

(19)



österreichisches
patentamt

(10)

AT 413 915 B 2006-07-15

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 1814/2004
 (22) Anmeldetag: 2004-10-28
 (42) Beginn der Patentdauer: 2005-10-15
 (45) Ausgabetag: 2006-07-15

(51) Int. Cl.⁷: H02N 6/00
 G05F 1/67

(56) Entgegenhaltungen:

DE 19837862C2 US 4899269A
 US 4649334A
 ANALYSIS OF DC-DC CONVERTER
 FOR THE MAXIMUM POWER POINT
 CONTROL OF PHOTOVOLTAIC. KIDA,
 J.; TOKUDA, K.; ISHIHARA, Y.; TODAKA,
 T.; TELECOMMUNICATIONS ENERGY
 CONFERENCE, 5-8 NOV. 1991,
 SEITEN: 291 - 295.
 DIRECT COUPLING BETWEEN
 PHOTOVOLTAIC MODULE AND A PWM
 CONVERTER RAGA, E.D.; COSTA, J.S.;
 SEGUF, S.; GIMENO, F.; ORTS, S.;
 POWER ELECTRONICS SPECIALISTS
 CONFERENCE. 20-25 JUNE 2004
 SEITEN: 1983 - 1987

(73) Patentinhaber:

HIMMELSTOSS FELIX DIPL.ING. DR.
 A-2351 WR. NEUDORF,
 NIEDERÖSTERREICH (AT).

(72) Erfinder:

HIMMELSTOSS FELIX DIPL.ING. DR.
 WR. NEUDORF, NIEDERÖSTERREICH
 (AT).

(54) **VERFAHREN ZUR ENTNAHME DER MAXIMALEN ELEKTRISCHEN ENERGIE AUS EINER LINEAREN ODER QUASILINEAREN QUELLE**

(57) Verfahren zum Betrieb eines Konverters im Punkt maximaler Leistung von quasilinearen Quellen wie thermoelektrische Generatoren oder Brennstoffzellen mit Hilfe einer Quellstrom- und/oder Quellspannungsmessung, wobei die Quelle zur Bestimmung des optimalen Arbeitspunktes durch den angeschlossenen Konverter belastet wird und der sich einstellende Quellenstrom bzw. die sich einstellende Quellenspannung an mindestens zwei Arbeitspunkten (U_1, I_1), (U_2, I_2) im linearen Bereich gemessen wird. Aus diesen Messwerten werden die Ersatzleerlaufspannung (U_L) und der Ersatzkurzschlussstrom (I_K) einer linearen Quelle mit dem Innenwiderstand, der sich aus den Messwerten (U_1, I_1), (U_2, I_2) ergibt, bestimmt. Der optimale Arbeitspunkt liegt dann beim halben Ersatzkurzschlussstrom (I_K) und bei der halben Ersatzleerlaufspannung (U_L). Das Verfahren ist besonders für eine kombinierte Wärme-Stromerzeugung und Einspeisung in ein Wechsel- oder Gleichstromnetz nützlich.

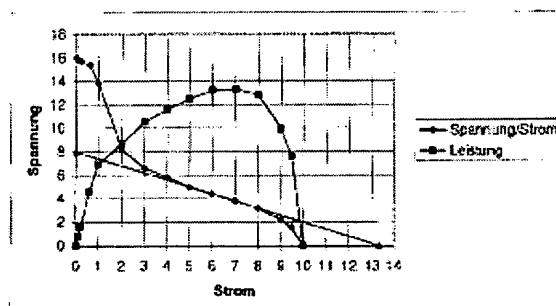


Fig. 1

AT 413 915 B 2006-07-15

DVR 0078018

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Konverters im Punkt maximaler Leistung von quasilinearen Quellen wie thermoelektrischer Generatoren oder Brennstoffzellen mit Hilfe einer Quellstrom- und/oder Quellspannungsmessung.

- 5 Anders ausgedrückt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Entnahme der maximalen Leistung aus annähernd linearen oder quasilinearen Quellen. Die maximale Leistung kann wie allgemein bekannt dann aus einer linearen Quelle entnommen werden, wenn sie mit einem Widerstand belastet wird, der gleich groß dem Innenwiderstand ist. Thermoelektrische Generatoren haben ebenso wie Brennstoffzellen einen großteils linearen Verlauf des Innenwiderstands. Der an eine
10 solche Quelle angeschlossene Konverter entnimmt also dann die maximal mögliche Leistung, wenn sein Eingangswiderstand gleich dem Innenwiderstand der Quelle ist. Da die Klemmen-
spannung bei Belastung entsprechend sinkt, genügt es, den im Punkt maximaler Leistung auftretenden Strom als Sollwert für den Konvertereingangsstrom vorzugeben. Als Konverter wird man daher je nach Anwendung Strukturen verwenden, die einen nahezu kontinuierlichen
15 Strom aus der Quelle entziehen, wie z.B. den klassischen Hochsetzsteller bei der Verwendung eines Ladegerätes oder eines stromgespeisten Wechselrichters bei Einspeisung in das Netz.

- Betrachtet man die Strom-Spannungskennlinien von Brennstoffzellen, thermoelektrischen Elementen u. ä. so erkennt man, dass in dem Bereich, in dem die maximale Leistung auftritt, der
20 Strom- Spannungszusammenhang nahezu linear ist. Bei einer vollständig linearen Quelle würde die Messung des Kurzschlussstroms genügen, um den erforderlichen Soll-Stromwert für den Punkt maximaler Leistung (MPP maximum power point) zu ermitteln. Dieser ist halb so groß wie der Kurzschlussstrom. Das gleiche gilt auch für die Spannung. Das Optimum liegt bei der halben (geglätteten) Eingangsspannung. Bei der realen Kennlinie einer quasilinearen Kennlinie
25 stimmt das aber nicht mehr exakt. Man würde bei Regelung des Konverters auf die halbe Leerlaufspannung eine deutliche Abweichung in Kauf nehmen. Sinnvoll ist daher die Regelung auf den halben Eingangsstrom, der recht gut mit dem Punkt maximaler Leistung zusammenfällt. Wenn man über die geglättete Eingangsspannung regeln möchte, wird man diese bei zwei Lastfällen im linearen Bereich bestimmen und daraus die erforderliche (geglättete), sich dann
30 durch die Belastung einstellende Spannung als Sollwert ermitteln. Das gleiche gilt ebenfalls für die Stromregelung.

- Eine exakte Messung des Stromes ist dabei nicht notwendig, es kommt nur auf die relativen Werte zueinander an. Daher ist es ausreichend, statt eines Shunts den Spannungsabfall am
35 eingeschalteten aktiven Schalter des Konverters zu messen und daraus den Stromistwert und den erforderlichen Stromsollwert zu bestimmen.

- In DE 198 37 862 C2 (Solaric Innovative Solarprodukte) wird ein Gleichspannungswandler für Solarmodule behandelt, wobei der Wandler an den Verbraucher geschaltet wird, wenn die
40 Quellspannung des Solargenerators einen vorbestimmten EinschaltSchwellwert überschreitet und der Gleichspannungswandler vom Verbraucher abgeschaltet wird, wenn die Quellspannung einen vorbestimmten AbschaltSchwellwert unterschreitet. Die Schwellspannungen werden so gewählt, dass die maximale Leistungsabgabe mittig zwischen den beiden Schwellwerten liegt. Die Temperatur kann berücksichtigt werden. Ein klarer Algorithmus zur Wahl der Schwellwerte,
45 die ja entsprechend der Solareinstrahlung verändert werden müssen, liegt aber nicht vor.

- In US 4 899 269 (Rouzie) wird ein System zur Regulierung des Arbeitspunktes eines Gleichstromnetzteils behandelt. Dabei wird ein klassischer Suchalgorithmus zur Auffindung des Punktes mit maximaler Leistung angewendet. Der Arbeitspunkt pendelt im eingeschwungenen Zustand um den Punkt maximaler Leistung.
50

- US 4 649 334 (Kabushiki Kaisha Toshiba) stellt ein Verfahren und ein System zur Steuerung eines photovoltaischen Systems dar. Die Spannung des Solargenerators wird auf konstantem Niveau gehalten, das so gewählt ist, dass der Generator die maximale Last abgibt. Die Referenzspannung, nach der geregelt wird, wird periodisch verkleinert und in einem zweiten Modus
55

periodisch vergrößert. Das Umschalten zwischen den beiden Moden wird in Abhängigkeit von der Änderung der Leistung und der Solarspannung bewerkstelligt.

In Analysis of DC-DC converter for maximum power point control of photovoltaic (Kida, J.; Tokuda, K.; Ishihara, Y.; Todaka, T.) Telecommunication Energy Conference 1991, INTELEC 91, S 291-295, wird ein Cuk Konverter in einem Solarladesystem behandelt. Wie der Punkt maximaler Leistung ermittelt wird, wird nicht behandelt, nur ein einfaches Modell des Konverters wird versucht aufzustellen und Dimensionierungsformeln für die Konverterbauteile werden aufgestellt.

In Direct coupling between photovoltaic module and a PWM converter (Raga, E. D.; Costa, J. S.; Seguf, S.; Gimeno, F.; Orts, S; Power Electronics Specialists Conference 2004, PESC'04, S. 1983-1987, wird ein Konverter für die direkte Kopplung eines Solargenerators ohne Speicherakkumulator vorgestellt. Die Solarmodule sollen nahe dem Punkt maximaler Leistung betrieben werden, als Last kann ein Gleichstrommotor vorgesehen sein. Der Punkt maximaler Leistung ist stark von der Temperatur abhängig. Das Konzept versucht nicht den Punkt maximaler Leistung zu bestimmen, sondern wählt einen Spannungspunkt, der in verschiedenen Arbeitspunkten ein guter Kompromiss ist.

Alle vorgelegten Patentschriften beziehen sich auf Solargeneratoren, nicht auf lineare und quasilineare Quellen. Solargeneratoren unterscheiden sich deutlich in der Strom-Spannungs-Charakteristik von z.B. thermoelektrischen Generatoren oder Brennstoffzellen. Außer dem Suchalgorithmus in US 4 899 269 ist daher auch keines der aus der Solartechnik bekannten Verfahren für lineare und quasilineare Quellen geeignet. Und die Implementierung des Suchalgorithmuses ist für die gegenständliche Aufgabenstellung zu aufwendig. Auch das Verfahren in US 4 649 334 ist zu aufwendig für eine quasilineare Quelle.

Die Aufgabenstellung wird dabei erfindungsgemäß so gelöst, dass die Quelle durch den angeschlossenen Konverter belastet wird und der sich einstellende Quellenstrom bzw. die sich einstellende Quellenspannung an mindestens zwei Arbeitspunkten (U_1, I_1) , (U_2, I_2) im linearen Bereich gemessen wird, aus diesen Messwerten die Ersatzleerlaufspannung (U_L) und den Ersatzkurzschlussstrom (I_K) einer linearen Quelle mit dem Innenwiderstand der sich aus den Messwerten (U_1, I_1) , (U_2, I_2) ergibt, bestimmt, wobei der optimale Arbeitspunkt dann beim halben Ersatzkurzschlussstrom (I_K) und bei der halben Ersatzleerlaufspannung (U_L) liegt.

Das Verfahren zur Entnahme der maximalen Leistung aus einer quasilinearen Quelle funktioniert nun prinzipiell wie folgt: Es wird der Strom aus der Quelle und die gleichzeitig dabei sich ergebende Klemmenspannung an mindestens zwei Arbeitspunkten im linearen Bereich gemessen und daraus der sich ergebende Innenwiderstand bestimmt. Damit ergibt sich eine Ersatzquelle, bei der der Durchtrittspunkt der Widerstandsgerade (die ja im linearen Teil der Quelle mit der Tangente an die Strom-Spannungskennlinie zusammenfällt) mit der Spannungsachse, die Leerlaufspannung, der Schnittpunkt mit der Stromachse, den Kurzschlussstrom der linearen Ersatzquelle ergibt. Der erforderliche Sollwert ist dann je nach der verwendeten Regelungsstruktur entweder der halbe Wert der Ersatzquellenspannung (bei einer Spannungsregelung) oder der halbe Wert des Kurzschlussstroms der Ersatzquelle (bei einer Stromregelung).

Figur 1 zeigt die Strom-Spannungskennlinie einer teilweise linearen Quelle (symbolisiert durch die Rhomben). Die Kurve, die mit den Quadraten gekennzeichnet ist, stellt die entnehmbare Leistung dar. Bei Leerlauf bzw. bei Kurzschluss ist die abgebbare Leistung null, in allen anderen Fällen ist die Leistung positiv. Das Maximum der Kurve legt den Punkt maximaler Leistung fest. Bei einer linearen Quelle ist der Leistungsverlauf eine quadratische Parabel. Im hier dargestellten extremen Fall kommt es zu einem etwas anderen Verlauf. Legt man nun an den geraden Teil der Kennlinie eine Gerade (Tangente), so hat diese je einen Schnittpunkt mit der I- und U-Achse. Diese Schnittstellen stellen den Kurzschlussstrom bzw. die Leerlaufspannung der linearen Ersatzquelle dar. Der Punkt der optimalen Leistung liegt genau in der Mitte, also beim

halben Kurzschlussstrom bzw. bei der halben Leerlaufspannung.

Betrachtet man die Spannungs-über-Strom Kennlinie und wählt zwei Arbeitspunkte (U_1, I_1) , (U_2, I_2) , wobei $I_2 > I_1$ im linearen Bereich gilt, so berechnet sich die Leerlaufspannung der Ersatz-

spannungsquelle gemäß $U_L = \frac{U_1 \cdot I_2 - U_2 \cdot I_1}{I_2 - I_1}$ und der Kurzschlussstrom der Ersatzspannungs-

quelle gemäß $I_K = \frac{I_2 \cdot U_1 - I_1 \cdot U_2}{U_1 - U_2}$.

Parallel zum thermoelektrischen Generator oder den Brennstoffzellen liegt zur Überbrückung der Wechselstromkomponente, die durch den Konverter verursacht wird, ein Kondensator. Dieser ist üblicherweise im Konverter selbst angeordnet und dient auch noch (je nach Schaltungstopologie) zur Beseitigung der Auswirkung von parasitären Kondensatoren. Durch diesen Kondensator wird erreicht, dass durch die Quelle nahezu ein Gleichstrom fließt und so der Arbeitspunkt konstant bleibt. Der Konverter selbst nimmt aber im besten Fall einen dreieckförmigen, im schlechtesten Fall einen pulsformigen (z.B. trapezförmige Pulse) Strom auf. Somit genügt es nicht einfach nur den Strom und die Spannung an zwei Punkten im linearen Teil der Quelle zu messen, sondern es sind zuerst die Einschwingvorgänge im Konverter bis zur Erreichung des stationären Zustandes abzuwarten. Dazu müssen die Zeitkonstanten des Konverters bekannt sein, die sich aus den Bauelementen (i. W. aus den verwendeten Kondensatoren und Spulen) und der Schaltfrequenz des Konverters bestimmen lassen. Die Auswahl der beiden Arbeitspunkte erfolgt nach den Daten der Quelle und kann durch bestimmte Prozentsätze der Leerlaufspannung oder des Kurzschlussstroms angegeben werden. Besonders die Leerlaufspannung ist leicht zu erfassen, bei der Kurzschlussmessung ist die Entladung des zur Quelle parallel liegenden Kondensators abzuwarten.

Es soll noch angemerkt werden, dass bei der Realisierung des Verfahrens der Shunt zur Strommessung durch den Einschaltwiderstand eines Halbleiters realisiert werden kann. Das Verfahren eignet sich besonders gut bei einer kombinierten Wärme- und Stromerzeugung mit Brennstoffzellen, bei der die durch den elektrochemischen Prozess gewonnene elektrische Energie mit Hilfe eines Wechselrichters in das Netz eingespeist werden soll. Ebenfalls ist ein Einsatz in Batterieladegeräten mit Hilfe eines einfachen unidirektionalen Gleichstromwandlers (wie z.B. Hochsetzsteller) sinnvoll.

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Betrieb eines Konverters im Punkt maximaler Leistung von quasilinearen Quellen wie thermoelektrische Generatoren oder Brennstoffzellen mit Hilfe einer Quellstrom- und/oder Quellspannungsmessung *dadurch gekennzeichnet*, dass die Quelle durch den angeschlossenen Konverter belastet wird und der sich einstellende Quellenstrom bzw. die sich einstellende Quellenspannung an mindestens zwei Arbeitspunkten (U_1, I_1) , (U_2, I_2) im linearen Bereich gemessen wird, aus diesen Messwerten die Ersatzleerlaufspannung (U_L) und den Ersatzkurzschlussstrom (I_K) einer linearen Quelle mit dem Innenwiderstand, der sich aus den Messwerten (U_1, I_1) , (U_2, I_2) ergibt, bestimmt, wobei der optimale Arbeitspunkt dann beim halben Ersatzkurzschlussstrom (I_K) und bei der halben Ersatzleerlaufspannung (U_L) liegt.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1 *dadurch gekennzeichnet*, dass die Auswahl der beiden Arbeitspunkte durch bestimmte Prozentsätze der Leerlaufspannung oder des Kurzschlussstroms der quasilinearen Quelle erfolgt.
3. Verfahren gemäß Anspruch 1 *dadurch gekennzeichnet*, dass der Einschwingvorgang vor der Messung abgewartet wird.

4. Verfahren gemäß Anspruch 1 *dadurch gekennzeichnet*, dass der Konverter so geregelt wird, dass der Eingangsstrom (I_{IN}) auf dem halben Ersatzkurzschlussstrom (I_K) gemäß

$$I_{IN} = \frac{I_K}{2} = \frac{I_2 \cdot U_1 - I_1 \cdot U_2}{2 \cdot (U_1 - U_2)} \text{ gehalten wird.}$$

5. Verfahren gemäß Anspruch 1 *dadurch gekennzeichnet*, dass der Konverter so geregelt wird, dass die Eingangsspannung (U_{IN}) auf der halben Ersatzleerlaufspannung (U_L) gemäß

$$U_{IN} = \frac{U_L}{2} = \frac{U_1 \cdot I_2 - U_2 \cdot I_1}{2 \cdot (I_2 - I_1)} \text{ der Ersatzquelle gehalten wird.}$$

6. Verfahren gemäß Anspruch 1 *dadurch gekennzeichnet*, dass der Sollwert für die Regelung in bestimmten Zeitabschnitten neu bestimmt wird.

7. Vorrichtung zum Betrieb eines Konverters im Punkt der maximalen Leistung von quasilinearen Quellen mit Hilfe einer Stromerfassung und einer Spannungserfassung *dadurch gekennzeichnet*, dass zur Bestimmung des Stromwertes der Spannungsabfall an einem Halbleiterschalter des an die quasilineare Quelle angeschlossenen Konverters verwendet wird.

8. Vorrichtung gemäß Anspruch 7 *dadurch gekennzeichnet*, dass die Bestimmung des Sollwerts und die Steuerung des Konverters mit einem Microcontroller erfolgt.

Hiezu 1 Blatt Zeichnungen

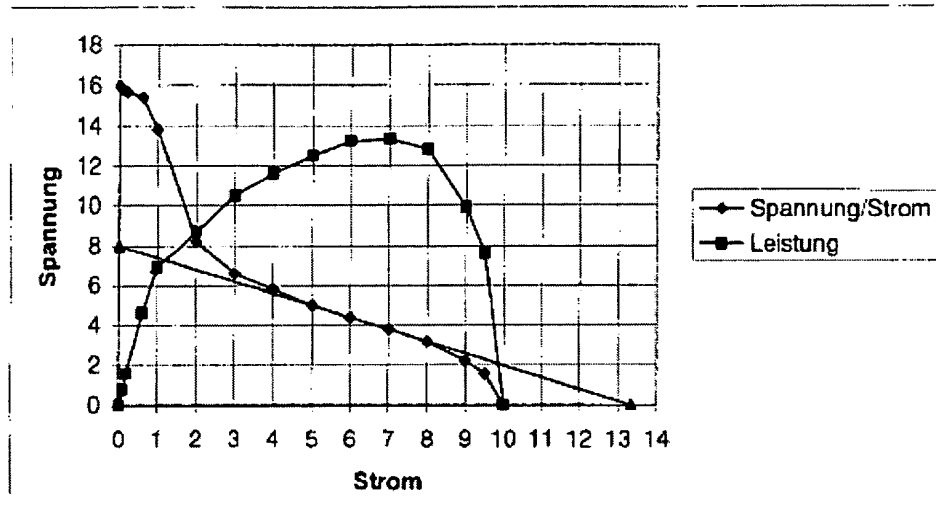


Fig. 1