



Urkunde · Certificat · Certificato

über die Erteilung des Erfindungspatentes Nr.
de délivrance du brevet d'invention n°
di rilascio del brevetto d'invenzione no.

714079

Nachdem die gesetzlichen Bedingungen erfüllt worden sind, ist für die in der beigefügten Patentschrift dargelegte Erfindung ein Patent mit der oben angegebenen Nummer erteilt worden. Auf der ersten Seite der Patentschrift sind alle wesentlichen Angaben enthalten, die das vorliegende Erfindungspatent betreffen. Erfindungspatente werden ohne Gewährleistung des Bundes erteilt. Massgeblich ist der Eintrag im Patentregister.

Bern, Datum der Patenterteilung

Les conditions requises par la loi étant remplies, un brevet portant le numéro susmentionné a été délivré pour l'invention décrite dans le fascicule ci-joint. Sur la première page du fascicule du brevet figurent toutes les indications essentielles relatives au brevet d'invention considéré. Les brevets d'invention sont délivrés sans garantie de l'Etat. Seul l'enregistrement dans le registre des brevets fait foi.

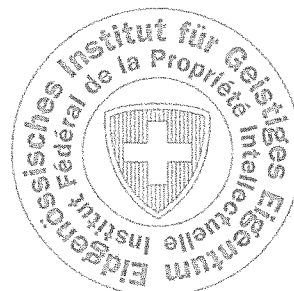
Berne, date de la délivrance du brevet

Essendo soddisfatte le condizioni prescritte dalla legge, è stato rilasciato un brevetto contrassegnato dal numero sopraindicato per l'invenzione documentata nel fascicolo allegato. Sulla prima pagina del fascicolo del brevetto figurano tutte le indicazioni essenziali concernenti il brevetto in questione. I brevetti d'invenzione sono rilasciati senza garanzia dello Stato. Determinante è l'iscrizione nel registro dei brevetti.

Berna, data del rilascio del brevetto

Leiter Patente / chef des Brevets / capo dei Brevetti

Dr. Alban Fischer





SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 714 079 B1

(51) Int. Cl.: H02M 7/797 (2006.01)

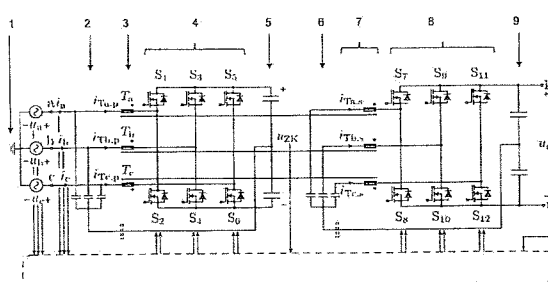
Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer:	01053/17	(73) Inhaber:	ETH Zürich, ETH Transfer HG E 47-49 Rämistrasse 101 8092 Zürich ETH-Zentrum (CH)
(22) Anmeldedatum:	24.08.2017	(72) Erfinder:	Michael Georg Leibl, 9450 Alstätten (CH) Johann Walter Kolar, 8044 Zürich (CH) Lukas Franz Josef Schrittwieser, 8050 Zürich (CH)
(43) Anmeldung veröffentlicht:	28.02.2019	(74) Vertreter:	Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach 8032 Zürich (CH)
(24) Patent erteilt:	15.11.2021		
(45) Patentschrift veröffentlicht:	15.11.2021		

(54) Verfahren und Konverter zur potentialfreien elektrischen Energieübertragung.

(57) Mit einem erfindungsgemässen erfahren und/oder einem Konverter zur potentialfreien elektrischen Energieübertragung zwischen einem primärseitigen Wechselspannungssystem (u_a, u_b, u_c) mit einer Netzfrequenz und einem sekundärseitigen Gleichspannungssystem (u_{dc}) werden, von den Brückenzeigen einer primärseitigen Brückenschaltung (4) erzeugte parasitäre schaltfrequente Spannungsanteile, d.h. ein schaltfrequentes Gegentaktspannungssystem und/oder ein schaltfrequentes Gleichtaktspannungssystem, für die potentialfreie Energieübertragung von der Primärseite (2, 3, 4, 5) auf die Sekundärseite (6, 7, 8) verwendet. Dabei kann der Leistungstransfer zwischen Primär- und Sekundärseite (6, 7, 8) ähnlich einer Dual Active Bridge durch entsprechende Phasenverschiebung der schaltfrequenten Taktung beider Seiten eingestellt werden.



Beschreibung

[0001] Für die Schnellladung der Batterien von Elektrofahrzeugen werden derzeit typischerweise zweistufige Konvertersysteme, d.h. ein netzseitiges Dreiphasenpulsgleichrichtersystem mit geregelter Ausgangsspannung und ein nachgeschalteter, aus der durch das Dreiphasenpulsgleichrichtersystem erzeugten Spannung-auch als Zwischenkreisspannung bezeichnet -gespeister potentialgetrennter DC/DC-Konverter eingesetzt. Die Pulsleichrichterstufe weist dabei i.A. Hochsetzstellercharakteristik auf, d.h. die Netzphasenspannungen werden an drei Vorschaltinduktivitäten geführt, und deren jeweils zweiten Anschlüsse an die Eingänge von Phasenbrücken zweigen gelegt, welche zwischen einer positiven und einer negativen Zwischenkreisspannungsschiene angeordnet sind und insgesamt eine selbstgeführte Dreiphasenbrückenschaltung bilden. Ein Phasenbrücken zweig wird dabei in einfachsten Fall mit Zweilevelcharakteristik, d.h. durch eine Serienschaltung von zwei elektronischen Schaltern, beispielsweise Transistoren mit antiparallelen Freilaufdioden gebildet, wobei der Schaltungspunkt zwischen den beiden Schaltern respektive den Transistoren den Brücken zweig eingang darstellt. Um einen Kurzschluss der Zwischenkreisspannung zu vermeiden wird jeweils nur einer der beiden Transistoren durchgeschaltet, sodass letztlich funktionsgleich mit einem Umschalter die Möglichkeit der Verbindung des Eingangs mit der positiven oder der negativen Zwischenkreisspannungsschiene gegeben ist, d.h. bezogen auf einen gedachten Mittelpunkt der Zwischenkreisspannung eine positive oder eine negative Spannung an den Brücken zweig eingang geschaltet werden kann (Zweilevelcharakteristik). Die einzelnen Schalter und damit die als Umschalter wirkenden Brücken zweige werden mit pulsbreitenmodulierten Rechtecksignalen mit einer Schaltfrequenz angesteuert.

[0002] Um den zur Sicherstellung geringer Netzurückwirkungen typischerweise geforderten sinusförmigen Netzstrom zu erreichen, wird am Eingang jedes Phasenbrücken zweiges eine netzfrequente pulsbreitenmodulierte Spannung derart erzeugt, dass die über der zugehörigen Vorschaltinduktivität auftretende Differenz der zugehörigen sinusförmigen Netzphasenspannung und der in der pulsbreitenmodulierten Spannung enthaltenen netzfrequenten Grundschwingung einen sinusförmigen Netzstrom mit einer Amplitude derart bewirkt, dass die seitens des DC/DC-Konverters dem Zwischenkreis entnommene Leistung nachgeliefert und das Niveau der Zwischenkreisspannung auf einem vorgegebenen Sollwert gehalten wird. Zur Vermeidung einer Belastung des Netzes mit Blindleistung werden dabei für Leistungslieferung aus dem Netz die Netzphasenströme in Phase mit den zugehörigen Netzphasenspannungen (ohmsches Netzverhalten) und für Leistungsrückspeisung in das Netz mit einer Phasenverschiebung von 180° eingestellt.

[0003] Neben den letztlich strombildenden netzfrequenten Grundschwingungen (nachfolgend als netzfrequentes Gegentaktspannungssystem bezeichnet) beinhaltet das aus den drei pulsbreitenmodulierten Phasenbrücken zweig eingangsspannungen gebildete Spannungssystem typischerweise auch noch

- optional ein dreifach netzfrequentes Gleichtaktspannungssystem zur Maximierung der Aussteuerbarkeit der selbstgeführten Dreiphasenbrückenschaltung,
- ein schaltfrequentes lokal (auf eine Schaltperiode bezogen) und damit auch global (auf eine Netzperiode bezogen) mittelwertfreies Gegentaktspannungssystem und
- ein schaltfrequentes lokal und global mittelwertfreies Gleichtaktspannungssystem.

[0004] Jedes dieser Spannungssysteme wird durch drei Phasenspannungsanteile gebildet. Da der Netzsternpunkt typischerweise mit keinem Punkt des Spannungszwischenkreises verbunden ist, d.h. das Dreiphasenpulsleichrichtersystem wie vorstehend beschrieben nur an den drei Netzphasenklemmen liegt, wird durch das dreifach netzfrequente und durch das schaltfrequente Gleichtaktspannungssystem kein Stromfluss verursacht. Nur das schaltfrequente Gegentaktspannungssystem kann (zusätzlich zum netzfrequenten Gegentaktspannungssystem) strombildend wirken, wobei das Netz bei rein sinusförmiger Netzspannung und vernachlässigbarer innerer Impedanz für schaltfrequente Gegentaktstromkomponenten einen Kurzschluss darstellt. Demgemäss wird durch das schaltfrequente Gegentaktspannungssystem ein einzig durch die Vorschaltinduktivitäten begrenzter schaltfrequenter Gegentaktstrom verursacht, welcher in einer schaltfrequenten Schwankung bzw. einem schaltfrequenten Rippel der sinusförmigen Netzströme Ausdruck findet.

[0005] Für den dem Pulsleichrichtersystem nachgeordneten potentialgetrennten DC/DC-Konverter werden im Bereich höherer Leistung primär- wie sekundärseitig gemäss dem Stand der Technik Vollbrückenschaltungen in Form eines Dual Active Bridge Konverters, d.h. einer primärseitigen aus der Zwischenkreisspannung gespeisten Vollbrücke und einer sekundärseitigen, an der Ausgangsgleichspannung liegenden Vollbrücke und einem zwischen beiden Vollbrücken angeordnetem Transformator, dessen Primärwicklungsenden an die Ausgänge der primärseitigen Vollbrücke und dessen Sekundärwicklungsenden an den Eingang der sekundärseitigen Vollbrücke gelegt werden, eingesetzt. Hier wie auch andernorts beziehen sich die Begriffe „Eingang“ und „Ausgang“ auf einen Leistungsfluss von der Primärseite zur Sekundärseite. Es ist aber auch ein Leistungsfluss in Gegenrichtung realisierbar.

[0006] Da der Dual Active Bridge Konverter keine Ausgangsinduktivität und keine Eingangsinduktivität aufweist, wird die Sperrspannungsbelastung der in den Brücken zweigen eingesetzten Leistungstransistoren direkt durch die Zwischenkreis- bzw. die Ausgangsspannung, d.h. unmittelbar durch die Schaltung (Schaltungszwang) bestimmt. Weiters

ist die Steuerung des Leistungstransfers von der Primär- auf die Sekundärseite einfach über die Phasenverschiebung der Taktung der primär- und sekundärseitigen Vollbrücke möglich. Beide Brücken erzeugen dabei im einfachsten Fall eine symmetrische schaltfrequente Rechteckwechselfspannung. Aufgrund der Phasenverschiebung beider Rechteckwechselfspannungen treten nach der steigenden und nach der fallenden Flanke der Primärwechselfspannung relativ hohe Spannungsdifferenzen gegenüber der Sekundärspannung auf (die Primärspannung kann dabei als unter Berücksichtigung des Windungszahlverhältnisses auf die Sekundärseite umgerechnet und ein Transformatorersatzschaltbild mit auf der Sekundärseite konzentrierter Streuinduktivität betrachtet werden), welche an der Streuinduktivität des Transformators zu liegen kommen, und einen Stromaufbau bzw. Stromabbau bewirken, womit letztlich in der Primär- bzw. Sekundärwicklung ein trapezförmiger Wechselstrom resultiert, der in einem entsprechenden Leistungstransfer von der Primär - auf die Sekundärseite resultiert. Eine Verringerung/Erhöhung der Phasenverschiebung führt zu einem längeren/kürzeren Ansteigen und Abfallen des Stromes und damit zu einer höheren/kleineren Amplitude des primär- bzw. sekundärseitigen Trapezstromes, womit die Regelbarkeit des Leistungstransfers über die Phasenverschiebung anschaulich verständlich wird. Weiters ist hervorzuheben, dass die Schaltung implizit bidirektional ist, d.h. durch Phasenvoreilung der Sekundärrechteckwechselfspannung gegenüber der Primärrechteckwechselfspannung auch eine Leistungsrückspeisung von der Sekundärseite in den Zwischenkreis und von dort durch das ebenfalls bidirektionale Dreiphasenpulsleichrichtersystem in das Dreiphasennetz erfolgen kann.

[0007] Allerdings steht den technischen Vorteilen der aus Pulsleichrichtersystem und DC/DC-Konverter gebildeten Gesamtanordnung ein relativ hoher Realisierungsaufwand (hohe Zahl an Leistungstransistoren und magnetischer Komponenten) gegenüber. Weiters ist die erreichbare Effizienz der Energieumformung potentiell durch die Zweistufigkeit der Gesamtanordnung beschränkt.

[0008] Eine einstufige Energieumformung kann bei Einsatz von Matrixkonverterschaltungen erreicht werden, wobei dann allerdings aufgrund der für die Realisierung erforderlichen Vierquadrantenschalter (bipolare Sperrfähigkeit und getrennte Steuerbarkeit beider Stromflussrichtungen) eine komplexe Konverterstruktur, und eine komplexe Steuerung (komplexe, von den Grössenverhältnissen der Netzphasenspannungen oder den Flussrichtungen der Eingangsphasenströme abhängige Kommutierungssequenzen der Vierquadrantenschalter) in Kauf zu nehmen sind. Weiters weisen Matrixkonverter aufgrund der für die Realisierung von Vierquadrantenschaltern erforderlichen Gegenserien-schaltung von zwei unipolaren Leistungstransistoren mit antiparalleler Freilaufdiode ungeachtet der Einstufigkeit nach wie vor relativ hohe Leitverluste auf.

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es daher Verfahren und einen Konverter zur potentialfreien elektrischen Energieübertragung zu schaffen, welches mindestens eine der folgenden Eigenschaften aufweist: einfache Schaltungsstruktur bzw. eine relativ geringe Anzahl von Halbleiterschaltern, eine durch Schaltungszwang definierte Sperrspannungsbelastung der Halbleiterschalter, eine geringe Zahl magnetischer Komponenten und eine geringe Zahl von Halbleiterschaltern im Stromflusspfad, sowie eine einfache Steuerbarkeit des Leistungsflusses.

[0010] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren und einen Konverter zur potentialfreien elektrischen Energieübertragung gemäss den Patentansprüchen.

[0011] In dem Verfahren zur potentialfreien elektrischen Energieübertragung zwischen einem primärseitigen Wechselspannungssystem (u_a , u_b , u_c) mit einer Netzfrequenz und einem sekundärseitigen Gleichspannungssystem (u_{dc}), werden die folgenden Schritte ausgeführt:

- durch Ansteuerung einer primärseitigen Brückenschaltung an Eingängen von Phasenbrücken-zweigen dieser primärseitigen Brückenschaltung wird ein Spannungssystem von Phasenbrücken-zweigeingangsspannungen gebildet,
- wobei dieses Spannungssystem mindestens die folgenden Komponenten aufweist:
 - o ein netzfrequentes Gegentaktspannungssystem,
 - o ein schaltfrequentes Gegentaktspannungssystem,
 - o ein schaltfrequentes Gleichtaktspannungssystem.

[0012] Dabei

- werden primärseitig mit dem schaltfrequenten Gegentaktspannungssystem schaltfrequente Gegentaktstromkomponenten und/oder mit dem schaltfrequenten Gleichtaktspannungssystem schaltfrequente Gleichtaktstromkomponenten gebildet, welche durch die primärseitige Brückenschaltung 4 fliessen, wobei
- diese schaltfrequenten Gegentaktstromkomponenten und/oder Gleichtaktstromkomponenten durch mindestens einen Transformator auf eine Sekundärseite transformiert werden, und zur Übertragung elektrischer Leistung an die Sekundärseite verwendet werden.

CH 714 079 B1

[0013] Der Konverter, der zur Ausführung des Verfahrens zur potentialfreien elektrischen Energieübertragung ausgebildet sein kann, weist auf:

- Netzphasenklemmen zum Anschluss an ein Wechselspannungssystem, die jeweils über Vorschaltinduktivitäten an Eingänge von Phasenbrückenzeigen einer primärseitigen Brückenschaltung angeschlossen sind,
- wobei eine positive und eine negative Spannungsschiene der primärseitigen Brückenschaltung an eine primärseitige Gleichspannungs-Pufferanordnung angeschlossen sind,

[0014] Dabei ist ein Stromkreis mit Hochpasseigenschaft zur Aufnahme von Gleichtaktströmen und/oder Gegentaktströmen aus den Eingängen der Phasenbrückenzeigen angeordnet, wobei dieser Stromkreis mit Hochpasseigenschaft mindestens eine Primärwicklung eines Transformators aufweist, und mindestens eine Sekundärwicklung des Transformators eine Serienschaltung mit einem Abblockkondensator bildet, und wobei

- entweder nur eine solche Serienschaltung vorliegt, und diese Serienschaltung an einem ersten Ende an einem ersten Phaseneingang einer sekundärseitigen Brückenschaltung und an einem zweiten Ende an einem zweiten Phaseneingang der sekundärseitigen Brückenschaltung angeschlossen ist,
- oder zwei oder mehr solcher Serienschaltungen vorliegen, und diese Serienschaltungen jeweils an ersten Enden an Phaseneingängen einer sekundärseitigen Brückenschaltung angeschlossen sind und an zweiten Enden an einem gemeinsamen sekundärseitigen Sternpunkt angeschlossen sind.

[0015] Der sekundärseitige Sternpunkt kann auch Sternpunkt der Abblockkondensatoren genannt werden, wobei die Reihenfolge der Abblockkondensatoren und Sekundärwicklungen in den Serienschaltungen austauschbar ist.

[0016] Der Stromkreis mit Hochpasseigenschaft ist dazu ausgebildet, im Betrieb des Konverters schaltfrequente Ströme zu führen, und netzfrequente Ströme zu dämpfen, idealerweise zu sperren. Der Stromkreis mit Hochpasseigenschaft führt durch die primärseitige Brückenschaltung und die primärseitige Gleichspannungs-Pufferanordnung und die genannte mindestens eine Primärwicklung. Der Stromkreis mit Hochpasseigenschaft kann weitere Elemente aufweisen, welche je nach Ausführungsform unterschiedlich sind. Je nach Ausführungsform kann er dazu ausgebildet sein, nur schaltfrequente Gleichtaktströme, nur schaltfrequente Gegentaktströme oder beide Arten von Strömen zu führen.

[0017] Mit dem Verfahren und/oder dem Konverter ist es möglich, die bei Betrieb eines ein- oder mehrphasigen Wechselspannungssystems, insbesondere eines Dreiphasengleichrichtersystems, von den Brückenzeigen erzeugten parasitären schaltfrequenten Spannungsanteile, d.h. das schaltfrequente Gegentaktspannungssystem und/oder das schaltfrequente Gleichtaktspannungssystem, für die potentialfreie Energieübertragung von der Primär- auf die Sekundärseite heranzuziehen.

[0018] Dabei kann der Magnetkreis der Vorschaltinduktivität auch für die magnetische Kopplung des eingangs- bzw. primärseitigen und des ausgangs- bzw. sekundärseitigen Schaltungsteiles genutzt werden. Ferner kann der Leistungstransfer zwischen Primär- und Sekundärseite ähnlich einer Dual Active Bridge durch entsprechende Phasenverschiebung der schaltfrequenten Taktung beider Seiten eingestellt werden.

[0019] Es wird somit im Betrieb elektrische Leistung zwischen dem primärseitigen Wechselspannungssystem und einer primärseitigen Gleichspannungs-Pufferanordnung mittel netzfrequenten Spannungen und Strömen ausgetauscht, und es wird elektrische Leistung zwischen der primärseitigen Gleichspannungs-Pufferanordnung und der Sekundärseite über den mindestens einen Transformator mittels schaltfrequenten Spannungen und Strömen ausgetauscht.

[0020] In Ausführungsformen werden die auf die Sekundärseite transformierten Gegentaktstromkomponenten und/oder Gleichtaktstromkomponenten mittels einer sekundärseitigen Brückenschaltung durch eine Ausgangspufferanordnung geführt.

[0021] In Ausführungsformen weist der Stromkreis mit Hochpasseigenschaft mindestens eine Sternschaltung von Rückführkondensatoren auf, welche jeweils an ersten Anschlüssen an die Netzphasenklemmen angeschlossen sind und an zweiten Anschlüssen an einem gemeinsamen primärseitigen Sternpunkt angeschlossen sind, und weist der Stromkreis mit Hochpasseigenschaft ferner die Vorschaltinduktivitäten auf und bildet jede der Vorschaltinduktivitäten eine Primärwicklung. Zusammen mit einer jeweils zugeordneten Sekundärwicklung bildet diese jeweils einen Phasentransformator.

[0022] Der primärseitige Sternpunkt kann auch Sternpunkt der Rückführkondensatoren genannt werden.

[0023] In Ausführungsformen weist der Stromkreis mit Hochpasseigenschaft eine Sternschaltung von Serienschaltungen von separaten Primärwicklungen und Rückführkondensatoren auf, wobei diese Serienschaltungen jeweils an ersten Enden an die Eingänge der Phasenbrückenzeige angeschlossen sind und an zweiten Enden an einem gemeinsamen primärseitigen Sternpunkt angeschlossen sind.

[0024] In Ausführungsformen ist der gemeinsame primärseitige Sternpunkt an einen Mittelpunkt der primärseitigen Gleichspannungs-Pufferanordnung angeschlossen, oder an die positive, oder an die negative Spannungsschiene der primärseitigen Brückenschaltung.

[0025] In Ausführungsformen ist der gemeinsame primärseitige Sternpunkt über eine Primärwicklung eines Gleichtaktspannungstransformators an einen Mittelpunkt der primärseitigen Gleichspannungs-Pufferanordnung angeschlossen, oder an die positive, oder an die negative Spannungsschiene der primärseitigen Brückenschaltung.

[0026] In Ausführungsformen ist der gemeinsame primärseitige Sternpunkt über einen Serienkondensator an einen Mittelpunkt der primärseitigen Gleichspannungs-Pufferanordnung angeschlossen, oder an die positive, oder an die negative Spannungsschiene der primärseitigen Brückenschaltung.

[0027] In Ausführungsformen weist der Konverter eine in Serie zu den Vorschaltinduktivitäten liegende dreiphasige Gleichtaktinduktivität auf, insbesondere mit einer vierten Wicklung auf einem Magnetkern dieser dreiphasigen Gleichtaktinduktivität, wobei diese vierte Wicklung die Sekundärwicklung bildet.

[0028] In Ausführungsformen weist der Konverter zwei oder mehr der Serienschaltungen von Sekundärwicklungen mit jeweils einem Abblockkondensator auf, wobei diese Serienschaltungen an zweiten Enden an einem gemeinsamen sekundärseitigen Sternpunkt angeschlossen sind, und wobei dieser Sternpunkt, optional über einen Serienkondensator, an einen Mittelpunkt einer sekundärseitigen Ausgangspufferanordnung angeschlossen ist, oder an die positive, oder an die negative Spannungsschiene der sekundärseitigen Brückenschaltung.

[0029] Bei allen Ausführungsformen versteht sich, dass eine Sternschaltung von Rückführkondensatoren (primärseitig) respektive Abblockkondensatoren (sekundärseitig), welche an ihrem Sternpunkt mit einer positiven oder negativen Spannungsschiene der zugeordneten Brückenschaltung verbunden ist, ggf. über eine Induktivität und/oder eine Kapazität, äquivalent ist zu zwei Sternschaltungen, von denen die eine an ihrem Sternpunkt mit der positiven und die andere an ihrem Sternpunkt mit der negativen Spannungsschiene verbunden ist.

[0030] Weitere Ausführungsformen und deren Funktionsweise sind im Folgenden im Zusammenhang mit einem dreiphasigen Netz beschrieben, die Ausführungen gelten analog aber auch für Netze mit einer oder mehr als drei Phasen.

[0031] In einer Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorrichtung kann eingangsseitig ein primärseitige Drehstrombrückenschaltung als Dreiphasenpulsleichrichtersystem angeordnet sein, welches am DC Ausgang eine, nachfolgend als Pufferspannung bezeichnete, kapazitiv gestützte Gleichspannung bildet, an der allerdings kein (sekundärseitiger) Verbraucher angeschlossen ist. Wie vorstehend erwähnt, wird für die Realisierung der Potentialtrennung von Primär- und Sekundärseite nicht ein expliziter DC/DC-Konverter bzw. expliziter Transformator angeordnet, sondern die Potentialtrennung und magnetische Kopplung ist durch Sekundärwicklungen auf den, einen Luftspalt des Magnetkreises aufweisenden Vorschaltinduktivitäten der Phasen (Phasensekundärwicklungen, im Folgenden auch Sekundärwicklungen genannt) realisiert - die Wicklungen der Vorschaltinduktivitäten sind in diesem Sinn als Phasenprimärwicklungen (im Folgenden auch Primärwicklungen genannt) zu sehen - und das jeweils erste Ende jeder Sekundärwicklung an die Phaseneingänge einer sekundärseitigen Drehstrombrückenschaltung geführt, an deren Ausgang die zu bildende Ausgangsgleichspannung auftritt. Die jeweils zweiten Enden der Sekundärwicklungen werden an die Eingangsklemmen einer Sternschaltung sekundärseitiger Abblockkondensatoren gelegt, deren Sternpunkt mit dem Mittelpunkt der kapazitiv gestützten Ausgangsgleichspannung verbunden ist; alternativ ist funktionsgleich auch eine Verbindung des Sternpunktes mit der positiven oder dem negativen Klemme der Ausgangsspannung, oder die Anordnung von zwei Kondensatorsternschaltungen mit Verbindung eines Sternpunktes mit der positiven und Verbindung des anderen Sternpunktes mit der negativen Klemme der Ausgangsspannung möglich. Weiters werden primärseitig abzweigend von den Netzphasenklemmen Rückführkondensatoren in Stern geschaltet angeordnet, wobei der Sternpunkt dieser Kondensatoren mit dem Mittelpunkt der Pufferspannung verbunden wird; alternativ ist funktionsgleich auch eine Verbindung der Sternpunktes mit dem positiven oder dem negativen Pol der Pufferspannung, oder die Anordnung von zwei Kondensatorsternschaltungen mit Verbindung eines Sternpunktes mit dem positiven und Verbindung des anderen Sternpunktes mit dem negativen Pol der Pufferspannung möglich.

[0032] Für die Beschreibung der Funktion der Vorrichtung sei im ersten Schritt angenommen, dass die Transistoren der sekundärseitigen Drehstrombrückenschaltung nicht getaktet werden und die Ausgangsgleichspannung einen hohen Wert derart aufweise, sodass die antiparallel zu den Transistoren der sekundärseitigen Drehstrombrückenschaltung liegenden Dioden unabhängig von ggf. über den Phasensekundärwicklungen auftretenden Spannungen im Sperrzustand bzw. die Sekundärwicklungen stromlos verbleiben.

[0033] Die Einstellung sinusförmiger Netzströme erfolgt dann gleich wie für ein konventionelles Dreiphasenpulsleichrichtersystem durch Pulsbreitenmodulation der primärseitigen Drehstrombrückenschaltung derart, dass ein netzfrequentes Gegentaktspannungssystem gebildet wird, welches in Verbindung mit der Netzspannung zu netzfrequenter sinusförmigen Netzphasenströmen und damit zu einem entsprechenden Leistungstransfer in die Pufferspannung führt. Neben dem sinusförmigen Verlauf weist der Strom in den Vorschaltinduktivitäten einen schaltfrequenten Rippel auf, der einerseits durch das schaltfrequente Gegentaktspannungssystem verursacht wird und sich über das (ideale, d.h. impedanzfreie) Netz schliesst. Andererseits wirkt auch das schaltfrequente Gleichtaktspannungssystem strombildend, da durch die Rückführkondensatoren eine für schaltfrequente Änderungen niederimpedante Verbindung mit der Gleichspannungssei-

te der primärseitigen Drehstrombrückenschaltung hergestellt wird. Die Vorschaltinduktivitäten weisen daher einen weiteren schaltfrequenten Rippelanteil auf, der sich allerdings über die Rückführkondensatoren und nicht über das Netz schliesst. Nachfolgend wird die gesamte über einer Vorschaltinduktivität auftretende schaltfrequente Phasenspannung kurz als schaltfrequente Primärwicklungsspannung bezeichnet. Werden die mit einer Sekundärwicklung versehenen Vorschaltinduktivitäten als Phasentransformatoren gesehen, bildet die Überlagerung der drei vorstehend beschriebenen Stromkomponenten aufgrund der stromlos angenommenen Sekundärwicklungen die Magnetisierungsphasenströme der Phasentransformatoren.

[0034] Werden nun an die Brückenarme der sekundärseitigen Brückenschaltung mit einer definierten zeitlichen Verzögerung bzw. Phasenverschiebung dieselben Steuerbefehle wie an die entsprechenden Brückenarme der primärseitigen Drehstrombrückenschaltung gelegt, werden sich zusätzlich zu den Phasenmagnetisierungsströmen schaltfrequente, durch die

- Phasenverschiebung,
- das Windungszahlverhältnis der Phasenprimär- und Phasensekundärwicklungen,
- das Verhältnis von Ausgangsspannung und Pufferspannung und
- den Streukoeffizienten der Phasentransformatoren

bestimmte Ströme in den Phasensekundärwicklungen (Sekundärwicklungsphasenströme) ausbilden, welche auch entsprechende durchflutungskompensierende Stromkomponenten in den Phasenprimärwicklungen (Leistungsübertragungsphasenströme) zur Folge haben, welche sich zu den Phasenmagnetisierungsströmen addieren und letztlich einen Leistungsübertragungsstrom von der Primärseite auf die Sekundärseite bewirken.

[0035] In Ausführungsformen werden die primärseitige Brückenschaltung und die sekundärseitige Brückenschaltung (welche einphasig oder mehrphasig ausgebildet sein kann) mit Schaltsignalen derselben Schaltfrequenz angesteuert.

[0036] Eine Steuerung eines Leistungsübertragungsstroms von der Primär- auf die Sekundärseite kann durch Variation einer Phasenverschiebung zwischen den Schaltsignalen der primärseitigen Brückenschaltung und den Schaltsignalen der sekundärseitigen Brückenschaltung realisiert werden.

[0037] Die in den von den Brückenarmen der sekundärseitigen Drehstrombrückenschaltung erzeugten pulsbreitenmodulierten Sekundärphasenspannungen enthaltenen netzfrequenten Gegentaktphasenspannungen werden von den Abblockkondensatoren übernommen, welche für netzfrequente Vorgänge in erster Näherung eine Unterbrechung darstellen und die Ausbildung netzfrequenter Gegentaktphasenströme unterbinden. Auch ein je nach Betriebsart in den pulsbreitenmodulierten Sekundärphasenspannungen enthaltenes dreifach netzfrequentes Gleichtaktspannungssystem (welches wie auf der Primärseite für eine Maximierung des linearen Aussteuerbereiches der sekundärseitigen Drehstrombrückenschaltung vorgesehen werden kann) kommt an den für Gleichtaktspannungen in Parallelschaltung wirkenden Abblockkondensatoren zu liegen, womit ideal kein dreifach netzfrequenter Gleichtaktstrom gegen den Mittelpunkt der Ausgangsspannung auftritt. Über den Phasensekundärwicklungen kommt daher nur die Summe des sekundärseitigen schaltfrequenten Gegentakt- und des schaltfrequenten Gleichtaktspannungssystems - nachfolgend als schaltfrequentes Sekundärwicklungsspannungssystem bezeichnet (welches aus drei schaltfrequenten Sekundärwicklungsphasenspannungen gebildet) auf, welches hinsichtlich der lokalen relativen Einschalt-dauern eine phasenverschobene Kopie der an den Phasenprimärwicklungen liegenden Summe des primärseitigen schaltfrequenten Gegentakt- und des schaltfrequenten Gleichtaktspannungssystems, nachfolgend als schaltfrequentes Primärwicklungsphasenspannungssystem bezeichnet (gebildet aus den drei Primärwicklungsphasenspannungen) darstellt. In jeder Phase ist die schaltfrequente Primärwicklungs- und Sekundärwicklungsphasenspannung durch Subtraktion der durch den zugeordneten Brückenarm gebildeten pulsbreitenmodulierten Phasenspannung und der Summe aus niederfrequentem Gegentakt- und niederfrequentem Gleichtaktphasenspannungsanteil (die dreiphasige Kombination der Summe beider Spannungsanteile wird nachfolgend als niederfrequentes primär- oder sekundärseitiges Spannungssystem bezeichnet, welches drei primär- oder sekundärseitige niederfrequente Phasenspannungen aufweist) zu bilden und weist daher z.B. bei Weglassung eines dreifach netzfrequenten Gleichtaktphasenspannungsanteiles (primär- und sekundärseitig) eine positive und eine negative rein sinusförmige netzfrequente Einhüllende auf und zeigt lokal den Mittelwert Null. Gleiches gilt im Wesentlichen auch für die Leistungsübertragungsphasenströme und die Sekundärwicklungsphasenströme, da deren lokales Tastverhältnis in erster Näherung gleich jedem der zugeordneten schaltfrequenten Primärwicklungsphasenspannung bzw. zugeordneten Sekundärwicklungsphasenspannung ist und die Ströme ebenfalls keinen niederfrequenten Anteil, d.h. einen lokalen Mittelwert gleich Null aufweisen. Insgesamt ist damit jeder Leistungsübertragungsphasenspannungsstrom als proportional zur zugehörigen schaltfrequenten Primärwicklungsphasenspannung zu sehen.

[0038] Da aufgrund der Verbindung des Sternpunktes der Rückführkondensatorsternschaltung mit dem Mittelpunkt der Pufferspannung und der Verbindung des Sternpunktes der Abblockkondensatorsternschaltung mit dem Mittelpunkt der Ausgangsspannung die Phasen primär- und sekundärseitig bezüglich der Ausbildung schaltfrequenter Ströme entkoppelt sind (bei offenem Sternpunkt wäre die Stromsumme zu Null gezwungen und damit eine lineare Abhängigkeit der

Phasenströme gegeben), kann für die Analyse des Leistungstransfers über die Phasentransformatoren jede Phase getrennt analysiert werden.

[0039] Wird nun ein Ausschnitt in der Umgebung der Amplitude des primärseitig gebildeten netzfrequenten Gegentaktprimärphasenspannung betrachtet und eine Amplitude nahezu gleich der halben Pufferspannung angenommen (hohe Aussteuerung), wird der Ausgang des zugehörigen Brückenweiges der primärseitigen Drehstrombrückenschaltung relativ lange mit der positiven Klemme der Pufferspannung und nur kurz mit der negative Klemme der Pufferspannung verbunden bleiben. Entsprechend weist die schaltfrequente Primärwicklungsphasenspannung dann für einen Grossteil einer Taktperiode sehr kleine Spannungswerte auf und es wird ein Leistungstransferprimärwicklungsphasenstrom kleiner Amplitude gebildet und letztlich nur eine geringe Leistungslieferung an den zugehörigen Sekundärphasenkreis erfolgen.

[0040] Völlig andere Verhältnisse liegen in der Umgebung des Nulldurchganges einer primärseitigen niederfrequenten Phasenspannung vor, da dann die am zugehörigen Brückenweigeingang gebildete Spannung (symmetrische Rechteckspannung mit einer Amplitude gleich der halben Pufferspannung) einzig eine schaltfrequente Komponente aufweist welche als Primärwicklungsphasenspannung auftritt und einen hohen (maximalen) schaltfrequenten Leistungstransfer an die zugehörige Phasensekundärwicklung bewirkt.

[0041] Insgesamt erfolgt damit der Leistungstransfer von der Primär- an die Sekundärseite vor allem in der Umgebung der Nulldurchgänge einer Netzphasenspannung bzw. allgemein der niederfrequenten Primärphasenspannung, wohingegen der maximale Leistungstransfer aus dem Netz in die Pufferspannung in der Umgebung der Maxima einer Netzphasenspannung auftritt. Insofern ist vorteilhaft eine sehr gute Ausnutzung der Halbleiter der primärseitigen Drehstrombrückenschaltung gegeben. Im Zusammenwirken aller drei Phasen gleichen sich die Schwankungen der aus dem Netz bezogenen Phasenleistungen mit doppelter Netzfrequenz aus und es wird resultierend eine zeitlich quasi konstante Leistung aus dem Netz in die Pufferspannung geliefert. Der dreiphasige Ausgleich ist auch für die Leistungsübergabe der drei Phasen von der Primär- auf die Sekundärseite, welche aus der Pufferspannung gedeckt wird, gegeben, sodass vorteilhaft für den die Pufferspannung kapazitiv stützenden elektrischen Speicher (bei Betrieb der Vorrichtung an einem symmetrischen Dreiphasennetz) keine wesentlichen Anforderungen hinsichtlich eines Ausgleichs niederfrequenter Leistungspendelungen und damit eines höheren Kapazitätswertes bestehen.

[0042] Grundsätzlich genügt es, wenn die Schaltfrequenz mindestens fünf mal, insbesondere mindestens zehn mal, insbesondere mindestens fünfzehn mal höher ist als die Netzfrequenz. Anders gesagt: Grundschwingungen der schaltfrequenten Ströme, welche zur Leistungsübertragung durch den oder die Transformatoren beitragen, haben eine mindestens fünf mal, insbesondere mindestens zehn mal, insbesondere mindestens fünfzehn mal höhere Frequenz als Grundschwingungen der Netzfrequenz des ein- oder mehrphasigen Wechselspannungssystems. Damit ist es möglich, die schaltfrequenten Stromanteile in einzelnen Leitungsabschnitten des Konverters von den netzfrequenten Stromanteilen zu trennen und für die potentialgetrennte Leistungsübertragung zu nutzen.

[0043] In typischen Anwendungen beträgt die Netzfrequenz 50 Hz, und beträgt die Schaltfrequenz mehr als 500 Hz oder mehr als 1 kHz.

Regelung/Steuerung

[0044] Wie vorstehend erwähnt, kann der Leistungsfluss zwischen Primärseite und Sekundärseite durch zeitliche Verschiebung (Phasenverschiebung) der grundsätzlich gleichen Taktung der primärseitigen und sekundärseitigen Drehstrombrückenschaltungen eingestellt werden. Im einfachsten Fall wird dabei über eine gesamte Netzperiode eine konstante Phasenverschiebung gewählt wobei durch Einstellung einer Phasenvoreilung anstelle einer Phasennacheilung eine Umkehrung der Leistungsflussrichtung möglich ist.

[0045] Alternativ kann die Phasenverschiebung der einzelnen Phasen auch getrennt beeinflusst und mit dem Ziel einer Optimierung durch beispielsweise Maximierung des Wirkungsgrades der Leistungsübertragung oder Maximierung der Ausnutzung oder Minimierung der Beanspruchung einzelner Komponenten über die Netzperiode zeitlich variiert werden. Ein weiteres mögliches Ziel einer Optimierung stellt die Maximierung des Betriebsbereiches mit weichem, d.h. spannungs- oder stromlosem Schalten der Leistungshalbleiter dar.

[0046] Anzumerken ist dass zur Generierung der Ansteuerbefehle der Brückenweige der primärseitigen Drehstrombrückenschaltung neben einem konventionellen Unterschwingungsverfahren mit dreieckförmigem Trägersignal und im einfachsten Fall rein sinusförmigen Modulationsfunktionen auch eine Raumzeigermodulation Anwendung finden kann, wobei dies auch die abschnittsweise Klemmung eines Brückenweiges und ausschliessliche Taktung der beiden verbleibenden Phasen, sowie die bewusste Erzeugung eines hohen schaltfrequenten Gegentaktspannungssystems (und eines entsprechend verringerten Gleichtaktspannungssystems) oder die Erzeugung eines hohen schaltfrequenten Gleichtaktspannungssystems (und eines entsprechend verringerten Gegentaktspannungssystems) umfassen kann.

[0047] Ausser dem eingangs erwähnten rein ohmschen Netzverhalten des Dreiphasenpulsgerichterteiles der Vorrichtung ist auch ein Betrieb mit allgemeiner Phasenlage des Netzstromes möglich. Das System kann damit also auch zur Deckung von Blindleistung des Netzes oder ggf. zur Oberschwingungsfilterung des Netzes herangezogen werden, ohne dass der schaltfrequente Leistungstransfer von der Primär- auf die Sekundärseite wesentlich beeinflusst würde.

[0048] Weiters ist anzumerken, dass auch die Pufferspannung direkt für die Speisung eines Verbrauchers herangezogen werden kann, wobei dann nur die Differenz der aus dem Netz bezogenen Leistung und der seitens des Verbrauchers aufgenommenen Leistung an die Sekundärseite übertragen wird.

[0049] Schliesslich ist darauf hinzuweisen, dass auch eine einphasige Ausführung der Vorrichtung möglich ist, wobei dann nur eine Vorschaltinduktivität anzuordnen und mit einer Sekundärwicklung zu versehen ist und die Pufferspannung für den teilweisen Ausgleich des doppelt netzfrequenten Leistungsbezugs aus dem Netz genutzt werden kann, indem die aus der Pufferspannung entnommene und schaltfrequent auf die Sekundärseite übertragene Leistung durch entsprechende Variation der Phasenverschiebung der Taktung der primär- und sekundärseitigen Vollbrücken (oder vereinfacht Halbbrücken) auf einem möglichst konstanten Wert gehalten wird.

Mögliche Varianten der Schaltungsstruktur

[0050] Wie bereits vorgehend erwähnt, kann der Sternpunkt der primärseitigen Rückführkondensatoren anstelle mit dem Mittelpunkt der Pufferspannung funktionsgleich auch mit dem positiven oder dem negativen Pol der Pufferspannung verbunden werden, oder es können zwei Rückführkondensatorsternschaltungen mit Verbindung eines Sternpunktes mit der positiven und Verbindung des anderen Sternpunktes mit der negativen Pol der Pufferspannung angeordnet werden.

[0051] Gleiches ist auch sekundärseitig möglich, wo der Sternpunkt der Abblockkondensatoren anstelle mit dem Mittelpunkt der Ausgangsspannung funktionsgleich auch mit der positiven oder dem negativen Klemme der Ausgangsspannung verbunden werden kann, oder zwei Abblockkondensatorsternschaltungen mit Verbindung eines Sternpunktes mit der positiven und Verbindung des anderen Sternpunktes mit der negativen Klemme der Ausgangsspannung vorgesehen werden können.

[0052] Weiters kann, um einen weiteren Freiheitsgrad für die Dimensionierung des Systems hinsichtlich des Beirates des schaltfrequenten Gleichtaktspannungssystems und des schaltfrequenten Gegentaktspannungssystems am Leistungstransfer von der Primär- auf die Sekundärseite zu erreichen, in der Verbindung des Sternpunktes der Rückführkondensatoren mit einem Punkt der Pufferspannung ein Serienkondensator eingefügt werden; eine derartige Schaltungserweiterung ist auch sekundärseitig möglich, wobei dann ein Serienkondensator in die Verbindung des Sternpunktes der Abblockkondensatorsternschaltung mit der Ausgangsspannung zu legen ist.

[0053] Darüber hinaus ist es möglich, die Verbindung des Kondensatorsternpunktes mit der Gleichspannungsseite der zugehörigen Drehstrombrückenschaltung nur auf der Primärseite oder nur auf der Sekundärseite auszuführen. Wird z.B. die Sternpunktverbindung nur primärseitig vorgesehen, weist die Pufferspannung keine Gleichtaktspannung gegenüber Erde bzw. eine geringe Störaussendung über parasitäre Koppelkapazitäten gegen Erde auf. Allerdings kann dann das schaltfrequente Gleichtaktspannungssystem nicht für den Leistungstransfer von der Primär- auf die Sekundärseite genutzt werden, und eine Limitierung der schaltfrequenten Gleichtaktströme über die Rückführkondensatoren kann durch eine in Serie zu den Vorschaltinduktivitäten liegende dreiphasige Gleichtaktinduktivität vorgenommen werden.

[0054] Neben der vorstehenden Beschreibung zugrunde gelegten Ausführung der primär- und/oder sekundärseitigen Drehstrombrückenschaltungen mit Zweipunktcharakteristik sind auch Ausführungsformen mit Mehrpunktcharakteristik möglich, wodurch jedoch der für die schaltfrequente Potentialtrennung zur Verfügung stehende Spannungsanteil verringert wird. Desungeachtet ist diese Ausführungsvariante bei Betrieb der Vorrichtung an einer in weiten Grenzen variierenden Netzspannung oder mit in weiten Grenzen variierender Ausgangsspannung vorteilhaft, da dann für tiefe Netzspannung/Ausgangsspannung eine Zweipunkttaktung und für hohe Netzspannung/Ausgangsspannung eine Dreipunktaktung des jeweiligen Schaltungsteiles erfolgen kann.

[0055] In Ausführungsformen liegt eine funktionale Trennung der Vorschaltinduktivitäten und der Phasentransformatoren vor. Es sind dann wie für ein konventionelles Dreiphasenpulsgleichrichtersystem Vorschaltinduktivitäten anzuordnen und weiters abzweigend von den Eingangsklemmen der Brückenzweige der primärseitigen Drehstrombrückenschaltung separate Primärwicklungen von Phasentransformatoren vorzusehen und die zweiten Enden dieser Phasenprimärwicklungen über primärseitige Abblockkondensatoren an einen Sternpunkt zu führen, der mit einem Punkt der Pufferspannung verbunden wird. Wie die sekundärseitigen Abblockkondensatoren nehmen dann die primärseitigen Abblockkondensatoren niederfrequente Spannungsanteile auf und unterbinden niederfrequente Ströme durch die Primärwicklungen der Phasentransformatoren welche zu einer Vormagnetisierung bzw. Sättigung der Transformatorkerne führen könnten; es kommen somit nur schaltfrequente Spannungsanteile über den Primärwicklungen der Phasentransformatoren zu liegen. Vorteilhaft ist dann kein Luftspalt der Magnetkreise der Phasentransformatoren vorzusehen, womit kein Luftspaltstreufeld auftritt und die Hochfrequenzverluste der Phasentransformatoren verringert werden.

[0056] Bei relativ hoher Pufferspannung oder relativ hoher Ausgangsspannung kann nur das schaltfrequente Gleichtaktspannungssystem für den Leistungstransfer von der Primär- auf die Sekundärseite herangezogen werden. Dies ist dadurch möglich, dass die Sekundärwicklungen der Phasentransformatoren in Serie geschaltet und über einen Abblockkondensator an den Eingang einer sekundärseitigen Einphasenbrückenschaltung geführt werden, an deren Ausgang die zu bildende Ausgangsspannung auftritt. Dementsprechend ist dann auch eine Verringerung des Realisierungsaufwandes gegeben. Die Taktung der sekundärseitigen Einphasenbrückenschaltung erfolgt dabei im einfachsten Fall derart, dass an ihrem Eingang eine symmetrische Wechselspannung mit einer der primärseitigen Drehstrombrückenschaltung gleichen Schaltfre-

quenz gebildet wird, wobei der Leistungstransfer von der Primär- auf die Sekundärseite durch die Phasenverschiebung der sekundärseitigen Taktung gegenüber der primärseitigen Taktung eingestellt werden kann. Weiters ist im Sinn einer Minimierung von nicht zum Leistungstransfer beitragenden Stromanteilen auch eine Modulation des Tastverhältnisses der sekundärseitigen Vollbrücke derart möglich, dass für einen lokal positiven Wert der niederfrequenten Gleichtaktspannung die Breite des positiven Pulses und für einen lokal negativen Wert der niederfrequenten Gleichtaktspannung die Breite des negativen Pulses der Eingangsspannung der sekundärseitigen Vollbrücke erhöht wird.

[0057] Alternativ zur Serienschaltung der Sekundärwicklungen kann die schaltfrequente Gleichtaktspannung auch mittels einer vierten Wicklung auf dem Magnetkern einer in Serie zu den Vorschaltinduktivitäten geschalteten Dreiphasengleichtaktinduktivität abgegriffen werden, wobei die Enden dieser im Sinne des Leistungstransfers als Sekundärwicklung zu sehenden Wicklung wieder an den Eingang einer sekundärseitigen Einphasenbrückenschaltung geführt werden, deren Steuerung wie vorstehend beschrieben vorgenommen wird.

[0058] Eine weitere Alternative stellt die Anordnung eines expliziten Gleichtaktspannungstransformators dar, dessen Primärwicklung zwischen den Sternpunkt der Rückführkondensatoren und den Mittelpunkt der Pufferspannung (oder den positiven oder den negativen Pol der Pufferspannung) gelegt ist. Die Vorschaltinduktivitäten verbleiben dann ohne Sekundärwicklung. Die Sekundärwicklung des Gleichtaktspannungstransformators wird dann gleich wie für die vorstehend beschriebene Serienschaltung der Sekundärwicklungen der Phasentransformatoren über einen Abblockkondensator an den Eingang einer Einphasenbrückenschaltung geführt.

[0059] Alternativ kann nur das schaltfrequente Gegentaktspannungssystem für den Leistungstransfer auf die Sekundärseite genutzt werden. Dies kann bei hoher Aussteuerung des primärseitigen Pulsleichrichterteiles der Vorrichtung vorteilhaft sein. Dazu kann der Sternpunkt der primärseitigen Rückführkondensatoren einfach vom Mittelpunkt oder vom positiven oder negativen Pol der Pufferspannung gelöst werden und isoliert verbleiben. Durch das schaltfrequente Gleichtaktspannungssystem kann dann keine Strombildung bzw. Strombelastung der Komponenten erfolgen. Eine gleiche Schaltungsmodifikation ist dann vorteilhaft auch sekundärseitig vorzunehmen, d.h. der Sternpunkt der Abblockkondensatoren ist vom Mittelpunkt oder von der positiven oder der negativen Klemme der Ausgangsspannung zu lösen und isoliert zu belassen. Die Steuerung der Vorrichtung ist gleich wie für Verbindung der Kondensatorsternpunkte mit Pufferspannung bzw. Ausgangsspannung vorzunehmen.

[0060] Die Erfindung wird anhand von möglichen Ausführungsformen und ausgehend von den folgenden Abbildungen beispielhaft dargestellt. Die Abbildungen zeigen:

- Fig. 1: Isolierter zweistufiger Pulsleichrichter gemäss dem Stand der Technik.
- Fig. 2: Struktur des Leistungsteiles einer Ausführungsform eines erfindungsgemässen Systems.
- Fig. 3: Regelschaltung zum in Fig. 2 dargestellten Leistungsteil mit überlagerter Ausgangsspannungsregelung.
- Fig. 4: Auf die Sekundärseite bezogenes Ersatzschaltbild einer Phase zum in Fig. 2 dargestellten Leistungsteil.
- Fig. 5: Charakteristische Zeitverläufe des Systems nach Fig.2 innerhalb einer Netzperiode.
- Fig. 6: Lokaler Ausschnitt der Zeitverläufe von Transformatorspannungen und Wicklungsströmen für eine Phase aus der Schaltung nach Fig. 2.
- Fig. 7: Variante mit einem Transformator welcher das schaltfrequente Gleichtaktspannungssystem zur Leistungsübertragung verwendet.
- Fig. 8: Variante mit in Serie geschalteten Sekundärwicklungen der Transformatoren wodurch nur das schaltfrequente Gleichtaktspannungssystem zur Leistungsübertragung verwendet wird.
- Fig. 9: Variante der Erfindung mit einer dreiphasen Gleichtaktrossel mit vierter Wicklung welche als Sekundärwicklung dient wodurch das schaltfrequente Gleichtaktspannungssystem zur Leistungsübertragung verwendet wird.
- Fig. 10: Variante der Erfindung mit getrennten Vorschaltinduktivitäten und Phasenprimärwicklungen des primärseitigen Pulsleichrichtersystems.

[0061] Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0062] Fig. 1 zeigt einen isolierten zweistufigen Pulsleichrichter gemäss dem Stand der Technik. Schalter S1 bis S6 bilden zusammen mit La, Lb und Lc ein Pulsleichrichtersystem welches eine Zwischenkreisspannung u_{zk} erzeugt. Schalter S7 bis S10 bilden eine primärseitige und Schalter S11 bis S14 eine sekundärseitige Vollbrücke eines Dual Active Bridge Konverters.

[0063] Fig. 2 zeigt eine Struktur des Leistungsteiles einer Ausführungsform eines erfindungsgemässen Systems. Die Schalter S1 bis S6 bilden eine primärseitige Dreiphasenbrückenschaltung 4, die als Dreiphasenpulsleichrichter betrieben werden kann, und die Schalter S7 bis S12 bilden eine sekundärseitige Dreiphasenbrückenschaltung 8.

[0064] Von einem Netzsternpunkt 1 ausgehend liegen Netzphasenspannungen u_a , u_b , u_c an Netzphasenklemmen a, b, c an. Von diesen führen jeweils Vorschaltinduktivitäten 3, welche hier auch die Funktion von Phasenprimärwicklungen 3 von Transformatoren T_a , T_b , T_c haben, auf Eingänge a', b', c' von Phasenbrückenzeigen der primärseitigen Dreiphasenbrückenschaltung 4. Ströme durch diese Phasenprimärwicklungen sind mit $i_{Ta,p}$, $i_{Tb,p}$, $i_{Tc,p}$ bezeichnet. An eine positive und eine negative Spannungsschiene der primärseitigen Dreiphasenbrückenschaltung 4 ist eine primärseitige Gleichspannungs-Pufferanordnung 5 angeschlossen, an welcher eine Pufferspannung U_{ZK} anliegt. Die Pufferanordnung 5 kann durch einen oder mehrere Kondensatoren realisiert sein. Sie kann auch durch andere spannungseinprägende Elemente realisiert sein. An die Netzphasenklemmen a, b, c ist eine Sternschaltung von Rückführkondensatoren 2 geschaltet. Der Sternpunkt der Sternschaltung von Rückführkondensatoren 2 kann gemäss Ausführungsformen mit dem Mittelpunkt der Pufferspannung verbunden sein. Ein optional in dieser Verbindung angeordneter Serienkondensator ist gestrichelt eingezeichnet.

[0065] Phasensekundärwicklungen 7 der Transformatoren T_a , T_b , T_c sind jeweils an einem ersten Ende auf Phaseneingänge der sekundärseitigen Drehstrombrückenschaltung 8 geführt. An einem zweiten Ende sind sie auf Anschlüsse einer Sternschaltung sekundärseitiger Abblockkondensatoren 6 gelegt. An eine positive und eine negative Spannungsschiene der sekundärseitigen Dreiphasenbrückenschaltung 8 ist eine sekundärseitige Ausgangspufferanordnung, hier in Form einer Ausgangskondensatoranordnung 9 angeschlossen, an welcher eine Ausgangsgleichspannung u_{dc} anliegt. Der Sternpunkt der Sternschaltung von Abblockkondensatoren 6 kann gemäss Ausführungsformen mit dem Mittelpunkt der Ausgangsgleichspannung verbunden sein. Ein optional in dieser Verbindung angeordneter Serienkondensator ist gestrichelt eingezeichnet.

[0066] Fig. 3 zeigt eine Regelschaltung zum in Fig. 2 dargestellten Leistungsteil mit überlagerter Ausgangsspannungsregelung G_{dc} , Regelung der Pufferspannung G_{ZK} und unterlagerter Regelung G_d , G_q der Eingangsströme in einem rotierenden Koordinatensystem mit Momentanwinkel ϕ .

[0067] Die gemessenen Netzspannungen und Netzströme werden in ein rotierendes d/q Koordinatensystem transformiert wobei der Momentanwinkel ϕ der d-Achse durch eine Phasenregelschleife so bestimmt wird dass die q-Komponente der transformierten Netzspannung einen Mittelwert von 0 aufweist.

[0068] Die gemessene Pufferkondensatorspannung u_{ZK} wird mit einem vorgegebenen Sollwert verglichen und einem Regler G_{ZK} zugeführt woraus ein Sollwert für den d-Anteil des Eingangsstromes resultiert mit welchem der gemessene d-Anteil des Eingangsstroms verglichen und einem Regler G_d zugeführt wird. Der q-Anteil des gemessenen Eingangsstroms wird mit einem Sollwert verglichen und einem Regler G_q zugeführt. Zu den Ausgangssignalen der Regler G_d und G_q werden die jeweiligen Spannungsabfälle an den Vorschaltinduktivitäten sowie die Netzspannung, im Sinne einer Vorsteuerung, hinzuaddiert und durch die gemessene Pufferkondensatorspannung u_{ZK} dividiert wodurch die Tastverhältnisse d_d und d_q resultieren, welche durch Rücktransformation in ein nichtrotierendes Koordinatensystem die Tastverhältnisse d_a , d_b , d_c der drei Halbbrücken der beiden Pulsleichrichtersysteme ergeben.

[0069] Die gemessene Ausgangsspannung u_{dc} wird mit einem vorgegebenen Sollwert verglichen und die Differenz einem Regler G_{dc} zugeführt wobei das Ausgangssignal 0 des Regler einem Oszillator zugeführt wird welcher zwei dreieckförmige um den Winkel 0 verschobene Trägersignale t_p und t_s für die Primärseite und die Sekundärseite erzeugt welche jeweils mit den Tastverhältnissen d_a , d_b , d_c verschnitten werden wodurch Pulsbreitenmodulierten Ansteuersignale für die primärseitigen und sekundärseitigen Halbbrücken resultieren welche jeweils gleiche Pulsbreiten auf Primärseite und Sekundärseite aufweisen, jedoch innerhalb einer Pulsperiode um den Winkel 0 verschoben sind.

[0070] Fig. 4 zeigt ein auf die Sekundärseite bezogenes Ersatzschaltbild einer Phase wobei das schaltfrequente Gegen-takt- und Gleichtaktspannungssystem der Primär- und Sekundärseite durch äquivalente Spannungsquellen ersetzt sind und der Phasentransformator T_a , T_b , T_c durch eine Magnetisierungsinduktivität L_m und eine Streuinduktivität L_s ersetzt ist.

[0071] Fig. 5 zeigt charakteristische Zeitverläufe des Systems nach Fig.2 innerhalb einer Netzperiode; Netzphasenspannungen u_a , u_b , u_c , Netzphasenströme i_a , i_b , i_c , sekundärseitiger Leistungstransferphasenstrom $i_{Ta,s}$ sowie dessen lokaler Mittelwert, lokaler Mittelwert der über den Transformator T_a übertragenen Momentanwirkleistung p_{Ta} sowie der Ausgangsspannung u_{dc} .

[0072] Fig. 6 zeigt einen lokalen Ausschnitt der Zeitverläufe der primär- und sekundärseitigen Transformatorspannungen $u_{Ta,p}$, $u_{Ta,s}$ sowie der resultierenden primär- und sekundärseitigen Wicklungsströme $i_{Ta,p}$, $i_{Ta,s}$ für eine Phase aus der Schaltung nach Fig. 2.

[0073] Fig. 7 zeigt eine Ausführungsform mit getrennten Pulsleichrichterinduktivitäten L_a , L_b , L_c und einem einzigen Gleichtaktspannungstransformator T_{cm} welcher das schaltfrequente Gleichtaktspannungssystem zur Leistungsübertragung verwendet, wobei seine Primärwicklung zwischen den Sternpunkt der Rückführkondensatoren 2 und den Mittelpunkt der Pufferspannung u_{ZK} geschaltet ist. Seine Sekundärwicklung ist in Serie mit einem Abblockkondensator 6 an die zwei Phaseneingänge einer sekundärseitigen Einphasenbrückenschaltung 8b mit Schaltern S7 bis S10 gelegt.

[0074] Zur Terminologie sei bemerkt, dass eine Einphasenbrückenschaltung so bezeichnet ist, weil sie wechsellspannungsseitig an eine Phase angeschlossen ist. Diese eine Phase ist hingegen an zwei Anschlüssen respektive zwei Brückenzeigen der Brückenschaltung angeschlossen. Der Wortteil „Ein“ bezieht sich also auf die Anzahl der angeschlossenen Phasen und nicht auf die Anzahl der Brückenzeige.

[0075] Fig. 8 zeigt eine Ausführungsform mit in Serie geschalteten Sekundärwicklungen der Transformatoren T_a , T_b , T_c , welche auch in Serie mit einem Abblockkondensator 6 geschaltet sind. Dadurch wird nur das schaltfrequente Gleichtaktspannungssystem zur Leistungsübertragung von der Primärseite an eine sekundärseitige Einphasenbrückenschaltung 8b (hier eine Vollbrücke), gebildet von den Schaltern S7 bis S10, wird.

[0076] Fig. 9 zeigt eine Ausführungsform mit einer Gleichtaktrossel T_{cm} mit vier Wicklungen wobei drei Wicklung zwischen die Induktivitäten L_a , L_b , L_c und die Rückführkondensatoren des Pulsleichrichtersystems geschaltet sind und die verbleibende Wicklung in Reihe mit einem Abblockkondensator an eine sekundärseitige Einphasenbrückenschaltung (hier eine Vollbrücke), gebildet von S7 bis S10, geschaltet ist. Der Sternpunkt der Rückführkondensatoren ist dabei mit der positiven, der negativen, oder einer Mittelpunktsspannungsschiene der primärseitigen Gleichspannungs-Pufferanordnung verbunden.

[0077] Fig. 10 zeigt eine Ausführung der Erfindung mit einem primärseitigen Pulsleichrichtersystem bestehend aus den Schaltern S1 bis S6 und den Vorschaltinduktivitäten L_a , L_b , L_c wobei an die Eingänge der Phasenbrückenzeige weiters die ersten Anschlüsse drei Transformatoren T_a , T_b , T_c angeschlossen sind und deren zweite Anschlüsse wiederum an die ersten Anschlüsse von drei Abblockkondensatoren angeschlossen sind. Die zweiten Anschlüsse der Abblockkondensatoren sind zusammengeschaltet und mit dem Mittelpunkt, oder negativen oder positiven Bezugsschiene der Pufferspannung des Pulsleichrichtersystems verbunden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur potentialfreien elektrischen Energieübertragung zwischen einem primärseitigen Wechselspannungssystem (u_a , u_b , u_c) mit einer Netzfrequenz und einem sekundärseitigen Gleichspannungssystem (u_{dc}), in welchem
 - durch Ansteuerung einer primärseitigen Brückenschaltung (4) an Eingängen (a', b', c') von Phasenbrückenzeigen der primärseitigen Brückenschaltung (4) ein Spannungssystem von Phasenbrückenzeigeneingangsspannungen gebildet wird,
 - wobei dieses Spannungssystem mindestens die folgenden Komponenten aufweist:
 - o ein netzfrequentes Gegentaktspannungssystem,
 - o ein schaltfrequentes Gegentaktspannungssystem,
 - o ein schaltfrequentes Gleichtaktspannungssystem
 dadurch gekennzeichnet, dass
 - primärseitig mit dem schaltfrequenten Gegentaktspannungssystem schaltfrequente Gegentaktstromkomponenten und/oder mit dem schaltfrequenten Gleichtaktspannungssystem schaltfrequente Gleichtaktstromkomponenten gebildet werden, welche durch die primärseitige Brückenschaltung (4) fließen, und
 - diese schaltfrequenten Gegentaktstromkomponenten und/oder Gleichtaktstromkomponenten durch mindestens einen Transformator auf eine Sekundärseite (6, 7, 8) transformiert werden, und zur Übertragung elektrischer Leistung an die Sekundärseite (6, 7, 8) verwendet werden.
2. Verfahren gemäss Anspruch 1, wobei
 - die auf die Sekundärseite (6, 7, 8) transformierten Gegentaktstromkomponenten und/oder Gleichtaktstromkomponenten mittels einer sekundärseitigen Brückenschaltung (8; 8b) durch eine Ausgangspufferanordnung (9) geführt werden.
3. Verfahren gemäss Anspruch 2, wobei die primärseitige Brückenschaltung (4) und die sekundärseitige Brückenschaltung (8; 8b) mit Schaltsignalen derselben Schaltfrequenz angesteuert werden.
4. Verfahren gemäss Anspruch 3, wobei eine Steuerung eines Leistungstransfers von der Primär- auf die Sekundärseite durch Variation einer Phasenverschiebung zwischen den Schaltsignalen der primärseitigen Brückenschaltung (4) und den Schaltsignalen der sekundärseitigen Brückenschaltung (8) geschieht.
5. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, in welchem elektrische Leistung zwischen dem primärseitigen Wechselspannungssystem und einer primärseitigen Gleichspannungs-Pufferanordnung (5) mittel netzfrequenten Spannungen und Strömen ausgetauscht wird, und elektrische Leistung zwischen der primärseitigen Gleichspannungs-Pufferanordnung (5) und der Sekundärseite über den mindestens einen Transformator mittels schaltfrequenten Spannungen und Strömen ausgetauscht wird.
6. Konverter zur Ausführung des Verfahrens gemäss einem der Ansprüche 1 bis 5, zur potentialfreien elektrischen Energieübertragung, aufweisend
 - Netzphasenklemmen (a, b, c) zum Anschluss an ein Wechselspannungssystem, die jeweils über Vorschaltinduktivitäten (3) an Eingänge (a', b', c') von Phasenbrückenzeigen einer primärseitigen Brückenschaltung (4) angeschlossen sind,

- wobei eine positive und eine negative Spannungsschiene der primärseitigen Brückenschaltung (4) an eine primärseitige Gleichspannungs-Pufferanordnung (5) angeschlossen sind, dadurch gekennzeichnet, dass ein Stromkreis mit Hochpasseigenschaft zur Aufnahme von Gleichtaktströmen und/oder Gegentaktströmen, aus den Eingängen (a', b', c') der Phasenbrückenzeigen angeordnet ist, wobei dieser Stromkreis mit Hochpasseigenschaft eine oder mehrere Primärwicklungen eines Transformators aufweist, und eine oder mehrere Sekundärwicklungen des Transformators eine Serienschaltung mit einem Abblockkondensator (6) bilden, und,
 - entweder nur eine solche Serienschaltung vorliegt, und diese Serienschaltung an einem ersten Ende an einem ersten Phaseneingang einer sekundärseitigen Brückenschaltung (8b) und an einem zweiten Ende an einem zweiten Phaseneingang der sekundärseitigen Brückenschaltung (8b) angeschlossen ist,
 - oder zwei oder mehr solcher Serienschaltungen vorliegen, und diese Serienschaltungen jeweils an ersten Enden an Phaseneingängen einer sekundärseitigen Brückenschaltung (8) angeschlossen sind und an zweiten Enden an einem gemeinsamen sekundärseitigen Sternpunkt angeschlossen sind.
- 7. Konverter gemäss Anspruch 6, wobei der Stromkreis mit Hochpasseigenschaft mindestens eine Sternschaltung von Rückführkondensatoren (2) aufweist, welche jeweils an ersten Anschlüssen an die Netzphasenklemmen (a, b, c) angeschlossen sind und an zweiten Anschlüssen an einem gemeinsamen primärseitigen Sternpunkt angeschlossen sind, und der Stromkreis mit Hochpasseigenschaft ferner die Vorschaltinduktivitäten (3) aufweist und jede der Vorschaltinduktivitäten (3) eine der Primärwicklungen bildet.
- 8. Konverter gemäss Anspruch 6, wobei der Stromkreis mit Hochpasseigenschaft eine Sternschaltung von Serienschaltungen von den Primärwicklungen und Rückführkondensatoren (2) aufweist, wobei diese Serienschaltungen jeweils an ersten Enden an die Eingänge (a', b', c') der Phasenbrückenzeige angeschlossen sind und an zweiten Enden an einem gemeinsamen primärseitigen Sternpunkt angeschlossen sind.
- 9. Konverter gemäss Anspruch 7 oder 8, wobei der gemeinsame primärseitige Sternpunkt an einen Mittelpunkt der primärseitigen Gleichspannungs-Pufferanordnung (5) angeschlossen ist, oder an die positive, oder an die negative Spannungsschiene der primärseitigen Brückenschaltung (4).
- 10. Konverter gemäss Anspruch 7 oder 8, wobei der gemeinsame primärseitige Sternpunkt über eine der einen oder mehreren Primärwicklungen des als Gleichtaktspannungstransformator ausgebildeten Transformators an einen Mittelpunkt der primärseitigen Gleichspannungs-Pufferanordnung (5) angeschlossen ist, oder an die positive, oder an die negative Spannungsschiene der primärseitigen Brückenschaltung (4).
- 11. Konverter gemäss Anspruch 7 oder 8, wobei der gemeinsame primärseitige Sternpunkt über einen Serienkondensator an einen Mittelpunkt der primärseitigen Gleichspannungs-Pufferanordnung (5) angeschlossen ist, oder an die positive, oder an die negative Spannungsschiene der primärseitigen Brückenschaltung (4).
- 12. Konverter gemäss einem der Ansprüche 6 bis 11, aufweisend eine in Serie zu den Vorschaltinduktivitäten liegende dreiphasige Gleichtaktinduktivität, insbesondere mit einer vierten Wicklung auf einem Magnetkern dieser dreiphasigen Gleichtaktinduktivität, wobei diese vierte Wicklung eine der der einen oder mehreren Sekundärwicklungen bildet.
- 13. Konverter gemäss einem der Ansprüche 6 bis 12, aufweisend zwei oder mehr der Serienschaltungen von Sekundärwicklungen mit jeweils einem Abblockkondensator (6), wobei diese Serienschaltungen an zweiten Enden an dem gemeinsamen sekundärseitigen Sternpunkt angeschlossen sind, und wobei dieser Sternpunkt, optional über einen Serienkondensator an einen Mittelpunkt einer sekundärseitigen Ausgangspufferanordnung (9) angeschlossen ist, oder an die positive, oder an die negative Spannungsschiene der sekundärseitigen Brückenschaltung (8).

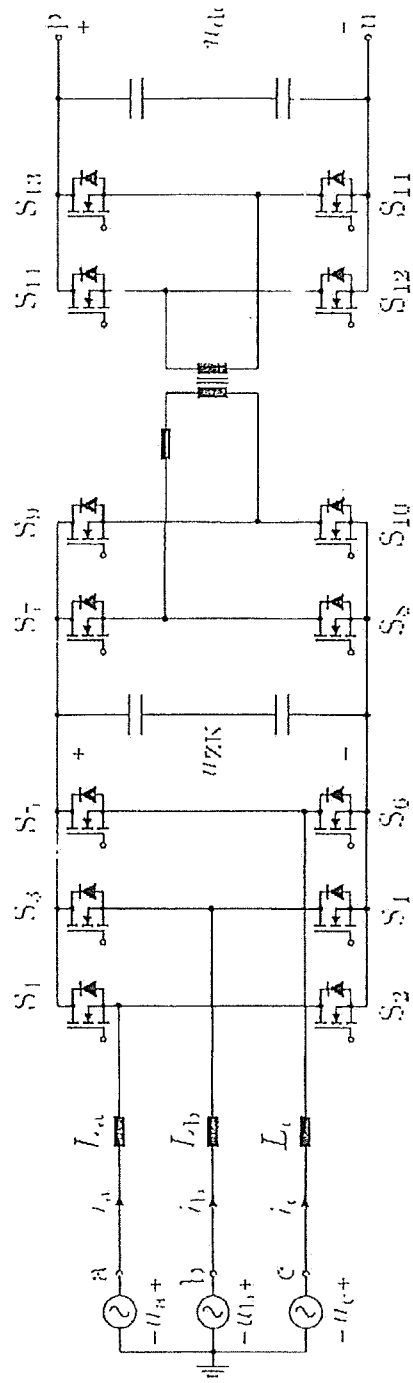


Fig. 1

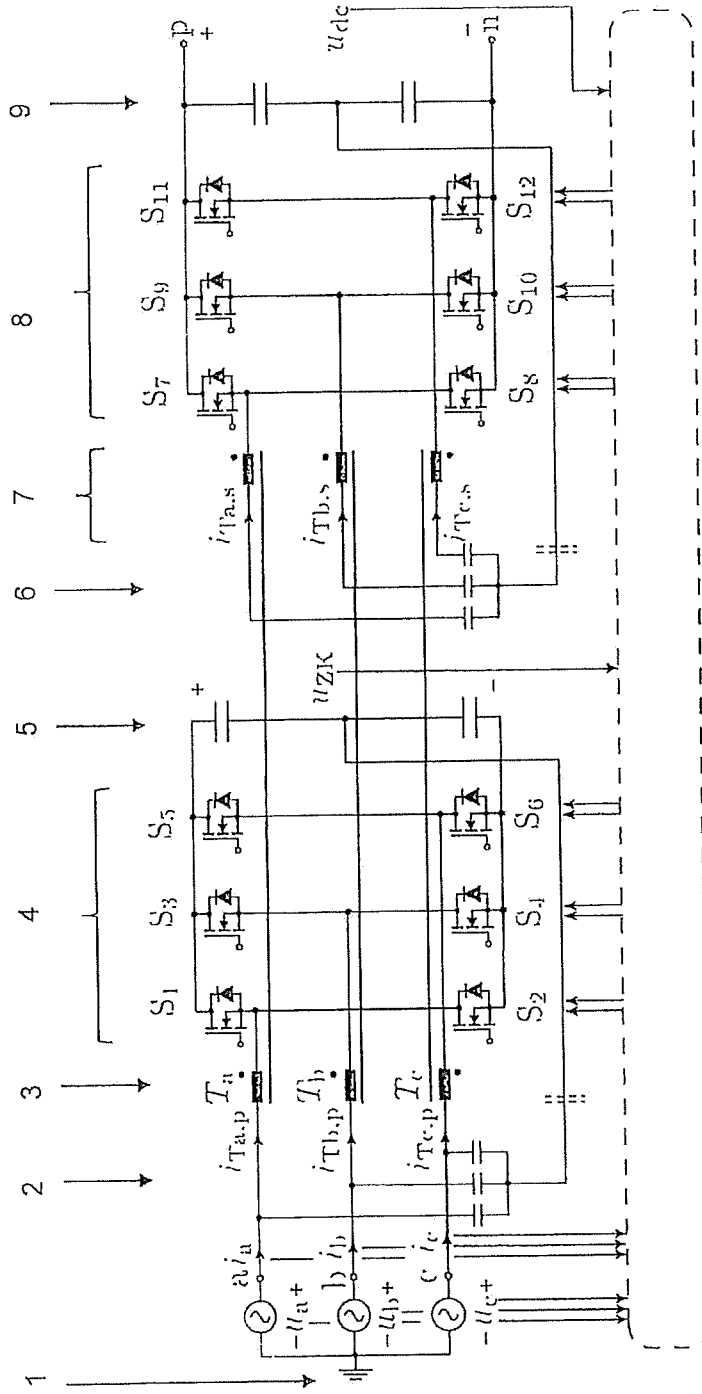


Fig. 2

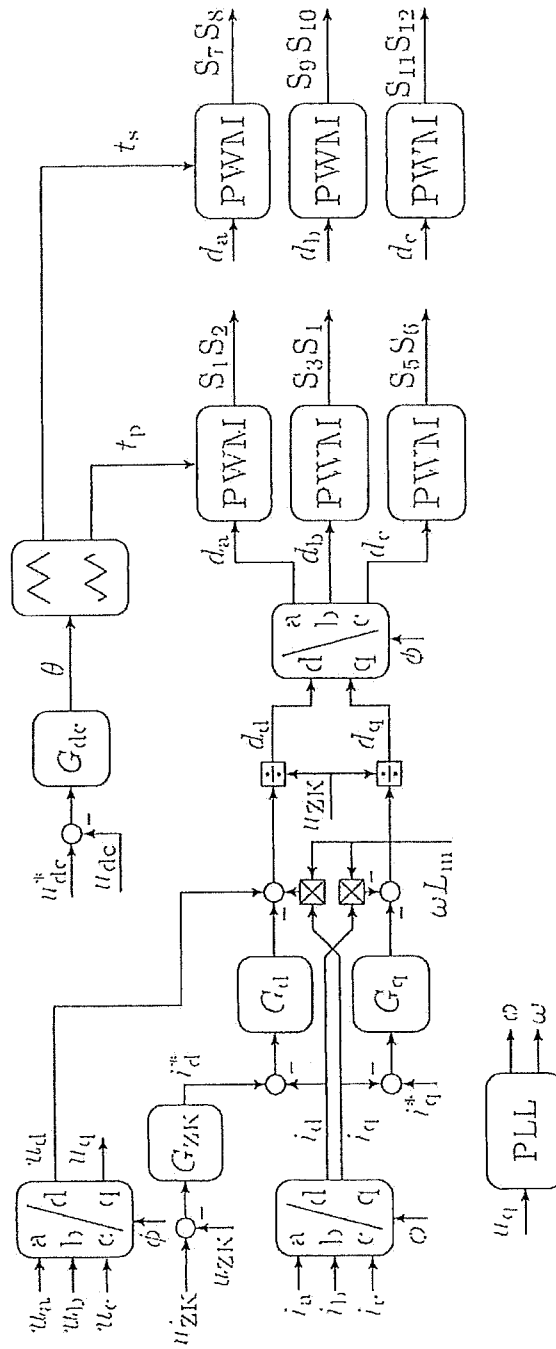


Fig. 3

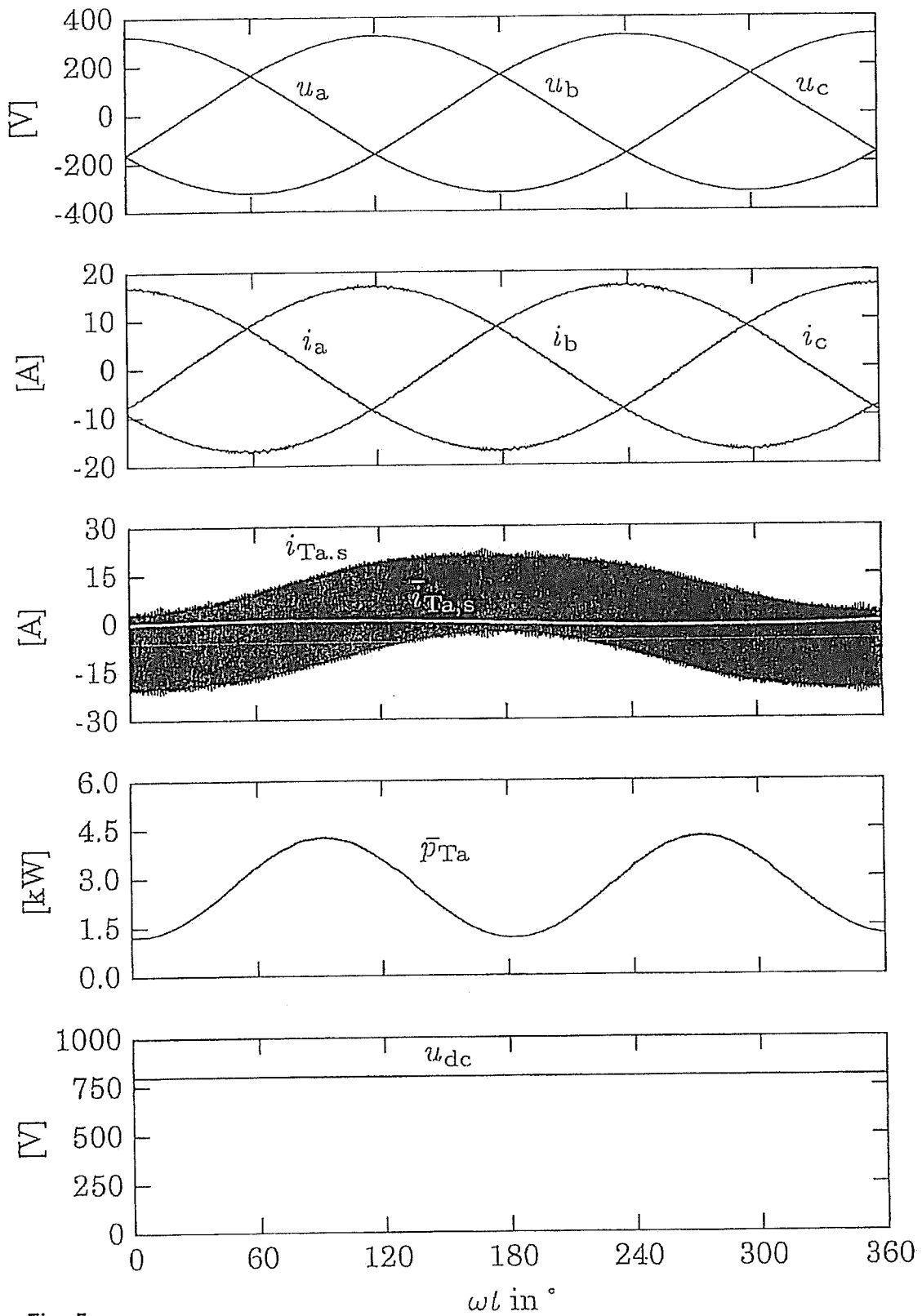


Fig. 5

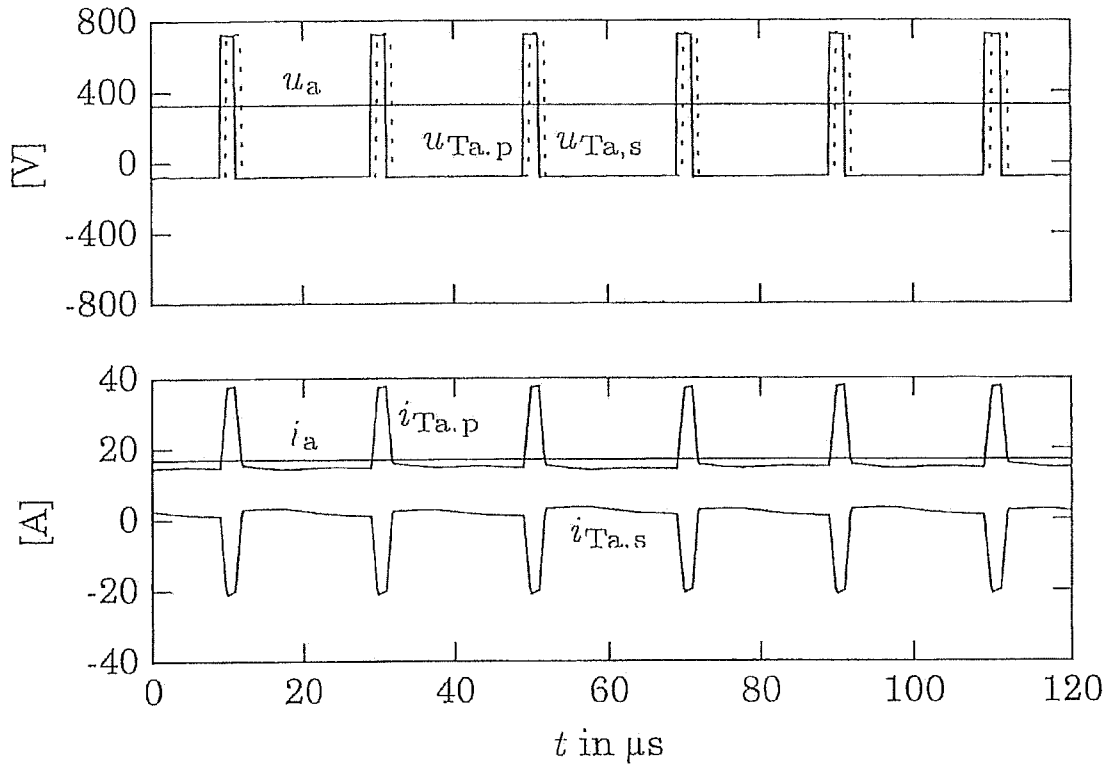


Fig. 6

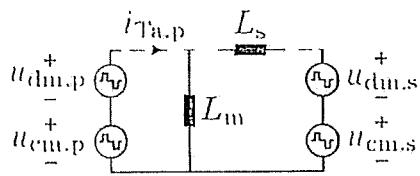


Fig. 4

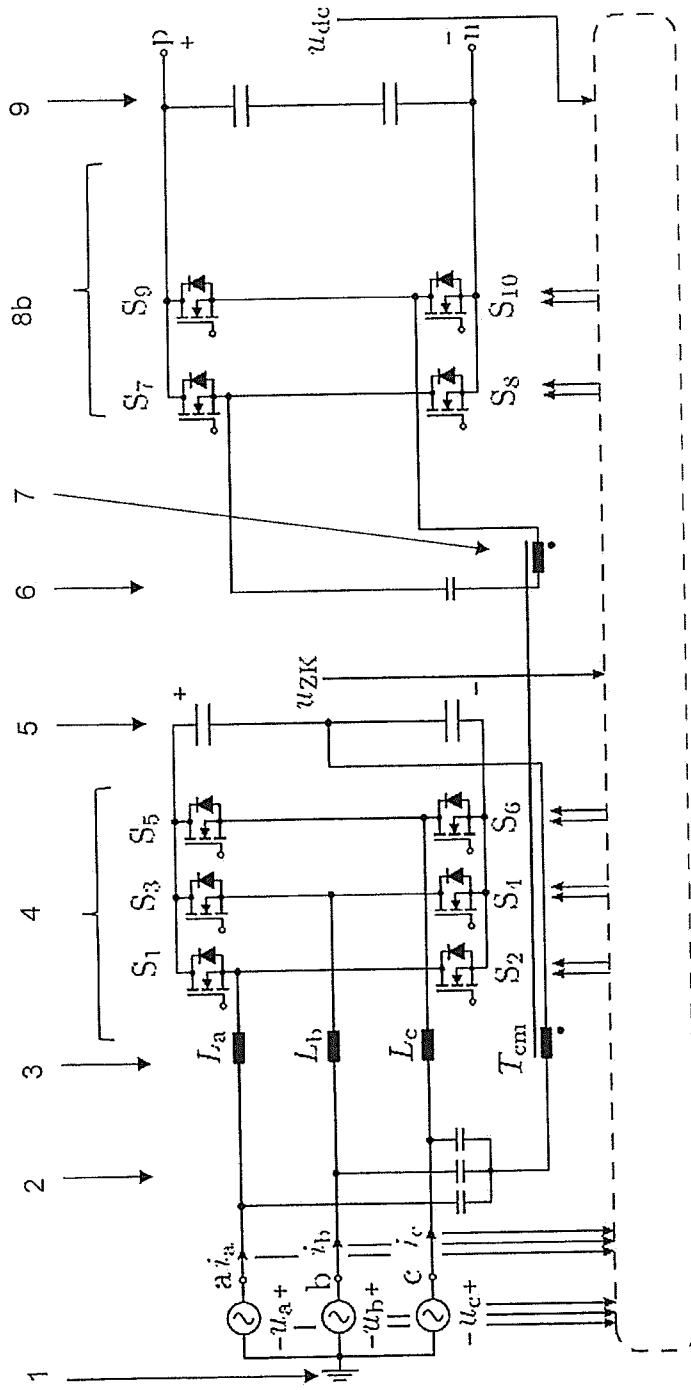


Fig. 7

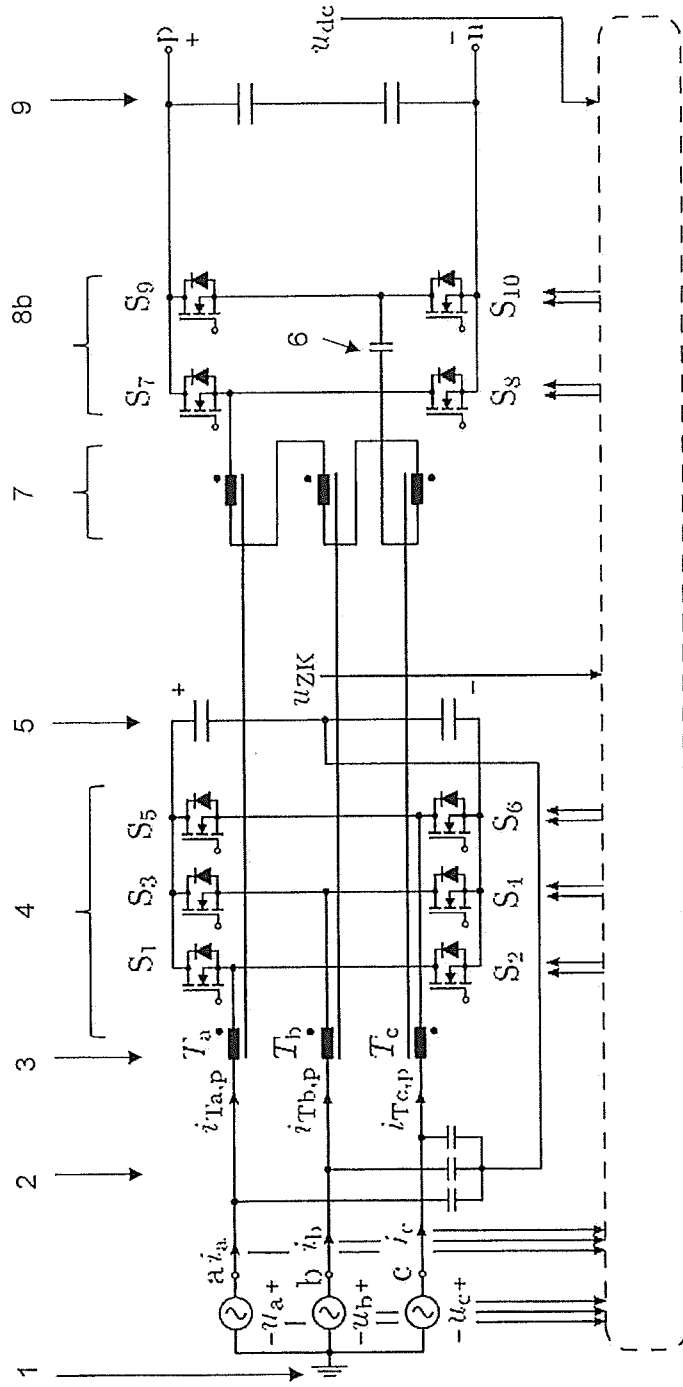


Fig. 8

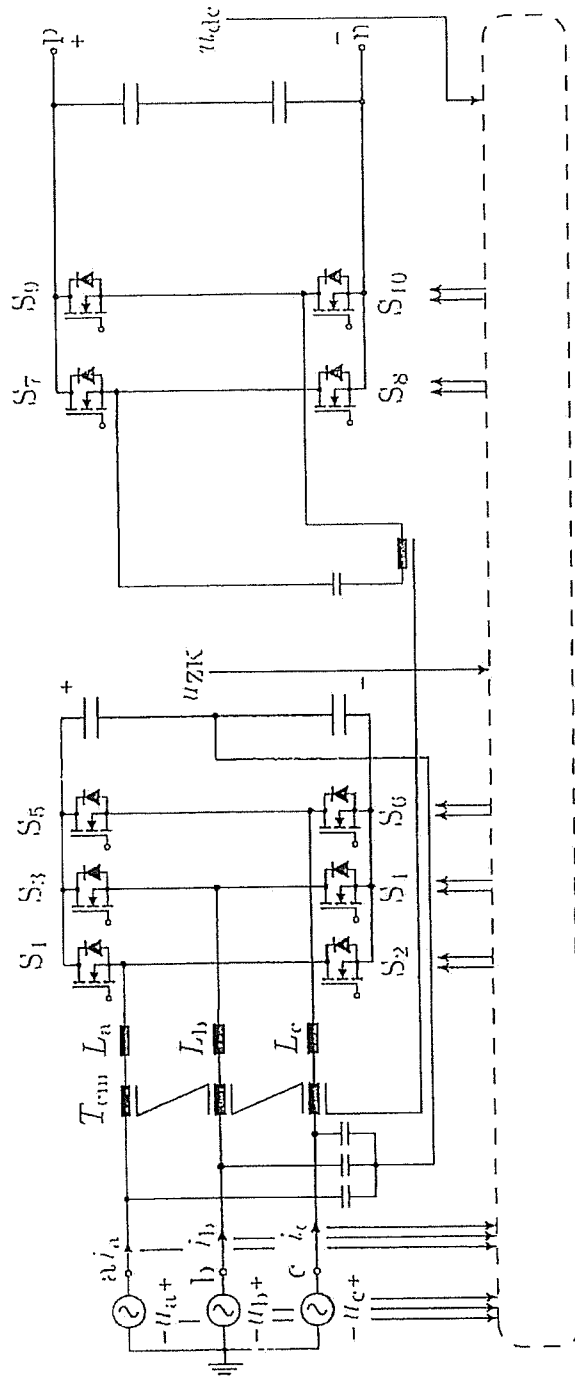


Fig. 9

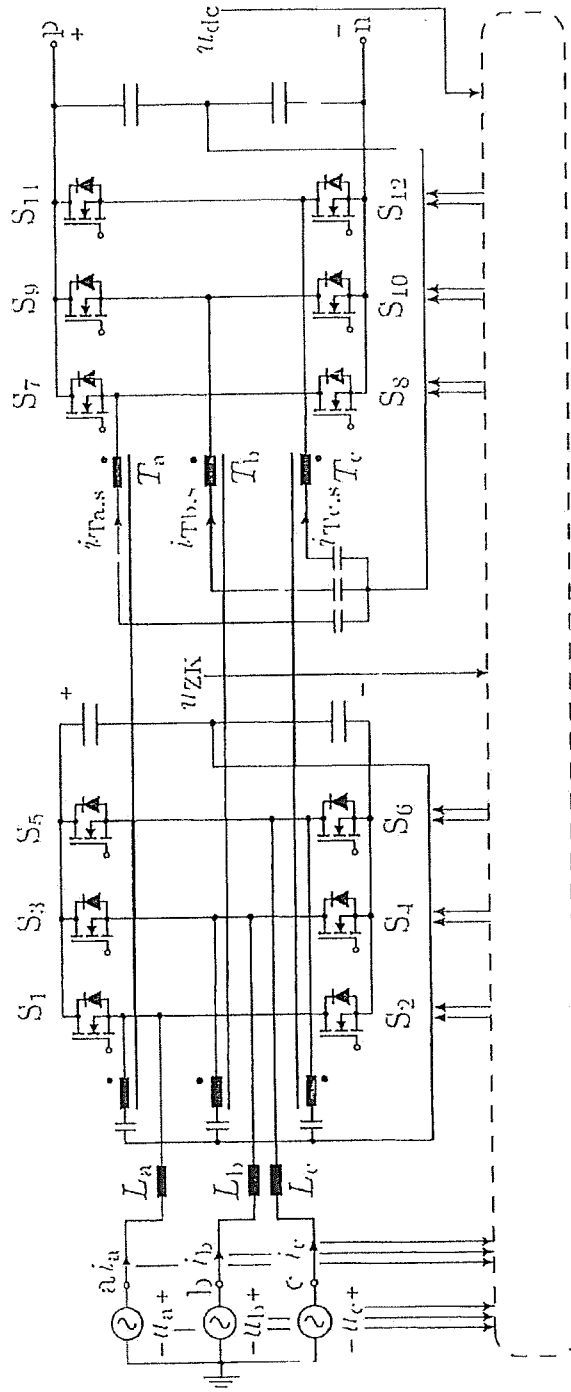


Fig. 10