



(10) **DE 10 2014 005 124 A1** 2015.10.08

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 005 124.2**
 (22) Anmeldetag: **08.04.2014**
 (43) Offenlegungstag: **08.10.2015**

(51) Int Cl.: **H02M 7/797** (2006.01)
G05F 1/67 (2006.01)
H02M 3/158 (2006.01)

(71) Anmelder:
**Karlsruher Institut für Technologie, 76131
 Karlsruhe, DE**

(74) Vertreter:
**Müller-Boré & Partner Patentanwälte PartG mbB,
 80639 München, DE**

(72) Erfinder:
**Kolb, Johannes, 75236 Kämpfelbach, DE;
 Gommeringer, Mario, 78333 Stockach, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:
DE 10 2009 047 936 A1
US 2008 / 0 197 706 A1

**Kim, R.-Y. u.a.: A New Link Potential Control
 Scheme for Four-Level Inverter with Passive**

**Rectifier. In: IEEE, 0-7803-5160-6/99, 1999, 528 -
 534.**

**Lega, A. u.a.: Multilevel converters for UPS
 applications: comparison and implementation. In:
 IEEE European Conference on Power Electronics
 and Applications, Aalborg (DK), 2007, S. 1 - 9.**

**Perantzakis, A. u. a.: A New Four-Level PWM
 Inverter Topology for High Power Applications -
 Effect of Switching Strategies on Power Losses
 Distribution. In: IEEE, 0-7803-8399-0/04, 2004, S.
 4398 - 4404.**

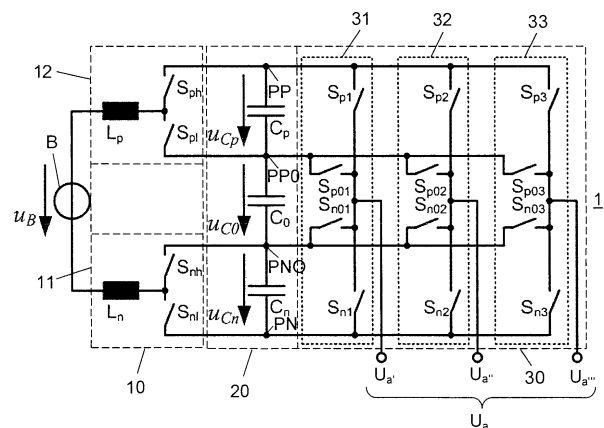
**Santos, E. C. u.a.: Nested Multilevel
 Configurations. In: IEEE, 978-1-4673-0803-8/12,
 2012, S. 324 - 329.**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Schaltungsanordnung und Verfahren zum Austausch elektrischer Energie**

(57) Zusammenfassung: Schaltungsanordnung zum Austausch elektrischer Energie zwischen zumindest einer Gleichspannungsquelle (B) und/oder -senke einerseits und zumindest einer Wechselspannungssenke und/oder -quelle andererseits, mit einem zweigeteilten DC-DC-Steller (10; 10') zum Anschluss der Schaltungsanordnung (1; 1'; 1"; 1''') an den Plus- und Minuspol der Gleichspannungsquelle (B) und/oder -senke, mit einem Wechselrichter (30; 30'; 30"; 30''; 30A'; 30A"; 30B'; 30B"; 30C'; 30C'') für zumindest vier Potentialpunkte mit zumindest einer Phase (31, 32, 33) zum Anschluss der Schaltungsanordnung (1; 1'; 1"; 1''') an die Wechselspannungssenke und/oder -quelle und mit einem zumindest dreiteiligen Spannungswellenkreis (20; 20'), der zwischen den zweigeteilten DC-DC-Steller (10; 10') und den Wechselrichter (30; 30'; 30"; 30''; 30A'; 30A"; 30B'; 30B"; 30C'; 30C'') geschaltet ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung und ein Verfahren zum Austausch elektrischer Energie zwischen einer Gleichspannungsquelle und/oder -senke einerseits und einer Wechselspannungssenke und/oder -quelle andererseits.

[0002] Die Erfindung betrifft ein Teilgebiet der Elektrotechnik, speziell die Leistungselektronik. Die Leistungselektronik beinhaltet allgemein die Umwandlung von elektrischer Energie durch Änderung von Spannung, Strom und/oder Frequenz. Insbesondere betrifft die Erfindung einen gezielten Energieaustausch zwischen einer oder mehreren Gleichspannungsquellen und/oder -senken und ein oder mehrphasigen Wechselspannungsquellen und/oder -senken. Als Gleichspannungsquellen und/oder senken können Batterien, Kondensatoren, insbesondere Doppelschichtkondensatoren, Solarzellen und/oder Brennstoffzellen verwendet werden. Als Wechselspannungssenke und/oder -quelle kann ein Wechselstromnetz oder Drehstromnetz bzw. ein entsprechendes Inselnetz vorgesehen sein. Außerdem sind als Quellen/Senken drei- oder mehrphasige elektrische Maschinen möglich.

[0003] Die Erfindung ist für einen Leistungsbereich der Energiewandlung vorgesehen, der Energiebeträge von wenigen Kilowatt bis zu mehreren Megawatt wandeln kann. Insbesondere ist die Erfindung für elektrische Schaltungen im Niederspannungsbereich und Mittelspannungsbereich vorgesehen.

[0004] Aus dem Dokument DE 10 2009 047 936 A1 ist ein Wechselrichter bekannt, mit dem eine vorliegende Gleichspannung in eine Wechselspannung umgewandelt werden kann. Dabei wird eine Gleichspannungsquelle über einen Hochsetzsteller an einen zweigeteilten Spannungszwischenkreis angeschlossen. Ein Dreipunktwechselrichter steuert die Einspeisung der elektrischen Energie vom zweigeteilten Spannungszwischenkreis in ein Wechselstromnetz. Dabei muss der zweigeteilte Hochsetzsteller an seinem Eingang auf einen Spannungsbereich von 0 bis 100% der Spannung der Gleichspannungsquelle ausgelegt sein. Weiterhin ist eine Energieübertragung nur von der Gleichspannungsquelle auf das Wechselstromnetz möglich.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen verbesserten Energieaustausch zwischen einer Gleichspannungsquelle und/oder -senke und einer Wechselspannungssenke und/oder -quelle bereitzustellen. Die Verbesserung kann zum Beispiel darin liegen, dass preisgünstigere elektrische Bauteile verwendet werden können und/oder eine Energieübertragung in beide Richtungen möglich ist.

[0006] Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind die Gegenstände der abhängigen Ansprüche.

[0007] Gemäß einem Aspekt betrifft die Erfindung eine Schaltungsanordnung zum Austausch elektrischer Energie zwischen zumindest einer Gleichspannungsquelle und/oder -senke einerseits und zumindest einer Wechselspannungssenke und/oder -quelle andererseits mit:

- einem zweigeteilten DC-DC-Steller zum Anschluss der Schaltungsanordnung an den Plus- und Minuspol der Gleichspannungsquelle und/oder -senke,
- einem Wechselrichter für zumindest vier Potentialpunkte mit zumindest einer Phase zum Anschluss der Schaltungsanordnung an die Wechselspannungssenke und/oder -quelle und
- einem zumindest dreiteiligen Spannungszwischenkreis, der zwischen den zweigeteilten DC-DC-Steller und den Wechselrichter geschaltet ist.

[0008] Die Schaltungsanordnung kann zum Austausch elektrischer Energie in beide Richtungen vorgesehen und ausgebildet sein, also in Richtung Gleichspannungsseite und/oder in Richtung Wechselspannungsseite. Alternativ kann die Schaltungsanordnung auch für den Energieaustausch in lediglich eine vorbestimmte Richtung vorgesehen und ausgebildet sein.

[0009] Die Schaltungsanordnung kann zum Austausch elektrischer Energie zwischen mehreren Gleichspannungsquellen und/oder -senken auf der Gleichspannungsseite ausgelegt sein. Z. B. können mehrere Strings von Solarzellen angeschlossen werden und in individuellen Punkten maximaler Leistung betrieben werden. Jede einzelne DC-Quelle kann über mehrere parallel geschaltete DC-DC-Steller angebunden werden. Hierbei sind beliebige Kombinationen möglich. Weiterhin kann die Schaltungsanordnung auch auf der Wechselspannungsseite für den Anschluss mehrerer Wechselspannungssenken und/oder -quellen ausgebildet sein.

[0010] Der zweigeteilte DC-DC-Steller ist zumindest zweigeteilt ausgebildet, was bedeutet, dass der zweigeteilte DC-DC-Steller zumindest zwei Schaltungsteile als Halbbrücken aufweist, von denen jeweils ein Schaltungsteil dem Pluspol und eines dem Minuspol der Gleichspannungsquelle und/oder -senke zugeordnet ist bzw. mit diesen elektrisch verbunden ist. Die Halbbrücken können weiter aufgeteilt sein und weitere Unterbauteile aufweisen. Insbesondere kann der zweigeteilte DC-DC-Steller zwei oder mehrere voneinander unabhängige DC-DC-Steller als seine zwei Schaltungsteile aufweisen, also für jede Halbbrücke zumindest einen eigenen DC-DC-Steller. Der zweigeteilte DC-DC-Steller kann getaktet ansteuer-

bare Schalter aufweisen, die den Stromfluss zwischen der Gleichspannungsquelle und/oder -senke und dem dreiteiligen Spannungszwischenkreis steuern und/oder regeln.

[0011] Der Wechselrichter für zumindest vier Potentialpunkte ist zumindest als ein 4-Punkt-Wechselrichter ausgebildet. Der Wechselrichter ist dazu ausgebildet und vorgesehen, den Stromfluss und den Energiefluss zwischen vier unterschiedlichen Potentialpunkten des dreiteiligen Spannungszwischenkreises und der Wechsellspannungssenke und/oder -quelle zu steuern und/oder zu regeln. Der Wechselrichter kann dazu elektrische Schalter aufweisen, die getaktet durch zum Beispiel eine Pulsweitenmodulation ansteuerbar sind.

[0012] Der zumindest dreiteilige Spannungszwischenkreis ist dazu ausgebildet und vorgesehen, elektrische Energie zwischen der Gleichspannungsseite und der Wechsellspannungsseite in drei Schaltungsteilen des dreiteiligen Spannungszwischenkreises zwischenspeichern und/oder aufzuteilen. Jeder dieser drei Schaltungsteile kann dazu zumindest einen Zwischenspeicher wie zum Beispiel einen Kondensator aufweisen. Der dreiteilige Spannungszwischenkreis kann die vier elektrischen Potentialpunkte für den Wechselrichter bereitstellen und/oder aufweisen. Die vier elektrischen Potentialpunkte können sich dabei alle voneinander unterscheiden, also auf einem jeweils unterschiedlichen elektrischen Potential liegen.

[0013] Die Schaltungsanordnung kann entweder lediglich Anschlüsse für die Gleichspannungsquelle und/oder -senke aufweisen oder die Gleichspannungsquelle und/oder -senke ebenfalls umfassen. Gleiches gilt für die Wechsellspannungsseite: Die Schaltungsanordnung kann entweder lediglich Anschlüsse für die Wechsellspannungssenke und/oder Quelle aufweisen oder die Wechsellspannungssenke und/oder -quelle umfassen. Die jeweiligen Anschlüsse können als Eingänge, als Ausgänge oder als Ein- und Ausgänge der Schaltungsanordnung ausgebildet sein.

[0014] Die Höhe der Gleichspannung der Gleichspannungsquelle und/oder -senke kann dabei kleiner als die doppelte Amplitude der Wechsellspannung sein, da die leistungselektronische Schaltungsanordnung eine Anpassung an eine variable Höhe der Gleichspannung für den Energieaustausch ermöglicht. Die Wechsellspannung kann sowohl in der Frequenz als auch in der Amplitude konstant oder variabel ausgebildet sein. Weiterhin ist die Speisung von elektrischen Maschinen mit drei oder mehr Phasen durch die Schaltungsanordnung problemlos realisierbar, da die Schaltungsanordnung ein in der Amplitude und Frequenz variables Spannungssystem bereitstellt.

[0015] Der dreigeteilte Spannungszwischenkreis ist als energetische Schnittstelle zwischen dem zweigeteilten DC-DC-Steller und dem Wechselrichter ausgebildet und vorgesehen. Der zweigeteilte DC-DC-Steller ermöglicht einen Energieaustausch zwischen der Gleichspannungsseite und dem geteilten Spannungszwischenkreis.

[0016] Je nach Ausführung kann ein Energieaustausch zwischen der Gleichspannungsseite und der Wechsellspannungsseite in eine oder beide Richtungen erfolgen. Der Wechselrichter für die zumindest vier Potentialpunkte ermöglicht einen Energieaustausch über vier Potentialpunkte (auch genannt Level, Pole oder Stufen wie bei einem Mehrstufenwechselrichter) mit dem zweigeteilten DC-DC-Steller über den Spannungszwischenkreis. Der Wechselrichter für die zumindest vier Potentialpunkte erzeugt einen Spannungsverlauf mit höherer Qualität bzw. niedrigeren Oberschwingungen als Zwei-Punkt- oder Drei-Punkt-Wechselrichter. Für eine Symmetrierung der Energien in den Kondensatoren ist es vorteilhaft, wenn der Vier-Punkt-Wechselrichter über alle vier Potentiale von der DC-Seite versorgt wird, anstatt ihn nur über die beiden äußeren Potentiale zu versorgen. Dadurch verbessert sich die Qualität der Wechsellspannung im Vergleich zu zweipolig gespeisten Wechselrichtern.

[0017] Durch die Aufteilung des Spannungszwischenkreises in zumindest drei Teile ermöglicht die Schaltungsanordnung die Verwendung von kostengünstigeren Leistungselektronik-Bauteilen in dem zweigeteilten DC-DC-Steller, da die einzelnen Bauelemente nur noch für lediglich Bruchteile der Spannung der Gleichspannungsquelle und/oder -senke ausgelegt sein müssen. In einer Ausführungsform ist der zweigeteilte DC-DC-Steller lediglich für maximal 70%, bevorzugt für maximal 60%, besonders bevorzugt für maximal 50%, weiterhin besonders bevorzugt für maximal 30% der Gleichspannung ausgelegt. Im Gegensatz dazu müssen die Bauteile der Leistungselektronik gemäß Stand der Technik für 0 bis 100% der Spannung der Gleichspannungsseite ausgelegt sein. Dadurch werden die Gesamtkosten der Schaltungsanordnung zum Energieaustausch zwischen einer Gleichspannungsseite und einer Wechsellspannungsseite reduziert.

[0018] Gemäß einer Ausführungsform steuert und/oder regelt der zweigeteilte DC-DC-Steller den Austausch elektrischer Energie zwischen der Gleichspannungsquelle und/oder -senke und dem dreiteiligen Spannungszwischenkreis. Der Ausdruck "steuern und/oder regeln" umfasst dabei den englischen Begriff "controlling".

[0019] Gemäß einer Ausführungsform ist ein erster Schaltungsteil des zweigeteilten DC-DC-Stellers elektrisch mit dem Minuspol der Gleichspannungs-

quelle und/oder -senke verbunden, und ein zweiter Schaltungsteil des zweigeteilten DC-DC-Stellers ist elektrisch mit dem Pluspol der Gleichspannungsquelle und/oder -senke verbunden. Der erste und zweite Schaltungsteil des zweigeteilten DC-DC-Stellers sind dabei jeweils dafür ausgebildet und vorgesehen, den Stromfluss und Energiefluss zwischen dem jeweiligen Pol der Gleichspannungsseite und einem Potentialpunkt des dreigeteilten Spannungszwischenkreises zu steuern und/oder zu regeln.

[0020] Gemäß einer Ausführungsform weist ein erster Schaltungsteil und ein zweiter Schaltungsteil des zweigeteilten DC-DC-Stellers jeweils einen Hochsetzsteller, einen Tiefsetzsteller oder einen Hoch-Tiefsetzsteller auf. Der zweigeteilte DC-DC-Steller ist somit als Schaltungselement mit zwei zum Beispiel unabhängig voneinander ansteuerbaren Schaltungsteilen ausgebildet, die jeweils als ein eigenständiger DC-DC-Steller ausgebildet sind. Die zwei Schaltungsteile des zweigeteilten DC-DC-Stellers können weitere Elemente aufweisen und/oder weiter unterteilt sein. Abhängig davon, ob die Schaltungsteile des zweigeteilten DC-DC-Stellers als ein Hochsetzsteller oder Tiefsetzsteller bzw. ein Hoch-Tiefsetzsteller ausgebildet sind, eignet sich die Schaltungsanordnung selber entweder nur zum Energieaustausch in eine Richtung (also zum Beispiel von der Gleichspannungsseite zur Wechsellspannungsseite oder umgekehrt) oder in beide Richtungen.

[0021] In einer Weiterbildung dieser Ausführungsform sind der erste Schaltungsteil und der zweite Schaltungsteil des zweigeteilten DC-DC-Stellers symmetrisch zueinander ausgebildet und weisen sich gleichende, einander entsprechende Schaltungselemente auf. Die beiden Schaltungsteile können dabei insbesondere baugleich ausgebildet sein, zum Beispiel als zwei baugleiche Tiefsetzsteller, Hochsetzsteller oder Hoch-Tiefsetzsteller. Die beiden Schaltungsteile können auch asymmetrisch zueinander aufgebaut sein, so dass der erste Schaltungsteil zum Anschluss an den Minuspol der Gleichspannungsseite vorgesehen und ausgebildet ist, während der zweite Schaltungsteil zum Anschluss an den Pluspol der Gleichspannungsseite ausgelegt und vorgesehen ist.

[0022] Gemäß einer Ausführungsform weist der dreiteilige Spannungszwischenkreis zumindest drei in Serie geschaltete Kondensatoren auf. Weiterhin weist der dreiteilige Spannungszwischenkreis jeweils zwischen den in Serie geschalteten Kondensatoren und an den beiden äußeren Enden der zumindest drei in Serie geschalteten Kondensatoren elektrische Potentialpunkte zur Kontaktierung sowohl durch den zweigeteilten DC-DC-Steller als auch durch den Wechselrichter auf. Somit werden durch den dreiteiligen Spannungszwischenkreis zumindest vier unterschiedliche Potentialpunkte bereitgestellt. Die drei Kondensatoren können mehrteilig ausge-

bildet sein, so dass ein einzelner der drei Kondensatoren auch zwei oder mehrere z. B. in Serie oder parallel geschaltete Kondensatoren aufweisen kann. Die drei in Serie geschalteten Kondensatoren dienen als Zwischenspeicher zum Zwischenspeichern der elektrischen Energie auf dem Weg von der Gleichspannungsseite zur Wechsellspannungsseite und/oder umgekehrt.

[0023] In einer Weiterbildung dieser Ausführungsform ist ein Minuskondensator des dreiteiligen Spannungszwischenkreises über einen ersten Schaltungsteil des zweigeteilten DC-DC-Stellers dem Minuspol der Gleichspannungsquelle und/oder -senke zugeordnet. Ein Pluskondensator des dreiteiligen Spannungszwischenkreises ist über einen zweiten Schaltungsteil des zweigeteilten DC-DC-Stellers dem Pluspol der Gleichspannungsquelle und/oder Senke zugeordnet. Ein Mittenkondensator ist in Serie mit und zwischen den Minuskondensator und den Pluskondensator geschaltet. Der Minuskondensator, der Pluskondensator und der Mittenkondensator bilden dabei die drei in Serie geschalteten Kondensatoren des dreiteiligen Spannungszwischenkreises. 'Zugeordnet' kann dabei bedeuten, dass das erste bzw. zweite Schaltungsteil den Stromfluss und Energiefluss vom bzw. zum Pol der Gleichspannungsquelle und/oder -senke zum bzw. vom jeweiligen Kondensator steuert und/oder regelt. Durch das erste und zweite Schaltungsteil kann dabei insbesondere steuerbar und/oder regelbar sein, mit welcher Seite des jeweiligen Kondensators der jeweilige Pol der Gleichspannungsquelle und/oder -senke verbunden wird.

[0024] In einer Weiterbildung dieser Ausführungsform weist die Gleichspannungsquelle und/oder -senke ein Mittelpotential auf. Dabei ist der Mittenkondensator des dreiteiligen Spannungszwischenkreises zweiteilig ausgebildet, wobei das Mittelpotential der Gleichspannungsquelle und/oder -senke elektrisch zwischen den zweiteiligen Mittenkondensator geschaltet ist. Der Minuskondensator und der Pluskondensator sowie die beiden zugehörigen ersten und zweiten Schaltungsteile des zweigeteilten DC-DC-Stellers sind dabei symmetrisch zum Mittelpotential angeordnet und ausgebildet. Dabei kann der Wechselrichter, wenn er zum Beispiel einphasig ausgebildet ist, die Wechsellspannung zum Mittelpotential steuern und/oder regeln.

[0025] In der Ausführungsform mit den drei in Serie geschalteten Kondensatoren kann der Wechselrichter dazu ausgebildet und vorgesehen sein, das elektrische Potential an jeweils einem der vier Potentialpunkte des dreigeteilten Spannungszwischenkreises zu und/oder von einer Phasenspannung der Wechsellspannung der Wechsellspannungssenke und/oder -quelle zu modulieren. Eine entsprechende Phasenschaltung des Wechselrichters kann somit als Ausgang und/oder Eingang für den Strom auf der

Wechselspannungsseite ausgebildet und vorgesehen sein. Der Wechselrichter steuert und/oder regelt die elektrische Verbindung zwischen den vier Potentialpunkten des dreigeteilten Spannungszwischenkreises und zu den Strom- bzw. Spannungseingängen und/oder -ausgängen der Schaltungsanordnung auf der Wechselspannungsseite. Der Wechselrichter kann weiterhin elektronische Schalter aufweisen, die zum Beispiel mittels einer Pulsweitenmodulation so getaktet sein können, dass sich die gewünschte Wechselspannung bzw. Gleichspannung ergibt. Die Schalter können als leistungselektronische Bauteile ausgebildet sein.

[0026] Gemäß einer Ausführungsform steuert und/oder regelt der Wechselrichter eine elektrische Kontaktierung zwischen elektrischen Potentialpunkten des dreiteiligen Spannungszwischenkreises und der Wechselspannungssenke und/oder -quelle. Dies kann zum Beispiel durch eine Pulsweitenmodulation erfolgen.

[0027] Gemäß einer Ausführungsform moduliert der Wechselrichter die Spannung an elektrischen Potentialpunkten des dreiteiligen Spannungszwischenkreises mittels einer Pulsweitenmodulation zu einer Ausgangswechselspannung für die Wechselspannungssenke. Alternativ oder zusätzlich kann der Wechselrichter eine Eingangswchselspannung der Wechselspannungsquelle als ein PWM-Signal modulieren und an elektrische Potentialpunkte des dreiteiligen Spannungszwischenkreises anlegen.

[0028] Der Begriff modulieren kann ein „demodulieren“ umfassen.

[0029] Gemäß einer Ausführungsform ist der Wechselrichter zweiphasig ausgebildet und moduliert eine Wechselspannung als Summe zweier Phasenspannungen an zwei seiner Phasenschaltungsteilen. Alternativ kann der Wechselrichter dreiphasig mit drei Phasenschaltungsteilen ausgebildet sein und eine Wechselspannung an den drei Phasenspannungsschaltungsteilen modulieren. Für die Einspeisung von Energie in ein Wechselspannungsnetz bzw. für die Bildung einer Wechselspannung am Ausgang der Schaltungsanordnung ist der Wechselrichter bevorzugt ein- oder zweiphasig ausgebildet. Für die Einspeisung von Energie in ein Drehstromnetz, für die Versorgung einer Drehstrommaschine oder allgemein zur Bildung eines Drehspannungssystems ist der Wechselrichter bevorzugt dreiphasig ausgebildet. Bei Industriemaschinen und/oder Maschinen aus dem Automobilbereich mit mehr als drei elektrischen Phasen kann der Wechselrichter um eine entsprechende Anzahl von Phasenschaltungsteilen erweitert ausgebildet sein.

[0030] In einer Ausführungsform ist der Wechselrichter als 4-Punkt-Wechselrichter, als 2×2 -Punkt-

Wechselrichter, als 2×3 -Punkt-Wechselrichter oder als 1×3 -Punkt-Wechselrichter in Kombination mit einem 1×2 -Punkt Wechselrichter ausgebildet. In jedem Fall ist der Wechselrichter dazu ausgebildet und vorgesehen, zumindest vier unterschiedliche Potentialpunkte anzusteuern und/oder zu regeln. Insbesondere kann der Wechselrichter z. B. als ein 4-Level Diode-Clamped Wechselrichter, als ein 4-Level T-Type Wechselrichter, als ein 4-Level Multi-Point-Clamped Wechselrichter oder ein 4-Level Active-Neutral-Point-Clamped Wechselrichter ausgebildet sein.

[0031] Ein Aspekt betrifft ein Verfahren zum Austausch elektrischer Energie zwischen zumindest einer Gleichspannungsquelle und/oder -senke einerseits und zumindest einer Wechselspannungssenke und/oder -quelle andererseits, wobei

- ein zweigeteilter DC-DC-Steller die elektrischen Verbindungen zwischen dem Plus- und dem Minuspol der Gleichspannungsquelle und/oder -senke einerseits und elektrischen Potentialpunkten eines dreiteiligen Spannungszwischenkreises andererseits steuert und/oder regelt und
- ein Wechselrichter die elektrischen Verbindungen zwischen der Wechselspannungssenke und/oder -quelle den elektrischen Potentialpunkten des dreiteiligen Spannungszwischenkreises steuert und/oder regelt.

[0032] Mittels des Verfahrens kann die Schaltungsanordnung gemäß dem ersten Aspekt angesteuert werden.

[0033] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von in Figuren gezeigten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Einzelne, in den Figuren gezeigte Merkmale der Ausführungsformen können mit anderen, zum Beispiel in anderen Figuren gezeigten Ausführungsformen kombiniert werden. Es zeigt:

[0034] Fig. 1 ein Schaltbild einer Schaltungsanordnung mit einem zweigeteilten DC-DC-Steller, einem dreigeteilten Spannungszwischenkreis und einem dreiphasigen 4-Punkt-Wechselrichter;

[0035] Fig. 2 ein Schaltbild einer Schaltungsanordnung gemäß einer Ausführungsform, bei der eine Gleichspannungsquelle einen Spannungsmittelpunkt aufweist, und bei der ein mittlerer Kondensator eines Spannungszwischenkreises zweigeteilt ausgebildet ist, wobei der mittlere Potentialpunkt geerdet ist;

[0036] Fig. 3 ein Schaltbild einer Schaltungsanordnung gemäß einer Ausführungsform, bei der ein zweigeteilter DC-DC-Steller in jedem seiner beiden Schaltungsteile mehrere parallele DC-DC-Steller aufweist;

[0037] Fig. 4 ein Schaltbild einer Schaltungsanordnung gemäß einer Ausführungsform, bei der meh-

rere Gleichspannungsquellen über parallele DC-DC-Steller eines zweigeteilten DC-DC-Stellers an einen dreigeteilten Spannungszwischenkreis angeschlossen sind;

[0038] Fig. 5 in sechs Diagrammen, wie einzelne Schalter eines 4-Punkt-Wechselrichters so angesteuert werden, dass mit Hilfe eines Trägerverfahrens eine Wechselspannung als Summe einzelner Phasenspannungen erzeugt wird;

[0039] Fig. 6A ein Schaltbild eines dreigeteilten Spannungszwischenkreises mit einem 4-Level Diode-Clamped Inverter als Wechselrichter;

[0040] Fig. 6B ein Schaltbild eines dreigeteilten Spannungszwischenkreises mit einem ersten 4-Level T-Type Inverter als Wechselrichter;

[0041] Fig. 6C ein Schaltbild eines dreigeteilten Spannungszwischenkreises mit einem zweiten 4-Level T-Type Inverter als Wechselrichter;

[0042] Fig. 7A ein Schaltbild eines dreigeteilten Spannungszwischenkreises mit einem 4-Level Multi-Point-Clamped Inverter als Wechselrichter;

[0043] Fig. 7B ein Schaltbild eines dreigeteilten Spannungszwischenkreises mit einem 4-Level Active-Neutral-Point Clamped Inverter als Wechselrichter;

[0044] Fig. 8A ein Schaltbild einer Schaltungsanordnung gemäß einer Ausführungsform mit einem 2×2 -Level-Wechselrichter als Wechselrichter mit getrennten Wicklungen;

[0045] Fig. 8B ein Schaltbild einer Schaltungsanordnung gemäß einer Ausführungsform mit einem 2×3 -Level-Wechselrichter als Wechselrichter mit getrennten Wicklungen;

[0046] Fig. 9A ein Schaltbild einer Schaltungsanordnung gemäß einer Ausführungsform mit einem 2×2 -Level-Wechselrichter als Wechselrichter mit induktiver Kopplung zwischen zwei Halbbrücken des Wechselrichters und

[0047] Fig. 9B ein Schaltbild einer Schaltungsanordnung gemäß einer Ausführungsform mit einem 2×3 -Level-Wechselrichter als Wechselrichter mit induktiver Kopplung zwischen zwei Halbbrücken des Wechselrichters.

[0048] Fig. 1 zeigt ein Schaltbild einer Schaltungsanordnung **1** zum Austausch elektrischer Energie zwischen einer Gleichspannungsquelle und/oder -senke B einerseits und einer Wechselspannungssenke und/oder -quelle andererseits. Die Schaltungsanordnung **1** weist einen zweigeteilten DC-DC-Steller

10 auf, der mit dem Plus- und Minuspol der Gleichspannungsquelle B verbunden ist. Der zweigeteilte DC-DC-Steller **10** regelt den Stromfluss von und zu einem dreigeteilten Spannungszwischenkreis **20**. Der Spannungszwischenkreis **20** ist zwischen den zweigeteilten DC-DC-Steller **10** und einen Wechselrichter **30** zwischengeschaltet, der als dreiphasiger 4-Punkt-Wechselrichter ausgebildet ist. Der Wechselrichter **30** weist drei Phasenschaltungsteile **31**, **32** und **33** auf, die jeweils einen Ausgang (und/oder Eingang) aufweisen, an dem die Schaltungsanordnung jeweils eine Phasenspannung $U_{a'}$, $U_{a''}$ und $U_{a'''}$ bereitstellt. Eine Wechselspannung U_a setzt sich aus den drei einzelnen Phasenspannungen $U_{a'}$, $U_{a''}$ und $U_{a'''}$ zusammen, die an den drei Phasenschaltungsteilen **31**, **32**, **33** des Wechselrichters **30** bereitgestellt werden.

[0049] Die in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele sind Ausführungsformen, bei denen in der Regel ein Energieübertrag von einer Gleichspannungsquelle zu einer Wechselstromsenke erfolgt. Alternativ oder zusätzlich könnte die Gleichspannungsquelle B auch als eine Gleichspannungssenke ausgebildet sein, die von der Schaltungsanordnung mit einer Gleichspannung versorgt wird, die von einer Wechselspannungsquelle mit der Wechselspannung U_a eingespeist wird. Lediglich der Übersichtlichkeit halber werden die Figuren nur so beschrieben, dass ein Energieübertrag von der Gleichspannungsseite auf die Wechselspannungsseite erfolgt. Eine Energieübertragung in die Gegenrichtung ist – auch wenn nicht explizit beschrieben – ebenfalls möglich und realisierbar.

[0050] Der zweigeteilte DC-DC-Steller **10** weist einen ersten Schaltungsteil **11** und einen zweiten Schaltungsteil **12** auf. Der erste Schaltungsteil **11** ist mit dem Minuspol der Gleichspannungsquelle B verbunden. Der zweite Schaltungsteil **12** ist mit dem Pluspol der Gleichspannungsquelle B verbunden. Der erste Schaltungsteil **11** und der zweite Schaltungsteil **12** sind jeweils als ein Hoch-Tief-Setzsteller ausgebildet. Dazu weist der erste Schaltungsteil **11** eine Minusspule L_n auf, über die der erste Schaltungsteil **11** mit dem Minuspol der Gleichspannungsquelle B verbunden ist. Die Minusspule L_n wirkt als eine Speicherdrossel, kurz als 'Drossel' bezeichnet. Der erste Schaltungsteil **11** weist weiterhin einen äußeren Minusschalter S_{n1} auf, sowie einen inneren Minusschalter S_{nh} . Je nach Schalterstellung des äußeren Minusschalters S_{n1} und des inneren Minusschalters S_{nh} steuert und/oder regelt der erste Schaltungsteil **11**, mit welchem Potentialpunkt des dreigeteilten Spannungszwischenkreises **20** der Minuspol der Gleichspannungsquelle B wie lange verbunden ist bzw. wird.

[0051] Analog dazu weist der zweite Schaltungsteil **12** eine Plusspule L_p auf, die als Speicherdrossel dient. Über einen inneren Plusrichter S_{p1} und ei-

nen äußeren Plusschalter S_{ph} steuert und/oder regelt der zweite Schaltungsteil **12**, mit welchem Potentialpunkt des Spannungszwischenkreises **20** der Pluspunkt der Gleichspannungsquelle B verbunden wird. Die beiden Schaltungsteile **11** und **12** sind als Halbbrücken des zweigeteilten DC-DC-Stellers ausgebildet.

[0052] Der dreiteilige Spannungszwischenkreis **20** weist drei in Serie geschaltete Kondensatoren auf, nämlich einen Pluskondensator C_p , einen Mittenkondensator C_0 und einen Minuskondensator C_n . An diesen drei Kondensatoren liegt jeweils die Plusspannung U_{Cp} , die Mittenspannung U_{C0} und die Minusspannung U_{Cn} an, wie in **Fig. 1** gezeigt.

[0053] Durch die drei in Serie geschalteten Kondensatoren stellt der dreigeteilte Spannungszwischenkreis **20** vier unterschiedliche Potentialpunkte bereit: An der Plusseite des Pluskondensators C_p den Pluspotentialpunkt PP, an der gegenüberliegenden Seite des Pluskondensators C_p den Plusmittenpotentialpunkt PP0, der gleichzeitig an der positiven Seite des Mittenkondensators C_0 anliegt. An der anderen Seite des Mittenkondensators C_0 , nämlich zwischen dem Mittenkondensator C_0 und dem Minuskondensator C_n ist der Minusmittenpotentialpunkt PN0 angeordnet. Auf der anderen Seite des Kondensators C_n , also auf der Höhe des niedrigsten elektrischen Potentials, ist ein Minuspotentialpunkt PN angeordnet.

[0054] Der erste Schaltungsteil **11** des DC-DC-Stellers **10** steuert und/oder regelt, ob der Minuspol der Spannungsquelle B über die Drossel L_n mit dem Minuspotentialpunkt PN oder dem Minusmittenpotentialpunkt PN0 verbunden ist. Der zweite Schaltungsteil **12** des zweigeteilten DC-DC-Stellers **10** steuert und/oder regelt, ob der Pluspol der Gleichspannungsquelle B über die Speicherdrossel L_p mit dem Pluspotentialpunkt PP oder dem Plusmittenpotentialpunkt PP0 verbunden ist.

[0055] Der Wechselrichter **30** weist in jedem Phaseschaltungsteil **31**, **32** und **33** einen Positivschalter S_{pi} , einen Mittepositivschalter S_{p0i} , einen Mittennegativschalter S_{n0i} und einen Negativschalter S_{ni} auf, wobei der Buchstabe i für die jeweilige Phase steht mit $i = 1, 2$ oder 3 . Über diese vier Schalter steuert und/oder regelt der Wechselrichter **30** für jeden Phaseschaltungsteil, welcher Potentialpunkt des Zwischenkreises **20** an einem der Ausgangspotentiale der Phasenspannungen U_a , U_a'' und U_a''' anliegt. Aus diesen drei Phasenspannungen U_a , U_a'' und U_a''' setzt sich die Ausgangswchselspannung U_a zusammen.

[0056] Der zweigeteilte DC-DC-Steller **10** kann zum Beispiel aus zwei identischen Hoch-Tief-Setzstellern bestehen, deren Halbbrücken aus den Schaltern S_{ph} und S_{pl} bzw. S_{nh} und S_{nl} bestehen, und die an den Pluskondensator C_p bzw. den Minuskondensator C_n

angeschlossen sind. Die Schalter des DC-DC-Stellers **10** und/oder die Schalter des Wechselrichters **30** können als leistungselektronische Halbleiterschalter ausgebildet sein, wie zum Beispiel als MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) oder als IGBT (insulated-gate bipolar transistor) mit oder ohne antiparallel geschalteter Diode. Über die Drosseln L_p und L_n wird die Gleichspannungsquelle B mit der Spannung U_B an die Schaltungsanordnung angeschlossen. Für den Fall, dass die Spannungsquelle B keinen weiteren Anschluss zum Beispiel als Mittelpotential (vgl. unten **Fig. 2**) an ein bestimmtes Erd- oder Bezugspotential benötigt, kann eine der beiden Drosseln L_p oder L_n weggelassen werden.

[0057] Der für die Schaltungsanordnung **1** zulässige, variable Spannungsbereich von U_B geht von der Mittenspannung U_{C0} bis zu der Summe der drei Teilspannungen $U_{Cp} + U_{C0} + U_{Cn}$. Somit erfüllt die Gleichspannung U_B die Gleichung $U_{C0} \leq U_B \leq U_{Cp} + U_{C0} + U_{Cn}$. Wird das Verhältnis der Mittenspannung U_{C0} zu den aus Symmetriegründen üblicherweise, aber nicht notwendigerweise im Wesentlichen gleich hoch gewählten äußeren Spannungen U_{Cp} gleich U_{Cn} entsprechend gewählt, ist der Spannungsbereich für typische Anwendungen ausreichend groß, zum Beispiel bei Anwendungen bei denen Batterien, Solarzellen, Kondensatoren, Brennstoffzellen etc. als Gleichspannungsquelle mit variabler Spannungshöhe zum Einsatz kommen.

[0058] Durch diese Anordnung der Schaltungsanordnung **1** kann die Sperrspannung der Halbleiterbauelemente im zweigeteilten DC-DC-Steller (wie z. B. die vier Schalter S_{ph} , S_{pl} , S_{nh} und S_{nl}) deutlich kleiner gewählt werden als in konventionellen Schaltungen mit Hoch-Tiefsetzstellern. Dadurch wird der Bauteilaufwand für die Leistungshalbleiter reduziert. Weiterhin weisen Leistungshalbleiter, die für kleinere Sperrspannungen ausgebildet sind, einen reduzierten Ohmschen Widerstand im eingeschalteten Zustand auf. Dies hat zur Folge, dass die in den Halbleitern auftretenden Verluste bei Verwendung von kommerziell verfügbaren Standardbauteilen allein durch diese Schaltungstopologie verringert werden können.

[0059] Weiterhin sind Leistungshalbleiter mit niedriger Sperrspannung in der Lage, bei höheren Schaltfrequenzen zu arbeiten, was grundsätzlich den Bauaufwand der Drosseln L_p und L_n verringert bzw. Verluste durch Oberschwingungen im Strom vermindert. Da die über diese beiden Drosseln auftretende Spannungszeitfläche durch den Anschluss des geteilten DC-DC-Stellers **10** an den beiden Teilspannungen U_{Cp} und U_{Cn} deutlich kleiner als bei konventionellen Hoch-Tiefsetzstellern ausfällt, wird der Bauaufwand dieser Drosseln stark reduziert. Somit sinkt insgesamt der Bauaufwand der Drosseln und der Wirkungsgrad des DC-DC-Stellers **10** steigt.

[0060] Fig. 2 zeigt in einem Schaltbild ein Ausführungsbeispiel einer Schaltungsanordnung **1'** für eine Spannungsquelle mit einem Mittelanschluss, der zum Beispiel elektrisch auf Masse liegt. Die Schaltungsanordnung **1'** weist einen Spannungszwischenkreis **20** auf, bei dem der Mittenkondensator aus zwei in Serie geschalteten Einzelkondensatoren besteht, nämlich dem Mitten-Minuskondensator C_{0n} und dem Mitten-Pluskondensator C_{0p} . Das Mittenpotential der Gleichspannungsquelle liegt ebenso wie der mittlere Potentialpunkt des Spannungszwischenkreises **20'** auf elektrischer Masse.

[0061] Fig. 3 zeigt eine Schaltungsanordnung **1''**, mit der sowohl die Betriebseigenschaften als auch der leistungselektronische Aufwand der Schaltungsanordnung durch eine Parallelisierung von mehreren DC-DC-Stellern weiter verbessert worden ist. Der zweigeteilte DC-DC-Steller **10'** weist einen ersten Schaltungsteil **11'** und einen zweiten Schaltungsteil **12'** auf. Es könnten auch mehr als zwei jeweils parallele DC-DC-Steller vorgesehen sein. Beide Schaltungsteile, also beide Halbbrücken, weisen jeweils zwei parallele DC-DC-Steller auf, was einen Einsatz der Schaltungsanordnung **1''** für einen Energieaustausch in beide Richtungen ermöglicht, also von der Gleichspannungsseite zur Wechselspannungsseite und umgekehrt.

[0062] Durch ein versetztes Takten der einzelnen Halbbrücken im zweigeteilten DC-DC-Steller **10'** wird der Bauaufwand sowohl der Drosseln L_{p1} , L_{p2} , L_{n1} und L_{n2} als auch der Kondensatoren aufgrund einer geringeren Wechselstrombelastung gesenkt. Im Teillastbereich kann die Abschaltung einzelner Halbbrücken zu Vorteilen im Wirkungsgrad führen. Weisen die beiden als Halbbrücken ausgebildeten Schaltungsteile **11'** und **12'** jeweils zwei aktive Halbleiterschalter auf, nämlich die Schalter $S_{p/nhx}$ und $S_{p/nlx}$ (mit $x = 1, 2, \dots$ als Nummer der Phase des DC-DC-Stellers), kann in beide Richtungen elektrische Energie zwischen der Gleichspannungsquelle und dem Spannungszwischenkreis **20** ausgetauscht werden. Soll die Schaltungsanordnung **1''** nur für eine Anwendung verwendet werden, die lediglich den Energieaustausch in einer Richtung erfordert, so kann jeweils ein aktiver Schalter jeweils durch eine Diode ersetzt werden.

[0063] So können für den Energiefluss aus der Gleichspannungsquelle in Richtung hin zum Spannungszwischenkreis **20** für den Hochsetzstellerbetrieb die Schalter S_{phx} und S_{nlx} durch Dioden ersetzt werden. Diese Anwendung ist zum Beispiel bei der Verwendung von Solarzellen als Gleichspannungsquelle bzw. Gleichspannungsquellen sinnvoll, da der Aufwand zur Ansteuerung der aktiven Schalter reduziert wird. Ist eine Anwendung mit einem Energiefluss lediglich in Richtung hin zur Gleichspannungsquelle **B** vorgesehen, also aus dem Spannungszwischen-

kreis **20** heraus, so können die Schalter S_{plx} und S_{nhx} für den Betrieb als Tiefsetzsteller durch Dioden ersetzt werden.

[0064] Fig. 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel der Schaltungsanordnung als Schaltungsanordnung **1'''**, bei dem mehrere, zum Beispiel voneinander verschiedene Gleichspannungsquellen an die Schaltungsanordnung **1'''** angeschlossen sind. Im Schaltbild, das in Fig. 4 gezeigt ist, sind diese beispielhaft als Gleichspannungsquelle **B1** und Gleichspannungsquelle **B2** gezeigt. Es sind aber auch Ausführungsformen analog realisierbar, bei denen mehr als zwei Gleichspannungsquellen an die Schaltungsanordnung **1'''** angeschlossen bzw. anschließbar sind.

[0065] Dazu weist der zweigeteilte DC-DC-Steller **10''** für jede Spannungsquelle einen DC-DC-Steller in seinem ersten Schaltungsteil **11''** und in seinem zweiten Schaltungsteil **12''** auf. Die Gleichspannungsquellen **B1**, **B2**, usw. können dabei unabhängig voneinander ausgebildet sein und somit unterschiedliche Gleichspannungen bereitstellen sowie unterschiedliche Variationen der Spannungshöhe aufweisen. Die Schaltungsanordnung **1'''** ermöglicht für jede angeschlossene Gleichspannungsquelle eine individuelle Spannungsanpassung, was zum Beispiel im Bereich der Photovoltaik ein Maximum-Tower-Point-Tracking (kurz MPP-Tracking) für jeden einzelnen über den jeweiligen DC-DC-Steller angeschlossenen Modulstrang ermöglicht. Ein solcher Modulstrang kann mehrere Solarmodule aufweisen, die jeweils als Strang wie eine der Gleichspannungsquellen **B1** bzw. **B2** usw. angeschlossen werden können.

[0066] Sind die Gleichspannungsquellen als Batterien ausgebildet, ermöglicht die Schaltungsanordnung **1'''** die Anbindung von mehreren Batteriestacks, wo jeder Batteriestack abhängig vom jeweiligen Ladezustand und unabhängig voneinander mit unterschiedlichen Strömen bei verschiedenen Spannungen auf- oder entladen werden kann. An die Schaltungsanordnung **1'''** kann auch eine Kombination aus verschiedenen Gleichspannungsquellen angeschlossen werden, wie zum Beispiel eine Kombination aus Batterien und Brennstoffzellen, aus Batterien und (Super-)kondensator-Speicher, aus Photovoltaik und Batterie, etc. Die Schaltungsanordnung **1'''** ist flexibel, was den Anschluss unterschiedlicher Gleichspannungsquellen und/oder -senken betrifft.

[0067] Jeder einzelne DC-DC-Steller als Unterbauteil des zweigeteilten DC-DC-Steller **10'** kann dabei für die jeweilige Gleichspannungsquelle als mehrphasiger, parallel geschalteter Hoch-Tiefsetzschalter ausgebildet sein, analog zu den DC-DC-Stellern in den Schaltungsteilen **11'** und **12'** in Fig. 3. Alle einzelnen DC-DC-Steller können aus Modulen mit gleichen Bauteilen ausgebildet sein, also mit gleichen Transistoren, Dioden, Drosseln und/oder Kondensa-

toren. Diese Baugruppen lassen sich zur flexiblen Nutzung gemäß den Anforderungen der jeweiligen Gleichspannungsquelle verschalten, also abhängig von deren Anzahl, deren Stromstärke, deren Energieleistung, etc. Jede Gleichspannungsquelle kann über einen oder mehrere DC-DC-Steller des zweigeteilten DC-DC-Stellers **10'** an den Spannungszwischenkreis **20** angebunden sein. Somit ist die Schaltungsanordnung **1'''** modular ausgebildet und ermöglicht damit eine hohe Skalierbarkeit für den Aufbau des Gesamtsystems, sowie eine einfache Fertigung und Installation.

[0068] Der Wechselrichter **30**, der für vier Potentialpunkte ausgebildet ist, also zum Beispiel als 4-Punkt-Wechselrichter bzw. 4-Level-Wechselrichter, ist in den Figuren in einem funktionalen Schaltbild mit Schaltern dargestellt. Der Wechselrichter **30** erzeugt aus der Gleichspannung U_B bzw. den Teilspannungen des Spannungszwischenkreises **20** eine Wechselspannung U_a . Die Grundschiebungsamplitude der Wechselspannung U_a sowie deren Frequenz sind über den Wechselrichter **30** frei einstellbar.

[0069] Dazu werden bis zu vier diskrete Spannungsstufen verwendet, nämlich die vier Potentialpunkte PP, PP0, PN0 und PN des Spannungszwischenkreises **20**.

[0070] Fig. 5 zeigt in insgesamt sechs Diagrammen, wie durch die Schalterstellungen des Wechselrichters **30**, genauer die Schalterstellungen der Phasenschaltungsteile **31**, **32** bzw. **33**, eine Wechselspannung U_a erzeugt wird. Im obersten Diagramm ist ein Sollwert einer Soll-Wechselspannung U_a gezeigt, der am Ausgang des Wechselrichters **30** abgegriffen bzw. bereitgestellt werden soll.

[0071] In Fig. 5 ist im zweiten Diagramm von oben der tatsächlich bereitgestellte Spannungsverlauf der Ausgangsspannung U_a dargestellt, die sich aufgrund von Schalterstellungen im Wechselrichter **30** ergibt und als eine Phasenspannung bereitgestellt wird.

[0072] In den vier Potentialpunkten PP, PP0, PN0 und PN werden jeweils die folgenden vier Spannungsstufen bereitgestellt:

- $+U_{Cp} + U_{C0}/2$, wenn Schalter S_{py} aktiv ist,
- $+U_{C0}/2$, wenn Schalter S_{p0y} aktiv ist,
- $-U_{C0}/2$, wenn Schalter S_{n0y} aktiv ist und
- $-U_{Cn} - U_{C0}/2$, wenn Schalter S_{ny} aktiv ist.

[0073] Dabei steht y für die Nummer des jeweiligen Phasenschaltungsteils, in dem der Schalter angeordnet ist, siehe auch Fig. 1. Der Wechselrichter **30** steuert und/oder regelt die einzelnen Schalter so, dass in jedem Phasenschaltungsteil **31**, **32** und **33** jeweils nur einer der vier genannten Schalter aktiv ist, also nur einer der vier Potentialpunkte des Spannungszwi-

schlenkreises **20** mit einem Ausgang des Wechselrichters **30** verbunden ist.

[0074] Die zugehörigen Schaltsignale der einzelnen Schalter des Wechselrichters **30** lassen sich durch ein geeignetes Trägerverfahren erzeugen. Die Schaltsignale für die vier Schalter einer Phase sind in den unteren vier Diagrammen der Fig. 5 gezeigt. Der Spannungsverlauf der Ausgangswechselspannung U_a entsteht mit vier Stufen ('Levels') für eine Phase. Dabei wird der Oberschwingungsgehalt der Wechselspannung U_a im Vergleich zu 2-Punkt oder auch 3-Punkt Umrichtern deutlich reduziert.

[0075] Im Betrieb können die Teilspannungen am Spannungszwischenkreis **20** dynamisch gemäß den Anforderungen an die Wechselspannungsamplitude angepasst werden. Damit wird durch die Schaltungsanordnung eine Reduktion der Schaltverluste in den Halbleiterbauteilen durch eine gezielte Absenkung der Teilspannungen im Spannungszwischenkreis **20** ermöglicht. Alternativ kann auch eine höhere Spannung im Spannungszwischenkreis erzeugt werden als durch die Gleichspannung U_B bereitgestellt wird, wenn die Last auf der Wechselrichterseite eine höhere Spannung erfordert. Dies kann zum Beispiel bei batteriegespeisten Antrieben der Fall sein.

[0076] Durch diese Optimierung wird der Oberschwingungsgehalt in der Wechselspannung U_a gezielt reduziert. Die Schaltzustände der Halbleiterschalter werden so gewählt, dass auf der einen Seite die gewünschte Grundschiebung der Wechselspannung U_a erzeugt wird, und auf der anderen Seite die Belastung der Kondensatoren im Spannungszwischenkreis **20** zum Beispiel symmetrisch erfolgt. Dabei werden vorzugsweise Ströme in den Kondensatoren des Spannungszwischenkreises **20** eingestellt, die entweder über den Zeitbereich einer Taktperiode oder über den Zeitbereich einer Periode der Grundschiebung der Wechselspannung U_a mittelwertfrei sein, was durch eine geeignete Ansteuerung der Halbleiterschalter gewährleistet werden kann. Dies kann durch redundante Schaltzustände realisiert werden, die gemäß den Anforderungen für bestimmte Zeitdauern aktiv sind. Die zugehörigen Schaltmuster können so optimiert werden, dass ein möglichst effizienter Betrieb sowohl des Wechselrichters **30** als auch des zweigeteilten DC-DC-Stellers **10** ermöglicht wird. Dabei kann das Verhältnis der inneren Spannung, also der Mittenspannung U_{C0} , zu den beiden äußeren Spannungen U_{Cp} und U_{Cn} als Freiheitsgrad vorteilhaft für die Optimierung genutzt werden. Die Optimierung der Schaltmuster und die Wahl der Teilspannungen im Spannungszwischenkreis **20** kann so eingestellt werden, dass der Oberschwingungsgehalt in der Wechselspannung U_a gezielt reduziert wird und/oder bestimmte Oberschwingungen minimiert werden.

Ausführungsformen des Wechselrichters

[0077] Zum Abgreifen der vier Potentialpunkte des Spannungszwischenkreises **20** über den an die vier Potentialpunkte angekoppelten Wechselrichter **30** können verschiedene Ausführungsformen eines Wechselrichters verwendet werden.

[0078] Fig. 6A zeigt einen dreigeteilten Spannungszwischenkreis **20**, an dessen Potentialpunkte ein Wechselrichter **30'** angeschlossen ist, der als ein 4-Level-Diode-Clamped Wechselrichter ausgebildet ist. Dieser ist mit einem entsprechenden Steuerverfahren zum Beispiel aus dem Artikel "A new link potential control scheme for four-level inverter with passive rectifier" von Rae-Young Kim und Yo-Han Lee und Dong-Seok Hyun bekannt. Die in diesem Artikel vorgestellten Steuerverfahren können prinzipiell auf andere 4-Punkt-Wechselrichter übertragen werden. Ein Vorteil des Wechselrichters **30'** ist eine geringe Spannungsbelastung der Halbleiter im Sperrbetrieb. So müssen die drei Halbleiterschalter im oberen und unteren Zweig lediglich Sperrspannungen mit mindestens der jeweiligen Kondensatorspannung $U_{Cp/0/n}$ standhalten. Die sogenannten Clamp-Dioden, welche die Verbindung zu den beiden Zwischenpotentialen des Zwischenkreises darstellen, sollten eine Mindestsperrspannung von U_{Cp} bzw. U_{Cn} (an den oberen und unteren Dioden) sowie $U_{Cp} + U_{C0}$ bzw. $U_{Cn} + U_{C0}$ (an den mittleren zwei Dioden) aufweisen. Die höhere Sperrspannung der mittleren Dioden kann durch die Serienschaltung von zwei oder mehreren Dioden realisiert werden. Der Wechselrichter **30'** lässt sich aus Standard-Halbbrückenmodulen mit den zusätzlichen Clamp-Dioden aufbauen. Die Clamp-Dioden können durch aktiv geschaltete Transistoren ersetzt sein.

[0079] Fig. 6B und Fig. 6C zeigen in einem Schaltbild Wechselrichter **30''** und **30'''**, die als 4-Level-T-Type Inverter ausgebildet sind, die als sogenannte "nested multilevel configuration" aus dem gleichnamigen Artikel von dos Santos Junior, E. C. und Muniz, J. H. G. und da Silva, E. R. C. und Jacobina, C. W. bekannt sind.

[0080] Im Vergleich zu 4-Level Diode-Clamped Wechselrichtern entfallen die vier Clamp Dioden pro Phase. Die Wechselrichter **30''** und **30'''** weisen einen oberen und einen unteren Halbleiterschalter auf, deren Sperrspannungen für die Summe der Kondensatorspannungen ($U_{Cp} + U_{C0} + U_{Cn}$) im Spannungszwischenkreis **20** ausgelegt sind. Die beiden mittleren Schalter, die eine Verbindung zu den Zwischenpotentialen des Spannungszwischenkreises **20** bereitstellen, sind durch leistungselektronische Bauelemente derart ausgeführt, dass sie in beide Richtungen sperrfähig und leitfähig sind. Dies kann zum Beispiel mit der in Fig. 6B und Fig. 6C gezeigten Ausführungsform durch die Serienschaltung von zwei entgegengesetzt angeordneten Standardhalbleiter-

schaltern mit integrierter antiparalleler Diode realisiert werden. Bei einer alternativen Verwendung von speziellen, rückwärts sperrfähigen Transistoren kann jeweils auf die beiden Dioden verzichtet werden. Somit werden die beiden Transistoren in entgegengesetzter Durchlassrichtung direkt parallel geschaltet. Die zugehörigen Halbleiter sollten dabei mindestens eine Sperrspannung von $U_{Cp} + U_{C0}$ bzw. $U_{Cn} + U_{C0}$ aufweisen.

[0081] Fig. 7A zeigt in einem Schaltbild einen Wechselrichter **30A'**, der als 4-Level Multi-Point-Clamped Wechselrichter ausgebildet ist, der zum Beispiel aus dem Artikel "Multilevel Converters for UPS applications: Comparison and Implementation" von Lega, A. und Munk-Nielson, S. and Blaabjerg, F. and Casadei, D. bekannt ist. Die Wechselrichterschaltung **30A'** weist für den Pluskondensator C_p und den Minuskondensator C_n jeweils eine Halbbrücke auf, die zwei Leistungshalbleiterschalter aufweist. Die Sperrspannung der dabei beteiligten Bauelemente sollte zumindest U_{Cp} bzw. U_{Cn} betragen. An die beiden Mittelpunkte der beiden Halbbrücken ist eine weitere Halbbrücke angeschlossen, deren Mittelpunkt den Anschlusspunkt der Ausgangsspannung U_a bereitstellt. Die Sperrspannungen dieser Halbleiterbauelemente sollte zumindest $U_{Cp} + U_{C0}$ bzw. $U_{Cn} + U_{C0}$ betragen. Ein Vorteil dieser Schaltung besteht darin, dass der Wechselrichter **30A'** aus konventionellen Halbbrücken aufgebaut werden kann und keine zusätzlichen Halbleiterschalter wie zum Beispiel Dioden benötigt.

[0082] Fig. 7B zeigt in einem Schaltbild eine weitere Ausführungsform eines Wechselrichters **30A''** als ein 4-Level Active-Neutral-Point-Clamped Inverter. Ein solcher Wechselrichter ist zum Beispiel aus dem Artikel "A new four-level PWM inverter topology for high power applications – effect of switching strategies on power losses distribution" von Perantzakis, G. S. and Xepapas, F. H. and Manias, S. N. bekannt. Der Wechselrichter **30A''** weist einen 3-Level-Neutral-Point-Clamped (NPC) Inverter auf mit aktiven Schaltern parallel zu den beiden Clamp-Dioden, dessen Mittelanzapfung über eine Halbbrücke an die beiden Zwischenpotentiale des Zwischenkreises angebunden ist. Diese zusätzliche Halbbrücke sollte Bauteile mit einer Mindestsperrspannung von U_{C0} aufweisen. Die Halbleiterbauelemente des NPCs sollte für die Spannungen $U_{Cp} + U_{C0}$ bzw. $U_{Cn} + U_{C0}$ ausgelegt sein. Der Wechselrichter **30A''** weist konventionelle Halbbrücken auf, ohne zusätzliche Bauelemente zu benötigen. Der Wechselrichter **30A''** ermöglicht ein Optimieren der Leit- und Schaltverluste in den Halbleiterbauelementen durch redundante Schaltzustände, ohne die Oberschwingungen in der Wechselspannung negativ zu beeinflussen.

[0083] Fig. 8A zeigt einen Wechselrichter **30B'**, der als ein 2×2 -Punkt-Wechselrichter ausgebildet ist.

Für die Speisung von einzelnen, separaten Wicklungen, wie sie zum Beispiel bei Transformatoren und elektrischen Maschinen Bestandteile sind, bietet der Wechselrichter **30B'** Vorteile bezüglich seines Bauaufwands. Jede einzelne Phase des 2×2 -Punkt-Wechselrichters weist zwei Halbbrücken auf, die die beiden Anschlüsse einer Wicklung der elektrischen Maschine speisen. Diejenige Halbbrücke, die an den Mittenkondensator C_0 angeschlossen ist, kann mit reduzierter Sperrspannung entsprechend zu U_{C0} ausgeführt sein. Die Halbbrücke dient durch hochfrequentes Schalten vorteilhaft zur Pulsweitenmodulation (PWM) der anteiligen Spannung. Die zweite Halbbrücke ist an den äußeren Klemmen des Zwischenkreises angeschlossen und sollte deshalb mit einer Sperrspannung von mindestens $U_{Cp} + U_{C0} + U_{Cn}$ ausgeführt sein. Die zweite Halbbrücke dient der niederfrequenten Umschaltung für die äußeren Spannungsniveaus des Spannungszwischenkreises **20**. Durch die Schaltungsanordnung mit dem Wechselrichter **30B'** kann eine Wicklung der Maschine bzw. des Transformators mit folgenden vier Spannungsniveaus für U_a gespeist werden: $+U_{C0} + U_{Cn}$, U_{Cn} , $-U_{Cp}$, und $-U_{C0} - U_{Cp}$.

[0084] Der Mittenkondensator C_0 kann wie in **Fig. 2** dargestellt zweiteilig aufgeteilt sein, wobei eine oder beide Halbbrücken des Wechselrichters durch einen 3-Punkt-Wechselrichter ersetzt wird. Dies ist in einem Schaltbild in **Fig. 8B** gezeigt. Der mittlere Anschluss des 3-Punkt Wechselrichters ist an das mittlere Potential angeschlossen. Dadurch wird die mögliche Stufenzahl im Spannungsverlauf erhöht, wodurch die Spannungsqualität weiter gesteigert wird. Der 3-Punkt-Wechselrichter kann entweder als T-Type oder NPC 3-Punkt Wechselrichter realisiert sein. Grundsätzlich kann zum Anschluss an einen Transformator oder an eine Maschine die Schaltungsanordnung eine Kombination aus zwei 2-Punkt Wechselrichtern, zwei 3-Punkt-Wechselrichtern oder einem 2-Punkt und einem 3-Punkt Wechselrichter aufweisen.

[0085] **Fig. 9A** und **Fig. 9B** zeigen Schaltbilder einer weiteren Ausführungsform des Wechselrichters als Wechselrichter **30C'** bzw. **30C''**. Dabei sind die beiden Halbbrücken einer Phase des jeweiligen Wechselrichters mit Hilfe von zwei Drosseln oder einer magnetisch gekoppelten Drossel verschaltet. Dadurch kann der Wechselrichter **30C'** bzw. **30C''** beliebig viele Phasen für ein Wechselspannungssystem und/oder ein Drehspannungssystem erzeugen. Die Eigenschaften der Wechselrichter **30C'** und **30C''** sind dabei vergleichbar zu den Eigenschaften der in den **Fig. 8A** und **Fig. 8B** gezeigten Wechselrichter **30B'** und **30B''**. Wie in diesen Ausführungsformen, können auch in den Wechselrichtern **30C'** und **30C''** eine oder beide Halbbrücken durch 3-Punkt Umrichter in allen Kombinationen ersetzt werden.

Bezugszeichenliste

1	Schaltungsanordnung
1	Schaltungsanordnung
1''	Schaltungsanordnung
1'''	Schaltungsanordnung
10	zweigeteilter DC-DC-Steller
10'	zweigeteilter DC-DC-Steller
11	erster Schaltungsteil des zweigeteilten DC-DC-Stellers
11'	erster Schaltungsteil des zweigeteilten DC-DC-Stellers
12	zweiter Schaltungsteil des zweigeteilten DC-DC-Stellers
12'	zweiter Schaltungsteil des zweigeteilten DC-DC-Stellers
20	Spannungszwischenkreis
20'	Spannungszwischenkreis mit Mittenpotential
30	Wechselrichter
30'	4-Level Diode-Clamped Wechselrichter
30''	4-Level T-Type Wechselrichter
30'''	4-Level T-Type Wechselrichter
30A'	4-Level Multi-Point-Clamped Wechselrichter
30A''	4-Level Active-Neutral-Point-Clamped Wechselrichter
30B'	2×2 -Punkt Wechselrichter
30B''	2×3 -Punkt Wechselrichter
30C'	2×2 -Punkt Wechselrichter
300''	2×3 -Punkt Wechselrichter
31	Phasenschaltungsteil für die erste Phase
32	Phasenschaltungsteil für die zweite Phase
33	Phasenschaltungsteil für die dritte Phase
B	Gleichspannungsquelle
B1	erste Gleichspannungsquelle
B2	zweite Gleichspannungsquelle
C_n	Minuskondensator
C₀	Mittenkondensator
C_{0n}	Mitten-Minuskondensator
C_{0p}	Mitten-Pluskondensator
C_n	Pluskondensator
L_n	Minuspule
L_p	Pluspule
PP	Pluspotentialpunkt
PP0	Plus-Mittenpotentialpunkt
PN0	Minus-Mittenpotentialpunkt
PN	Minuspotentialpunkt
S_{nh}	innere Minusschalter
S_{nl}	äußerer Minusschalter
S_{ph}	äußerer Plusschalter
S_{pl}	innerer Minusschalter
S_{n1}	Negativschalter der ersten Phase
S_{n2}	Negativschalter der zweiten Phase
S_{n3}	Negativschalter der dritten Phase
S_{n01}	Mitte-Negativschalter der ersten Phase
S_{n02}	Mitte-Negativschalter der zweiten Phase
S_{n03}	Mitte-Negativschalter der dritten Phase
S_{p1}	Positivschalter der ersten Phase

S_{p2}	Positivschalter der zweiten Phase
S_{p3}	Positivschalter der dritten Phase
S_{p01}	Mitte-Positivschalter der ersten Phase
S_{p02}	Mitte-Positivschalter der zweiten Phase
S_{p03}	Mitte-Positivschalter der dritten Phase
U_{Cn}	Minusspannung
U_{C0}	Mittenspannung
U_{C0n}	Mitten-Minusspannung
U_{C0p}	Mitten-Plusspannung
U_{Cp}	Plusspannung
U_a	Wechselspannung
$U_{a'}$	Phasenspannung der ersten Phase
$U_{a''}$	Phasenspannung der zweiten Phase
$U_{a'''}$	Phasenspannung der dritten Phase
U_{a^*}	Sollwechselspannung
U_B	Gleichspannung
$U_{B/2}$	Halbgleichspannung

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102009047936 A1 [0004]

Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung zum Austausch elektrischer Energie zwischen zumindest einer Gleichspannungsquelle (B) und/oder -senke einerseits und zumindest einer Wechsellspannungssenke und/oder -quelle andererseits, mit

- einem zweigeteilten DC-DC-Steller (**10; 10'**) zum Anschluss der Schaltungsanordnung (**1; 1'; 1''; 1'''**) an den Plus- und Minuspol der Gleichspannungsquelle (B) und/oder -senke,
- einem Wechselrichter (**30; 30'; 30''; 30'''**; **30A'; 30A''; 30A'''; 30B'; 30B''; 30B'''**; **30C'; 30C''; 30C'''**) für zumindest vier Potentialpunkte mit zumindest einer Phase (**31, 32, 33**) zum Anschluss der Schaltungsanordnung (**1; 1'; 1''; 1'''**) an die Wechsellspannungssenke und/oder -quelle und
- einem zumindest dreiteiligen Spannungszwischenkreis (**20; 20'**), der zwischen den zweigeteilten DC-DC-Stellers (**10; 10'**) und den Wechselrichter (**30; 30'; 30''; 30'''**; **30A'; 30A''; 30A'''; 30B'; 30B''; 30B'''**; **30C'; 30C''; 30C'''**) geschaltet ist.

2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, wobei der zweigeteilte DC-DC-Steller (**10; 10'**) den Austausch elektrischer Energie zwischen der Gleichspannungsquelle (B) und/oder -senke und dem dreiteiligen Spannungszwischenkreis (**20; 20'**) steuert und/oder regelt.

3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei ein erster Schaltungsteil (**11; 11'**) des zweigeteilten DC-DC-Stellers (**10; 10'**) elektrisch mit dem Minuspol der Gleichspannungsquelle (B) und/oder -senke verbunden ist, und ein zweiter Schaltungsteil (**12; 12'**) des zweigeteilten DC-DC-Stellers (**10; 10'**) elektrisch mit dem Pluspol der Gleichspannungsquelle (B) und/oder -senke verbunden ist.

4. Schaltungsanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei ein erster Schaltungsteil (**11; 11'**) und ein zweiter Schaltungsteil (**12; 12'**) des zweigeteilten DC-DC-Stellers (**10; 10'**) jeweils einen Hochsetzsteller, einen Tiefsetzsteller oder einen Hoch-Tiefsetzsteller aufweist.

5. Schaltungsanordnung nach Anspruch 4, wobei der erste Schaltungsteil (**11; 11'**) und der zweite Schaltungsteil (**12; 12'**) des zweigeteilten DC-DC-Stellers (**10; 10'**) symmetrisch zueinander ausgebildet sind und sich gleichende, einander entsprechende Schaltungselemente aufweisen.

6. Schaltungsanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der dreiteilige Spannungszwischenkreis (**20; 20'**)
 – zumindest drei in Serie geschaltete Kondensatoren (C_p, C_0, C_n) aufweist und
 – jeweils zwischen den in Serie geschalteten Kondensatoren (C_p, C_0, C_n) und an den beiden äußeren En-

den der zumindest drei in Serie geschalteten Kondensatoren (C_p, C_0, C_n) elektrische Potentialpunkte (PP, PP0, PN0, PN) zur Kontaktierung sowohl durch den zweigeteilten DC-DC-Steller (**10; 10'**) als auch durch den Wechselrichter (**30; 30'; 30''; 30'''**; **30A'; 30A''; 30B'; 30B''; 30C'; 30C''; 30C'''**) aufweist.

7. Schaltungsanordnung nach Anspruch 6, wobei
 – ein Minuskondensator (C_n) des dreiteiligen Spannungszwischenkreises (**20; 20'**) über einen ersten Schaltungsteil (**11; 11'**) des zweigeteilten DC-DC-Stellers (**10; 10'**) dem Minuspol der Gleichspannungsquelle (B) und/oder -senke zugeordnet ist,
 – ein Pluskondensator (C_p) des dreiteiligen Spannungszwischenkreises (**20; 20'**) über einen zweiten Schaltungsteil (**12; 12'**) des zweigeteilten DC-DC-Stellers (**10; 10'**) dem Pluspol der Gleichspannungsquelle (B) und/oder -senke zugeordnet ist und
 – ein Mittenkondensator ($C_0; C_{0p}, C_{0n}$) in Serie zwischen den Minuskondensator (C_n) und den Pluskondensator (C_p) geschaltet ist.

8. Schaltungsanordnung nach Anspruch 7, wobei die Gleichspannungsquelle (B) und/oder -senke ein Mittelpotential aufweist und der Mittenkondensator (C_{0p}, C_{0n}) zweiteilig ausgebildet ist, wobei das Mittelpotential der Gleichspannungsquelle (B) und/oder -senke elektrisch zwischen den zweiteiligen Mittenkondensator (C_{0p}, C_{0n}) geschaltet ist.

9. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei der Wechselrichter (**30; 30'; 30''; 30'''**; **30A'; 30A''; 30B'; 30B''; 30C'; 30C''; 30C'''**) dazu ausgebildet und vorgesehen ist, das elektrische Potential an jeweils einem der vier Potentialpunkte (PP, PP0, PN0, PN) des dreiteiligen Spannungszwischenkreises (**20; 20'**) zu und/oder von einer Phasenspannung (U_a, U_a'', U_a''') der Wechsellspannung (U_a) der Wechsellspannungssenke und/oder -quelle zu modulieren.

10. Schaltungsanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Wechselrichter (**30; 30'; 30''; 30'''**; **30A'; 30A''; 30B'; 30B''; 30C'; 30C''; 30C'''**) eine elektrische Kontaktierung zwischen elektrischen Potentialpunkten (PP, PP0, PN0, PN) des dreiteiligen Spannungszwischenkreises (**20; 20'**) und der Wechsellspannungssenke und/oder -quelle steuert und/oder regelt.

11. Schaltungsanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Wechselrichter (**30; 30'; 30''; 30'''**; **30A'; 30A''; 30B'; 30B''; 30C'; 30C''; 30C'''**) elektrische Potentialpunkte (PP, PP0, PN0, PN) des dreiteiligen Spannungszwischenkreises (**20; 20'**) mittels einer Pulsweitenmodulation zu einer Ausgangswechsellspannung (U_a) für die Wechsellspannungssenke moduliert, und/oder wobei der Wechselrichter (**30; 30'; 30''; 30'''**; **30A'; 30A''; 30B'; 30B''; 30C'; 30C''; 30C'''**) eine Eingangswchsellspannung (U_a) der Wechsellspannungsquelle als ein PWM-Signal an

elektrische Potentialpunkte (PP, PP0, PN0, PN) des dreiteiligen Spannungszwischenkreises legt.

12. Schaltungsanordnung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei der Wechselrichter (**30; 30'; 30''; 30'''**; **30A'; 30A''; 30B'; 30B''; 30C'; 30C''**) zweiphasig mit zwei Phasenschaltungsteilen (**31, 32, 33**) ausgebildet ist und eine Wechselspannung (U_a) als Summe zweier Phasenspannungen ($U_{a'}$, $U_{a''}$, $U_{a'''}$) an den zwei Phasenschaltungsteilen (**31, 32, 33**) moduliert und/oder demoduliert.

13. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei der Wechselrichter (**30; 30'; 30''; 30'''**; **30A'; 30A''; 30B'; 30B''; 30C'; 30C''**) dreiphasig mit drei Phasenschaltungsteilen (**31, 32, 33**) ausgebildet ist und eine Wechselspannung (U_a) als Summe dreier Phasenspannungen ($U_{a'}$, $U_{a''}$, $U_{a'''}$) an den drei Phasenschaltungsteilen (**31, 32, 33**) moduliert und/oder demoduliert.

14. Schaltungsanordnung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei der Wechselrichter als 4-Punkt-Wechselrichter (**30; 30'; 30''; 30'''**; **30A'; 30A''**), als 2×2 -Punkt Wechselrichter (**30B'; 30C'**), als 2×3 -Punkt Wechselrichter (**30B''; 30C''**) oder als eine Kombination aus einem 1×2 -Punkt-Wechselrichter und einem 1×3 -Punkt-Wechselrichter ausgebildet ist.

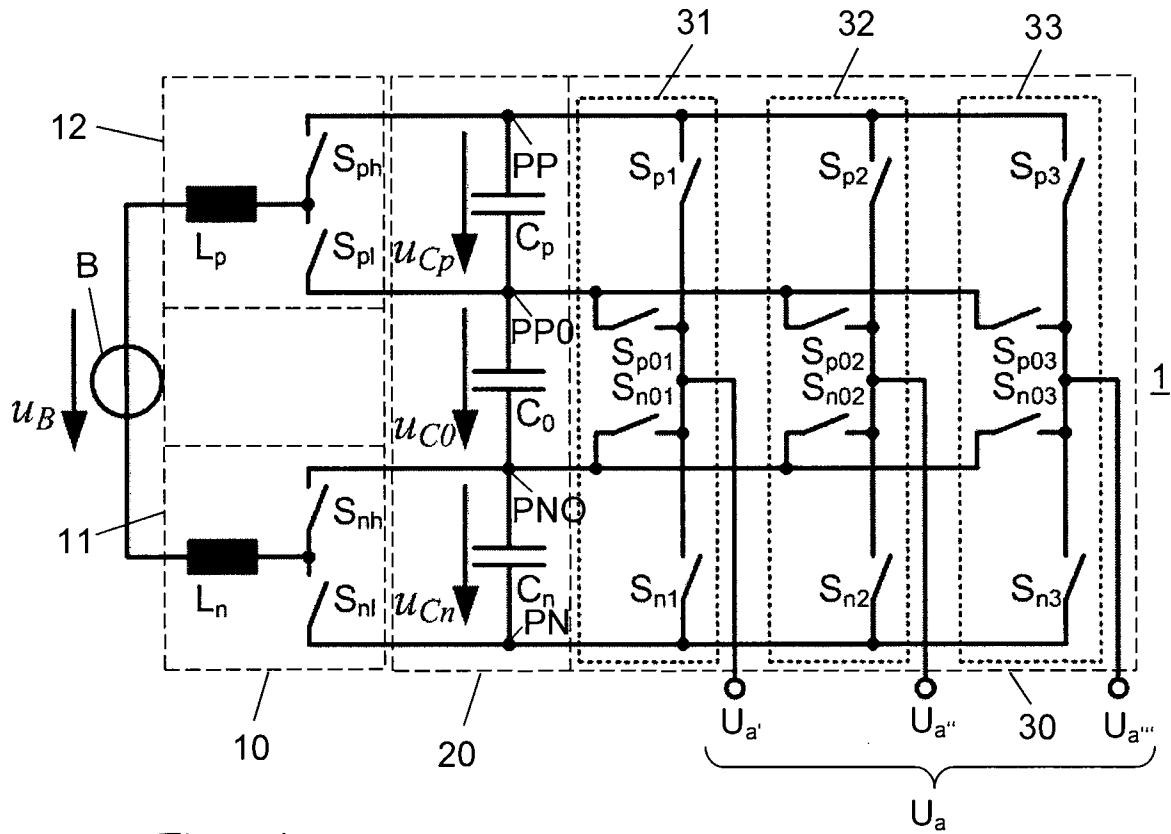
15. Verfahren zum Austausch elektrischer Energie zwischen zumindest einer Gleichspannungsquelle (B) und/oder -senke einerseits und zumindest einer Wechselspannungssenke und/oder -quelle andererseits, wobei

– ein zweigeteilter DC-DC-Steller (**10; 10'**) die elektrischen Verbindungen zwischen dem Plus- und dem Minuspol der Gleichspannungsquelle (B) und/oder -senke einerseits und elektrischen Potentialpunkten (PP, P0; PN0; PN) eines dreiteiligen Spannungszwischenkreises (**20; 20'**) andererseits steuert und/oder regelt,

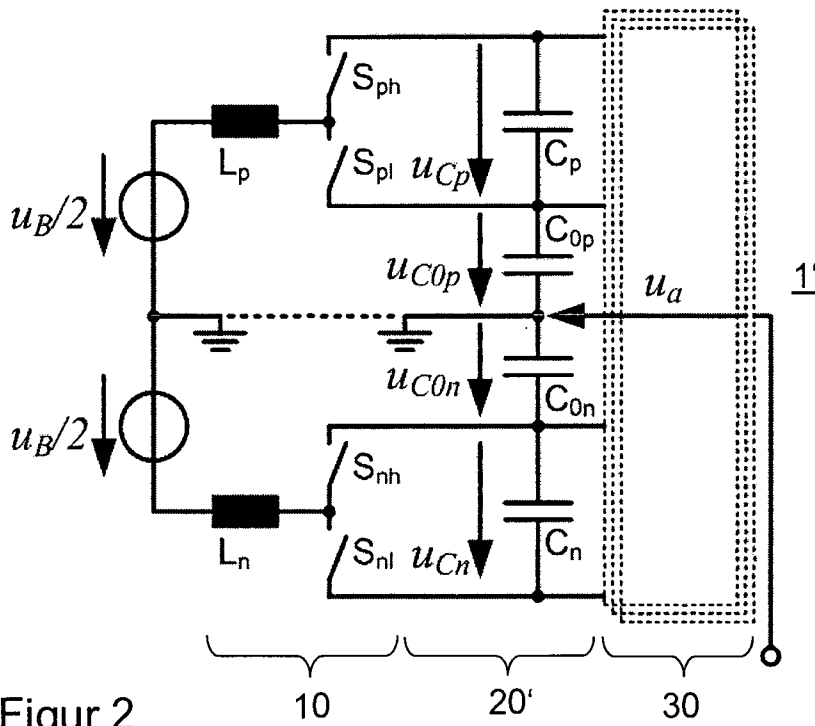
– ein Wechselrichter (**30; 30'; 30''; 30'''**; **30A'; 30A''; 30B'; 30B''; 30C'; 30C''**) die elektrischen Verbindungen zwischen der Wechselspannungssenke und/oder -quelle und vier unterschiedlichen elektrischen Potentialpunkten (PP, PP0, PN0; PN) des dreiteiligen Spannungszwischenkreises (**20; 20'**) steuert und/oder regelt.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

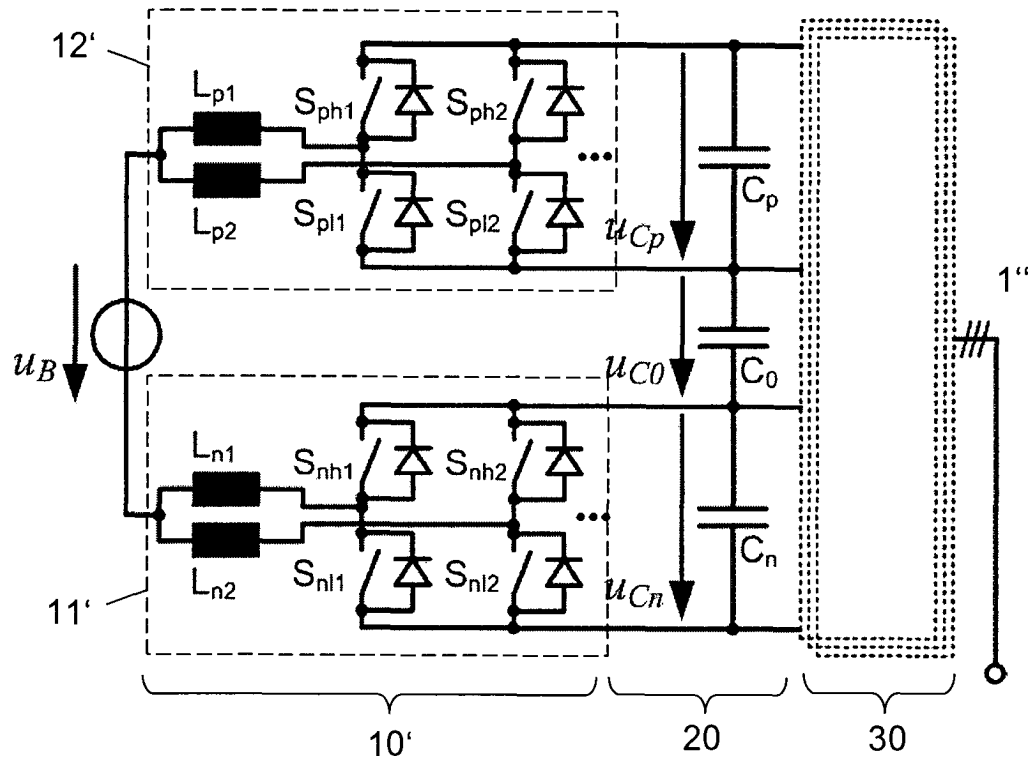
Anhängende Zeichnungen



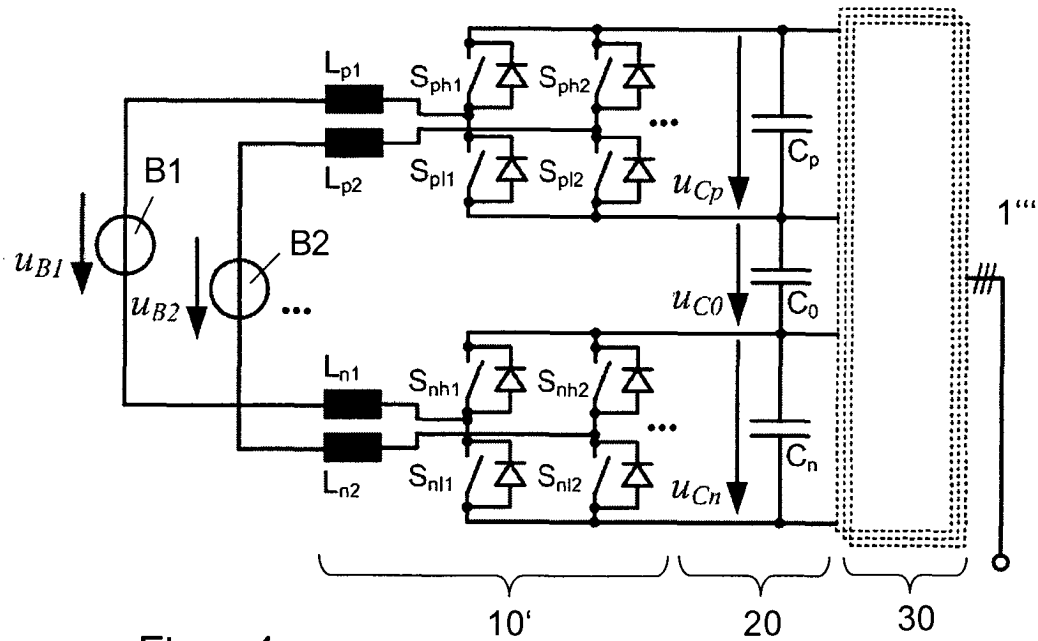
Figur 1



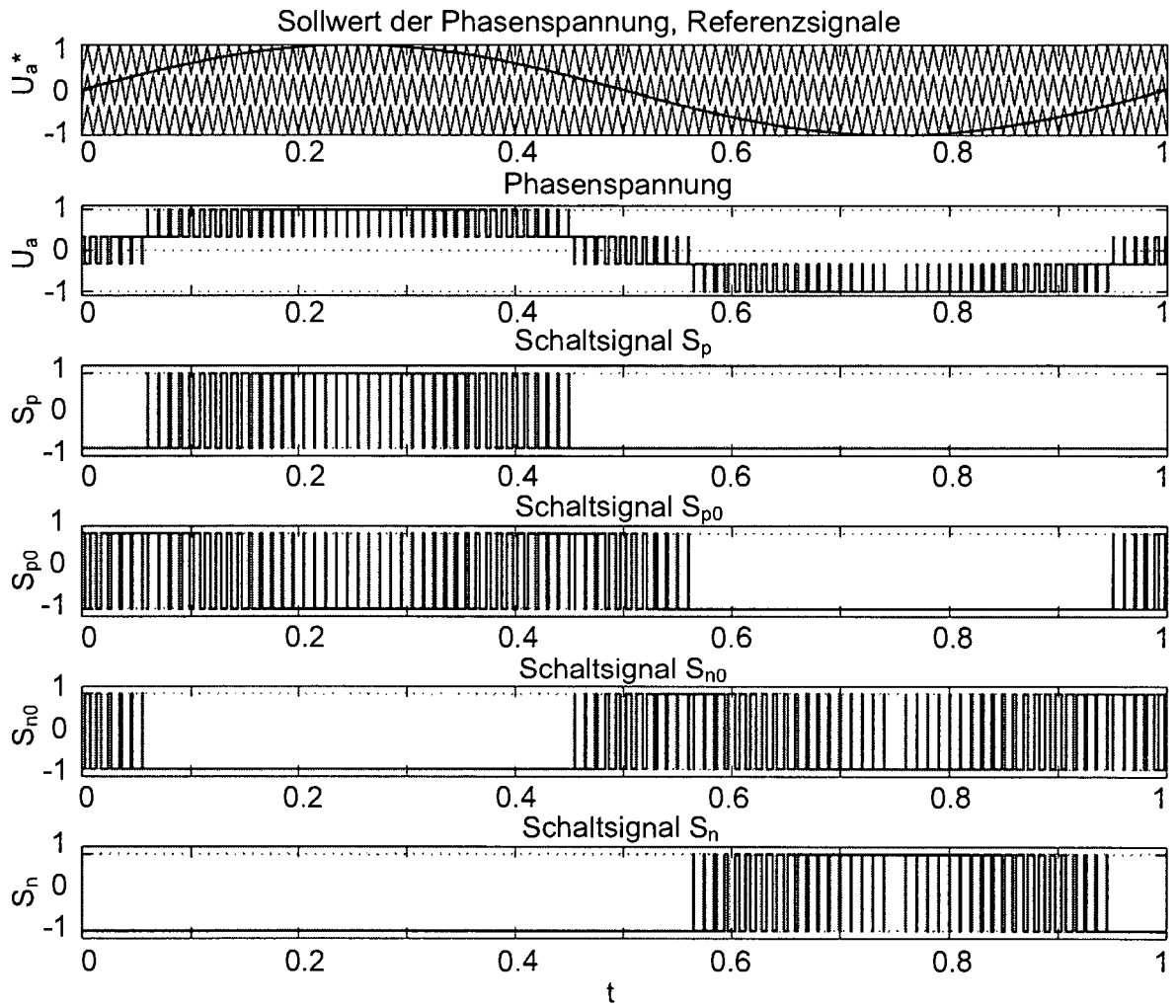
Figur 2



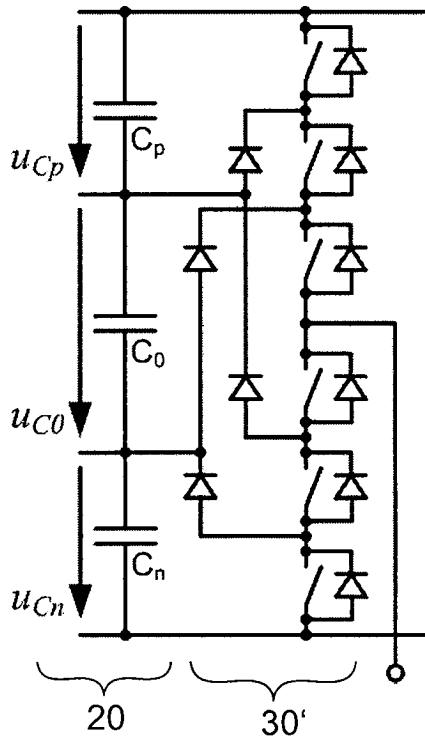
Figur 3



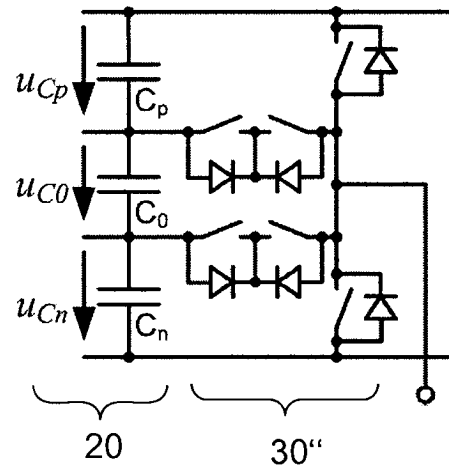
Figur 4



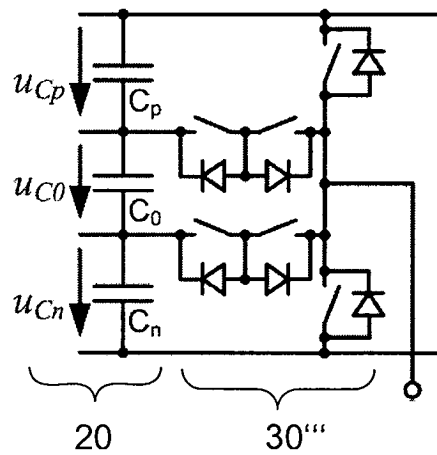
Figur 5



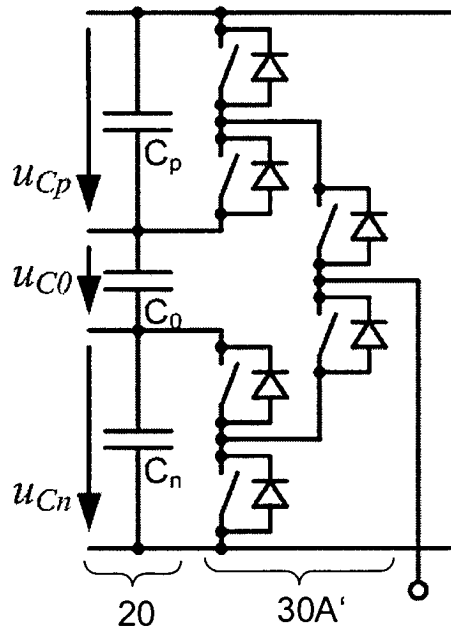
Figur 6A



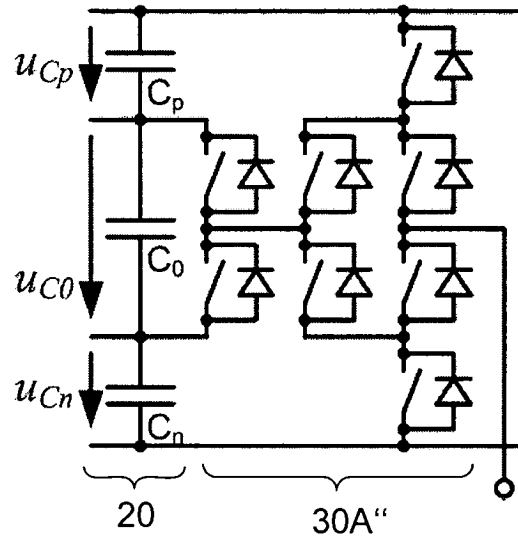
Figur 6B



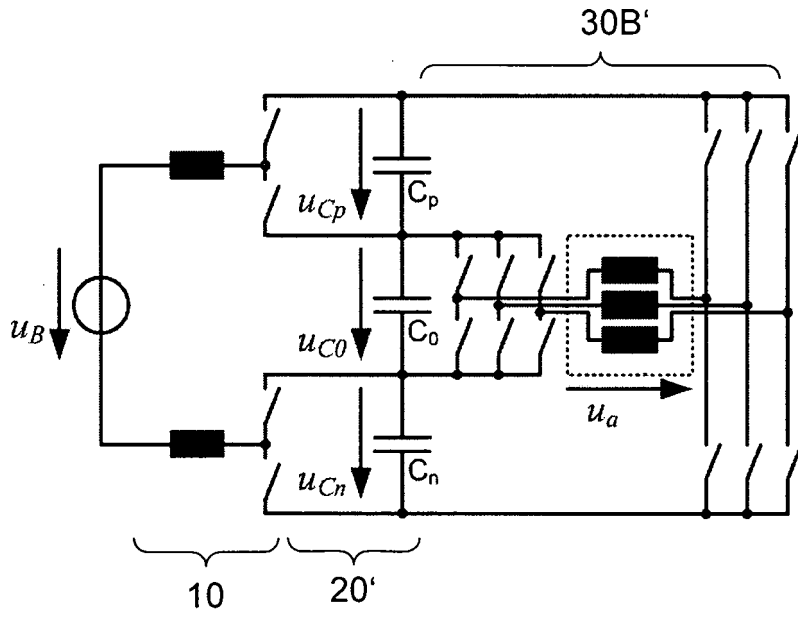
Figur 6C



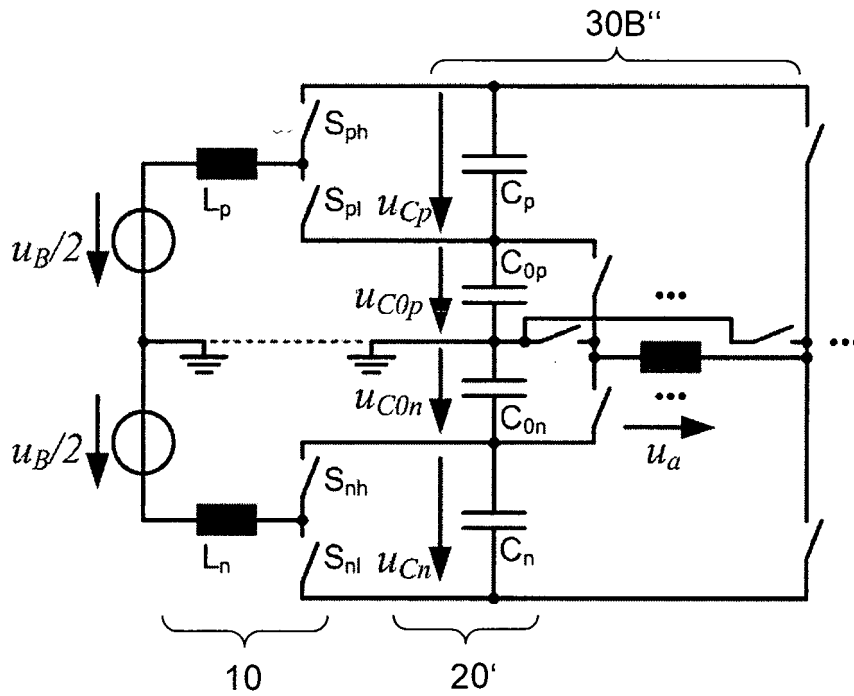
Figur 7A



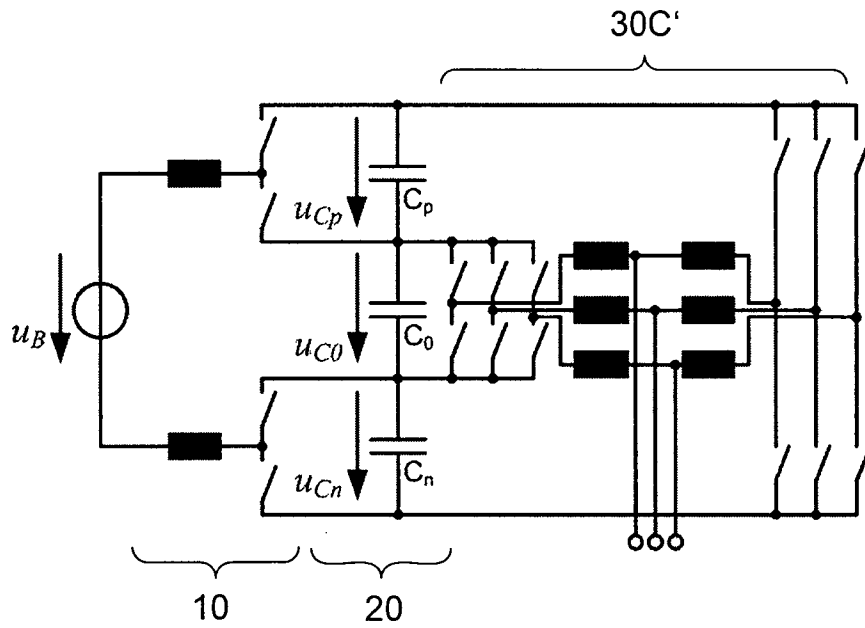
Figur 7B



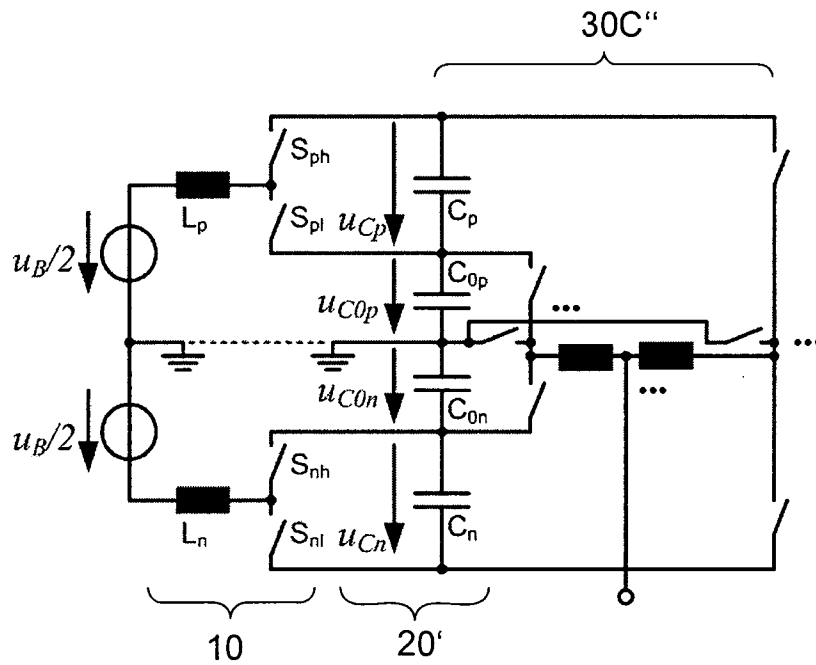
Figur 8A



Figur 8B



Figur 9A



Figur 9B