



(10) **DE 10 2017 102 771 A1** 2018.08.16

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2017 102 771.8**

(22) Anmeldetag: **13.02.2017**

(43) Offenlegungstag: **16.08.2018**

(51) Int Cl.: **H02S 50/00 (2014.01)**

(71) Anmelder:

**SMA SOLAR TECHNOLOGY AG, 34266 Niestetal,
DE**

(72) Erfinder:

**Bettenwort, Gerd, Dr., 34119 Kassel, DE;
Laschinski, Joachim, 34131 Kassel, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2010 038 941	A1
US	2011 / 0 196 543	A1
US	2016 / 0 105 146	A1

Trishan Esum, Patrick L. Chapman:
**Comparison of Photovoltaic Array Maximum
Power Point Tracking Techniques. In: IEEE
TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION,
VOL. 22, JUNE 2007, NO. 2, 439-449.**

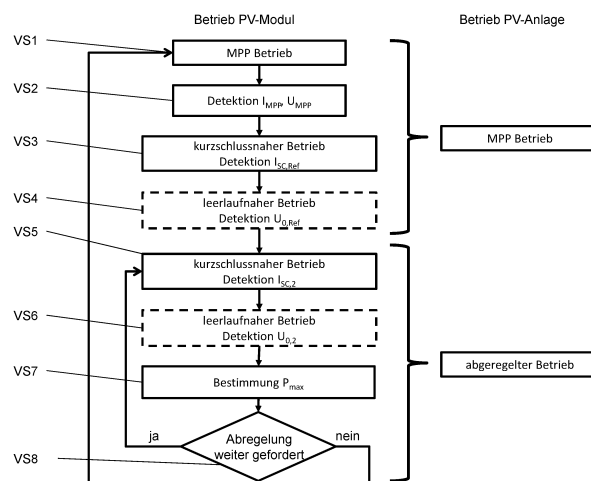
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Bestimmung einer maximal möglichen Leistung einer PV-Anlage und PV-Anlage**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zur Bestimmung einer aktuell maximal möglichen Leistung ($P_{\max}$) einer abgeregelten betriebenen Photovoltaik (PV) - Anlage (1) umfassend einen mindestens einen String (6) aufweisenden PV-Generator (8), wobei der mindestens eine String (6) eine Reihenschaltung von PV-Modulen (5) umfasst, bei der zumindest ein PV-Modul (5) über eine Koppereinheit (2) mit benachbarten PV-Modulen (5) des Strings (6) verbunden ist, einen Wechselrichter (3), der ausgangsseitig mit einem Energieversorgungsnetz (EVN) (4) und eingangsseitig mit dem PV-Generator (8) verbunden ist, eine Steuerung (7, 7.1) zur Steuerung des Wechselrichters (3) und der Koppereinheit (2), wobei die Steuerung (7, 7.1) in Verbindung mit der Koppereinheit (2) ausgelegt ist, während eines Betriebs der PV-Anlage (1) eine Leistungsentnahme des ihr zugeordneten PV-Moduls (5) relativ zu einer Leistungsentnahme der benachbarten PV-Module (5) zu variieren, umfasst die Schritte:

- Bestimmung von Referenzwerten für das der Koppereinheit (2) zugeordnete PV-Modul (5) umfassend eine Referenz-MPP-Leistung ($P_{\text{MPP,Ref}}$) und zumindest eines der Referenz-MPP-Leistung ($P_{\text{MPP,Ref}}$) zugeordneten Wertes aus kurzschlussnahem Referenzstrom ($I_{\text{SC,Ref}}$) und/oder leerlaufnaher Referenzspannung ($U_{0,\text{Ref}}$), sowie
- Betreiben der PV-Anlage (1) in Reaktion auf ein Abregelungssignal in einem abgeregelten Zustand mit einer gegenüber der aktuell maximal möglichen Leistung ($P_{\max}$) der PV-Anlage (1) geringeren Leistung (P). Im abgeregelten Zustand ...



Beschreibung**TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bestimmung einer maximal möglichen Leistung $P_{\max}$ einer abgeregelt betriebenen Photovoltaik (PV) - Anlage. Mit einer abgeregelt betriebenen PV-Anlage ist insbesondere eine an ein Energieversorgungsnetz (EVN) angeschlossene PV-Anlage gemeint, deren Leistung - beispielsweise aufgrund einer expliziten Anforderung des Energieversorgers, oder aufgrund einer oberhalb der Nominalfrequenz herrschenden Frequenz der Wechselspannung in dem EVN - begrenzt wird. In diesem Fall darf die PV-Anlage lediglich einen Teil ihrer maximal möglichen Leistung $P_{\max}$ in das EVN einspeisen. Bei einer derartigen Anforderung kann es vorkommen, dass die erlaubte Leistung als Bruchteil der maximal möglichen Leistung $P_{\max}$ definiert wird. Beispielsweise soll die PV-Anlage auf 70% ihrer aktuell maximal möglichen Leistung $P_{\max}$ abgeregelt werden, wobei diese Anforderung zeitlich nachzuführen ist. Alternativ kann auch gefordert sein, dass die PV-Anlage eine definierte Regelleistung von z.B. 40% relativ zu Ihrer aktuell maximal möglichen Leistung $P_{\max}$ vorhalten soll.

[0002] Um derartige Anforderungen einhalten zu können, ist es erforderlich, auch im abgeregelten Zustand der PV-Anlage deren maximal mögliche Leistung $P_{\max}$ jederzeit zu kennen bzw. zu verfolgen, um bei einer Änderung der maximal möglichen Leistung auch die in das EVN eingespeiste Leistung der PV-Anlage neu justieren zu können.

STAND DER TECHNIK

[0003] Üblicherweise werden zur Bestimmung einer maximal möglichen Leistung $P_{\max}$ einer PV-Anlage separate Einstrahlungssensoren verwendet. Bei den Einstrahlungssensoren handelt es sich um PV-Zellen, die ein zu einer aktuell herrschenden Einstrahlung proportionales Messsignal liefern. Wird eine PV-Anlage mit einem oder mehreren Einstrahlungssensoren versehen, und sind die Sensoren so angeordnet, dass sie die Einstrahlung der PV-Module des PV-Generators repräsentativ erfassen, so kann aus den Messsignalen der Sensoren auf die maximal mögliche Leistung $P_{\max}$ der PV-Anlage geschlossen werden. Bei den Einstrahlungssensoren handelt es sich jedoch um separate Komponenten, die bei der PV-Anlage zusätzlich zu den PV-Modulen vorzuhalten sind. Darüber hinaus unterscheiden sich im Allgemeinen die Zellentypen von Einstrahlungssensor und PV-Modul. Zusätzlich kann auch eine unterschiedliche Einbettung der PV-Zellen zwischen Einstrahlungssensor und PV-Modul vorliegen. Dabei charakterisiert die Einbettung der PV-Zellen die Art und Weise, wie die PV-Zellen in ihrem jeweiligen Gehäuse verbaut sind. Diese Unterschiede bedingen prinzipi-

ell eine unterschiedliche elektrische wie auch thermische Reaktion der PV-Zellen auf eine bestimmte Einstrahlung. Sie erfordern daher eine Kalibrierung der Sensor - Messsignale auf die verwendeten PV-Module, wie auch regelmäßige Kalibrierungsüberprüfungen, was dieses Verfahren - insbesondere für kleinere PV-Anlagen - aufwendig gestaltet.

[0004] Aus der Schrift US 2011 / 0196543 A1 ist ein Verfahren zur Bestimmung einer maximal möglichen Leistung einer abgeregelt betriebenen PV-Anlage bekannt. Hierbei weist die PV-Anlage zumindest zwei separat regelbare Anlagenteile auf. Ein erster Anlagenteil wird dabei ohne Begrenzung der maximal möglichen Leistung betrieben. In einer Ausführungsform eines dort geschilderten Verfahrens wird mit Hilfe der Leistung des ersten Anlagenteils die maximale Leistung der gesamten PV-Anlage abgeschätzt. Ein zweiter Anlagenteil wird derart abgeregelt betrieben, dass die PV-Anlage einer vordefinierten Abregelungsanforderung genügt. Dabei ist es jedoch erforderlich, gewisse Anlagenteile stets ohne Beschränkung ihrer Leistung zu betreiben, was zumindest bei einer insgesamt starken Abregelung der PV-Anlage nachteilig ist.

[0005] Weiterhin ist aus der Schrift DE 10 2010 038 941 A1 ein Verfahren zur Bestimmung der maximal möglichen Leistung einer PV-Anlage mit ein oder mehreren Wechselrichtern bekannt, die über einen Zeitraum gemittelt abgeregelt betrieben wird. Dabei wird der / werden die Wechselrichter der PV-Anlage in dem Zeitraum unterschiedlich betrieben. Aus den unterschiedlichen Betriebsdaten des oder der Wechselrichter wird eine in dem Zeitraum maximal mögliche Einspeisemenge - und damit eine über den Zeitraum gemittelte maximal mögliche Leistung der PV-Anlage bestimmt. Dabei wird innerhalb des Zeitraums jedoch eine zeitliche Fluktuation der eingespeisten Leistung um den Sollwert der reduzierten Leistung toleriert.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Bestimmung einer maximal möglichen Leistung $P_{\max}$ einer abgeregelt, d.h. mit reduzierter Leistung, betriebenen PV-Anlage aufzuzeigen, dass eine möglichst geringe Fluktuation einer eingespeisten Leistung um den Sollwert der reduzierten Leistung aufweist und gleichzeitig eine möglichst starke Abregelung der PV-Anlage erlaubt. Dabei soll das Verfahren möglichst einfach und kostengünstig umsetzbar sein. Der Erfindung liegt weiterhin die Aufgabe zugrunde, eine PV-Anlage mit einem derartigen Verfahren aufzuzeigen.

LÖSUNG

[0007] Die Aufgabe der Erfindung wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1 gelöst. Die abhängigen Patentansprüche 2 bis 10 sind auf bevorzugte Ausführungsformen des Verfahrens gerichtet. Der nebengeordnete Patentanspruch 11 zielt auf eine Photovoltaik (PV)-Anlage zur Durchführung des Verfahrens. Die abhängigen Patentansprüche 12 bis 15 sind auf bevorzugte Ausführungsformen der PV-Anlage gerichtet.

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0008] Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Bestimmung einer aktuell maximal möglichen Leistung $P_{\max}$ einer abgeregelt betriebenen Photovoltaik (PV) - Anlage umfasst die PV-Anlage einen PV-Generator mit mindestens einem String. Dabei umfasst der mindestens eine String eine Reihenschaltung von PV-Modulen, bei der zumindest ein PV-Modul über eine Koppereinheit mit benachbarten PV-Modulen des Strings verbunden ist. Die PV-Anlage umfasst weiterhin einen Wechselrichter, der ausgangsseitig mit einem Energieversorgungsnetz (EVN) und eingangsseitig mit dem PV-Generator verbunden ist, sowie eine Steuerung zur Steuerung des Wechselrichters und der Koppereinheit. Dabei ist die Steuerung in Verbindung mit der Koppereinheit ausgelegt, während eines Betriebs der PV-Anlage eine Leistungsentnahme des ihr zugeordneten PV-Moduls relativ zu einer Leistungsentnahme der benachbarten PV-Module zu variieren. Das Verfahren umfasst die Schritte:

- Bestimmung von Referenzwerten für das der Koppereinheit zugeordnete PV-Modul umfassend eine Referenz-MPP-Leistung $P_{\text{MPP,Ref}}$ und zumindest eines der Referenz-MPP-Leistung $P_{\text{MPP,Ref}}$ zugeordneten Wertes aus kurzschlussnahem Referenzstrom $I_{\text{SC,Ref}}$ und/oder leerlaufnaher Referenzspannung $U_{0,\text{Ref}}$,
- Betreiben der PV-Anlage in Reaktion auf ein Abregelungssignal in einem abgeregelten Zustand mit einer gegenüber der aktuell maximal möglichen Leistung der PV-Anlage geringeren Leistung P . Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass
- im abgeregelten Zustand der PV-Anlage für das der Koppereinheit zugeordnete PV-Modul
- ein einen kurzschlussnahen Betriebsmodus kennzeichnender zweiter Stromwert $I_{\text{SC}, 2}$ bestimmt wird, und/oder
- ein einen leerlaufnahen Betriebsmodus kennzeichnender zweiter Spannungswert $U_{0,2}$ bestimmt wird, und
- wobei die aktuell maximal mögliche Leistung $P_{\max}$ im abgeregelten Zustand der PV-Anlage aus

- dem zweiten Stromwert $I_{\text{SC},2}$, dem kurzschlussnahen Referenzstrom $I_{\text{SC,Ref}}$ und der Referenz-MPP-Leistung $P_{\text{MPP,Ref}}$ oder

- dem zweiten Spannungswert $U_{0,2}$, der leerlaufnahen Referenzspannung $U_{0,\text{Ref}}$ und der Referenz-MPP-Leistung $P_{\text{MPP,Ref}}$ oder

- einer Kombination aus zweitem Stromwert $I_{\text{SC},2}$, kurzschlussnahem Referenzstrom $I_{\text{SC,Ref}}$, zweitem Spannungswert $U_{0,2}$, leerlaufnaher Referenzspannung $U_{0,\text{Ref}}$ und der Referenz-MPP Leistung $P_{\text{MPP,Ref}}$

bestimmt wird.

[0009] Ein Wert des kurzschlussnahen Referenzstromes $I_{\text{SC,Ref}}$ bzw. der leerlaufnahen Referenzspannung $U_{0,\text{Ref}}$ ist der Referenz-MPP-Leistung $P_{\text{MPP,Ref}}$ dann zugeordnet, wenn eine Bestimmung der Werte so zeitnah zueinander erfolgt, dass eine Veränderung der Einstrahlung auf, oder einer Temperatur des PV-Moduls während der Dauer der verschiedenen Messungen vernachlässigt werden kann, mit anderen Worten, wenn sich also eine Strom-Spannungs (IU)-Kennlinie des PV-Moduls während der Bestimmung der Referenzwerte nicht - zumindest nicht signifikant - geändert hat.

[0010] Gemäß der Erfindung wird das über die Koppereinheit an den String angebundene PV-Modul als Sensor zur Bestimmung der maximal möglichen Leistung $P_{\max}$ des PV-Generators bzw. der PV-Anlage genutzt. Hierbei wird das betroffene PV-Modul lediglich zur Bestimmung der Referenzwerte - und dort gegebenenfalls lediglich kurzzeitig - in dessen Maximum-Power-Point (MPP) versetzt. Das kann, muss aber nicht im abgeregelten Betrieb der PV-Anlage erfolgen. Unter kurzzeitig ist im Sinne der Erfindung ein Zeitraum zu verstehen, der ausreichend lang ist, einen den jeweiligen Betriebsmodus kennzeichnenden Strom- und/oder Spannungswert zu bestimmen. Dieser Zeitraum ist üblicherweise kleiner, als eine Verweildauer bei einer bestimmten Spannung des PV-Generators während eines Schrittes innerhalb eines MPP-Tracking Verfahrens. Insbesondere ist unter kurzzeitig ein Zeitraum zu verstehen, der kleiner als 5 sec, besonders bevorzugt kleiner als 1 sec ist.

[0011] Die weiteren Messungen hingegen - beispielsweise die Bestimmung des zweiten Stromwertes $I_{\text{SC},2}$ und/oder des zweiten Spannungswertes $U_{0,2}$ - erfolgen im kurzschlussnahen und/oder leerlaufnahen Betriebsmodus des PV-Moduls und sind daher mit lediglich geringer Leistungsentnahme des PV-Moduls verbunden. Gegebenenfalls kann das PV-Modul während dieser Messungen über die Koppereinheit sogar von den benachbarten PV-Modulen des Strings abgetrennt werden, so dass quasi keine Leistung aus dem PV-Modul entnommen und an den String abgegeben wird. Daher ist es nicht erforder-

lich, im abgeregelten Zustand einen Teil der PV-Anlage im MPP zu betreiben und aufgrund dessen auch möglich, die PV-Anlage extrem stark abzuregeln. Dabei bleibt selbst im stark abgeregelten Zustand die maximal mögliche Leistung $P_{\max}$ der PV-Anlage stets leicht bestimmbar. Für den Fall, dass lediglich ein PV-Modul des PV-Generators über eine Koppereinheit an benachbarte PV-Module des zumindest einen Strings angebunden ist, kann die maximal mögliche Leistung $P_{\max}$ anhand einer der folgenden Gleichungen berechnet werden

$$P_{\max} = N \frac{I_{SC,2}}{I_{SC,Ref}} P_{MPP,Ref} \quad (\text{Gl. 1a})$$

$$P_{\max} = N \frac{U_{0,2}}{U_{0,Ref}} P_{MPP,Ref} \quad (\text{Gl. 1b})$$

$$P_{\max} = N \frac{I_{SC,2}}{I_{SC,Ref}} \frac{U_{0,2}}{U_{0,Ref}} P_{MPP,Ref} \quad (\text{Gl. 1c})$$

, je nachdem, ob die Bestimmung unter Berücksichtigung des zweiten Stromwertes $I_{SC,2}$ (Gl. 1a), des zweiten Spannungswertes $U_{0,2}$ (Gl. 1b), oder einer Kombination aus zweitem Stromwert $I_{SC,2}$ und zweitem Spannungswert $U_{0,2}$ erfolgt (Gl. 1c). Bei der Bestimmung der maximal möglichen Leistung $P_{\max}$ nach einer der Gleichungen (Gl. 1a - Gl. 1c) handelt es sich jeweils um eine Abschätzung der maximal möglichen Leistung $P_{\max}$, die, je nachdem, welche der Gleichungen (Gl. 1a - Gl. 1c) herangezogen wird, leicht unterschiedliche Werte für die maximal mögliche Leistung $P_{\max}$ liefern kann. Dabei ist oftmals eine Bestimmung nach Gleichung G. 1c relativ zu einer Bestimmung nach einer der Gleichungen (Gl. 1a) und (Gl. 1b) genauer an dem tatsächlichen Wert der maximal möglichen Leistung, da gemäß Gl. 1c sowohl eine Einstrahlungs- als auch eine Temperaturabhängigkeit berücksichtigt wird. Dabei bezeichnet N die Anzahl der PV-Module innerhalb des PV-Generators. Sofern in dem PV-Generator mehrere PV-Module über Koppereinheiten vorgesehen sind, die jeweils für eine Anzahl n_i der insgesamt vorhandenen PV-Module N als repräsentativ gelten, ergibt sich die maximal mögliche Leistung $P_{\max}$ der PV-Anlage aus einer - gegebenenfalls gewichteten - Mittelung der verschiedenen Messungen. Dabei orientiert sich die Gewichtung einer einzelnen Messung i daran, wie viel PV-Module n_i diese Messung repräsentiert bzw. an dem Verhältnis n_i/N .

[0012] Da die Leistungsentnahme zur Bestimmung des zweiten Stromwertes $I_{SC,2}$ und/oder des zweiten Spannungswertes $U_{0,2}$ selbst gering ist, und zudem nur an einem bzw. einzelnen PV-Modulen des PV-Generators erfolgt, ist eine zeitliche Fluktuation

der Leistung der PV-Anlage ebenfalls gering und kann sogar bei Abtrennung des PV-Moduls während der Bestimmung ganz verschwinden. Üblicherweise ist das der Koppereinheit zugeordnete PV-Modul vom gleichen Typ und weist auch die gleiche Einbettung der PV-Zellen auf, wie die restlichen PV-Module des PV-Generators. Daher verhält es sich bei gleichen Umgebungsbedingungen auch so wie die restlichen PV-Module und altert insbesondere auch in gleicher Weise. Somit erübrigen sich sowohl anfängliche Kalibrierungen, wie auch regelmäßige Nachkalibrierungen, wie sie bei Verwendung von Einstrahlungssensoren zur Bestimmung einer maximal möglichen Leistung $P_{\max}$ der PV-Anlage notwendig wären. Es erübrigen sich ebenfalls die Kosten zur Anschaffung von separaten Einstrahlungssensoren, da deren Funktion durch das ohnehin vorhandene zumindest eine PV-Modul in Verbindung mit der Koppereinheit übernommen wird. Dabei kann die Koppereinheit relativ kostengünstig ausgeführt werden, insbesondere dann, wenn sie als Freischalteinheit des PV-Moduls ausgelegt ist, so dass in Summe immer noch ein Kostenvorteil resultiert. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn entsprechende Freischalteinheiten für PV-Module, beispielsweise aufgrund separater Bestimmungen für PV-Anlagen, ohnehin gefordert sind. Sofern die PV-Module des PV-Generators gleich ausgerichtet und gleichen Umgebungsbedingungen unterworfen sind, ist es ausreichend, lediglich ein PV-Modul über eine Koppereinheit an die restlichen PV-Module des Strings anzubinden. Bei inhomogenen Umgebungsbedingungen innerhalb des PV-Generators bzw. unterschiedlicher Ausrichtung der PV-Module empfiehlt es sich jedoch, mehrere PV-Module mit Koppereinheiten vorzusehen und diese innerhalb des PV-Generators repräsentativ zu verteilen.

[0013] In einer Ausführungsform werden die Referenzwerte über ein Abtasten der IU-Kennlinie - i.e. einen sogenannten Kennlinien-Sweep der IU-Kennlinie - oder über ein sequentielles, zumindest kurzzeitiges Versetzen des der Koppereinheit zugeordneten PV-Moduls in die entsprechenden Betriebsmodi aus kurzschlussnahem, leerlaufnahem und MPP-Betriebsmodus erzeugt.

[0014] Gleiches gilt so auch für die Bestimmung des zweiten Stromwertes $I_{SC,2}$ und des zweiten Spannungswertes $U_{0,2}$. Alternativ dazu kann das PV-Modul zur Bestimmung des zweiten Stromwertes $I_{SC,2}$ und/oder des zweiten Spannungswertes $U_{0,2}$ aber auch über einen längeren Zeitraum in den entsprechenden Betriebsmodi bzw. dem entsprechenden Betriebsmodus betrieben werden. In einer vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens wird das der Koppereinheit zugeordnete PV-Modul dauerhaft in dem jeweiligen Betriebsmodus aus kurzschlussnahem und leerlaufnahem Betriebsmodus betrieben, und es wird optional lediglich kurzzeitig in den jeweils

anderen Betriebsmodus aus leerlaufnahm und kurzschlussnahem Betriebsmodus gewechselt.

[0015] In einer vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens wird bei einer Bestimmung der leerlaufnahen Referenzspannung $U_{0,Ref}$ und/oder des zweiten Spannungswertes $U_{0,2}$ ein Strom der benachbarten PV-Module über einen Bypasspfad der Koppereinheit an dem der Koppereinheit zugeordneten PV-Modul vorbeigeleitet wird. Ein derartiger Bypasspfad kann z.B. über eine Diode oder einen ansteuerbaren Halbleiterschalter der Koppereinheit gebildet werden, der parallel zu Ausgangsanschlüssen der Koppereinheit verschaltet ist. Hierdurch wird verhindert, dass dann, wenn das PV-Modul in den leerlaufnahen Betriebsmodus versetzt wird oder von den benachbarten PV-Modulen des Strings abgetrennt wird, auch der Strom im String eine zwingende Abnahme erfährt.

[0016] In einer Variante des Verfahrens werden im abgeregelten Zustand der PV-Anlage wiederholt und zu aufeinanderfolgenden Zeiten für das der Koppereinheit zugeordnete PV-Modul den kurzschlussnahen Betriebsmodus kennzeichnende zweite Stromwerte $I_{SC,2}$ und/oder den leerlaufnahen Betriebsmodus kennzeichnende zweite Spannungswerte $U_{0,2}$ ermittelt. Dabei wird die aktuell maximal mögliche Leistung P_{max} aus den jeweils zuletzt bestimmten Größen aus zweitem Stromwert $I_{SC,2}$ und/oder zweitem Spannungswert $U_{0,2}$ bestimmt. Bei der Bestimmung werden vorteilhafterweise jeweils auch die zuletzt bestimmten Referenzwerte aus Referenz-MPP-Leistung $P_{MPP,Ref}$, kurzschlussnahem Referenzstrom $I_{SC,Ref}$ und/oder leerlaufnaher Referenzspannung $U_{0,Ref}$ berücksichtigt. Auf diese Weise wird im abgeregelten Zustand eine zeitliche Änderung der maximal möglichen Leistung P_{max} der PV-Anlage verfolgt.

[0017] In einer vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens ist bei der Bestimmung des zweiten Stromwertes $I_{SC,2}$ und/oder des zweiten Spannungswertes $U_{0,2}$ zumindest ein innerhalb einer Verbindungsleitung der Koppereinheit angeordneter Schalter dauerhaft geöffnet. Über den innerhalb der Verbindungsleitung angeordneten dauerhaft geöffneten Schalter kann das PV-Modul von den benachbarten PV-Modulen des Strings abgetrennt werden. Ein Wechsel von einem kurzschlussnahen in den leerlaufnahen Betriebsmodus des PV-Moduls, wie auch in die andere Richtung kann somit bei abgetrenntem PV-Modul und somit ohne eine dadurch verursachte Leistungsänderung des PV-Generators erfolgen. Ein in dem String fließender durch die benachbarten PV-Module getriebener Strom kann in diesem Fall über den Bypasspfad der Koppereinheit an dem PV-Modul vorbeifließen.

[0018] Prinzipiell kann eine Bestimmung der Referenzwerte auch im abgeregelten Zustand der PV-

Anlage erfolgen. Vorteilhafter Weise erfolgt eine Bestimmung der Referenzwerte für das der Koppereinheit zugeordnete PV-Modul jedoch dann, wenn auch die PV-Anlage bei maximaler Leistung P_{max} betrieben wird. Hierdurch wird verhindert, dass im abgeregelten Zustand der PV-Anlage einzelne Teile der PV-Anlage - wenn auch nur kurzzeitig - in den MPP Zustand versetzt werden. Dabei wird in einer Ausführungsform die Bestimmung der Referenzwerte für das der Koppereinheit zugeordnete PV-Modul bei einem aktivierten MPP-Tracking des Strings durchgeführt. Die Bestimmung ist daher mit einer Veränderung der Spannung des Strings verbunden. Alternativ dazu kann jedoch auch das MPP Tracking des PV-Generators - welches beispielsweise über den Wechselrichter erfolgt - bei der Bestimmung der Referenzwerte deaktiviert werden. In diesem Fall erfolgt ein Wechsel in den kurzschlussnahen Betriebsmodus und/oder in den leerlaufnahen Betriebsmodus ohne eine Veränderung der Spannung des Strings.

[0019] Um die PV-Anlage auf Anforderung möglichst rasch abregeln und auch wieder aufregeln zu können, wird vorteilhafterweise ein Großteil des PV-Generators in Richtung des Leerlaufs abgeregelt, da dort ein Gradient der Leistungs-Spannungs (PU) - Kennlinie größer ist, als im kurzschlussnahen Bereich der PU-Kennlinie. Daher kann die PV-Anlage rascher und mit größerer Dynamik auf eine Anforderung zur Änderung der eingespeisten Leistung reagieren. Somit werden im abgeregelten Zustand der PV-Anlage diejenigen PV-Module des Strings, denen keine Koppereinheit zugeordnet ist, in Leerlaufrichtung abgeregelt betrieben. Im Gegensatz dazu ist es vorteilhaft, das der Koppereinheit zugeordnete PV-Modul - zumindest für den Großteil der Zeit - in den kurzschlussnahen Betriebsmodus zu versetzen. Prinzipiell ist jedoch auch eine Abregelung des PV-Generators in Kurzschlussrichtung möglich, bei der dann das der Koppereinheit zugeordnete PV-Modul vorteilhafter Weise und zumindest für den Großteil der Zeit im leerlaufnahen Betriebsmodus betrieben wird.

[0020] Eine erfindungsgemäße Photovoltaik (PV) - Anlage umfasst:

- einen Photovoltaik (PV) - Generator mit zumindest einem String, der eine Reihenschaltung von PV-Modulen beinhaltet und bei dem zumindest ein PV-Modul über eine Koppereinheit mit benachbarten PV-Modulen des Strings verbunden ist,
- einen Wechselrichter, der eingangsseitig mit dem PV-Generator und ausgangsseitig mit einem Energieversorgungsnetz (EVN) verbunden ist, und

- eine Steuerung zur Steuerung des Wechselrichters und der Kopeleinheit. Dabei ist die PV-Anlage - insbesondere deren Steuerung - zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgelegt.

[0021] Bei der Steuerung der PV-Anlage kann es sich um eine einzelne zentrale Steuerung handeln, sie kann jedoch auch mehrere operativ miteinander verbundene Steuerungseinheiten aufweisen, von denen eine Steuerungseinheit als übergeordnete Steuerung agiert. Dabei können die Steuerungseinheiten unterschiedlichen Komponenten der PV-Anlage zugeordnet und auch innerhalb dieser lokalisiert sein. Beispielsweise kann eine Steuerungseinheit in der Kopeleinheit, eine andere übergeordnete Steuerungseinheit in dem Wechselrichter oder - sofern die PV-Anlage mehrere Wechselrichter aufweist - in einem einer Mehrzahl von Wechselrichtern der PV-Anlage angeordnet sein. Zur Auswertung der Mess- und Betriebsdaten kann die Steuerung eine separate Auswerteeinheit aufweisen. Alternativ dazu kann die Steuerung aber auch selbst als Auswerteeinheit operieren. Es ergeben sich die bereits in Verbindung mit dem Verfahren erwähnten Vorteile.

[0022] In einer Ausführungsform der PV-Anlage umfasst die Kopeleinheit

- zwei Eingangsanschlüsse zum Anschluss des ihr zugeordneten PV-Moduls,
- zwei mit den Eingangsanschlüssen über Verbindungsleitungen elektrisch verbundene Ausgangsanschlüsse zum Anschluss an die Reihenschaltung, und
- einen Stromsensor zur Detektion eines Eingangsstroms I_{ein} und/oder einen Spannungssensor zur Detektion einer Eingangsspannung U_{ein} . Über den Strom- und den Spannungssensor ist die Kopeleinheit in der Lage, an dem eingangsseitig angeschlossenen PV-Modul den zweiten Stromwert $I_{\text{SC},2}$ als Eingangsstrom I_{ein} bzw. den zweiten Spannungswert $U_{0,2}$ als Eingangsspannung U_{ein} zu bestimmen. Hierzu wird das PV-Modul zuvor oder zum Zeitpunkt der Bestimmung dieser Größen von der Kopeleinheit in Verbindung mit der Steuerung - zumindest kurzzeitig - in den jeweils gewünschten Betriebsmodus versetzt. Zu diesem Zweck weist die Kopeleinheit der PV-Anlage vorteilhafterweise zumindest einen zwischen den Verbindungsleitungen angeordneten und über die Steuerung ansteuerbaren Schalter zum Kurzschließen des an die Kopeleinheit angeschlossenen PV-Moduls auf. Alternativ oder kumulativ dazu weist die Kopeleinheit zumindest einen innerhalb einer der Verbindungsleitungen angeordneten und über die Steuerung ansteuerbaren Schalter auf, der ausgelegt ist, einen Eingangsanschluss mit dem ihm zugeordneten Ausgangsanschluss zu verbinden

oder voneinander zu trennen. Prinzipiell können die Schalter durch elektromagnetische Schalter gebildet werden. Vorteilhafterweise werden sie jedoch durch Halbleiterschalter - besonders bevorzugt durch MOSFET's - gebildet.

[0023] In einer Ausführungsform der PV-Anlage weist die Kopeleinheit einen DC/DC-Wandler, insbesondere einen Hochsetzsteller, einen Tiefsetzsteller, oder einen kombinierten Hoch-Tiefsetzsteller auf. Sie ist somit aufgrund einer Induktivität des DC/DC-Wandlers in der Lage, über eine geeignete Ansteuerung ihrer Schalter eine an den Eingangsanschlüssen anliegende Eingangsspannung U_{ein} in eine an den Ausgangsanschlüssen anliegende Ausgangsspannung U_{aus} zu wandeln. Dabei kann über ein Tastverhältnis der Taktung innerhalb gewisser Grenzen ein beliebiges Wandlungsverhältnis $U_{\text{aus}} / U_{\text{ein}}$ von Ausgangs- zu Eingangsspannung eingestellt werden. Dies ermöglicht eine fein abgestufte Einstellung der Eingangsspannung U_{ein} , wie sie z.B. bei der Durchführung eines Kennlinien-Sweeps der IU-Kennlinie für das der Kopeleinheit zugeordnete PV-Modul erforderlich ist. In einer alternativen Ausführungsform weist die Kopeleinheit eine sogenannte Freischalteinheit für das eingangsseitig angeschlossene PV-Modul auf. Hierbei ist keine DC/DC-Wandlung mit beliebig einstellbarem Wandlungsverhältnis und daher auch keine Induktivität des DC/DC-Wandlers erforderlich. Vielmehr ist die Kopeleinheit als Freischalteinheit insbesondere in der Lage, das ihr zugeordnete PV-Modul durch eine niederimpedante Verbindung der Eingangsanschlüsse miteinander kurzzuschließen, oder durch eine Auftrennung einer ansonsten geschlossenen Verbindung zwischen Eingangs- und Ausgangsanschlüssen der Kopeleinheit von den benachbarten PV-Modulen zu trennen. Die Freischaltung kann also über Abtrennung und/oder Kurzschluss erfolgen, weswegen auch die als Freischalteinheit ausgelegte Kopeleinheit das ihr zugeordnete PV-Modul entsprechend in den kurzschlussnahen und/oder in den leerlaufnahen Betriebsmodus versetzen kann. Für eine DC/DC-Wandlung im eigentlichen Sinne fehlt jedoch die dem DC/DC-Wandler zugeordnete Induktivität. Auch eine Eingangs- und/oder Ausgangskapazität ist für eine Freischalteinheit nicht zwingend erforderlich. Daher ist die als Freischalteinheit ausgelegte Kopeleinheit auch besonders kostengünstig herstellbar. Unabhängig von ihrer Auslegung als DC/DC-Wandler oder aber als Freischalteinheit kann die Kopeleinheit eine Kommunikationseinheit aufweisen. Über die Kommunikationseinheit kann die Kopeleinheit Mess- und Betriebsdaten an eine übergeordnete Steuerung kommunizieren. Gleichfalls kann auch eine der Kopeleinheit zugeordnete Steuerungseinheit Befehle und/oder Anweisungen einer übergeordneten Steuerung, beispielsweise einer in einem Wechselrichter angeordneten übergeordneten Steuerung, empfangen. Besonders bevorzugte Beispiele für eine als Frei-

schalteinheit ausgelegte Koppereinheit werden in den **Fig. 3a** und **Fig. 3b** erläutert, während die **Fig. 4a** und **Fig. 4b** Varianten einer als DC/DC-Wandler ausgelegten Koppereinheit illustrieren.

Figurenliste

[0024] Im Folgenden wird die Erfindung anhand in den Figuren dargestellter bevorzugter Ausführungsbeispiele weiter erläutert und beschrieben.

Fig. 1 zeigt eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Photovoltaik (PV)-Anlage zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens; und

Fig. 2 zeigt ein Flussdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens

Fig. 3a zeigt eine erste Ausführungsform einer Koppereinheit für ein Photovoltaik (PV)-Modul zur Durchführung des Verfahrens

Fig. 3b zeigt eine zweite Ausführungsform einer Koppereinheit für ein PV-Modul zur Durchführung des Verfahrens

Fig. 4a zeigt eine dritte Ausführungsform einer Koppereinheit für ein PV-Modul zur Durchführung des Verfahrens

Fig. 4b zeigt eine vierte Ausführungsform einer Koppereinheit für ein PV-Modul zur Durchführung des Verfahrens

FIGURENBESCHREIBUNG

[0025] In **Fig. 1** ist eine Ausführungsform einer Photovoltaik (PV) - Anlage **1** zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. Die PV-Anlage **1** umfasst einen dreiphasigen Wechselrichter **3** der ausgangsseitig an ein Energieversorgungsnetz (EVN) **4** angeschlossen ist. An einen DC-Eingang des Wechselrichters **3** ist ein PV-Generator **8** in Form zweier parallel zueinander geschalteter Strings **6** angeschlossen. Jeder String **6** weist eine Reihenschaltung von mehreren (hier: exemplarisch drei) PV-Modulen **5** auf. Bei einem String **6** ist eines der PV-Module **5** über eine Koppereinheit **2** an die benachbarten PV-Module **5** des Strings **6** angeschlossen. Sowohl der Wechselrichter **3** als auch die Koppereinheit **2** werden über eine zentrale Steuerung **7** gesteuert. Die Steuerung **7** ist dazu eingerichtet, Mess- und Betriebsdaten der Koppereinheit **2** - beispielsweise Strom I_{Mod} , Spannung U_{Mod} des zugeordneten PV-Moduls **5** - und des Wechselrichters **3** - z.B. Strom I_{Gen} , Spannung U_{Gen} des PV-Generators **8** - über geeignete Sensoren des Wechselrichters **3** bzw. der Koppereinheit **2** (in **Fig. 1** jeweils über ein Messgerätesymbol schematisch dargestellt) zu ermitteln. Die Mess- und Betriebsdaten werden von einer mit der Steuerung **7** operativ verbundenen Auswerteeinheit **9** analysiert und ausgewertet. Weiterhin ist die

Steuerung **7** ausgelegt, den Betrieb der Koppereinheit **2** wie auch des Wechselrichters **3** in Abhängigkeit der ausgewerteten Mess- und Betriebsdaten zu steuern. Die operative und ggf. kommunikative Verbindung der Steuerung **7** mit der Koppereinheit **2**, dem Wechselrichter **3** und der Auswerteeinheit **9** ist in **Fig. 1** schematisch durch die gestrichelten Linien dargestellt.

[0026] Im Betrieb der PV-Anlage **1** ermittelt die Steuerung **7** zu aufeinanderfolgenden Zeitpunkten Strom I_{Gen} und Spannung U_{Gen} des PV-Generators **8** als Mess- und Betriebsdaten des Wechselrichters **3**. Zusätzlich ermittelt die Steuerung **7** Strom I_{Mod} und Spannung U_{Mod} als entsprechende elektrische Mess- und Betriebsdaten des ausgewählten PV-Moduls **5**, das über die Koppereinheit **2** mit den benachbarten PV-Modulen **5** des Strings **6** verbunden ist. Die mit der Steuerung **7** verbundene Auswerteeinheit **9** berechnet hieraus eine dem PV-Generator **8** entnommene elektrische Leistung $P_{Gen} = I_{Gen} \cdot U_{Gen}$, die bis auf Umwandlungsverluste im Wechselrichter **3** der in das EVN **4** eingespeisten elektrischen Leistung P der PV-Anlage **1** entspricht. In entsprechender Weise wird aus den Mess- und Betriebsdaten I_{Mod} , U_{Mod} des PV-Moduls **5** gemäß $P_{Mod} = U_{Mod} \cdot I_{Mod}$ eine dem PV-Modul **5** entnommene elektrische Leistung P_{Mod} berechnet. Zu bestimmten Zeiten wird das an die Koppereinheit **2** angeschlossene PV-Modul **5** über die Steuerung **7** zumindest kurzzeitig in einen kurzschlussnahen und/oder einen leerlaufnahen Betriebsmodus versetzt, bei denen von der Steuerung **7** ein den kurzschlussnahen Betriebsmodus kennzeichnender zweiter Stromwert $I_{sc,2}$ bzw. ein den leerlaufnahen Betriebsmodus kennzeichnender zweiter Spannungswert $U_{0,2}$ als Mess- und Betriebsdaten des der Koppereinheit **2** zugeordneten PV-Moduls **5** ermittelt werden. Über den zweiten Stromwert $I_{sc,2}$ und/oder den zweiten Spannungswert $U_{0,2}$ in Verbindung mit zuvor bestimmten Referenzwerten des PV-Moduls **5** wird von der Auswerteeinheit **9** eine maximal mögliche Leistung des PV-Moduls **5** - und darüber eine maximal mögliche Leistung P_{max} des PV-Generators **8** bzw. der PV-Anlage **1** - im abgeregelten Zustand der PV-Anlage **1** bestimmt und der Steuerung **7** übermittelt. Die Steuerung **7** justiert unter Berücksichtigung der maximal möglichen Leistung P_{max} gegebenenfalls eine in das EVN **4** eingespeiste reduzierte elektrische Leistung P nach, um die PV-Anlage **1** auf einen definierten Prozentsatz der maximal möglichen Leistung P_{max} abzuregeln. Das Verfahren wird detailliert in Verbindung mit dem Flussdiagramm in **Fig. 2** erläutert.

[0027] In **Fig. 1** ist exemplarisch ein dreiphasiger Wechselrichter **3** dargestellt. Die erfindungsgemäße PV-Anlage **1** kann jedoch auch einen Wechselrichter **3** aufweisen, dessen Ausgang mit einer anderen Anzahl an Phasenleitern -beispielsweise mit lediglich einem Phasenleiter - mit dem EVN **4** verbunden ist.

Bei dem dargestellten Wechselrichter **3** handelt es sich um einen einstufigen Wechselrichter. Alternativ kann der Wechselrichter jedoch auch mehrstufig ausgebildet sein und beispielsweise einen dem DC/AC-Wandler vorgeschalteten DC/DC-Wandler umfassen. Weiterhin kann die PV-Anlage **1** alternativ auch mehrere Koppereinheiten **2** aufweisen, über die jeweils ein PV-Modul **5** an benachbarte PV-Module **5** des entsprechenden Strings **6** angebunden ist. Die Anzahl der Koppereinheiten **2** ist abhängig davon, wie homogen eine Einstrahlung über den gesamten PV-Generator **8** verteilt ist.

[0028] Fig. 2 zeigt ein Flussdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens am Beispiel der PV-Anlage **1** - abgesehen von dem der Koppereinheit **2** zugeordneten PV-Modul **5** - während der Verfahrensschritte VS1 - VS4 durchgängig in einem MPP-Betrieb, bei dem eine maximal mögliche Leistung $P_{\max}$ der PV-Anlage **1** in das EVN **4** eingespeist wird. Während der Schritte VS5 - VS8 wird die PV-Anlage **1**, beispielsweise aufgrund einer externen Anforderung - abgeregelt betrieben. Hier wird lediglich eine gegenüber der maximal möglichen Leistung $P_{\max}$ reduzierte Leistung P der PV-Anlage **1** in das EVN **4** eingespeist.

[0029] In einem ersten Schritt VS1 wird zunächst das der Koppereinheit **2** zugeordnete PV-Modul **5** über die Steuerung **7** in einen MPP-Betriebsmodus versetzt, sofern es sich nicht ohnehin schon in dem MPP-Betriebsmodus befindet. In einem zweiten Schritt VS2 werden den MPP-Betriebsmodus charakterisierende Werte von Strom I_{MPP} und Spannung U_{MPP} bestimmt und hieraus eine Referenz-MPP-Leistung $P_{MPP,Ref}$ des PV-Moduls **5** berechnet. Zeitnah zum Schritt VS2 wird in einem Schritt VS3 das PV-Modul **5** zumindest kurzzeitig in einen kurzschlussnahen Betriebsmodus versetzt und ein diesen Betriebsmodus kennzeichnender kurzschlussnaher Referenzstrom $I_{SC,Ref}$ bestimmt. Es folgt nun ebenfalls zeitnah zu dem dritten VS3 und dem zweiten Schritt VS2 ein optionaler vierter Schritt VS4, bei dem das PV-Modul **5** zumindest kurzzeitig in einen leerlaufnahen Betriebsmodus versetzt wird. Dort wird von der Steuerung **7** in Verbindung mit den entsprechenden Sensoren in der Koppereinheit **2** eine leerlaufnahe Referenzspannung $U_{0,Ref}$ des PV-Moduls **5** bestimmt. Die in den Schritten VS1 - VS4 bestimmten Referenzwerte aus Referenz-MPP-Leistung P_{MPP} , kurzschlussnaher Referenzstrom $I_{SC,Ref}$ und leerlaufnahe Referenzspannung $U_{0,Ref}$ des PV-Moduls **5** werden in der Steuerung **7** oder in der Auswerteeinheit **9** zur weiteren Nutzung abgespeichert.

[0030] Zwischen dem vierten VS4 und dem fünften Schritt VS5 wird die PV-Anlage **1** - beispielsweise durch eine Anforderung eines Energieversorgers, in dessen EVN **4** die PV-Anlage **1** einspeist - in einen abgeregelteten Betrieb versetzt. Hierbei soll die PV-An-

lage **1** lediglich einen definierten Prozentsatz - z.B. 70% - ihrer maximal möglichen Leistung $P_{\max}$ in das EVN **4** einspeisen. Zur Ermittlung der maximal möglichen Leistung $P_{\max}$ wird in einem fünften Schritt VS5 das der Koppereinheit **2** zugeordnete PV-Modul **5** zumindest kurzzeitig - optional aber auch über einen gewissen Zeitraum dauerhaft - in einen kurzschlussnahen Betriebsmodus versetzt, und dort ein diesem Betriebsmodus kennzeichnender zweiter Stromwert $I_{SC,2}$ bestimmt. Optional wird in einem zeitnah auf den fünften VS5 folgenden sechsten Schritt VS6 noch ein leerlaufnaher zweiter Spannungswert $U_{0,2}$ bestimmt, indem das der Koppereinheit **2** zugeordnete PV-Modul **5** zumindest kurzzeitig - optional aber auch über einen gewissen Zeitraum dauerhaft - in einen leerlaufnahen Betriebsmodus versetzt wird. Schließlich wird in einem siebten Schritt VS7 unter Berücksichtigung des zweiten Stromwertes $I_{SC,2}$ und gegebenenfalls des zweiten Spannungswertes $U_{0,2}$, sowie der in den Schritten VS1 bis VS4 ermittelten Referenzwerte aus Referenz-MPP-Leistung P_{MPP} , kurzschlussnahem Referenzstrom $I_{SC,Ref}$ und leerlaufnaher Referenzspannung $U_{0,Ref}$ über die Auswerteeinheit **9** eine aktuell maximal mögliche Leistung $P_{\max}$ der PV-Anlage **1** ermittelt. Aus diesem Wert wird von der Auswerteeinheit **9** unter Berücksichtigung der Abregelungs-Anforderung eine reduzierte Leistung P der PV-Anlage **1** bestimmt, die erlaubterweise in das EVN **4** eingespeist werden kann. Die reduzierte Leistung P , gegebenenfalls auch die maximal mögliche Leistung $P_{\max}$, werden der Steuerung **7** übermittelt, die danach den Wechselrichter **3** derart ansteuert, dass die zuletzt bestimmte reduzierte Leistung P der PV-Anlage **1** in das EVN **4** eingespeist wird. Im nächsten Schritt VS8 wird überprüft, ob auch weiterhin eine Abregelung der PV-Anlage **1** gefordert ist. Ist dies der Fall, so springt das Verfahren zum fünften Schritt VS5 zurück, bei dem - gegebenenfalls nach einer kurzen Wartezeit - das PV-Modul **5** erneut zumindest kurzzeitig in den kurzschlussnahen Betriebsmodus versetzt wird, bei dem dann erneut ein zweiter Stromwert $I_{SC,2}$ bestimmt wird. Besteht im Schritt VS8 keine Anforderung zur Abregelung mehr, so springt das Verfahren zum Schritt VS1, bei dem die PV-Anlage **1** wie auch das ausgewählte PV-Modul **5** in den MPP-Betriebsmodus versetzt werden.

[0031] Es liegt im Rahmen der Erfindung, die Referenzwerte fortlaufend abzuspeichern und die aktuell bestimmten mit bereits vorher bestimmten Referenzwerten zu vergleichen. Aus dem Vergleich kann ermittelt werden, ob sich das betreffende PV-Modul **5** - beispielsweise aufgrund einer schleichend einsetzenden potential-induzierten Degradation oder einer sonstigen Schädigung - verändert hat. In einem derartigen Fall kann die PV-Anlage **1** dies dem Betreiber entsprechend signalisieren.

[0032] In Fig. 3a ist eine erste Ausführungsform der Koppereinheit **2** in Form einer Freischalteneinrichtung

für das zugeordnete PV-Modul **5** dargestellt. Die Koppeleinheit **2** weist einen Eingang mit zwei Eingangsanschlüssen **20a**, **20b** zum Anschluss des PV-Moduls **5** und einen Ausgang mit zwei Ausgangsanschlüssen **21a**, **21b** zum Anschluss der benachbarten PV-Module **5** des Strings **6** auf. Jeder der Eingangsanschlüsse **20a**, **20b** ist jeweils über eine Verbindungsleitung **30**, **31** mit einem ihm zugeordneten Ausgangsanschluss **21a**, **21b** verbunden. Innerhalb einer der Verbindungsleitungen **30**, **31** (hier: der Verbindungsleitung **30**) ist ein zweiter Schalter **S₂** - hier ein MOSFET - angeordnet. Ein erster Schalter **S₁** ist parallel zu den Ausgangsanschlüssen **21a**, **21b** angeordnet und verbindet dort die Verbindungsleitungen **31**, **31** miteinander. Beide Schalter werden über eine Steuerungseinheit **7.1** angesteuert. Die Steuerungseinheit **7.1** ist mit einem Spannungssensor **26.1** zur Erfassung einer Eingangsspannung U_{ein} und einem Stromsensor **26.2** zur Erfassung eines Eingangsstroms I_{ein} verbunden, was in **Fig. 3a** über gestrichelte Linien illustriert ist. Die Steuerungseinheit **7.1** ist weiterhin über eine Kommunikationseinheit **27** mit einer hier nicht dargestellten übergeordneten Steuerung **7** der PV-Anlage **1** verbunden. Über die Kommunikationseinheit **27** können sowohl Meß- und Betriebsdaten der Koppeleinheit **2** an die übergeordnete Steuerung **7** übermittelt, wie auch Informationen und Befehle von der übergeordneten Steuerung **7** empfangen werden. Die Koppeleinheit **2** weist weiterhin eine Reihenschaltung einer Diode **23** und eines Energiespeichers **24** (hier: eines Kondensators) auf, die zwischen den Verbindungsleitungen **30**, **31** angeordnet ist. Dabei dient der Energiespeicher **24** zur Versorgung der Steuerungseinheit **7.1** und gegebenenfalls weiterer Komponenten der Koppeleinheit **2**.

[0033] Im normalen Betrieb der PV-Anlage **1** - beispielsweise in deren MPP Betrieb - ist der erste Schalter **S₁** geöffnet und der zweite Schalter **S₂** geschlossen. In diesem Fall wird die dem eingangsseitig angeschlossenen PV-Modul **5** entnommene Leistung an den Ausgang der Koppeleinheit **2** übertragen. Alternativ dazu kann die Steuerungseinheit **7.1** der Koppeleinheit **2** jedoch über ein Schließen des ersten Schalters **S₁** und des zweiten Schalters **S₂** das zugeordnete PV-Modul **5** in einen kurzschlussnahen Betriebsmodus versetzen und über den Stromsensor **26.2** als Eingangsstrom I_{ein} einen den kurzschlussnahen Betriebsmodus kennzeichnenden zweiten Stromwert $I_{\text{sc},2}$ ermitteln. Zusätzlich ist die Steuerungseinheit **7.1** in der Lage, bei geschlossenem ersten Schalter **S₁** und geöffnetem zweiten Schalter **S₂** das PV-Modul **5** in einen leerlaufnahen Betriebsmodus zu versetzen und dort als Eingangsspannung U_{ein} der Koppeleinheit **2** einen den leerlaufnahen Betriebsmodus kennzeichnenden zweiten Spannungswert $U_{0,2}$ zu bestimmen. Solange das PV-Modul **5** über die Koppeleinheit **2** in dem kurzschlussnahen oder in dem leerlaufnahen Betriebs-

modus betrieben wird, wird keine Leistung vom Eingang an den Ausgang der Koppeleinheit **2** transferiert. Eine Entnahme einer verwertbaren Leistung - beispielsweise einer in das EVN **4** einspeisbaren Leistung - des PV-Moduls **5** ist in diesen Betriebsmodi unterdrückt. In **Fig. 3a** sind Strompfade **28.1**, **28.2** innerhalb der Koppeleinheit **2** für den normalen Betrieb (**28.1**) und für den kurzschlussnahen Betriebsmodus (**28.2**) in unterschiedlicher Linienart illustriert.

[0034] In **Fig. 3b** ist eine zweite Ausführungsform der Koppeleinheit **2** - auch hier in Form einer Freischalteinrichtung des zugeordneten PV Moduls **5** - dargestellt. Die zweite Ausführungsform entspricht im Wesentlichen der ersten Ausführungsform aus **Fig. 3a**, weswegen für die gleichartigen Punkte auf die dortige Beschreibung verwiesen wird und im Folgenden nur die Unterschiede zur ersten Ausführungsform erläutert werden.

[0035] Zusätzlich zur ersten Ausführungsform weist die Koppeleinheit **2** gemäß **Fig. 3b** einen dritten Schalter **S₃** - ebenfalls in Form eines MOSFET - parallel zum Eingang der Koppeleinheit **2** auf. Auch der dritte Schalter **S₃** ist über die Steuerungseinheit **7.1** ansteuerbar. Dabei ist die Koppeleinheit **2** ausgelegt, das ihr zugeordnete PV-Modul **5** durch Öffnen des zweiten Schalters **S₂** von den benachbarten PV-Modulen **5** des Strings **6** abzutrennen. Dabei kann zusätzlich ein Schließen des ersten Schalters **S₁** erfolgen. In diesem Fall fließt der Strom der benachbarten PV-Module **5** über den geschlossenen ersten Schalter **S₁** an dem eingangsseitig angeschlossenen PV-Modul **5** der Koppeleinheit **2** vorbei, was in **Fig. 3b** über den Strompfad **28.4** dargestellt ist. In diesem Zustand - also bei geschlossenem ersten Schalter **S₁** und geöffnetem zweiten Schalter **S₂** - und somit quasi bei abgetrenntem der Koppeleinheit **2** zugeordnetem PV-Modul **5** - ist die Steuerungseinheit **7.1** in der Lage, das PV-Modul **5** bei geschlossenem dritten Schalter **S₃** in einen kurzschlussnahen Betriebsmodus (illustriert über den Strompfad **28.3**), und bei geöffnetem dritten Schalter **S₃** in einen leerlaufnahen Betriebsmodus zu versetzen. Die Steuerungseinheit **7.1** ist eingerichtet, in den jeweiligen Betriebsmodi einen zweiten Stromwert $I_{\text{sc},2}$ bzw. einen zweiten Spannungswert $U_{0,2}$ zu ermitteln und als Meß- und Betriebsparameter über die angeschlossene Kommunikationseinheit **27** der übergeordneten Steuerung **7** zu übermitteln.

[0036] In **Fig. 4a** ist eine dritte Ausführungsform der Koppeleinheit **2** in Form eines DC/DC-Wandlers, insbesondere eines Hochsetzstellers, dargestellt. Auch die dritte Ausführungsform ähnelt in einigen Aspekten der Ausführungsform gemäß **Fig. 3a**, weswegen hierzu ebenfalls auf die dortige Beschreibung verwiesen wird. Im Folgenden werden hauptsächlich die Unterschiede zu der Ausführungsform gemäß **Fig. 3a** erläutert.

[0037] Gemäß **Fig. 4a** weist die Kopeleinheit eine Induktivität **22** innerhalb der Verbindungsleitung **30** und in Reihe zu dem dort angeordneten zweiten Schalter **S₂** auf. Der erste Schalter **S₁** ist zwischen den Verbindungsleitungen **30, 31** angeordnet und verbindet dort die eine Verbindungsleitung **31** mit einem Mittelpunkt der Reihenschaltung aus Induktivität **22** und zweitem Schalter **S₂** innerhalb der anderen Verbindungsleitung **30**. Die Kopeleinheit **2** weist weiterhin einen weiteren Stromsensor **26.4** zur Detektion eines Ausgangsstroms I_{aus} und einen weiteren Spannungssensor **26.3** zur Detektion einer Ausgangsspannung U_{aus} auf. Der weitere Stromsensor **26.4** und der weitere Spannungssensor **26.3** sind operativ mit der Steuerungseinheit **7.1** verbunden. Die Steuerungseinheit **7.1** ist ausgelegt, den ersten **S₁** und den zweiten Schalter **S₂** derart zu takten, dass eine an den Eingangsanschlüssen **20a, 20b** anliegende Eingangsspannung U_{ein} in eine an den Ausgangsanschlüssen **21a, 21b** anliegende Ausgangsspannung U_{aus} mit $U_{\text{ein}} < U_{\text{aus}}$ und einem vordefinierten Wandlungsverhältnis $U_{\text{aus}} / U_{\text{ein}}$ gewandelt wird. Die resultierenden Strompfade **28.5, 28.6** bei geöffnetem (**28.5**) und geschlossenem ersten Schalter **S₁** (**28.6**) sind in unterschiedlich gestrichelter Form innerhalb der Kopeleinheit **2** skizziert.

[0038] Aufgrund der Auslegung als Hochsetzsteller ist die Kopeleinheit **2** in der Lage, das eingangsseitig angeschlossenen PV-Modul **5** weitestgehend unabhängig von den benachbart angeschlossenen PV-Modulen **5** des Strings **6** zumindest kurzzeitig in einen kurzschlussnahen Betriebsmodus zu versetzen. Dies ist beispielsweise bei einem zeitlich vorwiegend geschlossenem ersten Schalters **S₁** der Fall. Über den Stromsensor **26.2** ist die Steuerungseinheit **7.1** dabei in der Lage, den den kurzschlussnahen Betriebsmodus kennzeichnenden zweiten Stromwert $I_{\text{sc},2}$ zu ermitteln.

[0039] In **Fig. 4b** ist eine vierte Ausführungsform der Kopeleinheit **2** in Form eines kombinierten Hoch-Tiefsetz-Stellers als DC/DC-Wandler dargestellt. Zusätzlich zu der dritten Ausführungsform gemäß **Fig. 4a** weist die vierte Ausführungsform nach **Fig. 4b** weitere Schalter, nämlich einen dritten **S₃** und einen vierten Schalter **S₄** auf. Der vierte Schalter **S₄** ist innerhalb der Verbindungsleitung **30** in Reihe zu der Induktivität **22** und dem zweiten Schalter **S₂** geschaltet und zwischen dem ersten Eingangsanschluss **20a** und der Induktivität **22** angeordnet. Der dritte Schalter **S₃** verbindet die eine Verbindungsleitung **30** mit der anderen Verbindungsleitung **31**, wobei ein Anschluss des dritten Schalters **S₃** zu der einen Verbindungsleitung **30** zwischen dem vierten Schalter **S₄** und der Induktivität **22** angeordnet ist. Sowohl der dritte Schalter **S₃** als auch der vierte Schalter **S₄** sind über die Steuerungseinheit **7.1** ansteuerbar.

[0040] Als kombinierter Hoch-Tiefsetz-Steller ist die Kopeleinheit **2** ausgelegt, eine an den Eingangsanschlüssen **20a, 20b** anliegende Eingangsspannung U_{ein} in eine an den Ausgangsanschlüssen **21a, 21b** anliegende Ausgangsspannung U_{aus} zu wandeln. Die Ausgangsspannung U_{aus} kann dabei größer, d.h. $U_{\text{aus}} > U_{\text{ein}}$, oder auch kleiner als die Eingangsspannung sein, d.h. $U_{\text{aus}} < U_{\text{ein}}$. Über eine entsprechende Ansteuerung der Schalter **S₁** bis **S₄** kann die Steuerungseinheit **7.1** sowohl kurzzeitig als auch dauerhaft einen kurzschlussnahen Betriebsmodus des PV-Moduls **5** herbeiführen und dabei über den Stromsensor **26.2** den diesen Betriebsmodus kennzeichnenden zweiten Stromwert $I_{\text{sc},2}$ ermitteln. Ein den kurzschlussnahen Betriebsmodus kennzeichnender Strompfad **28.7** ist schematisch innerhalb der Kopeleinheit **2** dargestellt. Über eine entsprechend andere Ansteuerung der Schalter **S₁** bis **S₄** kann die Steuerungseinheit **7.1** sowohl kurzzeitig als auch dauerhaft einen leerlaufnahen Betriebsmodus des PV-Moduls **5** herbeiführen, und bei diesem dann über den Spannungssensor **26.1** den den leerlaufnahen Betriebsmodus kennzeichnenden zweiten Spannungswert $U_{0,2}$ ermitteln. Dabei wird ein in dem String **6** fließender durch die benachbarten PV-Module getriebener Strom über die Ausgangsanschlüsse **21a, 21b** an dem der Kopeleinheit **2** zugeordneten PV-Modul **5** vorbeigeführt, was durch den Strompfad **28.8** illustriert ist. Über die Kommunikationseinheit **27** können diese Werte als Meß- und Betriebsdaten einer übergeordneten Steuerung **7** übermittelt werden.

Bezugszeichenliste

1	Photovoltaik (PV) - Anlage
2	Kopeleinheit
3	Wechselrichter
4	Netz
5	Photovoltaik (PV) - Modul
6	String
7,7.1	Steuerung
8	Photovoltaik (PV) - Generator
9	Auswerteeinheit
20a, 20b	Eingangsanschluss
21a, 21b	Ausgangsanschluss
22	Induktivität
23	Diode
24	Kondensator
26.1,26.3	Stromsensor
26.2,26.4	Spannungssensor

27.1,27.2	Kommunikationseinheit
28.1 - 28.8	Strompfad
30,31	Verbindungsleitung
$I_{SC,Ref}$	Referenzstrom
$U_{0,Ref}$	Referenzspannung
$P_{MPP,Ref}$	Referenz-MPP-Leistung
$I_{SC,2}, I_{ein}, I_{Mod}, I_{Gen}$	Strom
$U_{0,2}, U_{ein}, U_{Mod}, U_{Gen}$	Spannung
P_{Mod}, P_{Gen}	Leistung
S_1, S_2, S_3, S_4	Schalter
VS1 - VS8	Verfahrensschritt

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

- DE 102010038941 A1 [0005]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung einer aktuell maximal möglichen Leistung ($P_{\max}$) einer abgeregelt betriebenen Photovoltaik (PV) - Anlage (1) umfassend einen mindestens einen String (6) aufweisenden PV-Generator (8), wobei der mindestens eine String (6) eine Reihenschaltung von PV-Modulen (5) umfasst, bei der zumindest ein PV-Modul (5) über eine Koppeleinheit (2) mit benachbarten PV-Modulen (5) des Strings (6) verbunden ist, einen Wechselrichter (3), der ausgangsseitig mit einem Energieversorgungsnetz (EVN) (4) und eingangsseitig mit dem PV-Generator (8) verbunden ist, eine Steuerung (7, 7.1) zur Steuerung des Wechselrichters (3) und der Koppeleinheit (2), wobei die Steuerung (7, 7.1) in Verbindung mit der Koppeleinheit (2) ausgelegt ist, während eines Betriebs der PV-Anlage (1) eine Leistungsentnahme des ihr zugeordneten PV-Moduls (5) relativ zu einer Leistungsentnahme der benachbarten PV-Module (5) zu variieren, mit den Schritten:

- Bestimmung von Referenzwerten für das der Koppeleinheit (2) zugeordnete PV-Modul (5) umfassend eine Referenz-MPP-Leistung ($P_{\text{MPP,Ref}}$) und zumindest eines der Referenz-MPP-Leistung ($P_{\text{MPP,Ref}}$) zugeordneten Wertes aus kurzschlussnahem Referenzstrom ($I_{\text{SC,Ref}}$) und/oder leerlaufnaher Referenzspannung ($U_{0,\text{Ref}}$),
- Betreiben der PV-Anlage (1) in Reaktion auf ein Abregelungssignal in einem abgeregelten Zustand mit einer gegenüber der aktuell maximal möglichen Leistung ($P_{\max}$) der PV-Anlage (1) geringeren Leistung (P), **dadurch gekennzeichnet**, dass
- im abgeregelten Zustand der PV-Anlage (1) für das der Koppeleinheit (2) zugeordnete PV-Modul (5)
- ein einen kurzschlussnahen Betriebsmodus kennzeichnender zweiter Stromwert ($I_{\text{SC},2}$) bestimmt wird, und/oder
- ein einen leerlaufnahen Betriebsmodus kennzeichnender zweiter Spannungswert ($U_{0,2}$) bestimmt wird, und
- wobei die aktuell maximal mögliche Leistung ($P_{\max}$) im abgeregelten Zustand der PV-Anlage (1) aus
- dem zweiten Stromwert ($I_{\text{SC},2}$), dem kurzschlussnahem Referenzstrom ($I_{\text{SC,Ref}}$) und der Referenz-MPP-Leistung ($P_{\text{MPP,Ref}}$), oder
- dem zweiten Spannungswert ($U_{0,2}$), der leerlaufnahen Referenzspannung ($U_{0,\text{Ref}}$) und der Referenz-MPP-Leistung ($P_{\text{MPP,Ref}}$), oder
- einer Kombination aus zweitem Stromwert ($I_{\text{SC},2}$), kurzschlussnahem Referenzstrom ($I_{\text{SC,Ref}}$), zweitem Spannungswert ($U_{0,2}$), leerlaufnaher Referenzspannung ($U_{0,\text{Ref}}$) und der Referenz-MPP Leistung ($P_{\text{MPP,Ref}}$) bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei einer Bestimmung der leerlaufnahen Referenzspannung ($U_{0,\text{Ref}}$) und/oder des zweiten Spannungswertes ($U_{0,2}$) ein Strom der benachbarten PV-Module (5) über einen Bypasspfad der Koppeleinheit (2) an

dem der Koppeleinheit (2) zugeordneten PV-Modul (5) vorbeigeleitet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Referenzwerte über einen Kennlinien-Sweep der I-U-Kennlinie oder über ein sequentielles, zumindest kurzzeitiges Versetzen des der Koppeleinheit (2) zugeordneten PV-Moduls (5) in die entsprechenden Betriebsmodi aus kurzschlussnahem, leerlaufnahem und MPP-Betriebsmodus erzeugt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- im abgeregelten Zustand der PV-Anlage (1) wiederholt und zu aufeinanderfolgenden Zeiten für das der Koppeleinheit (2) zugeordnete PV-Modul (5) den kurzschlussnahen Betriebsmodus kennzeichnende zweite Stromwerte ($I_{\text{SC},2}$) und/oder den leerlaufnahen Betriebsmodus kennzeichnende zweite Spannungswerte ($U_{0,2}$) ermittelt werden, und
- wobei die aktuell maximal mögliche Leistung ($P_{\max}$) aus den jeweils zuletzt bestimmten Größen aus zweitem Stromwert ($I_{\text{SC},2}$) und/oder zweitem Spannungswert ($U_{0,2}$) und den Referenzwerten aus Referenz-MPP-Leistung ($P_{\text{MPP,Ref}}$), kurzschlussnahem Referenzstrom ($I_{\text{SC,Ref}}$) und/oder leerlaufnaher Referenzspannung ($U_{0,\text{Ref}}$) bestimmt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass im abgeregelten Zustand der PV-Anlage (1) diejenigen PV-Module (5) des Strings (6), denen keine Koppeleinheit (2) zugeordnet ist, in Leerlaufhaltung abgeregelt betrieben werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Bestimmung der Referenzwerte für das der Koppeleinheit (2) zugeordnete PV-Modul (5) auch die PV-Anlage (1) bei maximaler Leistung ($P_{\max}$) betrieben wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Bestimmung der Referenzwerte für das der Koppeleinheit (2) zugeordnete PV-Modul (5) bei einem aktivierten MPP-Tracking des Strings (6) und daher mit einer Veränderung der Spannung des Strings (6) erfolgt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Wechsel des der Koppeleinheit (2) zugeordneten PV-Moduls (5) in einen kurzschlussnahen Betriebsmodus und/oder in einen leerlaufnahen Betriebsmodus bei deaktiviertem MPP-Tracking des Strings (6) und daher ohne Veränderung der Spannung des Strings (6) erfolgt.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Bestimmung des zweiten Stromwertes ($I_{\text{SC},2}$) oder des zweiten Spannungswertes ($U_{0,2}$) das PV-Mo-

dul (5) dauerhaft in dem jeweiligen Betriebsmodus aus kurzschlussnahe und leerlaufnahe Betriebsmodus betrieben wird, und wobei optional lediglich kurzzeitig in den jeweils anderen Betriebsmodus aus leerlaufnahe und kurzschlussnahe Betriebsmodus gewechselt wird.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Bestimmung des zweiten Stromwertes ($I_{SC,2}$) und/oder des zweiten Spannungswertes ($U_{0,2}$) zumindest ein innerhalb einer Verbindungsleitung (30, 31) der Koppereinheit (2) angeordneter Schalter (S_2 , S_4) geöffnet ist.

11. Photovoltaik (PV) - Anlage (1) umfassend

- einen zumindest einen String (6) aufweisenden Photovoltaik (PV) - Generator (8), wobei der zumindest eine String (6) eine Reihenschaltung von PV-Modulen (5) beinhaltet, bei der zumindest ein PV-Modul (5) über eine Koppereinheit (2) mit benachbarten PV-Modulen (5) des Strings (6) verbunden ist,
- einen Wechselrichter (3), der eingangsseitig mit dem PV-Generator (8) und ausgangsseitig mit einem Energieversorgungsnetz (4) verbunden ist,
- eine Steuerung (7, 7.1) zur Steuerung des Wechselrichters (3) und der Koppereinheit (2),
- wobei die PV-Anlage (1) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche ausgelegt ist.

12. PV-Anlage (1) nach Anspruch 11, wobei die Koppereinheit (2)

- zwei Eingangsanschlüsse (20a, 20b) zum Anschluss des ihr zugeordneten PV-Moduls (5),
- zwei mit den Eingangsanschlüssen (20a, 20b) über Verbindungsleitungen (30, 31) elektrisch verbundene Ausgangsanschlüsse (21a, 21b) zum Anschluss an die Reihenschaltung, und
- einen Stromsensor (26.2) zur Detektion eines Eingangsstroms (I_{ein}) und/oder einen Spannungssensor (26.1) zur Detektion einer Eingangsspannung (U_{ein}) umfasst.

13. PV-Anlage (1) nach Anspruch 11 oder 12 **dadurch gekennzeichnet**, dass die Koppereinheit (2)

- zumindest einen zwischen den Verbindungsleitungen (30, 31) angeordneten und über die Steuerung (7, 7.1) ansteuerbaren Schalter (S_1 , S_3) zum Kurzschließen des an die Koppereinheit (2) angeschlossenen PV-Moduls (5), und/oder
- zumindest einen innerhalb einer der Verbindungsleitungen (30, 31) angeordneten und über die Steuerung (7, 7.1) ansteuerbaren Schalter (S_2 , S_4) umfasst.

14. PV-Anlage (1) nach einem der Ansprüche Anspruch 11 bis 13 **dadurch gekennzeichnet**, dass die Koppereinheit (2) einen DC/DC-Wandler, insbesondere einen Hochsetzsteller oder einen kombinierten Hoch-Tiefsetzsteller aufweist.

15. PV-Anlage (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Koppereinheit (2) eine Kommunikationseinheit (27) aufweist.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

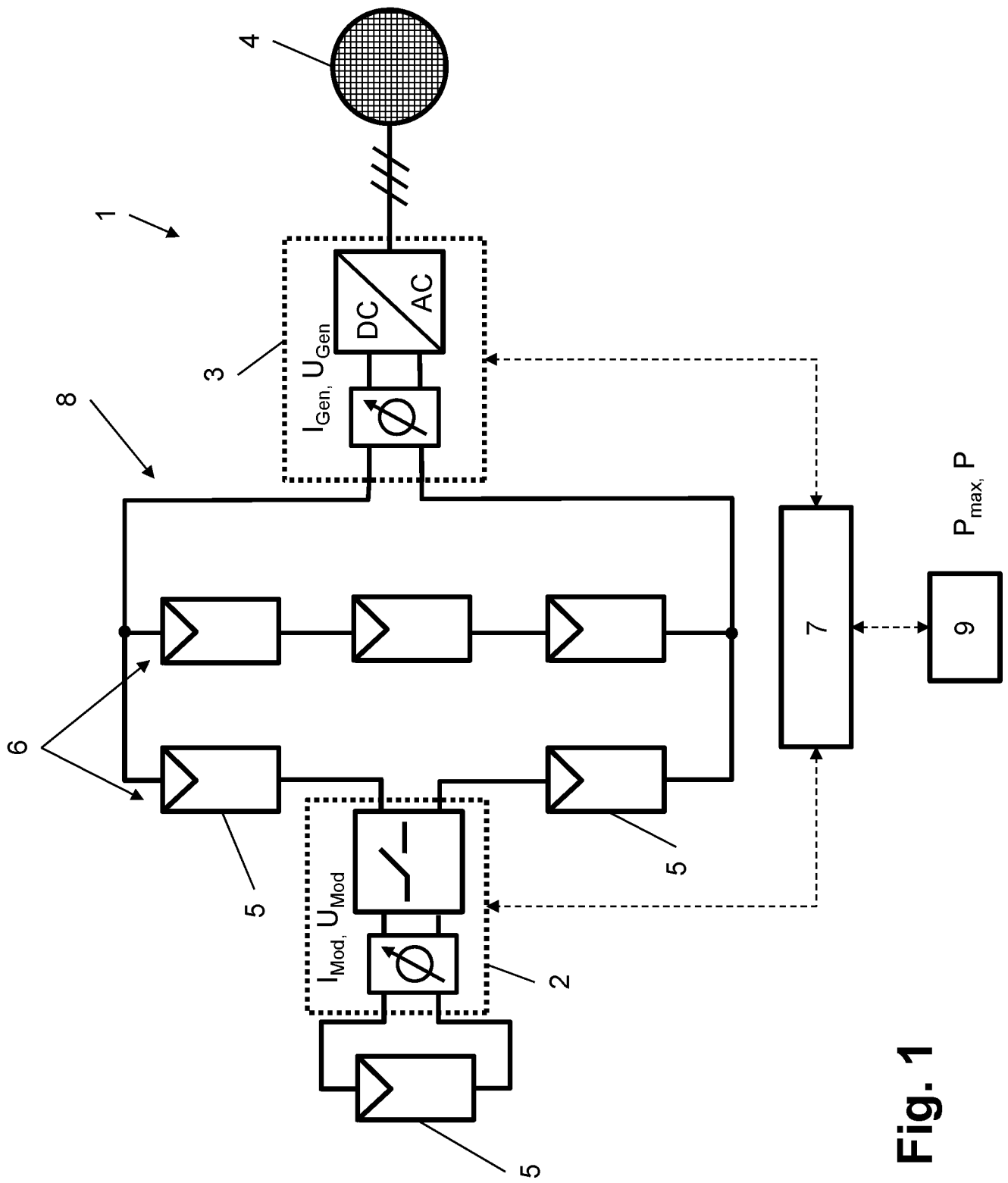


Fig. 1

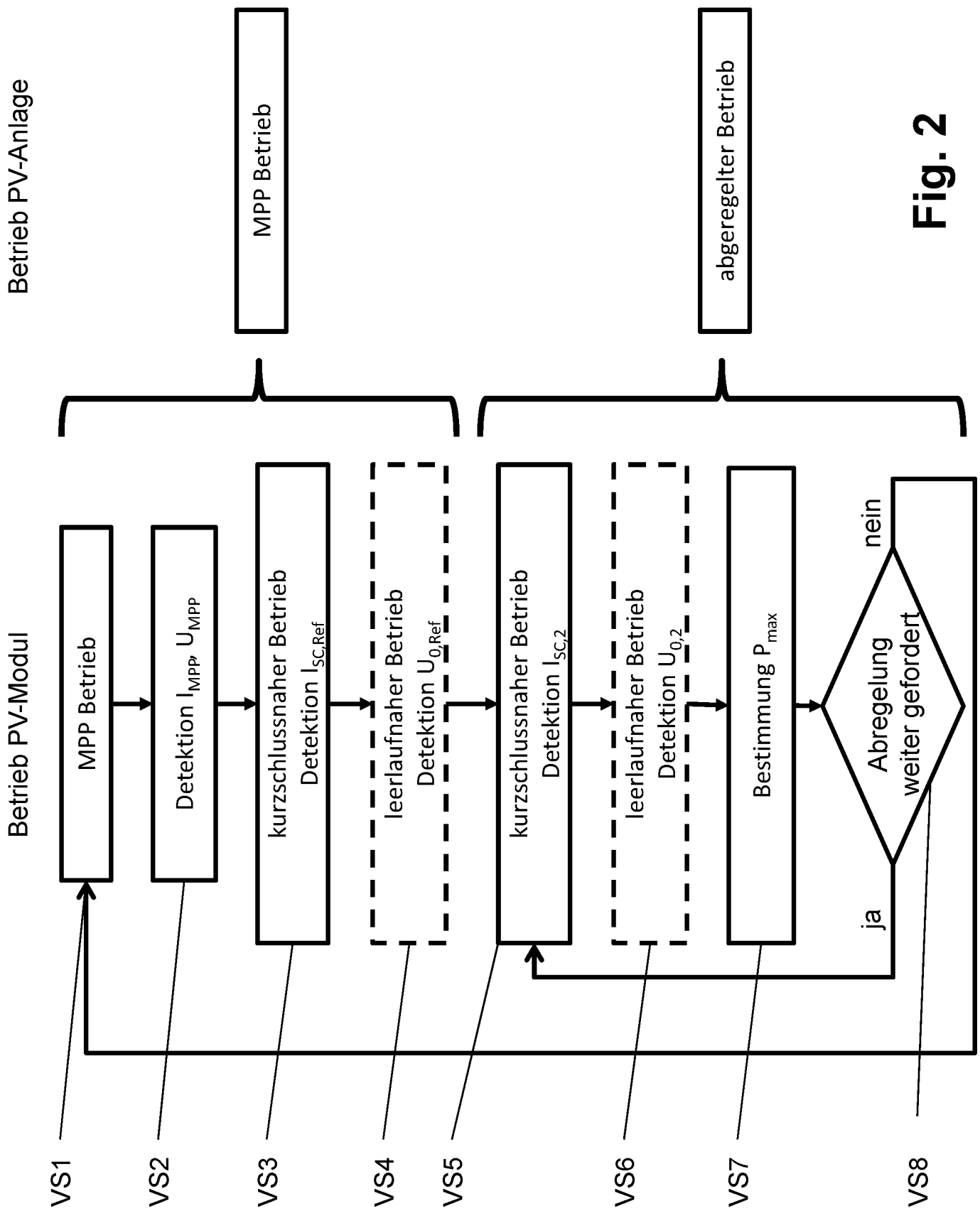


Fig. 2

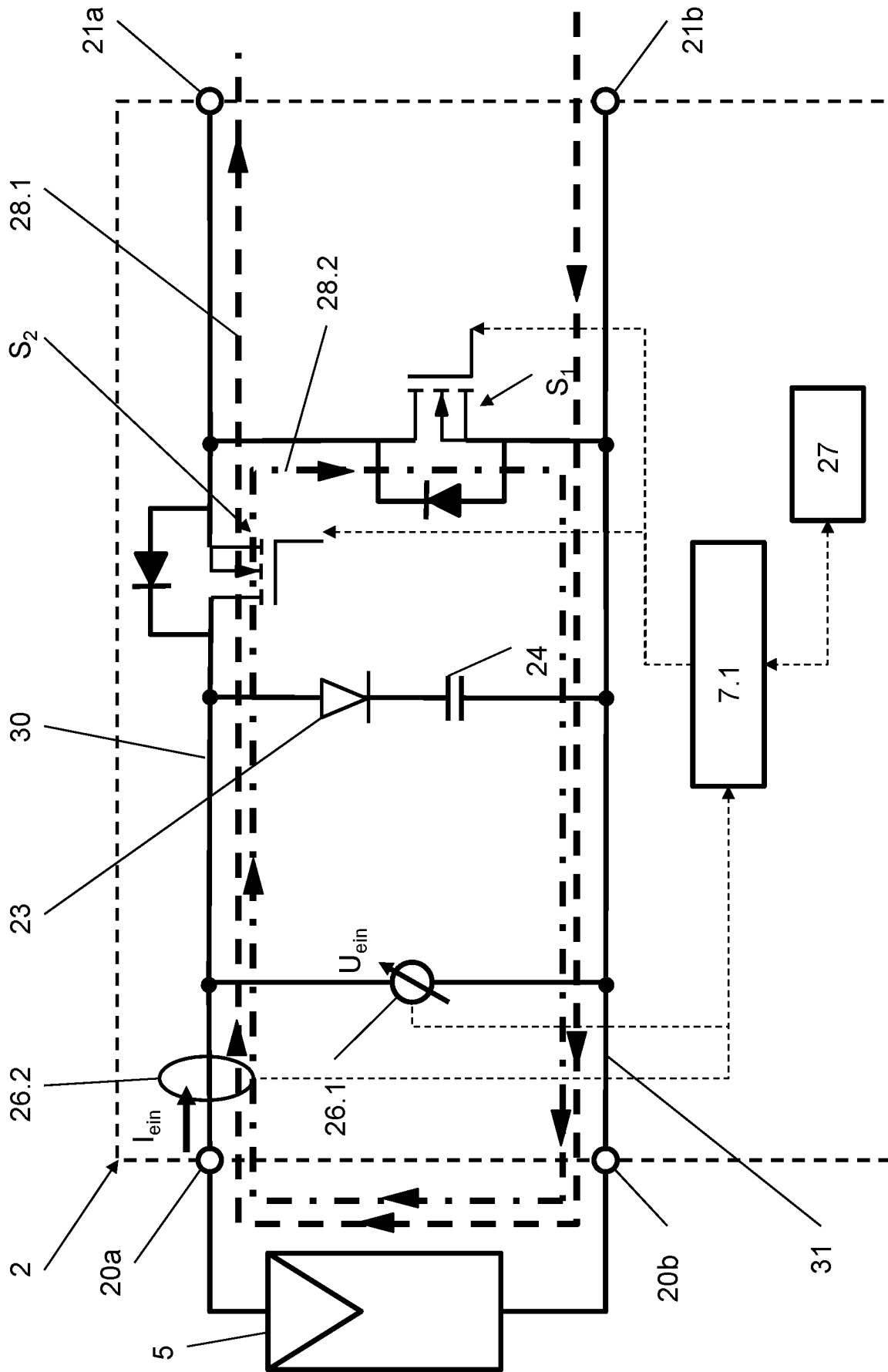


Fig. 3a

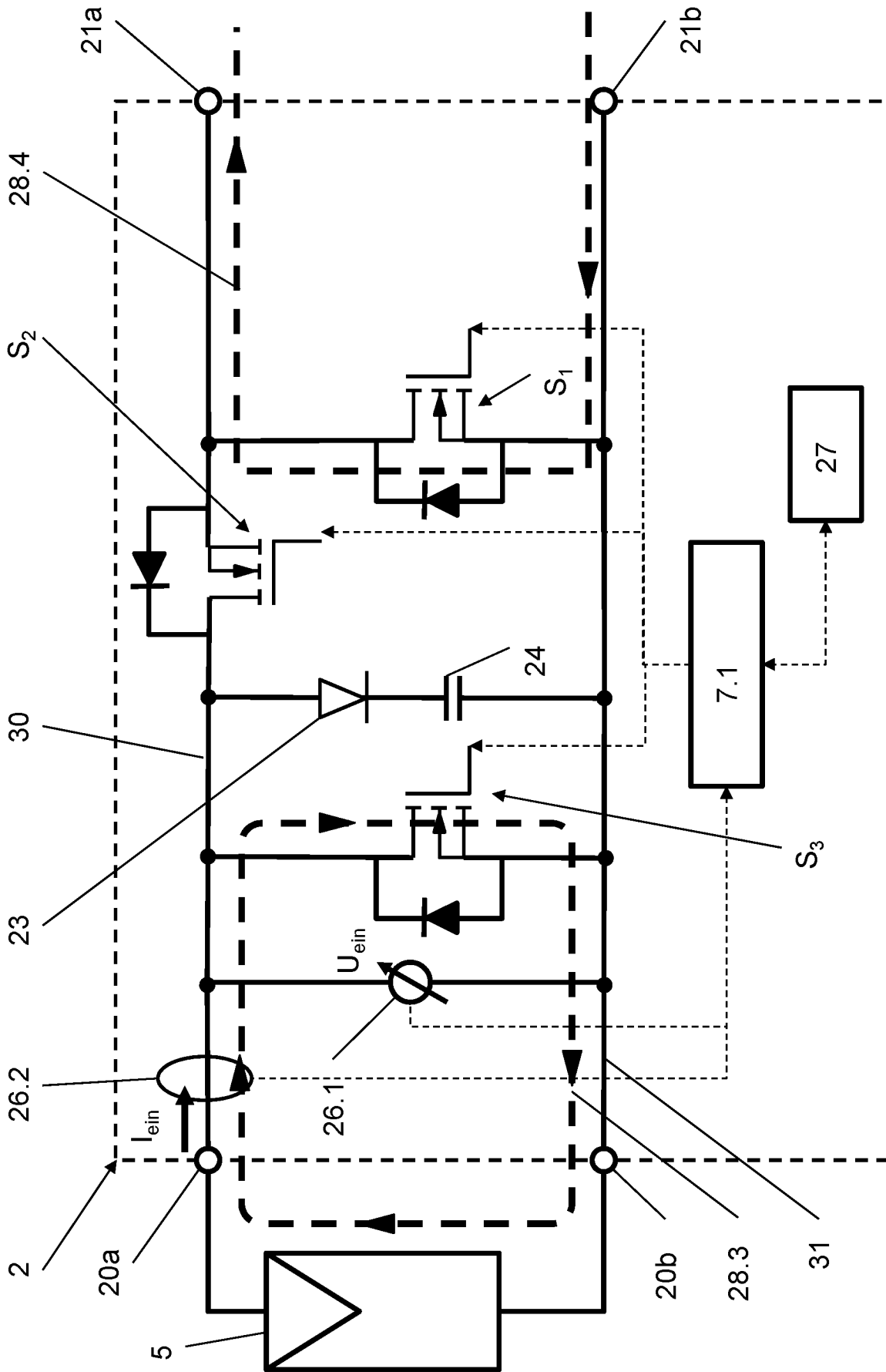


Fig. 3b

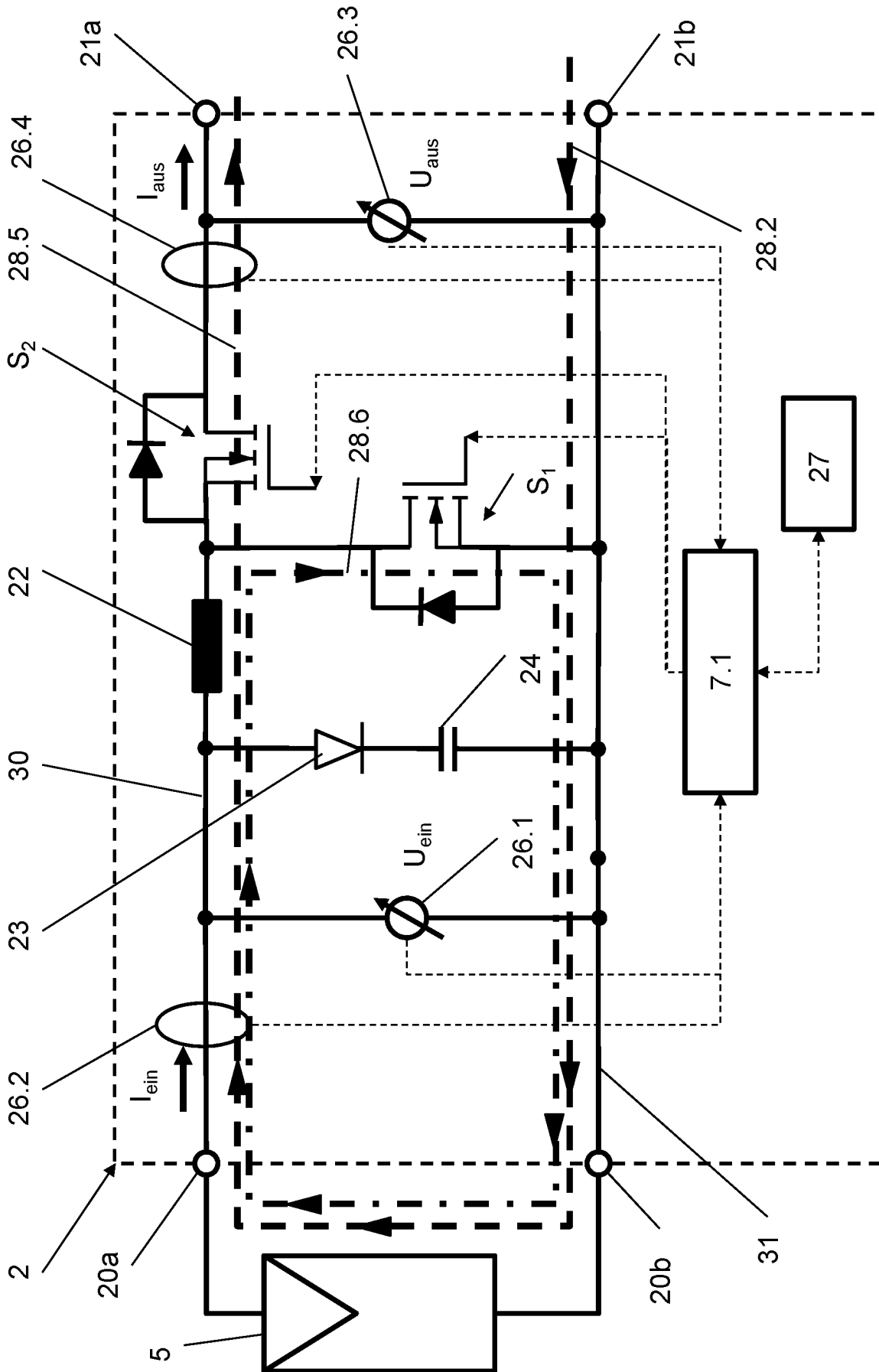


Fig. 4a

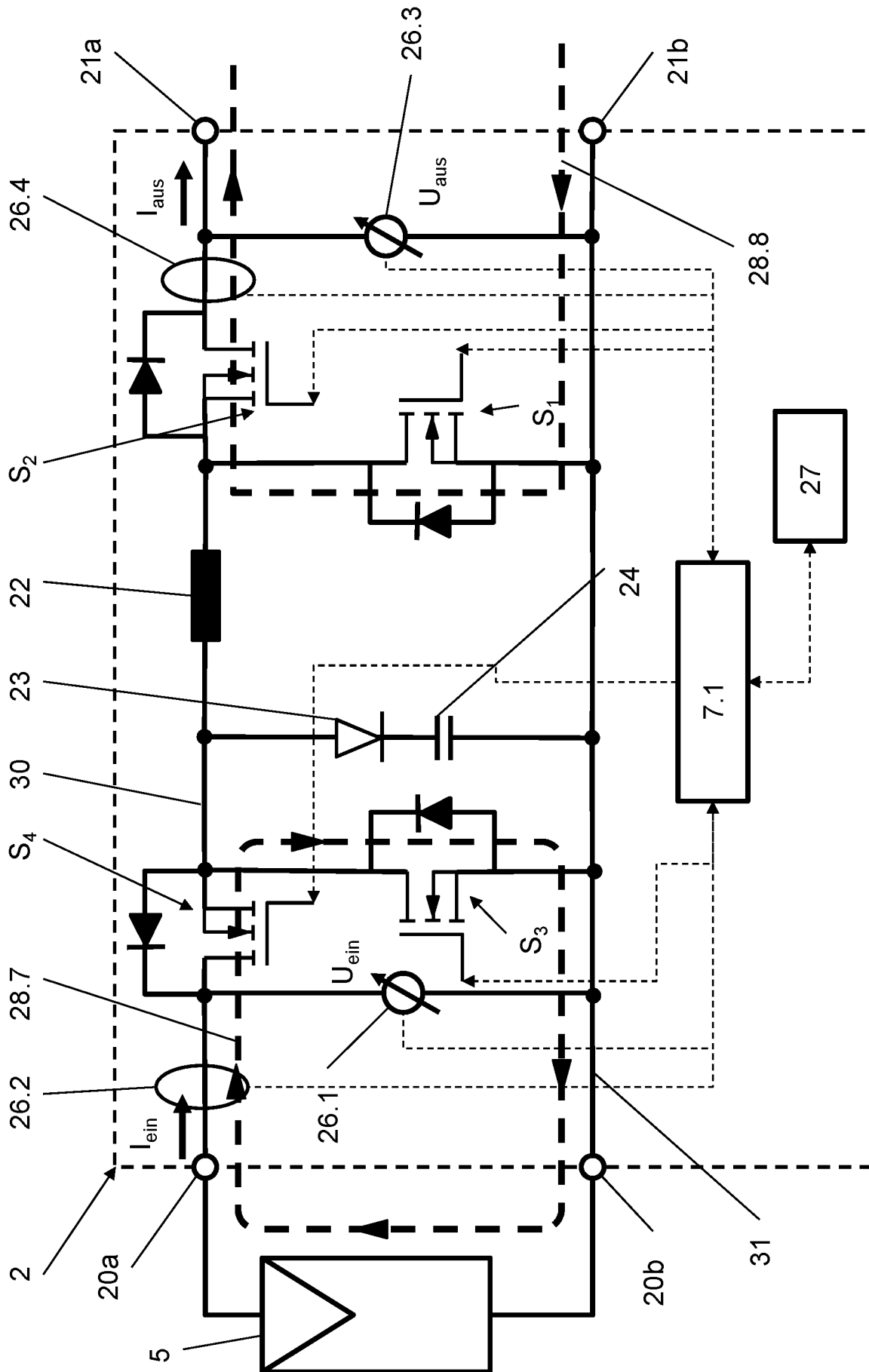


Fig. 4b