



(10) **DE 10 2017 124 126 B4** 2019.05.09

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 124 126.4**  
(22) Anmeldetag: **17.10.2017**  
(43) Offenlegungstag: **18.04.2019**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **09.05.2019**

(51) Int Cl.: **H02M 7/483 (2007.01)**  
**H02M 5/22 (2006.01)**  
**H02M 5/42 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

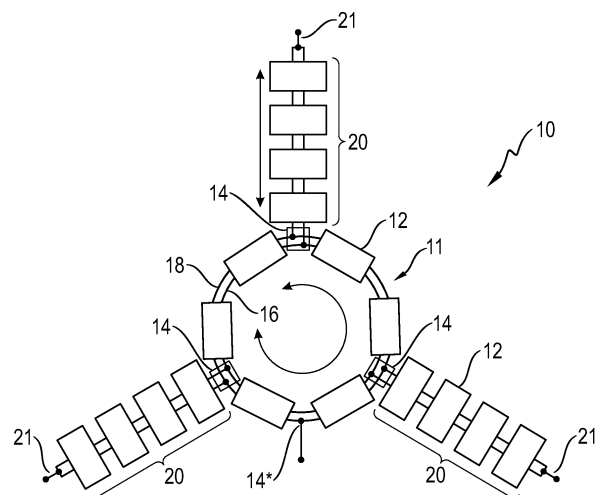
(73) Patentinhaber:  
**Dr. Ing. h.c. F. Porsche Aktiengesellschaft, 70435  
Stuttgart, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**siehe Folgeseiten**

(72) Erfinder:  
**Götz, Stefan, Dr., 85659 Forstern, DE**

(54) Bezeichnung: **Umrichter, elektrisches Polyphasen-System und Verfahren zum effizienten Leistungsaustausch**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft einen modularen Multilevel-Umrichter (10) mit einer Mehrzahl von Einzelmodulen (12), die jeweils eine Mehrzahl von Schaltelementen und mindestens einen elektrischen Energiespeicher aufweisen, wobei eine erste Anzahl von Einzelmodulen (12) hintereinander zu einem geschlossenen Ring verschaltet sind, und mindestens zwei Abgriffe (14) jeweils zwischen zwei benachbarten Einzelmodulen (12) des Rings angeordnet sind, wobei zwischen zwei benachbarten Abgriffen (14) mindestens ein Einzelmodul (12) des Rings angeordnet ist, das ein Ringsegment bildet, und wobei an mindestens zwei Abgriffen je eine zweite Anzahl von Einzelmodulen als von der Ringanordnung (11) abzweigendes und einen Sternstrang bildendes Phasenmodul (20) aus mindestens zwei Einzelmodulen (12) vorgesehen ist, das mit einem Ende an dem jeweiligen Abgriff (14) angeschlossen ist und an dem anderen Ende einen Phasenanschluss bildet, wobei die Mehrzahl von Schaltelementen ein Verschalten von Energiespeichern benachbarter Einzelmodule (12) ermöglicht, wodurch zwischen zwei benachbarten Phasenanschlüssen (14) eine Spannungsdifferenz bereitstellbar ist, die von einer Steuereinheit entsprechend eines Verlaufs eines mehrphasigen Drehfeldes regelbar ist. Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein Polyphasensystem und ein Verfahren zum effizienten Leistungsaustausch zwischen Modulen.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2011 108 920	B4
DE	101 03 031	A1
DE	102 17 889	A1
DE	10 2010 052 934	A1
DE	10 2015 112 512	A1
DE	10 2015 121 226	A1
US	7 269 037	B2
US	2015 / 0 288 287	A1
US	2016 / 0 020 628	A1
US	2016 / 0 105 020	A1
WO	2016/ 119 820	A1

GOETZ, Stefan M.; PETERCHEV, Angel V.; WEYH, Thomas: Modular multilevel converter with series and parallel module connectivity: topology and control. In: IEEE Transactions on Power Electronics. 2015, Bd. 30, H. 1, S. 203-215. ISSN 0885-8993. DOI: 10.1109/TPEL.2014.2310225. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6763109> [abgerufen am 29.06.2016]. Bibliographieinformationen ermittelt über: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6763109&newsearch=true&queryText=Modular%20Multilevel%20Converter%20with%20Series%20and%20Parallel%20Module%20Connectivity:%20Topology%20and%20Control> [abgerufen am 29.06.2016].

LESNICAR, Anton ; MARQUARDT, Rainer: An innovative modular multilevel converter topology suitable for a wide power range. In: Power Tech Conference Proceedings. 2003, S. 1-6. ISBN 0-7803-7967-5. DOI: 10.1109/PTC.2003.1304403. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1304403> [abgerufen am 21.04.2017]. Bibliographieinformationen ermittelt über: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1304403/> [abgerufen am 21.04.2017].

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen modularen Multilevel-Umrichter, ein elektrisches Polyphasen-System und ein Verfahren zum effizienten Leistungsaustausch beim Betreiben eines elektrischen Polyphasen-Systems.

**[0002]** Herkömmliche Batterien können festverdrahtete Einheiten aus Einzelteilen, bspw. Einzelzellen oder Teilbatterien, sein. Derartige Batterien stellen an einem Ausgang im Wesentlichen eine Gleichspannung bereit. Viele Verbraucher hingegen benötigen bspw. eine Wechselspannung mit bestimmter Frequenz, Amplitude und/oder Phase. Des Weiteren ist die Gleichspannung mit dem Ladezustand nicht konstant. Um sowohl bei einer Spitzenspannung als auch bei einer Ladeendspannung die an der Batterie angeschlossenen Verbraucher zu betreiben und die geforderte Leistung entnehmen zu können, müssen die Verbraucher aufwändige Versorgungsschaltungen aufweisen.

**[0003]** Alternativ dazu wird zur Bereitstellung einer von einem Verbraucher benötigten Ausgangsspannung ein Umrichter vorgesehen, der ein dynamisches Umschalten einer Verschaltung einer entsprechenden Batterie erlaubt, wobei Schaltelemente so umgeschaltet werden, dass Energiespeicher der Batterie entweder in Parallelschaltung und/oder in Serienschaltung vorliegen. Eine solche Batterie wird als geschaltete Batterie bezeichnet. Im Gegensatz zu bisherigen Umrichtern kann dabei ein vorzusehender Modulationsindex, d. h. ein Kennwert einer entsprechenden Frequenzmodulation, bei allen Amplituden maximal gehalten werden. Des Weiteren sinken bei niedrigen Spannungen die Verluste, weil durch eine Parallelschaltung der Batterieteile einer geschalteten Batterie ein effektiver Innenwiderstand sinkt. Weiterhin erzeugt eine geschaltete Batterie, bei der die Energiespeicher zwischen einer Parallelschaltung und einer Serienschaltung hin- und hergeschaltet werden können, eine fast verzerrungsfreie Ausgangsspannung, da Stufen zwischen den Spannungen zweier Konfigurationen sehr gering gehalten werden können.

**[0004]** Darüber hinaus kann per Schaltmodulation zwischen solchen Spannungen moduliert werden, um weiter zu glätten.

**[0005]** Elektrische Umrichter, eine Unterart elektrischer Stromrichter, wandelt Gleichspannung in Wechselspannung um. Topologien für elektrische Umrichter sind bspw. aus der DE 10 2010 052 934 A1, DE 10 2011 108 920 B4, DE 102 17 889, US 7,269,037, DE 101 03 031 und DE 10 2015 112 512 A1 bekannt.

**[0006]** In der DE 10 2010 052 934 A1 wird ein elektrisches Umrichtersystem mit mindestens zwei gleichartigen hintereinandergeschalteten Einzelmodulen beschrieben. Die Einzelmodule weisen mindestens vier interne Schaltelemente, mindestens ein Energiespeicherelement und mindestens vier Anschlüsse auf, wovon je zwei der Anschlüsse ein erstes und ein zweites Klemmenpaar bilden. Die internen Schaltelemente jedes Einzelmoduls sind so ausgeführt, dass sie wahlweise einen oder beide Anschlüsse jedes Klemmenpaars mit dem Energiespeicherelement verbinden können. Schaltelemente der jeweiligen Einzelmodule in der Hintereinanderschaltung der mindestens zwei Einzelmodule verbinden ihre jeweiligen Energiespeicherelemente so mit den Klemmen der Hintereinanderschaltung, dass wahlweise eine Reihen- oder eine Parallelschaltung der Energiespeicherelemente vorliegt.

**[0007]** Die DE 10 2011 108 920 B4 führt diesen Ansatz fort und beschreibt ebenfalls ein elektrisches Umrichtersystem aus mindestens zwei gleichartigen hintereinandergeschalteten Modulen, wobei die hintereinandergeschalteten Module einen

**[0008]** Brückenweig bilden. Die Module weisen mindestens einen Modulkondensator und Schaltelemente auf. Mindestens zwischen einem Modul und einem nachfolgenden der hintereinandergeschalteten Module ist ein Zwischenmodul geschaltet, das mindestens eine Induktivität zur Energiespeicherung aufweist.

**[0009]** Die DE 10 2015 112 512 A1 beschreibt ein Batteriemodul, dessen elektrische Verschaltung dynamisch veränderbar ist, d. h. die einzelnen Batteriezellen sind nicht fest miteinander verdrahtet. Dazu ist die Verwendung gleichartiger Batterieteile vorgesehen, umfassend jeweils eine oder mehrere Batteriezellen sowie eine Mehrzahl von Niederspannungsschaltern, insbesondere MOSFETs. Damit können die einzelnen Batteriezellen zwischen einer Parallelschaltung, einer Serienschaltung, einer Überbrückung und einer Abschaltung einzelner oder mehrerer Batterieteile umgeschaltet werden. Da alle Niederspannungsschalter, die zur Umschaltung der elektrischen Verbindung zwischen Batterieteilen benötigt werden, in demselben Batterieteil liegen, sind keine besonderen Spannungsversorgungen nötig, und es kann ein akurates Timing, d. h. eine Gleichzeitigkeit der Ansteuerung sichergestellt werden.

**[0010]** WO 2016/119 820 A1 betrifft einen mehrstufigen Leistungswandler, der mit einem Wechselstromnetz und einer Last verbunden ist. Der Leistungswandler umfasst mindestens einen ersten und einen zweiten Phasenzweig, wobei jeder Phasenzweig eine Vielzahl von kaskadierten Kettenglied-verbundenen Zellen umfasst. Jede Zelle umfasst ferner einen

Zwischenkreiskondensator. Mindestens eine Zelle in jedem Phasenzweig umfasst zusätzlich zu dem Zwischenkreiskondensator ein Energiespeicherelement.

**[0011]** Beispiele für leistungselektronische Schaltungen sind der modulare Multilevel-Umrichter M2C, wie in der voranstehend genannten US 7,269,037 und der DE 101 03 031 beschrieben, oder der modulare Multilevel-Parallel-Seriell-Umrichter M2SPC, wie bspw. in der DE 10 2010 052 934 und der DE 10 2011 108 920 beschrieben. Das Schaltungskonzept derartiger modularer Multilevel-Umrichter, sowohl M2C bzw. MMC als auch M2SPC bzw. MMSPC wird meist in eine Mikrotopologie, d. h. eine Verschaltung innerhalb des Moduls, und eine Makrotopologie, d. h. eine Kombination mehrerer Module zu einem System, wie bspw.

**[0012]** Bekannte Makrotopologien umfassen bspw. einen Modulstrang, welcher jedoch nur für einphasige Systeme verwendbar ist, sofern sich Energieentnahme und Energierückspeisung über die Zeit ausgleichen oder bspw. durch zwischenzeitliches Laden ausgeglichen werden können. Beispiele dafür sind Kombinationssysteme für Stromversorgung, bspw. STATCOM, oder auch einphasige AC-Batteriequellen. Ferner ist eine Puls-Topologie zur Erzeugung hochdynamischer Strompulse mit getrennten Anschlussklemmen gegenüber der Ladeanschlussklemmen bekannt, wie bspw. beschrieben in Götz, S.M.; Peterchev, A.V.; Weyh, T., „Modular Multilevel Converter with Series and Parallel Module Connectivity: Topology and Control“, *Power Electronics, IEEE, Transactions on*, vol.30, no.1, pp.203, 215, 2015. doi: 10.1109/TPEL.2014.2310225. Ferner ist eine sogenannte Marquardt-Topologie für bidirektionale AC/AC- und AC/DC-Systeme bekannt, wie bspw. beschrieben in Lesnicar, A.; Marquardt, R., „An innovative modular multilevel converter topology suitable for a wide power range“, *Power Tech Conference Proceedings, 2003 IEEE Bologna*, vol.3, no., pp.6, pp. vol.3, 23-26, 2003, doi: 10.1109/PTC.2003.1304403.

**[0013]** Allerdings ist bislang keine systematische Regel bekannt, welche Eigenschaften eine Makrotopologie erfüllen muss, damit ein durch die Zusammenschaltung der Einzelmodule entstehender Umrichter funktionsfähig ist. Generell können in einer Makrotopologie auch unterschiedliche Module kombiniert werden, wenn diese jeweils zumindest zwei zueinander kompatible Zustände darstellen können, so dass eine Umschaltung zwischen verschiedenen Schaltzuständen möglich ist.

**[0014]** Modulare Multilevel-Konverter bzw. Multilevel-Umrichter, insbesondere ein klassischer MMC und ein klassischer MMSPC, arbeiten nach dem Schema, dass im Gegensatz zu traditioneller Leistungselektronik, die mit wenigen Leistungsschaltern

Ein- oder Ausgangsspannungen zwischen wenigen Niveaus umschalten, um im Mittel eine gewünschte Größe zu erlangen, eine Spannung durch eine dynamisch wechselbare elektrische Konfiguration von geladenen in Modulen angeordneten Energiespeichern, wie bspw. Kondensatoren oder Batterien, mit in den Modulen befindlichen elektrischen oder elektronischen Schaltern und bestimmten Zuständen in sehr feinen Stufen gesteuert wird.

**[0015]** Wie voranstehend bereits erläutert, bestehen modulare Multilevel-Konverter in der Regel aus zwei Anteilen, einer Modulart, der sogenannten Mikrotopologie und einer Verschaltung von Modulen, der sogenannten Makrotopologie. Im Rahmen der vorliegenden Offenbarung wird insbesondere die Makrotopologie betrachtet, wobei sich der erfindungsgemäße Gedanke für alle Modularten anwenden lässt.

**[0016]** MMSPC-Module unterscheiden sich im Allgemeinen von konventionellen MMC-Modulen dadurch, dass ein zusätzlicher Parallel-Zustand existiert. Damit kann ein MMSPC in einem Strang eine nahezu beliebige elektrische seriell-parallele Schaltungskonfiguration von modulintegrierten Energiespeichern erzeugen und diese dynamisch ändern. Ferner steht zumeist auch ein Umgehungszustand bzw. Bypass zur Verfügung, um den Energiespeicher eines Moduls zu umgehen. Je nach Modulart kann eine zeitweise Serienschaltung der modulintegrierten Energiespeicher in nur einer Polarität oder in beiden Polaritäten ermöglicht werden.

**[0017]** Generell basiert das Prinzip eines modularen Multilevel-Konverters in einer Erzeugung von Spannungsdifferenzen zwischen zwei Terminals bzw. Anschlussstellen bspw. eines Energienetzes durch eine Konfiguration einer elektrischen Verschaltung von Energiespeichern in den Modulen und einer Schaltungmodulation zwischen Schaltzuständen zur Bildung von beliebigen Zwischenzuständen. Wird bspw. zwischen zwei Anschlussstellen durch die Module eine leicht geringere Spannung erzeugt als die Anschlussstellen selbst aufweisen, fließt Strom und somit Ladung in die jeweiligen Energiespeicher der Module. Werden demgegenüber mehr Module in Serie geschaltet, fließt Strom aus dem Energiespeicher dieser Module in die Terminals. Die Steuerung kann dabei durch geeignete Auswahl der Schaltzustände jedes Moduls entscheiden, von welchem Modul ein jeweiliger darin umfasster Energiespeicher bei in einen mehrere Module umfassenden Arm eines Multilevel-Konverters fließendem Strom geleert, gefüllt oder gar nicht beeinflusst wird. Gewünscht ist es im Betrieb eines modularen Multilevel-Konverters, alle Energiespeicher ähnlich geladen zu halten oder zumindest zu vermeiden, dass einzelne Module bzw. deren Energiespeicher über- oder unterladen werden.

**[0018]** Daraus ergibt sich ein erster Ladungsausgleichsmechanismus. Ein jeweiliger Energieinhalt der jeweiligen Energiespeicher der Mehrzahl von Modulen kann kontrolliert und beeinflusst werden, indem gezielt Module ladend in einen Stromfluss geschaltet werden, vergleichbar mit einem Eimer, der in einen Wasserfluss gehalten wird, oder entladend in einen Stromfluss geschaltet werden, vergleichsweise mit einem Eimer, der in einen bereits fließenden Wasserstrahl zusätzlich hinzugegossen wird. Durch Messung oder Schätzung eines Ladezustands oder einer Spannung jedes Energiespeichers der Mehrzahl von Modulen kann entsprechend durch eine Steuerung ausgleichend eingegriffen werden.

**[0019]** Auf diese Weise kann ferner Ladung und Energie von einem Modul zu einem anderen Modul transferiert werden, indem bspw. ein Modul positiv in Serie und ein anderes negativ in Serie geschaltet wird, oder im Fall von Wechselstrom eines der Module bevorzugt bei der positiven Halbwelle eingesetzt, d. h. in Serie, geschaltet wird, in der negativen Halbwelle aber vorzugsweise bzw. für längere Zeit im Bypass-Betrieb oder dergleichen geschaltet wird, während das andere Modul im Verhältnis zu dem ersten Modul genau umgekehrt zu schalten ist. In einem geschlossenen Ring aus Modulen kann ein zirkulierender Ringstrom erzeugt werden, der ebenso einen Ladungsaustausch ohne einen externen Laststrom ermöglicht.

**[0020]** Bei modularen Multilevel-Konvertern mit der Möglichkeit der Parallelschaltung von Modulen, wie bspw. bei dem voranstehend genannten MMSPC, kann ferner ein zweiter Prozess des Ladungs- und Energietransfers genutzt werden, indem zwei oder mehrere Module mit gering unterschiedlich geladenen Energiespeichern zeitweise parallel verbunden werden. Die Ausgleichsströme vom volleren zum leereren Energiespeicher gleichen entsprechend Ladung, Spannung und/oder Energie aus.

**[0021]** Bei einer Wechsellspannungserzeugung mit einem modularen Multilevel-Konverter wird eine Wechsellspannung durch entsprechende Koordination der Module zu jedem Zeitpunkt erzeugt. Die Wechsellspannung entlang bspw. eines Strangs bzw. Arms des Multilevel-Konverters ist entsprechend im Wesentlichen sinusförmig und schließt die negativen Halbwellen ein. Bei Wirkleistungsabgabe des Multilevel-Konverters oder auch nur des entsprechenden Arms folgt der Strom ohne Phasenversatz der Spannung. Die elektrische Leistung als Produkt aus Strom und Spannung ist folglich etwa proportional zu  $\sin^2(\omega t) \geq 0$ . Da die Modulkonfiguration, d. h. die Schaltkonfiguration der Module, der Spannung folgt, werden die Energiespeicher der jeweiligen Module von den elektronischen Schaltern stets umgepolt, so dass der Energiefluss positiv ist. Aufgrund dieser Umpolung scheint der Strom zumindest aus Sicht

der Energiespeicher der jeweiligen Module eine  $|\sin(\omega t)|$ -Komponente zu haben. Das bedeutet, dass der Strom über die Zeit nicht konstant ist. Dies gilt näherungsweise für alle Module eines Strangs, der derselben Gesamtspannung und demselben Strom ausgesetzt ist. Aufgrund dessen ist ein Ausgleich zwischen Nachbarn durch ein geeignetes Scheduling bzw. durch eine geeignete Schaltkoordination der Modulzustände bzw. der Schaltzustände der Module eines Strangs nicht möglich.

**[0022]** Dieser so entstehende Stromrippel hat in mehrerer Hinsicht Nachteile. Zum einen sind viele Verlustmechanismen in den Modulen näherungsweise nicht linear, bspw. proportional zum Quadrat des Stroms entsprechend den Ohm'schen Verlusten. Somit sind Verluste eines pulsierenden Stroms, wie oben genannt, höher als bei einem konstanten Strom. Die Energiespeicher müssen ferner die Ladung für den zeitlichen Ausgleich bereitstellen. Einerseits werden einige Energiespeicher dadurch ständig entladen und geladen, verbunden mit entsprechender Alterung und Erwärmung. Andererseits muss die dazu notwendige Kapazität in den Modulspeichern zusätzlich zur eigentlich nötigen Kapazität vorgehalten werden.

**[0023]** Die Technologie der modularen Multilevel-Konverter soll insbesondere eingesetzt werden, um die bisher fest verdrahteten eingangs kurz beschriebenen Batteriepacks so in Teilbatterien bzw. Module aufzutrennen, dass die elektrische Verschaltung der Einzelteile dynamisch im Betrieb verändert werden kann. Vorzugsweise können Teilbatterien zwischen einer Parallelschaltung, einer Serienschaltung, einer Überbrückung, d. h. eines Bypasses, und einer Abschaltung einzelner oder mehrerer Teilbatterien umschalten, wie bspw. beschrieben in Götz, S.M.; Peterchev, A.V.; Weyh, T., „Modular Multilevel Converter with Series and Parallel Module Connectivity: Topology and Control“, Power Electronics, IEEE, Transactions on, vol.30, no.1, pp.203,215, 2015. doi: 10.1109/TPEL.2014.2310225. Die dynamische Umkonfigurierung der Verschaltung der Batterieteile bzw. der Einzelmodule ermöglicht eine Vereinigung dreier Funktionen. Zum einen wird ein Ladungsaustausch zwischen den Batterieteilen, um bspw. ein konventionelles Batteriemangement durchzuführen, ermöglicht. Zum anderen können defekte Batterieteile, ohne die Gesamtfunktion zu verlieren, überbrückt werden. Drittens können beliebige Ausgangsspannungen und zeitliche Strom- bzw. Spannungsverläufe direkt durch die Batterie ohne den Bedarf eines zusätzlichen leistungselektronischen Umrichters erzeugt werden.

**[0024]** Dabei können alle Schalter Niederspannungsschalter, bspw. MOSFETs, sein, was bedeutet, dass eine maximale Spannung, für die die jeweiligen Schalter ausgelegt werden müssen, deutlich

unter der Gesamtspannung des Systems liegt, sondern bspw. bei der Maximalspannung des Batterieteils, den die zugehörigen Schalter direkt beaufschlagen. Batterieteile können dabei einzelne Zellen, aber auch mehrere Zellen, bspw. selbst ein kleines Batteriepack, sein. Als Batterie gelten in der vorliegenden Offenbarung bspw. Primärzellen, Sekundärzellen, Kondensatoren jeglicher Art oder Energiequellen oder Energiespeicher, die lediglich Gleichspannung verwenden.

**[0025]** Durch eine dynamische Rekonfiguration der Batterieverschaltung kann direkt die Wechselspannung und die Multiphasenspannung für einen oder mehrere Verbraucher erzeugt werden. Im Gegensatz zu bisherigen Umrichtern kann, wie eingangs bereits erwähnt, ein vorzusehender Modulationsindex bei allen Amplituden maximal gehalten werden. Ferner sinken bei niedrigen Spannungen sogar die Verluste, weil durch eine Parallelschaltung der Batterieteile der effektive Innenwiderstand sinkt. Darüber hinaus erzeugt eine derart geschaltete Batterie eine fast verzerrungsfreie Ausgangsspannung, da die Stufen zwischen den Spannungen zweier Konfigurationen sehr gering gehalten werden können. Darüber hinaus kann per Schaltmodulation zwischen solchen Spannungen moduliert werden, um weiter zu glätten. Jedoch muss die Multiphasenspannung auf eine Weise erzeugt werden, die keinen oder nur geringen Mehraufwand bedeutet.

**[0026]** Bei Verwendung der eingangs genannten Module können die Module zur Erzeugung verschiedener Spannungen in unterschiedlicher Weise zusammengeschaltet werden. Eine Möglichkeit zur Erzeugung von mehrphasigen Spannungen, bspw. Dreiphasen- oder Mehrphasenwechselspannung, bspw. zum Betrieb von mehreren Mehrphasensystemen oder allgemein zur Konvertierung zwischen mehreren elektrischen Anschlüssen, besteht in einer Sternverschaltung zwischen Strängen oder Armen, die jeweils wiederum aus einzelnen Modulen bestehen. Bei der Verwendung der voranstehend erwähnten MMSPC-Module kann eine Verschaltung der Module zur Ermöglichung einer Parallelverschaltung von Modulen über Stranggrenzen hinweg im Sternpunkt erfolgen, wenn die jeweils mindestens zwei elektrischen Anschlüsse jedes Modulstrangs paarweise untereinander verbunden werden. Eine Parallelschaltung über Stränge hinweg erlaubt einen Energieaustausch zwischen diesen Strängen bzw. zwischen den Energiespeichern der in den jeweiligen Strängen enthaltenen Module.

**[0027]** Neben einer Sternschaltung können die Module auch zu einem Ring zusammengeschaltet werden bzw. zu einer n-Eckkonfiguration, wobei eine Strombelastung der in dem Ring enthaltenen Module bei gleicher Antriebsleistung in erster Näherung konstant bleibt. Gleichzeitig sinkt eine durchschnitt-

liche Stromstärke je Phase der elektrischen Maschine invers linear mit der Anzahl der bereitgestellten Phasen. Über zwischen jeweils zwei Modulen innerhalb des Rings vorzusehende Anschlüsse können jeweilige Verbraucher angeschlossen werden, wobei der Aufwand zur Erzeugung einer jeweiligen Phase bspw. ausgehend von einem dreiphasigen System, lediglich in Hinzufügung eines zusätzlichen Abgriffs an der Ringschaltung der Module besteht.

**[0028]** Aus der DE 10 2015 121 226 A1 ist ein Multilevelstromrichter in Form eines Ringes aus Vierpolmodulen bekannt. In eine Ausführungsform zweigt vom Ring ein Arm mit wenigstens zwei Modulen ab, womit das Potenzial des Ringes gegenüber dem Bezugspotenzial am Ende dieses Arms verschoben werden kann.

**[0029]** Ein generelles Problem besteht darin, dass nur sehr begrenzt Energie zwischen den Modulen bzw. zwischen Energiespeichern der Module ausgetauscht werden kann, obwohl im Betrieb eine zeitweise unterschiedliche Belastung der Energiespeicher der jeweiligen Module vorliegen kann, insbesondere, wenn unterschiedliche Abgriffe für jeweils unterschiedliche Antriebsmaschinen eingesetzt werden. Dies betrifft bspw. in einer Mehrmaschinenkonfiguration den üblichen Fall, dass die einzelnen Maschinen in unterschiedlichen Arbeitspunkten betrieben werden, aber auch, dass aufgrund der Wechselspannung die Last der Module mit der Frequenz der Wechselspannung bzw. deren Harmonischen, insbesondere der doppelten Frequenz der Wechselspannung, fluktuieren kann.

**[0030]** Allerdings sind diese Fluktuationen aufgrund des zeitlichen Versatzes der unterschiedlichen Phasen nicht zeitlich synchron und könnten sich daher zu nahezu konstanter Last kompensieren, wenn ein substantieller effizienter Leistungsaustausch zwischen Modulen unterschiedlicher Abgriffe oder Arme möglich wäre.

**[0031]** Demnach war es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Möglichkeit vorzusehen, die Module eines Multilevel-Umrichters bzw. -Konverters in der zugrundeliegenden Makrotopologie so miteinander zu verschalten, dass ein substantieller effizienter Leistungsaustausch zwischen den Modulen unterschiedlicher Abgriffe oder Arme des Umrichters möglich ist.

**[0032]** Zur Lösung dieser Aufgabe wird ein Multilevel-Umrichter und ein Polyphasen-System sowie ein Verfahren mit den Merkmalen der jeweils unabhängigen Patentansprüche bereitgestellt.

**[0033]** Weitere Vorteile und Ausgestaltungen sind der Beschreibung und den jeweiligen Unteransprüchen zu entnehmen.

**[0034]** Es wird ein modularer Multilevel-Umrichter mit einer Mehrzahl von Einzelmodulen, die jeweils eine Mehrzahl von Schaltelementen und mindestens einen elektrischen Energiespeicher aufweisen vorgeschlagen, wobei eine erste Anzahl von Einzelmodulen hintereinander zu einem geschlossenen Ring verschaltet sind, und mindestens zwei Abgriffe jeweils zwischen zwei benachbarten Einzelmodulen des Rings angeordnet sind, wobei zwischen zwei benachbarten Abgriffen mindestens ein Einzelmodul des Rings angeordnet ist, das ein Ringsegment bildet, und wobei an mindestens zwei Abgriffen je eine zweite Anzahl von Einzelmodulen als von der Ringanordnung abzweigendes und einen Sternstrang bildendes Phasenmodul aus mindestens zwei Einzelmodulen vorgesehen ist, das mit einem Ende an dem jeweiligen Abgriff angeschlossen ist und an dem anderen Ende einen Phasenanschluss bildet, wobei die Mehrzahl von Schaltelementen ein Verschalten von Energiespeichern benachbarter Einzelmodule ermöglicht, wodurch zwischen zwei benachbarten Phasenanschlüssen eine Spannungsdifferenz bereitstellbar ist, die von einer ersten Steuereinheit entsprechend eines Verlaufs eines mehrphasigen Drehfeldes regelbar ist, und wodurch zwischen Energiespeichern von Einzelmodulen der Mehrzahl von Einzelmodulen ein Leistungsaustausch realisierbar und von einer zweiten Steuereinheit steuerbar ist.

**[0035]** Die erste und die zweite Steuereinheit können in einer übergeordneten Steuereinheit zusammengeführt sein.

**[0036]** In Ausgestaltung kann ein Leistungsaustausch zwischen Energiespeichern von zu verschiedenen Sternsträngen gehörenden Modulen und/oder zwischen Energiespeichern von Modulen eines Sternstrangs und Modulen der Ringanordnung und/oder zwischen Energiespeichern von Modulen innerhalb der Ringanordnung realisiert und gesteuert werden.

**[0037]** Erfindungsgemäß wird eine Topologie vorgeschlagen, bei der Vorteile einer Ringtopologie mit Vorteilen einer Sterntopologie kombiniert werden, so dass ein Energieaustausch zwischen den Modulen bzw. deren Energiespeichern in der Gesamtopologie möglich wird. Da die eingangs erwähnten MMC-Module lediglich einen seriellen und einen Bypass Verbindungszustand zwischen jeweiligen Modulen ermöglichen, ist durch die erfindungsgemäße Topologie der Module eine Möglichkeit gegeben, Energie zwischen den Modulen, insbesondere zwischen den Modulen der verschiedenen Stränge, auszutauschen.

**[0038]** In Ausgestaltung weisen die Einzelmodule eine erste Seite und eine zweite Seite auf, wobei die erste Seite zwei Anschlüsse und die zweite Seite zwei Anschlüsse aufweist.

**[0039]** Gemäß einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevel-Konverters sind die Einzelmodule der ersten Anzahl von Einzelmodulen jeweils mit zwei elektrischen Leitern miteinander elektrisch verbunden sind. Vorzugsweise sind dabei MMSPC-Module als Einzelmodule vorzusehen.

**[0040]** Dabei stellt in Ausgestaltung jeder oder zumindest einer der mindestens zwei Abgriffe zum jeweiligen Anschluss eines von der Ringanordnung abzweigenden Phasenmoduls je einen Anschluss an den zwei elektrischen Leitern bereit.

**[0041]** In alternativer Ausgestaltung stellt jeder oder zumindest einer der mindestens zwei Abgriffe zum Anschluss eines von der Ringanordnung abzweigenden Phasenmoduls einen Anschluss an einem der zwei elektrischen Leiter bereit.

**[0042]** In noch weiterer Ausgestaltung sind die zwei elektrischen Leiter an jedem oder an zumindest einem der mindestens zwei Abgriffe zum Anschluss eines von der Ringanordnung abzweigenden Phasenmoduls zusammengeführt.

**[0043]** Bei Vorsehen von MMSPC-Modulen, die zusätzlich einen temporär nutzbaren parallelen Verbindungszustand erlauben, kann der Energieaustausch zwischen den Modulen über den zentralen Ring hinweg und die Stränge bzw. Sternstränge über eine zeitweise Parallelschaltung der Module erfolgen, wodurch Strom von jenem Modul mit höherer Spannung, bspw. aufgrund eines höheren Ladezustands des eingebetteten Energiespeichers, zu jenem Modul mit niedriger Spannung der parallel geschalteten Module fließt und somit einen Energieaustausch zwischen den Modulen bewirkt.

**[0044]** Alternativ kann ein Energieaustausch auch über eine Kontrolle bzw. Steuerung eines Energiezu- und abflusses jedes Einzelmoduls in der Gesamtopologie und entsprechend gezielter Wahl eines Modulzustands eines jeweiligen Moduls erfolgen.

**[0045]** Erfindungsgemäß wird eine Topologie mit einem zentralen Ring und daran angeschlossenen Armen bzw. Sternsträngen, die jeweils aus einer Anzahl von Modulen gebildet werden, vorgeschlagen. Eine jeweilige Anzahl an Modulen in jedem Teilstrang kann unterschiedlich sein. Ein Teilstrang von Modulen wird dabei definiert als ein Ringsegment, d. h. ein Abschnitt des Rings zwischen zwei Anschlüssen, an denen bspw. je ein Arm von Modulen, d. h. ein Sternstrang, angeschlossen ist, oder als ein von dem Ring abzweigendes einen Sternstrang bildendes Phasenmodul aus mindestens zwei Modulen. Ferner können auch unterschiedliche Modultypen kombiniert werden. Beispielsweise können in dem zentralen Ring vorwiegend MMC-Module, in den

Armen bzw. Sternsträngen vorwiegend MMSPC-Module verwendet werden.

**[0046]** In einem Dreiphasensystem, d. h. bei Bereitstellung von drei Phasenanschlüssen, ist eine erreichbare Spannung an den Phasenanschlüssen an den jeweiligen Enden der Arme bzw. Sternstränge für den Fall gleichartiger Module, d. h. gleichartiger Modultypen mit symmetrischer Modulverschaltung gegeben durch:

$$V_{\text{Anschluss}} = \left( \frac{n_r}{\sqrt{3}} + n_s \right) \frac{V_m}{3}$$

wobei  $n_r$  die Zahl aller Module im Ring,  $n_s$  die Zahl der Module in den drei Armen bzw. Sternsträngen zusammen und  $V_m$  die Modulspannung eines jeweiligen Moduls angibt.

**[0047]** Eine optimale Auslegung, d. h. eine Wahl der Anzahl der Module im zentralen Ring und den jeweiligen Armen bzw. Sternsträngen stellt ein Optimierungsproblem dar. Dieses Optimierungsproblem unterliegt insbesondere zwei Zielen, nämlich einer möglichst geringen Gesamtmodulanzahl und minimalen Verlusten. Ein derartiges Optimierungsproblem kann durch numerische Simulation gelöst werden.

**[0048]** Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass der gesamte Ladungsaustausch zwischen Modulen innerhalb des Gesamtsystems über Stränge bzw. Teilstränge hinweg nicht mehr allein über eine Parallelschaltung in einem gemeinsamen Sternstrang mit geringer Spannung, d. h. Modulspannung, der einzelnen Module und damit hohem Strom erfolgen muss. Stattdessen kann über den zentralen Ring Ladung und damit Energie über einen in dem zentralen Ring laufenden Ringstrom bei vergleichsweise hohem Spannungsniveau ausgetauscht werden. Sowohl in den Armen bzw. Sternsträngen als auch im zentralen Ring kann ein Energieaustausch zwischen den Modulen über Parallelschaltung als auch über eine geeignete Steuerung bzw. Regelung einer Auswahl der Zustände jedes einzelnen Moduls ausgetauscht werden. In der Regel umfasst der hier vorzusehende zentrale Ring weniger Module als dies bei einer eingangs erwähnten reinen Ringtopologie der Fall wäre, so dass ein Weg für einen Ringstrom deutlich kürzer ist. Bei gleicher ausgleichender Ringstromamplitude erzeugt der Ringstrom im zentralen Ring somit niedrigere Verluste als dies bei einer reinen Ringtopologie der Fall ist.

**[0049]** Gemäß einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen modularen Multilevel-Umrichters ist zwischen zwei benachbarten Einzelmodulen des Rings mindestens ein zusätzlicher Abgriff angeordnet, der einen Phasenanschluss zum direkten Anschluss einer elektrischen Maschine bildet.

**[0050]** In noch weiterer Ausgestaltung sind zwischen zwei benachbarten Abgriffen des Rings mindestens zwei Einzelmodule des Rings angeordnet sind, die ein Ringsegment bilden.

**[0051]** Gemäß einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevel-Umrichters sind die Schaltelemente der Vielzahl von Einzelmodulen Niederspannungshalbleiterschaltelemente, insbesondere MOSFETs.

**[0052]** Vorzugsweise teilen die mindestens zwei Abgriffe zum jeweiligen Anschluss eines von der Ringanordnung abzweigenden Phasenmoduls bzw. Seitenstrangs den Ring der Einzelmodule symmetrisch, d. h. die dadurch gebildeten Ringsegmente umfassen alle die gleiche Anzahl von Einzelmodulen.

**[0053]** In möglicher Ausgestaltung können mehr als drei Sternstränge bzw. Arme an den zentralen Ring angeschlossen werden. Insbesondere können bspw. sechs Sternstränge an den zentralen Ring angeschlossen werden, wobei bspw. ein durch die angeschlossenen Sternstränge definiertes Ringsegment lediglich ein Modul umfasst. Zur Bereitstellung eines bspw. sechsphasigen Systems umfasst der zentrale Ring insbesondere lediglich sechs Module, wobei jedes Modul ein Ringsegment definiert, das beidseitig von einem angeschlossenen Sternstrang begrenzt wird. Demnach sind an dem Ring sechs Sternstränge bzw. Arme angeschlossen, die wiederum eine Mehrzahl an Modulen jeweilig aufweisen, bspw. vier Module. Jeder Sternstrang umfasst zwei Anschlüsse, von denen jeweils einer an den zentralen Ring angeschlossen ist und der andere als freier Anschluss bzw. Phasenanschluss zur Verfügung steht, um daran eine elektrische Maschine anzuschließen. Werden von der Topologie bspw. sechs Anschlüsse zur Verfügung gestellt, so ergibt sich die Möglichkeit, zwei unabhängig zu betreibende elektrische Maschinen, die jeweilig dreiphasig zu betreiben sind, zu versorgen. Beispielsweise könnte eine derartige Topologie für einen elektrischen Allradantrieb mit einer Maschine für eine Vorder- und einer Maschine für eine Hinterachse oder einer Maschine für ein linkes Rad und einer Maschine für ein rechtes Rad eingesetzt werden.

**[0054]** Durch die erfindungsgemäß vorgesehene Topologie könnte über die sechs Abgriffe diese Maschine versorgt werden, wobei ein Energieaustausch zwischen den Modulen unterschiedlicher Teilstränge, der einen wesentlichen Anteil der elektrischen Leistung der entsprechenden Antriebsmaschine, bspw. 20%, insbesondere > 50%, mit vertretbaren Verlusten erreicht werden kann. Der Anschluss von elektrischen Maschinen, wie bspw. Motoren, kann im einfachsten Fall für eine erste Maschine an drei benachbarten Anschlüssen und für eine zweite Maschine ebenfalls an drei benachbarten Anschlüssen er-



folgen. Eine derartige Anordnung erlaubt eine vergleichsweise einfache Regelung und einen maximalen Energieaustausch zwischen zusammengehörigen Phasen der zusammengeschlossenen Maschinen zum Ausgleich von Stromharmonischen in den Endmodulen aufgrund einer Wechselstromlast.

**[0055]** Alternativ kann eine Anschlussweise der Maschinen ineinander verschränkt werden, indem im voranstehend beschriebenen Beispiel von sechs Phasenanschlüssen die sechs Anschlüsse bzw. Phasenanschlüsse im Ring umlaufend bspw. im Wechsel der einen und der anderen Maschine zugeordnet werden. Dabei ergeben sich ebenfalls einige Vorteile. Aufgrund der direkten „elektrischen Nachbarschaft“ wird ein hoher Leistungsfluss zwischen Modulen eines Strangs einer Maschine und jenen der anderen Maschine, um bspw. eine unterschiedliche fahrdynamische Belastung der Maschinen bei Beschleunigung, Verzögerung und Kurvenfahrt durch Energiefluss zwischen den Modulen unterschiedlicher Stränge auszugleichen, ermöglicht. Ferner wird im Fall eines Gleichlaufs der elektrischen Maschinen mit gleicher Frequenz und geeigneter Phase eine nötige Spannung zwischen den benachbarten Anschlüssen bzw. Phasenanschlüssen reduziert, wodurch die von den Modulen zur Verfügung zu stellende Amplitude vermindert wird.

**[0056]** Statt elektrischer Maschinen lassen sich ebenso andere Lasten oder elektrische Netze anschließen, um bspw. eine Energiewandlung zwischen den angeschlossenen Netzen zu ermöglichen und den Multilevel-Umrichter mit jeweils geeigneten Energiespeicherelementen als Netzspeicher oder Kompensationssystem, sogenanntes STATCOM oder UPFC, agieren zu lassen. Dabei müssen die angeschlossenen Netze nicht die gleiche Frequenz oder Amplitude oder eine Synchronität aufweisen. So können bspw. das Bahnstromnetz in Deutschland und unterschiedliche Verbundnetze in Nordamerika oder in Japan angeschlossen werden.

**[0057]** Eine höhere Anzahl von angeschlossenen Maschinen mit entsprechend höherer Phasenzahl des erfindungsgemäßen Umrichters ist ebenso möglich.

**[0058]** Ferner schlägt die vorliegende Erfindung ein elektrisches Polyphasensystem mit

- mindestens einer elektrischen Maschine, die eine Vielzahl von Wicklungen mit einem ersten Anschluss und einem zweiten Anschluss aufweist, wobei mindestens ein Knotenpunkt existiert, mit dem entweder der erste oder der zweite Anschluss jeweils einer Wicklung der Vielzahl von Wicklungen elektrisch verbunden ist und der entsprechend andere Anschluss des ersten und des zweiten Anschlusses jeweils einer Wicklung

der Vielzahl von Wicklungen mit einem Phasenanschluss elektrisch verbunden ist, und

- einem voranstehend beschriebenen erfindungsgemäßen modularen Multilevel-Umrichter,

wobei eine Anzahl von Phasenanschlüssen des modularen Multilevel-Umrichters gleich einer Anzahl von Wicklungen der mindestens einen elektrischen Maschine ist, und

wobei die Einzelmodule des modularen Multilevel-Umrichters je einen Energiespeicher und eine Mehrzahl von Schaltelementen aufweisen, die ein Verschalten von Energiespeichern (**312**) benachbarter Einzelmodule ermöglicht, wodurch zwischen zwei benachbarten Phasenanschlüssen bzw. zwei benachbarten Wicklungen eine Spannungsdifferenz bereitstellbar ist, die von einer ersten Steuereinheit entsprechend eines Verlaufs eines mehrphasigen Drehfeldes regelbar ist, und wodurch zwischen Energiespeichern von Einzelmodulen der Mehrzahl von Einzelmodulen ein Leistungsaustausch realisierbar und von einer zweiten Steuereinheit steuerbar ist.

**[0059]** In möglicher Ausgestaltung arbeitet die mindestens eine elektrische Maschine als Generator oder als Motor.

**[0060]** Ferner wird ein Verfahren zum Betreiben eines elektrischen Polyphasensystems bereitgestellt, bei dem eine elektrische Maschine und ein modularer Multilevel-Umrichter verwendet wird, wobei die elektrische Maschine eine Vielzahl von Wicklungen mit einem ersten Anschluss und einem zweiten Anschluss aufweist und entweder der erste Anschluss oder der zweite Anschluss jeweils einer Wicklung der Vielzahl von Wicklungen mit einem Knotenpunkt verbunden wird, mit dem jede Wicklung der Vielzahl von Wicklungen verbunden ist, und der entsprechend andere Anschluss des ersten und des zweiten Anschlusses jeweils einer Wicklung der Vielzahl von Wicklungen mit einem Phasenanschluss verbunden wird, und wobei der modulare Multilevel-Umrichter eine Mehrzahl von Einzelmodulen aufweist, wobei eine erste Anzahl von Einzelmodulen hintereinander zu einem geschlossenen Ring verschaltet sind, und mindestens zwei Abgriffe jeweils zwischen zwei benachbarten Einzelmodulen des Rings angeordnet sind, wobei zwischen zwei benachbarten Abgriffen mindestens ein Einzelmodul des Rings angeordnet ist, das ein Ringsegment bildet, und wobei an mindestens zwei Abgriffen je eine zweite Anzahl von Einzelmodulen als von der Ringanordnung abzweigendes und einen Sternstrang bildendes Phasenmodul aus mindestens zwei Einzelmodulen vorgesehen ist, das mit einem Ende an dem jeweiligen Abgriff angeschlossen ist und an dem anderen Ende einen Phasenanschluss bildet, mit dem der erste oder der zweite Anschluss einer Wicklung der Vielzahl von Wicklungen der elektrischen Maschine elektrisch verbunden wird,

wobei die Einzelmodule des modularen Multilevel-Umrichters je einen Energiespeicher und eine Mehrzahl von Schaltelementen aufweisen, die ein Verschalten von Energiespeichern benachbarter Einzelmodule ermöglicht, wodurch zwischen zwei benachbarten Phasenanschlüssen bzw. zwei benachbarten Wicklungen eine Spannungsdifferenz bereitgestellt wird, die von einer Steuereinheit entsprechend eines Verlaufs eines mehrphasigen Drehfeldes geregelt wird, und wodurch zwischen Energiespeichern von Einzelmodulen der Mehrzahl von Einzelmodulen ein Leistungsaustausch realisierbar und von einer zweiten Steuereinheit gesteuert wird.

**[0061]** Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.

**[0062]** Es versteht sich, dass die voranstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

**[0063]** Die Erfindung ist anhand von Ausführungsformen in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird unter Bezugnahme auf die Zeichnung schematisch und ausführlich beschrieben.

**Fig. 1** zeigt eine schematische Ansicht einer beispielhaften Makrotopologie eines erfindungsgemäßen und erfindungsgemäß zu verwendenden modularen Multilevel-Umrichters.

**Fig. 2** zeigt eine schematische Ansicht einer weiteren beispielhaften Makrotopologie eines erfindungsgemäßen und erfindungsgemäß zu verwendenden modularen Multilevel-Umrichters.

**Fig. 3** zeigt mehrere Ausführungsformen eines beispielhaften Einzelmoduls zur Verwendung in einem modularen Multilevel-Umrichter aus **Fig. 1** oder **Fig. 2**.

**Fig. 4** zeigt weitere Ausführungsformen eines Einzelmoduls zur Verwendung in einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen modularen Multilevel-Umrichters.

**Fig. 5** zeigt eine noch weitere Ausführungsform eines Einzelmoduls zur Verwendung in einer noch weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen modularen Multilevel-Umrichters.

**Fig. 6** zeigt verschiedene mögliche Verbindungen zwischen Ringanordnung und Sternstrang in einem erfindungsgemäßen modularen Multilevel-Umrichter.

**[0064]** Die Figuren werden zusammenhängend und übergreifend beschrieben, gleichen Komponenten sind dieselben Bezugszeichen zugeordnet.

**[0065]** Elektrofahrzeuge des Stands der Technik verwenden zur Bereitstellung einer Wechselspannung, die für den Betrieb des Elektromotors notwendig ist, Inverter bzw. Wechselrichter, die eine von einer Gleichspannungsquelle bereitgestellte Gleichspannung in die benötigte Wechselspannung umwandeln. Oft wird für Elektromotoren ein dreiphasiger Wechselstrom benötigt, d. h. dass der Elektromotor drei Wicklungen aufweist, wobei der Verlauf der jeweiligen Spannungen in den einzelnen Wicklungen um  $120^\circ$  phasenverschoben ist, wenn die Wicklungen in regelmäßigen Abständen auf einem Kreis angeordnet sind.

**[0066]** Die Phasenanzahl einer elektrischen Maschine wird erhöht, indem die Anzahl der Wicklungen der elektrischen Maschine erhöht wird. Je nachdem wie viele Phasen die elektrische Maschine aufweisen soll, weist die elektrische Maschine entsprechend viele Wicklungen auf. Jede Wicklung ist also einer Phase zugeordnet. Die Vielzahl von Wicklungen soll in der Regel gleichmäßig über einen Umfang eines Kreises verteilt sein, wodurch sich ein gleichmäßiger Phasenwinkel zwischen dem Verlauf der Spannungen der einzelnen Wicklungen einstellt.

**[0067]** Die Wicklungen können auf verschiedene Weise miteinander verschaltet sein. Eine Möglichkeit stellt eine sogenannte Sternschaltung dar. Bei einer Sternschaltung ist jeweils ein Anschluss der einzelnen Wicklungen an einem gemeinsamen Knotenpunkt aller Wicklungen, dem sogenannten Sternpunkt, miteinander elektrisch verbunden. Sind die Wicklungen regelmäßig auf dem Kreis verteilt, ist die Spannung im Sternpunkt Null, wodurch an dem Sternpunkt ein Nullleiter oder Neutralleiter anschließbar ist. Der entsprechend andere Anschluss einer Wicklung ist mit einem Phasenanschluss verbunden und weist eine Spannung auf, die gegenüber dem Sternpunkt erhöht ist.

**[0068]** Der Phasenanschluss wird von einem Umrichter bereitgestellt. In **Fig. 1** ist ein schematisches Schaltbild eines erfindungsgemäßen Umrichters **10**, eines sogenannten modularen Multilevel-Umrichters **10**, veranschaulicht. Der erfindungsgemäße modulare Multilevel-Umrichter **10** weist eine Vielzahl von Einzelmodulen **12** auf. Die Einzelmodule **12** können selber eine beliebige Topologie, eine sogenannte Mikrotopologie, aufweisen, die üblicherweise aus einer Mehrzahl von Schaltelementen und je mindestens einem elektrischen Energiespeicher, beispielweise einem Kondensator oder einer Batteriezelle, besteht.

**[0069]** Beispielhafte Einzelmodule **300**, **320** und **330** sind in den **Fig. 3a**, **Fig. 3b** und **Fig. 3c** dargestellt.

**[0070]** Das beispielhafte Einzelmodul **300** aus **Fig. 3a** weist zwei Seiten auf, die jeweils zwei Anschlüsse aufweisen. Auf einer ersten Seite sind die Anschlüsse **314a** und **314b** angeordnet. Auf einer zweiten Seite sind die Anschlüsse **318a** und **318b** angeordnet. In der gezeigten Ausführungsform weist das beispielhafte Einzelmodul **300** acht Schaltelemente **316-1**, **316-2**, **316-3**, **316-4**, **316-5**, **316-6**, **316-7**, **316-8** auf. Damit stehen für eine elektrische Verbindung der Anschlüsse **314a**, **314b** mit den Anschlüssen **318a**, **318b** für jede Verbindung, also **314a-318a**, **314a-318b**, **314b-318a** und **314b-318b**, jeweils zwei Lastpfade zur Verfügung. Das ermöglicht es, die Schaltelemente **316-1** bis **316-8** für eine geringere Stromtragfähigkeit auszulegen. Somit können für die Schaltelemente auch Niederspannungsschaltelemente bzw. Niederspannungshalbleiterschaltelemente verwendet werden, weil die maximale Spannung, für die die Schaltelemente **316-1** bis **316-8** ausgelegt sein müssen, deutlich unter der Gesamtspannung des Systems liegt, nämlich beispielsweise nur bei der Maximalspannung des elektrischen Energiespeichers **312** eines Einzelmoduls **300**, dem die Schaltelemente **316-1** bis **316-8** zugeordnet sind. Der elektrische Energiespeicher **312** kann ein Kondensator jeglicher Art oder eine einzelne Batteriezelle oder mehrere Batteriezellen (beispielsweise ein kleines Batteriepack) sein. Es soll verstanden werden, dass als Batterie beispielsweise Primärzellen, Sekundärzellen oder Energiequellen und Energiespeicher, die lediglich eine Gleichspannung bereitstellen, verwendet werden können.

**[0071]** Die in **Fig. 3a** dargestellten Schaltelemente erlauben für fast alle Verbindungen zwischen dem Energiespeicher **312** und einem entsprechenden Energiespeicher eines gleichartigen benachbarten Einzelmoduls zwei parallele Pfade. Die Schaltelemente werden entsprechend parallel verwendet. Allerdings lassen sich Schaltelemente eliminieren, um die Komplexität zu verringern. Die verbleibenden Schaltelemente sollten dann jedoch mit entsprechend größeren Halbleitern, falls Halbleiterschaltelemente verwendet werden, implementiert werden, um die gleiche Stromtragfähigkeit zu ermöglichen. Durch eine entsprechende Wahl von Halbleitern lassen sich bestimmte Schaltzustände hinsichtlich ihrer Verluste gegenüber anderen optimieren.

**[0072]** So bilden die Schaltelemente **316-1** und **316-7** einen Pfad, der zu dem durch die Schaltelemente **316-2** und **316-8** gebildeten Pfad parallel ist und zu demselben Ziel führt, d. h. je nach Richtung zu dem Anschluss **314a** oder zu dem Anschluss **318a**. Die Schaltelemente **316-6** und **316-4** bilden einen Pfad, der zu demselben Ziel führt wie der durch die Schaltelemente **316-5** und **316-3** gebildete Pfad, nämlich je nach Richtung zu dem Anschluss **314b** oder zu dem Anschluss **318b**. Die Schaltelemente **316-1** und **316-5** bilden einen Pfad, der zu dem gleichen Ziel führt wie

der durch die Schaltelemente **316-2** und **316-6** gebildete Pfad. Ferner bilden die Schaltelemente **316-4** und **316-8** einen Pfad, der zu dem durch die Schaltelemente **316-7** und **316-3** gebildeten Pfad parallel ist und zu demselben Ziel führt, nämlich je nach Richtung zu dem Anschluss **314b** oder **318a**.

**[0073]** Bei einer Eliminierung kann nun ein beliebiges Schaltelement entfernt werden. Ein zweites zu eliminierendes Schaltelement sollte allerdings so gewählt werden, dass noch immer von jedem Anschluss zu jedem anderen Anschluss über die verbleibenden Schaltelemente eine Verbindung hergestellt werden kann. Dadurch ergeben sich eine Reihe reduzierter Schaltungen.

**[0074]** Das beispielhafte Einzelmodul **320** aus **Fig. 3b** weist ebenfalls zwei Seiten auf, die jeweils zwei Anschlüsse aufweisen. Auf einer ersten Seite sind die Anschlüsse **324a** und **324b** angeordnet. Auf einer zweiten Seite sind die Anschlüsse **328a** und **328b** angeordnet. In der gezeigten Ausführungsform weist das beispielhafte Einzelmodul **320** vier Schaltelemente **326-1**, **326-2**, **326-3** und **326-4** auf. Die Schaltelemente **326-1** bis **326-4** können trotzdem noch für eine relativ geringe Stromtragfähigkeit ausgelegt sein, weil die maximale Spannung, für die die Schaltelemente **326-1** bis **326-4** ausgelegt sein müssen, deutlich unter der Gesamtspannung des Systems liegt, nämlich beispielsweise nur bei der Maximalspannung des elektrischen Energiespeichers **322** eines Einzelmoduls **320**, dem die Schaltelemente **326-1** bis **326-4** zugeordnet sind. Somit können für die Schaltelemente auch Niederspannungsschaltelemente bzw. Niederspannungshalbleiterschaltelemente verwendet werden. Der elektrische Energiespeicher **322** kann ein Kondensator jeglicher Art oder eine einzelne Batteriezelle oder mehrere Batteriezellen (beispielsweise ein kleines Batteriepack) sein. Es soll verstanden werden, dass als Batterie beispielsweise Primärzellen, Sekundärzellen oder Energiequellen und Energiespeicher, die lediglich eine Gleichspannung bereitstellen, verwendet werden können.

**[0075]** Die in **Fig. 3b** dargestellten Schaltelemente erlauben eine Parallelschaltung zwischen dem Energiespeicher **322** und einem entsprechenden Energiespeicher eines gleichartigen benachbarten Einzelmoduls. Die Schaltelemente werden entsprechend parallel verwendet.

**[0076]** So bildet das Schaltelement **326-1** einen Pfad, der je nach Richtung zu dem Anschluss **324a** oder zu dem Anschluss **328a** führt. Die Schaltelemente **326-1** und **326-3** bilden einen Pfad, der je nach Richtung zu dem Anschluss **324b** oder zu dem Anschluss **328a** führt. Die Schaltelemente **326-2** und **326-1** bilden einen Pfad, der je nach Richtung zu dem Anschluss **328b** oder zu dem Anschluss **324a** führt.

Ferner bilden die Schaltelemente **326-1** und **326-3** einen Pfad, der je nach Richtung zu dem Anschluss **328ab** oder **324b** führt.

**[0077]** Das beispielhafte Einzelmodul **330** aus **Fig. 3c** weist ebenfalls zwei Seiten auf, die jeweils zwei Anschlüsse aufweisen. Auf einer ersten Seite sind die Anschlüsse **334a** und **334b** angeordnet. Auf einer zweiten Seite sind die Anschlüsse **338a** und **338b** angeordnet. In der gezeigten Ausführungsform weist das beispielhafte Einzelmodul **330** vier Schaltelemente **336-1**, **336-2**, **336-3**, **336-4** auf. Der elektrische Energiespeicher **332** kann ein Kondensator jeglicher Art oder eine einzelne Batteriezelle oder mehrere Batteriezellen (beispielsweise ein kleines Batteriepack) sein. Es soll verstanden werden, dass als Batterie beispielsweise Primärzellen, Sekundärzellen oder Energiequellen und Energiespeicher, die lediglich eine Gleichspannung bereitstellen, verwendet werden können.

**[0078]** Die in **Fig. 3c** dargestellten Schaltelemente erlauben eine Parallelschaltung zwischen dem Energiespeicher **332** und einem entsprechenden Energiespeicher eines gleichartigen benachbarten Einzelmoduls. Die Schaltelemente werden entsprechend parallel verwendet.

**[0079]** Die Schaltelemente **336-1** und **336-4** bilden einen Pfad, der je nach Richtung zu dem Anschluss **334a** oder zu dem Anschluss **338b** führt. Das Schaltelement **336-2** bildet einen Pfad, der je nach Richtung zu dem Anschluss **334b** oder zu dem Anschluss **338b** führt. Die Schaltelemente **336-3** und **336-4** bilden einen Pfad, der je nach Richtung zu dem Anschluss **334a** oder zu dem Anschluss **338a** führt.

**[0080]** **Fig. 4** zeigt diverse Modultopologien bzw. Einzelmodule **400**, **410**, **420**, **430**, **440**, **450**, **460**, **470**, **480**, **490**, **40**, die jeweils als Einzelmodul **12** eingesetzt werden können. Die hier gezeigten Einzelmodule **400**, **410**, **420**, **430**, **440**, **450**, **460**, **470**, **480**, **490**, **40** erlauben im Gegensatz zu den in **Fig. 3** gezeigten Einzelmodulen **300**, **320**, **330** keine Parallelschaltung zu einem daran angekoppelten Nachbarmodul.

**[0081]** Die Module **400**, **410**, **420**, **430**, **440**, **450**, **460**, **470**, **480**, **490**, **40** weisen alle jeweils nur zwei Anschlüsse **404**, **408**; **414**, **418**; **424**, **428**; **434**, **438**; **444**, **448**; **454**, **458**; **464**, **468**; **473**, **478**; **484**, **488**; **493**, **498**; **44**, **48** auf. Die Module **400** und **410** weisen jeweils einen Energiespeicher **402** bzw. **412**, die Module **430**, **440**, **450**, **460**, **470**, **480**, **490** und **40** weisen jeweils zwei Energiespeicher **432a**, **432b**; **442a**, **442b**; **452a**, **452b**; **462a**, **462b**; **472a**, **472b**; **482a**, **482b**; **492a**, **492b**; **40a**, **40b** auf. Das Modul **420** weist drei Energiespeicher **422a**, **422b** und **422c** auf. Die Module **430**, **460** und **470** weisen noch einzelne Dioden **437-1**, **437-2**; **467**; **477-1**, **477-2** auf. Das Modul

**450** weist ferner ein zentrales geschaltetes Gleichrichtermodul **457** auf.

**[0082]** **Fig. 5** zeigt ein Einzelmodul **500**, das vier Anschlüsse **504a**, **504b**, **508a**, **508b**, acht Schaltelemente **506-1**, **506-2**, **506-3**, **506-4**, **506-5**, **506-6**, **506-7**, **506-8** und ein Batteriemanagementsystem **507** aufweist. Die Verschaltmöglichkeiten der acht Schaltelemente **506-1**, **506-2**, **506-3**, **506-4**, **506-5**, **506-6**, **506-7**, **506-8** sind gleich denen zu dem Einzelmodul **300** aus **Fig. 3a**. Damit stehen für eine elektrische Verbindung der Anschlüsse **504a**, **504b** mit den Anschlüssen **508a**, **508b** für jede Verbindung, also **504a-508a**, **504a-508b**, **504b-508a** und **504b-508b**, jeweils zwei Lastpfade zur Verfügung. Als Energiespeicher **502-1**, **502-2**, **502-3**,..., **502-n**, denen jeweils parallel geschaltet ein Widerstand **503-1**, **503-2**, **503-3**,..., **503-n** zugeordnet sind, können Batteriezellen oder Doppelschichtkondensatoren gewählt werden. Bei einer Serienschaltung solcher Energiespeicher ist es vorteilhaft, ein Batteriemangement **507** in der Form zu haben, dass einzelne Zellen weitgehend unabhängig von den anderen Zellen entladen werden können, was beispielsweise durch hier gezeigte Widerstände **503-1**, **503-2**, **503-3**,..., **503-n** oder über steuerbare Entladungspfade erfolgen kann. Durch das Batteriemanagementsystem **507** können die einzelnen Zellen **502-1**, **502-2**, **502-3**,..., **502-n** einzeln entladen werden, falls eine entsprechende einzelne Zelle höher geladen ist als andere der einzelnen Zellen.

**[0083]** Es soll verstanden werden, dass für den modularen Multilevel-Umrichter **10** nicht nur die gezeigten beispielhaften Einzelmodule **300**, **320**, **330**, **400**, **410**, **420**, **430**, **440**, **450**, **460**, **470**, **480**, **490**, **40**, **500** als Einzelmodul **12** verwendet können, sondern die Einzelmodule **12** jede beliebige bekannte Topologie aus dem Stand der Technik aufweisen können.

**[0084]** Mit solch einem mit Einzelmodulen **12** ausgestatteten modularen Multilevel-Umrichter **10** können bisher fest verdrahtete Batteriepacks so in Einzelteile bzw. Einzelmodule **12** aufgetrennt werden, dass eine elektrische Verschaltung der Einzelteile **12**, also der Energiespeicher benachbarter Einzelmodule, dynamisch im Betrieb verändert werden kann. Die Energiespeicher benachbarter Einzelmodule können zwischen einer Parallelschaltung, einer Serienschaltung, einer Überbrückungsschaltung und einer Abschaltung einzelner oder mehrerer Einzelmodule umschalten. Das ermöglicht, dass über einen Ladungsaustausch zwischen den Einzelmodulen bzw. Energiespeichern, beispielsweise ein konventionelles Batteriemangement durchgeführt werden kann, um die Energiespeicher gleichmäßig zu belasten. Weiterhin können defekte Einzelmodule **12** überbrückt werden, ohne die Gesamtfunktion zu verlieren. Insbesondere können beliebige Ausgangsspannungen und zeitliche Strom- bzw. Spannungsverläufe an den Anschlüssen, bspw. **314a**, **314b**, **318a**, **318b** im Fall von

**Fig. 3a**, direkt durch die Einzelmodule erzeugt werden, ohne dass es eines zusätzlichen leistungselektronischen Umrichters bedarf.

**[0085]** Die Einzelmodule **12** sind, wie in **Fig. 1** ersichtlich, über ihre Anschlüsse, wie beispielsweise die Anschlüsse **314a**, **314b**, **318a**, **318b** des Einzelmoduls **300** der **Fig. 3a**, mit einem benachbarten Einzelmodul **12** über zwei elektrische Leiter **16** und **18** elektrisch verbunden. Erfindungsgemäß ist eine erste Anzahl von Einzelmodulen **12** in einem Kreis bzw. Ring angeordnet, so dass ein n-tes Einzelmodul **12** mit einem ersten Einzelmodul **12** elektrisch verbunden ist. Um die von den Einzelmodulen **12** erzeugten Strom- bzw. Spannungsverläufe abgreifen zu können, sind zwischen zwei benachbarten Einzelmodulen **12** hier drei Abgriffe **14** angeordnet, an denen jeweils ein von der Ringanordnung abzweigendes Phasenmodul **20** angeschlossen ist, wobei jedes Phasenmodul **20** hier vier Einzelmodule **12** umfasst und wobei das dem Ring abgewandte Ende **21** des Phasenmoduls **20** je einen Phasenanschluss **21** zum Anschluss einer Phase einer elektrischen Maschine bildet. Im hier gezeigten Beispiel sind die Abgriffe **14** gleichmäßig über den Ring verteilt und stellen drei Phasenanschlüsse **21** über jeweilige von der Ringanordnung abzweigende Phasenmodule bzw. Sternstränge **20** dar. Jedes der Phasenmodule **20** umfasst hier vier Einzelmodule **12**, die je einen Sternstrang bilden. Zwischen zwei benachbarten Abgriffen **14** sind hier je zwei ein Phasenmodul bzw. ein Ringsegment bildende Einzelmodule **12** angeordnet. Generell können die Sternstränge **20** und die Ringsegmente eine beliebige und voneinander unterschiedliche Anzahl an Einzelmodulen **12** umfassen. Ferner können die Einzelmodule **12** in den Ringsegmenten und in den Sternsträngen **20** unterschiedlichen Typs sein. Bspw. können die Einzelmodule **12** in den Ringsegmenten vorwiegend MMC-Module und in den Sternsträngen vorwiegend MMSPC-Module sein. Ferner können die Einzelmodule **12** auch innerhalb eines Sternstrangs **20** und/oder innerhalb der Ringanordnung **11** unterschiedlichen Typs sein. Je nach Ausgestaltung der Einzelmodule **12** können die Verbindungen zwischen den Einzelmodulen **12** und zu den Abgriffen **14** zum jeweiligen Anschluss eines Sternstrangs **20** unterschiedlich definiert werden, was hier durch eine jeweilige Umrahmung der Abgriffe **14** kenntlich gemacht ist, d. h. getrennt über zwei oder lediglich über einen elektrischen Leiter **16**, **18** oder über eine Zusammenführung von zwei Leitern **16**, **18**. Zunächst sind in **Fig. 1** drei derartige Abgriffe **14** dargestellt. Durch einfaches Hinzufügen eines zusätzlichen Abgriffs **14\*** kann ein zusätzlicher, direkt an der Ringanordnung **11** ausgebildeter Phasenanschluss bereitgestellt werden. Ein solcher Umrichter bzw. modularer Multilevel-Umrichter **10** mit im Kreis bzw. Ring angeordneten Einzelmodulen **12**, kann nun auf einfache Weise mit beliebig vielen, insbesondere über jeweilige Sternsträn-

ge **20** bereitstellbaren Phasenanschlüssen **21** ausgestattet werden (je nachdem wie viele Einzelmodule **12** vorhanden sind, deren Anzahl aber auch beliebig erhöht werden kann). Die Abgriffe **14** lassen sich auf verschiedene Arten realisieren. Beispielsweise können an einem Abgriff **14** beide elektrische Leiter **16**, **18** zum Anschluss von entsprechend zwei Leitern eines Einzelmoduls **12** eines Sternstrangs **20** zur Verfügung stehen. Ferner könnten an dem Abgriff **14** die beiden elektrischen Leiter **16**, **18** zusammengeführt werden. Damit ist jedoch keine Parallelschaltung benachbarter Energiespeicher der Einzelmodule möglich. Alternativ könnte ein Abgriff **14** realisiert werden, der lediglich an einem elektrischen Leiter **16** bzw. **18** einen Anschluss bereitstellt, wie dies für den zusätzlichen Abgriff **14\*** dargestellt ist. Damit ist jedoch die Strombelastung für die Schaltelemente, die die jeweilige elektrische Leitung bedienen, größer. Zwischen zwei Abgriffen **14** bilden die entsprechenden Einzelmodule ein Ringsegment.

**[0086]** Durch solch eine Anordnung der Einzelmodule **12** in dem modularen Multilevel-Umrichter **10** kann durch die dynamische Rekonfiguration direkt die Wechselspannung und die Multiphasenspannung für einen oder mehrere Verbraucher, wie beispielsweise eine elektrische Maschine, die als Motor arbeitet, erzeugt werden. Im Gegensatz zu Umrichtern des Stands der Technik kann ein Modulationsindex, d. h. ein Kennwert einer entsprechenden Frequenzmodulation, bei allen Amplituden maximal gehalten werden. Des Weiteren sinken bei niedrigen Spannungen sogar die Verluste, weil durch eine Parallelschaltung von Batterieteilen (also der jeweiligen Energiespeicher) einer geschalteten Batterie ein effektiver Innenwiderstand sinkt. Weiterhin erzeugt eine geschaltete Batterie, bei der die Energiespeicher zwischen einer Parallelschaltung und einer Serienschaltung hin und her geschaltet werden können, eine fast verzerrungsfreie Ausgangsspannung, da Stufen zwischen den Spannungen zweier Konfigurationen sehr gering gehalten werden können. Darüber hinaus kann per Schaltmodulation zwischen solchen Spannungen moduliert werden, um weiter zu glätten.

**[0087]** Durch die erfindungsgemäße Makrotopologie der miteinander verschalteten Einzelmodule **12** wird zudem ein einfacher und effizienter Leistungsausgleich zwischen den Energiespeichern der Mehrzahl von Einzelmodulen **12**, seien sie Teil eines Sternstrangs **20** oder Teil eines Ringsegments, realisiert und steuerbar.

**[0088]** Erfindungsgemäß kann mit dem erfindungsgemäßen Polyphasensystem die Anzahl der Phasen auf einfache Weise erhöht werden. Dabei werden die Wicklungen der elektrischen Maschine als sogenannte Sternschaltung verschaltet und der modulare Multilevel-Umrichter **10** als n-Eck-Schaltung bzw. Ringschaltung mit einer der Phasenanzahl entspre-

chenden Anzahl von der Ringschaltung abzweigenden Sternsträngen **20** betrieben. Ein Anschluss der Wicklungen der elektrischen Maschine ist dabei jeweils mit einem Phasenanschluss **21** des Multilevel-Umrichters **10** elektrisch verbunden.

**[0089]** Mit dem erfindungsgemäßen Polyphasensystem, insbesondere durch die Verwendung eines modularen Multilevel-Umrichters **10** mit einer erfindungsgemäßen Makrotopologie von Einzelmodulen **12**, lässt sich nun direkt die Spannungsdifferenz zwischen zwei benachbarten Phasensträngen bzw. Wicklungen einer oder mehrerer elektrischer Maschinen darstellen und bereitstellen. Erhöht man die Anzahl der Phasen, bleibt die Spannung an den Wicklungen der jeweiligen elektrischen Maschine konstant, jedoch sinkt die von dem Umrichter bereitstellbare Phasenspannung linear. Bei herkömmlichen Leistungselektronikschaltungen war dieser Zusammenhang belanglos, da Inverter des Stands der Technik die jeweiligen Phasenspannungen stets gegen ein Referenzpotential, beispielsweise die Klemmen eines Zwischenkreiskondensators, erzeugen und keine Spannungsdifferenzen zwischen zwei Wicklungen bilden können. Die Spannungsdifferenzen können jedoch direkt durch den modularen Multilevel-Umrichter **10** erzeugt werden. Durch die Verwendung eines n-phasigen Systems, also ein System mit hoher (größer 3) Phasenanzahl (insbesondere bei der elektrischen Maschine), bei dem Last (elektrische Maschine) und Quelle (modularer Multilevel-Umrichter) unterschiedlich verschaltet sind (elektrische Maschine Sternschaltung, modularer Multilevel-Umrichter in n-armiger Eck- bzw. Ringschaltung), können die zusätzlichen Phasen mit sehr geringer Spannung erzeugt werden. Die sehr geringe Spannung lässt sich mit einer geringen Anzahl von Einzelmodulen **12** in einem Phasenmodul **20** erzeugen. In der Regel weist ein Phasenmodul **20** mindestens zwei Einzelmodule **12** auf.

**[0090]** Weist der modulare Multilevel-Umrichter **10** beispielsweise drei Phasenanschlüsse **21** auf, arbeitet der Umrichter in einer bekannten Dreieck-Schaltung. Der Aufwand zum Hinzufügen einer weiteren Phase besteht lediglich im Hinzufügen eines zusätzlichen Abgriffs **14** und eines davon abzweigenden Sternstrangs **20**. Die Strombelastung der Einzelmodule **12** bleibt dabei bei gleicher Antriebsleistung in erster Näherung konstant. Gleichzeitig sinkt jedoch die durchschnittliche Stromstärke je Phase der elektrischen Maschine invers linear mit der Anzahl der Phasen. Da die Spannungsdifferenz zwischen den Wicklungen nun direkt von dem Umrichter **10** bereitgestellt wird, ist die Spannung an der Wicklung nun nicht mehr auf den Sternpunkt bezogen, sondern zu einer benachbarten Wicklung. Der Sternpunkt ist somit ein Freiheitsgrad in einem Regelalgorithmus und kann als eine Nebenbedingung in dem Regelalgorithmus des Umrichters implementiert werden.

**[0091]** Durch die Erhöhung der Anzahl der Phasen, reduziert sich, wie erwähnt, die Phasenspannung im Umrichter.

**[0092]** Fig. 2 zeigt eine weitere Ausführungsform eines modularen Multilevel-Umrichters **100** zur Verwendung in einem erfindungsgemäßen Polyphasensystem. Dabei weist der modulare Multilevel-Umrichter **100** drei zusätzliche Phasenmodule **20** auf. Die zusätzlichen Phasenmodule **20** weisen jeweils mindestens zwei, hier vier Einzelmodule **12** auf. Die zusätzlichen Phasenmodule **20** sind je an einem Abgriff **14** angeschlossen.

**[0093]** Darüber hinaus weist die in Fig. 2 gezeigte Ausführungsform des modularen Multilevel-Umrichters **100** eine Mehrzahl von Einzelmodulen **12** auf, die zu einem Ring **11** miteinander verschaltet sind. Die Einzelmodule **12** sind dabei über zwei elektrische Leiter **16**, **18** miteinander verbunden. Zwischen je zwei benachbarten Einzelmodulen **12** sind Abgriffe **14** angeordnet. Dabei können beide elektrischen Leiter **16**, **18** zusammengeführt werden, um einen Anschluss zu bilden. Oder ein Anschluss ist lediglich an einem elektrischen Leiter **16**, **18** angeordnet. Oder ein jeweiliger Sternstrang **20** ist über zwei elektrische Leiter mit den beiden elektrischen Leitern **16**, **18**, wie hier dargestellt, verbunden.

**[0094]** Es gibt zwei bevorzugte Mechanismen für einen Energieaustausch innerhalb des erfindungsgemäßen Multilevelumrichters **10**, **100**. Zum einen sind dies, wie durch gebogenen Pfeil innerhalb der Ringanordnung **11** angedeutet, Ringströme in der Ringanordnung **11**, zum anderen, wie beispielhaft durch einen Pfeil an einem Sternstrang **20** angedeutet, eine Parallelschaltung im Sternstrang **20** und von Ringanordnung **11** zu einem jeweiligen Sternstrang **20**. Durch Parallelschaltung im Sternstrang **20** und/oder von Ringanordnung **11** zu Sternstrang **20** ist ein Ladungsausgleich zwischen den davon umfassten Modulen **12** möglich. Durch die Ringströme in der Ringanordnung **11** ist ebenfalls ein Ladungsausgleich zwischen den von der Ringanordnung **11** umfassten Modulen **12** möglich. Zwar können die Mechanismen auch umgekehrt, d.h. in den jeweils anderen Bereichen verwendet werden, doch ist die voranstehend genannte Verwendung der Mechanismen vorteilhaft.

**[0095]** Fig. 6 zeigt verschiedene Verbindungsmöglichkeiten zwischen Ringanordnung **11** und einzelner Sternstrang **20** eines erfindungsgemäßen Multilevelkonverters an Abgriff bzw. Sternpunkt **14**. Verbindung **601** stellt allgemein eine Verbindung bzw. Anknüpfung eines Sternstrangs **20** an die Ringanordnung **11** dar und steht als Platzhalter für spezifisch ausgestaltete Anknüpfungen **602**, **603**, **604**, **605**, **607**, **609**. An den Anknüpfungspunkten **602**, **603** und **604** werden jeweils zwei Module der Ringanordnung **11** mit einem Modul eines Sternstrangs **20** ver-

bunden. Die Anknüpfungspunkte **605**, **607** und **609** erlauben jeweils ebenfalls eine Verbindung zwischen zwei Modulen der Ringanordnung **11** mit einem Modul eines Sternstrangs **20**. Ferner erlauben sie jeweils über extra vorgesehene Anschlüsse **606**, **608** und **610** eine Anbindung eines weiteren Moduls und/oder eines Verbrauchers, unabhängig von einer Verbindung zwischen Ringanordnung **11** und Sternstrang **20**. Die Anknüpfungsmöglichkeiten **602** und **605** sind besonders vorteilhaft, da sie jeweils bei Verwendung von MMSPC-Modulen als Einzelmodule eine zeitweise Parallelverschaltung über den Sternpunkt **14** hinweg erlauben.

### Patentansprüche

1. Modularer Multilevel-Umrichter (10, 100) mit einer Mehrzahl von Einzelmodulen (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500), die jeweils eine Mehrzahl von Schaltelementen (316-1 bis 316-8; 406-1, 406-2; 416-1 bis 416-4; 426-1 bis 426-4; 436-1 bis 436-4; 446-1 bis 446-4; 456-1, 456-1, 457; 466-1, 466-2, 466-3; 476-1 bis 476-4; 486-1 bis 486-4; 496-1 bis 486-6; 496-1 bis 496-6; 46-1 bis 46-4; 502-1 bis 506-8) und mindestens einen elektrischen Energiespeicher (312; 402; 412; 422a, 422b, 422c; 432a, 432b; 442a, 442b; 452a, 452b; 462a, 462b; 472a, 472b; 482a, 482b; 492a, 492b; 42a, 42b; 502-1, 502-2, 502-3,...502-n) aufweisen, wobei eine erste Anzahl von Einzelmodulen (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) hintereinander zu einem geschlossenen Ring verschaltet sind, und mindestens zwei Abgriffe (14) vorgesehen sind, von denen jeder zwischen zwei benachbarten Einzelmodulen (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) des Rings angeordnet ist, wobei zwischen zwei benachbarten Abgriffen (14) mindestens ein Einzelmodul (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) des Rings angeordnet ist, das ein Ringsegment bildet, und wobei an mindestens zwei Abgriffen je eine zweite Anzahl von Einzelmodulen als von der Ringanordnung (11) abzweigendes und einen Sternstrang bildendes Phasenmodul (22) aus mindestens zwei Einzelmodulen (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) vorgesehen ist, das mit einem Ende an dem jeweiligen Abgriff (14) angeschlossen ist und an dem anderen Ende einen Phasenanschluss (21) bildet, wobei die Mehrzahl von Schaltelementen (316-1 bis 316-8; 406-1, 406-2; 416-1 bis 416-4; 426-1 bis 426-4; 436-1 bis 436-4; 446-1 bis 446-4; 456-1, 456-1, 457; 466-1, 466-2, 466-3; 476-1 bis 476-4; 486-1 bis 486-4; 496-1 bis 486-6; 496-1 bis 496-6; 46-1 bis 46-4; 502-1 bis 506-8) ein Verschalten von Energiespeichern (312; 402; 412; 422a, 422b, 422c; 432a, 432b; 442a, 442b; 452a, 452b; 462a, 462b; 472a, 472b; 482a, 482b; 492a, 492b; 42a, 42b; 502-1, 502-2, 502-3,...502-n) benachbarter Einzelmodule (12, 300, 320, 330, 400,

410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) ermöglicht, wodurch zwischen zwei benachbarten Phasenanschlüssen (21) eine Spannungsdifferenz bereitstellbar ist, die von einer Steuereinheit entsprechend eines Verlaufs eines mehrphasigen Drehfeldes regelbar ist, und wodurch zwischen Energiespeichern von Einzelmodulen der Mehrzahl von Einzelmodulen ein Leistungsaustausch realisierbar und von einer zweiten Steuereinheit steuerbar ist.

2. Modularer Multilevel-Umrichter (10, 100) nach Anspruch 1, bei dem mehrere der Einzelmodule (12, 300, 320, 330, 500) eine erste Seite und eine zweite Seite aufweisen, wobei die erste Seite zwei Anschlüsse (314a, 314b; 324a, 324b; 334a, 334b; 504a, 504b) und die zweite Seite zwei Anschlüsse (318a, 318b; 328a, 328b; 338a, 338b; 508a, 508b) aufweist.

3. Modularer Multilevel-Umrichter (10, 100) nach Anspruch 2, bei dem die erste Anzahl von Einzelmodulen (12, 300, 320, 330, 500) jeweils mit zwei elektrischen Leitern (16, 18) miteinander elektrisch verbunden sind.

4. Modularer Multilevel-Umrichter (10, 100) nach Anspruch 3, bei dem jeder oder zumindest einer der mindestens zwei Abgriffe (14) zum jeweiligen Anschluss eines von der Ringanordnung (11) abzweigenden Phasenmoduls (20) an den zwei elektrischen Leitern (16, 18) je einen Anschluss bereitstellt.

5. Modularer Multilevel-Umrichter (10, 100) nach Anspruch 3, bei dem jeder oder zumindest einer der mindestens zwei Abgriffe (14) zum Anschluss eines von der Ringanordnung (11) abzweigenden Phasenmoduls (20) einen Anschluss an einem der zwei elektrischen Leiter (16, 18) bereitstellt.

6. Modularer Multilevel-Umrichter (100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem zwischen zwei benachbarten Einzelmodulen (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) des Rings mindestens ein zusätzlicher Abgriff (14\*) angeordnet ist, der einen Phasenanschluss zum direkten Anschluss einer elektrischen Last oder eines elektrischen Netzes an den Ring bildet.

7. Modularer Multilevel-Umrichter (10, 100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem zwischen zwei benachbarten Abgriffen (14) des Rings mindestens zwei Einzelmodule (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) des Rings angeordnet sind, die ein Phasenmodul (20) bilden.

8. Modularer Multilevel-Umrichter (10, 100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem zumindest ein Teil der Schaltelemente (316-1 bis 316-8; 406-1, 406-2; 416-1 bis 416-4; 426-1 bis 426-4;

436-1 bis 436-4; 446-1 bis 446-4; 456-1, 456-1, 457; 466-1, 466-2, 466-3; 476-1 bis 476-4; 486-1 bis 486-4; 496-1 bis 486-6; 496-1 bis 496-6; 46-1 bis 46-4; 502-1 bis 506-8) der Vielzahl von Einzelmodulen (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) Niederspannungshalbleiterschaltetelemente sind.

9. Modularer Multilevel-Umrichter (10, 100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem die mindestens zwei Abgriffe (14) zum jeweiligen Anschluss eines von der Ringanordnung (11) abzweigenden Phasenmoduls (20) den Ring der Einzelmodule (12) symmetrisch teilen.

10. Modularer Multilevel-Umrichter (10, 100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem die erste Anzahl von Einzelmodulen (12) aus MMC-Modulen und die jeweilige zweite Anzahl von Einzelmodulen aus MMSPC-Modulen besteht.

11. Elektrisches Polyphasensystem mit  
 - mindestens einer elektrischen Maschine, die eine Vielzahl von Wicklungen mit einem ersten Anschluss und einem zweiten Anschluss aufweist, wobei mindestens ein Knotenpunkt existiert, mit dem entweder der erste oder der zweite Anschluss jeweils einer Wicklung der Vielzahl von Wicklungen elektrisch verbunden ist und der entsprechend andere Anschluss des ersten und des zweiten Anschlusses jeweils einer Wicklung der Vielzahl von Wicklungen mit einem Phasenanschluss (14) elektrisch verbunden ist, und  
 - einem modularen Multilevel-Umrichter (10, 100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei eine Anzahl von Phasenanschlüssen (14) des modularen Multilevel-Umrichters (10, 100) gleich einer Anzahl von Wicklungen der mindestens einen elektrischen Maschine ist, und  
 wobei die Einzelmodule (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) des modularen Multilevel-Umrichters (10, 100) je einen Energiespeicher (312) und eine Mehrzahl von Schaltelementen (316-1 bis 316-8; 406-1, 406-2; 416-1 bis 416-4; 426-1 bis 426-4; 436-1 bis 436-4; 446-1 bis 446-4; 456-1, 456-1, 457; 466-1, 466-2, 466-3; 476-1 bis 476-4; 486-1 bis 486-4; 496-1 bis 486-6; 496-1 bis 496-6; 46-1 bis 46-4; 502-1 bis 506-8) aufweisen, die ein Verschalten von Energiespeichern (312; 402; 412; 422a, 422b, 422c; 432a, 432b; 442a, 442b; 452a, 452b; 462a, 462b; 472a, 472b; 482a, 482b; 492a, 492b; 42a, 42b; 502-1, 502-2, 502-3,...502-n) benachbarter Einzelmodule (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) ermöglicht, wodurch zwischen zwei benachbarten Phasenanschlüssen (21) bzw. zwei benachbarten Wicklungen eine Spannungsdifferenz bereitstellbar ist, die von einer Steuereinheit entsprechend eines Verlaufs eines mehrphasigen Drehfeldes regelbar ist, und wodurch zwischen Energiespeichern von Einzelmodulen der Mehrzahl von Einzelmodulen ein

Leistungsaustausch realisierbar und von einer zweiten Steuereinheit steuerbar ist.

12. Elektrisches Polyphasensystem nach Anspruch 11, bei dem die mindestens eine elektrische Maschine als Generator oder als Motor arbeitet.

13. Verfahren zum Betreiben eines elektrischen Polyphasensystems, bei dem eine elektrische Maschine und ein modularer Multilevel-Umrichter (10, 100) verwendet wird, wobei die elektrische Maschine eine Vielzahl von Wicklungen mit einem ersten Anschluss und einem zweiten Anschluss aufweist und entweder der erste Anschluss oder der zweite Anschluss jeweils einer Wicklung der Vielzahl von Wicklungen mit einem Knotenpunkt verbunden wird, mit dem jede Wicklung der Vielzahl von Wicklungen verbunden ist, und der entsprechend andere Anschluss des ersten und des zweiten Anschlusses jeweils einer Wicklung der Vielzahl von Wicklungen mit einem Phasenanschluss (21) des Multilevel-Umrichters (10, 100) verbunden wird, und wobei der modulare Multilevel-Umrichter (10, 100) eine Mehrzahl von Einzelmodulen (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) aufweist, wobei eine erste Anzahl von Einzelmodulen (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) hintereinander zu einem geschlossenen Ring verschaltet sind, und mindestens zwei Abgriffe (14) vorgesehen sind, von denen jeder zwischen zwei benachbarten Einzelmodulen (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) des Rings angeordnet ist, wobei zwischen zwei benachbarten Abgriffen (14) mindestens ein Einzelmodul (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) des Rings angeordnet ist, das ein Ringsegment bildet, und wobei an mindestens zwei Abgriffen (14) je eine zweite Anzahl von Einzelmodulen (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) als von der Ringanordnung (11) abzweigendes und einen Sternstrang bildendes Phasenmodul (20) aus mindestens zwei Einzelmodulen (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) vorgesehen ist, das mit einem Ende an dem jeweiligen Abgriff (14) angeschlossen ist und an dem anderen Ende einen Phasenanschluss (21) bildet, mit dem der erste oder der zweite Anschluss einer Wicklung der Vielzahl von Wicklungen der elektrischen Maschine elektrisch verbunden wird, wobei die Einzelmodule (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) des modularen Multilevel-Umrichters (10, 100) je einen Energiespeicher (312; 402; 412; 422a, 422b, 422c; 432a, 432b; 442a, 442b; 452a, 452b; 462a, 462b; 472a, 472b; 482a, 482b; 492a, 492b; 42a, 42b; 502-1, 502-2, 502-3,...502-n) und eine Mehrzahl von Schaltelementen (316-1 bis 316-8; 406-1, 406-2; 416-1 bis 416-4; 426-1 bis 426-4; 436-1 bis 436-4; 446-1 bis 446-4; 456-1, 456-1, 457; 466-1, 466-2, 466-3; 476-



1 bis 476-4; 486-1 bis 486-4; 496-1 bis 486-6; 496-1 bis 496-6; 46-1 bis 46-4; 502-1 bis 506-8) aufweisen, die ein Verschalten von Energiespeichern benachbarter Einzelmodule (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) ermöglicht, wodurch zwischen zwei benachbarten Phasenanschlüssen (21) bzw. zwei benachbarten Wicklungen eine Spannungsdifferenz bereitgestellt wird, die von einer Steuereinheit entsprechend eines Verlaufs eines mehrphasigen Drehfeldes geregelt wird, und wodurch zwischen Energiespeichern von Einzelmodulen der Mehrzahl von Einzelmodulen ein Leistungsaustausch realisierbar und von einer zweiten Steuereinheit gesteuert wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem als Einzelmodule (12) Einzelmodule (12, 300, 320, 330, 500) verwendet werden, die eine erste Seite und eine zweite Seite aufweisen, wobei die erste Seite zwei Anschlüsse (314a, 314b; 324a, 324b; 334a, 334b; 504a, 504b) und die zweite Seite zwei Anschlüsse (318a, 318b; 328a, 328b; 338a, 338b; 508a, 508b) aufweist.

15. Verfahren nach 14, bei dem die Einzelmodule (12) jeweils mit zwei elektrischen Leitern (16, 18) miteinander elektrisch verbunden werden.

16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem an jedem oder zumindest einem der mindestens zwei Abgriffe (14) zum Anschluss eines von der Ringanordnung (11) abzweigenden Phasenmoduls (20) an einem der zwei elektrischen Leiter (16, 18) ein Anschluss angeordnet wird.

17. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem an jedem oder zumindest einem der mindestens zwei Abgriffe (14) zum jeweiligen Anschluss eines von der Ringanordnung (11) abzweigenden Phasenmoduls (20) an beiden elektrischen Leitern (16, 18) je ein Anschluss angeordnet wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, bei dem für zumindest einen Teil der Schaltelemente (316-1 bis 316-8; 406-1, 406-2; 416-1 bis 416-4; 426-1 bis 426-4; 436-1 bis 436-4; 446-1 bis 446-4; 456-1, 456-1, 457; 466-1, 466-2, 466-3; 476-1 bis 476-4; 486-1 bis 486-4; 496-1 bis 486-6; 496-1 bis 496-6; 46-1 bis 46-4; 502-1 bis 506-8) der Vielzahl von Einzelmodulen (12, 300, 320, 330, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 40, 500) Niederspannungshalbleiterschaltelemente verwendet werden.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 18, bei dem die elektrische Maschine als Generator oder als Motor arbeitet.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

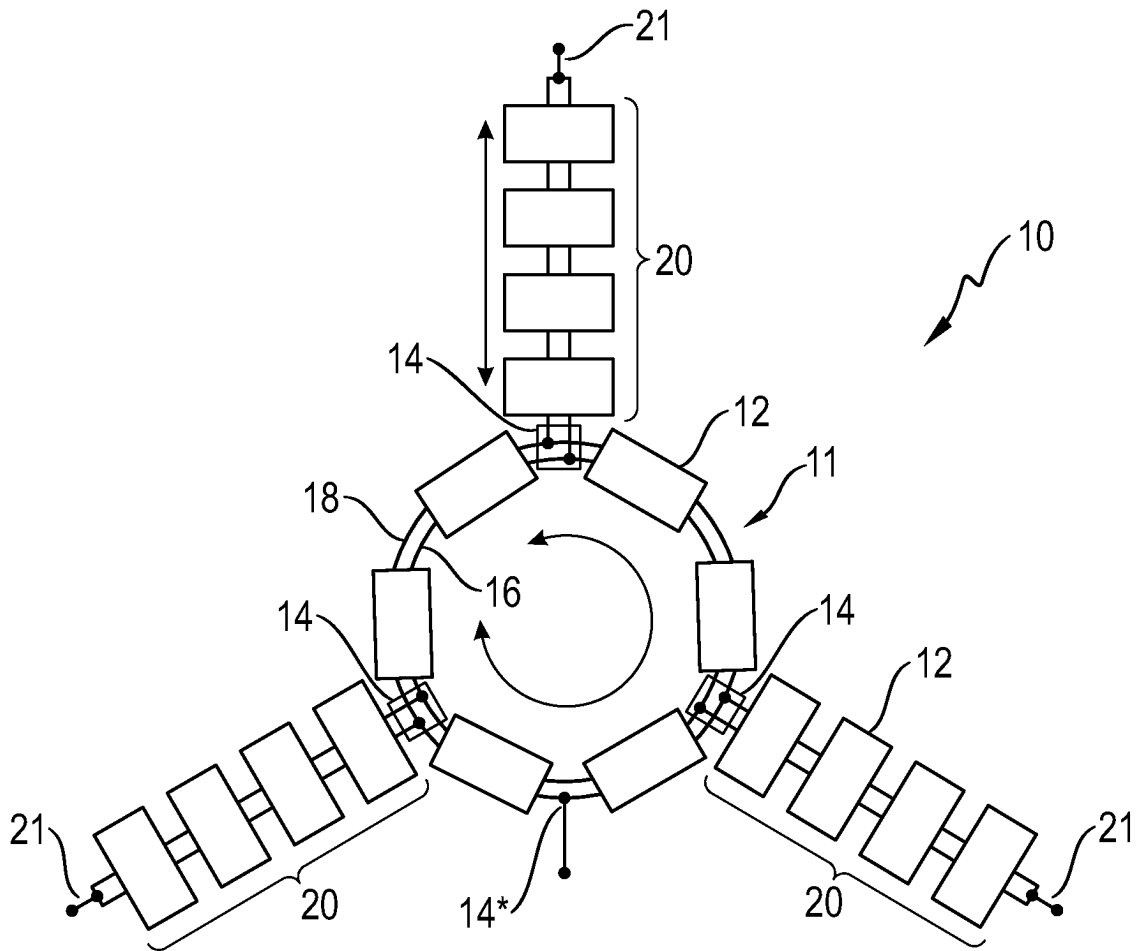
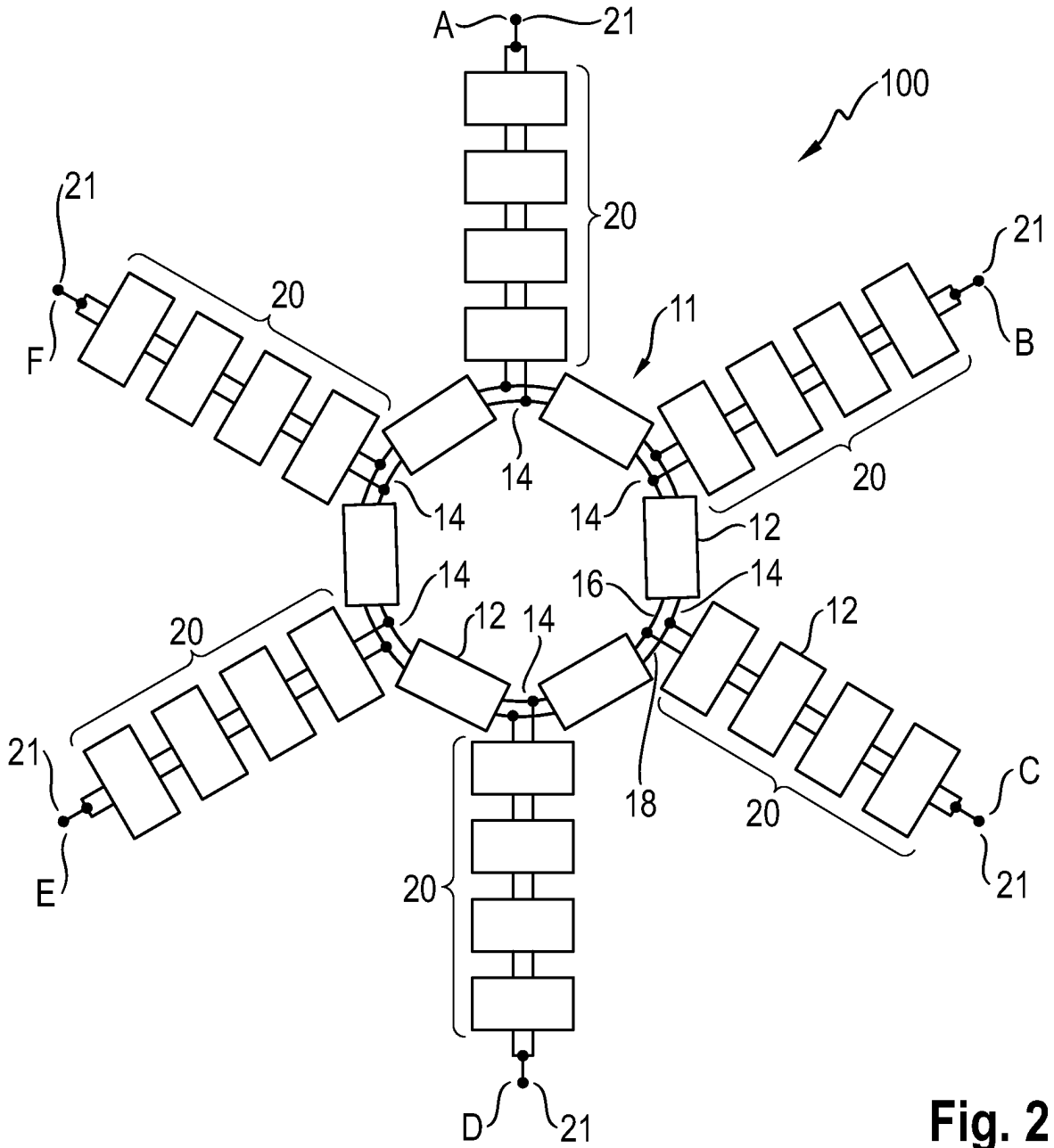
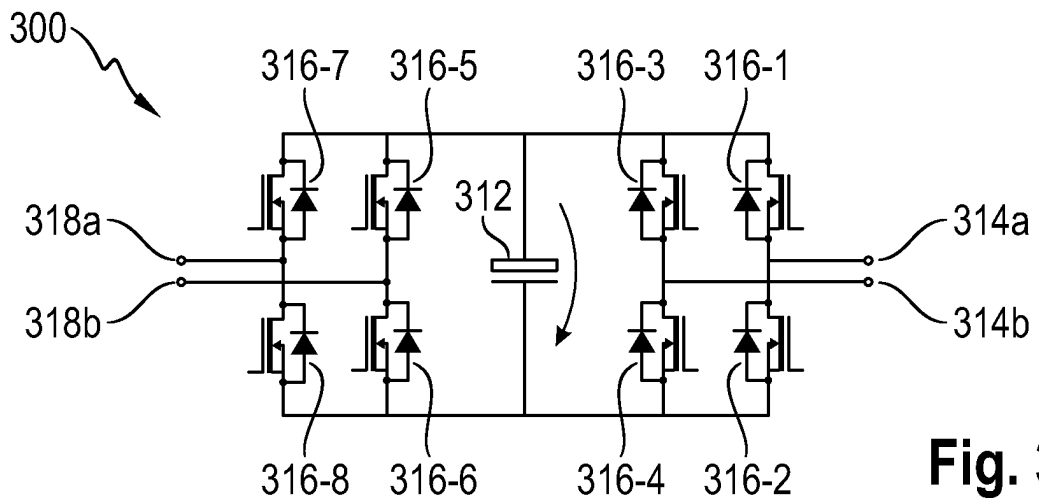


Fig. 1



**Fig. 2**



**Fig. 3a**

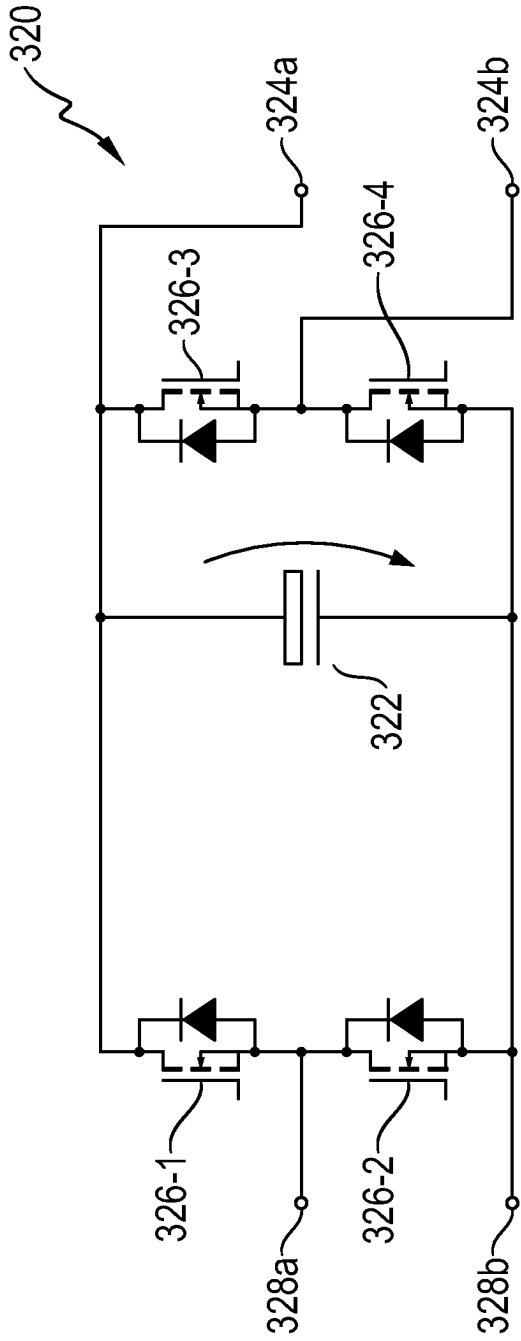


Fig. 3b

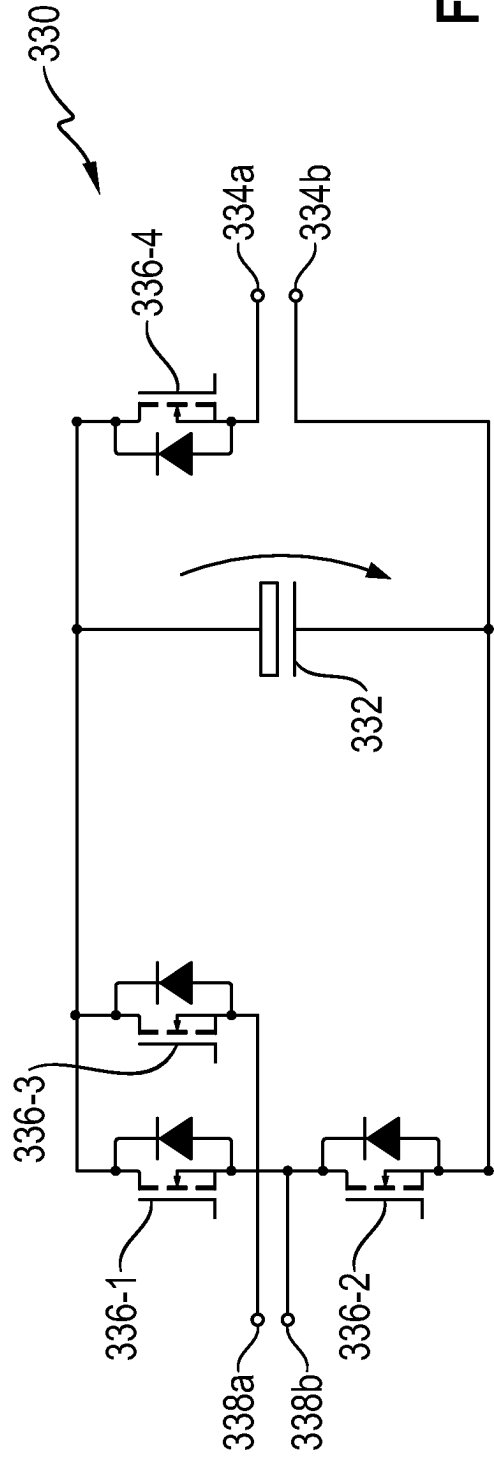


Fig. 3c

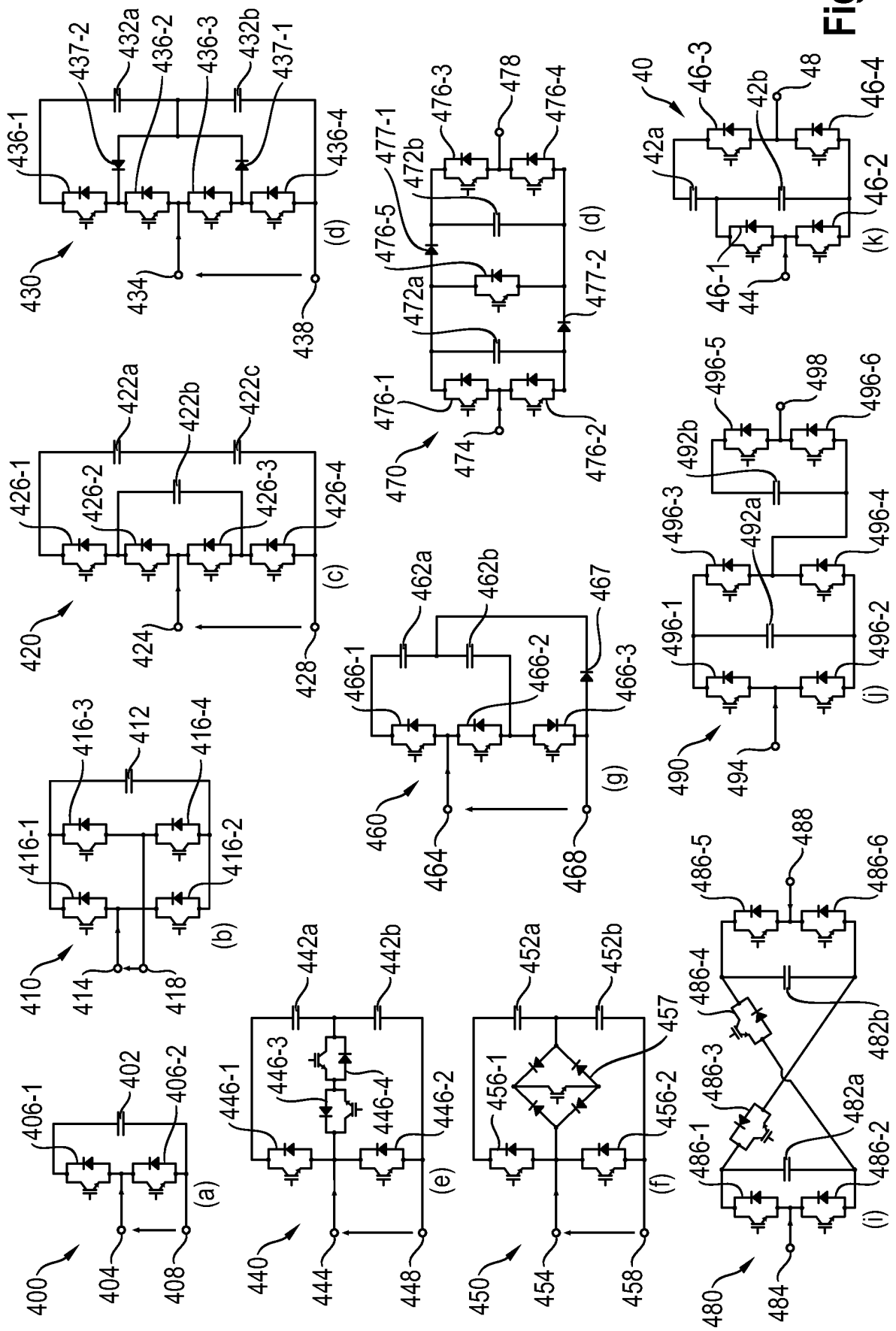


Fig. 4

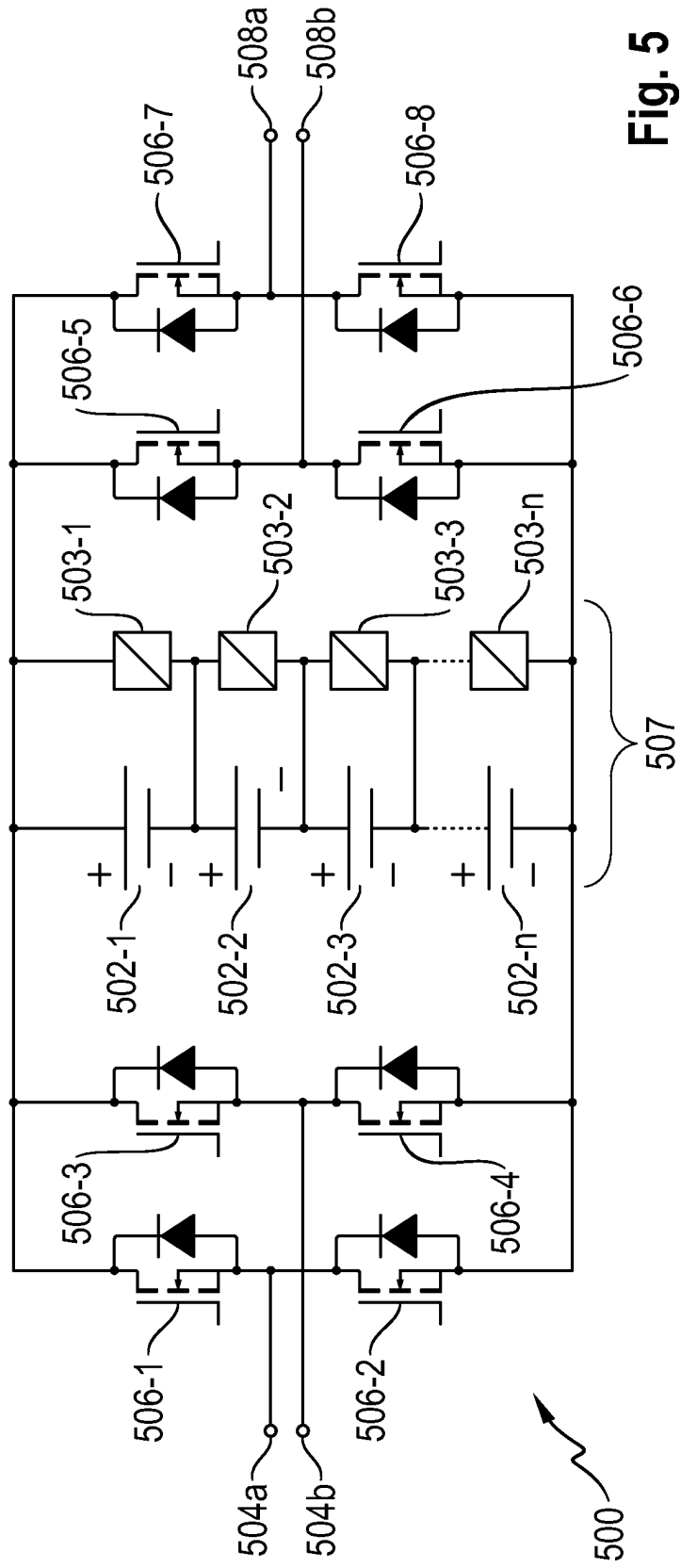


Fig. 5

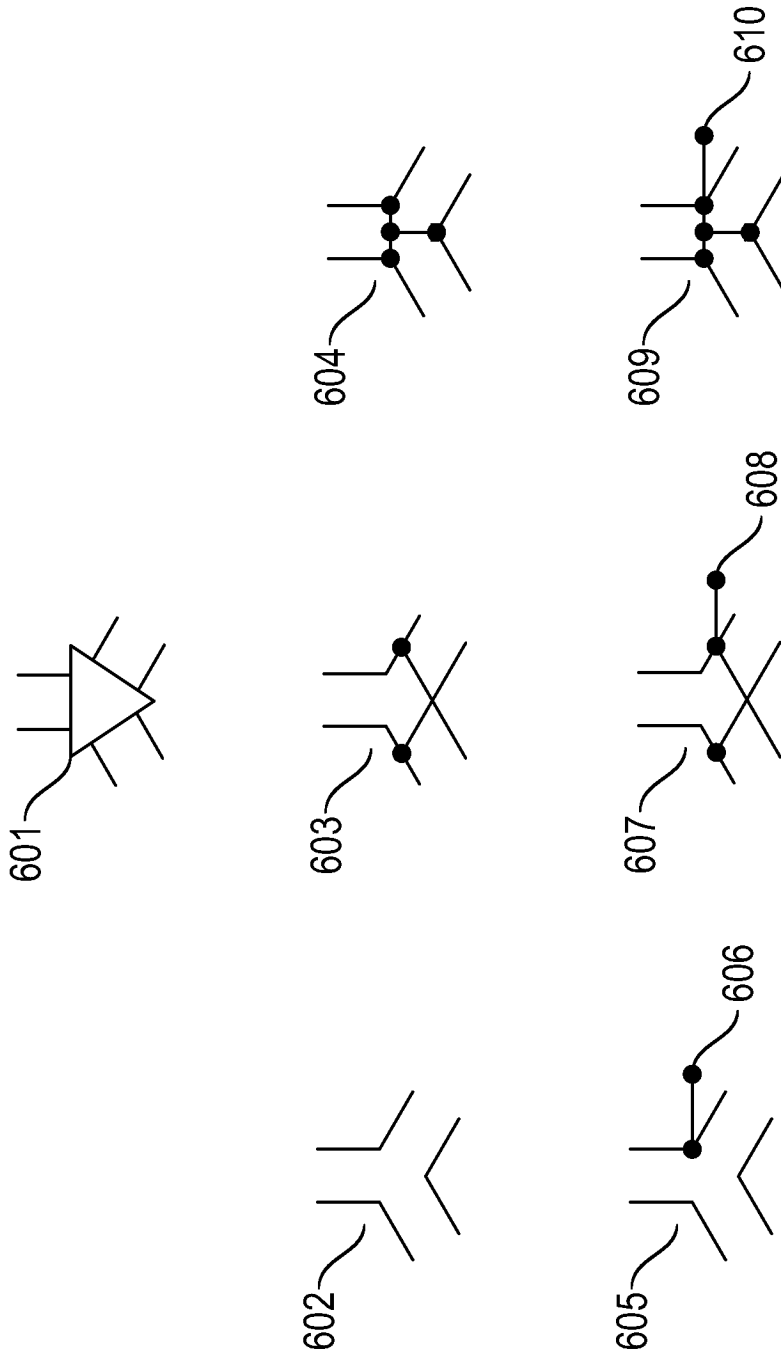


Fig. 6