

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 2324/89

(51) Int.Cl.⁶ : **H02M 5/458**

(22) Anmeldetag: 9.10.1989

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 1.1996

(45) Ausgabetag: 25. 9.1996

(56) Entgegenhaltungen:

EP 0316006A US 4212056A

(73) Patentinhaber:

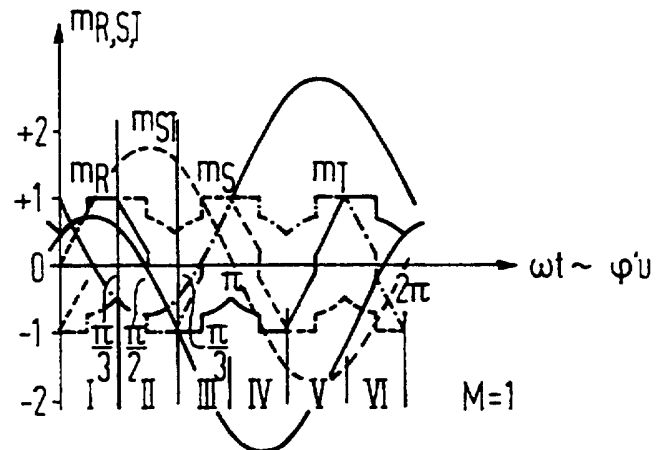
FRONIUS SCHWEISSMASCHINEN KG. AUSTRIA
A-4600 WELS-THALHEIM, OBERÖSTERREICH (AT).

(72) Erfinder:

KOLAR JOHANN ING.
WIEN (AT).
ERTL HANS DIPL.ING.
NAUERKIRCHEN, SALZBURG (AT).
ZACH FRANZ DIPL.ING. DR.
WIEN (AT).

(54) STEUERVERFAHREN FÜR DREIPHASIGE BIDIREKTIONALE PULSUMRICHTER HOHER TAKTZAHL

(57) Die Erfindung beschreibt eine Steueranordnung für dreiphasige bidirektionale Umrichter hoher Taktzahl mit Gleichspannungszwischenkreis und eine Modulationseinrichtung mit einem Funktionsgenerator zur Erzeugung dreier Modulationsfunktionen (m_R , m_S , m_T) für ein Pulsbreitenmodulationsverfahren, wobei alternierend der positive oder negative Pfad im Zwischenkreis (2) als Bezugspunkt des erzeugten Phasenspannungssystems dient. Der Einschaltzyklus jeweils einer Umrichterphase ist innerhalb einer Umgebung der Maxima der Grundschiwingung der von dieser Phase erzeugten Ausgangsspannung festgehalten und somit alternierend der positive oder negative Pfad (4.5) im Zwischenkreis (2) als Bezugspunkt des erzeugenden Phasenspannungssystems dient. Die beiden jeweils anderen Umrichterphasen sind während dieser Winkelintervalle derart gesteuert, daß unter Einbeziehung der festgehaltenen Umrichterphase im zeitlichen Mittel über eine Pulsperiode Sinusform aufweisende verkettete Spannungen auftreten.



Gegenstand der Erfindung ist eine Steueranordnung für dreiphasige bidirektionale Umrichter hoher Taktzahl mit Gleichspannungszwischenkreis und eine Modulationseinrichtung mit einem Funktionsgenerator zur Erzeugung dreier Modulationsfunktionen (m_R , m_S , m_T) für ein Pulsbreitenmodulationsverfahren, wobei alternierend der positive oder negative Pfad im Zwischenkreis als Bezugspunkt des erzeugten Phasenspannungssystems dient.

Es ist bereits eine Steueranordnung für dreiphasige bidirektionale Umrichter hoher Taktzahl gemäß EP-OS-0 316 006 bekannt. Die Steueranordnung weist einen Gleichspannungszwischenkreis mit einer Modulationseinrichtung und einem Funktionsgenerator zur Erzeugung dreier Modulationsfunktionen für eine Pulsbreitenmodulationsverfahren auf. In diesem Dokument ist weiters eine Ausbildung der Modulationseinrichtung beschrieben, die für die Realisierung der verschiedenen Steuerverfahren geeignet ist und eine synchrone und asynchrone Modulation erlaubt. Nachteilig ist hierbei, daß nur ganz allgemein darauf hingewiesen wird, daß die beschriebene Modulationseinrichtung auch zur Realisierung von Steuerverfahren geeignet ist, die die positive oder negative Zwischenkreisschiene als Bezugspunkt verwendet, jedoch jegliche Detailhinweise für eine konkrete Lösung fehlen.

Weiters ist aus der US-PS 4,212,056 eine Stromquelle zur Erzeugung einer Wechselspannung aus einer Gleichspannung bekannt, bei der durch Pulsbreitenmodulation Schalter derart angesteuert werden, daß aus einer Gleichspannung eine Wechselspannung entsteht und die Kurvenform durch das Ein- und Ausschalten der Schalter geregelt werden kann.

Die mittels moderner abschaltbarer Leistungshalbleiter mögliche Entwicklung mehrphasiger Pulsumrichter hoher Taktzahl und wesentliche Fortschritte auf dem Gebiet der signalverarbeitenden Elektronik bilden die Grundlage der Realisierung hochdynamischer Wechselstrommaschinenantriebe, die beispielsweise als Hauptspindelantriebe von Werkzeugmaschinen breite Anwendung finden. Eine Rückspeisung der im Zwischenkreis bei Bremsbetrieb der Maschine anfallenden Energie ist mittels antiparalleler Anordnung zweier klassischer netzgeführter Stromrichter am Eingang, oder bei gleichspannungsseitiger Kopplung zweier Pulsumrichter möglich, die abhängig vom Betriebszustand der Wechselstrommaschine als Pulsleich- bzw. Pulswechselrichter arbeiten. Diese Kopplung zweier Pulsumrichter stellt aufgrund des bidirektional möglichen Energieflusses, der gegebenen Minimierbarkeit des Zwischenkreiskondensators, der hohen Ausnutzung der Leistungshalbleiter und des ausgezeichneten Netzverhaltens ein technisch nahezu ideales System dar. Mittels Pulsbreitenmodulation wird im Mittel über eine Taktperiode am netzseitigen Eingang wie am maschinenseitigen Ausgang ein Sinusspannungssystem erzeugt, wobei aufgrund der Glättung über netzseitig vorgeschaltete Induktivitäten bzw. die Streuinduktivitäten der Wechselstrommaschine nahezu sinusförmige Netz- und Maschinenströme resultieren.

Die oben angeführte Pulsbreitenmodulation kann dabei im einfachsten Fall durch Verschneiden einer Sinus- mit einer Dreieckfunktion (Unterschwingungsverfahren) erfolgen. Dabei bleibt die erreichbare Amplitude der Ausgangsspannung bei Ausschluß des Bereiches der Übermodulation auf den halben Betrag der Zwischenkreisspannung beschränkt. Bei Addition einer dritten Harmonischen entsprechend der Amplitude zur oben erwähnten rein sinusförmigen Modulationsfunktion kann die maximale Aussteuerbarkeit um etwa 15 % erhöht und gleichzeitig im oberen Aussteuerbereich der Effektivwert der auftretenden Oberschwingungen wesentlich gesenkt werden.

Allen bisher bekannten Modulationsverfahren gemeinsam ist die Erzeugung im Mittel sinusförmiger Phasenspannungen, die allenfalls mit Harmonischen durch drei teilbarer Ordnungszahl beaufschlagt sind. Als Bezugspunkt dient dabei der fiktive Mittelpunkt der Zwischenkreisspannung. Die Phasenspannungen treten nach außen nur entsprechend ihren, die verketteten Spannungen bildenden Differenzen auf. Sogenannte Nullgrößen bilden sich nicht in die Ausgangsgrößen ab, wobei ein Dreileiternetz angenommen wird.

Demgegenüber wird erfindungsgemäß ein Steuerverfahren vorgeschlagen das dadurch gekennzeichnet ist, daß der Einschaltzyklus jeweils einer Umrichterphase innerhalb einer Umgebung der Maxima der Grundschwingung der von dieser Phase erzeugten Ausgangsspannung festgehalten ist und somit alternierend der positive oder negative Pfad im Zwischenkreis als Bezugspunkt des erzeugenden Phasenspannungssystems dient und die beiden jeweils anderen Umrichterphasen während dieser Winkelintervalle derart gesteuert sind, daß unter Einbeziehung der festgehaltenen Umrichterphase im zeitlichen Mittel über eine Pulsperiode Sinusform aufweisende verkettete Spannungen auftreten.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann die Schaltfrequenz des Umrichters gegenüber bekannten Verfahren um den Faktor 1,5 erhöht werden, da durch das Verfahren die mittlere Schaltfrequenz gleich bleibt. Damit werden auch die geräuschbildenden Frequenzen in höhere Bereiche verschoben. Ein weiterer Vorteil besteht hinsichtlich der auftretenden Oberschwingungseffektivwerte. Diese liegen, bezogen auf gleiche mittlere Umrichterschaltfrequenz, im oberen Aussteuerbereich um etwa 50 % unter jenen der eingangs erwähnten Modulationsverfahren, die bisher als besonders günstig angesehen wurden. Diese Vorteile treten besonders bei Pulsleichrichtersystemen hervor, da diese wegen der näherungsweise

konstanten Netzspannung stationär stets bei Aussteuergraden nahe Eins arbeiten.

Anhand von Zeichnungen soll nachfolgend das erfindungsgemäße Steuerverfahren näher erläutert werden.

Es zeigen

- 5 Fig. 1 ein Schaltschema einer gleichstromseitigen Kopplung zweier bidirektionaler Pulsumrichter gebildeten Umrichtersystem in vereinfachter schematischer Darstellung;
- Fig. 2 ein Diagramm, in dem der Verlauf der Modulationsfunktionen des Umrichtersystems dargestellt ist;
- Fig. 3 ein Diagramm, in dem ein weiterer Verlauf der Modulationsfunktionen eines Umrichtersystem dargestellt ist;
- 10 Fig. 4 ein Diagramm, in dem die Oberwellenverluste der erfindungsgemäßen Umrichtersysteme gezeigt ist.

Fig. 1 zeigt die maschinenseitige Hälfte eines durch gleichstromseitige Kopplung zweier bidirektionaler Pulsumrichter gebildeten Umrichtersystems. Als Last ist ein Drehstrommotor 1 angenommen. Der gemeinsame Gleichspannungszwischenkreis 2 weist einen Kondensator 3 auf, der zwischen die positive Gleichstromzwischenkreisschiene 4 und die negative Gleichstromzwischenkreisschiene 5 geschaltet ist. Mit der positiven Zwischenkreisschiene 4 sind in bekannter Weise die Leistungshalbleiter T1-T3 verbunden und mit der negativen Zwischenkreisschiene 5 die Leistungshalbleiter T1' -T3'. In herkömmlicher Weise sind Freilaufdioden D1-D3, D1' -D3' angeordnet.

Für das erfindungsgemäße Steuerverfahren ist bei beispielsweise analoger Realisierung ein Funktionsgenerator 6 vorgesehen, der die nachfolgend näher definierten Modulationsfunktionen m_R , m_S , m_T als Ausgangsgrößen liefert. Jede dieser Ausgangsgrößen wird an den nichtinvertierenden Eingang eines Komparators 7-9 geführt, dessen invertierender Eingang mit der Dreieckfunktion der Frequenz f_s beaufschlagt wird, die von einem Generator 10 erzeugt wird. Jeder der Ausgangsgrößen der Komparatoren 7-9 wird über hier nicht gezeigte Impulsformer- und Impulsverdopplerstufen an den Steuereingang der beiden, jeweils den Motorphasen zugeordneten Leistungshalbleiter T1, T1'; T2, T2'; T3, T3' geführt, wobei für die mit der negativen Zwischenkreisspannungsschiene 5 verbundenen Leistungshalbleiter T1'-T3' diese Ausgangsgröße durch Umkehrstufen 11-13 negiert wird. An zwei Eingängen 14, 15 des Funktionsgenerator 6 können Steuergrößen für die Ausgangsfrequenz f_a des Pulsumrichters sowie für die Modulationstiefe M gelegt werden.

Die Figuren 2 und 3 veranschaulichen jeweils den Verlauf der Modulationsfunktionen m_R , m_S , m_T , die bei der hier beispielsweise analogen Realisierung eines Steuersatzes 16 die Erfordernisse des erfindungsgemäßen Steuerverfahrens erfüllen, wobei zur Verdeutlichung die Modulationsfunktion m_R hervorgehoben dargestellt ist.

In Fig. 2 sind Modulationsfunktionen m_R , m_S , m_T dargestellt deren Verlauf den nachstehenden Ausdrücken entspricht, wobei die Modulationstiefe M mit dem Wert 1 angenommen ist.

$$\begin{aligned}
 40 \quad M \leq \frac{2}{\sqrt{3}}, \varphi'_u \in \left[\frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{2} \right] : m_R &= 1 - \sqrt{3}M \sin \left(\varphi'_u - \frac{\pi}{3} \right) \\
 m_S &= +1 \\
 m_T &= 1 - \sqrt{3}M \sin \varphi'_u \\
 45 \quad \varphi'_u \in \left[\frac{\pi}{2}, \frac{2\pi}{3} \right] : m_R &= \sqrt{3}M \sin \left(\varphi'_u + \frac{\pi}{3} \right) - 1 \\
 m_S &= \sqrt{3}M \sin \varphi'_u - 1 \\
 50 \quad m_T &= -1
 \end{aligned}$$

Hier ist deutlich das zyklisch aufeinanderfolgende Verweilen jeder Modulationsfunktion auf dem Wert 1 während eines gewissen Zeitintervalls zu erkennen, wodurch das erfindungsgemäße Festlegen des Schaltzustandes der zugehörigen Umrichterphase während dieses Zeitintervalles aufgrund der bekannten Wirkungsweise der angewandten Pulsbreitenmodulation verursacht ist. Während dieses "Ruhezustandes" einer Modulationsfunktion z.B. m_R ist der Verlauf der beiden anderen Modulationsfunktionen m_S , m_T so gegeben, daß durch ihre geometrische Addition ein sinusförmiger Kurvenverlauf entsteht, wie hier für m_{ST} gezeigt ist. Da der "Ruhezustand" jeder Modulationsfunktion während insgesamt eines Drittels der Periodendauer

andauert, tritt die Schaltfrequenz f_S nur mit 2/3 ihres Betrages als mittlere Schaltfrequenz in Erscheinung.

In Fig. 3 sind Modulationsfunktionen m_R , m_S , m_T gezeigt deren Verlauf den nachstehenden Ausdrücken entspricht, wobei die Modulationstiefe M ebenfalls mit 1 angenommen ist.

5

$$M \leq \frac{2}{\sqrt{3}}, \varphi'_u \in \left[\frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{2} \right] : m_R = \sqrt{3}M \sin \left(\varphi'_u + \frac{\pi}{3} \right) - 1$$

$$m_S = \sqrt{3}M \sin \varphi'_u - 1$$

10

$$m_T = -1$$

$$\varphi'_u \in \left[\frac{\pi}{2}, \frac{2\pi}{3} \right] : m_R = 1 - \sqrt{3}M \sin \left(\varphi'_u - \frac{\pi}{3} \right)$$

$$m_S = +1$$

15

$$m_T = 1 - \sqrt{3}M \sin \varphi'_u$$

Diese Modulationsfunktionen weisen andere Verläufe auf, es gilt aber prinzipiell das zu Fig. 2 Gesagte.

20

In Fig. 4 ist in einem Diagramm dargestellt, wie sich die Oberwellenverluste in Abhängigkeit vom Modulationsgrad M verhalten. Es ist erkennbar, daß im vorzugsweise angewandten Bereich von $M=1$ die erfindungsgemäßen Steuerverfahren - Kurven [4], [5] - entscheidend weniger Oberwellenverluste aufweisen als die im Stand der Technik bekannten Verfahren - "Unterschwingungsverfahren", Kurve [1] oder Verfahren mit Addition einer dritten Harmonischen, Kurven [2], [3].

25

Patentansprüche

30

1. Steueranordnung für dreiphasige bidirektionale Umrichter hoher Taktzahl mit Gleichspannungszwischenkreis und eine Modulationseinrichtung mit einem Funktionsgenerator zur Erzeugung dreier Modulationsfunktionen (m_R , m_S , m_T) für ein Pulsbreitenmodulationsverfahren, wobei alternierend der positive oder negative Pfad im Zwischenkreis als Bezugspunkt des erzeugten Phasenspannungssystems dient, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Einschaltzyklus jeweils einer Umrichterphase innerhalb einer Umgebung der Maxima der Grundschiwingung der von dieser Phase erzeugten Ausgangsspannung festgehalten ist und somit alternierend der positive oder negative Pfad (4.5) im Zwischenkreis (2) als Bezugspunkt des erzeugenden Phasenspannungssystems dient und die beiden jeweils anderen Umrichterphasen während dieser Winkelintervalle derart gesteuert sind, daß unter Einbeziehung der festgehaltenen Umrichterphase im zeitlichen Mittel über eine Pulsperiode Sinusform aufweisende verkettete Spannungen auftreten.

35

40

Hiezu 2 Blatt Zeichnungen

45

50

55

FIG. 1

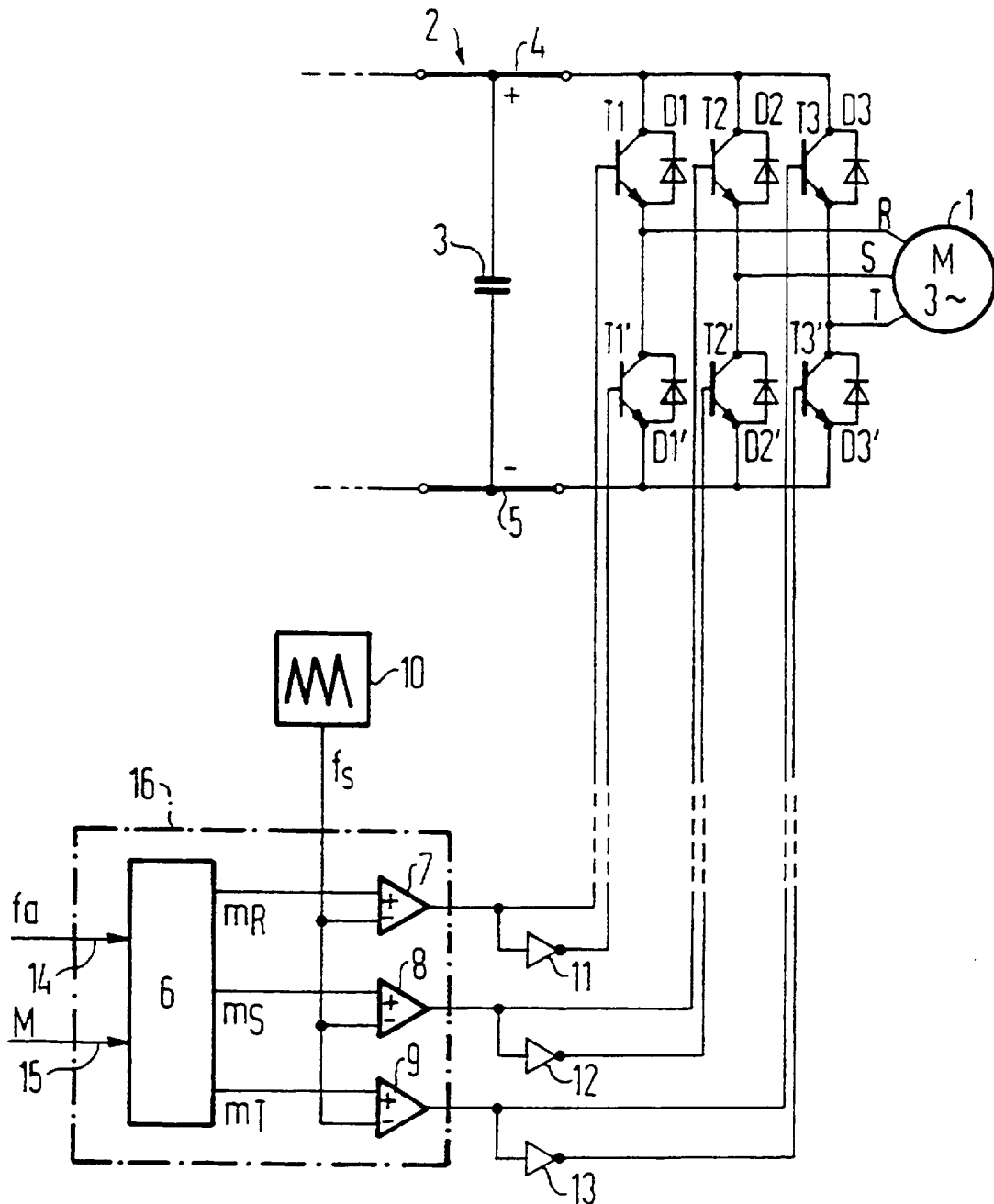


FIG. 2

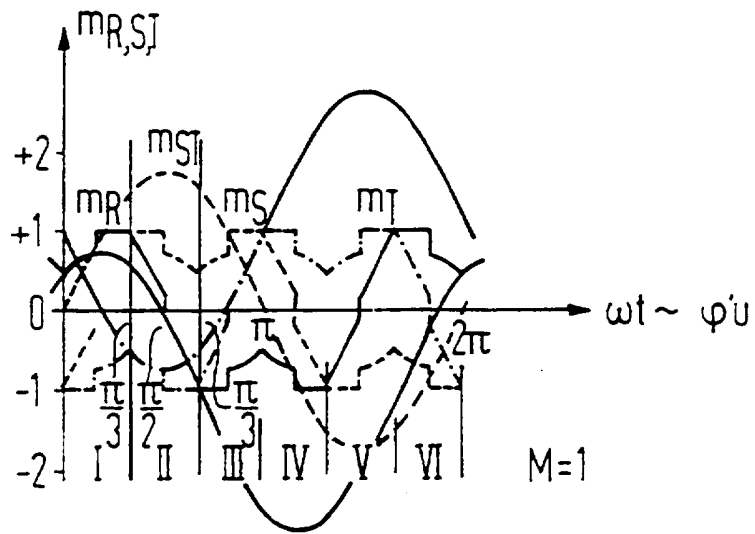


FIG. 3

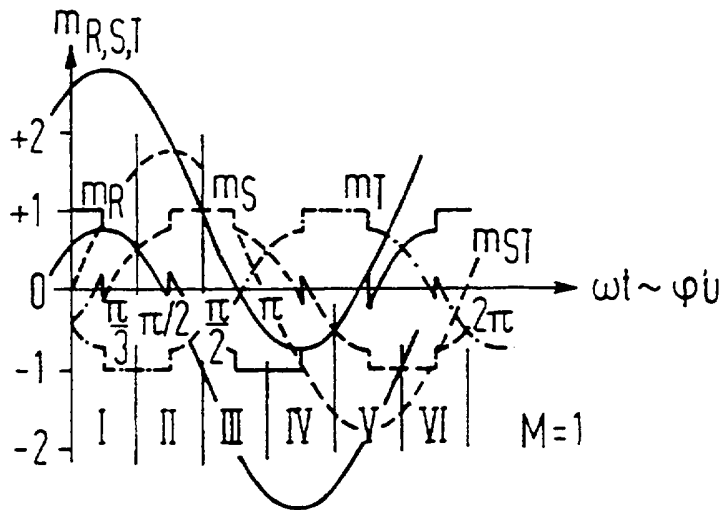


FIG. 4

