(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
2. Februar 2017 (02.02.2017)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/016675 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02M 7/49 (2007.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/025031

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. April 2016 (04.04.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 112 513.7 30. Juli 2015 (30.07.2015) DE

(71) Anmelder: **DR. ING.H.C. F. PORSCHE AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Porscheplatz 1, 70435 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **GÖTZ, Stefan**; Schützenweg 5, 85659 Forstern (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

(54) **Title**: MATRYOSHKA CONVERTER

(54) **Bezeichnung** : MATROSCHKA-UMRICHTER

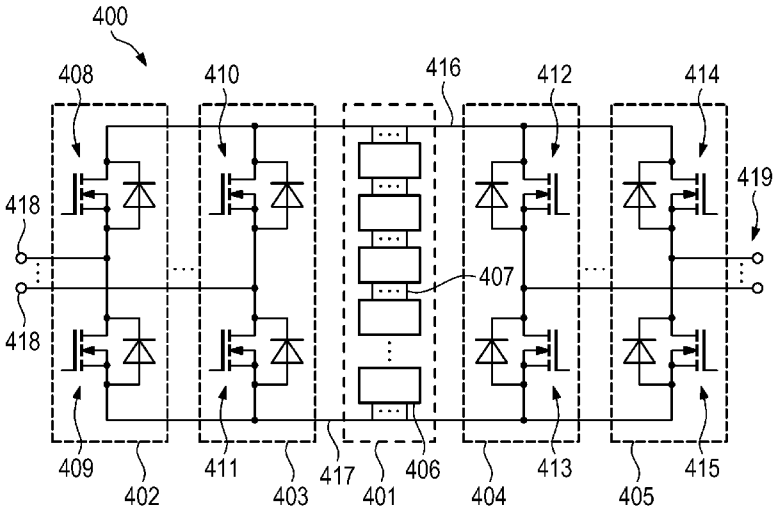

Fig. 4

(57) **Abstract**: The invention relates to an electric converter system comprising a plurality of modules nested inside one another which have at least two levels of nesting, wherein at least one embedded module of a first nesting level is provided, which comprises at least two electrical connections and a power train, wherein the power train comprises at least two embedded modules nested with each other of an at least second next lower nesting level, such that the modules are embedded inside one another, wherein each of the modules has a plurality of switching elements for dynamically switching between a plurality of switch states between at least two modules of a nesting level. The invention further relates to a method for providing an electrical converter system according to the invention.

(57) **Zusammenfassung**:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/016675 A1

Die Erfindung betrifft ein elektrisches Umrichtersystem mit einer Mehrzahl ineinander verschachtelter Module mit mindestens zwei Verschachtelungsebenen, wobei mindestens ein einbettendes Modul einer ersten Verschachtelungsebene vorgesehen ist, das mindestens zwei elektrische Anschlüsse und einen Energiestrang aufweist, wobei der Energiestrang mindestens zwei miteinander verschaltete eingebettete Module einer mindestens zweiten nächst tieferen Verschachtelungsebene aufweist, sodass die Module ineinander eingebettet sind, wobei die Module jeweils eine Mehrzahl an Schaltelementen zum dynamischen Umschalten zwischen einer Mehrzahl an Schaltungszuständen zwischen mindestens zwei Modulen einer Verschachtelungsebene aufweisen. Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Bereitstellen eines erfindungsgemäßen elektrischen Umrichtersystems.

Matroschka-Umrichter

Die Erfindung betrifft ein elektrisches Umrichtersystem mit ineinander verschachtelten Einzelmodulen.

Elektrische Wechselstrommotoren, wie sie bspw. in Elektrofahrzeugen zur Anwendung kommen, benötigen üblicherweise einen Umrichter, der die von einer Batterie bereitgestellte Gleichspannung in eine Wechselspannung umwandelt. Konventionelle Umrichter in solchen Fahrzeugen verwenden sogenannte Brückenschaltungen, die Ausgangsklemmen abwechselnd mit einem positiven und einem negativen Pol der Gleichspannungsquelle verbinden. In jedem Schaltzustand wählen die Umrichter die Verweildauer so, dass im zeitlichen Mittel die geforderte Wechselspannung entsteht. Eine so erzeugte Wechselspannung weist jedoch eine niedrige Qualität und Verzerrung auf. Zusätzlich treten durch die Schaltvorgänge hohe Energieverluste auf. Weitere Nachteile treten in der elektromagnetischen Verträglichkeit auf, da die hochfrequenten Schaltflanken, die durch das Umschalten entstehen, hohe Energien elektromagnetisch abstrahlen lassen. Außerdem sind für die Schaltungen teure Bauelemente notwendig, da diese jeweils für die Spitzenspannung ausgelegt werden müssen.

Den genannten Problemen lässt sich mit modularen Multilevelumrichtern begegnen. Modulare Multilevelumrichter sind u.a. aus “A. Lesnicar, R. Marquardt (2003), An innovative modular multilevel converter topology suitable for a wide power range, IEEE Power Tech Conference Proc., 3:6ff.”, “M. Glinka, R. Marquardt (2005), A new AC/AC multilevel converter family, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 52:662-669” und “S. M. Goetz, A. V. Peterchev, Th. Weyh (2015), Modular multilevel converter with series and parallel module connectivity: topology and control, IEEE Transactions on Power Electronics, 30(1):203-215” bekannt. Ebenso sind elektrische Umrichtersysteme aus der DE 10 2011 108 920 A1 und der DE 10 2010 052 934 A1 bekannt.

Modulare Multilevelumrichter erlauben die Ausgangsspannung für einen Verbraucher, wie einen elektrischen Wechselstrommotor, in kleinen Stufen zu erzeugen. Bei modularen

Multilevelumrichtern werden Einzelmodule, die jeweils einen Energiespeicher und mehrere Schaltelemente aufweisen, mit Nachbarmodulen elektrisch verschaltet, wobei während des Betriebs die elektrische Verschaltung dynamisch frei veränderbar ist, sodass die Ausgangsspannung durch dynamisch wandelnde Seriell- und Parallelschaltung der Energiespeicher erzeugt wird. Die Einzelmodule stellen untereinander fest verdrahtete Kleinspannungsquellen dar, die in ihrer Spannung verändert und mit den anderen Kleinspannungsquellen elektrisch verbunden werden können. Für die Einzelmodule sind eine Vielzahl an Anordnungen der Schaltelemente und des Energiespeichers entwickelt worden. Eine jeweilige Anordnung von Energiespeicher und den Schaltelementen wird als Mikrotopologie bezeichnet.

Jedoch können bisherige modulare Multilevelumrichter nur Nachbarmodule miteinander dynamisch verschalten. Eine beliebige Parallel- und Seriellschaltung der elektrischen Energiespeicher der Module ist dagegen nicht möglich, wenn der wichtige Vorteil, dass die Auslegungsspannung der einzelnen Bauelemente nur einen Bruchteil der gesamten Ausgangsspannung betragen muss, beibehalten wird. Dadurch entstehen Nachteile im Betrieb und im Verlustverhalten derartiger Schaltungen. Die Kettenstruktur der Makrotopologie, in der Module bei den meisten Umrichtertechnologien aneinandergereiht werden, erzwingt zudem, dass der Laststrom eines Konverterarms, d.h. eines Strangs von Einzelmodulen, durch alle Module fließt, wodurch die Ohm'schen Verluste des Systems unnötig erhöht werden.

Eine Auslassung von Modulen, insbesondere bei der Parallelschaltung, so dass auch nicht benachbarte Module ihre elektrischen Energiespeicher untereinander elektrisch parallel schalten können, ohne dabei das ausgelassene Modul mit einschließen zu müssen, ist in keiner Technologie aus dem Stand der Technik möglich, ohne dabei die mögliche verminderte Spannungsfestigkeit eines Großteils der Bauelemente aufgeben zu müssen.

Auch können andere Funktionen, wie bspw. ein Energieausgleich nicht unmittelbar benachbarter Module, nicht oder nur mit hohem zusätzlichen Schaltungsaufwand realisiert werden. Des Weiteren wird dafür eine hohe Anzahl an üblicherweise

verwendeten Halbleiterelementen benötigt, weil jedes Einzelmodul sämtliche Schaltzustände bereitstellen muss. Auch die Steuerung großer Umrichter, die eine große Anzahl von Einzelmodulen aufweisen, stellt ein Problem dar, weil alle Module in der Regel von einer zentralen Steuerung angesteuert werden müssen.

Im Folgenden soll der Begriff „elektrischer Energiespeicher“ auch elektrische Energiequellen und Energiesenken einschließen, die sich von elektrischen Energiespeichern lediglich davon unterscheiden, dass sie einen Betriebsbereich, entweder eine Energieaufnahme oder eine Energieabgabe, bevorzugt ermöglichen. Ferner müssen die hier bezeichneten elektrischen Energiespeicher nicht notwendigerweise ideal und daher verlustfrei sein, so dass die entnehmbare Energie geringer als die zuvor zugeführte sein kann.

Ein Stromrichter bezeichnet im Allgemeinen eine elektrische Schaltung, die elektrische Energie zwischen mehreren Eingängen transportieren kann und dabei die Möglichkeit zur Umformung von Strom- und/oder Spannungsparametern bietet. Dies beinhaltet insbesondere Gleichspannungswandler, Wechselrichter und Gleichrichter.

Eine Aufgabe, die von der vorliegenden Erfindung gelöst werden soll, besteht u.a. darin, eine Parallelschaltung von nicht unmittelbar benachbarten Modulen zu ermöglichen.

Die Aufgabe wird mit einem elektrischen Umrichter mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Weitere Ausgestaltungen sind den Unteransprüchen und der Beschreibung zu entnehmen.

M2C (Modular Multilevel Converter), M2SPC (Modular Multilevel Serial-Parallel Converter) sowie Switched-Capacitor-Converter nutzen als Grundstruktur in der Regel eine serielle Verkettung von ähnlichen Teilschaltungen, die um weitere Elemente ergänzt werden kann, beispielsweise sich seriell anschließende Schaltungen, zur Grundstruktur parallele Schaltungen oder unterschiedliche Knoten der Grundstruktur verbindende Schaltungselemente. Der sich mindestens einmal wiederholende Teil der Schaltung, im

Folgenden ohne Einschränkung der Allgemeinheit „Modul“ bzw. „Einzelmodul“ genannt, muss dabei nicht strukturell identisch wiederholt werden, verfügt jedoch über funktionale Ähnlichkeit. Eine solche Ähnlichkeit zweier Module ist in der Regel bereits gegeben, wenn beide mindestens zwei gleichartige sogenannte Schaltungsfunktionen oder Schaltungszustände darstellen können.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ausgehend von einer beliebigen bekannten Mikrotopologie eines Einzelmoduls bzw. Moduls ein Energiespeicher innerhalb dieser Mikrotopologie des Einzelmoduls durch ein weiteres Einzelmodul ersetzt. Dadurch wird eine Mehrebenenschaltung bekannter Einzelmodule ermöglicht. In anderen Worten werden Einzelmodule in Einzelmodule eingebettet bzw. ineinander verschachtelt. Die bekannten Modultopologien können dabei sowohl als einbettendes Modul als auch als eingebettetes Modul verwendet werden. Dadurch enthalten Einzelmodule bzw. Module nicht mehr lediglich einen Energiespeicher mit einem festen Verhalten, sondern eingebettete Module, die selbst dynamisch in ihren Eigenschaften verändert werden können. Dadurch wird eine deutlich höhere Flexibilität in der Verschaltung der Energiespeicher der Einzelmodule erzeugt, ohne den Schaltungsaufwand bedeutend zu erhöhen. Damit liegt ein mehrdimensionales Umrichtersystem vor, wodurch sich nicht unmittelbar benachbarte Einzelmodule miteinander parallel schalten lassen.

Das erfindungsgemäße elektrische Umrichtersystem weist eine Mehrzahl ineinander verschachtelter Module mit einer beliebigen Anzahl Verschachtelungsebenen auf. Ein Modul der Mehrzahl an Modulen weist mindestens zwei Anschlüsse und einen Energiestrang auf. Der Energiestrang weist mindestens einen Energiespeicher und/oder mindestens zwei Module auf, die einer nächst tieferen Verschachtelungsebene angehören. Um eine Verschachtelung realisieren zu können, muss mindestens ein Modul der Mehrzahl an Modulen anstelle eines Energiespeichers im Energiestrang mindestens zwei in das mindestens eine Modul eingebettete Module umfassen.

Mindestens zwei Module einer Verschachtelungsebene sind miteinander verschaltet. Dazu weisen die Module eine Mehrzahl an Schaltelementen auf, die zwischen einer Mehrzahl an

Schaltungszuständen zwischen den mindestens zwei Modulen einer Verschachtelungsebene dynamisch umschalten. Schaltungszustände in diesem Sinne sind bspw. Parallelschaltung, Seriellschaltung, Bypass-Schaltung und Passivschaltung bezüglich der Energiespeicher der jeweiligen Einzelmodule bzw. Module.

Als einbettende Module können alle bekannten Modulschaltungen, sogenannte Mikrotopologien oder Modultopologien, von modularen Umrichtern, beispielsweise modularen Multilevelumrichtern wie dem M2C oder dem M2SPC sowie Switched-Capacitor-Umrichter verwendet werden. Für einbettende Module wird mindestens einer der elektrischen Energiespeicher durch eine Makrotopologie, die selbst mindestens zwei Module enthält, beispielsweise einen Strang von Modulen (Konverterarm, Modulstrang), ein Phasenmodul, oder eine Anzahl von miteinander verschalteten Phasenmodulen, ersetzt. Bevorzugte Modultypen für den einbettenden Umrichter (Matroschka-Umrichter) sind Zweiquadrantenmodule des M2C (im Folgenden kurz M2C-2q genannt), Vierquadrantenmodule des M2C (oft auch als Chopper-Module bezeichnet, im Folgenden kurz M2C-4q), kurzschlussgesicherte M2C-Module (im folgenden kurz 4q-KGM2C) Vierquadrantenmodule des M2SPC (im Folgenden kurz M2SPC-4q), Zweiquadrantenmodule des M2SPC (im Folgenden kurz M2SPC-2q), Marx-Umrichter-Module (im Folgenden kurz MaM), sowie diverse Switched-Capacitor-Module.

In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Umrichters ist ein eingebettetes Modul einer tieferen Verschachtelungsebene mit genau einem elektrischen Anschluss mit einer positiven Stromschiene und/oder einer negativen Stromschiene eines Moduls einer höheren Verschachtelungsebene, d.h. einem einbettenden Modul elektrisch verbunden.

Die Schaltgeschwindigkeit des gesamten Systems kann durch die Schaltelemente der eingebetteten Module bereitgestellt werden. Dadurch können die Schaltelemente der Module höherer Verschachtelungsebenen langsamere Schaltgeschwindigkeiten aufweisen als die Schaltelemente von Modulen tieferer Verschachtelungsebenen.

Die höchste Spannung, die in einem Modul auftritt, beträgt im Wesentlichen die Summe der Spannungen aller elektrischen Energiespeicher der direkt eingebetteten und über mehrere Ebenen tiefer eingebetteten Module. Daraus folgt, dass in einer Ausführungsform die Schaltelemente in tieferen Verschachtelungsebenen eingebetteter Module eine niedrigere Spannungsfestigkeit aufweisen können, als die Schaltelemente von Modulen höherer Verschachtelungsebenen.

Wie erwähnt können bisher bekannte Modultopologien aus der modularen Multileveltechnologie als einbettende und/oder eingebettete Module verwendet werden. Dabei können verschiedene Varianten auftreten. So können in einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Umrichters die einbettenden Module als auch die eingebetteten Module jeweils die gleiche Topologie aufweisen, wobei das Modul in der tiefsten Verschachtelungsebene in der Regel ein sogenanntes Elementarmodul ist, das in seinem Energiestrang keinen zusätzlichen eingebetteten Modulstrang aufweist, sondern nur mindestens einen Energiespeicher.

Alternativ können in einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Umrichters auch die einbettenden Module eine Topologie aufweisen, die von der Topologie der eingebetteten Module unterschiedlich ist, wobei auch hier das Modul in der tiefsten Verschachtelungsebene in der Regel ein sogenanntes Elementarmodul ist, das keinen zusätzlichen eingebetteten Modulstrang aufweist, sondern nur mindestens einen Energiespeicher.

Als weitere Alternative können in einer noch weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Umrichters auch die Module eines Modulstrangs einer Verschachtelungsebene jeweils unterschiedliche Topologien aufweisen, wobei auch hier das Modul in der tiefsten Verschachtelungsebene in der Regel ein sogenanntes Elementarmodul ist, das keinen zusätzlichen eingebetteten Modulstrang aufweist, sondern nur mindestens einen Energiespeicher.

Erfindungsgemäß wird auch ein Verfahren zum Bereitstellen eines elektrischen Umrichtersystems vorgeschlagen, bei dem eine elektrische Schaltung mit mindestens zwei Verschachtelungsebenen verwendet wird, wobei mindestens ein einbettendes Modul einer ersten Verschachtelungsebene dazu verwendet wird, mindestens einen Energiestrang auszubilden, bei dem mindestens zwei eingebettete Module einer mindestens zweiten nächst tieferen Verschachtelungsebene miteinander verschaltet werden, sodass die Module ineinander eingebettet werden, wobei bei den Modulen mindestens zwei Anschlüsse und eine Mehrzahl an Schaltelementen verwendet werden, um zwischen einer Mehrzahl an Schaltungszuständen zwischen mindestens zwei Modulen einer Verschachtelungsebene dynamisch umgeschaltet werden kann.

In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden in höheren Verschachtelungsebenen Schaltelemente verwendet, die langsamere Schaltgeschwindigkeiten aufweisen, als Schaltelemente, die in tieferen Verschachtelungsebenen verwendet werden.

In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden in tieferen Verschachtelungsebenen Schaltelemente verwendet, die eine niedrigere Spannungsfestigkeit aufweisen, als Schaltelemente, die in höheren Verschachtelungsebenen verwendet werden.

In noch einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden in höheren Verschachtelungsebenen nicht kommutierungsfähige Schaltelemente verwendet.

In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird mindestens ein Modul verwendet, bei dem der mindestens eine Energiestrang mindestens einen Energiespeicher aufweist.

In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird mindestens ein Modul verwendet, bei dem der mindestens eine Energiestrang lediglich mindestens einen Energiespeicher aufweist.

Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.

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

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

Fig. 1a	zeigt eine Umrichterschaltung aus dem Stand der Technik.
Fig. 1b	zeigt einen beispielhaften Modulstrang aus dem Stand der Technik.
Fig. 1c und Fig. 1d	stellen Modultopologien verschiedener modularer Multileverumrichter-Varianten dar.
Fig. 1e	zeigt eine beispielhafte Verschaltung zweier Module.
Fig. 1f	zeigt eine Verschaltung mehrerer Module zu einem Modulstrang und eine Verschaltung mehrerer Modulstränge mit vier elektrischen Anschlüssen.
Fig. 1g	zeigt eine Verschaltung mehrerer Modulstränge mit fünf elektrischen Anschlüssen.
Fig. 1h	zeigt eine Matrixverschaltung zwischen sechs elektrischen Anschlüssen.

Fig. 2a und 2b zeigen beispielhafte Makrotopologien für einen modularen Multilevelumrichter mit serieller und paralleler Schaltvariante.

Fig. 2c zeigt beispielhafte Arten von elektrischen Anschlüssen.

Fig. 2d zeigt drei beispielhafte Mikrotopologien für die Anwendung in einem modularen Multilevelumrichter mit serieller und paralleler Schaltvariante.

Fig. 2e zeigt eine beispielhafte Verschaltung von M2SPC-Modulen zu einem Konverterarm.

Fig. 3 zeigt typische Switched-Capacitor-Umrichterschaltungen aus dem Stand der Technik.

Fig. 4 zeigt eine Ausführungsform eines Moduls eines erfindungsgemäßen elektrischen Umrichtersystems.

Fig. 5 zeigt eine weitere Ausführungsform eines Moduls eines erfindungsgemäßen elektrischen Umrichtersystems.

Fig. 6 zeigt eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Umrichtersystems mit zwei miteinander verschalteten einbettenden Modulen.

Fig. 7a und 7b zeigen weitere Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Umrichtersystems, bei dem ein Modul mehr als einen Modulstrang aufweist.

Fig. 8a und 8b zeigen weitere Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Umrichtersystems mit einbettenden und eingebetteten Modulen.

Fig. 9a und 9b zeigen noch weitere Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Umrichtersystems mit einbettenden und eingebetteten Modulen.

Das erfindungsgemäße elektrische Umrichtersystem nutzt einen dynamischen Wechsel der elektrischen Verschaltung von elektrischen Energiespeichern, wie beispielsweise Induktivitäten, Kondensatoren und Batteriezellen oder Energiequellen zur Erzeugung variabler Ausgangsspannungen und/oder zum Transfer von Energie zwischen den genannten
elektrischen Energiespeichern oder Energiequellen. Daher betrifft das erfindungsgemäße Umrichtersystem auch sogenannte M2C-, M2SPC- und Switched-Capacitor-Schaltungen.

M2C- und M2SPC-Schaltungen sind modulare Multilevelumrichterschaltungen, wobei M2SPC-Schaltungen eine serielle und parallele Schaltvariante der elektrischen Energiespeicher ermöglichen. Die genannten Schaltungen sind modular ausgelegt, d.h. sie bestehen aus mehreren miteinander verschalteten Modulen, wobei die Module üblicherweise einen elektrischen Energiespeicher und mindestens ein elektronisches Schaltelement umfassen. Durch geeignete Aktivierung der Schaltelemente der einzelnen Module lassen sich die Energiespeicher mit anderen Modulen, in der Regel den Nachbarn, elektrisch in Serie und/oder elektrisch parallel verbinden und/oder von anderen Modulen elektrisch trennen. Je nach Ausführungsform der Module kann diese elektrische Verbindung individuell für die jeweiligen Energiespeicher vorgenommen werden.

Figur 1a zeigt eine Umrichterschaltung aus dem Stand der Technik, deren Grundprinzip aus der Verschaltung ähnlicher Module 101 basiert, darunter insbesondere der M2C, der M2SPC, sowie Abwandlungen und Weiterentwicklungen dieser beiden grundlegenden Technologien durch Verwendung von alternativen Modulschaltungen, sogenannten Mikrotopologien, die entweder sortenrein oder miteinander kombiniert einen modularen Umrichter bilden. Die in Figur 1a gezeigte Schaltung weist mehrere Anschlüsse 102,

103, 104 auf, an denen weitere Schaltungskomponenten oder Module angebunden werden können. Eine Hintereinanderschaltung von mindestens zwei Modulen 101 wird als Modulstrang 105 bzw. Konverterarm bezeichnet. Die Einzelmodule 101 bzw. die Modulstränge 105 sind über elektrische Verbindungen 107 miteinander verbunden. Mehrere Modulstränge 105 werden als Phasenmodul 106 bezeichnet.

Figur 1b zeigt in vergrößerter Ansicht einen Modulstrang 120 mit mehreren Modulen 101 und zwei Anschlüssen 102, 103. Ein Modulstrang besteht aus mindestens zwei einzelnen über elektrische Verbindungen 107 miteinander verschalteten Modulen 101. Eine obere Grenze ist dabei nicht gesetzt, sondern ergibt sich üblicherweise aus den Anforderungen der Schaltung.

Die Figuren 1c und 1d zeigen sogenannte Mikrotopologien. Mikrotopologien bezeichnen die internen Schaltungen von einzelnen Modulen. Die gezeigten Mikrotopologien stellen verschiedene M2C Varianten dar. Bei M2C-Schaltungen kann der elektrische Energiespeicher 142, 144, 146 mit entsprechenden elektrischen Energiespeichern eines benachbarten Moduls entweder in Serie geschaltet werden oder aus der Schaltung heraus genommen werden. Die oberste Schaltung in der Figur 1c weist die Schaltelemente 153, 154, 155, 156 auf, die jeweils einen Transistor und eine Diode umfassen, und ermöglicht somit eine sogenannte Vierquadrantenschaltung, bei der an den Anschlüssen 147, 148 zwischen zwei Polaritäten umgeschaltet werden kann. Die mittlere und die untere Schaltung zeigen sogenannte Zweiquadrantenschaltungen, bei denen durch Umschalten der jeweiligen Schaltelemente 157, 158 bzw. 159, 160 an den jeweiligen Anschlüssen 149 bzw. 151 immer nur eine Polarität anliegen kann. Weiterhin weisen die Mikrotopologien beispielsweise Dämpfungselemente 141, 143, 145 auf.

Figur 1d zeigt eine weitere Mikrotopologie einer M2C-Schaltung mit zwei elektrischen Energiespeichern 172 und mehreren Schaltelementen 183, 184, 185, 186, 187 sowie den Anschlüssen 177, 178.

Figur 1e zeigt eine Verschaltung von zwei Mikrotopologien. Die jeweiligen Module weisen jeweils einen Kondensator 192, 193 auf, sowie jeweils vier Dämpfungselemente 194. Der mit gestrichelter Linie umrahmte Teil der Verschaltung wird dabei als Halbbrücke 191 bezeichnet. Weiterhin weisen die gezeigten Mikrotopologein Dioden 195, 197 und Transistoren bzw. Schaltelemente 196, 198 auf.

Die Figuren 1f und 1g zeigen jeweils eine Makrotopologie. Eine Makrotopologie bezeichnet eine Verschaltung mehrerer Module bzw. Modulstränge 200 miteinander. Die Module bzw. Modulstränge 200 sind über elektrische Verbindungen 210 miteinander verbunden. Die in Figur 1f gezeigte Makrotopologie weist vier elektrische Anschlüsse a, b, A, B auf, die beispielsweise, aber nicht ausschließlich, zwei Anschlusspaare a, b und A, B bilden können, von welchen jedes Paar (a, b), (A, B) einen Gleichstrom- und/oder Wechselstromanschluss, für bspw. mindestens einen elektrischen Verbraucher, mindestens ein elektrisches Netz oder mindestens eine elektrische Maschine bilden kann.

Die in Figur 1g gezeigte Makrotopologie weist elektrische Anschlüsse a, b, c, A, B auf, die beispielsweise einem Anschlusspaar A, B und einem Dreiphasenanschluss a, b, c zugeordnet werden können. Ferner können auch mehr als fünf elektrische Anschlüsse gebildet werden.

Figur 1h zeigt eine Matrixverschaltung zwischen sechs elektrischen Anschlüssen a, b, c, A, B, C, wobei zwei dieser Anschlüsse über jeweils mindestens einen Modulstrang 200 verbunden sind. Die Module bzw. Modulstränge 200 sind über elektrische Verbindungen 210 miteinander verbunden. In sogenannten Sparse-Matrix-Umrichtern werden einige dieser Verbindungen zwischen jeweiligen Anschlüssen eingespart.

Die Figuren 2a und 2b zeigen beispielhafte Makrotopologien für M2SPC-Module, wobei die Figur 2b eine Erweiterung der Topologie aus der Figur 2a ist. M2SPC-Module ermöglichen eine Seriellschaltung und eine Parallelschaltung jeweiliger Energiespeicher benachbarter Module. Die Makrotoplogien weisen Module 201, 220 auf, wobei eine Hintereinanderschaltung mehrerer Module 201, 220 einen Modulstrang 207, 208 bilden,

die zu einem Phasenmodul 209 zusammengefasst werden können. Zwischen jeweils zwei Modulsträngen 207, 208 ist jeweils ein Anschluss 203, 221, 222, 223, 224 gebildet. Die in den Figuren 1a und 1f bis 1h gezeigten Makrotopologien können hier ebenfalls eingesetzt werden, wenn die elektrischen Verbindungen 107 bzw. 210 zwischen den Modulen 101 bzw. Modulsträngen 105 bzw. 200 auf zwei elektrische Verbindungen erweitert würden, wie bspw. in der Figur 2b die elektrischen Verbindungen 227, 228 zwischen den M2SPC-Modulen 201. Zusätzlich weist die Makrotopologie der Figur 2b Anschlüsse 225 und 226 auf.

Figur 2c zeigt lediglich auf welche Arten elektrische Anschlüsse 204, 205, 206 gebildet werden können. Der Anschluss 204 kann dabei auch in den Ausführungsformen 205 oder 206 vorliegen.

Die Figur 2d zeigt drei beispielhafte M2SPC-Mikrotopologien des Standes der Technik. Die Topologien weisen jeweils einen Energiespeicher 302, 304, 306 auf sowie die Schaltelemente 313 bis 328. Jedes Modul weist auf jeder Seite jeweils zwei Anschlüsse 307, 308, 309, 310 und jeweils ein beispielhaftes Dämpfungselement 301, 303, 305 auf. Die gezeigten Topologien stellen Stand der Technik dar und können in einem erfindungsgemäßen Umrichtersystem eingesetzt werden.

Die Figur 2e zeigt eine beispielhafte Verschaltung von mehreren Modulen zu einem Modulstrang. Der Modulstrang weist u.a. die Anschlüsse 340, 341 auf, die mit einem benachbarten Modul verbunden werden können. Ein Modul weist einen Energiespeicher 330, wie bspw. einen Kondensator, sowie die Schaltelemente 331 bis 338, die eine Vierquadrantenschaltung des M2SPC-Moduls (M2SPC-4q) ermöglichen, auf.

Die Figur 3 stellt typische Switched-Capacitor-Umrichter aus dem Stand der Technik dar. Diese Schaltungen verfügen in der Regel ebenso über eine gewisse Modularität durch Wiederholen ähnlicher Teilschaltungen 350, 355, 360, 365. Die gezeigten Teilschaltungen bzw. Module 350, 355, 360, 365 weisen jeweils mindestens einen Energiespeicher 351 und jeweils mindestens zwei Schaltelemente 352 auf.

Die in den voranstehenden Figuren gezeigten Mikrotopologien des Standes der Technik können für ein erfindungsgemäßes elektrisches Umrichtersystem herangezogen werden. Ebenso kann eine Mikrotopologie, wie sie in der Patentanmeldung der gleichen Anmelderin mit dem Titel „Einzelmodul, elektrisches Umrichtersystem und Batteriesystem“, die am gleichen Tag eingereicht wurde, vorgestellt wird, für ein erfindungsgemäßes Umrichtersystem herangezogen werden.

In Figur 4 ist eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen einbettenden Moduls 400 des erfindungsgemäßen Umrichtersystems gezeigt. Die bisherige eindimensionale Modulmakrotopologie wird um mindestens eine Ebene als mindestens eine zusätzliche Verschachtelungsebene erweitert. Diese mindestens eine zusätzliche Verschachtelungsebene bildet sich durch die Einführung von einbettenden Modulen 400 (sog. nesting modules), die bisher bekannten Modulen insofern gleichen, dass sie mithilfe einer Mehrzahl an Schaltelementen 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415 ebenso Modulzustände einnehmen und mindestens zwei interne Leistungsschienen 416, 417 in unterschiedlichen Alternativen mit den äußeren Anschlüssen bzw. Modulterminals 418, 419 verbinden können, und dadurch zwischen mindestens zwei Modulen einer Verschachtelungsebene dynamisch umschalten können. Sie unterscheiden sich jedoch von ihren jeweils ähnlichsten bekannten Modulen aus dem Stand der Technik, da sie anstelle mindestens eines elektrischen Energiespeichers selbst mindestens einen Modulstrang 401 (Konverterarm) aus mindestens zwei Modulen 406 (sogenannten eingebetteten Modulen, auch nested modules) beinhalten. Jedes Modul 400, 406 kann dabei sowohl ein konventionelles Modul, das mindestens einen elektrischen Energiespeicher umfasst, oder ein einbettendes Modul 400, das anstelle mindestens eines elektrischen Energiespeichers erneut einen Modulstrang 401 bzw. Konverterarm enthält, sein. Die Anzahl der Ebenen in einigen oder allen einbettenden Modulen 400 kann entsprechend den technischen Anforderungen beliebig erhöht werden.

Durch den Modulstrang 401 werden in das Modul 400 weitere Module 406 eingebettet. Das Modul 400 stellt dabei eine erste, hier höchste Verschachtelungsebene dar, während

die Module 406 des Modulstrangs 401 eine nächst tiefere Verschachtelungsebene bilden. Der Modulstrang 401 weist eine Mehrzahl an Modulen 406 auf, die über mindestens zwei elektrische Verbindungen 407 miteinander verbunden sind. Die eingebetteten Module 406 können wiederum die Topologie des einbettenden Moduls 400 aufweisen, mit einem weiteren Modulstrang 401 der weitere Module 406 einbettet, sodass eine weitere tiefere Verschachtelungsebene gebildet wird. Der Modulstrang 401 bzw. ein Zweig mit einem Energiespeicher anstelle des Modulstrangs 401 bildet den Energiestrang des Moduls 400.

Um eine Parallelschaltung von Modulen 400, die nicht direkt benachbart sind, zu ermöglichen, sind mindestens zwei elektrische Verbindungen 407 zwischen den Modulen 406 notwendig, wobei jedoch auch mehr als zwei elektrische Verbindungen 407 vorhanden sein können. Die Schaltelemente 408 bis 415 sind paarweise als Halbbrücken 402 bis 405 ausgebildet, wobei diese Halbbrücken optional sind. Auch die Dioden in den Schaltelementen 408 bis 415 sind optional. Soll beispielsweise nur eine Umpolung der Polarität an den Anschlüssen 418, 419 im Sinne einer Zweiquadrantenschaltung stattfinden, sind für die Schaltelemente 408 bis 415 einfache elektrische Schalter, die nicht notwendigerweise Halbleiterschaltelemente sind, ausreichend.

Die maximal notwendige Spannungsfestigkeit jedes Schaltelements 408 bis 415 ist aufgrund der gewählten Struktur des Schaltelements 408 bis 415 nach oben beschränkt und kann entsprechend weit unterhalb der Spannung an den Anschlüssen 418, 419 des Umrichters liegen. Wenn alle Modulschaltzustände der eingebetteten Module 406 erlaubt sein sollen, beträgt die höchste Spannung und damit die nötige Spannungsfestigkeit der in der gezeigten Ausführungsform verwendeten Halbleiter für das entsprechende einbettende Modul 400 die Summe der Spannungen aller elektrischen Energiespeicher der direkt eingebetteten Module 406 und über mehrere Ebenen tiefer eingebetteter Module 406. Obwohl die benötigte Spannungsfestigkeit für Schaltelemente in einbettenden Modulen 400 in der Regel höher sein muss als in den zugehörigen eingebetteten Modulen 406 und die nötige Spannungsfestigkeit folglich steigt, je höher man in den Verschachtelungsebenen nach oben zu den obersten einbettenden Modulen

400 geht, bietet das erfindungsgemäße Umrichtersystem diverse Vorteile, die trotzdem zu niedrigeren Anforderungen an die Halbleiter in einbettenden Modulen 400 und damit im Gesamtsystem zu niedrigeren Halbleiterkosten führen.

Der einbettende Umrichter, von der Anmelderin als Matroschka-Umrichter bezeichnet, bietet den Vorteil, dass die Schaltelemente 408 bis 415 der einbettenden Module 400 bzw. von Modulen auf weiteren höheren Verschachtelungsebenen verlustarm mit sogenanntem Zero-Voltage-Switching oder Zero-Current-Switching betrieben werden können. Ferner können die Schaltelemente 408 bis 415 der einbettenden Module 400 sehr langsame Schaltgeschwindigkeiten, weit unter jenen von eingebetteten Modulen 406 in einer tieferen Verschachtelungsebene, aufweisen, ohne die Geschwindigkeit des Gesamtsystems zu beeinträchtigen. Unter besonderen Bedingungen müssen die Schaltelemente von einbettenden Modulen 400 oder von Modulen auf weiteren höheren Verschachtelungsebenen nicht kommutierungsfähig sein. Dies trifft beispielsweise auf Thyristoren zu, die nicht in der Lage sind, einen Stromfluss zu unterbrechen.

Alle drei Optionen werden durch eine geeignete Ansteuerung der Module 400, 406, insbesondere der jeweiligen eingebetteten Module 406 erreicht. Die Schaltelemente 408 bis 415 der einbettenden Module 400 können eine niedrigere Schaltgeschwindigkeit als die Schaltelemente der eingebetteten Module 406 aufweisen und damit deutlich die Kosten reduzieren, da die Schaltgeschwindigkeit des gesamten Systems durch die Schaltelemente der eingebetteten Module 406 bereitgestellt werden kann. Ebenso wie die notwendige Spannungsfestigkeit von der tiefsten Verschachtelungsebene nach oben bzw. außen hin ansteigt, sinkt die notwendige Schaltgeschwindigkeit, ohne im Ergebnis an Dynamik im Gesamtsystem zu verlieren. Die Steuerung eines solchen Systems führt entsprechend alle notwendigen schnellen Schaltvorgänge mit eingebetteten Modulen 406 und deren Schaltelementen durch. Die Schaltelemente 408 bis 415 der einbettenden Module 400 lassen die Steuerung dagegen lediglich seltenere Schaltvorgänge ausführen. Auf höheren Verschachtelungsebenen können dementsprechend langsame Schaltelemente 408 bis 415 wie beispielsweise insulated-gate bipolar transistors (IGBT), gate-turn-off thyristors (GTO) oder sogar mechanische Schaltelemente wie Relais

eingesetzt werden. Der Spannungsabfall in Vorwärtsrichtung (forward voltage drop) von IGBT, GTO und dergleichen (in der Regel aufgrund deren pn-Übergängen) ist dabei unbedeutend, da für einbettende Module 400 einer oberen bzw. äußeren Ebene selbst bei ungünstigen Schaltzuständen nur sehr wenige Halbleiter im Strompfad in Serie liegen.

So lange der Ladungszustand der eingebetteten Module 406 ausreichend hoch ist, können einbettende Module 400 höherer Verschachtelungsebenen nicht kommutierungsfähige Schaltelemente verwenden. Die eingebetteten Module 406 können gemeinsam den Strom des einbettenden Moduls 400 kommutieren, sodass die nicht kommutierungsfähigen Schaltelemente in den sperrenden Zustand gelangen. Anschließend kann das einbettende Modul 400 einen neuen Schaltzustand einnehmen.

Wenn die Stromrichtung zu dem Zeitpunkt, in dem der Schaltzustand des einbettenden Moduls 400 geändert und somit dessen Strom kommutiert werden muss, so gerichtet ist, dass die entsprechenden eingebetteten Module 406 aufgeladen werden, muss die von den eingebetteten Modulen 406 gebildete Gesamtspannung so lange von der Steuerung erhöht werden, bis der Strom kommutiert ist und folglich erlischt. Dies wird die Steuerung in der Regel durch ein Umschalten von eingebetteten Modulen 406 von einem Bypass- oder von einem Parallelzustand in einen Seriellzustand erreichen.

Wenn die Stromrichtung so gerichtet ist, dass die entsprechenden eingebetteten Module 406 entladen werden, muss die von den einbettenden Modulen 400 gebildete Gesamtspannung so lange verringert werden, bis die Kommutierung erreicht ist und der Strom folglich erlischt. Dies wird die Steuerung in der Regel durch ein Umschalten von eingebetteten Modulen 406 von einem Seriellzustand in einen Bypass- oder Parallelzustand erreichen.

In Folge einer solchen Regelung können nicht kommutierungsfähige Schaltelemente, wie beispielsweise Thyristoren oder Triacs, verwendet werden. Die nötige Kommutierung wird folglich durch eine Art Gegenspannung der eingebetteten Module 406, die den Strom erlöschen lässt, erreicht. Thyristoren als monodirektionale, das heißt nur in eine Richtung

leitende Schaltelemente, können entweder mit antiparallelen Thyristoren oder Dioden ergänzt werden. Antiparallele Thyristoren bieten den Vorteil, dass das entsprechende Schaltelement in beide Richtungen steuerbar gestaltet ist. Beim Einsatz nicht kommutierungsfähiger Schaltelemente in einbettenden Modulen 400 kann es gegebenenfalls vorteilhaft sein, entsprechende Schaltelemente mit geringem Reverse-Recovery-Effekt zu verwenden. Dadurch wird die Zeit, die gewartet werden muss, bis die Kommutierung erfolgt und der Strom erloschen ist, deutlich verringert.

Figur 5 zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen einbettenden Moduls 500 des erfindungsgemäßen Umrichtersystems. Dabei bezeichnen gleiche Bezugsziffern gleiche Teile, jedoch gegenüber der Figur 4 um 100 erhöht. Zusätzlich weist das erfindungsgemäße Umrichtersystem vier zusätzliche Anschlüsse 520, 521, 522, 523 auf. Damit stellt diese Ausführungsform ein allgemeines einbettendes Modul 500 des erfindungsgemäßen Umrichtersystem dar, aus dem durch Weglassen von einzelnen Elementen alle anderen, ggf. nachstehend noch zu zeigende Ausführungsformen, abgeleitet werden können.

Figur 6 zeigt eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Umrichtersystems mit zwei verschalteten einbettenden Modulen 600a, 600b, die die Topologie des Moduls 500 aus der Figur 5 aufweisen. Die Anschlüsse 619 des Moduls 600a sind dabei mit den Anschlüssen 619 des Moduls 600b verbunden. Der Anschluss 622 des Moduls 600a ist mit dem Anschluss 623 des Moduls 600b verbunden.

Figur 7a zeigt eine weitere Ausführungsform eines einbettenden Moduls 700a des erfindungsgemäßen Umrichtersystems, mit vier Modulsträngen 701, 702, 703, 704, die jeweils aus mindestens zwei eingebetteten Modulen 728 bestehen. Zwischen zwei Modulsträngen 701, 703 und 702, 704 sind elektrische Anschlüsse 717 bzw. 718 eingefügt, die jeweils einen weiteren Anschluss 725 bzw. 726 des einbettenden Moduls 700a auf jeweils einer Seite bilden. Die übrige Topologie ist gleich der Topologie des Moduls 500 aus der Figur 5 mit acht Schaltelementen 709 bis 716, wovon ein Paar jeweils Halbbrücken 705 bis 708 mit den Anschlüssen 723, 724 bildet, und den

Anschlüssen 719 bis 722 an den Stromschienen. Die Anzahl der Bauelemente ist nicht auf die gezeigten Anzahlen beschränkt. Beispielsweise ist es vorstellbar auch mehr als die gezeigten acht Schaltelemente 709 bis 716 in die Schaltung zu integrieren. Auch können zwischen den eingebetteten Modulen 728 mehr als zwei elektrische Verbindungen 727 vorhanden sein.

Die Figur 7b zeigt ein weiteres erfindungsgemäßes einbettendes Modul 700b, das im Wesentlichen dem Modul 700a gleicht, wobei jedoch die elektrischen Anschlüsse 717 und 718 zwischen jeweils zwei Modulsträngen 701, 703 bzw. 702, 704 jeweils einen Anschluss 725a, 725b bzw. 726a, 726b auf beiden Seiten des Moduls 700b bilden.

Figur 8a zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Umrichtersystems, bei dem drei einbettende Module 801, 831, 841 miteinander verschaltet sind, wobei jedes einbettende Modul 801, 831, 841 jeweils einen Modulstrang 820 aufweist, der mit mindestens einem Anschluss, hier mit den Anschlüssen 813, 814 jeweils mit der positiven und/oder negativen Stromschiene 811, 812 der Module 801, 831, 841 verbunden ist. Der Modulstrang 820 weist in der gezeigten Ausführungsform jeweils drei gleichartige eingebettete Module 810 auf. Die einbettenden Module 801, 831, 841 sind von ihrer Topologie her ein M2SPC-4q Modul mit acht Schaltelementen 802 bis 809. Die eingebetteten Module 810 sind von den einbettenden Modulen 801 unterschiedlich und weisen eine M2SPC-2q-Modultopologie mit jeweils vier Schaltelementen und einem Energiestrang 821 auf.

Die Figur 8b zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Umrichtersystems, bei dem der Modulstrang 830 drei voneinander verschiedene eingebettete Module 815, 816, 817 aufweist. Die einbettenden Module 851, 861, 871 sind jeweils ein wie in Figur 8a beschriebenes M2SPC-4q Modul. Die jeweiligen Modulstränge 830 der einbettenden Module 851, 861, 871 sind jeweils gleich. Mindestens ein eingebettetes Modul 815, 817 ist so ausgeführt, dass es mit genau einem elektrischen Anschluss 818, 819 mit einer positiven Stromschiene 811 und/oder einer negativen Stromschiene 812 eines einbettenden Moduls 851, 861, 871 elektrisch

verbunden ist. Die eingebetteten Module 815, 816, 817 weisen jeweils mindestens einen Energiestrang 822 auf.

Die Figur 9a zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Umrichtersystems, bei dem die jeweiligen Modulstränge 920 der einbettenden Module 901 und 931 gleich sind, der Modulstrang 921 des Moduls 941 jedoch davon unterschiedlich ist. Der Modulstrang 920 in den Modulen 901, 931 weist drei gleichartige Module 915 auf, die jeweils gleichartig miteinander verbunden sind und jeweils einen Energiestrang 917 aufweisen. Der Modulstrang 921 des Moduls 941 weist drei gleichartige Module 923 auf, die jeweils einen Energiestrang 927 aufweisen. Ebenso sind auch die Module 915, 923 voneinander unterschiedlich. Die einbettenden Module 901, 931, 941 sind M2SPC-4q Module, die eingebetteten Module 915, 923 sind M2SPC-2q Module.

Die Figur 9b zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Umrichtersystems mit zwei miteinander verschalteten einbettenden Modulen 951, 961. Die einbettenden Module 951, 961 weisen eine M2SPC-4q Topologie auf und jeweils einen Modulstrang 955 bzw. 956 mit jeweiligen Modulen 952, 953, 954 bzw. 957, 958, 959. Die Module 952, 953, 957, 958 und 954, 959 unterscheiden sich voneinander, weisen jedoch im Wesentlichen eine M2SPC-2q Topologie auf. Die eingebetteten Module 952, 957 sind mit jeweils zwei Anschlüssen 918 an einer Stromschiene 911 angeschlossen. Die eingebetteten Module 954, 959 sind mit nur einem Anschluss 919 an einer anderen Stromschiene 912 angeschlossen. Die eingebetteten Module 952, 953, 954, 957, 958, 959 weisen jeweils einen Energiestrang auf.

Die in den Figuren 8a, 8b, 9a, 9b gezeigten Ausführungsformen verwenden als eingebettete Module Zweiquadrantenmodule, beispielsweise M2C-2q oder M2SPC-2q, und als einbettende Module Vierquadrantenmodule, beispielsweise M2C-4q oder M2SPC-4q. Der Gesamtumrichter ist damit vierquadrantenfähig, spart jedoch nahezu die Hälfte der notwendigen Halbleiter gegenüber einem Einsatz ausschließlich von Vierquadrantenmodulen ein. Diese Einsparung ohne Verlust von wichtigen Funktionen ist

möglich, da Einbettungen von Vierquadrantenmodulen in Vierquadrantenmodule zusätzlich lediglich eine Invertierung der Polarität auf mehreren Ebenen erlaubt, mehrfache Invertierung ähnlich einer ganzzahligen Potenz von (-1) jedoch redundant ist und das Ergebnis mit einer einzelnen Polaritätsinvertierungsmöglichkeit erreicht werden kann. Vorzugsweise wird diese Polaritätsinvertierungsmöglichkeit zur Einsparung von Halbleitern auf der höchsten Ebene der Einbettung bereitgestellt und dort mit Vierquadrantenmodulen implementiert, da diese Module in geringerer Anzahl vorliegen. Ohne prinzipielle Einschränkung kann die Möglichkeit zu Polaritätswechseln auch in Modulen in einer tieferen Verschachtelungsebene und auch in Elementarmodulen implementiert werden.

Neben einer unregelmäßigen Einbettung mit geringer Verschachtelungstiefe, beispielsweise mit nur ein oder zwei Verschachtelungsebenen, besteht die Möglichkeit, den erfindungsgemäßen Matroschka-Umrichter mit regelmäßiger Einbettungsstruktur zu realisieren. Eine regelmäßige Struktur der Replizität q bettet beispielsweise eine Ansammlung von q Modulen in ein übergeordnetes einbettendes Modul ein. Die q eingebetteten Module können sowohl selbst einbettende Module mit je q eingebetteten Modulen sein oder Elementarmodule, die selbst einen Energiespeicher und keine weiteren eingebetteten Module enthalten. Als Sonderfall können auch Elementarmodule und einbettende Module gemischt werden. Die Ordnung r dieses regelmäßigen Matroschka-Umrichters, das bedeutet die maximale Anzahl der Ebenen von der äußersten Ebene bis zu einer innersten Ebene mit einem Elementarmodul, kann gemäß der physikalischen und technischen Anforderungen an Abgabeleistung, Verlustleistung, Ausfallsicherheit u.dgl., gewählt werden. Für q = 2 ergibt sich eine Struktur, in der jedes Elementarmodul mit jedem anderen in den von entweder dem einbettenden oder den eingebetteten Modultopologien bereitgestellten Schaltzuständen (beispielsweise den Parallelzustand beim M2SPC) elektrisch verbunden geschaltet werden kann. Für q = 2 bietet ein Umrichter somit die nahezu höchste mögliche Flexibilität an und jedes Paar von zwei Elementarmodulen des Konverters kann, ungeachtet, wie weit diese in der Umrichterschaltung voneinander entfernt sind und wie viele andere Module sich dazwischen befinden, unmittelbar miteinander verschaltet werden. Während

beispielsweise der M2SPC nur Einzelmodule untereinander parallel zu schalten vermag, kann der regelmäßige Matroschka-Umrichter auch jede beliebige Länge von in sich seriell verbundenen Ketten von Modulen, beispielsweise zwei oder mehr Module, miteinander parallel schalten.

Für höhere q schränken sich die Verschaltungsmöglichkeiten geringfügig ein und es kann nicht mehr jedes Elementarmodul mit jedem anderen direkt verschaltet werden.

Die in den Figuren 4 bis 9b vorgestellten Module und Modulstränge dienen der Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens und können alleinstehend oder in Kombination dafür verwendet werden.

Patentansprüche

1. Elektrisches Umrichtersystem mit einer Mehrzahl ineinander verschachtelter Module (400, 406, 500, 506, 600a, 600b, 606, 700a, 700b, 728, 801, 810, 815, 816, 817, 831, 841, 851, 861, 871, 901, 915, 923, 931, 941, 951, 952, 953, 954, 957, 958, 959, 961) mit mindestens zwei Verschachtelungsebenen, wobei mindestens ein einbettendes Modul (400, 500, 600a, 600b, 700a, 700b, 801, 831, 841, 851, 861, 871, 901, 931, 941, 951, 961) einer ersten Verschachtelungsebene vorgesehen ist, das mindestens zwei elektrische Anschlüsse (418, 419, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 725a, 725b, 726, 726a, 726b) und einen Energiestrang (401, 501, 601, 701, 702, 703, 704, 820, 830, 920, 921, 955, 956) aufweist, wobei der Energiestrang (401, 501, 601, 701, 702, 703, 704, 820, 830, 920, 921, 955, 956) mindestens zwei miteinander verschaltete eingebettete Module (406, 506, 606, 728, 810, 815, 816, 817, 915, 923, 952, 953, 954, 957, 958, 959) einer mindestens zweiten nächst tieferen Verschachtelungsebene aufweist, sodass die Module (400, 406, 500, 506, 600a, 600b, 606, 700a, 700b, 728, 801, 810, 815, 816, 817, 831, 841, 851, 861, 871, 901, 915, 923, 931, 941, 951, 952, 953, 954, 957, 958, 959, 961) ineinander eingebettet sind, wobei die Module (400, 406, 500, 506, 600a, 600b, 606, 700a, 700b, 728, 801, 810, 815, 816, 817, 831, 841, 851, 861, 871, 901, 915, 923, 931, 941, 951, 952, 953, 954, 957, 958, 959, 961) jeweils eine Mehrzahl an Schaltelementen (408-415, 508-515, 608-615, 709-716, 802-809, 902-909) zum dynamischen Umschalten zwischen einer Mehrzahl an Schaltungszuständen zwischen mindestens zwei Modulen (400, 406, 500, 506, 600a, 600b, 606, 700a, 700b, 728, 801, 810, 815, 816, 817, 831, 841, 851, 861, 871, 901, 915, 923, 931, 941, 951, 952, 953, 954, 957, 958, 959, 961) einer Verschachtelungsebene aufweisen.

2. Elektrisches Umrichtersystem nach Anspruch 1, bei dem die Schaltelemente (408-415, 508-515, 608-615, 709-716, 802-809, 902-909) höherer Verschachtelungsebenen

langsamere Schaltgeschwindigkeiten aufweisen als die Schaltelemente (408-415, 508-515, 608-615, 709-716, 802-809, 902-909) tieferer Verschachtelungsebenen.

3. Elektrisches Umrichtersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 2, bei dem die Schaltelemente (408-415, 508-515, 608-615, 709-716, 802-809, 902-909) tieferer Verschachtelungsebenen eine niedrigere Spannungsfestigkeit aufweisen als die Schaltelemente (408-415, 508-515, 608-615, 709-716, 802-809, 902-909) höherer Verschachtelungsebenen.

4. Elektrisches Umrichtersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem Schaltelemente (408-415, 508-515, 608-615, 709-716, 802-809, 902-909) höherer Verschachtelungsebenen nicht kommutierungsfähige Schaltelemente sind.

5. Elektrisches Umrichtersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem Topologien von Modulen (400, 406, 500, 506, 600a, 600b, 606, 700a, 700b, 728, 801, 831, 841, 851, 861, 871, 901, 931, 941, 951, 961) tieferer Verschachtelungsebenen unterschiedlich von den Topologien von Modulen (400, 406, 500, 506, 600a, 600b, 606, 700a, 700b, 728, 801, 831, 841, 851, 861, 871, 901, 931, 941, 951, 961) höherer Verschachtelungsebenen sind.

6. Elektrisches Umrichtersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die jeweiligen Topologien der Module (400, 406, 500, 506, 600a, 600b, 606, 700a, 700b, 728, 801, 831, 841, 851, 861, 871, 901, 931, 941, 951, 961) einer Verschachtelungsebene voneinander unterschiedlich sind.

7. Elektrisches Umrichtersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die jeweiligen Topologien der Module (400, 406, 500, 506, 600a, 600b, 606, 700a, 700b, 728, 801, 831, 841, 851, 861, 871, 901, 931, 941, 951, 961) jeder Verschachtelungsebene jeweils gleichartig sind.

8. Elektrisches Umrichtersystem nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem ein Modul (400, 406, 500, 506, 600a, 600b, 606, 700a, 700b, 728, 801, 831, 841, 851, 861, 871, 901, 931, 941, 951, 961) einer tieferen Verschachtelungsebene mit genau einem elektrischen Anschluss (813, 814, 818, 819, 913, 914, 918, 919) mit einer positiven Stromschiene (416, 516, 616, 811, 911) und/oder einer negativen Stromschiene (417, 517, 617, 812, 912) eines Moduls (400, 406, 500, 506, 600a, 600b, 606, 700a, 700b, 728, 801, 831, 841, 851, 861, 871, 901, 931, 941, 951, 961) einer höheren Verschachtelungsebene elektrisch verbunden ist.

9. Elektrisches Umrichtersystem nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem mindestens ein Energiestrang (401, 501, 601, 701, 702, 703, 704, 820, 830, 920, 921, 955, 956) mindestens eines Moduls (400, 406, 500, 506, 600a, 600b, 606, 700a, 700b, 728, 801, 810, 815, 816, 817, 831, 841, 851, 861, 871, 901, 915, 923, 931, 941, 951, 952, 953, 954, 957, 958, 959, 961) mindestens einen Energiespeicher aufweist.

10. Elektrisches Umrichtersystem nach Anspruch 9, bei dem mindestens ein Energiestrang (401, 501, 601, 701, 702, 703, 704, 820, 830, 920, 921, 955, 956) mindestens eines Moduls (400, 406, 500, 506, 600a, 600b, 606, 700a, 700b, 728, 801, 810, 815, 816, 817, 831, 841, 851, 861, 871, 901, 915, 923, 931, 941, 951, 952, 953, 954, 957, 958, 959, 961) lediglich mindestens einen Energiespeicher aufweist.

11. Verfahren zum Bereitstellen eines elektrischen Umrichtersystems nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem eine elektrische Schaltung mit mindestens zwei Verschachtelungsebenen verwendet wird, wobei mindestens ein einbettendes Modul einer ersten Verschachtelungsebene dazu verwendet wird, mindestens einen Energiestrang auszubilden, bei dem mindestens zwei eingebettete Module einer mindestens zweiten nächst tieferen Verschachtelungsebene miteinander verschaltet werden, sodass die Module ineinander eingebettet werden, wobei bei den Modulen mindestens zwei Anschlüsse und eine Mehrzahl an Schaltelementen verwendet werden, um zwischen einer

Mehrzahl an Schaltungszuständen zwischen mindestens zwei Modulen einer Verschachtelungsebene dynamisch umschalten zu können.

12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem in höheren Verschachtelungsebenen Schaltelemente verwendet werden, die langsamere Schaltgeschwindigkeiten aufweisen, als Schaltelemente, die in tieferen Verschachtelungsebenen verwendet werden.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, bei dem in tieferen Verschachtelungsebenen Schaltelemente verwendet werden, die eine niedrigere Spannungsfestigkeit aufweisen, als Schaltelemente, die in höheren Verschachtelungsebenen verwendet werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, bei dem in höheren Verschachtelungsebenen nicht kommutierungsfähige Schaltelemente verwendet werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, bei dem mindestens ein Modul verwendet wird, bei dem der mindestens eine Energiestrang mindestens einen Energiespeicher aufweist.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15, bei dem mindestens ein Modul verwendet wird, bei dem der mindestens eine Energiestrang lediglich mindestens einen Energiespeicher aufweist.

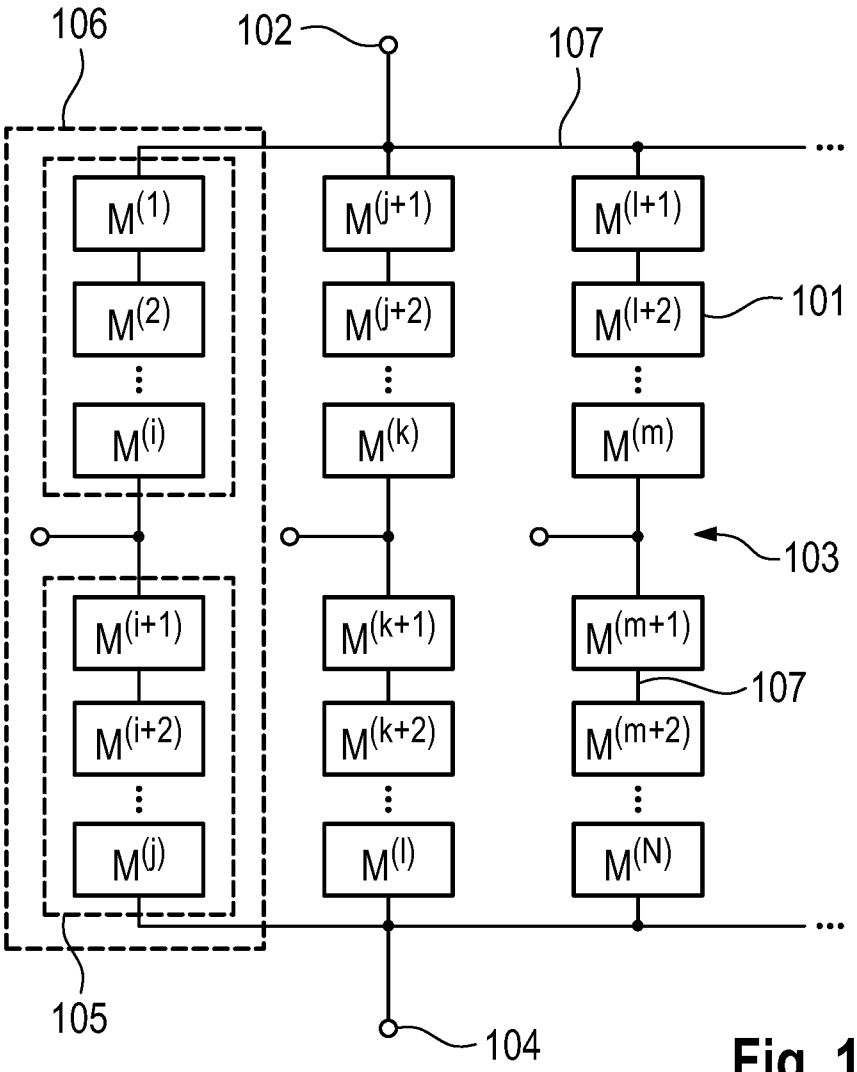
106
102
107
M(1)
M(2)
M(i)
M(j+1)
M(j+2)
M(k)
M(l+1)
M(l+2)
M(m)
101
103
M(i+1)
M(i+2)
M(j)
M(k+1)
M(k+2)
M(l)
M(m+1)
M(m+2)
M(N)
107
105
104

Fig. 1a

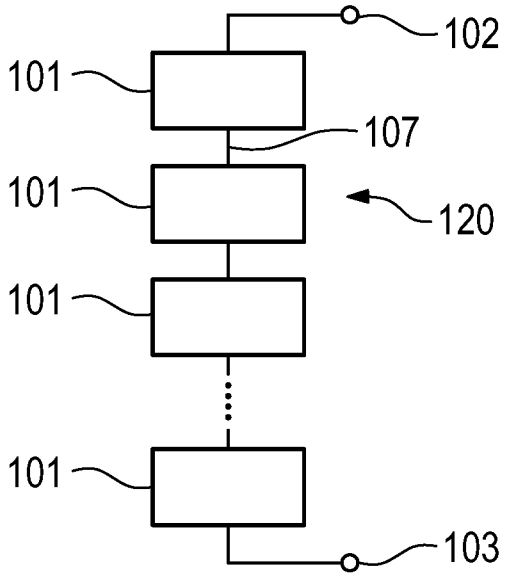
102
101
107
101
120
101
101
103

Fig. 1b

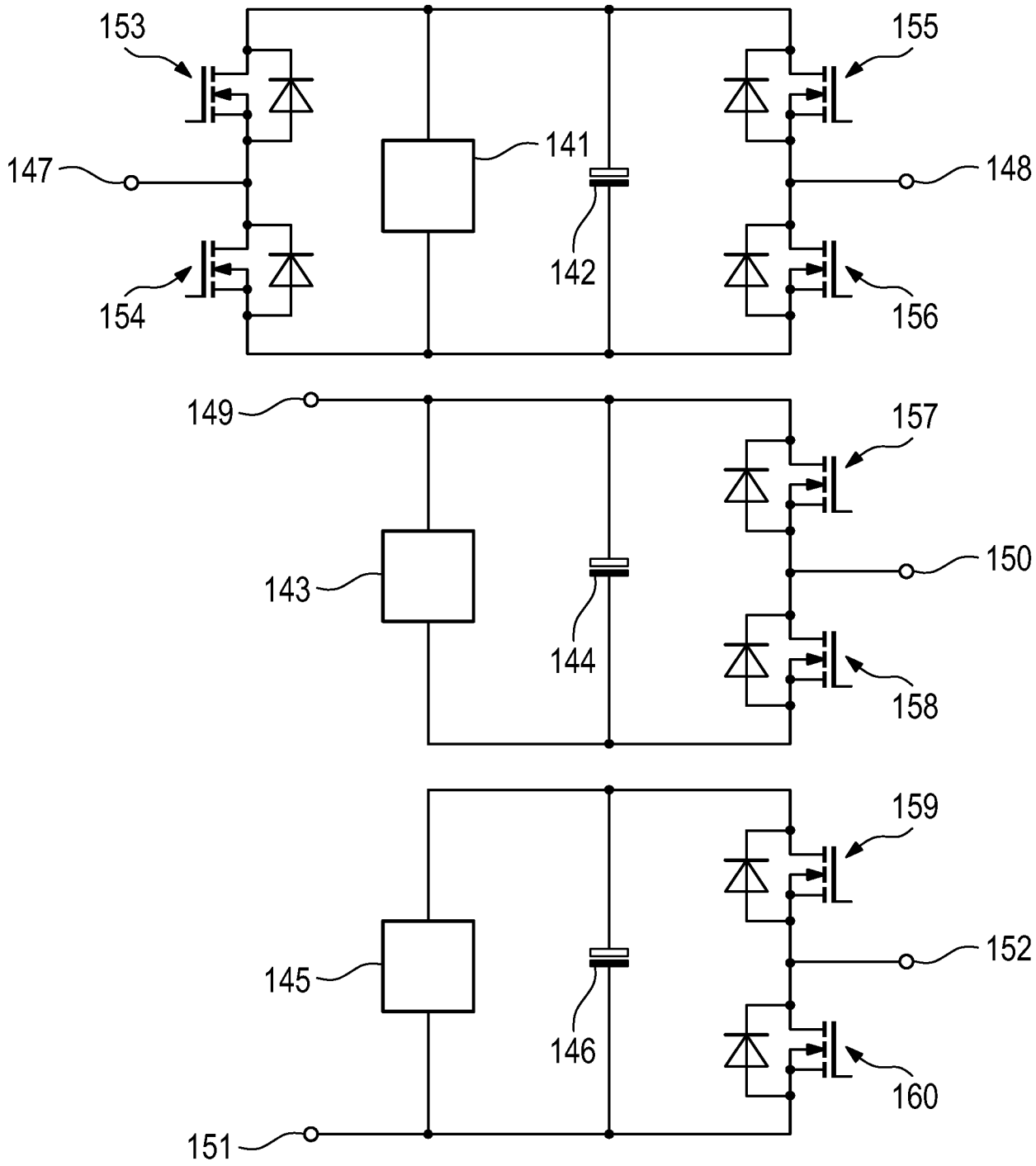
153
155
147
141
148
142
154
156
149
157
143
150
144
158
159
145
152
146
160
151

Fig. 1c

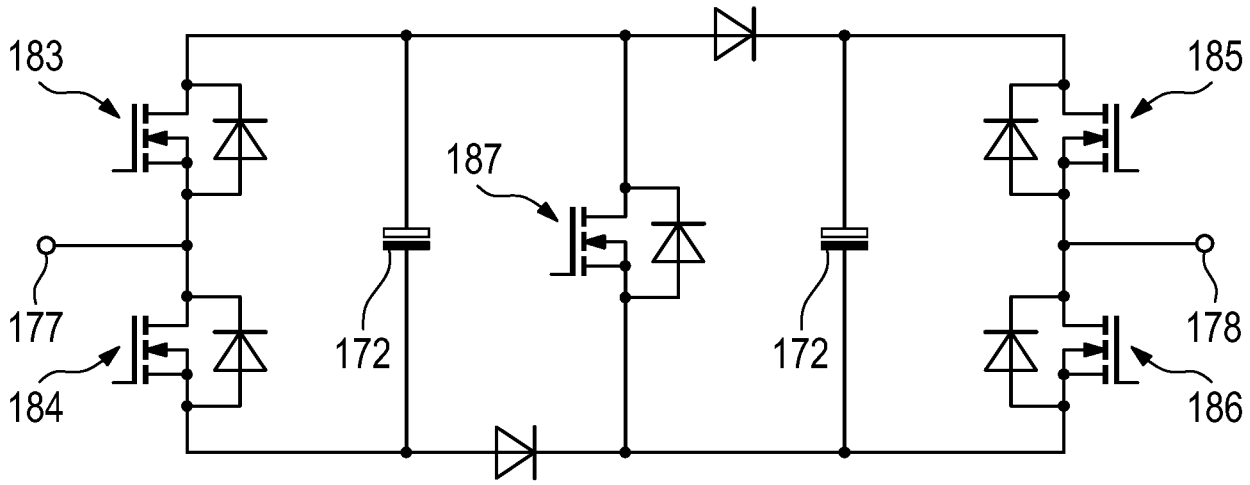
183
185
187
177
172
172
178
184
186

Fig. 1d

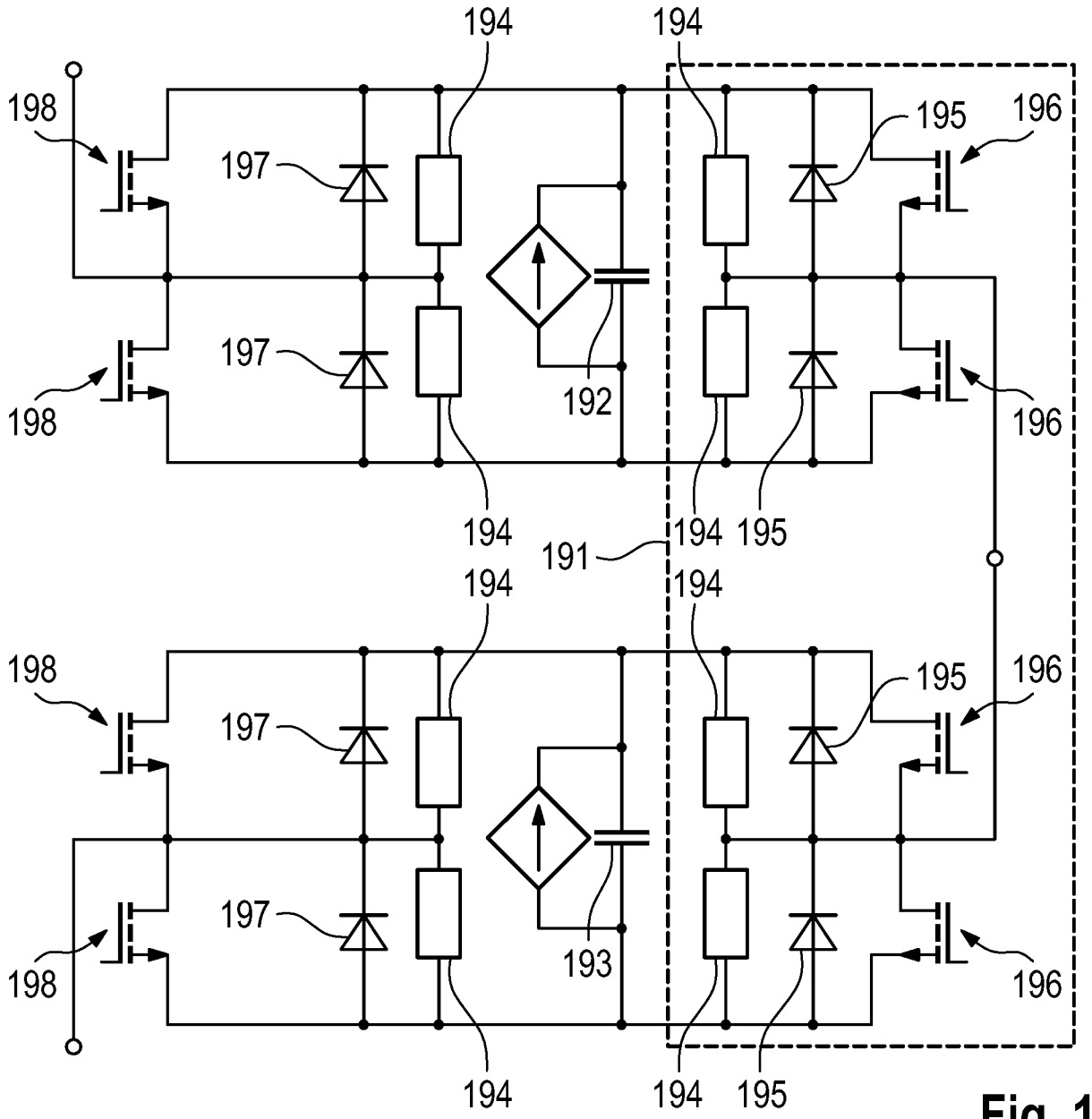
194
194
198
195
196
197
197
192
198
196
194
194
195
191
194
194
198
195
196
197
197
193
198
196
194
194
195

Fig. 1e

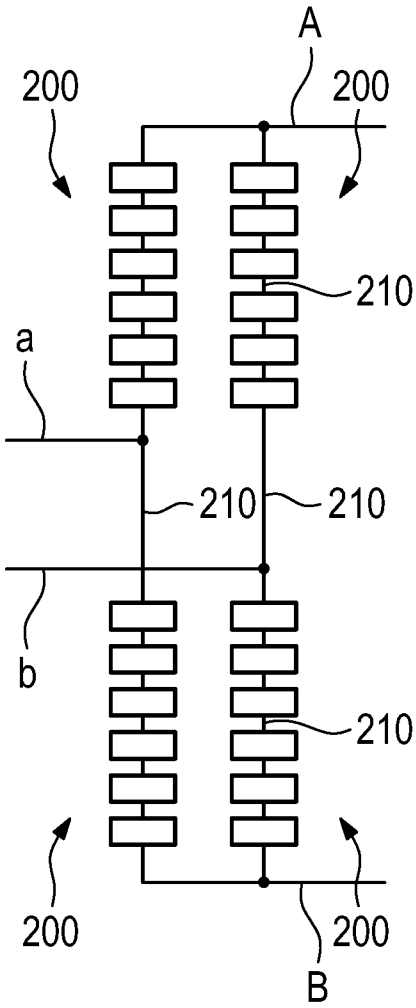
A
200
200
210
a
210
210
b
210
200
200
B

Fig. 1f

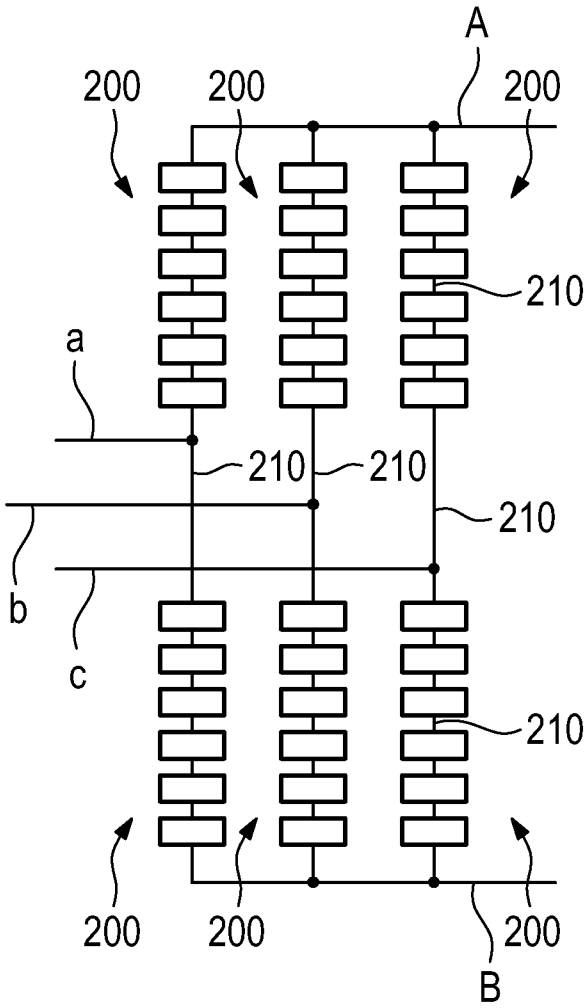
A
200
200
200
210
a
210
210
210
b
c
210
200
200
200
B

Fig. 1g

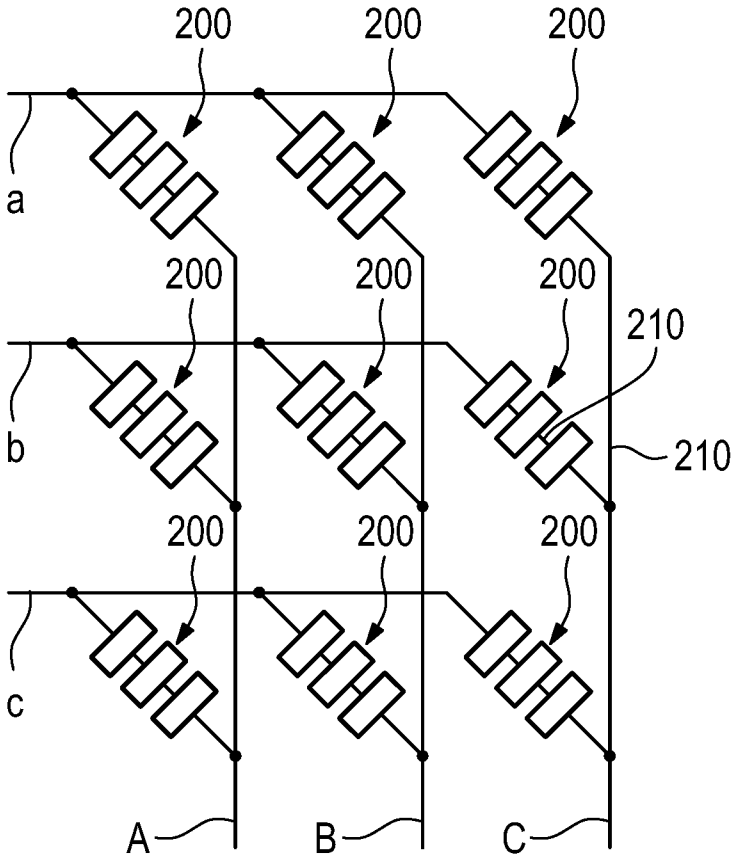

Fig. 1h

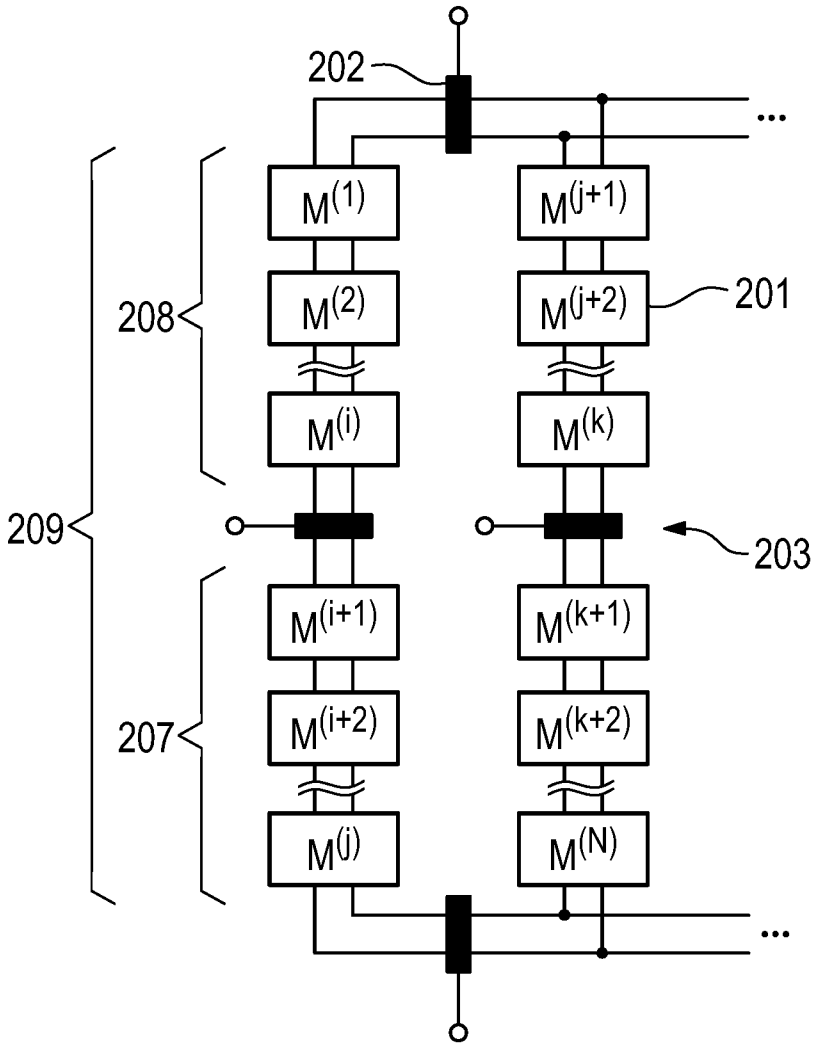

Fig. 2a

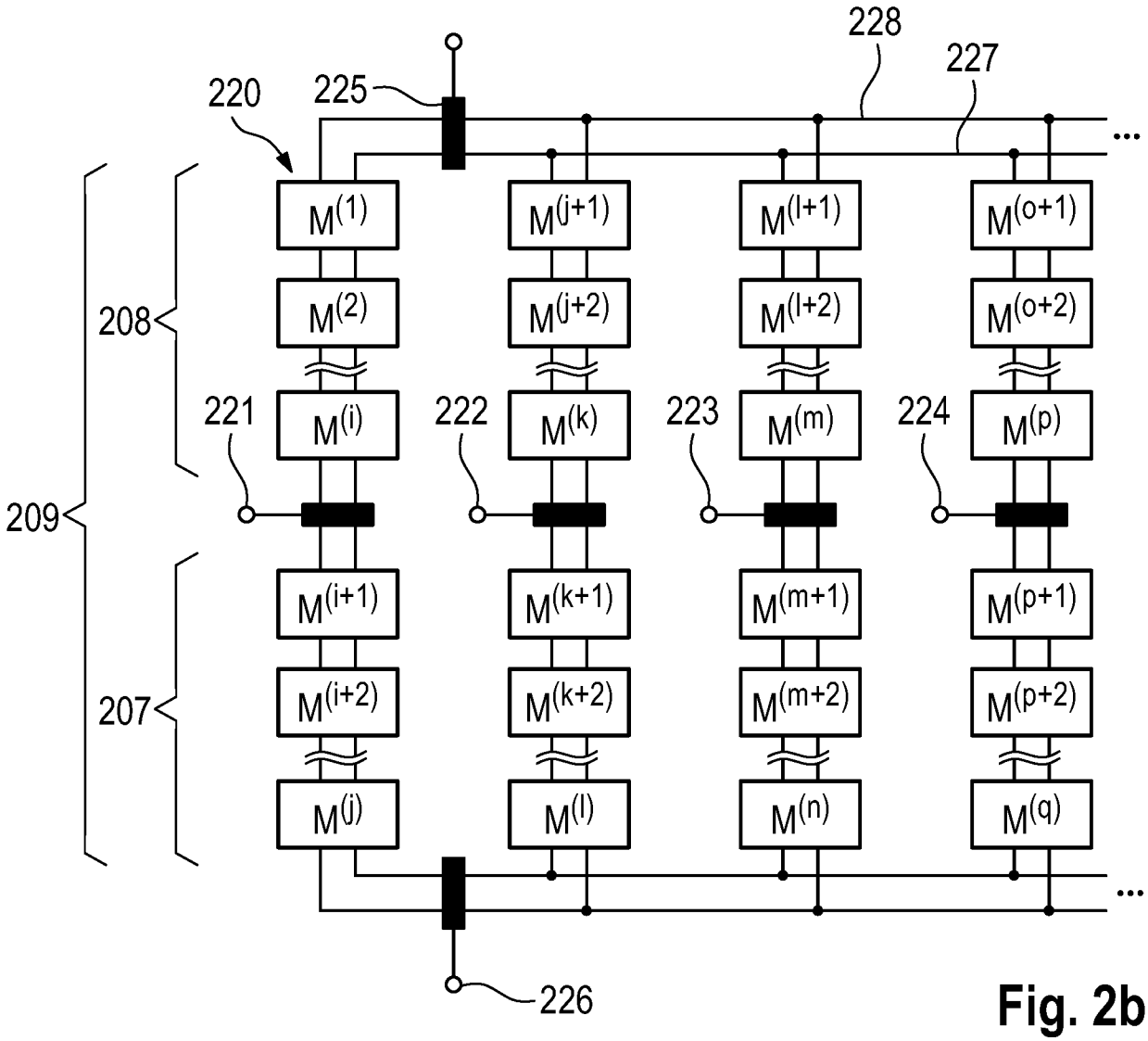
228
227
220
225
208
209
207
221
222
223
224
M(1)
M(2)
M(i)
M(i+1)
M(i+2)
M(j)
M(j+1)
M(j+2)
M(k)
M(k+1)
M(k+2)
M(l)
M(l+1)
M(l+2)
M(m)
M(m+1)
M(m+2)
M(n)
M(o+1)
M(o+2)
M(p)
M(p+1)
M(p+2)
M(q)
226

Fig. 2b

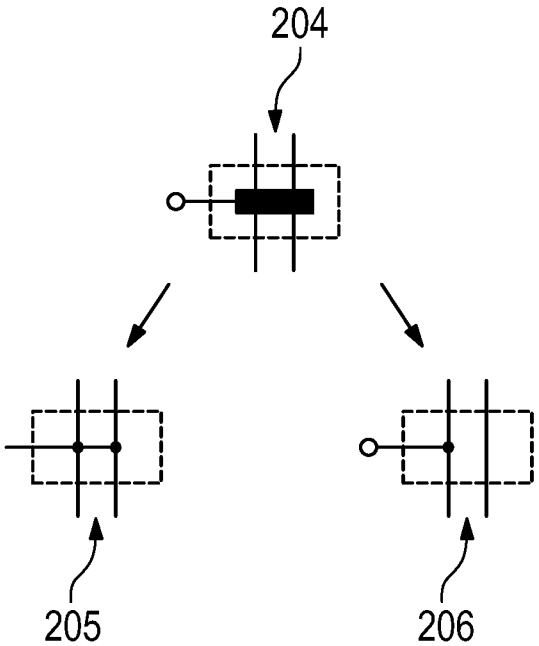
204
205
206

Fig. 2c

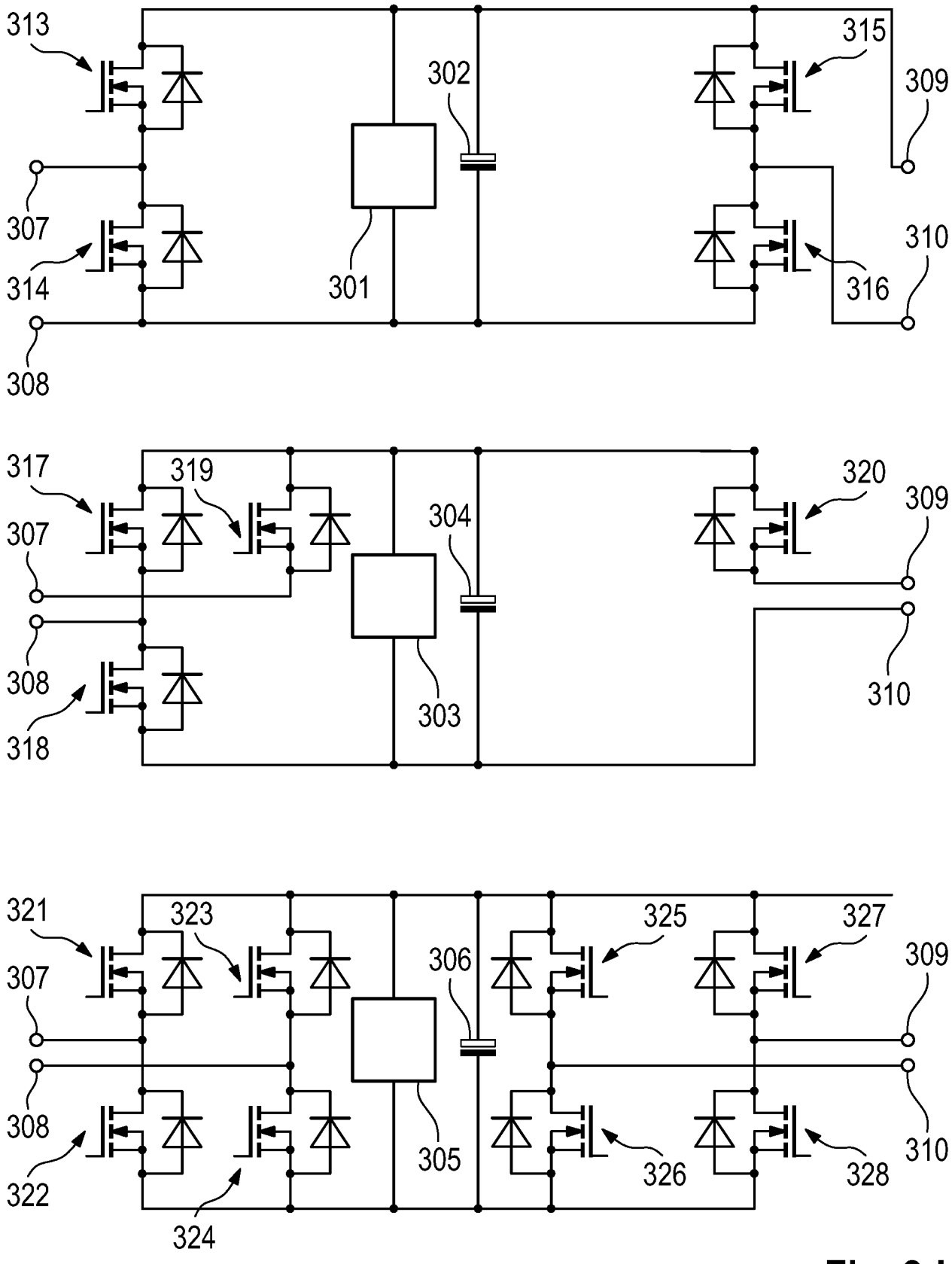
313
315
302
309
307
310
314
301
316
308
317
319
320
309
307
304
308
310
318
303
321
323
325
327
307
306
309
308
310
322
305
326
328
324

Fig. 2d

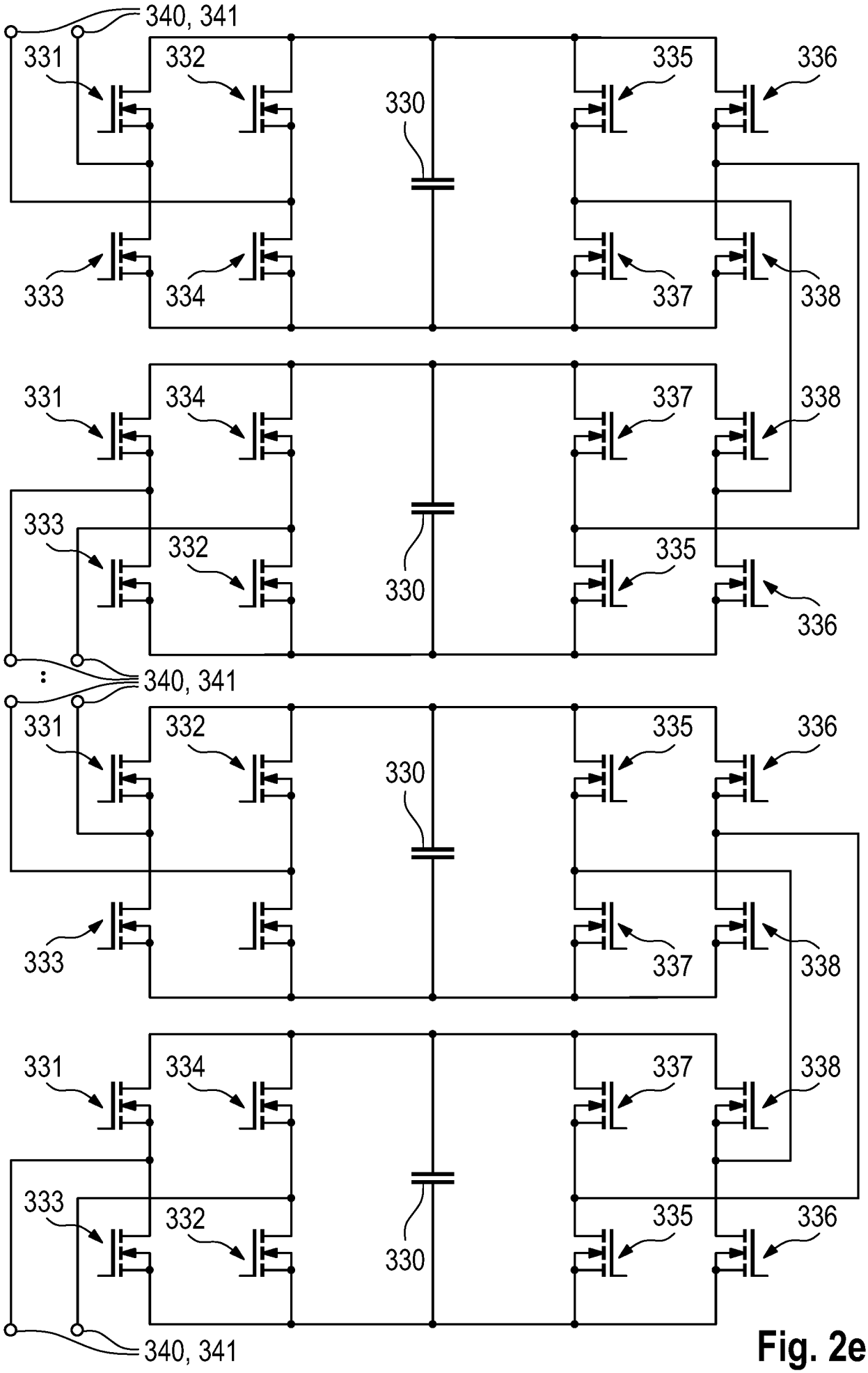
340, 341
331
332
330
335
336
333
334
337
338
331
334
337
338
333
332
335
330
336
340, 341
331
332
330
335
336
333
337
338
331
334
337
338
333
332
335
330
336
340, 341

Fig. 2e

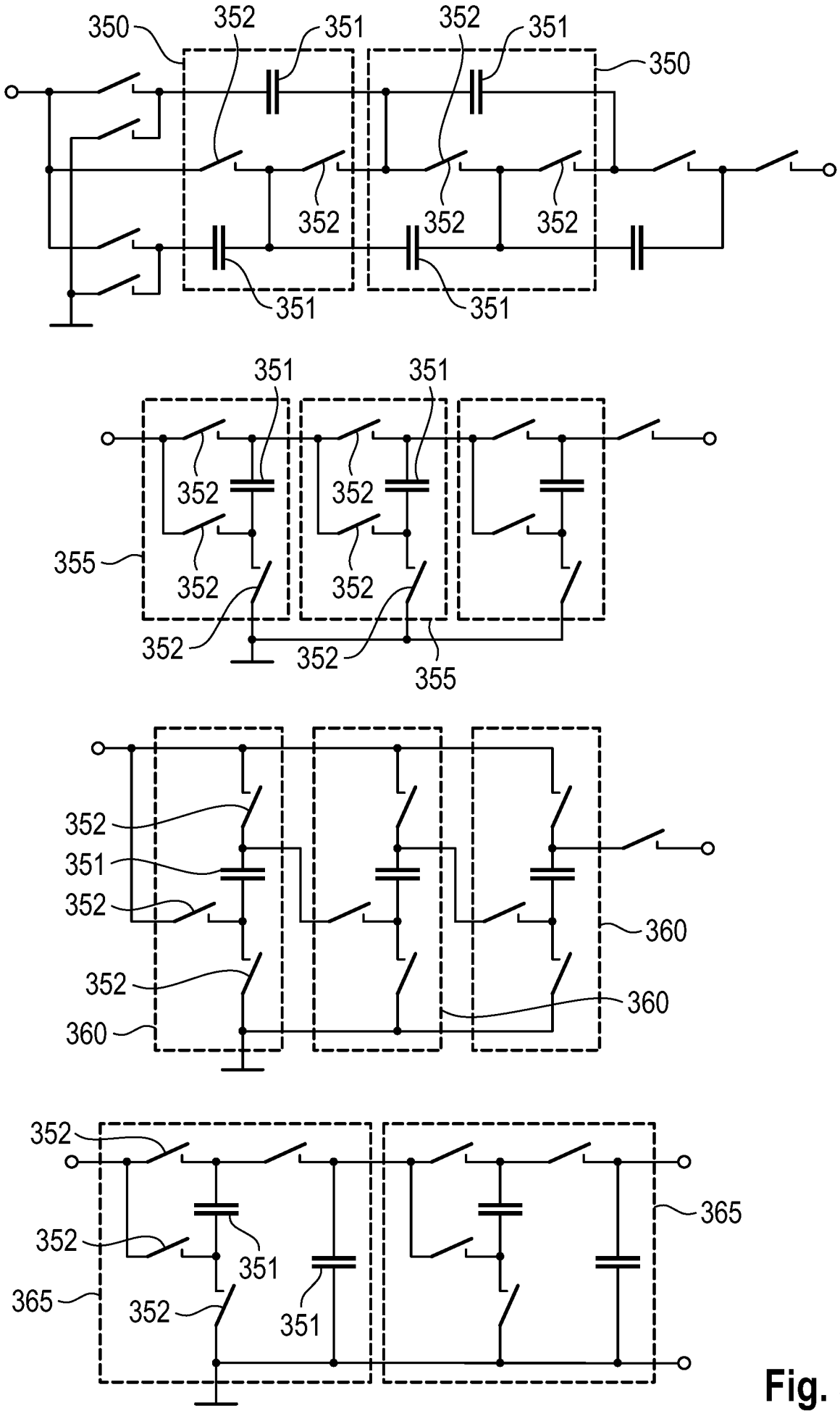
350
352
351
352
351
350
352
352
352
351
351
351
351
352
352
355
352
352
352
352
355
352
351
352
360
352
360
360
352
352
351
365
352
351
365

Fig. 3

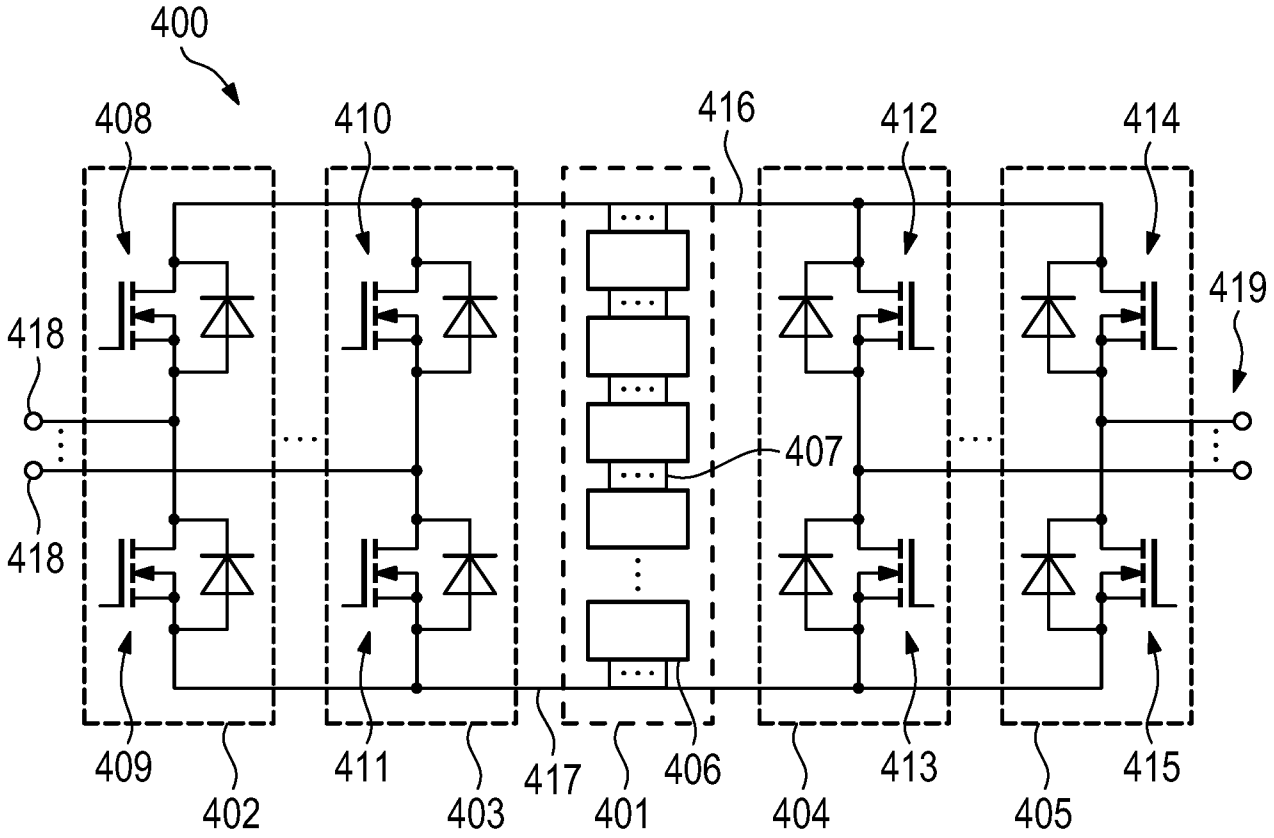
400
408
410
416
412
414
419
418
418
407
409
411
417
406
413
415
402
403
401
404
405

Fig. 4

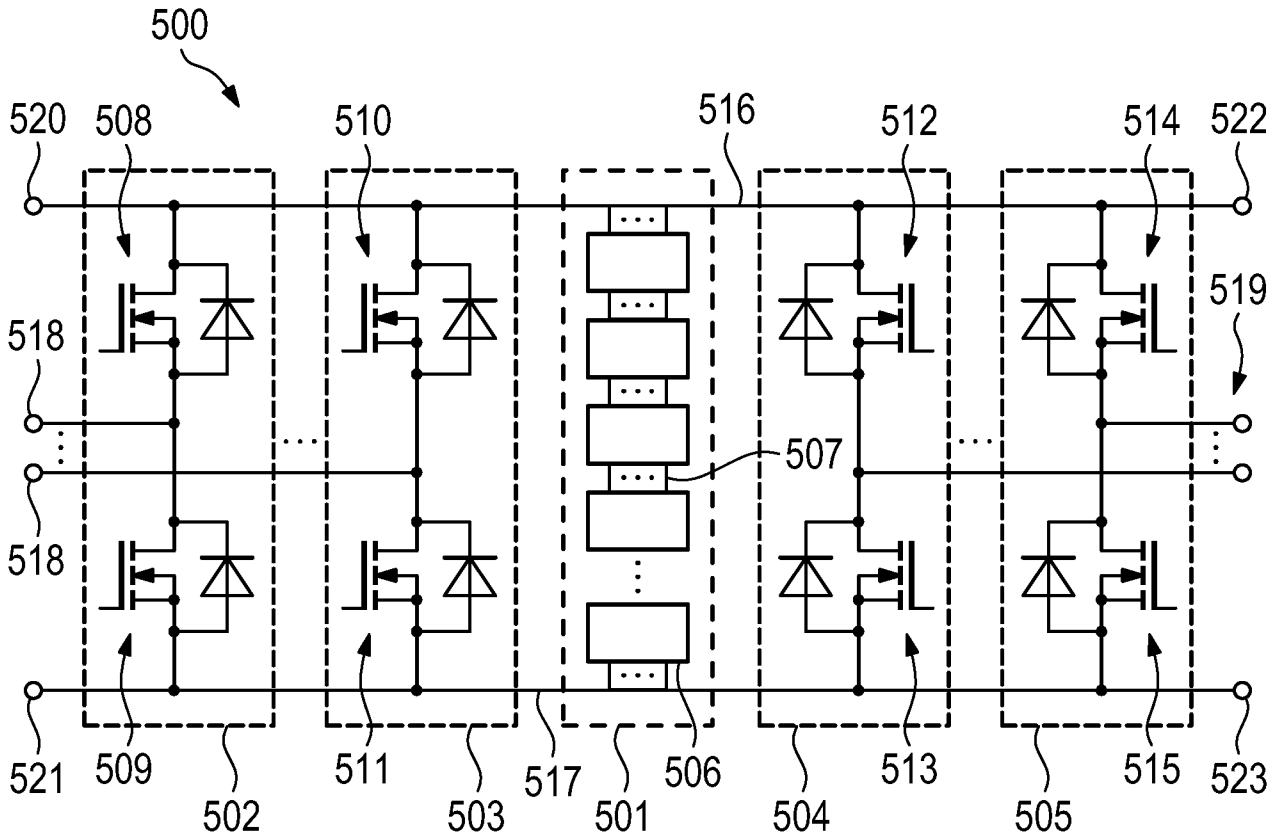
500
520
508
510
516
512
514
522
518
519
518
507
521
509
511
517
506
513
515
523
502
503
501
504
505

Fig. 5

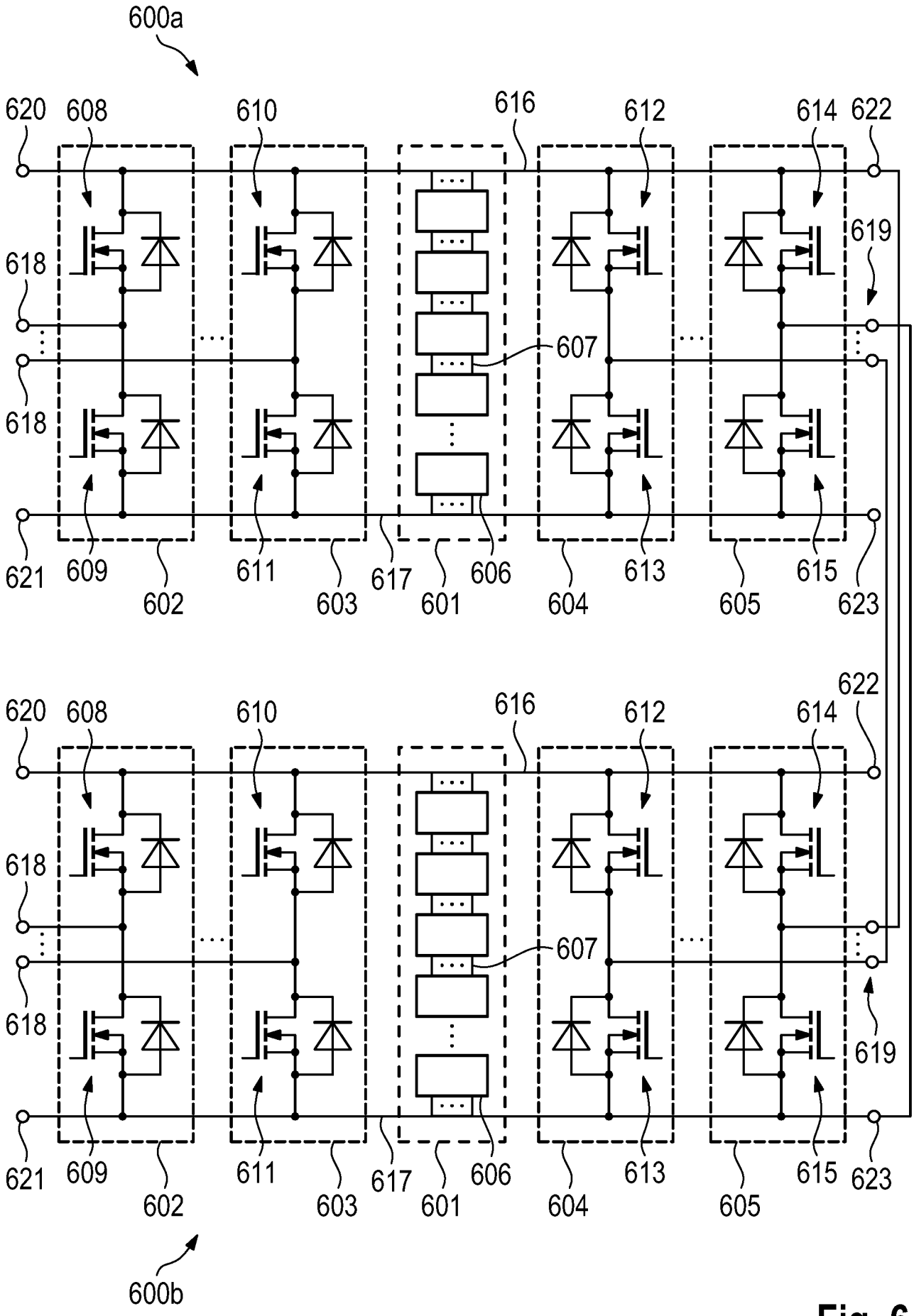
600a
620
608
610
616
612
614
622
618
619
607
618
621
609
602
611
603
617
601
606
604
613
605
615
623
600b

Fig. 6

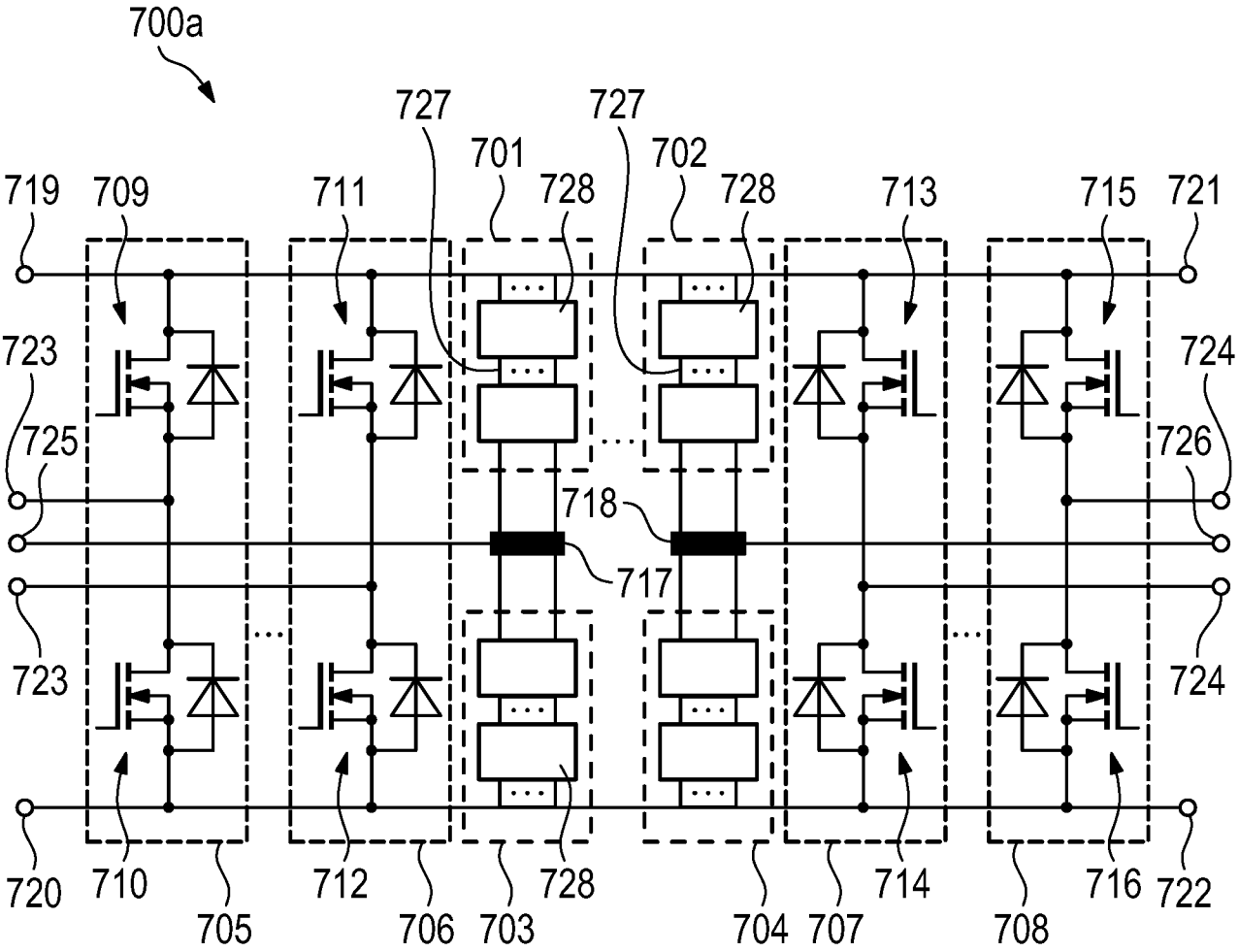
700a
727
727
701
702
719
709
711
728
728
713
715
721
723
724
725
726
718
717
723
724
720
710
712
728
714
716
722
705
706
703
704
707
708

Fig. 7a

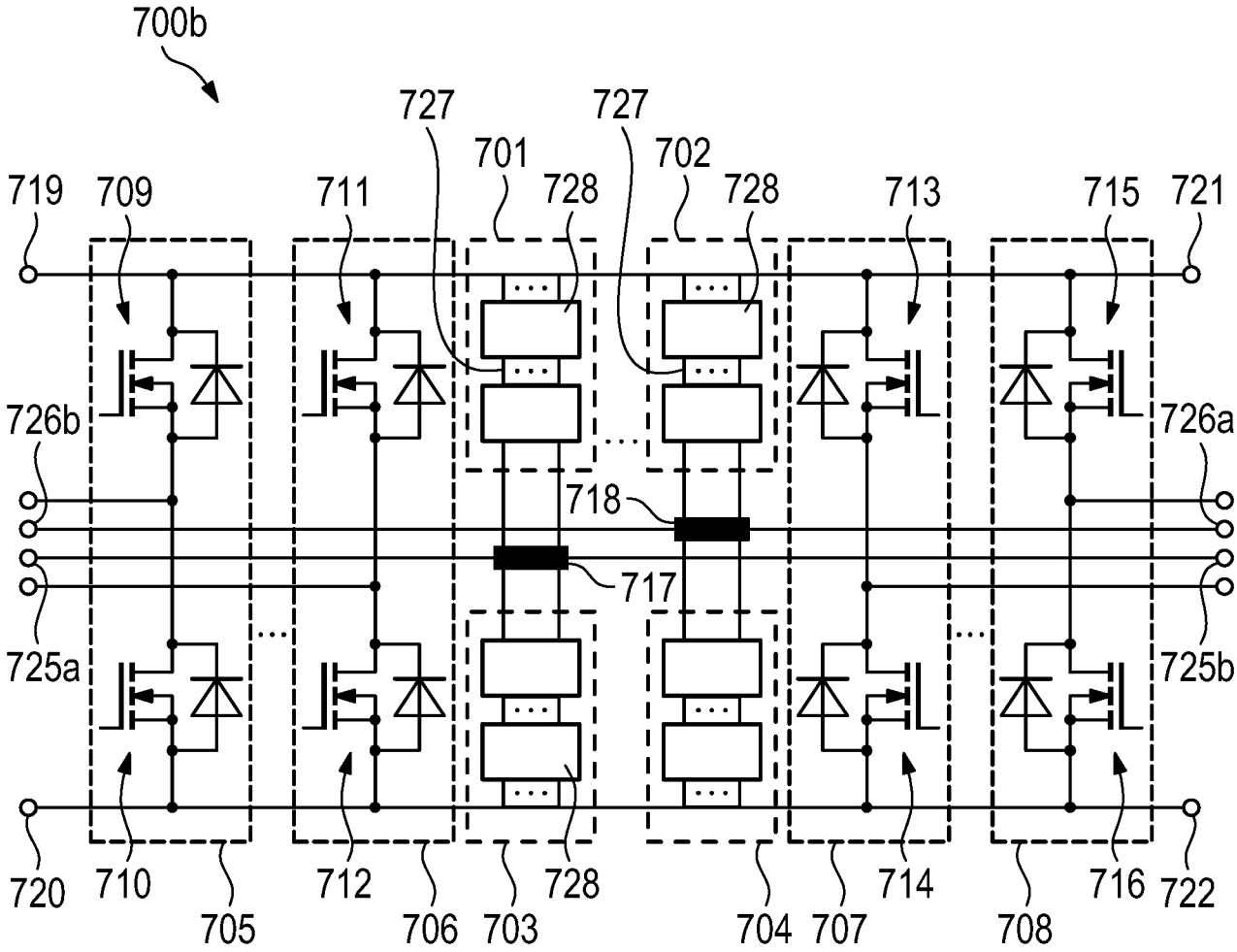
700b
727
727
701
702
719
709
711
728
728
713
715
721
726b
726a
718
717
725a
725b
720
710
712
728
714
716
722
705
706
703
704
707
708

Fig. 7b

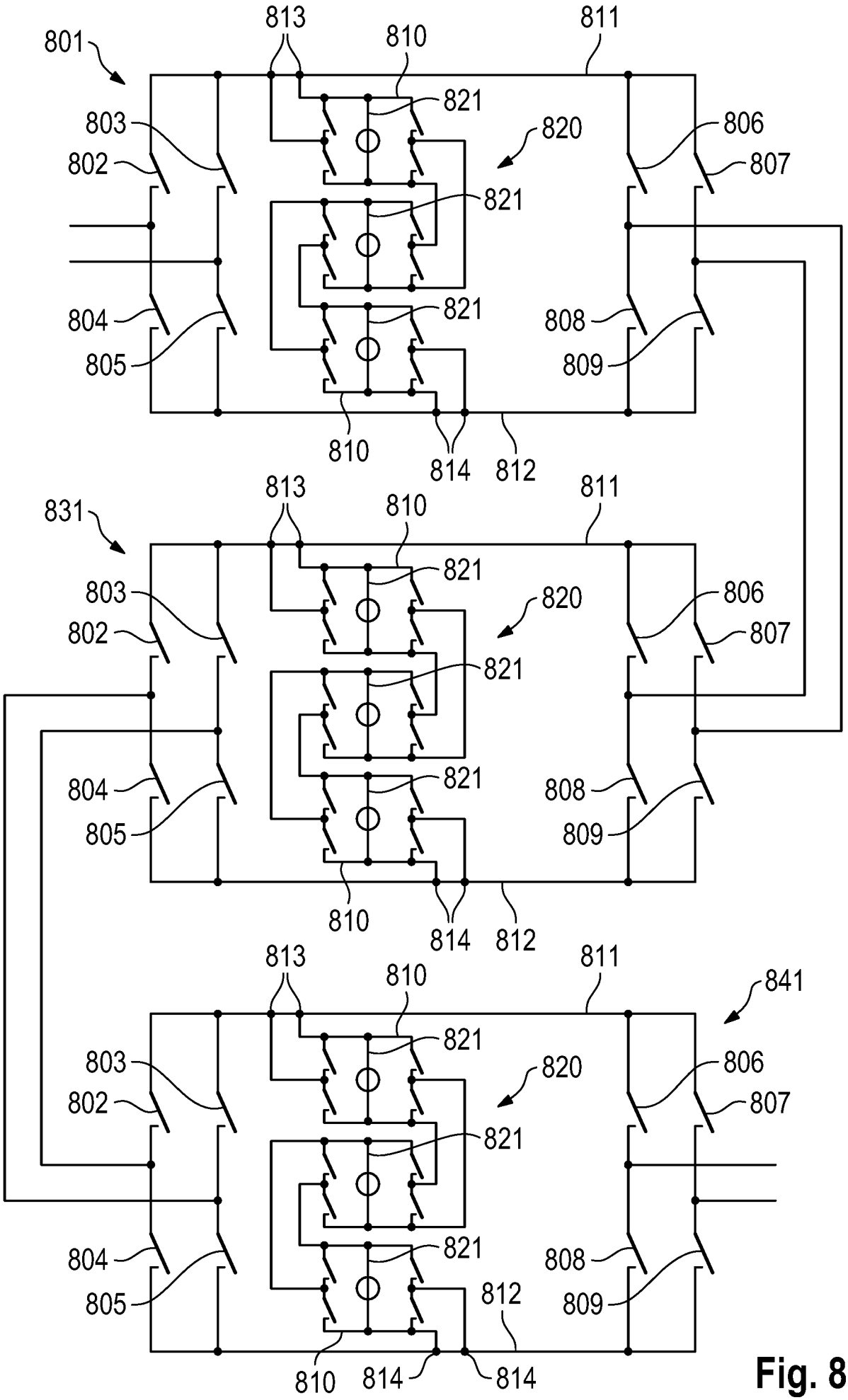
801
813
810
811
821
803
820
806
802
807
821
804
821
808
805
809
810
814
812
831
813
810
811
821
803
820
806
802
807
821
804
821
808
805
809
810
814
812
841
813
810
811
821
803
820
806
802
807
821
804
821
808
805
812
809
810
814
814

Fig. 8a

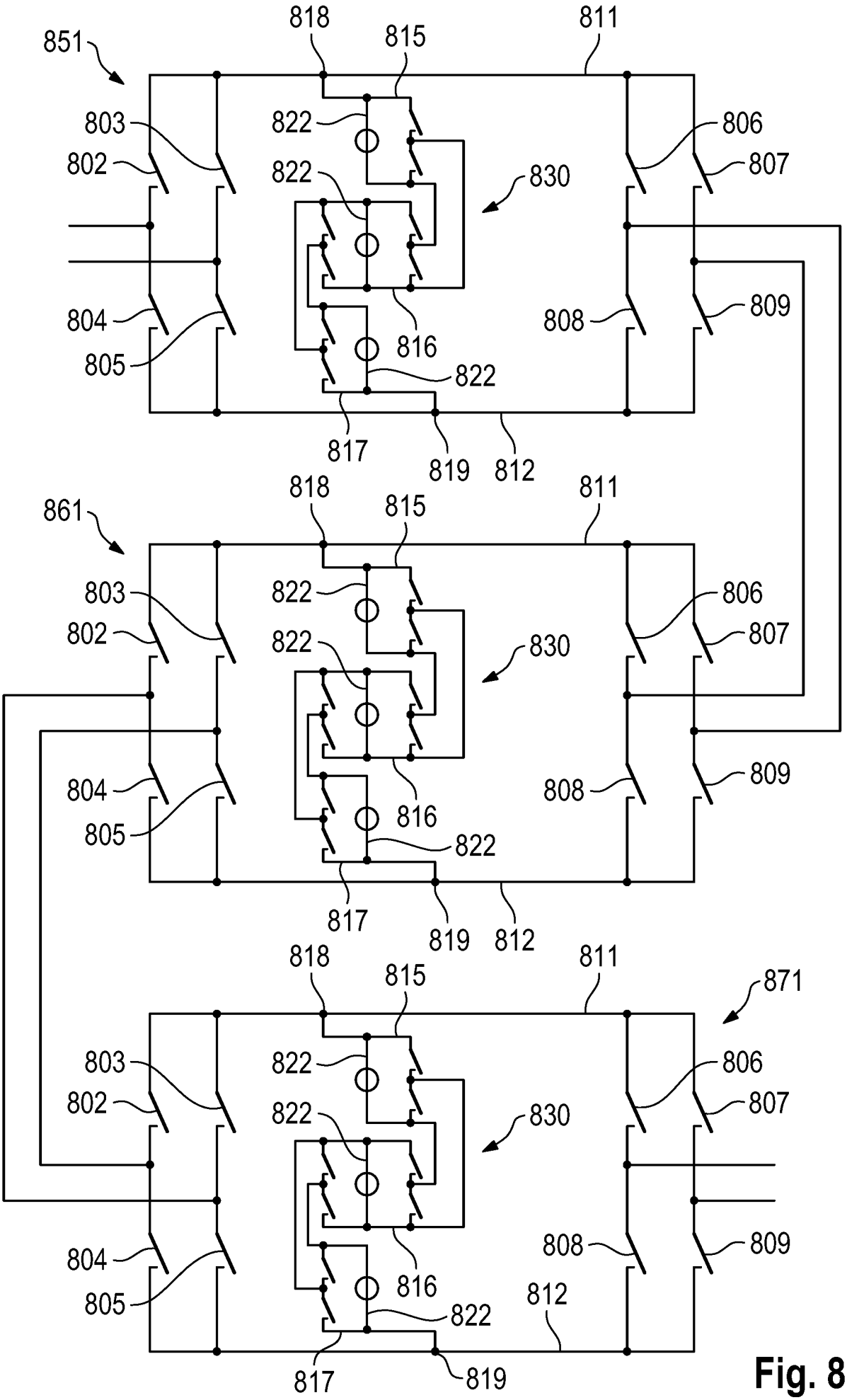
851
818
815
811
803
822
806
802
822
807
830
804
808
809
805
816
822
817
819
812
861
818
815
811
803
822
806
802
822
807
830
804
808
809
805
816
822
817
819
812
871
818
815
811
803
822
806
802
822
807
830
804
808
809
805
816
812
822
817
819

Fig. 8b

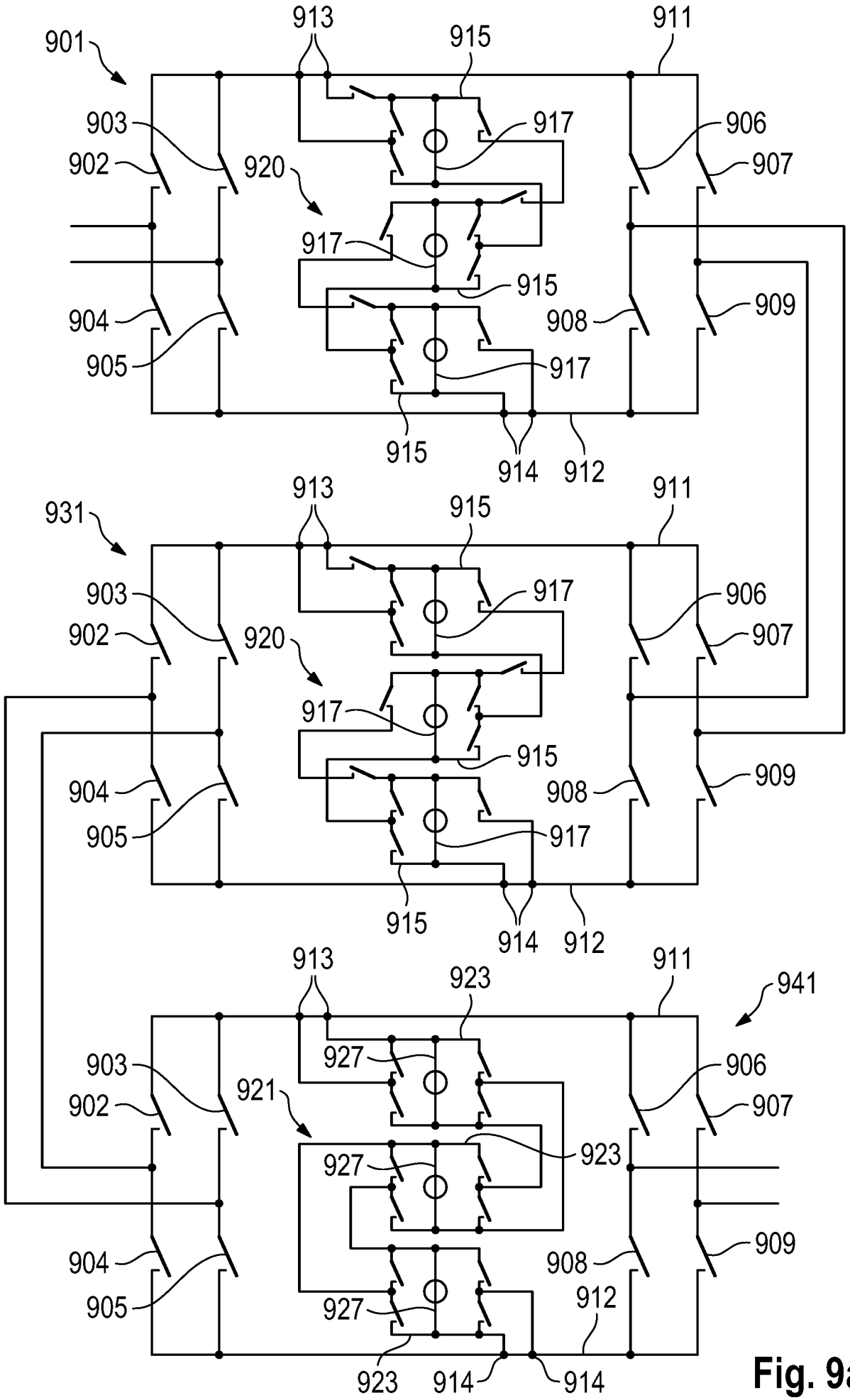
901
913
915
911
903
917
906
902
920
907
917
915
904
908
909
905
917
915
914
912
931
913
915
911
903
917
906
902
920
907
917
915
904
908
909
905
917
915
914
912
913
923
911
941
903
927
906
921
902
907
927
923
904
908
909
905
927
912
923
914
914

Fig. 9a

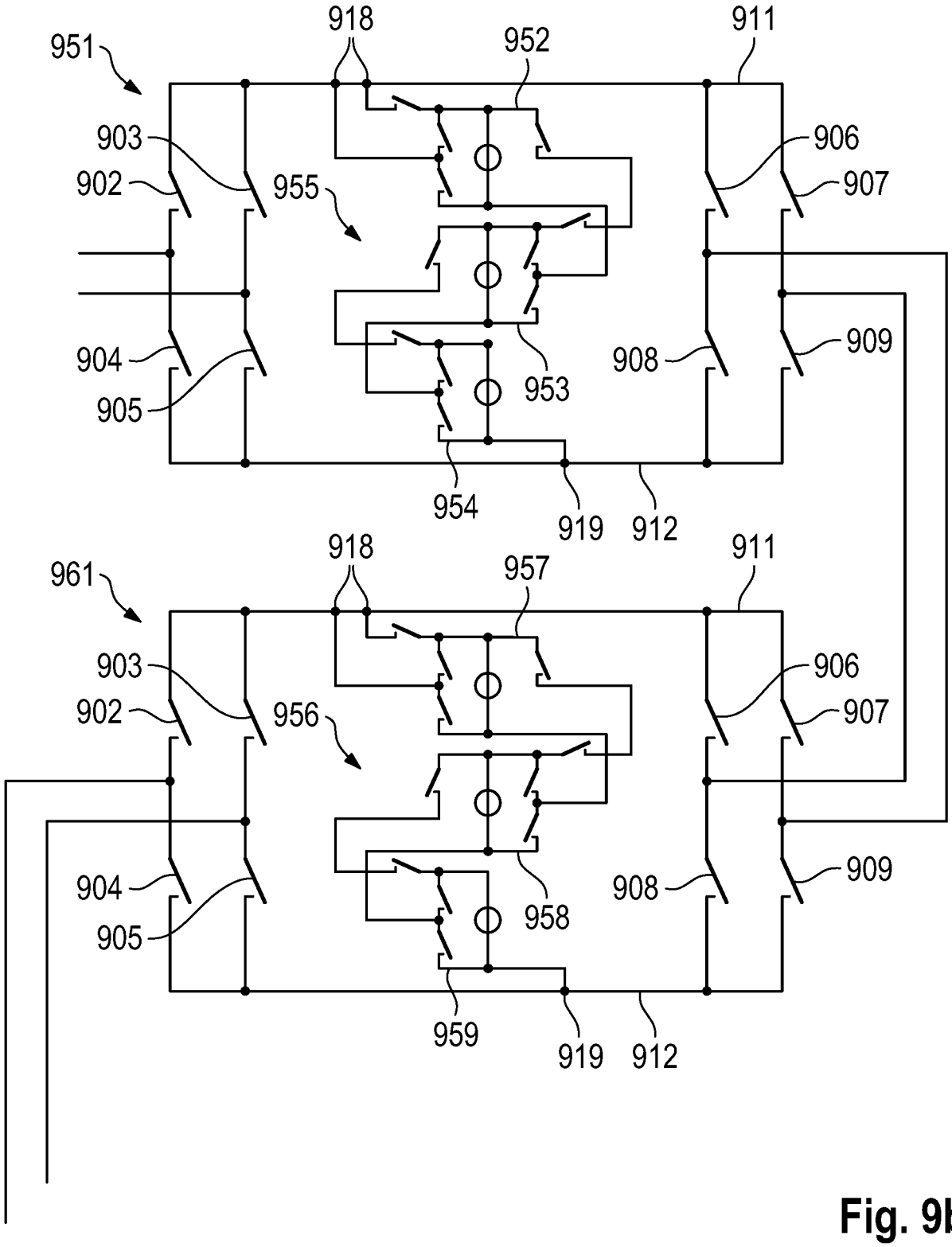
951
918
952
911
903
906
902
907
955
904
909
908
905
953
954
919
912
961
918
957
911
903
906
902
907
956
904
909
908
905
958
959
919
912

Fig. 9b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/025031

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02M7/49
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	DE 10 2010 052934 A1 (UNIV MUENCHEN TECH [DE]) 31 May 2012 (2012-05-31) figure 10 -----	1,4-11, 14-16 2,3,12, 13
Y	US 6 005 788 A (LIPO THOMAS A [US] ET AL) 21 December 1999 (1999-12-21) figure 7 column 13, line 50 - column 14, line 4 -----	2,3,12, 13
A	DE 10 2013 205562 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 2 October 2014 (2014-10-02) figure 6 -----	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
27 June 2016	05/07/2016

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Gotzig, Bernhard

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2016/025031

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102010052934 A1	31-05-2012	DE 102010052934 A1	31-05-2012
		WO 2012072197 A2	07-06-2012
US 6005788 A	21-12-1999	AU 2765599 A	30-08-1999
		US 6005788 A	21-12-1999
		WO 9941828 A1	19-08-1999
DE 102013205562 A1	02-10-2014	CN 105052029 A	11-11-2015
		DE 102013205562 A1	02-10-2014
		WO 2014154495 A1	02-10-2014

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/025031

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02M7/49
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02M

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X Y	DE 10 2010 052934 A1 (UNIV MUENCHEN TECH [DE]) 31. Mai 2012 (2012-05-31) Abbildung 10	1,4-11, 14-16 2,3,12, 13
Y	US 6 005 788 A (LIPO THOMAS A [US] ET AL) 21. Dezember 1999 (1999-12-21) Abbildung 7 Spalte 13, Zeile 50 - Spalte 14, Zeile 4	2,3,12, 13
A	DE 10 2013 205562 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 2. Oktober 2014 (2014-10-02) Abbildung 6	1-16

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
27. Juni 2016	05/07/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Gotzig, Bernhard

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/025031

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102010052934 A1	31-05-2012	DE 102010052934 A1	31-05-2012
		WO 2012072197 A2	07-06-2012
US 6005788 A	21-12-1999	AU 2765599 A	30-08-1999
		US 6005788 A	21-12-1999
		WO 9941828 A1	19-08-1999
DE 102013205562 A1	02-10-2014	CN 105052029 A	11-11-2015
		DE 102013205562 A1	02-10-2014
		WO 2014154495 A1	02-10-2014