

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. April 2012 (26.04.2012)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/052211 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
H02J 7/35 (2006.01) *H02J 3/38* (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2011/064850
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
30. August 2011 (30.08.2011)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2010 046 847.9
29. September 2010 (29.09.2010) DE
10 2011 103 448.3 7. Juni 2011 (07.06.2011) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** DILITRONICS GMBH [DE/DE]; Felsbachstraße 5, 07745 Jena (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** STÄDLER, Bernd [DE/DE]; Rosa-Luxemburg-Straße 21, 07743 Jena (DE).
SCHARNACK, Ingo [DE/DE]; Nollendorfer Straße 10, 07743 Jena (DE).
- (74) **Anwälte:** KRUSPIG, Volkmar et al.; Geschwister-Scholl-Straße 15, 07545 Gera (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart):** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Veröffentlicht:**
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)



WO 2012/052211 A2

(54) **Title:** ARRANGEMENT FOR THE OPERATION OF A SELF-SUFFICIENT PHOTOVOLTAIC SYSTEM

(54) **Bezeichnung :** ANORDNUNG ZUM BETREIBEN EINER AUTARKEN PHOTOVOLTAIKANLAGE

(57) **Abstract:** The invention relates to an arrangement for operating a self-sufficient photovoltaic system comprising at least one module which has semiconductor-based solar cells having a non-linear characteristic and which is connected to a consumer and/or an energy store. According to the invention, an impedance adjustment circuit, in particular in the form of a modified step-down converter, is provided between the output end of the module and the input end of the consumer or energy store.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Anordnung zum Betreiben einer autarken Photovoltaikanlage, welche mindestens einen Modul mit Solarzellen auf Halbleiterbasis mit nichtlinearer Kennlinie aufweist, wobei der mindestens eine Modul mit einem Verbraucher und/oder einem Energiespeicher in Verbindung steht. Zwischen der Ausgangsseite des Moduls und der Eingangsseite des Verbrauchers oder des Energiespeichers ist erfindungsgemäß eine Impedananzpassungsschaltung, insbesondere in Form eines modifizierten Abwärtswandlers vorgesehen.

Anordnung zum Betreiben einer autarken Photovoltaikanlage

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zum Betreiben einer autarken Photovoltaikanlage, welche mindestens einen Modul mit Solarzellen auf Halbleiterbasis mit nichtlinearer Kennlinie aufweist, wobei der mindestens eine Modul mit einem Verbraucher und/oder einem Energiespeicher in Verbindung steht gemäß Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Autarke Photovoltaiksysteme zur Versorgung von Verbrauchern mit kleiner und mittlerer Leistung finden aufgrund gesunkener Komponentenpreise eine immer stärkere Anwendung. Derartige Photovoltaiksysteme bestehen aus einem Modul, umfassend fotoaktive Halbleiter- bzw. Solarzellen, die bei Beleuchtung elektrische Energie abgeben. Weiterhin ist ein Energiespeicher in Form eines Akkumulators sowie die zu versorgende Nutzschaltung, d.h. der Verbraucher, vorhanden.

Der Akkumulator hat die Aufgabe im Tagbetrieb die vom Verbraucher nicht benötigte Energie zu speichern und darüber hinaus den Verbraucher im Nachtbetrieb mit ausreichend Energie zu versorgen.

Die jeweilige Dimensionierung des einzusetzenden Akkumulators erfolgt anhand einer vorgesehenen Mindestlaufzeit für die Nutzschaltung sowie unter Berücksichtigung des mittleren Energieverbrauchs.

Im Idealfall liefert das Solarmodul im Tagbetrieb genauso viel Energie, wie im Nachtbetrieb verbraucht wird. In der Praxis ist jedoch diese Energiebilanz durch Witterungseinflüsse und die über die Jahreszeiten sehr unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnisse gestört, sodass nach Lösungen zu suchen ist, um einen effektiveren Betrieb unter einem maximalen Wirkungsgrad zu erreichen.

Bekanntermaßen weisen Halbleiter basierte Solarzellen eine nichtlineare Kennlinie auf, die durch einen starken Abfall der Klemmenspannung bei steigender Belastung gekennzeichnet ist.

Solarzellen erreichen das Maximum ihrer Ausgangsleistung nahe vor dem Kurzschlussfall. Die Position des Punktes der maximalen Ausgangsleistung variiert in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke und der Temperatur, da der

Kurzschlussstrom von diesen Größen abhängig ist. Betrachtet man die Leistungskennlinie von Solarzellen bei verschiedenen Beleuchtungsstärken ist die Ortskurve bei alleiniger Variation der Beleuchtungsstärke eine Gerade. Anstieg und Ursprung dieser Ortskurve sind durch die physikalischen Parameter der Solarzelle festgelegt und nicht generisch.

Wenn mehrere Solarzellen zu Modulen zusammengefasst sind, gelten qualitativ ähnliche Zusammenhänge, wenn Beleuchtung und Temperatur des Moduls homogen sind.

Bei teilweise Abschattung oder unterschiedlicher Erwärmung einzelner Zellen im Modul bildet sich die Gesamtkennlinie aus der Überlagerung der Einzelkennlinien und es entstehen mehrere Maxima, die auch außerhalb der Ortskurve liegen können.

Um auch unter diesen Bedingungen eine maximale Energieausbeute zu erzielen, werden Tracking-Verfahren angewendet, die entweder die Kennlinie des Solarmoduls aufnehmen, rechnerisch nachbilden oder durch gezielte Variation des Arbeitspunktes den lokalen Anstieg der Kennlinie bestimmen. Dieses Verfahren ist das Erfordernis gemeinsam, sowohl die Klemmenspannung als auch den abgegebenen Strom des Solarmoduls direkt oder indirekt zu ermitteln und zur Berechnung einer Stellgröße für den Energietransfer in die Nutzschaltung bzw. den Akkumulator heran zu ziehen.

Aus dem Vorgenannten ist es daher Aufgabe der Erfindung, eine weiterentwickelte Anordnung zum Betreiben einer autarken Photovoltaikanlage anzugeben, welche mindestens einen Modul mit Solarzelle auf Halbleiterbasis mit nichtlinearer Kennlinie aufweist, wobei der mindestens eine Modul mit einem Verbraucher und/oder einem Energiespeicher in Verbindung steht. Die zu schaffende Anordnung soll dabei ohne eine ansonsten erforderliche laufende Messung der Klemmenspannung und des abgegebenen Stroms seitens des Solarmoduls eine verbesserte Energieausbeute mit überschaubarem schaltungstechnischen Aufwand ermöglichen.

Die Lösung der Aufgabe der Erfindung erfolgt durch die Merkmalskombination gemäß Patentanspruch 1, wobei die Unteransprüche mindestens zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen darstellen.

Es wird demnach von einer Anordnung zum Betreiben einer autarken Photovoltaikanlage ausgegangen, welche mindestens einen Modul mit Solarzellen auf Halbleiterbasis mit nichtlinearer Kennlinie aufweist, wobei der mindestens eine Modul mit einem Verbraucher und/oder einem Energiespeicher in Verbindung steht.

Erfindungsgemäß ist zwischen der Ausgangsseite des Solarzellenmoduls und der Eingangsseite des Verbrauchers oder des Energiespeichers eine Impedanzanpassungsschaltung vorgesehen.

Diese Impedanzanpassungsschaltung umfasst bei einer bevorzugten Ausführungsform einen Abwärtswandler oder Schaltregler, dessen Arbeitspunkt durch Eingriff in den Regelzweig verschiebbar ist.

Dem Abwärtswandler ist ein Steuerstromwert zugeführt, welcher in Abhängigkeit vom gemessenen Ausgangsstrom und der jeweiligen Ausgangsspannung bestimmt wird. Um gemäß Aufgabenstellung den Aufwand zur Messung der relevanten Parameter sowie zur numerischen Berechnung einer Stellgröße zu verringern, wird von der Anpassung des Innenwiderstandes von Quelle, d.h. Solarmodul und Verbraucher, d.h. Akkumulator oder Laderegler, ausgegangen. Wenn es gelingt, die Impedanzen weitgehend anzugleichen, wird die zum Verbraucher übertragene Energie maximiert. Die entnommene Leistung P_{OUT} einer Solarzelle kann als nicht ideale Spannungsquelle modelliert werden.

Gemäß

$$P_{OUT} = I_{SOL} \cdot U_{OUT} = I_{SOL} \cdot (U_{SOL}(I_{SOL}) - Z_{SOL} \cdot I_{SOL})$$

kann U_{SOL} als Funktion von I_{SOL} ausgedrückt werden, wobei sich hier eine logarithmische Diodenkennlinie ergibt.

Das Maximum der Leistungsbereitstellung ist dann zu finden, wenn die Ableitung nach dem Laststrom I_{SOL} nach

$$\frac{dP_{OUT}}{dI_{SOL}} = I_{SOL} \left(\frac{U_{SOL}(I_{SOL})}{I_{SOL}} + \frac{dU_{SOL}}{dI_{SOL}} - 2Z_{SOL} \right)$$

Null gesetzt ist. Dieser Fall ist dann gegeben, wenn der dynamische Innenwiderstand des Moduls der Last angeglichen ist.

Um die erfindungsgemäße Impedanzanpassung zu realisieren, ist eine Schaltung vorgesehen, die sich eingangsseitig an die Impedanz des Solarmoduls und ausgangssseitig an die Impedanz des Akkumulators anpasst.

Diese Aufgabe wird von einer Abwärtsreglerstufe übernommen, deren Ausgangsspannung extern steuerbar ist. Ergänzend kann der Energietransfer in den Akkumulator über diese Schaltung gesteuert werden, um eine kontrollierte Ladung zu ermöglichen. Die Eingangsimpedanz des Abwärtsreglers ist von der Einschaltzeit des Primärstromes abhängig und kann hierdurch beeinflusst werden.

Die Erfindung soll nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels und einer Figur näher erläutert werden.

Die Figur zeigt hierbei ein Blockdiagramm der erfindungsgemäßen Anordnung.

Gemäß der figürlichen Darstellung liefert das Solarmodul A ausgangssseitig den Strom a in einen als Impedanzwandler fungierenden Abwärtswandler B.

Der Ausgangsstrom b des Abwärtswandlers B fließt entweder in einen Akkumulator oder in eine Nutzschaltung D und wird über einen Stromsensor C gemessen. Der Stromsensor C gibt ein skaliertes Signal c des Stromes b ab.

Zu dem Abwärtswandler B wird auf einen Schaltregler zurückgegriffen, der um einen zusätzlichen Eingriff in den Regelzweig erfindungsgemäß erweitert wurde.

Der Steuerstrom I_{Ctrl} (e) wirkt als zusätzliche Störgröße und wird der Ausgangsspannung des Wandlers mit einem konstanten Faktor K_2 überlagert, sodass sich die Ausgangsspannung des Abwärtswandlers nach folgendem Zusammenhang steuern lässt:

$$U_{OUT} = (1 + K_1) \cdot U_{REF} - K_2 \cdot I_{Ctrl}$$

U_{REF} ist dabei die interne Referenz des Schaltreglers und konstant. Die Faktoren K_1 und K_2 werden durch die externe Beschaltung festgelegt. Durch die Erweiterung der Anordnung B gelingt es, den Arbeitspunkt des Schaltreglers zu verschieben und eine Regelung des Ausgangsstromes b vorzunehmen wenn, wie gezeigt, die Baugruppe D einen Akkumulator darstellt.

Die Anpassung der Innenwiderstände wird über die Baugruppe E realisiert, die sowohl hardwareseitig als auch über eine implementierte Software realisierbar ist. Die Schaltung bzw. die bereitgestellte Software erzeugt den Steuerstrom e in Abhängigkeit von der Ausgangsspannung d , des Ausgangsstromes c sowie optionaler Grenzwertvorgaben für den Ausgangsstrom c' und die Ausgangsspannung d' .

Für die Baugruppe E ist eine elektronische Schaltung, aber auch eine softwareseitige Lösung denkbar.

Die erfindungsgemäße Lehre stellt quasi einen extern steuerbaren DC/DC-Wandler dar, an den das Solarmodul A angeschlossen wird. Weiterhin wird die Ladespannung oder der Ladestrom bzw. eine hierzu äquivalente Größe erfasst und ein Regelkreis realisiert, der die abgegebene Solarleistung oder eine hierzu äquivalente Größe maximiert. Das Erfassen von Parametern des Solarmoduls wie z.B. Solarstrom oder Solarspannung ist nicht erforderlich.

Vielmehr wird die Ausgangsspannung der DC/DC-Wandlerstufe erfasst und nach der Zeit differenziert. Dies kann über einen Differenzierer oder numerisch mit Hilfe eines Microcontrollers erfolgen. Solange der Differenzierer positive Werte liefert, d.h. die Ausgangsspannung oder die abgegebene Leistung gestiegen ist, behält der Steuerungsalgorithmus die Richtung der Änderung, z.B. Erhöhen oder Verringern des Stellwerts und damit die Ausgangsspannung bei. Wechselt der Differenzierer von positiven zu negativen Werten, ist ein Maximum überschritten und die Richtung der Stellgrößenänderung ist umzukehren.

Nach dem Umkehren der Richtung liefert der Differenzierer wieder positive Werte, da eine Annäherung an das Maximum von der quasi anderen Seite erfolgt. Im Idealfall liefert der Differenzierer den Wert Null genau im Maximum und der Steuerungsalgorithmus ändert die Stellgröße nicht weiter.

Sinkt das solare Beleuchtungsniveau, steht nicht mehr genügend Leistung vom Solarmodul zur Verfügung, um die Ladespannung respektive Leistung bereitzustellen. Es kommt zu einem Absinken der Ladespannung. Der Differenzierer liefert dann einen negativen Wert und der Algorithmus beginnt die Stellgröße wiederum so lange zu ändern, bis vom Differenzierer wieder der Wert Null geliefert wird.

Ansprüche

1. Anordnung zum Betreiben einer autarken Photovoltaikanlage, welche mindestens einen Modul mit Solarzellen auf Halbleiterbasis mit nichtlinearer Kennlinie aufweist, wobei der mindestens eine Modul mit einem Verbraucher und/oder einem Energiespeicher in Verbindung steht, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Ausgangsseite des Moduls und der Eingangsseite des Verbrauchers oder des Energiespeichers eine Impedanzanpassungsschaltung vorgesehen ist.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Impedanzanpassungsschaltung einen Abwärtswandler aufweist, dessen Arbeitspunkt durch Eingriff in den Regelzweig verschiebbar ist.
3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass dem Abwärtswandler ein Steuerstromwert zugeführt ist, welcher in Abhängigkeit vom gemessenen Ausgangsstrom und der jeweiligen Ausgangsspannung bestimmt wird.
4. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Steuerstrom I_{Ctrl} (e) der Ausgangsspannung des Moduls mit einem konstanten Faktor K_2 überlagert wird, wodurch die Ausgangsspannung des Abwärtswandlers nach der Beziehung $U_{OUT} = (1 + K_1) \cdot U_{REF} - K_2 \cdot I_{Ctrl}$ steuerbar ist, wobei U_{REF} die interne Referenz des Abwärtswandlers darstellt sowie die Faktoren K_1 und K_2 durch eine externe Beschaltung festgelegt werden.

