



(12)

# PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 1981/2000  
(22) Anmeldetag: 24.11.2000  
(42) Beginn der Patentdauer: 15.03.2004  
(45) Ausgabetag: 25.10.2004

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **H02M 7/219**

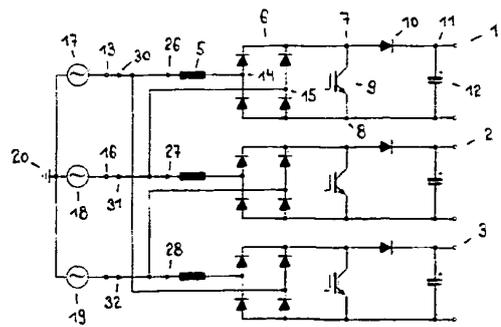
(73) Patentinhaber:  
KOLAR JOHANN W. DIPL.ING. DR.  
A-1050 WIEN (AT).  
(72) Erfinder:  
KOLAR JOHANN W. DIPL.ING. DR.  
WIEN (AT).

(54) VERFAHREN ZUR MINIMIERUNG DER SCHALTFREQUENTEN NETZSTROMOBERSCHWINGUNGEN EINER DREIECKSCHALTUNG EINPHASIGER PULSGLEICHRICHTERSYSTEME

AT 412 179 B

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung einer Dreieckschaltung einphasiger Pulsleichrichtersysteme (1,2,3) mit Hochsetzstellerstruktur oder einem Hochsetzsteller gleicher Struktur des Eingangsteiles. Erfindungsgemäß wird die Taktung der Pulsleichrichtersysteme (1,2,3) so vorgenommen, daß die Strangströme (26,27,28) einen möglichst hohen Anteil (29) gleichphasiger schaltfrequenter Oberschwingungen aufweisen. Da ein Außenleiterstrom als Differenz von Strangströmen gebildet wird, tritt dieser Oberschwingungsanteil in den Netzströmen nicht in Erscheinung d.h. die Außenleiterströme (30,31,32) weisen eine minimale schaltfrequente Schwankung auf. Der hohe Nullanteil der Strangströme (26,27,28) wird dadurch erreicht, daß sämtliche Strangsysteme (1,2,3) in einem Taktraster arbeiten und die Einschaltintervalle von Strangsystemen mit positivem Eingangsstrom symmetrisch um den Anfang und um das Ende eines Taktintervalls und die Einschaltintervalle von Strangsystemen mit negativem Eingangsstrom symmetrisch um die Taktintervallmitten gelegt werden. Die bei Sinusform der Strangströme nur durch schaltfrequente Oberschwingungen gebildete, den Nullstrom (29) treibende Spannung weist dann einen höchstmöglichen Wert auf, womit ein maximaler Anteil der

schaltfrequenten Komponenten der Eingangsströme (26,27,28) der Strangsysteme als Nullstrom (29) auftritt und so eine minimale schaltfrequente Schwankung der Außenleiterströme (30,31,32) resultiert. Das Steuerverfahren kann in identer Weise auch für eine Sternschaltung von Einphasenpulsleichrichtersystemen mit freiem Sternpunkt Anwendung finden.



Figur 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Minimierung der schaltfrequenten Stromüberschwingungen in den Netzzuleitungen einer Dreieckschaltung einphasiger Pulsleichrichtersysteme mit Hochsetzstellerstruktur des Eingangsteils wie es im Oberbegriff des Patentanspruches 1 beschrieben ist.

5 Nach dem derzeitigen Stand der Technik werden dreiphasig gespeiste Stromversorgungen mit sinusförmigem Eingangsstrom und Gleichspannungsausgang direkt dreiphasig, d.h. mit einer für alle Phasen gemeinsamen Ausgangs- bzw. Zwischenkreisspannung oder durch Kombination von  
10 Einphasensystemen, d.h. mit getrennten Zwischenkreisspannungen der Phaseneinheiten realisiert. Der Vorteil des Einsatzes von Einphasensystemen besteht in der Aufteilung der zu liefernden Ausgangsleistung auf drei Teilsysteme und in der damit einfacheren und aufgrund der höheren  
15 Stückzahl kostengünstigeren Fertigung. Auch stehen vielfach fertig entwickelte Einphasen-Stromversorgungen mit aktivem Eingangsteil zur sinusförmigen Führung des Eingangsstromes zur Verfügung deren Verschaltung zu einem Dreiphasensystem den Entwicklungsaufwand der Drei-  
phasenstromversorgung wesentlich verringert. Allerdings arbeiten die Einphasensysteme dann i.a. nicht mit gleicher Schaltfrequenz womit bei Dreieckschaltung der Einphasensysteme in den Netz-  
zuleitungen niederfrequente Schwebungen der schaltfrequenten Oberschwingungen der Strang-  
ströme auftreten und zu einer Verringerung des Leistungsfaktors bzw. zu einer niederfrequenten  
Verzerrung des Netzstromes führen können.

20 Aufgabe der Erfindung ist es daher ein für Stern- oder Dreieckschaltung von Einphasen-Pulsleichrichtersystemen (im weiteren allgemein als *Strangsysteme* bezeichnet) mit durch eine Vorschaltinduktivität eingprägtem Eingangsstrom anwendbares Steuerverfahren zu finden das niederfrequente Anteile der Netzströme sicher vermeidet bzw. den Aufwand zur Filterung schaltfre-  
quenter Oberschwingungen des Netzstromes minimiert.

25 Dies wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des **Patentanspruches 1** erreicht.

Die Eingangsstufe von einphasigen Stromversorgungen mit sinusförmiger Stromaufnahme wird  
in bekannter Weise meist in Hochsetzstellerstruktur, d.h. durch eine Vorschaltinduktivität, eine  
Einphasendiodenbrücke, einen zwischen der positiven und negativen Ausgangsklemme dieser  
30 Diodenbrücke angeordneten Leistungstransistor und eine von der positiven Ausgangsklemme der  
Diodenbrücke gegen die positive Klemme der durch einen Elektrolytkondensator gestützten Aus-  
gangs- bzw. Zwischenkreisspannung gebildet, wobei die negative Klemme des Elektrolytkondensa-  
tors mit dem Emitter des Leistungstransistors bzw. der negativen Ausgangsklemme der Einpha-  
sendiodenbrücke verbunden ist. Das System wird i.a. mit konstanter Taktfrequenz betrieben und  
35 die relative Einschaltzeit des Leistungstransistors durch eine Eingangsstromregelung so gewählt,  
daß eine sinusförmige, in Phase mit der Netzspannung liegende Stromaufnahme des Systems  
resultiert. Der Verlauf des Eingangsstromes wird durch die über der Vorschaltinduktivität auftre-  
nde Spannung, d.h. durch die Differenz der Netzspannung und der an den Wechselspannungs-  
klemmen der Einphasendiodenbrücke auftretenden Spannung definiert. Für durch geschalteten  
40 Leistungstransistor tritt zwischen den Wechselspannungsklemmen der Diodenbrücke keine Span-  
nungsdifferenz auf, für gesperrten Leistungstransistor kommt an den Wechselspannungsklemmen  
die Zwischenkreisspannung mit einem Vorzeichen zu liegen, das durch die Richtung des Ein-  
gangsstromes definiert wird. Für durchgeschalteten Transistor wird so durch die Netzspannung der  
Betrag des Eingangsstromes erhöht und für gesperrten Leistungstransistor aufgrund der, gemäß  
45 der Hochsetzstellerfunktion des Pulsleichrichters die Netzspannung stets überwiegenden Zwi-  
schenkreisspannung verringert.

Werden nun drei Einphasensysteme in Dreieckschaltung zu einem Dreiphasensystem kombi-  
niert, wird ein Netzphasen- bzw. Außenleiterstrom durch die Differenz zweier Strangströme be-  
stimmt. Grundgedanke der Erfindung ist es nun, die Taktung der Strangsysteme so vorzunehmen,  
50 daß die drei Strangströme einen möglichst hohen Anteil gleichphasiger schaltfrequenter Ober-  
schwingungen aufweisen. Entsprechend der vorstehend beschriebenen Differenzbildung tritt dieser  
Oberschwingungsanteil dann in den Außenleiterströmen nicht in Erscheinung d.h. die Außenleiter-  
ströme weisen eine minimale schaltfrequente Schwankung auf. Dies wird erfindungsgemäß da-  
durch erreicht, daß sämtliche Strangsysteme in einem Taktraster arbeiten und die Einschaltinter-  
valle von Strangsystemen mit positivem Eingangsstrom (ein zwischen den Außenleitern  $i$  und  $j$   
55 auftretender Strangstrom  $i_j$  werde bei physikalischer Orientierung von Außenleiter  $i$  nach Außenlei-

ter  $j$  als positiv bezeichnet) symmetrisch um den Anfang und um das Ende eines Takt- bzw. Pulsintervalls und die Einschaltintervalle von Strangsystemen mit negativem Eingangsstrom symmetrisch um die Taktintervallmitten gelegt werden. Dies wird verständlich, wenn durch Addition der am Eingang der Diodenbrücken der Stränge auftretenden Spannungen die in der Dreieckschaltung einen Kreis- bzw. Nullstrom treibende Nullspannung ermittelt wird. Diese, bei Sinusform der Strangströme nur durch schaltfrequente Oberschwingungen gebildete Nullspannung weist für die erfindungsgemäße Steuerung einen höchstmöglichen Wert auf, womit ein maximaler Anteil der schaltfrequenten Schwankungen der Eingangsströme der Strangsysteme als Nullstrom auftritt und so eine minimale schaltfrequente Schwankung des Außenleiterstromes resultiert.

Wichtig ist festzuhalten, daß das Steuerverfahren in völlig identer Weise auch für eine Sternschaltung von Einphasensystemen mit freiem Sternpunkt Anwendung finden kann. Es werden dann wieder sämtliche Einphasensysteme in einem Taktraster betrieben und die Einschaltintervalle von, einen positiven (physikalisch zum Netzsternpunkt fließenden) Eingangs- bzw. Außenleiterstrom aufweisenden Strangsystemen symmetrisch um den Anfang und das Ende einer Pulsperiode und die Einschaltintervalle von, einen negativen Eingangsstrom aufweisenden Strangsystemen symmetrisch um die Pulsintervallmitten gelegt bzw. wieder der schaltfrequente Nullgrößenanteil der Eingangsspannungen der Diodenbrücken der Strangsysteme maximiert, der allerdings aufgrund des freien Sternpunktes nicht strombildend wirkt. Durch diese Maximierung des Nullanteiles wird der für die Ausbildung einer schaltfrequenten Schwankung der Außenleiterströme verbleibende Anteil der Gleichrichtereingangsspannungen der Strangsysteme minimiert und so wieder eine minimale schaltfrequente Schwankung der Strang- bzw. Außenleiterströme erreicht.

Anzumerken ist, daß das erfindungsgemäße Steuerverfahren auch für Ausführung der Strangsysteme als Dreipunkt-Pulsleichrichter in völlig gleicher Weise Anwendung finden kann, wobei dann in an sich bekannter Weise die beiden Transistoren jedes Strangsystems um eine halbe Taktperiode versetzt anzusteuern sind.

Wichtig ist darauf hinzuweisen, dass eine Verringerung der Spitzenstrombeanspruchung der Leistungstransistoren der Einphasen-Pulsleichrichtersysteme der Dreieckschaltung der Pulsleichrichtersysteme dadurch erreicht werden kann, daß durch entsprechende Steuerung der Strangsysteme nicht nur eine hohe schaltfrequente Nullkomponente sondern auch eine niederfrequente Nullkomponente der Strangströme in Form einer mit den verketteten Netzspannungen in Phase liegenden dritten Harmonischen gebildet wird. Die Amplitude dieser dritten Harmonischen wird vorteilhaft mit  $1/6$  der Amplitude der Strangstromgrundschnwingungen gewählt. Wie eine nähere Analyse zeigt wird damit ohne wesentliche Beeinflussung der Leitverluste der Leistungshalbleiter vorteilhaft der Maximalwert jedes Strangstromes gegenüber der Amplitude der Grundschnwingung maximal, d.h. um etwa 15% verringert bzw. die Spitzenstrombelastung der Leistungstransistoren der Strangsysteme wesentlich reduziert.

Die Erfindung wird im weiteren anhand von Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

**Fig.1** Die Grundstruktur (vereinfachte, schematische Darstellung) einer dem Stand der Technik entsprechenden Dreieckschaltung einphasiger Pulsleichrichtersysteme mit Hochsetzstellerstruktur.

**Fig.2** Die Ersatzschaltung des wechselfspannungsseitigen Teils der in Fig. 1 gezeigten Dreieckschaltung.

**Fig.3** Den Zeitverlauf eines Strangstromes, des Nullanteiles des Strangstromes und des außenleiterstrombildenden Anteils des Strangstromes innerhalb einer Netzperiode.

**Fig.4** Den Zeitverlauf der verketteten Netzspannungen innerhalb einer Netzperiode

**Fig.5** Den Zeitverlauf der Ansteuersignale der Leistungstransistoren und der Rippelkomponenten der Strangströme sowie eines Aussenleiterstromes innerhalb einer Pulsperiode.

In Fig.1 ist ein, gemäß dem Stand der Technik durch Dreieckschaltung von Einphasen-Pulsleichrichtersystemen 1,2,3 mit Hochsetzstellerstruktur gebildetes Drehstrom-Pulsleichrichtersystem 4 dargestellt. Jedes Einphasen- bzw. Strangsystem wird durch eine Vorschaltinduktivität 5, eine Einphasendiodenbrücke 6, einen in Stromflußrichtung zwischen der positiven Ausgangsklemme 7 und der negativen Ausgangsklemme 8 der Einphasendiodenbrücke 6 liegenden Leistungstransistor 9, dessen Kollektor über eine Freilaufdiode 10 in Flußrichtung mit dem positiven Pol 11 des die Ausgangs- bzw. Zwischenkreisspannung stützenden Elektrolytkondensators 12 verbunden ist gebildet, wobei der negative Pol des Zwischenkreiskondensators 12

mit der negativen Ausgangsklemme 8 der Einphasendiodenbrücke 6 verbunden ist und die Vorschaltinduktivität abzweigend von einer Netzklemme 13 gegen einen Wechselspannungseingang 14 der Einphasendiodenbrücke 6 gelegt wird und der zweite Wechselspannungseingang 15 der Einphasendiodenbrücke 6 mit der, der Netzklemme 13 bei zyklischem Wechsel der Phasenbezeichnungen nächstfolgenden Klemme 16 verbunden wird. Die Netzspannung ist durch eine Sternschaltung von Ersatzspannungsquellen 17,18,19 mit Sternpunkt 20 veranschaulicht. Wird der Leistungstransistor 9 durchgeschaltet, tritt zwischen den Eingangsklemmen 14 und 15 der Einphasendiodenbrücke 6 keine Spannungsdifferenz auf, entsprechend wird der Strom in der Vorschaltinduktivität 5 durch die zugeordnete Netzaußenleiterspannung (z.B. Spannungsdifferenz zwischen den Netzklemmen 13 u. 16) erhöht. Bei gesperrtem Leistungstransistor 6 schließt sich der über die Vorschaltinduktivität 5 eingeprägte Strangstrom über die Eingangsdiodenbrücke 6, die Freilaufdiode 10 und den Zwischenkreiskondensator 12, entsprechend tritt zwischen den Wechselspannungsklemmen 14 und 15 der Einphasendiodenbrücke 6 eine Spannung in Höhe der Zwischenkreisspannung mit einem durch die Richtung des Strangstromes bestimmten Vorzeichen auf. Die Ausgangsspannung überwiegt entsprechend der Hochsetzstellerfunktion des Pulsleichrichtersystems die zwischen den Klemmen 13 und 16 anliegende verkettete Netzspannung, der Betrag des Strangstroms wird damit jedenfalls verringert. Durch entsprechende Wahl der relativen Einschaltzeit des Leistungstransistors kann somit ein sinusförmiger Verlauf des Stromes in der Vorschaltinduktivität, in Phase mit der zwischen den Klemmen 13 und 16 anliegenden verketteten Netzspannung erreicht werden.

In Fig.2 ist das Ersatzschaltbild des wechsellspannungsseitigen Teils des Stromrichtersystems nach Fig.1 gezeigt (das Ersatzschaltbild ist grundsätzlich auch für gleichspannungsseitige Anordnung der Vorschaltinduktivitäten, d.h. Anordnung der Vorschaltinduktivitäten am Ausgang der Einphasendiodenbrücken 6 gültig, womit das erfindungsgemäße Steuerungsverfahren auch für diese Schaltungsvariante Anwendung finden kann). Die am Eingang der Einphasendiodenbrücken 6 der Stränge gebildeten Spannungen sind dabei durch Spannungsquellen 21,22,23 berücksichtigt, die abhängig von Schaltzustand der zugeordneten Leistungstransistoren 9 die Spannung 0 oder den Wert U der Zwischenkreisspannung der Strangsysteme mit einem dem Vorzeichen des zugeordneten Strangstromes gleichen Vorzeichen aufweisen. Die positiven Zählrichtungen der Ströme in den Vorschaltinduktivitäten 5,24,25 sind durch Zählpfeile 26,27,28 markiert. Weiters ist in Fig.2 durch einen geschlossenen strichlierten Linienzug 29 der Pfad eines Nullanteiles der Strangströme (eines in allen Strängen gleich gerichteten und gleichen Wert aufweisenden Stromanteiles) eingetragen. Jeder Strangstrom kann in eine, einen Netzphasen- bzw. Außenleiterstrom 30,31,32 bildende Komponente und eine Nullkomponente 29 aufgespalten werden. Die Grundschwingung der Strangströme 26,27,28 wirkt voll außenleiterstrombildend, nur ein Teil der schaltfrequenten Komponenten der Strangströme tritt als Nullstrom auf. Erfindungsgemäß wird dieser Anteil nun dadurch maximiert, daß alle Strangsysteme im gleichen Taktraster arbeiten und die Einschaltintervalle der Leistungstransistoren von, einen positiven Eingangsstrom führenden Strängen symmetrisch um Beginn und Ende jeder Pulsperiode und die Einschaltintervalle der, einen negativen Eingangsstrom führenden Stränge symmetrisch um die Mitten der Taktintervalle gelegt werden. Es wird so ein Maximierung der den Nullstrom treibenden Summe der Spannungen 21,22,23 erreicht, und so ein Großteil der schaltfrequenten Schwankung der Strangströme 26,27,28 als Nullstrom 29 innerhalb der Dreieckschaltung geführt.

Figur 3 zeigt den für erfindungsgemäße Steuerung der Dreieckschaltung nach Fig.1 resultierenden Zeitverlauf der schaltfrequenten Schwankung 33 des Strangstromes 26, und dessen Aufspaltung in eine, für die Bildung eines Netzaußenleiterstrom maßgebliche Komponente 34 und einen Nullanteil 29. Es wird deutlich, daß ein Großteil der schaltfrequenten Schwankung 33 des Strangstromes 26 als Nullstrom 29 innerhalb der Dreieckschaltung verbleibt und somit nicht in den Außenleiterströmen in Erscheinung tritt. Die Unterdrückung schaltfrequenter leistungsgebundener Störungen des Gesamtsystems kann somit vorteilhaft mit relativ geringem Filteraufwand erfolgen.

Figur 4 zeigt den Zeitverlauf der verketteten Netzspannungen, wobei 35 die Differenz der Netzphasenspannungen 17 und 18, 36 die Differenz der Netzphasenspannungen 18 und 19 und 37 die Differenz der Netzphasenspannungen 19 und 17 bezeichnet. Weiters ist mit 38 die Position einer Pulsperiode innerhalb der Netz periode markiert. Details der Spannungs- und Stromverläufe innerhalb dieser Pulsperiode werden in Figur 5 gezeigt.

Figur 5 zeigt den Zeitverlauf der Ansteuersignale 39,40,41 der Leistungstransistoren der an den verketteten Netzspannungen 35,36,37 liegenden Pulsleichrichtersysteme 1,2,3 innerhalb einer Pulsperiode mit Beginn 42, Mitte 43 und Ende 44 und Position 38 innerhalb einer Netzperiode wobei der Signalpegel „1“ ein Durchschalten und der Signalpegel „0“ ein Sperren des zugeordneten Leistungstransistors 9 bewirkt. Weiters sind die Zeitverläufe der resultierenden schaltfrequenten Schwankungen 45,46,47 der Strangströme 26,27,28 dargestellt. Schließlich ist noch die über Differenzbildung der schaltfrequenten Schwankungen 45 und 46 resultierende schaltfrequente Schwankung 48 des Aussenleiterstromes 30 eingetragen.

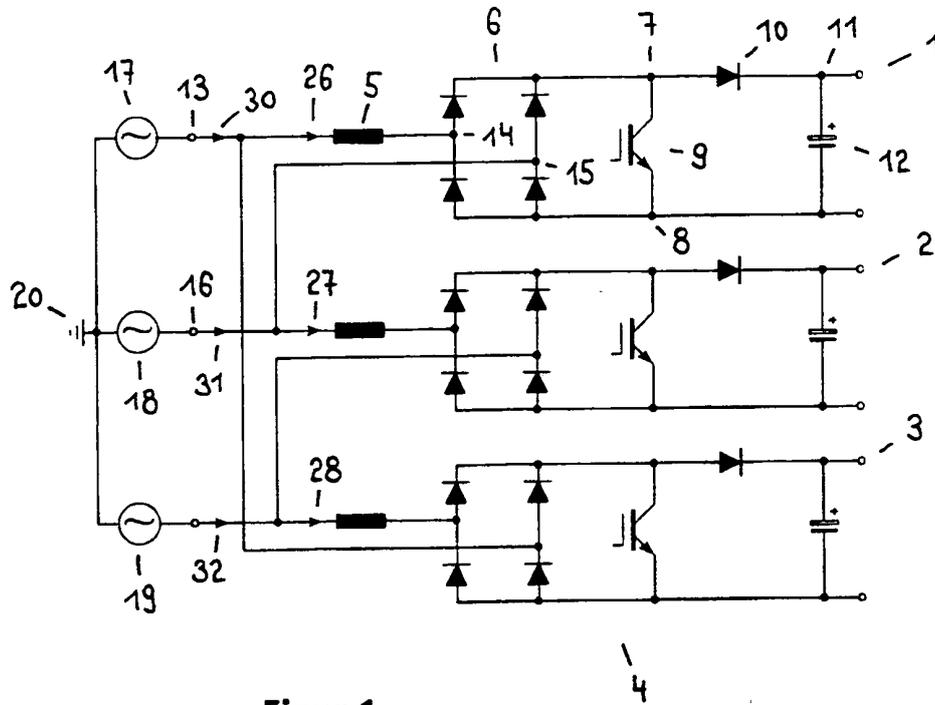
Erfindungsgemäss sind die Einschaltintervalle 49 des an positiver verketteter Spannung 35 liegenden Pulsleichrichtersystems 1 symmetrisch um den Beginn 42 und das Ende 43 der Pulsperiode und die Einschaltintervalle 50 und 51 der an negativen verketteten Spannungen 36 und 37 liegenden Pulsleichrichtersysteme 2 und 3 symmetrisch um die Pulsintervallmitten 43 gelegt. Wie oben erwähnt, wird bei Durchschalten eines Leistungstransistors stets der Betrag des zugehörigen Strangstroms erhöht und im Ausschaltintervall eines Leistungstransistors der Betrag des zugehörigen Strangstroms stets verringert. Dies wird auch im Zeitverlauf 45,46,47 der schaltfrequenten Schwankungen der Strangströme 26,27,28 deutlich.

Wie unmittelbar einsichtig kann die schaltfrequente Schwankung z.B. des Aussenleiterstromes 30 einfach als Differenz der schaltfrequenten Schwankungen 45 und 46 gebildet werden. Durch die erfindungsgemässe Positionierung der Einschaltbefehle der Leistungstransistoren der Pulsleichrichtersysteme 1,2,3, weisen nun die schaltfrequenten Schwankungen 45,46,47 innerhalb der Pulshalbperioden (Zeitintervall von Pulsintervallbeginn 42 bis Pulsintervallmitte 43, bzw. Pulsintervallmitte 43 und Pulsintervallende 44) gleiches Vorzeichen auf, wodurch sich bei Differenzbildung von z.B. 45 und 46 eine weitgehende Auslöschung der schaltfrequenten Schwankungen der Strangströme 26 und 27 im Aussenleiterstrom 30 ergibt und der Aussenleiterstrom 30 demgemäss eine nur geringe schaltfrequente Schwankung 48 bzw. nahezu sinusförmigen Verlauf aufweist.

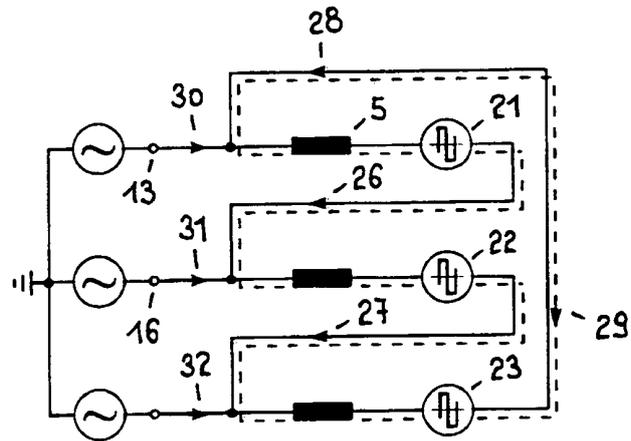
#### PATENTANSPRUCH:

Verfahren zur Steuerung einer Stern- oder Dreieckschaltung einphasiger Pulsleichrichtersysteme (1,2,3) mit ohmschem Grundschwingungsnetzverhalten, die eingangsseitig stromeinprägende Vorschaltinduktivitäten (5) aufweisen, **dadurch gekennzeichnet**, daß sämtliche Strangsysteme in einem Taktraster, d.h. mit gleicher Schaltfrequenz und derart synchronisiert arbeiten, daß die Einschaltintervalle von Strangsystemen mit positivem Eingangsstrom symmetrisch um den Anfang und um das Ende eines Taktintervalls und die Einschaltintervalle von Strangsystemen mit negativen Eingangsstrom symmetrisch um die Mitten der Taktintervalle gelegt werden.

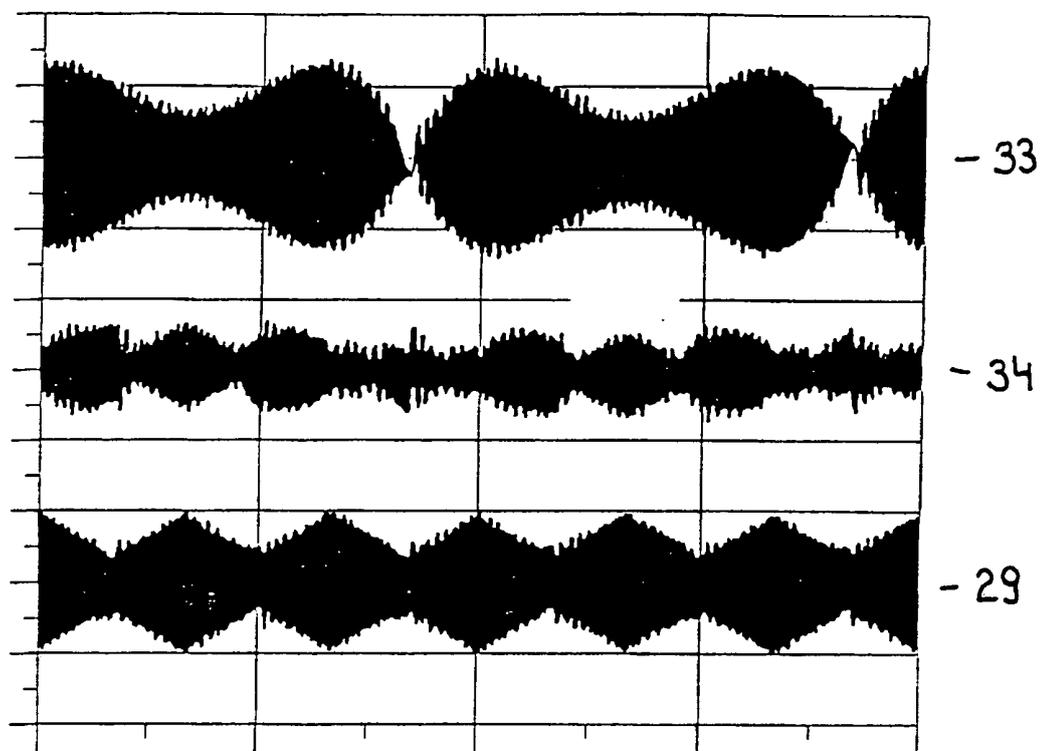
HIEZU 3 BLATT ZEICHNUNGEN



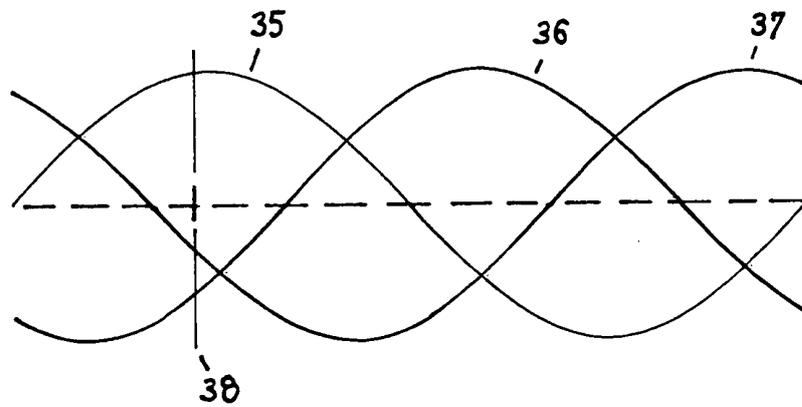
Figur 1



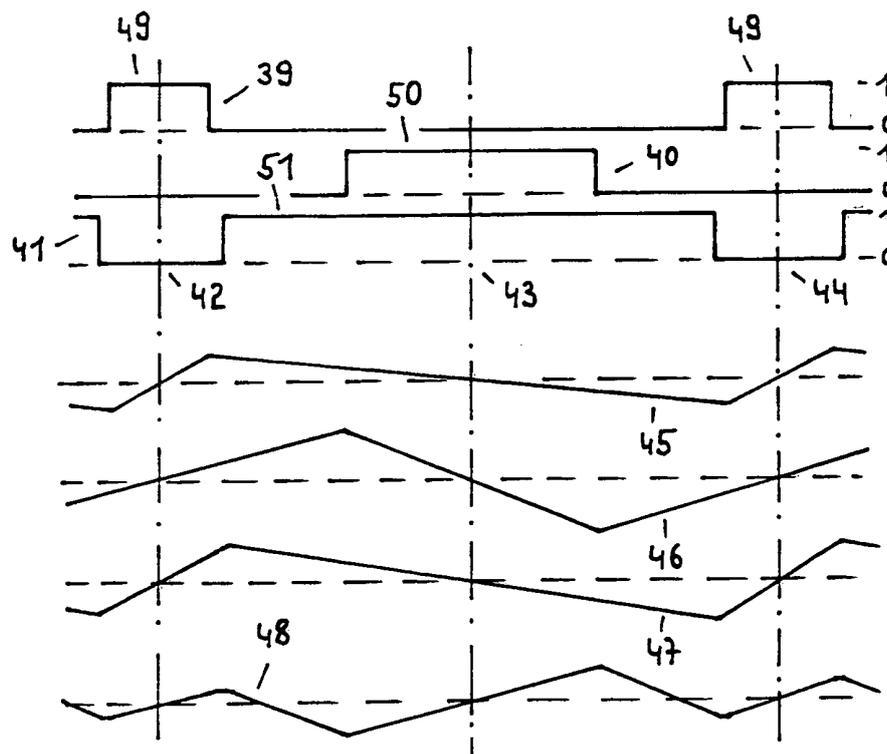
Figur 2



**Figur 3**



Figur 4



Figur 5