

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 730/2002 (51) Int. Cl.<sup>8</sup>: H02M 7/23 (2006.01)  
G05F 1/45 (2006.01)  
(22) Anmeldetag: 2002-05-13  
(43) Veröffentlicht am: 2008-05-15

(56) Entgegenhaltungen:  
JP 2001/016856A

(73) Patentanmelder:  
BAUMANN MARTINA DIPL.ING.  
A-1130 WIEN (AT)

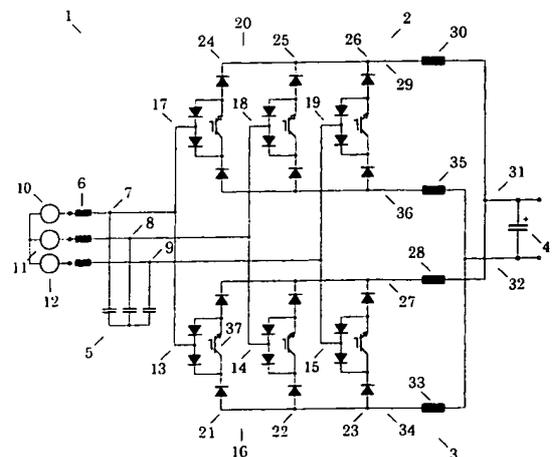
(72) Erfinder:  
KOLAR JOHANN W. DR.  
ZÜRICH (CH)  
BAUMANN MARTINA DIPL.ING.  
WIEN (AT)

(54) **VERFAHREN ZUR UNTERDRÜCKUNG VON KREISSTRÖMEN ZWISCHEN PARALLEL GESCHALTETEN DREIPHASEN-PULSGLEICHRICHTERSYSTEMEN MIT EINGEPRÄGTEM AUSGANGSSTROM**

(57) Bei phasenversetztem Parallelbetrieb von n Drehstrom-Pulsgleichrichtersystemen ist eine symmetrische Aufteilung des Laststromes auf die Teilsysteme sicherzustellen. Erfindungsgemäss erfolgt die Symmetrierung für jedes Teilsystem getrennt. Weist z.B. der Strom in der positiven Ausgangsinduktivität 28 des Pulsgleichrichtersystem 3 einen unter dem n-ten Teil des Sollwertes des Gesamtausgangsstromes liegenden Wert auf wird die zugehörige positive Ausgangshalbspannung 38 erhöht, und die negative Ausgangshalbspannung 39 unverändert belassen sodass die Stromänderung auf die positive Ausgangsinduktivität 28 beschränkt bleibt. Bei Abweichung des Stromes in der negativen Ausgangsinduktivität 33 vom Symmetriewert wird eine sinnigegleiche Vorgangsweise gewählt. Die resultierende positive oder negative Differenz der Sollwerte der Ausgangshalbspannungen 38, 39 wird durch abschnittsweise Umschaltung des Freilaufpfades der Drehstrombrückenschaltung 16 auf den jeweils an der höchsten positiven bzw. am stärksten negativen Eingangsphasenspannung liegenden Brücken- zweig eingestellt. Für den Fall dass kein symmetrie-

render Eingriff erforderlich ist, wird der jeweils an der Phasenspannung kleinsten Betrages liegende Brücken- zweig der Drehstrombrückenschaltung 16 bleibend durchgeschaltet.

Fig. 1



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung einer Parallelschaltung dreiphasiger Puls-  
gleichrichtersysteme derart, dass eine symmetrische Aufteilung des Gesamtausgangsstromes  
auf die Teilsysteme erreicht wird, wobei die in der positiven Ausgangsspannungsschiene lie-  
gende Induktivität und die in der negativen Ausgangsspannungsschiene liegende Induktivität  
5 des Teilsystems gleiche Ströme führen wie es im Oberbegriff des Systems beschrieben ist.

Ausgangspunkt für die vorliegende Erfindung sind Dreiphasen-Pulsleichrichter, welche die  
Bildung einer unter dem Spitzenwert der verketteten Eingangsspannung liegenden Ausgangs-  
gleichspannung erlauben durch eine eingangsseitige spannungseinprägende Stern- oder Drei-  
eckschaltung von Filterkondensatoren, eine durch Anordnung eines abschaltbaren Leistungs-  
10 halbleiters je Phase bzw. Brückenweig in ihrem Leitzustand steuerbare Drehstrombrücken-  
schaltung und eine, dieser Drehstrombrückenschaltung nachgeschaltete stromeinprägende  
Ausgangsinduktivität gebildet. Die Beschränkung des Ausgangsspannungsbereiches nach oben  
kann durch Integration der Ausgangsinduktivität in eine nachgeschaltete Hochsetzstellerstufe  
15 aufgehoben werden.

Durch die Filterkondensatoren werden in Verbindung mit der inneren Netzinduktivität und ggf.  
expliziten Vorschaltinduktivitäten die schaltfrequenten Harmonischen der Eingangsströme der  
Drehstrombrückenschaltung unterdrückt, d.h. ein kontinuierlicher Verlauf des Netzstromes  
20 sichergestellt. Allerdings wird durch das Eingangsfiler die Dynamik der Ausgangsspannungs-  
regelung wesentlich beschränkt, da das Eingangsfiler im Bereich seiner Resonanzfrequenz  
entsprechend einem Parallelresonanzkreis sehr hohe Ausgangsimpedanz aufweist die in der  
Reglerübertragungsfunktion in einer hohen Phasendrehung zum Ausdruck kommt. Es ist daher  
eine möglichst hohe Schaltfrequenz des System anzustreben um die Filterknickfrequenz zu  
25 hohen Frequenzwerten legen zu können. In bekannter Weise kann diese Erhöhung der Schalt-  
frequenz durch phasenversetzten Parallelbetrieb von zwei oder allgemein n Teilsystemen er-  
reicht werden. Dadurch werden schaltfrequente Harmonische des Gesamteingangsstromes bis  
zur n-fachen Taktfrequenz eliminiert, die Knickfrequenz des Eingangsfilters kann damit entspre-  
chend höher gewählt werden, womit die Regeldynamik verbessert und die Baugrösse des  
30 Eingangsfilters vorteilhaft reduziert werden kann. Allerdings ist nun durch geeignete Steuerung  
eine symmetrische Aufteilung des gesamten Laststromes auf die Teilsysteme sicherzustellen.

Die Parallelschaltung der Pulsleichrichtersysteme erfolgt eingangsseitig an den Klemmen der  
für alle Teilsysteme gemeinsamen Filterkondensatoren und ausgangsseitig i.a. durch Verbin-  
35 dung der, der den Drehstrombrückenschaltungen abgewandten Klemmen der Ausgangsindukti-  
vitäten, d.h. eine ggf. vorgesehene Hochsetzstellerstufe wird für alle Teilsysteme gemeinsam  
angeordnet. Werden am Ausgang der Drehstrombrückenschaltungen ideal gleiche Spannungen  
gebildet, wird der Gesamtstrom zu gleichen Teilen von den Teilsystemen übernommen. Weist  
40 allerdings eine Teilspannung zufolge unterschiedlicher Schaltzeiten oder aufgrund von, durch  
Bauelementstreuungen bedingten geringfügig tieferen Ventilspannungsabfällen einen höheren  
Ausgangsspannungswert auf, wird das zugeordnete Teilsystem einen signifikant höheren  
Stromanteil übernehmen. Diese Unsymmetrie der Stromaufteilung kann anschaulich durch,  
zwischen den Systemen fliessende, jedoch nicht zur Bildung des Gesamtausgangsstromes  
beitragende Kreisströme veranschaulicht werden. Eine die Stromaufteilung symmetrierende  
45 Wirkung ist nur durch die parasitären Wicklungswiderstände der Ausgangsinduktivitäten gege-  
ben. Eine Erhöhung dieser Widerstände würde allerdings hohe Verluste bedingen und ist daher  
in der technischen Praxis nicht möglich. Eine Symmetrierung muss daher über die Steuerung  
erfolgen, wobei in der Fachliteratur bisher kein geeignetes Steuerverfahren angegeben wurde.  
Aufgabe der Erfindung ist es daher ein Steuerverfahren zu schaffen, das für eine beliebige  
50 Anzahl n paralleler Systeme Anwendung finden kann und alle möglichen Unsymmetrien der  
Ausgangsstromaufteilung auszugleichen im Stande ist.

Dies wird erfindungsgemäss durch die kennzeichnenden Merkmale des *Patentanspruches 1*  
erreicht. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind dem Unteranspruch zu ent-  
55 nehmen.

Für die weiteren Überlegungen wird vereinfachend die Parallelschaltung von zwei Teilsystemen betrachtet und die, die Symmetrierung nicht beeinflussende Hochsetzstellerstufe durch eine Spannungsquelle bzw. einen Ausgangskondensator ersetzt gedacht, was einem Betrieb der Parallelschaltung mit gesperrtem Hochsetzstellertransistor entspricht, der in der Praxis z.B. bei  
5 Bildung tiefer Ausgangsspannungen vorliegt. Der Leistungsteil der Parallelschaltung werde durch eine spannungseinprägende dreiphasige Sternschaltung von Filterkondensatoren gebildet, die gemeinsam mit in den Netzzuleitungen liegenden Vorschaltinduktivitäten ein Tiefpassfilter bilden. Die durch die Filterkondensatoren gestützten Phasenspannungen werden an die Eingangsklemmen einer ersten und einer zweiten Drehstrombrückenschaltung gelegt. Die  
10 Brückenzeige der Drehstrombrückenschaltungen sind durch Anordnung je eines abschaltbaren Leistungshalbleiters, i.a. eines Leistungstransistors je Brückenzeig steuerbar ausgeführt. Von den positiven Ausgangsklemmen der ersten Drehstrombrückenschaltung wird eine positive erste und von der positiven Ausgangsklemme der zweiten Drehstrombrückenschaltung eine positive zweite Ausgangsinduktivität gegen den positiven Pol des Ausgangskondensators geschaltet und vom negativen Pol des Ausgangskondensators eine negative erste und eine negative zweite Ausgangsinduktivität gegen die negativen Ausgangsklemmen der ersten und zweiten Drehstrombrückenschaltung gelegt.

Durch Sperren eines Steuerschalters kann der Stromfluss über den zugehörigen Brückenzeig unterbunden werden, für durchgeschalteten Steuerschalter weist der Brückenzeig gleiche  
20 Funktion wie der Brückenzeig einer konventionellen Diodenbrücke auf. Die hiermit gegebene Steuerbarkeit erlaubt gegenüber einfacher Diodengleichrichtung eine Verringerung der Ausgangsspannung, da entsprechend einer Pulsbreitenmodulation nur Ausschnitte der verketteten Eingangsspannungen an den Ausgang durchgeschaltet werden können. Erfolgt die Ansteuerung phasensymmetrisch kann weiters der Ausgangsstrom derart auf die Eingangsphasen aufgeteilt werden, dass nach Filterung schaltfrequenter Harmonischer durch das Eingangsfilter ein sinusförmiger, in Phase mit der Netzspannung liegender Verlauf des Netzstromes resultiert.

Mit dem Ziel einer Minimierung der Schaltverluste verbleibt hierbei in an sich bekannter Weise ein Brückenzeig während eines  $60^\circ$ el. breiten, symmetrisch um das Maximum der zugehörigen Eingangsspannung liegenden Intervalls jeder Netzhalbperiode durchgeschaltet. Werden zwischen den Ausgangsklemmen der Drehstrombrückenschaltungen keine expliziten Freilaufdioden vorgesehen, erfolgt daher der Stromfluss im ausgeschalteten Zustand der beiden anderen Brückenzeige, d.h. im Freilaufzustand einer Drehstrombrückenschaltung über  
35 den durchgeschalteten Leistungstransistor. Die Ansteuerung der Drehstrombrückenschaltungen erfolgt mit gleichen Pulsmustern jedoch um eine halbe Pulsperiode versetzt um eine gegenseitige Auslöschung der Eingangsstromharmonischen im Filterkondensatorstrom zu erreichen. Weist nun z.B. die erste Drehstrombrückenschaltung zufolge Bauelementesteuerungen geringere Leitverluste der Leistungshalbleiter oder aufgrund unterschiedlicher Schaltverzugszeiten trotz gleicher Ansteuerung eine höhere Ausgangsspannung auf, wird dieses System letztlich den gesamten Ausgangsstrom übernehmen, da die Ausgangsinduktivitäten nur eine dynamische, nicht jedoch eine statische Symmetrierung der Ausgangsströme sicherstellen und die, die höhere Ausgangsspannung aufweisende Brückenschaltung die Ausgangsspannung bestimmt bzw. den Ausgangsstrom führt. Eine symmetrische Stromaufteilung kann daher nur durch einen  
45 entsprechend korrigierenden Steuereingriff sichergestellt werden.

Erfindungsgemäss wird die Symmetrierung jedes Teilsystems für sich, d.h. ohne Rücksicht auf die, durch die symmetrierende Aktion verursachte Beeinflussung der anderen Teilsysteme durchgeführt, womit das Symmetrierverfahren auch bei einer hohen Anzahl paralleler Systeme  
50 direkt Anwendung finden kann.

Der Grundgedanke der Erfindung wird unmittelbar einsichtig, wenn die Bildung der Ausgangsspannung jeder Drehstrombrückenschaltung gedanklich durch zwei in Serie liegende Gleichspannungsersatzquellen repräsentiert gedacht wird, wobei die Mittelpunktverbindung der  
55 Spannungsquellen als Bezugspotential dient und in erster Näherung als auf Potential des Netz-

sternpunktes bzw. dem Mittelpunkt der Gesamtausgangsspannung liegend angenommen wird und nur Spannungsmittelwerte über eine Pulsperiode betrachtet werden. Die, die Spannung zwischen positiver Ausgangsklemme und Bezugspotential definierende Spannungsquelle sei im weiteren als positive Ersatzhalbspannung der Drehstrombrückenschaltung und die, die Spannung zwischen Bezugspotential und negativer Ausgangsklemme der Drehstrombrückenschaltung definierende Spannungsquelle als negative Ersatzhalbspannung bezeichnet. Die positive Ausgangsinduktivität der betrachteten Drehstrombrückenschaltung liegt dann zwischen der positiven Klemme der positiven Halbspannung und der positiven Klemme des Ausgangskondensators, die negative Ausgangsinduktivität ist als zwischen der negativen Klemme des Ausgangskondensators und der negativen Klemme der negativen Halbspannung liegend zu denken. Die Bezugspotentiale der parallel arbeitenden Teilsysteme sind direkt miteinander verbunden.

Durch ein konventionelles Steuerverfahren wird die Summe der zusammengehörigen positiven und negativen Halbspannung definiert, die stationär mit dem Wert der Ausgangsspannung des Gesamtsystems übereinstimmt. Weist nun der Strom in der positiven Ausgangsinduktivität einen unter dem  $n$ -ten Teil des Gesamtausgangsstromes ( $n$  bezeichnet die Zahl der parallel geschalteten Drehstrombrückenschaltungen) liegenden Wert auf, wird erfindungsgemäss durch einen nachfolgend beschriebenen erfindungsgemässen Steuereingriff die positive Halbspannung erhöht, womit an der positiven Ausgangsinduktivität eine, einen Stromanstieg bewirkende Spannung zu liegen kommt. Die negative Halbspannung wird dabei unverändert belassen, d.h. der Sollwert der, durch ein an sich bekanntes Steuerverfahren eingestellten Summe von positiver und negativer Halbspannung um die Änderung der positiven Halbspannung erhöht, sodass in der negativen Ausgangsinduktivität keine Stromänderung resultiert. Analog wird bei, gegenüber symmetrischer Teilung des Gesamtausgangsstromes zu hohem Wert des Stromes in der positiven Ausgangsinduktivität die positive Halbspannung verringert und korrespondierend auch die negative Halbspannung reduziert, sodass eine Stromänderung wieder auf die positive Ausgangsinduktivität beschränkt bleibt. Eine sinngemäss gleiche Vorgangsweise wird bei Abweichung des Stromes in der negativen Ausgangsinduktivität von symmetrischen Verhältnissen gewählt. Eine nähere Beschreibung soll hier aus Gründen der Kürze unterbleiben.

In der technischen Praxis wird i.a. eine Unsymmetrie des Stromes in der positiven und in der negativen Ausgangsinduktivität vorliegen womit sich die symmetrierenden Massnahmen überlagern. Als Ergebnis resultieren eine, durch konventionelle Steuerung einzustellende Summe aus positiver und negativer Halbspannung und eine positive oder negative Differenz der Halbspannungen die erfindungsgemäss dadurch eingestellt werden kann, dass für den Fall dass kein symmetrierender Eingriff erforderlich ist, der jeweils an der Phasenspannung kleinsten Betrages liegende Brückenweig im durchgeschalteten Zustand belassen wird und bei positiver Halbspannungsdifferenz während eines Teiles des Freilaufintervalles auf den, an der jeweils positivsten Phasenspannung liegenden Brückenweig und bei negativer Halbspannungsdifferenz auf den, an der jeweils negativsten Phasenspannung liegenden Brückenweig umgeschaltet wird. Ist keine symmetrierende Beeinflussung erforderlich, wird hiermit bei symmetrischer Netzspannung wie bei konventioneller Steuerung jeder Brückenweig in jeder Netzhalbschwung während eines  $60^\circ$ el breiten Intervalls nicht getaktet und die Schaltverlustleistung wie für das konventionelle Steuerverfahren reduziert. Der Anteil des Freilaufintervalls, für den der Freilauf über den an der Phasenspannung kleinsten Betrages liegenden Brückenweig unterbrochen und auf den an der positivsten oder negativsten Phasenspannung liegenden Brückenweig umgeschaltet wird, wird mit steigendem Betrag der Halbspannungsdifferenz erhöht.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemässen Symmetrierverfahrens beschreibt der *Patentanspruch 2*. In an sich bekannter Weise wird die Regelung des Dreiphasenpulsgleichrichtersystems zweischleifig ausgeführt, d.h. der Ausgangsspannungsregelung wird eine Regelung des Ausgangsstromes der Drehstrombrückenschaltungen unterlagert. Durch den Ausgangsspannungsregler wird hierbei der Gesamtwert des Ausgangsstromes definiert. Erfindungsgemäss wird dieser Sollwert des Ausgangsgesamtstromes nun durch die Zahl der parallel arbeite-

ten Systeme dividiert und so der Sollwert des Stromes in der positiven und in der negativen Ausgangsinduktivität eines Teilsystems gewonnen. Durch einen positiven Ausgangsstromregler wird dann abhängig von der Regelabweichung des positiven Ausgangsstromes die für Symmetrierung erforderliche Änderung der positiven Halbspannung und durch einen negativen Ausgangsstromregler die für Symmetrierung erforderliche Änderung der negativen Halbspannung ermittelt. Die Summe der Halbspannungsänderungen wird mit dem Sollwert der Ausgangsspannung addiert und so die durch konventionelle Steuerung einzustellende Summe aus positiver und negativer Halbspannung gewonnen. Die Differenz der Sollwerte der Halbspannungsänderungen wird bei positivem Vorzeichen durch die Differenz der jeweils positivsten Eingangphasenspannung der Drehstrombrückenschaltung und der Phasenspannung geringsten Momentanwertes dividiert wobei das auf den Wert 1 begrenzte Ergebnis der Division den relativen Anteil des Freilaufintervalles definiert, in dem der Freilauf über den an der jeweils positivsten Phasenspannung liegenden Brückenzweig erfolgt. Analog wird eine negative Differenz der Sollwerte der Halbspannungsänderungen durch die Differenz der Phasenspannung geringsten Momentanwertes und der jeweils negativsten Eingangphasenspannung der Drehstrombrückenschaltung dividiert wobei das auf den Wert 1 begrenzte Ergebnis der Division den relativen Anteil des Freilaufintervalls definiert, in dem der Freilauf über den an der jeweils negativsten Phasenspannung liegenden Brückenzweig erfolgt.

Die Symmetrierung erfolgt für jedes Parallelsystem getrennt, ein symmetrierender Eingriff in einem System wird somit i.a. zu einer Störung der benachbarten Systeme führen. Alternativ könnte die Symmetrierung der Ausgangsströme der Teilsysteme auch koordiniert durch eine Mehrgrößenregelung erfolgen. Stellgrößen sind hierbei für jedes Teilsystem wieder die Summe der Sollwerte der positiven Halbspannung, der negativen Halbspannung und des Ausgangsspannungssollwertes und die Differenz der Halbspannungsänderungen. Vorteilhaft ist hierbei die Regelung in einen, den geforderten Gesamtausgangsstrom sicherstellenden und einen, die Symmetrierung der Teilströme vornehmenden Teil aufzuspalten, wobei in bekannter Form eine Entkopplung der Regelungen der einzelnen Größen vorgenommen werden kann wobei zu berücksichtigen ist, das bei gegebenem Wert des Gesamtstromes nur  $(n-1)$  Stromwerte in den positiven bzw. negativen Ausgangsinduktivitäten der Teilsysteme voneinander unabhängig sind.

Weiters ist anzumerken, dass das erfindungsgemässe Symmetrierverfahren ausser für unidirektionale, d.h. auf Gleichrichterbetrieb beschränkte Dreiphasen-Pulsgleichrichtersysteme mit eingepprägtem Ausgangsstrom auch für die Parallelschaltung bekannter bidirektionaler Systeme, welche eine Vorzeichenumkehr des Ausgangsstromes erlauben und drei abschaltbare Leistungshalbleiter je Brückenzweig aufweisen Anwendung finden kann. Ebenso kann ein Einsatz für eine Parallelschaltung bidirektionaler Dreiphasen-Pulsgleichrichtersysteme mit unidirektional eingepprägtem Ausgangsstrom erfolgen welche eine Umkehr des Vorzeichens der Ausgangsspannung erlauben. Die einzige Modifikation gegenüber dem Stromrichtersystem auf welches hier aus Gründen der Einfachheit Bezug genommen wird besteht darin dass für Freilauf des Ausgangsstromes eines Teilsystems nicht nur ein Transistor eines Brückenzweiges durchzuschalten ist sondern sämtliche Transistoren eines Brückenzweiges durchzuschalten sind. Auf eine nähere Erläuterung kann daher verzichtet werden.

Die Erfindung soll im weiteren anhand von Zeichnungen näher erläutert werden.

*Fig. 1* zeigt den Leistungsteil einer Parallelschaltung dreiphasiger Pulsgleichrichtersysteme mit eingepprägtem Ausgangsstrom bzw. Tiefsetzstellerfunktion. In *Fig. 2* ist zur Erläuterung des erfindungsgemässen Verfahrens ein Ersatzschaltbild des gleichspannungsseitigen Teiles der Parallelschaltung gezeigt.

In *Fig. 1* ist der Leistungsteil der Parallelschaltung 1 zweier Dreiphasen-Pulsgleichrichtersysteme 2, 3 bekannter Struktur und Tiefsetzstellerfunktion gezeigt. Eine ggf. gleichspannungsseitig nachgeschaltete Hochsetzstellerstufe ist aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht darge-

stellt und der Ausgangskondensator 4 direkt an der Verbindung der Teilsysteme 2, 3 liegend angeordnet, was einem Betrieb der Parallelschaltung 1 mit gesperrtem Hochsetzstellertransistor entspricht, der in der Praxis z.B. bei Bildung tiefer Ausgangsspannungen vorliegt. Wechselspannungsseitig ist eine spannungseinprägende dreiphasige Sternschaltung 5 von Filterkondensatoren vorgesehen, welche gemeinsam mit in den Netzzuleitungen liegenden Vorschaltinduktivitäten 6 ein für beide Systeme 2 und 3 gemeinsames Tiefpassfilter bildet. Die in erster Näherung an den Klemmen 7, 8, 9 der Sternschaltung 5 liegenden Netzphasenspannungen 10, 11, 12 werden an die Eingangsklemmen 13, 14, 15 ersten Drehstrombrückenschaltung 16 und weiters an die Eingangsklemmen 17, 18, 19 einer zweiten Drehstrombrückenschaltung 20 gelegt. Die Brückenzeige 21, 22, 23 und 24, 25, 26 der Drehstrombrückenschaltungen 16 und 20 sind durch Anordnung je eines abschaltbaren Leistungshalbleiters, i.a. eines Leistungstransistors je Brückenzeig steuerbar ausgeführt. Von den positiven Ausgangsklemme 27 der Drehstrombrückenschaltung 16 wird eine positive erste Ausgangsinduktivität 28 und von der positiven Ausgangsklemme 29 der Drehstrombrückenschaltung 20 eine positive zweite Ausgangsinduktivität 30 gegen den positiven Pol 31 des Ausgangskondensators 4 geschaltet und vom negativen Pol 32 des Ausgangskondensators 4 eine negative erste Ausgangsinduktivität 33 gegen die negative Ausgangsklemme 34 der ersten Drehstrombrückenschaltung 16 und eine negative zweite Ausgangsinduktivität 35 gegen die negative Ausgangsklemme 36 der zweiten Drehstrombrückenschaltung 20 gelegt. Die, stationär die Summe der Gleichanteile der Ströme in den positiven Ausgangsinduktivitäten 28 und 30 bzw. in den negativen Ausgangsinduktivitäten 33 und 35 führende Last wird zwischen den positiven Pol 31 und negativen Pol 32 des Ausgangskondensators 4 gelegt.

Durch Sperren eines Steuerschalters, z.B. des Leistungstransistors 37 kann ein Stromfluss über den zugehörigen Brückenzeig 21 unterbunden werden, für durchgeschalteten Steuerschalter 37 weist der Brückenzeig 21 gleiche Funktion wie der Brückenzeig einer konventionellen Diodenbrücke auf. Die hiermit gegebene Steuerbarkeit erlaubt gegenüber einfacher Diodengleichrichtung eine Verringerung der Ausgangsspannung der Drehstrombrückenschaltungen 16 und 20, da entsprechend einer Pulsbreitenmodulation nur Ausschnitte der verketteten Eingangsspannungen, d.h. der Differenzen der an den Eingangsklemmen 13, 14, 15 bzw. 17, 18, 19 anliegenden Spannungen an den Ausgang durchgeschaltet werden können. Erfolgt die Ansteuerung phasensymmetrisch kann weiters der durch die positiven Ausgangsinduktivitäten 28 und 30 (bzw. die negativen Ausgangsinduktivitäten 33 und 35) eingeprägte Strom derart auf die Eingangsphasen 10, 11, 12 aufgeteilt werden, dass nach Filterung schaltfrequenter Harmonischer durch das Eingangfilter 5 ein sinusförmiger, in Phase mit der Netzspannung liegender Verlauf des Netzstromes resultiert.

Mit dem Ziel einer Minimierung der Schaltverluste verbleibt für jede der Drehstrombrückenschaltungen 16, 20 in an sich bekannter Weise ein Leistungstransistor, z.B. Transistor 37 bzw. Brückenzeig 21 während eines  $60^\circ$ el. breiten, symmetrisch um das Maximum der zugehörigen Eingangsphasenspannung 10 liegenden Intervalls der Netzhalbperiode durchgeschaltet. Im ausgeschalteten Zustand der beiden anderen Brückenzeige 22, 23, d.h. im Freilaufzustand der Drehstrombrückenschaltung erfolgt der durch die zugehörigen Ausgangsinduktivitäten 28 und 33 eingeprägte Ausgangsstrom über den durchgeschalteten Leistungstransistor 37.

Die Ansteuerung der Drehstrombrückenschaltungen 16, 20 erfolgt mit gleichen Pulsmustern jedoch um eine halbe Pulsperiode versetzt um eine gegenseitige Auslöschung der Eingangstromharmonischen in den Eingangfilterkondensatoren 5 zu erreichen. Weist nun z.B. die erste Drehstrombrückenschaltung 16 zufolge Bauelementesteuerungen geringere Leitverluste der Leistungshalbleiter oder aufgrund unterschiedlicher Schaltverzugszeiten trotz gleicher Ansteuersignale eine höhere Ausgangsspannung auf, wird dieses System letztlich den gesamten Laststrom übernehmen, da die Ausgangsinduktivitäten 28, 30 und 33, 35 nur eine dynamische, nicht jedoch eine statische Symmetrierung der Ausgangsströme der Drehstrombrückenschaltungen 16, 20 sicherstellen und die, die höhere Ausgangsspannung aufweisende Brückenschaltung die Ausgangsspannung bestimmt bzw. den Laststrom führt. Eine symmetrische Stromauf-

teilung kann daher nur durch einen entsprechenden Steuereingriff sichergestellt werden.

Der Grundgedanke der Erfindung wird durch das in *Fig. 2* gezeigte, auf Mittelwerte der Ströme und Spannungen über eine Pulsperiode bezogenes Ersatzschaltbild des Parallelschaltung 1 nach *Fig. 1* unmittelbar einsichtig. In *Fig. 2* wird die Bildung der Ausgangsspannung der Drehstrombrückenschaltung 16 durch zwei in Serie liegende Gleichspannungsersatzquellen 38, 39 mit positivem Pol 27 der Gesamtanordnung, Serienverbindung 40 und negativem Pol 34 und die Bildung der Ausgangsspannung der Drehstrombrückenschaltung 20 durch zwei in Serie liegende Ersatzspannungsquellen und 41, 42 mit positivem Pol 29 der Gesamtanordnung, Serienverbindung 43 und negativem Pol 36 repräsentiert, wobei die einseitig mit dem positiven Pol 27 bzw. 29 verbundenen Ersatzspannungsquellen 38 und 41 als positive Halbspannungen und entsprechend die Spannungsquellen 39 und 42 als negative Halbspannung bezeichnet werden sollen. Entsprechend der netzseitigen Parallelschaltung sind die Serienverbindungen 40 und 43 durch eine, vereinfacht als auf dem Potential des Netzsternpunktes 44 liegend anzunehmende Verbindungsleitung 45 gekoppelt. Die positive Ausgangsinduktivität 28 der Drehstrombrückenschaltung 16 liegt zwischen der positiven Klemme 27 der positiven Halbspannung 38 und der positiven Klemme 31 des Ausgangskondensators 4, die negative Ausgangsinduktivität 33 der Drehstrombrückenschaltung 16 ist als zwischen der negativen Klemme 32 des Ausgangskondensators 4 und der negativen Klemme 34 der negativen Halbspannung 39 angeordnet. Analog kann für die Darstellung des gleichspannungsseitigen Schaltungsteiles der Drehstrombrückenschaltung 20 direkt die in *Fig. 1* gezeigte Schaltungsstruktur übernommen werden. Im weiteren kann die Betrachtung auf ein Parallelsystem, z.B. System 16 eingeschränkt werden, da das Symmetrierverfahren erfindungsgemäss für jedes Teilsystem getrennt implementiert wird.

Die Summe der zusammengehörigen positiven und der negativen Halbspannungen 38, 39, die ideal stationär mit dem Wert der Ausgangsspannung des Gesamtsystems 1 übereinstimmt wird durch ein konventionelles Steuerverfahren eingestellt. Weist nun der Strom in der positiven Ausgangsinduktivität 28 einen unter dem halben Wert des Gesamtausgangsstromes liegenden Wert auf, wird durch einen nachfolgend beschriebenen erfindungsgemässen Steuereingriff die positive Halbspannung 38 erhöht, womit, wenn das Potential der positiven Ausgangsspannungsklemme 31 in erster Näherung als konstant angenommen wird an der positiven Ausgangsinduktivität 28 eine, einen Stromanstieg bewirkende Spannung zu liegen kommt. Die negative Halbspannung 39 wird dabei unverändert belassen, d.h. der Sollwert der, durch konventionelle Steuerung einzustellenden Summe aus positiver und negativer Halbspannung 38, 39 wird entsprechend der Erhöhung der positiven Halbspannung 38 erhöht, sodass in der negativen Ausgangsinduktivität 33 keine Stromänderung resultiert. Analog wird bei, gegenüber symmetrischer Teilung des Gesamtausgangsstromes zu hohem Wert des Stromes in der positiven Ausgangsinduktivität 28 die positive Halbspannung 38 verringert und korrespondierend auch die durch konventionelle Steuerung eingestellte Summe aus positiver Halbspannung 38 und negativer Halbspannung 39 reduziert, sodass die Stromänderung wieder auf die positive Ausgangsinduktivität 28 beschränkt bleibt. Eine sinngemäss gleiche Vorgangsweise wird bei Abweichung des Stromes in der negativen Ausgangsinduktivität vom Symmetriewert gewählt. In der technischen Praxis wird i.a. eine Unsymmetrie des Stromes sowohl in der positiven als auch in der negativen Ausgangsinduktivität eines Teilsystems vorliegen womit sich die symmetrierenden Massnahmen überlagern. Als Ergebnis resultiert für jedes Teilsystem der Parallelschaltung eine, durch konventionelle Steuerung einzustellende Summe aus positiver und negativer Halbspannung und eine positive oder negativen Wert aufweisende Differenz der Halbspannungen 38, 39 (für Teilsystem 16).

Durch die Symmetriermassnahmen eines Teilsystems werden auch Änderungen der Ströme in den Ausgangsinduktivitäten der übrigen Teilsysteme der Parallelschaltung verursacht. Wie eine nähere Analyse zeigt, ist der Störeinfluss jedoch relativ gering und stellt keine Gefährdung des Einlaufens des Gesamtsystems in eine stabile Endlage mit gleichem Wert der Ströme in allen Ausgangsinduktivitäten dar.

Erfindungsgemäss wird eine positive oder negative Differenz der Halbspannungen 38 und 39 durch Umschaltung des Freilaufpfades auf einen an hoher positiver Eingangsphasenspannung bzw. einen an hoher negativer Eingangsphasenspannung liegenden Brücken­zweig eingestellt. Für den Fall dass kein symmetrierender Eingriff erforderlich ist, wird für jede Drehstrombrückenschaltung der jeweils an der Phasenspannung kleinsten Betrages liegende Brücken­zweig im durchgeschalteten Zustand belassen und hiermit bei symmetrischer Netzspannung jeder Brücken­zweig der Drehstrombrückenschaltung in jeder Netzhalbschwingung während eines 60°el breiten Intervalls nicht getaktet und so die Schaltverlustleistung wie für ein konventionelles Steuerverfahren reduziert. Bei positiver Halbspannungsdifferenz wird dann, wie vorstehend erwähnt, während eines Teiles des Freilaufintervalls überlappend auf den, an der jeweils positivsten Phasenspannung liegenden Brücken­zweig und bei negativer Halbspannungsdifferenz auf den, an der jeweils negativsten Phasenspannung liegenden Brücken­zweig umgeschaltet. Der Anteil des Freilaufintervalls für den der Freilauf über den, an der Phasenspannung kleinsten Betrages liegenden Brücken­zweig durch Ausschalten des zugeordneten Leistungstransistors unterbrochen und überlappend auf den an der positivsten oder negativsten Phasenspannung liegenden Brücken­zweig umgeschaltet wird, wird durch den relativen Betrag der Halbspannungsdifferenz bestimmt.

## 20 Patentansprüche:

1. Verfahren zur Symmetrierung der Ströme in den positiven Ausgangsinduktivitäten und in den negativen Ausgangsinduktivitäten einer Parallelschaltung von n dreiphasigen Drehstrom-Pulsgleichrichtersystemen mit durch Filterkondensatoren eingepprägter Eingangsspannung *dadurch gekennzeichnet*, dass das Symmetrierverfahren für jedes Teilsystem getrennt und gleich implementiert wird und für den Fall dass der Strom in der positiven Ausgangsinduktivität eines Pulsgleichrichtersystem einen unter dem n-ten Teil des Sollwertes des Gesamtausgangsstromes liegenden Wert aufweist die positive Ausgangshalbspannung des Pulsgleichrichtersystems erhöht, und die negative Ausgangshalbspannung unverändert belassen wird, d.h. der Sollwert der Summe von positiver und negativer Ausgangshalbspannung entsprechend der Erhöhung der positiven Ausgangshalbspannung erhöht wird, und analog bei, gegenüber dem n-ten Teil des Sollwertes des Gesamtausgangsstromes zu hohem Wert des Stromes in der positiven Ausgangsinduktivität die positive Ausgangshalbspannung verringert und korrespondierend auch der Sollwert der Summe von positiver und negativer Ausgangshalbspannung entsprechend der Verringerung der positiven Ausgangshalbspannung reduziert wird, sodass die Stromänderung wieder auf die positive Ausgangsinduktivität beschränkt bleibt und bei Abweichung des Stromes in der negativen Ausgangsinduktivität vom Symmetriewert eine analoge Vorgangsweise gewählt wird und bei Unsymmetrie des Stromes sowohl in der positiven Ausgangsinduktivität als auch in der negativen Ausgangsinduktivität eines Teilsystems die symmetrierenden Massnahmen in Kombination zur Anwendung kommen und der Sollwert der Summe von positiver und negativer Ausgangshalbspannung durch ein an sich bekanntes Steuerverfahren eingestellt wird und eine positive oder negative Differenz des Sollwertes der positiven Ausgangshalbspannung und des Sollwertes der negativen Ausgangshalbspannung durch überlappende Umschaltung des Freilaufpfades der Drehstrombrückenschaltung während eines Teiles der Freilaufphase einer Pulsperiode auf den jeweils an der höchsten positiven Eingangsphasenspannung bzw. an der am stärksten negativen Eingangsphasenspannung liegenden Brücken­zweig eingestellt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1 *dadurch gekennzeichnet*, dass die Regelung der Ausgangsspannung der Parallelschaltung in an sich bekannter Weise zweischleifig ausgeführt, d.h. einer Ausgangsspannungsregelung eine Regelung des Ausgangsstromes der einzelnen Drehstrombrückenschaltungen unterlagert ist und durch den Ausgangsspannungsregler der Sollwert des Gesamtausgangsstromes definiert wird und dieser Sollwert durch die Zahl n der parallel arbeiteten Teilsysteme dividiert und so der Sollwert des Stromes in der posi-

tiven und in der negativen Ausgangsinduktivität eines Teilsystems der Parallelschaltung gewonnen wird und für jedes Teilsystem abhängig von der Regelabweichung des zugeordneten positiven Ausgangsstromes die für Symmetrierung erforderliche Änderung der zugeordneten positiven Ausgangshalbspannung und für jedes Teilsystem die für Symmetrierung erforderliche Änderung der zugeordneten negativen Ausgangshalbspannung ermittelt wird und die Summe der zu einem Teilsystem gehörenden Halbspannungsänderungen zum Sollwert der Ausgangsspannung des Gesamtsystems addiert und so der durch konventionelle Steuerung einzustellende Sollwert der Summe aus positiver und negativer Halbspannung gewonnen wird und die Differenz der Sollwerte der zu einem Teilsystem gehörigen Halbspannungsänderungen bei positivem Vorzeichen durch die Differenz der jeweils positivsten Eingangsphasenspannung und der Phasenspannung geringsten Momentanwertes der zugehörigen Drehstrombrückenschaltung dividiert wird, wobei das auf den Wert 1 begrenzte Ergebnis der Division den relativen Anteil des Freilaufintervalls der jeweiligen Pulsperiode definiert, in dem der Freilauf über den an der jeweils positivsten Phasenspannung liegenden Brückenweig erfolgt und analog für eine negative Differenz der Sollwerte der Halbspannungsänderungen die Differenz der Phasenspannung geringsten Momentanwertes und der jeweils negativsten Eingangsphasenspannung der zugehörigen Drehstrombrückenschaltung dividiert wird wobei das auf den Wert 1 begrenzte Ergebnis der Division den relativen Anteil des Freilaufintervalls der jeweiligen Pulsperiode definiert, in dem der Freilauf über den an der jeweils negativsten Phasenspannung liegenden Brückenweig erfolgt.

## Hiezu 2 Blatt Zeichnungen



Fig. 1

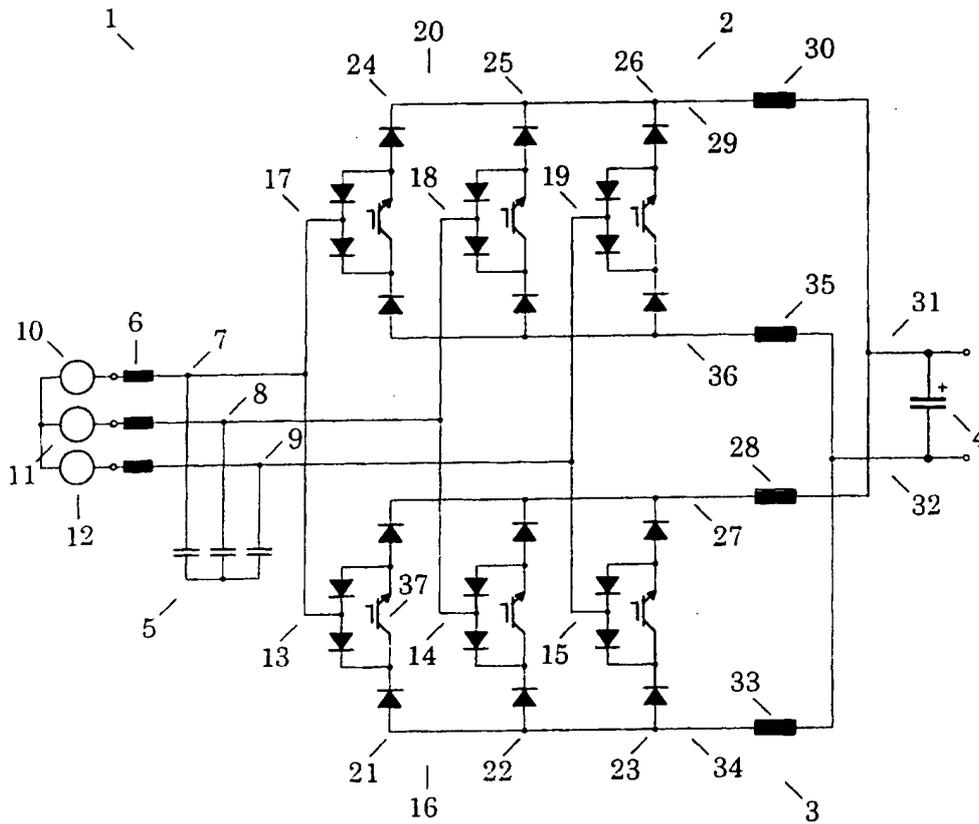




Fig. 2

