



REPUBLIK
ÖSTERREICH
Patentamt

(10) Nummer: **AT 412 921 B**

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 68/2003
(22) Anmeldetag: 20.01.2003
(42) Beginn der Patentdauer: 15.01.2005
(45) Ausgabetag: 25.08.2005

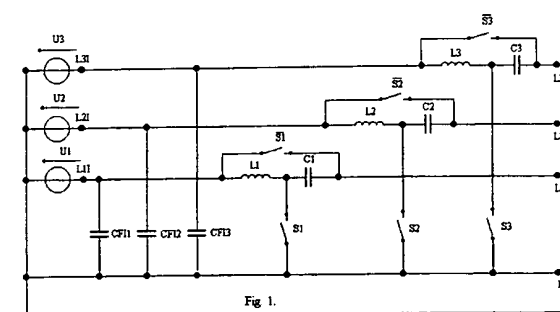
(51) Int. Cl.⁷: **G05F 1/618**
H02M 3/158

(73) Patentinhaber:
HIMMELSTOSS FELIX DIPL.ING. DR.TECHN.
A-2351 WR. NEUDORF,
NIEDERÖSTERREICH (AT).

(72) Erfinder:
HIMMELSTOSS FELIX DIPL.ING. DR.TECHN.
WR. NEUDORF, NIEDERÖSTERREICH (AT).

(54) MEHRPHASIGER DIREKTUMRICHTER

(57) Leistungsteil eines Direktumrichters mit durchverbundenem neutralem Leiter, der aus Eingangsspannungen, die verzerrt sein und auch Gleichkomponenten haben können, durch entsprechende Steuerung ein Mehrphasensystem mit beliebigen Ausgangsspannungen erzeugen kann. Von Bedeutung sind dabei besonders Sinusspannungen und Trapezspannungen mit vorgebbarer Frequenz zur Ansteuerung von Drehstrommaschinen oder von elektromechanischen Aktuatoren. In jeder Phase befindet sich ein Paar komplementär angesteuerter spannungsbidirektionaler Schalter, die invers angesteuert werden, je eine Induktivität und eine Kapazität. Eine weitere Anwendung liegt in der Realisierung von Drehstromstellern, das sind Schaltungen, die eine Veränderung des Effektivwerts bzw. der Amplitude eines Drehstromsignals gestatten.



AT 412 921 B

Die Erfindung bezieht sich auf einen Direktumrichter mit durchverbundenem neutralem Leiter. Direktumrichter sind Umrichter zur Umformung von Mehrphasenspannungen in Mehrphasenspannungen ohne einen Zwischenkreis (Spannungszwischenkreis oder Stromzwischenkreis). Das Mehrphasennetz am Eingang kann aus harmonischen Schwingungen bestehen. Es können auch

5 verzerrte Schwingungen oder Schwingungen mit einem Gleichspannungsoffset auftreten.
 Figur 1 zeigt den Grundaufbau des Direktumrichters, beispielhaft gezeichnet für drei Phasen. (Da das Drehstromsystem weltweit sehr verbreitet ist, ist das naheliegend). Die drei auf den Bezugspunkt N bezogenen Spannungen u_1 , u_2 , u_3 werden durch die Kapazitäten C_{F1} , C_{F2} , ... C_{Fn} in niederimpedante Quellen verwandelt. Die eigentliche Umformung wird in jeder Phase, bezogen auf
 10 den neutralen Leiter, mit Hilfe von zwei spannungsbidirektionalen Schaltern, die invers angesteuert werden, je einer Induktivität und einer Kapazität realisiert. An den Verbindungspunkt von Kondensator und Induktivität ist jeweils ein spannungsbidirektionaler Schalter gegen den neutralen Leiter geschaltet. Der zweite, invers angesteuerte Schalter überbrückt die Induktivität und den Kondensator, die jeweils in der Phasenleitung liegen. Bei dieser Anordnung ergibt sich, dass keine Spannungsquellen unmittelbar auf der Ausgangsseite liegen dürfen. Die Schaltung eignet sich jedoch
 15 zum direkten Anschluss einer mehrphasigen Maschine oder einer passiven, jedoch nicht aus parallel liegenden Kapazitäten bestehenden, passiven Last. Möchte man Mehrphasennetze koppeln oder eine Mehrphasenspannungsquelle erzeugen, so ist in jeder Phase ein Filter, wie in Fig. 3 dargestellt, einzufügen. Der Aufbau eines spannungsbidirektionalen Schalters, beispielhaft mit IGBTs gezeichnet, ist in mehreren Variationen in Fig. 2 dargestellt.

Besonders vorteilhaft bei den hier besprochenen Schaltungen ist die Tatsache, dass aus den Eingangswechselspannungen wieder Ausgangsspannungen unterschiedlicher Polarität erzeugt und durch entsprechende Ansteuerung Mehrphasenwechselspannungen beliebiger Form erzeugt werden können, denen auch, wenn erforderlich, ein Gleichspannungsoffset überlagert sein kann.
 25 Von praktischer Bedeutung sind dabei besonders Sinusspannungen und Trapezspannungen mit vorgebarer Frequenz zur Ansteuerung von Drehstrommaschinen. Eine weitere Anwendung kann in der Realisierung von Drehstromstellern liegen; das sind Schaltungen, die eine Veränderung des Effektivwerts bzw. der Amplitude eines Drehstromsignals gestatten.

Für den Zusammenhang zwischen den Spannungen jeder Phase lässt sich ein Steuergesetz herleiten. Im Falle idealer Bauelemente lässt sich der Zusammenhang zwischen Ausgangs- und Eingangsspannung jeder Phase, bezogen auf den neutralen Leiter bei einer Schaltfrequenz, die groß im Verhältnis zur Frequenz der vorhandenen (Eingangsspannung) bzw. zur Frequenz der gewünschten (Ausgangsspannung) ist, im eingeschwungenen Zustand mit d_1 als Tastverhältnis des Ansteuersignals für einen spannungsbidirektionalen Schalter (S1) - der zweite spannungsbidirektionale Schalter (S2) wird mit dem invertierten Puls angesteuert - gemäß einem Steuergesetz
 35

$$U_2 = \frac{d_1}{2 \cdot d_1 - 1} \cdot U_1,$$

40 darstellen. Aus den Steuergesetzen lässt sich daher das erforderliche Tastverhältnis bei gegebener Spannung U_1 und gewünschter Spannung U_2 (oder umgekehrt), gemäß

$$d_1 = \frac{U_2}{2 \cdot U_2 - U_1}$$

45 bestimmen. Diese Gleichungen gelten für Konverter mit idealen Bauelementen. Man kann aber auch genauere Steuergesetze unter Berücksichtigung der Bauteilnichtidealitäten herleiten. Die an den parasitären Widerständen auftretenden Verluste sind temperaturabhängig; man ist daher nicht mit vertretbarem Aufwand in der Lage, ein exaktes Modell zu bestimmen.

50 Je mehr man parasitäre Effekte in die Steuerung einbezieht, um so besser wird die Spannung die gewünschte Form und Größe erreichen. Bedingt durch die Verluste der realen Bauelemente der Schaltung (die auch temperaturabhängig sind) entsteht eine Verzerrung der erzeugten Spannung, die aber durch eine überlagerte Regelung, die nur den Fehler der Steuerung kompensieren muss, beseitigt werden kann. Als regelungstechnisch vorteilhaft erweist sich, dass durch die komplementäre Ansteuerung der beiden spannungsbidirektionalen Schalter pro Phase die Schaltung
 55

immer im kontinuierlichen Betrieb bleibt, das heißt, dass die Spulen (bis auf den Nulldurchgang) immer stromdurchflossen sind und sich daher die Systemordnung aus regelungstechnischer Sicht nicht ändert. Die gegenständlichen Schaltungen sind immer als Systeme 2. Ordnung pro Phase beschreibbar. Diese fixe Ordnungszahl erleichtert den Reglerentwurf, da keine Strukturumschaltungen erforderlich sind. Das System hat als Eingriffsmöglichkeit nur das Tastverhältnis. Zur Verbesserung der Dynamik ist auf jeden Fall eine Kombination aus Steuerung und Regelung zu empfehlen. Wird, wie bei der Kopplung von Mehrphasennetzen erforderlich, ein Ausgangsfilter nötig, so steigt entsprechend der Filterordnung die Systemordnung an. Bei der Realisierung von Antrieben erhöht sich ebenso durch die angeschlossene Maschine die Gesamtsystemordnung. Zur Realisierung einer mehrphasigen Stromquelle ist es nur erforderlich, in jede Phasenausgangsleitung eine Induktivität zu schalten.

Das erforderliche Tastverhältnis (Summe aus Steuergesetz und überlagertem Regler) wird sinnvoll digital berechnet und als pulsbreitenmoduliertes Signal an die Ansteuerschaltungen der aktiven Schalter übergeben. (Die Ansteuerung von aktiven Halbleiterschaltern ist Stand der Technik und wird daher hier nicht behandelt.)

Bei allen Schaltungsvarianten wird die Schaltfrequenz dem Anwendungszweck entsprechend gewählt, wobei eine höhere Frequenz in Hinblick auf die Dimensionierung der Drosseln und Kondensatoren zweckmäßig ist.

Es ist noch anzuführen, dass der spannungsbidirektionale Schalter durch Entlastungsnetzwerke oder mit Hilfe von Quasiresonanzstrukturen und ähnlichen Strukturen zur Reduktion der Schaltverluste erweitert werden kann.

Bedingt durch die Bidirektionalität der besprochenen Schaltungen kann Ein- und Ausgang vertauscht werden.

Die Figuren 1 und 3 stellen die beiden grundsätzlichen Ausformungen der gegenständlichen Erfindung (ohne und mit Ausgangsfilter) dar. Figur 2 stellt in 2.b, 2.c und 2.d mögliche Realisierungen des spannungsbidirektionalen Schalters dar. Sie sind stellvertretend mit IGBT-Transistoren gezeichnet. In jeder Phase i des Direktumrichters, der in den Abbildungen Fig. 1 und Fig. 3 dargestellt ist, befinden sich eine Spule (Induktivität) L_i , ein Kondensator (Kapazität) C_i und ein Paar spannungsbidirektionale Schalter S_i und $\bar{S}_i$. L_i , C_i sind in Serie geschaltet und dienen der Energiespeicherung und Energieumwandlung, der Kondensator C_i dient als hauptsächlicher Energiezwischenpeicher, die Kondensatoren C_{Fii} dienen zur Filterung der Spannung U_{ii} und zur Impedanzanpassung am Eingang. Die Schalter S_i werden mit konstanter oder veränderlicher Frequenz mit dem erforderlichen Tastverhältnis, erzeugt durch die überlagerte Steuerung und Regelung des Direktumrichters, angesteuert. Die Schalter $\bar{S}_i$ werden mit der gleichen konstanten oder veränderlichen Frequenz wie die Schalter S_i angesteuert, aber mit dem invertierten Signal. In Figur 3 ist noch in jeder Phase ein Ausgangsfilter, bestehend aus einer Induktivität L_{FOi} und einer Kapazität C_{FOi} zwecks Filterung eingebaut. Lässt man die Kondensatoren C_{FOi} in den jeweiligen Phasen weg, so hat der Direktumrichter eine Stromquellencharakteristik.

40 Bezugszeichenaufstellung

	(u_1, u_2, u_3)	Spannung (Fig.1)
	$(U_{11}, U_{12}, U_{13}, \dots, U_{1n})$	Spannung an den ersten Klemmen
	$(U_{21}, U_{22}, U_{23}, \dots, U_{2n})$	Spannung an den zweiten Klemmen
45	$L_i (L_1, L_2, \dots, L_n)$	Induktivität, Spule
	$L_{io} (L_{1o}, L_{2o}, \dots, L_{no})$	Induktivität, Spule
	$C_i (C_1, C_2, \dots, C_n)$	Kondensator
	$C_{Fii} (C_{F1i}, C_{F2i}, \dots, C_{Fni})$	Kondensator
	$C_{FOi} (C_{FO1}, C_{FO2}, \dots, C_{FOn})$	Kondensator
50	$(S_1, \bar{S}_1, S_2, \bar{S}_2, \dots, S_n, \bar{S}_n)$	spannungsbidirektionaler Schalter
	$L_{ii} (L_{1i}, L_{2i}, \dots, L_{ni})$	Anschluss (Klemme) für erste Spannung
	N	Anschluss (Klemme) für neutralen Leiter (Bezugspunkt)
	$L_{io} (L_{1o}, L_{2o}, \dots, L_{no})$	Anschluss (Klemme) für zweite Spannung (Fig.1)
	$L_{io}^* (L_{1o}^*, L_{2o}^*, \dots, L_{no}^*)$	Anschluss (Klemme) für zweite Spannung (Fig.3)
55	$L_{io} (L_{1o}, L_{2o}, \dots, L_{no})$	Anschluss (Klemme) für Filter (Fig.3)

PATENTANSPRÜCHE:

1. Wandlerschaltung zur Umformung von n , wobei gilt $n \geq 2$, bipolaren Spannungen ($U_{11}, U_{12}, U_{13}, \dots, U_{1n}$) in n bipolare Spannungen ($U_{21}, U_{22}, U_{23}, \dots, U_{2n}$) mit Hilfe von n komplementär angesteuerten spannungsbidirektionalen Schalterpaaren ($S_1, \bar{S}_1, S_2, \bar{S}_2, \dots, S_n, \bar{S}_n$), sowie n Kondensatoren ($C_1, C_2, \dots, C_n$) und n Induktivitäten ($L_1, L_2, \dots, L_n$) **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Anschluss der Induktivität L_i ($L_1, L_2, \dots, L_n$) mit der entsprechenden ersten Anschlussklemme der Schaltung L_{i1} ($L_{11}, L_{21}, \dots, L_{n1}$) verbunden ist und der andere Anschluss der Induktivität L_i ($L_1, L_2, \dots, L_n$) in Serie mit einem Kondensator C_i ($C_1, C_2, \dots, C_n$) geschaltet ist, dessen zweiter Anschluss mit einer zweiten Anschlussklemme der Schaltung L_{i2} ($L_{12}, L_{22}, \dots, L_{n2}$) verbunden ist, und dass ein spannungsbidirektionaler Schalter $\bar{S}_i$ ($\bar{S}_1, \bar{S}_2, \dots, \bar{S}_n$) immer den Kondensator C_i ($C_1, C_2, \dots, C_n$) in Serie mit der Induktivität L_i ($L_1, L_2, \dots, L_n$) überbrückt und die anderen spannungsbidirektionalen Schalter S_i ($S_1, S_2, \dots, S_n$) immer von dem Knoten, wo der Kondensator C_i ($C_1, C_2, \dots, C_n$) mit der Induktivität L_i ($L_1, L_2, \dots, L_n$) zusammengeschaltet ist, der nicht an den anderen spannungsbidirektionalen Schalter $\bar{S}_i$ ($\bar{S}_1, \bar{S}_2, \dots, \bar{S}_n$) angeschlossen ist, zum neutralen Leiter (Bezugspunkt) (N) geschaltet ist.
2. Wandlerschaltung nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, dass von den ersten Klemmen der Schaltung L_{i1} ($L_{11}, L_{21}, \dots, L_{n1}$) jeweils ein Kondensator C_{F1i} ($C_{F11}, C_{F12}, \dots, C_{F1n}$) zum neutralen Leiter (N) geschaltet ist.
3. Wandlerschaltung nach Anspruch 1 und 2 **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ansteuerung durch Kombination einer Steuerung, die sich gemäß dem Steuergesetz für die i -te Phase ($i = 1, 2, \dots, n$) zwischen Tastverhältnis (Einschaltdauer des aktiven Schalters (S_i) zur Taktperiode des Schalters (S_i) bei gleichzeitiger komplementärer Ansteuerung des Schalters ($\bar{S}_i$)), Spannung (U_{i1}), erwünschter Spannung (U_{i2}) und den Bauteilwerten ergibt und einer überlagerten Regelung, die zur Kompensation des Fehlers der Steuerung dient, erfolgt, wobei die Berechnung des Tastverhältnisses durch eine diskret aufgebaute Schaltung (gemischt analog-digital) oder durch einen Mikrocontroller oder Signalprozessor erfolgen kann.
4. Wandlerschaltung gemäß Anspruch 1 und 2 **dadurch gekennzeichnet**, dass die spannungsbidirektionalen Schalter mit soft-switching Netzwerken zur Reduktion der Schaltverluste versehen sind.
5. Wandlerschaltung gemäß Anspruch 1 und 2 **dadurch gekennzeichnet**, dass an den veränderbaren Spannungen an den zweiten Klemmen ($L_{i2}, L_{22}, \dots, L_{n2}$) eine Mehrphasenmaschine mit der Phasenzahl i oder ein Mehrphasenaktuator geschaltet ist.
6. Wandlerschaltung gemäß Anspruch 1 und 2 **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen den zweiten Klemmen ($L_{i2}, L_{22}, \dots, L_{n2}$) und der Last jeweils ein Filter angeschlossen ist.
7. Wandlerschaltung gemäß Anspruch 6 **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen den Klemmen L_{i2} ($L_{12}, L_{22}, \dots, L_{n2}$) und den Klemmen L_{i2}^* ($L_{12}^*, L_{22}^*, \dots, L_{n2}^*$) jeweils eine Induktivität L_{FOi} ($L_{FO1}, L_{FO2}, \dots, L_{FOn}$) geschaltet ist und von den Klemmen L_{i2}^* ($L_{12}^*, L_{22}^*, \dots, L_{n2}^*$) jeweils ein Kondensator C_{FOi} ($C_{FO1}, C_{FO2}, \dots, C_{FOn}$) zum neutralen Leiter (N) geschaltet ist.
8. Wandlerschaltung gemäß Anspruch 6 **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen den Klemmen L_{i2} ($L_{12}, L_{22}, \dots, L_{n2}$) und den Klemmen L_{i2}^* ($L_{12}^*, L_{22}^*, \dots, L_{n2}^*$) jeweils eine Induktivität L_{FOi} ($L_{FO1}, L_{FO2}, \dots, L_{FOn}$) geschaltet ist.
9. Wandlerschaltung gemäß Anspruch 6 oder 7 **dadurch gekennzeichnet**, dass sie zur Kopplung von Spannungsnetzen dienen.

HIEZU 1 BLATT ZEICHNUNGEN

