

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 267/2020
(22) Anmeldetag: 04.12.2020
(45) Veröffentlicht am: 15.08.2024

(51) Int. Cl.: **H02P 5/68** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2008104640 A1
JP S6192196 A
CN 101552584 A

(73) Patentinhaber:
Fachhochschule Technikum Wien
1200 Wien (AT)

(72) Erfinder:
Himmelstoss Felix Dipl.Ing. Dr.
2351 Wiener Neudorf (AT)
Votzi Helmut Dr. MSc
2304 Orth an der Donau (AT)

(74) Vertreter:
Himmelstoss Felix Dipl.Ing. Dr.
1200 Wien (AT)

(54) Vorrichtung zur Ansteuerung von zwei Gleichstrommaschinen

(57) Die Erfindung betrifft Konverter zum Antrieb von zwei Gleichstrommaschinen (M1, M2), bestehend aus einer Serienschaltung von drei aktiven Schaltern (S_1 , S_2 , S_3) mit zugehöriger Treiberstufe und mit jeweils antiparallelen passiven Schaltern (D_1 , D_2 , D_3). Es ist Zweiquadrantenbetrieb, also Fahren und Bremsen bei einer Drehrichtung möglich. Wird die Schaltung verdoppelt, so kann ein Vierquadrantensteller realisiert werden, d.h. Fahren und Bremsen in beiden Drehrichtungen. Lässt man S_3 weg, so entsteht ein Einquadrantensteller. Die Erfindung eignet sich insbesondere für den Zweiquadrantensteller in der Traktion und bei Retrofit von Antriebssystemen wie bei Straßenbahnen, Trolleybussen, Triebwagenzügen, Schrägaufzügen und ähnlichen Anwendungen. Weitere Anwendungen ergeben sich im Modellbau, bei Drohnen und Fluggeräten, wo es auf geringes Gewicht ankommt. Die Ausgestaltung als Einquadrantensteller ist für Kombinationen von Pumpen oder Lüftern und in Klimageräten sinnvoll.

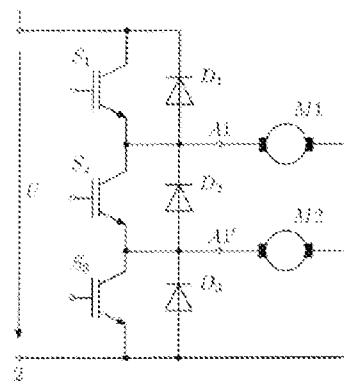


Fig. 1

Beschreibung

VORRICHTUNG ZUR ANSTEUERUNG VON ZWEI GLEICHSTROMMASCHINEN

[0001] Die Erfindung betrifft Konverter zum Antrieb von zwei Gleichstrommaschinen (M1, M2), bestehend aus einer Serienschaltung von drei aktiven Schaltern (S_1 , S_2 , S_3) mit zugehöriger Treiberstufe und mit jeweils antiparallelen passiven Schaltern (D_1 , D_2 , D_3), einer ersten positiven Anschlussklemme (1), die an den positiven Anschluss des ersten aktiven Schalters (S_1) geschaltet ist und einer zweiten negativen Anschlussklemme (2), die an den negativen Anschluss des dritten Schalters (S_3) geschaltet ist, zwischen denen die Eingangsspannung angeschaltet ist. Die Erfindung betrifft weiters Konverter zum Antrieb von zwei Gleichstrommaschinen (M1, M2), bestehend aus einer ersten Serienschaltung von drei aktiven Schaltern (S_1 , S_2 , S_3) mit zugehöriger Treiberstufe und mit jeweils antiparallelen passiven Schaltern (D_1 , D_2 , D_3), an die die Eingangsspannung geschaltet ist und einer zweiten Serienschaltung von drei aktiven Schaltern (S_4 , S_5 , S_6) mit zugehöriger Treiberstufe und mit jeweils antiparallelen passiven Schaltern (D_4 , D_5 , D_6), einer ersten positiven Anschlussklemme (1), die an den positiven Anschluss des ersten aktiven Schalters (S_1) und an den positiven Anschluss des vierten aktiven Schalters (S_4) geschaltet ist und einer zweiten negativen Anschlussklemme (2), die an den negativen Anschluss des dritten Schalters (S_3) und an den negativen Anschluss des sechsten Schalters (S_6) geschaltet ist, zwischen denen die Eingangsspannung angeschaltet ist und schließlich weiters Konverter zum Antrieb von zwei Gleichstrommaschinen (M1, M2), bestehend aus einer Serienschaltung von zwei aktiven Schaltern (S_1 , S_2) mit zugehöriger Treiberstufe und mit jeweils antiparallelen passiven Schaltern (D_1 , D_2), wobei an den negativen Anschluss des zweiten aktiven Schalters die Kathode einer dritten Diode geschaltet ist und die Eingangsspannung zwischen dem positiven Anschluss des ersten Schalters (S_1) und der Anode der dritten Diode (D_3) geschaltet ist.

[0002] Zum allgemeinen Stand der Technik:

[0003] D1 WO 2008104640 A1 (IWS INT OY et.al.) zeigt einen sogenannten Stromverteilungsknoten zur Versorgung von Leuchtmitteln und Motoren. In dieser Vorrichtung sind komplementäre MOSFET-Stufen (Halbbrücken) vorgesehen, mit denen angeschlossene Lasten angesteuert werden. Kombiniert man zwei Halbbrücken, so kann man einen Gleichstrommotor in beiden Richtungen betreiben. Schließt man den Motor zwischen Mittelpunkt einer Halbbrücke und zwischen plus oder minus an, so ist Zweiquadrantenbetrieb möglich, Fahren und Bremsen in einer Richtung. Die Topologien die sich ergeben unterscheiden sich grundsätzlich von der gegenständlichen Erfindung.

[0004] D2 JP S6192196 A (NEW JAPAN RADIO CO LTD) zeigt einen Antrieb für zwei Gleichstrommaschinen mit sechs elektronischen Schaltern (ausgeführt als Bipolartransistoren). Diese Schaltung ist nur für sehr geringe Betriebsspannungen geeignet, da keine expliziten Dioden vorhanden sind und bei Umschaltvorgängen es zu Durchbrüchen bei den Transistoren kommt und daher nur kleine Spannungen verarbeitet werden können. Der Betrieb der Transistoren wird daher im Linearbetrieb erfolgen müssen. Struktur der Schaltung und auch der Anwendungsbereich unterscheiden sich deutlich von der gegenständlichen Erfindung.

[0005] D3 CN 101552584 A (UNIV XI AN JIAOTONG) zeigt eine universale Treiberstufe. Beide Maschinen werden dabei immer von Strom durchflossen. Beide Drehrichtungen sind möglich, Fahren und Bremsen, aber keine unterschiedliche Ansteuerung der Maschinen im Gegensatz zur gegenständlichen Erfindung. Weiters unterscheidet sich die Schaltungstopologie auch hier wieder deutlich.

[0006] Die Vorrichtung besteht aus einer oder zwei Serienschaltung/en von je drei strombidirektionalen Schaltern (je bestehend aus einem aktiven und einem antiparallelen passiven Schalter mit Treiberstufe) an die die Eingangsspannung angeschlossen ist. Am Zusammenschluss zwischen je zwei strombidirektionalen Schaltern ist je eine Ausgangsklemme angeschlossen, an die eine Gleichstrommaschine geschaltet ist. Es sei angemerkt, dass zwischen der Ausgangsklemme und der Maschinenklemme, insbesondere bei einer längeren Verbindungsleitung, ein kleines

Tiefpassfilter eingefügt werden kann um Reflexionen zu verhindern und um die Flankensteilheit der pulsierenden Spannung an der Maschine zu verringern. Der zweite Anschluss der Maschine wird bei Zweiquadrantenbetrieb mit der negativen Eingangsklemme verbunden, bei Vierquadrantenbetrieb jeweils an die spiegelbildlich angeordnete Serienschaltung von drei aktiven Schaltern mit parallelliegenden passiven Schaltern verbunden.

[0007] Die Figuren zeigen den Zweiquadrantenantrieb, den Vierquadrantenantrieb und den Einquadrantenantrieb und sind beispielhaft mit MOSFETs bzw. mit IGBTs gezeichnet. Natürlich können auch andere aktive Schalter verwendet werden. Bei höheren Leistungen wird man IGBTs verwenden. Fig. 1 zeigt den Zweiquadrantenantrieb mit dem Fahren und Bremsen mit Rückspeisen möglich ist, aber nur in einer Drehrichtung. Fig. 2 zeigt den Vierquadrantenantrieb bei dem nun Fahren und Bremsen in beiden Drehrichtungen möglich ist. In Fig. 3 wird der aktive S_3 eines Zweiquadrantenantriebs weggelassen und man kommt so zu einem Einquadrantenantrieb. Hier ist kein gesteuertes Bremsen und Stillsetzen möglich. In den Tabellen I, II und III sind durch Kreuzchen die leitenden Halbleiter angedeutet. Tabelle I beschreibt die Moden im Zweiquadrantenbetrieb, Tabelle II beschreibt die Moden im Vierquadrantenbetrieb bei Rechtslauf und Tabelle III beschreibt die Moden im Vierquadrantenbetrieb bei Linkslauf. (Natürlich hängt Links- oder Rechtslauf davon ab wie die Maschine angeschlossen ist. Es ist hier angenommen, dass beide Maschinen gleich angeschlossen sind. Man kann natürlich die Maschinen so schalten, dass eine nach links und eine nach rechts läuft.) Dabei werden die einzelnen Moden durch folgende Abkürzungen beschrieben. Der erste Buchstabe bedeutet Treiben (T), Freilauf (F) und Rückarbeiten (R). Anschließend ist die betreffende Maschine (M1 oder M2) angeführt. In den Spalten stehen die Halbleiter S_i für die aktiven Schalter und D_i für die passiven Schalter. Ein Kreuzchen beim entsprechenden Mode und dem entsprechenden Halbleiter zeigt den Leitzustand an.

[0008] Der Konverter wird in der Ausformung des Zweiquadrantenstellers beschrieben. Der Vierquadrantensteller besteht ja grundsätzlich aus zwei Zweiquadrantenstellern.

[0009] Die Drehzahl der Maschine M1 in Abhängigkeit der Betriebsspannung und dem Tastverhältnis d_1 (Einschaltzeit von S_1 bezogen auf die Periodendauer) lässt sich stationär bei idealen Halbleiterbauelementen über das Spannungszeitgleichgewicht an der Maschineninduktivität L_{M1} für Rechtslauf

$$(U - R_{M1}I_{M1} - U_q)d_1 = |(-R_{M1}I_{M1} - U_q)|(1 - d_1)$$

berechnen zu

$$n_1 = \frac{1}{C_{E1}}(Ud_1 - R_{M1}I_{M1}).$$

[0010] C_{E1} ist die Spannungskonstante, R_{M1} der Wicklungswiderstand (Ankerwiderstand) und I_{M1} der stationäre Strom durch die Maschine.

[0011] Für M2 ergibt sich analog dazu

$$n_2 = \frac{1}{C_{E2}}(Ud_2 - R_{M2}I_{M2}).$$

[0012] Das Tastverhältnis d_2 ist dabei die Einschaltzeit von S_2 in Bezug auf die Periodendauer. Es muss immer gelten

$$d_1 > d_2.$$

[0013] Wenn S_2 abgeschaltet wird, entsteht Freilauf für Motor M2 und wenn auch S_1 abgeschaltet wird geht auch M2 in den Freilauf. Zum aktiven Bremsen von M2 wird S_3 eingeschaltet, die Stromrichtung dreht daher in M2 um; wird S_3 ausgeschaltet, so kommutiert der Maschinenstrom über D_2 und D_1 in die Eingangsquelle (Rückarbeiten, Rekuperation). Durch entsprechende Taktung (Stromregelung) wird der Bremsstrom eingestellt. Um M1 zu bremsen müssen S_1 und S_2 gleichzeitig leiten um die Stromrichtung umzukehren. Die Rückspeisung nach Abschalten von S_1 und S_2 erfolgt über D_1 .

[0014] In der Schaltung nach Fig. 2 (Vierquadrantensteller) treten grundsätzlich 20 verschiedene

Zustände (Moden) auf, wenn beide Motoren betrieben werden. Je zehn für Rechtslauf und zehn für Linkslauf. In jeder Maschine kann Treiben T (Energiefluss von der Quelle zur Maschine), Freilauf F und Rückarbeiten R (Energiefluss von der Maschine zur Quelle) auftreten. Die Moden werden so bezeichnet, dass der erste Buchstabe T, F oder R ist und anschließend die Motorbezeichnung M1 oder M2. Es sei angemerkt, dass man insbesondere bei kleinen Betriebsspannungen oder Leistungen die leitenden Dioden durch Einschalten des antiparallellliegenden Schalters überbrücken kann, um so die Leitverluste zu verringern. Bei IGBTs oder bei höheren Spannungen jedoch bringt das Überbrücken nichts, da dann die Diode eine geringere Flussspannung aufweist als der aktive Schalter.

[0015] Für Rechts- und Linkslauf des Vierquadrantenkonverters ergeben sich analoge Formeln für die Drehzahlen wie beim Zweiquadrantensteller, ebenso für die Drehzahlen des Einquadrantenstellers gemäß Fig. 3.

[0016] Als Anwendungsgebiete ergeben sich insbesondere für den Zweiquadrantensteller Traktion und Retrofit von Antriebssystemen wie bei Straßenbahnen, Trolleybussen, Triebwagenzügen, Schrägaufzügen und ähnlichen Anwendungen. Besonders bei Antrieben mit mehreren Maschinen, wobei eine Maschine mit etwas verringertem Sollwert laufen muss, ist das hier vorgeschlagene Konzept sinnvoll, da Halbleiter gespart werden können. Die Regelung (Steuerung) wird dabei über den Strom erfolgen (Momentenregelung).

[0017] Einzelantrieb von M1 ist möglich. Nur S_1 wird zum Treiben eingeschaltet und der Freilauf erfolgt über D_3 , D_2 . Zum Bremsen muss S_2 und S_3 eingeschaltet werden. Die Maschine geht dann in den generatorischen Betrieb und nach Abschalten von S_2 und S_3 kommutiert der Strom über D_1 in die Quelle und speist die Bremsenergie zurück.

[0018] Weitere Anwendungen ergeben sich im Modellbau, bei Drohnen und Fluggeräten, wo es auf geringes Gewicht ankommt. Die Ausgestaltung als Einquadrantensteller ist für Kombinationen von Pumpen oder Lüftern und in Klimagräten sinnvoll.

[0019] Ein Konverter zum Ansteuern von zwei Gleichstrommaschinen im Zweiquadrantenbetrieb wird erfindungsgemäß dadurch realisiert, dass an den negativen Anschluss des ersten aktiven Schalters (S_1) eine Ausgangsklemme (A1) geschaltet ist, an die eine erste Maschine (M1) direkt oder über eine Leitung oder über eine kleine Induktivität angeschlossen ist und an den negativen Anschluss des zweiten aktiven Schalters (S_2) eine Ausgangsklemme (A1') geschaltet ist, an die eine zweite Maschine (M2) direkt oder über eine Leitung oder eine kleine Induktivität angeschlossen ist und der jeweils zweite Anschluss der ersten (M1) und der zweiten Maschine (M2) mit dem negativen Anschluss des dritten aktiven Schalters (S_3) verbunden ist.

[0020] Ein Konverter zum Ansteuern von zwei Gleichstrommaschinen im Vierquadrantenbetrieb wird erfindungsgemäß dadurch realisiert, dass an den negativen Anschluss des ersten aktiven Schalters (S_1) eine Ausgangsklemme (A1) geschaltet ist, an die eine erste Maschine (M1) direkt oder über eine Leitung oder über eine kleine Induktivität angeschlossen ist, und an den negativen Anschluss des zweiten aktiven Schalters (S_2) eine Ausgangsklemme (A1') geschaltet ist, an die eine zweite Maschine (M2) direkt oder über eine Leitung oder über eine kleine Induktivität angeschlossen ist und an den negativen Anschluss des vierten aktiven Schalters (S_4) eine Ausgangsklemme (A2) geschaltet ist, an den der zweite Anschluss der ersten Maschine (M1) direkt oder über eine Leitung oder über eine kleine Induktivität angeschlossen ist und an den negativen Anschluss des fünften aktiven Schalters (S_5) eine vierte Ausgangsklemme (A2') geschaltet ist, an die der zweite Anschluss der zweiten Maschine (M2) direkt oder über eine Leitung oder über eine kleine Induktivität angeschlossen ist.

[0021] Ein Konverter zum Ansteuern von zwei Gleichstrommaschinen im Einquadrantenbetrieb wird erfindungsgemäß dadurch realisiert, dass an den negativen Anschluss des ersten aktiven Schalters (S_1) eine Ausgangsklemme (A1) geschaltet ist, an die eine erste Maschine (M1) direkt oder über eine Leitung oder über eine kleine Induktivität angeschlossen ist und an den negativen Anschluss des zweiten aktiven Schalters (S_2) eine Ausgangsklemme (A1') geschaltet ist, an die eine zweite Maschine (M2) direkt oder über eine Leitung oder über eine kleine Induktivität ange-

geschlossen ist und der jeweils zweite Anschluss der ersten und der zweiten Maschine mit der Anode der dritten Diode (D_3) verbunden ist.

[0022] Um am Eingang eine ideale Spannungsquelle zu erzielen und um den Einfluss der Zuleitungsinduktivität zu beseitigen ist es sinnvoll, dass zwischen den Eingangsklemmen (1) und (2) ein Kondensator oder mehrere Kondensatoren geschaltet ist/sind.

[0023] Weiters kann man, wenn die Maschinen über lange Leitungen oder über eine zusätzliche Induktivität angeschlossen sind parallel zu den Maschinen ($M1$, $M2$) Kondensatoren zur Filterung schalten.

[0024] Sinnvoll ist es den Strom in den Maschinen über das Tastverhältnis zu steuern oder zu regeln, wobei das Tastverhältnis für die erste Maschine ($M1$) größer als das Tastverhältnis für die zweite Maschine ($M2$) ist. Weiters kann man die Drehzahl der Maschinen über das Tastverhältnis steuern oder regeln, wobei das Tastverhältnis für die erste Maschine ($M1$) größer als das Tastverhältnis für die zweite Maschine ($M2$) ist. Natürlich kann man auch mehrschleifige Regelungen (z.B. unterlagerte Stromregelung mit überlagerter Drehzahlregelung) einsetzen.

Patentansprüche

1. Konverter zum Antrieb von zwei Gleichstrommaschinen (M1, M2), bestehend aus einer Serienschaltung von drei aktiven Schaltern (S_1 , S_2 , S_3) mit zugehöriger Treiberstufe und mit jeweils antiparallelen passiven Schaltern (D_1 , D_2 , D_3), einer ersten positiven Anschlussklemme (1), die an den positiven Anschluss des ersten aktiven Schalters (S_1) geschaltet ist und einer zweiten negativen Anschlussklemme (2), die an den negativen Anschluss des dritten Schalters (S_3) geschaltet ist, zwischen denen die Eingangsspannung angeschaltet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass an den negativen Anschluss des ersten aktiven Schalters (S_1) eine Ausgangsklemme (A1) geschaltet ist, an die eine erste Maschine (M1) direkt oder über eine Leitung oder über eine kleine Induktivität angeschlossen ist und an den negativen Anschluss des zweiten aktiven Schalters (S_2) eine Ausgangsklemme (A1') geschaltet ist, an die eine zweite Maschine (M2) direkt oder über eine Leitung oder eine kleine Induktivität angeschlossen ist und der jeweils zweite Anschluss der ersten (M1) und der zweiten Maschine (M2) mit dem negativen Anschluss des dritten aktiven Schalters (S_3) verbunden ist.
2. Konverter zum Antrieb von zwei Gleichstrommaschinen, bestehend aus einer ersten Serienschaltung von drei aktiven Schaltern (S_1 , S_2 , S_3) mit zugehöriger Treiberstufe und mit jeweils antiparallelen passiven Schaltern (D_1 , D_2 , D_3), und einer zweiten Serienschaltung von drei aktiven Schaltern (S_4 , S_5 , S_6) mit zugehöriger Treiberstufe und mit jeweils antiparallelen passiven Schaltern (D_4 , D_5 , D_6), einer ersten positiven Anschlussklemme (1), die an den positiven Anschluss des ersten aktiven Schalters (S_1) und an den positiven Anschluss des vierten aktiven Schalters (S_4) geschaltet ist und einer zweiten negativen Anschlussklemme (2), die an den negativen Anschluss des dritten Schalters (S_3) und an den negativen Anschluss des sechsten Schalters (S_6) geschaltet ist, zwischen denen die Eingangsspannung angeschaltet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass an den negativen Anschluss des ersten aktiven Schalters (S_1) eine Ausgangsklemme (A1) geschaltet ist, an die eine erste Maschine (M1) direkt oder über eine Leitung oder über eine kleine Induktivität angeschlossen ist, und an den negativen Anschluss des zweiten aktiven Schalters (S_2) eine Ausgangsklemme (A1') geschaltet ist, an die eine zweite Maschine (M2) direkt oder über eine Leitung oder über eine kleine Induktivität angeschlossen ist und an den negativen Anschluss des vierten aktiven Schalters (S_4) eine Ausgangsklemme (A2) geschaltet ist, an den der zweite Anschluss der ersten Maschine (M1) direkt oder über eine Leitung oder über eine kleine Induktivität angeschlossen ist und an den negativen Anschluss des fünften aktiven Schalters (S_5) eine vierte Ausgangsklemme (A2') geschaltet ist, an die der zweite Anschluss der zweiten Maschine (M2) direkt oder über eine Leitung oder über eine kleine Induktivität angeschlossen ist.
3. Konverter zum Antrieb von zwei Gleichstrommaschinen, bestehend aus einer Serienschaltung von zwei aktiven Schaltern (S_1 , S_2) mit zugehöriger Treiberstufe und mit jeweils antiparallelen passiven Schaltern (D_1 , D_2), wobei an den negativen Anschluss des zweiten aktiven Schalters die Kathode einer dritten Diode geschaltet ist und die Eingangsspannung zwischen dem positiven Anschluss des ersten Schalters (S_1) und der Anode der dritten Diode (D_3) geschaltet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass an den negativen Anschluss des ersten aktiven Schalters (S_1) eine Ausgangsklemme (A1) geschaltet ist, an die eine erste Maschine (M1) direkt oder über eine Leitung oder über eine kleine Induktivität angeschlossen ist und an den negativen Anschluss des zweiten aktiven Schalters (S_2) eine Ausgangsklemme (A1') geschaltet ist, an die eine zweite Maschine (M2) direkt oder über eine Leitung oder über eine kleine Induktivität angeschlossen ist und der jeweils zweite Anschluss der ersten und der zweiten Maschine mit der Anode der dritten Diode (D_3) verbunden ist.
4. Konverter zum Antrieb von zwei Gleichstrommaschinen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen den Eingangsklemmen (1) und (2) ein Kondensator oder mehrere Kondensatoren geschaltet ist/sind.
5. Konverter zum Antrieb von zwei Gleichstrommaschinen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass parallel zu den Maschinen (M1, M2) Kondensatoren geschaltet sind.

6. Konverter zum Antrieb von zwei Gleichstrommaschinen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strom in den Maschinen über das Tastverhältnis gesteuert oder geregelt wird, wobei das Tastverhältnis für die erste Maschine (M1) größer als das Tastverhältnis für die zweite Maschine (M2) ist.
7. Konverter zum Antrieb von zwei Gleichstrommaschinen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drehzahl der Maschinen über das Tastverhältnis gesteuert oder geregelt wird, wobei das Tastverhältnis für die erste Maschine (M1) größer als das Tastverhältnis für die zweite Maschine (M2) ist.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

Figuren

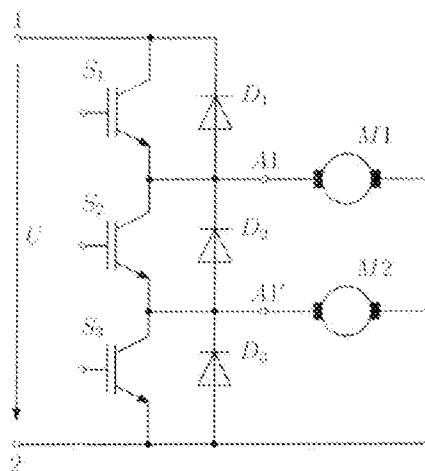


Fig. 1

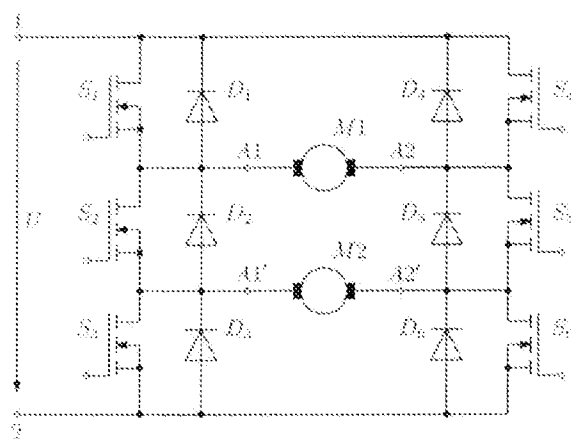


Fig. 2

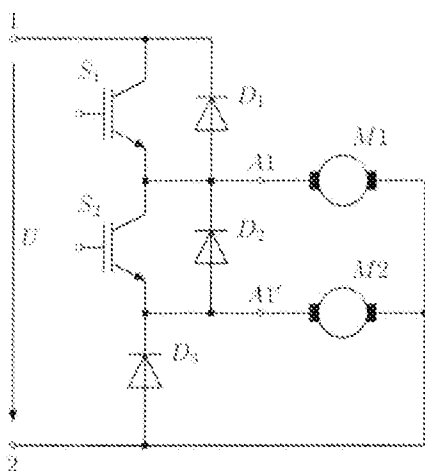


Fig. 3

Tabelle I: Moden im Zweiquadrantenbetrieb

Mode	S1	D1	S2	D2	S3	D3
TM1	x					
TM2	x		x			
TM1	x					
FM2						x
FM1				x		x
FM2						x
RM1		x				
FM2						x
RM1		x				
RM2				x		

Tabelle II: Vierquadrantenbetrieb: Moden im Rechtslauf

Mode	S1	D1	S2	D2	S3	D3	S4	D4	S5	D5	S6	D6
TM1	x								x		x	
TM2	x		x								x	
TM1	x								x		x	
FM2						x					x	
FM1	x							x				
FM2						x					x	
RM1				x		x		x				
FM2						x					x	
RM1				x		x		x				
RM2						x				x		x

Tabelle III: Vierquadrantenbetrieb: Moden im Linkslauf

Mode	S1	D1	S2	D2	S3	D3	S4	D4	S5	D5	S6	D6
TM1			x		x		x		x		x	
TM2					x		x		x			
TM1			x		x		x				x	
FM2					x							x
FM1		x					x					
FM2					x							x
RM1		x								x		x
FM2					x							x
RM1		x				x				x		x
RM2		x		x								x