



(10) **DE 10 2013 112 988 A1** 2015.05.28

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 112 988.9**

(22) Anmeldetag: **25.11.2013**

(43) Offenlegungstag: **28.05.2015**

(51) Int Cl.: **H02S 50/10 (2014.01)**

(71) Anmelder:
SMA Solar Technology AG, 34266 Niestetal, DE

(74) Vertreter:
**REHBERG HÜPPE + PARTNER Patentanwälte
PartG mbB, 37073 Göttingen, DE**

(72) Erfinder:
**Hopf, Markus, Dr., 34314 Espenau, DE; Häring,
Adrian, 34266 Niestetal, DE**

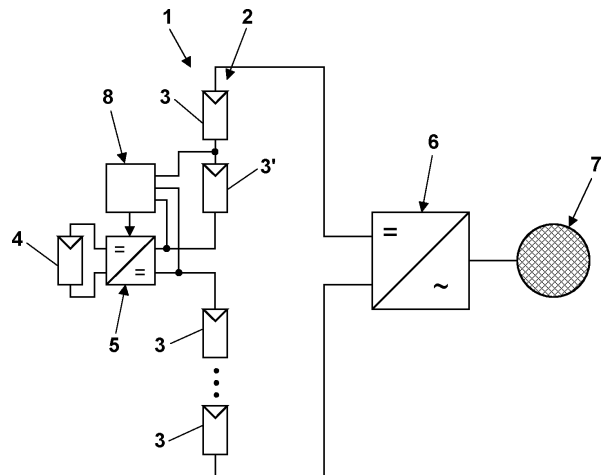
(56) Ermittelter Stand der Technik:
**WO 2010/ 081 746 A2
WO 2010/ 120 315 A1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben eines DC/DC-Wandlers, über den ein Photovoltaikmodul mit anderen, eine andere Kennlinie aufweisenden Photovoltaikmodulen in Reihe geschaltet ist, sowie entsprechender DC/DC-Wandler und Photovoltaikgenerator**

(57) Zusammenfassung: Über einen DC/DC-Wandler (5) ist ein Photovoltaikmodul (4) mit anderen Photovoltaikmodulen (3) in Reihe geschaltet, die eine andere Kennlinie aufweisen als das eine Photovoltaikmodul (4). Dann, wenn die von dem einen Photovoltaikmodul (4) potentiell verfügbare Leistung mindestens so groß ist wie die jeweils von den anderen Photovoltaikmodulen (3) aktuell abgegebene Leistung, wird der DC/DC-Wandler (5) so betrieben, dass die Kombination des einen Photovoltaikmoduls (4) mit dem DC/DC-Wandler (5) scheinbar dieselbe Kennlinie aufweist wie die anderen Photovoltaikmodule (3).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Betreiben eines DC/DC-Wandlers, über den ein Photovoltaikmodul mit anderen, eine andere Kennlinie aufweisenden Photovoltaikmodulen in Reihe geschaltet ist, und auf einen entsprechenden DC/DC-Wandler sowie auf einen Photovoltaikgenerator mit mindestens einem solchen DC/DC-Wandler.

[0002] Photovoltaikmodule werden in der Regel zu sogenannten Strings in Reihe geschaltet, wobei die Strings einzeln oder zu mehreren parallel geschaltet an einen Wechselrichter angeschlossen werden. Durch die Reihenschaltung der Photovoltaikmodule wird dem Wechselrichter eine auf die Summe der Ausgangsspannungen der einzelnen Photovoltaikmodule jedes Strings erhöhte Eingangsspannung bereitgestellt. Auf diese Weise wird eine Mindestspannung, die für das Einspeisen von elektrischer Energie in ein Wechselstromnetz mit einer vorgegebenen Wechselspannung benötigt wird, leichter erreicht als nur durch Hochsetzen der Ausgangsspannung der einzelnen Photovoltaikmodule in dem Wechselrichter.

[0003] Um eine maximale elektrische Leistung von den Photovoltaikmodulen zu erhalten, ist es erforderlich, die Betriebsspannung der einzelnen Photovoltaikmodule in ihrem Betriebspunkt maximaler Leistung (Maximum Power Point = MPP) zu halten. Dazu kann von dem jeweiligen Wechselrichter ein sogenanntes MPP-Tracking durchgeführt werden, d. h. eine Modulation seiner Eingangsspannung mit dem Ziel, den MPP aufzufinden. Der MPP eines Photovoltaikmoduls hängt von seinen aktuellen Betriebsbedingungen, insbesondere seiner aktuellen Temperatur und der aktuellen Einstrahlung auf das Photovoltaikmodul ab.

[0004] Da der Strom durch alle in einem String in Reihe geschalteten Photovoltaikmodule grundsätzlich gleich groß ist, können alle Photovoltaikmodule des Strings nur dann gleichzeitig in ihrem jeweiligen MPP betrieben werden, wenn ihre Kennlinien, d. h. die Abhängigkeit ihrer Leistung von ihrer Betriebsspannung bzw. ihrem Betriebsstrom, zumindest soweit gleich sind, dass die Kennlinien ihre Maxima bei demselben Strom aufweisen. Wenn mehrere Strings parallel an einen Eingang eines Wechselrichters angeschlossen sind, müssen die Photovoltaikmodule jedes Strings gleiche Kennlinien aufweisen. Zudem müssen die resultierenden Kennlinien aller Strings gleich sein, d. h. Ihre Maxima bei derselben Spannung aufweisen. Praktisch ist dies in der Regel nur dadurch zu erreichen, dass die Photovoltaikmodule aller Strings gleiche Kennlinien aufweisen und zudem alle Strings gleich viele Photovoltaikmodule umfassen.

[0005] Weiterhin ist es üblich, dass die Eingangsspannung eines Wechselrichters von dem MPP des angeschlossenen Photovoltaikgenerators weg verschoben wird, wenn mit dem Wechselrichter eine reduzierte elektrische Leistung in ein angeschlossenes Wechselstromnetz eingespeist werden soll, weil beispielsweise der Leistungsbedarf in dem Wechselstromnetz momentan geringer ist als das Leistungsangebot. Die Veränderung der Eingangsspannung des Wechselrichters wirkt sich aber nur dann gleichmäßig in eine reduzierte Leistung aller Photovoltaikmodule des Photovoltaikgenerators aus, wenn ihre Kennlinien soweit gleich sind, dass die Änderung ihrer Betriebsspannung in gleicher Weise zu einer Änderung der von allen Photovoltaikmodulen abgegebenen Leistung führt.

[0006] Die vorliegende Erfindung befasst sich mit der Problematik, die entsteht, wenn einzelne Photovoltaikmodule eines Photovoltaikgenerators als defekt ausfallen und nicht mehr durch identische Photovoltaikmodule oder durch Photovoltaikmodule mit gleicher Kennlinie ersetzt werden können, weil diese nicht (mehr) verfügbar sind. Die Gründe für eine Nichtmehrverfügbarkeit können dabei unterschiedlich sein, beispielsweise die Einstellung oder Umstellung der Produktion beim Hersteller der Photovoltaikmodule. Das verschiedene Photovoltaikmodule gleiche Kennlinien aufweisen, wäre ein großer Zufall.

[0007] Wenn auch nur einzelne Photovoltaikmodule eines Photovoltaikgenerators durch Photovoltaikmodule mit anderer Kennlinie ausgetauscht werden, kann dies dazu führen, dass die von seinen Strings lieferbare maximale Leistung nicht mehr der Summe der maximalen Leistungen der einzelnen Photovoltaikmodule der Strings entspricht, sondern darunter liegt. Man spricht in diesem Fall von einem sog. Mismatch, der unter Umständen erhebliche Ertragsverluste der Anlage nach sich zieht. Diese Auswirkung eines ausgetauschten Photovoltaikmodul mit anderer Kennlinie tritt nicht nur bei dem String auf, in dem es angeordnet ist, sondern auch bei allen dazu parallel geschalteten Strings des jeweiligen Photovoltaikgenerators. Ursache hierfür ist, dass ein MPP-Tracker des jeweiligen Wechselrichters nur den Punkt maximaler Leistung des (gesamten) Generators einstellen kann, nicht aber den MPP eines jeden einzelnen Photovoltaikmoduls. Somit ergibt sich der Punkt maximaler Leistung des Generators nur dann als Summe der MPP-Werte der einzelnen Photovoltaikmodule, wenn diese identische Kennlinien aufweisen. Jede Abweichung der Kennlinien untereinander sorgt daher zwangsläufig für einen geringeren Summenwert.

STAND DER TECHNIK

[0008] Aus der WO 2013/015921 A1 sind Vorrichtungen und Verfahren zum Konfigurieren und Managen von Solarpanelen bei der Ausbildung von Strings aus

Photovoltaikgeneratoren bekannt. Die Photovoltaikgeneratoren sind über eine oder mehrere kombinierte lokale Managementeinheiten zusammengeschlossen, die jeweils eine Mehrzahl von DC/DC-Wandlern aufweisen, welche einen Gleichstrom von jeweils einem Solarpanel empfangen. Eine gemeinsame Steuereinheit der DC/DC-Wandlern der kombinierten lokalen Managementeinheit steuert den Betrieb jedes einzelnen DC/DC-Wandlers so, dass die von den Solarpanelen erhaltene elektrische Leistung maximiert wird. Das MPP-Tracking wird damit von dem Wechselrichter auf die einzelnen DC/DC-Wandler verlagert, die für die einzelnen Solarpaneele vorgesehen sind.

[0009] Aus Solar-Magic_TI-page-29.pdf (Shanghai International Power Electronics Innovation Forum, 21, 2012; <http://download.21dianyuan.com/download.php?id=69241>) ist ein sogenannter DC/DC Power Optimizer bekannt. Dieser DC/DC-Wandler wird jeweils einem Photovoltaikmodul zugeordnet. Damit soll es beispielsweise möglich sein, Strings mit unterschiedlich vielen Photovoltaikmodulen in einem Photovoltaikgenerator parallel zu schalten, indem den Photovoltaikmodulen in den kürzeren Strings jeweils ein DC/DC Power Optimizer zugeordnet wird. Der Fachmann wird davon ausgehen, dass diese Power Optimizer die Ausgangsspannung der einzelnen Photovoltaikmodule in den kürzeren Strings um jeweils soviel anheben, dass die Ausgangsspannung der kürzeren Strings die Ausgangsspannung der längeren Strings des Wechselrichters erreicht. Eine andere Anwendungsmöglichkeit des DC/DC Power Optimizers soll es sein, den Effekt von Verschattungen einzelner Photovoltaikmodule eines Strings, dem ein weiterer unverschatteter String parallel geschaltet ist, auszugleichen. Dabei wird empfohlen, alle Photovoltaikmodule des jeweiligen Strings, von dem die einzelnen Photovoltaikmodule verschattet sind, mit DC/DC Power Optimizern auszustatten. Wie diese DC/DC Power Optimizer zum Ausgleichen der Verschattung zu betreiben sind, wird nicht erläutert. Bei einem einzelnen String mit teilweise verschatteten Photovoltaikmodulen sollen nur diese teilweise verschatteten Photovoltaikmodule mit Power Optimizern versehen werden, um Unterschiede im Betriebspunkt zwischen verschatteten und unverschatteten Photovoltaikmodulen auszugleichen. Auch hierzu wird nicht angegeben, wie dies erfolgen soll. Der Fachmann wird davon ausgehen, dass auch die verschatteten Photovoltaikmodule mit Hilfe der DC/DC Power Optimizer in ihrem MPP betrieben werden, wobei die Ausgangsspannung der DC/DC Power Optimizer bei einem gegebenen Strom durch den String maximiert wird. Letztlich sollen mit DC/DC Power Optimizern an allen Photovoltaikmodulen eines Strings auch unterschiedliche Ausrichtungen der Module kompensiert werden können. Auch hierzu wird nicht angegeben, wie dies konkret erreicht werden soll.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben eines DC/DC-Wandlers, über den ein Photovoltaikmodul mit anderen, eine andere Kennlinie aufweisenden Photovoltaikmodulen in Reihe geschaltet ist, und einen entsprechenden DC/DC-Wandler sowie einen Photovoltaikgenerator mit mindestens einem solchen DC/DC-Wandler aufzuzeigen, die einen unproblematischen Austausch einzelner defekter Photovoltaikmodule bei einem Photovoltaikgenerator auch dann ermöglichen, wenn der Photovoltaikgenerator mehrere parallel geschaltete Strings von Photovoltaikmodulen aufweist.

LÖSUNG

[0011] Die Aufgabe der Erfindung wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1, einen DC/DC-Wandler mit den Merkmalen des nebengeordneten Patentanspruchs 10 und einen Photovoltaikgenerator mit den Merkmalen des nebengeordneten Patentanspruchs 11 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen des Verfahrens und des Photovoltaikgenerators sind in den abhängigen Patentansprüchen definiert.

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0012] Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betreiben eines DC/DC-Wandlers, über den ein Photovoltaikmodul mit anderen Photovoltaikmodulen in Reihe geschaltet ist, welche eine andere Kennlinie aufweisen als das eine Photovoltaikmodul, wird dann, wenn die von dem einen Photovoltaikmodul potentiell verfügbare Leistung mindestens so groß ist wie die jeweils von den anderen Photovoltaikmodulen aktuell abgegebene Leistung, der DC/DC-Wandler so betrieben, dass die Kombination des einen Photovoltaikmoduls mit dem DC/DC-Wandler die gleiche Kennlinie aufweist wie die anderen Photovoltaikmodule.

[0013] Das neue Verfahren ist nur dann durchführbar, wenn die Leistung des einen Photovoltaikmoduls an seinem MPP mindestens so groß ist wie die aktuelle Leistung, die aktuell von den anderen Photovoltaikmodulen abgegeben wird. Wenn also die anderen Photovoltaikmodule aktuell mit maximaler Leistung, d. h. in ihrem MPP betrieben werden, muss das eine Photovoltaikmodul mit der abweichenden Kennlinie unter den aktuellen Betriebsbedingungen an seinem MPP mindestens dieselbe Leistung bereitstellen können. Dies stellt jedoch für Photovoltaikmodule, die zum Ersatz für ältere defekte Photovoltaikmodule in einen bestehenden Photovoltaikgenerator integriert werden, normalerweise kein Problem dar, weil die Flächenleistung von Photovoltaikmodulen tendenziell zunimmt und entsprechend ein neueres Photovoltaikmodul mit den Abmessungen eines defekten älteren Photovoltaikmoduls oder selbst mit etwas klei-

neren Abmessungen leicht eine höhere Nennleistung aufweist und eine höhere elektrische Leistung über alle relevanten Betriebszustände hinweg erbringt als das ersetzte Modul vor seinem Defekt. Zumindest ist es beim Austauschen eines defekten Photovoltaikmoduls leicht möglich, ein solches mit grundsätzlich etwas höherer Leistung als Ersatz zu verwenden.

[0014] Von dieser potentiell zusätzlich verfügbaren elektrischen Leistung wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren jedoch nur sehr bedingt Gebrauch gemacht. Sie steht als Regelreserve und zur Deckung des Eigenverbrauchs des DC/DC-Wandlers und einer zugeordneten Steuerung zur Verfügung, und sie kann z. B. bei einer leichten Verschattung des einen Photovoltaikmoduls verhindern, dass die von ihm verfügbare elektrische Leistung sofort hinter die von den anderen, unverschatteten Photovoltaikmodulen an deren MPP verfügbare elektrische Leistung zurückfällt.

[0015] Primär zielt das erfindungsgemäße Verfahren aber darauf ab, zu verhindern, dass die von den anderen Photovoltaikmodulen potentiell verfügbare elektrische Leistung wegen einer Verstimmung des MPP des gesamten Photovoltaikgenerators durch das eine Photovoltaikmodul nicht genutzt werden kann. Darüber hinaus stellt das erfindungsgemäße Verfahren sicher, dass bei einer Abregelung des Photovoltaikgenerators durch eine vom MPP abweichende Betriebsspannung des Photovoltaikgenerators die Leistung aller Photovoltaikmodule gleichmäßig heruntergefahren wird.

[0016] Indem sich bei dem erfindungsgemäßen Verfahren das eine Photovoltaikmodul in Kombination mit dem DC/DC-Wandler genauso verhält wie die anderen Photovoltaikmodule, ist der Austausch eines defekten Photovoltaikmoduls durch ein neues Photovoltaikmodul unkritisch für den weiteren Betrieb des Photovoltaikgenerators und des die von dem Photovoltaikgenerator bereitgestellte elektrische Energie zum Beispiel in ein Wechselstromnetz einspeisenden Wechselrichters. Hier müssen keine Änderungen vorgenommen werden, egal ob der Photovoltaikgenerator einen oder mehrere parallel geschaltete Strings von Photovoltaikmodulen aufweist.

[0017] Der DC/DC-Wandler muss für die Spannung, bei der das eine Photovoltaikmodul die gleiche elektrische Leistung liefert, wie die anderen Photovoltaikmodule des String, an seinem Ausgang die Betriebsspannung stellen können, bei der die anderen Photovoltaikmodule des String aktuell betrieben werden. Die Realisation des Betriebs des DC/DC-Wandlers, so dass die Kombination des einen Photovoltaikmoduls mit dem DC/DC-Wandler die gleiche Kennlinie aufweist wie die anderen Photovoltaikmodule, kann auf unterschiedliche Weise praktisch realisiert werden. Beispielsweise kann der DC/DC-Wandler so be-

trieben werden, dass seine ausgangsseitige Klemmenspannung gleich der Klemmenspannung eines der anderen Photovoltaikmodule ist, die mit ihm in Reihe geschaltet sind. Der Strom durch alle in Reihe geschalteten Photovoltaikmodule bzw. die Kombination aus dem Photovoltaikmodul und dem DC/DC-Wandler ist über den String hinweg gleich. Wenn der DC/DC-Wandler zusätzlich seine Klemmenspannung an die Klemmenspannung eines der anderen Photovoltaikmodule anpasst, verhält sich die Kombination des einen Photovoltaikmoduls mit dem DC/DC-Wandler in Bezug auf Strom und Spannung und damit auch in Bezug auf die Leistung identisch wie das andere Photovoltaikmodul, dessen Klemmenspannung nachgebildet wird. Dies impliziert eine gleiche Kennlinie.

[0018] Ein weitere Möglichkeit für den Betrieb des DC/DC-Wandlers besteht darin, dass die Kennlinie der anderen Photovoltaikmodule oder ein ausgleichender Unterschied zwischen der Kennlinie des einen Photovoltaikmoduls und der Kennlinie der anderen Photovoltaikmodule für bestimmte Betriebsbedingungen gespeichert und dann beim zukünftigen Betreiben des DC/DC-Wandlers verwendet wird. Die entsprechenden Daten können auch einer Datenbank entnommen werden, in der die Kennlinien für verschiedene Photovoltaikmodule abgelegt sind. Dabei können die Kennlinien parametrisiert, d. h. durch Parameter charakterisiert werden, die ihren Verlauf beschreiben, um die für jede Kennlinie abzuspeichernden Daten zu begrenzen.

[0019] Statt die abzuspeichernden Daten der Kennlinien der anderen Photovoltaikmodule oder des ausgleichenden Unterschieds zwischen der Kennlinie des einen Photovoltaikmoduls und der Kennlinie der anderen Photovoltaikmodule aus einer Datenbank zu übernehmen, kann die Kennlinie eines der anderen Photovoltaikmodule oder der ausgleichende Unterschied zwischen der Kennlinie des einen Photovoltaikmoduls und der Kennlinie eines der anderen Photovoltaikmodule für die bestimmten Betriebsbedingungen vermessen werden, insbesondere im Rahmen der Installation des einen Photovoltaikmoduls. Bei dieser Vermessung werden Toleranzen und Alterungszustände der Photovoltaikmodule automatisch berücksichtigt.

[0020] Da sich die Kennlinien aller Photovoltaikmodule mit ihren Betriebsbedingungen, insbesondere Einstrahlung und Temperatur, verändern, ist es bei dem erfindungsgemäßen Verfahren bevorzugt, die aktuellen Betriebsbedingungen zu erfassen und die nachzubildende Kennlinie der anderen Photovoltaikmodule oder den ausgleichenden Unterschied zwischen der Kennlinie des einen Photovoltaikmoduls und der Kennlinie der anderen Photovoltaikmodule an diese aktuellen Betriebsbedingungen anzupassen. Dies kann aufgrund bekannter Zusammenhänge

der Kennlinien mit den Betriebsbedingungen geschehen. Diese Zusammenhänge ermöglichen es auch, die Betriebsbedingungen ihrerseits anhand der aktuellen Kennlinie des einen Photovoltaikmoduls zu erfassen, indem diese mit Hilfe des DC/DC-Wandlers zumindest bereichsweise abgefahren oder abgetastet wird. Grundsätzlich können die aktuellen Betriebsbedingungen der Photovoltaikmodule aber auch durch einen Temperaturfühler und einen Einstrahlungssensor erfasst werden. Statt einen Einstrahlungssensor zu verwenden, kann auch der Kurzschlussstrom des einen Photovoltaikmoduls mit Hilfe des DC/DC-Wandlers erfasst und als Maß für die Einstrahlung verwendet werden. Weiterhin können die aktuellen Betriebsbedingungen bei dem erfindungsgemäßen Verfahren auch durch eine Impedanzmessung an dem einen Photovoltaikmodul erfasst werden.

[0021] Grundsätzlich kann die aktuelle Kennlinie der anderen Photovoltaikmodule auch indirekt durch eine Impedanzmessung erfasst werden, dann natürlich an den anderen Photovoltaikmodulen; dazu kann von dem DC/DC-Wandler ausgehend eine Impedanzmessung in den String hinein erfolgen, zu dem die Kombination des einen Photovoltaikmoduls mit dem DC/DC-Wandler mit den anderen Photovoltaikmodulen zusammengeschaltet ist.

[0022] Wenn die von dem einen Photovoltaikmodul potentiell verfügbare Leistung trotz größerer Nennleistung kleiner als die jeweils von den anderen Photovoltaikmodulen aktuell abgegebene Leistung ist, weil beispielsweise das eine Photovoltaikmodul stärker verschattet ist, wird der DC/DC-Wandler vorzugsweise so betrieben, dass seine ausgangsseitige Klemmenspannung bei dem von den anderen Photovoltaikmodulen vorgegebenen Strom durch den String maximiert wird. Dies ist gleichbedeutend damit, dass das eine Photovoltaikmodul in seinem MPP betrieben wird, wobei der DC/DC-Wandler eine Anpassung an den Strom durch den String vornimmt. Bei dieser Betriebsweise des DC/DC-Wandlers ist zwar eine Verstimmung des MPP des jeweiligen Strings mit dem verschatteten Photovoltaikmodul gegenüber dem MPP eines Strings aus unverschatteten gleichen Photovoltaikmodulen gegeben. Dabei bleibt diese Verstimmung wegen der höheren Nennleistung des einen Photovoltaikmoduls aber kleiner als in dem Fall, dass eines der anderen Photovoltaikmodule in gleicher Weise verschattet wird. Anders gesagt wird ein Photovoltaikgenerator mit dem einen Photovoltaikmodul und dem erfindungsgemäß betriebenen DC/DC-Wandler nicht stärker von einer teilweisen Verschattung beeinflusst als ein Photovoltaikgenerator nur aus den anderen Photovoltaikmodulen.

[0023] Aus diesem Grund erweist es sich bei dem erfindungsgemäßen Verfahren als vorteilhaft, das eine Photovoltaikmodul von allen in Reihe geschalte-

ten Photovoltaikmodulen in einem Bereich mit maximaler Verschattungswahrscheinlichkeit anzuordnen, weil der negative Einfluss einer Verschattung auf den gesamten String durch die höhere Nennleistung des einen Photovoltaikmoduls am geringsten ist. Dabei kann ein in dem Bereich mit maximaler Verschattungswahrscheinlichkeit angeordnetes nicht defektes anderes Photovoltaikmodul entfernt werden, um ein in einem anderen Bereich angeordnetes defektes Photovoltaikmodul zu ersetzen und um seinen Platz für das eine Photovoltaikmodul mit dem DC/DC-Wandler frei zu machen. Der Einfluss der Verschattung auf den gesamten String kann noch weiter reduziert werden, indem die Nennleistung des einen Photovoltaikmoduls in dem Bereich mit maximaler Verschattungswahrscheinlichkeit deutlich höher gewählt wird als die Nennleistung der anderen Photovoltaikmodule.

[0024] Ein erfindungsgemäßer DC/DC-Wandler zum Anschluss eines Photovoltaikmoduls in Reihe mit anderen Photovoltaikmodulen, welche eine andere Kennlinie aufweisen als das eine Photovoltaikmodul, ist erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, dass eine Steuerung des DC/DC-Wandlers zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildet ist.

[0025] Es wurde bereits angemerkt, dass der DC/DC-Wandler für die Spannung, bei der das eine Photovoltaikmodul die gleiche elektrische Leistung liefert, wie die anderen Photovoltaikmodule des String, an seinem Ausgang die Betriebsspannung stellen können muss, bei der die anderen Photovoltaikmodule des String aktuell betrieben werden. Diese und auch weitere bei dem erfindungsgemäßen Verfahren bestehende Anforderungen können mit vielen bekannten DC/DC-Wandlern erfüllt werden. Dabei reicht es grundsätzlich aus, wenn der DC/DC-Wandler elektrische Energie nur in der einen Richtung von dem einen Photovoltaikmodul zu dem String, in dem das eine Photovoltaikmodul mit den anderen Photovoltaikmodulen in Reihe geschaltet ist, wandeln kann.

[0026] Welche Spannungsverhältnisse von dem DC/DC-Wandler abzudecken sind, hängt von dem Verlauf der Kennlinie des einen Photovoltaikmoduls zu der Kennlinie der anderen Photovoltaikmodule ab. Dabei sollte ein reiner Tiefsetzsteller ausreichen, wenn die Modulspannung des einen Photovoltaikmoduls deutlich höher als die der anderen Photovoltaikmodule ist. Ist die Modulspannung des einen Photovoltaikmoduls hingegen deutlich tiefer als die der anderen Photovoltaikmodule, so sollte ein Hochsetzsteller ausreichen. Im ersten Fall ist jedoch zu berücksichtigen, dass ggf. nicht die komplette Kennlinie des einen Photovoltaikmoduls abgefahren werden kann. Dies kann jedoch Voraussetzung für eine Durchführbarkeit bestimmter Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens sein. Im zwei-

ten Fall können Probleme auftreten, wenn eine sehr geringe Ausgangsspannung gestellt werden muss. Wünschenswert und unabhängig vom Verlauf der Kennlinie des einen Photovoltaikmoduls einsetzbar ist daher ein DC/DC-Wandler, der sowohl hoch als auch tief setzen kann (z. B. ein Sepic-Wandler).

[0027] Der DC/DC-Wandler kann galvanisch trennend oder nicht galvanisch trennend ausgeführt werden. Der DC/DC-Wandler sollte mit seinem Eingangs- und Ausgangsstellbereich einen sehr weiten Bereich abdecken, um eingangsseitig auch mit der geringen Ausgangsspannung eines verschatteten Photovoltaikmoduls umgehen zu können, um einen weiten Bereich der Kennlinie des einen Photovoltaikmoduls abfahren zu können und um mit vielen Modultypen des einen Photovoltaikmoduls kompatibel zu sein. Ausgangsseitig sollte der Bereich groß sein, um viele Modultypen bei den anderen Photovoltaikmodulen ersetzen zu können, und nach unten sollte der Bereich groß sein, um auch im Fall starker selektiver Verschattung des einen Photovoltaikmoduls – also bei geringer maximaler Leistung des einen Photovoltaikmoduls bei gleichzeitig hoher AKTUELLER Leistung der anderen Photovoltaikmodule und entsprechend großem Strom durch den String – noch Leistung in den String einspeisen zu können.

[0028] Vorteilhafterweise weist der DC/DC-Wandler eine Bypassschaltung auf, die zum Beispiel eine Bypassdiode umfasst, welche den Ausgang des DC/DC-Wandlers brücken kann, um im Fehlerfall den String nicht zu unterbrechen. Ferner ist diese Bypassschaltung hilfreich, wenn eine kleinere Spannung gestellt werden muss, als es der Ausgangsspannungsbereich des DC/DC-Wandlers zulässt, zum Beispiel im Fall einer starken Verschattung des einen Moduls. Bevor der Stringstrom durch den begrenzten Ausgangsspannungsbereich des DC/DC-Wandlers reduziert wird und damit auch die Leistung der übrigen im String befindlichen Module reduziert wird, kann der DC/DC-Wandler gebrückt werden, so dass der Stringstrom durch den DC/DC-Wandler nicht negativ beeinflusst wird.

[0029] Soweit die voranstehend genannten Anforderungen erfüllt werden, gibt es hinsichtlich der Topologie des DC/DC-Wandlers keine Einschränkung. So können auch als Impedanzwandler bezeichnete DC/DC-Steller eingesetzt werden.

[0030] Der Eingang des DC/DC-Wandlers kann eine Zusatzschaltung aufweisen, um das eine Photovoltaikmodul autark vermessen zu können, d. h. ohne die Leistung des einen Photovoltaikmodul am Ausgang des DC/DC-Wandlers abgeben zu müssen. Dazu kann die Zusatzschaltung eine geregelte Stromsenke oder einen geregelten Verbraucher umfassen.

[0031] Der DC/DC-Wandler kann eine weitere Zusatzschaltung aufweisen, an die eines der anderen Photovoltaikmodule zur Modulvermessung bei der Inbetriebnahme anschließbar ist. So kann das eine Photovoltaikmodul parallel zu einem der anderen Photovoltaikmodule und damit bei gleichen Betriebsbedingungen vermessen werden. Zur Aufnahme des Betriebs wäre dann nur noch eine Umverdrahtung des einen der anderen Photovoltaikmodule erforderlich.

[0032] Ein erfindungsgemäßer Photovoltaikgenerator mit einem String von Photovoltaikmodulen, wobei mindestens eines der Photovoltaikmodule eine andere Kennlinie aufweist als die anderen Photovoltaikmodule, ist dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine der Photovoltaikmodule über einen erfindungsgemäßen DC/DC-Wandler angeschlossen ist.

[0033] Vorzugsweise weist das mindestens eine der Photovoltaikmodule des erfindungsgemäßen Photovoltaikgenerators eine höhere Nennleistung als die anderen Photovoltaikmodule auf, so dass von dem mindestens einen Photovoltaikmodul möglichst bei allen relevanten Betriebsbedingungen eine höhere Leistung verfügbar ist als von den anderen Photovoltaikmodulen.

[0034] Bei dem erfindungsgemäßen Photovoltaikgenerator kann dem einen String mit dem mindestens einen Photovoltaikmodul mindestens ein weiterer String parallel geschaltet sein, der Photovoltaikmodule mit der gleichen Kennlinie wie die anderen Photovoltaikmodule in dem einen String umfasst. Auch in dem anderen String können aber einzelne Photovoltaikmodule durch Kombinationen aus einem Photovoltaikmodul mit anderer Kennlinie und einem erfindungsgemäßen DC/DC-Wandler ersetzt sein.

[0035] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Patentansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Die in der Beschreibung genannten Vorteile von Merkmalen und von Kombinationen mehrerer Merkmale sind lediglich beispielhaft und können alternativ oder kumulativ zur Wirkung kommen, ohne dass die Vorteile zwingend von erfindungsgemäßen Ausführungsformen erzielt werden müssen. Ohne dass hierdurch der Gegenstand der beigefügten Patentansprüche verändert wird, gilt hinsichtlich des Offenbarungsgehalts der ursprünglichen Anmeldungsunterlagen und des Patents Folgendes: weitere Merkmale sind den Zeichnungen – insbesondere der dargestellten relativen Anordnung und Wirkverbindung mehrerer Bauteile – zu entnehmen. Die Kombination von Merkmalen unterschiedlicher Ausführungsformen der Erfindung oder von Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche ist ebenfalls abweichend von den gewählten Rückbeziehungen der Patentansprüche möglich

und wird hiermit angeregt. Dies betrifft auch solche Merkmale, die in separaten Zeichnungen dargestellt sind oder bei deren Beschreibung genannt werden. Diese Merkmale können auch mit Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche kombiniert werden. Ebenso können in den Patentansprüchen aufgeführte Merkmale für weitere Ausführungsformen der Erfindung entfallen.

[0036] Die in den Patentansprüchen und der Beschreibung genannten Merkmale sind bezüglich ihrer Anzahl so zu verstehen, dass genau diese Anzahl oder eine größere Anzahl als die genannte Anzahl vorhanden ist, ohne dass es einer expliziten Verwendung des Adverbs "mindestens" bedarf. Wenn also beispielsweise von einem Element die Rede ist, ist dies so zu verstehen, dass genau ein Element, zwei Elemente oder mehr Elemente vorhanden sind. Diese Merkmale können durch andere Merkmale ergänzt werden oder die einzigen Merkmale sein, aus denen das jeweilige Erzeugnis besteht.

[0037] Die in den Patentansprüchen enthaltenen Bezugszeichen stellen keine Beschränkung des Umfangs der durch die Patentansprüche geschützten Gegenstände dar. Sie dienen lediglich dem Zweck, die Patentansprüche leichter verständlich zu machen.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0038] Im Folgenden wird die Erfindung anhand in den Figuren dargestellter bevorzugter Ausführungsbeispiele weiter erläutert und beschrieben.

[0039] Fig. 1 zeigt einen erfindungsgemäßen Photovoltaikgenerator mit einem String von Photovoltaikmodulen, der an einen Wechselrichter zur Einspeisung von elektrischer Leistung in ein Wechselstromnetz angeschlossen ist.

[0040] Fig. 2 zeigt einen anderen erfindungsgemäßen Photovoltaikgenerator mit zwei parallel geschalteten Strings von Photovoltaikmodulen, ebenfalls angeschlossen an eine elektrische Leistung in ein Wechselstromnetz einspeisenden Photovoltaikwechselrichter.

[0041] Fig. 3 ist ein Ablaufdiagramm zur Ausführung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0042] Fig. 4 zeigt mit gestrichelter Linie die Kennlinie eines Photovoltaikmoduls eines erfindungsgemäßen Wechselrichters, die sich von der mit durchgezogener Linie dargestellten Kennlinie der anderen Photovoltaikmodule des Photovoltaikgenerators unterscheidet; und

[0043] Fig. 5 illustriert einen weiteren erfindungsgemäßen Photovoltaikgenerator mit drei parallel geschalteten Strings, wobei einige der Photovoltaikmodule in einem Bereich maximaler Verschattungswahrscheinlichkeit angeordnet sind.

FIGURENBESCHREIBUNG

[0044] Ein in Fig. 1 gezeigter Photovoltaikgenerator **1** umfasst einen String **2** von in Reihe geschalteten Photovoltaikmodulen **3** und **4**. Dabei ist das Photovoltaikmodul **4** anders als die direkt in Reihe geschalteten Photovoltaikmodule **3** über einen DC/DC-Wandler **5** angeschlossen. Von den Photovoltaikmodulen **3** können noch weitere, hier nicht dargestellte, in dem String **2** in Reihe geschaltet sein. Der Photovoltaikgenerator **1** ist an einen Wechselrichter **6** angeschlossen, der elektrische Leistung von dem Photovoltaikgenerator **1** in ein Wechselstromnetz **7** einspeist. Der String **2** bestand ursprünglich aus identischen Photovoltaikmodulen **3**. Das Photovoltaikmodul **4** ersetzt eines der Photovoltaikmodule **3**, das ausgefallen ist und für das kein identischer Ersatz in Form eines funktionsfähigen Photovoltaikmoduls **3** mehr verfügbar war. Das Photovoltaikmodul **4** weist eine größere Nennleistung als die Photovoltaikmodule **3** auf. In Kombination mit dem DC/DC-Wandler **5** bildet es eines der anderen Photovoltaikmodule **3** nach. Dazu erfasst eine Steuerung **8** des DC/DC-Wandlers **5** die Klemmenspannung eines Photovoltaikmoduls **3'** der Photovoltaikmodule **3** und die Klemmenspannung auf der Ausgangsseite des DC/DC-Wandlers **5**. Die Steuerung **8** steuert den DC/DC-Wandler **5** dann so an, dass diese beiden Klemmenspannungen immer gleich sind. Da der Strom durch alle Photovoltaikmodule **3** und den DC/DC-Wandler **5** aufgrund der Reihenschaltung des Strings **2** ebenfalls gleich ist, resultiert hieraus eine effektive Kennlinie der Kombination aus dem Photovoltaikmodul **4** und dem DC/DC-Wandler **5**, die der Kennlinie des Photovoltaikmoduls **3'**, dessen Klemmenspannung die Steuerung **8** erfasst, genau gleicht. Die Kombination des Photovoltaikmoduls **4** mit dem DC/DC-Wandler **5** ersetzt also das ausgefallene Photovoltaikmodul **3** in einer für den Wechselrichter **6** unmerklichen Weise. Der Wechselrichter **6** kann dasselbe MPP-Tracking für den Photovoltaikgenerator **1** durchführen wie bisher. Es ist auch dieselbe Abregelung des Photovoltaikgenerators **1** durch Änderung der Eingangsspannung des Wechselrichters **6** möglich. Wenn allerdings das Photovoltaikmodul **3'**, dessen Klemmenspannung von der Steuerung **8** erfasst wird, verschattet wird, verhält sich die Kombination aus dem Photovoltaikmodul **4** und dem DC/DC-Wandler **5** so, als sei auch sie verschattet. Umgekehrt kann aufgrund der höheren Nennleistung des Photovoltaikmoduls **4** nicht nur eine Eigenversorgung des DC/DC-Wandlers **5** und der Steuerung **8** erfolgen, sondern auch eine leichte Verschattung des Photovoltaikmoduls **4** kompensiert werden, solange die von

dem verschatteten Photovoltaikmodul **4** verfügbare Leistung nicht unter die aktuell von den Photovoltaikmodul **3'** abgegebene Leistung fällt.

[0045] Bei der Ausführungsform des Photovoltaikgenerators **1** gemäß **Fig. 2** sind zwei parallel geschaltete Strings **2** und **2'** vorgesehen. Dabei sind in dem String **2'** ausschließlich Photovoltaikmodule **3** vorgesehen. In dem String **2** sind zwei Photovoltaikmodule **3** durch Kombination von Photovoltaikmodulen **4** bzw. **4'** mit DC/DC-Wandlern **5** bzw. **5'** ersetzt. Die hier für beide DC/DC-Wandler **5** und **5'** vorgesehene Steuerung **8** erfasst mit einem Temperatursensor **9** und einem Einstrahlungssensor **10** die aktuellen Betriebsbedingungen der Photovoltaikmodule **3**, **4** und **4'** und ermittelt aus diesen und aus in ihr abgespeicherten Kenndaten der Photovoltaikmodule **3** und der Photovoltaikmodule **4** und **4'** die bei den aktuellen Betriebsbedingungen zu erwartenden Kennlinien der Photovoltaikmodule **3** einerseits und der Photovoltaikmodule **4** und **4'** andererseits. Daraus oder auch direkt aus den aktuellen Betriebsbedingungen und den Kenndaten ermittelt die Steuerung **8** den mit Hilfe der DC/DC-Wandler **5** und **5'** vorzunehmenden Ausgleich zwischen den Kennlinien, damit sich die Kombinationen aus den Photovoltaikmodulen **4** bzw. **4'** und den zugehörigen DC/DC-Wandlern **5** und **5'** ebenso verhalten wie die Photovoltaikmodule **3**. Die Kenndaten der Photovoltaikmodule **3** und der Photovoltaikmodule **4** und **4'** können bei der Installation der DC/DC-Wandler **5** und **5'** in der Steuerung abgespeichert werden.

[0046] Die Ermittlung der Kennlinien der Photovoltaikmodule **3** und der Photovoltaikmodule **4** für bestimmte Betriebsbedingungen unter Verwendung dieser Kenndaten kann darauf basieren, dass man eine bekannte Kennlinie durch Änderung weniger charakteristischer Größen oder Koeffizienten in eine andere Kennlinie deformieren kann. Diese Koeffizienten müssen für die Photovoltaikmodule **3** und die Photovoltaikmodule **4** bekannt sein, z. B. durch Eingabe von Datenblattparametern, oder durch Vermessung mindestens eines der Photovoltaikmodule **3** und des einen Photovoltaikmoduls **4**. So beginnt das Ablaufdiagramm für eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß **Fig. 3** daher mit einem Schritt **11**, in dem während der Installation eines Photovoltaikmoduls **4** mit zugeordnetem DC/DC-Wandler bei den aktuell herrschenden Betriebsbedingungen die Kennlinie eines der anderen Photovoltaikmodule **3** erfasst wird. Hierzu wird dieses Photovoltaikmodul **3** beispielsweise separat an den DC/DC-Wandler **5** angeschlossen und von der Steuerung **8** ein spezielles Initialisierungsprogramm ausgeführt. Anschließend, vorzugsweise aber gleichzeitig, wird in dem Schritt **11** unter denselben Betriebsbedingungen auch die Kennlinie des einen Photovoltaikmoduls **4** erfasst. Aus den Kennlinien der Photovoltaikmodule

3 und **4** sind die interessierenden Koeffizienten ableitbar.

[0047] Im laufenden Betrieb des Photovoltaikgenerators **1** wird bei dem einen Photovoltaikmodul **4** der aktuelle Arbeitspunkt kurzzeitig, z. B. für 100 ms, verlassen, um die aktuelle Kennlinie des einen Photovoltaikmoduls **4** zu vermessen. Dies geschieht im Schritt **12** gemäß **Fig. 3**. Die aktuelle Kennlinie des Photovoltaikmoduls **3** kann dann im Schritt **13** basierend auf der gemessenen Kennlinie des Photovoltaikmoduls **4** mit Hilfe der Koeffizienten nachgebildet werden. Im anschließenden Schritt **14** wird der durch den String **2** fließende Strom gemessen, und die Ausgangsspannung des DC/DC-Wandlers wird anhand der nachgebildeten Kennlinie eingestellt. Umgebungsbedingungen wie Einstrahlung und Temperatur werden bei dieser Vorgehensweise implizit berücksichtigt, da sie sich in der Kennlinie des einen Photovoltaikmoduls **4** widerspiegeln. Die Schritte **12** bis **14** werden zyklisch wiederholt, um sich ändernde Betriebsbedingungen der Photovoltaikmodule **3** und **4** zu berücksichtigen.

[0048] In **Fig. 4** ist mit gestrichelter Linie die Kennlinie **15** des Photovoltaikmoduls **4** beispielsweise gemäß **Fig. 1** illustriert, während mit durchgezogener Linie die Kennlinie **16** eines der Photovoltaikmodule **3** wiedergegeben ist. Die beiden Kennlinien **15** und **16** unterscheiden sich. Insbesondere weisen sie ihren MPP **17** bzw. **18** bei unterschiedlicher Spannung U auf. Dabei verläuft die Kennlinie **15** überall oberhalb der Kennlinie **16**. Das heißt, bei jeder Spannung U ist mehr Leistung P von dem Photovoltaikmodul **4** verfügbar als von einem der anderen Photovoltaikmodule **3**. Damit ist überall Spielraum vorhanden, um mit Hilfe des DC/DC-Wandlers die Kennlinie **16** nachzubilden. Dabei ist ein Unterschied **19** zwischen den Kennlinien auszugleichen, d. h. zu beseitigen. Ein durchgängiger Verlauf der Kennlinien **15** oberhalb der Kennlinie **16**, wobei der MPP **17** anders als in **Fig. 4** dargestellt auch bei einer niedrigeren Spannung U als der MPP **18** liegen kann, ergibt sich bei gleicher Fläche der Photovoltaikmodule **4** und **3** problemlos, wenn das Photovoltaikmodul **4** von einem neueren, leistungsfähigeren Typ als die Photovoltaikmodule **3** ist und eine höhere Nennleistung aufweist.

[0049] **Fig. 5** illustriert, wie mit Hilfe von Kombinationen aus leistungsfähigeren Photovoltaikmodulen **4** mit zugeordneten DC/DC-Wandlern **5**, die gezielt in einem Bereich **20** maximaler Verschattungswahrscheinlichkeit angeordnet sind, die Auswirkungen dieser Verschattung bei einem Photovoltaikgenerator **1** mit drei parallel geschalteten Strings **2**, **2'** und **2''** zumindest teilweise kompensiert werden. Die potentiell höhere Leistung der Kombinationen **4**, **5** gleicht die Leistungsverluste durch die Verschattung zumindest teilweise aus. Soweit die Kennlinie **15** einer Kombination **4**, **5** durch die Verschattung unter

die Kennlinie **16** gerät, kann die Kombination **4, 5** nur noch so angesteuert werden, dass ihre ausgangsseitige Klemmenspannung bei dem durch die Reihenschaltung der Photovoltaikmodule **3, 4** für alle Photovoltaikmodule eines Strings **2, 2'** bzw. **2''** fest vorgegebenen Stroms maximiert wird. Die aus der teilweisen Verschattung resultierende Verstimmung des MPP des gesamten Photovoltaikgenerators **1** bleibt aber auch dann kleiner als wenn der Photovoltaikgenerators **1** nur aus Photovoltaikmodulen **3** zusammengesetzt wäre.

Bezugszeichenliste

| | |
|-------------------|--|
| 1 | Photovoltaikgenerator |
| 2, 2', 2'' | String |
| 3 | Photovoltaikmodul |
| 4, 4' | Photovoltaikmodul |
| 5, 5' | DC/DC-Wandler |
| 4, 5 | Kombination (aus Photovoltaikmodul 4 und DC/DC-Wandler 5) |
| 6 | Wechselrichter |
| 7 | Wechselstromnetz |
| 8 | Steuerung |
| 9 | Temperatursensor |
| 10 | Einstrahlungssensor |
| 11 | Schritt |
| 12 | Schritt |
| 13 | Schritt |
| 14 | Schritt |
| 15 | Kennlinie |
| 16 | Kennlinie |
| 17 | MPP |
| 18 | MPP |
| 19 | Unterschied |
| 20 | Bereich |
| U | Spannung |
| P | Leistung |

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2013/015921 A1 [0008]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Shanghai International Power Electronics Innovation Forum, 21, 2012; <http://download.21dianyuan.com/download.php?id=69241> [0009]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines DC/DC-Wandlers (5), über den ein Photovoltaikmodul (4) mit anderen Photovoltaikmodulen (3) in Reihe geschaltet ist, welche eine andere Kennlinie (16) aufweisen als das eine Photovoltaikmodul (4), **dadurch gekennzeichnet**, dass dann, wenn die von dem einen Photovoltaikmodul (4) potentiell verfügbare Leistung mindestens so groß ist wie die jeweils von den anderen Photovoltaikmodulen (3) aktuell abgegebene Leistung, der DC/DC-Wandler (5) so betrieben wird, dass die Kombination des einen Photovoltaikmoduls (4) mit dem DC/DC-Wandler (5) die gleiche Kennlinie (16) aufweist wie die anderen Photovoltaikmodule (3).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der DC/DC-Wandler (5) so betrieben wird, dass seine ausgangsseitige Klemmenspannung gleich der Klemmenspannung eines der anderen Photovoltaikmodule (3') ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kennlinie (16) der anderen Photovoltaikmodule (3) oder ein ausgleichender Unterschied (19) zwischen der Kennlinie (15) des einen Photovoltaikmoduls (4) und der Kennlinie (16) der anderen Photovoltaikmodule (3) für bestimmte Betriebsbedingungen gespeichert und beim zukünftigen Betreiben des DC/DC-Wandlers (5) verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kennlinie (16) eines der anderen Photovoltaikmodule (3) oder der ausgleichende Unterschied (19) zwischen der Kennlinie (15) des einen Photovoltaikmoduls (4) und der Kennlinie (16) eines der anderen Photovoltaikmodule (3) für die bestimmten Betriebsbedingungen vermessen wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die aktuellen Betriebsbedingungen erfasst werden und die Kennlinie (16) der anderen Photovoltaikmodule (3) oder der ausgleichende Unterschied (19) zwischen der Kennlinie (15) des einen Photovoltaikmoduls (4) und der Kennlinie (16) der anderen Photovoltaikmodule (3) an die aktuellen Betriebsbedingungen angepasst wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die aktuellen Betriebsbedingungen – mit einem Temperaturfühler (9) und mit einem Einstrahlungssensor (10) oder aus einem Kurzschlussstroms des einen Photovoltaikmoduls (4), – durch Erfassen der aktuellen Kennlinie (15) des einen Photovoltaikmoduls (4) oder – durch eine Impedanzmessung an dem einen Photovoltaikmodul (4) erfasst werden.

7. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die aktuelle Kennlinie (16) der anderen Photovoltaikmodule (3) durch eine Impedanzmessung an den anderen Photovoltaikmodulen (3) erfasst wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass dann, wenn die von dem einen Photovoltaikmodul (4) potentiell verfügbare Leistung kleiner ist als die jeweils von den anderen Photovoltaikmodulen (3) aktuell abgegebene Leistung, der DC/DC-Wandler (5) so betrieben wird, dass eine ausgangsseitige Klemmenspannung des DC/DC-Wandlers (5) bei einem von den anderen Photovoltaikmodulen (3) vorgegebenen Strom maximiert wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das eine Photovoltaikmodul (4) von allen in Reihe geschalteten Photovoltaikmodulen (3, 4) in einem Bereich (20) mit maximaler Verschattungswahrscheinlichkeit angeordnet wird.

10. DC/DC-Wandler (5) zum Anschluss eines Photovoltaikmoduls (4) in Reihe mit anderen Photovoltaikmodulen (3), welche eine andere Kennlinie (16) aufweisen als das eine Photovoltaikmodul (4), **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Steuerung (8) des DC/DC-Wandlers (5) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 ausgebildet ist.

11. Photovoltaikgenerator (1) mit einem String (2) von Photovoltaikmodulen, wobei mindestens eines der Photovoltaikmodule (4) eine andere Kennlinie (15) aufweist als die anderen Photovoltaikmodule (3), **dadurch gekennzeichnet**, dass das mindestens eine der Photovoltaikmodule (4) über einen DC/DC-Wandler (5) nach Anspruch 10 angeschlossen ist.

12. Photovoltaikgenerator (1) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mindestens eine der Photovoltaikmodule (4) eine höhere Nennleistung aufweist als die anderen Photovoltaikmodule (3).

13. Photovoltaikgenerator (1) nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der DC/DC-Wandler (5) eine Bypassschaltung aufweist, die optional eine Bypassdiode umfasst.

14. Photovoltaikgenerator (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der DC/DC-Wandler (5) eine Zusatzschaltung aufweist, um das eine Photovoltaikmodul (4) und/oder eines der anderen Photovoltaikmodule (3) vermessen zu können, wobei die Zusatzschaltung optional eine geregelte Stromsenke oder einen geregelten Verbraucher umfasst.

15. Photovoltaikgenerator (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem einem String (2) mindestens ein weiterer String (2', 2'') parallel geschaltet ist, der Photovoltaikmodule (3) mit der gleichen Kennlinie (16) wie die anderen Photovoltaikmodule (3) in dem einem String (2) umfasst.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

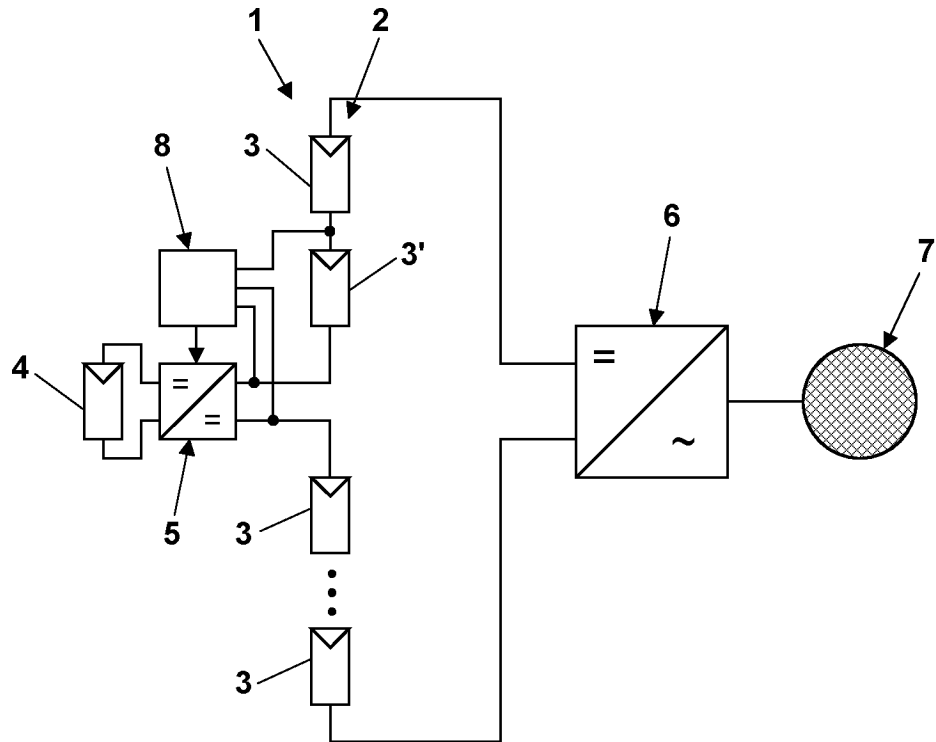


Fig. 1

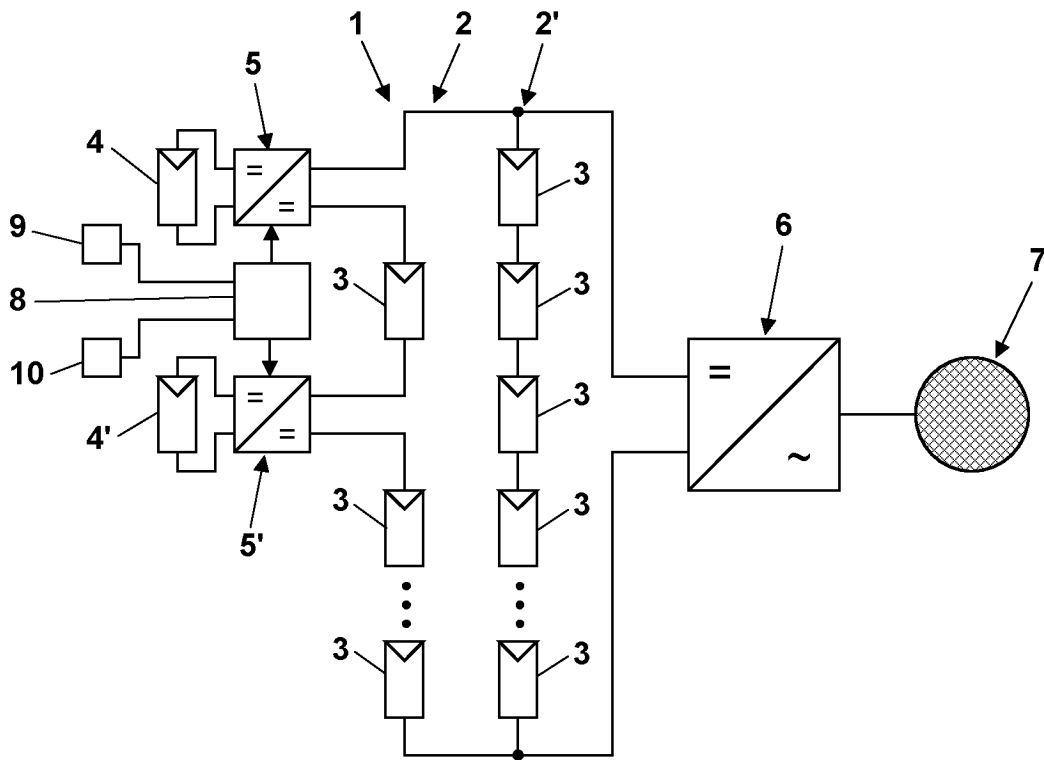


Fig. 2

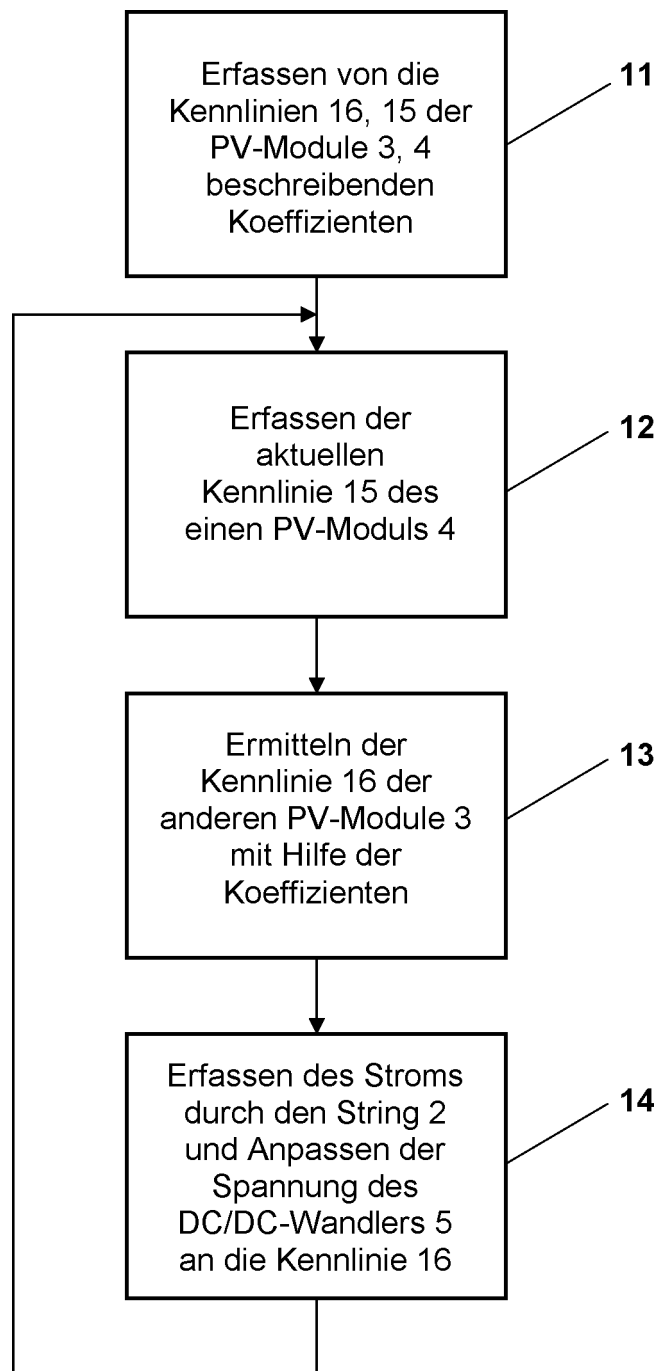


Fig. 3

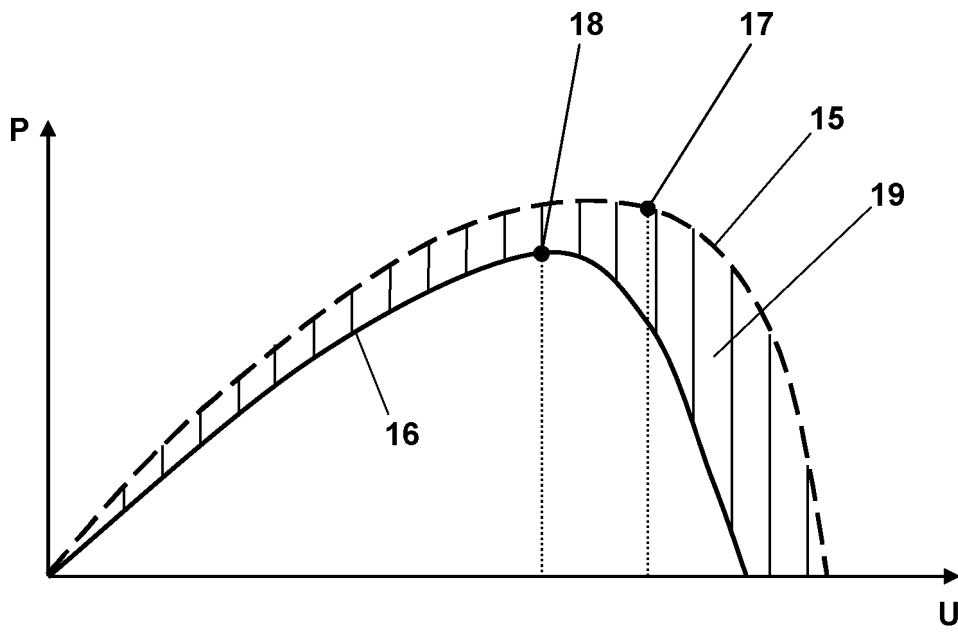


Fig. 4

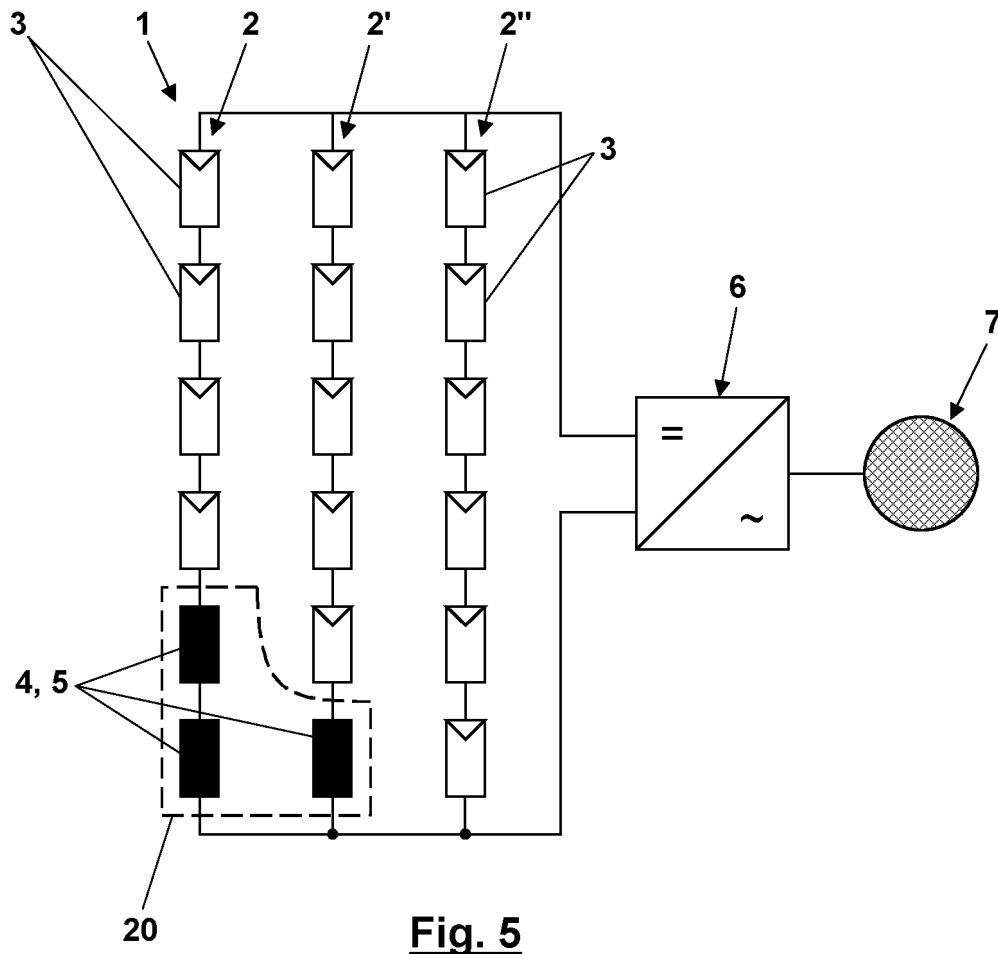


Fig. 5