

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

703 453 A2

(51) Int. Cl.: H02M 3/155 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 01156/10

(71) Anmelder:
Woodward IDS Switzerland AG, Hagenholzstrasse 71
8050 Zürich (CH)

(22) Anmeldedatum: 15.07.2010

(72) Erfinder:
Alexander Stoev, 8127 Forch (CH)

(43) Anmeldung veröffentlicht: 31.01.2012

(74) Vertreter:
Rentsch Partner AG, Fraumünsterstrasse 9 Postfach 2441
8022 Zürich (CH)

(54) Differenz-Steller als String-Konverter.

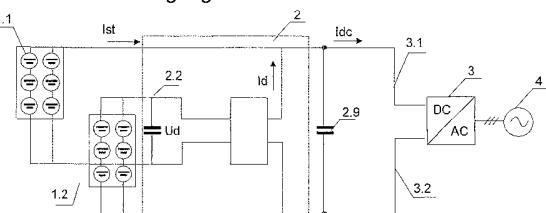
(57) Die Erfindung behandelt einen Spannungssteller (Booster) für die Stellung der Spannung eines String-Paars (1.1, 1.2) bzw. eines Multistring-Paars und für die Einstellung des MPP-Arbeitspunktes des Stringpaars bzw. des Multistring-Paars.

Erfindungsgemäss werden zwei Strings (1.1, 1.2) seriell zu einem Stringpaar geschaltet wie in Fig. 2 gezeigt. Es bildet sich dabei eine Differenzspannung U_d , welche gleich der Differenz beider String-Spannungen und der DC-Spannung über dem Kondensator (2.9) ist. Die Differenz-Leistung P_d wird mit einem Steller (2) hoch- bzw. tiefgesetzt (D-Booster). Der PV-Stringstrom I_{st} fließt direkt in die DC-Leitungen (3.1, 3.2). Der zusätzliche Differenz-Strom I_d wird ebenfalls am DC-Ausgang eingespeist und addiert sich zu dem Stringstrom I_{st} .

Durch die Regelung der Differenz-Leistung kann die grösere PV-Leistung des Stringpaars am Maximum Power Point (MPP) eingestellt werden. Da nur die kleine D-Leistung vom D-Booster (2) konvertiert wird, sind die Verluste des D-Boosters kleiner als die eines konventionellen Hochstellers, welcher die gesamte PV-Leistung konvertiert. Darüber hinaus zeichnet sich der D-Booster durch einen geringeren Materialaufwand aus.

Die DC-Spannung kann, auch bei einer variablen String-Spannung, konstant gehalten werden. Der anschliessende DC/AC-Umformer (3) speist die Energie ins AC-Netz (4) ein. Ein oder mehrere D-Booster können in String-Verteiler nahe den (Multi)-String-Paaren untergebracht werden. Die DC-Spannung wird hochgesetzt und zum entfernten DC/AC-Umformer (3) übertra-

gen, infolgedessen werden sowohl der Verkabelungsaufwand als auch die Übertragungsverluste reduziert.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung behandelt einen Spannungssteller (Booster) für die Stellung der Spannung eines String-Paars (1.1, 1.2) bzw. eines Multistring-Paars und für die Einstellung des MPP-Arbeitspunktes des Stringpaars bzw. des Multistring-Paars.

[0002] Erfindungsgemäss werden zwei Strings (1.1, 1.2) seriell zu einem Stringpaar geschaltet wie in Fig. 2 gezeigt. Es bildet sich dabei eine Differenzspannung U_d , welche gleich der Differenz beider String-Spannungen und der DC-Spannung über dem Kondensator (2.9) ist. Die Differenz-Leistung P_d wird mit einem Steller (2) hoch- bzw. tiefgesetzt (D-Booster). Der PV-Stringstrom I_{st} fließt direkt in die DC-Leitungen (3.1, 3.2). Der zusätzliche Differenz-Strom I_d wird ebenfalls am DC-Ausgang eingespeist und addiert sich zu dem Stringstrom I_{st} .

[0003] Durch die Regelung der Differenz-Leistung kann die grössere PV-Leistung des Stringpaars am Maximum Power Point (MPP) eingestellt werden. Da nur die kleine D-Leistung vom D-Booster (2) konvertiert wird, sind die Verluste des D-Boosters kleiner als diese eines konventionellen Hochstellers, welcher die gesamte PV-Leistung konvertiert. Darüber hinaus zeichnet sich der D-Booster durch einen geringeren Materialaufwand aus.

[0004] Die DC-Spannung kann auch bei einer variablen String-Spannung konstant gehalten werden. Der anschliessende DC/AC-Umformer (3) speist die Energie ins AC-Netz (4) ein. Ein oder mehrere D-Booster können in String-Verteilern nahe den (Multi)-String-Paaren untergebracht werden. Die DC-Spannung wird hochgesetzt und zum entfernten DC/AC-Umformer (3) übertragen, infolgedessen werden sowohl der Verkabelungsaufwand als auch die Übertragungsverluste reduziert.

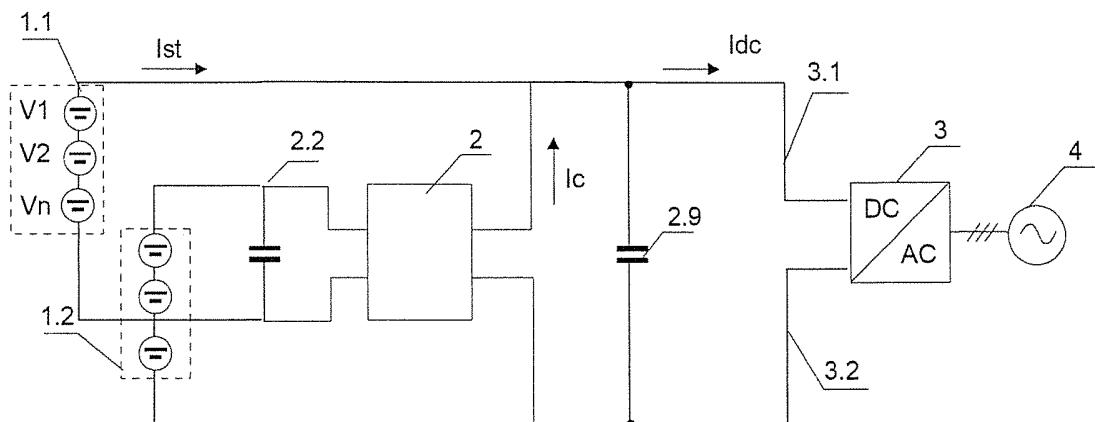


Fig. 2

[0005] Ein PV-String (1.1) bestehen aus mehreren Solarpanelen, welche seriell geschaltet sind, so dass die String-Spannung U_{st} höher als die einzelnen Panel-Spannungen $V_1, V_2 \dots$ ist - siehe Fig. 1. Der belastete PV-String erzeugt den Stringstrom I_{st} und die PV-Leistung P_{pv} . Die Belastungsvorrichtung wird auch Tracker genannt. Der Tracker stellt den Stringstrom I_{st} so ein, dass die maximale Energie vom String generiert wird - der Arbeitspunkt wird Maximum Power Point (MPP) genannt. Der MPP-Tracker wird als Hochsteller der String-Spannung U_{st} ausgeführt, dieser stellt die variable Stringspannung U_{st} hoch und bildet eine konstante Ausgangsspannung U_{dc} . Der Hochsteller (Booster) stabilisiert die Stringspannung U_{st} .

[0006] Die Höhe der Stringspannung hängt von der Temperatur der Solar-Zellen und von der Dichte der Sonnenstrahlung ab - je tiefer die Temperatur der Zellen und je höher die Dichte der Strahlung sind, desto höher ist die Spannung der Zellen und des Strings. Die Stringspannung variiert im Betrieb von - 40% bis zu +40% des Nennwertes.

[0007] Multi-String Anordnung:

Mehrere Strings werden parallel zu einem Multistring geschaltet, d.h. ihnen wird gleiche Stringspannung aufgezwungen. Die Gruppierung zu Multi-String hat den Nachteil, dass im Falle der Abschattung bzw. Ausfalls eines Teils Si-Zellen der Panels, zu einer Abschaltung des gesamten betroffenen Strings führt, d.h. zu signifikanten Leistungsausfällen. Es kann sogar zur Rückspeisung von Energie benachbarter Strings zum abgeschatteten String kommen, was durch die Dioden D1 verhindert wird - siehe Fig. 1. Durch Abschattung und durch die Alterung einzelner PV-Zellen können die MPP Arbeitspunkte der einzelnen Strings voneinander abweichen. Diese Abweichungen können aber bei Multistings nicht individuell berücksichtigt werden, da keine Regelung der Leistung einzelner Strings vorgenommen wird.

[0008] Eine Lösung des Problems ist jedem String einen Hochsteller zuzuordnen, was aus Kostengründen nicht praktiziert wird. Hinzu kommt, dass die Hochsteller bis zu 1.5 % der Nennleistung als Verluste vorweisen, d.h. viel Solarenergie verbrauchen und aufwendiges Temperaturmanagement benötigen. Die vorliegende Erfindung bietet eine Lösung dieser Probleme.

[0009] Reduktion der DC-Verkabelung durch verteilte Hochsteller:

[0010] Bei hohen Temperaturen fällt die String-Spannung U_{st} ab dementsprechend hoch sind die DC-Ströme und die DC-Kabelquerschnitte. Durch den Einsatz von einem Hochsteller wird die DC-Spannung erhöht und damit der DC-Strom und die Kabelquerschnitte der DC-Verbindung reduziert, vorausgesetzt, dass der Hochsteller nahe dem String zugeordnet ist und nicht im DC/AC (3) Konverter (Zentralkonverter) integriert ist. Dies ist aber gegenwärtig nicht der Fall, da die gegenwärtigen Hochsteller aufwendig sind und Temperatur-Management brauchen.

[0011] Funktion des Hochstellers (Booster) als Tracker für Solarstrings:

[0012] Ein Hochsteller (2), ausgeführt als Hochsteller besteht aus einem Eingangskondensator (2.3), aus einer Speicherdrossel (2.4), aus einem elektronischen Schalter (2.7) (Transistor mit Freilaufdiode), sowie aus einer Diode (2.6) und schliesslich aus dem Ausgangskondensator (2.9) - siehe Fig. 1. Die Stringspannung U_{st} über dem Kondensator (2.3) wird kleiner als die DC-Ausgangsspannung U_{dc} gewählt. Wenn der Schalter (2.7) eingeschaltet ist, fließt ein Stringstrom I_{st} in die Drossel (2.3), die Strom-Energie wird in dieser Drossel gespeichert (Speicherdrossel). Anschliessend öffnet der Schalter (2.7) und der gespeicherte Strom wird über die Diode (2.6) in den Ausgangskondensator (2.9) eingeleitet - es fließt der DC-Strom I_{dc} . Der Ausgangskondensator (2.9) wird auch DC-Bus Kondensator genannt. Der Stringstrom I_{st} und der Ausgangsstrom I_{dc} werden durch das Ein- und Ausschalten (Modulation) des Schalters (2.7) gesteuert (Puls Width Modulation PWM). Schliesslich wird der DC-Ausgang des Hochstellers an einem DC/AC-Konverter (3) angeschlossen, welcher eine netzkonforme Spannung U_{ac} und Netzstrom I_{ac} ins Netz (4) einspeist.

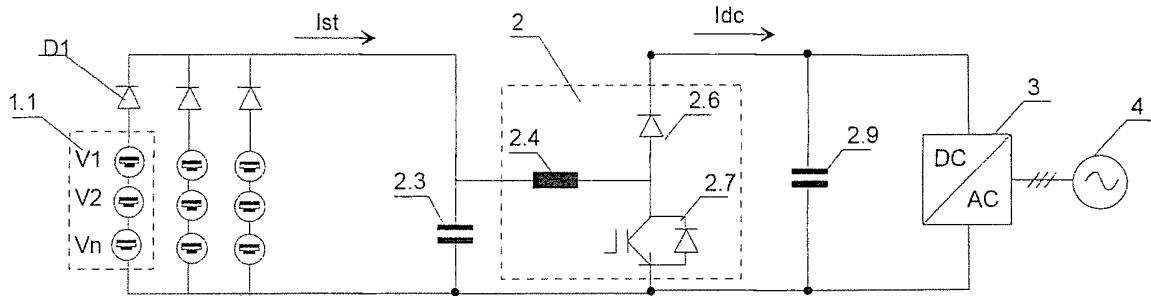


Fig. 1

[0013] Nachteil des konventionellen Hochstellers:

Der Hochsteller (2) wandelt den gesamten Energiefluss des Strings (1.1) um, d.h. es wird die volle Stringspannung U_{st} und der volle Stringstrom I_{st} vom Schalter (2.7) übernommen - siehe Fig. 1. Generell gilt für einen Hochsteller, dass der Ausgangsstrom I_{dc} kleiner als der Eingangsstrom I_{st} bleibt:

$I_{dc} < I_{st}$

mit: I_{dc} - Ausgangsstrom des Hochstellers I_{st} - Eingangsstrom des Hochstellers

[0014] Die Speicherdrossel (2.4) speichert während der Einschaltzeit die volle Energie des Eingangsstromes I_{st} , der Schalter muss für das Schalten des grösseren Stringstroms I_{st} ausgelegt sein, nicht für den ca. 40% kleineren DC-Strom, deswegen sind diese Komponenten - Drossel (2.4) und Schalter (2.7) gross und teuer. Die Verluste in dem Schalter steigen proportional, in der Drossel quadratisch mit dem Strom I_{st} an - ca. 1.5% der PV-Leistung geht dabei verloren.

[0015] Die resultierenden Nachteile des konventionellen Hochstellers sind:

- Ist gross und aufwendig
- zeigt hohe Verluste: ca. 1.5% der Solarenergie geht verloren im Hochsteller,
- Notwendigkeit der Kühlung
- kann nur schwer im Feld zugeordnet werden - die Hochsteller werden in der Regel in dem DC/AC -Konverter integriert, damit werden grosse Kabel-Querschnitte für die DC-Stromübertragung benötigt

[0016] Das Ziel dieser Erfindung ist einen neuartigen Steller (Differenz-Steiler, D-Booster) als String-Konverter vorzuschlagen, mit folgenden Vorteilen:

- Halbierung der Verluste für den String-Steller durch die Reduktion der Leistung, welche umgewandelt wird
- Halbierung des materiellen Aufwandes durch die Reduktion der Leistung, welche umgewandelt wird
- D-Hochsteller hat geringes Volumen und kann im String-Verteiler nahe den Panels angeordnet werden
- die hohe DC-Ausgangsspannung U_{dc} erlaubt höhere AC-Spannungen U_{ac} und kleinere AC-Ströme I_{ac} zu erreichen, d.h. die Verluste, das Volumen und die Kosten des Zentralkonverters (3) reduzieren sich ebenfalls.

[0017] Funktionsweise des D-Boosters:

Es werden erfindungsgemäss je zwei Strings (1.1, 1.2) (oder zwei Multistrings) seriell verbunden - Fig. 2. Der positive Anschluss des ersten Strings (1.1) wird mit dem positiven DC-Anschluss (3.1) verbunden. Der negative Anschluss des zweiten Strings (1.2) wird mit dem negativen DC-Eingang (3.2) verbunden. Zwischen den beiden freien Anschlüssen beider Strings (1.1, 1.2) wird der Kondensator (2.2) angeschlossen. Zwischen beiden Strings bildet sich zwischen dem positiven

[0018] Anschluss vom String (1.2) und dem negativen Anschluss vom String (1.1) eine Differenzspannung U_d über dem Kondensator (2.2). Die Differenzspannung U_d ist gleich:

$$U_d = U_{st1} + U_{st1} - U_{dc}$$

Mit: U_d - die Differenzspannung

U_{st1} - die Stringspannung über dem String (1.1)

U_{st2} - die Stringspannung über dem String (1.2)

U_{dc} - die DC-Spannung am Ausgang

[0019] Bei dem vorgeschlagenen Verfahren werden erfindungsgemäss nur die Differenzspannung U_d und der Differenzstrom I_d umgewandelt d.h. der D-Steller konvertiert nur die Differenz-Leistung P_d :

$$P_d = I_d \cdot U_d$$

Mit: I_d - Differenzstrom

U_d - Differenzspannung

welche erfindungsgemäss kleiner als die DC-Leistung P_{dc} bzw. als die PV-Leistung P_{pv} ist:

$$P_{dc} = I_{dc} \cdot U_{dc}$$

$$P_{pv} = I_{st} \cdot U_{st1} + I_{st} \cdot U_{st2}$$

$$P_{dc} = P_{pv}$$

und:

$$P_d < P_{dc} = P_{pv}$$

mit: P_d - Differenz-Leistung

P_{dc} - DC Leistung

P_{pv} - PV-Leistung

[0020]

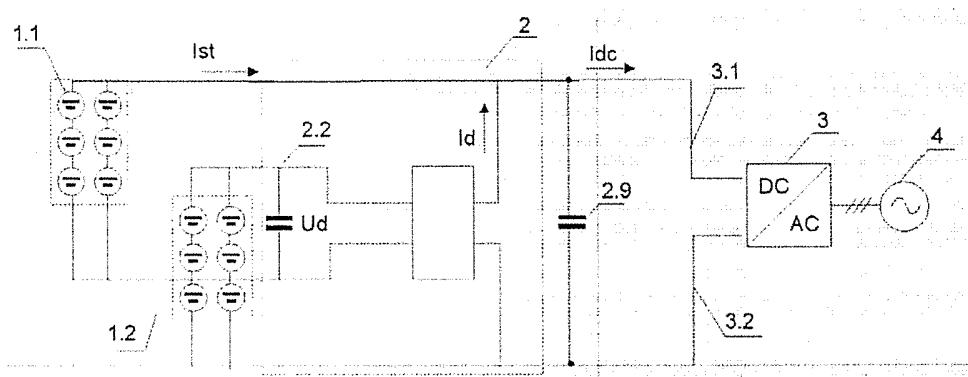


Fig.2

[0021] Man kann - wie bei einem Leistungsverstärker mit einer kleineren Steuerleistung (Differenzleistung P_d) die höhere Nutzleistung - die PV-Leistung P_{pv} - kontrollieren. Der Aufwand und die Verluste für die Umformung der kleineren Differenzleistung P_d sind kleiner als für die Umwandlung der vollen PV-Leistung - Fig. 2

[0022] Im Allgemeinen gilt:

$$U_d = U_{st1} + U_{st2} - U_{dc} < U_{dc}$$

Und:

$$I_{dc} = I_{st} + I_d > I_d$$

Mit:

- U_d - die Differenzspannung
- U_{dc} - die DC-Spannung
- I_d - der Differenzstrom
- I_{dc} - der DC Strom

[0023] Ist - der Stringstrom

d.h.

$$U_d * I_d < U_{dc} I_{dc}$$

- 1 Ein D-Steller für PV-Strings mit seriell geschalteten PV-Modulen (V1, V2 ...) ist gekennzeichnet dadurch dass:
 - je zwei PV-Strings (1.1, 1.2) an einem gemeinsamen DC-Bus (31,32) angeschlossen werden, wobei der positive Ausgang des ersten Strings (11) am positiven DC-Ausgang des DC-Busses (31) angeschlossen wird und der negative Ausgang des zweiten Strings mit dem negativen DC-Eingang (32) verbunden wird - siehe Fig. (2)
 - der negative Anschluss des ersten Strings (11) und der positiven Anschluss des zweiten Strings (12) eine Differenzspannung U_d bilden, welche vom Kondensator (2.2) gestützt wird und mittels dem Hochsteller (2) mit dem DC-Ausgang verbunden wird
 - der Differenz-Steller (D-Steller, D-Booster) (2) die Differenzspannung U_d und den Differenzstrom I_d stellt, wobei die Differenzleistung $P_d = I_d * U_d$ kleiner als die DC-Leistung $P_{dc} = U_{dc} * I_{dc}$ am Ausgang des D-Boosters (2) ist.
- 2 Ein D-Steller nach Anspruch 1 ist gekennzeichnet dadurch, dass:
 - der Differenzstrom I_d variiert wird, so dass damit der Stringstrom I_{st} kontrolliert und der MPP Arbeitspunkt des Stringpaars (1.1,1.2) eingestellt wird
 - die DC Spannung U_{dc} am Ausgang des D-Stellers so gesteuert wird, dass ein DC/AC-Konverter (3), welcher an dieser Spannung angeschlossen ist, optimal arbeitet.

[0024] D-Booster als unipolarer Differenz-Hochsteller (D-Hochsteller):

In diesem Fall wird die Differenzspannung U_d erfindungsgemäss kleiner als die D-Steller Ausgangsspannung U_{dc} gewählt. Die Differenzspannung U_d wird durch den Hochsteller (2) auf den Wert von der Ausgangsspannung U_{dc} hochgestellt. Der D-Hochsteller wandelt nur die Differenz-Energie, welche sich aus dem Produkt der Differenzspannung U_d und Differenzstrom I_d ergibt.

[0025] Der Differenz-Strom I_d nimmt erfindungsgemäss nur positive Werte an - siehe Fig. 3. Die Differenzspannung U_d kann von Null bis U_{dc} variieren. Die DC-Spannung bleibt dabei weitgehend konstant. Der Stringstrom I_{st} wird durch den Schalter (2.7) so kontrolliert, dass das Stringpaar (1.1, 1.2) am MPP Arbeitspunkt betrieben wird. Durch die Stellung des optimalen Stringstromes I_{st} , ergibt sich ein Differenzstrom I_d , welcher am Ausgang des D-Hochstellers durch die Dioden (2.6,2.7) geschaltet wird - Fig. 3.

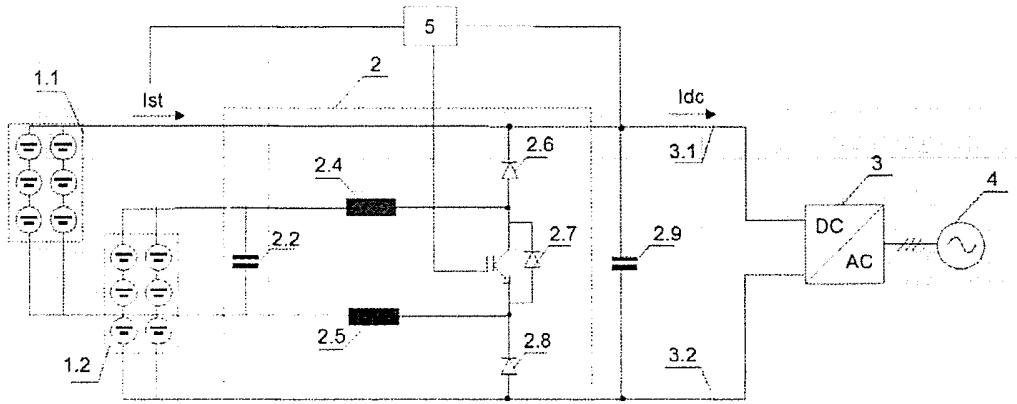


Fig. 3

[0026] Der Ausgangstrom I_{dc} des D-Hochstellers ist unipolar und gleich:

$$I_{dc} = I_{st} + I_d$$

- Mit:
- | | |
|----------|---------------------------|
| I_{dc} | - der DC-Strom am Ausgang |
| I_{st} | - der Stringstrom |
| I_d | - der Differenzstrom. |

- 3) Ein Differenz-Hochsteller (D-Hochsteller) nach Ansprüchen 1 und 2 ist gekennzeichnet durch, dass:
- die Differenzspannung U_d und der Differenzstrom I_d nur positive Werte annehmen (bezogen auf die Richtungen in Fig. 3)
 - der D-Hochsteller bestehend aus dem Eingangs-Kondensator (2.3) aus dem elektronischen Schalter (2.7) und aus den Freilaufdiode (2.6, 2.8), sowie aus den Speicher- Drosseln (2.4, 2.5)
 - der Controller (5) den String-Strom I_{st} und die String-Spannung des jeweiligen String-Paars (1.1, 1.2) erfasst und den Schalter (27) steuert, so dass die maximale Leistung vom String-Paar (1.1, 1.2) geliefert wird (Maximum Power Point MPP).

[0027] Der unipolare D-Hochsteller besteht aus dem Schalter (27), sowie aus den Speicherdrosseln (24,25) und aus den Freilaufdioden (2.6,2.8). Die Kondensatoren (21),(22),(23) sind zwischen den Anschlüssen der einzelnen PV-Strings (11, 12) angeschlossen und sorgen dafür, dass unerwünschte Oberwellen, die durch die Arbeit des Schalters (2.7) auftreten, geglättet werden. Wenn der Schalter (27) eingeschaltet wird, steigt der Stringstrom I_{st} , der Anstieg wird durch die Drossel limitiert. Beim Ausschalten des Schalters wird der Stringstrom verkleinert. Gleichzeitig wird die in den Drosseln (2.4,2.5) gespeicherte Differenzleistung über die Dioden (2.6,2.8) am DC-Ausgang in Form eines Differenzstromes I_d eingespeist. Parallel zu diesem Strom I_d fließt der Stringstrom I_{st} weiter, so dass für den Ausgangsstrom I_{dc} gilt:

$$I_{dc} = I_{st} + I_d$$

$$I_d < I_{dc}$$

mit:

- | | |
|----------|-------------------|
| I_{dc} | - DC-Ausgangstrom |
| I_{st} | - Stringstrom |
| I_d | - Differenzstrom |

[0028] Der Controller (5) erfasst die die String-Spannung U_{st} und den String-Strom I_{st} . Der Stringstrom und damit die Belastung des String-Paars werden durch das Ein- und Ausschalten des Schalters (2.7) (Puls Width Modulation PWM) so geregelt, dass die maximale PV-Leistung vom String-Paar abgegeben wird (MPP).

- 4) Ein unipolarer D-Hochsteller nach Ansprüchen 1 bis 3, gekennzeichnet dadurch, dass
- Bei tiefen Temperaturen der Schalter (2.7) permanent ausgeschaltet wird
 - Die Regelung der PV-Leistung des Stringpaars (Einstellung des MPP Arbeitspunktes) durch die Variation der DC-Spannung des DC/AC-Konverters (3) erfolgt

[0029] Die Stringspannung U_{st} und die Differenzspannung U_d steigt mit der Reduktion der String-Temperatur, denn die Solarzellen weisen einen negativen thermischen Koeffizienten auf. Da bei einem unipolaren D-Booster U_d kleiner gleich U_{dc} ist gilt bei sehr tiefen Temperaturen:

$$U_{dc} = U_d = U_{st1} = U_{st2}$$

$$I_{dc} = I_{st1} + I_{st2}$$

Mit:	I_{st1}	- der Stringstrom des Strings (1.1)
	I_{st2}	- der Stringstrom des Strings (1.2)
	U_{st1}	- die Stringspannung des Strings (1.1)
	U_{st2}	- die Stringspannung des Strings (1.2)

[0030] Wenn die Differenzspannung U_d gleich der DC-Spannung ist, ist der Schalter (2.7) permanent ausgeschaltet, der DC-Strom ist gleich den Summen der Stringströme I_{st1} und I_{st2} beider Strings. Die Einstellung des MPP-Arbeitspunktes in diesem Betriebsfall wird durch die Variation des Wertes der DC-Spannung U_{dc} und des DC-Stromes I_{dc} erreicht. Diese Aufgabe kann sowohl vom Kontroller (5) des D-Boosters als auch vom Controller des DC/AC-Konverters (3) übernommen werden.

- 5) Ein unipolarer D-Hochsteiler nach Ansprüchen 1 bis 4, gekennzeichnet dadurch, dass
- Bei hohen Temperaturen der Strings (1.1,1.2) der Schalter (2.7) permanent eingeschaltet wird
 - Die Regelung der PV-Leistung des Stringpaars (1.1,1.2) (Einstellung des MPP Arbeitspunktes) durch die Variation der DC-Spannung des DC/AC-Konverters (3) erfolgt

[0031] Bei sehr hohen Temperaturen kann vorkommen, dass der Schalter (2.7) permanent eingeschaltet ist und die Ausgangsspannung U_{dc} gleich der Summe der Spannungen U_{st1} und U_{st2} beider Strings (1.1,1.2) wird. Die Differenzspannung U_d und der Differenzstrom I_d sind gleich Null;
 $U_{dc} = U_{st1} + U_{st2}$ $U_d = 0$ $I_d = 0$ $I_{dc} = I_{st}$

[0032] Die Einstellung des MPP-Arbeitspunktes in diesem Betriebsfall wird durch die Variation des Wertes der DC-Spannung U_{dc} und des DC-Stromes I_{dc} erreicht/vorgenommen. Diese Aufgabe kann sowohl vom Kontroller (5) des D-Boosters als auch vom Controller des DC/AC-Konverters (3) übernommen werden.

[0033] In einer weiteren Ausführungsvariante können die Differenzspannung U_d und der Differenzstrom I_d sowohl positive als negative Werte annehmen - der bidirektionale D-Steller. Der bipolare D-Steller besteht aus - Fig. 4:

- aus dem Gleichrichter (fa) welche die bipolare Spannung U_d gleichrichtet,
- aus den Speicherdrosseln (24, 25),
- aus den Schaltern (26, 27, 28) welche mit antiparallelen Dioden ausgestattet sind
- aus den Kondensatoren (21), (22), (23) die zwischen den Anschlüssen der einzelnen PV-Strings (11) und (12) seriell angeschlossen sind und die Spannungen der PV Strings während der Konvertierung stützen.

[0034]

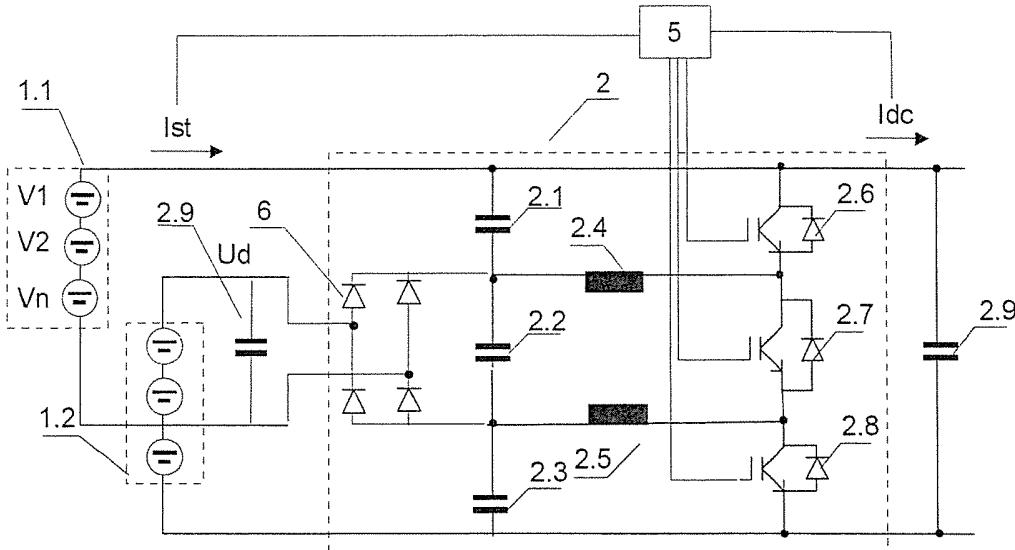


Fig. 4

[0035] Negative Differenzspannung U_d und Differenzstrom I_d :

Negative Differenzspannung U_d und Strom I_d treten bei hohen Temperaturen auf, wenn die Summe der String-Spannungen $U_{st1} + U_{st2}$ kleiner der DC-Spannung U_{dc} ist. In diesem Fall wird U_d durch den Gleichrichter (6) gleichgerichtet, so dass über den Kondensator (2.2) nur positive U_d -Werte auftreten. Falls der Differenzstrom I_d negativ ist, dann werden die Schalter (2.6, 2.8) synchron eingeschaltet, so dass ein Strom I_d in den Speicherdrösseln aufgebaut wird. Dieser Strom wird von dem DC-Ausgangstrom I_{dc} abgezogen:

$$I_{dc} = I_{st} - I_d$$

Mit:

I_{dc} - der DC-Ausgangstrom

I_{st} - der Stringstrom

I_d - der Differenzstrom.

[0036] Anschliessend werden die Schalter (2.6, 2.8) ausgeschaltet, die antiparallele Diode des Schalters (2.7) übernimmt den Stromfluss - der negative Differenzstrom I_d wird abgebaut. Durch die synchrone PWM-Ansteuerung der Schalter (2.6, 2.8) kann der negative Differenzstrom I_d geregelt werden. Der Schalter (2.7) bleibt ausgeschaltet. Der D-Steller arbeitet in diesem Fall als Tiefsteller. Es wird Energie vom DC-Ausgang zum Kondensator (2.9) zurückgeführt.

[0037] Im Fall eines positiven Differenzstromes arbeitet der bidirektionale Steller wie bereits dargestellt -siehe Fig. 3. Die Schalter (2.6, 2.8) bleiben in diesem Fall ausgeschaltet, der Stromfluss wird durch die antiparallelen Dioden geleitet.

6) Ein bidirektonaler D-Steller nach Ansprüchen 1 bis 5. gekennzeichnet dadurch, dass

der Gleichrichter (6) die Differenzspannung U_d gleichrichtet, so dass die Spannung über dem Kondensator (2.2) nur positive Werte annehmen kann

der Steller aus dem elektronischen Schalter (2.6, 2.7, 2.8) mit antiparallelen Dioden, dem Eingangs-Kondensator (2.3) und den Drosseln (2.4, 2.5) besteht - siehe Fig. 4

der positive Differenzstrom I_d und der Stringstrom I_{st} mittels PWM Ansteuerung des Schalters (2.7) geregelt wird, wobei die Schalter (2.6, 2.8) ausgeschaltet bleiben

der negative Differenzstrom I_d und der Stringstrom I_{st} mittels PWM Ansteuerung der Schalters (2.6, 2.8) geregelt wird, wobei der Schalter (2.7) ausgeschaltet bleibt

der Kontroller (5) den String-Strom Ist und die String-Spannung des jeweiligen Strings (1.1 und 1.2) erfassst und die Schalter (2.6, 2.72.8) so steuert, so dass die maximale Leistung aus dem String-Paar (1.1, 1.2) geliefert wird (MPP des String-Paars).

[0038] Verteilte D-Booster:

Ein oder mehrere D-Booster (6.1, 6.2) können in einem oder mehreren String-Verteilern (7) nahe den (Multi)-String-Paaren (1.1, 1.2), (1.3, 1.4) untergebracht werden - siehe Fig. 5. Da die Verluste der D-Booster und der Hardware-Aufwand gering sind, kann dies u.U. ohne Zwangskühlung umgesetzt werden. Es können auch mehrere D-Booster (6.1, 6.2) in einem Verteiler (7) zusammengefasst werden, indem die DC-Ausgangsspannungen zusammengeschaltet werden - siehe Fig. 5.

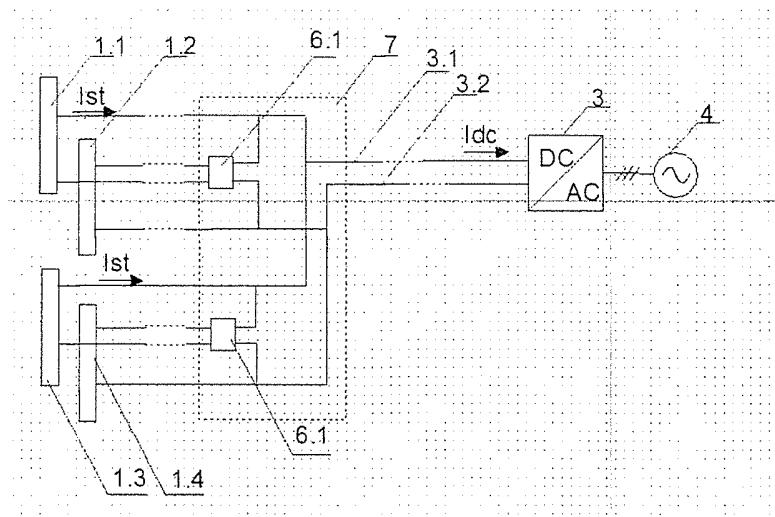


Fig. 5

[0039] Ein D-Steller nach Ansprüchen 1 bis 6, gekennzeichnet dadurch, dass

- Ein oder mehrere D-Steller nahe der String-Paare (1.1, 1.2) untergebracht werden, über die DC-Kabel (3.1, 3.2) zu einem oder mehreren DC/AC-Konvertern (3) verbunden werden - Fig. 5
- die D-Booster (6.1, 6.2) die Spannung des jeweiligen (Multi)-String-Paars hochsetzt so dass die DC-Übertragungsspannung Udc höher/gleich als die jeweilige Stringspannung Ust der Strings (1.1, 1.2, 1.3, 1.4) wird, so dass infolgedessen der DC-Strom Idc, die Übertragungsverluste und/oder der Querschnitt der DC-Kabel (3.1, 3.2) verringert werden.

[0040] Die Spannung jedes einzelnen des (Multi)-String-Paars (1.1, 1.2) wird auf eine höhere DC-Spannung hochgesetzt und anschliessend über die DC-Kabel (3.1, 3.2) mit dem zentralen DC/AC-Konverter (3) verbunden.

[0041] Die Übertragung der PV-Leistung Ppv zum DC/AC-Konverter (3) (Zentralkonverter) erfolgt mittels einer höheren DC-Spannung Udc, d.h. der zu übertragende DC-Strom Idc wird geringer. Infolgedessen können sowohl der Querschnitt der DC-Kabel (3.1, 3.2) (der Verkabelungsaufwand) als auch die ohmschen Übertragungsverluste reduziert werden. Der anschliessende DC/AC-Konverter (3) wird ebenfalls kostengünstiger, denn die höhere DC-Spannung ermöglicht höhere AC-Spannungen Uac zum Netz (4) und tiefere AC-Ströme Iac im Zentralkonverter (3).

Patentansprüche

1. Ein Differenz-Steller für PV-Strings mit seriell geschalteten PV-Modulen gekennzeichnet dadurch, dass:
 - je zwei PV-Strings an einem gemeinsamen DC-Bus (3.1, 3.2) angeschlossen werden, wobei der positive Ausgang des ersten Strings (1.1) an den positiven Ausgang des DC-Busses (3.1) angeschlossen wird und der negative Ausgang des zweiten Strings (1.2) an den negativen Eingang des DC-Busses (3.2) angeschlossen wird,
 - der negative Anschluss des ersten Strings (1.1) und der positive Anschluss des zweiten Strings (1.2) eine Differenzspannung Ud bilden, welche vom Kondensator (2.2) gestützt wird und mittels dem Hochsteller (2) mit dem DC-Bus (3.1, 3.2) verbunden wird,
 - der Differenz-Steller (D-Booster) (2) an seinem Eingang die Differenzspannung der PV-Strings Ud und an seinem Ausgang den Differenzstrom Id stellt, wobei die Differenzleistung Pd = Id*Ud kleiner als die DC-Leistung Pdc = Udc*Idc am Ausgang des D-Boosters (2) ist.
2. Ein Differenz-Steiler nach Anspruch 1 gekennzeichnet dadurch, dass:
 - der Differenzstrom Id variiert wird, so dass damit der Stringstrom Ist kontrolliert und der MPP Arbeitspunkt des Stringpaars (1.1, 1.2) eingestellt werden,
 - die DC Spannung Udc am Ausgang des Differenz-Steilers so gesteuert wird, dass ein DC/AC-Konverter (3), welcher an dieser Spannung angeschlossen ist, optimal arbeitet, d.h. die maximal mögliche PV-Leistung ins Netz speist.

3. Ein Differenz-Hochsteller nach Ansprüchen 1 und 2 gekennzeichnet dadurch, dass:
 - die Differenzspannung U_d und der Differenzstrom I_d nur positive Werte annehmen (bezogen auf die Richtungen in Fig. 3)
 - der D-Hochsteller aus einem Eingangs-Kondensator (2.2), aus einem elektronischen Schalter (2.7), den Freilaufdioden (2.6, 2.8), sowie aus den Speicher-Drosseln (2.4, 2.5) besteht,
 - der Kontroller (5) den String-Strom I_{st} und die String-Spannung des jeweiligen String-Paars (1.1, 1.2) erfasst und den Schalter (2.7) in einer Weise steuert, dass die maximale Leistung vom String-Paar (1.1, 1.2) geliefert wird (Maximal Power Point MPP).
4. Ein unipolarer Differenz -Hochsteller nach Ansprüchen 1 bis 3 gekennzeichnet dadurch, dass
 - bei tiefen Temperaturen der Schalter (2.7) permanent ausgeschaltet wird,
 - die Regelung der PV-Leistung des Stringpaars (Einstellung des MPP-Arbeitspunktes) durch die Variation der DC-Spannung des DC/AC-Konverters (3) erfolgt.
5. Ein unipolarer Differenz -Hochsteller nach Ansprüchen 1 bis 4 gekennzeichnet dadurch, dass
 - bei hohen Temperaturen der Strings (1.1, 1.2) der Schalter (2.7) permanent eingeschaltet wird,
 - die Regelung der PV-Leistung des Stringpaars (1.1, 1.2) (Einstellung des MPP Arbeitspunktes) durch die Variation der DC-Spannung des DC/AC-Konverters (3) erfolgt.
6. Ein bidirektonaler Differenz-Steller nach Ansprüchen 1 bis 5 gekennzeichnet dadurch, dass
 - der Gleichrichter (6) die Differenzspannung U_d gleichrichtet, so dass die Spannung über dem Kondensator (2.2) nur positive Werte annehmen kann,
 - der Steller aus dem elektronischen Schaltern (2.6, 2.7, 2.8) mit antiparallelen Dioden, dem Eingangs-Kondensator (2.3) und den Drosseln (2.4, 2.5) besteht,
 - der positive Differenzstrom I_d und der Stringstrom I_{st} mittels PWM Ansteuerung des Schalters (2.7) geregelt werden, wobei die Schalter (2.6, 2.8) ausgeschaltet bleiben,
 - der negative Differenzstrom I_d und der Stringstrom I_{st} mittels PWM Ansteuerung der Schalter (2.6, 2.8) geregelt werden, wobei der Schalter (2.7) ausgeschaltet bleibt,
 - der Kontroller (5) den String-Strom I_{st} und die String-Spannung des jeweiligen Strings (1.1 und 1.2) erfasst und die Schalter (2.6, 2.7, 2.8) so steuert, so dass die maximale Leistung aus dem String-Paar (1.1, 1.2) geliefert wird (MPP des String-Paars).
7. Ein Differenz-Steiler nach Ansprüchen 1 bis 6 gekennzeichnet dadurch, dass
 - ein oder mehrere Differenz-Steller nahe der String-Paare (1.1, 1.2) untergebracht und über die DC-Kabel (3.1, 3.2) zu einem oder mehreren DC/AC-Konvertern (3) verbunden werden
 - die Differenz-Steiler (6.1, 6.2) die Spannung des jeweiligen (Multi-)String-Paars hochsetzen, so dass die DC-Übertragungsspannung U_{dc} höher/gleich als die jeweilige Stringspannung U_{st} der Strings (1.1, 1.2, 1.3, 1.4) wird, so dass infolgedessen der DC-Strom I_{dc} , die Übertragungsverluste und/oder der Querschnitt der DC-Kabel (3.1, 3.2) verringert werden.

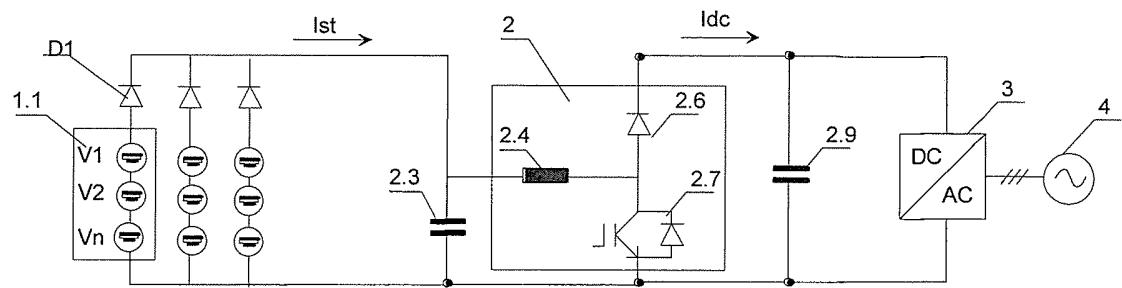


Fig. 1

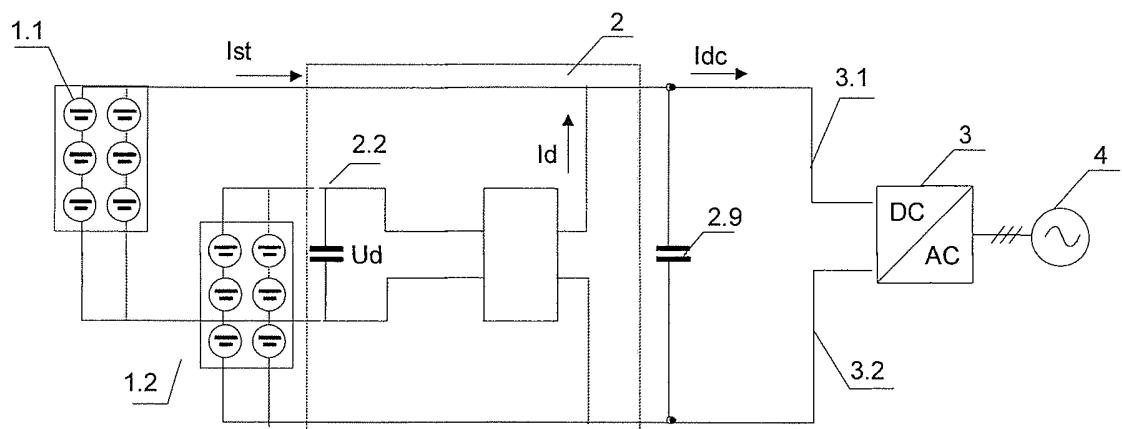


Fig. 2

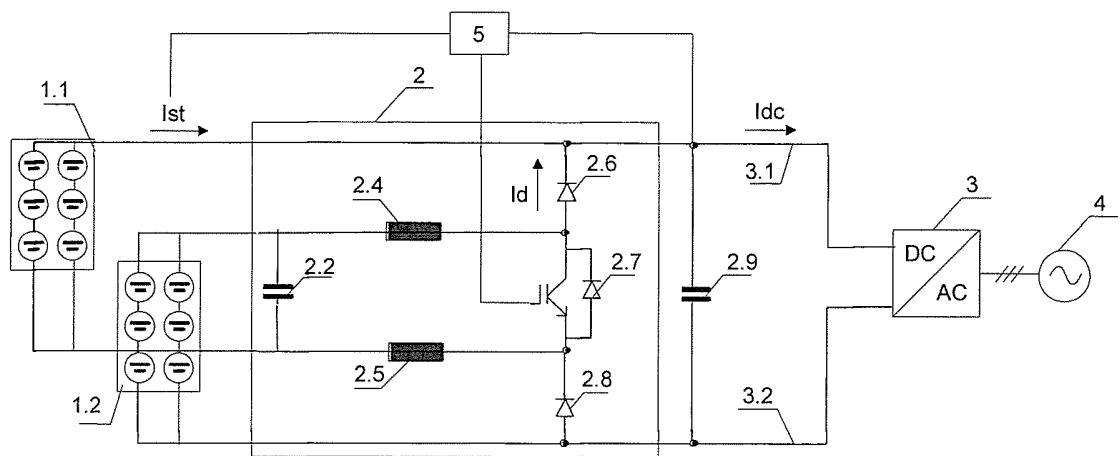


Fig. 3

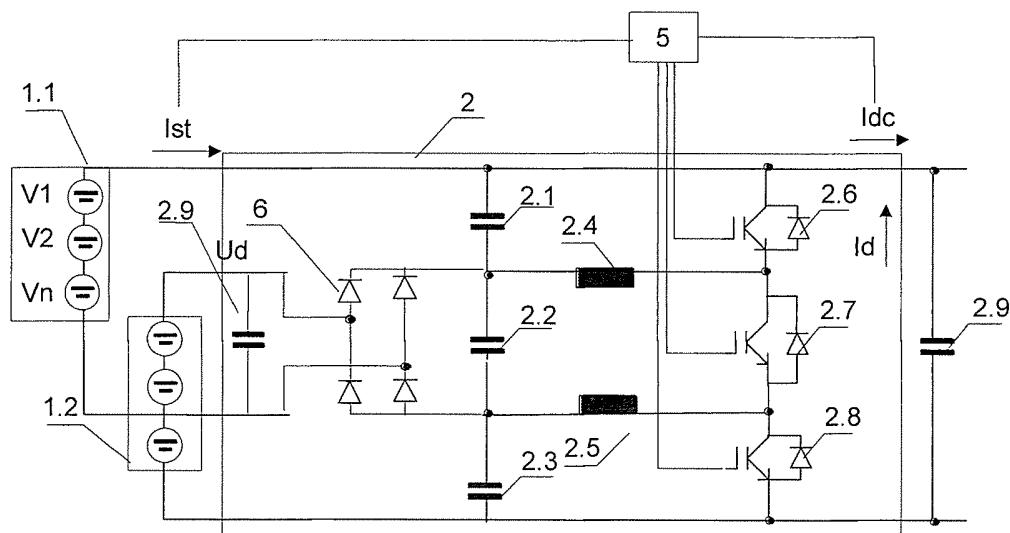


Fig. 4

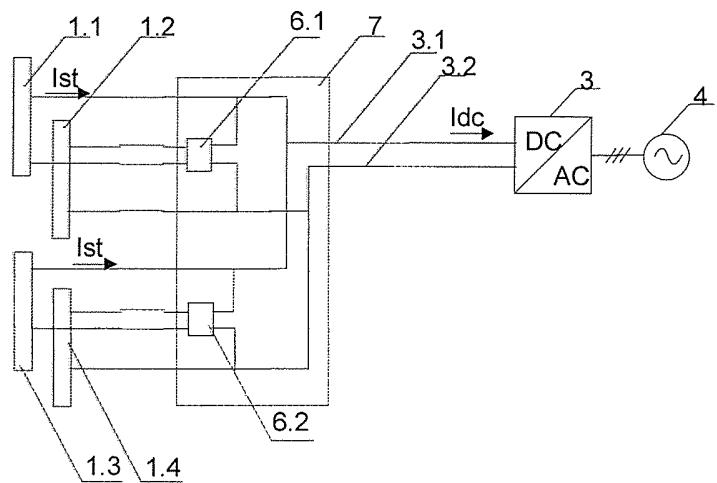


Fig. 5