

(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
12. Oktober 2017 (12.10.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/174102 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H02M 7/483 (2007.01) *H02M 7/00* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/025177
- (22) Internationales Anmeldedatum:
14. Dezember 2016 (14.12.2016)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2016 106 359.2 7. April 2016 (07.04.2016) DE
- (71) Anmelder: **H.C. F. PORSCHE** [DE/DE];
Aktiengesellschaft, Porscheplatz 1, 70435 Stuttgart (DE).
- (72) Erfinder: **GÖTZ, Stefan**; Schützenweg 5, 85659 Forstern
(DE). **HÖß, Johannes**; Hirschberger Strasse 38, 71229
Leonberg (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, DJ, 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, KH,
KN, KP, KR, KW, 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: MODULE FOR A MULTILEVEL CONVERTER

(54) Bezeichnung : MODUL FÜR EINEN MULTILEVELKONVERTER

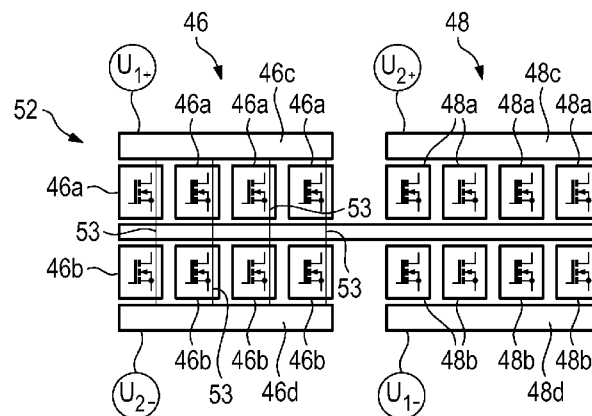


Fig. 6b

(57) **Abstract:** The invention relates to a module which is configured as a component of a multilevel converter and has a plurality of basic units (46, 48) and electrical energy sources, wherein each basic unit (46, 48) has at least one half-bridge, wherein the at least one half-bridge comprises at least one high-side switch (46a, 48a) and at least one low-side switch (46b, 48b), wherein for two basic units (46, 48) which are arranged directly adjacent alongside one another within the module provision is made, in the case of a first basic unit (46, 48) of the two basic units (46, 48), for the at least one high-side switch (46a, 48a) to be connected to a positive pole of a first energy source and for the at least one low-side switch (46b, 48b) to be connected to a negative pole of a second energy source, wherein, in the case of a second basic unit (46, 48) of the two basic units (46, 48), the at least one high-side switch (46a, 48a) is connected to a positive pole of the second energy source and the at least one low-side switch (46b, 48b) is connected to a negative pole of the first energy source, wherein current is to be transported between two poles via at least one current path (53).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2017/174102 A1



Die Erfindung betrifft ein Modul, das als Komponente eines Multilevelkonverters ausgebildet ist und mehrere Basiseinheiten (46, 48) sowie elektrische Energiequellen aufweist, wobei jede Basiseinheit (46, 48) mindestens eine Halbbrücke aufweist, wobei die mindestens eine Halbbrücke mindestens einen hochseitigen Schalter (46a, 48a) und mindestens einen tiefseitigen Schalter (46b, 48b) umfasst, wobei für zwei Basiseinheiten (46, 48), die innerhalb des Moduls unmittelbar nebeneinander benachbart angeordnet sind, vorgesehen ist, dass bei einer ersten Basiseinheit (46, 48) der zwei Basiseinheiten (46, 48) der mindestens eine hochseitige Schalter (46a, 48a) mit einem positiven Pol einer ersten Energiequelle und der mindestens eine tiefseitige Schalter (46b, 48b) mit einem negativen Pol einer zweiten Energiequelle verbunden ist, wobei bei einer zweiten Basiseinheit (46, 48) der zwei Basiseinheiten (46, 48) der mindestens eine hochseitige Schalter (46a, 48a) mit einem positiven Pol der zweiten Energiequelle und der mindestens eine tiefseitige Schalter (46b, 48b) mit einem negativen Pol der ersten Energiequelle verbunden ist, wobei Strom zwischen zwei Polen über mindestens einen Strompfad (53) zu transportieren ist.

Modul für einen Multilevelkonverter

Die Erfindung betrifft ein Modul, das als Komponente eines Multilevelkonverters ausgebildet ist, einen Multilevelkonverter und ein Verfahren zum Betreiben eines
5 Multilevelkonverters.

Ein Multilevelkonverter ist eine elektrische Einrichtung, die mehrere gleichartig aufgebaute Module umfasst, wobei jedem Modul eine eigene Spannungsquelle zugeordnet ist. Bei einem Betrieb des Multilevelkonverters werden mehrere Module
10 miteinander kombiniert, wobei aus Spannungsquellen kombinierter Module eine jeweils erforderliche resultierende Spannung zu erzeugen ist.

In der Druckschrift US 2013 0033 912 A1 wird ein Fünf-Level-Umrichter mit einem Kondensator-Set aus zwei Kondensatoren und zwei Dioden, einem Schalter und einer
15 Vollbrücken-Schaltung beschrieben. Somit kann hier eine Wechselspannung mit genau fünf Spannungslagen erzeugt werden.

In der Druckschrift US 2015 0009 734 A1 wird ein Verfahren zur Steuerung einer Multilevel-Halbbrücke beschrieben. Die Multilevel-Halbbrücke besteht dabei aus zwei
20 symmetrisch zu einem Mittelabgriff angeordneten Zweigen mit beliebig vielen Schaltern. Diese Schalter sind jeweils über einen Kondensator mit dem korrespondierenden Schalter des anderen Zweigs verbunden.

In der Druckschrift US 2015 0280 474 A1 wird ein Verfahren zum Aufladen eines
25 Energiespeichers aus einer dreiphasigen Wechselstromquelle beschrieben. Dabei ist jede Phase der Wechselstromquelle mit einem Niedersetzsteller, einer Diode und einem Konverter verbunden.

In der Druckschrift US 2015 0372 611 A1 wird ein modularer Hochfrequenzumrichter
30 mit mehreren Submodulen beschrieben, welche jeweils eine Halb- und eine Vollbrücke enthalten, wobei diese über einen Gleichspannungszwischenkreis verbunden sind. Durch

eine Spannungsmessung an der in jedem Gleichspannungszwischenkreis vorhandenen Kapazität können die einzelnen Submodule so gezielt zu- oder abgeschaltet werden.

In der Druckschrift WO 2015/131931 A1 wird ein Multilevel-Umrichter mit mehreren aus
5 Halbbrücken bestehenden Submodulen beschrieben, welche entweder als Halbbrücke oder als Vollbrücke verschaltet sind.

Vor diesem Hintergrund war es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Multilevelkonverter, der mehrere Module umfasst, und ein Verfahren zu dessen Betrieb
10 bereitzustellen, wobei Magnetfelder, die beim Ein- und Ausschalten einzelner Module induziert werden, reduziert werden sollen.

Diese Aufgabe wird mit dem Modul gemäß Patentanspruch 1, dem Multilevelkonverter gemäß Patentanspruch 7, und dem Verfahren gemäß dem unabhängigen Patentanspruch
15 11 gelöst. Ausgestaltungen des Moduls, des Multilevelkonverters und des Verfahrens ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen und der Beschreibung.

Das erfindungsgemäße Modul ist als Komponente eines Multilevelkonverters ausgebildet und weist mehrere Basiseinheiten sowie elektrische Energiequellen auf, wobei jede
20 Basiseinheit mindestens eine Halbbrücke aufweist. Die mindestens eine Halbbrücke umfasst mindestens einen hochseitigen (highside) Schalter und mindestens einen tiefseitigen (lowside) Schalter. Dabei ist für zwei Basiseinheiten, die innerhalb des Moduls unmittelbar nebeneinander benachbart angeordnet sind, vorgesehen, dass bei einer ersten Basiseinheit der mindestens eine hochseitige Schalter mit einem positiven Pol
25 einer ersten Energiequelle und der mindestens eine tiefseitige Schalter mit einem negativen Pol einer zweiten Energiequelle verbunden ist, wobei bei einer zweiten Basiseinheit der mindestens eine hochseitige Schalter mit einem positiven Pol der zweiten Energiequelle und der mindestens eine tiefseitige Schalter mit einem negativen Pol der ersten Energiequelle verbunden ist. Bei einem Betrieb des Moduls ist Strom
30 zwischen zwei Polen über mindestens einen Strompfad zu transportieren.

In der Regel ist der mindestens eine Strompfad zwischen mindestens zwei unmittelbar benachbarten Schaltern zu schalten.

In Ausgestaltung ist der mindestens eine Strompfad zum Transportieren von Strom direkt
5 zwischen dem mindestens einen hochseitigen Schalter und dem mindestens einen tiefseitigen Schalter der mindestens einen Halbbrücke zu schalten, wobei über den mindestens einen Strompfad Strom von dem positiven Pol der ersten bzw. zweiten Energiequelle über den mindestens einen hochseitigen Schalter und den mindestens einen tiefseitigen Schalter zu dem negativen Pol der zweiten bzw. ersten Energiequelle zu
10 transportieren ist.

Alternativ oder ergänzend ist der mindestens eine Strompfad zum Transportieren von Strom direkt zwischen einem Schalter der ersten Basiseinheit und einem Schalter der zweiten Basiseinheit zu schalten, die unmittelbar benachbart nebeneinander angeordnet
15 sind. Somit wird der mindestens eine Strompfad direkt zwischen zwei hochseitigen, unmittelbar benachbarten Schaltern zweier unmittelbar benachbarter Basiseinheiten und/oder direkt zwischen zwei tiefseitigen, unmittelbar benachbarten Schaltern zweier unmittelbar benachbarter Basiseinheiten geschaltet. Falls der mindestens eine Strompfad zwei unmittelbar benachbarte hochseitige Schalter der beiden Basiseinheiten verbindet,
20 wird der Strom von dem positiven Pol der ersten Energiequelle über die beiden hochseitigen Schalter zu dem positiven Pol der zweiten Energiequelle transportiert. Falls der mindestens eine Strompfad zwei unmittelbar benachbarte tiefseitige Schalter der beiden Basiseinheiten verbindet, wird der Strom von dem negativen Pol der ersten Energiequelle über die beiden tiefseitigen Schalter zu dem negativen Pol der zweiten
25 Energiequelle transportiert.

Mindestens ein Schalter der mindestens einen Halbbrücke ist als Halbleiterschalter, bspw. als Transistor, als Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (MOSFET) und/oder als Bipolartransistor mit isolierter Gate-Elektrode (IGBT), ausgebildet.

Jede Basiseinheit umfasst eine positive Stromschiene und eine negative Stromschiene, wobei der mindestens eine hochseitige Schalter der mindestens einen Halbbrücke mit der positiven Stromschiene und der mindestens eine tiefseitige Schalter der mindestens einen Halbbrücke mit der negativen Stromschiene verbunden ist. Für die zwei

5 Basiseinheiten, die innerhalb des Moduls unmittelbar benachbart angeordnet sind, ist vorgesehen, dass bei der ersten Basiseinheit die positive Stromschiene mit dem positiven Pol der ersten Energiequelle und die negative Stromschiene mit dem negativen Pol der zweiten Energiequelle verbunden ist. Außerdem ist bei der zweiten Basiseinheit die positive Stromschiene mit dem positiven Pol der zweiten Energiequelle und die

10 negative Stromschiene mit dem negativen Pol der ersten Energiequelle verbunden.

Mindestens eine elektrische Energiequelle des Moduls ist als Spannungsquelle, in der Regel als Gleichspannungsquelle, bspw. als Batterie bzw. Akkumulator und/oder Kondensator ausgebildet.

15

Außerdem sind die Basiseinheiten auf einer Platine angeordnet. Somit sind die Basiseinheiten auf der Platine nebeneinander angeordnet. In der Regel umfasst jede Basiseinheit ein Gehäuse, das die Schalter umschließt. Schalter aus zwei unmittelbar benachbarten Basiseinheiten, die unmittelbar nebeneinander angeordnet sind, sind

20 lediglich durch die Gehäuse der beiden Basiseinheiten voneinander getrennt.

Der erfindungsgemäße Multilevelkonverter weist mehrere Module auf, wobei jedes Modul mehrere Basiseinheiten sowie elektrische Energiequellen aufweist, wobei jede Basiseinheit mindestens eine Halbbrücke aufweist, wobei die mindestens eine Halbbrücke

25 mindestens einen hochseitigen (highside) Schalter und mindestens einen tiefseitigen (lowside) Schalter umfasst. Für zwei Basiseinheiten, die innerhalb des Moduls unmittelbar nebeneinander benachbart angeordnet sind, ist vorgesehen, dass bei einer ersten Basiseinheit der mindestens eine hochseitige Schalter mit einem positiven Pol einer ersten Energiequelle und der mindestens eine tiefseitige Schalter mit einem negativen Pol

30 einer zweiten Energiequelle verbunden ist, wobei bei einer zweiten Basiseinheit der mindestens eine hochseitige Schalter mit einem positiven Pol der zweiten Energiequelle

und der mindestens eine tiefseitige Schalter mit einem negativen Pol der ersten Energiequelle verbunden ist. Dabei ist Strom zwischen zwei Polen über mindestens einen Strompfad zu transportieren.

- 5 Bei dem Multilevelkonverter sind sämtliche Module gleich bzw. gleichartig und/oder ähnlich ausgebildet.

Beim Betrieb des Multilevelkonverters ist mindestens ein Modul aktiv. Falls mehrere Module gleichzeitig aktiv sind, sind diese Module zueinander in Reihe oder parallel

- 10 zueinander zu schalten.

Der Multilevelkonverter ist als Energiequelle für eine elektrische Maschine ausgebildet.

Weiterhin ist vorgesehen, dass der Multilevelkonverter in einem elektrischen

- 15 Energienetzwerk eines Kraftfahrzeugs angeordnet ist. Mit dem Multilevelkonverter ist bspw. eine elektrische Maschine mit elektrischer Energie zu versorgen, die als Motor und/oder als Generator zu betreiben sowie zum Antreiben des Kraftfahrzeugs ausgebildet ist.

- 20 Der erfindungsgemäße Multilevelkonverter weist mindestens eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Moduls auf.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist zum Betreiben eines Multilevelkonverters, der als Komponenten mehrere Module aufweist, vorgesehen. Dabei weist jedes Modul mehrere

- 25 Basiseinheiten sowie elektrische Energiequellen auf, wobei jede Basiseinheit mindestens eine Halbbrücke aufweist, wobei die mindestens eine Halbbrücke mindestens einen hochseitigen (highside) Schalter und mindestens einen tiefseitigen (lowside) Schalter umfasst. Für zwei Basiseinheiten, die innerhalb des Moduls unmittelbar nebeneinander benachbart angeordnet sind, wird vorgesehen, dass bei einer ersten Basiseinheit der
- 30 zwei Basiseinheiten der mindestens eine hochseitige Schalter mit einem positiven Pol einer ersten Energiequelle und der mindestens eine tiefseitige Schalter mit einem

negativen Pol einer zweiten Energiequelle verbunden wird, und wobei bei einer zweiten Basiseinheit der zwei Basiseinheiten der mindestens eine hochseitige Schalter mit einem positiven Pol der zweiten Energiequelle und der mindestens eine tiefseitige Schalter mit einem negativen Pol der ersten Energiequelle verbunden wird. Strom wird zwischen zwei
5 Polen über mindestens einen Strompfad transportiert.

In Ausgestaltung wird der mindestens eine Strompfad zum Transportieren von Strom direkt zwischen dem mindestens einen hochseitigen Schalter und dem mindestens einen tiefseitigen Schalter der mindestens einen Halbbrücke geschaltet, wobei über den
10 mindestens einen Strompfad Strom von dem positiven Pol der ersten bzw. zweiten Energiequelle über den mindestens einen hochseitigen Schalter und den mindestens einen tiefseitigen Schalter zu dem negativen Pol der zweiten bzw. ersten Energiequelle transportiert wird.

15 In ergänzender oder alternativer Ausgestaltung wird der mindestens eine Strompfad zum Transportieren von Strom direkt zwischen einem Schalter der ersten Basiseinheit und einem Schalter der zweiten Basiseinheit geschaltet, die unmittelbar benachbart nebeneinander angeordnet sind. Somit wird der mindestens eine Strompfad direkt zwischen zwei hochseitigen, unmittelbar benachbarten Schaltern zweier unmittelbar
20 benachbarter Basiseinheiten und/oder direkt zwischen zwei tiefseitigen, unmittelbar benachbarten Schaltern zweier unmittelbar benachbarter Basiseinheiten geschaltet. Falls der mindestens eine Strompfad zwei unmittelbar benachbarte hochseitige Schalter der beiden Basiseinheiten verbindet, wird der Strom von dem positiven Pol der ersten Energiequelle über die beiden hochseitigen Schalter zu dem positiven Pol der zweiten
25 Energiequelle transportiert. Falls der mindestens eine Strompfad zwei unmittelbar benachbarte tiefseitige Schalter der beiden Basiseinheiten verbindet, wird der Strom von dem negativen Pol der ersten Energiequelle über die beiden tiefseitigen Schalter zu dem negativen Pol der zweiten Energiequelle transportiert.

30 Außerdem wird von jedem Modul eine Ausgangsspannung bereitgestellt, wobei mindestens zwei Module zueinander in Reihe und/oder zueinander parallel geschaltet

werden, wobei aus den Ausgangsspannungen der miteinander kombinierten bzw. zueinander parallel und/oder in Reihe geschalteten Module für den Multilevelkonverter eine kombinierte und/oder resultierende Ausgangsspannung bereitgestellt wird.

- 5 In der Regel wird Strom durch mindestens einen ersten Strompfad transportiert, wobei bei einer Kommutierung bzw. Umschaltung eines jeweiligen Moduls der mindestens eine erste Strompfad deaktiviert bzw. ausgeschaltet und mindestens ein zweiter Strompfad aktiviert bzw. eingeschaltet wird, wobei der Strom nach der Kommutierung durch den mindestens einen zweiten Strompfad transportiert wird.

10

Der Multilevelkonverter bzw. Multilevelumrichter ist u. a. zur Erzeugung einer Wechselspannung aus mehreren Gleichspannungen ausgebildet und umfasst in Ausgestaltung mehrere seriell geschaltete Module, wobei jedes Modul wiederum vier MOSFET-Halbbrücken und zwei Spannungsquellen umfasst. Jede MOSFET-Halbbrücke

- 15 weist eine High- und eine Low-Seite aus jeweils vier hoch- bzw. tiefseitigen Schaltern, bspw. Transistoren auf, wobei weiterhin jeweils zwei MOSFET-Halbbrücken miteinander verbunden sind. Durch Umschalten der Strompfade zwischen den verbundenen MOSFET-Halbbrücken wird eine benötigte Wechselspannung erzeugt.

- 20 In Ausgestaltung ist vorgesehen, dass sich die verschiedenen Strompfade, die zwischen unmittelbar benachbarten Schaltern in einer Basiseinheit oder zwischen zwei Basiseinheiten bzw. basiseinheitsübergreifend geschaltet sind, überlappen und zudem kurz sind. Somit bauen sich bei einer Umschaltung nur geringe Induktivitäten auf, wodurch Überspannungen vermieden und Schalter, bspw. Transistoren, vor
- 25 Beschädigungen geschützt werden. Weiterhin werden durch die vorgesehene Topologie einer Schaltung des Multilevelkonverters die verschiedenen Schalter, bspw. Transistoren, einer Seite, d. h. die hochseitigen Schalter oder tiefseitigen Schalter einer Halbbrücke gleichmäßig belastet, da für die Transistoren gleich oder ähnlich lange Strompfade vorliegen.

30

Bei der vorgesehenen Topologie des Multilevelkonverters bzw. Multilevelumrichters sind die Low- bzw. High-Seiten zweier verbundener Halbbrücken miteinander vertauscht. Außerdem sind die beiden Halbbrücken miteinander verflochten. Durch diese Topologie überlappen sich die verschiedenen Strompfade zumindest teilweise und sind deutlich
5 verkürzt, wodurch beim Schalten entstehende Induktivitäten reduziert werden. Weiterhin ist auch die Länge des Strompfads für jeden Schalter gleich, sodass alle als Schalter ausgebildeten Bauteile gleich belastet werden.

Üblicherweise umfasst der erfindungsgemäße Multilevelkonverter mehrere Module, wobei
10 jedes dieser Module wiederum mehrere Basiseinheiten sowie mehrere Energiequellen, üblicherweise Spannungsquellen, die als Batterien oder Kondensatoren ausgebildet sind, aufweist. Beim Betrieb des Multilevelkonverters ist mindestens eines der Module zu aktivieren. Falls mehrere Module aktiviert werden, werden diese zueinander parallel und/oder in Reihe geschaltet, wodurch mit dem Multilevelkonverter je nach Bedarf
15 unterschiedliche Spannungen mit unterschiedlichen maximalen Werten und/oder Amplituden bereitstellbar sind.

Jede Basiseinheit umfasst mehrere Halbbrücken, wobei jeweils ein hochseitiger Schalter und ein tiefseitiger Schalter innerhalb einer Basiseinheit zueinander unmittelbar
20 benachbart angeordnet sind. Falls das Modul bspw. zwei Spannungsquellen aufweist, ist vorgesehen, dass hochseitige Schalter einer ersten Basiseinheit mit dem positiven Pol der ersten Spannungsquelle verbunden sind, wohingegen die tiefseitigen Schalter mit dem negativen Pol der zweiten Spannungsquelle verbunden sind. Außerdem sind die hochseitigen Schalter der zweiten Basiseinheit mit dem positiven Pol der zweiten
25 Spannungsquelle und die tiefseitigen Schalter mit dem negativen Pol der ersten Spannungsquelle verbunden. Dabei sind diese beiden Basiseinheiten ebenfalls unmittelbar benachbart nebeneinander angeordnet.

Aufgrund eines derartigen Layouts der Basiseinheiten ergeben sich zwischen zwei
30 Schaltern vergleichsweise kurze Strompfade. Bei einem Schalten zwischen zwei Betriebszuständen bzw. bei einer Kommutierung der Basiseinheit werden jedoch nur

Ströme entlang kurzer Strompfade aufgebaut sowie wieder abgebaut, wobei jedoch nur vergleichsweise geringe Magnetfelder induziert werden, die einen Betrieb der Bauteile nur geringfügig beeinträchtigen. Durch die Basiseinheiten der bspw. seriell geschalteten Module des Multilevelkonverters bzw. Multilevelumrichters ist ein schnelles Schalten der

5 Strompfade möglich. Falls mehrere Module und/oder Basiseinheiten hintereinander geschaltet werden, ist weiterhin möglich, aus einer Gleichspannung von Spannungsquellen der Module eine Wechselspannung bereitzustellen.

Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung

10 und den beiliegenden Zeichnungen.

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

15 vorliegenden Erfindung zu verlassen.

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

20

Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung Details eines Multilevelkonverters.

Figur 2 zeigt in schematischer Darstellung erste Details eines Beispiels eines aus dem Stand der Technik bekannten Multilevelkonverters.

25

Figur 3 zeigt in schematischer Darstellung zweite Details des Beispiels des aus dem Stand der Technik bekannten Multilevelkonverters.

Figur 4 zeigt in schematischer Darstellung dritte Details des Beispiels des aus dem Stand

30 der Technik bekannten Multilevelkonverters.

Figur 5 zeigt in schematischer Darstellung eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Moduls einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters.

- 5 Figur 6 zeigt in schematischer Darstellung eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Moduls einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters.

- Figur 7 zeigt in schematischer Darstellung eine dritte Ausführungsform des
10 erfindungsgemäßen Moduls einer dritten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters.

Figur 8 zeigt in schematischer Darstellung die dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Moduls in unterschiedlichen Betriebszuständen.

15

Figur 9 zeigt in schematischer Darstellung die zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Moduls in ersten unterschiedlichen Betriebszuständen.

- Figur 10 zeigt in schematischer Darstellung die zweite Ausführungsform des
20 erfindungsgemäßen Moduls in zweiten unterschiedlichen Betriebszuständen.

Die Figuren werden zusammenhängend und übergreifend beschrieben. Gleichen Komponenten sind dieselben Bezugsziffern zugeordnet.

- 25 Figur 1a zeigt in schematischer Darstellung ein Beispiel für eine Halbbrücke 2, wie sie beispielsweise auch Teil eines erfindungsgemäßen Multilevelkonverters ist, wie er anhand einer der Figuren 5 bis 10 nachfolgend vorgestellt wird. Es ist jedoch auch möglich, dass eine derartige Halbbrücke 2 auch als Teil eines aus dem Stand der Technik bekannten Multilevelkonverters aus einer der Figuren 2 bis 4 ausgebildet ist.

30

Diese Halbbrücke 2 umfasst zwei als Halbleiterschalter, hier IGBTs, ausgebildete Schalter 4a, 4b mit je einer Freilaufdiode 6a, 6b und einem Messwiderstand 8.

Ein Beispiel für einen Inverter 10 für einen elektrischen Motor 12 mit drei Phasen U, V, W ist in Figur 1b schematisch dargestellt. Dieser Inverter 10 umfasst eine Spannungsquelle U_{DC} und drei Halbbrücken 14a, 14b, 14c, die auch als B6-Brücke bezeichnet werden können.

Ein Multilevelkonverter bzw. Multilevelumrichter ist sowohl gemäß dem Stand der Technik aber auch erfindungsgemäß dazu ausgebildet, bspw. für einen elektrischen Antrieb eines Kraftfahrzeugs, aus einer Gleichspannung eine bspw. dreiphasige Wechselspannung zu erzeugen. Der Multilevelkonverter umfasst mehrere gleichartige oder zumindest funktionell ähnlichartige Module und ist dazu ausgebildet, eine an einem Eingang anliegende Spannung, bspw. eine Gleichspannung oder Wechselspannung, in mindestens eine Spannung, d. h. eine oder mehrere Spannungen, beispielsweise mindestens eine Wechselspannung, am Ausgang umzuformen.

Die Module schalten dabei u. a. einen Strompfad zwischen mehreren alternativen Strompfaden, wobei der Strom in den Modulen, in die die Energiespeicher, bspw. Kondensatoren oder Batteriezellen, eingebettet sind, entweder in Laderichtung oder in Entladerichtung fließt und an einem Energiespeicher vorbeigeleitet oder aufgeteilt wird, wobei mehrere Energiespeicher beispielsweise unterschiedlicher Module elektrisch parallel und/oder in Reihe verschaltet werden.

In einer Leistungselektronik werden entsprechende Schaltungen, d. h. sowohl traditionelle Inverter als auch Multilevelkonverter, in der Regel in Halbbrücken aus zwei unabhängigen Schaltern als Basiseinheit unterteilt und in der Regel auch zusammen auf einer elektronischen Baugruppe angeordnet. Es ist möglich, dass derartige Halbbrücken auch bereits in einem Bauteil integriert sind, wodurch eine Trennung der Halbbrücke nicht möglich ist.

Figur 2a zeigt in schematischer Darstellung ein Modul 16 eines Multilevelkonverter mit hier vier Basiseinheiten B1, B2, B3, B4 und einer Spannungsquelle 18 U1, mit der den Basiseinheiten B1 und B2 eine Spannung mit den Potentialen U1+ und U1- bereitgestellt wird. Den beiden Basiseinheiten B3 und B4 wird von einer zweiten, hier nicht gezeigten

5 Spannungsquelle U2 eine Spannung mit den Potentialen U2+ und U2- bereitgestellt. Hierbei ist vorgesehen, dass die Basiseinheit B1 und B3 miteinander verbunden sind. Jede Basiseinheit B1, B2, B3, B4 umfasst hier vier Halbbrücken mit jeweils vier hochseitigen Schaltern 19a, 19c sowie vier tiefseitigen bzw. niedrigseitigen Schaltern 19b, 19d.

10

Jede Halbbrücke ist in der Lage, als Stromweiche zu agieren. Hierbei ist möglich, einen Strompfad zwischen einem Ausgang und einem hochseitigen Anschluss (High-Side-Anschluss), zwischen einem Ausgang und einem tiefseitigen bzw. niedrigseitigen Anschluss (Low-Side-Anschluss) oder zwischen allen Anschlüssen bereitzustellen, wobei

15 im letzten Fall gewollt ein Kurzschluss herbeizuführen ist.

Insgesamt weist das hier vorgestellte Modul 16 als Schalter zweiunddreißig MOSFETs auf, wobei jede Basiseinheit B1, B2, B3, B4 eine MOSFET-Halbbrücke mit je vier hochseitigen Schaltern 19a, 19c und je vier tiefseitigen Schaltern 19b, 19d umfasst,

20 wobei die jeweils vier hochseitigen Schalter und die jeweils vier tiefseitigen Schalter 19a, 19c zueinander parallel geschaltet sind. Beim Betrieb des Moduls 16 werden jeweils vier hochseitige Schalter bzw. vier tiefseitige Schalter einer Halbbrücke gleichzeitig an- und ausgeschaltet, wodurch eine Stromtragfähigkeit erhöht und ein Ohmscher Verlust gering gehalten werden kann. Weiterhin sind jeweils zwei als Halbbrücken ausgebildete

25 Basiseinheiten B1 und B2 an der ersten Spannungsquelle 18 U1 und die beiden weiteren Basiseinheiten B3 und B4 an der zweiten Spannungsquelle U2 angeschlossen. Außerdem ist vorgesehen, dass die erste und die dritte Basiseinheit B1 und B3 sowie die zweite und die vierte Basiseinheit B2 und B4 miteinander verbunden sind, wodurch die erste und die dritte Basiseinheit B1 und B3 parallel zu der zweiten Basiseinheit B2 und B4 geschaltet

30 sind. Beim Betrieb verhalten sich die erste und die dritte Basiseinheit B1 und B3 symmetrisch zu der zweiten und vierten Basiseinheit B2 und B4.

Im Detail zeigt Fig. 2a die Schaltung und Fig. 2b eine typische geometrische Anordnung der Schalter 19a, 19b, 19c, 19d auf einer Leiterplatte. Zur besseren Übersichtlichkeit sind in Figur 2b nur die Basiseinheiten B1 und B3 abgebildet. Die Basiseinheiten B2 und
5 B4 verhalten sich identisch.

Zwischen den Schaltern 19a, 19b, 19c, 19d der beiden benachbarten Basiseinheiten B1 und B2 sind vier Strompfade möglich, die in Fig. 2b durch Doppelpfeile angedeutet sind. Ein Stromfluss von einem positiven ersten Pol U1+ zu einem negativen ersten Pol U1-
10 bzw. von einem positiven zweiten Pol U2+ zu einem negativen zweiten Pol U2- würde einen Kurzschluss bedeuten, und muss deshalb unbedingt vermieden werden.

Ein erstes Problem im Stand der Technik besteht darin, dass derartige Schaltungen sehr hohe Umschaltinduktivitäten aufweisen. Wird Strom über eine oder, in der Regel, mehrere
15 Halbbrücken bei einer sog. Kommutierung zwischen zwei Strompfaden umgeschaltet, muss sich ebenso ein Magnetfeld eines ersten Strompfads abbauen, wohingegen sich ein Magnetfeld eines zweiten Strompfads aufbaut. Da diese Magnetfelder Energie speichern, muss entsprechend die Energie von dem Magnetfeld des alten, ersten Strompfads zuerst in Strom umgesetzt werden, um das Magnetfeld abzubauen. Gleichzeitig muss der Strom
20 des neuen, zweiten Strompfads ein entsprechendes Magnetfeld aufbauen.

Lediglich an Orten, an denen sich die Magnetfelder eines alten und eines neuen Strompfads überlappen und eine ähnliche Größenordnung aufweisen, ist eine geringe und schnelle Umladung der Energie möglich. Diese Umladung der Energie benötigt einerseits
25 Zeit, die weit länger als eine Dauer eines Umschaltvorgangs ist und mehrere 10 ns bis zu einigen μ s andauern kann. Andererseits werden diese Ströme durchaus auch über anscheinend bereits geöffnete Schalter 19a, 19b, 19c, 19d getrieben, wodurch eine Spannung aufgrund einer niedrigen Kapazität ansteigt und ggf. Bauteile beschädigen oder zerstören kann.

Zur Abhilfe werden im Stand der Technik in der Regel die Schaltzeiten enorm verlängert, damit nicht Schalter 19a, 19b, 19c, 19d geöffnet sind, während sich noch ein Magnetfeld abbauen muss. Zusätzlich werden oft sogenannte Entlastungsschaltungen, die auch als Snubber, Schutzbeschaltungen oder Entlastungsnetze bezeichnet werden, eingesetzt, die die Ströme ableiten.

Beide Methoden aus dem Stand der Technik erzeugen jedoch hohe Verluste, weil die in dieser Zeit fließenden Ströme in der Regel in Wärme überführt werden.

- 10 In den Figuren 3a, 3b, 3c und 3d sind vier unterschiedliche Kommutierungen bzw. Schaltungen der beiden Basiseinheiten B1, B2 des Moduls 16 des Multilevelkonverters dargestellt. Hierbei sind in Figur 3a Strompfade zwischen den tief- bzw. niedrigseitigen Schaltern 19b der ersten Basiseinheit B1 und den hochseitigen Schaltern 19c der zweiten Basiseinheit B2 geschaltet. In Figur 3b sind Strompfade zwischen den
- 15 hochseitigen Schaltern 19a der ersten Basiseinheit B1 und den tiefseitigen Schaltern 19d der zweiten Basiseinheit B2 geschaltet. In Figur 3c sind Strompfade zwischen den hochseitigen Schaltern 19a, 19c zwischen den beiden Basiseinheiten B1 und B2 geschaltet. Außerdem sind in Figur 3d zwischen den tiefseitigen Schaltern 19b, 19d der beiden Basiseinheiten B1, B2 Strompfade geschaltet. Übergänge zwischen den
- 20 Kommutierungen der Strompfade sind zwischen den Figuren 3a, 3b, 3c, 3d durch Doppelpfeile angedeutet. Wobei bei jeder Kommutierung und/oder Umschaltung der Strompfade eine Induktivität entsteht.

- Die Magnetfelder der einzelnen Strompfade weisen in der hier vorgestellten Layout-
- 25 Anordnung auf der Platine nur sehr geringe Überlappungen auf. Diese sich nicht oder nur geringfügig überlappenden Magnetfelder spielen beim Wechsel zwischen zwei Strompfaden eine Rolle. Dabei sind die induzierten Magnetfelder äquivalent zu einer Größe von Flächen, die von Leiterbahnen aufgespannt werden, durch die die Strompfade verlaufen.

Dabei gilt für die bei der Kommutierung (K) zweier Strompfade S_a , S_b auftretende Induktivität L unter Berücksichtigung der magnetischen Feldkonstante μ_0 :

$$L_{K,a \leftrightarrow b} = \frac{\mu_0}{4\pi} \iint_{a,b} \frac{\langle ds_a, ds_b \rangle}{||s_a - s_b||}$$

- 5 In der Regel werden einzelne Halbleiterbauelemente und somit Schalter 19a, 19b, 19c, 19d nicht gleich stark mit Strom belastet. Das bedeutet, dass sich der Strom nicht gleichmäßig auf die Schalter 19a, 19b, 19c, 19d aufteilt.

Diese ungleichmäßige Belastung durch den Strom kann statisch sein. Sofern es sich nicht
10 um hohe Frequenzanteile im Strom handelt, ist ein unterschiedlich hoher Widerstand der einzelnen Strompfade dafür verantwortlich. Das Magnetfeld spielt hierbei keine Rolle.

Falls die Belastung durch den Strom jedoch auch dynamisch ist und nur bei starken Stromschwankungen und insbesondere Umschaltvorgängen auftritt, werden entlang der
15 Strompfade aufgrund der Ströme, die durch die einzelnen Schalter 19a, 19b, 19c, 19d, hier Halbleiterschalter fließen, unterschiedlich starke Magnetfelder induziert, was auch zueinander parallele Strompfade durch die einzelnen Schalter 19a, 19b, 19c, 19d betrifft, auf die sich der Strom jedoch gleichmäßig aufteilen sollte. Während die Induktivitäten bei großen Halbleiterschaltern, die aus einer Vielzahl von Einzelhalbleitern
20 bestehen, aufeinander abgestimmt sind, interagieren auf platinenintegrierten Leistungsschaltungen wegen der kleinen Abstände die Strompfade magnetisch mit den Strompfaden benachbarter Halbbrücken.

Beim Umschalten zwischen Strompfaden wird Energie induktiv gespeichert, die sich in
25 Form von Spannungen ungeordnet abbaut.

Hierbei gilt für den Magnetfluss $\square$:

$$\phi = L I = \int B dA$$

Dabei ist L die Induktivität, I ein fließender Strom, B das Magnetfeld und A die vom Magnetfeld durchströmte Fläche.

- 5 Für eine induzierte Spannung U_{ind} gilt:

$$U_{ind} = \frac{d\phi}{dt} = L \frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt} \int B \, dA$$

- Figur 4 deutet eine Kommutierung zwischen den in Figur 3b gezeigten Strompfaden und den in Figur 3a gezeigten Strompfaden an. Eine Änderung eines Stroms führt bei
- 10 Induktivitäten zu Überspannungen. Entscheidend hierbei ist eine hier in Figur 4 gezeigte, große Fläche 21, die die geänderten Strompfade im Umschaltzeitpunkt umrandet bzw. umspannt und in der Magnetfelder induziert werden, was beim Schaltvorgang zu hohen Überspannungen führt, da induktive Energie unkontrolliert abgebaut wird. Die Flächen von Magnetfelder, die von Strömen durch die hier als MOSFETs ausgebildeten Schalter 19a,
- 15 19b, 19c, 19d induziert werden, sind unterschiedlich groß. Dies führt zu unterschiedlichen Induktivitäten und damit Belastungen beim Umschalten. Die Folge ist eine Verkürzung der Lebensdauer stärker belasteter Transistoren der Schalter 19a, 19b, 19c, 19d. In Figur 4 sind vor dem Umschalten die hochseitigen Schalter 19a der ersten Basiseinheit B1 und die tief- bzw. niedrigseitigen Schalter 19d der dritten Basiseinheit B3
- 20 über Strompfade verbunden, wie in Figur 3b gezeigt. Nach dem Umschalten sind die tiefseitigen Schalter 19b der ersten Basiseinheit B1 und die hochseitigen Schalter 19c der dritten Basiseinheit B3 über Strompfade miteinander verbunden, wie in Figur 3a gezeigt. Transistoren mit der geringsten Induktivität beim Umschalten sind in Figur 4 jene, die den hochseitigen Schaltern 19a der ersten Basiseinheit B1 zugeordnet sind und
- 25 deren Strompfade sich berühren. Von diesen Transistoren wird bei der Umschaltung zuerst Strom geleitet, wobei die Transistoren in dieser kurzen Übergangsphase den gesamten Strom tragen müssen, bevor sich dieser langsam auf alle weiteren Transistoren aller Schalter 19a, 19b, 19c, 19d verteilt.

Weiterhin ist vorgesehen, dass ein Strompfad niemals von dem positiven Pol U1+ zu dem negativen Pol U1- der ersten Spannungsquelle sowie von dem positiven Pol U2+ zu dem negativen Pol U2- der zweiten Spannungsquelle U2 führt. Diese Eigenschaft wird in Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Moduls genutzt, wodurch in einem Schaltzeitpunkt
5 aufgespannte Induktionsflächen zu verringern sind.

Die in Figur 4 dargestellten Strompfade der als MOSFETs ausgebildeten Schalter 19a, 19b, 19c, 19d sind unterschiedlich lang, wodurch sich Induktivitäten einzelner Strompfade voneinander unterscheiden. Daraus ergibt sich, dass die Schalter 19a, 19b,
10 19c, 19d sowohl statisch als auch dynamisch ungleichmäßig belastet werden, weshalb einige der Schalter 19a, 19b, 19c, 19d höhere Ströme als andere tragen müssen und demnach entsprechend schneller altern. Dabei ist vorgesehen, dass Strompfade zwischen Schaltern 19a, 19b, 19c, 19d, die weit voneinander beabstandet sind, länger als Strompfade jener Schalter 19a, 19b, 19c, 19d sind, die zueinander geringere
15 Abstände aufweisen. Daraus ergibt sich jedoch, dass eine Induktivität beim Umschalten mit der Länge eines jeweiligen Strompfads steigt.

Zur Umsetzung eines erfindungsgemäßen Multilevelkonverters ausgehend von dem in den Figuren 3 und 4 gezeigten Stand der Technik wird einerseits eine Feldamplitude eines
20 Magnetfelds jedes einzelnen Strompfads gesenkt und andererseits eine Überlappung der Magnetfelder maximiert.

Zum Bereitstellen des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters werden Strompfade bzw. Ströme möglichst weit verteilt, wobei Stromdichten sinken. Alternativ oder ergänzend
25 werden erste Strompfade, durch die Ströme in eine ersten Richtung fließen, in einer Nähe von zweiten Strompfaden angeordnet, durch die gleichzeitig Ströme in entgegengesetzter Richtung fließen, wodurch Magnetfelder benachbarter, entgegengesetzt fließender Ströme kompensiert werden, wodurch Feldamplituden der entsprechenden Magnetfelder reduziert werden.

- Die Überlappung der Magnetfelder wird bei zeitversetzt fließenden Strömen, die folglich nicht gleichzeitig fließen, da der Strom eines Strompfads auf einen zweiten Strompfad umgelenkt wird, erreicht, wenn ineinander umzuschaltende Strompfade, durch die Ströme mit gleicher Richtung fließen, nahe beieinander liegen, wobei der Strom
- 5 gegenüber seinem ursprünglichen, ersten Strompfad bzw. Flussbett zu dem zweiten Strompfad nur minimal verschoben wird. In Ausgestaltung teilen die beiden Strompfade sogar Abschnitte, wodurch der Strom auf diesen Abschnitten seinen Lauf auch während der Umschaltung nicht ändern muss.
- 10 Die bei der Kommutierung auftretende Induktivität zweier Strompfade ist dabei aus einer Koppelinduktivität von gleichzeitig von Strom durchflossenen Leitern, beispielsweise in einem Transformator, abzuleiten und kann für eine Schaltung ermittelt werden. Weiterhin ist bei einer Realisierung eines erfindungsgemäßen Multilevelkonverters ausgehend vom Stand der Technik eine Belastung der Schalter zu reduzieren.
- 15
- Figur 5a zeigt ein Beispiel eines Moduls 30 eines Multilevelkonverters mit einer ersten Basiseinheit 32 mit einem hochseitigen Schalter 32a, der über eine positive Stromschiene 32c an einem Pluspol bzw. positiven Pol U1+ einer ersten Spannungsquelle U1 angeschlossen ist, und einem tiefseitigen Schalter 32b, der über
- 20 eine negative Stromschiene 32d an einem Minuspol bzw. negativen Pol U1- der ersten Spannungsquelle U1 angeschlossen ist. Das Modul 30 umfasst eine zweite Basiseinheit 34 mit hochseitigen Schaltern 34a, die über eine positive Stromschiene 34c an einem Pluspol bzw. positiven Pol U2+ der zweiten Spannungsquelle U2 angeschlossen sind, und zwei tiefseitigen Schaltern 34b, die über eine negative Stromschiene 34d an einem
- 25 Minuspol bzw. negativen Pol U2- der zweiten Spannungsquelle U2 angeschlossen sind. Eine dritte Basiseinheit 36 umfasst zwei hochseitige Schalter 36a, die über eine positive Stromschiene 36c an dem positiven Pol U1+ der ersten Spannungsquelle U1 angeschlossen sind, und tiefseitige Schalter 36b, die über eine negative Stromschiene 36d an dem negativen Pol U1- der ersten Spannungsquelle U1 angeschlossen sind. Eine
- 30 dritte Basiseinheit 38 umfasst zwei hochseitige Schalter 38a, die über eine positive Stromschiene 38c an dem positiven Pol U2+ der zweiten Spannungsquelle U2

angeschlossen sind, und zwei tiefseitige Schalter 38b, die über eine negative Stromschiene 38d an einem negativen Pol U2- der zweiten Spannungsquelle U2 angeschlossen sind. Eine vierte Basiseinheit 40 des Moduls 30 umfasst einen hochseitigen Schalter 40a, der über eine positive Stromschiene 40c an dem positiven Pol U1+ der ersten Spannungsquelle U1 angeschlossen ist, und einen tiefseitigen Schalter 40b, der über eine negative Stromschiene 40d an dem negativen Pol U1- der ersten Spannungsquelle U1 angeschlossen ist.

Bei einem Betrieb des Moduls 30 fließt Strom entlang eines ersten Strompfads 31 von dem ersten hochseitigen Schalter 32a der ersten Basiseinheit 32 zu einem ersten tiefseitigen Schalter 34b (links) der zweiten Basiseinheit 34, entlang eines zweiten Strompfads 31 von einem zweiten tiefseitigen Schalter 34b (rechts) der zweiten Basiseinheit 34 zu einem ersten hochseitigen Schalter 36a (links) der dritten Basiseinheit 36. Außerdem fließt Strom entlang eines dritten Strompfads 31 von einem zweiten hochseitigen Schalter 36a (rechts) der dritten Basiseinheit 36 zu einem ersten tiefseitigen Schalter 38b (links) der zweiten Basiseinheit 38. Entlang eines vierten Strompfads 31 fließt Strom von einem zweiten tiefseitigen Schalter 38b (rechts) der dritten Basiseinheit 38 zu einem hochseitigen Schalter 40a der dritten Basiseinheit 40.

Ausgehend von dem in Figur 5a gezeigten Modul 30 ist die in Figur 5b gezeigte erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Moduls 42 für die erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters bereitzustellen, wobei hierzu an den negativen Stromschienen 32d, 34d, 36d, 38d, 40d Anschlüsse des negativen Pols U1- der ersten Spannungsquelle U1 mit Anschlüssen des negativen Pols U2- der zweiten Spannungsquelle U2 vertauscht werden.

Bei diesem Modul 42 des Multilevelkonverters ist der hochseitige Schalter 32a der ersten Basiseinheit 32 an dem positiven Pol U1+ der ersten Spannungsquelle U1 und der entsprechenden positiven Stromschiene 32c angeschlossen. Dagegen ist der tiefseitige Schalter 32b über die negative Stromschiene 32d an dem negativen Pol U2- der zweiten Spannungsquelle U2 angeschlossen. Bei der zweiten Basiseinheit 34 sind die

hochseitigen Schalter 34a an dem positiven Pol U2+ der zweiten Spannungsquelle U2 und der entsprechenden positiven Stromschiene 34c angeschlossen, wohingegen die zwei tiefseitigen Schalter 34b an dem negativen Pol U1- der ersten Spannungsquelle U1 und der entsprechenden negativen Stromschiene 34d angeschlossen sind. In Figur 5b
5 sind bei der dritten Basiseinheit 36 die hochseitigen Schalter 36a an dem positiven Pol U1+ der ersten Spannungsquelle U1 und der entsprechenden positiven Stromschiene 36c angeschlossen. Die tiefseitigen Schalter 36b sind jedoch an dem negativen Pol U2- der zweiten Spannungsquelle U2 und der entsprechenden negativen Stromschiene 36d angeschlossen. Die zwei hochseitigen Schalter 38a der dritten Basiseinheit 38 sind an
10 dem positiven Pol U2+ der zweiten Spannungsquelle U2 und der entsprechenden positiven Stromschiene 38c angeschlossen. Die beiden tiefseitigen Schalter 38b sind an dem negativen Pol U1- der ersten Spannungsquelle U1 und der entsprechenden negativen Stromschiene 38d angeschlossen. Der hochseitige Schalter 40a der vierten Basiseinheit 40 ist an dem positiven Pol U1+ der ersten Spannungsquelle U1 und der
15 entsprechenden positiven Stromschiene 40c angeschlossen. Allerdings ist hier der tiefseitige Schalter 40b an dem negativen Pol U2- der zweiten Spannungsquelle U2 und der entsprechenden negativen Stromschiene 40d angeschlossen. In jeder Basiseinheit 32, 34, 36, 38, 40 bilden jeweils ein hochseitiger Schalter 32a, 34a, 38a, 40a und ein tiefseitiger Schalter 32b, 34b, 36b, 38b, 40b, die unmittelbar benachbart sind, jeweils
20 eine Halbbrücke.

Bei einem Betrieb des Moduls 40 fließt Strom nunmehr entlang von verkürzten Strompfaden 33 innerhalb einer jeweiligen Basiseinheit 32, 36, 40, nämlich zwischen dem positiven Pol U1+ und dem negativen Pol U2- entlang eines ersten Strompfads 33
25 von dem hochseitigen Schalter 32a zu dem tiefseitigen Schalter 32b der ersten Basiseinheit 32. In der dritten Basiseinheit 36 erstreckt sich ausgehend von dem ersten hochseitigen Schalter 36a (links) ein zweiter Strompfad 33 zu dem ersten tiefseitigen Schalter 36b (links). Ein dritter Strompfad 33 verläuft ebenfalls innerhalb der dritten Basiseinheit 36 von dem zweiten hochseitigen Schalter 36a (rechts) zu dem zweiten
30 tiefseitigen Schalter 36b (rechts). Dabei verbinden diese beiden Strompfade den positiven Pol U1+ mit dem negativen Pol U2-. Außerdem führt ein vierter Strompfads 33

in der fünften Basiseinheit 40 von dem hochseitigen Schalter 40a zu dem tiefseitigen Schalter 40b und verbindet ebenfalls den positiven Pol U1+ mit dem negativen Pol U2-.

Somit werden die langen, diagonalen Strompfade 31 (Figur 5a) durch kurze, direkte
5 Strompfade 33 (Figur 5b) ersetzt.

Figur 6a zeigt in schematischer Darstellung ein Beispiel eines Moduls 44 eines Multilevelkonverters mit einer ersten Basiseinheit 46 mit hier vier hochseitigen Schaltern 46a, die über eine positive Stromschiene 46c an einem positiven Pol U1+ einer ersten
10 Spannungsquelle U1 angeschlossen sind, und vier tiefseitigen Schaltern 46b, die über eine negative Stromschiene 46d an einem negativen Pol U1- der ersten Spannungsquelle U1 angeschlossen sind. Das Modul 44 umfasst außerdem eine zweite Basiseinheit 48 mit vier hochseitigen Schaltern 48a, die über eine positive Stromschiene 48c an einem positiven Pol U2+ der zweiten Spannungsquelle U2 angeschlossen sind,
15 und vier tiefseitige Schaltern 48b, die über eine negative Stromschiene 48d an einem negativen Pol U2- der zweiten Spannungsquelle U2 angeschlossen sind.

Bei einem Betrieb des Moduls 44 fließt Strom über Strompfade 50 von den hochseitigen Schaltern 46a der ersten Basiseinheit 46 zu den tiefseitigen Schalter 48b der zweiten
20 Basiseinheit 48.

Ausgehend von dem in Figur 6a gezeigten Modul 44 ist die in Figur 6b gezeigte zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Moduls 52 für die zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters bereitzustellen, wobei hierzu Anschlüsse des
25 negativen Pols U1- der ersten Spannungsquelle U1 mit Anschlüssen des negativen Pols U2- der zweiten Spannungsquelle U2 vertauscht werden.

Bei diesem Modul 52 des Multilevelkonverters sind die hochseitigen Schalter 46a der ersten Basiseinheit 46 an dem positiven Pol U1+ der ersten Spannungsquelle U1 über
30 die positive Stromschiene 46c angeschlossen. Dagegen sind die tiefseitigen Schalter 46b an dem negativen Pol U2- der zweiten Spannungsquelle U2 über die negative

Stromschiene 46d angeschlossen. Bei der zweiten Basiseinheit 48 sind die hochseitigen Schalter 48a an dem positiven Pol $U2+$ der zweiten Spannungsquelle $U2$ über die positive Stromschiene 48c angeschlossen, wohingegen die tiefseitigen Schalter 48b an dem negativen Pol $U1-$ der ersten Spannungsquelle $U1$ über die negative Stromschiene
5 48d angeschlossen sind.

Außerdem bilden jeweils ein hochseitiger Schalter 46a, 48a und ein tiefseitiger Schalter 46b, 48b, die innerhalb einer Basiseinheit 46, 48 unmittelbar benachbart sind, eine Halbbrücke. Die Schalter 46a, 46b, 48a, 48b sind als Halbleiterschalter bspw.
10 Transistoren oder IGBTs (Bipolartransistoren mit isolierter Gate-Elektrode) ausgebildet.

Bei einem Betrieb des Moduls 52 fließt Strom nur entlang von vier verkürzten Strompfaden 53 innerhalb der ersten Basiseinheit 46 von einem hochseitigen Schalter 46a zu einem unmittelbar benachbarten tiefseitigen Schalter 46b, wobei jeweils ein
15 Strompfad 53 zwischen beiden Schaltern 46a, 46b einer Halbbrücke der jeweiligen Basiseinheit 46 verläuft.

Durch Vertauschen der beiden negativen Pole $U1-$ und $U2-$ an den negativen Stromschienen 46d, 48d werden die langen, diagonalen Strompfade 50 (Figur 6a) vom
20 positiven Pol $U1+$ der ersten Spannungsquelle $U1$ zum negativen Pol $U2-$ der zweiten Spannungsquelle durch die deutlich kürzeren Strompfade 53 (Figur 6b) ersetzt. Bei dem Modul 52 werden lange diagonale Strompfade zwischen dem positiven Pol $U1+$ und dem negativen Pol $U1-$ bzw. zwischen dem positiven Pol $U2+$ und dem negativen Pol $U2-$, und demnach Strompfade zwischen den beiden Basiseinheiten 46, 48 üblicherweise nicht
25 auftreten, da dies einem Kurzschluss entspräche.

Die zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Moduls 52 aus Figur 6b ist auch in Figur 7a ohne Strompfade 53 gezeigt. Darauf basierend ist eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Moduls 54 für eine dritte Ausführungsform des
30 erfindungsgemäßen Multilevelkonverters bereitzustellen. Hierbei wird die erste Basiseinheit 46 in drei erste Basiseinheiten 46.1, 46.2, 46.3 aufgeteilt, wobei die

hochseitigen Schalter 46a der drei ersten Basiseinheiten 46.1, 46.2, 46.3 über die positiven Stromschiene 46c mit dem positiven Pol U1+ der ersten Spannungsquelle U1 verbunden sind. Die tiefseitigen Schalter 46b der drei ersten Basiseinheiten 46.1, 46.2, 46.3 sind über die negativen Stromschienen 46d mit dem negativen Pol U2- der zweiten Spannungsquelle 42 verbunden. Die zweite Basiseinheit 48 wird in zwei zweite Basiseinheiten 48.1, 48.2 aufgeteilt. Dabei sind die hochseitigen Schalter 48a der zwei zweiten Basiseinheiten 48.1, 48.2 über die positiven Stromschienen 48c mit dem positiven Pol U2+ der zweiten Spannungsquelle und die tiefseitigen Schalter 48b der zwei zweiten Basiseinheiten 48.1, 48.2 über die negativen Stromschienen 48d mit dem negativen Pol U2- der zweiten Spannungsquelle verbunden.

Auf einer Platine des Moduls 54 sind die erste erste Basiseinheit 46.1, die erste zweite Basiseinheit 48.1, die zweite erste Basiseinheit 46.2, die zweite zweite Basiseinheit 48.2 und die dritte erste Basiseinheit 46.3 jeweils nebeneinander angeordnet. Diese Ausführungsform des Moduls 54 für den Multilevelkonverter entspricht vom Aufbau her und funktionell auch dem in Figur 5b gezeigten Beispiel des Moduls 42 für die erste Ausführungsform des Multilevelkonverters, wobei Basiseinheit 32 Basiseinheit 46.1, Basiseinheit 34 Basiseinheit 48.1, Basiseinheit 36 Basiseinheit 46.2, Basiseinheit 38 Basiseinheit 48.2 und Basiseinheit 40 Basiseinheit 46.3 entspricht.

20

Somit wurden die ursprünglichen Basiseinheiten 46, 48 jeweils in einzelne Basiseinheiten 46.1, 46.2, 46.3, 48.1, 48.2 aufgeteilt, wodurch Strompfade zwischen den Schaltern 46a, 46b, 48a, 48b verkürzt und Magnetfelder, die bei Kommutierungen durch sich ändernde Ströme entstehen, reduziert werden. Die Aufteilung der ursprünglichen Basiseinheiten 46, 48 in jeweils einzelne Basiseinheiten 46.1, 46.2, 46.3, 48.1, 48.2 ist auch als Verflechtung der Schalter 46a, 46b, 48a, 48b der Halbbrücken ineinander zu bezeichnen.

Somit ist jeweils neben einem hochseitigen Schalter 46a einer ersten Basiseinheit 46.1, 46.2, 46.3, der an dem positiven Pol U1+ der ersten Spannungsquelle U1 angeschlossen ist, ein unmittelbar benachbarter hochseitiger Schalter 48a einer zweiten

Basiseinheit 48.1, 48.2, der an dem positiven Pol U2+ der zweiten Spannungsquelle U2 angeschlossen ist, angeordnet. Außerdem ist jeweils neben einem tiefseitigen Schalter 46b einer ersten Basiseinheit 46.1, 46.2, 46.3, der an dem negativen Pol U2- der zweiten Spannungsquelle U2 angeschlossen ist, ein unmittelbar benachbarter tiefseitiger
5 Schalter 48b einer zweiten Basiseinheit 48.1, 48.2, der an dem negativen Pol U1- der ersten Spannungsquelle U1 angeschlossen ist, angeordnet.

Die dritte Ausführungsform des Moduls 54 ist ebenfalls jeweils in einer der Figuren 8a, 8b, 8c, 8d in unterschiedlichen Kommutierungen bzw. Betriebszuständen schematisch
10 dargestellt. Bei einer ersten Kommutierung (Figur 8a) verlaufen jeweils nur zwischen hochseitigen Schaltern 48a und tiefseitigen Schaltern 48b, die in den zweiten Basiseinheiten 48.1, 48.2 unmittelbar benachbart sind und eine Halbbrücke bilden, Strompfade 56. Bei einer zweiten Kommutierung (Figur 8b) verlaufen jeweils nur zwischen hochseitigen Schaltern 46a und tiefseitigen Schaltern 46b, die in den ersten
15 Basiseinheiten 46.1, 46.2, 46.3 unmittelbar benachbart sind und jeweils eine Halbbrücke bilden, Strompfade 58. Bei einer dritten Kommutierung (Figur 8c) verlaufen Strompfade 60 zwischen einem hochseitigen Schalter 46a einer ersten Basiseinheit 46.1, 46.2, 46.3 und dem dazu unmittelbar benachbarten hochseitigen Schalter 48a einer unmittelbar benachbarten zweiten Basiseinheit 48.1, 48.2. Bei einer vierten Kommutierung (Figur 8d)
20 verlaufen Strompfade 62 zwischen einem tiefseitigen Schalter 46b einer ersten Basiseinheit 46.1, 46.2, 46.3 und dem dazu unmittelbar benachbarten tiefseitigen Schalter 48b einer unmittelbar benachbarten zweiten Basiseinheit 48.1, 48.2.

Somit erstrecken sich bei allen dargestellten Kommutierungen Strompfade 56, 58, 60,
25 62 zwischen zwei unmittelbar benachbarten Schaltern 46a, 46b, 48a, 48b einer jeweiligen Halbbrücke. Bei den beiden ersten Kommutierungen aus den Figuren 8a und 8b verlaufen die Strompfade 56, 58 jeweils innerhalb einer Basiseinheit 46.1, 46.2, 46.3, 48.1, 48.2 zwischen einem hochseitigen und einem tiefseitigen Schalter 46a, 46b, 48a, 48b. Bei der dritten und vierten Kommutierung aus den Figuren 8c und 8d verlaufen
30 die Strompfade 60, 62 zwischen zwei unmittelbar benachbarten Basiseinheiten 46.1, 46.2, 46.3, 48.1, 48.2 entweder zwischen unmittelbar benachbarten hochseitigen

Schaltern 46a, 48a oder zwischen zwei unmittelbar benachbarten tiefseitigen Schaltern 46b, 48b. Wie durch die Doppelpfeile zwischen den Figuren 8a, 8b, 8c, 8d angedeutet, ist es möglich, zwischen jeweils zwei Kommutierungen beliebig zu schalten. Bei einem Schalten zwischen zwei Kommutierungen erfahren sämtliche Schalter 46a, 46b, 48a, 5 48b dieselbe Induktivität.

Das bereits anhand von Figur 6b vorgestellte Modul 52 ist weiterhin auch in Figur 9 schematisch dargestellt. Außerdem wird nochmals auf Figur 2b verwiesen, in der Strompfade zwischen einzelnen Schaltern 19a, 19b, 19c, 19d durch Doppelpfeile 10 angedeutet sind. Dagegen sind bei dem in Figur 9 dargestellten Modul 52 der zweiten Ausführungsform des Multilevelkonverters negative Stromschienen und somit Verbindungen zu den beiden negativen Polen U1- und U2- zwischen den beiden Basiseinheiten 46, 48 vertauscht. Hierdurch sind die in Figur 9 durch Doppelpfeile angedeuteten verkürzten Strompfade bereitzustellen. Dabei sinkt mit Verkürzung der 15 Strompfade auch ein Wert von Magnetfeldern, die beim Umschalten induziert werden.

In Figur 10 ist das Beispiel des Moduls 42 für die erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters aus Figur 5b nochmals dargestellt. Dabei zeigt Figur 10, dass zwischen jeweils einem hochseitigen Schalter 32a, 34a, 36a, 38a, 40a 20 und dem unmittelbar benachbarten tiefseitigen Schalter 32b, 34b, 36b, 38b, 40b, die jeweils eine Halbbrücke einer Basiseinheit 32, 34, 36, 38, 40 bilden, ein Strompfad 33 direkt verläuft. Aufgrund der Verflechtung und/oder Vertauschung der negativen Pole U1-, U2- ergeben sich beim Umschalten nur geringe aufgespannte Flächen 60 mit geringer Induktivität. Insgesamt verläuft bei allen möglichen Schaltvarianten bzw. Kommutierungen 25 ein Strompfad 33 zwischen zwei unmittelbar benachbarten Schaltern 32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b, 40a, 40b einer Halbbrücke, d. h. zwischen jeweils einem hochseitigen Schalter 32a, 34a, 36a, 38a, 40a und einen tiefseitigen Schalter 32b, 34b, 36b, 38b, 40b. Hierdurch wird eine zeitliche Änderung der Flächen 60 der Strompfade 33 minimiert. Außerdem sind sämtliche Strompfade 33 für sämtliche miteinander 30 verbundene Schalter 32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b, 40a, 40b, die als MOSFETs ausgebildet sind, gleich lang, wodurch sämtliche Schalter 32a, 32b, 34a, 34b,

36a, 36b, 38a, 38b, 40a, 40b beim Umschalten induktiv gleich belastet werden. Weiterhin sind sämtliche Strompfade 33 gleich lang und weisen im Unterschied zum Stand der Technik nicht unterschiedliche Längen auf, weshalb sämtliche Schalter 32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b, 40a, 40b beim Schalten gleichartig belastet
5 werden.

Patentansprüche

1. Modul, das als Komponente eines Multilevelkonverters ausgebildet ist und mehrere Basiseinheiten (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) sowie
5 elektrische Energiequellen aufweist, wobei jede Basiseinheit (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) mindestens eine Halbbrücke aufweist, wobei die mindestens eine Halbbrücke mindestens einen hochseitigen Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) und mindestens einen tiefseitigen Schalter (32b, 34b, 36b, 38b, 40b, 46b, 48b) umfasst, wobei für zwei Basiseinheiten (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1,
10 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2), die innerhalb des Moduls unmittelbar nebeneinander benachbart angeordnet sind, vorgesehen ist, dass bei einer ersten Basiseinheit (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) der zwei Basiseinheiten (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) der mindestens eine hochseitige Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) mit einem positiven Pol einer ersten Energiequelle
15 und der mindestens eine tiefseitige Schalter (32b, 34b, 36b, 38b, 40b, 46b, 48b) mit einem negativen Pol einer zweiten Energiequelle verbunden ist, wobei bei einer zweiten Basiseinheit (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) der zwei Basiseinheiten (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) der mindestens eine hochseitige Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) mit einem
20 positiven Pol der zweiten Energiequelle und der mindestens eine tiefseitige Schalter (32b, 34b, 36b, 38b, 40b, 46b, 48b) mit einem negativen Pol der ersten Energiequelle verbunden ist, wobei Strom zwischen zwei Polen über mindestens einen Strompfad (33, 53, 56, 58, 60, 62) zu transportieren ist.
- 25 2. Modul nach Anspruch 1, bei dem der mindestens eine Strompfad (33, 53, 56, 58, 60, 62) zwischen mindestens zwei unmittelbar benachbarten Schaltern (32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b, 40a, 40b, 46a, 46b, 48a, 48b) zu schalten ist.
3. Modul nach Anspruch 1 oder 2, bei dem mindestens ein Schalter (32a, 32b, 34a,
30 34b, 36a, 36b, 38a, 38b, 40a, 40b, 46a, 46b, 48a, 48b) der mindestens einen Halbbrücke als Halbleiterschalter ausgebildet ist.

4. Modul nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem jede Basiseinheit (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) eine positive Stromschiene (32c, 34c, 36c, 38c, 40c, 46c, 48c) und eine negative Stromschiene (32d, 34d, 36d, 38d, 40d, 46d, 48d) umfasst, wobei der mindestens eine hochseitige Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) der mindestens einen Halbbrücken mit der positiven Stromschiene (32c, 34c, 36c, 38c, 40c, 46c, 48c) und der mindestens einen tiefseitigen Schalter (32b, 34b, 36b, 38b, 40b, 46b, 48b) der mindestens einen Halbbrücken mit der negativen Stromschiene (32d, 34d, 36d, 38d, 40d, 46d, 48d) verbunden ist.
- 10 5. Modul nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem mindestens eine elektrische Energiequelle als Spannungsquelle ausgebildet ist.
6. Modul nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem die Basiseinheiten (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) auf einer Platine angeordnet sind.
- 15 7. Multilevelkonverter, der mehrere Module (42, 52, 54) aufweist, wobei jedes Modul (42, 52, 54) mehrere Basiseinheiten (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) sowie elektrische Energiequellen aufweist, wobei jede Basiseinheit (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) mindestens eine Halbbrücke aufweist, wobei die mindestens eine Halbbrücke mindestens einen hochseitigen Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) und mindestens einen tiefseitigen Schalter (32b, 34b, 36b, 38b, 40b, 46b, 48b) umfasst, wobei für zwei Basiseinheiten (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2), die innerhalb des Moduls (42, 52, 54) unmittelbar nebeneinander benachbart angeordnet sind, vorgesehen ist, dass bei einer ersten Basiseinheit (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) der zwei Basiseinheiten (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) der mindestens einen hochseitigen Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) mit einem positiven Pol einer ersten Energiequelle und der mindestens einen tiefseitigen Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) mit einem negativen Pol einer zweiten Energiequelle verbunden ist, wobei bei einer zweiten Basiseinheit (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2,
- 20
- 25
- 30

- 46.3, 48, 48.1, 48.2) der zwei Basiseinheiten (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) der mindestens eine hochseitige Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) mit einem positiven Pol der zweiten Energiequelle und der mindestens eine tiefseitige Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) mit einem negativen Pol
5 der ersten Energiequelle verbunden ist, wobei Strom zwischen zwei Polen über mindestens einen Strompfad (33, 53, 56, 58, 60, 62) zu transportieren ist.
8. Multilevelkonverter nach Anspruch 7, bei dem sämtliche Module (42, 52, 54) gleich ausgebildet sind.
- 10
9. Multilevelkonverter nach einem der Ansprüche 7 oder 8, der als Energiequelle für eine elektrische Maschine ausgebildet ist.
10. Multilevelkonverter nach einem der Ansprüche 7 bis 9, der in einem elektrischen
15 Energienetzwerk eines Kraftfahrzeugs angeordnet ist.
11. Verfahren zum Betreiben eines Multilevelkonverters, der als Komponenten mehrere Module (42, 52, 54) aufweist, wobei jedes Modul (42, 52, 54) mehrere Basiseinheiten (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) sowie elektrische
20 Energiequellen aufweist, wobei jede Basiseinheit (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) mindestens eine Halbbrücke aufweist, wobei die mindestens eine Halbbrücke mindestens einen hochseitigen Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) und mindestens einen tiefseitigen Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) umfasst, wobei für zwei Basiseinheiten (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1,
25 48.2), die innerhalb des Moduls (42, 52, 54) unmittelbar nebeneinander benachbart angeordnet sind, vorgesehen wird, dass bei einer ersten Basiseinheit (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) der zwei Basiseinheiten (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) der mindestens eine hochseitige Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) mit einem positiven Pol einer ersten Energiequelle und
30 der mindestens eine tiefseitige Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) mit einem negativen Pol einer zweiten Energiequelle verbunden wird, und wobei bei einer zweiten

Basiseinheit (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) der zwei Basiseinheiten (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) der mindestens eine hochseitige Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) mit einem positiven Pol der zweiten Energiequelle und der mindestens eine tiefseitige Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) mit einem negativen Pol der ersten Energiequelle verbunden wird, wobei Strom zwischen zwei Polen über mindestens einen Strompfad (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) transportiert wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem der mindestens eine Strompfad (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) zum Transportieren von Strom direkt zwischen dem mindestens einen hochseitigen Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) und dem mindestens einen tiefseitigen Schalter (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) der mindestens einen Halbbrücke geschaltet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, bei dem der mindestens eine Strompfad (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) zum Transportieren von Strom direkt zwischen einem Schalter (32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b, 40a, 40b, 46a, 46b, 48a, 48b) der ersten Basiseinheit (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) und einem Schalter (32a, 32b, 34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b, 40a, 40b, 46a, 46b, 48a, 48b) der zweiten Basiseinheit (32, 34, 36, 38, 40, 46, 46.1, 46.2, 46.3, 48, 48.1, 48.2) geschaltet wird, die unmittelbar benachbart nebeneinander angeordnet sind.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, bei dem von jedem Modul (42, 52, 54) eine Ausgangsspannung bereitgestellt wird, wobei mindestens zwei Module (42, 52, 54) zueinander in Reihe und/oder zueinander parallel geschaltet werden, wobei aus den Ausgangsspannungen der zueinander parallel und/oder in Reihe geschalteten Module (42, 52, 54) für den Multilevelkonverter eine resultierende Ausgangsspannung bereitgestellt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, bei dem Strom durch mindestens einen ersten Strompfad (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) transportiert wird, wobei

bei einer Kommutierung eines jeweiligen Moduls (42, 52, 54) der mindestens eine erste Strompfad (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) deaktiviert und mindestens ein zweiter Strompfad (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) aktiviert wird, wobei der Strom nach der Kommutierung durch den mindestens einen zweiten Strompfad (32a, 34a, 36a, 38a, 40a, 46a, 48a) transportiert wird.

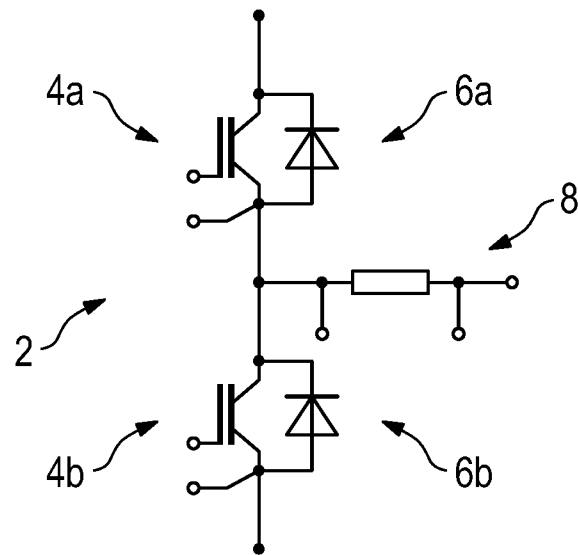


Fig. 1a

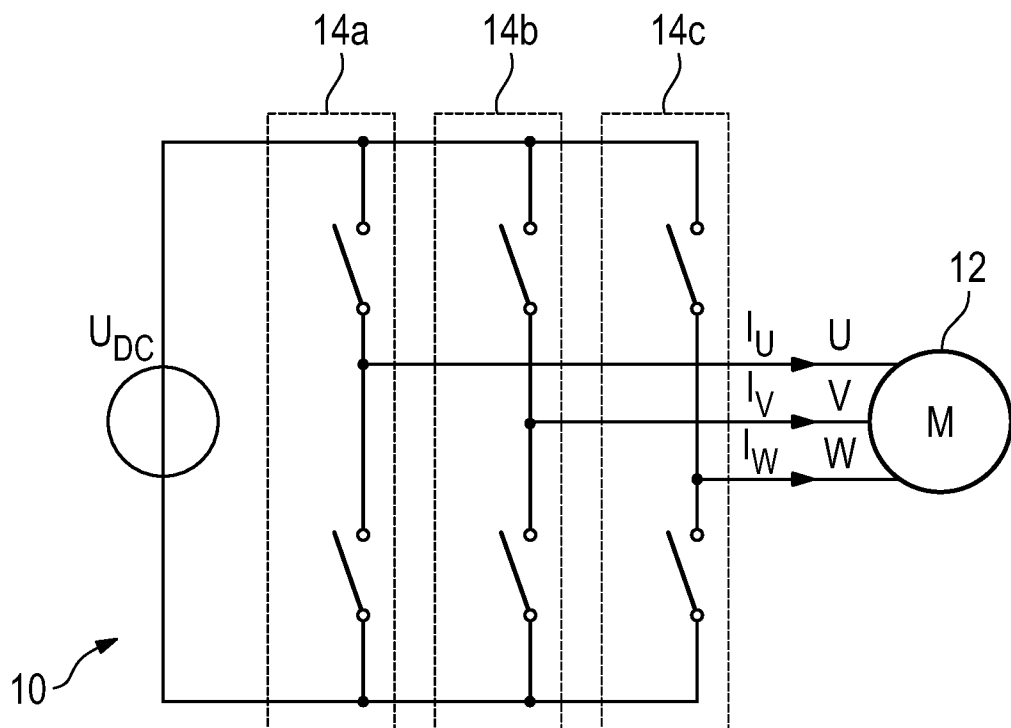


Fig. 1b

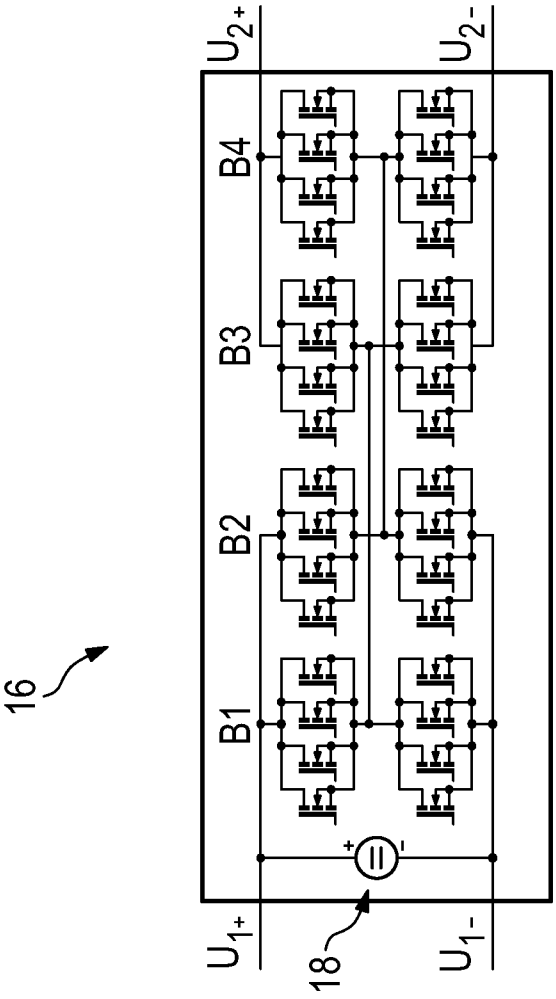


Fig. 2a

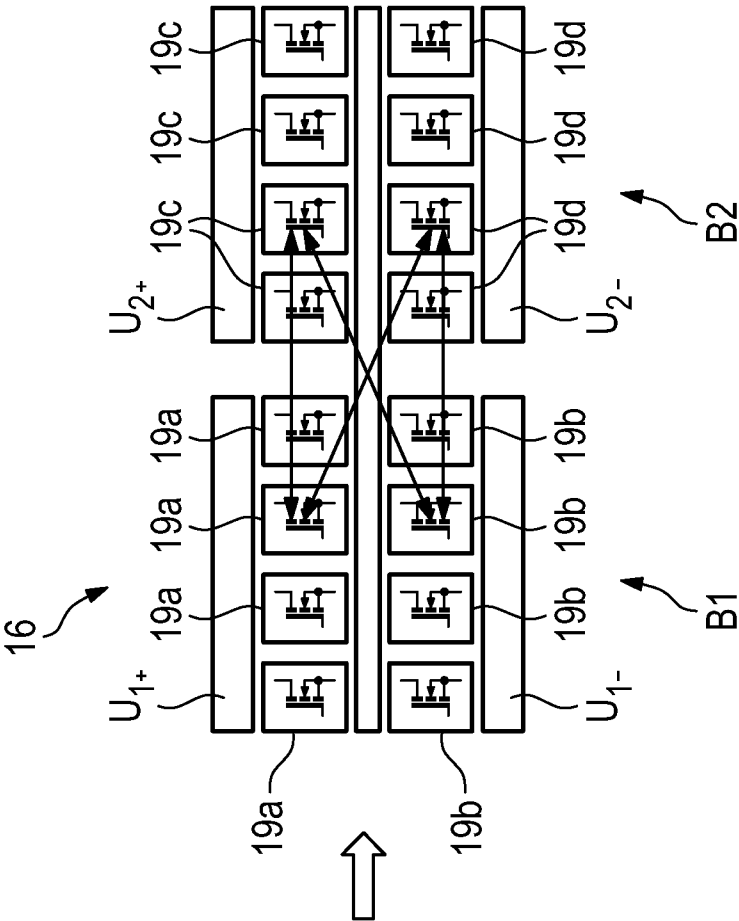
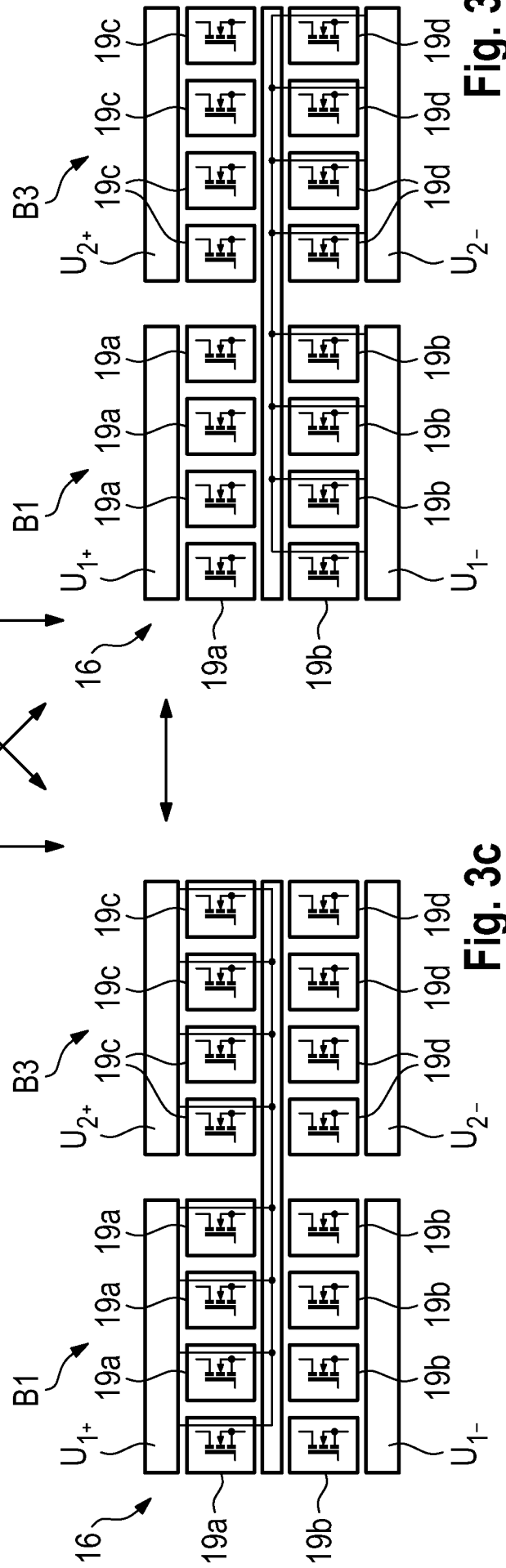
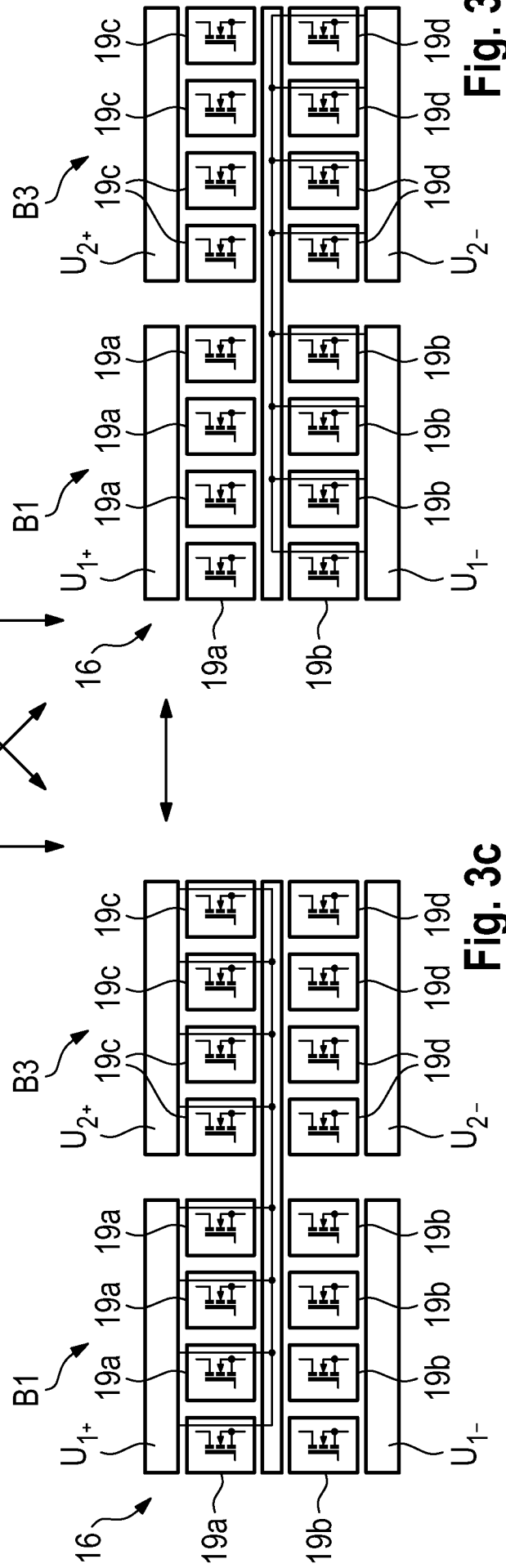
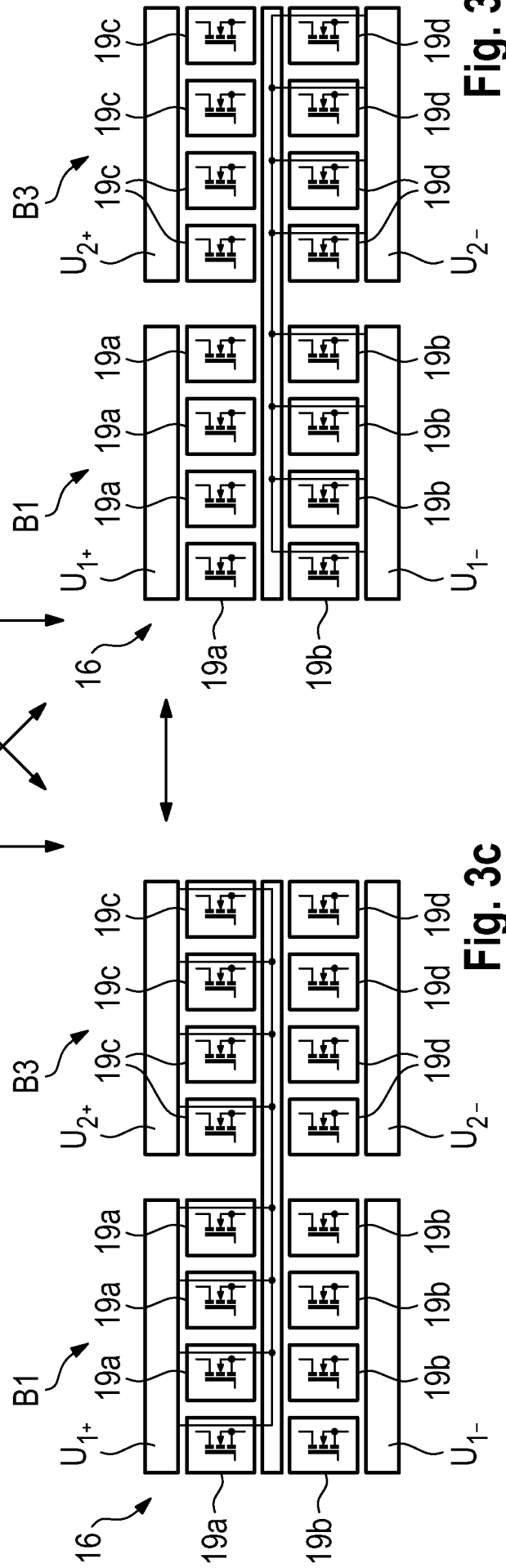
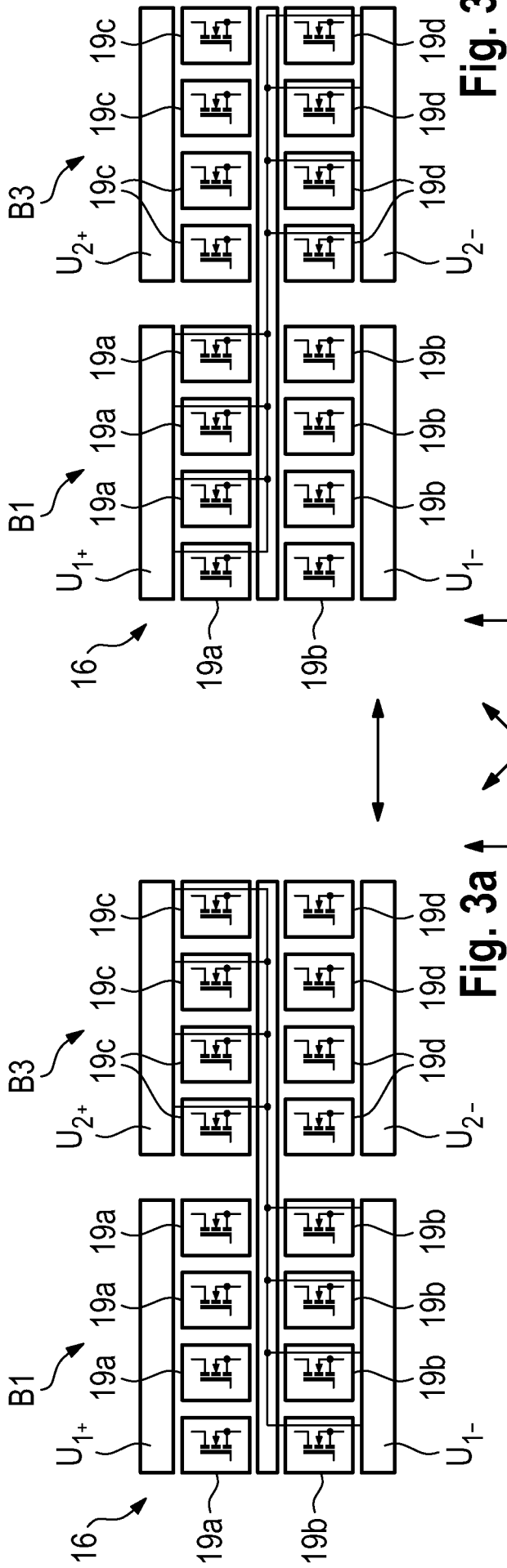


Fig. 2b



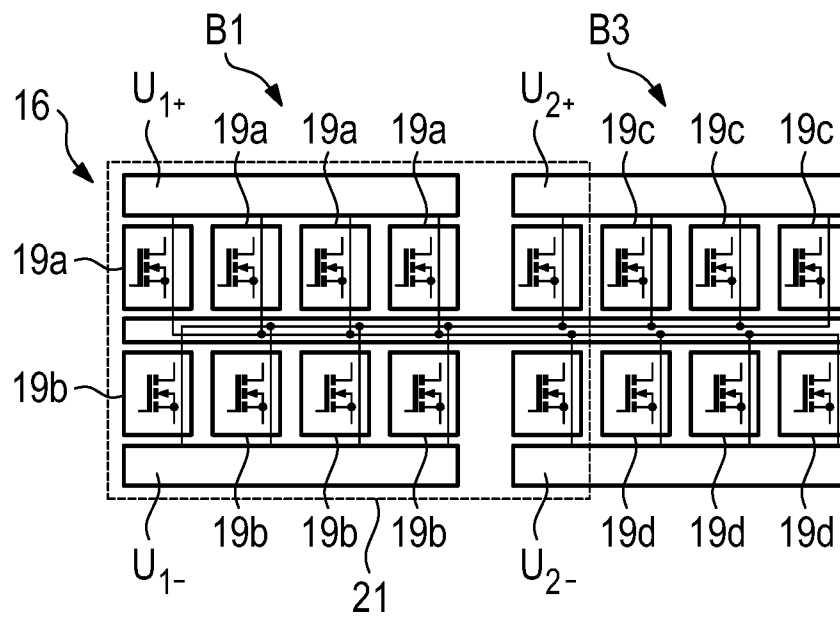


Fig. 4

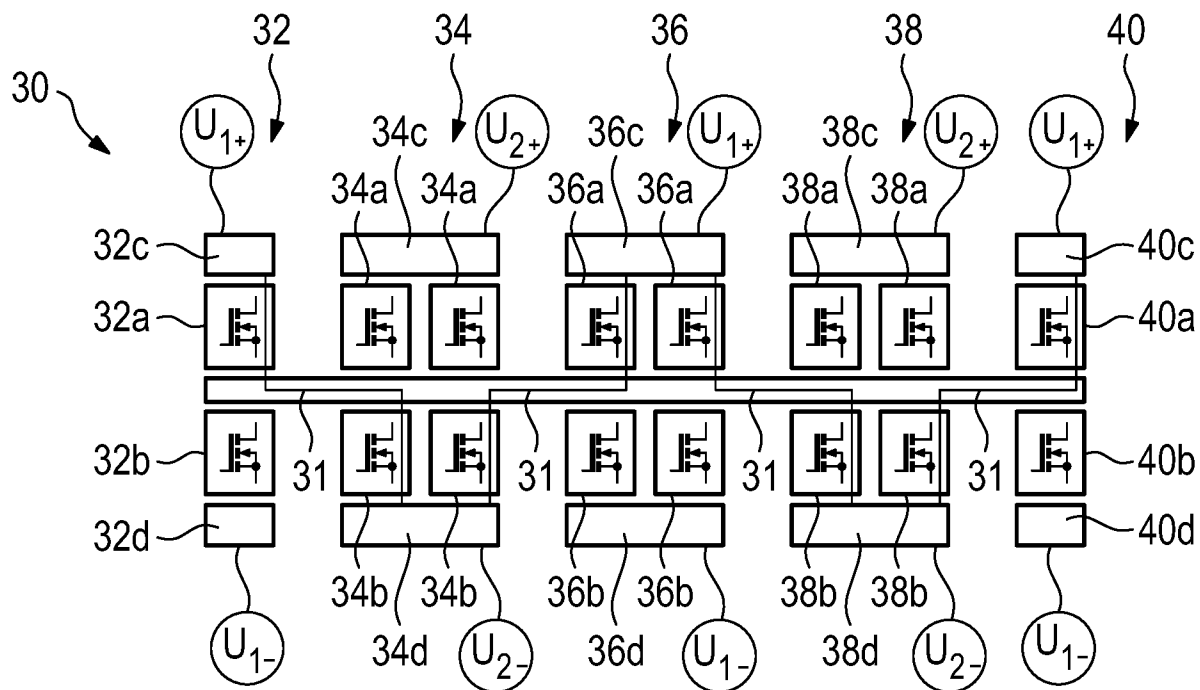


Fig. 5a

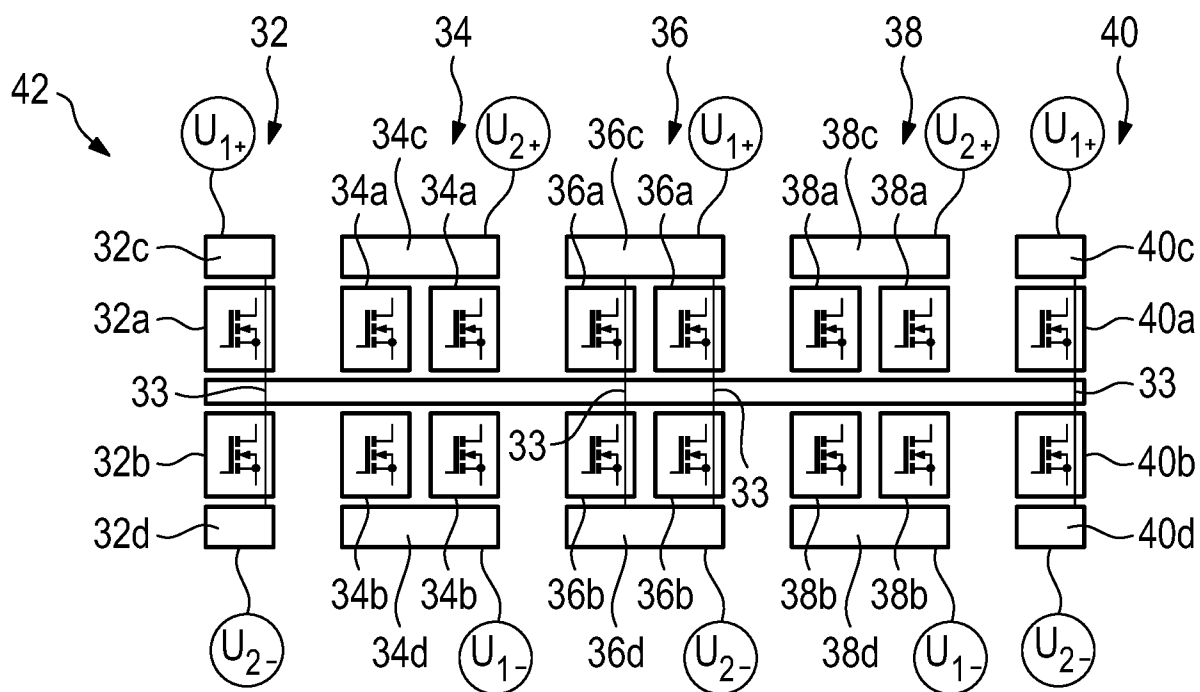


Fig. 5b

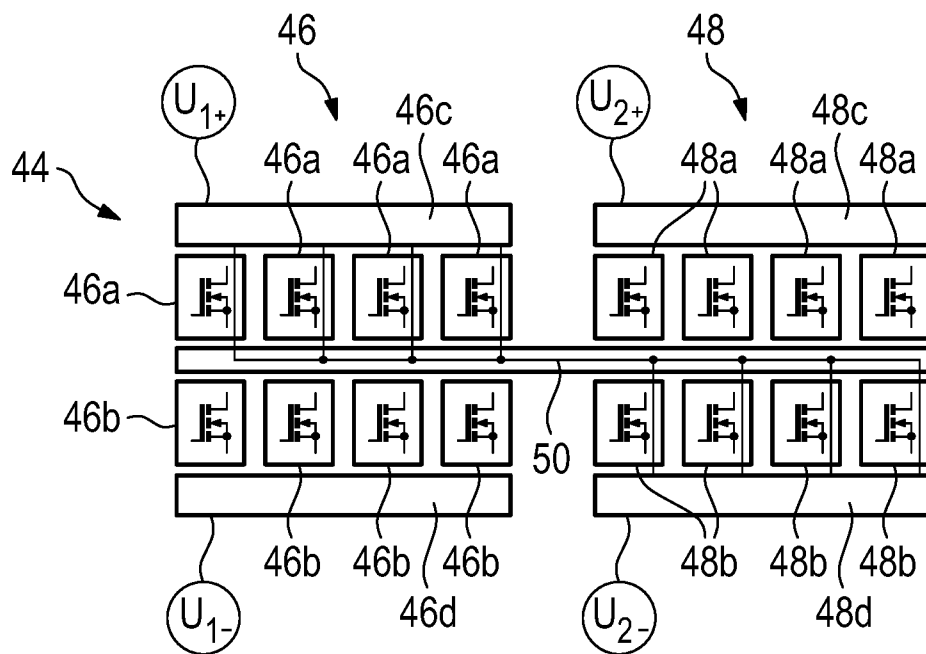


Fig. 6a

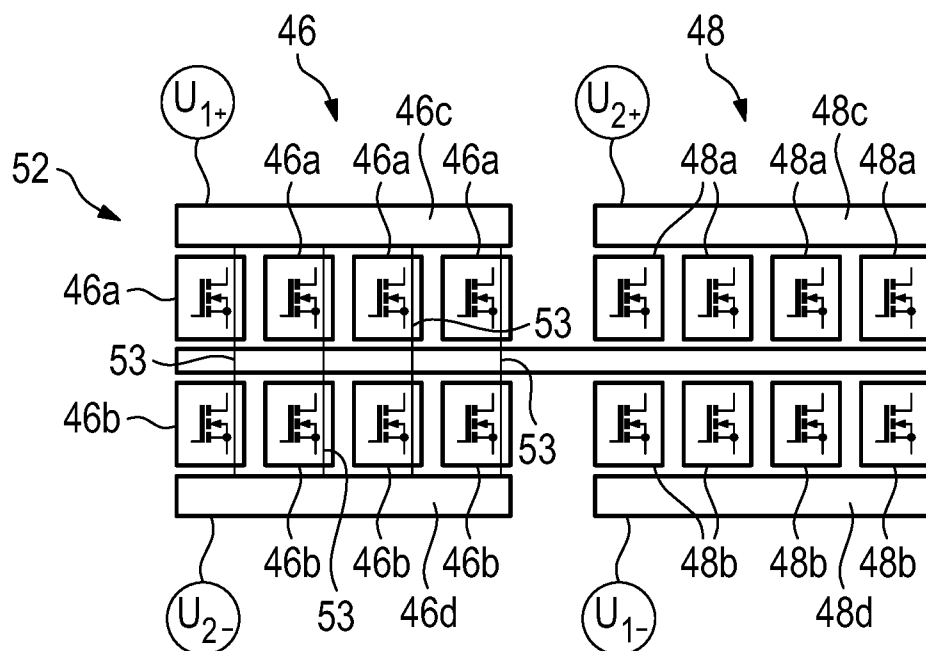


Fig. 6b

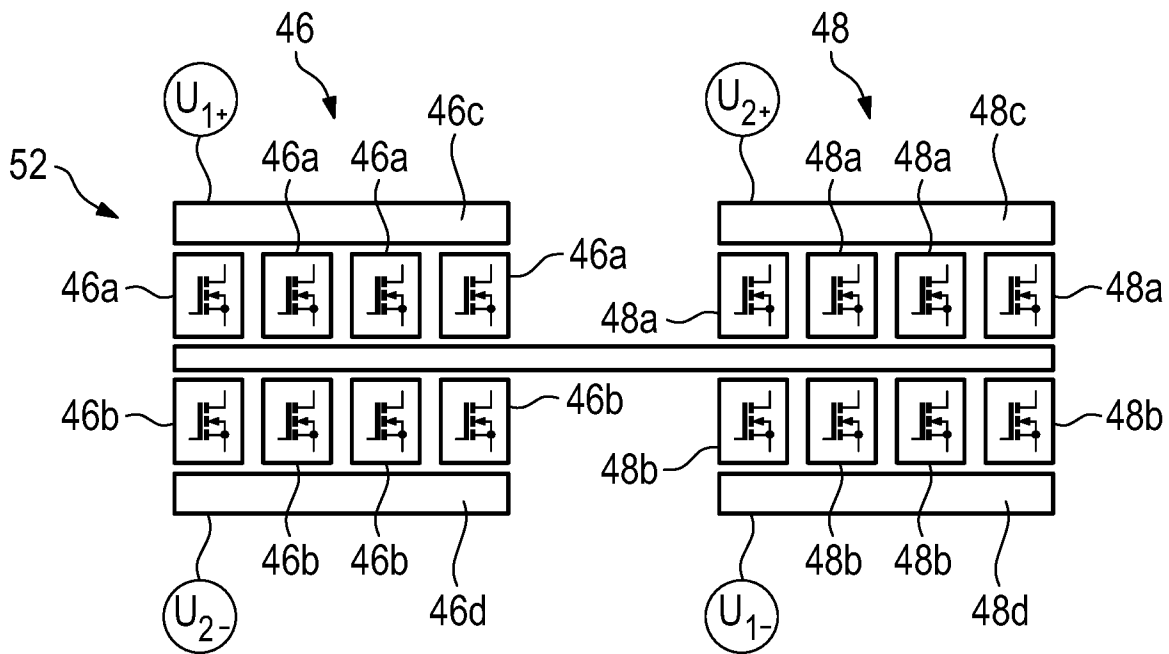


Fig. 7a

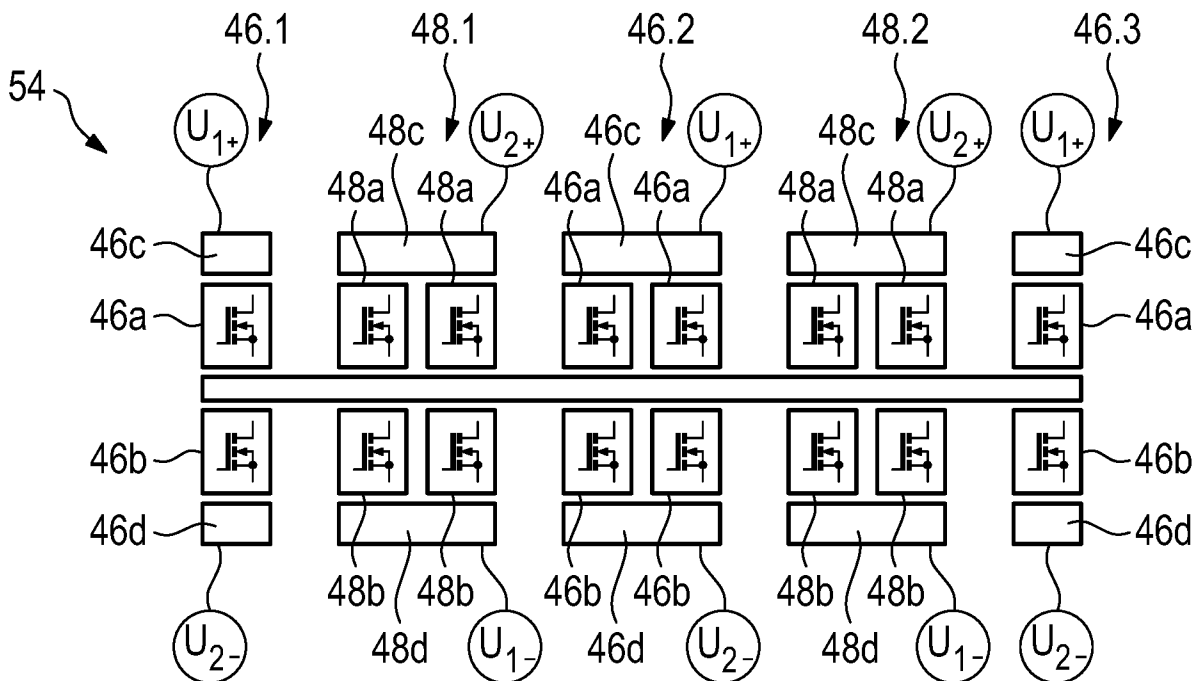


Fig. 7b

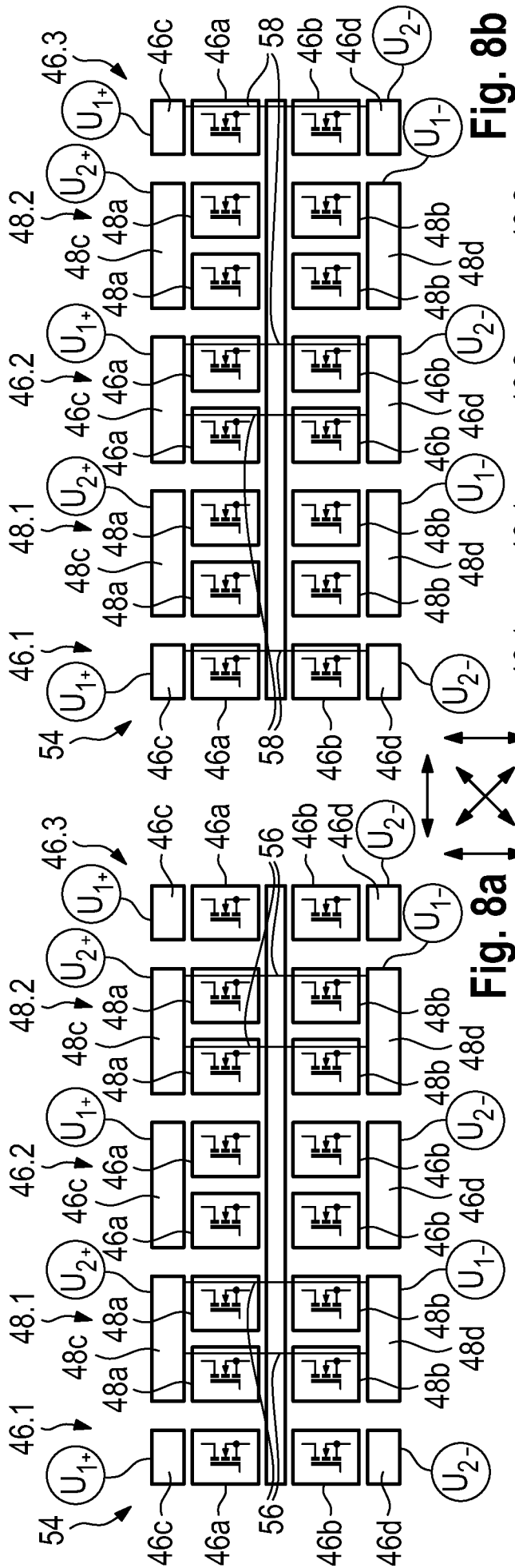


Fig. 8a

Fig. 8b

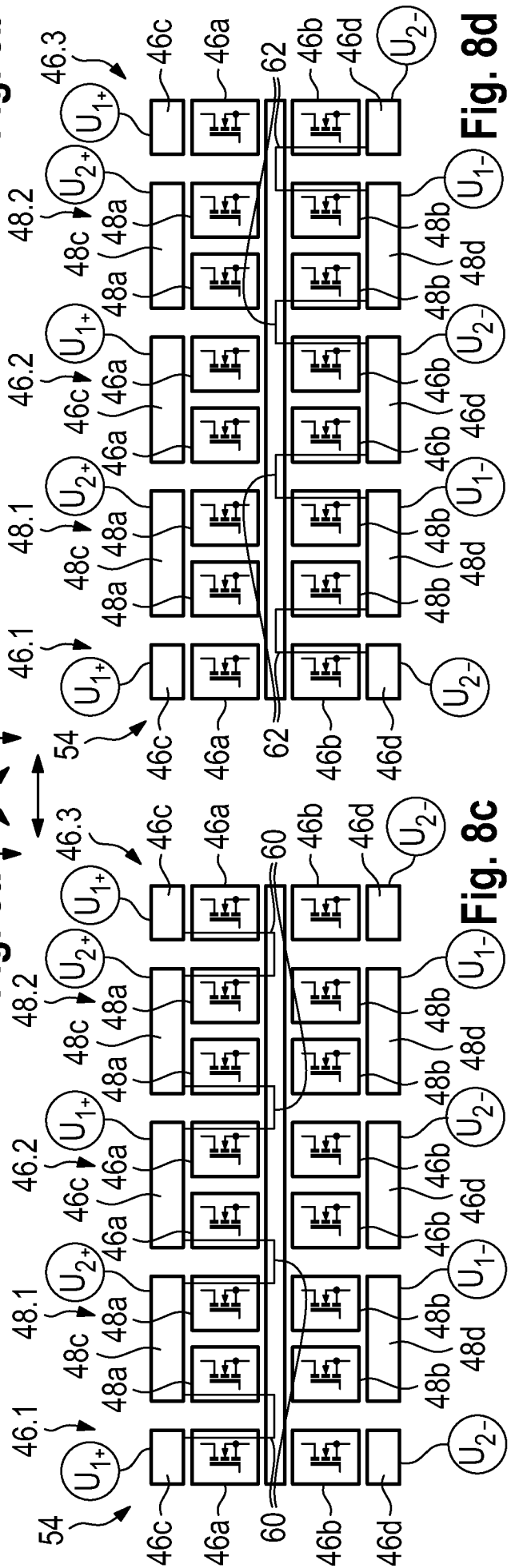


Fig. 8c

Fig. 8d

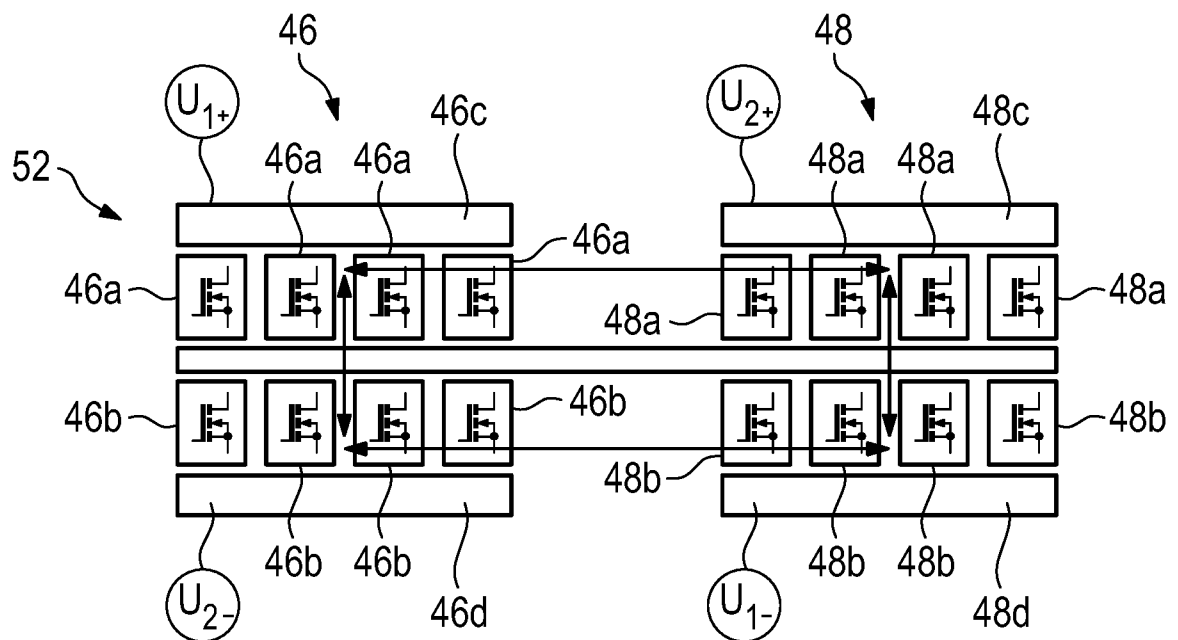


Fig. 9

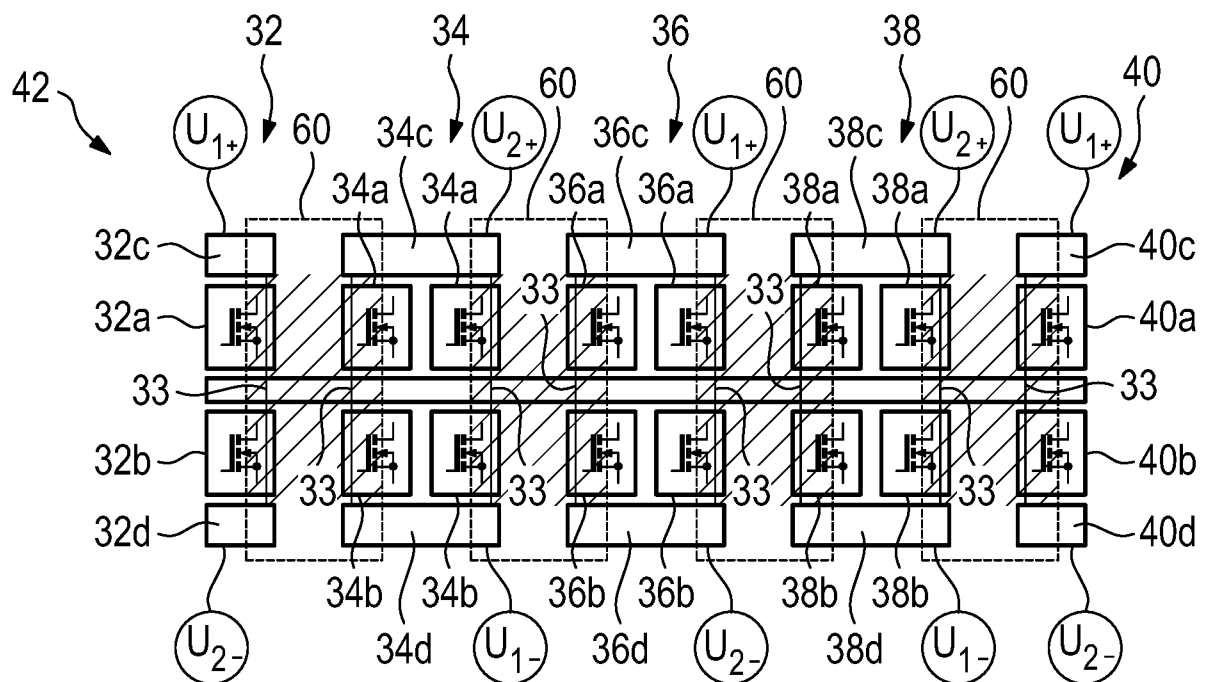


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/025177

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02M7/483 H02M7/00
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.
A	WO 2013/001740 A1 (SANYO ELECTRIC CO [JP]; WATANABE KEISUKE [JP]) 3 January 2013 (2013-01-03) abstract figures 1,2 -----	1-15
A	JP 2006 025518 A (NISSAN MOTOR) 26 January 2006 (2006-01-26) abstract figures 1-8 -----	1-15
A	EP 2 713 394 A1 (SEMIKRON ELEKTRONIK GMBH [DE]) 2 April 2014 (2014-04-02) abstract figures 2-5 ----- -/-	1-15



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

28 March 2017

Date of mailing of the international search report

05/04/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lorenzo Barreiro, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/025177

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2013/033912 A1 (WU CHIN-CHANG [TW] ET AL) 7 February 2013 (2013-02-07) abstract figure 4 -----	1-15
A	JP 2001 045772 A (YASKAWA ELECTRIC CORP) 16 February 2001 (2001-02-16) the whole document -----	1-15
A	DE 20 2013 104146 U1 (ABB OY [FI]) 20 September 2013 (2013-09-20) the whole document -----	1-15
A	WO 2012/079213 A1 (ABB TECHNOLOGY LTD [CH]; GUAN ERYONG [CN]; RAILO NIKO [CN]; WU AIPING) 21 June 2012 (2012-06-21) abstract figures 3-7 -----	1-15
A	US 6 005 787 A (MIZUKOSHI MASAHIRO [JP]) 21 December 1999 (1999-12-21) abstract figures 1-9 -----	1-15
A	EP 2 765 602 A1 (FUJI ELECTRIC CO LTD [JP]) 13 August 2014 (2014-08-13) the whole document -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/025177

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2013001740 A1	03-01-2013	JP 2014171271 A WO 2013001740 A1	18-09-2014 03-01-2013
JP 2006025518 A	26-01-2006	JP 4111175 B2 JP 2006025518 A	02-07-2008 26-01-2006
EP 2713394 A1	02-04-2014	CN 103715915 A DE 102012217905 B3 EP 2713394 A1 JP 2014073073 A KR 20140043279 A	09-04-2014 07-11-2013 02-04-2014 21-04-2014 09-04-2014
US 2013033912 A1	07-02-2013	TW 201308863 A US 2013033912 A1	16-02-2013 07-02-2013
JP 2001045772 A	16-02-2001	JP 2001045772 A WO 0110008 A1	16-02-2001 08-02-2001
DE 202013104146 U1	20-09-2013	CN 203761253 U DE 202013104146 U1 FI 9862 U1	06-08-2014 20-09-2013 08-11-2012
WO 2012079213 A1	21-06-2012	CN 103250338 A EP 2652867 A1 JP 5745051 B2 JP 2013533729 A US 2013176014 A1 WO 2012079213 A1	14-08-2013 23-10-2013 08-07-2015 22-08-2013 11-07-2013 21-06-2012
US 6005787 A	21-12-1999	JP H11220886 A US 6005787 A	10-08-1999 21-12-1999
EP 2765602 A1	13-08-2014	CN 103973131 A EP 2765602 A1 JP 2014155287 A US 2014218991 A1	06-08-2014 13-08-2014 25-08-2014 07-08-2014

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02M7/483 H02M7/00
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.
A	WO 2013/001740 A1 (SANYO ELECTRIC CO [JP]; WATANABE KEISUKE [JP]) 3. Januar 2013 (2013-01-03) Zusammenfassung Abbildungen 1,2	1-15
A	JP 2006 025518 A (NISSAN MOTOR) 26. Januar 2006 (2006-01-26) Zusammenfassung Abbildungen 1-8	1-15
A	EP 2 713 394 A1 (SEMIKRON ELEKTRONIK GMBH [DE]) 2. April 2014 (2014-04-02) Zusammenfassung Abbildungen 2-5	1-15
	-/-	



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

28. März 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

05/04/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Lorenzo Barreiro, M

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2013/033912 A1 (WU CHIN-CHANG [TW] ET AL) 7. Februar 2013 (2013-02-07) Zusammenfassung Abbildung 4 -----	1-15
A	JP 2001 045772 A (YASKAWA ELECTRIC CORP) 16. Februar 2001 (2001-02-16) das ganze Dokument -----	1-15
A	DE 20 2013 104146 U1 (ABB OY [FI]) 20. September 2013 (2013-09-20) das ganze Dokument -----	1-15
A	WO 2012/079213 A1 (ABB TECHNOLOGY LTD [CH]; GUAN ERYONG [CN]; RAILO NIKO [CN]; WU AIPING) 21. Juni 2012 (2012-06-21) Zusammenfassung Abbildungen 3-7 -----	1-15
A	US 6 005 787 A (MIZUKOSHI MASAHIRO [JP]) 21. Dezember 1999 (1999-12-21) Zusammenfassung Abbildungen 1-9 -----	1-15
A	EP 2 765 602 A1 (FUJI ELECTRIC CO LTD [JP]) 13. August 2014 (2014-08-13) das ganze Dokument -----	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/025177

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument			Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung	
WO 2013001740	A1	03-01-2013	JP	2014171271	A		18-09-2014	
			WO	2013001740	A1		03-01-2013	

JP 2006025518	A	26-01-2006	JP	4111175	B2		02-07-2008	
			JP	2006025518	A		26-01-2006	

EP 2713394	A1	02-04-2014	CN	103715915	A		09-04-2014	
			DE	102012217905	B3		07-11-2013	
			EP	2713394	A1		02-04-2014	
			JP	2014073073	A		21-04-2014	
			KR	20140043279	A		09-04-2014	

US 2013033912	A1	07-02-2013	TW	201308863	A		16-02-2013	
			US	2013033912	A1		07-02-2013	

JP 2001045772	A	16-02-2001	JP	2001045772	A		16-02-2001	
			WO	0110008	A1		08-02-2001	

DE 202013104146	U1	20-09-2013	CN	203761253	U		06-08-2014	
			DE	202013104146	U1		20-09-2013	
			FI	9862	U1		08-11-2012	

WO 2012079213	A1	21-06-2012	CN	103250338	A		14-08-2013	
			EP	2652867	A1		23-10-2013	
			JP	5745051	B2		08-07-2015	
			JP	2013533729	A		22-08-2013	
			US	2013176014	A1		11-07-2013	
			WO	2012079213	A1		21-06-2012	

US 6005787	A	21-12-1999	JP	H11220886	A		10-08-1999	
			US	6005787	A		21-12-1999	

EP 2765602	A1	13-08-2014	CN	103973131	A		06-08-2014	
			EP	2765602	A1		13-08-2014	
			JP	2014155287	A		25-08-2014	
			US	2014218991	A1		07-08-2014	
