



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
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.

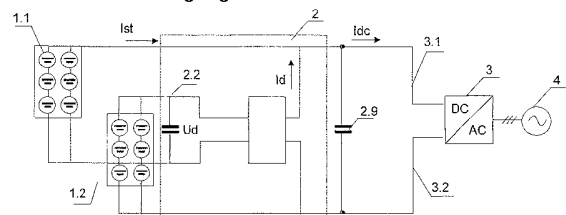
(57) Die Erfindung behandelt einen Spannungssteller (Booster) für die Stellung der Spannung eines String-Paares (1.1, 1.2) bzw. eines Multistring-Paares und für die Einstellung des MPP-Arbeitspunktes des Stringpaares bzw. des Multistring-Paares.

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 grössere PV-Leistung des Stringpaares 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-Paares (1.1, 1.2) bzw. eines Multistring-Paares und für die Einstellung des MPP-Arbeitspunktes des Stringpaares bzw. des Multistring-Paares.

**[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 Stringpaares 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.

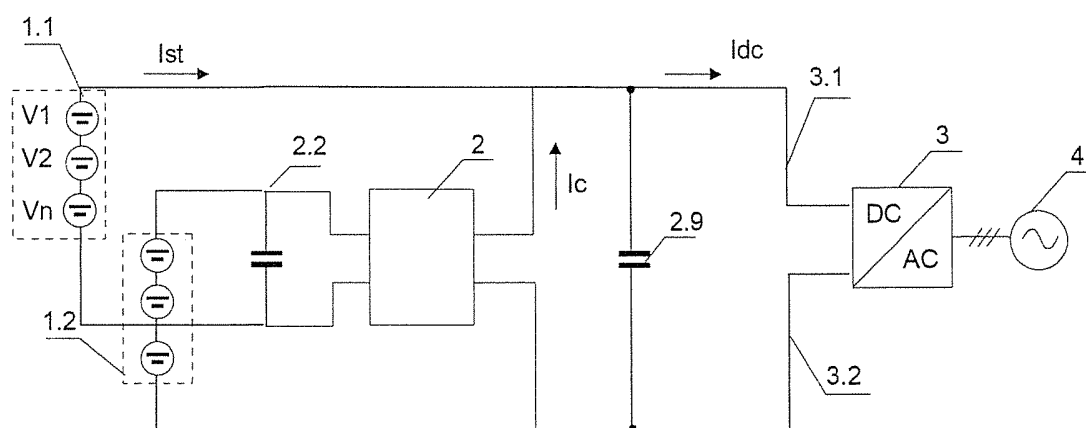


Fig. 2

**[0005]** Ein PV-String (1.1) bestehen aus mehreren Solarpanels, 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 Abschattung 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 Multistrings 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.

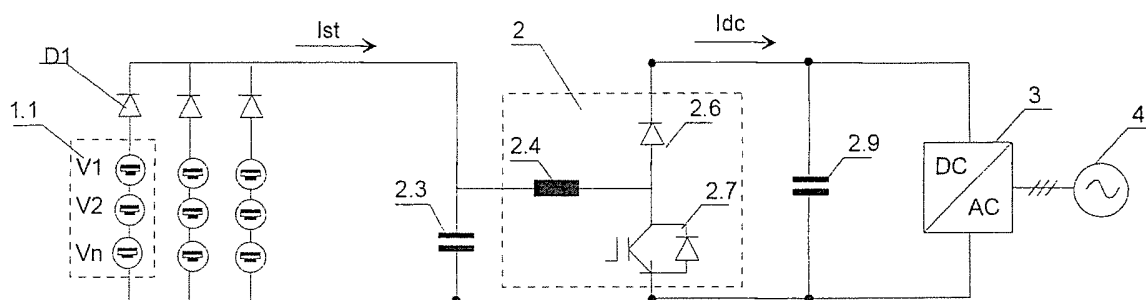


Fig. 1

**[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-Steller, 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:

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

Mit:  $U_d$  - die Differenzspannung

$U_{st1}$  - die Strings Spannung über dem String (1.1)

$U_{st2}$  - die Strings Spannung 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:

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

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

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

und:

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

mit:  $P_d$  - Differenz-Leistung

$P_{dc}$  - DC Leistung

$P_{pv}$  - PV-Leistung

**[0020]**

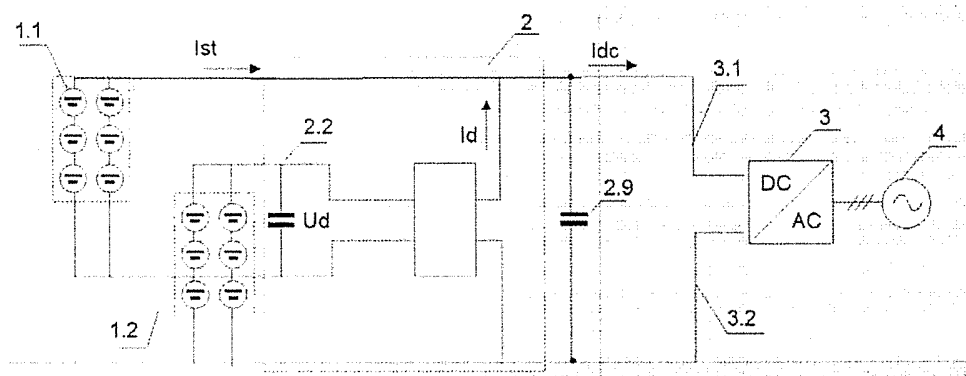


Fig.2

**[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.

$$U_d \cdot I_d < U_{dc} I_{dc}.$$

- 1 Ein D-Steller für PV-Strings mit seriell geschalteten PV-Modulen ( $V_1, V_2 \dots$ ) 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  $P_d = I_d \cdot U_d$  kleiner als die DC-Leistung  $P_{dc} = U_{dc} \cdot I_{dc}$  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 Stringpaares (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.

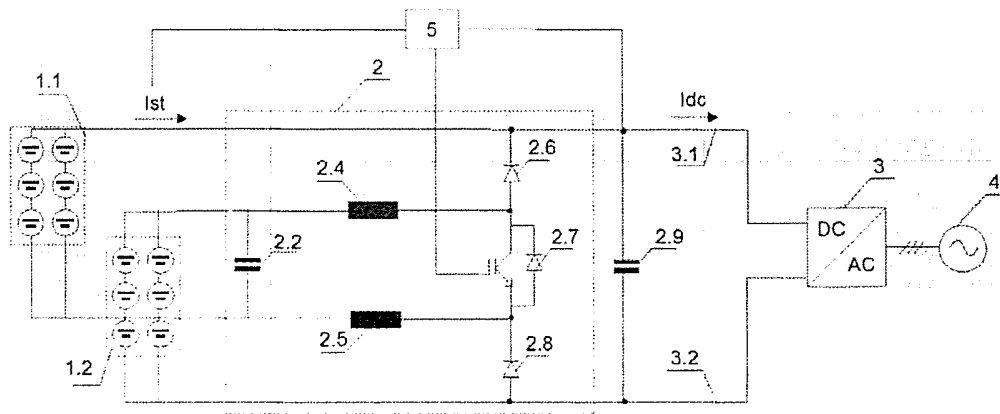


Fig. 3

[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 Freilaufdioden (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-Paares (1.1, 1.2) erfasst und den Schalter (2.7) 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 (2.7), sowie aus den Speicherdrosseln (2.4, 2.5) und aus den Freilaufdioden (2.6, 2.8). Die Kondensatoren (2.1), (2.2), (2.3) sind zwischen den Anschlüssen der einzelnen PV-Strings (1.1, 1.2) angeschlossen und sorgen dafür, dass unerwünschte Oberwellen, die durch die Arbeit des Schalters (2.7) auftreten, geglättet werden. Wenn der Schalter (2.7) 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 String-Spannung  $U_{st}$  und den String-Strom  $I_{st}$ . Der Stringstrom und damit die Belastung des String-Paares 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 Stringpaares (Einstellung des MPP Arbeitspunktes) durch die Variation der DC-Spannung des DC/AC-Konverters (3) erfolgt

**[0029]** Die Stringspannung  $U_{st}$  und die Differenzspannung  $U_c$  steigt mit der Reduktion der String-Temperatur, denn die Solarzellen weisen einen negativen thermischen Koeffizient 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 Stringpaares (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;  
 $U_{dc} = U_{st1} + U_{st2}$   $U_d = 0V$   $I_d = 0A$   $I_{dc} = I_{st}$

**[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]

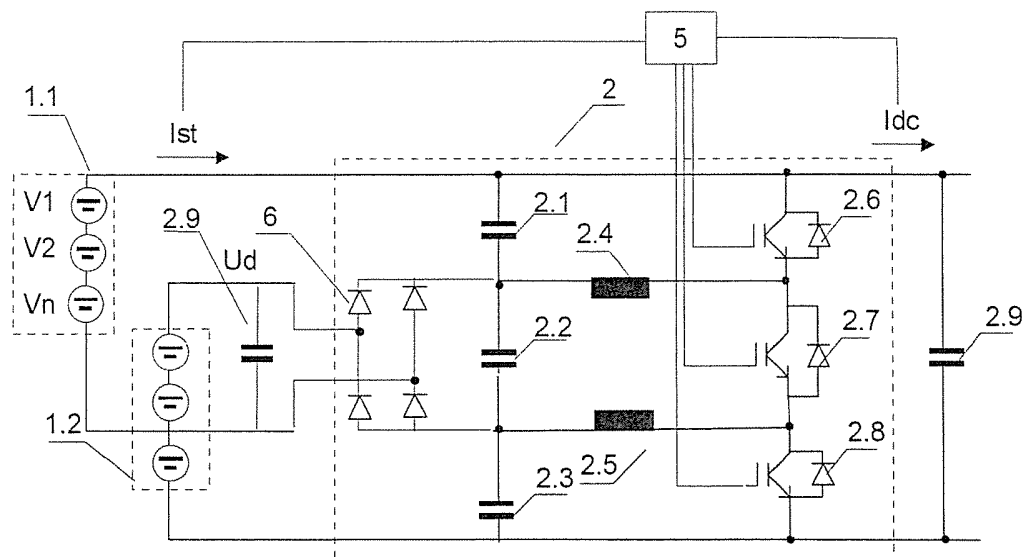


Fig. 4

[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 Speicherdrosseln aufgebaut wird. Dieser Strom wird von dem DC-Ausgangsstrom  $I_{dc}$  abgezogen:

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

Mit:

$I_{dc}$  - der DC-Ausgangsstrom

$I_{st}$  - 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 bidirektionaler D-Steller nach Ansprüchen 1 bis 5. gekennzeichnet dadurch, dass

der Gleichrichter (6) die Differenzspannung  $U_c$  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 Eingangskondensator (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 Schalter (2.6, 2.8) geregelt wird, wobei der Schalter (2.7) ausgeschaltet bleibt



der Controller (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-Paares).

**[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.

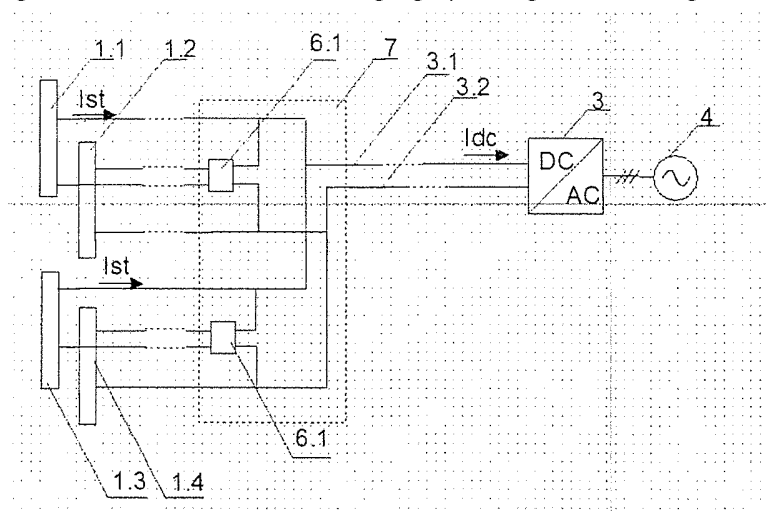


Fig. 5

**[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-Paares hochsetzt 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.

**[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  $P_{pv}$  zum DC/AC-Konverter (3) (Zentralkonverter) erfolgt mittels einer höheren DC-Spannung  $U_{dc}$ , d.h. der zu übertragende DC-Strom  $I_{dc}$  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  $U_{ac}$  zum Netz (4) und tiefere AC-Ströme  $I_{ac}$  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  $U_d$  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  $U_d$  und an seinem Ausgang den Differenzstrom  $I_d$  stellt, wobei die Differenzleistung  $P_d = I_d \cdot U_d$  kleiner als die DC-Leistung  $P_{dc} = U_{dc} \cdot I_{dc}$  am Ausgang des D-Boosters (2) ist.
2. Ein Differenz-Steller nach Anspruch 1 gekennzeichnet dadurch, dass:
  - der Differenzstrom  $I_d$  variiert wird, so dass damit der Stringstrom  $I_{st}$  kontrolliert und der MPP Arbeitspunkt des Stringpaares (1.1, 1.2) eingestellt werden,
  - die DC Spannung  $U_{dc}$  am Ausgang des Differenz-Stellers 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 Controller (5) den String-Strom  $I_s$  und die String-Spannung des jeweiligen String-Paares (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 Stringpaares (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 Stringpaares (1.1, 1.2) (Einstellung des MPP Arbeitspunktes) durch die Variation der DC-Spannung des DC/AC-Konverters (3) erfolgt.
6. Ein bidirektionaler 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  $I_s$  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  $I_s$  mittels PWM Ansteuerung der Schalter (2.6, 2.8) geregelt werden, wobei der Schalter (2.7) ausgeschaltet bleibt,
  - der Controller (5) den String-Strom  $I_s$  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-Paares).
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-Paares hochsetzen, so dass die DC-Übertragungsspannung  $U_{dc}$  höher/gleich als die jeweilige Stringspannung  $U_s$  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.

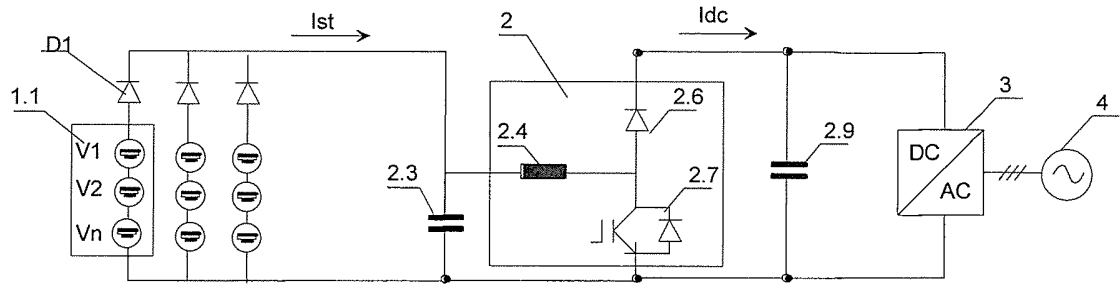


Fig. 1

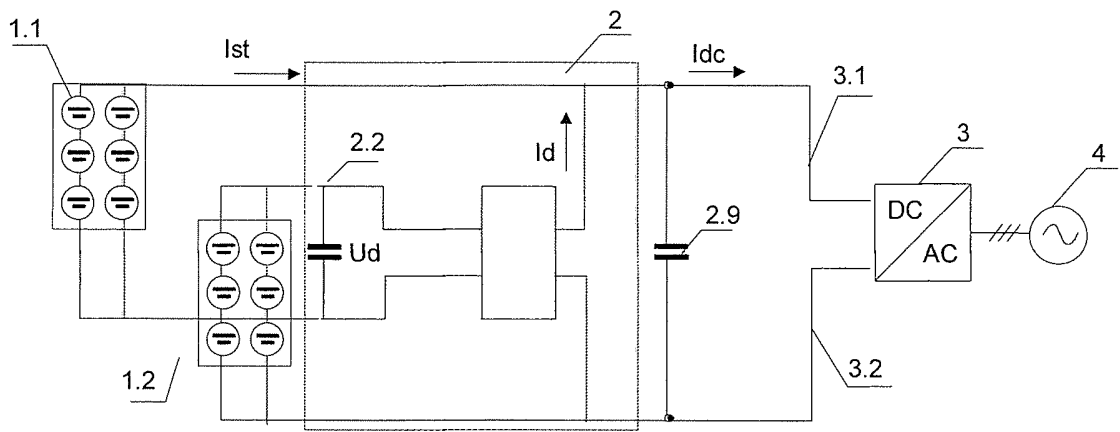


Fig. 2

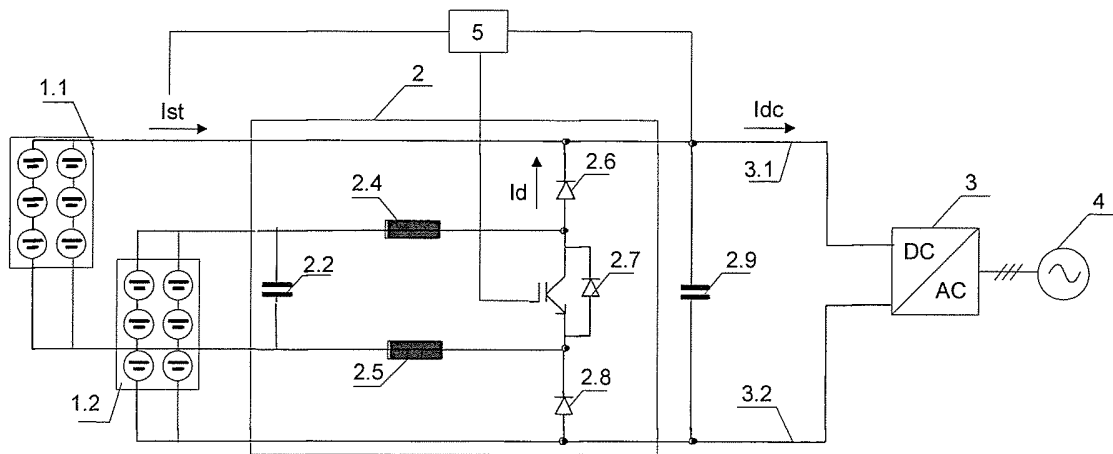


Fig. 3

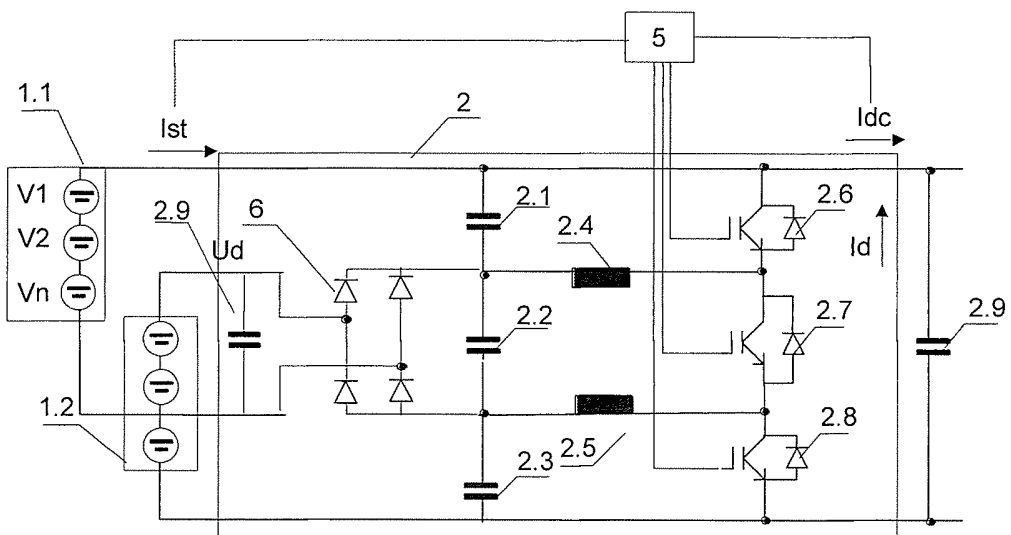


Fig. 4

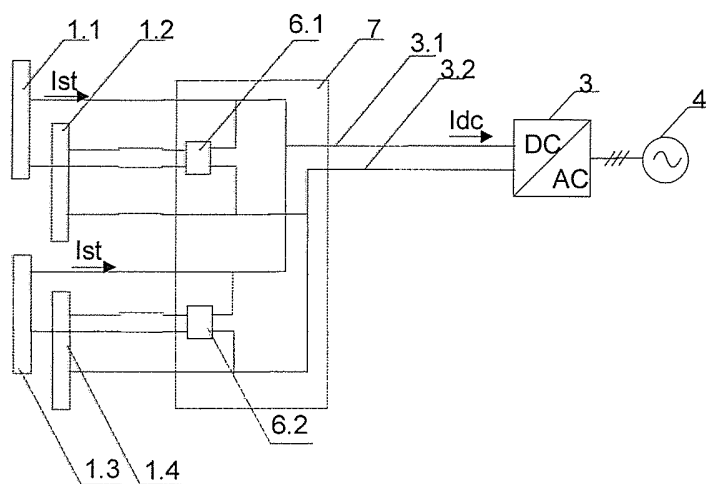


Fig. 5