



(19)

**REPUBLIK
ÖSTERREICH
Patentamt**

(10) Nummer:

AT 411 413 B

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 1212/99
(22) Anmeldetag: 13.07.1999
(42) Beginn der Patentdauer: 15.05.2003
(45) Ausgabetag: 29.12.2003

(51) Int. Cl.⁷: H02M 7/162
G05F 3/04

(56) Entgegenhaltungen:
EP 0555557A1 DE 4219222A1

(73) Patentinhaber:
BARTRONICS, INC.
36786 MARION (US)

(72) Erfinder:
KOLAR JOHANN W. DR.
WIEN (AT).
MINIBÖCK JOHANN DPL.ING.
PURGSTALL. NIEDERÖSTERREICH (AT).

(54) VORRICHTUNG ZUR ERHÖHUNG DER SPANNUNGSRESERVE DREIPHASIGER PULSGLEICHRICHTERSYSTEME MIT VERBINDUNG DES AUSGANGSSPANNUNGSMITTELPUNKTES MIT EINEM FIKTIVEN NETZSTERNPUNKT

AT 411 413 B

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erhöhung der Spannungsreserve eines dreiphasigen Pulsgleichrichtersystems mit einer, von den Netzphasenklemmen (2),(3),(4) abzweigenden Sternschaltung von Filterkondensatoren (25),(26),(27) deren Sternpunkt mit dem Ausgangsspannungsmittelpunkt (10) verbunden ist. Die Regelung der Eingangsströme erfolgt in jeder Phase durch eine Stromregeleinrichtung (31), die am Ausgang das Ansteuersignal des zugehörigen Brückenzweig-Umschalters (14),(15) oder (16) bildet. Hierbei wird der durch einen überlagerten Ausgangsspannungsregler definierte Phasenstromsollwertanteil (28) erfindungsgemäß durch einen Nullgrößenanteil (29) erweitert der so vorgegeben wird, daß die Spannungen der Filterkondensatoren (25),(26),(27) einen Nullanteil in Form einer dritten Harmonischen der Netzzspannung definierter Amplitude und Phasenlage aufweisen. Das Potential (45) der positiven Ausgangsspannungsschiene (17) wird so entsprechend dem Verlauf des Kondensatorspannungsnullgrößensollanteils (38) in der Umgebung der positiven Maxima der Grundschwingungen der Gleichrichtereingangsphasenspannungen gegenüber dem Netzsternpunkt (5) periodisch angehoben und in den Bereichen der

negativen Maxima das Potential der negativen Ausgangsspannungsschiene (18) abgesenkt, womit die Aussteuerung um einen Faktor 1.15 gegenüber Nullgrößenfreiheit der Filterkondensatorspannungen erhöht werden kann.

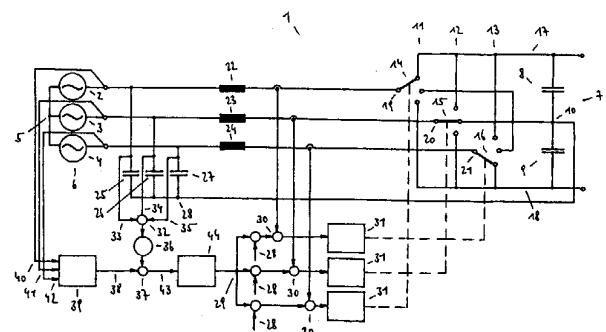


Figure 1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erhöhung der Spannungsreserve dreiphasiger Pulsgleichrichtersysteme mit Verbindung des kapazitiven Mittelpunktes der Ausgangsspannung mit einem künstlichen, durch eine von den Eingangsklemmen abzweigende Sternschaltung von Filterkondensatoren gebildeten Netzsternpunkt, wie sie im Kennzeichenteil des Patentanspruches 1 beschrieben ist.

Nach dem derzeitigen Stand der Technik werden bei Dreiphasen-Pulsgleichrichtersystemen mit Hochsetzstellercharakteristik, d.h. mit wechselspannungsseitig vorgeschalteten Induktivitäten, wie z.B. in der DE 4219222 A1 beschrieben, zur Entkopplung der Phasenstromregelungen und zur Filterung schaltfrequenter Gleichtaktkomponenten der Ausgangsspannung Filterkondensatoren von den Netzeingangsklemmen gegen den kapazitiven Ausgangsspannungsmittelpunkt geschaltet, d.h. der Ausgangsspannungsmittelpunkt mit einem, durch eine Sternschaltung von Filterkondensatoren gebildeten künstlichen Netzsternpunkt verbunden. Von Nachteil ist hiebei, daß die Spannung an den Filterkondensatoren ausschließlich durch die Netzspannung definiert wird, womit Ausgangsspannungsmittelpunkt und Netzsternpunkt näherungsweise gleiches Potential aufweisen und die volle Steuerbarkeit des Gleichrichtersystems einen Mindestwert der Ausgangsspannung in Höhe des zweifachen Spitzenwertes der Netzphasenspannung erfordert. Demgegenüber ist bei freiem Ausgangsspannungsmittelpunkt der Mindestwert der Ausgangsspannung durch den um einen Faktor 1.15 tiefer liegenden Spitzenwert der verketteten Netzspannung gegeben. Durch Anordnung der Filterkondensatoren wird also die Ausnutzbarkeit der Ausgangsspannung des Gleichrichtersystems verringert und die Sperrspannungsbeanspruchung der Leistungshalbleiter bei gegebener Eingangsspannung erhöht, was insbesondere bei Gleichrichtersystemen mit hoher Eingangsspannung von Nachteil ist.

Aus der EP 0 555 557 A1 ist eine Dreipunkt-Wechselrichterschaltung bekannt, bei der mit einer 3. Harmonischen der Wechselrichterausgangsphasenspannungen eine weitgehende Unterdrückung der prinzipiell auftretenden niederfrequenten Abweichung von einer gleichmäßigen Aufteilung der konstanten Gesamt-Eingangsspannung auf die in Serie liegenden Eingangskondensatoren vorgenommen wird. Insbesondere wird die Schwankung der Eingangsspannungsaufteilung mit der dreifachen Grundfrequenz der Wechselrichterausgangsspannungen signifikant verringert. Die Wechselrichterschaltung weist allerdings keine gegen den Eingangsspannungsmittelpunkt geschalteten Filterkondensatoren auf. Auch wird die Bildung der Ausgangsphasenspannungen nur hinsichtlich des Einflusses auf die niederfrequenten Harmonischen des, den Eingangsspannungsmittelpunkt belastenden Stroms, nicht jedoch hinsichtlich einer maximalen Ausnutzung der zur Bildung der Ausgangsphasenspannungen zur Verfügung stehenden Eingangsgleichspannung betrachtet.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung zu schaffen, die auch bei Verbindung des Ausgangsspannungsmittelpunktes mit einem, durch eine Sternschaltung von Filterkondensatoren gebildeten künstlichen Netzsternpunkt die volle Ausnutzbarkeit der Ausgangsspannung des Gleichrichtersystems sicherstellt.

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

Grundgedanke der Erfindung ist zwischen Ausgangsspannungsmittelpunkt und Netzsternpunkt eine definierte Potentialdifferenz in Form einer 3. Harmonischen der Netzphasenspannungen (die dritten Harmonischen eines symmetrischen Dreiphasensystems weisen keine Phasendifferenz auf) einzustellen und so in jedem Maximum der, bei geringer Induktivität der Vorschaltinduktivitäten bzw. hoher Schaltfrequenz hinsichtlich Amplitude und Phasenlage weitgehend mit den zugehörigen Netzphasenspannungen identen Grundschwüngeungen der pulsbreitenmodulierten Gleichrichtereingangsphasenspannungen bezogen auf den Netzsternpunkt eine Anhebung des Potentials der positiven Ausgangsspannungsschiene bzw. Absenkung des Potentials der negativen Ausgangsspannungsschiene zu erreichen, die zu einer Erhöhung der Aussteuerbarkeit um einen Faktor 1.15 führt, womit der für freien Ausgangsspannungsmittelpunkt bei gleicher Ausgangsspannung gegebene Wert erreicht wird. Hierfür wird die an den Filterkondensatoren auftretende Spannung gegen den Ausgangsspannungsmittelpunkt gemessen und durch Addition und Teilung durch 3 die in diesem Spannungssystem enthaltene Nullgröße ermittelt und mit dem durch einen, auf die Netzspannung synchronisierten Funktionsgenerator gebildeten Nullgrößen-Spannungssollwert in Form einer 3. Harmonischen der Netzphasenspannungen mit einer Amplitude gleich 1/6 der Ampli-

tude der Netzphasenspannungen verglichen. Die Regeldifferenz wird einem Nullspannungsregler zugeführt und dessen Ausgangssignal zu den Sollwerten der leistungsbildenden Netzphasenströme, die durch einen, dem Stand der Technik entsprechenden übergeordneten Ausgangsspannungsregler vorgegeben werden, addiert. Durch die Eingangsstromregelung des Gleichrichtersystems wird damit einerseits der lastseitig benötigte, dem Netz entnommene Strom und andererseits ein, über die Filterkondensatoren fließender Stromanteil eingeprägt, der zu der geforderten Potentialanhebung bzw. -absenkung des Ausgangsspannungsmittelpunktes gegenüber dem Netzsternpunkt führt. Eine Symmetrierung der Ausgangsteilspannungen kann hiebei entsprechend dem Stand der Technik durch Erfassung der Unsymmetrie der Teilspannungen und Addition dieser, mittels eines Reglers dynamisch bewerteten Spannungsdifferenz zum Sollwert der Nullgröße der Filterkondensatorspannungen erfolgen. Ein positiver Offset der gegen den Ausgangsspannungsmittelpunkt positiv gezählten Filterkondensatorspannungssollwerte führt, da die Spannung an den Vorschaltinduktivitäten keinen Gleichanteil aufweist, zu einer Erhöhung der mittleren relativen Verweildauer der Brückenzweig-Umschalter an der positiven Ausgangsspannungsschiene und einer entsprechenden Verringerung der Verweildauer an der negativen Ausgangsspannungsschiene. Dadurch wird resultierend die Ladung des positiven Ausgangskondensators erhöht und die Ladung des negativen Ausgangskondensators verringert; dies macht die Möglichkeit einer Ausregelung einer unsymmetrischen Spannungsaufteilung deutlich.

Anzumerken ist, daß eine Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens nicht auf Dreiphasen-Dreipunktkonverter beschränkt ist. Vielmehr kann das Verfahren gemäß **Patentanspruch 2** in sehr ähnlicher Form auch bei Zweipunktkonvertern Einsatz finden, wo der Sternpunkt der Filterkondensatoren i.a. mit der positiven oder negativen Ausgangsspannungsschiene verbunden wird. Es ist hiebei einzig zum Sollwert der Filterkondensatorspannungen für Dreipunktkonverter der halben Wert der Ausgangsspannung zu addieren (bei Verbindung des Kondensatorsternpunktes mit der negativen Spannungsschiene) oder der halbe Ausgangsspannungswert vom Sollwert der Filterkondensatorspannungen in Abzug zu bringen (bei Verbindung des Kondensatorsternpunktes mit der positiven Ausgangsspannungsschiene). Die Grundfunktion der Vorrichtung bleibt von dieser Sollwertänderung unberührt, weshalb auf nähere Ausführungen verzichtet werden kann.

Die Erfindung wird im weiteren anhand eines Ausführungsbeispiels und zugehöriger Simulationsergebnisse näher erläutert.

Es zeigt:

Fig.1 die Grundstruktur des Leistungsteils eines dreiphasigen Pulsgleichrichtersystems mit zwischen den Netzklemmen und dem Ausgangsspannungsmittelpunkt angeordneten Kondensatoren und die erfindungsgemäße Erweiterung der Stromregelung des Systems zur Erhöhung der Aussteuerbarkeit, wobei der dem Stand der Technik entsprechende Teil der Phasenstromregelungen in Funktionsblöcken zusammengefaßt ist.

Fig.2 den durch erfindungsgemäße Regelung des Potentials des Ausgangsspannungsmittelpunktes erzielten Zeitverlauf der Potentialdifferenz von positiver und negativer Ausgangsspannungsschiene gegenüber Netzsternpunkt innerhalb einer Netzperiode und die Grundschwingung einer Gleichrichtereingangsspannung bei Vollaussteuerung sowie die bei Steuerung des Gleichrichtersystems gemäß dem Stand der Technik maximal erzielbare Grundschwingung.

In **Fig.1** ist schematisch ein dreiphasiges Dreipunkt-Pulsgleichrichtersystem 1 dargestellt, dessen Grundfunktion in der Umformung eines, durch Phasen-Wechselspannungsquellen 2,3,4 mit geerdetem Sternpunkt 5 symbolisierten dreiphasigen Spannungssystem 6 in eine, über der Serien schaltung 7 von Ausgangskondensatoren 8 und 9 mit Mittelpunkt 10 auftretende Gleichspannung besteht. Entsprechend dem Stand der Technik wird das Gleichrichtersystem 1 durch drei Brückenzweige 11,12,13 gebildet, deren Funktion jener von Umschaltern 14,15,16 zwischen positiver Ausgangsspannungsschiene 17, Ausgangsspannungsmittelpunkt 10 und negativer Ausgangsspannungsschiene 18 entspricht, wobei die Wurzelpunkte 19,20,21 der Schalter 14,15,16 über Vorschaltinduktivitäten 22,23,24 mit den zugehörigen Netzphasenklemmen 2,3,4 verbunden werden. Weiters ist abzweigend von den Netzphasenklemmen 2,3,4 eine Sternschaltung von Filterkondensatoren 25,26,27 angeordnet, deren Sternpunkt mit dem Ausgangsspannungsmittelpunkt 10 verbunden ist. Für die Regelung der Eingangsströme des Gleichrichtersystems 1 werden in Serie zu den Vorschaltinduktivitäten 22,23,24 Stromsensoren gelegt und die Regelabweichungen gegenüber Phasenstromsollwertanteilen 28 (gemäß dem Stand der Technik vorgegeben durch

5 einen nicht dargestellten überlagerten Ausgangsspannungsregler) und einem erfindungsgemäß vorgegebenen, für alle Phasen gleichen Sollwertanteil 29 mittels Subtraktion 30 bestimmt und die Regelabweichung Phasenstromregeleinrichtungen 31 zugeführt, die am Ausgang die Ansteuersignale der zugehörigen Brückenzweig-Umschalter 14,15,16 des Gleichrichtersystems bilden. Für die Bildung des für alle Phasen gemeinsamen Sollwertanteiles 29 wird die Summe 32 der gegenüber dem Ausgangsspannungsmittelpunkt 10 gemessenen Filterkondensatorspannungen 33,34,35 gebildet und durch ein Verstärkungsglied 36 um einen Faktor 3 abgeschwächt. Der Ausgang des Verstärkungsgliedes 36 repräsentiert somit den Momentanwert des, in den Filterkondensatorspannungen enthaltenen Spannungsnulldsystems und wird durch Differenzbildung 37 mit dem Ausgang 10 eines Funktionsgenerators 39 verglichen, an dessen Eingänge 40,41,42 die Netzphasenspannungen 2,3,4 gelegt werden und der eine dritte Oberschwingung der Netzspannung mit einer Amplitude gleich 1/6 der Amplitude der Netzphasenspannungen (dieser Wert wird durch eine Optimierungsrechnung gefunden) und in Phase mit den Netzphasenspannungen 2,3,4 liegend bildet. Der Ausgang 43 der Differenzbildung 37 wird schließlich durch ein Regelelement 44 dynamisch bewertet und in den erfindungsgemäßen Stromsollwert-Nullgrößenanteil 29 umgeformt.

15 Zur Veranschaulichung der Funktion der Vorrichtung sind in Fig.2 der Zeitverlauf 45 des Potentials der positiven Ausgangsspannungsschiene 17 und das Potential 46 der negativen Ausgangsspannungsschiene 18 gegenüber Netzsternpunkt 5 und der Zeitverlauf 47 der durch erfindungsgemäß Regelung eingestellten Nullgröße der Filterkondensatorspannungen 33,34,35 für eine 20 Netzperiode gezeigt. Die Darstellung der Spannungswerte ist auf den halben Wert der Ausgangsspannung des Gleichrichtersystems normiert. Weiters ist die Grundschwingung 48 einer pulsbreitenmodulierten Umrichtereingangsphasenspannung 19 (bezogen auf den Netzsternpunkt 5) für 25 Vollaussteuerung und die bei Steuerung gemäß dem Stand der Technik (d.h. für Nullgrößenfreiheit der Filterkondensatorspannungen) maximal erreichbare Spannungsgrundschwingung 49 dargestellt. Für diesen Fall gelten auch die eingetragenen Spannungsniveaus 50 und 51 der positiven 30 und negativen Ausgangsspannungsschiene bezogen auf den Netzsternpunkt. Durch die erfindungsgemäß Regelung des Nullspannungsanteils der Filterkondensatorspannungen wird gegenüber einer Einstellung der Nullgröße durch reine Tastverhältnissesteuerung das Auftreten einer Resonanz zwischen Vorschaltinduktivitäten und Filterkondensatoren sicher unterbunden und eine 35 geringe Regelabweichung der tatsächlichen Nullgröße (des Ausgangs des Verstärkungselementes 36) vom Sollwert 38 sichergestellt. Für die weiteren Überlegungen werden daher Soll- und Istwert als ident angenommen. Die Bildung einer positiven Nullgröße bedeutet (unter der im praktischen Betrieb mit guter Näherung erfüllten Voraussetzung konstanter Ausgangsspannung und Symmetrie 40 der Ausgangsteilspannungen) eine Potentialabsenkung des Ausgangsspannungsmittelpunktes 10 gegenüber dem Netzsternpunkt 5; entsprechend wird bei Vorgabe einer in Phase mit den Netzphasenspannungen liegenden 3. Harmonischen der Netzspannung das Potential 45 der positiven Ausgangsspannungsschiene in den Bereichen 52,53,54 der positiven Amplituden der Grundschwingungen der Gleichrichtereingangsphasenspannungen gegenüber dem Netzsternpunkt entsprechend dem Verlauf des Nullspannungssollwertes angehoben und in den Bereichen 45 55,56,57 der negativen Maxima der Grundschnigungen der Gleichrichtereingangsphasenspannungen abgesenkt, womit die Aussteuerung um einen Faktor 1.15 gegenüber Nullgrößenfreiheit der Filterkondensatorspannungen bzw. zeitlich konstantem Potential 50,51 der positiven und negativen Ausgangsspannungsschiene gegenüber Netzsternpunkt erhöht, bzw. bei gegebener Netzspannung vorteilhaft ein geringerer Wert der Ausgangsspannung gewählt werden kann.

45

PATENTANSPRÜCHE:

1. Vorrichtung zur Erhöhung der Spannungsreserve eines dreiphasigen Pulsgleichrichtersystems (1) zur Umformung eines Dreiphasen-Spannungssystems (6) mit Sternpunkt (5) in eine, über einer Serienschaltung (7) von Ausgangskondensatoren (8) und (9) auftretende Gleichspannung mit kapazitivem Mittelpunkt (10) und Vorschaltinduktivitäten (22),(23),(24) und einer, von den Netzphasenklemmen (2),(3),(4) abzweigenden Sternschaltung von Filterkondensatoren (25),(26),(27) deren Sternpunkt mit dem Ausgangsspannungsmittelpunkt (10) verbunden ist, wobei für die Regelung der Eingangsströme des Gleichrichtersystems

- (1) in jeder Phase die Regelabweichung gegenüber einem, durch einen überlagerten Ausgangsspannungsregler vorgegebenen Phasenstromsollwertanteil (28) bestimmt und die Regelabweichung einer Stromregeleinrichtung (31) zugeführt wird, die am Ausgang das Ansteuersignal eines Brückenzweig-Umschalters (14),(15) oder (16) des Gleichrichtersystems bildet **dadurch gekennzeichnet**, daß für die Bildung eines, für alle Phasen gemeinsamen zweiten Phasenstromsollwertanteils (29) die Summe (32) der, gegenüber dem Ausgangsspannungsmittelpunkt (10) positiv gemessenen Filterkondensatorspannungen (33),(34),(35) gebildet und durch ein Verstärkungsglied (36) um einen Faktor 3 abgeschwächt wird und durch Bildung der Differenz (37) des Ausgangs des Verstärkers (36) und des Ausgang (38) eines Nullspannungssollwert-Funktionsgenerators (39) die Regelabweichung (43) des Nullspannungsanteils der Filterkondensatorspannungen ermittelt wird, wobei der Nullspannungssollwert-Funktionsgenerator (39) als Eingänge (40),(41),(42) die Netzphasenspannungen (2),(3),(4) aufweist und eine dritte Oberschwingung der Netzzspannung mit einer Amplitude gleich 1/6 der Amplitude der Netzphasenspannungen und in Phase mit den Netzphasenspannungen (2),(3),(4) liegend bildet und der Ausgang (43) der Differenzbildung (37) durch ein Regelement (44) dynamisch bewertet und in den Stromsollwert-Nullgrößenanteil (29) umgeformt wird, womit das Potential (45) der positiven Ausgangsspannungsschiene in den Bereichen (52),(53),(54) der positiven Amplituden der Grundschwingungen der Gleichrichtereingangsspannungen (19),(20),(21) gegenüber dem Netzsternpunkt (5) entsprechend dem Verlauf des Kondensatorspannungsnullgrößenanteils (38) periodisch angehoben und in den Bereichen (55),(56),(57) der negativen Maxima der Grundschwingungen der Gleichrichtereingangsphasenspannungen gegenüber dem Netzsternpunkt (5) periodisch abgesenkt und entsprechend die Aussteuerung der Pulsbreitenmodulation, d.h. die Amplitude der Grundschwingungen der Gleichrichtereingangsphasenspannungen (19),(20),(21) bis zu einem Faktor 1.15 gegenüber Nullgrößenfreiheit der Filterkondensatorspannungen, bzw. zeitlich konstantem Potential (50),(51) der positiven und negativen Ausgangsspannungsschiene erhöht wird.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1 für Anwendung bei dreiphasigen Zweipunktkonvertern mit Verbindung des Sternpunktes (28) der Filterkondensatoren (25),(26),(27) mit der positiven (17) oder negativen Ausgangsspannungsschiene (18) **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Verbindung des Sternpunktes mit der negativen Ausgangsspannungsschiene (18) zum Ausgang (38) des Nullspannungssollwert-Funktionsgenerators (39) ein Spannungswert in Höhe des halben Wertes der Ausgangsspannung, d.h. der zwischen positiver und negativer Ausgangsspannungsschiene (17) und (18) gemessenen Spannung addiert und bei Verbindung des Sternpunktes (28) mit der positiven Ausgangsspannungsschiene (17) vom Ausgang (38) des Nullspannungssollwert-Funktionsgenerators (39) ein Spannungswert in Höhe der halben Ausgangsspannung subtrahiert wird.

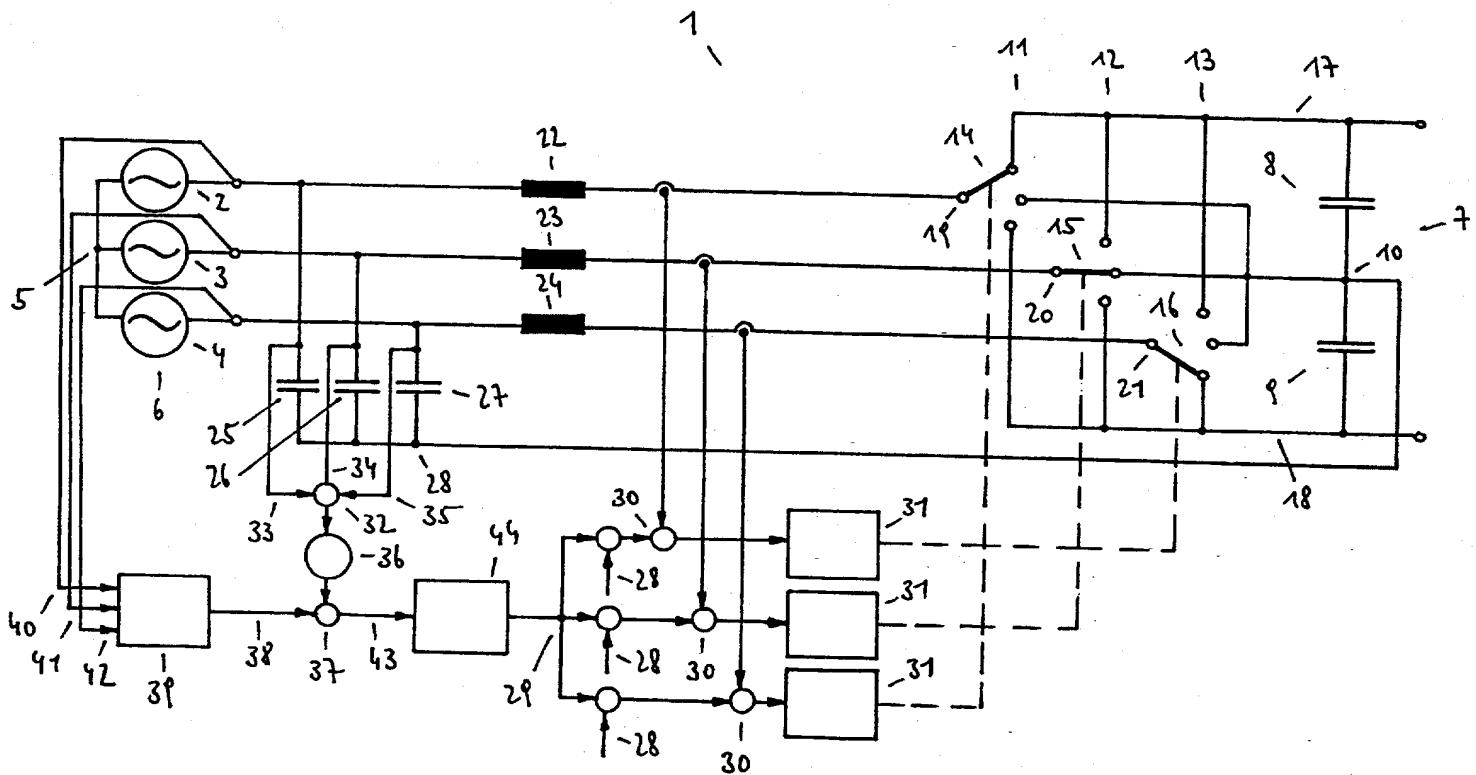
40

HIEZU 2 BLATT ZEICHNUNGEN

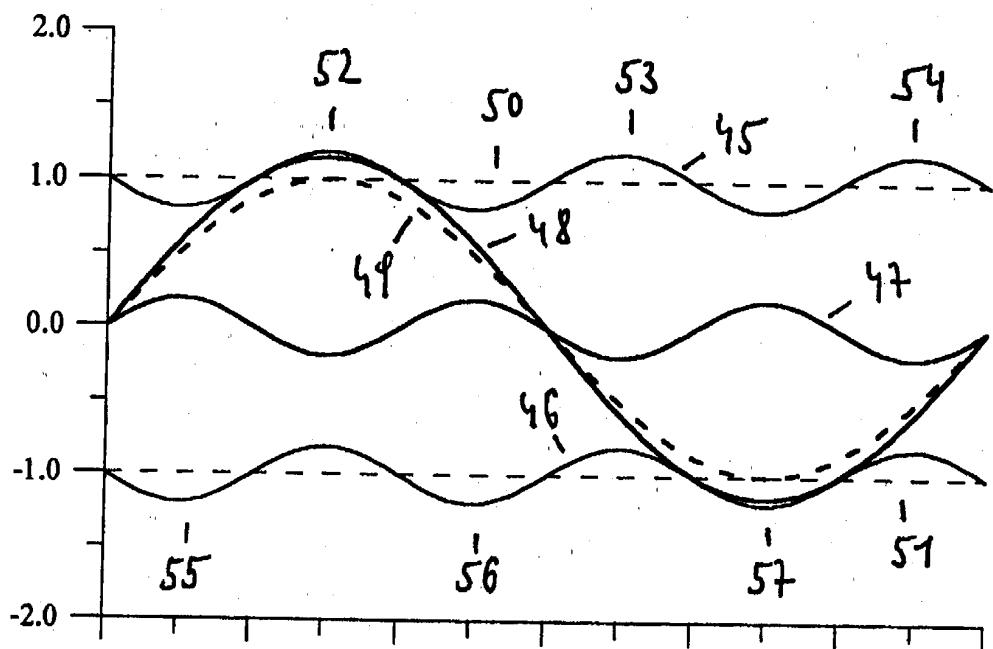
45

50

55



Figur 1



Figur 2