



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **697 436 B1**

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

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 00542/04

(22) Anmeldedatum: 30.03.2004

(24) Patent erteilt: 15.10.2008

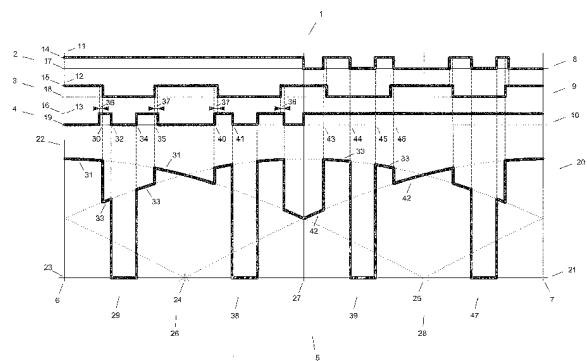
(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.10.2008

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

(72) Erfinder:  
Johann W. Kolar, 8044 Zürich (CH)  
Thomas Nussbaumer, 8055 Zürich (CH)

(54) **Verfahren zur Ansteuerung eines dreiphasigen Dreischalter-Pulsgleichrichtersystems.**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ansteuerung eines unidirektionalen dreiphasigen Dreischalter-Pulsgleichrichtersystems mit Tiefsetzstellercharakteristik des Eingangsteiles und eingepprägtem Ausgangsstrom. In an sich bekannter Weise wird in 60°el. breiten, symmetrisch um die Maxima der Phasenspannungen liegenden Klemmintervallen (26, 28) der Steuerschalter der zugeordneten Phase durchgeschaltet. Die Ansteuerung der beiden anderen Phasen erfolgt derart, dass sich mit Ausnahme von Sicherheitsintervallen (36, 37) stets nur zwei Steuerschalter im durchgeschalteten Zustand befinden. Die Schaltzustandsfolge wird so gewählt, dass innerhalb jedes 120°el. breiten Ausschnittes der Netzperiode in der ersten Hälfte (29) von Klemmintervall (26) und in der zweiten Hälfte (47) des nächstfolgenden Klemmintervalls (28) innerhalb jeder zweiten Pulshalbperiode die Ausgangsspannung (20) einen stufenförmig monoton abnehmenden und in den dazwischenliegenden Pulshalbperioden einen stufenförmig monoton zunehmenden Verlauf zeigt. Weiters wird innerhalb der zweiten Hälfte (38) eines Klemmintervalls (26) und in der ersten Hälfte (39) des nächstfolgenden Klemmintervalls (28) die Sequenz der aktiven Schaltzustände am Beginn und Ende jeder Pulsperiode gegenüber der sonst im Klemmintervall vorliegenden Abfolge umgekehrt. Hierdurch kann in jeweils nur zwei Phasen ein Eingangsstrom auftreten und es wird in der Mitte der Klemmintervalle ein kontinuierlicher Verlauf des Pulsmusters bzw. der Eingangsphasenstrompulse sichergestellt und damit eine Anregung des Eingangsfilters bzw. eine Verzerrung des Netzstromes vermieden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ansteuerung eines dreiphasigen Dreischalter-Pulsgleichrichtersystems mit Tiefsetzstellercharakteristik des Eingangsteiles und eingepprägtem Ausgangsstrom, welches den, abhängig von den Grössenverhältnissen der zur Bildung der Ausgangsspannung herangezogenen verketteten Eingangsspannungen vorzunehmenden Wechsel aktiver Schaltzustände ohne Verzerrung des Netzstromes oder Anregung des Eingangsfilters sicherstellt, wie es im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 beschrieben ist.

## Stand der Technik

**[0002]** Nach dem derzeitigen Stand der Technik werden unidirektionale Dreiphasen-Pulsgleichrichtersysteme mit eingepprägtem Ausgangsstrom durch eine Drehstrom-Diodenbrücke realisiert, deren Brückenarme durch Einfügen eines elektronischen Schalters und zweier Dioden steuerbar ausgeführt sind. Durch Sperren des Steuerschalters kann dann ein Stromfluss über den entsprechenden Brückenarm unterbunden werden, im durchgeschalteten Zustand des Steuerschalters weist der Brückenarm idente Eigenschaften wie der Brückenarm einer konventionellen Diodenbrücke auf.

**[0003]** Eine derartige Vorrichtung wird in der WO 01/50 583 A1 beschrieben. Die Stromeinprägung erfolgt hierbei durch eine Induktivität am Ausgang der Brückenschaltung, die anliegende dreiphasige Netzspannung wird am Eingang durch eine Stern- oder Dreieckschaltung von Filterkondensatoren gestützt.

**[0004]** Bei Durchschalten der Steuerschalter von zwei Phasen tritt die verkettete Spannung zwischen diesen Phasen mit positivem Vorzeichen am Ausgang der Brückenschaltung auf. Weiters wird der Strom in der Ausgangsinduktivität nun über die das höhere Potential aufweisende Phase zugeführt und schliesst sich über die andere Phase in das Netz. Derartige, durch Auftreten eines Eingangstromes und einer Ausgangsspannung ungleich Null gekennzeichnete Schaltzustände werden als aktive Schaltzustände bezeichnet. Wird einer der beiden Steuerschalter ausgeschaltet, kommutiert der eingepprägte Ausgangsstrom in eine, zwischen negativer und positiver Ausgangsspannungsschiene der ursprünglichen Diodenbrücke angeordnete Freilaufdiode, die Ausgangsspannung weist dann den Wert Null auf und es tritt kein Eingangstrom auf. Dieser Schaltzustand wird als Freilauf bezeichnet. Durch entsprechende Wahl der relativen Einschaltzeit der aktiven Schaltzustände kann somit die mittlere Ausgangsspannung vorgegeben werden, wobei durch die verketteten Netzspannungen eine Begrenzung nach oben gegeben ist; entsprechend weist das System Tiefsetzstellercharakteristik auf. Eine Anhebung der Spannung ist durch eine nachgeordnete, die Ausgangsinduktivität integrierende Hochsetzstellerstufe möglich. Die eingangsseitigen Filterkondensatoren bilden mit explizit vorgeschalteten Induktivitäten und der inneren Netzinduktivität ein Eingangsfiler, welches schaltfrequente Oberschwingungen der schaltfrequent diskontinuierlichen Eingangsphasenströme der Diodenbrücke unterdrückt. Um nach Filterung sinusförmige, in Phase mit der Netzspannung liegende Ströme zu erhalten, sind innerhalb jeder Pulsperiode zwei aktive Schaltzustände entsprechender relativer Einschaltzeit und ein Freilaufzustand für die Bildung der Ausgangsspannung heranzuziehen. Um die Zahl von Umschaltungen zu minimieren, wird dann stets der Steuerschalter, der den höchsten Betrag der Spannung aufweisende Phase im durchgeschalteten Zustand belassen, d.h. kontinuierlich in symmetrisch um die Maxima der Eingangsphasenspannungen liegenden,  $60^\circ$ el. breiten Intervallen durchgeschaltet (geklemmt) und die Regelung der Ausgangsspannung und die sinusförmige Führung der Netzströme durch Taktung der beiden anderen Phasen erreicht.

**[0005]** Allerdings zeigt eine praktische Realisierung eines derartigen Systems, dass durch den Stand der Technik die Steuerung des Systems nicht eindeutig definiert ist und trotz Klemmung einer Phase nicht notwendigerweise minimale Schaltverluste resultieren. Weiters tritt, falls in der üblichen Weise anfangs sämtliche Steuerschalter durchgeschaltet und nach Verstreichen der relativen Einschaltzeit des ersten aktiven Schaltzustandes der Steuerschalter einer Phase und nach der folgenden Einschaltzeit des zweiten aktiven Schaltzustandes der Steuerschalter einer weiteren Phase abgeschaltet wird, in der Mitte der  $60^\circ$  breiten Klemmintervalle, also in jenem Bereich, wo die beiden innerhalb der aktiven Schaltzustände zur Bildung der Ausgangsspannung herangezogenen verketteten Eingangsspannungen denselben Wert zeigen, für mehrere Pulsperioden eine Verzerrung der Netzphasenströme und eine Anregung des Eingangsfilters zu parasitären Schwingungen auf.

## Detaillierte Darstellung der Erfindung

**[0006]** Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Ansteuerung eines Dreiphasen-Pulsgleichrichtersystems mit Tiefsetzstellercharakteristik des Eingangsteiles zu schaffen, welches die Abweichungen der Netzphasenströme von der Sinusform in Bereichen, in denen zwei verkettete Eingangsspannungen näherungsweise gleichen Wert aufweisen, bei möglichst geringen Schaltverlusten minimiert.

**[0007]** Erfindungsgemäss wird dies durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruches 1 erreicht.

**[0008]** Grundgedanke der Erfindung ist, die Schaltsequenz so zu ändern, dass sich während des aktiven Teiles einer Pulshalbperiode im Wesentlichen nur stets zwei und nicht wie für den Stand der Technik anfangs drei Steuerschalter im durchgeschalteten Zustand befinden, wobei in an sich bekannter Weise der Steuerschalter jener Phase, welche den höchsten Betrag des Momentanwertes aufweist, kontinuierlich durchgeschaltet verbleibt, also bei symmetrischem Netz eine Einschaltzeit (ein Klemmintervall) von  $60^\circ$  aufweist, womit nach wie vor eine einfache Realisierbarkeit der Steuervorrichtung sichergestellt ist.

**[0009]** Einzig kurz vor dem Abschalten des Steuerschalters der ersten Phase (im Weiteren als erster Steuerschalter bezeichnet), welche gemeinsam mit der geklemmten dritten Phase den ersten aktiven Schaltzustand bildet, wird der noch offene zweite Steuerschalter der zweiten Phase durchgeschaltet und für die Dauer des zweiten aktiven Schaltzustandes im durchgeschalteten Zustand belassen. Nach Abschalten des zweiten Steuerschalters befindet sich nur mehr der dritte Steuerschalter der geklemmten Phase im durchgeschalteten Zustand. Bei Abschalten des ersten Steuerschalters verbleibt dann die Freilaufdiode aufgrund der anliegenden Sperrspannung in Höhe des Betrages der Aussenleiterspannung zwischen zweiter und dritter Phase gesperrt und es findet ein direkter Stromübergang zwischen erster und zweiter Phase statt, wobei für die Schaltverluste nur die Spannungsdifferenz zwischen den Phasen massgebend ist. Demgegenüber würde bei Durchschalten des zweiten Steuerschalters erst nach Abschalten des ersten Steuerschalters der eingeprägte Ausgangsstrom vorerst in die Freilaufdiode übergehen und dann auf die zweite Phase zurückkommutiert, womit erheblich höhere Schaltverluste resultieren würden.

**[0010]** Diesem Grundgedanken folgend werden weiters die aktiven Schaltzustände innerhalb jeder Pulshalbperiode so geordnet, dass die am Ausgang des Gleichrichters aufeinanderfolgend auftretenden Spannungen, also der Betrag der verketteten Spannung zwischen der ersten und der geklemmten dritten Phase, der Betrag der verketteten Spannung zwischen der zweiten und der geklemmten dritten Phase und Spannung Null für Freilauf, einen monoton stufenförmig abnehmenden und in jeder zweiten Pulshalbperiode einen monoton stufenförmig zunehmenden Verlauf zeigen, wobei jene Phase als erste Phase gewählt wird, welche gegen die dritte Phase den höchsten Betrag des Momentanwertes der verketteten Spannung zeigt und die zweite Phase gegenüber der dritten Phase den zweithöchsten Betrag des Momentanwertes der verketteten Spannungen aufweist. Somit sind minimale Schaltverluste sichergestellt, da jeweils nur der Betrag der Differenz zur nächstfolgenden Spannung, nicht jedoch stets die volle Spannung geschaltet wird.

**[0011]** Da sich nun mit Ausnahme der sehr kurzen Überlappung des ersten und zweiten aktiven Schaltzustandes jeweils nur zwei Steuerschalter im durchgeschalteten Zustand befinden, ist der Stromfluss am Eingang des Systems klar definiert und stets auf zwei Phasen beschränkt, der Eingangsstrom zeigt somit nach Filterung schaltfrequenter Oberschwingungen auch in der Umgebung der Mitte der Klemmintervalle einen sinusförmigen Verlauf.

**[0012]** Demgegenüber steht bei dem Stand der Technik entsprechender Steuerung in jenem Teil der Pulshalbperiode, in dem alle drei Steuerschalter geschlossen sind, grundsätzlich auch die dritte Phase für eine Stromführung zur Verfügung. Dies führt dazu, dass in der Umgebung der Maxima der Phasenspannungen in der die beiden im ersten und zweiten aktiven Schaltzustand die Ausgangsspannung bildenden verketteten Spannungen näherungsweise gleichen Wert zeigen, die im zweiten aktiven Schaltzustand stromführende zweite Phase auch bereits während der Einschaltdauer des ersten aktiven Schaltzustandes bzw. des ersten Steuerschalters Strom übernimmt. Dies deshalb, da die Spannungen am Eingang des Gleichrichters nur durch Filterkondensatoren eingepreßt sind, welche, um die Belastung des Netzes mit Blindleistung gering zu halten, einen relativ geringen Kapazitätswert aufweisen, womit ein relativ hoher schaltfrequenter Rippel der Kondensatorspannungen resultiert. Sinkt die verkettete Spannung des ersten aktiven Schaltzustandes nun so weit ab, dass die im zweiten aktiven Schaltzustand verwendete verkettete Spannung erreicht wird, teilt sich der durch die Ausgangsinduktivität eingepreßte und über die geklemmte dritte Phase in das Netz zurückfliessende Strom auf die Filterkondensatoren der beiden anderen Phasen auf, was eine Abweichung des nach Filterung resultierenden Stromes von der Sinusform zur Folge hat. Eine derartige Abweichung wird durch die erfindungsgemässe Steuerung vermieden, wobei die geringfügig höhere Komplexität des Pulsmusters bei digitaler Generierung der Steuerbefehle einfach umsetzbar ist und somit keinen Nachteil darstellt.

**[0013]** Eine hinsichtlich weiterer Minimierung der Stromverzerrung vorteilhafte Weiterbildung des Steuerverfahrens nach Anspruch 1 beschreibt der Patentanspruch 2.

**[0014]** Werden die in einer Pulsperiode verwendeten beiden aktiven Schaltzustände und der Freilaufzustand gemäss Anspruch 1 so geordnet, dass die am Ausgang auftretenden Ausschnitte der Beträge der verketteten Eingangsspannungen in jeder Pulsperiode innerhalb der ersten Pulshalbperiode einen monoton stufenförmig abnehmenden und innerhalb der zweiten Pulshalbperiode einen monoton stufenförmig zunehmenden Verlauf zeigen, wobei der Freilaufzustand am Ende der ersten und am Beginn der zweiten Pulshalbperiode eingenommen wird, resultieren minimale Schaltverluste des Gleichrichtersystems. Da für die aktiven Schaltzustände im Wesentlichen stets nur zwei Steuerschalter geschlossen sind, zeigt der Netzstrom Sinusform, allerdings tritt bei geringer Dämpfung des Eingangsfilters, also z.B. bei hoher innerer Netzinduktivität oder bei Systemen hoher Leistung in der Mitte der Klemmintervalle eine parasitäre Schwingung des Eingangsfilters auf, welche auch im Netzstrom deutlich wird.

**[0015]** Erfindungsgemäss kann diese Schwingung dadurch vermieden werden, dass innerhalb eines zwei Klemmintervalle umfassenden  $120^\circ$  el. breiten Ausschnittes der Netzperiode in der zweiten Hälfte des ersten Klemmintervalls, also ab dem Zeitpunkt, in dem die zugehörige Phasenspannung das Maximum erreicht, bis zum Ende des Klemmintervalls und innerhalb der ersten Hälfte des nächstfolgenden zweiten Klemmintervalls, also von Beginn des folgenden Klemmintervalls bis zur Mitte des folgenden Klemmintervalls, in dem die zugehörige Phasenspannung ein Maximum annimmt, insgesamt also für  $60^\circ$  el. die Steuerung des Gleichrichtersystems derart erfolgt, dass die Sequenz der aktiven Schaltzustände am Beginn und Ende jeder Pulsperiode umgekehrt wird, die Pulsperiode, in deren Mitte nach wie vor der Freilaufzustand liegt, also mit dem ursprünglich zweiten aktiven Schaltzustand beginnt und mit dem ursprünglich ersten aktiven Schaltzustand fortgesetzt wird bzw. mit dem ursprünglich zweiten Schaltzustand endet und diesem Schaltzustand der ursprünglich erste

aktive Schaltzustand vorgeordnet ist. Die Steuerung in den übrigen Teilen des  $120^\circ\text{el.}$  breiten Abschnitts bleibt unverändert wie für Anspruch 1. Die gesamte Netzperiode umfasst dann drei derartige  $120^\circ\text{el.}$  breite Abschnitte. Wie eine nähere Analyse zeigt, wird hierdurch in der Mitte der Klemmintervalle ein kontinuierlicher Verlauf des Pulsamplitudenbetrags bzw. der Eingangsstrompulse der Phasen sichergestellt und damit eine Anregung des Eingangsfilters vermieden.

**[0016]** Dies erklärt sich wie folgt: Innerhalb jedes Klemmintervalls wird die Ausgangsspannung durch zwei verkettete Spannungen (und den Freilaufzustand) gebildet. Die innerhalb der ersten Hälfte des Klemmbereiches dem ersten und zweiten aktiven Schaltzustand zugeordneten verketteten Spannungen seien im Weiteren als erste und zweite verkettete Spannung bezeichnet. In der Mitte des Klemmbereiches kehren sich die Grössenverhältnisse von erster und zweiter verketteter Spannung um, für die Steuerung nach Anspruch 1 wird somit die zweite verkettete Spannung am Anfang und Ende und die erste verkettete Spannung vor und nach dem Freilaufintervall einer Pulshalbperiode zur Spannungsbildung verwendet. Durch diesen Wechsel resultiert in der Mitte des Klemmbereiches eine Unstetigkeit des Eingangsstrompulsamplitudenbetrags des Systems, welche zu einer Anregung des Eingangsfilters führt.

**[0017]** Für Steuerung nach Anspruch 2 wird ab der Mitte des Klemmbereiches der zweite aktive Schaltzustand, welcher definitionsgemäss den geringeren Ausgangsspannungswert zeigt, an den Beginn und an das Ende eines Pulsintervalls gesetzt, womit die erste verkettete Spannung auch in der zweiten Hälfte des Klemmbereiches am Anfang und Ende jedes Pulsintervalls zu liegen kommt und ein kontinuierlicher Verlauf der Ansteuersequenz bzw. ein stetiges Eingangsstrompulsamplitudenmuster erreicht und eine Anregung des Eingangsfilters vermieden wird. Hierbei ist eine geringfügige Erhöhung der Schaltverluste des Systems gegenüber Anspruch 1 in Kauf zu nehmen.

**[0018]** Grundsätzlich kann der oben beschriebene Tausch des Steuerverfahrens wie vorgehend beschrieben in einem  $60^\circ\text{el.}$  breiten, symmetrisch um die Mitte des  $120^\circ\text{el.}$  breiten Intervalls oder innerhalb  $30^\circ\text{el.}$  breiter Abschnitte an Anfang und Ende des  $120^\circ\text{el.}$  breiten Intervalls vorgenommen werden. Hinsichtlich einer Vermeidung der Anregung des Eingangsfilters und des Realisierungsaufwands sind beide Verfahren gleichwertig, weshalb eine nähere Beschreibung entfallen kann.

**[0019]** Der Anfang oder die Mitte einer Pulsperiode wird im Allgemeinen nicht mit dem Anfang, der Mitte oder dem Ende eines Klemmbereiches zusammenfallen. In diesem Fall wird das vor dem Anfang begonnene Pulshalbintervall noch fertig ausgeführt und erst in der darauffolgenden Pulshalbperiode auf das neue Pulsamplitudenmuster gewechselt, wobei eine sinn-gemäss gleiche Fortsetzung erfolgt, d.h. an einen Freilaufzustand des vorhergehenden Halbintervalls ein Freilaufzustand im Folgehalbintervall und an einen aktiven Schaltzustand im vorhergehenden Halbintervall ein aktiver Schaltzustand im nächstfolgenden Halbintervall anschliesst.

### Aufzählung der Zeichnungen

**[0020]** Die Erfindung wird im Weiteren anhand von Zeichnungen näher erläutert.

**[0021]** In Fig. 1 sind die für Patentanspruch 2 resultierenden Ansteuerbefehle der Leistungstransistoren und der zugehörige Verlauf der, aus Ausschnitten der jeweils grössten und zweitgrössten verketteten Spannung gebildeten Ausgangsspannung gezeigt, wobei im Sinne der Übersichtlichkeit das bei realen Systemen vorzusehende, aus Eingangskapazitäten und Vorschaltinduktivitäten gebildete Eingangsfiler weggelassen ist, die dreiphasig symmetrischen Netzphasenspannungen also direkt am Eingang des Systems liegend angenommen werden und die Pulsfrequenz gleich der zwölffachen Netzfrequenz und damit wesentlich geringer als für eine typische praktische Realisierung gewählt wird.

### Ausführung der Erfindung

**[0022]** In Fig. 1 sind die Verläufe 1 der Ansteuersignale 2, 3, 4 der Steuerschalter der Phasen eines Dreiphasen-Puls-gleichrichtersystems mit Tiefsetzstellercharakteristik des Eingangsteiles für einen  $120^\circ\text{el.}$  breiten Ausschnitt 5 mit Beginn 6 und Ende 7 der insgesamt  $360^\circ\text{el.}$  umfassenden, aus drei derartigen Intervallen gebildeten Netzperiode gezeigt, wobei jeweils auf horizontalen Achsen 8, 9, 10 die Position (entsprechend der mit der Winkelgeschwindigkeit multiplizierten Zeit) innerhalb der Netzperiode und auf den vertikalen Achsen 11, 12, 13 der digitale Ansteuerpegel abgetragen ist, wobei ein Ansteuerpegel 14, 15, 16 von Eins den Einschaltzustand und ein Ansteuerpegel 17, 18, 19 von Null den Ausschaltzustand des zugeordneten Steuerschalters kennzeichnet. Die Steuerung für den Rest der Netzperiode folgt durch sinn-gemässe Fortsetzung der für Ausschnitt 5 beschriebenen Steuerung.

**[0023]** Ein dreiphasiges unidirektionales Dreischalter-Gleichrichtersystem mit Tiefsetzstellercharakteristik wird je Phase in bekannter Weise durch je einen abschaltbaren elektronischen Steuerschalter und eine Anordnung von Dioden gebildet und weist eine positive und eine negative Ausgangsklemme auf, wobei die nachfolgenden stromeinprägenden Komponenten oder Systeme durch eine, einen Stromfluss von der positiven zur negativen Klemme einprägende Stromquelle ersetzt gedacht werden können. Weiters ist von der negativen Ausgangsklemme ausgehend in Flussrichtung eine Freilaufdiode gegen die positive Ausgangsklemme angeordnet. Am Eingang des Gleichrichtersystems liegen Phasenspannungen, welche durch eine Sternschaltung von Spannungsquellen eingepreßt gedacht werden können. Die zugeordneten Spannungen bilden ideal ein symmetrisches Dreiphasensystem, weisen also gleiche Amplitude und eine Phasenverschiebung von jeweils  $120^\circ\text{el.}$  auf. Durch Durchschalten der Steuerschalter von zwei Phasen tritt der Betrag der zwischen diesen Phasen liegenden Aussenleiterspannung als Ausgangsspannung zwischen der positiven und der negativen Ausgangsklemme auf. Dies wird im, dem Verlauf 1 der Ansteuersignale 2, 3, 4, zugeordneten Verlauf 20 der Ausgangsspannung deutlich, für

welchen wieder auf einer horizontalen Achse 21 die Position innerhalb der Netzperiode und auf einer vertikalen Achse 22 der Spannungsmomentanwert mit Wert Null im Schnittpunkt 23 beider Achsen abgetragen ist.

**[0024]** Die zyklisch mit  $120^\circ$  Phasenversetzung aufeinanderfolgenden Phasen werden im Folgenden als erste Phase, zweite Phase und dritte Phase bezeichnet und gegen den Sternpunkt der Spannungsquellen positiv gezählt. Weiters wird angenommen, dass die erste Phasenspannung  $30^\circ$ el. nach Beginn 6 des Ausschnittes 5 in Punkt 24 einen positiven Maximalwert und die dritte Phasenspannung  $30^\circ$ el. vor dem Ende 7 des Ausschnittes 5 in Punkt 25 einen negativen Maximalwert erreicht. Wird das Ansteuersignal 2 der ersten Phase, das Ansteuersignal 3 der zweiten Phase und das Ansteuersignal 4 der dritten Phase zugeordnet, verbleibt dann bei dem Stand der Technik entsprechender Steuerung der Steuerschalter der ersten Phase innerhalb der ersten,  $60^\circ$ el. breiten Hälfte 26 des Ausschnittes 5, also von Beginn 6 bis zur Mitte 27, und der Steuerschalter der dritten Phase in der zweiten, wieder  $60^\circ$ el. Breiten Hälfte 28, also ab der Mitte 27 bis zum Ende 7 des Ausschnittes 5 kontinuierlich eingeschaltet. Entsprechend zeigt das Ansteuersignal 2 in der ersten Hälfte 26 und das Ansteuersignal 4 in der zweiten Hälfte 28 von Ausschnitt 5 den Wert Eins. Die Hälften 26 und 28 von Ausschnitt 5 werden im Weiteren kurz auch als Klemmintervalle 26, 28 der ersten und der dritten Phase bezeichnet.

**[0025]** Erfindungsgemäss erfolgt die Taktung der beiden jeweils nicht geklemmten Phasen nun so, dass in der ersten Hälfte 29 des Klemmbereiches 26, also zwischen Position 6 und Position 24, am Beginn einer Pulsperiode (welche im vorliegenden Fall aufgrund der gleich der zwölffachen Netzfrequenz gewählten Taktfrequenz die gesamte erste Hälfte 29 des Klemmintervalls 26 einnimmt, also in Position 6 beginnt und in Position 24 endet) bis zur Position 30, die im betrachteten Pulsintervall den grössten Momentanwert aufweisende verkettete Eingangsspannung, im vorliegenden Fall die Spannung 31 zwischen Phase 1 und 2, als Ausgangsspannung 20 auftritt und darauffolgend bis zur Position 32 die im betrachteten Pulsintervall zweitgrösste verkettete Spannung, im vorliegenden Fall die Spannung 33 zwischen Phase 1 und 3, an den Ausgang geschaltet wird und darauffolgend ein Freilaufzustand angenommen wird, für den die ausgangsseitige Freilaufdiode den eingepprägten Ausgangsstrom übernimmt und die Ausgangsspannung 20 den Wert Null zeigt. Der um die Mitte des Pulsintervalls liegende Freilaufzustand wird in Position 34 beendet und nachfolgend, in Umkehrung der Schaltfolge der ersten Hälfte des Pulsintervalls bis zur Position 35 wieder die zweitgrösste verkettete Spannung 33 und darauffolgend bis zum Ende des Pulsintervalls die grösste verkettete Spannung 31 angelegt.

**[0026]** Für das Durchschalten der grössten verketteten Spannung 31 an den Ausgang wird dabei (neben dem geklemmten Steuerschalter der ersten Phase) der Steuerschalter der zweiten Phase eingeschaltet, also das Ansteuersignal 3 zwischen Position 6 und Position 30 und zwischen Position 35 und Position 24 auf den Wert Eins gelegt und weist sonst den Wert Null auf. Das Durchschalten der zweitgrössten verketteten Spannung 33 an den Ausgang erfolgt grundsätzlich durch Einschalten des dritten Steuerschalters (neben dem geklemmten Steuerschalter der ersten Phase), entsprechend weist das Ansteuersignal 4 zwischen Position 30 und Position 32 und zwischen Position 34 und Position 35 den Wert Eins auf. Innerhalb des Freilaufzustandes, also zwischen Position 32 und 34 verbleibt nur der Steuerschalter der geklemmten Phase im durchgeschalteten Zustand.

**[0027]** Der Übergang von der grössten zur zweitgrössten verketteten Spannung am Ausgang wird durch den Wechsel des Ansteuersignals 3 von Eins auf Null in Position 30 ausgelöst. Um einen direkten Stromübergang auf die nachfolgend leitende Phase 3 zu ermöglichen und einen zwischenzeitlichen Übergang in einen Freilaufzustand zu verhindern, welcher zu einer Erhöhung der Schaltverluste führen würde, wird deren Steuerschalter bereits ein Sicherheitsintervall 36 vor Position 30 eingeschaltet. Auch der Übergang von der zweitgrössten auf die grösste verkettete Spannung am Ausgang in Position 35 wird durch den Zustandswechsel von Ansteuersignal 3 (von Null auf Eins) bestimmt. Mit Rücksicht auf Schaltzeiten verbleibt hier, um eine direkte Rückgabe des Stromes von Phase 3 auf Phase 2 sicherzustellen der Steuerschalter von Phase 3 wieder um ein Sicherheitsintervall 37 über die Position 35 hinaus im durchgeschalteten Zustand. Mit Ausnahme der Sicherheitsintervalle 36 und 37 weisen also in einer Pulsperiode in der ersten Hälfte 29 des Klemmintervalls 26 jeweils nur zwei Ansteuersignale 2,3, oder 2,4 gleichzeitig den Wert Eins auf.

**[0028]** Die Einschaltzeiten der einzelnen Schaltzustände bzw. die Breiten der am Ausgang auftretenden Ausschnitte der verketteten Spannungen werden in an sich bekannter Weise so gewählt, dass die Ausgangsspannung 20 den geforderten Mittelwert aufweist und die nach Filterung schaltfrequenter Oberschwingungen verbleibenden Netzströme sinusförmigen Verlauf zeigen. Eine Verzerrung der Eingangsströme durch Aufteilung des Stromflusses zwischen zwei Phasen wird dadurch vermieden, da sich mit Ausnahme der Sicherheitsintervalle 36, 37 stets nur zwei Steuerschalter im eingeschalteten Zustand befinden und der Eingangsstrom der Phasen somit eindeutig definiert ist. Durch den Verlauf der Ausgangsspannung 20 in Hälfte 29 wird deutlich, dass für die beschriebene Steuerung minimale Schaltverluste erreicht werden, da stets nur die Differenz zum nächstfolgenden Spannungspegel geschaltet und die zu schaltende Spannung so stufenweise verringert oder erhöht wird.

**[0029]** Innerhalb der zweiten Hälfte 38 des Klemmintervalls 26 und innerhalb der nachfolgenden ersten Hälfte 39 des Klemmintervalls 28 wird erfindungsgemäss die Sequenz der aktiven Schaltzustände gegenüber der ersten Hälfte 29 von Klemmintervall 26 umgekehrt, am Beginn einer Pulsperiode in Hälfte 38 also die dann einen kleineren Betrag als die verkettete Spannung 33 aufweisende verkettete Spannung 31 bis zur Position 40 an den Ausgang geschaltet und darauffolgend bis zum Beginn 41 des wieder um die Mitte des Pulsintervalls liegenden Freilaufzustandes die verkettete Spannung 33 an den Ausgang geschaltet. Analog wird in Hälfte 39 am Beginn einer Pulsperiode die den zweitgrössten Betrag 42 aufweisende verkettete Spannung zwischen zweiter und geklemmter dritter Phase bis zur Position 43 angelegt und darauffolgend auf die grösste verkettete Spannung, im vorliegenden Fall die Spannung 33 zwischen erster und dritter Phase

gewechselt, bis in Position 44 wieder in den um die Mitte des Pulsintervalls liegenden Freilauf geschaltet wird, und nach dem Ende 45 des Freilaufs in Umkehrung der Schaltsequenz der ersten Pulshalbperiode bis Position 46 wieder die verkettete Spannung 33 und darauffolgend bis zum Ende der Pulsperiode wieder die verkettete Spannung 42 an den Ausgang geschaltet wird. Um auch unter Berücksichtigung von Schaltzeiten eine direkte Stromübergabe zwischen den Phasen sicherzustellen, wird hierbei wieder das Abschalten des Steuerschalters der gemeinsam mit der geklemmten Phase die zweitgrösste verkettete Spannung bildenden Phase gegenüber dem Einschalten des Steuerschalters der gemeinsam mit der geklemmten Phase die grösste verkettete Spannung bildenden Phase um ein Sicherheitsintervall 37 verzögert und das Einschalten des Steuerschalters der gemeinsam mit der geklemmten Phase die zweitgrösste verkettete Spannung bildenden Phase gegenüber dem Ausschalten des Steuerschalters der gemeinsam mit der geklemmten Phase die grösste verkettete Spannung bildenden Phase um ein Sicherheitsintervall 36 voreilend vorgenommen.

**[0030]** In der zweiten Hälfte 47 von Klemmintervall 28 erfolgt die Steuerung sinngemäss gleich wie für die erste Hälfte des Klemmbereiches 26, es tritt also wieder am Beginn einer Pulsperiode die grösste verkettete Spannung am Ausgang auf, gefolgt von der zweitgrössten verketteten Spannung und einem darauffolgenden Freilaufzustand, wobei diese Spannungsabfolge für die folgende Pulshalbperiode umgekehrt wird.

**[0031]** Entsprechend der Symmetrie der Ansteuersignale 2, 3, 4 um die Mitte 24 des Klemmintervalls 26 und die Mitte 25 des Klemmintervalls 28 resultiert ein symmetrischer Verlauf der pulsförmigen Eingangsphasenströme des Gleichrichtersystems um die Intervallmitten 24 und 25, womit die für den Stand der Technik auftretende Anregung des bei praktischer Realisierung vorzusehenden Eingangsfilters durch eine sprungförmige Änderung des Strompulsformats vermieden wird und die Eingangsströme nach Filterung einen rein sinusförmigen Verlauf zeigen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Ansteuerung eines unidirektionalen dreiphasigen Dreischalter-Pulsleichrichtersystems mit drei abschaltbaren elektronischen Steuerschaltern und Tiefsetzstellercharakteristik und eingepprägtem Ausgangsstrom dadurch gekennzeichnet, dass in  $60^\circ$ el. breiten, symmetrisch um die Maxima der Phasenspannungen liegenden Klemmintervallen jeweils der Steuerschalter der ein Maximum aufweisenden Phase im eingeschalteten Zustand geklemmt verbleibt und innerhalb jeder Pulshalbperiode die Ausgangsspannung durch einen Ausschnitt der lokal den höchsten Betrag aufweisenden ersten verketteten Spannung, welche als Differenz einer ersten Phase gegenüber der geklemmten dritten Phase gebildet wird, einen Ausschnitt der den zweithöchsten Wert aufweisenden zweiten verketteten Spannung, welche als Differenz einer zweiten Phase gegenüber der geklemmten dritten Phase gebildet wird, und Spannung Null, also Freilauf gebildet wird, für welchen sich nur der Steuerschalter der geklemmten Phase im eingeschalteten Zustand befindet, wobei für das Durchschalten einer verketteten Spannung an den Ausgang ausser in Sicherheitsintervallen (36, 37) neben dem im Einschaltzustand geklemmten Steuerschalter nur ein weiterer Steuerschalter eingeschaltet wird und der Ausschnitt der ersten verketteten Spannung als am Anfang und Ende einer im zeitlichen Ablauf durch eine erste und eine zweite Pulshalbperiode gebildeten Pulsperiode liegend gewählt wird, und innerhalb der ersten Pulshalbperiode auf den Ausschnitt der ersten verketteten Spannung am Ausgang unmittelbar die zweite verkettete Spannung folgt und innerhalb der zweiten Pulshalbperiode der Ausschnitt der zweiten verketteten Spannung am Ausgang unmittelbar vor dem Ausschnitt der ersten verketteten Spannung liegt und am Ende der ersten Pulshalbperiode und am Anfang der zweiten Pulshalbperiode der Freilaufzustand angenommen wird, womit die am Ausgang eines Gleichrichters auftretende Spannung innerhalb der ersten Pulshalbperiode einen monoton stufenförmig fallenden und innerhalb der zweiten Pulshalbperiode einen monoton stufenförmig steigenden Verlauf zeigt und, um einen direkten Übergang des eingepprägten Ausgangsstromes auf eine nachfolgend leitende Eingangsphase zu ermöglichen, innerhalb der ersten Pulshalbperiode der Steuerschalter der zweiten Phase bereits ein Sicherheitsintervall (36) vor dem Abschalten der ersten Phase eingeschaltet wird und weiters innerhalb der zweiten Pulshalbperiode ein Abschalten des Steuerschalters der zweiten Phase erst ein Sicherheitsintervall (37) nach dem Durchschalten der ersten Phase erfolgt, wobei relative Einschaltedauern der Ausschnitte der ersten und zweiten verketteten Spannung und des Freilaufzustandes so gewählt werden, dass ein gewünschter Mittelwert der Ausgangsspannung resultiert und der eingepprägte Ausgangsstrom so in Eingangstrompulse aufgeteilt wird, dass nach Filterung schaltfrequenter Oberschwingungen ein sinusförmiger Verlauf resultiert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb jedes, zwei Klemmintervalle umfassenden  $120^\circ$ el. breiten Ausschnittes (5) mit Beginn (6) und Ende (7) einer Netzperiode in der zweiten Hälfte (38) des ersten Klemmintervalls (26), also ab dem Zeitpunkt (24) in dem die zugehörige Phasenspannung das Maximum erreicht bis zum Ende (27) des ersten Klemmintervalls (26) und innerhalb der ersten Hälfte (39) des nächstfolgenden zweiten Klemmintervalls (28), also von Beginn (27) des folgenden Klemmintervalls (28) bis zur Mitte (25) des folgenden Klemmintervalls (28), oder, in der ersten Hälfte (29) des ersten Klemmintervalls (26), also ab dem Zeitpunkt (6) bis zur Mitte (24) wo die zugehörige Phasenspannung das Maximum erreicht und innerhalb der zweiten Hälfte (47) des nächstfolgenden zweiten Klemmintervalls (28), also von dessen Mitte (25) bis zu dessen Ende (7), insgesamt also bei symmetrischen Dreiphasen-Eingangsspannungen für  $60^\circ$ el. die Steuerung des Gleichrichtersystems derart erfolgt, dass die Sequenz der Schaltzustände am Beginn und Ende jeder Pulsperiode umgekehrt wird, sodass der Ausgangsspannungsverlauf einer Pulsperiode mit einem Ausschnitt der zweiten verketteten Spannung beginnt und mit einem Ausschnitt der ersten verketteten Spannung fortgesetzt wird und anschliessend am Ende der ersten Pulshalbperiode

und Anfang der zweiten Pulshalbperiode ein Freilaufzustand mit Ausgangsspannung Null folgt und schliesslich wieder die erste und dann die zweite verkettete Spannung die Ausgangsspannung bildet und die Steuerung in den übrigen Teilen des  $120^\circ$ el. breiten Ausschnitts (5) unverändert bleibt und hierdurch in der Mitte (24, 25) der Klemmintervalle (26, 28) ein stetiger Verlauf von Pulsmustern (2, 3, 4) und damit eine Anregung eines Eingangsfilters zu Schwingungen vermieden wird, wobei, um eine direkte Stromübergabe zwischen den Phasen sicherzustellen, jeweils der Steuerschalter der gemeinsam mit der geklemmten Phase die zweite verkettete Spannung bildenden Phase noch für ein Sicherheitsintervall (37) nach und ein Sicherheitsintervall (36) vor dem Durchschalten des Steuerschalters der Phase, welche gemeinsam mit der geklemmten Phase die erste verkettete Spannung bildet, eingeschaltet wird und falls der Anfang oder die Mitte einer Pulsperiode nicht mit dem Anfang, der Mitte oder dem Ende eines Klemmbereiches zusammenfallen das vor dem Anfang begonnene Pulshalbintervall noch fertig ausgeführt und erst in der darauffolgenden Pulshalbperiode auf ein neues Pulsmuster gewechselt wird, wobei eine sinngemäss gleiche Fortsetzung des Pulsmusters erfolgt, d.h. an einen Freilaufzustand des vorhergehenden Pulshalbintervalls ein Freilaufzustand im folgenden Pulshalbintervall und an einen Schaltzustand, in dem eine verkettete Eingangsspannung am Ausgang auftritt, das folgende Pulshalbintervall wieder mit dem Anlegen einer verketteten Eingangsspannung an den Ausgang begonnen wird.

