 1](#) dargestellt. Diese Darstellung zeigt neben den vorgenannten Kennwerten zusätzlich auch die Steigung M im Leerlaufpunkt.

[0022] In der Veröffentlichung "Wagner, Andreas: Photovoltaik Engineering. Die Methode der effektiven Solarzellen-Kennlinie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1999" ist gezeigt, dass das einzige Kennlinienmodell, das alle drei genannten Anforderungen erfüllt, die effektive Solarzellen-Kennlinie ist. Das zugehörige Ersatzschaltbild erhält ein Element, dessen Kennlinie der eines positiven oder negativen Widerstandes entspricht. Das Element wird durch R_{pv} (Photovoltaik-Widerstand) beschrieben. Dieses Ersatzschaltbild ist in [Fig. 2](#) dargestellt.

[0023] Dabei ist anzumerken, dass der wahre Serieninnenwiderstand R_s nicht mit dem Photovoltaik-Widerstand R_{pv} verwechselt werden darf.

[0024] Aus der effektiven Solarzellen-Kennlinie folgt für die Spannung:

$$U = U_T \ln\left(\frac{I_{ph} - I + I_0}{I_0}\right) - IR_{pv} \quad (1)$$

[0025] Durch die Einführung des Photovoltaik-Widerstandes lassen sich Leistungsberechnungen und Berechnungen zum Teillastverhalten mit einer geforderten Genauigkeit von 1 % explizit durchführen.

[0026] Zur Ermittlung der vier unabhängigen Gleichungsparameter R_{pv} , U_T , I_0 , I_{ph} werden auch vier unabhängige Kennwerte der Kennlinie benötigt. Im vorliegenden Fall sind dies die Kennwerte I_{sc} , U_{oc} , I_{pmax} und U_{pmax}

[0027] Wird zusätzlich noch die Steigung M bei der Leerlaufspannung in dem Gleichungssystem berücksichtigt (vgl. [Fig. 1](#)):

$$M = \frac{U_{oc}}{I_{sc}} \left(k_1 \frac{I_{pmax} U_{pmax}}{I_{sc} U_{oc}} + k_2 \frac{U_{pmax}}{U_{oc}} + k_3 \frac{I_{pmax}}{I_{sc}} + k_4 \right), \quad (2)$$

wobei

$$k = \begin{pmatrix} -5.411 \\ 6.450 \\ 3.417 \\ -4.422 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

so lassen sich die Gleichungsparameter der Effektivkennlinie wie folgt ermitteln:

$$R_{pv} = -M \frac{I_{sc}}{I_{pmax}} + \frac{U_{pmax}}{I_{pmax}} \left(1 - \frac{I_{sc}}{I_{pmax}} \right) \quad (4)$$

$$U_T = -(M + R_{pv}) I_{sc} \quad (5)$$

$$I_0 = I_{sc} e^{\frac{-U_{oc}}{U_T}} \quad (6)$$

$$I_{ph} = I_{sc} \quad (7)$$

[0028] Durch die Beschreibung der gemessenen Kennlinie als Effektivkennlinie ist es möglich, die Spannungswerte für die Serieninnenwiderstands Berechnung nicht nur zeichnerisch zu ermitteln (wie in DIN EN 60891 angegeben), sondern explizit aus den Messwerten I_{sc} , U_{oc} , I_{pmax} und U_{pmax} der jeweiligen Kennlinien zu berechnen.

[0029] Dabei berechnet sich der Serieninnenwiderstand R_s nämlich zu

$$R_s = \frac{U_2 - U_1}{I_{sc1} - I_{sc2}} \quad (8)$$

wobei die Arbeitspunkte U_1 und U_2 sich mit Formel (1) ergeben zu

$$U_1 = U(I_{sc1} - \Delta I, R_{pv1}, U_{T1}, I_{01}, I_{ph1}) \quad (9)$$

$$U_2 = U(I_{sc2} - \Delta I, R_{pv2}, U_{T2}, I_{02}, I_{ph2}) \quad (10)$$

und

$$\Delta I = 0,5 I_{sc2} \quad (11)$$

[0030] Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich nun dadurch aus, dass der Serieninnenwiderstand aus nur einer tatsächlichen Messung, d.h. Kennlinienaufnahme, ermittelt werden kann, auch hierzu werden jedoch zwei Effektivkennlinien benötigt.

[0031] Kennlinie 1: Standard-Kennlinienmessung vor Ort am betreffenden PV-Modul

$$I_{sc1}, U_{oc1}, I_{pmax1}, U_{pmax1} \quad (12)$$

[0032] Kennlinie 2: Theoretische Erwartungswerte zur Simulation der Bestrahlungsstärkenverringering.

[0033] Hierzu werden folgende Annahmen getroffen:

1. Der Kurzschlussstrom I_{sc} und der Strom im Punkt maximaler Leistung I_{pmax} verringert sich um den gleichen Faktor f_i . Der Faktor ist laut Norm DIN EN 60891 frei wählbar. Dabei treten allerdings systematische Fehler auf, weshalb die Norm vorschreibt, zwei weitere Messungen mit anderen Bestrahlungsstärken durchzuführen und den tatsächlichen Serieninnenwiderstand R_s aus dem Mittelwert dieser drei Messungen zu ermitteln.

Dieser Mittelwert tritt auch schon bei einer R_s -Messung auf, wenn der Faktor zur Verringerung der Bestrahlungsstärke folgendermaßen gewählt wird:

$$FF = \frac{I_{pmax1} \cdot U_{pmax1}}{I_{sc1} \cdot U_{oc1}} \quad (13)$$

$$f_i = \begin{cases} FF, & \text{wenn } FF \geq 0,7 \\ 2,2 \cdot 10^{-9} \cdot e^{28 \cdot FF}, & \text{wenn } FF < 0,7. \end{cases}$$

2. Die Leerlaufspannung U_{oc} und die Spannung im Punkt maximaler Leistung U_{pmax} verringern sich um den gleichen Faktor f_u . Die Verringerung der Spannung liegt bei dem gewählten Faktor f_i im Bereich der Messgenauigkeit von 1 %. Somit folgt:

$f_u = 1$, d.h. keine Spannungsänderung ist messbar.

3. Der Füllfaktor der beiden Kennlinien ändert sich nicht. Somit folgt:

$$I_{sc2} = f_i \cdot I_{sc1}, U_{oc2} = f_u \cdot U_{oc1}, I_{pmax2} = f_i \cdot I_{pmax1}, U_{pmax2} = f_u \cdot U_{pmax1} \quad (14)$$

[0034] Berechnung der Arbeitspunkte U_1 und U_2 mit (9), (10), (11).

[0035] Somit folgt:

$$R_s = \frac{U_2 - U_1}{I_{sc1} - I_{sc2}} \cdot$$

[0036] Die Ermittlung des Serieninnenwiderstandes R_s aus nur einer Kennlinie, ohne Kenntnis der Bestrahlungsstärke oder Temperatur, ist somit möglich. Das Verfahren soll exemplarisch auf die Messung des Serieninnenwiderstandes von PV-Modulen angewendet werden. Um die Auswirkung auf die Verringerung der Leistungsabgabe durch externe Serieninnenwiderstandserhöhung experimentell zu überprüfen, wurden von zwei PV-Modulen zunächst die Innenwiderstände bei optimalem Anschluss gemessen und zusätzlich die Innenwiderstände manipuliert durch Einfügen eines externen Störwiderstandes von $R_{ext} = 0,9\Omega$.

Beispiel 1:

[0037] Es wurde ein PV-Modul BP585F (polykristallin) untersucht.

[0038] Messung A: Standard-Kennlinienmessung $I_{scA} = 5A$, $U_{ocA} = 22,3V$, $I_{pmaxA} = 4,72A$, $U_{pmaxA} = 18V$

[0039] Messung B: Messung der manipulierten Kennlinie $I_{scB} = 5A$, $U_{ocB} = 22,3V$, $I_{pmaxB} = 4,51A$, $U_{pmaxB} = 14,56V$.

[0040] Die entsprechenden Kennlinien mit und ohne R_s -Manipulation sind in [Fig. 3](#) dargestellt.

[0041] Eine Berechnung des Serieninnenwiderstandes R_s für die beiden Kennlinien ergibt: $R_{sA} = 0,4\Omega$ $R_{sB} = 1,3\Omega$.

[0042] Damit ergibt sich eine Innenwiderstandserhöhung von $0,9\Omega$, d.h. die manipulierte Innenwiderstandserhöhung lässt sich bei dem kristallinen BP-Modul exakt nachweisen.

Beispiel 2:

[0043] Es wurde ein amorphes Solarex-PV-Modul untersucht.

[0044] Messung A: Standard-Kennlinienmessung $I_{scA} = 2,41A$, $U_{ocA} = 21,094V$, $I_{pmaxA} = 1,77A$, $U_{pmaxA} = 13,958V$

[0045] Messung B: Messung der manipulierten Kennlinie $I_{scB} = 2,41A$, $U_{ocB} = 21,152V$, $I_{pmaxB} = 1,699A$, $U_{pmaxB} = 13,214V$

[0046] Die Kennlinien sind in der [Fig. 4](#) dargestellt.

[0047] Berechnung des R_s für die beiden Kennlinien, es ergibt sich: $R_{sA} = 7,5\Omega$ $R_{sB} = 8,1\Omega$

[0048] Damit ergibt sich eine Serieninnenwiderstandserhöhung R_s von $0,6\Omega$. Erwartungsgemäß liegen die Innenwiderstände hier höher, die manipulierte Innenwiderstandserhöhung lässt sich auch bei dem amorphen Solarex-Modul qualitativ nachweisen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Serieninnenwiderstandsmessung von photovoltaischen Zellen und Modulen (PV-Modulen), bei welchem zwei Strom-Spannungs-Kennlinien des PV-Moduls ermittelt werden, wobei basierend auf diesen Kennlinien der Serieninnenwiderstand bestimmt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass nur die erste Strom-Spannungs-Kennlinie unter realen Umgebungsbedingungen am Einsatzort des betreffenden PV-Moduls bei einer ersten Bestrahlungsstärke gemessen und die zweite Strom-Spannungs-Kennlinie aus der gemessenen ersten Strom-Spannungs-Kennlinie durch eine Simulation der Bestrahlungsstärkenverringerung dadurch ermittelt wird, dass der Füllfaktor der gemessenen ersten Strom-Spannungs-Kennlinie ermittelt und aus dem Füllfaktor ein Stromverringerngsfaktor f_i gemäß der Formel

$$f_i = \begin{cases} FF, & \text{wenn } FF \geq 0,7 \\ 2,2 \cdot 10^{-9} \cdot e^{28 \cdot FF}, & \text{wenn } FF < 0,7 \end{cases}$$

bestimmt wird, mittels dessen aus den gemessenen Stromwerten der ersten Strom-Spannungs-Kennlinie die Stromwerte der zweiten Strom-Spannungs-Kennlinie bestimmt werden.

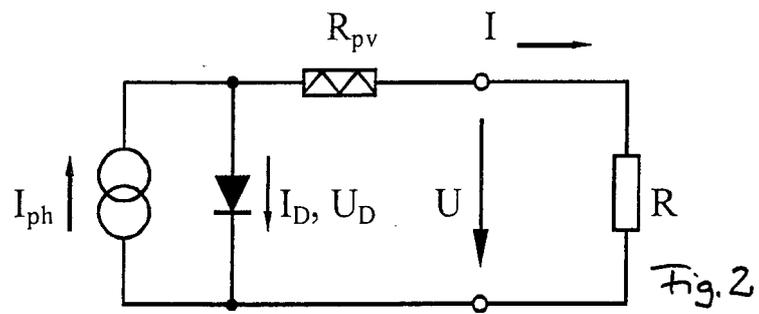
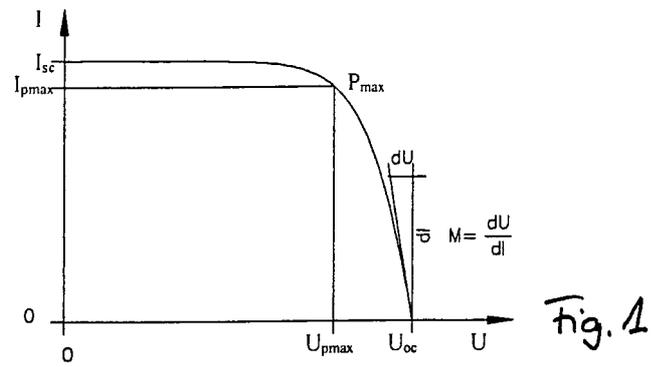
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass aus den Strom-Spannungs-Kennlinien effektive Kennlinien bestimmt werden und aus diesen der Serieninnenwiderstand ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem gemessenen Kurzschlussstrom I_{sc1} und dem gemessenen Strom bei maximaler Leistung I_{pmax1} der ersten gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinie der Kurzschlussstrom I_{sc2} und der Strom bei maximaler Leistung I_{pmax2} für die zweite Kennlinie mittels des Stromverringerrungsfaktors ermittelt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass für die Ermittlung der zweiten Strom-Spannungs-Kennlinie die Verringerung der Werte der Leerlaufspannung U_{oc2} und der Spannung bei maximaler Leistung U_{pmax2} gegenüber den gemessenen Vergleichswerten U_{oc1} und U_{pmax1} der ersten Strom-Spannungs-Kennlinie vernachlässigt wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



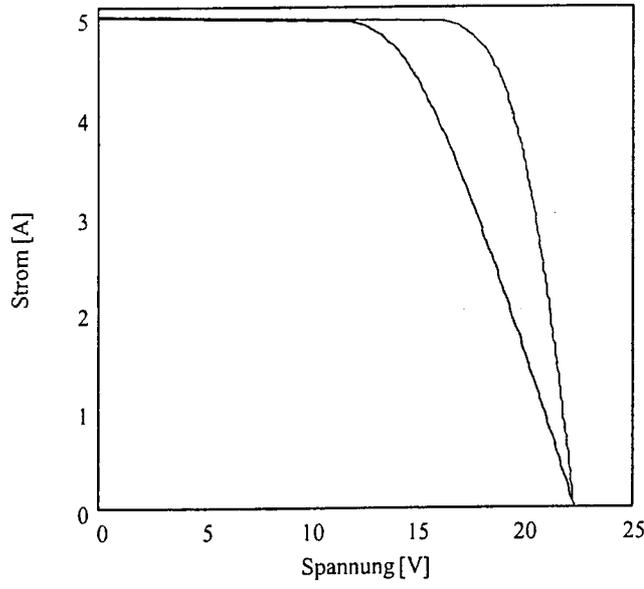


Fig. 3

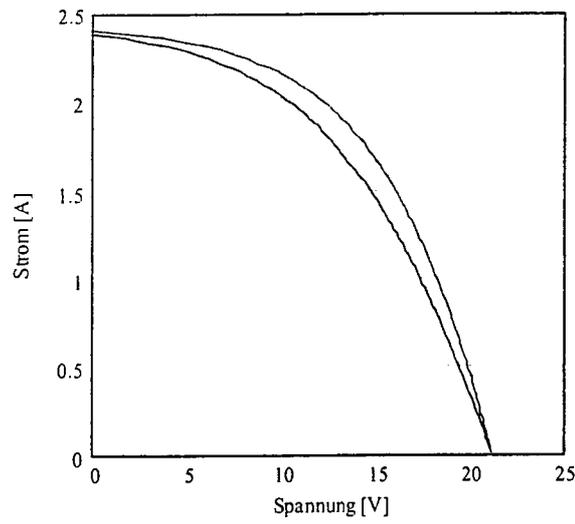


Fig. 4