

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50561/2020
(22) Anmeldetag: 02.07.2020
(45) Veröffentlicht am: 15.10.2022

(51) Int. Cl.: **H02M 3/158** (2006.01)
H02M 3/28 (2006.01)
H02M 7/493 (2007.01)
H02M 7/77 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2013174967 A1
EP 2863528 A1
WO 2017055534 A1
EP 3561821 A1
EP 2779399 A2

(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Reisinger Erwin Dr.
8073 Feldkirchen bei Graz (AT)
Schmidt Martin Dr. Ing.
63225 Langen (DE)

(74) Vertreter:
Hartinger Mario Dipl.Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **Gleichspannungswandler und Umrichteranordnung mit einem Gleichspannungswandler**

(57) Gleichspannungswandler zur Umwandlung einer ersten Gleichspannung V_1 in eine zweite Gleichspannung V_2 , umfassend eine Wandlereinheit (2) mit einer Zahl M elektronisch steuerbarer Halbbrücken (3, 3'), wobei M größer als eins ist, und eine Steuerungseinheit (4), die dazu ausgebildet ist, die Halbbrücken (3, 3') in einem Modulationsverfahren zeitversetzt mit einer im Wesentlichen gleichen Schaltfrequenz f_T zu aktivieren, wobei die Ausgänge der Halbbrücken (3, 3') jeweils über Interleaving-Drosseln (5, 5') zusammengeschaltet sind, und wobei zur Ableitung hochfrequenter Störungen der Gleichspannung V_2 eine erste LC-Filterstufe (11) vorgesehen ist, die durch die Interleaving-Drosseln (5, 5') und erste Filterkondensatoren (8, 8') gebildet ist, wobei die Grenzfrequenz der ersten LC-Filterstufe (11) im Bereich der M -fachen Schaltfrequenz f_T liegt, vorzugsweise im Bereich von etwa $0,8 \times M \times f_T$ bis $1,2 \times M \times f_T$, sowie eine Umrichteranordnung mit einem derartigen Gleichspannungswandler.

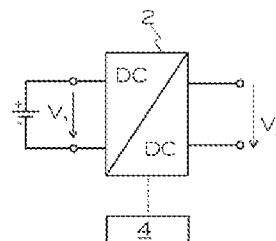


Fig.1a

Beschreibung

GLEICHSPANNUNGSWANDLER UND UMRICHTERANORDNUNG MIT EINEM GLEICHSPANNUNGSWANDLER

[0001] Die Erfindung betrifft einen Gleichspannungswandler und eine Umrichteranordnung mit einem derartigen Gleichspannungswandler.

[0002] Gleichspannungswandler, auch DC-DC-Wandler genannt, dienen zur Umwandlung einer ersten Gleichspannung V_1 in eine zweite Gleichspannung V_2 auf höherem, niedrigerem oder invertiertem Niveau und sind aus dem Stand der Technik grundsätzlich bekannt. Die Umsetzung der Spannung erfolgt mithilfe einer geschalteten Wandlereinheit mit elektronisch steuerbaren Halbleiter-Brückenschaltungen, die durch ein Modulationsverfahren, beispielsweise Pulsweitenmodulation (PWM), die erste Gleichspannung mit hoher Frequenz abtasten, sowie einer Induktivität als Energiespeicher. Die Schaltfrequenz des Modulationsverfahrens liegt dabei weit über der Netzfrequenz und meist im Bereich von über 20 kHz.

[0003] Derartige Gleichspannungswandler eignen sich für vielfältige Anwendungen im Bereich der Industrie, aber auch für Anwendungen im Fahrzeugbereich. Beispielsweise kann eine Gleichspannung aus einer Batterie oder einem Gleichspannungs-Zwischenkreis zur Versorgung verschiedener elektrischer Verbraucher auf unterschiedliche Spannungsniveaus konvertiert werden, um beispielsweise die Batteriespannung im Fahrzeug auf das Niveau des Bordnetzes zu transformieren.

[0004] Aus dem Stand der Technik sind derartige Gleichspannungswandler beispielsweise aus den Dokumenten WO 2013174967 A1, EP 2863528 A1, WO 2017055534 A1, EP 3561821, EP 2779399 A2 bekannt.

[0005] Auch bei Prüfständen elektrischer und mechanischer Antriebe wird zur Versorgung der Belastungsmaschinen (Dynamometer) eine zentral zur Verfügung gestellte Gleichspannung hohen Niveaus auf Spannungen wesentlich niedrigeren Niveaus konvertiert. Durch zusätzliche eingangsseitige Gleich- bzw. Wechselrichter können mehrstufige Umrichteranordnungen für verschiedenste Anwendungszwecke geschaffen werden.

[0006] Bei industriellen Anwendungen und Prüfständen sind derartige Umrichteranordnungen vorzugsweise für einen bidirektionalen Betrieb ausgelegt, d.h., sie ermöglichen sowohl einen elektrischen Leistungsfluss von der ersten Gleichspannung V_1 zur zweiten Gleichspannung V_2 , als auch umgekehrt. Dies wird durch die Verwendung bidirektional geschalteter Umrichter ermöglicht.

[0007] Durch die hohe Schaltfrequenz des Modulationsverfahrens der Wandlereinheit entstehen jedoch hochfrequente Störungen, welche die erzeugten Signale überlagern. Diese Störungen führen zu einem Verstoß gegen Vorschriften betreffend EMV (elektromagnetische Verträglichkeit). Um die Störungen abzuleiten, ist es bekannt, am Ausgang der Wandlereinheit LC-Filteranordnungen vorzusehen. Derartige Filteranordnungen sind jedoch aufgrund der verwendeten LC-Komponenten groß und erschweren eine kompakte Bauweise, was wiederum den Einsatz in Fahrzeugen erschwert.

[0008] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, diese und andere Probleme zu lösen und einen kompakten Gleichspannungswandler sowie eine modulare Umrichteranordnung zur Verfügung zu stellen, die beispielsweise in einem Fahrzeug als DC/DC-Wandler, in einer industriellen Anwendung oder in einem Prüfstand zur Generierung eines störungsfreien Gleichspannungs-Zwischenkreises eingesetzt werden kann. Dabei soll die Erzeugung hochfrequenter Störungen der erzeugten Gleichspannung vermieden oder auf ein Minimum reduziert werden.

[0009] Diese und andere Aufgaben werden durch einen Gleichspannungswandler nach Anspruch 1 gelöst.

[0010] Ein erfindungsgemäßer Gleichspannungswandler ist zur Umwandlung einer ersten Gleichspannung V_1 in eine zweite Gleichspannung V_2 ausgeführt und umfasst eine geschaltete

Wandlereinheit mit zumindest M elektronisch steuerbaren Halbbrücken, wobei M größer als eins ist. Die Wandlereinheit kann einphasig oder mehrphasig sein; die Zahl M der Halbbrücken je Phase kann beispielsweise zwei, drei, vier, fünf, sechs oder höher sein. Jede der Halbbrücken kann zwei gesteuerte Halbleiterschalter, vorzugsweise SiC-Transistoren oder GaN-Transistoren, umfassen.

[0011] Erfindungsgemäß ist eine elektronische Steuerungseinheit vorgesehen, die dazu ausgebildet ist, die M Halbbrücken in einem Modulationsverfahren zeitversetzt mit einer im Wesentlichen gleichen Schaltfrequenz f_T zu aktivieren. Dadurch ergibt sich am Ausgang der Wandlereinheit eine Erhöhung der effektiven Schaltfrequenz um den Faktor M auf $M \times f_T$ und es kann eine genauere Auflösung und Wandlung der Gleichspannung erreicht werden.

[0012] Erfindungsgemäß sind die Ausgänge der Halbbrücken jeweils über Interleaving-Drosseln zusammengeschaltet. Das heißt, die M Halbbrücken der Wandlereinheit sind über M Interleaving-Drosseln zusammengeschaltet. Dies hat den Vorteil, dass ein glatter Übergang des Stroms zwischen den geschalteten Halbbrücken möglich ist und Störungen reduziert werden. Bei den Interleaving-Drosseln kann es sich um stromkompensierte Drosseln handeln. Insbesondere kann das bedeuten, dass ihre Wicklungen gegenseitig auf einem gemeinsamen Eisenkern angeordnet sind.

[0013] Der Einsatz von stromkompensierten Interleaving-Drosseln ist insbesondere bei der Verwendung von SiC-Transistoren in den Halbbrücken vorteilhaft.

[0014] Erfindungsgemäß ist zur Ableitung hochfrequenter Störungen der Gleichspannung V_2 eine erste LC-Filterstufe vorgesehen. Diese erste LC-Filterstufe ist durch die Interleaving-Drosseln und erste Filterkondensatoren gebildet. Die erste LC-Filterstufe ist am Ausgang der Wandlereinheit angeordnet, und zwar insbesondere zwischen den Gleichspannungsanschlüssen der Gleichspannung V_2 . Insbesondere die ersten Filterkondensatoren können symmetrisch zwischen den Gleichspannungsanschlüssen der Gleichspannung V_2 angeordnet sein.

[0015] Die Interleaving-Drosseln weisen erfindungsgemäß eine getrennt dimensionierbare Longitudinal- und Transversalinduktivität auf. Erfindungsgemäß ist die, in gattungsgemäßen Gleichspannungswandlern nicht benötigte Longitudinalinduktivität bzw. Longitudinalreaktanz der Interleaving-Drossel derart dimensioniert, dass sich die gewünschte Filterwirkung ergibt. Durch die Nutzung der Longitudinalreaktanz der Interleaving-Drosseln zur Bildung der ersten LC-Filterstufe ist es nicht erforderlich, ein separates Filterelement vorzusehen.

[0016] Insbesondere kann erreicht werden, dass ein Gesamtoberschwingungsgehalt (Klirrfaktor) der Gleichspannung V_2 von 3% nicht überschritten wird.

[0017] Zu diesem Zweck liegt die Grenzfrequenz der ersten LC-Filterstufe im Bereich der M-fachen Schaltfrequenz f_T , vorzugsweise im Bereich von etwa $0,8 \times M \times f_T$ bis $1,2 \times M \times f_T$. Dadurch sorgt diese Filterstufe für die effiziente Ableitung von Störungen, die etwa mit dem M-fachen der Schaltfrequenz auftreten.

[0018] Das Verhältnis der Longitudinalinduktivität zur Transversalinduktivität der Interleaving-Drosseln kann in einem Bereich von etwa 100 bis etwa 10000 liegen. Die Interleaving-Drosseln können insbesondere eine Longitudinalinduktivität von etwa $7,5 \mu\text{H}$ und eine Transversalinduktivität von etwa $1,94 \text{ mH}$ aufweisen. Die ersten Filterkondensatoren können beispielsweise eine Kapazität von etwa $30 \mu\text{F}$ aufweisen.

[0019] Ferner kann erfindungsgemäß eine zweite Filterstufe vorgesehen sein, die durch eine Filterdrossel und zweite Filterkondensatoren gebildet ist. Die Grenzfrequenz der ersten LC-Filterstufe kann sich von der Grenzfrequenz der zweiten LC-Filterstufe unterscheiden. Insbesondere kann die Grenzfrequenz der ersten LC-Filterstufe kleiner sein als die Grenzfrequenz der zweiten LC-Filterstufe. Die Induktivität der Filterdrossel kann etwa $1 \mu\text{H}$ betragen. Die Grenzfrequenz der zweiten LC-Filterstufe kann im Bereich eines Vielfachen der M-fachen Schaltfrequenz f_T liegen, vorzugsweise im Bereich von etwa $4 \times M \times f_T$ bis etwa $10 \times M \times f_T$. Dadurch sorgt diese Filterstufe für die effiziente Ableitung von Oberschwingungen der Schaltfrequenz.

[0020] Bei den ersten Filterkondensatoren und zweiten Filterkondensatoren kann es sich um separate Bauelemente handeln. Es sind jedoch auch Ausführungsbeispiele vorgesehen, bei denen die ersten Filterkondensatoren und die zweiten Filterkondensatoren durch ein und dieselben Bauelemente gebildet sind.

[0021] Die zweiten Filterkondensatoren können symmetrisch zwischen den Gleichspannungsanschlüssen der Gleichspannung V_2 angeordnet sein.

[0022] Die Filterdrossel kann die Symmetriepunkte der ersten Filterkondensatoren und der zweiten Filterkondensatoren verbinden.

[0023] Die erste LC-Filterstufe und gegebenenfalls auch die zweite LC-Filterstufe können derart dimensioniert sein, dass ein Gesamtüberschwingungsgehalt (Klirrfaktor) der Gleichspannung V_2 von 3% nicht überschritten wird.

[0024] Die Steuerungseinheit kann dazu ausgebildet sein, die Halbbrücken der Wandlereinheit mit unterschiedlichen Schaltfrequenzen anzusteuern. Beispielsweise kann bei der Verwendung von SiC-Transistoren in der Wandlereinheit eine Schaltfrequenz f_T von 24 kHz, 33 kHz, 75 kHz, oder höher bis zu 200 kHz vorgesehen sein. Hingegen kann bei der Verwendung von GaN-Transistoren in der Wandlereinheit eine wesentlich höhere Schaltfrequenz f_T vorgesehen sein, etwa bis zu 2 MHz. Die Wandlereinheit kann auch zur Erzeugung einer Gleichspannung V_2 von bis zu 60 V, bis zu 200 V, bis zu 1000 V oder bis zu 1500 V ausgebildet sein, wobei die Spannungen von bis zu 200 V vorzugsweise bei der Verwendung von GaN-Transistoren vorgesehen sind, und für höhere Spannungen SiC-Transistoren verwendet werden. Wird der Gleichspannungswandler beispielsweise an eine Brennstoffzelle angeschlossen, so kann die Gleichspannung V_1 beispielsweise einen Wert von 200V bis 400V annehmen. In industriellen Anwendungen (Gleichspannungs-Inselnnetz) oder beim Betrieb eines Prüfstands (Gleichspannungs-Zwischenkreis) kann V_1 zum Beispiel 850 V sein.

[0025] Erfindungsgemäß kann der Gleichspannungswandler auch über mehrere parallel geschaltete Wandlereinheiten mit jeweils M Halbbrücken verfügen, wobei die Ausgänge der Halbbrücken über Interleaving-Drosseln zusammengeschaltet sind. Beispielsweise können zwei parallelgeschaltete Wandlereinheiten vorgesehen sein, die jeweils über zwei Halbbrücken verfügen, deren Ausgänge über zwei Interleavingdrosseln zusammengeschaltet sind.

[0026] Eine derartige Anordnung kann einerseits verwendet werden, um die übertragene elektrische Leistung auf die parallelgeschalteten Wandlereinheiten aufzuteilen, sodass die Halbleiterschalter eine geringere Leistung schalten müssen. In diesem Fall ist die Steuerungseinheit dazu ausgebildet ist, die Wandlereinheiten synchron zueinander zu aktivieren. Die effektive Schaltfrequenz liegt in diesem Fall etwa beim M-fachen der Schaltfrequenz f_T .

[0027] Zusätzlich kann eine derartige Anordnung auch verwendet werden, um die effektive Schaltfrequenz zu erhöhen. Zu diesem Zweck kann die Steuerungseinheit dazu ausgebildet sein, die parallelgeschalteten Wandlereinheiten zeitversetzt zueinander zu aktivieren. Die effektive Schaltfrequenz liegt dann etwa bei $N \times M \times f_T$, wobei N die Anzahl der parallelgeschalteten Wandlereinheiten bezeichnet. Durch die höhere effektive Schaltfrequenz können die Filterbauteile verkleinert werden.

[0028] Die Erfindung erstreckt sich ferner auf eine Umrichteranordnung zur Umwandlung einer Wechselspannung V_{ac} in eine Gleichspannung V_2 umfassend einen erfindungsgemäßen Gleichspannungswandler. Zu diesem Zweck ist ein geschalteter und vorzugsweise ebenfalls von der Steuereinheit angesteuerter Gleichrichter zur Umwandlung der Wechselspannung V_{ac} in eine Gleichspannung V_1 vorgesehen. Dies kann insbesondere zur Erzeugung eines Gleichspannungs-Zwischenkreises dienen.

[0029] Der Gleichrichter und die Wandlereinheit können vorzugsweise als integrierte Umrichterbaugruppe ausgebildet sein, sodass eine besonders kompakte Lösung erreicht wird. Eine derartige integrierte Umrichterbaugruppe kann auch als „Inverter-Stack“ bezeichnet werden.

[0030] Erfindungsgemäß kann ferner vorgesehen sein, dass ein Wechselrichter zur Umwandlung

einer Eingangs-Gleichspannung V_{in} in die Wechselspannung V_{ac} vorgesehen ist. Gegebenenfalls kann ein Netzumrichter zur Bereitstellung der Eingangs-Gleichspannung V_{in} vorgesehen sein. Ferner kann ein Transformator zur Transformierung der Wechselspannung V_{ac} in eine galvanisch getrennte Wechselspannung V_{ac}' vorgesehen sein. Die Wandlereinheit und gegebenenfalls auch der Wechselrichter können für einen bidirektionalen Betrieb ausgelegt sein, sodass die Umrichter-anordnung auch zur Umwandlung einer Gleichspannung V_2 in eine Wechselspannung V_{ac} ausgebildet ist. Auch der Wechselrichter kann gegebenenfalls für einen bidirektionalen Betrieb ausgelegt sein, sodass die Umrichteranordnung auch zur Umwandlung einer Gleichspannung V_2 in eine andere Gleichspannung V_{in} ausgebildet ist. Diese und eine Vielzahl anderer Anwendungen werden durch den Einsatz eines erfindungsgemäßen Gleichspannungswandlers mit erster und gegebenenfalls auch zweiter Filterstufe ermöglicht.

[0031] Weitere erfindungsgemäße Merkmale ergeben sich aus den Patentansprüchen, den Figuren und der nachfolgenden Figurenbeschreibung. Die Erfindung wird im Folgenden anhand nicht ausschließlicher Ausführungsbeispiele erläutert:

[0032] Figs. 1a - 1d zeigen schematische Ausführungsbeispiele verschiedener Ausführungsformen erfindungsgemäßer Gleichspannungswandler als Blockschaltbild und als vereinfachtes elektrisches Schaltbild;

[0033] Figs. 2a - 2d zeigen weitere schematische Ausführungsbeispiele von erfindungsgemäßen Gleichspannungswandlern anhand vereinfachter Schaltbilder;

[0034] Figs. 3 - 4 zeigen zwei schematische Ausführungsbeispiele von Ausführungsformen erfindungsgemäßer Umrichteranordnungen anhand von vereinfachten Blockschaltbildern.

[0035] Fig. 1a zeigt ein schematisches Ausführungsbeispiel einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gleichspannungswandlers als vereinfachtes Blockschaltbild. Der Gleichspannungswandler umfasst eine, von einer elektronischen Steuereinheit 4 über eine Schnittstelle angesteuerte geschaltete Wandlereinheit 2 zur Umwandlung einer Gleichspannung V_1 in eine Gleichspannung V_2 . Die Gleichspannung V_1 wird von einer Batterie bereitgestellt.

[0036] Fig. 1b zeigt ein schematisches Ausführungsbeispiel einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gleichspannungswandlers als vereinfachtes Blockschaltbild. Der Gleichspannungswandler umfasst eine, von einer elektronischen Steuereinheit 4 angesteuerte geschaltete Wandlereinheit 2 zur Umwandlung einer Gleichspannung V_1 in eine Gleichspannung V_2 . Die Gleichspannung V_1 wird in einem Gleichspannungs-Zwischenkreis 15 von einem Gleichrichter 1 zur Verfügung gestellt, der eine Eingangs-Wechselspannung V_{ac} in eine Zwischenkreis-Gleichspannung V_1 umwandelt. Die Wandlereinheit 2 wandelt die Zwischenkreis-Gleichspannung V_1 in die Ausgangs-Gleichspannung V_2 um. Es ist eine elektronische Steuerungseinheit 4 vorgesehen, die zur Ansteuerung des Gleichrichters 1 und der Wandlereinheit 2 mit diesen über eine Schnittstelle verbunden ist. Die Steuerungseinheit 4 kann auch in separate Einheiten aufgeteilt sein.

[0037] Fig. 1c zeigt ein vereinfachtes elektrisches Schaltbild des Ausführungsbeispiels aus Fig. 1b. Die Eingangs-Wechselspannung V_{ac} wird durch einen geschalteten Brücken-Gleichrichter 1 in eine Gleichspannung V_1 an einem Gleichspannungs-Zwischenkreis 15 bereitgestellt. Eine geschaltete Wandlereinheit 2 wandelt die Zwischenkreis-Gleichspannung V_1 in eine Ausgangs-Gleichspannung V_2 um.

[0038] Der Gleichrichter 1 und die Wandlereinheit 2 umfassen jeweils zwei elektronisch schaltbare Halbbrücken 3a, 3a', 3, 3'. Die Halbbrücken umfassen jeweils zwei elektronisch schaltbare Halbleiterschalter, die von einer elektronischen Steuereinheit 4 angesteuert werden. In diesem Ausführungsbeispiel ist die Steuereinheit 4 als integriertes elektronisches Bauelement realisiert; die Halbleiterschalter sind als SiC-Transistoren mit parallel geschalteten Freilaufdioden ausgebildet. Die Steuereinheit 4 ist dazu ausgebildet, die Halbbrücken 3a, 3a' des Gleichrichters 1 und die Halbbrücken 3, 3' der Wandlereinheit 2 in einem Modulationsverfahren mit einer Periodendauer T , einer Schaltfrequenz f_T und einem zeitlich variablen Tastverhältnis t_{on}/T zu aktivieren. Im

gegenständlichen Ausführungsbeispiel beträgt die Schaltfrequenz f_T jeder einzelnen Halbbrücke etwa 33 kHz.

[0039] In diesem Ausführungsbeispiel sind die Ausgänge der Halbbrücken 3, 3' der Wandlereinheit 2 über zwei Interleaving-Drosseln 5, 5' zusammengeschaltet. Die Interleaving-Drosseln 5, 5' umfassen jeweils einen eigenen unabhängigen Eisenkern. Indem die Steuereinheit 4 die Halbbrücken 3, 3' der Wandlereinheit 2 zeitversetzt aktiviert, ergibt sich am Ausgang eine Verdopplung ($M = 2$) der effektiven Schaltfrequenz f_T .

[0040] Am Ausgang der Wandlereinheit 2 ist eine erste LC-Filterstufe 11 vorgesehen. Die erste LC-Filterstufe 11 ist durch die Longitudinal-Induktivität der Interleaving-Drosseln 5, 5' und erste Filterkondensatoren 8, 8' gebildet. Die Longitudinalinduktivität bezeichnet hier die Induktivität zwischen den Halbbrücken 3 bzw. 3' und dem Symmetriepunkt 14; die Transversalinduktivität jene Induktivität zwischen den Halbbrücken 3 und 3', d.h. jene Induktivität, die eine Begrenzung der Kreisströmen zwischen den Halbbrücken bewirkt.

[0041] Die ersten Filterkondensatoren 8, 8' liegen sternförmig symmetrisch zwischen den Gleichspannungsanschlüssen 13, 13'. Die ersten Filterkondensatoren 8, 8' wirken dabei mit der ungenutzten Longitudinalreaktanz der Interleaving-Drosseln 5, 5' zusammen, um die erste LC-Filterstufe 11 zu bilden.

[0042] Fig. 1d zeigt eine Weiterentwicklung des Ausführungsbeispiels nach Fig. 1c. In diesem Ausführungsbeispiel ist eine nachgeschaltete zweite LC-Filterstufe 12 vorgesehen. Die zweite Filterstufe 12 ist durch eine Filterdrossel 9 und zweite Filterkondensatoren 10, 10' gebildet. In diesem Beispiel liegen sowohl die ersten Filterkondensatoren 8, 8', als auch die zweiten Filterkondensatoren 10, 10' jeweils sternförmig symmetrisch zwischen den Gleichspannungsanschlüssen 13, 13', und die Filterdrossel 9 verbindet die Stern- bzw. Symmetriepunkte 14, 14' der ersten Filterkondensatoren 8, 8' mit jenen der zweiten Filterkondensatoren 10, 10'.

[0043] Fig. 2a zeigt ein schematisches elektrisches Schaltbild einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Umrichteranordnung mit einem erfindungsgemäßen Gleichspannungswandler. Eine Eingangs-Wechselspannung V_{ac} wird in eine Gleichspannung V_1 umgewandelt, wobei die erste LC-Filterstufe 11 und die zweite LC-Filterstufe 12 im Wesentlichen wie im Ausführungsbeispiel der Fig. 1d ausgebildet sind. Die Interleavingdrosseln 5, 5' sind hier jedoch als stromkompensierte Drosseln ausgebildet. Eine derartige Anordnung, bei der zwei Interleavingdrosseln 5, 5' auf einen gemeinsamen Eisenkern gewickelt sind, kann auch als einzige stromkompensierte Interleavingdrossel mit zwei Wicklungen bezeichnet werden.

[0044] Der Wechselrichter 1 und die Wandlereinheit 2 sind in einer baulich integrierten Umrichterbaugruppe 16, nämlich einem sogenannten Inverter-Stack, integriert. Dieser enthält vier elektronisch schaltbare Halbbrücken 3, 3', 3a, 3a', die von der Steuereinheit 4 angesteuert werden, um die Funktion der Gleichrichtung (Halbbrücken 3a, 3a') und Gleichspannungswandlung (Halbbrücken 3, 3') zu erfüllen. Es ist kein separat herausgeführter Gleichspannungs-Zwischenkreis 15 vorgesehen.

[0045] Die Interleaving-Drosseln 5, 5' sind mit nicht-bifilaren Hochkant-Wicklungen mit etwa neun Wicklungen je Schenkel auf einem nanokristallinen Schnittbandkern mit hoher relativer magnetischer Permeabilität (μ_r von etwa 40 000), einem Kernquerschnitt von etwa 17 cm² und einem sehr geringen Luftspalt von etwa 150 µm ausgeführt. Die Induktivität jeder Einzelwicklung beträgt etwa 500 µH, der Koppelfaktor 0,97, die Longitudinalinduktivität etwa 7,5 µH und die Transversalinduktivität etwa 1,94 mH.

[0046] Die zugeordneten ersten Filterkondensatoren 8, 8' weisen jeweils eine Kapazität von etwa 30 µF je Phase auf, sodass die Grenzfrequenz des durch die erste Filteranordnung 8 gebildeten Tiefpasses einen Wert von etwa 67 kHz annimmt:

$$f = \frac{1}{\sqrt{4LC}} = \frac{1}{\sqrt{7,5\mu H \cdot 30\mu F}} = 66,67\text{kHz}$$

[0047] Dies entspricht etwa dem 2-fachen (M-fachen) der Schaltfrequenz von 33 kHz, sodass die Störungen durch Schaltvorgänge effektiv gefiltert werden können.

[0048] Fig. 2b zeigt ein schematisches elektrisches Schaltbild einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Umrichteranordnung. Die Eingangs-Wechselspannung V_{ac} wird in eine Gleichspannung V_1 umgewandelt, wobei die erste LC-Filterstufe 11 und die zweite LC-Filterstufe 12 im Wesentlichen wie im Ausführungsbeispiel der Fig. 2a ausgebildet sind.

[0049] Wie im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2a ist kein separater Wechselrichter 1 und Wandlereinheit 2 vorgesehen, sondern diese Komponenten sind in einer baulich integrierten Umrichterbaugruppe 16, nämlich einem sogenannten Inverter-Stack, integriert. Dieser enthält jedoch sechs elektronisch schaltbare Halbbrücken 3, 3', 3a, 3a', 3b, 3b', die von der Steuereinheit 4 angesteuert werden, um die Funktion der Gleichrichtung (Halbbrücken 3a, 3a') und Gleichspannungswandlung (Halbbrücken 3, 3', 3b, 3b') zu erfüllen.

[0050] Die Halbbrücken 3, 3' und die Halbbrücken 3b, 3b' bilden in diesem Ausführungsbeispiel zwei parallele geschaltete Wandlereinheiten 2, 2', wobei jede Halbbrücke jeweils auf eine Interleaving-Drossel 5, 5', 5a, 5a' geführt wird.

[0051] Die Interleavingdrosseln 5, 5' und 5a, 5a' sind jeweils gegenläufig auf einen gemeinsamen Eisenkern gewickelt und dadurch stromkompensiert. Eine derartige Anordnung von je zwei stromkompensierten Interleavingdrosseln kann auch als einzige Interleavingdrossel mit zwei stromkompensierten Wicklungen bezeichnet werden.

[0052] Die Steuereinheit 4 ist derart ausgebildet, dass sie die Halbbrücken 3, 3', 3b, 3b' zeitversetzt aktiviert, sodass sich die effektive Schaltfrequenz f_r vervierfacht (Anzahl der Halbbrücken $M = 2$ und Anzahl der parallelen Wandlereinheiten $N = 2$). Alternativ kann die Steuereinheit 4 die Halbbrücken 3, 3', 3b, 3b' synchron ansteuern, sodass sich die effektive Schaltfrequenz verdoppelt ($M = 2$ und $N = 1$). In beiden Varianten teilt sich die übertragene elektrische Leistung zwischen den parallel geschalteten Wandlereinheiten 2, 2' auf. Im Übrigen entspricht dieses Ausführungsbeispiel jenem aus Fig. 2a.

[0053] Fig. 2c zeigt ein schematisches elektrisches Schaltbild einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Umrichteranordnung. Eine Eingangs-Wechselspannung V_{ac} wird in eine Gleichspannung V_2 umgewandelt, wobei lediglich eine erste LC-Filterstufe 11 vorgesehen ist. Wiederum ist kein separater Wechselrichter 1 und Wandlereinheit 2 vorgesehen, sondern diese Komponenten sind in einer baulich integrierten Umrichterbaugruppe 16, nämlich einem sogenannten Inverter-Stack, integriert.

[0054] Wie im Ausführungsbeispiel der Fig. 2b sind zwei parallel geschaltete Wandlereinheiten 2, 2' mit je zwei Halbbrücken 3, 3' und 3b, 3b' vorgesehen, deren Ausgänge über stromkompensierte Interleaving-Drosseln 5, 5', 5a, 5a' zusammengeschaltet sind. Die Steuerungseinheit 4 ist dazu ausgebildet, die Wandlereinheiten 2, 2' synchron zueinander zu aktivieren. Wiederum teilt sich die übertragene elektrische Leistung auf die Wandlereinheiten 2, 2' auf. Die effektive Schaltfrequenz beträgt somit in diesem Ausführungsbeispiel $2 \times f_r$. Die Ausgangs-Gleichspannung V_2 wird in diesem Ausführungsbeispiel, im Unterschied zu Fig. 2b, als Differenzspannung zwischen den Ausgängen der beiden Wandlereinheiten 2, 2' gebildet.

[0055] Fig. 2d zeigt ein schematisches elektrisches Schaltbild einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Umrichteranordnung. Eine dreiphasige Eingangs-Wechselspannung V_{ac} wird in eine Gleichspannung V_2 umgewandelt, wobei eine erste LC-Filterstufe 11 und eine zweite LC-Filterstufe 12 vorgesehen sind. Wiederum ist eine baulich integrierte Umrichterbaugruppe 16 mit sechs elektronisch schaltbaren Halbbrücken 3, 3', 3a, 3a', 3b, 3b' vorgesehen, von denen jedoch nur fünf von der Steuereinheit 4 angesteuert werden, um die Funktion der Gleichrichtung (Halbbrücken 3a, 3a', 3b) und Gleichspannungswandlung (Halbbrücken 3, 3') zu erfüllen. Die Halbbrücke 3b' ist dabei unbenutzt; auf eine Aufteilung der übertragenen elektrischen Leistung auf zwei parallele Zweige bzw. Erhöhung der effektiven Schaltfrequenz durch weiteres Interleaving wird hier verzichtet. Im Übrigen entspricht dieses Ausführungsbeispiel jenem aus Fig. 2a.

[0056] Fig. 3 zeigt ein weiteres schematisches Ausführungsbeispiel einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Umrichteranordnung. Es ist wiederum eine integrierte Umrichterbaugruppe 16 vorgesehen, die eine Wechselspannung V_{ac} in eine Gleichspannung V_2 wandelt. Eingangsseitig ist ein Wechselrichter 17 zur Umwandlung einer Eingangs-Gleichspannung V_1 in die Wechselspannung V_{ac} vorgesehen.

[0057] Der Wechselrichter 17 wird ebenfalls von der Steuereinheit 4 angesteuert.

[0058] Zwischen dem Wechselrichter 17 und der integrierten Umrichterbaugruppe 16 ist ein Transformator 7 zur Transformierung der Wechselspannung V_{ac} in eine galvanisch getrennte Wechselspannung V_{ac}' vorgesehen, wobei der Transformator 7 mit einem Übersetzungsverhältnis ausgebildet ist, das nicht gleich eins ist.

[0059] Fig. 4 zeigt ein weiteres schematisches Ausführungsbeispiel einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Umrichteranordnung. In diesem Ausführungsbeispiel ist eingangsseitig ein Netzumrichter 6 zur Bereitstellung der Eingangs-Gleichspannung V_1 vorgesehen; im Übrigen entspricht dieses Ausführungsbeispiel jenem aus Fig. 3.

[0060] Die Erfindung beschränkt sich nicht auf die vorliegenden Ausführungsbeispiele, sondern umfasst sämtliche Vorrichtungen und Verfahren im Rahmen der nachfolgenden Patentansprüche.

[0061] Hierin verwendete Begriffe sollen nicht zu eng ausgelegt werden. Auch ist die konkrete schaltungstechnische Realisierung der Wechselrichter oder Gleichrichter nicht erfindungswesentlich. Erfindungsgemäß vorgesehene Wechselrichter oder Gleichrichter können stets auch eine interne galvanische Trennung vorsehen und können für mittlere bis hohe elektrische Leistungen vorgesehen sein, beispielsweise Leistungen im Bereich von 10 kW bis 100 kW bei einer Gleichspannung von 12V, 24V, 48V, 230V oder 850 V bzw. bis zu 300 kVA Wechselstromleistung.

BEZUGSZEICHENLISTE

1	Gleichrichter
2	Wandlereinheit
3, 3', 3a, 3a', 3b, 3b'	Halbbrücke
4	Steuerungseinheit
5, 5', 5a, 5a'	Interleavingdrossel
6	Netzumrichter
7	Transformator
8, 8'	Erster Filterkondensator
9	Filterdrossel
10, 10'	Zweiter Filterkondensator
11	Erste Filterstufe
12	Zweite Filterstufe
13, 13'	Gleichspannungsanschlüsse
14, 14'	Symmetriepunkte
15	Gleichspannungs-Zwischenkreis
16	Integrierte Umrichterbaugruppe
17	Wechselrichter

Patentansprüche

1. Gleichspannungswandler zur Umwandlung einer ersten Gleichspannung V_1 in eine zweite Gleichspannung V_2 , umfassend
 - a. eine Wandlereinheit (2) mit zumindest M elektronisch steuerbaren Halbbrücken (3, 3'), wobei M größer als eins ist, und
 - b. eine Steuerungseinheit (4), die dazu ausgebildet ist, die Halbbrücken (3, 3') in einem Modulationsverfahren zeitversetzt mit einer im Wesentlichen gleichen Schaltfrequenz f_T zu aktivieren, wobei
 - c. die Ausgänge der Halbbrücken (3, 3') über Interleaving-Drosseln (5, 5') zusammengeschaltet sind,wobei zur Ableitung hochfrequenter Störungen der Gleichspannung V_2 eine erste LC-Filterstufe (11) vorgesehen ist, die durch die Interleaving-Drosseln (5, 5') und erste Filterkondensatoren (8, 8') gebildet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Grenzfrequenz der ersten LC-Filterstufe (11) im Bereich der M-fachen Schaltfrequenz f_T liegt, vorzugsweise im Bereich von etwa $0,8 \times M \times f_T$ bis $1,2 \times M \times f_T$.
2. Gleichspannungswandler nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Interleaving-Drosseln (5, 5') stromkompensiert sind.
3. Gleichspannungswandler nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verhältnis der Longitudinalinduktivität zur Transversalinduktivität der Interleaving-Drosseln (5, 5') in einem Bereich von etwa 100 bis etwa 10000 liegt.
4. Gleichspannungswandler nach einem der Ansprüche 2 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Interleaving-Drosseln (5, 5') eine Longitudinalinduktivität von etwa 7,5 μH und eine Transversalinduktivität von etwa 1,94 mH aufweisen.
5. Gleichspannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten Filterkondensatoren (8, 8') eine Kapazität von etwa 30 μF aufweisen.
6. Gleichspannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten Filterkondensatoren (8, 8') symmetrisch zwischen Gleichspannungsanschlüssen (13, 13') der Gleichspannung V_2 angeordnet sind.
7. Gleichspannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine zweite Filterstufe (12) vorgesehen ist, die durch eine Filterdrossel (9) und zweite Filterkondensatoren (10, 10') gebildet ist.
8. Gleichspannungswandler nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Induktivität der Filterdrossel (9) etwa 1 μH beträgt.
9. Gleichspannungswandler nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Grenzfrequenz der zweiten LC-Filterstufe (12) im Bereich eines Vielfachen der M-fachen Schaltfrequenz f_T liegt, vorzugsweise im Bereich von etwa $4 \times M \times f_T$ bis etwa $10 \times M \times f_T$.
10. Gleichspannungswandler nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweiten Filterkondensatoren (10, 10') symmetrisch zwischen Gleichspannungsanschlüssen (13, 13') der Gleichspannung V_2 angeordnet sind und die Filterdrossel (9) die Symmetriepunkte (14, 14') der ersten Filterkondensatoren (8, 8') und der zweiten Filterkondensatoren (10, 10') verbindet.
11. Gleichspannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste LC-Filterstufe (11) und gegebenenfalls auch die zweite LC-Filterstufe (12) derart dimensioniert sind, dass ein Gesamtüberschwingungsgehalt (Klirrfaktor) der Gleichspannung V_2 von 3% nicht überschritten wird.
12. Gleichspannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass jede der Halbbrücken (3, 3') der Wandlereinheit (2) zwei gesteuerte Halbleiterschalter, vorzugsweise SiC- oder GaN-Transistoren umfasst.

13. Gleichspannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerungseinheit (4) dazu ausgebildet ist, die Halbbrücken (3, 3') bei der Verwendung von SiC-Transistoren mit einer Schaltfrequenz f_T von bis zu 200 kHz, beispielsweise 24 kHz, 33 kHz, oder 75 kHz, und bei der Verwendung von GaN-Transistoren mit einer Schaltfrequenz f_T von bis zu 2 MHz anzusteuern.
14. Gleichspannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass er zur Erzeugung einer Gleichspannung V_2 von bis zu 60 V, bis zu 200 V, bis zu 1000 V oder bis zu 1500 V ausgebildet ist.
15. Gleichspannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - a. mehrere parallel geschaltete Wandlereinheiten (2, 2') mit je einer Zahl M Halbbrücken (3, 3', 3b, 3b') vorgesehen sind, deren Ausgänge über Interleaving-Drosseln (5, 5', 5a, 5a') zusammengeschaltet sind, wobei
 - b. die Steuerungseinheit (4) dazu ausgebildet ist, die Wandlereinheiten (2, 2') synchron zueinander zu aktivieren.
16. Gleichspannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - a. mehrere parallel geschaltete Wandlereinheiten (2, 2') mit je einer Zahl M Halbbrücken (3, 3', 3b, 3b') vorgesehen sind, deren Ausgänge über Interleaving-Drosseln (5, 5', 5a, 5a') zusammengeschaltet sind, wobei
 - b. die Steuerungseinheit (4) dazu ausgebildet ist, die Wandlereinheiten (2, 2') zeitversetzt zueinander zu aktivieren, um die effektive Schaltfrequenz des Gleichspannungswandlers zu erhöhen.
17. Umrichteranordnung zur Umwandlung einer Wechselspannung V_{ac} in eine Gleichspannung V_2 umfassend einen Gleichspannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein geschalteter und vorzugsweise von der Steuereinheit (4) angesteuerter Gleichrichter (1) zur Umwandlung der Wechselspannung V_{ac} in eine Gleichspannung V_1 , beispielsweise in Form eines Gleichspannungs-Zwischenkreises (15) vorgesehen ist.
18. Umrichteranordnung nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gleichrichter (1) und die Wandlereinheit (2) als integrierte Umrichterbaugruppe (16) ausgebildet sind.
19. Umrichteranordnung nach Anspruch 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Wechselrichter (17) zur Umwandlung einer Eingangs-Gleichspannung V_{in} in die Wechselspannung V_{ac} vorgesehen ist, wobei gegebenenfalls ein Netzumrichter (6) zur Bereitstellung der Eingangs-Gleichspannung V_{in} vorgesehen ist, und ein Transformator (7) zur Transformierung der Wechselspannung V_{ac} in eine galvanisch getrennte Wechselspannung V_{ac}' vorgesehen ist.
20. Umrichteranordnung nach einem der Ansprüche 17 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wandlereinheit (2) und gegebenenfalls auch der Wechselrichter (1) für einen bidirektionalen Betrieb ausgelegt ist, sodass die Umrichteranordnung auch zur Umwandlung einer Gleichspannung V_2 in eine Wechselspannung V_{ac} ausgebildet ist.
21. Umrichteranordnung nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass auch der Wechselrichter (17) für einen bidirektionalen Betrieb ausgelegt ist, sodass die Umrichteranordnung auch zur Umwandlung einer Gleichspannung V_2 in eine andere Gleichspannung V_{in} ausgebildet ist.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

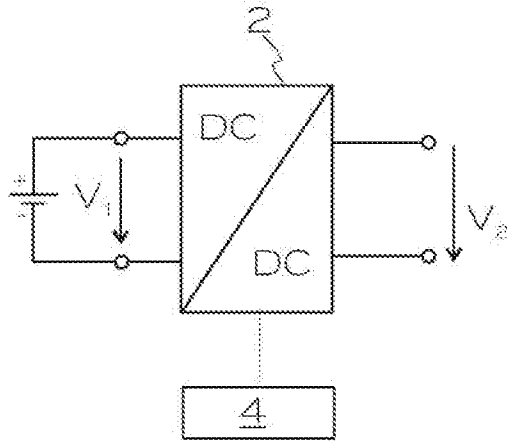


Fig.1a

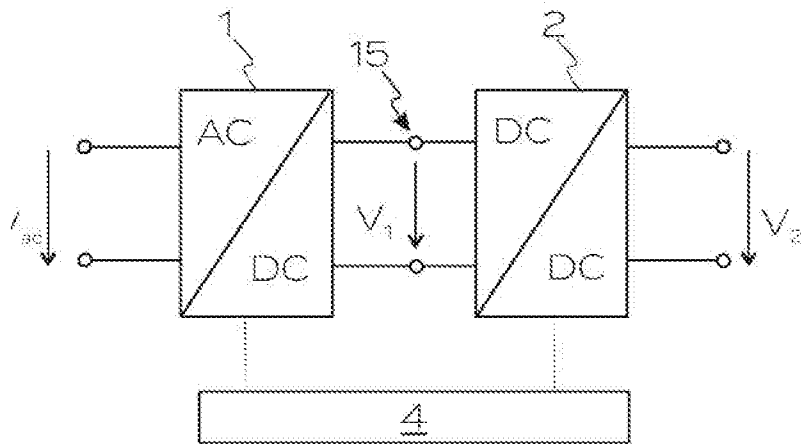


Fig.1b

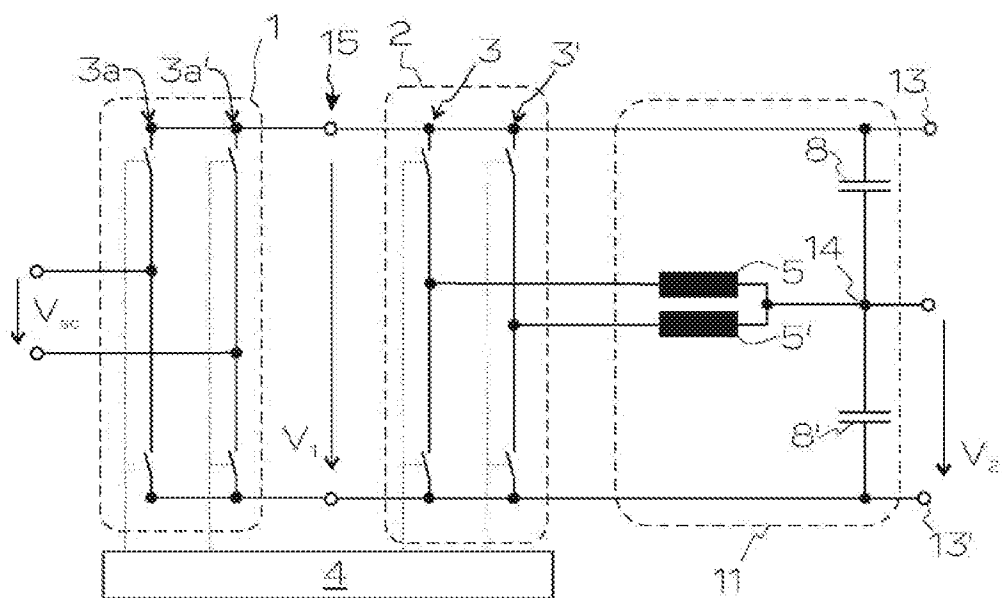


Fig.1c

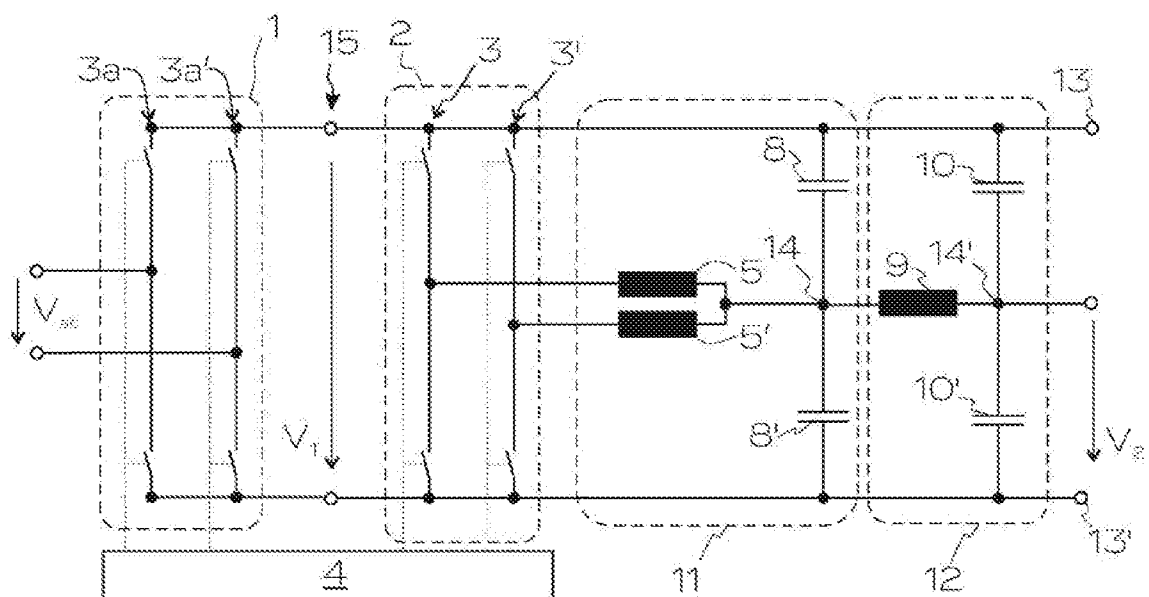


Fig.1d

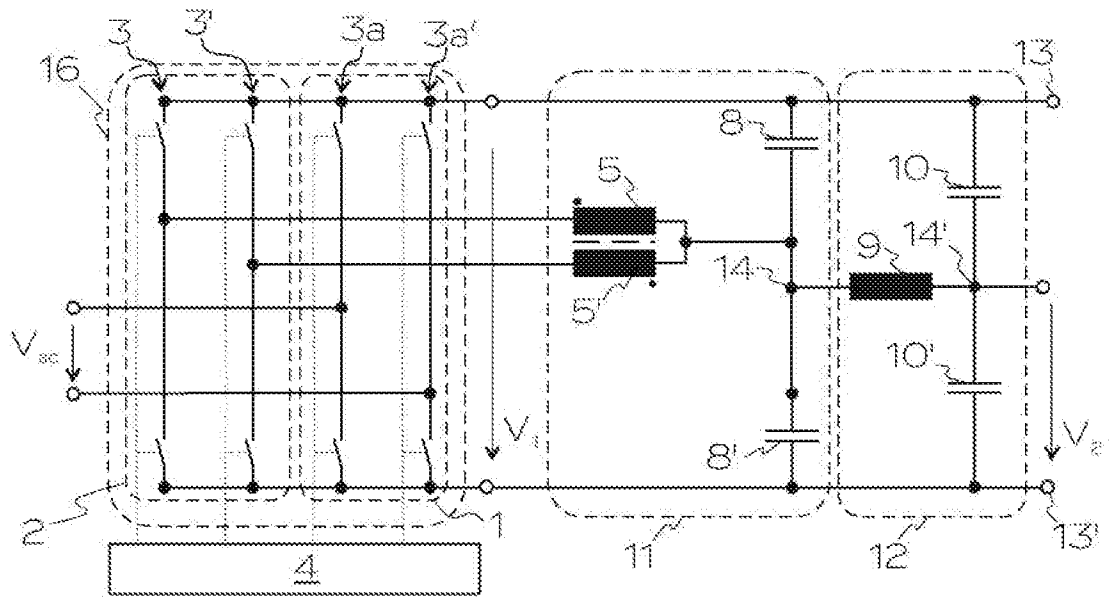


Fig.2a

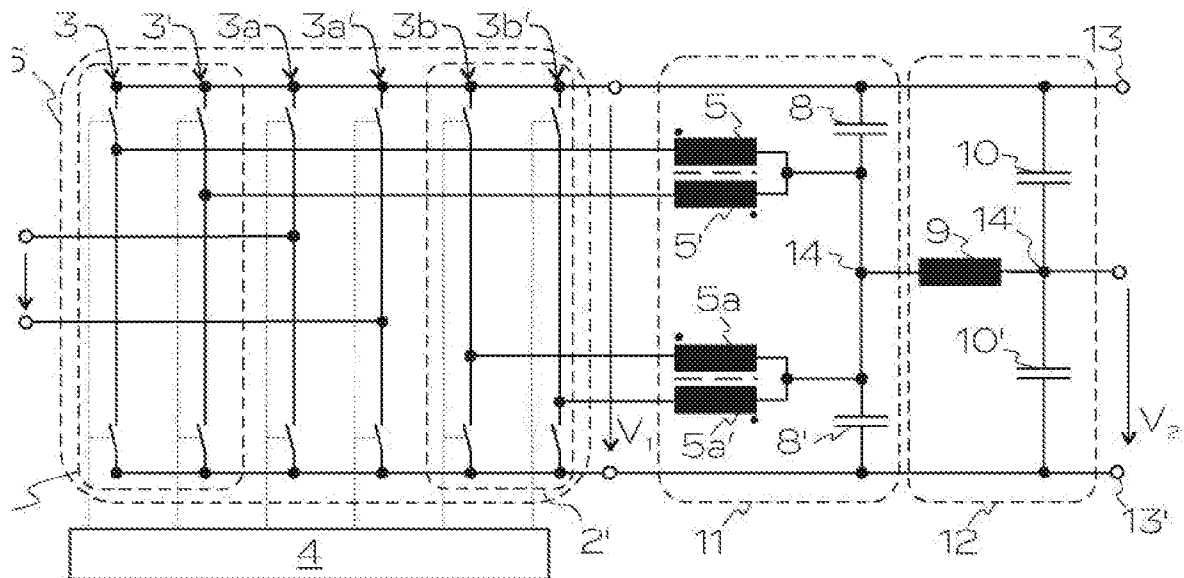


Fig.2b

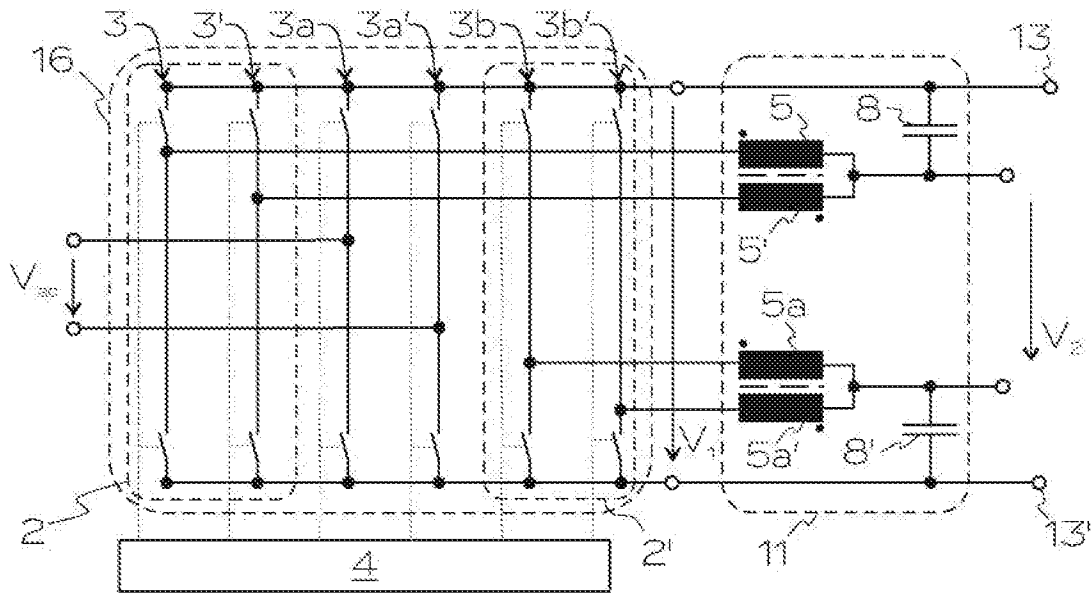


Fig.2c

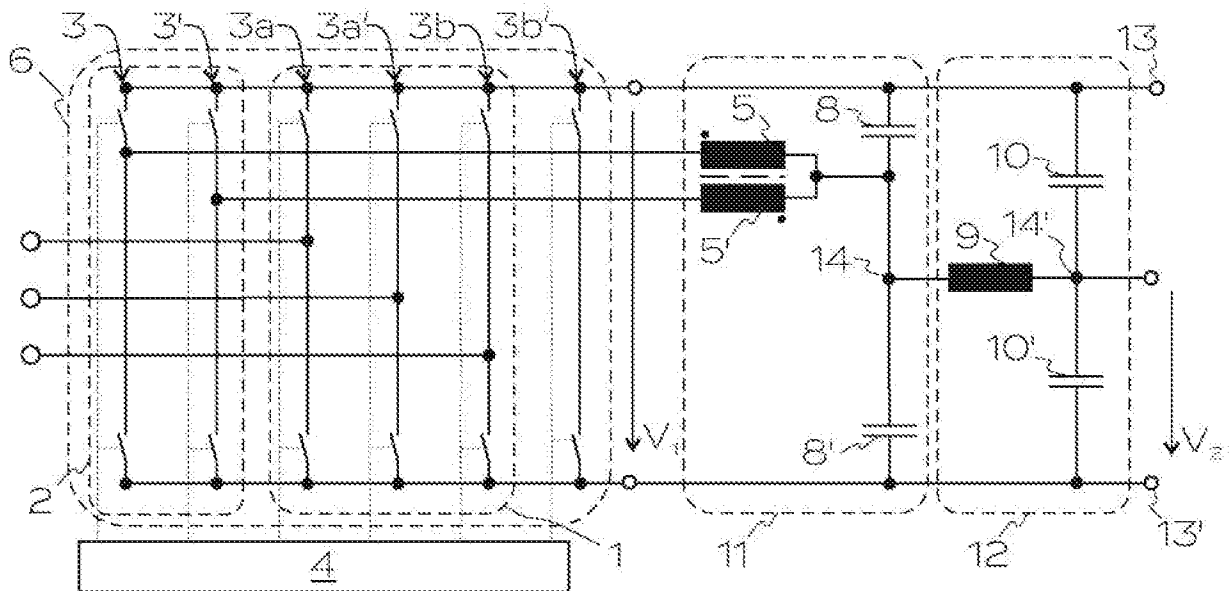


Fig.2d

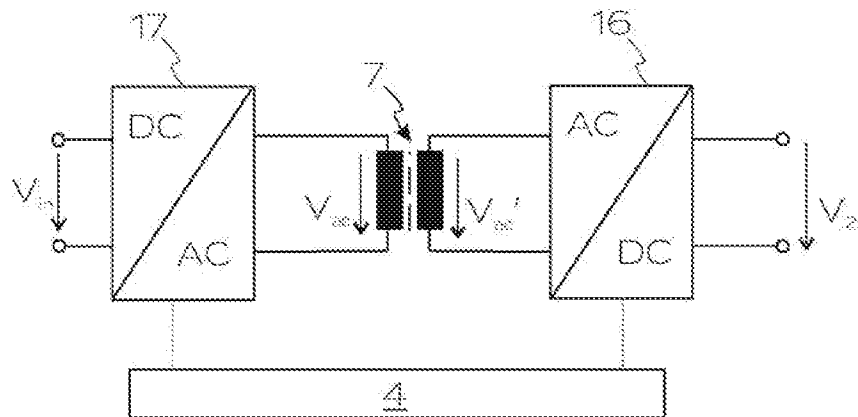


Fig. 3

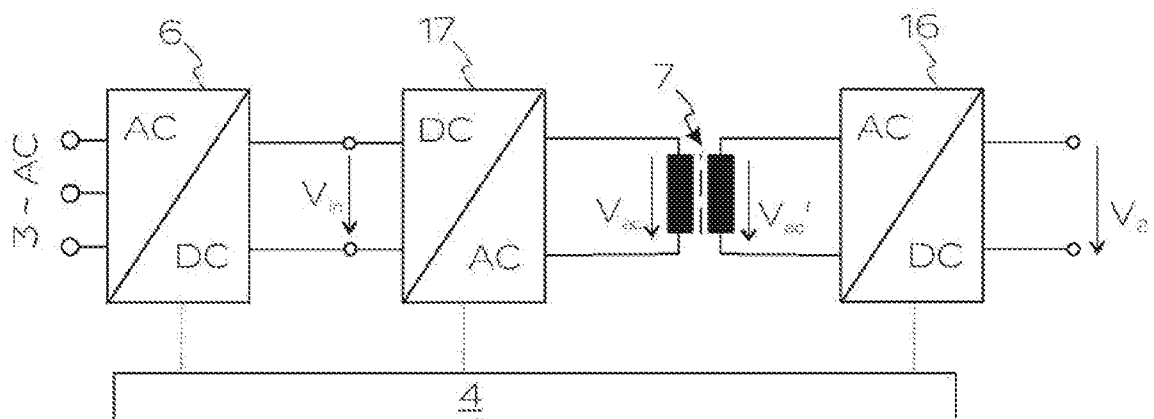


Fig. 4