

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 714 715 A2

(51) Int. Cl.: H02M 7/58 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 00262/18

(22) Anmeldedatum: 02.03.2018

(43) Anmeldung veröffentlicht: 13.09.2019

(71) Anmelder:
ETH Zürich, ETH Transfer HG E 47–49 Rämistrasse 101
8092 Zürich ETH-Zentrum (CH)

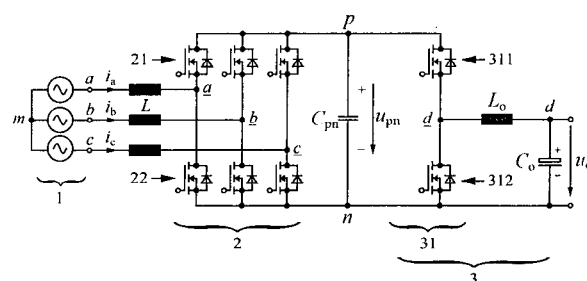
(72) Erfinder:
Johann Walter Kolar, 8044 Zürich (CH)
Dominik Bortis, 8052 Zürich (CH)

(74) Vertreter:
Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach
8032 Zürich (CH)

(54) Verfahren zum Regeln eines Dreiphasen-Pulsgleichrichtersystems.

(57) In einem erfindungsgemässen Verfahren zum Regeln eines Dreiphasen-Pulsgleichrichtersystems (1, 2, 3), welches eine Dreiphasen-Brückenschaltung (2), zum Leistungsaustausch zwischen einem Dreiphasennetz (1) mit einer Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) und einem Lastkonverter (3) zum Leistungsaustausch zwischen der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) und einer Last aufweist, wird in zeitlich aufeinanderfolgenden Abschnitten jeweils

- eine erste Netzphase, welche momentan einen höchsten Spannungswert bezüglich der anderen Netzphasen aufweist, an einen positiven Anschlusspunkt der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) geschaltet,
- eine zweite Netzphase, welche momentan einen anderen Spannungswert bezüglich der anderen Netzphasen aufweist, an einen negativen Anschlusspunkt der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) geschaltet,
- in einer dritten Netzphase durch Takten des an diese Netzphase angeschlossenen Brückenzeuges ein sinusförmiger Strom erzeugt, und
- durch Variation der Spannung der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) in der ersten und der zweiten Netzphase ein sinusförmiger Strom erzeugt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Dreiphasenpulsleichrichtersysteme, insbesondere auf ein Verfahren zur Regelung der Eingangsphasenströme auf Sinusform und der Ausgangsgleichspannung.

[0002] Zur Umformung der Spannung des Dreiphasennetzes in eine Gleichspannung werden gemäss dem Stand der Technik im Allgemeinen aktive Dreiphasenbrückenschaltungen eingesetzt, deren Eingangsklemmen über Vorschaltinduktivitäten mit den Netzklemmen verbunden sind und an deren DC-Ausgang eine Kapazität zu Stützung der gebildeten Gleichspannung angeordnet ist. Durch entsprechende Taktung der Brückenzeige, welche die Funktion von Umschaltern zwischen der positiven und der negativen DC-Ausgangsspannungsschiene aufweisen, wird dann im Sinne geringer Netzurückwirkungen vorteilhaft ein netzspannungsproportionaler Eingangsstromverlauf eingestellt und die DC-Ausgangsspannung auf einen konstanten Wert geregelt. Alternativ ist auch ein Eingangsstromverlauf mit definierter Phasenverschiebung gegenüber der Netzspannung einstellbar. Allerdings weist dieses Konzept aufgrund der eingangsseitig angeordneten Induktivitäten eine Hochsetzstellercharakteristik auf und ist daher nur für die Erzeugung von über dem Spitzenwert der Netzaussenleiterspannung liegenden DC-Ausgangsspannung geeignet. Soll, wie z.B. bei der Batterieladung von Elektrofahrzeugen erforderlich, eine tiefere Ausgangsspannung gebildet werden, ist dem System eine DC/DC-Tiefsetzstellerstufe nachzuordnen, womit ein zweistufiges Dreiphasen-Tiefsetzsteller-Pulsleichrichtersystem mit vorteilhaft kontinuierlichen, direkt geregelten Eingangsphasenströmen und kontinuierlichem Ausgangsstrom resultiert (vgl. Fig. 1).

[0003] Wird die Tiefsetzstellerstufe bidirektional ausgeführt, kann dann auch eine seitens einer aktiven Last gelieferte Leistung in den DC-Zwischenkreis zwischen beiden Konverterstufen gespeist, bzw. die Lastspannung auf das Niveau der Zwischenkreisspannung angehoben und von dort Leistung in das Netz zurückgeführt werden. Dieser Betrieb liegt z.B. bei der Einspeisung photovoltaisch erzeugter Leistung in das Dreiphasennetz oder bei der Speisung einer dreiphasigen Maschine aus einer Gleichspannung vor.

[0004] Für eine kompakte Realisierung ist in beiden Fällen vorteilhaft eine hohe Taktfrequenz der Konverterstufen vorzusehen, womit allerdings relativ hohe Schaltverluste resultieren, welche die Effizienz der Energieumformung reduzieren. Weiters ist für die hochfrequente Taktung der elektronischen Schalter insgesamt eine relativ hohe Ansteuerleistung erforderlich, welche ebenfalls die Effizienz beeinträchtigt.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren für die Regelung und Modulation eines zweistufigen Dreiphasen-Tiefsetzsteller-Pulsleichrichtersystems zu schaffen, welches reduzierte Schaltverluste aufweist, wobei nach wie vor ein sinusförmiger, vorteilhaft in Phase oder in Gegenphase mit der Netzspannung liegender Netzstromverlauf und eine konstante Ausgangsspannung sichergestellt sein soll.

[0006] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Regelverfahren gemäss den Patentansprüchen.

[0007] Im Folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen, welche in den beiliegenden Zeichnungen dargestellt sind, näher erläutert. Es zeigt jeweils schematisch:

- Fig. 1: Leistungsteil des Systems, wobei der Eingangsteil als Zweipunkt-Brückenschaltung und der Lastkonverter als DC/DC-Tiefsetzsteller ausgeführt ist.
- Fig. 2: Spannungsverläufe der Netzeingangsspannungen u_a , u_b und u_c sowie der Zwischenkreisspannung u_{pn} . Die Unterteilung in die sechs Spannungssektoren sowie die Zuteilung der Netzspannungen auf die drei Phasen u_1 , u_2 und u_3 erfolgt in Abhängigkeit der Spannungsverhältnisse der Netzeingangsspannungen.
- Fig. 3: Schaltungstechnische Realisierung des Verfahrens zur Regelung und Modulation des Systems nach Fig. 1 gezeigt.
- Fig. 4: Alternative Ausführung des Lastkonverters als DC/DC-Hochsetzsteller.
- Fig. 5: Alternative Ausführung des Lastkonverters als aktives stromeinprägendes Serienelement in Form einer Schaltzelle, d.h. der Lastkonverter ist eine in der Verbindungsleitung von positiver Zwischenkreisspannung und positiver Ausgangsspannungsklemme angeordnete Vollbrückenschaltzelle, welche die Funktion einer aktiven Glättungs- bzw. Ausgangsinduktivität aufweist.
- Fig. 6: Alternative Ausführung des Lastkonverters als Pulsconverter, insbesondere als Pulswechselrichter, zur direkten Speisung einer Maschine M. Ohne zwischengeschalteten Tief- oder Hochsetzsteller sind beim Wechselrichter für die Regelung der Maschinenströme mindestens zwei Phasen zu takten; mit zwischengeschaltetem Konverter kann jedoch auch hier die Regelung mit Klemmung von zwei Phasen angewendet werden.

[0008] Es wird also (unter Annahme ohmschen Netzverhaltens), anstelle aller drei Brückenzeige in jedem Eingangsspannungssektor jeweils nur der Brückenzeig der aktiven Dreiphasenbrückenschaltung getaktet, welcher den betragsmässig kleinsten Strom führt und in dieser Phase, im Weiteren als dritte Phase u_3 bezeichnet, durch Taktung des Brückenzeiges ein sinusförmiger Stromverlauf eingeprägt. Gleichzeitig werden die anderen beiden Brückenzeige je nach anliegenden Eingangsspannungsverhältnissen bzw. dem vorliegenden (durch die Grössenverhältnisse der Eingangsphasenspannung-

gen bestimmten) Eingangsspannungssektor durchgeschaltet, d.h. die Phase mit dem positivsten Netzphasenspannungsmomentanwert, im Weiteren als erste Phase u_1 bezeichnet, an die positive DC-Ausgangsspannungsschiene p und die Phase mit dem negativsten Netzphasenspannungsmomentanwert, im Weiteren als zweite Phase u_2 bezeichnet, an die negative DC-Ausgangsspannungsschienen geklemmt (vgl. Figur 2).

[0009] Da Pulsgleichrichtersysteme typischerweise keine Verbindung mit dem Netzsternpunkt m aufweisen, bzw. die Summe der Phasenströme zu Null gezwungen wird, kann dann durch gleichzeitige Regelung eines weiteren Stromes insgesamt ein definierter Verlauf aller drei Phasenströme erreicht werden. Als Spannung für die Einprägung des weiteren Stromes wird ein definierter Verlauf der Zwischenkreisspannung u_{pn} herangezogen. Da die erste Phase u_1 an die positive DC-Ausgangsspannungsschiene p und die zweite Phase u_2 an die negative DC-Ausgangsspannungsschienen geklemmt wird, tritt die Zwischenkreisspannung u_{pn} in Form einer verketteten Spannung zwischen den Eingängen der Brückenarme der ersten und zweiten Phase auf und bildet in Verbindung mit der zugeordneten verketteten Spannung auf der Netzseite eine entsprechende, über der jeweiligen Vorschaltinduktivität L der ersten und der zweiten Phase auftretende und damit stromeinprägende Spannung (vgl. Fig. 1 und Fig. 2).

[0010] Abweichend zu einer konventionellen Realisierung mit zeitlich konstanter Zwischenkreisspannung u_{pn} wird so der Freiheitsgrad bezüglich der Wahl eines Zwischenkreisspannungsverlaufes ausgenutzt, wobei dieser derart geregelt wird, dass sich in der ersten und zweiten Phase ebenfalls ein sinusförmiger Stromverlauf ausbildet. Dabei ist anzumerken, dass zeitliche Schwankungen der Zwischenkreisspannung u_{pn} durch entsprechende Pulsbreitenmodulation der nachgeschalteten Tiefsetzstellerstufe ausgeglichen werden können, d.h. nach wie vor eine konstante Ausgangsspannung u_o gebildet werden kann. Da das erfindungsgemäss Verfahren eine Taktung der, verglichen mit der dritten Phase höhere Ströme führenden ersten und zweiten Phase vermeidet, werden so vorteilhaft geringe Schaltverluste und ein geringer Ansteuerleistungsbedarf sichergestellt.

[0011] Anzumerken ist, dass das zweistufige Dreiphasen-Tiefsetzsteller-Pulsleichrichtersystem nicht auf eine reine Tiefsetzstellerfunktion beschränkt ist, sondern auch als Hochsetzsteller betrieben werden kann. In diesem Fall ist der obere Schalter des ausgangsseitigen Tiefsetzstellers durchzuschalten, sodass die Ausgangsspannung u_o der Zwischenkreisspannung u_{pn} entspricht; die aktive Dreiphasenbrücke wird dann als konventioneller Hochsetzsteller betrieben, wobei zur Regelung einer konstanten Zwischenkreis- bzw. Ausgangsspannung mehr als ein Brückenarm zu takten ist. Für die Regelung wird dann ein Verfahren nach dem Stand der Technik verwendet. In Abhängigkeit des Betriebes (Tief- oder Hochsetzstellerbetrieb) wird also zwischen der erfindungsgemässen Regelung und einer Regelung nach Stand der Technik umgeschaltet.

[0012] Das durch das erfindungsgemässe Verfahren zu steuernde und zu regelnde Dreiphasen-Hoch-Tiefsetzsteller-Pulsleichrichtersystem wird mit bekannter Struktur eingangsseitig durch eine Dreiphasen-Zweipunktbrückenschaltung (2) oder Dreiphasen-Mehrpunktbrückenschaltung (Brückenschaltung) mit drei AC-Phaseneingängen ($\underline{a}$, $\underline{b}$ und $\underline{c}$) und einer positiven (p) und einer negativen DC-Ausgangsspannungsschiene (n), zwischen welchen ein Pufferkondensator (Zwischenkreiskondensator respektive Zwischenkreiskapazität) (C_{pn}) angeordnet ist, gebildet, wobei beide DC-Spannungsschienen an den Eingang einer ausgangsseitigen Konverterstufe (Lastkonverter) (3) geführt werden, welche einen Verbraucher speist, bzw. über dem Verbraucher eine Spannung (Lastspannung) (u_o) erzeugt (vgl. Fig. 1). Weiter ist jeder Phaseneingang der Brückenschaltung über jeweils eine Vorschaltinduktivität (L) mit der zugehörigen Phasenklemme [a, b und c] des speisenden Dreiphasen-AC-Netzes (Netz) (1) verbunden. Um betriebsmässig auftretende schaltfrequente Komponenten der Ströme in den Vorschaltinduktivitäten vom Netz fernzuhalten bzw. die Versorgungsspannung unabhängig von der inneren Impedanz des Netzes zu definieren, können an den Netzklemmen drei Filterkondensatoren (Netzfilterkondensatoren) in Stern- oder Dreieckschaltung vorgesehen sein. Die Brückenschaltung (2) weist dabei allgemein drei Brückenarme auf, wobei für Zweipunktcharakteristik jeder Brückenarm einen oberen mit der positiven DC-Zwischenkreisschiene (p) und einen unteren mit der negativen DC-Zwischenkreisspannungsschiene (n) verbundenen elektronischen Schalter aufweist und der Phasenausgang des Brückenarmes ($\underline{a}$, $\underline{b}$ und $\underline{c}$) durch die Verbindungsstelle der freien Enden des oberen und unteren Schalters gebildet wird und antiparallel zu den Schaltern Freilaufdioden geschaltet sein können. Der folgenden Beschreibung wird im Sinne der Übersichtlichkeit eine Zweipunktausführung der Brückenschaltung zugrunde gelegt, weiters wird der Lastkonverter (3) wie einleitend angemerkt als einfacher bidirektionaler Tiefsetzsteller gebildet gedacht, welcher eingangsseitig einen zwischen positiver (p) und negativer DC-Spannungsschiene (n) geschalteten Zweipunkt-Brückenarm (Tiefsetzstellerbrückenarm) (31) aufweist, von dessen Ausgangsklemme ($\underline{d}$) eine Tiefsetzstellerinduktivität (L_o) gegen die positive Ausgangsspannungsklemme (d) des Systems geschaltet ist, wobei die negative Ausgangsspannungsklemme direkt mit der negativen DC-Spannungsschiene (n) verbunden und zwischen der positiven und der negativen Ausgangsklemme ein Stützkondensator (Ausgangskondensator) (C_o) angeordnet und die Last zwischen die positive (d) und negative Ausgangsklemme (n) gelegt ist.

[0013] Die Modulation des Systems erfolgt in Abhängigkeit der Grössenverhältnisse der Netzphasenspannungen (mit anderen Worten: in Abhängigkeit der Relationen der Höhen der Netzphasenspannungen), wobei abschnittsweise eine erste (oder momentan obere) Netzphase (u_1) einen positiven, eine zweite (oder momentan untere) Netzphase (u_2) einen negativen und die dritte (oder momentan mittlere) Netzphase (u_3) einen mittleren Spannungswert aufweist, welcher maximal den Spannungswert der ersten Netzphase (u_1) erreicht und jedenfalls oberhalb des Spannungswertes der zweiten Netzphase (u_2) liegt oder diesen im Grenzfall erreicht. Für ein symmetrisches Dreiphasennetz bleiben diese Grössenverhältnisse mit einer Breite von 1/6 der Netzperiode, d.h. innerhalb eines 60°-breiten Sektors oder Abschnitts unverändert, wobei

ein Winkel von 360° einer kompletten Schwingungsperiode der Netzspannungen entspricht (vgl. Fig. 2). Wechseln beim Übertritt in den nächstfolgenden Sektor oder Abschnitt die Grössenverhältnisse, wird auch die Modulation entsprechend angepasst. Das heisst, die jeweils erste, zweite, dritte (oder obere, untere, mittlere) Phase, wie sie bei der Modulation betrachtet und geschaltet wird, ist in jedem Sektor einer anderen physischen Phase zugeordnet. Innerhalb eines Sektors wird jeweils die erste Phase (u_1) mittels des oberen Schalters (21) des zugehörigen Brückenzeiges bleibend mit der positiven DC-Spannungsschiene (p) und jeweils die zweite Phase (u_2) mittels des unteren Schalters (22) des zugehörigen Brückenzeiges bleibend mit der negativen DC-Spannungsschiene (n) verbunden und nur die dritte Phase (u_3) schaltfrequent taktend belassen. Vorteilhaft treten damit nur für eine Phase, d.h. die dritte Phase (u_3) Schaltverluste auf, welche aufgrund des relativ geringen Wertes des zugehörigen Phasenstromes einen relativ geringen Wert aufweisen.

[0014] Ziel der Regelung des Systems ist es, in den Vorschaltinduktivitäten (L) bzw. in den Netzphasen sinusförmige, in Phase (für Leistungsbezug aus dem Netz, bzw. in Gegenphase für Leistungsrückspeisung) mit der zugehörigen Netzphasenspannung (u_a , u_b und u_c) liegende Ströme (i_a , i_b und i_c) einzuprägen, wobei für ein symmetrisches Netz sämtliche Ströme dieselbe Amplitude aufweisen und optional am Ausgang des Lastkonverters (3) eine definierte Lastspannung (u_o) entsprechend einem vorgegebenen Sollwert (Lastspannungssollwert) (u_o^*) zu erzeugen, bzw. allgemein eine definierte Leistung an den Verbraucher zu liefern (vgl. Fig. 3). Alternativ können die Netzphasenströme auch eine Phasenverschiebung gegenüber den zugehörigen Netzphasenspannungen aufweisen. Für die weitere Beschreibung wird allerdings im Sinne der Übersichtlichkeit ohmsches Netzverhalten angenommen. Entsprechend ist das System vom Netz aus betrachtet ersatzweise als Sternschaltung gleicher ohmsche Widerstände (Eingangersatzwiderstände) bzw. Leitwerte (Eingangersatzleitwerte) zu sehen, deren Leistung unter idealisierender Annahme von Verlustfreiheit direkt an den Ausgang, d.h. an den Verbraucher weitergegeben wird. Diesem Gedanken folgend wird der Sollwert des Eingangersatzleitwertes (Eingangssollleitwert) (G^*) in Abhängigkeit der Lastspannungsregelabweichung, d.h. der Differenz eines vorgegebenen Lastspannungssollwertes (u_o^*) und des gemessenen Lastspannungswertes (u_o) gebildet, indem die Lastspannungsregelabweichung an den Eingang eines Ausgangsspannungsreglers geführt wird, welche am Ausgang den erforderlichen Sollwert des Nachladestromes (i_{co}^*) des Ausgangskondensators (C_o) bildet, womit nach Addition des gemessenen Laststromes (Laststromvorsteuerung) (i_{load}) und Multiplikation dieser Stromsumme mit der Ausgangsreferenzspannung (u_o^*) der Sollwert der an den Ausgang zu liefernden Leistung (Ausgangsleistungssollwert) (P_o^*) resultiert, welcher letztlich aus dem Netz zu beziehen ist, also bei Vernachlässigung der Verluste des Systems direkt den Eingangsleistungssollwert definiert. Entsprechend wird im nächsten Schritt mit dem Eingangsphasenspitzenwert $\hat{u}_i$ der Eingangssollleitwert (G^*) derart bestimmt, dass eine Leistungsaufnahme aus dem Netz in Höhe des Ausgangsleistungssollwertes (P_o^*) resultiert. Durch Multiplikation des Eingangssollleitwertes (G^*) mit den gemessenen Phasenspannungen (u_a , u_b und u_c) resultieren dann Sollwerte der in den Vorschaltinduktivitäten einzustellenden Ströme (Eingangsphasenstromsollwerte) (i_a^* , i_b^* und i_c^*). Für jede Phase wird nun durch Subtraktion des gemessenen Eingangsstromwertes (i_a , i_b und i_c) die Regelabweichung ermittelt und einem Eingangsstromregler zugeführt, welcher an seinem Ausgang den Sollwert der über der zugehörigen Vorschaltinduktivität zu bildenden Spannung (u_{La}^* , u_{Lb}^* und u_{Lc}^*) bildet. Nach Subtraktion dieses Sollwertes vom Messwert der zugehörigen Netzphasenspannung (u_a , u_b und u_c) resultiert damit der Sollwert der Eingangsspannung des zugehörigen Brückenzeiges (Brückenzeigeeingangsspannungssollwert) ($\underline{u}_a$, $\underline{u}_b$ und $\underline{u}_c$) der aktiven Brückenschaltung. Für die dritte Phase (u_3) wird der Brückenzeigeeingangsspannungssollwert durch den halben Messwert der Zwischenkreisspannung (Zwischenkreisspannungswert) (u_{pn}) dividiert und damit im Sinne einer Pulsweitenmodulation die relative Einschaltdauer (d_3) des oberen Schalters des zugehörigen Brückenzeiges berechnet, wobei während der Ausschaltdauer des oberen Schalters (21) der untere Schalter (22) des Brückenzeiges eingeschaltet wird, d.h. beide Schalter des Brückenzeiges im Gegenteil arbeiten und die Taktperiode bevorzugt eine konstante Länge bzw. die Taktfrequenz bevorzugt einen konstanten Wert aufweist. Insgesamt wird so der Phasenstromwert der dritten Phase entsprechend dem zugehörigen Eingangsphasenstromsollwertverlauf geführt.

[0015] Eine Sektorbestimmungseinheit bestimmt anhand der Netzphasenspannungen (u_a , u_b und u_c), in welchem Sektor oder Abschnitt sich die Netzphasenspannungen gemäss ihren Grössenverhältnissen befinden. Eine Modulationseinheit erzeugt anhand dieser Sektorinformation und der Einschaltdauer (d_3) Schaltsignale S_a , S_b , S_c für die drei Brückenzeige.

[0016] Da die erste Phase (u_1) wie vorgehend beschrieben innerhalb des gesamten betrachteten Sektors an die positive DC-Zwischenkreisspannungsschiene (p) und die zweite Phase (u_2) an die negative DC-Zwischenkreisspannungsschiene (n) geklemmt wird, kann für die Regelung des Eingangsstromes in diesen Phasen direkt ein entsprechender Verlauf der DC-Zwischenkreisspannung (u_{pn}) herangezogen werden. Der Sollverlauf ($u_{12}^* = u_{pn}^*$) wird dabei durch Subtraktion der Brückenzeigeeingangsspannungssollwerte der ersten (u_1) und der zweiten Phase (u_2) gebildet und von diesem Zwischenkreisspannungssollwert der Zwischenkreisspannungswert (u_{pn}) subtrahiert und die damit vorliegende Zwischenkreisspannungsregelabweichung einem Zwischenkreisspannungsregler zugeführt, an dessen Ausgang der Sollwert des Nachladestromes des Zwischenkreiskondensators (i_{cpn}^*) auftritt, welcher nach Subtraktion vom Zwischenkreisstromsollwert (i_{pn}^*) (der sich für jeden Sektor aus den Eingangsphasensollstromwerten (i_a^* , i_b^* und i_c^*) berechnet) und nach Multiplikation mit dem Zwischenkreisspannungssollwert (u_{pn}^*) auf die Differenzleistung (P_{pn}^*) führt, welche aus dem Zwischenkreis abzuführen ist.

[0017] Alternativ kann der Sollwert der seitens des Lastkonverters dem Zwischenkreis zu entnehmende Leistung (P_{pn}^*) auch aus der Subtraktion der (Zwischenkreiskondensatorssollleistung, zu erhalten durch Multiplikation des Sollwertes des

Nachladestromes des Zwischenkreiskondensators (i_c^*) mit dem Zwischenkreisspannungssollwert (u_{pn}^*) vom Eingangsleistungssollwert berechnet werden.

[0018] Die anschliessende Division der Zwischenkreissolleistung (P_{pn}^*) durch den Ausgangsspannungssollwert (u_o^*) führt auf den Sollwert des Stromes in der Tiefsetzstellerinduktivität (Tiefsetzstellerinduktivitätssollwert) (i_{Lo}^*) von welchem zur Bildung der Tiefsetzstellerinduktivitätsstromregelabweichung der gemessene Tiefsetzstellerinduktivitätsistwert (i_{Lo}) subtrahiert wird.

[0019] Wird alternativ für die Berechnung des Stromsollwertes der Tiefsetzstellerinduktivität (i_{Lo}^*) nur die Zwischenkreiskondensatorssolleistung ohne Solleingangsleistung verwendet, kann der Sollstromwert ($i_{Lo,DC}^*$), welcher vom Ausgangsspannungsregler berechnet wird und aufgrund der begrenzten Bandbreite des Ausgangsspannungsreglers nur eine geringe Dynamik aufweist, vorgesteuert werden.

[0020] Die Tiefsetzstellerinduktivitätsstromregelabweichung wird dann an den Eingang eines Tiefsetzstellerstromreglers gelegt, der an seinem Ausgang die über der Tiefsetzstellerinduktivität im Mittel über eine Taktperiode zu bildende Spannung (Tiefsetzstellerinduktivitätssollspannung) (u_{Lo}^*) erzeugt, welche nach Addition des Ausgangsspannungssollwertes (u_o^*) auf die zur Einprägung des Tiefsetzstellerinduktivitätssollwertes erforderliche Ausgangsspannung (u_d^*) des Tiefsetzstellerbrückenweiges führt. Durch Division dieses Wertes durch den Zwischenkreisspannungssollwert (u_o^*) wird dann schliesslich die relative Einschaltdauer des oberen Schalters (d_d) des Tiefsetzstellerbrückenweiges ermittelt, wobei innerhalb der relativen Ausschaltdauer des oberen Schalters (311) der untere Schalter (312) durchgeschaltet wird, also beide Schalter des Brückenweiges im Gegentakt arbeiten. Um eine minimale schaltfrequente Schwankung der Zwischenkreisspannung (u_{pn}) zu erreichen ist dabei vorteilhaft die Taktung des dritten Brückenweiges der aktiven Brückenschaltung und des Tiefsetzstellerbrückenweiges mit gleicher Taktfrequenz vorzunehmen und zeitlich so zu legen, dass sich bei gesperrtem oberem Schalter (21) des dritten Brückenweiges der obere Schalter des Tiefsetzstellerbrückenweiges (311) im durchgeschalteten Zustand befindet. Es kann dann der Zwischenkreiskondensator (C_{pn}) mit relativ kleiner Kapazität ausgeführt und damit der Zwischenkreisspannungsistwert (u_{pn}) mit einem, verglichen mit dem Ausgangsstrom relativ kleinen Umladestrom (i_{Cpn}) entsprechend dem, weitgehend der positiven Einhüllenden der Netzaussenleiterspannungen entsprechenden sechspulsigen Verlaufgeführt werden.

[0021] Bei Steuerung entsprechend der vorgehenden Beschreibung, wird innerhalb eines Sektors jeweils nur die dritte Phase (u_3) für die Einprägung des zugehörigen Phasenstromes getaktet, die erste (u_1) und die zweite Phase (u_2) verbleiben geklemmt. Der abrupte Wechsel an den Sektorgrenzen kann zu Verzerrungen der Phasenströme (i_a , i_b und i_c) führen, weshalb kurz vor- und kurz nach der Sektorgrenze mindestens eine weitere Phase aktiv geschaltet werden kann und die Auswahl dieser Phase so erfolgt, dass minimale zusätzliche Schaltverluste auftreten, also jene Phase gewählt wird, deren Betrag des Phasenstromwerts näher am Phasenstromwert der dritten Phase liegt.

[0022] Eine weitere Möglichkeit Verzerrungen zu vermeiden besteht darin, kurz nach einer Sektorgrenze die dritte Phase für einen kurzen Zeitabschnitt zu sperren (d.h. in diesem Zeitabschnitt alle Schalter der aktiven Brückenschaltung gesperrt zu halten) und erst anschliessend für die Taktung freizugeben.

[0023] Anzumerken ist, dass neben der Ausführung des Lastkonverters als DC/DC-Tiefsetzsteller mehrere weitere Realisierungsformen bestehen:

- ein DC/DC-Hochsetzsteller (vgl. Fig. 4),
- eine Vollbrückenschaltzelle mit innerer DC-Spannung und Serieninduktivität, zur Implementierung einer aktiven Glättungs- bzw. Ausgangsinduktivität (vgl. Fig. 5). Der dem DC-Zwischenkreis entnommene Strom ist hier direkt gleich dem Ausgangsstrom, welcher über entsprechende Taktung der Vollbrückenschaltzelle eingepreßt wird. Da die Zelle nur Leistungspulsationen mit sechsfacher Netzfrequenz ausgleicht, ist keine DC-seitige Speisung erforderlich.
- Ein Dreiphasen-Pulsconverter, insbesondere Pulswechselrichter (vgl. Fig. 6),
- oder eine andere Spannungsstabilisierende Konverterstufe.

[0024] Anzumerken ist, dass für die Zeichnungen ohmsches Netzverhalten vorausgesetzt wird, das erfindungsgemässe Steuerverfahren jedoch auch für eine Phasenverschiebung der Netzphasenströme gegenüber den zugeordneten Netzphasenspannungen Anwendung finden kann, wobei dann die Sektorauswahl nach wie vor gleich erfolgt und nur zu den Phasenstromsollwerten (welche gemäss den obigen Ausführungen für ohmsches Netzverhalten gebildet werden) entsprechende Blindkomponenten addiert werden.

Patentansprüche

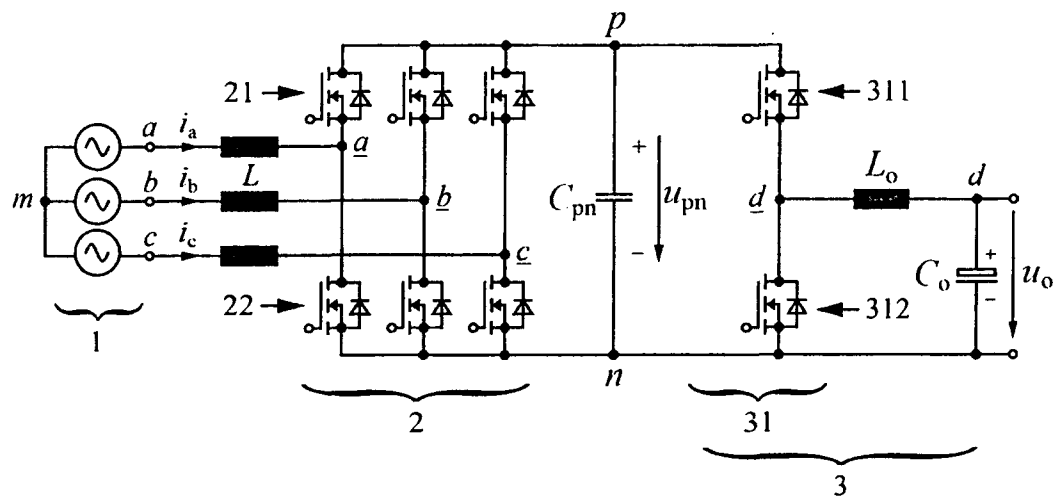
1. Verfahren zum Regeln eines Dreiphasen-Pulsleichrichtersystems (1, 2, 3), welches eine Dreiphasen-Brückenschaltung (2), zum Leistungsaustausch zwischen einem Dreiphasennetz (1) mit einer Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) und einem Lastkonverter (3) zum Leistungsaustausch zwischen der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) und einer Last aufweist, wobei Brückenweige der Dreiphasen-Brückenschaltung (2) jeweils eine Netzphase wahlweise mit einem positiven oder einem negativen Anschlusspunkt der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) verbinden, wobei in zeitlich aufeinanderfolgenden Abschnitten jeweils in einem Abschnitt
 - eine erste Netzphase, welche momentan einen höchsten den bezüglich der anderen Netzphasen aufweist, an einen positiven Anschlusspunkt der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) geschaltet ist,

- eine zweite Netzphase, welche momentan einen den Spannungswert bezüglich der anderen Netzphasen aufweist, an einen negativen Anschlusspunkt der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) geschaltet ist,
 - in einer dritten Netzphase durch Takten des an diese Netzphase angeschlossenen Brückenweiges ein sinusförmiger Strom erzeugt wird,
 - durch Variation der Spannung der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) in der ersten und der zweiten Netzphase ein sinusförmiger Strom erzeugt wird.
2. Verfahren gemäss Anspruch 1, wobei bei der Variation der Zwischenkreisspannung (u_{pn}) der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) für die Regelung des Eingangsstromes in der ersten und der zweiten Netzphase ein entsprechender Verlauf der DC- herangezogen wird, indem
 - ein Zwischenkreisspannungssollwert ($u_{12}^* = u_{pn}^*$) durch Subtraktion der Brückenweigeingangsspannungssollwerte der ersten (u_1) und der zweiten Phase (u_2) gebildet wird,
 - von diesem Zwischenkreisspannungssollwert (u_{pn}^*) der Zwischenkreisspannungswert (u_{pn}) subtrahiert und eine damit vorliegende Zwischenkreisspannungsregelabweichung einem Zwischenkreisspannungsregler zugeführt wird, an dessen Ausgang ein Sollwert des Nachladestromes des Zwischenkreiskondensators (i_{Cpn}^*) auftritt, und dieser
 - nach Subtraktion von einem Zwischenkreisstromsollwert (i_{pn}^*), der für jeden Sektor aus Eingangsphasensollstromwerten (i_a^* , i_b^* und i_c^*) berechnet wird, und nach Multiplikation mit dem Zwischenkreisspannungssollwert (u_{pn}^*) auf eine Differenzleistung (P_{pn}^*) führt, welche aus dem Zwischenkreis abzuführen ist, und
 - durch Division der Zwischenkreissollleistung (P_{pn}^*) durch den Ausgangsspannungssollwert (u_o^*) ein Sollwert eines Stromes in einer Tiefsetzstellerinduktivität (Tiefsetzstellerinduktivitätssollwert) (i_{Lo}^*) des Lastkonverters (3) ermittelt wird, und dieser durch den Lastkonverter (3) eingestellt wird.
 3. Verfahren gemäss Anspruch 1 oder 2, wobei bei der Variation der Spannung der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) eine Ausgangsspannung (u_o) an der Last und/oder eine Ausgangsleistung (P_o) des Lastkonverters (3) an die Last durch Modulation des Lastkonverters (3) geregelt werden.
 4. Verfahren gemäss Anspruch 1 oder 2 oder 3, wobei ein Sollwert eines Eingangsersatzleitwertes (Eingangssollleitwert) (G^*) in Abhängigkeit einer Lastspannungsregelabweichung, gebildet wird, indem

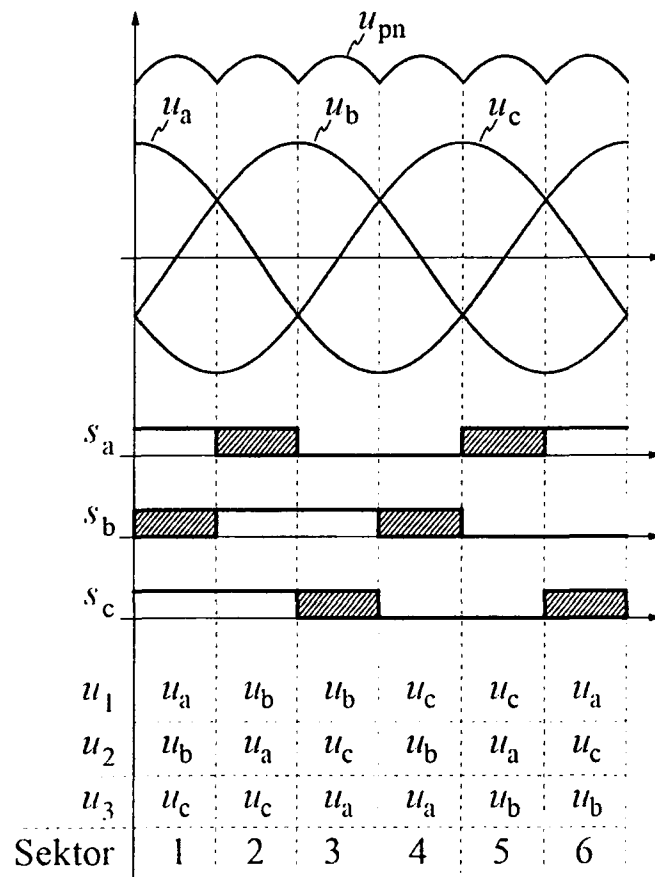
die Lastspannungsregelabweichung an den Eingang eines Ausgangsspannungsreglers geführt wird, welche am Ausgang den erforderlichen Sollwert des Nachladestromes (i_{Co}^*) des Ausgangskondensators (C_o) bildet, womit nach Addition des gemessenen Laststromes (Laststromvorsteuerung) (i_{Load}) und Multiplikation dieser Stromsumme mit der Ausgangsreferenzspannung (u_o^*) ein Sollwert der an den Ausgang zu liefernden Leistung (Ausgangsleistungssollwert) (P_o^*) resultiert, und

der Eingangssollleitwert (G^*) derart bestimmt wird, dass eine Leistungsaufnahme aus dem Netz in Höhe des Ausgangsleistungssollwertes (P_o^*) resultiert, indem durch Multiplikation des Eingangssollleitwertes (G^*) mit den gemessenen Phasenspannungen (u_a , u_b und u_c) Sollwerte der in den Vorschaltinduktivitäten einzustellenden Ströme (Eingangsphasenstromsollwerte) (i_a^* , i_b^* und i_c^*) bestimmt werden und für jede Phase durch Subtraktion eines gemessenen Eingangsstromwertes (i_a , i_b und i_c) eine Regelabweichung ermittelt und einem Eingangsstromregler zugeführt wird, welcher an seinem Ausgang einen Sollwert der über der zugehörigen Vorschaltinduktivität zu bildenden Spannung (u_{La}^* , u_{Lb}^* und u_{Lc}^*) bildet,

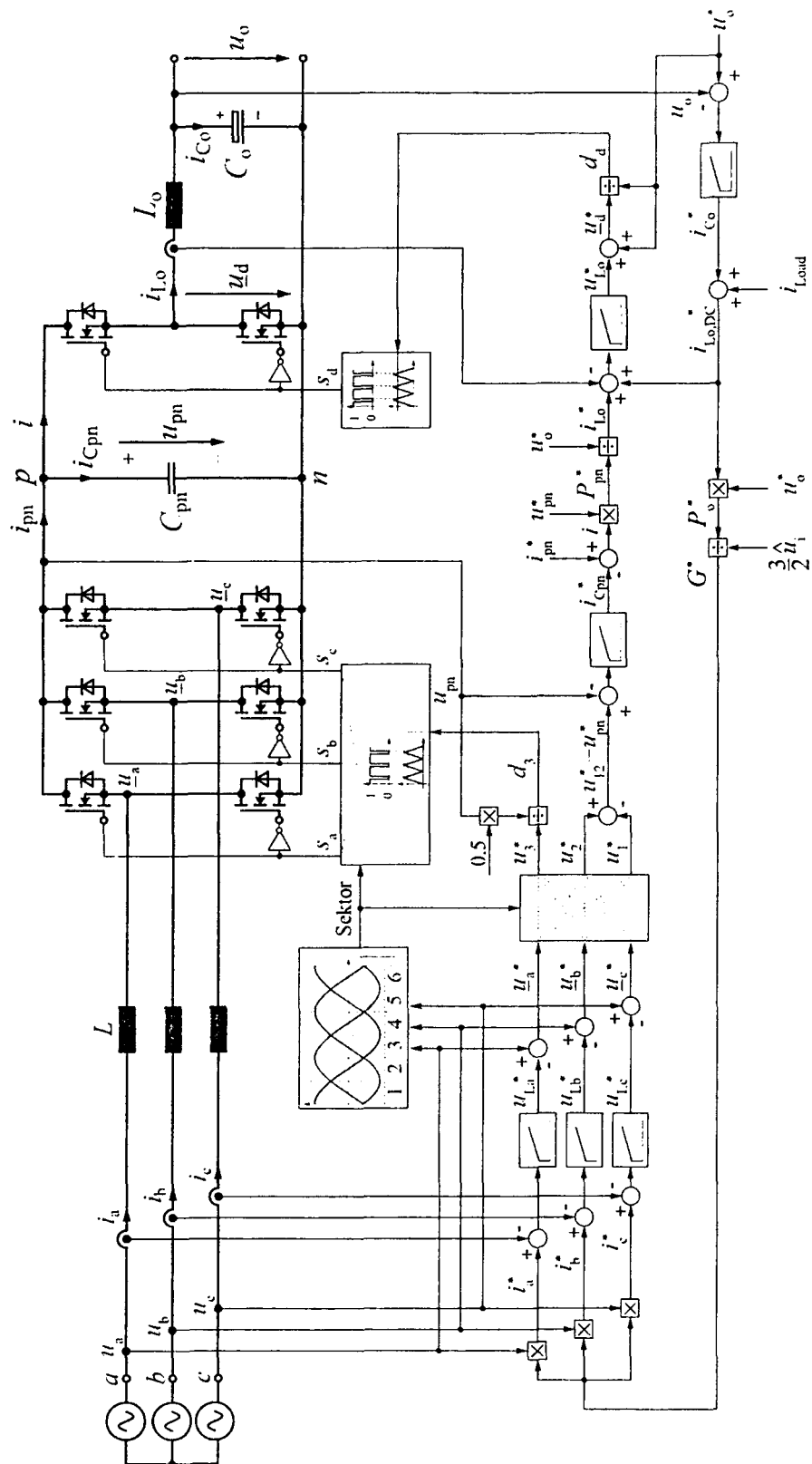
wobei nach Subtraktion dieses Sollwertes vom Messwert der zugehörigen Netzphasenspannung (u_a , u_b und u_c) ein Sollwert der Eingangsspannung des zugehörigen Brückenweiges (Brückenweigeingangsspannungssollwert) ($\underline{u}_a$, $\underline{u}_b$ und $\underline{u}_c$) der Dreiphasen-Brückenschaltung (2) resultiert und durch diese eingestellt wird.
 5. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei kurz vor- und kurz nach einer Sektorgrenze zwischen zwei Abschnitten mindestens eine weitere Phase aktiv geschaltet wird, und die Auswahl dieser Phase so erfolgt, dass reduzierte zusätzliche Schaltverluste auftreten, also jene Phase als geschaltete Phase gewählt wird, deren Betrag des Phasenstromwerts näher am Phasenstromwert der dritten Phase liegt.
 6. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei kurz nach einer Sektorgrenze zwischen zwei Abschnitten die dritte Phase für einen kurzen Zeitabschnitt gesperrt und erst anschliessend für die Taktung freigegeben wird.
 7. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, in welchem der Lastkonverter (3) ein Hochsetzsteller ist.
 8. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 6, in welchem der Lastkonverter (3) ein Pulswechselrichter ist.
 9. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 6, in welchem der Lastkonverter eine stromeinprägende, in der Verbindungsleitung von positiver respektive negativer Zwischenkreisspannungs- und positiver respektive negativer Ausgangsspannungsklemme angeordnete Vollbrückenschaltzelle mit innerer DC-Spannung ist, wobei negative respektive positive Klemmen von Zwischenkreis- und Ausgangsspannung direkt miteinander verbunden sind.
 10. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, in welchem zum Erreichen einer Phasenverschiebung von Netzspannung und Netzstrom zu den Phasenstromsollwerten entsprechende Blindkomponenten addiert werden.



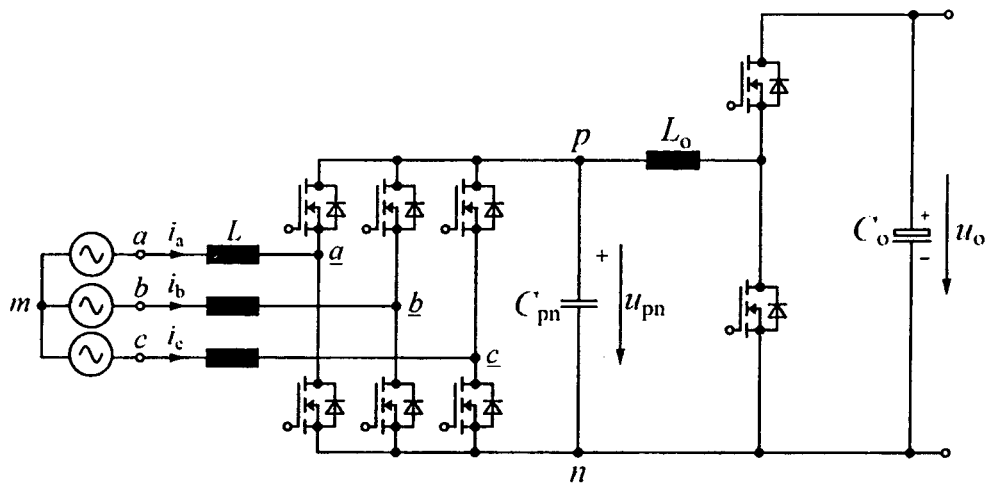
Figur 1



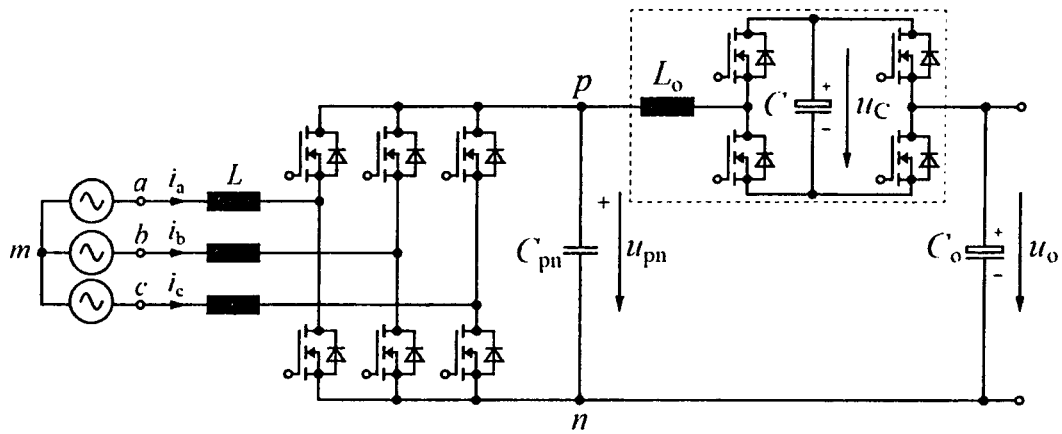
Figur 2



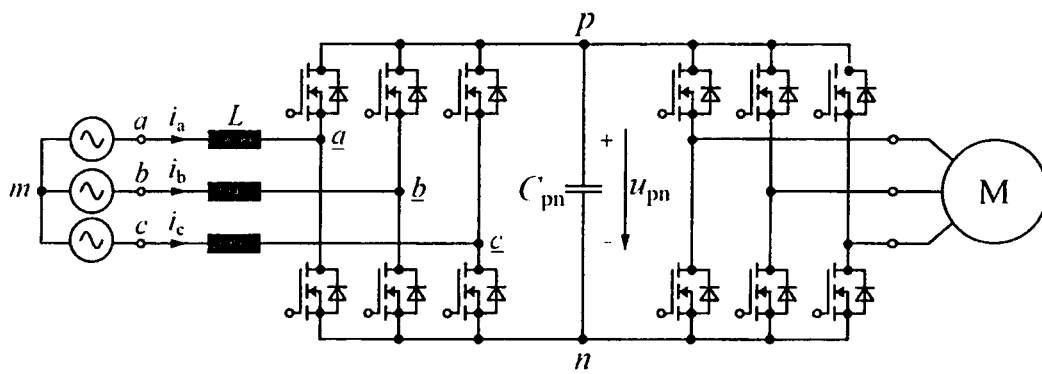
Figur 3



Figur 4



Figur 5



Figur 6