



**SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT**  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **698 914 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: 01766/06

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

(22) Anmeldedatum: 07.11.2006

(72) Erfinder:  
Johann W. Kolar, 8044 Zürich (CH)  
Thomas Friedli, 5245 Habsburg (CH)

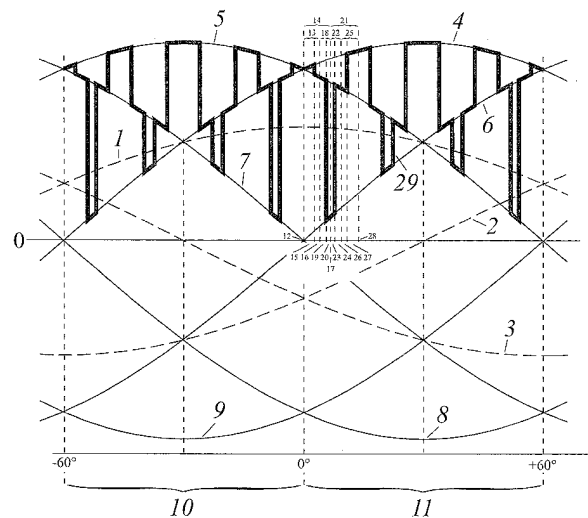
(24) Patent erteilt: 15.12.2009

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.12.2009

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

(54) **Verfahren zur Dreipunktmodulation eines quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichters.**

(57) Ein Verfahren betrifft die Reduktion des Rippels der Ausgangsphasenströme eines quasidirekten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichters mit einem Gleichrichter-Eingangsteil, einem speicherlosen Zwischenkreis und einem Pulswechselrichter-Ausgangsteil. Jedes der Einschaltintervalle (15,16) und (19, 20) des Gleichrichter-Eingangsteils wird dabei für die Ausgangsstufe als Pulshalbperiode (14, 21) angesehen, innerhalb welcher zwei aktive Schaltzustände zur Bildung der geforderten Ausgangsspannung und ein Freilaufzustand angenommen werden. Innerhalb eines ersten Abschnittes (13) einer Pulshalbperiode (14) wird aufeinander folgend die jeweils grösste positive verkettete eingangsseitige Spannung (4) und die zweitgrösste positive verkettete eingangsseitige Spannung (5) an den Zwischenkreis gelegt und am Anfang eines zweiten Abschnittes (18) beibehalten und dann bis zum Ende (17) der Pulshalbperiode (14) die drittgrösste positive verkettete Eingangsspannung (6) an den Zwischenkreis gelegt. Es wird für die beiden im ersten Abschnitt (13) der Pulshalbperiode (14) liegenden Einschaltintervalle (15, 16) und für die beiden im zweiten Abschnitt (18) liegenden Einschaltintervalle (19,20) der Eingangsstufe dieselbe relative Einschaltzeit der beiden aktiven Schaltzustände der Ausgangsstufe gewählt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichters zwecks Verringerung des Rippels der Ausgangsströme bei hoher Amplitude der Ausgangsspannungsgrundschwingung, wie im Oberbegriff des Patentanspruches 1 beschrieben ist.

## Stand der Technik

**[0002]** Gemäss dem Stand der Technik werden zur Umformung eines dreiphasigen Wechselspannungssystems konstanter Frequenz und Amplitude in ein dreiphasiges Spannungssystem vorgebarerer Frequenz und Amplitude vorteilhaft quasi-direkte Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichter eingesetzt. Derartige Systeme werden durch gleichspannungsseitige Kopplung eines eingangsseitigen Dreiphasen-Pulsleichrichtersystems (Eingangsstufe) und eines ausgangsseitigen Dreiphasen-Pulswechselrichtersystems (Ausgangsstufe) gebildet und weisen im Gleichspannungszwischenkreis keine Speicherelemente auf. Durch die induktive Last, z.B. eine Drehstrommaschine, wird der Ausgangsstrom eingepreßt, womit entsprechend dem Schaltzustand der Ausgangsstufe ein abschnittsweise eingepreßter, durch Ausschnitte der Lastströme gebildeter Zwischenkreisstrom resultiert, welcher durch die Eingangsstufe in diskontinuierliche Eingangsphasenströme umgeformt wird, die nach Unterdrückung schaltfrequenter Oberschwingungen durch ein, im einfachsten Fall durch Filterkondensatoren und die innere Netzinduktivität gebildetes Eingangfilter, einen sinusförmigen, der jeweiligen Phasenspannung proportionalen Verlauf zeigen. Die Lastspannung wird dabei durch Pulsbreitenmodulation der Ausgangsstufe aus der jeweils anliegenden Zwischenkreisspannung gebildet, welche sich aus Ausschnitten der durch die Filterkondensatoren eingepreßten verketteten Eingangsspannungen bestimmt, welche durch die Eingangsstufe in den Zwischenkreis geschaltet werden.

**[0003]** Im Detail erfolgt die Steuerung so, dass, um einen möglichst weiten Ausgangsspannungsbereich zu erreichen, innerhalb jeder Pulshalbperiode aufeinander folgend die jeweils grösste positive (d.h. den grössten Momentanwert aufweisende) und die jeweils zweitgrösste positive verkettete Eingangsspannung an den Zwischenkreis gelegt werden. Hierdurch wird auch ein positives Vorzeichen der Zwischenkreisspannung sichergestellt, was aufgrund der, mit der Topologie eines konventionellen dreiphasigen Spannungszwischenkreis-Pulswechselrichters identischen, Ausgangsstufe eine Grunderfordernis des Betriebes darstellt. Innerhalb des Einschaltintervalls der jeweils grössten positiven verketteten Eingangsspannung und innerhalb des Einschaltintervalls der jeweils zweitgrössten positiven verketteten Eingangsspannung liegt für die Ausgangsstufe eine näherungsweise konstante Zwischenkreisspannung vor. In jedem dieser Einschaltintervalle wird die Ausgangsstufe aufeinander folgend in einen ersten aktiven, d.h. eine verkettete Ausgangsspannung ungleich Null bildenden Schaltzustand, einen zweiten aktiven Schaltzustand und einen Freilaufzustand, für den die Ausgangsklemmen keine Spannungsdifferenz aufweisen, geschaltet. Die relative Einschaltzeit der drei Schaltzustände der Ausgangsstufe wird dabei in beiden Intervallen gleich und derart gewählt, dass im Mittel über beide Intervalle die zu bildenden Sollwerte der verketteten Ausgangsspannungen resultieren.

**[0004]** Weiters wird in jeder zweiten Pulshalbperiode die Reihenfolge des Anlegens der verketteten Eingangsspannungen umgekehrt, um eine minimale Zahl von Umschaltungen der Eingangsstufe zu erreichen. Die Zahl der Umschaltungen der Ausgangsstufe wird dadurch minimiert, dass in jedem zweiten Einschaltintervall der Eingangsstufe die Schaltzustandsfolge der Ausgangsstufe umgekehrt wird, wobei der Freilaufzustand jeweils an das Ende eines Einschaltintervalls der Eingangsstufe gelegt wird bzw. entsprechend der vorgehenden Beschreibung am Anfang des unmittelbar folgenden Einschaltintervalls der Eingangsstufe zu liegen kommt. Die Umschaltung der Eingangsstufe erfolgt damit bei Freilauf der Ausgangsstufe, d.h. für Zwischenkreisstrom gleich Null. Es treten somit vorteilhaft keine Schaltverluste der Eingangsstufe auf.

**[0005]** Die Schaltverluste der Ausgangsstufe werden durch die jeweils anliegende Zwischenkreisspannung bestimmt. Ist ein Ausgangsspannungssystem nur kleiner Amplitude der Grundschwingungen zu bilden, bzw. ist nur eine kleine Ausgangsleistung abzugeben, ist daher, wie in der Schweizer Patentanmeldung CH 0169/03 beschrieben, vorteilhaft auf ein Steuerverfahren überzugehen, welches innerhalb einer Pulshalbperiode nicht die grösste und die zweitgrösste positive verkettete Eingangsspannung als Zwischenkreisspannung anlegt, sondern innerhalb jeder Pulshalbperiode aufeinander folgend die jeweils zweitgrösste positive und die jeweils drittgrösste positive verkettete Eingangsspannung in den Zwischenkreis schaltet. Hierdurch wird in erster Näherung eine Halbierung der Schaltverluste der Ausgangsstufe erreicht, weiters werden die schaltfrequenten Oberschwingungen der Ausgangsspannung aufgrund der geringen Zwischenkreisspannungswerte gegenüber konventioneller Steuerung verringert und damit z.B. die Oberschwingungsverluste einer gespeisten Drehstrommaschine bzw. deren thermische Belastung reduziert, bzw. sind permanentmagneterregte Drehfeldmaschinen mit geringer Induktivität bei gegebenem zulässigem Rippel der Statorströme mit relativ tieferer Schaltfrequenz betreibbar.

**[0006]** Die mittels dieses Steuerverfahrens maximal erzeugbare Amplitude der Ausgangsphasenspannung ist allerdings auf den halben Wert der Amplitude der Eingangsphasenspannungen beschränkt. Es wird also etwa nur die untere Hälfte des Aussteuerbereichs des quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichters abgedeckt, für welchen die maximal erzeugbare Amplitude der Ausgangsphasenspannung gleich dem  $\sqrt{3}/2$ -fachen der Amplitude der Eingangsphasenspannung ist. In der oberen Hälfte des Aussteuerbereiches sind daher die grösste positive und die zweitgrösste positive verkettete Eingangsspannung zur Bildung der Zwischenkreisspannung heranzuziehen, wobei die Einstellung der Amplitude der Grundschwingungen des Ausgangsspannungssystems über die Freilaufdauer der Ausgangsstufe erfolgt. Demzufolge wird

bei einer Erhöhung des Aussteuergrades des quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichters beim Wechsel von der unteren in die obere Hälfte des Aussteuerbereiches eine relativ starke transiente Änderung des Statorstromes der Drehfeldmaschine und auch ein Anstieg der Gleichtakt-Störaussendung des Systems resultieren, da dann in einem Einschaltintervall der Eingangsstufe die drittgrösste positive (kleinste positive) Eingangsspannung durch die grösste positive Eingangsspannung ersetzt, d.h. eine der von der Ausgangsstufe geschalteten Zwischenkreisspannungen wesentlich erhöht wird. Die während dieses Einschaltintervalls resultierende erhöhte Ausgangsspannung und die innerhalb des dann relativ längeren Freilaufzustandes am Ausgang auftretende Spannung Null weisen eine relativ hohe Abweichung von den zu bildenden Ausgangsspannungsgrundschwingungen auf.

#### Detaillierte Darstellung der Erfindung

**[0007]** Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Steuerverfahren für quasi-direkte Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichter zu schaffen, das in der oberen Hälfte des Aussteuerbereiches auf einen möglichst geringen Rippel der Ausgangsphasenströme führt. Dies wird erfindungsgemäss durch die Merkmale des Patentanspruches 1 erreicht. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind den abhängigen Patentansprüchen zu entnehmen.

**[0008]** Die Eingangsstufe eines quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichters kann durch zwei dreipolige Umschalter ersetzt gedacht werden, wobei der Wurzelpunkt des oberen Umschalters mit der positiven Zwischenkreisschiene und der Wurzelpunkt des unteren Umschalters mit der negativen Zwischenkreisschiene verbunden ist. Die drei Schalterpole des oberen Umschalters sind mit den drei Schalterpolen des unteren Umschalters und mit den Phasen des speisenden Netzes verbunden, dessen verkettete Spannungen durch Filterkondensatoren gestützt werden. Die Ausgangsstufe des quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichters zeigt die Struktur eines bekannten Spannungszwischenkreis-Pulswechselrichters und weist damit die Funktion von drei Umschaltern zwischen der positiven und negativen Zwischenkreisschiene auf, deren Wurzelpunkte direkt die Ausgangsklemmen des Systems bilden.

**[0009]** Grundsätzlich können durch die Eingangsstufe die drei verketteten Eingangsspannungen mit positivem oder negativem Vorzeichen in den Zwischenkreis geschaltet werden. Da die Zwischenkreisspannung aufgrund der schaltungstechnischen Realisierung der Ausgangsstufe ein positives Vorzeichen aufweisen muss, sind jedoch nur jeweils die drei positiven (d.h. einen positiven Momentanwert aufweisenden) verketteten Spannungen, also die grösste, zweitgrösste und drittgrösste verkettete Eingangsspannung als Zwischenkreisspannung zulässig. Weiters ist zu beachten, dass die durch die Ausgangsstufe in den Zwischenkreis geschalteten Ausschnitte der Lastströme so auf die Eingangsphasen verteilt werden müssen, dass den Netzphasenspannungen proportionale Netzphasenströme resultieren und so ohmsches Grundschwingungnetzverhalten erreicht wird. Es sind daher in jeder Pulshalbperiode mindestens zwei der drei möglichen positiven verketteten Spannungen in den Zwischenkreis zu schalten.

**[0010]** Erfindungsgemäss werden innerhalb eines ersten Abschnittes jeder Pulshalbperiode aufeinander folgend die jeweils grösste positive und die zweitgrösste positive verkettete Spannung in den Zwischenkreis geschaltet. Darauf folgend wird innerhalb des zweiten Abschnittes der Pulshalbperiode anfangs die zweitgrösste positive verkettete Eingangsspannung als Zwischenkreisspannung beibehalten und dann bis zum Ende der Pulshalbperiode die drittgrösste positive verkettete Eingangsspannung an den Zwischenkreis gelegt, wobei nach jeder Pulshalbperiode die Reihenfolge dieser Abschnitte und Spannungen umgekehrt und so eine minimale Zahl von Umschaltungen der Eingangsstufe erreicht wird.

**[0011]** Es wird dabei jedes der Einschaltintervalle der Eingangsstufe für die Ausgangsstufe als Pulshalbperiode angesehen, innerhalb dessen die Ausgangsstufe jedenfalls zwei aktive Schaltzustände zur Bildung der geforderten Ausgangsspannung annimmt, wobei erfindungsgemäss die Dauer des jeweils am Ende eines Einschaltintervalls der Eingangsstufe liegenden Freilaufzustandes auf die kleinstmögliche, für die stromlose Umschaltung der Eingangsstufe erforderliche, durch die Signalverzugszeiten der Ansteuerstufen und die Schaltzeiten der die Eingangs- und Ausgangsstufe realisierenden Leistungstransistoren bestimmte, im Vergleich zur Dauer einer Pulshalbperiode in erster Näherung vernachlässigbare, Sicherheitszeit beschränkt wird, die Ausgangsstufe also stets nahezu mit Vollaussteuerung arbeitet. Erfindungsgemäss wird für die beiden im ersten Abschnitt der Pulshalbperiode liegenden Einschaltintervalle und die beiden im zweiten Abschnitt der Pulshalbperiode liegenden Einschaltintervalle der Eingangsstufe dieselbe relative Einschaltzeit der beiden aktiven Schaltzustände gewählt und die Dauer des Freilaufzustandes auf dem Wert der minimal erforderlichen Sicherheitszeit gehalten.

**[0012]** Da nun die Dauer des Freilaufzustandes nicht mehr als Freiheitsgrad zur Einstellung der gewünschten Amplitude der Grundschwingungen des Ausgangsspannungssystems zur Verfügung steht, wird erfindungsgemäss die Ausgangsspannungsgrundschwingungsamplitude über das Verhältnis der Dauer des ersten Abschnittes und des zweiten Abschnittes einer Pulshalbperiode eingestellt.

**[0013]** Die, wie oben stehend beschrieben, gleichen relativen Einschalt Dauern der Schaltzustände der Ausgangsstufe innerhalb jedes Einschaltintervalls der Eingangsstufe in einer Pulshalbperiode führen auf gleiche Mittelwerte des Zwischenkreisstromes innerhalb der Einschaltintervalle. Der sinusförmige Verlauf der Eingangsphasenströme bzw. deren Proportionalität zu den zugeordneten Eingangsphasenspannungen, kann somit über das Verhältnis der relativen Dauer der beiden Einschaltintervalle der Eingangsstufe im ersten Abschnitt einer Pulshalbperiode und relativen Dauer der beiden Einschaltintervalle der Eingangsstufe im zweiten Abschnitt einer Pulshalbperiode eingestellt werden.

**[0014]** Das erfindungsgemässe Steuerverfahren weist in erster Näherung keinen Freilauf, sondern nur aktive Schaltzustände der Ausgangsstufe auf. Zur Bildung der Ausgangsspannung werden daher innerhalb einer Pulsperiode nur Spannungen ungleich Null, d.h. Ausschnitte der grössten, zweitgrössten und drittgrössten positiven verketteten Eingangsspannung eingesetzt. Dies entspricht dem Verhalten eines Dreipunkt-Pulswechselrichters, welcher im oberen Aussteuerbereich in der Umgebung der Amplitude einer Ausgangsphasenspannung Spannungspegel ungleich Null zur Spannungsbildung heranzieht. Vorteilhaft wird daher, gegenüber dem einer Zweipunktsteuerung entsprechenden Stand der Technik, eine Verringerung des Rippels bzw. der Oberschwingungsverluste der Statorphasenströme der gespeisten Drehfeldmaschine erreicht. Weiters wird im zweiten Einschaltintervall des zweiten Abschnittes einer Pulshalbperiode anstelle der grössten positiven verketteten Eingangsspannung von der Ausgangsstufe nur die kleinste positive verkettete Eingangsstufe geschaltet und so vorteilhaft eine Verringerung der Gleichtaktströraussendung des Systems erreicht.

**[0015]** Eine weitere, vorteilhafte Kombination der erfindungsgemässen Steuerung und der bekannten Steuerverfahren eines quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichters beschreibt Patentanspruch 2:

**[0016]** Die mittels des Steuerverfahrens nach Anspruch 1 erzeugbare Amplitude der Ausgangsphasenspannung ist nach unten beschränkt. Es wird also nur der etwa zwischen der Hälfte und der  $\sqrt{3}/2$ -fachen Amplitude der Eingangsphasenspannung (Vollaussteuerung) liegende Bereich, d.h. der obere Aussteuerbereich abgedeckt. Soll eine kleinere Ausgangsspannung eingestellt werden, ist auf ein dem Stand der Technik entsprechendes Steuerverfahren zu wechseln, wobei vorteilhaft jenes Verfahren heranzuziehen ist, das die zweitgrösste und die drittgrösste positive Eingangsspannung in den Zwischenkreis schaltet.

**[0017]** Alternativ kann auch des Verfahren nach Anspruch 1 beibehalten und die Dauer des Freilaufzustandes höher als die Sicherheitszeit gewählt werden, wobei die dann innerhalb des Einschaltintervalls der Eingangsstufe verbleibende Zeit so zwischen den beiden aktiven Schaltzuständen der Ausgangsstufe aufzuteilen ist, dass das durch die Sinusform der Ausgangsspannungssollwerte geforderte Grössenverhältnis der Grundschnwingungen der Ausgangsphasenspannungen des Systems realisiert wird.

**[0018]** Die Erfindung wird im Weiteren anhand einer Zeichnung näher erläutert.

**[0019]** In Fig. 1 ist ein  $120^\circ$  breiter Ausschnitt des Zeitverlaufes der Eingangsphasenspannungen, der verketteten Eingangsspannungen und des bei erfindungsgemässer Steuerung resultierenden Zeitverlaufes der Zwischenkreisspannung eines quasi-direkten-Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichtersystems dargestellt, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit eine sehr tiefe Schaltfrequenz angenommen ist.

### Ausführung der Erfindung

**[0020]** Gemäss Fig. 1 zeigen die Phasenspannungen 1, 2, 3 eines symmetrischen Dreiphasen-Spannungssystems, das für die weiteren Überlegungen als am Eingang eines quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichtersystems liegend gedacht wird, gleiche Amplitude und eine Phasenversetzung von  $120^\circ$ . Die verketteten Eingangsspannungen werden als Differenz von jeweils zwei Phasenspannungen 1, 2 (erste minus zweite Phasenspannung) oder 2, 1 (zweite minus erste) oder 1, 3 (erste minus dritte) oder 3, 1 (dritte minus erste) oder 2, 3 (zweite minus dritte) oder 3, 2 (dritte minus zweite) erhalten. Hierbei weisen jeweils drei der sechs möglichen Kombinationen respektive verkettete Spannungen 4, 5, 6, 7, 8, 9 innerhalb eines  $60^\circ$  breiten ersten Intervalles 10 oder zweiten Intervalles 11, der Eingangsspannungsperiode einen positiven Momentanwert, und weisen drei verkettete Spannungen einen negativen Momentanwert auf.

**[0021]** Der Beginn bzw. das Ende eines  $60^\circ$ -Intervalles wird dabei durch den Nulldurchgang einer der positiven verketteten Spannungen definiert.

**[0022]** Innerhalb des im Weiteren beispielhaft betrachteten Zeitausschnittes des zweiten Intervalles 11 – die Verhältnisse in den übrigen Intervallen können einfach durch Analogieüberlegungen gewonnen werden – zeigen die erste, zweite und dritte verkettete Spannung 4, 5, 6 jeweils einen positiven Wert und können grundsätzlich als Zwischenkreisspannung eines quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichtersystems herangezogen werden.

**[0023]** Bei Steuerung gemäss dem Stand der Technik wird z.B. für einen Initialzeitpunkt 12 des zweiten  $60^\circ$ -Intervalles 11 bei hoher Amplitude der Sollwerte der Grundschnwingungen der Ausgangsspannungen des quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichtersystems aufeinander folgend die jeweils grösste positive verkettete Spannung, hier die erste verkettete Spannung 4 und die jeweils zweitgrösste positive verkettete Spannung, hier die zweite verkettete Spannung 5 als Zwischenkreisspannungen gewählt. Für kleine Amplitude der Ausgangsspannungsgrundschnwingungssollwerte wird aufeinander folgend die jeweils zweitgrösste positive verkettete Spannung, hier die zweite verkettete Spannung 5 und die jeweils drittgrösste positive verkettete Spannung, hier die dritte verkettete Spannung 6 in den Zwischenkreis geschaltet.

**[0024]** Bei erfindungsgemässer Steuerung werden demgegenüber unter Annahme eines Beginns einer betrachteten ersten Pulshalbperiode 14 im Initialzeitpunkt 12 des zweiten  $60^\circ$ -Intervalles 11 im ersten Abschnitt 13 der ersten Pulshalbperiode 14 aufeinander folgend die jeweils grösste positive verkettete Eingangsspannung 4 für ein erstes Einschaltintervall 15 und die jeweils zweitgrösste positive verkettete Eingangsspannung 5 für ein zweites Einschaltintervall 16 in den Zwischenkreis geschaltet. Im, bis zum Ende 17 der ersten Pulshalbperiode 14 reichenden, zweiten Abschnitt 18 der ersten Pulshalbperiode 14 wird anfangs für ein erstes Einschaltintervall 19 des zweiten Abschnittes die jeweils zweitgrösste positive verkettete Eingangsspannung 5 als Zwischenkreisspannung beibehalten (es bleibt der am Ende des ersten

Abschnitts 13 vorliegende Eingangsschaltzustand vorerst aufrecht) und dann innerhalb des Restes, d.h. während eines zweiten Einschaltintervalls 20 des zweiten Abschnittes 18 der ersten Pulshalbperiode 14 die jeweils drittgrösste positive verkettete Eingangsspannung 6 in den Zwischenkreis geschaltet.

**[0025]** In der nächstfolgenden, mit dem Ende 17 der Pulshalbperiode 14 beginnenden zweiten Pulshalbperiode 21 wird die Reihenfolge der Eingangsschaltzustände bzw. der an den Zwischenkreis gelegten positiven verketteten Eingangsspannungen 4, 5, 6 umgekehrt, womit

- während eines, am Beginn der zweiten Pulshalbperiode 21 liegenden ersten Abschnittes 22 die jeweils drittgrösste positive verkettete Eingangsspannung 6 für ein erstes Einschaltintervall 23 als Zwischenkreisspannung verbleibt und
- darauf folgend für den Rest, d.h. während eines zweiten Einschaltintervalls 24 des ersten Abschnittes 22, die jeweils zweitgrösste positive verkettete Eingangsspannung 5 als Zwischenkreisspannung vorliegt und dann
- während des zweiten Abschnittes 25 der zweiten Pulshalbperiode 21 anfangs die zweitgrösste positive verkettete Eingangsspannung 5 für ein erstes Einschaltintervall 26 beibehalten und
- darauf folgend für den Rest, d.h. während eines zweiten Einschaltintervall 27 des zweiten Abschnittes 25, d.h. bis zum Ende 28 der zweiten Pulshalbperiode 21 die grösste positive verkettete Spannung 4 als Zwischenkreisspannung vorliegt.

**[0026]** Hierdurch ist beim Wechsel vom ersten Abschnitt 13 auf den zweiten Abschnitt 18 der ersten Pulshalbperiode 14 und beim Wechsel vom ersten Abschnitt 22 auf den zweiten Abschnitt 25 der zweiten Pulshalbperiode 21 sowie beim Wechsel von der ersten Pulshalbperiode 14 auf die zweite Pulshalbperiode 21 keine Umschaltung der Eingangsstufe erforderlich, womit vorteilhaft eine geringere Schaltfrequenz der Eingangsstufe resultiert. Der sich damit ergebende Zeitverlauf 29 der Zwischenkreisspannung ist in Fig. 1 eingetragen.

**[0027]** Es wird jedes der Einschaltintervalle 15, 16, 19, 20, 23, 24, 26, 27 der Eingangsstufe als Halbperiode der Ausgangsstufentaktung (Ausgangsstufenhalbperiode) angesehen, innerhalb der die Ausgangsstufe jedenfalls zwei aktive Schaltzustände und einen Freilaufzustand zur Bildung der geforderten Ausgangsspannung annimmt, wobei die Schaltzustände so gewählt und geordnet werden, dass jeder nächstfolgende Schaltzustand durch Änderung des Schaltzustandes nur eines Phasenumschalters der Ausgangsstufe realisiert werden kann. Die Reihenfolge der Schaltzustände wird in jeder zweiten Ausgangsstufenhalbperiode, d.h.

- im zweiten Einschaltintervall 16 des ersten Abschnittes 13 der ersten Pulshalbperiode 14,
- im zweiten Einschaltintervall 20 des zweiten Abschnittes 18 der ersten Pulshalbperiode 14,
- im zweiten Einschaltintervall 24 des ersten Abschnittes 22 der zweiten Pulshalbperiode 21, und
- im zweiten Einschaltintervall 27 des zweiten Abschnittes 25 der zweiten Pulshalbperiode 21

umgekehrt, womit für den Übergang vom ersten Abschnitt 13 auf den zweiten Abschnitt 18 der ersten Pulshalbperiode 14 und für den Übergang vom ersten Abschnitt 22 auf den zweiten Abschnitt 25 der zweiten Pulshalbperiode 21 sowie für den Übergang zwischen den beiden Pulshalbperioden, z.B. 14, 21 der unmittelbar vor dem Wechsel vorliegende aktive Schaltzustand der Ausgangsstufe beibehalten werden kann, d.h. keine Umschaltung der Ausgangsstufe erforderlich ist und so die Schaltverluste gering gehalten werden.

**[0028]** Erfindungsgemäss wird

- die Dauer des am Ende des ersten Einschaltintervalls 15 und Anfang des zweiten Einschaltintervalls 16 des ersten Abschnittes 13 der ersten Pulshalbperiode 14 und
  - die Dauer des am Ende des ersten Einschaltintervalls 19 und Anfang des zweiten Einschaltintervalls 20 des zweiten Abschnittes 18 der ersten Pulshalbperiode 14 und
  - die Dauer des am Ende des ersten Einschaltintervalls 23 und Anfang des zweiten Einschaltintervalls 24 des ersten Abschnittes 22 der zweiten Pulshalbperiode 21 und
  - die Dauer des am Ende des ersten Einschaltintervalls 26 und Anfang des zweiten Einschaltintervalls 27 des zweiten Abschnittes 25 der zweiten Pulshalbperiode 21
- liegenden Freilaufzustandes auf die kleinstmögliche, für die sichere stromlose und damit schaltverlustfreie Umschaltung der Eingangsstufe zwischen jeweils dem ersten und dem zweiten Einschaltintervall 15, 16; 19, 20; 23, 24; 26, 27 erforderliche, durch die Signalverzugszeiten der Ansteuerstufen und die Schaltzeiten der die Eingangs- und Ausgangsstufe realisierenden Leistungstransistoren bestimmte, im Vergleich zur Dauer einer Pulshalbperiode in erster Näherung vernachlässigbare Sicherheitszeit beschränkt. Demzufolge wird die Ausgangsstufe erfindungsgemäss also stets nahezu mit Vollaussteuerung betrieben, wobei für alle in der ersten Pulshalbperiode 14 liegenden Einschaltintervalle 15, 16, 19, 20 und für alle in der zweiten Pulshalbperiode 21 liegenden Einschaltintervalle 23, 24, 26, 27 dieselben beiden aktiven Schaltzustände für die Ausgangsspannungsbildung herangezogen werden und dasselbe Verhältnis der relativen Einschalt Dauern dieser aktiven Schaltzustände eingestellt wird, welches durch das Grössenverhältnis der Sollwerte der Ausgangsphasenspannungsgrundschwingungen in Initialzeitpunkt 12, d.h. dem Beginn der durch die beiden Pulshalbperioden 14, 21 gebildeten Pulsperiode definiert ist. (Optional kann eine Aufdatierung der Sollwerte auch jeweils zu Beginn der einzelnen Pulshalbperioden 14, 21 vorgenommen werden.)

**[0029]** Da erfindungsgemäss die Dauer des Freilaufzustandes nicht mehr als Freiheitsgrad zur Einstellung der gewünschten Amplitude der Grundschwingungen des Ausgangsphasenspannungssystems zur Verfügung steht, wird erfindungsgemäss die Ausgangsspannungsgrundschwingungsamplitude über das Verhältnis der Dauer des ersten Abschnittes und

des zweiten Abschnittes einer Pulshalbperiode eingestellt, wobei das Verhältnis der Dauer des ersten Abschnittes 13 und des zweiten Abschnittes 18 der ersten Pulshalbperiode 14 gleich dem Verhältnis der Dauer des zweiten Abschnittes 25 und der Dauer des ersten Abschnittes 22 der zweiten Pulshalbperiode 21 gewählt wird, da, wie vorgehend beschrieben, die Reihenfolge des Anlegens verketteter Eingangsspannungen an den Zwischenkreis von der ersten Pulshalbperiode 14 zur zweiten Pulshalbperiode 21 umgekehrt wird.

**[0030]** Die, wie oben beschrieben, gleichen relativen Einschalt Dauern der aktiven Schaltzustände der Ausgangsstufe innerhalb jedes Einschaltintervalls 15, 16, 19, 20, 23, 24, 26, 27 der Eingangsstufe einer aus Pulshalbperioden 14, 21 gebildeten Pulsperiode führen innerhalb der Einschaltintervalle auf gleiche Mittelwerte des Zwischenkreisstromes. Der sinusförmige Verlauf der Eingangsphasenströme bzw. deren Proportionalität zu den zugeordneten Eingangsphasenspannungen, ist somit unter Berücksichtigung der relativen Stromflussdauer der einzelnen Phasen über

- das Verhältnis der Dauer des ersten Einschaltintervalls 15 und des zweiten Einschaltintervalls 16 der Eingangsstufe im ersten Abschnitt 13 der ersten Pulshalbperiode 14 und
- das Verhältnis der Dauer des ersten Einschaltintervalls 19 und des zweiten Einschaltintervalls 20 der Eingangsstufe im zweiten Abschnitt 18 der zweiten Pulshalbperiode 21

einzustellen.

**[0031]** Aufgrund der Spiegelsymmetrie des Verlaufs der Zwischenkreisspannung 29 um die, durch das Ende 17 der ersten Pulshalbperiode 14 definierte, Mitte eines aus der ersten und der zweiten Pulshalbperiode 14, 21 gebildeten Pulsintervalls, wird

- das Verhältnis der Dauer des zweiten Einschaltintervalls 24 und des ersten Einschaltintervalls 23 der Eingangsstufe im ersten Abschnitt 22 der zweiten Pulshalbperiode 21
- gleich dem Verhältnis der Dauer des ersten Einschaltintervalls 19 und des zweiten Einschaltintervalls 20 der Eingangsstufe im zweiten Abschnitt 18 der ersten Pulshalbperiode 14

gewählt.

**[0032]** Weiters wird für den zweiten Abschnitt 25 der zweiten Pulshalbperiode 21

- das Verhältnis der Dauer des zweiten Einschaltintervalls 27 und des ersten Einschaltintervalls 26 der Eingangsstufe im zweiten Abschnitt 25 der zweiten Pulshalbperiode 21
- gleich dem Verhältnis der Dauer des ersten Einschaltintervalls 15 und des zweiten Einschaltintervalls 16 der Eingangsstufe im ersten Abschnitt 13 der ersten Pulshalbperiode 14

festgelegt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichters wobei der quasi-direkte Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichter einen dreiphasigen Gleichrichter-Eingangsteil, einen aus einer positiven Zwischenkreisschiene und einer negativen Zwischenkreisschiene gebildeten Zwischenkreis und einen Pulswechselrichter-Ausgangsteil aufweist, wobei der Gleichrichter-Eingangsteil zum wahlweisen Schalten der positiven Zwischenkreisschiene und der negativen Zwischenkreisschiene an jeweils eine von drei Eingangsklemmen des Gleichrichter-Eingangsteils eingerichtet ist, und wobei der Pulswechselrichter-Ausgangsteil zum wahlweisen Schalten von drei Ausgangsklemmen an jeweils eine von der positiven Zwischenkreisschiene und der negativen Zwischenkreisschiene eingerichtet ist, und wobei in dem Verfahren der Gleichrichter-Eingangsteil während jeweils einer Pulshalbperiode (14, 21) eine verkettete Eingangsspannung, welche durch ein an den Eingangsklemmen des Gleichrichter-Eingangsteiles anliegendes Netz definiert ist, an den Zwischenkreis schaltet, und der Pulswechselrichter-Ausgangsteil für jede Pulshalbperiode (14, 21) der Eingangsstufe aufeinander folgend
  - zwei aktive Schaltzustände, in welchen die Ausgangsspannung ungleich Null ist, und
  - einen Schaltzustand als Freilaufzustand, in welchem die Ausgangsspannung gleich Null ist,
 annimmt und für jede nächstfolgende Pulshalbperiode (14, 21) die Reihenfolge der Schaltzustände der Ausgangsstufe umkehrt, dadurch gekennzeichnet, dass jede der beiden Pulshalbperiode (14, 21) in jeweils einen ersten und einen zweiten Abschnitt (13, 14, 22, 25) unterteilt ist, und jeder dieser Abschnitte wiederum in ein erstes und ein zweites Einschaltintervall (15, 16, 19, 20, 23, 24, 26, 27) unterteilt ist, und im ersten Abschnitt (13) der ersten Pulshalbperiode (14) aufeinander folgend die jeweils grösste positive verkettete Eingangsspannung (4) für ein erstes Einschaltintervall (15) und die jeweils zweitgrösste positive verkettete Eingangsspannung (5) für ein zweites Einschaltintervall (16) in den Zwischenkreis geschaltet wird und im zweiten Abschnitt (18) der ersten Pulshalbperiode (14), welcher bis zu einem Ende (17) der ersten Pulshalbperiode (14) reicht, anfangs für ein erstes Einschaltintervall (19) die jeweils zweitgrösste positive verkettete Eingangsspannung (5) als Zwischenkreisspannung beibehalten wird und so der am Ende von Abschnitt (13) vorliegende Eingangsschaltzustand vorerst aufrecht erhalten bleibt und dann innerhalb des Restes, also eines zweiten Einschaltintervalls (20) des zweiten Abschnittes (18) der ersten Pulshalbperiode (14) die jeweils drittgrösste positive verkettete Eingangsspannung (6) in den Zwischenkreis geschaltet wird und

in der nächstfolgenden, mit dem Ende (17) der ersten Pulshalbperiode (14) beginnenden zweiten Pulshalbperiode 21 die Reihenfolge der Eingangsschaltzustände und damit der an den Zwischenkreis gelegten positiven verketteten Eingangsspannungen (4, 5, 6) umgekehrt wird, womit

im ersten Abschnitt (22) am Beginn der zweiten Pulshalbperiode (21) für ein erstes Einschaltintervall (23) die jeweils drittgrösste positive verkettete Eingangsspannung (6) als Zwischenkreisspannung verbleibt und darauf folgend für den Rest, also für ein zweites Einschaltintervall (24) des ersten Abschnittes (22) die jeweils zweitgrösste positive verkettete Eingangsspannung (5) als Zwischenkreisspannung vorliegt und dann

im zweiten Abschnitt (25) der zweiten Pulshalbperiode (21) anfangs für ein erstes Einschaltintervall (26) die zweitgrösste positive verkettete Eingangsspannung (5) beibehalten und darauf folgend für den Rest, also für ein zweites Einschaltintervall (27) des zweiten Abschnittes (25) und damit bis zum Ende 28 der zweiten Pulshalbperiode (21) die grösste positive verkettete Spannung (4) als Zwischenkreisspannung vorliegt, und so

– beim Wechsel vom ersten Abschnitt (13) auf den zweiten Abschnitt (18) der ersten Pulshalbperiode (14) und  
 – beim Wechsel vom ersten Abschnitt (22) auf den zweiten Abschnitt (25) der zweiten Pulshalbperiode (21) sowie  
 – beim Wechsel von der ersten Pulshalbperiode (14) auf die zweite Pulshalbperiode (21) keine Umschaltung der Eingangsstufe erforderlich ist und

– die Dauer des, am Ende des ersten Einschaltintervalls (15) und Anfang des zweiten Einschaltintervalls (16) des ersten Abschnittes (13) der ersten Pulshalbperiode (14) und

– die Dauer des, am Ende des ersten Einschaltintervalls (19) und Anfang des zweiten Einschaltintervalls (20) des zweiten Abschnittes (18) der ersten Pulshalbperiode (14) und

– die Dauer des, am Ende des ersten Einschaltintervalls (23) und Anfang des zweiten Einschaltintervalls (24) des ersten Abschnittes (22) der zweiten Pulshalbperiode (21) und

– die Dauer des, am Ende des ersten Einschaltintervalls (26) und Anfang des zweiten Einschaltintervalls (27) des zweiten Abschnittes (25) der zweiten Pulshalbperiode (21)

liegenden Freilaufzustandes der Ausgangsstufe auf die kleinstmögliche, für die sichere stromlose und damit schaltverlustfreie Umschaltung der Eingangsstufe zwischen dem ersten und dem zweiten Einschaltintervall (15,16) und (19, 20) und (23, 24) und (26, 27) erforderliche Sicherheitszeit beschränkt bleibt und demgemäss die Ausgangsstufe stets nahezu mit Vollaussteuerung betrieben wird,

wobei für alle in der ersten Pulshalbperiode (14) liegenden Einschaltintervalle (15, 16, 19, 20) und für alle in der zweiten Pulshalbperiode (21) liegenden Einschaltintervalle (23, 24, 26, 27) dieselben beiden aktiven Schaltzustände der Ausgangsstufe für die Ausgangsspannungsbildung herangezogen werden und dasselbe Verhältnis der relativen Einschalt Dauern dieser aktiven Schaltzustände eingestellt wird, welches Verhältnis durch das Grössenverhältnis von Sollwerten der Ausgangsphasenspannungsgrundschnitungen in einem Initialzeitpunkt (12), welcher gleich dem Beginn der durch die beiden Pulshalbperioden (14, 21) gebildeten Pulsperiode ist, und

die Amplitude der Grundschnitungen der gebildeten Ausgangsspannungen über das Verhältnis der Dauer des ersten Abschnittes und des zweiten Abschnittes einer der Pulshalbperioden eingestellt wird, wobei das Verhältnis der Dauer des ersten Abschnittes (13) und des zweiten Abschnittes (18) der ersten Pulshalbperiode (14) gleich dem Verhältnis der Dauer des zweiten Abschnittes (25) und der Dauer des ersten Abschnittes (22) der zweiten Pulshalbperiode (21) gewählt wird und ein sinusförmiger Verlauf der Eingangsphasenströme über

– das Verhältnis der Dauer des ersten Einschaltintervalls (15) und des zweiten Einschaltintervalls (16) der Eingangsstufe im ersten Abschnitt (13) der ersten Pulshalbperiode (14) und

– das Verhältnis der Dauer des ersten Einschaltintervalls (19) und des zweiten Einschaltintervalls (20) der Eingangsstufe im zweiten Abschnitt (18) der ersten Pulshalbperiode (14)

eingestellt wird,

wobei aufgrund der Spiegelsymmetrie des Verlaufs der Zwischenkreisspannung (29) um eine, durch das Ende (17) der ersten Pulshalbperiode (14) definierte, Mitte einer aus den beiden Pulshalbperioden (14, 21) gebildeten Pulsperiode

– das Verhältnis der Dauer des zweiten Einschaltintervalls (24) und des ersten Einschaltintervalls (23) der Eingangsstufe im ersten Abschnitt (22) der zweiten Pulshalbperiode (21)

– gleich dem Verhältnis der Dauer des ersten Einschaltintervalls (19) und des zweiten Einschaltintervalls (20) der Eingangsstufe im zweiten Abschnitt (18) der ersten Pulshalbperiode (14) gewählt wird

und weiters

– das Verhältnis der Dauer des zweiten Einschaltintervalls (27) und des ersten Einschaltintervalls (26) der Eingangsstufe im zweiten Abschnitt (25) der zweiten Pulshalbperiode (21)

– gleich dem Verhältnis der Dauer des ersten Einschaltintervalls (15) und des zweiten Einschaltintervalls (16) der Eingangsstufe im ersten Abschnitt (13) der ersten Pulshalbperiode (14) gewählt wird.

2. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dauer des Freilaufzustandes jeweils höher als die Sicherheitszeit gewählt wird und die dann innerhalb jedes Einschaltintervalls (15, 16, 19, 20, 23, 24, 26, 27) der Eingangsstufe verbleibende Zeit so zwischen den beiden aktiven Schaltzuständen der Ausgangsstufe aufgeteilt wird, dass das durch die Sinusform der Ausgangsspannungssollwerte geforderte Grössenverhältnis der Grundschnitungen der Ausgangsphasenspannungen resultiert, wobei deren Amplitude durch die relative Dauer des Freilaufzustandes eingestellt wird.

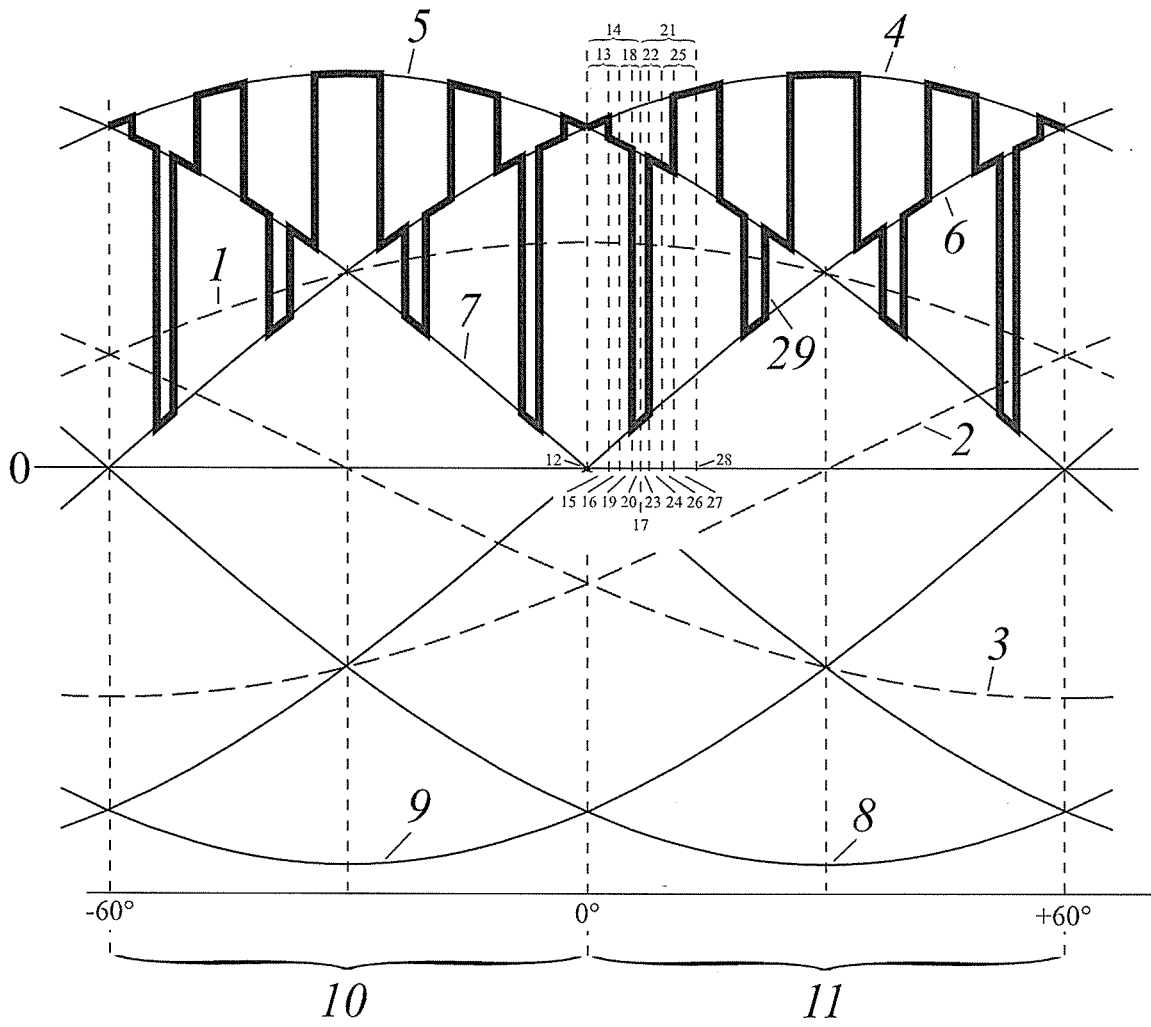


Fig. 1