



(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 1902/98
(22) Anmeldetag: 16.11.1998
(42) Beginn der Patentdauer: 15.05.2003
(45) Ausgabetag: 29.12.2003

(51) Int. Cl.⁷: **G05F 1/67**
H02J 7/35, H02M 3/00

(56) Entgegenhaltungen:
JP 08123561A US 4899269A

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

(72) Erfinder:
HIMMELSTOSS FELIX DIPL.ING. DR.TECHN.
WR. NEUDORF, NIEDERÖSTERREICH (AT).

(54) METHODE ZUM BETRIEB VON SOLARPANELEN IM PUNKT MAXIMALER LEISTUNG

(57) Beim Einsatz von photovoltaischen Anlagen spielt die optimale Nutzung der vom Solargenerator zur Verfügung gestellten Energie eine überragende Bedeutung. Belastet man den Solargenerator so, daß er immer im Punkt maximaler Energie arbeitet, so wird die zur Verfügung stehende Energie optimal genutzt. Die zur Anpassung zwischen Solargenerator und Last geschaltete Leistungselektronik wird nun so gesteuert, daß der Generator unabhängig von den Einstahlungsbedingungen immer optimal belastet wird. Es ist dabei kein zusätzlicher Sensor erforderlich und kein Suchalgorithmus verwendet. Die Schaltung simuliert für den Solargenerator eine Widerstandslast mit in Serie geschalteter Spannungsquelle und stellt bei entsprechender Wahl des Widerstandes und der Werts der Spannungsquelle unabhängig von den Einstrahlbedingung eine die maximal mögliche Leistung entnehmende Belastung des Solargenerators dar.

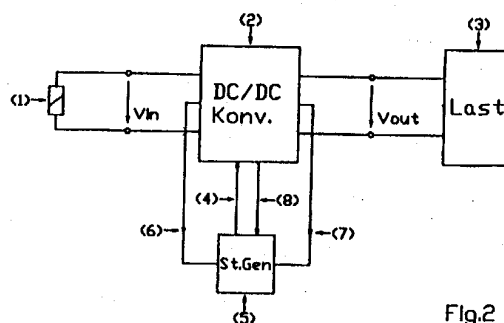


Fig.2

Bei der Nutzung von photovoltaischen Anlagen stellt der Wirkungsgrad ein wichtiges Kriterium dar. Die Kosten für die Solarzellen (photovoltaischer Generator) stellen den größten Anteil an den Gesamtkosten dar. Um die Anlage optimal auszunutzen, muß daher versucht werden - wenn von der Last her möglich - die maximal mögliche Leistung (bei vorgegebenen Einstrahlungsverhältnissen) aus den Zellen zu entnehmen.

Aus der Patentliteratur sind Methoden zur maximalen Leistungsentnahme von Solargeneratoren bekannt. So wird in JP 08-123561 A (MEIDENSHA CORP.) der Sollwert der Spannung so vorgegeben, daß sich der maximale Leistungspunkt ergibt. Betrachtet man jedoch die Figur 2 dieser Patentschrift, so erkennt man, daß sowohl die Eingangsspannung als auch der Eingangsstrom in den Konverter (2) gemessen und anschließend multipliziert wird. Der Vorteil der vorliegenden Erfindung ist jedoch, daß mit weniger Meßwerten und einem Berechnungsalgorithmus das erforderliche Tastverhältnis gerechnet wird.

In US 4899269 A (ROUZIES) wird ausführlich ein Verfahren zur Auffindung des maximalen Leistungspunkts dargestellt, wobei es sich hier um einen schaltenden Algorithmus handelt, der letztlich zu diesem Punkt konvergiert. Im Gegensatz dazu ist das hier vorgelegte Verfahren prinzipiell eine Steuerung, die je nach der verwendeten Topologie mit wenig Meßinformation auskommt und das Tastverhältnis aus einem, für jede Konverterstruktur anderen, Steuergesetz bestimmt.

Bei dem hier vorgeschlagene Verfahren zum Betrieb des Solargenerators stellt der Konverter unabhängig von den Einstrahlungsbedingungen die optimale Belastung dar. Gleichzeitig ist keine zusätzliche Sensorik erforderlich. Die erforderlichen Meßwerte können aus Signalen, die für die Überwachung des Konverters benötigt werden bestimmt werden.

Betrachtet man die Spannungs-Strom Kennlinie eines photovoltaischen Generators bei verschiedenen Einstrahlungsverhältnissen und zeichnet jeweils den Verlauf der Leistung, so liegen die Maxima annähernd auf einer Geraden. Verbindet man die Punkte maximaler Leistung auf den Kennlinien der verschiedenen Einstrahlungsverhältnissen, so liegen diese in dem Strom-Spannungskoordinatensystem auf einer Gerade (dies entspricht einem Widerstand mit Offset) gemäß

$$V_{in} = K_1 \cdot I_{in} + K_2 \quad (1)$$

wobei die Formel schon aus Sicht der angeschlossenen Leistungselektronik mit deren Eingangsspannung V_{in} (entspricht der Ausgangsspannung des Solargenerators) und deren Eingangsstrom I_{in} (entspricht dem Ausgangsstrom des Solargenerators) angeschrieben ist. K_1 ist die Steigung und K_2 der Durchtrittspunkt durch die V_{in} Achse. Diese Formel gilt nicht mehr bei geringer Einstrahlung, hier kommt es zu einer Abweichung zu höheren Spannungen.

Belastet man den photovoltaischen Generator mit dieser Kennlinie, so arbeitet der Generator unabhängig von den Strahlungsverhältnissen im optimalen Arbeitspunkt und liefert die maximale Leistung. Die Abweichung bei geringer Einstrahlung ist unbedeutend, da dann sowieso nur eine sehr geringe Leistung zur Verfügung steht.

Durch eine entsprechende elektronische Schaltung soll die Last an den photovoltaischen Generator angepaßt werden. Die Last kann z.B. ein Akkumulator (oder mehrere), der geladen werden soll, oder ein Zwischenkreis, von dem mit einem Wechselrichter (oder Drehrichter) in ein Wechsel- (oder Drehstromnetz) gespeist wird, oder eine sonstige Last sein.

Anhand eines Tiefsetzstellers, der zwischen Solargenerator und Zwischenkreis (oder Akkumulator) geschaltet wird, soll das erforderliche Steuergesetz berechnet werden. Die Ausgangsspannung eines Tiefsetzers im kontinuierlichen Betrieb berechnet sich mit dem Tastverhältnis a , der Eingangsspannung V_{in} , und der Ausgangsspannung V_{out} im eingeschwungenen Zustand gemäß

$$V_{out} = a \cdot V_{in} \quad (2)$$

Der Strom am Eingang der Schaltung hängt mit dem Mittelwert des Stromes in der Induktivität I_L und daher mit dem Ladestrom I_{load} gemäß

$$I_{in} = a \cdot I_L = a \cdot I_{Lade} \quad (3)$$

zusammen. Setzt man diese beiden stationären Beziehungen des Tiefsetzstellers in die gewünschte Belastungskennlinie ein, so erhält man die Beziehung

$$V_{out} = K_1 \cdot a^2 \cdot I_{Load} + K_2 \cdot a \quad (4)$$

und kann damit das erforderliche Steuergesetz für den Tiefsetzsteller in Abhängigkeit der Ausgangsspannung und des Laststroms zu

$$a = \frac{\sqrt{K_2^2 + 4K_1 \cdot I_{Load} \cdot V_{Load}} - K_2}{2K_1 \cdot I_{Load}} \quad (5)$$

bestimmen. Die Koeffizienten K_1 und K_2 können aus den Daten des Solargenerators bestimmt werden. Wird der Laststrom (Strom durch die Induktivität) gemessen und dient der Tiefsetzer als Ladeschaltung für einen Akkumulator, so erfolgt die Steuerung im eingeschwungenen Zustand durch dieses Steuergesetz. Die Berechnung des Steuergesetzes kann über einen Microcontroller oder durch eine festverdrahtete Schaltung, oder kundenspezifischen IC erfolgen. Die Stromerfassung in der Spule des Konverters oder im Lastkreis erfolgt durch irgend ein bekanntes Verfahren. Aus meßtechnischen Gründen wird man die Stromerfassung in Serie der Konverterinduktivität legen, da dort der Strom nicht springen kann, oder in die Zuleitung zum Akkumulator bei einem Ladegerät. Wird ein anderer DC/DC Konverter als ein Tiefsetzer verwendet, so muß genauso der Eingangsstrom des Konverters in Abhängigkeit des Laststroms (oder des Spulenstroms) bestimmt

werden und das Gleichspannungsübersetzungsverhältnis $M = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ zur Berechnung des Eingangswiderstandes herangezogen werden, um das Steuergesetz für die Realisierung der erforderlichen Belastungskennlinie zu bestimmen. Beim klassischen Boost Konverter ergibt sich z.B.

$$a = 1 - \frac{K_1 \cdot I_{in} + K_2}{V_{out}} \quad (6)$$

mit I_{in} als Eingangsstrom in den Konverter (beim klassischen Boost Konverter entspricht dieser gleichzeitig dem Strom in der Drossel). Die beiden hier behandelten Beispiele beziehen sich auf den kontinuierlichen Betrieb mit konstanter Schaltfrequenz. Ebenso können erforderliche Steuergesetze für den diskontinuierlichen Betrieb und bei variabler Schaltfrequenz hergeleitet werden; diese sind jedoch umfangreicher und daher schwerer zu realisieren.

Das Tastverhältnis a (Einschaltzeit des aktiven Schalters bezogen auf die Periodendauer) wird man nach oben hin begrenzen ($a_{max} < 1$), ebenso wird ein Softstart des Konverters sinnvoll sein, um Überschwingungen zu vermeiden. Die erforderliche Stromerfassung stellt keinen wesentlichen Zusatzaufwand dar, da sie aus Gründen des Schutzes der Schaltung notwendig ist.

Der Nachteil einer Steuerung, bei der keine Rückmeldung des Systems verarbeitet wird, kann durch einen Kalibrierlauf des Systems ausgeglichen werden, bei dem die optimale Kennlinie bestimmt wird. Temperatureinflüsse können ebenfalls korrigiert werden.

Soll die Ausgangsspannung am Zwischenkreis unabhängig von der Last konstant gehalten werden, so ist eine Regelschleife erforderlich, die auf den Faktor im Steuergesetz wirkt, in dem die Ausgangsspannung aufscheint.

Die aktiven Schalter des Konverters können dabei mit Bipolartransistoren, MOSFETs, IGBTs, MCTs, MCThs, SITs, GTOs, Solid State Relais oder Kombinationen von Halbleiterschaltern realisiert sein und mit Netzwerken zur Reduktion der Schaltverluste versehen sein.

Figur 1 stellt das Strom- Spannungskennlinienfeld bei verschiedenen Einstrahlungsverhältnissen eines photovoltaischen Generators dar, weiters ist die jeweilige Leistungskurve für die 5 verschiedenen Einstrahlungen und die erforderliche Lastkennlinie eingezeichnet, die den Betrieb im optimalen Arbeitspunkt gewährleistet. Figur 2 stellt eine Prinzipskizze dar. Der Solargenerator (1) ist mit dem Eingang des DC/DC Konverters (2) verbunden (Spannung V_{in}), am Ausgang (Spannung V_{out}) des DC/DC Konverters (2) ist die Last (3) angeschlossen. Das Steuersignal (4) greift in den Konverter (2) ein und wird durch den Steuersignalgenerator (5) aus der Eingangsspannung (V_{in}), zugeführt über (6), der Ausgangsspannung (V_{out}), zugeführt über (7) und ein Gleichstromsignal, zugeführt über (8), bestimmt. Dem Steuersignalgenerator (5) müssen die Koeffizienten der

Belastungskurve entsprechend dem Solargenerator zugeführt werden. Diese Skizze soll das grundlegende Konzept andeuten, der Steuersignalgenerator wird natürlich im DC/DC Wandler integriert.

5

PATENTANSPRÜCHE:

1. Methode zum Betrieb von Solarpaneelen im Punkt maximaler Leistung durch Bestimmung des Tastverhältnisses des/der aktiven Schalter eines DC/DC bzw. DC/AC Konverters unter zu Grundelegung von 2 Meßgrößen aus den Größen Eingangsspannung, Ausgangsspannung, Eingangsstrom, Ausgangsstrom, Spulenstrom, Schalterstrom und gewählter Konstanten **dadurch gekennzeichnet, daß** für einen Hochsetzsteller, bzw. Tiefsetzsteller, bzw. beliebigen anderen Konvertern ein linearer Zusammenhang mit Offset zwischen Eingangsspannung V_{in} und Eingangsstrom I_{in} des Konverters $V_{in} = K_1 \cdot I_{in} + K_2$ entsteht.
2. Methode gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, daß** das Tastverhältnis a eines Hochsetzstellers aus den zwei Meßgrößen Eingangsstrom I_{in} und Ausgangsspannung V_{out} gemäß
$$a = 1 - \frac{K_1 \cdot I_{in} + K_2}{V_{out}}$$
 gebildet wird.
3. Methode gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, daß** das Tastverhältnis a eines Tiefsetzstellers aus den zwei Meßgrößen Laststrom I_{Load} und Ausgangsspannung V_{out} gemäß
$$a = \frac{\sqrt{K_2^2 + 4K_1 \cdot I_{Load} \cdot V_{out}} - K_2}{2K_1 \cdot I_{Load}}$$
 gebildet wird.
4. Ansteuerverfahren gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, daß** das Steuergesetz über einen Microcontroller oder einen digitalen Signalprozessor berechnet wird.
5. Ansteuerverfahren gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, daß** das Steuergesetz über eine analoge Schaltung berechnet wird.
6. Ansteuerverfahren gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, daß** dem Steuergesetz eine Regelung zur Stabilisierung des Ausgangs des Konverters überlagert ist.
7. Ansteuerverfahren gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, daß** die Koeffizienten entsprechend der Betriebstemperatur angepaßt werden können.
8. Ansteuerverfahren gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, daß** die Koeffizienten des Steuergesetzes durch Kalibrierläufe überprüft und nachjustiert werden können.

35

HIEZU 1 BLATT ZEICHNUNGEN

40

45

50

55

