

**SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT**  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **698 458 B1**

(51) Int. Cl.: **H02M 7/219 (2006.01)**

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 00051/05

(22) Anmeldedatum: 14.01.2005

(24) Patent erteilt: 14.08.2009

(45) Patentschrift veröffentlicht: 14.08.2009

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

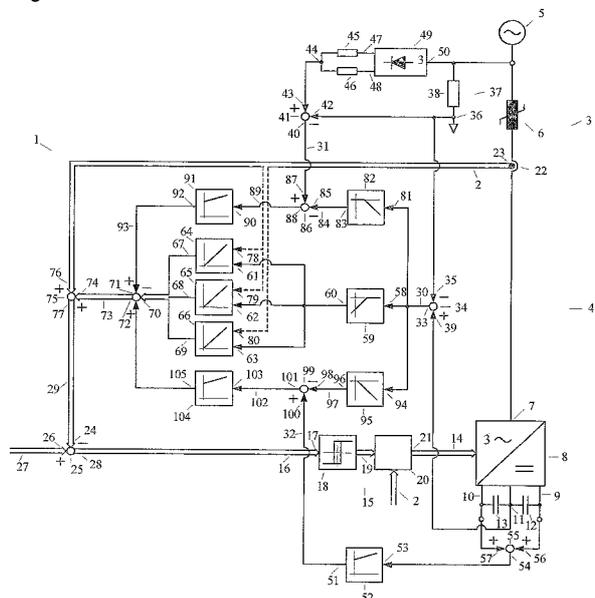
(72) Erfinder:  
Johann W. Kolar, 8044 Zürich (CH)

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

(54) **Vorrichtung zur Steuerung eines Dreiphasen-Dreipunkt-Pulsgleichrichtersystems.**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1) welche die in die Toleranzbandregelung eines Dreiphasen-Dreipunkt-Pulsgleichrichtersystems (3) einbezogenen Phasenstrom-Ist-Werte (2) erfindungsgemäss durch Addition eines Nullstromes (73) erweitert, welcher eine am Gleichrichtereingang (7) auftretende Nullspannung (30) steuert und für schaltfrequente Vorgänge eine Entkopplung der Phasen-Toleranzbandregelungen dadurch sicherstellt, dass die durch einen Hochpassfilter (59) gebildete schaltfrequente Komponente (60) der Nullspannung gemäss der in der jeweiligen Phase vorliegenden Vorschaltinduktivität integriert und so in einen schaltfrequenten Nullstrom (70) übergeführt wird. Um den linearen Aussteuerbereich trotz Entkopplung der Phasen voll nutzen zu können, wird weiters der lokale Mittelwert (84) der Nullspannung (30) durch einen ersten Nullspannungsregler (91) entsprechend einer, von den Netzphasenspannungen abgeleiteten Spannung (31) dreifacher Netzfrequenz geführt, wobei der Regeleingriff über den Anteil (93) des Nullstromes (73) erfolgt. Weiters wird der globale Mittelwert der Nullspannung zur Symmetrierung der Spannungen der Ausgangskondensatoren (12) und (13) des Gleichrichtersystems herangezogen, da die Bildung eines Mittelwertes der Nullpunktsspannung stets auch mit einem Mittelwert des in den Ausgangsspannungsmittelpunkt (11) des Dreiphasen-Dreipunkt-Pulsgleichrichtersystems (3) gespeisten Stromes einhergeht, wobei für die Einstellung der Gleichanteiles (96) der Nullspannung ein zweiter Nullspannungsregler (104) vorgesehen ist,

welcher über einen weiteren Anteil (105) des Nullstromes (73) eingreift.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Steuerung eines Dreiphasen-Dreipunkt-Pulsleichrichtersystems wie es im Oberbegriff des Patentanspruches 1 beschrieben ist.

## Stand der Technik

[0002] Nach dem derzeitigen Stand der Technik wird zur unidirektionalen Umformung einer dreiphasigen Spannung in eine Gleichspannung bei Forderung nach hoher Netzstromqualität gemäss EP 0 660 498 eine Diodenbrückenschaltung mit Vorschaltinduktivitäten und zwischen den Wechselspannungseingängen der Diodenbrücke und einem kapazitiv gebildeten Mittelpunkt der Ausgangsspannung angeordneten Steuerschaltern eingesetzt. Es kann so an den Eingängen der Diodenbrücke, bezogen auf den Ausgangsspannungsmittelpunkt eine Dreipunktspannung gebildet werden – das System wird daher als Dreiphasen-Dreipunkt-Pulsleichrichter bezeichnet – und bei relativ geringer Induktivität der Vorschaltinduktivitäten bzw. relativ geringer Schaltfrequenz eine sinusförmige Stromaufnahme aus dem Netz erreicht werden.

Für die Steuerung der, jeweils z.B. durch Gegenserienanordnung von zwei Leistungstransistoren mit antiparalleler Freilaufdiode realisierten Vierquadranten-Steuerschalter werden Konzepte mit konstanter Taktfrequenz oder Toleranzbandregelungen eingesetzt. Eine konstante, d.h. nicht von den Betriebsparametern, insbesondere nicht vom Verhältnis von Ein- und Ausgangsspannung abhängige Taktfrequenz erlaubt eine einfache Dimensionierung der Filter zur Unterdrückung leitungsgebundener elektromagnetischer Störaussendung. Weiters ist in diesem Fall natürliche Stabilität des kapazitiven Ausgangsspannungsmittelpunktes gegeben, d.h. eine Spannungsverschiebung verursacht einen, der Verschiebung entgegenwirkenden Mittelwert des Mittelpunktsstroms. Allerdings zeigen Regelkonzepte mit konstanter Taktfrequenz bzw. Ableitung der Pulsbreitenmodulation der Gleichrichtereingangsspannung vom Vergleich der Phasenstromreglerausgänge mit einem frequenzbestimmenden Dreiecksträgersignal den Nachteil relativ geringer Regeldynamik und erfordern weiters eine Vorsteuerung der Netzspannung. Demgegenüber weisen Toleranzbandregler eine sehr hohe Dynamik auf und erfordern keine Spannungsvorsteuerung und zeigen damit geringen Realisierungsaufwand, sind jedoch durch stark variierende Schaltfrequenz und Instabilität des Ausgangsspannungsmittelpunktes gekennzeichnet.

Gemäss der EP 0 660 498 kann eine Symmetrierung der Ausgangsteilspannungen bzw. des Potentials des Ausgangsspannungsmittelpunktes durch Addition eines Offsets zu den Phasenstromsollwerten (oder Phasenstrom-Ist-Werten) erfolgen, wobei für einen positiven Offset ein positiver und für einen negativen Offset ein negativer Mittelwert des Mittelpunktsstromes resultiert. Demgemäss kann eine symmetrische Spannungsaufteilung durch einen Regelkreis sichergestellt werden, indem abhängig von der Differenz der Teilspannungen durch einen Regler ein, die Spannungsdifferenz zu Null führendes Offsetsignal gebildet wird. Weiters ist aus der Literatur für Zweipunkt-Pulsleichrichtersysteme ein Verfahren zur Entkopplung der Phasenstrom-Toleranzbandregelungen bekannt, welches sinngemäss auch für Dreipunkt-Pulsleichrichter Anwendung finden kann. Hierbei wird die Nullkomponente der Gleichrichtereingangsspannungen durch Rechnung aus den momentanen, auf den Mittelpunkt der Ausgangsspannung bezogenen Gleichrichtereingangsspannungen ermittelt und einem, eine Vorschaltinduktivität nachbildenden Integrierglied zugeführt, dessen Ausgangssignal zu den Strom-Ist-Werten addiert wird. Die Toleranzbandregelung erfolgt damit basierend auf fiktiven Phasenströmen welche den gleichen Zeitverlauf wie bei direkter Verbindung des Netzsternpunktes und des Ausgangsspannungsmittelpunktes, d.h. bei drei entkoppelten Einphasensystemen zeigen. Die zu stark variierender Schaltfrequenz führende gegenseitige Beeinflussung der Phasenstromregler wird damit unterbunden und ein kontinuierlicher Verlauf der Schaltfrequenz erreicht. Allerdings ist die vollständige Entkopplung der Phasenregler an lineares Systemverhalten, d.h. einen stromunabhängig konstanten Wert der Vorschaltinduktivitäten gebunden. Weiters kann die Grundschiebung der Gleichrichtereingangsspannung maximal den Wert der halben Ausgangsspannung erreichen, womit der lineare Spannungsaussteuerbereich des Pulsleichrichtersystems nicht voll nutzbar ist bzw. bei gegebener Eingangsspannung eine relativ höhere Ausgangsspannung vorzusehen ist, welche zu einer Erhöhung der Sperrspannungsbeanspruchung der Leistungshalbleiter führt.

## Detaillierte Darstellung der Erfindung

[0003] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung zur Toleranzbandregelung der Eingangsphasenströme eines Dreiphasen-Dreipunkt-Pulsleichrichtersystems zu schaffen, welche auch bei nichtlinearen Vorschaltinduktivitäten eine vollständige Entkopplung der Phasenregelungen sicherstellt, und die volle Nutzung des linearen Spannungsaussteuerbereiches sowie eine Regelung des Potentials des Ausgangsspannungsmittelpunktes ermöglicht.

[0004] Erfindungsgemäss wird dies durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruches 1 erreicht. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind den abhängigen Ansprüchen zu entnehmen.

[0005] Der Grundgedanke der Erfindung ist, den Nullanteil der Eingangsspannung des Gleichrichterteiles des zweipunktgeregelten Dreiphasen-Dreipunkt-Pulsleichrichtersystems direkt zu messen und über ein, niederfrequente Anteile abtrennendes und schaltfrequente Anteile übertragendes Hochpassfilter zu führen und die Integration dieses hochfrequenten Nullspannungsanteils für jede Phase getrennt, entsprechend der, abhängig vom jeweils vorliegenden Momentanwert des Phasenstromes gegebenen differentiellen Induktivität vorzunehmen. Die dabei am Ausgang der Phasenintegratoren resultierenden Nullströme werden zu den zugehörigen Phasenströmen addiert, womit eine vollständige Entkopplung der Phasenregelungen bzw. ein, einer direkten Verbindung von Ausgangsspannungsmittelpunkt und Netz-

ternpunkt entsprechendes Verhalten erreicht wird. Um hierbei den linearen Aussteuerbereich voll nutzen zu können, wird weiters erfindungsgemäss der lokale Mittelwert des in der Gleichrichtereingangsspannung enthaltenen Nullanteils durch einen Offset der Phasenstrom-Ist-Werte beeinflusst. Hiefür wird in an sich bekannter Weise von den Phasenspannungen des Netzes mittels einer Diodenbrückenschaltung ein Nullspannungssollsignal mit dreifacher Netzfrequenz abgeleitet und mittels eines Subtraktionsgliedes mit dem, mittels eines Tiefpassfilters gebildeten lokalen Mittelwert der gemessenen Nullspannung verglichen. Die so gebildete Nullspannungs-Soll-Ist-Differenz wird einem Aussteuerungsregler mit hoher Verstärkung im Bereich der dreifachen Netzfrequenz zugeführt und der Reglerausgang in Form eines Offsets für jede Phase gleich zu den Messwerten der Phasenströme addiert und so eine Regelschleife geschlossen, da, wie eine detaillierte Analyse des Systemverhaltens zeigt, ein Offset der Phasenstrom-Ist-Werte bei Zweipunktregelung der Phasenströme direkt in der Bildung eines lokalen Mittelwertes des Nullanteils der Gleichrichtereingangsphasenspannungen Ausdruck findet. Durch die, somit den Gleichrichtereingangsphasenspannungen überlagerte Nullgrösse wird der Amplitudenwert des lokalen Gleichrichtereingangsspannungsmittelwertes bei gleichem Grundschwingungsgehalt abgesenkt, womit der volle lineare Aussteuerbereich für die Bildung der Gleichrichtereingangsspannungsgrundschwingung zur Verfügung steht. Weiters wird erfindungsgemäss auch zur Regelung der symmetrischen Aufteilung der Ausgangsspannung ein Regelkreis mit einem, aus der dynamisch gewichteten Differenz der Ausgangsteilspannungen gebildeten Nullspannungs-Soll-Wert vorgesehen, welches mit dem, wieder durch ein Tiefpassfilter gebildeten Ist-Wert des globalen, d.h. über eine Netzperiode erstreckten Mittelwert des Nullspannungs-Ist-Wertes verglichen wird. Die resultierende Nullspannungs-Soll-Ist-Differenz durch einen Mittelpunktregler dynamisch bewertet und der Reglerausgang wieder als Offset gleich zu allen Phasenstrom-Ist-Werten addiert und so die Mittelpunktsspannungsregelschleife geschlossen. Dies deshalb, da der Offset einerseits in einer Nullspannung, andererseits jedoch in einem globalen Mittelwert des Mittelpunktstromes resultiert, womit das Mittelpunktspotential durch den Regeleingriff bei Unsymmetrie der Teilspannungen verschoben bzw. Symmetrie der Teilspannungen hergestellt wird.

**[0006]** Alternativ könnte der Mittelpunktreglerausgang auch von allen Phasenstrom-Soll-Werten subtrahiert werden, da letztlich ja nur die Regeldifferenz der Phasenströme das Systemverhalten bestimmt. Weiters könnte die dynamisch gewichtete Differenz der Ausgangsteilspannungen auch direkt als Stromoffsetsignal herangezogen werden, womit eine, dem Stand der Technik entsprechende Mittelpunktsregelung vorliegen würde. Weiters könnte die Mittelpunktsregelung auch vollständig weggelassen werden, da bei Entkopplung der Phasen Eigenstabilität des Ausgangsspannungsmittelpunktes gegeben ist, d.h. bei Unsymmetrie der Ausgangsspannungen ohne weitere Massnahmen ein, die Unsymmetrie verringernder globaler Mittelwert des Mittelpunktstromes resultiert. Schliesslich kann die Ausführung der beschriebenen Vorrichtung in Analogtechnik oder Digitaltechnik oder hybrid, d.h. teilweise in Analog- oder Digitaltechnik erfolgen. All die vorgehend beschriebenen Alternativen stellen jedoch keine grundsätzliche Änderung dar und sollen daher nicht näher ausgeführt werden.

**[0007]** Eine, hinsichtlich Realisierungsaufwand vorteilhafte Ausführungsvariante der erfindungsgemässen Vorrichtung beschreibt der Patentanspruch 2. Hierbei werden die Entkopplung der Phasen und die Erhöhung des linearen Aussteuerbereiches und die Regelung der Ausgangsspannungsaufteilung kombiniert, weiters wird auf eine Berücksichtigung der Nichtlinearität der Induktivitäten bei der Entkopplung verzichtet. Der gemessene Ist-Wert der Nullspannung wird dann ungefiltert an den Ist-Wert-Eingang eines weiteren Subtrahiergliedes gelegt, an dessen positiven Eingang die zur vollen Nutzung des Aussteuerbereiches erforderliche, von den Netzphasenspannungen abgeleitete Soll-Nullspannung mit dreifacher Netzfrequenz und an dessen zweitem positiven Eingang der für die Symmetrierung der Ausgangsteilspannungen erforderliche globale Soll-Mittelwert der Nullspannung liegt. Das verbleibende Soll-Ist-Differenzsignal wird durch ein Integrierelement entsprechend einem mittleren Induktivitätswert der an sich stromabhängigen Vorschaltinduktivitäten integriert und der Ausgang des Integrierelementes als Offset zu den Messwerten der Phasenströme addiert. Das Integrierelement übernimmt hiermit auch die Funktion des Aussteuerungs- und des Mittelpunktreglers, und der schaltfrequente Anteil wird direkt für die näherungsweise Entkopplung der Phasen herangezogen. Es resultiert somit eine deutliche Reduktion des Realisierungsaufwandes, wobei eine weitere Reduktion dadurch möglich ist, dass die Nullspannung nicht direkt gemessen, sondern in bekannter Weise aus den, auf den Mittelpunkt der Ausgangsspannung bezogenen Gleichrichtereingangsspannungen nachgebildet wird. Weiters kann die Symmetrierung der Ausgangsteilspannungen in bekannter Weise auch so erfolgen, dass der Sollwert des globalen Mittelwertes der Nullspannung direkt zu den Phasenstrom-Ist-Werten addiert, und nicht über das Integrierelement geführt wird.

### Aufzählung der Zeichnungen

**[0008]** Die Erfindung wird im Weiteren anhand einer Zeichnung näher erläutert.

Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild der Vorrichtung zur Regelung eines Dreiphasen-Dreipunkt-Pulsleichrichtersystems nach Patentanspruch 1 dessen Leistungsteil als Einlinien-Schaltbild eingetragen ist. Für alle Phasen gleiche Signalverbindungen sind durch Doppellinien dargestellt.

## Ausführung der Erfindung

[0009] In Fig.1 ist das Blockschaltbild einer erfindungsgemässen Vorrichtung 1 zur Erweiterung der Toleranzbandregelung der Phasenströme 2 eines, dem Stand der Technik entsprechenden Dreiphasen-Dreipunkt-Pulsleichrichtersystems 3 gezeigt, dessen Leistungsteil 4 in Form eines Einlinien-Ersatzschaltbildes dargestellt ist.

Hierbei werden die speisenden Netzphasenspannungen 5 über Vorschaltinduktivitäten 6 mit im Allgemeinen stromabhängiger Induktivität an die Eingangsklemmen 7 einer Ventilanordnung 8, bestehend aus einer Dreiphasendiodenbrücke mit positiver Ausgangsspannungsschiene 9 und negativer Ausgangsspannungsschiene 10 sowie zwischen den Eingangsphasenklemmen 7 und dem Ausgangsspannungsmittelpunkt 11 angeordneten abschaltbaren elektronischen Vierquadrantenschaltern gelegt. Die Ausgangsspannung der Dreiphasendiodenbrücke wird durch einen, zwischen positiver Ausgangsspannungsschiene 9 und Ausgangsspannungsmittelpunkt 11 angeordneten oberen Kondensators 12 und einen, zwischen dem Ausgangsspannungsmittelpunkt 11 und der negativen Ausgangsspannungsschiene 10 angeordneten unteren Kondensator 13 gestützt. Durch Ein- bzw. Abschalten der elektronischen Vierquadrantenschalter kann das Potential jedes Gleichrichterphaseneingangs 7 abgesenkt oder angehoben und so der Strom in der zugehörigen Vorschaltinduktivität 6 verringert oder erhöht werden. Die entsprechenden Steuerbefehle 14 werden der Ventilanordnung 8 in bekannter Weise als Ausgang von Phasenregelgliedern 15 zugeführt, wobei an jedes Phasenregelglied eingangsseitig die Phasenstromregeldifferenz 16 gelegt, d.h. an den Eingang 17 eines Schaltglied 18 mit Hysterese geführt wird, dessen Ausgang 19 durch eine nachfolgende steuerbare Negation 20 bei negativem Vorzeichen des zugehörigen Phasenstromes 2 respektive eines entsprechenden Phasenstrom-Ist-Wertes invertiert wird. Die Ansteuerbefehle 14 der Vierquadrantenschalter werden am Ausgang 21 der Negation 20 abgegriffen.

Die Messung der Phasenströme erfolgt durch, in Serie zu den Vorschaltinduktivitäten 6 liegende Stromwandler 22 mit Ausgängen 23. Für dem Stand der Technik entsprechende Zweipunktregelung würde der Strommesswert 2 oder Phasenstrom-Ist-Wert in jeder Phase direkt an den negativen Eingang 24 eines fünften Subtrahiergliedes 25 gelegt, an dessen positiven Eingang 26 ein, durch eine überlagerte Regelung vorgegebener Phasenstromsollwert 27 geführt wird, womit am Ausgang 28 die Phasenstromregeldifferenz 16 auftritt.

[0010] Durch die erfindungsgemässe Vorrichtung 1 wird die konventionelle Zweipunktregelung erweitert, indem die Phasenstrom-Ist-Werte 2 in erweiterte Phasenstrom-Ist-Werte 29 derart umgeformt werden, dass die Phasenstromregelungen entkoppelt werden, d.h. das Schaltverhalten jenem bei direkter Verbindung des Ausgangsspannungsmittelpunktes 11 und des Sternpunktes der Netzspannungen 5 entspricht, jedoch desungeachtet die volle Nutzung des linearen Aussteuerbereiches des Pulsleichrichtersystems 3 möglich sowie eine aktive Symmetrierung der Spannung des oberen Ausgangskondensators 12 und des unteren Ausgangskondensators 13 gegeben ist.

Hiefür wird der erfindungsgemässen Vorrichtung 1 der gemessene Ist-Wert 30 des Nullanteiles der Gleichrichtereingangsphasenspannung (Nullspannungs-Ist-Wert), ein Soll-Wert 31 des lokalen, d.h. auf ein Schaltintervall bezogenen Mittelwertes der Gleichrichtereingangsnullspannung (lokaler Nullspannungs-Soll-Mittelwert) und ein Soll-Wert 32 des globalen, d.h. auf eine Netzperiode bezogenen Mittelwertes der Gleichrichtereingangsnullspannung (globaler Nullspannungs-Soll-Mittelwert) zugeführt.

Der Nullspannungs-Ist-Wert 30 wird als Ausgang 33 eines ersten Subtrahiergliedes 34 gebildet, dessen negativer Eingang 35 an den Sternpunkt (fiktiven Netzsternpunkt) 36 einer, an den Netzphasenspannungen 5 liegenden Sternschaltung 37 gleicher ohmscher Widerstände 38 gelegt wird, und dessen positiver Eingang 39 an den Mittelpunkt 11 der Ausgangsspannung geführt wird. Der lokale Nullspannungs-Soll-Mittelwert 31 wird am Ausgang 40 eines zweiten Subtrahiergliedes 41 abgegriffen, dessen negativer Eingang 42 am fiktiven Netzsternpunkt 36 liegt und dessen positiver Eingang 43 von einer sonst keine weiteren Anschlüsse aufweisenden Verbindungsstelle 44 von ersten Anschlüssen zweier gleicher erster und zweiter ohmscher Widerstände 45 und 46 abgegriffen wird, wobei der zweite Anschluss des ersten Widerstandes 45 an der positiven Ausgangsspannungsschiene 47 und der zweite Anschluss des zweiten Widerstandes 46 an der negativen Ausgangsspannungsschiene 48 einer Dreiphasendiodenbrücke 49 liegt, welche mit Wechselspannungsklemmen 50 an die Netzphasenspannungen 5 gelegt ist. Der globale Nullspannungs-Soll-Mittelwert 32 wird am Ausgang 51 eines Übertragungsgliedes 52 mit negativem Vorzeichen der Verstärkung gebildet, an dessen Eingang 53 der Ausgang 54 eines, die Differenz des Spannung des oberen Ausgangskondensators 12 und des unteren Ausgangskondensators 13 bildenden Summiergliedes 55 gelegt wird, wobei der erste Eingang 56 des Summiergliedes 55 an die positive Ausgangsspannungsschiene 9 und der zweite Eingang 57 an die negative Ausgangsspannungsschiene 10 des Gleichrichtersystems 3 gelegt ist.

Der Nullspannungs-Ist-Wert 30 wird nun erfindungsgemäss an den Eingang 58 eines Hochpassfilters 59 gelegt, dessen untere Knickfrequenz so gewählt wird, dass schaltfrequente Anteile des Nullspannungs-Ist-Wertes 30 ungedämpft durchgelassen und niederfrequente Anteile, insbesondere Spektralanteile mit dreifacher Netzfrequenz und ein Gleichanteil unterdrückt werden. Der Ausgang 60 des Hochpassfilters 59 wird an die Eingänge 61, 62, 63 von drei Übertragungsgliedern 64, 65, 66 mit integrierendem Verhalten (Integrierglieder) gelegt, womit an den Ausgängen 67, 68, 69 der Integrierglieder 64, 65, 66 Nullströme 67, 68, 69 gebildet werden, welche an erste negative Eingänge 70 von ersten Phasensummiergliedern (ein Summierglied je Phase) 71 gelegt werden, wobei an deren Ausgängen 72 die Gesamtsummierröme 73 der Phasen auftreten, welche an erste Eingänge 74 von zweiten Phasensummiergliedern 75 geführt werden, an deren zweiten Eingängen 76 die Phasenstrom-Ist-Werte 2 liegen und deren Ausgänge 77 die erfindungsgemäss modifizierten, in die Toleranzbandregelung einbezogenen Phasenstrom-Ist-Werte 29 bilden. Weiters wird Information über den jeweiligen Phasenstrom-Ist-Werte 2 auch an Steuereingänge 78, 79, 80 der Integrierglieder 64, 65, 66 geführt und dadurch die Integration so

gesteuert, dass ein Integrierglied der differentiellen Induktivität der zugehörigen Phasen-Vorschaltinduktivität 6 entspricht, womit eine gegenseitige Beeinflussung der Phasenstromregelungen vollständig unterbunden werden kann.

Weiters wird der Nullspannungs-Ist-Wert 30 an den Eingang 81 eines ersten Tiefpassfilters 82 gelegt, dessen obere Knickfrequenz so gewählt wird, dass schaltfrequente Spektralanteile unterdrückt werden, womit an dessen Ausgang 83 ein lokaler Nullspannungs-Ist-Mittelwert 84 gebildet wird, der an den negativen Eingang 85 eines dritten Subtrahiergliedes 86 geführt wird, an deren positivem Eingang 87 der lokale Nullspannungs-Soll-Mittelwert 31 liegt, womit am Ausgang 88 des dritten Subtrahiergliedes 86 die Regelabweichung 89 des lokalen Nullspannungs-Ist-Mittelwertes auftritt, welche an den Eingang 90 eines ersten Nullspannungsreglers 91 mit hoher Verstärkung bei tiefen Frequenzen gelegt wird. Der Ausgang 92 des ersten Nullspannungsreglers 91 wird dann gleich einem Offset 93 an zweite Eingänge der ersten Phasensummierglieder 71 gelegt.

Schliesslich wird der Nullspannungs-Ist-Wert 30 an den Eingang 94 eines zweiten Tiefpassfilters 95 gelegt, dessen obere Knickfrequenz so gewählt wird, dass Spektralkomponenten mit dreifacher Netzfrequenz unterdrückt werden, womit an dessen Ausgang 96 ein globaler Nullspannungs-Ist-Mittelwert 97 gebildet wird, der an den negativen Eingang 98 eines vierten Subtrahiergliedes 99 geführt wird, an dessen positivem Eingang 100 der globale Nullspannungs-Soll-Mittelwert 32 liegt, womit am Ausgang 101 des vierten Subtrahiergliedes 99 die Regelabweichung 102 des globalen Nullspannungs-Mittelwertes auftritt, welche an den Eingang 103 eines zweiten Nullspannungsreglers 104 gelegt wird. Der Ausgang 105 des zweiten Nullspannungsreglers 104 wird dann gleich einem Offset 105 an dritte Eingänge der ersten Phasensummierglieder 71 geführt.

Somit erfolgt die Erfüllung der Forderungen nach Entkopplung, voller Aussteuerbarkeit und Mittelpunktregelung über gezielte Beeinflussung der einzelnen Spektralanteile des Nullspannungs-Ist-Wertes 30. Für die Entkopplung der Phasenregelkreise wird die am Ausgang des Hochpassfilters gebildete schaltfrequente Komponente der Nullspannung herangezogen und mit der in den Phasen jeweils wirksamen Induktivität integriert. Nach Erweiterung der durch die nullgrössenfreien Anteile der Gleichrichtereingangsspannungen gebildeten Phasenströme durch diese Nullstromanteile resultiert ein grundsätzlich gleicher Verlauf der Phasenstromregelabweichungen 16 bzw. ein grundsätzlich gleiches Schaltverhalten des Systems wie bei direkter Verbindung des Sternpunktes der Netzphasenspannungen und des Ausgangsspannungsmittelpunktes 11.

Die für die volle Nutzung des linearen Aussteuerbereiches erforderliche Komponente des Nullspannungs-Ist-Wertes mit dreifacher Netzfrequenz wird durch den ersten Nullspannungsregler 91 mit, aufgrund der hohen Reglerverstärkung geringer Regelabweichung eingestellt, wobei für die Einstellung der Nullspannung ein gegenüber der Hysteresebreite relativ geringer Offset 93 der Phasenstrom-Ist-Werte ausreicht und somit keine massgebliche Beeinflussung der Hysterese-regelung resultiert. Gleiches gilt grundsätzlich für die Regelung der Aufteilung der Ausgangsspannung auf die Ausgangskondensatoren 12 und 13, welche über einen Gleichanteil der Nullspannung erfolgt, der, wie eine nähere Analyse zeigt, in einem Mittelwert des, durch die Ventilanordnung 8 in den Mittelpunkt der Ausgangsspannung gespeisten Stromes Ausdruck findet.

Durch Fig. 1 wird anschaulich auch die im Kennzeichenteil von Patentanspruch 2 beschriebene Anordnung verständlich. Wird auf die Berücksichtigung der Nichtlinearität der Vorschaltinduktivitäten 6 verzichtet, kann für alle Phasen dasselbe Integrierglied verwendet werden. Werden der erste und der zweite Nullspannungsregler, 91 und 104, welche beide bei tiefen Frequenzen hohe Verstärkung aufzuweisen haben, als reine Integralregler und hier wieder gleich dem Integrierglied für den schaltfrequenten Anteil 60 des Nullspannungs-Ist-Wertes gewählt, kann der die Phasenstrom-Ist-Werte 2 erweiternde Nullstrom 73 einfach durch Integration der, nach Summation lokalen Nullspannungs-Soll-Mittelwertes 31, des lokalen Nullspannungs-Ist-Wertes 30 und des globalen Nullspannungs-Soll-Mittelwertes 31 verbleibenden Signals gebildet, und der Realisierungsaufwand damit signifikant verringert werden.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zur Toleranzbandregelung der Phasenströme eines Dreiphasen-Dreipunkt-Pulsleichrichtersystems (3) welche Stromwandler (23) zur Erfassung der Ist-Werte (2) der Phasenströme und fünfte Subtrahierglieder (25) mit positiven Eingängen (26) für Phasenstrom-Soll-Werte und Phasenstromregeldifferenzen (16) als Ausgang (28) aufweist,
  - wobei Steuerbefehle (14) einer Ventilanordnung (8) des Dreipunkt-Pulsleichrichtersystems (3) als Ausgang von Phasenregelgliedern (15) zugeführt werden, wobei an jedes Phasenregelglied eingangsseitig die zugehörige Phasenstromregeldifferenz (16) gelegt, also einem Schaltglied (18) mit Hysterese zugeführt wird, dessen Ausgang (19) durch eine nachfolgende steuerbare Negation (20) bei negativem Vorzeichen des zugehörigen Phasenstrom-Ist-Wertes (2) invertiert wird und die Steuerbefehle (14) der Vierquadrantenschalter des Dreipunkt-Pulsleichrichtersystems (3) am Ausgang (21) der steuerbaren Negation (20) abgegriffen werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Phasenstrom-Ist-Werte (2) in erweiterte Phasenstrom-Ist-Werte (29) umgeformt werden,
  - wobei ein Nullspannungs-Ist-Wert (30) als Ausgang (33) eines ersten Subtrahiergliedes (34) gebildet wird, dessen negativer Eingang (35) an den Sternpunkt (36) einer, an den Netzphasenspannungen (5) liegenden Sternschaltung (37) gleicher ohmscher Widerstände (38) gelegt wird, und dessen positiver Eingang (39) an den Mittelpunkt (11) der Ausgangsspannung des Dreipunkt-Pulsleichrichtersystems (3) gelegt wird,
  - und ein lokaler Nullspannungs-Soll-Mittelwert (31) am Ausgang (40) eines zweiten Subtrahiergliedes (41) abgegriffen wird, dessen negativer Eingang (42) am Sternpunkt (36) liegt und dessen positiver Eingang (43) von einer sonst

keine weiteren Anschlüsse aufweisenden Verbindungsstelle (44) von ersten Anschlüssen zweier gleicher erster und zweiter ohmscher Widerstände (45) und (46) abgegriffen wird,

- wobei der zweite Anschluss des ersten Widerstandes (45) an der positiven Ausgangsspannungsschiene (47) und der zweite Anschluss des zweiten Widerstandes (46) an der negativen Ausgangsspannungsschiene (48) einer Dreiphasendiodenbrücke (49) liegt, welche mit Wechselspannungsklemmen (50) an die Netzphasenspannungen (5) gelegt ist,
- und ein globaler Nullspannungs-Soll-Mittelwert (32) am Ausgang (51) eines Übertragungsgliedes (52) mit negativem Vorzeichen der Verstärkung gebildet wird, an dessen Eingang (53) der Ausgang (54) eines, die Differenz der Spannung des oberen Ausgangskondensators (12) und des unteren Ausgangskondensators (13) des Dreipunkt-Puls-gleichrichtersystems (3) bildenden Summiergliedes (55) gelegt wird,
- wobei der erste Eingang (56) des Summiergliedes (55) an die positive Ausgangsspannungsschiene (9) und der zweite Eingang (57) an die negative Ausgangsspannungsschiene (10) des Dreipunkt-Puls-gleichrichtersystems (3) gelegt ist,
- wobei der Nullspannungs-Ist-Wert (30) an den Eingang (58) eines Hochpassfilters (59) gelegt wird, dessen untere Knickfrequenz so gewählt ist, dass schaltfrequente Anteile des Nullspannungs-Ist-Wertes (30) ungedämpft durchgelassen und niederfrequente Anteile, insbesondere Spektralanteile mit dreifacher Netzfrequenz und ein Gleichanteil unterdrückt werden,
- wobei der Ausgang (60) des Hochpassfilters (59) an die Eingänge (61, 62, 63) von drei Integriergliedern (64, 65, 66) mit einem, der jeweiligen Vorschaltinduktivität (6) entsprechenden Integrationsverhalten gelegt wird, womit an den Ausgängen (67, 68, 69) der Integrierglieder (64, 65, 66) Nullströme (67, 68, 69) gebildet werden, welche an erste negative Summiereingänge (70) von ersten Phasensummiergliedern (71) gelegt werden,
- wobei an deren Ausgängen (72) die Gesamtsummenströme (73) der Phasen auftreten, welche an erste Eingänge (74) von zweiten Phasensummiergliedern (75) geführt werden, an deren zweiten Eingängen (76) die Phasenstrom-Ist-Werte (2) liegen und deren Ausgänge (77) die modifizierten, an die negativen Ist-Wert-Eingänge der, die Phasenstromregeldifferenzen (16) bildenden fünften Subtrahierglieder (25) gelegt werden,
- wobei die Information über die Phasenstrom-Ist-Werte (2) einer Netzphase auch an Steuereingänge (78, 79, 80) der Integrierglieder (64, 65, 66) geführt und dadurch die Integration so gesteuert wird, dass das Integrierglied der in einer Phase jeweils vorliegenden differentiellen Induktivität der zugehörigen Vorschaltinduktivität (6) entspricht,
- und weiters der Nullspannungs-Ist-Wert (30) an den Eingang (81) eines ersten Tiefpassfilters (82) gelegt wird, dessen obere Knickfrequenz so gewählt wird, dass schaltfrequente Spektralanteile unterdrückt werden, womit an dessen Ausgang (83) ein lokaler Nullspannungs-Ist-Mittelwert (84) gebildet wird, der an den negativen Eingang (85) eines dritten Subtrahiergliedes (86) geführt wird, an deren positivem Eingang (87) der lokale Nullspannungs-Soll-Mittelwert (31) liegt,
- womit am Ausgang (88) des dritten Subtrahiergliedes (86) eine Regelabweichung (89) des lokalen Nullspannungs-Mittelwertes auftritt, welche an den Eingang (90) eines ersten Nullspannungsreglers (91) mit hoher Verstärkung bei tiefen Frequenzen gelegt wird, wobei der Ausgang (92) des ersten Nullspannungsreglers (91) als ein Offset (93) an zweite Eingänge der ersten Phasensummierglieder (71) gelegt wird
- und schliesslich der Nullspannungs-Ist-Wert (30) an den Eingang (94) eines zweiten Tiefpassfilters (95) gelegt wird, dessen obere Knickfrequenz so gewählt wird, dass Spektralkomponenten mit dreifacher Netzfrequenz unterdrückt werden, womit an dessen Ausgang (96) ein globaler Nullspannungs-Ist-Mittelwert (97) gebildet wird, der an den negativen Eingang (98) eines vierten Subtrahiergliedes (99) geführt wird, an dessen positivem Eingang (100) der globale Nullspannungs-Soll-Mittelwert (32) liegt
- womit am Ausgang (101) des vierten Subtrahiergliedes (99) die Regelabweichung (102) des globalen Nullspannungs-Mittelwertes auftritt, welche an den Eingang (103) eines zweiten Nullspannungsreglers (104) gelegt wird und der Ausgang (105) des zweiten Nullspannungsreglers (104) dann als weiterer Offset (105) an dritte Eingänge der ersten Phasensummierglieder (71) geführt wird.

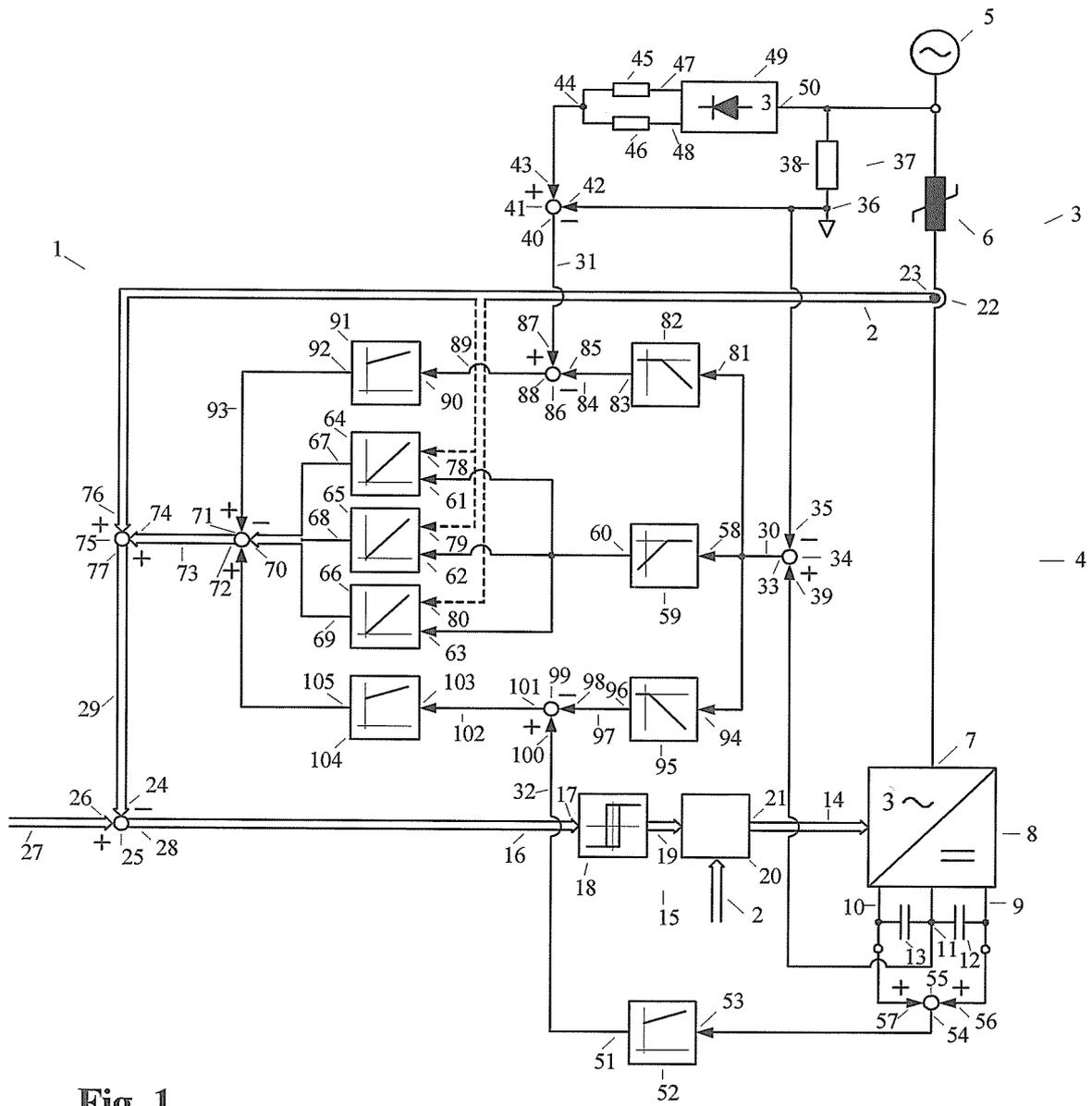


Fig. 1