



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 702 324 B1

(51) Int. Cl.: H02M 5/458 (2006.01)

## Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

## (12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 00813/08

(22) Anmeldedatum: 13.05.2008

(24) Patent erteilt: 15.06.2011

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.06.2011

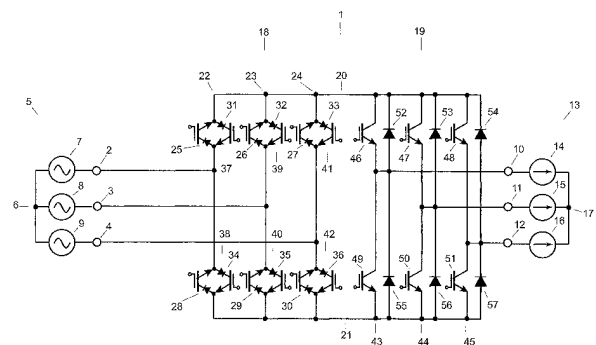
(73) Inhaber:  
ETH Zürich, Raemistrasse 101 / ETH transfer  
8092 Zürich (CH)

(72) Erfinder:  
Frank Schafmeister, 34414 Warburg (DE)  
Johann W. Kolar, 8044 Zürich (CH)

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

### (54) Verfahren zum spannungslosen Schalten der Pulswechselrichterausgangsstufe eines indirekten Dreiphasen-AC-AC Matrixkonverters.

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Dreiphasen-AC/AC-Konverters (1) welches eine zwischenkreisspannungslose und damit schaltverlustfreie Kommutierung des Pulswechselrichters (19) sicherstellt. Der Konverter (1) ist aus der Kopplung eines Pulswechselrichters (19) mit einem Pulsleichrichter (18) gebildet. Letzterer weist an Netzphaseneingänge angeschlossene Brückenarme mit Vierquadrantenstellern auf. Der Pulswechselrichter (19) nimmt innerhalb einer Pulshalbperiode (64) zwei aktive Schaltzustände an. Ein für die Einstellung eines Betrages des Ausgangsspannungsraumzeigers erforderliches Intervall mit verschwindenden verketteten Ausgangsspannungen, bei konventioneller Steuerung das Freilaufintervall des Pulswechselrichters (19), wird durch ein Kurzschlussintervall (67) der Pulsleichrichterstufe (18) realisiert, in dem beide Vierquadrantenschalter eines den höchsten Betrag der Phasenspannung aufweisende Netzphaseneingang durchgeschaltet sind. Um einen sinusförmigen Netzstrom zu erreichen, werden innerhalb der aktiven Schaltzustände (72, 73) des Pulswechselrichters (19) aktive Schaltzustände des Pulsleichrichters (18) so gewählt, dass eine positive Zwischenkreisspannung (58) gebildet wird und durch einen ersten aktiven Schaltzustand des Pulsleichrichters (18) die den höchsten und durch einen zweiten aktiven Schaltzustand des Pulsleichrichters (18) die den zweithöchsten Momentanwert aufweisende verkettete Netzspannung als Zwischenkreisspannung (58) auftritt.



## Beschreibung

### Stand der Technik

[0001] Zur Umformung der Spannung des Dreiphasennetzes in ein pulsbreitenmoduliertes Dreiphasenspannungssystem vorgebarter Grundschriftungsamplitude und -frequenz werden heute direkte oder indirekte Matrixkonverter eingesetzt. Für indirekte Dreiphasen-AC/AC-Matrixkonverter wird eine ausgangsseitige dreiphasige Pulswechselrichterstufe durch eine eingangs-, d.h. netzseitige Pulsleichrichterstufe über einen energiespeicherfreien Zwischenkreis gespeist, wobei die Pulsleichrichterstufe durch Vierquadrantenschalter realisiert ist, welche erlauben, Wechselspannungen zu sperren und Ströme in beiden Richtungen zu führen, wobei beide Stromrichtungen getrennt steuerbar sind. Das System weist damit eine klare Trennung von Gleichrichter- und Wechselrichterfunktion auf und zeigt demgemäss eine geringere schaltungs- und steuerungstechnische Komplexität als der direkte Matrixkonverter.

[0002] Durch den Pulsleichrichter werden Ausschnitte von verketteten Netzspannungen in den Zwischenkreis geschaltet, welche durch den Pulswechselrichter für die Bildung der Ausgangsspannung herangezogen werden. Hierbei wird in jeder Pulshalbperiode jedenfalls ein erster aktiver, d.h. eine verkettete Ausgangsspannung bildender Schaltzustand und ein zweiter aktiver Schaltzustand und ein Freilaufzustand angenommen, und diese Schaltzustandssequenz anschliessend in umgekehrter Reihenfolge wiederholt und die relative Einschaltzeit der Schaltzustände so gewählt, dass im Mittel über eine Pulshalbperiode ein vorgegebener Sollwert des Ausgangsspannungsraumzeigers realisiert wird. Die Kommutierung des Pulsleichrichters erfolgt dabei vorteilhaft innerhalb der Freilaufintervalle des Pulswechselrichters und kann dann stromlos, d.h. schaltverlustfrei erfolgen, da in den Freilaufintervallen kein Zwischenkreisstrom (und keine verkettete Ausgangsspannung) auftritt. Allerdings weist der Pulsleichrichter dann nur die halbe Schaltfrequenz des Pulswechselrichters auf.

[0003] Durch den Pulswechselrichter wird i.a. eine Drehfeldmaschine mit hoher innerer Induktivität gespeist, sodass auch mit relativ geringer Taktfrequenz ein geringer Rippel des Ausgangsstromes erreichbar ist. Allerdings erfordert die dann sehr tiefe, weil nur halb so hohe Schaltfrequenz des Pulsleichrichters einen relativ hohen Kapazitätswert der Eingangsfiterkondensatoren und führt damit zu einer relativ hohen Belastung des Netzes mit kapazitiver Blindleistung. Weiters resultiert eine tiefe Resonanzfrequenz des durch die Eingangsfiterkondensatoren und Vorschaltinduktivitäten gebildeten Eingangsfilters, welche bei der Auslegung der Regelung berücksichtigt werden muss und die erreichbare Regeldynamik des Systems beschränkt.

### Aufgabe der Erfindung

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Steuerverfahren für indirekte Matrixkonverter zu schaffen, welches bei geringer Taktfrequenz des Pulswechselrichters eine hohe Schaltfrequenz des Pulsleichrichters ermöglicht und wieder Schaltverluste für eine der beiden Stufen des indirekten Matrixkonverters vermeidet.

[0005] Erfindungsgemäss wird dies durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1 erreicht. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind dem abhängigen Patentanspruch zu entnehmen.

[0006] Grundgedanke der Erfindung ist, im Sinne einer dualen Vertauschung nicht den Pulsleichrichter stromlos, sondern den Pulswechselrichter stets spannungslos zu schalten. Dies wird durch eine Schaltzustandssequenz erreicht, welche sicherstellt, dass sich bei Änderung des Schaltzustandes des Pulswechselrichters, also z.B. beim Wechsel vom ersten aktiven Schaltzustand in den zweiten aktiven Schaltzustand, beide Vierquadrantenschalter eines Brückenweiges des Pulsleichrichters im durchgeschalteten Zustand befinden, die Zwischenkreisspannung also kurzgeschlossen ist. Das für die Einstellung eines Sollwertes des Ausgangsspannungsraumzeigers erforderliche Intervall mit verschwindenden verketteten Ausgangsspannungen – bei konventioneller Steuerung das Freilaufintervall des Pulswechselrichters – wird also durch den Pulsleichrichter realisiert. Der Pulswechselrichter nimmt innerhalb einer Pulshalbperiode nur zwei aktive Schaltzustände an, d.h. jede Pulshalbperiode weist eine erste Aktivschaltzustandsdauer und eine zweite Aktivschaltzustandsdauer auf, wobei das Verhältnis der ersten und der zweiten Aktivschaltzustandsdauer durch die Lage des im Mittel über eine Pulshalbperiode einzustellenden Sollwertes des Ausgangsspannungsraumzeigers definiert ist.

[0007] Der Betrag des im Mittel über die Pulshalbperiode gebildeten Ausgangsspannungsraumzeigers wird durch die relative Einschaltdauer des Kurzschlusschaltzustandes (Kurzschlussintervall) des Pulsleichrichters definiert. Das Kurzschlussintervall wird zeitlich so gelegt, dass die Dauer des auf den ersten aktiven Schaltzustand des Pulswechselrichters entfallenden Anteils (erster Kurzschlussintervallanteil) und die Dauer des auf den zweiten aktiven Schaltzustand des Pulswechselrichters entfallenden Anteils (zweiter Kurzschlussintervallanteil) gleich dem Verhältnis der relativen Einschaltdauer des ersten und zweiten aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters ist.

[0008] Innerhalb der Einschaltdauer eines aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters tritt ein Lastphasenstrom direkt oder invertiert als Zwischenkreisstrom auf. Liegt nun ein aktiver Schaltzustand des Pulsleichrichters vor, wird eine der verketteten Netzspannungen in den Zwischenkreis geschaltet und der Zwischenkreisstrom über zwei Phaseneingänge des Pulsleichrichters bezogen. Um nach Filterung schaltfrequenter Oberschwingungen der Eingangsströme des Pulsleichrichters einen sinusförmigen Verlauf aller Netzphasenströme zu erreichen, ist allen drei Eingangsphasen Strom zu entnehmen. Es wird demgemäss innerhalb der Einschaltdauer jedes aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters ein erster und ein zweiter aktiver Schaltzustand des Pulsleichrichters angenommen, wobei die aktiven Schaltzustände so gewählt werden, dass eine positive Zwischenkreisspannung gebildet wird und vorteilhaft durch den ersten aktiven Schalt-

zustand die den höchsten und durch den zweiten aktiven Schaltzustand die den zweithöchsten Momentanwert aufweisende verkettete Netzspannung als Zwischenkreisspannung auftritt. Das Verhältnis der relativen Einschalt Dauern des ersten und des zweiten aktiven Schaltzustandes des Pulsleichrichters wird vorteilhaft so gewählt, dass ein in Phase mit dem Netzspannungsraumzeiger liegender Netzstromraumzeiger resultiert. Die Summe der Einschalt Dauern der beiden aktiven Schaltzustände ist dabei während des Anliegens des ersten aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters gleich der um den ersten Kurzschlussintervallanteil verringerten Einschaltdauer des ersten aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters (erste effektive Aktivschaltzustandsdauer) und während des Anliegens des zweiten aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters gleich der um den zweiten Kurzschlussintervallanteil verringerten Einschaltdauer des zweiten aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters (zweite effektive Aktivschaltzustandsdauer).

**[0009]** Um eine möglichst geringe Zahl von Schaltzustandsänderungen des Pulsleichrichters zu erreichen, verbleibt stets der den höchsten Betrag der Phasenspannung aufweisende Netzphaseneingang (fortan auch Maximalspannungsnetzphase genannt) durch Durchschalten eines Vierquadrantenschalters des dem Netzphaseneingang zugeordneten Brücken-zweiges über die gesamte Pulshalbperiode an eine der Zwischenkreisschienen geklemmt, wobei bei positivem Vorzeichen der Spannung der Maximalspannungsnetzphase die Klemmung an die positive Zwischenkreisschiene und bei negativem Vorzeichen der Spannung der Maximalspannungsnetzphase die Klemmung an die negative Zwischenkreisschiene erfolgt. Innerhalb des Kurzschlussintervalls wird dann auch noch der zweite Vierquadrantenschalter des Brücken-zweiges der Maximalspannungsnetzphase durchgeschaltet und so ein Kurzschluss der Zwischenkreisspannung erreicht, wobei dann in keinem anderen Brücken-zweig des Pulsleichrichters ein Vierquadrantenschalter geschlossen ist, da ein Einschalten eines weiteren Vierquadrantenschalters auf einen Kurzschluss von zwei Netzphaseneingängen führen würde. Weiters wird, wieder mit dem Ziel einer minimalen Zahl von Umschaltungen die Abfolge der aktiven Schaltzustände während der zweiten Aktivschaltzustandsdauer gegenüber der ersten Aktivschaltzustandsdauer umgekehrt, d.h. nach dem Ende des Kurzschlussintervalls zuerst der zweite aktive Schaltzustand und dann der erste aktive Schaltzustand des Pulsleichrichters angenommen. Gleiches gilt für die aktiven Schaltzustände des Pulswechselrichters, deren Abfolge innerhalb jeder zweiten Pulshalbperiode umgekehrt wird, womit ausgehend von den vorstehend beschriebenen Verhältnissen am Ende einer Pulshalbperiode der zweite aktive Schaltzustand des Pulswechselrichters für die zweite Aktivschaltzustandsdauer aufrecht erhalten und dann in den ersten aktiven Schaltzustand des Pulswechselrichters gewechselt wird, welcher bis zum Ende der Pulshalbperiode verbleibt. In gleicher Art wird auch die Abfolge der Schaltzustände des Pulsleichrichters jeweils um das Ende einer Pulshalbperiode gespiegelt.

**[0010]** Insgesamt wird somit innerhalb jeder Aktivschaltzustandsdauer des Pulswechselrichters eine Schaltzustandssequenz des Pulsleichrichters durchlaufen, womit der Pulsleichrichter vorteilhaft die zweifache Taktfrequenz des Pulswechselrichters aufweist. Nach dem gleichen Prinzip kann auch eine höhere ungerade Zahl von Schaltzustandssequenzen des Pulsleichrichters in die Einschaltdauer eines aktiven Schaltzustandes der Pulswechselrichter eingebettet werden, da die einzige Bedingung darin besteht, dass der Schaltzustandswechsel des Pulswechselrichters während eines Kurzschlusses der Zwischenkreisspannung durch den Pulsleichrichter und damit schaltverlustfrei erfolgt. Die Schaltfrequenz des Pulsleichrichters kann so vorteilhaft um ein Vielfaches höher als die Schaltfrequenz des Pulswechselrichters gewählt werden.

**[0011]** Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung nach Anspruch 1 beschreibt der Patentanspruch 2.

**[0012]** Um Schaltüberspannungen zu vermeiden, ist bei aufrechem Zwischenkreisstrom die Umschaltung des Pulsleichrichters so vorzunehmen, dass sich die Vierquadrantenschalter überlappend im Einschaltzustand befinden, dem Zwischenkreisstrom also stets ein Pfad zur Verfügung steht.

**[0013]** Eine einfache überlappende Freigabe beider Stromrichtungen von zwei in derselben Brückenhälfte liegenden Vierquadrantenschaltern würde allerdings zu einem Kurzschluss einer verketteten Netzspannung führen und ist daher nicht zulässig. Es sind vielmehr die Vierquadrantenschalter abhängig von der Richtung des von einem Netzphaseneingang auf die nächste zu kommutierenden Zwischenkreisstromes, d.h. stromrichtungsselektiv so ein- bzw. abzuschalten, dass vor Unterbrechung einer Stromrichtung des ursprünglich stromführenden Vierquadrantenschalters ein alternativer Strompfad über den Vierquadrantenschalter der neu hinzukommende Phase geschlossen wird, ohne die Differenzspannung der kommutierenden Phasen kurzzuschliessen. Anschliessend kann die Stromrichtung im ursprünglich stromführenden Vierquadrantenschalter unterbrochen werden. Grundlage dieser Kommutierungsstrategie ist die Erfassung der Stromrichtung, welche allerdings insbesondere bei kleinen Strömen aufgrund des prinzipbedingt auftretenden schaltfrequenten Rippels mit Unsicherheiten behaftet ist, welche zu Fehlkommutierungen bzw. Netzkurzschlüssen führen können.

**[0014]** Grundgedanke der Erfindung ist nun, auch den Pulswechselrichter in die Kommutierungsstrategie einzubeziehen, d.h. auch die Freilaufzustände des Pulswechselrichters für die Sicherstellung der Kontinuität des Stromflusses zu nutzen. Dies erlaubt, die Kommutierung zu vereinfachen und eine bei konventioneller Kommutierung erforderliche Erfassung der Richtung des Zwischenkreisstromes oder eine alternative Erfassung der Richtung der zwischen kommutierenden Phasen liegenden Spannung zu vermeiden.

**[0015]** Jeder Brücken-zweig des Pulsleichrichters wird durch einen oberen, zwischen dem Netzphaseneingang und der positiven Zwischenkreisschiene liegenden und einen unteren, zwischen der negativen Zwischenkreisschiene und dem Netzphaseneingang angeordneten Vierquadrantenschalter gebildet. Bei Einsatz rückwärtssperrender Leistungstransistoren (z.B. Reverse Blocking Isolated Gate Bipolar Transistors, RB-IGBTs) wird der obere Vierquadrantenschalter durch

einen oberen, vom Netzphaseneingang in Stromflussrichtung an die positiven Zwischenkreisschiene geschalteten Vorwärtstransistor und einen dazu antiparallel liegenden oberen Rückwärtstransistor gebildet. Der untere Vierquadrantenschalter des Brückenweiges wird sinngemäss gleich durch einen von der negativen Zwischenkreisschiene in Stromflussrichtung gegen den Netzphaseneingang geschalteten unteren Vorwärtstransistor und einen dazu antiparallel liegenden unteren Rückwärtstransistor realisiert. Alternativ könnte auch eine Gegenserienerschaltung von zwei Leistungstransistoren mit antiparallelen Freilaufdioden zur Realisierung der Vierquadrantenschalter herangezogen werden.

**[0016]** Soll nun in der oberen Brückenhälfte eine Kommutierung eines, zufolge eines aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters auftretenden negativen, d.h. in der oberen Zwischenkreisschiene von der Pulswechselrichterseite zur Pulsgleichrichterseite fliessenden Stromes von einem ersten Brückenweig auf einen zweiten Brückenweig des Pulsleichrichters erfolgen, also anstatt eines ersten Netzphaseneingangs ein zweiter Netzphaseneingang mit der positiven Zwischenkreisschiene verbunden werden, wird in einem ersten Schritt der aufgrund des negativen Vorzeichens des Zwischenkreisstromes nicht stromführende obere Vorwärtstransistor des ersten Brückenweiges abgeschaltet und nach einer Sicherheitszeit der obere Rückwärtstransistor des zweiten Brückenweiges eingeschaltet. Dem negativen Zwischenkreisstrom steht somit ein alternativer Pfad zur Verfügung. Falls der zweite Netzphaseneingang tieferes Potential als der erste Netzphaseneingang aufweist, d.h. eine positive Kommutierungsspannung vorliegt, geht der Strom nun von dem ersten auf den zweiten Netzphaseneingang über, und der obere Rückwärtstransistor der ersten Phase nimmt Sperrspannung auf. Liegt das Potential des zweiten Netzphaseneingangs über jenem des ersten Netzphaseneingangs (negative Kommutierungsspannung), fliesst der Zwischenkreisstrom weiter über den oberen Rückwärtstransistor des ersten Brückenweiges. Im nächsten Schritt wird nun wieder nach Verstreichen einer Sicherheitszeit noch der obere Rückwärtstransistor des ersten Brückenweiges abgeschaltet, womit bei positiver Kommutierungsspannung keine Änderung verbunden ist, da ja der Zwischenkreisstrom bereits über den oberen Rückwärtstransistor des zweiten Brückenweiges läuft. Für negative Kommutierungsspannung wird jedoch der Stromfluss aus dem oberen Rückwärtstransistor des ersten Brückenweiges in den im vorgehenden Schritt bereits eingeschalteten, aber bisher noch nicht stromführenden oberen Rückwärtstransistor des zweiten Brückenweiges kommutiert. Im letzten, wieder eine Sicherheitszeit verzögerten Schritt erfolgt noch das Durchschalten des Vorwärtstransistors des zweiten Brückenweiges, was nun zulässig ist, da sowohl der obere Vorwärts- als auch der obere Rückwärtstransistor des ersten Brückenweiges abgeschaltet sind und so kein Kurzschluss zwischen den Netzphaseneingängen des ersten und zweiten Brückenweiges auftreten kann. Schlussendlich ist so die gewünschte bidirektionale Verbindung des zweiten Netzphaseneingangs mit der positiven Zwischenkreisschiene hergestellt.

**[0017]** Erfindungsgemäss wird nun für positiven Zwischenkreisstrom die genau gleiche Umschaltsequenz bzw. Schaltzustandsfolge beibehalten. Hierdurch wird zwar der Zwischenkreisstrom unterbrochen, dies ist jedoch zulässig, da letztlich ja nicht eine Kontinuität des Zwischenkreisstromes, sondern der durch die induktive Last eingepprägten Ausgangsphasenströme des Pulswechselrichters sicherzustellen ist.

**[0018]** Der Pulswechselrichter wird durch drei, zwischen der positiven und der negativen Zwischenkreisschiene angeordnete Wechselrichter-Brückenweige mit je einem Lastphasenausgang gebildet, wobei in jedem Wechselrichter-Brückenweig ein oberer Transistor von der positiven Zwischenkreisschiene in Stromflussrichtung gegen den zugehörigen Lastphasenausgang gelegt ist und von diesem Lastphasenausgang weiters ein unterer Transistor in Stromflussrichtung gegen die negative Zwischenkreisschiene geschaltet wird und antiparallel zum oberen Leistungstransistor eine obere und antiparallel zum unteren Leistungstransistor eine untere Freilaufdiode angeordnet ist.

**[0019]** Für die weiteren Überlegungen liege ein aktiver Schaltzustand des Pulswechselrichters derart vor, dass der obere Transistor der ersten Lastphase und die unteren Transistoren der zweiten und dritten Lastphase durchgeschaltet sind und Strom führen, bzw. ein positiver Zwischenkreisstrom auftritt. Wird nun entsprechend der vorstehenden Beschreibung im ersten Schritt der Umschaltsequenz der bei positivem Zwischenkreisstrom stromführende obere Vorwärtstransistor des ersten Wechselrichter-Brückenweiges abgeschaltet, wird der positive Zwischenkreisstrom unterbrochen. Dies bedeutet jedoch keine Unterbrechung des bisher über den oberen Transistor der ersten Lastphase fliessenden Stromes, da sich dieser über die untere Freilaufdiode des ersten Lastphase zugeordneten Wechselrichter-Brückenweiges (und die unteren Transistoren der zweiten und dritten Lastphase) schliessen kann. Die Umschaltsequenz des nun stromlosen Pulsleichrichters wird gleich wie für einen negativen Zwischenkreisstrom fortgesetzt und schliesslich mit dem Einschalten des oberen Vorwärtstransistors des zweiten Wechselrichter-Brückenweiges abgeschlossen, was wieder einen Pfad für einen positiven Zwischenkreisstrom eröffnet bzw. eine positive Zwischenkreisspannung zur Folge hat, welche die untere Freilaufdiode des Wechselrichter-Brückenweiges der ersten Lastphase mit Sperrspannung beaufschlagt und so zu einem erneuten Leiten des oberen Transistors führt, womit wieder der vor Beginn der Umschaltsequenz bestehende Leitzustand des Pulswechselrichters, nun jedoch bei geänderter Zwischenkreisspannung, hergestellt ist.

**[0020]** Zusammenfassend kann erfindungsgemäss bei Umschaltung der positiven Zwischenkreisschiene von einem Netzphaseneingang auf einen anderen Netzphaseneingang, d.h. bei Abschalten eines oberen Vierquadrantenschalters und Einschalten eines anderen oberen Vierquadrantenschalters oder Umschaltung der negativen Zwischenkreisschiene von einem Netzphaseneingang auf einen anderen Netzphaseneingang, d.h. bei Abschalten eines unteren Vierquadrantenschalters und Einschalten eines anderen unteren Vierquadrantenschalters stets die auf negativen Zwischenkreisstrom ausgerichteter Umschaltsequenz des Pulsleichrichters Einsatz finden und somit eine Erfassung der Richtung des Zwischenkreisstromes vorteilhaft entfallen.

**[0021]** Die Erfindung wird im Weitern durch Zeichnungen näher erläutert.

- Fig. 1 zeigt die Schaltungsstruktur eines indirekten Matrixkonverters mit Ausführung der Vierquadrantenschalter des Pulsleichrichters durch Antiparallelschaltung von rückwärtssperrenden Leistungstransistoren.
- Fig. 2 Zeitverlauf der Zwischenkreisspannung und des Zwischenkreisstromes des indirekten Matrixkonverters bei erfindungsgemässer spannungsloser, d.h. schaltverlustfreier Kommutierung des Pulswechselrichters.

**[0022]** Wie in Fig. 1 gezeigt, wird ein indirekter Dreiphasen AC-AC Matrixkonverter 1 (IMC) zur Umformung eines, an Netzphaseneingängen 2, 3, 4 anliegenden Dreiphasennetzes 5 mit, in einem Netzsternpunkt 6 verbundenen Netzphasenspannungsquellen 7, 8, 9, in ein dreiphasiges, pulsbreitenmoduliertes Ausgangsphasenspannungssystem, welches an Lastphasenausgangsklemmen 10, 11, 12 des IMC 1 auftritt, welche mit einer stromeinprägenden Dreiphasenlast 13 verbunden sind, welche durch Ersatzphasenstromquellen 14, 15, 16 repräsentiert wird, die in einem Laststernpunkt 17 verbunden sind. Der IMC 1 wird durch einen Pulsleichrichter 18 und einen Pulswechselrichter 19 gebildet, welche über eine obere, positive Zwischenkreisschiene 20 und eine untere, negative Zwischenkreisschiene 21 verbunden sind. Der Pulsleichrichter 18 wird durch drei Brückenweige 22, 23, 24, einen ersten, zweiten und dritten Brückenweig identer Struktur realisiert, wobei von den Netzphaseneingängen 2, 3, 4, je ein oberer Vorwärtstransistor 25, 26, 27 in Stromflussrichtung an die positive Zwischenkreisschiene 20 gelegt ist und je ein unterer Vorwärtstransistor 28, 29, 30 von der unteren Zwischenkreisschiene 21 in Stromflussrichtung gegen die Netzphaseneingänge 2, 3, 4, angeordnet ist und antiparallel zu den oberen Vorwärtstransistoren 25, 26, 27 je ein oberer Rückwärtstransistor 31, 32, 33 und antiparallel zu den unteren Vorwärtstransistoren 28, 29, 30 je ein unterer Rückwärtstransistor 34, 35, 36 angeordnet ist.

**[0023]** Somit weist der erste Brückenweig 22 zwischen dem zugehörigen Netzphaseneingang 2 und der positiven Zwischenkreisschiene 20 einen ersten oberen Vierquadrantenschalter 37, gebildet aus dem ersten oberen Vorwärtstransistor 25 und dem ersten oberen Rückwärtstransistor 31, und zwischen der negativen Zwischenkreisschiene 21 und dem ersten Netzphaseneingang 2 einen ersten unteren Vierquadrantenschalter 38, gebildet aus dem ersten unteren Vorwärtstransistor 28 und dem ersten unteren Rückwärtstransistor 34, auf.

**[0024]** In gleicher Form weist der zweite Brückenweig 23 zwischen der zugehörigen zweiten Netzphaseneingang 3 und der positiven Zwischenkreisschiene 20 einen zweiten oberen Vierquadrantenschalter 39, gebildet aus dem zweiten oberen Vorwärtstransistor 26 und dem zweiten oberen Rückwärtstransistor 32, und zwischen der negativen Zwischenkreisschiene 21 und der zweiten Netzphaseneingang 3 einen zweiten unteren Vierquadrantenschalter 40, gebildet aus dem zweiten unteren Vorwärtstransistor 29 und dem zweiten unteren Rückwärtstransistor 35, auf.

**[0025]** Gleiches gilt für den dritten Brückenweig 24, wo ein, zwischen zugehöriger Netzphaseneingang 4 und der positiven Zwischenkreisschiene 20 liegender dritter oberer Vierquadrantenschalter 41, durch den dritten oberen Vorwärtstransistor 27 und den dritten oberen Rückwärtstransistor 33, und ein zwischen der negativen Zwischenkreisschiene 21 und der dritten Netzphaseneingang 4 liegender dritter unterer Vierquadrantenschalter 42, durch den dritten unteren Vorwärtstransistor 30 und den dritten unteren Rückwärtstransistor 36 gebildet ist.

**[0026]** Sämtliche Vorwärtstransistoren 25, 26, 27, 28, 29, 30 und sämtliche Rückwärtstransistoren 31, 32, 33, 34, 35, 36 sind in Stromflussrichtung und entgegengesetzt der Stromflussrichtung sperrfähig, als z.B. durch RB- IGBTs ausgeführt. Auch der Pulswechselrichter 19 weist drei, zwischen der positiven Zwischenkreisschiene 20 und der negativen Zwischenkreisschiene 21 liegende Wechselrichter-Brückenweige 43, 44, 45 mit Lastphasenausgangsklemmen 10, 11, 12 auf, wobei in jedem Wechselrichter-Brückenweig 43, 44, 45 ein oberer Transistor 46, 47, 48 in Stromflussrichtung von der positiven Zwischenkreisschiene 20 abzweigend gegen die zugehörige Lastphasenausgangsklemme 10, 11, 12 gelegt ist, und weiters, von den Lastphasenausgangsklemmen 10, 11, 12 in Stromflussrichtung abzweigend untere Transistoren 49, 50, 51 gegen die negative Zwischenkreisschiene 21 gelegt sind, wobei antiparallel zu den oberen Transistoren 46, 47, 48 obere Freilaufdioden 52, 53, 54 und antiparallel zu den unteren Transistoren 49, 50, 51 untere Freilaufdioden 55, 56, 57 angeordnet sind.

**[0027]** In Fig. 2 ist der bei erfindungsgemässer Steuerung des IMC 1 resultierende Verlauf der von der positiven Zwischenkreisschiene 20 gegen die negative Zwischenkreisschiene 21 positiv gezählten Zwischenkreisspannung 58 und des in der positiven Zwischenkreisschiene 20 zum Pulswechselrichter 19 hin positiv gezählten Zwischenkreisstromes 59 für eine Pulsperiode 60 mit Beginn 61, Mitte 62 und Ende 63 gezeigt. Innerhalb einer ersten Hälfte 64 der Pulsperiode 60 treten erfindungsgemäss zwei aktive, d.h. verkettete Spannungen zwischen den Lastphasenausgangsklemmen 10, 11, 12 bildende Schaltzustände des Pulswechselrichters 19 auf, wobei am Beginn 61 der Pulsperiode 60 ein erster aktiver Schaltzustand vorliegt und für eine erste Aktivschaltzustandsdauer 65 verbleibt, und der Pulswechselrichter 19 darauffolgend in einen zweiten aktiven Schaltzustand umgeschaltet wird, welcher bis zur Mitte 62 der Pulsperiode 60, also für eine zweite Aktivschaltzustandsdauer 66 verbleibt, wobei das Verhältnis der ersten Aktivschaltzustandsdauer 65 und der zweiten Aktivschaltzustandsdauer 66 durch die Lage des im Mittel über die Pulshalbperiode 64 einzustellenden Sollwertes des, durch die Spannungen an den Lastphasenausgangsklemmen 10, 11, 12 definierten Ausgangsspannungsraumzeigers definiert ist.

**[0028]** Der Betrag des im Mittel über die Pulshalbperiode 64 gebildeten Ausgangsspannungsraumzeigers wird durch die relative Einschaltdauer eines Kurzschlusschaltzustandes, bzw. eine Dauer eines Kurzschlussintervalls 67 des Pulsleichrichters definiert. Das Kurzschlussintervall 67 wird zeitlich so gelegt, dass die Dauer eines auf den ersten aktiven Schalt-

zustand des Pulswechselrichters entfallenden ersten Kurzschlussintervallanteils 68 und die Dauer eines auf den zweiten aktiven Schaltzustand des Pulswechselrichters entfallenden zweiten Kurzschlussintervallanteils 69 gleich dem Verhältnis der relativen Einschalt Dauern des ersten und zweiten aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters, 65 und 66, ist.

**[0029]** Innerhalb der ersten oder zweiten Aktivschaltzustandsdauer 65, 66 tritt ein Lastphasenstrom 14, 15, 16 direkt oder invertiert als Zwischenkreisstrom 59 auf. Liegt nun ein aktiver Schaltzustand des Pulsleichrichters vor, wird eine der verketteten Netzspannungen in den Zwischenkreis geschaltet und tritt als Zwischenkreisspannung 58 auf, und der Zwischenkreisstrom 59 wird über zwei Phaseneingänge des Pulsleichrichters 18 bezogen. Um nach Filterung schaltfrequenter Oberschwingungen der Eingangsströme des Pulsleichrichters 18 (in Fig. 1 nicht dargestellt) einen sinusförmigen Verlauf des den Netzphasenspannungsquellen 7, 8, 9 entnommenen Stromes zu erreichen, muss innerhalb jeder Pulshalbperiode 64 über jeden der drei Netzphaseneingänge 2, 3, 4 Strom aufgenommen werden. Es wird demgemäss sowohl innerhalb der ersten Aktivschaltzustandsdauer 65 als auch innerhalb der zweiten Aktivschaltzustandsdauer 66 ein erster und ein zweiter aktiver Schaltzustand des Pulsleichrichters 18 anzunehmen. Das Verhältnis der Einschaltdauer 70 des ersten und der Einschaltdauer 71 des zweiten aktiven Schaltzustandes des Pulsleichrichters 18 wird vorteilhaft so gewählt, dass ein in Phase mit dem Raumzeiger der an den Netzphaseneingängen 2, 3, 4, anliegenden Netzphasenspannungen der Netzphasenspannungsquellen 7, 8, 9 liegender Netzstromraumzeiger resultiert. Die Summe der Einschalt dauern 70 und 71 der beiden aktiven Schaltzustände des Pulsleichrichters ist dabei während des Anliegens 65 des ersten aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters gleich der um den ersten Kurzschlussintervallanteil 68 verringerten Einschaltdauer 65 des ersten aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters 19, d.h. gleich einer ersten effektiven Aktivschaltzustandsdauer 72 und während des Anliegens 66 des zweiten aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters 19 gleich der um den zweiten Kurzschlussintervallanteil 69 verringerten Einschaltdauer 66 des zweiten aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters 19, d.h. gleich einer zweiten effektiven Aktivschaltzustandsdauer 73. Die beiden aktiven Schaltzustände des Pulsleichrichters 18 werden so gewählt, dass jedenfalls eine positive Zwischenkreisspannung 58 gebildet wird und vorteilhaft durch den ersten aktiven Schaltzustand die den höchsten Momentanwert 74 und durch den zweiten aktiven Schaltzustand die den zweithöchsten Momentanwert 75 aufweisende verkettete Netzspannung als Zwischenkreisspannung 58 auftritt.

**[0030]** Um eine möglichst geringe Zahl von Schaltzustandsänderungen des Pulsleichrichters 18 zu erreichen, verbleibt stets der den höchsten Betrag der Netzphasenspannungen aufweisende Netzphaseneingang, d.h. die Maximalspannungsnetzphase durch Durchschalten eines der beiden Vierquadrantenschalters des dem Netzphaseneingang zugeordneten Brückenweiges über die gesamte Pulshabperiode 60 an eine der Zwischenkreisschienen 20, 21 geklemmt, wobei bei positivem Vorzeichen der Spannung der Maximalspannungsnetzphase die Klemmung an die positive Zwischenkreisschiene 20 und bei negativem Vorzeichen der Spannung der Maximalspannungsnetzphase die Klemmung an die negative Zwischenkreisschiene 21 erfolgt. Innerhalb des Kurzschlussintervalls 67 wird dann auch noch der zweite Vierquadrantenschalter des Brückenweiges der Maximalspannungsnetzphase durchgeschaltet und so ein Kurzschluss der Zwischenkreisspannung 58, also eine Zwischenkreisspannung 58 gleich Null erreicht, wobei dann in keinem anderen Brückenweig 22, 23, 24 des Pulsleichrichters 18 ein Vierquadrantenschalter geschlossen ist, da ein Einschalten eines weiteren Vierquadrantenschalters auf einen Kurzschluss von zwei Netzphaseneingängen 2, 3, 4 führen würde.

**[0031]** Weiters wird, wieder mit dem Ziel einer minimalen Zahl von Umschaltungen, die Abfolge der aktiven Schaltzustände 70, 71 des Pulsleichrichters 18 während der zweiten effektiven Aktivschaltzustandsdauer 73 gegenüber der ersten effektiven Aktivschaltzustandsdauer 72 umgekehrt, d.h. nach dem Ende des Kurzschlussintervalls 67 zuerst der zweite aktive Schaltzustand des Pulsleichrichters für eine zweite hintere Schaltzustandsdauer 76 und dann der erste aktive Schaltzustand des Pulsleichrichters 19 bis zum Ende 62 der Pulshalbperiode 64, d.h. für eine erste hintere Schaltzustandsdauer 77 angenommen, wobei vorteilhaft das Verhältnis der ersten und der zweiten hinteren Schaltzustandsdauern 77 und 76 gleich dem Verhältnis der ersten und der zweiten Schaltzustandsdauer 70 und 71 gewählt wird. Weiters wird die Abfolge der aktiven Schaltzustände des Pulswechselrichters 19 innerhalb jeder zweiten Pulshalbperiode 78 umgekehrt, womit ausgehend von den vorstehend beschriebenen Verhältnissen am Ende 62 der ersten Pulshalbperiode 64 der zweite aktive Schaltzustand des Pulswechselrichters 19 für eine zweite hintere Aktivschaltzustandsdauer 79 aufrecht bleibt und dann wieder in den ersten aktiven Schaltzustand des Pulswechselrichters 19 gewechselt wird, welcher für eine erste hintere Aktivschaltzustandsdauer 80, d.h. bis zum Ende 63 der zweiten Pulshalbperiode 78 verbleibt, wobei die erste hintere Aktivschaltzustandsdauer 80 gleich der ersten Aktivschaltzustandsdauer 70 und die zweite hintere Aktivschaltzustandsdauer 79 gleich der zweiten Aktivschaltzustandsdauer 66 gewählt wird. In gleicher Art wird auch die Abfolge der Schaltzustände des Pulsleichrichters 18 jeweils um das Ende 62 einer Pulshalbperiode 64 gespiegelt, womit ein hinteres Kurzschlussintervall 81 mit einer dem Kurzschlussintervall 67 gleichen Länge auftritt, innerhalb dessen der Pulswechselrichter 19 schaltverlustfrei vom zweiten in den ersten aktiven Schaltzustand wechselt. Das hintere Kurzschlussintervall 81 wird zeitlich so gelegt wird, das die Dauer des auf die erste hintere Aktivschaltzustandsdauer 80 entfallenden Anteils, d.h. des ersten hinteren Kurzschlussintervallanteils 82 und die Dauer des auf die zweite hintere Aktivschaltzustandsdauer 79 entfallenden Anteils, d.h. des zweiten hinteren Kurzschlussintervallanteils 83 gleich dem Verhältnis der Einschalt dauern 80, 79 des ersten und zweiten hinteren aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters 19 ist. Durch die Spiegelung der Abfolge der Schaltzustände des Pulsleichrichters um das Ende 62 einer Pulshalbperiode 64 beginnt die Schaltzustandsfolge des Pulsleichrichters 18 in der zweiten Pulshalbperiode 78 des Pulsintervalls 60 wieder mit dem ersten aktiven Schaltzustand des Pulsleichrichters auf den der zweite aktive Schaltzustand, das hintere Kurzschlussintervall 81 der Zwischenkreisspannung 58 folgt und nachfolgend wieder der zweite aktive Schaltzustand und schliesslich der erste

aktive Schaltzustand folgt, wobei die Einschalt Dauern der der aktiven Schaltzustände des Pulsleichrichters 18 unter Berücksichtigung des jeweils vorliegenden aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters 19 direkt von der ersten Pulshalbperiode 64 übernommen werden können.

[0032] Insgesamt wird somit innerhalb der ersten und zweiten Aktivschaltzustandsdauer 65,66 und innerhalb der ersten und zweiten hinteren Aktivschaltzustandsdauer 80, 79 des Pulswechselrichters 19, eine Schaltzustandssequenz des Pulsleichrichters 18 durchlaufen, womit der Pulsleichrichter 18 vorteilhaft die zweifache Taktfrequenz des Pulswechselrichters 19 aufweist. Weiters wird durch eine Schaltzustandssequenz sichergestellt, dass sich bei Änderung des aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters 19, also z.B. beim Wechsel vom ersten aktiven Schaltzustand in den zweiten aktiven Schaltzustand, beide Vierquadrantenschalter eines Brückenzeuges des Pulsleichrichters 18 im durchgeschalteten Zustand befinden, die Zwischenkreisspannung 58 also kurzgeschlossen ist, d.h. den Wert Null aufweist, womit keine Schaltverluste des Pulswechselrichters auftreten.

## Patentansprüche

1. Verfahren zu Steuerung eines indirekten Dreiphasen-AC/AC-Matrixkonverters, der zwischen Netzphaseneingänge (2, 3, 4) und Lastphasenausgangsklemmen (10, 11, 12) geschaltet ist und
  - einen Pulsleichrichter (18) mit Brückenzeugen (22, 23, 24), von denen jeder Brückenzeug ein oberen (37, 39, 41) und einen unteren (38, 40, 42) Vierquadrantenschalter zur Verbindung der Netzphaseneingänge (2, 3, 4) mit einer positiven und einer negativen Zwischenkreisschiene (20, 21) aufweist, und
  - einen Pulswechselrichter (19) mit Wechselrichter-Brückenzeugen (43, 44, 45) zur Verbindung der positiven und der negativen Zwischenkreisschiene (20, 21) mit den Lastphasenausgangsklemmen (10, 11, 12) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass Netzspannungen an den Netzphaseneingängen (2, 3, 4) durch einen Netzspannungsraumzeiger beschrieben sind, und Spannungen an den Lastphasenausgangsklemmen (10, 11, 12) durch einen Ausgangsspannungsraumzeiger beschrieben sind, und in dem Verfahren zum Einstellen des Ausgangsspannungsraumzeigers auf einen Sollwert in einer Pulsperiode (60) mit Beginn (61), Mitte (62) und Ende (63)
    - innerhalb einer ersten Hälfte oder ersten Pulshalbperiode (64) der Pulsperiode (60) zwei aktive Schaltzustände des Pulswechselrichters (19) angenommen werden, wobei
      - am Beginn (61) der Pulsperiode ein erster aktiver Schaltzustand vorliegt und für eine erste Aktivschaltzustandsdauer (65) verbleibt, und
      - der Pulswechselrichter (19) darauf folgend in einen zweiten aktiven Schaltzustand umgeschaltet wird, welcher bis zur Mitte (62) der Pulsperiode (60) für eine zweite Aktivschaltzustandsdauer (66) verbleibt,
      - wobei das Verhältnis der ersten Aktivschaltzustandsdauer (65) und der zweiten Aktivschaltzustandsdauer (66) durch die Lage des im Mittel über die Pulshalbperiode (64) einzustellenden Sollwertes des Ausgangsspannungsraumzeigers definiert ist und
      - der Betrag des im Mittel über die Pulshalbperiode (64) gebildeten Ausgangsspannungsraumzeigers durch die relative Einschaltdauer eines Kurzschlusschaltzustandes, bzw. durch die Dauer eines Kurzschlussintervalls (67) des Pulsleichrichters (18) eingestellt wird, wobei sich innerhalb des Kurzschlussintervalls je beide Vierquadrantenschalter eines Brückenzeuges des Pulsleichrichters (18) im durchgeschalteten Zustand befinden und das Kurzschlussintervall (67) zeitlich so gelegt wird, dass die Dauer eines auf den ersten aktiven Schaltzustand des Pulswechselrichters entfallenden ersten Kurzschlussintervallanteils (68) und die Dauer eines auf den zweiten aktiven Schaltzustand des Pulswechselrichters (19) entfallenden zweiten Kurzschlussintervallanteils (69) gleich dem Verhältnis der relativen Einschalt Dauern der ersten Aktivschaltzustandsdauer (65) und der zweiten Aktivschaltzustandsdauer (66) ist und
      - sowohl innerhalb der ersten Wechselrichter-Aktivschaltzustandsdauer (65) als auch innerhalb der zweiten Wechselrichter-Aktivschaltzustandsdauer (66) ein erster aktiver Schaltzustand des Pulsleichrichters (18) mit einer ersten Einschaltdauer (70) und ein zweiter aktiver Schaltzustand des Pulsleichrichters (18) mit einer zweiten Einschaltdauer (71) angenommen wird und
      - das Verhältnis der ersten Einschaltdauer (70) und der zweiten Einschaltdauer (71) so gewählt wird, dass ein in Phase mit dem Netzspannungsraumzeiger liegender Netzstromraumzeiger resultiert wobei die die Summe der Einschalt Dauern (70,71) der beiden aktiven Schaltzustände des Pulsleichrichters
        - während der ersten Aktivschaltzustandsdauer (65) des Pulswechselrichters (19) gleich der um den ersten Kurzschlussintervallanteil (68) verringerten ersten Aktivschaltzustandsdauer (65) und damit gleich einer ersten effektiven Aktivschaltzustandsdauer (72) ist, und
        - während der zweiten Aktivschaltzustandsdauer (66) des Pulswechselrichters (19) gleich der um den zweiten Kurzschlussintervallanteil (69) verringerten zweiten Aktivschaltzustandsdauer (66), und damit gleich einer zweiten effektiven Aktivschaltzustandsdauer (73) ist,
        - wobei die beiden aktiven Schaltzustände des Pulsleichrichters (18) so gewählt werden, dass
          - in jedem Fall eine positive Zwischenkreisspannung (58) gebildet wird und durch den ersten aktiven Schaltzustand die den höchsten Momentanwert (74) und durch den zweiten aktiven Schaltzustand die den zweithöchsten Momentanwert (75) aufweisende verkettete Netzspannung als Zwischenkreisspannung (58) auftritt, wobei, um eine möglichst geringe Zahl von Schaltzustandsänderungen des Pulsleichrichters (18) zu erreichen, stets der den höchsten Betrag der Netzphasenspannungen der Netzphasenspannungsquellen (7, 8, 9) aufweisende Netzphaseneingang, Maximal-

spannungsnetzphase genannt, durch Durchschalten eines der beiden Vierquadrantenschalters des Netzphaseneingangs (2, 3, 4) zugeordneten Brückenzeiges (22, 23, 24) über die gesamte Pulshalbperiode (60) an eine der Zwischenkreisschienen (20, 21) geklemmt verbleibt, wobei

– bei positivem Vorzeichen der Spannung der Maximalspannungsnetzphase die Klemmung an die positive Zwischenkreisschiene (20) und

– bei negativem Vorzeichen der Spannung der Maximalspannungsnetzphase die Klemmung an die negative Zwischenkreisschiene (21) erfolgt und

– innerhalb des Kurzschlussintervalls (67) auch noch der zweite Vierquadrantenschalter des Brückenzeiges der Maximalspannungsnetzphase durchgeschaltet und so ein Kurzschluss der Zwischenkreisspannung (58), also eine Zwischenkreisspannung (58) gleich Null erreicht wird, wobei dann in keinem anderen Brückenzeig (22,23,24) des Pulsleichrichters (18) ein Vierquadrantenschalter geschlossen ist,

- und weiters, wieder mit dem Ziel, eine minimale Zahl von Umschaltungen zu erreichen, die Abfolge der aktiven Schaltzustände (70,71) des Pulsleichrichters (18) während der zweiten effektiven Aktivschaltzustandsdauer (73) gegenüber der ersten effektiven Aktivschaltzustandsdauer (72) umgekehrt, d.h. nach dem Ende des Kurzschlussintervalls (67)

– zuerst der zweite aktive Schaltzustand des Pulsleichrichters für eine zweite hintere Schaltzustandsdauer (76) und – dann der erste aktive Schaltzustand des Pulsleichrichters (19) bis zum Ende (62) der ersten Pulshalbperiode (64), d.h. für eine erste hintere Schaltzustandsdauer (77) angenommen wird,

– wobei vorteilhaft das Verhältnis der ersten und der zweiten hinteren Schaltzustandsdauern (77, 76) gleich dem Verhältnis der Einschaltdauer (70) des ersten und der Einschaltdauer (71) des zweiten aktiven Schaltzustandes des Pulsleichrichters (18) gewählt wird,

– und innerhalb einer zweiten Pulshalbperiode (78) der Pulsperiode (60) weiters die Abfolge der aktiven Schaltzustände des Pulswechselrichters (19) umgekehrt wird,

- womit am Ende (62) der ersten Pulshalbperiode (64) der zweite aktive Schaltzustand des Pulswechselrichters (19) für eine zweite hintere Aktivschaltzustandsdauer (79) aufrecht bleibt und dann wieder in den ersten aktiven Schaltzustand des Pulswechselrichters (19) gewechselt wird, welcher für eine erste hintere Aktivschaltzustandsdauer (80), d.h. bis zum Ende (63) der zweiten Pulshalbperiode (78) verbleibt,

- wobei die erste hintere Aktivschaltzustandsdauer (80) gleich der ersten Aktivschaltzustandsdauer (65) und die zweite hintere Aktivschaltzustandsdauer (79) gleich der zweiten Aktivschaltzustandsdauer (66) gewählt wird und

– in gleicher Art wird innerhalb der zweiten Pulshalbperiode (78) auch die Abfolge der Schaltzustände des Pulsleichrichters (18) jeweils um das Ende (62) der ersten Pulshalbperiode (64) gespiegelt,

- womit ein hinteres Kurzschlussintervall (81) mit einer dem Kurzschlussintervall (67) gleichen Länge auftritt, innerhalb dessen der Pulswechselrichter (19) schaltverlustfrei vom zweiten in den ersten aktiven Schaltzustand wechselt,

- wobei das hintere Kurzschlussintervall (81) zeitlich so gelegt wird, dass

– die Dauer eines auf die erste hintere Aktivschaltzustandsdauer (80) entfallenden Anteils, d.h. eines ersten hinteren Kurzschlussintervallanteils (82) und

– die Dauer eines auf die zweite hintere Aktivschaltzustandsdauer (79) entfallenden Anteils, d.h. eines zweiten hinteren Kurzschlussintervallanteils (83)

– zueinander im selben Verhältnis stehen wie die erste hintere Aktivschaltzustandsdauer (80) zur zweiten hinteren Aktivschaltzustandsdauer (79) des Pulswechselrichters (19),

– und durch die Spiegelung der Abfolge der Schaltzustände des Pulsleichrichters (18) um das Ende (62) der ersten Pulshalbperiode (64) die Schaltzustandsfolge des Pulsleichrichters (18) in der zweiten Pulshalbperiode (78) des Pulsintervalls (60)

- wieder mit dem ersten aktiven Schaltzustand des Pulsleichrichters (18) beginnt, auf den der zweite aktive Schaltzustand, das hintere Kurzschlussintervall (81) der Zwischenkreisspannung (58) folgt und

- nachfolgend wieder der zweite aktive Schaltzustand und schliesslich der erste aktive Schaltzustand des Pulsleichrichters (18) angenommen wird,

– wobei die Einschalt Dauern der aktiven Schaltzustände des Pulsleichrichters (18) unter Berücksichtigung des jeweils vorliegenden aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters (19) direkt von der ersten Pulshalbperiode (64) übernommen werden,

- womit resultierend innerhalb der ersten und zweiten Aktivschaltzustandsdauer (65, 66) und innerhalb der ersten und zweiten hinteren Aktivschaltzustandsdauer (80, 79) des Pulswechselrichters (19), eine Schaltzustandssequenz des Pulsleichrichters (18) durchlaufen wird, also der Pulsleichrichter (18) die zweifache Taktfrequenz des Pulswechselrichters (19) aufweist und

- weiters sicherstellt, dass sich bei Änderung des aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters (19) die beiden Vierquadrantenschalter des der Maximalspannungsnetzphase zugeordneten Brückenzeiges des Pulsleichrichters (18) im durchgeschalteten Zustand befinden, die Zwischenkreisspannung (58) also den Wert Null aufweist, womit keine Schaltverluste des Pulswechselrichters (19) auftreten.

2. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass, um Schaltüberspannungen zu vermeiden die Änderung des Schaltzustandes des Pulsleichrichters (18) bei Vorliegen eines aktiven Schaltzustandes des Pulswechselrichters (19) so vorgenommen wird, dass



- dem Zwischenkreisstrom stets ein Pfad zur Verfügung steht, wobei auch die Freilaufzustände des Pulswechselrichters (19) für die Sicherstellung der Kontinuität des Stromflusses genutzt werden und
- die Umschaltsequenz ohne Erfassung der Richtung des Zwischenkreisstromes stets so erfolgt, als würde ein negativer Zwischenkreisstrom vorliegen, wobei dann
  - für eine Kommutierung in der oberen Brückenhälfte des Pulsleichrichters (18), welche anstatt einer ersten Netzeingangsphasenklemme eine zweite Netzeingangsphasenklemme mit der positiven Zwischenkreisschiene verbinden soll, in einem ersten Schritt der aufgrund des negativen Vorzeichens des Zwischenkreisstromes nicht stromführende obere Vorwärtstransistor des ersten Brückenweiges abgeschaltet und nach einer Sicherheitszeit der obere Rückwärtstransistor des zweiten Brückenweiges eingeschaltet wird, womit dem negativen Zwischenkreisstrom ein alternativer Pfad zur Verfügung steht, und, falls die zweite Netzeingangsphasenklemme tieferes Potential als die erste Netzeingangsphasenklemme aufweist, d.h. eine positive Kommutierungsspannung vorliegt, der Strom nun von dem ersten auf den zweiten Netzphaseneingang übergeht und der obere Rückwärtstransistor des ersten Brückenweiges Sperrspannung aufnimmt, und, falls das Potential des zweiten Netzphaseneingangs über jenem des ersten Netzphaseneingangs liegt, also eine negative Kommutierungsspannung vorliegt, der Zwischenkreisstrom weiter über den oberen Rückwärtstransistor des ersten Brückenweiges fliesst, und
  - im nächsten Schritt wieder nach Verstreichen einer Sicherheitszeit der obere Rückwärtstransistor des ersten Brückenweiges abgeschaltet wird, womit bei positiver Kommutierungsspannung keine Änderung verbunden ist, da ja der Zwischenkreisstrom bereits über den oberen Rückwärtstransistor des zweiten Brückenweiges läuft und für negative Kommutierungsspannung der Stromfluss aus dem oberen Rückwärtstransistor des ersten Brückenweiges in den, im vorgehenden Schritt bereits eingeschalteten, bisher aber noch nicht stromführenden oberen Rückwärtstransistor des zweiten Brückenweiges kommutiert und
  - im letzten, wieder eine Sicherheitszeit verzögerten Schritt das Durchschalten des Vorwärtstransistors des zweiten Brückenweiges erfolgt,
- und so schlussendlich die bidirektionale Verbindung des zweiten Netzphaseneingangs mit der positiven Zwischenkreisschiene hergestellt ist,
  - wobei für einen positiven Zwischenkreisstrom die genau gleiche Umschaltsequenz bzw. Schaltzustandsfolge beibehalten wird, wobei bei Vorliegen eines aktiven Schaltzustands des Pulswechselrichters (19) derart, dass
  - der obere Transistor des ersten, der ersten Lastphase zugeordneten Brückenweiges und die unteren Transistoren des zweiten und dritten, der zweiten und dritten Lastphase zugeordneten Brückenweiges durchgeschaltet sind und Strom führen, also ein positiver Zwischenkreisstrom auftritt,
  - im ersten Schritt der Umschaltsequenz der stromführende obere Vorwärtstransistor des ersten Brückenweiges abgeschaltet und der positive Zwischenkreisstrom unterbrochen wird, womit sich der bisher über den oberen Transistor des ersten Brückenweiges schliessende Strom der ersten Lastphase die untere Freilaufdiode des ersten Brückenweiges und die unteren Transistoren des zweiten und dritten Brückenweiges schliesst und
  - die Umschaltsequenz des Pulsleichrichters gleich wie für einen negativen Zwischenkreisstrom fortgesetzt wird und
  - schliesslich mit dem Einschalten des oberen Vorwärtstransistors des zweiten Brückenweiges abgeschlossen wird, was wieder einen Pfad für einen positiven Zwischenkreisstrom eröffnet bzw. eine positive Zwischenkreisspannung zur Folge hat, welche die untere Freilaufdiode des Brückenweiges der ersten Lastphase mit Sperrspannung beaufschlagt und so zu einem erneuten Leiten des oberen Transistors führt,
  - womit wieder der vor Beginn der Umschaltsequenz bestehende Leitzustand des Pulswechselrichters (19), nun jedoch bei geänderter Zwischenkreisspannung, hergestellt ist
  - und so bei Umschaltung der positiven Zwischenkreisschiene von einem Netzphaseneingang auf einen anderen Netzphaseneingang, d.h. bei Abschalten eines oberen Vierquadrantenschalters und Einschalten eines anderen oberen Vierquadrantenschalters oder Umschaltung der negativen Zwischenkreisschiene von einem Netzphaseneingang auf einen anderen Netzphaseneingang, d.h. bei Abschalten eines unteren Vierquadrantenschalters und Einschalten eines anderen unteren Vierquadrantenschalters stets die auf einen negativen Zwischenkreisstrom ausgerichtete Umschaltsequenz des Pulsleichrichters (18) Einsatz findet.

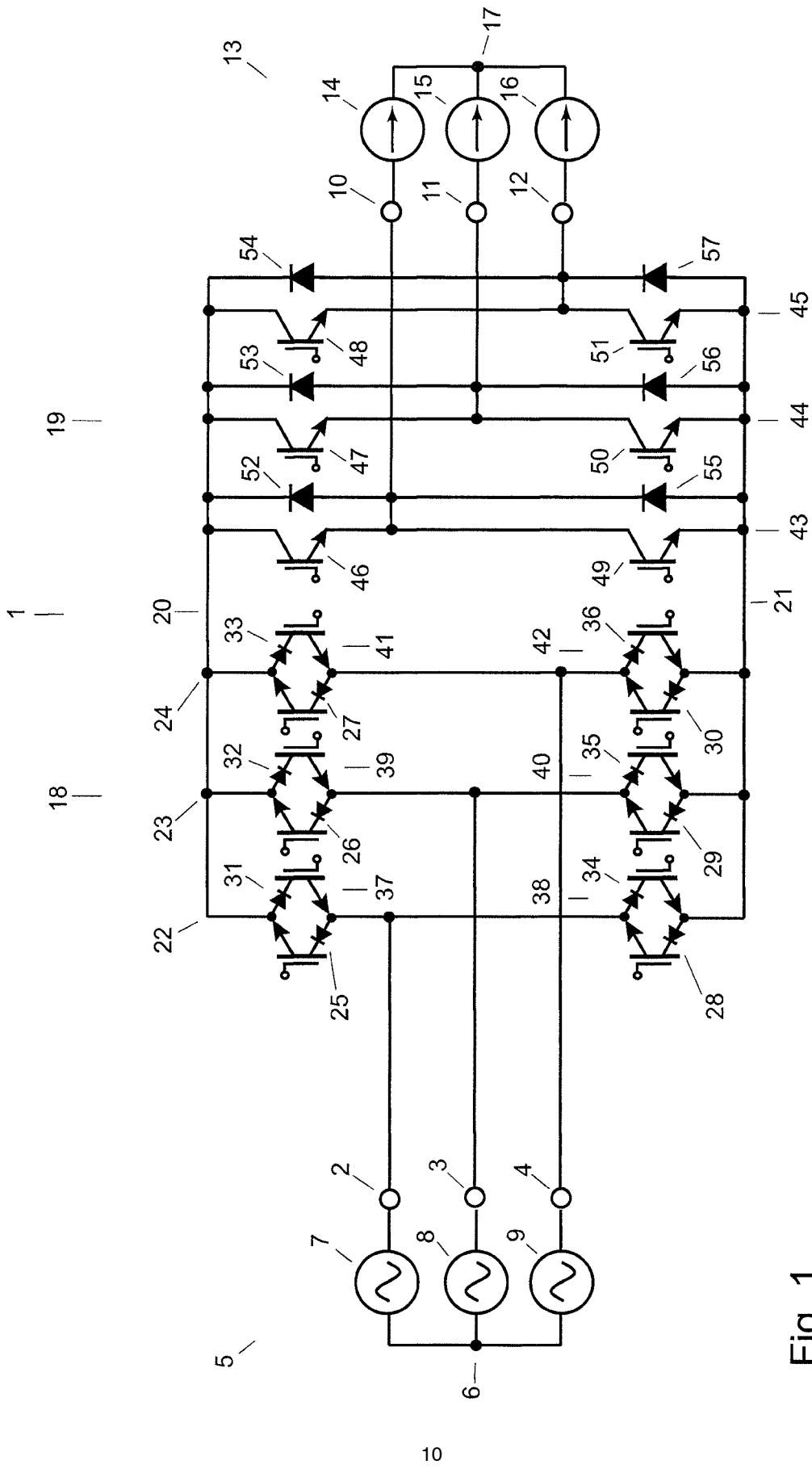


Fig. 1

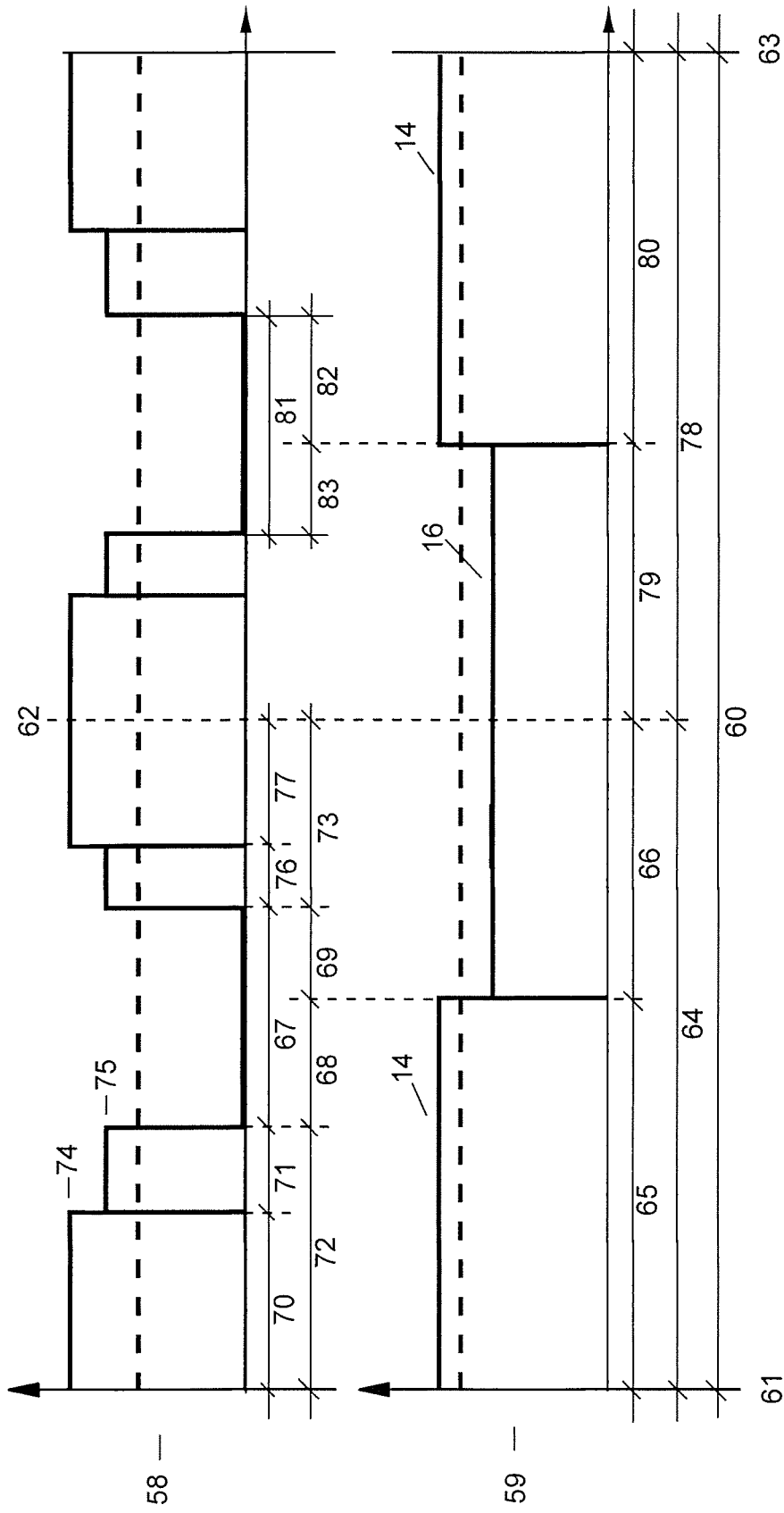


Fig. 2