



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 703 443 B1

(51) Int. Cl.: H02M 7/217 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 00964/08

(22) Anmeldedatum: 25.06.2008

(24) Patent erteilt: 31.01.2012

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.01.2012

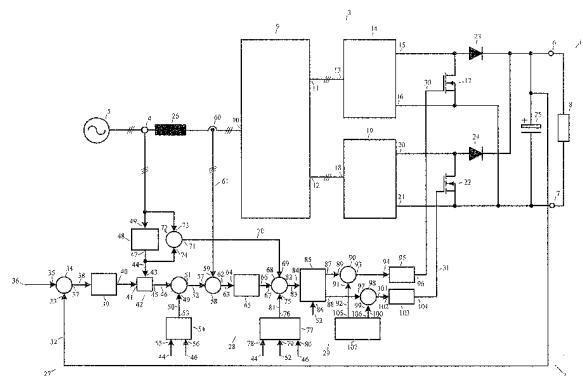
(73) Inhaber:
ETH Zürich, Raemistrasse 101 / ETH transfer
8092 Zürich (CH)

(72) Erfinder:
Jürgen Biela, 8004 Zürich (CH)
Johann W. Kolar, 8044 Zürich (CH)
John Schönberger, 8003 Zürich (CH)

(74) Vertreter:
Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach 1771
8032 Zürich (CH)

(54) **Vorrichtung zur Eingangsstromregelung hybrider Zwölfpuls-Gleichrichtersysteme.**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (2) zur sinusförmigen symmetrischen Regelung des Dreiphasen-Netzstromes eines hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersystems (3). Die Vorrichtung weist einen Ausgangsspannungsregelkreis (27) und einen unterlagerten Dreiphasen-Stromregelkreis (28) auf. Durch pulsbreitenmodulierte Ansteuerung von gleichspannungsseitigen Leistungstransistoren (17, 22) wird am Eingang (10) des Dreiphasen-Schwenktransformators (9) ein pulsbreitenmoduliertes Dreiphasen-Spannungssystem erzeugt, welches sich von der Dreiphasen-Netzspannung (5), nach Filterung schaltfrequenter Oberschwingungen, um eine rein sinusförmige Dreiphasen-Differenzspannung unterscheidet. Diese tritt über einer Dreiphasen-Vorschaltinduktivität (26) auf und prägt unabhängig von einer eventuellen Verzerrung einer Dreiphasen-Netzspannung (5) einen rein sinusförmigen Dreiphasen-Netzstrom ein.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Regelung der Eingangsströme eines dreiphasigen Zwölfpuls-Gleichrichtersystems wie im Oberbegriff des Patentanspruches) beschrieben ist.

Stand der Technik

[0002] Gemäss dem Stand der Technik werden zur Gleichrichtung dreiphasiger Wechselspannungssysteme bei Forde- rung nach geringen Netzurückwirkungen zwölfpulsige Gleichrichterschaltungen eingesetzt. Hauptelement dieser Schaltun- gen ist ein wechsellspannungsseitiger Dreiphasen-Schwenktransformator, welcher unabhängig von der inneren Struktur und einer Ausführung mit oder ohne Potentialtrennung, die an seinem Dreiphaseneingang anliegende Spannung in zwei, an einem ersten Dreiphasenausgang und an einem zweiten Dreiphasenausgang auftretende Dreiphasen-Spannungs- systeme umsetzt, wobei das erste Dreiphasen-Ausgangsspannungssystem (d.h. das erste, aus drei Phasenspannungen bestehende Spannungssystem am Ausgang des Dreiphasen-Schwenktransformators) eine Phasenvoreilung von $+15^\circ$ el. und das zweite Dreiphasen-Ausgangsspannungssystem eine Phasennacheilung von -15° el. gegenüber dem Dreipha- sen-Eingangsspannungssystem aufweist und das erste Dreiphasen-Ausgangsspannungssystem an den Eingang einer ersten Dreiphasendiodenbrücke und das zweite Dreiphasen-Ausgangsspannungssystem an den Eingang einer zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke geführt wird. Um eine Regelung der Ausgangsspannung zu ermöglichen, ist zwischen dem po- sitiven und dem negativen Gleichspannungsausgang der ersten Dreiphasen-Diodenbrücke ein erster Leistungstransistor in Flussrichtung und zwischen dem positiven und dem negativen Ausgang der zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke ein zweiter Leistungstransistor in Flussrichtung angeordnet. Weiters sind die negativen Ausgangsklemmen der Dreiphasen-Dioden- brücken verbunden und an die negative Klemme eines die Ausgangsspannung des Systems stützenden Kondensators geführt, und der positive Ausgang der ersten Dreiphasen-Diodenbrücke über eine erste Ausgangsdiode in Flussrichtung und der positive Ausgang der zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke über eine zweite Ausgangsdiode in Flussrichtung an die positive Klemme des Ausgangskondensators geführt. Schliesslich wird noch vom Dreiphaseneingang des Dreiphasen- Schwenktransformators eine Dreiphasen-Vorschaltinduktivität zum Dreiphasennetz hin angeordnet. Aufgrund der Verbin- dung abschaltbarer Leistungshalbleiter mit ungesteuerten Leistungshalbleitern, d.h. Leistungsdioden, werden derartige System als hybride Zwölfpuls-Gleichrichterschaltungen bezeichnet.

[0003] Bei bleibender Sperrung des ersten und zweiten Leistungstransistors wird dann durch den Dreiphasen- Schwenktransformator das am Eingang der ersten und das am Eingang der zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke auftreten- de sechspulsige Dreiphasen-Spannungssystem zu einem zwölfpulsigen Dreiphasen-Spannungssystem am Eingang des Dreiphasen-Schwenktransformators kombiniert, welches an der dem Netz abgewandten Seite der Dreiphasen-Vorschalt- induktivität anliegt und der Netzspannung das Gleichgewicht hält, sodass ein weitgehend sinusförmiger, d.h. ideal keine 5. und 7. Harmonische aufweisender Verlauf des Dreiphasen-Netzstromes resultiert. Der Dreiphasen-Netzstrom wird durch den Dreiphasen-Schwenktransformator in ein erstes, dem Dreiphasen-Netzstrom um $+15^\circ$ el. voreilendes und ein zweites, dem Dreiphasen-Netzstrom um -15° el. nacheilendes Dreiphasen-Teilstromsystem zerlegt. Jedes Dreiphasen-Teilstrom- system wird durch die zugeordnete Dreiphasen-Diodenbrücke gleichgerichtet und der so erhaltene Strom bei gesperrtem Leistungstransistor über die zugeordnete Ausgangsdiode in den Ausgangskondensator gespeist. Die am Ausgangskon- densator auftretende Ausgangsspannung ist dann allerdings vom Lastzustand abhängig. Eine konstante Ausgangsspan- nung kann durch entsprechende Taktung des ersten und zweiten Leistungstransistors, d.h. durch eine Ausgangsspan- nungsregelung erreicht werden, wobei der Ausgangsspannungswert erfasst und mit dem Ausgangsspannungssollwert verglichen wird und analog einem Gleichspannungs-Gleichspannungs-Hochsetzsteller das Tastverhältnis der Leistungs- transistoren bei zu tiefer Ausgangsspannung erhöht wird, womit die Ausgangsspannungen der Dreiphasen-Diodenbrücken relativ länger kurzgeschlossen verbleiben und somit am Eingang der Dreiphasen-Diodenbrücken und damit auch am Ein- gang des Dreiphasen-Schwenktransformators eine geringere Spannung auftritt, womit sich die Stromaufnahme aus dem Netz erhöht und so eine höhere Leistung aus dem Dreiphasennetz bezogen wird, welche schliesslich an den Ausgang des Systems geliefert wird und ein Ansteigen der Ausgangsspannung auf einen gewünschten Wert bewirkt.

[0004] Als Nachteil des Systems verbleibt allerdings die Abweichung des Dreiphasen-Netzstromes von der Sinusform, welche sich insbesondere bei überschwingungsbehafteter Dreiphasen-Netzspannung stärker ausprägt. Weiters tritt bei Unsymmetrie der Phasenspannungen des Dreiphasennetzes eine unsymmetrische Stromaufnahme des Zwölfpuls-Gleich- richtersystems auf. Schliesslich ist für die Ausgangsspannungsregelung mit Rücksicht auf die Stabilität eine nur relativ geringe Dynamik erreichbar, da letztlich eine aus der Dreiphaseninduktivität und dem Ausgangskondensator gebildete Regelstrecke relativ hoher Phasendrehung geregelt werden muss.

Aufgabe der Erfindung

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung zur Regelung eines hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersys- tems zu schaffen, welche auch bei nichtsinusförmiger oder asymmetrischer Dreiphasen-Netzspannung einen sinusförmigen symmetrischen Dreiphasen-Netzstromverlauf garantiert und eine hohe Dynamik der Ausgangsspannungsregelung ermöglicht.

[0006] Erfindungsgemäss wird dies durch den Gegenstand des Patentanspruches erreicht.

[0007] Grundgedanke der Erfindung ist, durch pulsbreitenmodulierte Ansteuerung des ersten und zweiten Leistungstransistors am Eingang des Dreiphasen-Schwenktransformators ein Dreiphasen-Spannungssystem zu erzeugen, welches sich von der Dreiphasen-Netzspannung nur durch eine, nach Filterung schaltfrequenter Oberschwingungen rein sinusförmige Dreiphasen-Differenzspannung unterscheidet. Diese Dreiphasen-Differenzspannung tritt über der Dreiphasen-Vorschaltinduktivität auf und prägt, unabhängig von einer eventuellen Verzerrung der Dreiphasen-Netzspannung, einen rein sinusförmigen Dreiphasen-Netzstrom ein. Eine Verzerrung der Dreiphasen-Netzspannung wird also in gleicher Weise auch am Eingang des Dreiphasen-Schwenktransformators erzeugt und kommt so über den Vorschaltinduktivitäten nicht zur Wirkung.

[0008] Weiter liegt der Erfindung die Erkenntnis zugrunde, dass die Grundschnwingungen der Eingangsphasenspannungen des Dreiphasen-Schwenktransformators und die Grundschnwingungen der zugeordneten Phasenanteile des Dreiphasen-Netzphasenstromes bei idealer Kopplung aller Teilwicklungen des Dreiphasen-Schwenktransformators und rein sinusförmiger symmetrischer Dreiphasen-Netzspannung in Phase liegen müssen, d.h. der aus dem Dreiphasen-Schwenktransformator, der ersten und der zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke, dem ersten und zweiten Leistungstransistor und der ersten und zweiten Ausgangsdioden sowie dem Ausgangskondensator und einer dazu parallel liegenden Last bestehende Schaltungsteil, im Weiteren als Konverterausgangsteil bezeichnet, für eine grundschnwingungsorientierte Betrachtung durch eine Dreiphasen-Sternschaltung gleicher ohmscher Widerstände ersetzt werden kann. Dies rührt daher, dass an einem Phaseneingang einer Dreiphasen-Diodenbrücke bei positivem Eingangsphasenstrom eine positive und bei negativem Eingangsphasenstrom eine negative Spannung auftritt, da einmal die mit der positiven Ausgangsklemme und einmal die mit der negativen Ausgangsklemme verbundene Diode stromführend wird. Die Phasenspannungen und zugeordneten Phasenströme weisen also gleiche Nulldurchgänge und somit auch in Phase liegende Grundschnwingungen auf. Diese Verhältnisse bilden sich schliesslich vom ersten und zweiten Ausgang des Dreiphasen-Schwenktransformators an dessen Eingang ab.

[0009] Der Konverterausgangsteil kann also keine Grundschnwingungsblindleistung bilden, erfindungsgemäss ist daher die über der Dreiphasen-Vorschaltinduktivität auftretende sinusförmige symmetrische Dreiphasen-Differenzspannung (im Weiteren als Dreiphasen-Sinusdifferenzspannung bezeichnet) bzw. die Eingangsspannung des Dreiphasen-Schwenktransformators (im Weiteren als Dreiphasen-Schwenktransformatoreingangsspannung bezeichnet) so einzustellen, dass dem Dreiphasennetz einerseits die seitens der Last benötigte Wirkleistung und andererseits die durch die Dreiphasen-Vorschaltinduktivität benötigte induktive Blindleistung entnommen wird. Im Unterschied zu rein aktiven Gleichrichterschaltungen ist also für hybride Zwölfpuls-Gleichrichterschaltungen kein rein ohmsches Grundschnwingungsnetzverhalten erreichbar, bzw. würde der Versuch ein derartiges Verhalten einzustellen auf eine Verzerrung der Dreiphasen-Netzströme resultieren.

[0010] Um den Sollwert der Dreiphasen-Schwenktransformatoreingangsspannung gemäss den vorgehenden Überlegungen zu bilden, wird eine Ausgangsspannungsregelung mit erfindungsgemäss unterlagertem Dreiphasen-Stromregler angeordnet, wobei eine Pulsbreitenmodulatorausgangsstufe des Dreiphasen-Stromreglers die Ansteuersignale des ersten und zweiten Leistungstransistors bildet und somit letztlich die Dreiphasen-Schwenktransformatoreingangsspannung einstellt.

[0011] Für die Ausgangsspannungsregelung wird der Istwert der Ausgangsspannung erfasst und vom, durch eine übergeordnete Steuereinheit vorgegebenen, Sollwert der Ausgangsspannung subtrahiert und die so gebildete Ausgangsspannungsregelabweichung durch einen Ausgangsspannungsregler dynamisch bewertet. Der Ausgang des Ausgangsspannungsreglers wird dann mit einem sinusförmigen Dreiphasen-Netzreferenzsignal multipliziert und so der Sollwert der Wirkkomponenten der Netzphasenströme, im Weiteren gesamthaft als Dreiphasen-Sollwirkstrom bezeichnet, gebildet. Das Dreiphasen-Netzreferenzsignal wird aus den aktuellen Netzphasenspannungen durch eine Dreiphasen-Netzspannungsfiltersstufe gewonnen, welche Oberschwingungen und ein ggf. in den Netzphasenspannungen enthaltenes Gegenstromsystem unterdrückt, zeigt also einen rein sinusförmigen symmetrischen Verlauf. Hiermit wird bei Absinken der Ausgangsspannung unter den Ausgangsspannungssollwert der Ausgang des Ausgangsspannungsreglers und damit die Amplitude der Phasenanteile des Dreiphasen-Sollwirkstromes erhöht und nach deren Einstellung durch den unterlagerten Stromregler eine höhere Leistung an den Ausgang geliefert. Analog ergibt sich für zu hohe, d.h. über dem Sollwert liegende Ausgangsspannung eine Verringerung der Leistungslieferung an den Ausgang und damit letztlich der Ausgangsspannung.

[0012] Um die von der Dreiphasen-Vorschaltinduktivität benötigte Blindleistung seitens des Dreiphasennetzes zu bilden, wird nun der Dreiphasen-Sollnetzstrom durch Addition des Dreiphasen-Sollwirkstromes und eines induktiven Dreiphasen-Sollblindstromes gebildet, welcher in Abhängigkeit der Dreiphasen-Netzspannung, der Netzfrequenz und der Induktivität einer Phase der Dreiphasen-Vorschaltinduktivität sowie der von der Eingangsseite aus gesehenen Dreiphasen-Streuinduktivität des Dreiphasen-Schwenktransformators so festgelegt wird, dass der Dreiphasen-Sollnetzstrom und der Sollwert der Dreiphasen-Schwenktransformatoreingangsspannung in Phase zu liegen kommen. Der Dreiphasen-Sollnetzstrom weist also gegenüber dem Dreiphasen-Sollwirkstrom eine Phasennacheilung und eine höhere Amplitude auf.

[0013] Um den Dreiphasen-Sollnetzstrom einzustellen, wird dessen Abweichung vom tatsächlichen, durch Dreiphasen-Stromsensoren erfassten Dreiphasen-Istnetzstrom erfasst und an den Eingang eines Dreiphasen-Netzstromreglers geführt, dessen Ausgangsspannung nach Addition des Dreiphasen-Netzspannungsverzerrungsanteils und des Dreiphasen-Sinusnetzspannungsvorsteuersignals den Sollwert der Dreiphasen-Schwenktransformatoreingangsspannung bildet,

welcher an den Eingang der Pulsbreitenmodulatorstufe des Dreiphasen-Netzstromreglers gelegt wird. Die Einbindung des, als Differenz der aktuellen Dreiphasen-Netzspannung und der Ausgangsspannung der Dreiphasen-Netzspannungsfiltersstufe verfügbaren, Dreiphasen-Netzspannungsverzerrungsanteils in den Sollwert der Dreiphasen-Schwenktransformator-eingangsspannung stellt hierbei sicher, dass die letztlich gebildete Dreiphasen-Schwenktransformator-eingangsspannung eine der Dreiphasen-Netzspannung gleiche Verzerrung oder Unsymmetrie aufweist, womit sich keine Oberschwingungen des Dreiphasen-Netzstromes ausbilden können. Das Dreiphasen-Sinusnetzspannungsvorsteuersignal wiederum garantiert, dass bei ideal sinusförmigem symmetrischem Dreiphasennetz, d.h. bei Fehlen eines Dreiphasen-Netzspannungsverzerrungsanteils, die erforderliche Dreiphasen-Schwenktransformator-eingangsspannung auch ohne Eingriff des Dreiphasen-Netzstromreglers gebildet wird, und kann einfach über Amplitudenskalierung des Dreiphasen-Sollnetzstromes gewonnen werden, welche derart zu erfolgen hat, dass am Eingang des Dreiphasen-Schwenktransformators eine dem Produkt von Dreiphasen-Netzspannung und Dreiphasen-Sollwirkstrom gleiche Dreiphasen-Wirkleistung gebildet wird.

[0014] Durch die Pulsbreitenmodulatorstufe wird unter Rücksicht auf die jeweils vorliegenden Vorzeichen der Phasenkomponenten des Dreiphasen-Sollnetzstromes bzw. mit Rücksicht auf die daraus resultierenden Leitzustände der ersten und zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke ein erster und ein zweiter Sollwert der Ausgangsspannungen der ersten und der zweiten Diodenbrücke, im Weiteren als erster und zweiter Dreiphasen-Diodenbrückenausgangsspannungssollwert bezeichnet, gebildet und, der erste Dreiphasen-Diodenbrückenausgangsspannungssollwert mittels eines ersten Komparators mit einem ersten pulsfrequenten Dreieckträgersignal und der zweite Dreiphasen-Diodenbrückenausgangsspannungssollwert mittels eines zweiten Komparators mit einem zweiten pulsfrequenten Dreieckträgersignal verschnitten, wobei das erste und das zweite Dreieckträgersignal eine Phasendifferenz von einer halben Pulsperiode aufweisen und der Ausgang des ersten Komparators zur Ansteuerung des ersten und der Ausgang des zweiten Komparators zur Ansteuerung des zweiten Leistungstransistors herangezogen wird und die Verscheidung und Ansteuerung derart erfolgt, dass sich bei Erhöhung eines Dreiphasen-Diodenbrückenausgangsspannungssollwerts eine Verringerung der relativen Einschaltzeit des zugeordneten Leistungstransistors und damit eine Erhöhung der zugeordneten, im Mittel über eine Pulsperiode gebildeten, Dreiphasen-Diodenbrückenausgangsspannung ergibt.

[0015] Der erste und der zweite Dreiphasen-Diodenbrückenausgangsspannungssollwert werden dabei so gewählt, dass die am Eingang der ersten und am Eingang der zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke auftretenden pulsbreitenmodulierten Dreiphasenspannungen durch den Dreiphasen-Schwenktransformator zu einer pulsbreitenmodulierten Dreiphasen-Schwenktransformator-eingangsspannung kombiniert werden, welche als lokalen Mittelwert den Sollwert der Dreiphasen-Schwenktransformator-eingangsspannung aufweist, wobei sich hierbei typisch eine Überlappung der Einschaltintervalle des ersten und zweiten Leistungstransistors ergibt, womit die Hochsetzstellerfunktion des Systems anschaulich deutlich wird.

Aufzählung der Zeichnungen

[0016] Die Erfindung wird nachfolgend durch Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1: die schematisierte Darstellung einer hybriden Zwölfpuls-Gleichrichterschaltung, welche durch die erfindungsgemässe zweischleifige Regelvorrichtung gesteuert wird, wobei dreiphasige Teile des Leistungskreises und der Regelung in Form eines Einlinienersatzschaltbildes gezeigt sind.

Fig. 2: die netzseitige Strombildung und die Phasenrelation der wechsellspannungsseitigen Spannungen und Ströme des hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersystems anhand eines Grundschwingungszeigerdiagramms.

Ausführung der Erfindung

[0017] In Fig. 1 sind ein Leistungsteil 1 und eine erfindungsgemässe Regelvorrichtung 2 eines hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersystems 3 gezeigt, an dessen Dreiphasen-Eingang 4 eine Dreiphasen-Netzspannung 5 gelegt ist und dessen Ausgangsgleichspannung zwischen einer positiven Ausgangsklemme 6 und einer negativen Ausgangsklemme 7 auftritt. Entsprechend ist eine Gleichspannungslast 8 mit einem ersten Ende mit der positiven Ausgangsklemme 6 und mit einem zweiten Ende mit der negativen Ausgangsklemme 7 verbunden. Hauptelement des Leistungsteiles 1 ist ein Dreiphasen-Schwenktransformator 9 mit Dreiphaseneingang 10, einem ersten Dreiphasenausgang 11 und einem zweiten Dreiphasenausgang 12, wobei der erste Dreiphasenausgang 11 an den Eingang 13 einer ersten Dreiphasen-Diodenbrücke 14 gelegt ist, zwischen deren positiver Ausgangsklemme 15 und negativer Ausgangsklemme 16 ein erster Leistungstransistor 17 in Flussrichtung angeordnet ist und analog der zweite Dreiphasenausgang 12 des Dreiphasen-Schwenktransformators 9 mit dem Eingang 18 einer zweiten Dreiphasendiodenbrücke 19 verbunden ist, zwischen deren positiver Ausgangsklemme 20 und negativer Ausgangsklemme 21 ein zweiter Leistungstransistor 22 in Flussrichtung gelegt ist. Weiters sind die negativen Ausgangsklemmen 16 und 21 der ersten und der zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke 14, 19 miteinander verbunden und sind die positive Ausgangsklemme 15 der ersten Dreiphasen-Diodenbrücke 14 über eine erste Ausgangsdiode 23 in Flussrichtung mit der positiven Ausgangsklemme 6 des hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersystems 3 verbunden. Weiters ist die positive Ausgangsklemme 20 der zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke 19 über eine zweite Ausgangsdiode 24 in Flussrichtung an die positive Ausgangsklemme 6 des hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersystems 3 gelegt. Schliesslich ist noch zur Stützung der Ausgangsgleichspannung eine Ausgangskapazität 25 zwischen die positive und die negative

Ausgangsklemme 6 und 7 des hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersystems 3 geschaltet und vom Dreiphaseneingang 10 des Dreiphasen-Schwenktransformators 9 eine Dreiphasen-Vorschaltinduktivität 26 zum Dreiphasennetz 5 hin angeordnet, d.h. gegen den Dreiphasen-Eingang 4 des hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersystems 3 gelegt.

[0018] Um einen Sollwert der Spannung am Dreiphaseneingang 10 des Dreiphasen-Schwenktransformators 9 zu bilden, wird eine Ausgangsspannungsregelung 27 mit unterlagertem Dreiphasen-Stromregler 28 angeordnet, wobei eine Pulsbreitenmodulatorausgangsstufe 29 des Dreiphasen-Stromreglers 28 ein Ansteuersignal 30 des ersten Leistungstransistors 17 und ein Ansteuersignal 31 des zweiten Leistungstransistors 22 bildet und somit letztlich die für die Dreiphasen-Stromregelung erforderliche Spannung am Dreiphaseneingang 10 des Dreiphasen-Schwenktransformators 9 einstellt, deren Differenz zur Dreiphasen-Netzspannung 5 über der Dreiphasen-Vorschaltinduktivität 26 auftritt und so die Stromaufnahme des hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersystems 3 bestimmt.

[0019] Für die Ausgangsspannungsregelung 27 wird der Istwert 32 der Ausgangsspannung vom Ausgangskondensator 25 abgegriffen und an den negativen Eingang 33 eines ersten Subtrahiergliedes 34 geführt, an dessen positivem Eingang 35 der durch eine übergeordnete Steuereinheit vorgegebene Sollwert 36 der Ausgangsspannung liegt, womit am Ausgang 37 des ersten Subtrahiergliedes 34 eine Ausgangsspannungsregelabweichung 38 auftritt, welche einem Ausgangsspannungsregler 39 zugeführt wird und an dessen Ausgang 40 dynamisch bewertet auftritt. Der Ausgang 40 des Ausgangsspannungsreglers 39 wird nun an einen ersten Eingang 41 eines Dreiphasen-Multipliziergliedes 42 geführt, an dessen zweitem Eingang 43 ein sinusförmiges Dreiphasen-Netzreferenzsignal 44 liegt, womit am Ausgang 45 des Multipliziergliedes 42 ein Dreiphasen-Sollwirkstrom 46 auftritt. Ein Dreiphasen-Netzreferenzsignal 44 wird vom Ausgang 47 einer Dreiphasen-Netzspannungsfiltersstufe 48 abgegriffen, an deren Eingang 49 die vom Dreiphasen-Eingang 4 des hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersystems 3 abgegriffene Dreiphasen-Netzspannung 5 gelegt wird, wobei die Dreiphasen-Netzspannungsfiltersstufe 48 Oberschwingungen und ein ggf. in der Dreiphasen-Netzspannung 5 enthaltenes Gegensystem unterdrückt, womit das Dreiphasen-Netzreferenzsignal 44 einen rein sinusförmigen symmetrischen Verlauf zeigt. Hiermit wird bei Absinken des Istwertes 32 der Ausgangsspannung unter den Sollwert 36 der Ausgangsspannung der Ausgang 40 des Ausgangsspannungsreglers 39 und damit die Amplitude des Dreiphasen-Sollwirkstroms 46 erhöht und so letztlich eine höhere Leistung an den Ausgang des hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersystems geliefert. Analog ergibt sich für eine zu hohe, d.h. über dem Sollwert 36 liegende Ausgangsspannung eine Verringerung der Leistungslieferung an den Ausgang und damit letztlich der Ausgangsspannung.

[0020] Um eine von der Dreiphasen-Vorschaltinduktivität 26 benötigte Blindleistung aus dem Netz aufzunehmen, wird der Dreiphasen-Sollwirkstrom 46 an einen ersten Dreiphasen-Eingang eines Dreiphasen-Summiergliedes geführt, an dessen zweitem Dreiphasen-Eingang ein induktiver Dreiphasen-Sollblindstrom 50 liegt, womit am Ausgang 51 des Dreiphasen-Summiergliedes ein Dreiphasen-Sollnetzstrom 52 auftritt. Der Dreiphasen-Sollblindstrom 50 wird vom Ausgang 53 eines ersten Dreiphasen-Funktionsgenerators 54 abgegriffen, an dessen erstem Dreiphasen-Eingang 55 das Dreiphasen-Netzreferenzsignal 44 und an dessen zweitem Dreiphasen-Eingang 56 der Dreiphasen-Sollwirkstrom 46 liegt, wobei der Dreiphasen-Ausgang 53 durch den ersten Dreiphasen-Funktionsgenerator 54 in Abhängigkeit des Dreiphasen-Netzreferenzsignals 44 und des Dreiphasen-Sollwirkstroms 46 bei bekannter Frequenz der Dreiphasen-Netzspannung 5 und bekannter Induktivität einer Phase der Dreiphasen-Vorschaltinduktivität 26, zu der auch die Dreiphasen-Streuinduktivität des Dreiphasen-Schwenktransformators 9 zu addieren ist, so gebildet wird, dass zugeordnete Phasenkomponenten des Dreiphasen-Sollnetzstroms 52 und eines Sollwerts 83 einer Dreiphasen-Schwenktransformatoreingangsspannung in Phase zu liegen kommen. Der Dreiphasen-Sollnetzstrom 52 weist also gegenüber dem Dreiphasen-Sollwirkstrom 46 eine Phasenachteiligung und eine höhere Amplitude auf.

[0021] Der Dreiphasen-Sollnetzstrom 52 wird an den positiven Dreiphasen-Eingang 57 eines ersten Dreiphasen-Subtrahiergliedes 58 gelegt, an dessen negativem Dreiphasen-Eingang 59 ein durch einen Dreiphasen-Stromsensor 60 erfasster Dreiphasen-Istnetzstrom 61 liegt, womit am Dreiphasen-Ausgang 62 des ersten Dreiphasen-Subtrahiergliedes 58 eine Dreiphasen-Netzstromregelabweichung 63 auftritt, welche an einen Dreiphasen-Eingang 64 eines Dreiphasen-Netzstromreglers 65 gelegt wird und so an dessen Dreiphasen-Ausgang 66, der mit einem negativen Dreiphasen-Eingang 67 eines zweiten Dreiphasen-Subtrahiergliedes 68 verbunden ist, dynamisch bewertet auftritt. An einen ersten positiven Dreiphasen-Eingang 69 des zweiten Dreiphasen-Subtrahiergliedes 68 wird ein Dreiphasen-Netzspannungsverzerrungsanteil 70 gelegt, welcher am Dreiphasen-Ausgang 71 eines dritten Dreiphasen-Subtrahiergliedes 72 gebildet wird, dessen positiver Dreiphasen-Eingang 73 mit dem Dreiphasen-Eingang 4 des hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersystems verbunden ist, also die aktuelle Dreiphasen-Netzspannung 5 erfasst, und dessen negativer Dreiphasen-Eingang 74 am Dreiphasen-Ausgang der Dreiphasen-Netzspannungsfiltersstufe 48 liegt, welcher keine Oberschwingungen oder Unsymmetrien aufweist. Schliesslich wird ein zweiter positiver Dreiphasen-Eingang 75 des zweiten Dreiphasen-Subtrahiergliedes 68 an einen Dreiphasen-Ausgang 76 eines zweiten Dreiphasen-Funktionsgenerators 77 gelegt, an dessen erstem, zweitem und drittem Dreiphasen-Eingang, 78, 79, 80 der Dreiphasen-Sollwirkstrom 46, der Dreiphasen-Sollnetzstrom 52 und das Dreiphasen-Netzreferenzsignal 44 liegen. Der Dreiphasen-Ausgang 76 des zweiten Dreiphasen-Funktionsgenerators 77 weist die Bedeutung eines Dreiphasen-Sinusnetzspannungsvorsteuersignals 81 auf und wird durch den zweiten Dreiphasen-Funktionsgenerator 77 bei bekannter Frequenz der Dreiphasen-Netzspannung 5 und bekannter Induktivität einer Phase der Dreiphasen-Vorschaltinduktivität 26, zu der auch die Dreiphasen-Streuinduktivität des Dreiphasen-Schwenktransformators 9 zu addieren ist, durch Amplitudenskalierung des am zweiten Dreiphasen-Eingang 79 des zweiten Funktionsgenerators 77 liegenden Dreiphasen-Sollnetzstroms 52 so gebildet, dass schliesslich am Dreiphasen-Eingang 10 des

Dreiphasen-Schwenktransformators 9 eine dem Produkt des am ersten Dreiphasen-Eingang 78 des zweiten Dreiphasen-Funktionsgenerators 77 anliegenden Dreiphasen-Netzreferenzsignals 44 und des am dritten Dreiphasen-Eingang 80 des zweiten Dreiphasen-Funktionsgenerators 77 anliegenden Dreiphasen-Sollwirkstroms 46 gleiche Dreiphasen-Wirkleistung auftritt.

[0022] An einem Dreiphasen-Ausgang 82 des zweiten Dreiphasen-Subtrahiergliedes 68 tritt damit der Dreiphasen-Sollwert 83 der Dreiphasen-Schwenktransformatoreingangsspannung, d.h. der Sollwert der im Mittel über eine Pulsperiode am Eingang 10 des Dreiphasen-Schwenktransformators 9 zu bildenden Dreiphasenspannung, auf und wird an einen ersten Eingang 84 eines Modulationsfunktionsgenerators 85 der Pulsbreitenmodulatorstufe 29 des Dreiphasen-Stromregelkreises 28 gelegt, an dessen zweitem Eingang 86 der Dreiphasen-Sollnetzstrom 52 liegt, wobei der Modulationsfunktionsgenerator 85 ein erstes Ausgangssignal 87 und ein zweites Ausgangssignal 88 erzeugt, und diesen Signalen die Bedeutung von Sollwerten der Ausgangsspannungen der ersten und zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke 14 und 19 zukommt, welche durch den Modulationsfunktionsgenerator 85 unter Rücksicht auf über den zweiten Eingang 85 des Modulationsfunktionsgenerators 85 bekannte Vorzeichen von Phasenanteilen des Dreiphasen-Sollnetzstromes 52 bzw. von daraus resultierenden Leitzuständen der ersten und zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke 14, 19 so gebildet werden, dass am Dreiphasen-Eingang 10 des Dreiphasen-Schwenktransformators 9 schliesslich eine Dreiphasenspannung auftritt, welche in Verbindung mit der Dreiphasen-Netzspannung 5 einen ideal dem Dreiphasen-Sollnetzstrom gleichen Dreiphasen-Istnetzstrom 61 einprägt. Die Einbindung des Dreiphasen-Netzspannungsverzerrungsanteils 70 in den Sollwert 83 der Dreiphasen-Schwenktransformatoreingangsspannung stellt hierbei sicher, dass die gebildete Dreiphasen-Schwenktransformatoreingangsspannung eine der Dreiphasen-Netzspannung 5 gleiche Verzerrung und/oder Unsymmetrie aufweist, womit sich keine Oberschwingungen des Dreiphasen-Netzstromes 61 ausbilden können. Die Einbindung des Dreiphasen-Sinusnetzspannungsvorsteuersignals 81 in den Sollwert 83 der Dreiphasen-Schwenktransformatoreingangsspannung wiederum garantiert, dass bei ideal sinusförmigem symmetrischem Dreiphasennetz 5 die erforderliche Dreiphasen-Schwenktransformatoreingangsspannung ideal auch ohne Eingriff des Dreiphasen-Netzstromreglers 65 gebildet wird.

[0023] Das erste Ausgangssignal 87 und das zweite Ausgangssignal 88 stellen also den Sollwert der ersten und der zweiten Dreiphasen-Diodenbrückenausgangsspannung dar. Der Sollwert 87 der ersten Dreiphasen-Diodenbrückenausgangsspannung wird nun an einen positiven Eingang 89 eines zweiten Subtrahiergliedes 90 gelegt, an dessen negativem Eingang 91 ein erstes pulsfrequentes Dreieckträgersignal 92 liegt und dessen Ausgang 93 an den Eingang 94 eines ersten Komparators 95 geführt wird, dessen Ausgang 96 ein Ansteuersignal 30 des ersten Leistungstransistors 17 bildet. Analog wird der Sollwert der zweiten Dreiphasen-Diodenbrückenausgangsspannung 88 an den positiven Eingang 97 eines dritten Subtrahiergliedes 98 gelegt, an dessen negativem Eingang 99 ein zweites pulsfrequentes Dreieckträgersignal 100 liegt und dessen Ausgang 101 an den Eingang 102 eines zweiten Komparators 103 geführt wird, dessen Ausgang 104 ein Ansteuersignal 31 des zweiten Leistungstransistors 22 bildet. Das erste und das zweite pulsfrequente Dreieckträgersignal 92 und 100 werden an den Ausgängen 105 und 106 eines Dreieckfunktionsgenerators 107 erzeugt und weisen eine Phasendifferenz von einer halben Pulsperiode auf.

[0024] Durch das zweite Subtrahierglied 90 und den ersten Komparator 95 wird anschaulich eine Verschneidung des Sollwertes 87 der ersten Dreiphasen-Diodenbrückenausgangsspannung erreicht, welche in Verbindung mit der Ansteuerung des ersten Leistungstransistors 17 durch den Ausgang 96 des ersten Komparators 95 derart erfolgt, dass sich bei Erhöhung des Sollwertes 87 der ersten Dreiphasen-Diodenbrückenausgangsspannung eine Verringerung der relativen Einschaltzeit des ersten Leistungstransistors 17 und damit eine Erhöhung der Mittel über eine Pulsperiode am Dreiphasen-Ausgang der ersten Dreiphasen-Diodenbrücke 14 gebildeten Spannung ergibt. Analog wird durch das dritte Subtrahierglied 98 und den zweiten Komparator 103 anschaulich eine Verschneidung des Sollwertes 88 der zweiten Dreiphasen-Diodenbrückenausgangsspannung erreicht, welche in Verbindung mit der Ansteuerung des zweiten Leistungstransistors 22 durch den Ausgang 104 des zweiten Komparators 103 derart erfolgt, dass sich bei Erhöhung des Sollwertes 88 der zweiten Dreiphasen-Diodenbrückenausgangsspannung eine Verringerung der relativen Einschaltzeit des zweiten Leistungstransistors 22 und damit eine Erhöhung der Mittel über eine Pulsperiode am Dreiphasen-Ausgang der zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke 19 gebildeten Spannung ergibt.

[0025] Die Sollwerte 87, 88 der ersten und zweiten Dreiphasen-Diodenbrückenausgangsspannung werden dabei durch den Modulationsfunktionsgenerator 85 so vorgegeben, dass die an einem Dreiphasen-Eingang 13 der ersten Dreiphasen-Diodenbrücke 14 und die an einem Dreiphasen-Eingang 18 der zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke auftretenden pulsbreitenmodulierten Dreiphasenspannungen durch den Dreiphasen-Schwenktransformator zu einer pulsbreitenmodulierten Dreiphasenspannung am Eingang 10 des Dreiphasen-Schwenktransformators 9 kombiniert werden, welches als lokalen Mittelwert genau den Sollwert 83 der Dreiphasen-Schwenktransformatoreingangsspannung aufweist, wobei sich hier typisch eine Überlappung der Einschaltintervalle des ersten und zweiten Leistungstransistors 17 und 22 ergibt, womit die Hochsetzstellerfunktion des hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersystems 3 anschaulich deutlich wird.

[0026] In Fig. 2 sind die bei Einsatz der erfindungsgemässen Regelvorrichtung vorliegenden wechsellspannungsseitigen Strom- und Spannungsverhältnisse einer Phase des hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersystems anhand eines Grundschwingungszeigerdiagramms dargestellt, wobei ein rein sinusförmiges symmetrisches Dreiphasennetz 5 angenommen ist, d.h. die Dreiphasen-Netzspannung 5 keine Oberschwingungen und keine Unsymmetrie aufweist.

[0027] Der Zeiger 108 einer Netzphasenspannung (Netzphasenspannungszeiger 108) repräsentiert eine Phasenkomponente des Dreiphasen-Netzreferenzsignals 44, welches am Dreiphasen-Ausgang 47 der Dreiphasen-Netzspannungsfil-

terstufe 48 auftritt. Durch Multiplikation mit dem Ausgangssignal 40 des Ausgangsspannungsreglers 39 wird daraus die zugehörige Phasenkomponente des Dreiphasen-Sollwirkstromes 46, d.h. der in Phase mit dem Netzphasenspannungszeiger 108 liegende Sollphasenwirkstromzeiger 109, gebildet. Durch Addition des Sollphasenblindstromzeigers 110, d.h. der zugehörigen Phasenkomponente des Dreiphasen-Sollblindstromes 50 am Ausgang 53 des ersten Dreiphasen-Funktionsgenerators 54, entsteht daraus der zugehörige Sollphasennetzstromzeiger 111, wobei naturgemäss der Sollphasenwirkstromzeiger 109 und Sollphasenblindstromzeiger 110 orthogonal aufeinander stehen. Der Sollphasenblindstromzeiger 111 wird so gewählt, dass der Sollphasennetzstromzeiger 111 in Phase mit dem Zeiger 112 der zugehörigen Phasenkomponente des Dreiphasen-Sinusnetzspannungsvorsteuersignals 81 zu liegen kommt, welches am Ausgang des zweiten Dreiphasen-Funktionsgenerators 77 auftritt und am zugehörigen Phaseneingang des Dreiphasen-Schwenktransformators 9 im Mittel über eine Pulsperiode eingestellt wird. Damit wird berücksichtigt, dass am Dreiphasen-Eingang 10 des Dreiphasen-Schwenktransformators 9 bei idealer Kopplung der Teilwicklungen keine Grundschwingungsblindleistung auftreten kann. Der Sollphasennetzstromzeiger 111 wird schliesslich durch die orthogonal liegende zugehörige Phasenkomponente 113 der Dreiphasen-Sinusdifferenzspannung, welche über der zugehörigen Phaseninduktivität der Dreiphasen-Vorschaltinduktivität 26 auftritt, eingepreßt.

[0028] Für die Ermittlung der Phasenkomponente des Dreiphasen-Sinusnetzspannungsvorsteuersignals 81 ist hilfreich, dass gemäss dem oben Gesagten der Endpunkt 114 des zugeordneten Zeigers 112 auf einem Thaleskreis 115 läuft, welcher den Netzphasenspannungszeiger 108 als Durchmesserlinie aufweist. Der Endpunkt 114 des Zeigers 112 der Phasenkomponente des Dreiphasen-Sinusnetzspannungsvorsteuersignals 81 ist hierbei so zu wählen, dass die entstehende Phasenkomponente 113 der Dreiphasen-Sinusdifferenzspannung auf einen Sollphasennetzstromzeiger 111 führt, welcher bei Normalprojektion auf den Netzphasenspannungszeiger 108 den Sollphasenwirkstromzeiger 109 ergibt. Dem Dreiphasennetz 5 wird dann genau die am Dreiphasen-Eingang 10 des Dreiphasen-Schwenktransformators 9 benötigte Wirkleistung entnommen. Der Zeiger 111 des aus dem Dreiphasennetz 5 aufzunehmenden Sollphasenblindstroms folgt dann direkt als Abstand der Spitze 116 des Sollphasenwirkstromzeigers 109 und der Spitze 117 des Sollphasennetzstromzeigers 111.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zur Regelung des Netzstromes eines hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersystems (3) mit einem Dreiphasen-Eingang (4), welcher durch eine Dreiphasen-Netzspannung (5) gespeist ist, einer Dreiphasen-Vorschaltinduktivität (26), welche den Dreiphasen-Eingang (4) mit einem Dreiphasen-Schwenktransformator (9) verbindet, einer ersten Dreiphasen-Diodenbrücke (14) und einer zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke (19) welche vom Dreiphasen-Schwenktransformator (9) gespeist sind, einem ersten Leistungstransistor (17) zwischen Ausgangsklemmen der ersten Dreiphasen-Diodenbrücke (14) und einem zweiten Leistungstransistor (22) zwischen Ausgangsklemmen der zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke (19), einer von der ersten Dreiphasen-Diodenbrücke (14) und der zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke (19) gespeisten positiven und einer negativen Ausgangsklemme (6, 7), wobei die Vorrichtung (1) einen Ausgangsspannungsregler (39) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ausgang (40) des Ausgangsspannungsreglers (39) an einen ersten Eingang (41) eines Dreiphasen-Multipliziergliedes (42) geführt ist, an dessen zweitem Dreiphasen-Eingang (43) ein sinusförmiges Dreiphasen-Netzreferenzsignal (44) liegt, womit am Dreiphasen-Ausgang (45) des Dreiphasen-Multipliziergliedes (42) ein Dreiphasen-Sollwirkstrom (46) auftritt, und das Dreiphasen-Netzreferenzsignal (44) von einem Dreiphasen-Ausgang (47) einer Dreiphasen-NetzspannungsfILTERstufe (48) abgegriffen ist, an deren Dreiphasen-Eingang (49) die vom Dreiphasen-Eingang (4) abgegriffene Dreiphasen-Netzspannung (5) gelegt ist, wobei mittels der Dreiphasen-NetzspannungsfILTERstufe (48) Oberschwingungen und ein in der Dreiphasen-Netzspannung (5) enthaltenes Gegensystem unterdrückbar sind, womit das Dreiphasen-Netzreferenzsignal (44) einen rein sinusförmigen symmetrischen Verlauf zeigt, wobei, um eine von der Dreiphasen-Vorschaltinduktivität (26) benötigte Blindleistung aus einem die Dreiphasen-Netzspannung (5) liefernden Netz aufzunehmen, der Dreiphasen-Sollwirkstrom (46) an einen ersten Dreiphasen-Eingang eines Dreiphasen-Summiergliedes geführt ist, an dessen zweitem Dreiphasen-Eingang (49) ein induktiver Dreiphasen-Sollblindstrom (50) liegt, womit am Dreiphasen-Ausgang (51) des Dreiphasen-Summiergliedes ein Dreiphasen-Sollnetzstrom (52) auftritt, und der Dreiphasen-Sollblindstrom (50) vom Dreiphasen-Ausgang (53) eines ersten Dreiphasen-Funktionsgenerators (54) abgegriffen ist, an dessen erstem Dreiphasen-Eingang (55) das Dreiphasen-Netzreferenzsignal (44) und an dessen zweitem Dreiphasen-Eingang (56) der Dreiphasen-Sollwirkstrom (46) liegt, wobei der Dreiphasen-Ausgang (53) des ersten Dreiphasen-Funktionsgenerators (54) so gebildet ist, dass der Dreiphasen-Sollnetzstrom (52) und ein Sollwert (83) einer Dreiphasen-Schwenktransformatoreingangsspannung in Phase zu liegen kommen, und der Dreiphasen-Sollnetzstrom (52) an den positiven Dreiphasen-Eingang (57) eines ersten Dreiphasen-Subtrahiergliedes (58) gelegt ist, an dessen negativem Dreiphasen-Eingang (59) ein durch einen Dreiphasen-Stromsensor (60) erfasster Dreiphasen-Istnetzstrom (61) liegt, womit am Dreiphasen-Ausgang (62) des ersten Dreiphasen-Subtrahiergliedes (58) eine Dreiphasen-Netzstromregelabweichung (63) auftritt, welche an einen Dreiphasen-Eingang (64) eines Dreiphasen-Netzstromreglers (65) gelegt ist und so an dessen Dreiphasen-Ausgang (66), der mit einem negati-

ven Dreiphasen-Eingang (67) eines zweiten Dreiphasen-Subtrahiergliedes (68) verbunden ist, dynamisch bewertet auftritt,

wobei an einen ersten positiven Dreiphasen-Eingang (69) des zweiten Dreiphasen-Subtrahiergliedes (68) ein Dreiphasen-Netzspannungsverzerrungsanteil (70) gelegt ist, welcher am Dreiphasen-Ausgang (71) eines dritten Dreiphasen-Subtrahiergliedes (72) gebildet ist, dessen positiver Dreiphasen-Eingang (73) mit dem Dreiphasen-Eingang (4) des hybriden Zwölfpuls-Gleichrichtersystems verbunden ist, also die aktuelle Dreiphasen-Netzspannung (5) erfasst, und dessen negativer Dreiphasen-Eingang (74) am Dreiphasen-Ausgang der Dreiphasen-NetzspannungsfILTERstufe (48) liegt, und

ein zweiter positiver Dreiphasen-Eingang (75) des zweiten Dreiphasen-Subtrahiergliedes (68) an einen Dreiphasen-Ausgang (76) eines zweiten Dreiphasen-Funktionsgenerators (77) gelegt ist, an dessen erstem, zweitem und drittem Dreiphasen-Eingang (78, 79, 80) der Dreiphasen-Sollwirkstrom (46), der Dreiphasen-Sollnetzstrom (52) und das Dreiphasen-Netzreferenzsignal (44) liegen, wobei der Dreiphasen-Ausgang (76) des zweiten Dreiphasen-Funktionsgenerators (77) ein Dreiphasen-Sinusnetzspannungsvorsteuersignal (81) bildet und durch den zweiten Dreiphasen-Funktionsgenerator (77) durch Amplitudenskalierung des am zweiten Dreiphasen-Eingang (79) des zweiten Dreiphasen-Funktionsgenerators (77) liegenden Dreiphasen-Sollnetzstroms (52) so gebildet ist, dass an einem Dreiphasen-Eingang (10) des Dreiphasen-Schwenktransformators (9) eine dem Produkt des am ersten Dreiphasen-Eingang (78) anliegenden Dreiphasen-Netzreferenzsignals (44) und des am dritten Eingang (80) des zweiten Dreiphasen-Funktionsgenerators (77) anliegenden Dreiphasen-Sollwirkstroms (46) gleiche Dreiphasen-Wirkleistung auftritt, womit an einem Dreiphasen-Ausgang (82) des zweiten Dreiphasen-Subtrahiergliedes (68) der Sollwert (83) der Dreiphasen-Schwenktransformatoreingangsspannung auftritt und an einen ersten Dreiphasen-Eingang (84) eines Modulationsfunktionsgenerators (85) einer Pulsbreitenmodulatorstufe (29) gelegt ist, an dessen zweitem Eingang (86) der Dreiphasen-Sollnetzstrom (52) liegt, wobei der Modulationsfunktionsgenerator (85) als erstes Ausgangssignal einen Sollwert (87) einer Ausgangsspannung der ersten Dreiphasen-Diodenbrücke (14) und als zweites Ausgangssignal einen Sollwert (88) einer Ausgangsspannung der zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke (19) erzeugt, welche durch den Modulationsfunktionsgenerator (85) unter Rücksicht auf über den zweiten Eingang (86) bekannte Vorzeichen von Phasenanteilen des Dreiphasen-Sollnetzstromes (52) bzw. von daraus resultierenden Leitzuständen der ersten und zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke (14, 19) so gebildet sind, dass am Dreiphasen-Eingang (10) des Dreiphasen-Schwenktransformators (9) eine Dreiphasenspannung auftritt, welche in Verbindung mit der Dreiphasen-Netzspannung (5) den ideal dem Dreiphasen-Sollnetzstrom gleichen Dreiphasen-Istnetzstrom (61) einprägt,

wobei der Sollwert (87) der Ausgangsspannung der ersten Dreiphasen-Diodenbrücke an einen positiven Eingang (89) eines zweiten Subtrahiergliedes (90) gelegt ist, an dessen negativem Eingang (91) ein erstes pulsfrequentes Dreieckträgersignal (92) liegt und dessen Ausgang (93) an den Eingang (94) eines ersten Komparators (95) geführt ist, dessen Ausgang (96) ein Ansteuersignal (30) des ersten Leistungstransistors (17) bildet, und

analog der Sollwert (88) der Ausgangsspannung der zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke an einen positiven Eingang (97) eines dritten Subtrahiergliedes (98) gelegt ist, an dessen negativem Eingang (99) ein zweites pulsfrequentes Dreieckträgersignal (100) liegt und dessen Ausgang (101) an den Eingang (102) eines zweiten Komparators (103) geführt ist, dessen Ausgang (104) das Ansteuersignal (31) des zweiten Leistungstransistors (22) bildet,

wobei das erste und das zweite pulsfrequente Dreieckträgersignal (92, 100) an den Ausgängen (105, 106) eines Dreieckfunktionsgenerators (107) vorliegen und eine Phasendifferenz von einer halben Pulsperiode aufweisen, und der eines Dreieckfunktionsgenerator (107) dazu ausgebildet ist, dass eine Erhöhung des Sollwertes (87) der Ausgangsspannung der ersten Dreiphasen-Diodenbrücke eine Verringerung der relativen Einschaltzeit des ersten Leistungstransistors (17) und eine Erhöhung des Sollwertes (88) der Ausgangsspannung der zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke eine Verringerung der relativen Einschaltzeit des zweiten Leistungstransistors (22) ergibt,

und die Sollwerte (87, 88) der Ausgangsspannungen der ersten und zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke durch den Modulationsfunktionsgenerator (85) so vorgegeben sind, dass an einem Dreiphasen-Eingang (13) der ersten Dreiphasen-Diodenbrücke (14) und an einem Dreiphasen-Eingang (18) der zweiten Dreiphasen-Diodenbrücke auftretende pulsbreitenmodulierte Dreiphasenspannungen durch den Dreiphasen-Schwenktransformator (9) zu einer pulsbreitenmodulierten Dreiphasenspannung an dessen Dreiphasen-Eingang (10) kombiniert sind, welche als lokalen Mittelwert genau den Sollwert (83) der Dreiphasen-Schwenktransformatoreingangsspannung aufweist.

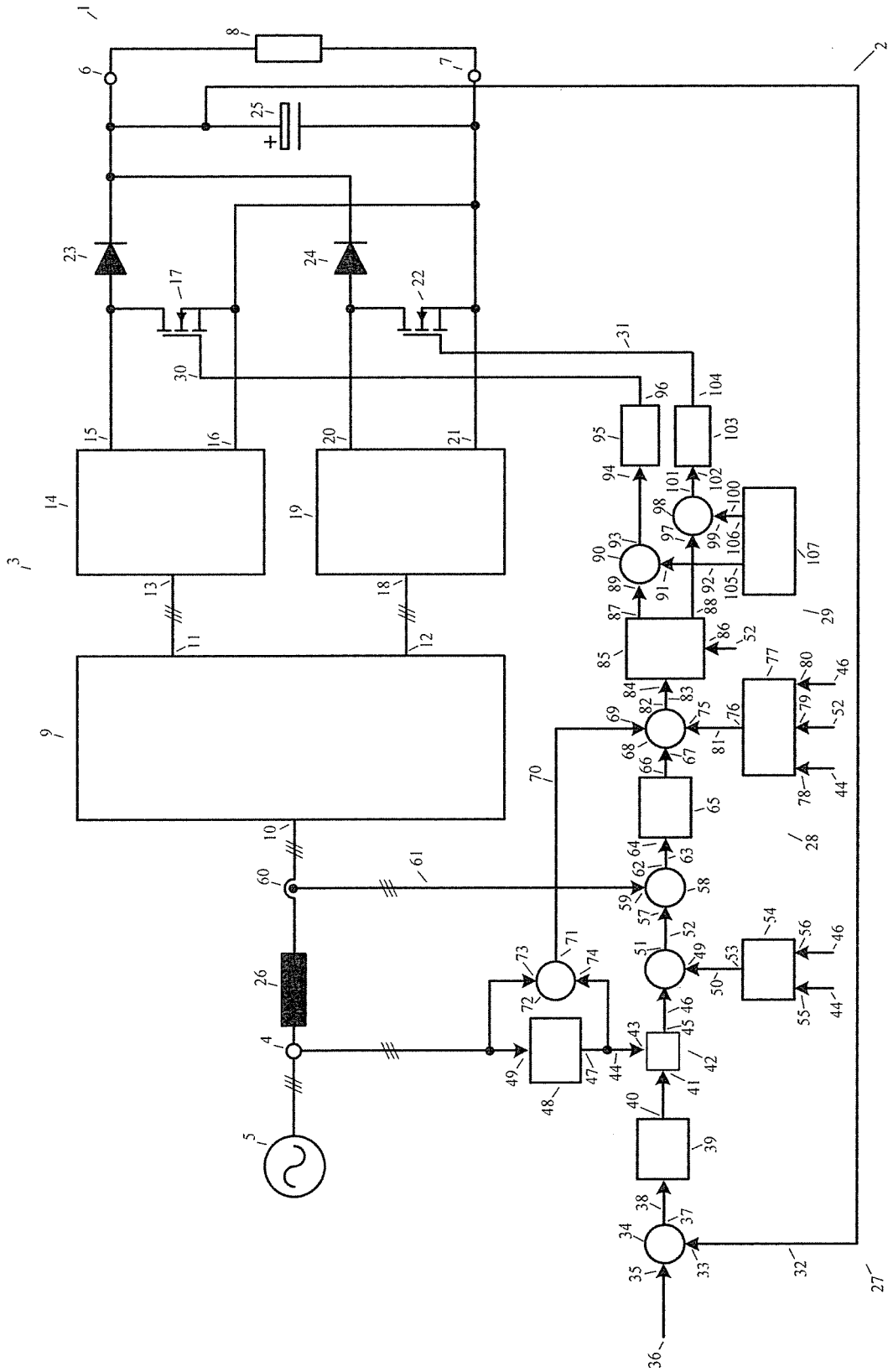


Fig. 1

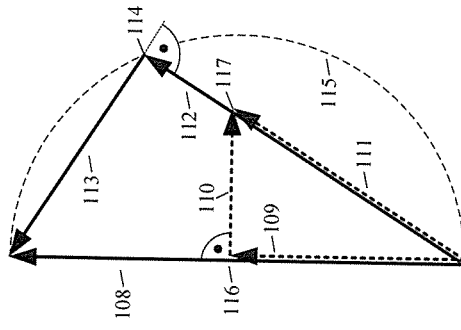


Fig. 2