

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH 696 415 A5**

(51) Int. Cl.: **H02M 5/458 (2006.01)**
H03K 17/51 (2006.01)
H02J 3/00 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Gesuchsnummer: 00101/03

(73) Inhaber:
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich,
Rämistrasse 101
8092 Zürich (CH)

(22) Anmeldedatum: 24.01.2003

(24) Patent erteilt: 31.05.2007

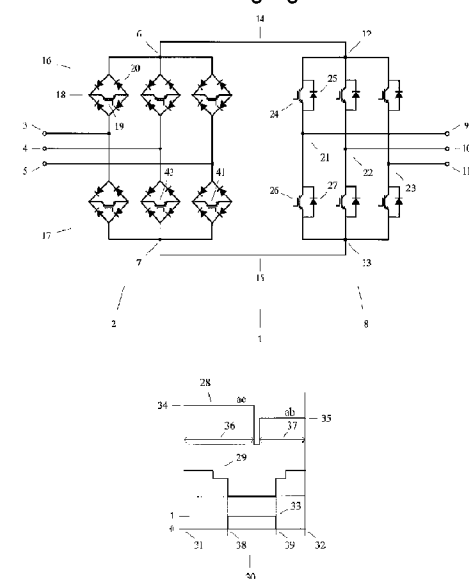
(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.05.2007

(72) Erfinder:
Simon Peter Herold, 8902 Urdorf (CH)
Johann W. Kolar, 8044 Zürich (CH)

(54) **Modulationsverfahren zur Minimierung und gleichmässigen Verteilung von Schaltverlusten in quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichtern.**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Minimierung und Aufteilung der Schaltverluste eines quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichtersystems mit Gleichrichter-Eingangsteil (2), energiespeicherfreiem Zwischenkreis und Pulswechselrichter-Ausgangsteil (8). Durch die Eingangsstufe (2) werden innerhalb jeder Pulshalbperiode (30) aufeinanderfolgend Aussenleiterspannungen (34; 35) des speisenden Netzes für Zeitabschnitte (36; 37) in den Zwischenkreis geschaltet. Die Ausgangsstufe (8) nimmt innerhalb jedes des Zeitabschnitte aufeinanderfolgend zwei aktive Schaltzustände und einen Freilaufzustand ein, die Reihenfolge der Schaltzustände der Ausgangsstufe (8) wird in Zeitabschnitt (37) gegenüber Zeitabschnitt (36) umgekehrt. Erfindungsgemäss wird bei positivem Zwischenkreisstrom durch Ausschalten eines elektronischen Schalters der Eingangsstufe (2) in Zeitpunkt (38) der Übergang der Ausgangsstufe (8) aus dem zweiten aktiven Schaltzustand in den passiven Freilaufzustand erzwungen, wobei die Ansteuerung der Leistungstransistoren der Ausgangsstufe (8) unverändert gemäss dem vorgehenden zweiten aktiven Schaltzustand verbleibt und durch Durchschalten des, in Verbindung mit dem zweiten, innerhalb mehrerer Pulshalbperioden bleibend durchgeschalteten elektronischen Schalters der Eingangsstufe (2) den nächsten Schaltzustand der Eingangsstufe (2) herstellenden elektronische Schalter die Ausgangsstufe in Zeitpunkt (39) unmittelbar aus dem passiven Freilaufzustand in den aktiven Schaltzustand zurückkehrt,

wobei für beide Umschaltungen Schaltverluste in der Eingangsstufe und nicht in der Ausgangsstufe auftreten.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Modulationsverfahren zur Minimierung und Aufteilung der Schaltverluste zwischen Ein- und Ausgangsstufe eines quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichters, wie es im Oberbegriff des Patentanspruches 1 beschrieben ist.

Stand der Technik

[0002] Gemäss dem Stand der Technik werden zur Umformung eines dreiphasigen Wechselspannungssystems konstanter Frequenz und Amplitude in ein dreiphasiges Spannungssystem vorgegebbarer Frequenz und Amplitude, wie in den österreichischen Patentanmeldungen A1 179/2001 und A1 383/2001 beschrieben, vorteilhaft quasi-direkte Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichter eingesetzt. Derartige Systeme werden durch gleichspannungsseitige Kopplung eines eingangsseitigen Dreiphasen-Pulsleichrichtersystems (Eingangsstufe) und eines ausgangsseitigen Dreiphasen-Pulswechselrichtersystems (Ausgangsstufe) gebildet und weisen im Gleichspannungszwischenkreis keine Speicherelemente auf. Nach der A1 383/2001 erfolgt die Steuerung dieser Systeme vorteilhaft so, dass vor einer Schaltzustandsänderung der Eingangsstufe die Ausgangsstufe in den Freilaufzustand geschaltet wird, womit der Zwischenkreisstrom zu Null und die elektronischen Schalter der Eingangsstufe stromlos werden und schaltverlustfrei geschaltet werden können. Für die Eingangsstufe treten damit ideal nur Leitverluste auf. Eine experimentelle Untersuchung zeigt allerdings, dass bei Realisierung der elektronischen Schalter durch Minoritätsträger-Leistungshalbleiterelemente trotz stromlosen Zwischenkreises in der Eingangsstufe Umschaltstromspitzen auftreten bzw. Umschaltverluste verbleiben, die durch Speicherladungen von, vor der Umschaltung stromführenden, Leistungshalbleitern bedingt sind.

[0003] Allerdings liegen die Schaltverluste der Eingangsstufe dessen ungeachtet signifikant unter jenen der Ausgangsstufe, womit für die Ventile bei höheren Taktfrequenzen eine stark unterschiedliche thermische Belastung gegeben ist. Dies kann vorteilhaft bei der Dimensionierung der Leistungshalbleiter der Eingangsstufe berücksichtigt werden, allerdings ist von den Ventilen der Ein- und Ausgangsstufe letztlich derselbe, durch die Last bestimmte Strom zu führen, womit eine ähnliche Stromtragfähigkeit und Chipgrösse gefordert wird. Für eine hohe Ausnutzung der Ventile des Eingangsteiles und eine möglichst gleichmässige Verteilung der Verlustwärme über die Kühlkörperfläche bzw. eine effiziente Nutzung des Kühlkörpers wäre es daher vorteilhaft, einen Teil der Umschaltungen der Ausgangsstufe bzw. der Schaltverluste der Ausgangsstufe der Eingangsstufe zu übertragen.

Detaillierte Darstellung der Erfindung

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Steuerverfahren zu schaffen, das die Schaltverluste der Eingangsstufe eines quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichters minimiert oder eine Reduktion der Schaltverluste der Ausgangsstufe zu Lasten der Eingangsstufe und damit eine gleichmässiger Aufteilung der Gesamtverluste auf sämtliche Ventile erreicht.

[0005] Dies wird erfindungsgemäss durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruches 1 erreicht. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind den abhängigen Patentansprüchen 2 bis 5 zu entnehmen.

[0006] Es seien a, b, c die drei Phasen des speisenden Netzes und A, B, C die drei Phasen des Ausganges. Hinsichtlich der Grundfunktion kann die Eingangsstufe eines Dreiphasen-Hybrid-AC/AC-Pulsumrichters durch zwei dreipolige Umschalter ersetzt gedacht werden, wobei der Wurzelpunkt des oberen Umschalters mit der positiven Ausgangsspannungs- bzw. Zwischenkreisspannungsschiene p verbunden ist und die drei Schalterpole mit den drei Phasen a, b, c des speisenden Netzes verbunden sind und der Wurzelpunkt des unteren Umschalters mit der negativen Ausgangsspannungs- bzw. Zwischenkreisspannungsschiene n verbunden ist und die drei Schalterpole ebenfalls an a, b, c gelegt werden.

[0007] Die Ausgangsstufe weist die Funktion von drei Umschaltern zwischen der positiven und negativen Zwischenkreisschiene auf, die Wurzelpunkte der drei Umschalter bilden direkt die Klemmen der Ausgangsphasen A, B, C des Systems. Als ausgezeichnete Schaltzustände der Ausgangsstufe sind die Freilaufzustände hervorzuheben, für welche sämtliche Umschalter an der positiven oder an der negativen Zwischenkreisschiene liegen, womit der Zwischenkreisstrom und die Ausgangsspannung zu Null werden. Für die übrigen Schaltzustandskombinationen der Ausgangsstufe tritt zwischen den Ausgangsphasen A, B, C eine Spannungsdifferenz auf, weiters werden die Lastphasenströme über den Zwischenkreis geführt, wobei der Zwischenkreisstrom positive oder negative Werte aufweisen kann. Diese Schaltzustände werden daher als aktive Schaltzustände bezeichnet.

[0008] In bekannter Weise werden durch die Eingangsstufe des quasi-direkten AC/AC-Pulsumrichtersystems innerhalb jeder Pulshalbperiode aufeinanderfolgend zwei Aussenleiterspannungen des speisenden Netzes in den Zwischenkreis geschaltet. Dies erfolgt z.B. derart, dass am Beginn der Pulsperiode der obere Umschalter an Phase a und der untere Umschalter an Phase c liegt und darauffolgend, d.h. nach der Zeit t_{ac} der untere Umschalter auf Phase b wechselt und für den Rest t_{ab} der Pulshalbperiode dort verbleibt. In der nächstfolgenden Pulshalbperiode wird dieser Schaltzustand vorerst beibehalten und dann der untere Umschalter zurück auf Phase c gelegt.

[0009] Für die Ausgangsstufe liegt somit ein Betrieb mit abschnittsweise konstanter Zwischenkreisspannung u_{ac} oder u_{ab} vor, und die Modulation erfolgt, wie von konventionellen Spannungszwischenkreispulsumrichtern bekannt, derart, dass innerhalb t_{ac} am Beginn der Pulshalbperiode ein erster aktiver Schaltzustand, z.B. (110) und darauffolgend ein zweiter ak-

tiver Schaltzustand, z.B. (010) eingenommen wird und anschliessend die Ausgangsstufe für die innerhalb t_{ac} verbleibende Restzeit in den Freilaufzustand (000) geschaltet wird. Hierbei charakterisiert die in Klammern angegebene Dualzahl die nach Ausgangsphasen A, B, C geordneten Schaltzustände der drei zweipoligen Umschalter der Ausgangsstufe, wobei für Verbindung eines Umschalters mit der positiven Zwischenkreisschiene «1» und für Verbindung des Umschalters mit der negativen Spannungsschiene «0» gesetzt wird. Innerhalb t_{ab} wird die Schaltzustandssequenz in gegenüber t_{ac} umgekehrter Reihenfolge durchlaufen, d.h. anfangs der Freilaufzustand (000) beibehalten und anschliessend die Schaltzustände (010) und (110) eingenommen. Die relativen Dauern der Schaltzustände der Ein- und Ausgangsstufe können ausgehend von der geforderten Ausgangsspannung und der Netzspannung berechnet werden, worauf hier jedoch nicht weiter eingegangen werden soll.

[0010] Da gemäss vorstehender Beschreibung der Wechsel des Schaltzustandes der Eingangsstufe am Ende von t_{ac} bei Freilaufzustand der Ausgangsstufe, d.h. für Zwischenkreisstrom gleich Null erfolgt, treten ideal keine Schaltverluste der Eingangsstufe auf, weiters muss bei Umschaltung der Eingangsstufe nicht auf die Kontinuität des Zwischenkreisstromes Rücksicht genommen werden. Wird in bekannter Weise die Umschaltung der Eingangsstufe von Phase c auf Phase b mit einer, Laufzeiten der Signalverarbeitung und Verzögerungen der Ansteuerschaltungen der Leistungshalbleiter berücksichtigenden kurzen Sicherheitszeit vorgenommen, treten, wie eingangs beschrieben, aufgrund der Speicherladungen von Minoritätsträger-Leistungshalbleiterelementen Umschaltstromspitzen zwischen den Phasen c und b und damit Schaltverluste auf.

[0011] Um diese Umschaltstromspitzen und die damit verbundenen Schaltverluste zu vermeiden bzw. zu minimieren, wird daher die Umschaltung der Eingangsstufe erfindungsgemäss innerhalb jeder Pulsperiode so vorgenommen, dass unmittelbar, d.h. eine Sicherheitszeit nach Übergang der Ausgangsstufe in den Freilaufzustand die Verbindung des Zwischenkreises mit dem Netz einseitig gelöst wird, d.h. im hier betrachteten Fall die Verbindung der negativen Zwischenkreisspannungsschiene und der Phase c aufgehoben wird und die negative Zwischenkreisspannungsschiene erst unmittelbar, d.h. eine Sicherheitszeit vor dem Ende des Freilaufzustandes wieder mit dem Netz verbunden wird, d.h. im vorliegenden Fall der untere Umschalter auf die Phase b gelegt wird.

[0012] Für die, für den zweiten aktiven Schaltzustand der Ausgangsstufe innerhalb t_{ac} stromführenden Ventile der Eingangsstufe verbleibt damit eine maximale Zeit zum Abbau der Speicherladungen durch Rekombination vor einer Beanspruchung mit Sperrspannung, womit Umschaltstromspitzen vorteilhaft nurmehr für sehr kurze Dauer der Freilaufintervalle, d.h. bei hoher Aussteuerung, auftreten.

[0013] Eine weitere vorteilhafte Variante der erfindungsgemässen Steuerung eines quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichters beschreibt der Kennzeichenteil des Patentanspruches 2.

[0014] Wie vorstehend beschrieben erfolgt die Umschaltung der Eingangsstufe in bekannter Weise ideal stromlos innerhalb des Freilaufintervalles der Ausgangsstufe. Weiters liegt vor und nach dem Freilaufzustand der Ausgangsstufe derselbe aktive Schaltzustand vor. Um Schaltverluste von der Ausgangsstufe an die Eingangsstufe zu verlagern, wird nun anstelle die Ausgangsstufe innerhalb t_{ac} nach dem zweiten aktiven Schaltzustand in den Freilaufzustand zu schalten der zweite aktive Schaltzustand belassen und die Verbindung des Zwischenkreises mit dem Netz einseitig geöffnet, d.h. im vorliegenden Fall mittels des unteren Umschalters der Eingangsstufe die Verbindung der negativen Zwischenkreisspannungsschiene mit der Netzphase c gelöst, womit der Zwischenkreisstrom durch den unteren Umschalter unterbrochen wird, bzw. die bei Umschaltung der Ausgangsstufe in den Freilaufzustand resultierenden Schaltverluste nun für den unteren Umschalter der Eingangsstufe anfallen.

[0015] Diese Vorgangsweise ist dann zulässig, wenn der Zwischenkreisstrom vor Öffnen des unteren Umschalters positives Vorzeichen aufweist, d.h. in der positiven Zwischenkreisspannungsschiene von der Eingangsstufe zur Ausgangsstufe und in der negativen Zwischenkreisspannungsschiene von der Ausgangsstufe zur Eingangsstufe gerichtet ist. Dies deshalb, da dann der Strom aus dem Leistungstransistor jener Ausgangsphase die alleinig mit einer Zwischenkreisspannungsschiene verbunden ist in die mit der jeweils anderen Zwischenkreisspannungsschiene verbundene Freilaufdiode übergehen kann bzw. sich ohne explizite Umschaltung der Ausgangsstufe ein Freilaufzustand einstellen kann.

[0016] Liegt beispielsweise, wie vorgehend beschrieben, als zweiter aktiver Schaltzustand der Ausgangsstufe (010) vor, ist Ausgangsphase B alleinig mit der positiven Zwischenkreisspannungsschiene verbunden, positiver Zwischenkreisstrom bedeutet damit Stromfluss von der positiven Zwischenkreisspannungsschiene über den oberen Leistungstransistor an den Phasenausgang B und von dort über die Last und die unteren Hälften der Brückenweige der Ausgangsphasen A und C in die negative Zwischenkreisspannungsschiene. Wird nun durch den unteren Umschalter der Eingangsstufe die Verbindung der negativen Zwischenkreisspannungsschiene mit der Eingangsphase c gelöst, kommutiert der Ausgangsphasenstrom i_B in die mit der negativen Zwischenkreisspannungsschiene verbundene Freilaufdiode der Ausgangsphase B, womit sich über die, gemäss Schaltzustand (010) nach wie vor mit der negativen Zwischenkreisspannungsschiene verbundenen Ausgangsphasen A und C der Freilaufzustand (000) einstellt.

[0017] Würde ein negativer Zwischenkreisstrom vorliegen, wäre für Schaltzustand (010) die zum oberen Transistor in Ausgangsphase B antiparallele Diode stromführend, der Phasenstrom i_B müsste dann bei Unterbrechung des Stromflusses zwischen Ein- und Ausgangsstufe bei Umschaltung der Eingangsstufe in den unteren Leistungstransistor der Ausgangsphase B übergehen, welcher jedoch für Schaltzustand (010) nicht durchgeschaltet ist. Die Umschaltung der Eingangsstufe ist daher bei negativem Zwischenkreisstrom und aktivem Schaltzustand der Ausgangsstufe nicht zulässig, womit,

wie vorstehend beschrieben, die Schaltverluste der Ausgangsstufe für Übergang aus einem aktiven Schaltzustand in den Freilaufzustand nur bei positivem Zwischenkreisstrom der Eingangsstufe übertragen werden können. Erfindungsgemäss wird daher für den Fall, dass für einen aktiven Schaltzustand ein positiver und für einen aktiven Schaltzustand ein negativer Zwischenkreisstrom auftritt, der durch einen positiven Zwischenkreisstrom charakterisierte aktive Schaltzustand als zeitlich unmittelbar vor bzw. nach dem Freilaufzustand der Ausgangsstufe liegend, d.h. als zweiter aktiver Schaltzustand gewählt.

[0018] Bezogen auf die vorgehende Beschreibung erfolgt ein Freilaufzustand der Ausgangsstufe, obwohl nach wie vor ein aktiver Schaltzustand (im betrachteten Fall (010)) vorliegt. Demnach können einfach auch die Schaltverluste für die Rückkehr der Ausgangsstufe aus dem Freilaufzustand in den zweiten aktiven Schaltzustand (im betrachteten Fall (010) für konventionelle Steuerung innerhalb des Zeitintervalls t_{ab} gelegen) durch die Eingangsstufe übernommen werden. Hiefür ist erfindungsgemäss einzig am Ende der Freilaufphase durch die Eingangsstufe wieder Spannung an den Zwischenkreis zu legen, d.h. im betrachteten Fall der untere Umschalter der Eingangsstufe auf Phase b zu schalten. Der obere Transistor in Ausgangsphase B der Ausgangsstufe wird dann wieder Strom übernehmen und es liegt wieder der Schaltzustand (010) der Ausgangsstufe vor.

[0019] Die Höhe der, der Eingangsstufe gemäss Patentanspruch 2 übertragenen Schaltverlustleistung kann gemäss Patentanspruch 3 variiert werden. Soll ein möglichst hoher Teil der Schaltverluste der Ausgangsstufe der Eingangsstufe übertragen werden, wird jener der beiden aktiven Schaltzustände als zweiter, d.h. unmittelbar vor- und nach dem Freilaufzustand liegender aktiver Schaltzustand gewählt, der auf den höheren positiven Zwischenkreisstrom führt. Soll ein kleiner Teil der Schaltverluste der Ausgangsstufe der Eingangsstufe übertragen werden, wird jener der beiden aktiven Schaltzustände als zweiter, d.h. unmittelbar vor und nach dem Freilaufzustand liegender aktiver Schaltzustand gewählt, der auf den kleineren positiven Zwischenkreisstrom führt.

[0020] Eine vorteilhafte Variante der Patentansprüche 2 und 3 beschreibt der Patentanspruch 4. In Verbindung mit der Beschreibung der Patentansprüche 2 und 3 wurde als zweiter aktiver Schaltzustand der Ausgangsstufe (010) gewählt für den sich bei positivem Zwischenkreisstrom nach Unterbrechung der Verbindung von Ein- und Ausgangsstufe selbsttätig ein Freilaufzustand einstellt. Allerdings ist hierbei für Ausgangsphase B nur unidirektionaler Stromfluss möglich, da weder die Freilaufdiode der unteren Hälfte des Brückenweiges von Ausgangsphase B noch die Freilaufdioden der oberen Hälften der Brückenweige der Ausgangsphasen A und C eine Stromumkehr zulassen. Dies kann bei kleinen Momentanwerten des Stromes in Ausgangsphase B oder kleiner Aussteuerung der Ausgangsstufe, d.h. relativ langer Freilaufdauer zu Lücken des Stromes in Ausgangsphase B bzw. zu einer niederfrequenten Stromverzerrung führen.

[0021] Erfindungsgemäss kann dies dadurch verhindert werden, dass nachdem die Ausgangsstufe durch Umschaltung der Eingangsstufe vom zweiten aktiven Schaltzustand in den Freilaufzustand übergegangen ist und die bei konventioneller Steuerung in der Ausgangsstufe anfallenden Umschaltverluste durch die Eingangsstufe übernommen wurden, der Schaltzustand der Ausgangsstufe auf Freilaufzustand geändert wird, womit für jeden der Ströme der Ausgangsphasen A, B, C eine Vorzeichenumkehr möglich ist. Für diese Schaltzustandsänderung treten in der Ausgangsstufe keine Schaltverluste auf, es wird jedoch dessen ungeachtet mit Rücksicht auf die später erforderliche Rückschaltung in den zweiten aktiven Schaltzustand jener Freilaufzustand gewählt, der ausgehend vom zweiten aktiven Schaltzustand mit einer minimalen Zahl von Schaltzustandsänderungen der Brückenweige der Ausgangsstufe erreichbar ist.

[0022] Die Rückschaltung aus dem Freilaufzustand in den zweiten aktiven Schaltzustand erfolgt dann wie für Patentanspruch 1 beschrieben, d.h. die Eingangsstufe legt unmittelbar vor Ende des Freilaufintervalles Zwischenkreisspannung an (im behandelten Fall ist dies die Spannung u_{ab}) und nach Ablauf einer, Signallaufzeiten und die Verzögerungen der Ansteuerschaltungen berücksichtigenden Sicherheitszeit wird die Ausgangsstufe aus dem Freilaufzustand zurück in den aktiven Schaltzustand 2 geschaltet. Hierbei erfolgt die Schaltzustandsänderung der Eingangsstufe verlustfrei, für die Ausgangsstufe treten Schaltverluste auf. Es werden demnach nur die Verluste für den Übergang aus dem zweiten aktiven Schaltzustand in den Freilaufzustand an die Eingangsstufe übertragen, der Einsatz dieses erfindungsgemässen Steuerungsverfahrens erfolgt daher vorteilhaft nur dann, wenn kleine positive Werte des Zwischenkreisstromes oder geringe Aussteuerung der Ausgangsstufe vorliegen.

[0023] Für die erfindungsgemässe Steuerung nach den Patentansprüchen 2 bis 4 ist eine Detektion des Vorzeichens des Zwischenkreisstromes erforderlich. Bei kleinen Stromwerten besteht hier durch einen Offset der Strommessung oder durch dem Messsignal überlagerte Störungen die Gefahr einer fehlerhaften Erkennung der Stromrichtung, womit bei Unterbrechung des Zwischenkreisstromes durch die Eingangsstufe eine hohe Schaltüberspannung resultiert. Erfindungsgemäss wird daher gemäss Patentanspruch 5 die Zwischenkreisspannung erfasst, und für den Fall, dass bei Unterbrechung des Zwischenkreisstromes durch die Eingangsstufe eine Überspannung im Zwischenkreis auftritt, die Ausgangsstufe unmittelbar vom aktiven Schaltzustand 2 in einen Freilaufzustand geschaltet. Damit ist für die durch die Last eingepprägten Ströme der Ausgangsphasen A,B,C ein geschlossener Strompfad gegeben und es wird eine Zerstörung des Systems durch exzessive Überspannung vermieden.

Aufzählung der Zeichnungen

[0024]

- Fig. 1 zeigt die schematisierte Grundstruktur eines bekannten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichters, wobei die ein- gangsseitigen Filterkondensatoren und der Lastkreis nicht gezeigt sind und für die Funktion der Brücken- zweige der Ein- und Ausgangsstufe als Umschalter eine schaltungstechnische Realisierung durch elektro- nische Schalter bzw. Leistungshalbleiter gezeigt wird.
- In Fig. 2 ist der Zeitverlauf der Zwischenkreisspannung und des Zwischenkreisstromes sowie eines, den aktiven Freilaufzustand der Ausgangsstufe kennzeichnenden Schaltsignals für bekannte Steuerung eines quasi-di- rekten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichtersystems dargestellt.
- In Fig. 3 ist der Zeitverlauf der Zwischenkreisspannung und des Zwischenkreisstromes sowie eines, den aktiven Freilaufzustand der Ausgangsstufe kennzeichnenden Schaltsignals für Steuerung eines quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichtersystems nach Patentanspruch 1 dargestellt.
- In Fig. 4 ist der Zeitverlauf der Zwischenkreisspannung und des Zwischenkreisstromes sowie eines, den aktiven Freilaufzustand der Ausgangsstufe kennzeichnenden Schaltsignals für Steuerung eines quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichtersystems nach Patentanspruch 2 dargestellt.
- In Fig. 5 ist der Zeitverlauf der Zwischenkreisspannung und des Zwischenkreisstromes sowie eines, den aktiven Freilaufzustand der Ausgangsstufe kennzeichnenden Schaltsignals für Steuerung eines quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichtersystems nach Patentanspruch 4 dargestellt.

Ausführung der Erfindung

[0025] In Fig. 1 ist ein bekanntes quasi-direktes Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichtersystem 1 schematisiert gezeigt. Das System wird durch eine dreiphasige Eingangsstufe 2 mit an ein spannungseinprägendes Dreiphasennetz gelegten Ein- gangsklemmen 3, 4, 5 und Gleichspannungsausgangsklemmen 6, 7 und eine Ausgangsstufe 8 mit an die stromeinprä- gende Last gelegten Ausgangsklemmen 9, 10, 11 und Gleichspannungseingangsklemmen 12, 13 gebildet, wobei die po- sitive Gleichspannungsausgangsklemme 6 der Eingangsstufe 2 mit der positiven Gleichspannungseingangsklemme 12 der Ausgangsstufe 8 über eine positive Zwischenkreisspannungsschiene 14 und die negative Gleichspannungsausgangs- klemme 7 der Eingangsstufe 2 mit der negativen Gleichspannungseingangsklemme 13 der Ausgangsstufe 8 über eine negative Zwischenkreisspannungsschiene 15 verbunden ist.

[0026] Die Funktion der Eingangsstufe entspricht der eines oberen dreipoligen Umschalters 16 und eines unteren dreipo- ligen Umschalters 17, wobei die positive Gleichspannungsausgangsklemme 6 den Wurzelpunkt des oberen und die nega- tive Gleichspannungsausgangsklemme 7 den Wurzelpunkt des unteren Umschalters bildet und die Pole der Umschalter 16 und 17 mit den Eingangsklemmen 3, 4, 5 identisch sind und jede Schaltverbindung eines Umschalters in bekannter Weise über eine Kombination 18 von Leistungstransistoren 19 und Leistungsdioden 20 hergestellt wird, welche bei Durchschal- ten des Leistungstransistors eine hinsichtlich Stromfluss bidirektionale Verbindung zwischen Wurzelpunkt und Schalterpol herstellt und bei ausgeschaltetem Leistungstransistor Sperrspannung in beiden Polaritäten zu übernehmen im Stande ist. Die Umschaltung zwischen den Schalterpolen erfolgt überlappungsfrei, es ist für jeden Umschalter 16, 17 maximal ei- ne Schaltverbindung durchgeschaltet. Es sind auch andere Realisierungsformen der Schaltverbindungen der Umschalter mittels einer höheren Zahl von Leistungstransistoren bekannt, welche jedoch hinsichtlich Grundfunktion gegenüber der in Fig. 1 gezeigten Variante keine Unterschiede aufweisen und daher hier nicht näher beschrieben werden sollen.

[0027] Die Funktion der Ausgangsstufe entspricht drei zweipoligen Umschaltern 21, 22, 23, wobei die Wurzelpunkte der Umschalter an den Ausgangsklemmen 9, 10, 11 liegen und jeweils ein Pol jedes Umschalters mit der positiven Gleichspan- nungseingangsklemme 12 und der jeweils zweite Pol jedes Umschalters mit der negativen Gleichspannungseingangs- klemme 13 der Ausgangsstufe 8 verbunden ist. Die Schaltverbindung der Umschalter 21, 22, 23 zwischen positiver Gleich- spannungseingangsklemme 12 und den Wurzelpunkten 9, 10, 11 wird über obere Leistungstransistoren 24 und zu diesen antiparallele Freilaufdioden 25 hergestellt, wobei der Kollektor jedes Leistungstransistors 24 an der positiven Gleichspan- nungseingangsklemme 12 liegt und der Emitter mit dem jeweiligen Wurzelpunkt 9, 10, 11 verbunden ist; die Schaltver- bindung der Umschalter 21, 22, 23 zwischen den Wurzelpunkten 9, 10, 11 und der negativen Gleichspannungseingangs- klemme 13 der Ausgangsstufe 8 wird über untere Leistungstransistoren 26 und zu diesen antiparallele Freilaufdioden 27 hergestellt, wobei der Emitter jedes Leistungstransistors 26 mit der negativen Gleichspannungseingangsklemme 13 und der Kollektor mit dem jeweiligen Wurzelpunkt 9, 10, 11 verbunden ist.

[0028] Für die weiteren Überlegungen soll der Zwischenkreisstrom für Leistungstransfer von der Eingangsstufe zur Aus- gangsstufe, d.h. von der positiven Gleichspannungsausgangsklemme 6 der Eingangsstufe 2 zur positiven Gleichspan- nungseingangsklemme 12 der Ausgangsstufe 8 positiv gezählt werden. Der Zählpfeil der Zwischenkreisspannung ist von der positiven Zwischenkreisspannungsschiene 14 zur negativen Zwischenkreisspannungsschiene 15 gerichtet. Weiters sei der Schaltzustand der Ausgangsstufe 8 durch eine aus den Schaltfunktionen der Umschalter 21, 22, 23 gebildete dreistellige Digitalzahl gekennzeichnet, wobei die Verbindung des Umschalters einer Phase 9, 10, oder 11 mit der posi-

tiven Gleichspannungseingangsklemme 12 mit dem Wert «1» und die Verbindung mit der negativen Gleichspannungseingangsklemme 13 mit dem Wert «0» gekennzeichnet wird, womit, z.B. (010) für Verbindung der Phasen 9 und 11 mit der negativen Gleichspannungseingangsklemme 13 und Verbindung der Phase 10 mit der positiven Gleichspannungseingangsklemme 12 steht.

[0029] In Fig. 2 sind charakteristische, für bekannte Steuerung des Systems 1 nach Fig. 1 resultierende Zeitverläufe der Zwischenkreisspannung 28 und des Zwischenkreisstromes 29 innerhalb einer Pulshalbperiode 30 mit Beginn 31 und Ende 32 dargestellt. Weiters ist ein, den Schaltzustand (000) oder (111) (aktiven Freilaufzustand) der Ausgangsstufe 8 durch einen Wert «1» anzeigendes Schaltsignal 33 dargestellt. Weist das Freilaufsignal 33 den Wert «0» auf, liegen nicht sämtliche Umschalter 21, 22, 23 der Ausgangsstufe 8 an der positiven Eingangsklemme 12 oder negativen Eingangsklemme 13, d.h. es liegt ein aktiver Schaltzustand vor, für den die durch die Eingangsstufe 2 in den Zwischenkreis geschaltete Spannung über die Ausgangsstufe 8 an die Ausgangsklemmen 9, 10, 11 gelegt wird, oder die Ausgangsstufe befindet sich im (passiven) Freilaufzustand, d.h. die positive Zwischenkreisspannungsschiene 14 ist durch den oberen Umschalter 16 der Eingangsstufe 2 oder die negative Zwischenkreisspannungsschiene 15 ist durch den unteren Umschalter 17 der Eingangsstufe 2 unterbrochen und der eingeprägte Laststrom schliesst sich über Dioden und die durchgeschalteten Transistoren der Ausgangsstufe 8 und es tritt zwischen den Ausgangsklemmen 9, 10, 11 keine Differenzspannung auf, obwohl eigentlich ein aktiver Schaltzustand der Ausgangsstufe vorliegt, d.h. nicht alle oberen Transistoren 24 oder alle unteren Transistoren 26 der Ausgangsstufe 8 durchgeschaltet sind. Dieser passive Freilaufzustand ist nur möglich, wenn vor der Unterbrechung der positiven oder negativen Zwischenkreisschiene durch den Umschalter 16 oder 17 ein positiver Zwischenkreisstrom vorliegt.

[0030] Durch die Eingangsstufe 2 werden innerhalb jeder Pulshalbperiode 30 zwei Netzaussenleiterspannungen 34 und 35 für Zeitabschnitte 36 und 37 in den Zwischenkreis geschaltet, beispielsweise liegt der negative Umschalter 17 zu Beginn der Pulshalbperiode 31 auf Phase c und wechselt im Verlauf der Pulshalbperiode 30 mit kurzer Unterbrechung, die einen Kurzschluss von zwei Netzphasen verhindert, auf Phase b, wobei der positive Umschalter 16 innerhalb der gesamten Pulshalbperiode 30 auf Phase a verbleibt.

[0031] Für die Ausgangsstufe liegt damit innerhalb der Zeitabschnitte 36 und 37 eine konstante Zwischenkreisspannung vor und die Ausgangsstufe nimmt analog zur Steuerung konventioneller Spannungszwischenkreis-Pulswechselrichter innerhalb beider Zeitabschnitte 36, 37 zwei aktive Schaltzustände und einen Freilaufzustand an. Der zu Beginn 31 der Pulshalbperiode 30 vorliegende Schaltzustand der Ausgangsstufe 8 sei dabei als erster aktiver Schaltzustand und der darauffolgende Schaltzustand als zweiter aktiver Schaltzustand bezeichnet. Für beide aktive Schaltzustände tritt ein, vom betrachteten Zeitabschnitt 30, dem Phasenwinkel der Last und der Laststromamplitude abhängiger Zwischenkreisstrom 29 auf. Vor Ende des Zeitintervalls 36 wechselt die Ausgangsstufe 8, wie durch das Freilaufsignal 33 angezeigt, in einen aktiven Freilaufzustand, der Zwischenkreisstrom 29 wird zu Null und der Schaltzustandswechsel der Eingangsstufe am Ende von Zeitintervall 36 kann stromlos und damit ideal verlustfrei erfolgen. Innerhalb des darauffolgenden Zeitabschnittes 37 wird die Reihenfolge des Freilaufzustandes und auch der aktiven Schaltzustände umgekehrt, d.h. am Beginn des Zeitabschnittes 37 liegt aktiver Freilaufzustand der Ausgangsstufe 8 und nach dem Freilaufzustand der zweite aktive und schliesslich der erste aktive Schaltzustand vor.

[0032] Es wird unmittelbar deutlich, dass für die Ausgangsstufe bei Umschalten aus dem zweiten aktiven Schaltzustand in den aktiven Freilaufzustand in Zeitpunkt 38 und für das Rückschalten aus dem aktiven Freilaufzustand in den zweiten aktiven Schaltzustand in Zeitpunkt 39 Schaltverluste auftreten, während die Eingangsstufe, wie erwähnt, ideal verlustfrei kommutiert.

[0033] Die bei erfindungsgemässer Steuerung des Systems 1 nach Patentanspruch 1 resultierenden Zeitverläufe der Zwischenkreisspannung 28, des Zwischenkreisstromes 29 und des Freilaufsignals 33 innerhalb einer Pulshalbperiode 30 sind in Fig. 3 dargestellt.

[0034] Es wird nach Zeitpunkt 38, nach Ablauf einer, Signallaufzeiten und Zeitverzögerungen der Ansteuerschaltungen berücksichtigenden Sicherheitszeit 40 für den vorgehend betrachteten Fall der die Verbindung der negativen Zwischenkreisschiene 15 mit Netzphase 5 herstellende Leistungstransistor 41 ausgeschaltet und erst eine Sicherheitszeit 42 vor Wegnahme des aktiven Freilaufzustandes der Ausgangsstufe 8 in Zeitpunkt 39 der die Verbindung der negativen Zwischenkreisschiene 15 mit Eingangsklemme 4 herstellende Leistungstransistor 43 durchgeschaltet, womit Leistungstransistor 41 mit Sperrspannung beansprucht wird. Für die Rekombination von Speicherladungen von Leistungstransistor 41 steht somit vorteilhaft nahezu die gesamte Dauer 44 des aktiven Freilaufzustandes zur Verfügung wodurch parasitäre Umschaltverluste gegenüber einer bekannten Steuerung nach Fig. 2 signifikant reduziert werden.

[0035] Die bei erfindungsgemässer Steuerung des Systems 1 nach Patentanspruch 2 resultierenden Zeitverläufe der Zwischenkreisspannung 28, des Zwischenkreisstromes 29 und des Freilaufsignals 33 innerhalb einer Pulshalbperiode 30 sind in Fig. 4 dargestellt.

[0036] Es wird bei positivem Zwischenkreisstrom durch Ausschalten des Leistungstransistors 41 der Eingangsstufe 2 in Zeitpunkt 38 ein Übergang der Ausgangsstufe 8 in den passiven Freilaufzustand erzwungen, die Ansteuerung der Leistungstransistoren der Ausgangsstufe 8 verbleibt dabei gemäss dem zweiten aktiven Schaltzustand, entsprechend weist das einen aktiven Freilaufzustand der Ausgangsstufe 8 anzeigende Freilaufsignal 33 stets den Wert «0» auf. Wird in Zeitpunkt 39 der Leistungstransistor 43 der Eingangsstufe 2 durchgeschaltet, kehrt damit die Ausgangsstufe unmittelbar

aus dem passiven Freilaufzustand in den zweiten aktiven Schaltzustand zurück. In den Leistungstransistoren 41 und 43, welche die Schaltzustandsänderungen erzwingen, treten Schaltverluste auf bzw. werden die bei bekannter Steuerung für die entsprechenden Schaltzustandsänderungen in der Ausgangsstufe 8 anfallenden Schaltverluste erfindungsgemäss der Eingangsstufe übertragen.

[0037] Die bei erfindungsgemässer Steuerung des Systems 1 nach Patentanspruch 4 resultierenden Zeitverläufe der Zwischenkreisspannung 28 und des Zwischenkreisstromes 29 und des Freilaufsignals 33 innerhalb einer Pulshalbperiode 30 sind in Fig. 5 dargestellt. Es wird bei positivem Zwischenkreisstrom durch Ausschalten des Leistungstransistors 41 der Eingangsstufe 2 in Zeitpunkt 38 ein Übergang der Ausgangsstufe 8 in den passiven Freilaufzustand erzwungen, es treten Schaltverluste in der Eingangsstufe 2 auf, die Ausgangsstufe verbleibt für eine Sicherheitszeit 45 im passiven Freilaufzustand und wird anschliessend in Zeitpunkt 46 in den aktiven Freilaufzustand geschaltet, womit für sämtliche Lastphasenströme innerhalb des Freilaufzustands der Ausgangsstufe 8 eine Vorzeichenumkehr möglich ist. Eine Sicherheitszeit 42 vor Wegnahme des aktiven Freilaufintervalls der Ausgangsstufe 8 in Zeitpunkt 39 wird der die Verbindung der negativen Zwischenkreisspannungsschiene 15 mit Eingangsklemme 4 herstellende Leistungstransistor 43 durchgeschaltet, wobei aufgrund des fehlenden Zwischenkreisstromes keine Schaltverluste auftreten. Schaltverluste fallen für die Ausgangsstufe bei Rückkehr aus dem aktiven Freilaufzustand in den aktiven Schaltzustand an, es werden also, wie erwähnt, nur die Schaltverluste bei Übergang aus dem zweiten aktiven Schaltzustand in den (passiven) Freilaufzustand der Ausgangsstufe 8 der Eingangsstufe 2 übertragen.

Patentansprüche

1. Modulationsverfahren zur Steuerung eines quasi-direkten Dreiphasen-AC/AC-Pulsumrichters, welcher eine Gleichrichter-Eingangsstufe (2), eine positive Zwischenkreisspannungsschiene (14), eine negative Zwischenkreisspannungsschiene (15) und eine Pulswechselrichter-Ausgangsstufe (8) aufweist, derart, dass durch die Eingangsstufe (2) innerhalb jeder Pulshalbperiode (30) aufeinanderfolgend zwei Aussenleiterspannungen (34; 35) des an den Eingangsklemmen (3, 4, 5) der Eingangsstufe (2) anliegenden speisenden Netzes für Zeitabschnitte (36; 37) in den Zwischenkreis geschaltet werden, die Ausgangsstufe (8) während des Anliegens der ersten in den Zwischenkreis geschalteten Aussenleiterspannung (34) aufeinanderfolgend zwei aktive Schaltzustände und einen aktiven Freilaufzustand annimmt und darauffolgend während des Anliegens der zweiten in den Zwischenkreis geschalteten Aussenleiterspannung (35) die Reihenfolge der Schaltzustände der Ausgangsstufe (8) umgekehrt wird und innerhalb einer Pulshalbperiode (30) stets ein elektronischer Schalter der Eingangsstufe (2) im durchgeschalteten Zustand verbleibt, dadurch gekennzeichnet, dass eine Sicherheitszeit (40), nachdem die Ausgangsstufe aus einem aktiven Schaltzustand in den aktiven Freilaufzustand geschaltet wurde, der im nächstfolgenden Schaltzustand der Eingangsstufe (2) nicht mehr geschlossene elektronische Schalter der Eingangsstufe (2) ausgeschaltet wird und erst eine Sicherheitszeit (42) vor Wegnahme des aktiven Freilaufzustandes der Ausgangsstufe (8) der, in Verbindung mit dem zweiten, noch durchgeschalteten elektronischen Schalter der Eingangsstufe den nächsten Schaltzustand der Eingangsstufe (2) herstellende elektronische Schalter durchgeschaltet wird, womit dem, eine Sicherheitszeit (40) nach Einnahme des aktiven Freilaufzustandes der Ausgangsstufe (8) abgeschalteten elektronischen Schalter der Eingangsstufe (2) nahezu die gesamte Dauer (44) des aktiven Freilaufzustandes der Ausgangsstufe (8) zur Rekombination von Speicherladungen zur Verfügung steht, wodurch parasitäre Umschaltverluste minimiert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei positivem Zwischenkreisstrom durch Ausschalten eines elektronischen Schalters der Eingangsstufe (2) der Übergang der Ausgangsstufe (8) aus einem aktiven Schaltzustand in den passiven Freilaufzustand erzwungen wird und die Ansteuerung der Leistungstransistoren der Ausgangsstufe (8) gemäss dem vorgehenden aktiven Schaltzustand unverändert verbleibt und durch Durchschalten des, in Verbindung mit dem zweiten, noch durchgeschalteten elektronischen Schalter der Eingangsstufe (2) den nächsten Schaltzustand der Eingangsstufe (2) herstellenden elektronischen Schalters der Eingangsstufe (2) die Ausgangsstufe unmittelbar aus dem passiven Freilaufzustand in den aktiven Schaltzustand zurückkehrt, wobei für beide Umschaltungen in der Eingangsstufe und nicht in der Ausgangsstufe Schaltverluste auftreten.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in der Schaltzustandssequenz jeder Pulshalbperiode (30) jeweils der auf den stärkeren positiven Zwischenkreisstrom führende aktive Schaltzustand der Ausgangsstufe (8) zeitlich unmittelbar vor und unmittelbar nach dem passiven Freilaufzustand der Ausgangsstufe (8) liegend angeordnet wird und dadurch ein grosser Teil der Schaltverluste der Ausgangsstufe (8) der Eingangsstufe (2) übertragen wird oder der auf den schwächeren positiven Zwischenkreisstrom führende aktive Schaltzustand der Ausgangsstufe (8) zeitlich unmittelbar vor und unmittelbar nach dem passiven Freilaufzustand der Ausgangsstufe (8) liegend angeordnet wird und so nur ein geringer Teil der Schaltverluste der Ausgangsstufe (8) der Eingangsstufe (2) übertragen wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass bei positivem Zwischenkreisstrom innerhalb der Pulshalbperioden (30) durch Unterbrechung des Zwischenkreisstromes durch Ausschalten eines elektronischen Schalters (18) der Eingangsstufe (2) ein Übergang der Ausgangsstufe (8) von einem aktiven Schaltzustand in den passiven Freilaufzustand erzwungen wird und die Ausgangsstufe (8) für eine Sicherheitszeit (45) im passiven Freilaufzustand verbleibt, anschliessend in den aktiven Freilaufzustand geschaltet wird, womit für sämtliche Lastphasenströme eine Vorzeichenumkehr möglich ist und eine Sicherheitszeit (42) vor Wegnahme des aktiven Freilaufzustandes der Ausgangsstufe (8) über Durchschalten eines elektronischen Schalters der Eingangsstufe wieder die

CH 696 415 A5

Zwischenkreisspannungsschienen (14, 15) mit jeweils einer der Eingangsklemmen (3, 4, 5) verbunden werden und anschliessend die Ausgangsstufe (8) aus dem aktiven Freilaufzustand in einen aktiven Schaltzustand geschaltet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischenkreisspannung erfasst, und für den Fall, dass bei Schaltzustandsänderung der Eingangsstufe (2), d.h. bei Unterbrechung des Zwischenkreisstromes durch die Eingangsstufe (2) eine über den Werten des regulären Betriebes liegende Zwischenkreisspannung auftritt, die Ausgangsstufe (8) unmittelbar in den aktiven Freilaufzustand geschaltet wird.

Fig. 1

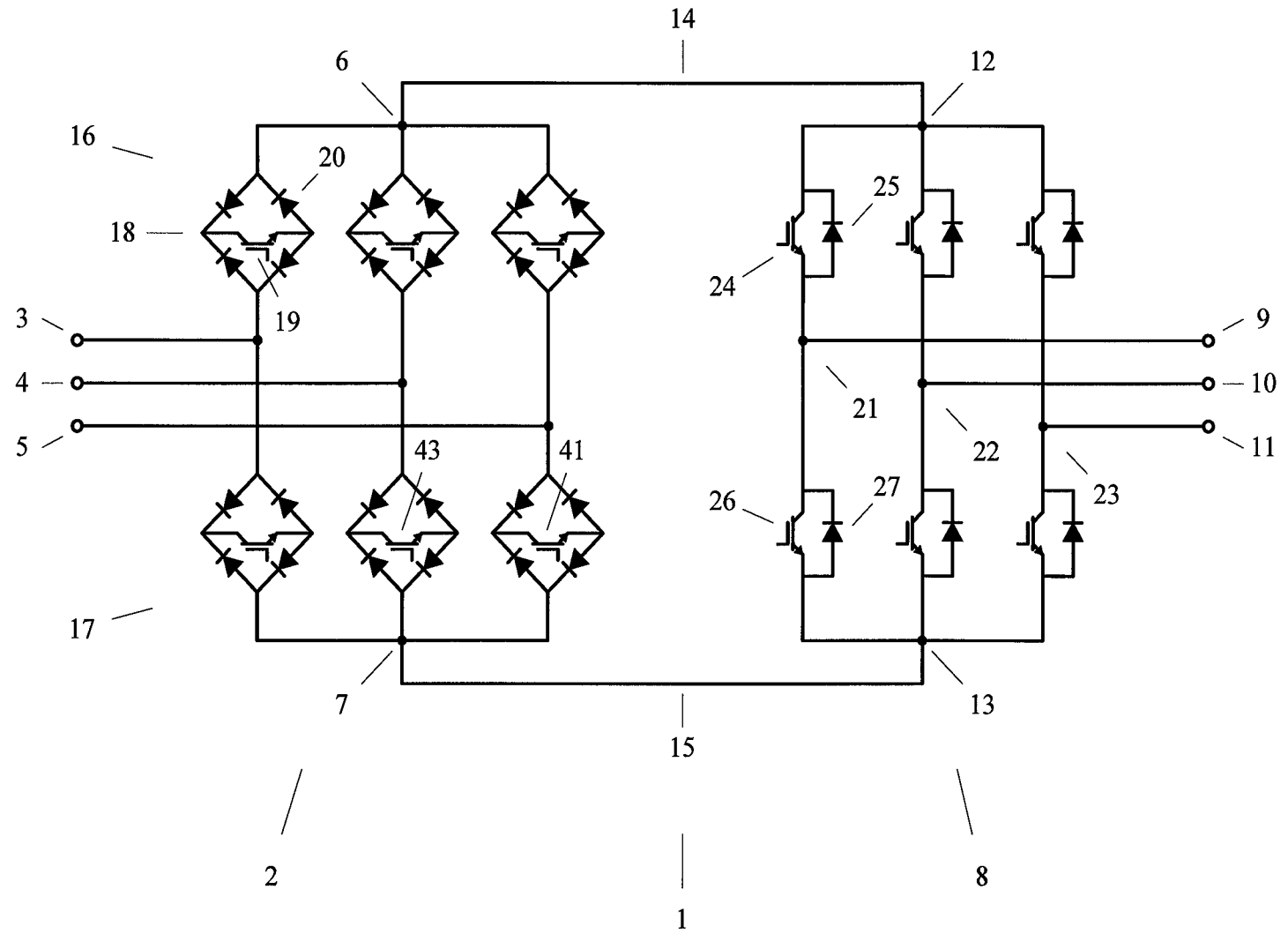


Fig. 2

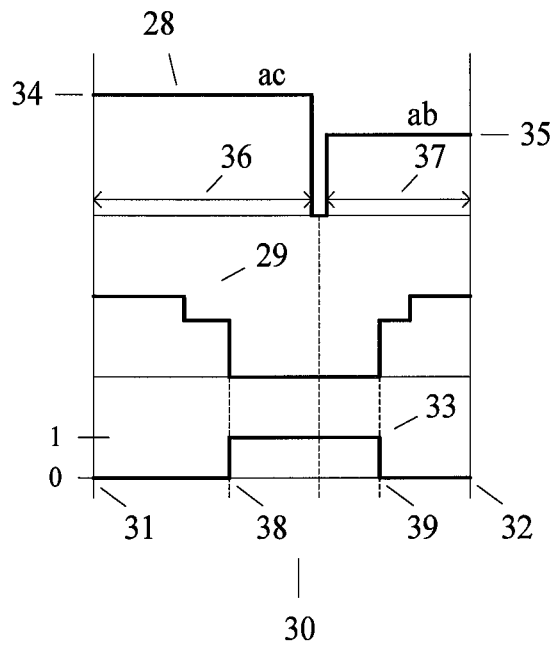
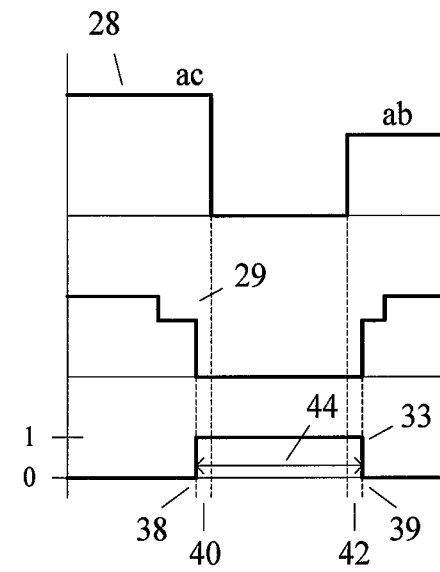


Fig. 3



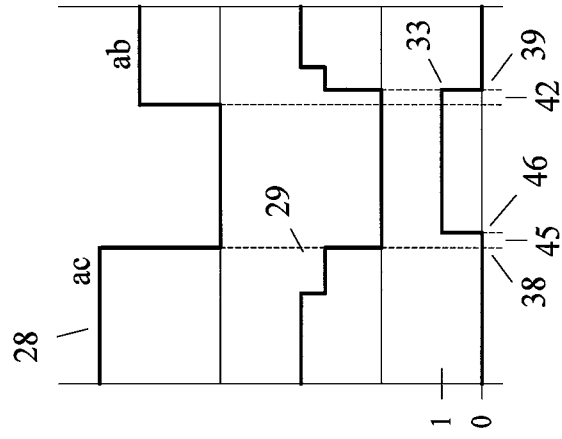


Fig. 5

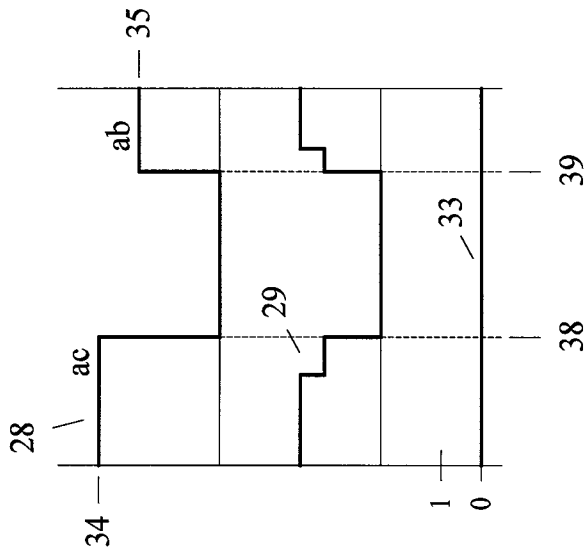


Fig. 4