

(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

28. September 2017 (28.09.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/162341 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B60L 11/18 (2006.01) **H02M 7/49** (2007.01)
B60L 15/00 (2006.01) **H02M 7/483** (2007.01)
B60L 7/14 (2006.01) **B60L 1/00** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/025059

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. März 2017 (24.03.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 105 542.5 24. März 2016 (24.03.2016) 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). **JAENSCH, Malte**; Max-Born-Str. 24, 74321
Bietigheim-Bissingen (DE). **LAPPE, Dirk**; Schilling-von-
Cannstatt-Str. 10a, 76228 Karlsruhe/Hohenwettersbach
(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, DE, 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.

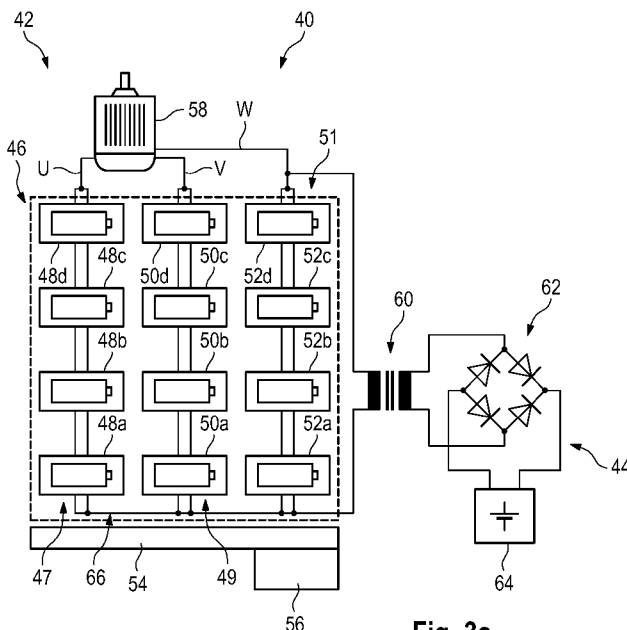
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, 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: METHOD FOR OPERATING AN ELECTRICAL NETWORK

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES ELEKTRISCHEN NETZES



(57) Abstract: The invention relates to a method for operating an electrical network, which comprises a first partial network and a second partial network, which are connected to each other by means of a transformer and galvanically isolated from each other by means of the transformer, wherein a primary side of the transformer having a first number of turns is associated with the first partial network and a secondary side of the transformer having a second number of turns is associated with the second partial network, wherein the first partial network has a multi-level converter having a plurality of individual modules, wherein each individual module has an electrical energy store, wherein the multi-level converter provides at least one first incoming alternating voltage, which is modulated with at least one second incoming alternating voltage, wherein a voltage resulting therefrom is provided to the transformer, which voltage is transformed by the transformer into an outgoing voltage, which is provided to the second partial network.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines elektrischen Netzes, das ein erstes Teilnetz und ein zweites Teilnetz umfasst, die über einen Transformator miteinander verbunden und durch

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/162341 A1



diesen voneinander galvanisch getrennt werden, wobei eine Primärseite des Transformators mit einer ersten Windungszahl dem ersten Teilnetz und eine Sekundärseite des Transformators mit einer zweiten Windungszahl dem zweiten Teilnetz zugeordnet wird, wobei das erste Teilnetz einen Multilevelkonverter mit einer Mehrzahl an Einzelmodulen aufweist, wobei jedes Einzelmodul einen elektrischen Energiespeicher aufweist, wobei von dem Multilevelkonverter mindestens eine erste eingehende elektrische Wechselspannung bereitgestellt wird, die mit mindestens einer zweiten eingehenden elektrischen Wechselspannung moduliert wird, wobei eine daraus resultierende elektrische Spannung dem Transformator, bereitgestellt wird, die von dem Transformator auf eine ausgehende elektrische Spannung transformiert wird, die dem zweiten Teilnetz bereitgestellt wird.

Verfahren zum Betreiben eines elektrischen Netzes

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines elektrischen Netzes, einen Multilevelkonverter und ein Energieversorgungssystem.

5

Ein elektrisches Netz kann mehrere Energiequellen aufweisen, über die mehreren Verbrauchern, die mit dem elektrischen Netz verbunden sind, elektrische Energie bereitstellbar ist. Hierbei ist es weiterhin möglich, dass das elektrische Netz in mehrere Teilnetze unterteilt ist, denen jeweils unterschiedliche Energiequellen sowie Verbraucher
10 zugeordnet sind. Die unterschiedlichen Teilnetze können unterschiedliche Spannungen aufweisen, mit denen die Teilnetze zu betreiben sind, wobei diese unterschiedlichen Spannungen unterschiedliche Amplituden und/oder unterschiedliche maximale Werte aufweisen. Zwei hierbei miteinander verbundene Teilnetze mit unterschiedlichen Spannungen sind über einen Spannungswandler, bspw. einen Gleichspannungswandler
15 oder einen Wechselspannungswandler, miteinander verbunden.

Aus der Druckschrift US 5 093 583 A ist ein elektrisches System für ein Kraftfahrzeug bekannt, das ein Niederspannungsnetz sowie ein Hochspannungsnetz umfasst. Hierbei wird von einem Generator eine Niedervoltspannung erzeugt, die das
20 Niederspannungsnetz sowie einen Transformator des Kraftfahrzeugs speist. Dieser Transformator ist dazu ausgebildet, die Niedervoltspannung in eine Hochvoltspannung zu wandeln, mit der parallel zu Verbrauchern des Niederspannungsnetzes auch Verbraucher des Hochspannungsnetzes zu betreiben sind.

25 Ein Verfahren zum Versorgen eines Elektromotors mit einem Wechselstrom ist in der Druckschrift US 2010 0 140 003 A1 beschrieben. Hierbei wird je nach Anforderung des Elektromotors diesem über mindestens eine Pulsweitenmodulation eine elektrische Spannung bereitgestellt, wobei zwischen mehreren Arten, bspw. drei Arten, einer jeweils zu verwendenden Pulsweitenmodulation ausgewählt wird.

30

Aus der Druckschrift US 2013 0 106 365 A1 ist bekannt, einen Energiespeicher eines elektrischen Kraftfahrzeugs über eine externe Energiequelle aufzuladen. Dabei ist es möglich, den Energiespeicher des Kraftfahrzeugs mit der externen Energiequelle galvanisch getrennt oder direkt aufzuladen.

5

Ein Brennstoffzellensystem, über das elektrische Lasten mit elektrischer Energie zu versorgen sind, ist in der Druckschrift US 2014 0 152 089 A1 beschrieben. Hierbei ist zwischen jeweils einer Brennstoffzelle und jeweils einer elektrischen Last ein Wechselrichter angeordnet, der dazu ausgebildet ist, eine von der jeweiligen Last

10 benötigte mehrphasige Hochvoltspannung zu erzeugen, wobei störende Geräusche durch Auswahl einer Differenz von Phasen der Hochvoltspannungen vermieden werden.

Aus der Druckschrift US 2014 0 225 432 A1 ist ein Stromwandler bekannt, der drei Spulen umfasst und zum Austausch von elektrischer Energie zwischen verschiedenen

15 Spannungsquellen und Spannungsnetzen eines elektrischen Kraftfahrzeugs ausgebildet ist.

Vor diesem Hintergrund war es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren sowie eine Einrichtung bereitzustellen, mit dem bzw. der Spannungen mit

20 unterschiedlichen maximalen Werten zu erzeugen sind, wobei ein erster Verbraucher, dem eine erste Spannung mit einem ersten Wert bereitzustellen ist, durch eine zweite Spannung mit einem zweiten Wert, der einem zweiten Verbraucher bereitzustellen ist, nicht gestört wird.

25 Diese Aufgabe wird mit dem Verfahren gemäß Patentanspruch 1, einem Multilevelkonverter gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 11 sowie einem Energieversorgungssystem gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 22 gelöst. Ausgestaltungen des Verfahrens, des Multilevelkonverters und des Energieversorgungssystems ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen und
30 der Beschreibung.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist zum Betreiben eines elektrischen Netzes vorgesehen, das ein erstes Teilnetz und ein zweites Teilnetz umfasst, die über mindestens einen Transformator miteinander verbunden und durch diesen voneinander
5 galvanisch getrennt werden. Dabei wird mindestens eine Primärseite des mindestens einen Transformators mit einer ersten Windungszahl dem ersten Teilnetz und mindestens
mindestens eine Sekundärseite des mindestens einen Transformators mit einer zweiten Windungszahl dem zweiten Teilnetz zugeordnet. Das erste Teilnetz weist einen
Multilevelkonverter mit einer Mehrzahl an Einzelmodulen auf, wobei jedes Einzelmodul
10 einen elektrischen Energiespeicher aufweist. Von dem Multilevelkonverter wird
mindestens eine erste bzw. primäre elektrische Wechselspannung bereitgestellt und/oder erzeugt, die mit mindestens einer zweiten bzw. sekundären elektrischen
Wechselspannung moduliert wird, wobei entsprechend mindestens eine resultierende elektrische Wechselspannung gebildet wird. Die mindestens eine aus einer derartigen
15 Modulation resultierende elektrische Wechselspannung wird dem mindestens einen Transformator bereitgestellt und von diesem auf entsprechend mindestens eine
ausgehende elektrische Wechselspannung transformiert, die dem zweiten Teilnetz bereitgestellt wird.

20 Das bedeutet, dass, wenn bspw. drei erste Wechselspannungen bereitgestellt und jeweils mit einer zweiten Wechselspannung moduliert werden, drei resultierende
Wechselspannungen gebildet werden und drei Transformatoren bereitgestellt werden, wobei je eine resultierende elektrische Wechselspannung je einem Transformator der drei
Transformatoren bereitgestellt wird und von dem jeweiligen Transformator in eine
25 ausgehende Wechselspannung transformiert wird, so dass letztlich in diesem Beispielfall drei ausgehende Wechselspannungen dem zweiten Teilnetz bereitgestellt werden.

Üblicherweise ist die erste Windungszahl der Primärseite des mindestens einen Transformators größer als die zweite Windungszahl der Sekundärseite. Somit ist eine
30 maximale Amplitude der mindestens einen resultierenden Wechselspannung des ersten

Teilnetzes und somit eines Hochspannungsnetzes größer als eine Amplitude der mindestens einen ausgehenden Wechselspannung für das zweite Teilnetz, das entsprechend als Niederspannungsnetz ausgebildet ist.

- 5 Bei dem Verfahren ist vorgesehen, dass die mindestens eine erste Wechselspannung eine Amplitude mit einem ersten Wert und eine Frequenz mit einem ersten Wert aufweist, und dass die mindestens eine zweite Wechselspannung eine Amplitude mit einem zweiten Wert und eine Frequenz mit einem zweiten Wert aufweist. Dabei wird der erste Wert der Amplitude der mindestens einen ersten Wechselspannung üblicherweise größer als der
10 zweite Wert der Amplitude der zweiten Wechselspannung eingestellt. Der erste Wert der Frequenz der mindestens einen ersten Wechselspannung wird üblicherweise kleiner als der zweite Wert der Frequenz der mindestens einen zweiten Wechselspannung eingestellt. Alternativ ist es möglich, dass der erste Wert der Amplitude der mindestens einen ersten Wechselspannung kleiner als der zweite Wert der zweiten Wechselspannung
15 ist. Außerdem ist es auch möglich, dass der Wert der Frequenz der mindestens einen ersten Wechselspannung größer als der Wert der Frequenz der mindestens einen zweiten Wechselspannung ist.

- In Ausgestaltung wird die mindestens eine erste Wechselspannung zwischen einem
20 Anschluss des Multilevelkonverters für einen Verbraucher des ersten Teilnetzes und einem Referenzpunkt des Multilevelkonverters mit der mindestens einen zweiten Wechselspannung moduliert. Hierbei wird als Referenzpunkt bspw. ein Sternpunkt des Multilevelkonverters gewählt.

- 25 Üblicherweise wird die mindestens eine zweite Wechselspannung, unter Umsetzung einer Art Amplitudenmodulation, auf die mindestens eine erste Wechselspannung moduliert und somit dieser hinzuaddiert, wobei die resultierende Wechselspannung als Summe der mindestens einen ersten Wechselspannung und der mindestens einen zweiten Wechselspannung bereitgestellt wird.

Weiterhin ist es möglich, dass von dem Multilevelkonverter mehrere, bspw. drei, zueinander phasenverschobene erste bzw. primäre Wechselspannungen bzw. Phasen bereitgestellt werden, die mit der mindestens einen zweiten bzw. sekundären Wechselspannung moduliert werden. Hierbei ist vorgesehen, jede der ersten
5 Wechselspannungen mit jeweils einer phasenindividuell einzustellenden zweiten Wechselspannung zu modulieren. Alternativ hierzu werden sämtliche erste Wechselspannungen mit derselben zweiten Wechselspannung moduliert.

In Ausgestaltung wird eine jeweilige der mehreren zueinander phasenverschobenen
10 ersten Wechselspannungen durch einen Vollabgriff und/oder einen Teilabgriff von einem jeweiligen durch eine Kombination aus mehreren miteinander verschalteten Einzelmodulen gebildeten Strang in Bezug zu einem Referenzpunkt bereitgestellt und jeweils mit der mindestens einen zweiten Wechselspannung moduliert.

15 Dabei ist es möglich, dass eine jeweilige der mehreren ersten Wechselspannungen zwischen einem jeweiligen Phasenanschluss des Multilevelkonverters für einen Verbraucher des ersten Teilnetzes und dem Referenzpunkt des Multilevelkonverters mit der mindestens einen zweiten Wechselspannung moduliert wird.

20 In Ausgestaltung wird die mindestens eine erste Wechselspannung bzw. Phase mit der mindestens einen zweiten Wechselspannung moduliert und somit angeregt. Die hierbei durchgeführte Modulation wird relativ zu dem Referenzpunkt des Multilevelkonverters, bspw. zwischen einem jeweiligen Anschluss des Multilevelkonverters und dem Referenzpunkt, moduliert, wobei ein jeweiliger Anschluss für die mindestens eine erste
25 Wechselspannung bzw. Phase vorgesehen ist. Falls mit dem Multilevelkonverter mehrere erste Wechselspannungen und somit Phasen erzeugt werden, kann die jeweilige Modulation mit der mindestens einen zweiten Wechselspannung kompensiert werden.

In Ausgestaltung wird eine jeweilige resultierende Wechselspannung der mehreren
30 resultierenden Wechselspannungen einem jeweiligen Transformator von entsprechend

mehreren Transformatoren bereitgestellt, der die jeweilige resultierende Wechselspannung in eine jeweilige ausgehende Wechselspannung transformiert.

Dabei wird eine jeweilige ausgehende Wechselspannung der entsprechend mehreren
5 ausgehenden Wechselspannungen über einen jeweiligen Gleichrichter von entsprechend mehreren Gleichrichtern in eine jeweilige ausgehende Gleichspannung überführt, wobei die jeweiligen ausgehenden Gleichspannungen durch eine Verschaltung der mehreren Gleichrichter untereinander in eine Gesamtspannung überführt werden.

10 Der mehrere Einzelmodule mit Energiespeichern umfassende Multilevelkonverter ist ebenfalls als Energiespeicher bzw. Energiequelle ausgebildet, mit dem Verbrauchern der Teilnetze Wechselspannungen mit unterschiedlichen Frequenzen bereitgestellt werden. Hierbei werden Verbrauchern des ersten Teilnetzes Wechselspannungen mit jeweils bedarfsgerecht angepassten Amplituden und Frequenzen bereitgestellt.

15

Weiterhin wird Verbrauchern des zweiten Teilnetzes über den mindestens einen Transformator abhängig von der mindestens einen resultierenden Wechselspannung die mindestens eine ausgehende Wechselspannung bereitgestellt, wobei deren Frequenz sowie Amplitude von der Frequenz und Amplitude der mindestens einen resultierenden
20 Wechselspannung sowie von einem Verhältnis der beiden Windungszahlen des mindestens einen Transformators abhängig ist.

Außerdem weist der Multilevelkonverter mehrere verteilte Einzelmodule auf, wobei von einem Energiespeicher eines jeweiligen Einzelmoduls eine Gleichspannung oder eine
25 Wechselspannung bereitgestellt wird, wobei für den Fall, dass von einem jeweiligen Energiespeicher eine Gleichspannung bereitgestellt wird, diese Gleichspannung von dem Multilevelkonverter in eine Wechselspannung gewandelt wird.

Der erfindungsgemäße Multilevelkonverter bzw. mehrstufige Konverter, der auch als
30 Multilevelumrichter zu bezeichnen ist, ist in einem elektrischen Netz anzuordnen, das ein

erstes Teilnetz und ein zweites Teilnetz umfasst, die über mindestens einen Transformator miteinander zu verbinden und durch diesen voneinander galvanisch zu trennen sind, wobei eine Primärseite des mindestens einen Transformators mit einer ersten Windungszahl dem ersten Teilnetz und eine Sekundärseite des mindestens einen Transformators mit einer zweiten Windungszahl dem zweiten Teilnetz zuzuordnen ist. Der Multilevelkonverter ist in dem ersten Teilnetz anzuordnen und weist eine Mehrzahl an Einzelmodulen auf, wobei jedes Einzelmodul einen elektrischen Energiespeicher aufweist. Der Multilevelkonverter ist dazu ausgebildet, mindestens eine erste elektrische Wechselspannung bereitzustellen und/oder zu erzeugen und mit mindestens einer zweiten elektrischen Wechselspannung zu modulieren, wobei dem mindestens einen Transformator von dem Multilevelkonverter entsprechend mindestens eine resultierende elektrische Wechselspannung bereitzustellen ist, die von dem mindestens einen Transformator auf entsprechend mindestens eine ausgehende elektrische Wechselspannung zu transformieren und dem zweiten Teilnetz bereitzustellen ist.

15

Dem Multilevelkonverter ist eine Kontrolleinheit zugeordnet, die dazu ausgebildet ist, Werte von mindestens einem physikalischen Parameter, bspw. einer Amplitude und/oder einer Frequenz, der mindestens einen ersten Wechselspannung und/oder der mindestens einen zweiten Wechselspannung einzustellen. Je nach Definition ist diese Kontrolleinheit als Komponente des Multilevelkonverters ausgebildet.

20

Weiterhin sind mindestens zwei Einzelmodule des Multilevelkonverters, in der Regel sämtliche Einzelmodule, gleich ausgebildet.

Der Multilevelkonverter ist dazu ausgebildet, die mindestens eine erste Wechselspannung aus einer Einzelspannung von einer Energiequelle bzw. einem Energiespeicher mindestens eines Einzelmoduls zu erzeugen bzw. bereitzustellen, wobei mehrere erste Wechselspannungen einander überlagert und/oder zueinander zeitlich phasenverschoben werden.

30

Außerdem ist der Multilevelkonverter dazu ausgebildet, mindestens zwei Einzelmodule in Reihe und/oder zueinander parallel zu schalten, und die mindestens eine erste Wechselspannung aus einer Kombination von Einzelspannungen der mindestens zwei miteinander zu kombinierenden Einzelmodule bereitzustellen. Hierbei werden einzelne
5 Einzelmodule je nach Bedarf eingeschaltet oder ausgeschaltet.

Der Multilevelkonverter weist mehrere, bspw. drei Stränge auf, wobei jeder Strang eine Kombination aus mehreren miteinander verschalteten, üblicherweise gleich ausgebildeten Einzelmodulen aufweist, wobei mit jedem Strang jeweils eine erste Wechselspannung und
10 somit Phase zu erzeugen ist. Der Wert der Amplitude der jeweiligen ersten Wechselspannung wird abhängig davon, welches Einzelmodul eines jeweiligen Stranges ein- oder ausgeschaltet ist und wie mehrere eingeschaltete Einzelmodule des Strangs zueinander in Reihe und/oder parallel geschaltet werden, eingestellt.

15 In Ausgestaltung ist der Multilevelkonverter dazu ausgebildet, durch die mehreren Stränge mehrere zueinander phasenverschobene erste Wechselspannungen bereitzustellen und jeweils mit der mindestens einen zweiten Wechselspannung zu entsprechend mehreren resultierenden Wechselspannungen zu modulieren.

20 Dabei kann der Multilevelkonverter ferner dazu ausgebildet sein, eine jeweilige Wechselspannung der mehreren ersten Wechselspannungen zwischen einem jeweiligen Phasenanschluss des Multilevelkonverters für einen Verbraucher des ersten Teilnetzes und einem Referenzpunkt des Multilevelkonverters mit der mindestens einen zweiten Wechselspannung zu modulieren.

25

Dabei entspricht der Referenzpunkt einem Sternpunkt des Multilevelkonverters.

Darüber hinaus ist der Multilevelkonverter in weiterer Ausgestaltung dazu ausgebildet, eine jeweilige resultierende Wechselspannung der mehreren resultierenden
30 Wechselspannungen einem jeweiligen Transformator von entsprechend mehreren

Transformatoren bereitzustellen, der die jeweilige resultierende Wechselspannung in eine jeweilige ausgehende Wechselspannung transformiert.

Dem Multilevelkonverter ist mindestens eine zusätzliche Energiequelle bzw. mindestens
5 ein zusätzlicher Energiespeicher zugeordnet, die bzw. der dazu ausgebildet ist, die
mindestens eine zweite Wechselspannung bereitzustellen.

Die Energiespeicher der Einzelmodule sind in der Regel als Gleichspannungsquellen
ausgebildet. Der Multilevelkonverter weist mindestens einen Wandler auf, der dazu
10 ausgebildet ist, eine als Gleichspannung ausgebildete Einzelspannung eines
Energiespeichers mindestens eines Einzelmoduls in eine Wechselspannung umzuwandeln
und daraus die mindestens eine erste Wechselspannung bereitzustellen.

Üblicherweise wird auf die mindestens eine erste niederfrequente Wechselspannung die
15 mindestens eine zweite hochfrequente Wechselspannung moduliert.

Weiterhin wird die Primärseite des mindestens einen Transformators durch den
Multilevelkonverter, d. h. durch die von dem Multilevelkonverter bereitgestellte
mindestens eine resultierende Wechselspannung, angeregt.

20

Der mindestens eine Transformator weist eine Hochpasscharakteristik auf, wobei durch
den mindestens einen Transformator aus der resultierenden Wechselspannung nur Anteile
berücksichtigt und auf die mindestens eine ausgehende Wechselspannung transformiert
werden, die mindestens so groß wie eine Grenzfrequenz sind.

25

Ferner kann mindestens ein Kondensator elektrisch in Serie mit der Primärseite des
mindestens einen Transformators verbunden werden, um zusammen mit der
lastabhängigen effektiven Impedanz der Primärseite des mindestens einen
Transformators, beeinflusst unter anderem von der Induktivität, dem Innenwiderstand und
30 der übertragenen Leistung des Transformators, eine Serienresonanz zu bilden. Die

Serienresonanz erlaubt aufgrund eines ausgeprägten Minimums der Impedanz der Kombination über der Speisefrequenz nahe der Resonanz des mindestens einen Transformators und des mindestens einen Kondensators maximale Leistungsübertragung bei einer eben dieser Frequenz, während die Impedanz für niedrigere und höhere

5 Frequenzen ansteigt und die übertragene Leistung entsprechend absinkt. Der sich aufgrund des mindestens einen Kondensators herausbildende Frequenzfilter kann erfindungsgemäß zweierlei ausgenutzt werden. Erstens kann die genannte Frequenz durch Wahl der Kapazität des mindestens einen Kondensators und der elektrischen Eigenschaften des mindestens einen Transformators, beispielsweise der Induktivität, so

10 gestaltet werden, dass beispielsweise die Impedanz für eine erste niederfrequente Wechselspannung deutlich höher als für eine zweite hochfrequente Wechselspannung ist. Vorzugsweise ist die Impedanz für die erste, niederfrequente Wechselspannung mindestens um einen Faktor 100, besonders vorzughaft mindestens um einen Faktor 10'000, größer als die Impedanz für die zweite, hochfrequente Wechselspannung.

15 Zweitens kann die Leistungsübertragung aus einer zweiten, hochfrequenten Wechselspannung über den mindestens einen Transformator durch effektive Änderungen der Frequenz der zweiten, hochfrequenten Wechselspannung gesteuert oder geregelt werden. Die Steuerung oder Regelung der Leistungsübertragung über die Frequenz kann beispielsweise zur mindestens eines Spannungswertes und/oder mindestens eines

20 Stromwertes auf einer Sekundärseite des mindestens einen Transformators genutzt werden. Die Steuerung und oder Regelung kann neben der Frequenz der zweiten, hochfrequenten Wechselspannung die Amplitude der zweiten, hochfrequenten Wechselspannung als zweiten Freiheitsgrad einsetzen.

25 Das erfindungsgemäße Energieversorgungssystem umfasst ein elektrisches Netz, das ein erstes Teilnetz und ein zweites Teilnetz umfasst, die über mindestens einen Transformator miteinander verbunden und durch diesen voneinander galvanisch getrennt sind, wobei eine Primärseite des mindestens einen Transformators eine erste Windungszahl aufweist und dem ersten Teilnetz zugeordnet ist, und wobei eine

30 Sekundärseite des mindestens einen Transformators eine zweite Windungszahl aufweist

und dem zweiten Teilnetz zugeordnet ist. Das erste Teilnetz umfasst einen Multilevelkonverter mit einer Mehrzahl an Einzelmodulen, wobei jedes Einzelmodul einen elektrischen Energiespeicher aufweist. Der Multilevelkonverter ist dazu ausgebildet, mindestens eine erste elektrische Wechselspannung bereitzustellen und/oder zu
5 erzeugen und mit mindestens einer zweiten elektrischen Wechselspannung bzw. Eingangsspannung zu modulieren, wobei entsprechend mindestens eine resultierende Wechselspannung gebildet wird. Die mindestens eine daraus resultierende elektrische Wechselspannung ist dem mindestens einen Transformator bereitzustellen. Der
mindestens eine Transformator ist dazu ausgebildet, die mindestens eine resultierende
10 elektrische Wechselspannung auf entsprechend mindestens eine ausgehende elektrische Wechselspannung bzw. Ausgangsspannung zu transformieren und dem zweiten Teilnetz bereitzustellen.

In Ausgestaltung ist die erste Windungszahl einer Spule der Primärseite des mindestens
15 einen Transformators größer als die zweite Windungszahl einer Spule der Sekundärseite des mindestens einen Transformators. Alternativ ist es denkbar, dass die erste Windungszahl der Spule der Primärseite kleiner als die zweite Windungszahl der Spule der Sekundärseite ist.

20 Das Energieversorgungssystem ist bspw. in einem Kraftfahrzeug anzuordnen.

Weiterhin ist dem ersten Teilnetz in möglicher Ausgestaltung als Verbraucher eine elektrische Maschine zuzuordnen, die mehrere Phasen aufweist, wobei der Multilevelkonverter dazu ausgebildet ist, jeder Phase jeweils eine erste Wechselspannung
25 bereitzustellen. Die mehreren Phasen können beispielsweise jeweils mit einer ersten Wechselspannung versorgt werden, die gegeneinander einen Phasenversatz aufweisen.

Der vorgestellte erfindungsgemäße Multilevelkonverter ist in Ausgestaltung als Komponente des vorgestellten erfindungsgemäßen Energieversorgungssystems
30 ausgebildet, wobei mit dem Multilevelkonverter und/oder dem

Energieversorgungssystem Verbraucher des Netzes, d. h. mindestens ein Verbraucher des ersten Teilnetzes, der üblicherweise als elektrische Maschine ausgebildet ist, sowie mindestens ein Verbraucher des zweiten Teilnetzes mit elektrischer Energie zu versorgen sind. In Ausgestaltung ist hierbei vorgesehen, dass eine derartige elektrische Maschine
5 als elektrischer Motor betrieben wird, mit dem elektrische Energie in mechanische Energie umgewandelt wird. Alternativ oder ergänzend ist es auch möglich, dass diese elektrische Maschine je nach Anforderung als elektrischer Generator betrieben wird.

In Ausgestaltung umfasst das Energieversorgungssystem ferner mindestens einen
10 Gleichrichter, der dazu ausgebildet ist, die mindestens eine ausgehende elektrische Wechselspannung in entsprechend mindestens eine Gleichspannung zu überführen.

In weiterer Ausgestaltung ist das erfindungsgemäße Energieversorgungssystem dazu ausgebildet, mehrere erste Wechselspannungen bereitzustellen und diese mehreren
15 ersten Wechselspannungen jeweils mit mindestens einer zweiten Wechselspannung zu entsprechend mehreren resultierenden Wechselspannungen zu modulieren, wobei das Energieversorgungssystem entsprechend mehrere Transformatoren umfasst, wobei jeweils ein Transformator dazu ausgebildet ist, jeweils eine der mehreren resultierenden Wechselspannungen in jeweils eine ausgehende Wechselspannung zu transformieren, und
20 wobei das Energieversorgungssystem ferner entsprechend mehrere Gleichrichter umfasst, die den mehreren Transformatoren nachgeschaltet sind, wobei ein jeweiliger Gleichrichter dazu ausgebildet ist, eine jeweilige ausgehende Wechselspannung eines Transformators in eine jeweilige Gleichspannung zu überführen, wobei die mehreren Gleichrichter untereinander so verschaltet sind, dass darüber die jeweiligen
25 Gleichspannungen in eine Gesamtspannung überführbar sind. Die Verschaltung der Gleichrichter untereinander ist in Abhängigkeit der gewünschten Gesamtspannung einzustellen bzw. zu realisieren.

Falls das Energieversorgungssystem und das Netz für ein Kraftfahrzeug vorgesehen sind,
30 ist das Netz auch als Bordnetz des Kraftfahrzeugs ausgebildet und/oder zu bezeichnen.

Entsprechend sind die beiden Teilnetze als Teilbordnetze des Kraftfahrzeugs ausgebildet und/oder zu bezeichnen, die mit Spannungen zu betreiben sind, deren Amplituden bzw. maximale Werte unterschiedlich groß sind. In diesem Fall ist weiterhin vorgesehen, dass die elektrische Maschine als Verbraucher des ersten Teilnetzes, dessen Spannung eine Amplitude mit einem großen Wert aufweist, sofern sie als elektrischer Motor betrieben wird, zum Antreiben bzw. Fortbewegen des Kraftfahrzeugs ausgebildet ist. Falls die elektrische Maschine alternativ hierzu als elektrischer Generator betrieben wird, ist mit dieser mechanische Energie des Kraftfahrzeugs, bspw. bei einem Rekuperationsbetrieb, in elektrische Energie zu wandeln, wobei dabei bereitgestellte elektrische Energie in einem Energiespeicher des elektrischen Netzes zu speichern ist. Ein Verbraucher des zweiten Teilnetzes, dessen Spannung eine Amplitude mit einem geringen Wert aufweist, ist bspw. zur Durchführung einer Kontrollfunktion des Kraftfahrzeugs ausgebildet.

Das vorgestellte erfindungsgemäße Verfahren ist mit dem Multilevelkonverter und/oder dem Energieversorgungssystem durchzuführen, wobei das Verfahren mit dem Multilevelkonverter und/oder dem Energieversorgungssystem zu kontrollieren und somit zu steuern und/oder zu regeln ist.

In Ausgestaltung wird eine Anregung mindestens einer Primärseite und somit einer primären Spule bzw. Wicklung des mindestens einen Transformators durch den Multilevelkonverter erzeugt, der bspw. auch als Hochspannungs-Multilevelkonverter ausgebildet und/oder zu bezeichnen ist, falls das erste Teilnetz mit einer höheren Spannung als das mindestens eine zweite Teilnetz zu betreiben ist. Der Wert der Frequenz der mindestens einen ersten Wechselspannung, die von dem Multilevelkonverter bereitgestellt wird und mit der der Verbraucher des ersten Teilnetzes zu versorgen ist, ist in der Regel vergleichsweise niedrig und beträgt maximal zwei Kilohertz. Dagegen ist die Frequenz der mindestens einen zweiten Wechselspannung, die zur Modulation der mindestens einen ersten Wechselspannung verwendet wird, größer als der Wert der Frequenz der mindestens einen ersten Wechselspannung.

- Der Multilevelkonverter ist bspw. als modularer Multilevelkonverter (modular multilevel converter, MMC) oder MMSPC ausgebildet. Ein als MMSPC ausgebildeter Multilevelkonverter ist in der Druckschrift "Modular Multilevel Converter with Series and Parallel Module Connectivity: Topology and Control."(IEEE Transaction on Power
- 5 Electronics, vol. 30, no. 1, pp. 203 – 215, 2015, doi: 10.1109/TPEL.2014.2310225) von S. M. Goetz, A. V. Peterchev und T. Weyh, der Druckschrift "Sensorless scheduling of the modular multilevel series-parallel converter: enabling a flexible, efficient, modular battery" (IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), doi: 10.1109/APEC.2016.7468193) von S. M. Goetz, Z. Li, A. V. Peterchev, X. Liang, C.
- 10 Zhang und S. Lukic sowie der Druckschrift "Control of Modular Multilevel Converter with Parallel Connectivity—Application to Battery Systems" (IEEE Transactions on Power Electronics, doi: 10.1109/TPEL.2016.2645884) von S. M. Goetz, Z. Li, X. Liang, C. Zhang, S. Lukic und A. V. Peterchev beschrieben. Diverse als MMC ausgebildete Multilevelkonverter sind in der Druckschrift "Recent Advances and Industrial Applications
- 15 of Multilevel Converters" (IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no. 8, pp. 2553 – 2580, 2010, doi: 10.1109/TIE.2010.2049719) von S. Kouro, M. Malinowski, K. Gopakumar, J. Pou, L. G. Franquelo, B. Wu, J. Rodriguez, M. A. Perez und J. I. Leon detailliert dargestellt.
- 20 In der Regel weist die mindestens eine zu erzeugende erste Wechselspannung eine hohe Dynamik auf. Üblicherweise ist der Wert der Amplitude der mindestens einen ersten Wechselspannung um mehrere Größenordnungen größer als der Wert der Amplitude der mindestens einen zweiten Wechselspannung. Durch Kombination mehrerer erster Wechselspannungen, die von dem Multilevelkonverter überlagert werden, ist ein
- 25 sogenanntes Frequenzmultiplexing für die ersten Wechselspannungen möglich, wobei die derart miteinander kombinierten ersten Wechselspannungen zum Versorgen des Verbrauchers des ersten Teilnetzes ausgehend von dem Multilevelkonverter vorgesehen sind.

Eine Hochpasscharakteristik des mindestens einen Transformators ist durch Auswahl eines Werts einer Induktivität mindestens einer der beiden Spulen bzw. des Transformators einzustellen, wobei die Induktivität der jeweiligen Spule abhängig von ihrer Windungszahl ist.

5

Die Anregung des mindestens einen Transformators wird durch den Wert der Frequenz und/oder der Amplitude der entsprechend mindestens einen resultierenden Wechselspannung, die von dem Multilevelkonverter aus der Modulation bereitgestellt wird, eingestellt. Dabei wird zumindest die Amplitude und/oder Frequenz der ersten

10 Wechselspannungen an Erfordernisse des Verbrauchers des ersten Teilnetzes angepasst. Im Rahmen der von dem Multilevelkonverter durchzuführenden Modulation wird eine Art Amplitudenmodulation durchgeführt. Diese durchzuführende Modulation ist lediglich für eine erste Wechselspannung und somit eine erste Phase oder für mehrere erste Wechselspannungen und somit für mehrere Phasen durchführbar, wobei im
15 letztgenannten Fall eine Kompensation der Modulation möglich ist.

Die Sekundärseite des mindestens einen Transformators ist in Ausgestaltung mit mindestens einem Gleichrichter und somit ggf. einer Topologie aus mehreren Gleichrichtern verbunden, wobei an dem mindestens einen Gleichrichter wiederum
20 mindestens ein Verbraucher des zweiten Teilnetzes angeschlossen ist, wobei die von dem mindestens einen Transformator bereitgestellte mindestens eine ausgehende Wechselspannung von dem mindestens einen Gleichrichter in eine Gleichspannung umgewandelt wird. Der mindestens eine Gleichrichter ist üblicherweise aktiv oder passiv ausgebildet und weist in der Regel mindestens eine DC-Regelstufe auf, die bspw. als
25 Buck,- Boost-, oder Buck-Boost-Stufe ausgebildet ist. Die aus dem mindestens einen Gleichrichter gebildete Topologie ist zumindest einpulsig oder mehrpulsig, bspw. einpulsig bis zwölfpulsig ausgebildet. Zum aktiven Regeln des mindestens einen Gleichrichters ist bspw. ein als Feldeffekttransistor (FET) ausgebildeter Halbleiterbaustein zu verwenden. Zum passiven Regeln ist bspw. mindestens eine Diode zu verwenden.

Denkbar ist auch ein Gleichrichter mit Inverter, bspw. für eine Ausgabe von 100 V oder 240 V.

Bei einer möglichen Ausführungsform des Verfahrens, des Multilevelkonverters und/oder
5 des Energieversorgungssystems ist vorgesehen, dass das erste Teilnetz als
Hochspannungsversorgungsnetz (beispielsweise > 60 V, vorzugsweise >200 V) und das
zweite Teilnetz als Niederspannungsversorgungsnetz (beispielsweise < 60 V) ausgebildet
ist. Dabei weist das zweite Teilnetz in Ausgestaltung mindestens einen eigenen
Energiespeicher, bspw. einen Kondensator und/oder eine Batterie, auf. Ein
10 durchschnittlicher Leistungsbedarf des ersten Teilnetzes ist hierbei um ein Vielfaches,
bspw. einen Faktor fünf, höher als der durchschnittliche Leistungsbedarf des zweiten
Teilnetzes. Falls das Energieversorgungssystem und somit das elektrische Netz für ein
Kraftfahrzeug verwendet wird, beträgt der durchschnittliche Leistungsbedarf des zweiten
Teilnetzes mit einer durchschnittlichen Spannung von bspw. 12 V, 24 V, 48 V, 400 V
15 oder 800 V 1 bis 5 kW, wobei die Spannungsebenen von Energieversorgungssystemen in
Automobilen typischerweise einen Bereich von einigen Volt um die Nennspannung
erlauben, wie der technischen Normenliteratur (siehe LV 124, VDA 320 und LV 124)
entnommen werden kann. Dagegen beträgt der Leistungsbedarf des ersten Teilnetzes je
nach Ausgestaltung des anzutreibenden Kraftfahrzeugs für dessen Antrieb bspw. 20 kW
20 bis 400 kW.

Bei der mit dem Multilevelkonverter durchzuführenden Modulation wird über die
mindestens eine zweite Wechselfspannung zusätzliche Leistung in das erste Teilnetz
eingespeist und dabei in eine dynamische Leistungsregelung des ersten Teilnetzes
25 eingefügt. Damit eine aktuelle Leistung des ersten Teilnetzes, die sich aus einem
eigentlichen Soll-Strom- oder Soll-Spannungsverlauf auf Grundlage der mindestens einen
ersten Wechselfspannung ergibt, einem aktuellen Regelsoll folgt, entspricht diese lediglich
in einem zeitlichen Durchschnitt dem Leistungsbedarf des zweiten Teilnetzes und somit
dessen Verbrauchern und/oder Energiespeichern. Diese zwei Bedingungen aus einem
30 instantanen Leistungsbedarf des ersten Teilnetzes und einer durchschnittlichen Leistung

des zweiten Teilnetzes bestimmen zwei Freiheitsgrade aus einem Grad der durchzuführenden Modulation und einem Grad der Leistung eines Soll-Spannungs- oder Soll-Stromverlaufs.

- 5 In möglicher Ausgestaltung ist die Modulation zum Anregen des Transformators in dem ersten Teilnetz für den mindestens einen Verbraucher des ersten Teilnetzes, bspw. mindestens eine elektrische Maschine zum Antreiben des Kraftfahrzeugs, nicht sichtbar. Durch Eliminierung von hochfrequenten Komponenten der mindestens einen resultierenden Wechsellspannung in dem ersten Teilnetz wird eine elektrostatische
- 10 Belastung der Verbraucher des ersten Teilnetzes verringert. Dies betrifft bspw. eine Isolierung des als elektrische Maschine ausgebildeten mindestens einen Verbrauchers, durch den unter anderem dessen Lebensdauer definiert wird. In Ausgestaltung werden die Freiheitsgrade des Multilevelkonverters als physikalische Schaltung so genutzt, dass die Modulation relativ zu einem Referenzpunkt der physikalischen Schaltung bzw. des
- 15 Multilevelkonverters durchgeführt wird. Dabei entspricht dieser Referenzpunkt bspw. einem Sternpunkt des üblicherweise mehrphasigen Multilevelkonverters bzw. Multilevelumrichters. Die Modulation wird hierbei bspw. zwischen mindestens einem Anschluss einer Phase des Verbrauchers, bspw. der mehrphasigen elektrischen Maschine, und dem Referenzpunkt durchgeführt. Falls der Verbraucher mindestens einen
- 20 Sternpunkt, d. h. einen Sternpunkt oder mehrere Sternpunkte aufweist, was bspw. bei einer Dreiphasensternwicklung der elektrischen Maschine der Fall ist, ist diese nicht mit dem Referenzpunkt zu verbinden. Stattdessen wird die Modulation parallel an anderen Anschlüssen für Phasen des Verbrauchers durchgeführt, wobei die Modulation lediglich zwischen den Anschlüssen der Phasen und dem Referenzpunkt, jedoch nicht zwischen
- 25 Anschlüssen der Phasen des Verbrauchers vorliegt. Dabei wird der Referenzpunkt als Anschluss für den mindestens einen Transformator verwendet.

Mit dem vorgestellten Multilevelkonverter bzw. Multilevelumrichter ist mindestens eine resultierende Wechsellspannung bereitzustellen, die eine geringe Verzerrung aufweist,

30 wodurch Störungen anderer elektrischer Geräte vermieden werden. Innerhalb des ersten

Teilnetzes wird elektrische Energie, die von dem Multilevelkonverter bereitgestellt wird, von der elektrischen Maschine zum Antreiben des Kraftfahrzeugs verwendet. Dabei ist es möglich, die elektrische Maschine ausgehend von dem Multilevelkonverter spannungsgesteuert zu betreiben.

5

Der Multilevelkonverter ist bspw. als neutral-point-clamped-(NPC)-Converter, der an einem Sternpunkt einen Neutralleiter aufweist, als Flying Capacitor, als modularer Multilevelkonverter oder als MMSPC ausgebildet, mit dem mehrere Spannungen, bspw. Wechsel- oder Drehstromspannungen, die für mindestens eine elektrische Maschine zum Antreiben eines Kraftfahrzeugs zu erzeugen sind, bereitgestellt werden. Eine derartige zur Versorgung vorgesehene Spannung weist meist einen Wert im Hochvoltbereich größer 60 Volt, üblicherweise größer 200 Volt auf und wird in der Regel aus mehreren Energiespeichern, bspw. Hochvoltspeichern, gespeist. Mindestens ein Ausgang des Multilevelkonverters ist von dem mindestens einen Hochvoltspeicher galvanisch getrennt. Falls der Multilevelkonverter mehrere Ausgänge aufweist, sind diese ebenfalls voneinander galvanisch getrennt.

10
15

Über das erste Teilnetz, das den Multilevelkonverter aufweist, ist die elektrische Maschine mit Energie zu versorgen, wobei das erste Teilnetz als Hochspannungssystem ausgebildet und/oder zu bezeichnen ist. Dagegen ist das zweite Teilnetz als Niederspannungssystem ausgebildet und/oder zu bezeichnen, über das weitere Verbraucher, bspw. Beleuchtungseinrichtungen, Nebenaggregate, Kontroll- bzw. Steuermodule oder Kommunikationseinrichtungen des Kraftfahrzeugs mit elektrischer Energie zu versorgen sind. Das zweite Teilnetz weist bspw. eine Nennspannung von 12 V, 24 V, oder 48 V (mit den erlaubten Schwankungsbereichen aus der technischen Normungsliteratur, beispielsweise LV 124 und VDA 320) auf. Dagegen weist das erste Teilnetz wesentlich höhere Spannungen von bspw. 110 V, 240 V, 400 V oder 800 V auf.

20
25

Alle Teilnetze sind über den mindestens einen Transformator voneinander galvanisch getrennt, so dass ein eventueller Halbleiterschaden im ersten Teilnetz keine leitende Verbindung zu dem zweiten Teilnetz und damit bspw. eine lebensgefährliche Berührspannung

30

erzeugen kann. Der zum Bereitstellen der elektrischen Energie verwendete Multilevelkonverter weist ein geringes Gewicht auf und benötigt nur einen geringen Bauraum. Über den Multilevelkonverter kann mit mindestens einem Umrichter eine galvanisch trennende Wandlerfunktion umgesetzt werden. Der bspw. modulare Multilevelkonverter ist in Ausgestaltung als M2SPC (modularer Multilevel-Parallel-Seriell-Konverter) ausgebildet und umfasst Kondensatoren und/oder Batterien als mehrere Energiespeicher bzw. Komponenten der Einzelmodule des Multilevelkonverters.

Der mehrere Einzelmodule umfassende Multilevelkonverter wird als zentraler Energiespeicher des Energieversorgungssystems verwendet, wobei mit dem Multilevelkonverter innerhalb des ersten Teilnetzes eine hohe Spannung zu erzeugen ist. Ausgehend von dieser ersten hohen Spannung des Multilevelkonverters wird mit dem mindestens einen Transformator für das zweite Teilnetz eine hierzu vergleichsweise geringe Spannung bereitgestellt, wobei diese beiden Teilnetze über den mindestens einen Transformator zusätzlich galvanisch getrennt sind. Die von dem Multilevelkonverter bereitgestellte Spannung ist nur geringen Fluktuationen unterworfen. Mit dem Multilevelkonverter sind mehrere Batterien als Energiespeicher dynamisch rekonfigurierbar und somit auch für ein Kraftfahrzeug einzusetzen.

In Ausgestaltung wird mit dem üblicherweise modularen Multilevelkonverter aus mehreren Energiespeichern der Einzelmodule, die bspw. als Gleichspannungsquellen ausgebildet sind, die Wechselspannung für das erste Teilnetz, das den hohen Wert der Spannung aufweist, erzeugt. Statt einem ansonsten zu verwendenden Wandler wird bei dem vorgestellten Energieversorgungssystem das zweite Teilnetz über den mindestens einen Transformator mit dem ersten Teilnetz verbunden, wobei zwischen den beiden Teilnetzen ein Energieaustausch ermöglicht wird. Der mindestens eine Transformator wird mit der üblicherweise geringen zweiten eingehenden Wechselspannung, die auf die erste Wechselspannung moduliert wird, mit elektrischer Energie versorgt. Diese zweite Wechselspannung wird auf mindestens eine Phase, in der Regel alle Phasen, des Multilevelkonverters moduliert. Ein hierbei passend auszuwählender Referenzpunkt ermöglicht, dass die auf-

modulierte zweite Wechselspannung einen Betrieb der elektrischen Maschine nicht beeinflusst.

Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung
5 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
10 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.

15

Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung eine aus dem Stand der Technik bekannte elektrische Schaltung.

Figur 2 zeigt in schematischer Darstellung eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters und Diagramme zur Durchführung einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.
20

Figur 3a zeigt in schematischer Darstellung eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Energieversorgungssystems.

25

Figur 3b zeigt in schematischer Darstellung eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Energieversorgungssystems.

Figur 3c zeigt in schematischer Darstellung eine fünfte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Energieversorgungssystems.
30

Figur 4a zeigt in schematischer Darstellung eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Energieversorgungssystems.

- 5 Figur 4b zeigt in schematischer Darstellung eine vierte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Energieversorgungssystems.

Figur 4c zeigt in schematischer Darstellung eine sechste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Energieversorgungssystems.

10

Figur 5 zeigt in schematischer Darstellung die erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters und Diagramme zur Durchführung einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

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

Die in Figur 1a schematisch dargestellte Schaltung 2 umfasst eine Energiequelle 4 und eine Hochspannungslast 6, die beide über einen Inverter 8 verbunden sind, der dazu
20 ausgebildet ist, eine von der Energiequelle 4 erzeugte Gleichspannung in eine Wechselspannung zu wandeln und der Hochspannungslast 6 bereitzustellen.

Dabei ist es möglich, wie das Diagramm aus Figur 1b zeigt, durch eine Phasenschnittssteuerung eine variable Durchschnittsspannung zu erzeugen. Alternativ ist es
25 möglich, wie das Diagramm aus Figur 1c zeigt, durch eine Dreipunkt-Pulsweitenmodulation eine variable Durchschnittsspannung zu erzeugen.

Die in Figur 2a schematisch dargestellte erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters 10 umfasst einen ersten Strang 12 mit vier Einzelmodulen 14a, 14b,
30 14c, 14d, einen zweiten Strang 16 mit ebenfalls vier Einzelmodulen 18a, 18b, 18c, 18d

und einen dritten Strang 20 mit vier Einzelmodulen 22a, 22b, 22c, 22d. Dabei ist es möglich, jeden der genannten Stränge 12, 16, 20 auch als Arm des Multilevelkonverters 10 zu bezeichnen. Dieser hier modulare Multilevelkonverter ist bspw. als MMC, MMSPC oder Matroschka-Umrichter ausgebildet, der in der deutschen Patentanmeldung

5 DE 10 2015 112 513 beschrieben ist. Jedes der Einzelmodule 14a, 14b, 14c, 14d, 18a, 18b, 18c, 198, 22a, 22b, 22c, 22d umfasst mindestens einen Energiespeicher, bspw. einen Kondensator oder eine Batterie, weshalb der Multilevelkonverter 10 mehrere verteilte Energiespeicher aufweist. Mit Energiespeichern der Einzelmodule 14a, 14b, 14c, 14d des ersten Strangs ist hier einer ersten Phase einer elektrischen Maschine

10 Energie bereitzustellen. Einer zweiten Phase dieser elektrischen Maschine ist über die Einzelmodule 18a, 18b, 18c, 18d des zweiten Strangs 16 elektrische Energie bereitzustellen. Außerdem ist mit den Einzelmodulen 22a, 22b, 22c, 22d, des dritten Strangs 20 einer dritten Phase der elektrischen Maschine Energie bereitzustellen.

15 Die Figuren 2b, 2c, 2d umfassen jeweils ein Diagramm mit einer Abszisse 24, entlang der die Zeit aufgetragen ist, und einer Ordinate 26, entlang der Werte einer elektrischen Spannung aufgetragen sind. Dabei zeigt das erste Diagramm aus Figur 2b einen Verlauf 28 einer ersten Wechselspannung, die von einem Verbraucher bzw. einer Last, hier der elektrischen Maschine benötigt wird. Hierbei ist vorgesehen, dass diese Maschine inner-

20 halb eines ersten nicht weiter dargestellten Teilnetzes direkt mit dem Multilevelkonverter 10 zu verbinden ist. Ein weiterer Verbraucher, der eine Wechselspannung mit einem geringeren Wert als der erste Verbraucher in dem ersten Teilnetz benötigt, ist in einem nicht weiter dargestellten zweiten Teilnetz angeordnet, das über mindestens einen galvanisch trennenden Transformator mit dem ersten Teilnetz zu verbinden ist.

25

Ein Verlauf 30 der zweiten Wechselspannung ist in dem zweiten Diagramm aus Figur 2c gezeigt, wobei ein Vergleich der Diagramme aus den Figuren 2b und 2c zeigt, dass die erste Wechselspannung eine höhere Amplitude als die zweite Wechselspannung aufweist. Dagegen weist die Frequenz der zweiten Wechselspannung eine höhere Frequenz als die

30 erste Wechselspannung auf. Bei Durchführung einer Ausführungsform des erfindungsge-

mäßen Verfahrens wird die in dem Diagramm aus Figur 2c gezeigte zweite Wechselspannung mit dem Verlauf 30 auf die erste Wechselspannung mit dem Verlauf 28 aus Figur 2b addiert, wobei eine resultierende Spannung mit einem Verlauf 32, wie in Figur 2d dargestellt, erzeugt wird, die als Summenspannung bei einer Modulation der ersten Wechselspannung mit der zweiten Wechselspannung entsteht und zur Anregung der Primärseite des Transformators verwendet wird.

Die in Figur 3a schematisch dargestellte erste Ausführungsform des Energieversorgungssystems 40 umfasst ein erstes Teilnetz 42 und ein zweites Teilnetz 44. Das erste Teilnetz 42 umfasst eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters 46, der wiederum drei zueinander parallel geschaltete Stränge 47, 49, 51 bzw. Arme aufweist, wobei ein erster derartiger Strang 47 ein erstes Einzelmodul 48a, ein zweites Einzelmodul 48b, ein drittes Einzelmodul 48c und ein viertes Einzelmodul 48d aufweist. Ein zweiter Strang 49 des Multilevelkonverters 46 weist ein erstes Einzelmodul 50a, ein zweites Einzelmodul 50b, ein drittes Einzelmodul 50c und ein viertes Einzelmodul 50d auf. Außerdem umfasst der Multilevelkonverter 46 einen dritten Strang 51 mit einem ersten Einzelmodul 52a, einem zweiten Einzelmodul 52b, einem dritten Einzelmodul 52c und einem vierten Einzelmodul 52d. Hierbei weisen sämtliche Einzelmodule 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d jeweils einen als Batterie oder als Kondensator ausgebildeten Energiespeicher auf.

Weiterhin umfasst der Multilevelkonverter 46 eine Kontrolleinheit 54 und einen weiteren Energiespeicher 56. Jeweils ein Strang 47, 49, 51 des Multilevelkonverters 42 ist einer Phase von insgesamt drei Phasen U, V, W eines elektrischen Verbrauchers 58 zugeordnet, der hier als elektrische Maschine ausgebildet ist.

Beim Betrieb des Multilevelkonverters 46 wird ein Wert einer Amplitude einer ersten Wechselspannung, die einer jeweiligen Phase U, V, W des Verbrauchers 58 bereitzustellen ist, über die Kontrolleinheit 54 eingestellt. Dabei ist einer ersten Phase U der erste Strang 47 mit den Einzelmodulen 48a, 48b, 48c, 48d zugeordnet. Einer zweiten Phase V

des Verbrauchers 58 ist der zweite Strang 49 mit den Einzelmodulen 50a, 50b, 50c, 50d zugeordnet. Außerdem ist der dritten Phase W des Verbrauchers 58 der dritte Strang 51 mit den Einzelmodulen 52a, 52b, 52c, 52d zugeordnet.

- 5 Sämtliche Einzelmodule 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d sind gleichartig ausgebildet und weisen jeweils einen gleichartigen Energiespeicher auf. Je nachdem, welchen Wert die Amplitude der Wechselspannung aufweisen soll, die einer jeweiligen Phase U, V, W bereitzustellen ist, wird bzw. werden von der Kontrolleinheit 54 innerhalb eines jeweiligen Strangs 47, 49, 51 mindestens ein Einzelmodul 48a, 48b, 10 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d, in der Regel mehrere Einzelmodule 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d aktiviert, wobei je nach dem Wert der bereitzustellenden Amplitude der Wechselspannung bspw. mindestens zwei Einzelmodule 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d innerhalb eines jeweiligen Strangs 47, 49, 51 zueinander in Reihe und/oder parallel geschaltet 15 werden.

Hier ist vorgesehen, dass das erste Teilnetz 42 mit einer Spannung betrieben wird, die höher als eine zweite Spannung des zweiten Teilnetzes 44 ist. Beide Teilnetze 42, 44 sind hier über einen galvanisch trennenden Transformator 60 miteinander verbunden, 20 wobei die Primärseite des Transformators 60 dem ersten Teilnetz 42 und eine Sekundärseite des Transformators 60 dem zweiten Teilnetz 44 zugeordnet sind. Außerdem ist dem Transformator 60 innerhalb des zweiten Teilnetzes 44 ein Gleichrichter 62 nachgeschaltet, an dem ein Energiespeicher 64 angeschlossen ist.

- 25 Weiterhin ist für den Multilevelkonverter 46 ein Referenzpunkt 66 definiert, der sich hier auf einem minimalen Potential des Multilevelkonverters 46 befindet. Die Primärseite des Transformators 60 ist hier einerseits mit dem Referenzpunkt 66 verbunden. Außerdem ist die Primärseite weiterhin mit einem Anschlusspunkt verbunden, der den dritten Strang 51 des Multilevelkonverters 46 mit der dritten Phase W des Verbrauchers 58 verbindet.

Bei Durchführung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird mit den Einzelmodulen 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d, des jeweiligen Strangs 47, 49, 51 ein drei-Phasen System bereitgestellt.

- 5 Hierbei ist der erste Strang 47 einer ersten Phase U, der zweite Strang 49 einer zweiten Phase V und der dritte Strang 51 einer dritten Phase W des Verbrauchers 58 zugeordnet. Bei dem Verfahren wird ein Potential des Referenzpunkts 66 nicht eindeutig festgelegt, sondern als virtueller Sternpunkt auf eine Mittelpunktspannung der drei Phasen U, V, W eingeregelt.

10

In einer Ausführungsform des Verfahrens wird auf eine erste Wechselspannung zwischen der dritten Phase W und dem Referenzpunkt 66 eine zweite Wechselspannung als hochfrequente Oberwelle moduliert, die als Eingang für den Transformator 60 zur galvanischen Trennung dient, zugleich jedoch für den Verbraucher 58 nicht sichtbar ist. Dies

- 15 wird bspw. dann erreicht, wenn Spannungen V_{w-r} , V_{u-r} und V_{v-r} zwischen jeweils einer Phase U, V, W und dem Referenzpunkt 66 identisch sind, wobei für Differenzen von Spannungen zwischen jeweils zwei Phasen U, V, W gilt: $V_{u-v} = V_{u-r} - V_{v-r}$, $V_{u-w} = V_{u-r} - V_{w-r}$ und $V_{u-w} = V_{u-r} - V_{w-r}$.

- 20 Mit dem Multilevelkonverter 46, der hier als Dreiphasen-MMSPC ausgebildet ist, wird über den Transformator 60 eine integrierte galvanisch getrennte Versorgung von Verbrauchern des zweiten Teilnetzes 44 ermöglicht.

- Die in Figur 3b schematisch dargestellte zweite Ausführungsform des erfindungsgemä-
- 25 Ben Energieversorgungssystems umfasst ein erstes Teilnetz 42 und ein zweites Teilnetz 44a. Das erste Teilnetz 42 umfasst einen Multilevelkonverter 46, der weitgehend baugleich zu dem Multilevelkonverter 46 aus Figur 3a ausgebildet ist. Beide Teilnetze 42, 44a sind hier über zwei galvanisch trennende Transformatoren 60a, 60b miteinander verbunden. Dabei ist die Primärseite des Transformators 60a dem ersten Teilnetz 42 und
- 30 die Sekundärseite des Transformators 60a dem zweiten Teilnetz 44a zugeordnet. Die

Primärseite des Transformators 60b ist ebenfalls dem ersten Teilnetz 42 und die Sekundärseite des Transformators 60b ist entsprechend ebenfalls dem zweiten Teilnetz 44a zugeordnet. Außerdem ist dem Transformator 60a innerhalb des zweiten Teilnetz 44a ein Gleichrichter 62a nachgeschaltet. Dem Transformator 60b ist innerhalb des zweiten Teilnetzes 44a ein Gleichrichter 62b nachgeschaltet. Die Gleichrichter 62a, 62b sind hier parallel zueinander geschaltet und an einen Energiespeicher 64 angeschlossen. Alternativ dazu ist es auch denkbar, dass die Gleichrichter 62a, 62b in Reihe zueinander geschaltet sind. Eine Schaltung in Reihe wird vorzugsweise zur Erzeugung von Spannungen des zweiten Teilnetzes 44a im Hochvoltbereich ($> 60 \text{ V}$) eingesetzt. Die Verschaltung der Gleichrichter 62a, 62b untereinander wird in Abhängigkeit davon vorgesehen, welche Gleichspannung dem Energiespeicher 64 bereitgestellt werden soll bzw. welcher Energiebedarf bei einem oder mehreren hier nicht dargestellten Verbrauchern im zweiten Teilnetzes besteht.

Weiterhin ist, wie auch in Figur 3a dargestellt, für den Multilevelkonverter ein Referenzpunkt 66, hier ein Sternpunkt, definiert. Die Primärseite des Transformators 60a ist hier einerseits mit dem Referenzpunkt 66 und andererseits mit einem Phasenanschluss des Verbrauchers 58, d. h. mit einem Anschlusspunkt verbunden, der den zweiten Strang 49 des Multilevelkonverters 46 mit der zweiten Phase V des Verbrauchers 58 verbindet. Die Primärseite des Transformators 60b ist hier einerseits mit dem Referenzpunkt 66 und andererseits mit einem Anschlusspunkt bzw. einem Phasenanschluss verbunden, der den dritten Strang 51 des Multilevelkonverters 46 mit der dritten Phase W des Verbrauchers 58 verbindet.

Demnach wird einerseits von dem zweiten Strang 49 zwischen dem der Phase V zuzuordnenden Phasenanschluss des Verbrauchers 58 und dem Referenzpunkt 66 eine erste primäre Wechselspannung abgegriffen, mit einer ersten sekundären Wechselspannung moduliert und als erste resultierende Wechselspannung dem Transformator 60a bzw. der Primärseite des Transformators 60a bereitgestellt. Ferner wird von dem dritten Strang 51 zwischen dem der Phase W zuzuordnenden Phasenanschluss des Verbrauchers 58

und dem Referenzpunkt 66 eine zweite primäre Wechselspannung abgegriffen, mit einer zweiten sekundären Wechselspannung moduliert und als zweite resultierende Wechselspannung dem Transformator 60b bzw. dessen Primärseite bereitgestellt. Die erste sekundäre Wechselspannung und die zweite sekundäre Wechselspannung sind in der Regel

5 identisch, d. h. die jeweiligen von den Strängen 49 und 51 bereitgestellten primären Wechselspannungen werden in gleicher Weise, d. h. mit einem gleichen in der Regel hochfrequenten Signal moduliert. Die erste resultierende Wechselspannung wird von dem Transformator 60a in eine erste ausgehende Wechselspannung transformiert und durch den Gleichrichter 62a in eine erste Gleichspannung überführt. Die zweite resultierende

10 Wechselspannung wird von dem Transformator 60b in eine zweite ausgehende Wechselspannung transformiert und durch den Gleichrichter 62b in eine zweite Gleichspannung überführt. Durch die Verschaltung der Gleichrichter 62a und 62b werden die erste Gleichspannung und die zweite Gleichspannung dem Energiespeicher 64 bereitgestellt. Durch den Multilevelkonverter 46 und die durch ihn bereitgestellten Wechselspannungen

15 V_{u-v} , V_{u-w} und V_{v-w} wird ein 3-Phasensystem realisiert. Hierdurch ist das Potential des Referenzpunktes 66 nicht eindeutig festgelegt, sondern wird in der Regel lediglich willkürlich als virtueller Sternpunkt auf die Mittelpunktspannung der (hier) drei Phasenspannungen, d. h. der drei von den jeweiligen Strängen 47, 49 und 51 bereitgestellten Wechselspannungen eingeregelt. Dieser Freiheitsgrad wird nunmehr dazu genutzt, eine jeweilige Modula-

20 tion der über die beiden Stränge 49 und 51 den Phasen V und W des Verbrauchers 58 bereitgestellten ersten Wechselspannungen mit einem gleichen in der Regel hochfrequenten Signal, d. h. einer zweiten Wechselspannung durchzuführen und dabei zumindest eine teilweise Kompensation der Modulation zu realisieren, so dass das hochfrequente Signal bzw. die zweite Wechselspannung für den Verbraucher 58 im Wesentlichen nicht sichtbar

25 ist. Entsprechend kann durch näherungsweise gleiche hochfrequente Signale aufgrund der Differenzbildung der beiden hochfrequenten Signale aufgrund der Wahl der Anschlusspunkte des Verbrauchers 58 eine weitgehende Auslöschung des hochfrequenten Signales an den Anschlusspunkten des Verbrauchers 58 erreicht werden.

In Figur 3c wird eine weitere Ausführungsform schematisch dargestellt. Mindestens ein

30 Kondensator 75 bildet eine Serienresonanz mit dem Transformator 60, indem er zu letz-

terem elektrisch in Reihe geschaltet wird. Die Wahl der elektrischen Eigenschaften des mindestens einen Kondensators 75 und des Transformators 60 kann so erfolgen, dass die Resonanzfrequenz der Frequenz des hochfrequenten Signals entspricht und somit die Kombination aus dem mindestens einen Kondensator 75 und dem Transformator 60 bei
5 der Frequenz des hochfrequenten Signales eine niedrige elektrische Impedanz aufweist, bei den Frequenzen der Signale des Verbrauchers 58 jedoch eine hohe elektrische Impedanz, vorzugsweise mindestens um den Faktor 100 höhere elektrische Impedanz aufweist. Bei den zu wählenden elektrischen Eigenschaften handelt es sich vorzugsweise um die Induktivität des Transformators 60 und die Kapazität des mindestens einen Kondensators 75.
10

Die in Figur 4a schematisch dargestellte dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Energieversorgungssystems 70 umfasst ein erstes Teilnetz 72 und ein zweites Teilnetz 74. Das erste Teilnetz 72 umfasst eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen
15 Multilevelkonverters 76. Hierbei ist vorgesehen, dass die dritte Ausführungsform des Multilevelkonverters 76 weitgehend baugleich zu der zweiten Ausführungsform des Multilevelkonverters 46 ausgebildet ist. Außerdem umfassen die beiden Teilnetze 72, 74 der zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Energieversorgungssystems 70 dieselben Komponenten wie die erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Energiever-
20 sorgungssystems 40 aus Figur 3.

Auch hier wird die maximale Amplitude mit dem ersten Wert für eine jeweilige Phase U, V, W des Verbrauchers 58 durch eine Reihen- und/oder Parallelschaltung der Einzelmodule 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d eines jeweiligen Strangs
25 47, 49, 51 bereitgestellt. Weiterhin wird auf diese mindestens eine erste bzw. primäre Wechselspannung eine zweite bzw. sekundäre Wechselspannung moduliert, deren Amplitude einen geringeren zweiten Wert aufweist. Allerdings weist diese zweite Wechselspannung eine höhere Frequenz als die erste Wechselspannung auf.

Die dritte Ausführungsform des Energieversorgungssystems 70 unterscheidet sich dadurch von der ersten Ausführungsform und zweiten Ausführungsform aus Figur 3, dass die Primärseite des Transformators 60 zwischen den beiden Teilnetzen 72, 74 mit dem Referenzpunkt 66 sowie mit einem Anschluss zwischen einem dritten Einzelmodul 52c
5 und einem vierten Einzelmodul 52d des dritten Strangs 51 des Multilevelkonverters 46 verbunden ist. Das bedeutet, dass hier nur von einem Teil des Strangs 51 eine erste Wechselspannung abgegriffen wird, auf die eine zweite Wechselspannung aufmoduliert wird. Das heißt, es erfolgt hier ein Teilabgriff des Strangs 51.

10 Die dritte und vierte Ausführungsform besitzen den Vorteil, dass aufmodulierte Wechselspannungen nur mit einem Teil des jeweiligen Strangs 51, 49 erzeugt wird. Dies erlaubt optional, die verbleibenden, nicht an der Erzeugung von aufmodulierten Wechselspannungen beteiligten Module 52d, 50d des jeweiligen Stranges so anzusteuern, dass deren Spannungen das jeweils Inverse der aufmodulierten Wechselspannungen erzeugen. An
15 der Erzeugung von aufmodulierten Wechselspannungen können jene Module eines Strangs beteiligt sein, die in dem Teil des Stranges elektrisch zwischen den mindestens zwei Anschlusspunkten eines Transformators 60, 60a, 60b liegen. In diesem beschriebenen Steuerungsfall sind zwischen den Enden der jeweiligen Stränge 51, 49 die aufmodulierten Wechselspannungen nicht oder nur in sehr geringer Amplitude messbar. Folglich
20 sind jegliche derart aufmodulierte Spannungen auch gegenüber der Last 58 eliminiert.

Das in Figur 4b schematisch dargestellte Energieversorgungssystem umfasst ein erstes Teilnetz 72 und ein zweites Teilnetz 74a. Das erste Teilnetz 72 umfasst einen Multilevelkonverters 76, der weitgehend baugleich zu dem Multilevelkonverters 76 aus Figur 4a
25 ausgebildet ist. Beide Teilnetze 42, 44a sind hier über zwei galvanisch trennende Transformatoren 60a, 60b miteinander verbunden. Dabei ist die Primärseite des Transformators 60a dem ersten Teilnetz 42 und die Sekundärseite des Transformators 60a dem zweiten Teilnetz 74a zugeordnet. Die Primärseite des Transformators 60b ist ebenfalls dem ersten Teilnetz 42 und die Sekundärseite des Transformators 60b ist entsprechend
30 ebenfalls dem zweiten Teilnetz 74a zugeordnet. Außerdem ist dem Transformator 60a

- innerhalb des zweiten Teilnetz 74a ein Gleichrichter 62a nachgeschaltet. Dem Transformator 60b ist innerhalb des zweiten Teilnetzes 74a ein Gleichrichter 62b nachgeschaltet. Die Gleichrichter 62a, 62b sind hier parallel zueinander geschaltet und an einen Energiespeicher 64 angeschlossen. Alternativ dazu ist es auch denkbar, dass die Gleichrichter
- 5 62a, 62b in Reihe zueinander geschaltet sind. Die Verschaltung der Gleichrichter 62a, 62b untereinander wird in Abhängigkeit davon vorgesehen, welche Gleichspannung dem Energiespeicher 64 bereitgestellt werden soll bzw. welcher Energiebedarf bei einem oder mehreren hier nicht dargestellten Verbrauchern im zweiten Teilnetz besteht.
- 10 Weiterhin ist, wie auch in Figur 4a dargestellt, für den Multilevelkonverter ein Referenzpunkt 66, hier ein Sternpunkt, definiert. Die Primärseite des Transformators 60a ist hier einerseits mit dem Referenzpunkt 66 und andererseits mit einem Anschlusspunkt verbunden, der zwischen dem Einzelmodul 52b und dem Einzelmodul 52c liegt. Demnach erfolgt hier nur ein Teilabgriff des Strangs 51. Die Primärseite des Transformators 60b ist
- 15 einerseits ebenfalls mit dem Referenzpunkt 66 und andererseits mit einem Anschlusspunkt verbunden, der zwischen dem Einzelmodul 50c und dem Einzelmodul 50d liegt, so dass auch hier nur ein Teilabgriff des Strangs 49 erfolgt.

Demnach wird einerseits von dem dritten Strang 51 über einen Teilabgriff eine erste primäre Wechselspannung abgegriffen, mit einer ersten sekundären Wechselspannung moduliert und als erste resultierende Wechselspannung dem Transformator 60a bzw. der Primärseite des Transformators 60a bereitgestellt. Ferner wird von dem zweiten Strang 49 über einen Teilabgriff eine zweite primäre Wechselspannung abgegriffen, mit einer zweiten sekundären Wechselspannung moduliert und als zweite resultierende Wechselspannung dem Transformator 60b bzw. der Primärseite des Transformators 60b bereitgestellt. Die erste sekundäre Wechselspannung und die zweite sekundäre Wechselspannung sind in der Regel identisch, d. h. die jeweiligen von den Strängen 49 und 51 abgegriffenen primären Wechselspannungen werden in gleicher Weise, d. h. mit einem gleichen in der Regel hochfrequenten Signal moduliert. Die erste resultierende Wechselspannung wird von dem Transformator 60a in eine erste ausgehende Wechselspannung trans-

20

25

30

formiert und durch den Gleichrichter 62a in eine erste Gleichspannung überführt. Die zweite resultierende Wechselspannung wird von dem Transformator 60b in eine zweite ausgehende Wechselspannung transformiert und durch den Gleichrichter 62b in eine zweite Gleichspannung überführt. Durch die hier parallele Verschaltung der Gleichrichter
5 62a und 62b werden die erste Gleichspannung und die zweite Gleichspannung dem Energiespeicher 64 bereitgestellt.

Ähnlich wie in Figur 3b beschrieben, kann durch eine geeignete jeweilige Modulation der über die beiden Teilabgriffe der Stränge 49 und 51 bereitgestellten ersten Wechselspannungen mit einem gleichen in der Regel hochfrequenten Signal, d. h. einer zweiten Wechselspannung, zumindest eine teilweise Kompensation der Modulation realisiert werden, so dass das hochfrequente Signal bzw. die zweite Wechselspannung für den Verbraucher 58 im Wesentlichen nicht sichtbar ist.

15 In Figur 4c wird gemäß dem Prinzip von Figur 3c mindestens einem der Transformatoren 60a, 60b mindestens ein Kondensator 75a, 75b elektrisch in Reihe geschaltet.

Figur 5a zeigt die aus Figur 2a bekannte erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters 10.

20

Dabei ist in Figur 5a weiterhin ein horizontaler Pfeil 13 gezeigt, entlang dem sich eine Phasen-Phasen-Spannung des Multilevelkonverters 10 ergibt, die hier einem Spannungsunterschied zwischen den Wechselspannungen zwischen jeweils zwei Strängen 12, 16, 20 entspricht. Entlang eines vertikal orientierten Pfeils 15 ergibt sich ein Wert einer jeweiligen
25 gen ersten bzw. primären Wechselspannung eines jeweiligen Strangs 12, 16, 20, die davon abhängig ist, wie viele Einzelmodule 14a, 14b, 14c, 14d, 18a, 18b, 18c, 18d, 22a, 22b, 22c, 22d eines jeweiligen Strangs 12, 16, 20 zum Bereitstellen der jeweiligen ersten strangspezifischen bzw. phasenspezifischen Wechselspannung aufgrund einer Reihen- und/oder Parallelschaltung der Einzelmodule 14a, 1b, 14c, 14d, 18a, 18b, 18c,
30 18d, 22a, 22b, 22c, 22d beitragen.

Die Figuren 5b, 5c, 5d umfassen jeweils ein Diagramm mit einer Abszisse 24 entlang der die Zeit aufgetragen ist, und einer Ordinate 26, entlang der Werte einer elektrischen Spannung aufgetragen sind. Hierbei umfasst das erste Diagramm aus Figur 5b einen Verlauf 80 einer ersten primären Wechselspannung bzw. Phase, die durch Schalten, d. h. durch Reihen – und/oder Parallelschalten, der Einzelmodule 14a, 14b, 14c, 14d des ersten Strangs 12 des Multilevelkonverters bereitzustellen ist. Ein zweiter Verlauf 82 stellt eine zweite primäre Wechselspannung bzw. Phase des Multilevelkonverters 10 dar, die über dessen zweiten Strang 16 mit den Einzelmodulen 18a, 18b, 18c, 18d bereitgestellt wird. Ein dritter Verlauf 84 zeigt eine dritte primäre Wechselspannung bzw. Phase, die durch Schalten der Einzelmodule 22a, 22b, 22c, 22d des dritten Strangs 20 des Multilevelkonverters 10 bereitgestellt wird. Dabei weisen diese drei primären und somit ersten Wechselspannungen dieselbe Frequenz und dieselbe Amplitude auf. Außerdem sind diese primären Wechselspannungen um 120° zueinander phasenverschoben.

15

Das Diagramm aus Figur 5c zeigt einen Verlauf 86 einer zweiten bzw. sekundären Wechselspannung, die wiederum auf die drei primären Wechselspannungen moduliert wird.

Verläufe 88, 90, 92 von daraus resultierenden Spannungen, hier von resultierenden Wechselspannungen, sind in dem Diagramm aus Figur 5d dargestellt.

Auch hier ist vorgesehen, dass der Multilevelkonverter 10 in einem ersten Teilnetz angeordnet ist, das ebenfalls einen dreiphasigen Verbraucher aufweist, dem die drei primären Wechselspannungen bereitgestellt werden. Weiterhin ist dieses Teilnetz über mindestens einen Transformator mit einem zweiten Teilnetz verbunden, wobei ein Wert der Amplitude der Spannung innerhalb des ersten Teilnetzes größer als der Wert der Amplitude der Spannung in dem zweiten Teilnetz ist.

Figur 5e zeigt in schematischer Darstellung eine Steuerung bzw. Maschinenregelung 94 eines Verbrauchers bzw. einer elektrischen Maschine des ersten Teilnetzes, über dessen

drei Phasen U, V, W von dem Multilevelkonverter 10 die drei primären Wechselspannungen bereitzustellen sind, deren Verläufe 80, 82, 84, in Figur 5b dargestellt sind. Dabei ist die erste Phase U dem ersten Strang 12, die zweite Phase V dem zweiten Strang 16 und die dritte Phase W dem dritten Strang 20 des Multilevelkonverters 10 zugeordnet. Weiterhin wird von einer Kontrolleinheit 96 des Multilevelkonverters 10 die zweite bzw. sekundäre Wechselspannung, hier ein hochfrequentes Signal mit zeitlich veränderlicher Amplitude und/oder Frequenz bspw. zur Leistungsregelung, erzeugt, deren Verlauf 86 in dem Diagramm aus Figur 5c gezeigt ist. Diese zweite Wechselspannung wird auf die drei ersten Wechselspannungen addiert und dem Verbraucher, hier einer elektrischen Maschine, bereitgestellt.

Somit werden von der Kontrolleinheit 94 bei Durchführung einer Regelung der elektrischen Maschine die ersten phasenspezifischen Wechselspannungen U, V, W bzw. phasenspezifischen Ströme bereitgestellt. (Alternativ ist es möglich, dass diese Kontrolleinheit 94 dem Multilevelkonverter 10 zugeordnet und dazu ausgebildet ist, einen Betrieb der elektrischen Maschine zu überwachen und die Wechselspannungen und/oder Ströme darauf basierend einzustellen.)

Die Kontrolleinheit 96, die u. a. zum Kontrollieren eines Gleichspannungswandlers des Multilevelkonverters 10 ausgebildet ist, erzeugt die hochfrequente zweite Wechselspannung mit zeitlich veränderlicher Amplitude und/oder Frequenz, die bspw. zur Regelung einer Leistung von Verbrauchern des zweiten Teilnetzes vorgesehen ist. Da die zweite Wechselspannung auf alle drei ersten Wechselspannungen bzw. Phasen moduliert wird, ist diese für den Verbraucher bzw. die elektrische Maschine des ersten Teilnetzes nicht sichtbar. Die zweite Wechselspannung entspricht gleichzeitig einer Differenz eines Referenzpunkts des Verbrauchers bzw. der elektrischen Maschine und eines Referenzpunkts des Multilevelkonverters 10, wobei die jeweiligen Referenzpunkte im Falle einer Sternwicklung üblicherweise als Sternpunkte ausgebildet sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines elektrischen Netzes (40, 70), das ein erstes Teilnetz (42, 72) und ein zweites Teilnetz (44, 44a, 74, 74a) umfasst, die über mindestens einen
5 Transformator (60, 60a, 60b) miteinander verbunden und durch diesen voneinander galvanisch getrennt werden, wobei eine Primärseite des mindestens einen Transformators (60, 60a, 60b) mit einer ersten Windungszahl dem ersten Teilnetz (42, 72) und eine Sekundärseite des mindestens einen Transformators (60, 60a, 60b) mit einer zweiten Windungszahl dem zweiten Teilnetz (44, 44a, 74, 74a) zugeordnet wird,
10 wobei das erste Teilnetz (42, 72) einen Multilevelkonverter (10, 46, 76) mit einer Mehrzahl an Einzelmodulen (14a, 14b, 14c, 14d, 18a, 18b, 18c, 18d, 22a, 22b, 22c, 22d, 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d) aufweist, wobei jedes Einzelmodul (14a, 14b, 14c, 14d, 18a, 18b, 18c, 18d, 22a, 22b, 22c, 22d, 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d) einen elektrischen
15 Energiespeicher aufweist, wobei von dem Multilevelkonverter (10, 46, 76) mindestens eine erste elektrische Wechselspannung bereitgestellt wird, die mit mindestens einer zweiten elektrischen Wechselspannung moduliert wird, wobei entsprechend mindestens eine daraus resultierende elektrische Wechselspannung dem mindestens einen Transformator (60, 60a, 60b) bereitgestellt wird, die von dem mindestens einen
20 Transformator (60, 60a, 60b) auf entsprechend mindestens eine ausgehende elektrische Wechselspannung transformiert wird, die dem zweiten Teilnetz (44, 44a, 74, 74a) bereitgestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem vorgesehen ist, dass die mindestens eine
25 erste Wechselspannung eine Amplitude mit einem ersten Wert und eine Frequenz mit einem ersten Wert aufweist, und dass die mindestens eine zweite Wechselspannung eine Amplitude mit einem zweiten Wert und eine Frequenz mit einem zweiten Wert aufweist, wobei der erste Wert der Amplitude der mindestens einen ersten Wechselspannung größer als der zweite Wert der Amplitude der zweiten Wechselspannung eingestellt wird,
30 und wobei der erste Wert der Frequenz der mindestens einen ersten Wechselspannung

kleiner als der zweite Wert der Frequenz der mindestens einen zweiten Wechselspannung eingestellt wird.

3. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem die mindestens eine
5 erste Wechselspannung zwischen entsprechend mindestens einem Anschluss des Multilevelkonverters, insbesondere einem Anschluss für einen Verbraucher des ersten Teilnetzes, und einem Referenzpunkt (66) des Multilevelkonverters (10, 47, 76) mit der mindestens einen zweiten Wechselspannung moduliert wird.
- 10 4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem die mindestens eine zweite Wechselspannung auf die mindestens eine erste Wechselspannung moduliert wird, wobei die entsprechend mindestens eine resultierende Wechselspannung als Summe der mindestens einen ersten Wechselspannung und der mindestens einen zweiten Wechselspannung bereitgestellt wird.
- 15 5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem von dem Multilevelkonverter (10, 46, 76) mehrere zueinander phasenverschobene erste Wechselspannungen bereitgestellt werden, die jeweils mit der mindestens einen zweiten Wechselspannung zu entsprechend mehreren resultierenden Wechselspannungen
20 moduliert werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem eine jeweilige der mehreren zueinander phasenverschobenen ersten Wechselspannungen durch einen Vollabgriff und/oder einen Teilabgriff von einem jeweiligen durch eine Kombination aus mehreren miteinander
25 verschalteten Einzelmodulen gebildeten Strang in Bezug zu einem Referenzpunkt bereitgestellt und jeweils mit der mindestens einen zweiten Wechselspannung moduliert wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, bei dem eine jeweilige der mehreren ersten
30 Wechselspannungen zwischen einem jeweiligen Phasenanschluss des Multilevelkonverters

für einen Verbraucher des ersten Teilnetzes und dem Referenzpunkt (66) des Multilevelkonverters (10, 47, 76) mit der mindestens einen zweiten Wechselspannung moduliert wird.

5 8. Verfahren nach Anspruch 3 oder 7, bei dem als Referenzpunkt (66) ein Sternpunkt des Multilevelkonverters (10, 46, 76) gewählt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 5 bis 8, bei dem eine jeweilige resultierende Wechselspannung der mehreren resultierenden Wechselspannungen einem jeweiligen
10 Transformator (60, 60a, 60b) von entsprechend mehreren Transformatoren (60, 60a, 60b) bereitgestellt wird, der die jeweilige resultierende Wechselspannung in eine jeweilige ausgehende Wechselspannung transformiert.

10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem eine jeweilige ausgehende Wechselspannung
15 der entsprechend mehreren ausgehenden Wechselspannungen über einen jeweiligen Gleichrichter (62, 62a, 62b) von entsprechend mehreren Gleichrichtern (62, 62a, 62b) in eine jeweilige ausgehende Gleichspannung überführt wird, wobei die jeweiligen ausgehenden Gleichspannungen durch eine Verschaltung der mehreren Gleichrichter (62, 62a, 62b) untereinander in eine Gesamtspannung überführt werden.

20

11. Multilevelkonverter der in einem elektrischen Netz (40, 70) anzuordnen ist, wobei das elektrische Netz (40, 70) ein erstes Teilnetz (42, 72) und ein zweites Teilnetz (44, 44a, 74, 74a) umfasst, wobei die beiden Teilnetze (42, 44, 72, 74) über mindestens einen Transformator (60, 60a, 60b) miteinander zu verbinden und durch diesen
25 voneinander galvanisch zu trennen sind, wobei eine Primärseite des mindestens einen Transformators (60, 60a, 60b) mit einer ersten Windungszahl dem ersten Teilnetz (42, 72) und eine Sekundärseite des mindestens einen Transformators (60, 60a, 60b) mit einer zweiten Windungszahl dem zweiten Teilnetz (44, 44a, 74, 74a) zuzuordnen ist, wobei der Multilevelkonverter (10, 46, 76) in dem ersten Teilnetz (42, 72) anzuordnen ist
30 und eine Mehrzahl an Einzelmodulen (14a, 14b, 14c, 14d, 18a, 18b, 18c, 18d, 22a,

22b, 22c, 22d, 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d) aufweist, wobei jedes Einzelmodul (14a, 14b, 14c, 14d, 18a, 18b, 18c, 18d, 22a, 22b, 22c, 22d, 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d) einen elektrischen Energiespeicher aufweist, wobei der Multilevelkonverter (10, 46, 76) dazu ausgebildet ist, mindestens eine erste elektrische Wechselspannung bereitzustellen und mit mindestens einer zweiten elektrischen Wechselspannung zu modulieren, wobei entsprechend mindestens eine daraus resultierende elektrische Wechselspannung dem mindestens einen Transformator (60, 60a, 60b) bereitzustellen ist, die von dem mindestens einen Transformator (60, 60a, 60b) auf entsprechend mindestens eine ausgehende elektrische Wechselspannung zu transformieren und dem zweiten Teilnetz (44, 44a, 74, 74a) bereitzustellen ist.

12. Multilevelkonverter nach Anspruch 11, dem eine Kontrolleinheit (54) zugeordnet ist, die dazu ausgebildet ist, Werte von mindestens einem physikalischen Parameter der mindestens einen ersten Wechselspannung und/oder der mindestens einen zweiten Wechselspannung einzustellen.

13. Multilevelkonverter nach einem der Ansprüche 11 oder 12, der dazu ausgebildet ist, mindestens zwei Einzelmodule (14a, 14b, 14c, 14d, 18a, 18b, 18c, 18d, 22a, 22b, 22c, 22d, 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d) in Reihe und/oder zueinander parallel zu schalten, und die mindestens eine erste Wechselspannung aus einer Kombination von Einzelspannungen der mindestens zwei miteinander zu kombinierenden Einzelmodule (14a, 14b, 14c, 14d, 18a, 18b, 18c, 18d, 22a, 22b, 22c, 22d, 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d) bereitzustellen.

14. Multilevelkonverter nach einem der Ansprüche 11 bis 13, der mehrere Stränge (12, 16, 20, 47, 49, 51) aufweist, wobei jeder Strang (12, 16, 20, 47, 49, 51) eine Kombination aus mehreren miteinander verschalteten Einzelmodulen (14a, 14b, 14c, 14d, 18a, 18b, 18c, 18d, 22a, 22b, 22c, 22d, 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c,

50d, 52a, 52b, 52c, 52d) aufweist, wobei mit jedem Strang (12, 16, 20, 47, 49, 51) jeweils eine erste Wechselspannung zu erzeugen ist.

15. Multilevelkonverter nach Anspruch 14, der dazu ausgebildet ist, die mindestens eine
5 erste elektrische Wechselspannung durch einen Vollabgriff von entsprechend mindestens
einem Strang (47, 49, 51) und/oder durch einen Teilabgriff von entsprechend
mindestens einem Strang (47, 49, 51) in Bezug zu einem Referenzpunkt (66) des
Multilevelkonverters bereitzustellen und mit der mindestens einen zweiten elektrischen
Wechselspannung zu modulieren.

10

16. Multilevelkonverter nach Anspruch 14 oder 15, der dazu ausgebildet ist, durch die
mehreren Stränge (47, 49, 51) mehrere zueinander phasenverschobene erste
Wechselspannungen bereitzustellen und jeweils mit der mindestens einen zweiten
Wechselspannung zu entsprechend mehreren resultierenden Wechselspannungen zu
15 modulieren.

17. Multilevelkonverter nach Anspruch 16, der dazu ausgebildet ist, eine jeweilige der
mehreren ersten Wechselspannungen zwischen einem jeweiligen Phasenanschluss des
Multilevelkonverters für einen Verbraucher des ersten Teilnetzes und dem Referenzpunkt
20 (66) des Multilevelkonverters (10, 47, 76) mit der mindestens einen zweiten
Wechselspannung zu modulieren.

18. Multilevelkonverter nach Anspruch 14 oder 17, bei dem der Referenzpunkt (66)
einem Sternpunkt des Multilevelkonverters (10, 46, 76) entspricht.

25

19. Multilevelkonverter nach Anspruch 16 bis 18, der dazu ausgebildet ist, eine
jeweilige resultierende Wechselspannung der mehreren resultierenden
Wechselspannungen einem jeweiligen Transformator (60, 60a, 60b) von entsprechend
mehreren Transformatoren (60, 60a, 60b) bereitzustellen, der die jeweilige resultierende
30 Wechselspannung in eine jeweilige ausgehende Wechselspannung transformiert.

20. Multilevelkonverter nach einem der Ansprüche 11 bis 19, dem mindestens ein zusätzlicher Energiespeicher (56) zugeordnet ist, der dazu ausgebildet ist, die mindestens eine zweite Wechselspannung bereitzustellen.

5

21. Multilevelkonverter nach einem der Ansprüche 11 bis 20, bei dem Energiespeicher der Einzelmodule (14a, 14b, 14c, 14d, 18a, 18b, 18c, 18d, 22a, 22b, 22c, 22d, 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d) als Gleichspannungsquellen ausgebildet sind, wobei der Multilevelkonverter (10, 46, 76) mindestens einen Wandler
10 aufweist, der dazu ausgebildet ist, eine als Gleichspannung ausgebildete Einzelspannung eines Energiespeichers mindestens eines Einzelmoduls (14a, 14b, 14c, 14d, 18a, 18b, 18c, 18d, 22a, 22b, 22c, 22d, 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d) in eine Wechselspannung umzuwandeln und daraus die mindestens eine erste Wechselspannung bereitzustellen.

15

22. Energieversorgungssystem, das ein elektrisches Netz (40, 70) aufweist, das ein erstes Teilnetz (42, 72) und ein zweites Teilnetz (44, 44a, 74, 74a) umfasst, die über mindestens einen Transformator (60, 60a, 60b) miteinander verbunden und durch diesen voneinander galvanisch getrennt sind, wobei eine Primärseite des mindestens einen
20 Transformators (60, 60a, 60b) mit einer ersten Windungszahl dem ersten Teilnetz (42, 72) und eine Sekundärseite des mindestens einen Transformators (60, 60a, 60b) mit einer zweiten Windungszahl dem zweiten Teilnetz (44, 44a, 74, 74a) zugeordnet ist, wobei das erste Teilnetz (42, 72) einen Multilevelkonverter (10, 46, 76) mit einer Mehrzahl an Einzelmodulen (14a, 14b, 14c, 14d, 18a, 18b, 18c, 18d, 22a, 22b, 22c,
25 22d, 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d) aufweist, wobei jedes Einzelmodul (14a, 14b, 14c, 14d, 18a, 18b, 18c, 18d, 22a, 22b, 22c, 22d, 48a, 48b, 48c, 48d, 50a, 50b, 50c, 50d, 52a, 52b, 52c, 52d) einen elektrischen Energiespeicher aufweist, wobei der Multilevelkonverter (10, 46, 76) dazu ausgebildet ist, mindestens eine erste elektrische Wechselspannung bereitzustellen und mit
30 mindestens einer zweiten elektrischen Wechselspannung zu modulieren, wobei

entsprechend mindestens eine daraus resultierende elektrische Wechselspannung dem mindestens einen Transformator (60, 60a, 60b) bereitzustellen ist, wobei der mindestens eine Transformator (60, 60a, 60b) dazu ausgebildet ist, die entsprechend mindestens eine resultierende elektrische Wechselspannung auf entsprechend mindestens eine
5 ausgehende elektrische Wechselspannung zu transformieren und dem zweiten Teilnetz (44, 44a, 74, 74a) bereitzustellen.

23. Energieversorgungssystem nach Anspruch 22, bei dem die erste Windungszahl der Primärseite des Transformators (60, 60a, 60b) größer als die zweite Windungszahl der
10 Sekundärseite des Transformators (60, 60a, 60b) ist.

24. Energieversorgungssystem nach Anspruch 22 oder 23, das in einem Kraftfahrzeug anzuordnen ist und bei dem dem ersten Teilnetz (42, 72) als Verbraucher (58) eine elektrische Maschine zuzuordnen ist.

15

25. Energieversorgungssystem nach einem der Ansprüche 22 bis 24, das ferner mindestens einen Gleichrichter (62, 62a, 62b) umfasst, der dazu ausgebildet ist, die mindestens eine ausgehende elektrische Wechselspannung in entsprechend mindestens eine Gleichspannung zu überführen.

20

26. Energieversorgungssystem nach einem der Ansprüche 22 bis 24, das dazu ausgebildet ist, mehrere erste Wechselspannungen bereitzustellen und diese mehreren ersten Wechselspannungen jeweils mit mindestens einer zweiten Wechselspannung zu entsprechend mehreren resultieren Wechselspannungen zu modulieren, wobei das
25 Energieversorgungssystem entsprechend mehrere Transformatoren (60, 60a, 60b) umfasst, wobei jeweils ein Transformator (60, 60a, 60b) dazu ausgebildet ist, jeweils eine der mehreren resultierenden Wechselspannungen in jeweils eine ausgehende Wechselspannung zu transformieren, und wobei das Energieversorgungssystem ferner entsprechend mehrere Gleichrichter (62, 62a, 62b) umfasst, die den mehreren
30 Transformatoren (60, 60a, 60b) nachgeschaltet sind, wobei ein jeweiliger Gleichrichter

(62, 62a, 62b) dazu ausgebildet ist, eine jeweilige ausgehende Wechselspannung eines jeweiligen Transformators (60, 60a, 60b) in eine jeweilige Gleichspannung zu überführen, wobei die mehreren Gleichrichter (62, 62a, 62b) untereinander so verschaltet sind, dass darüber die jeweiligen Gleichspannungen in eine Gesamtspannung überführbar sind.

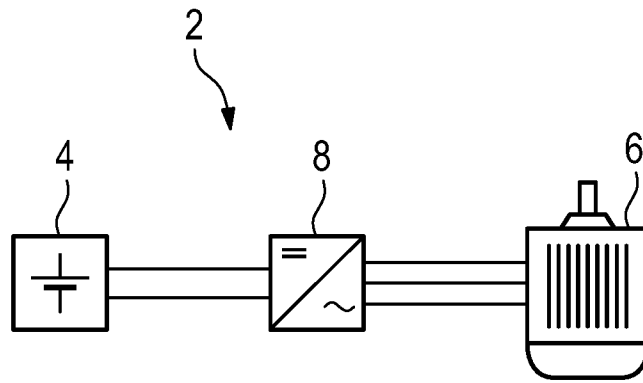


Fig. 1a

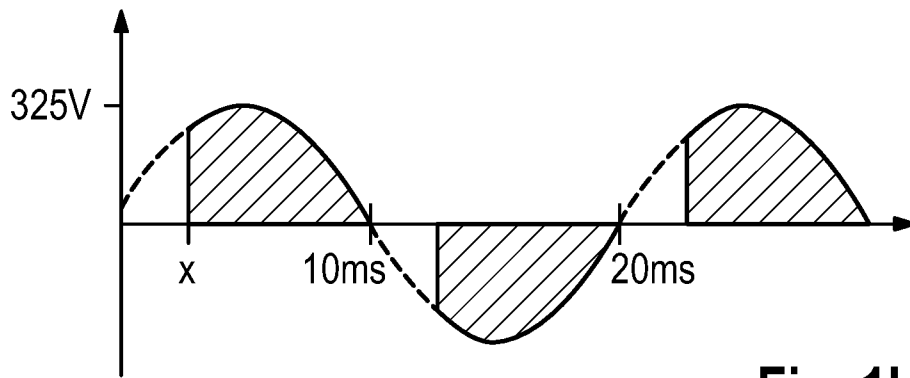


Fig. 1b

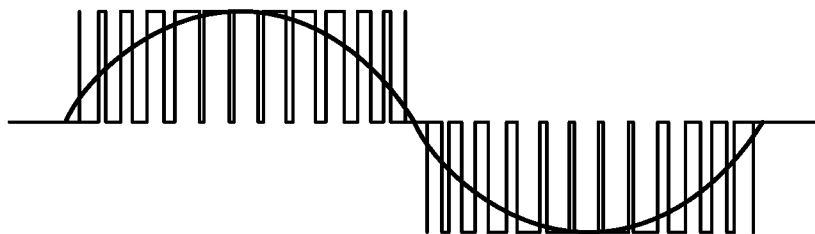


Fig. 1c

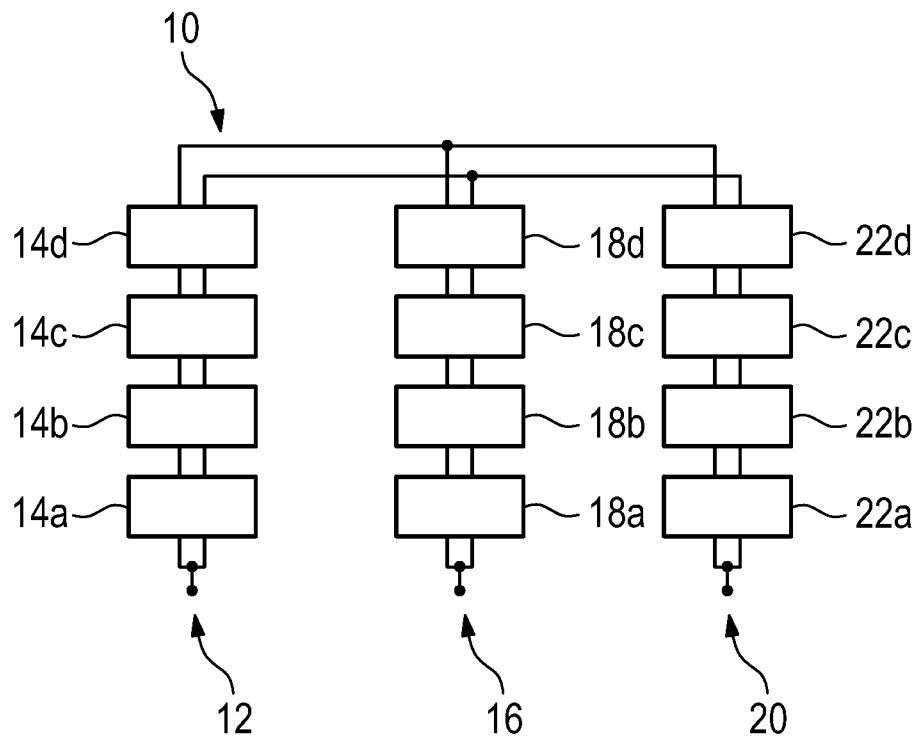


Fig. 2a

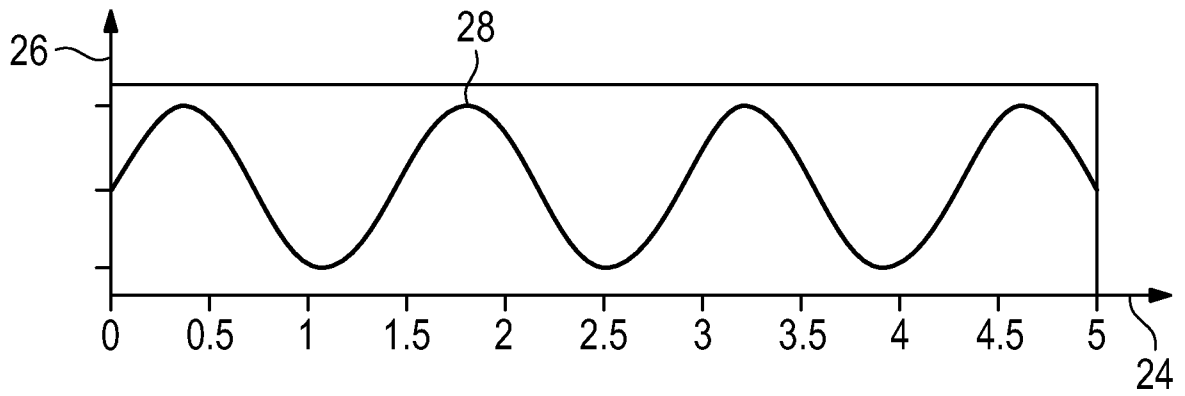


Fig. 2b

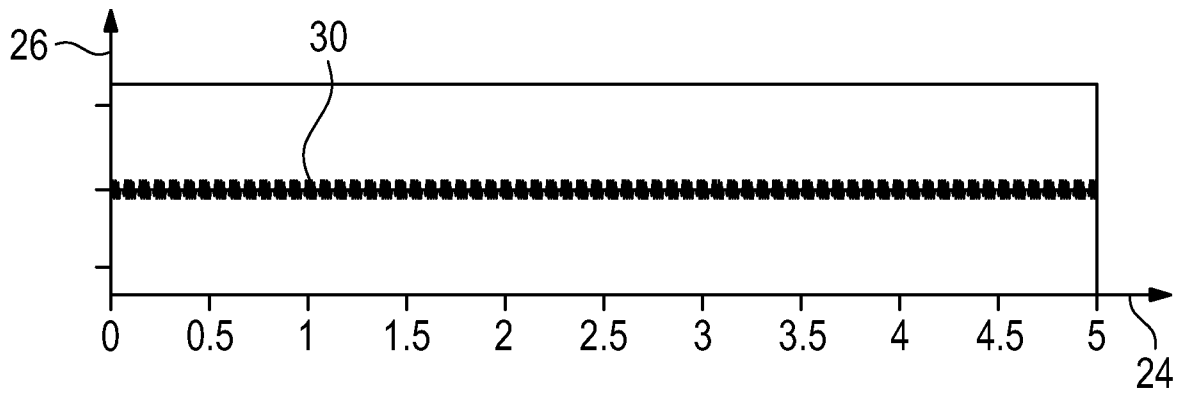


Fig. 2c

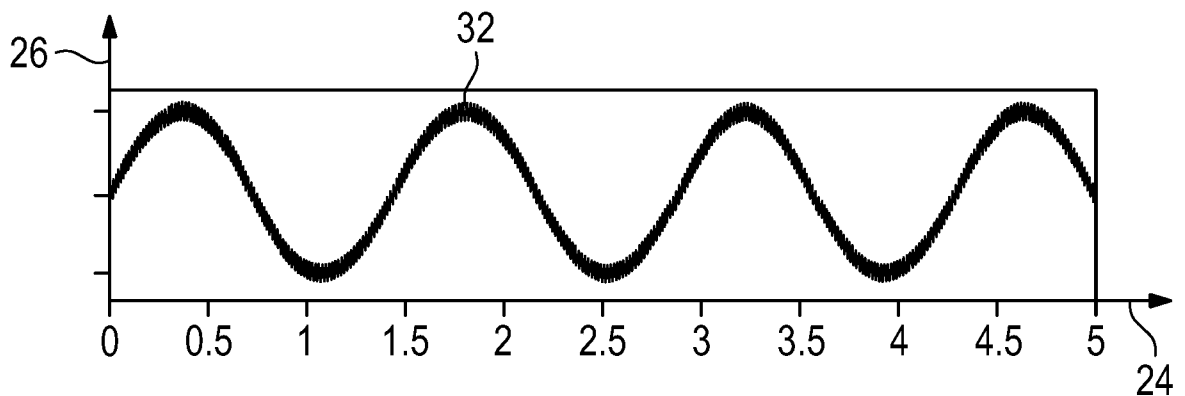


Fig. 2d

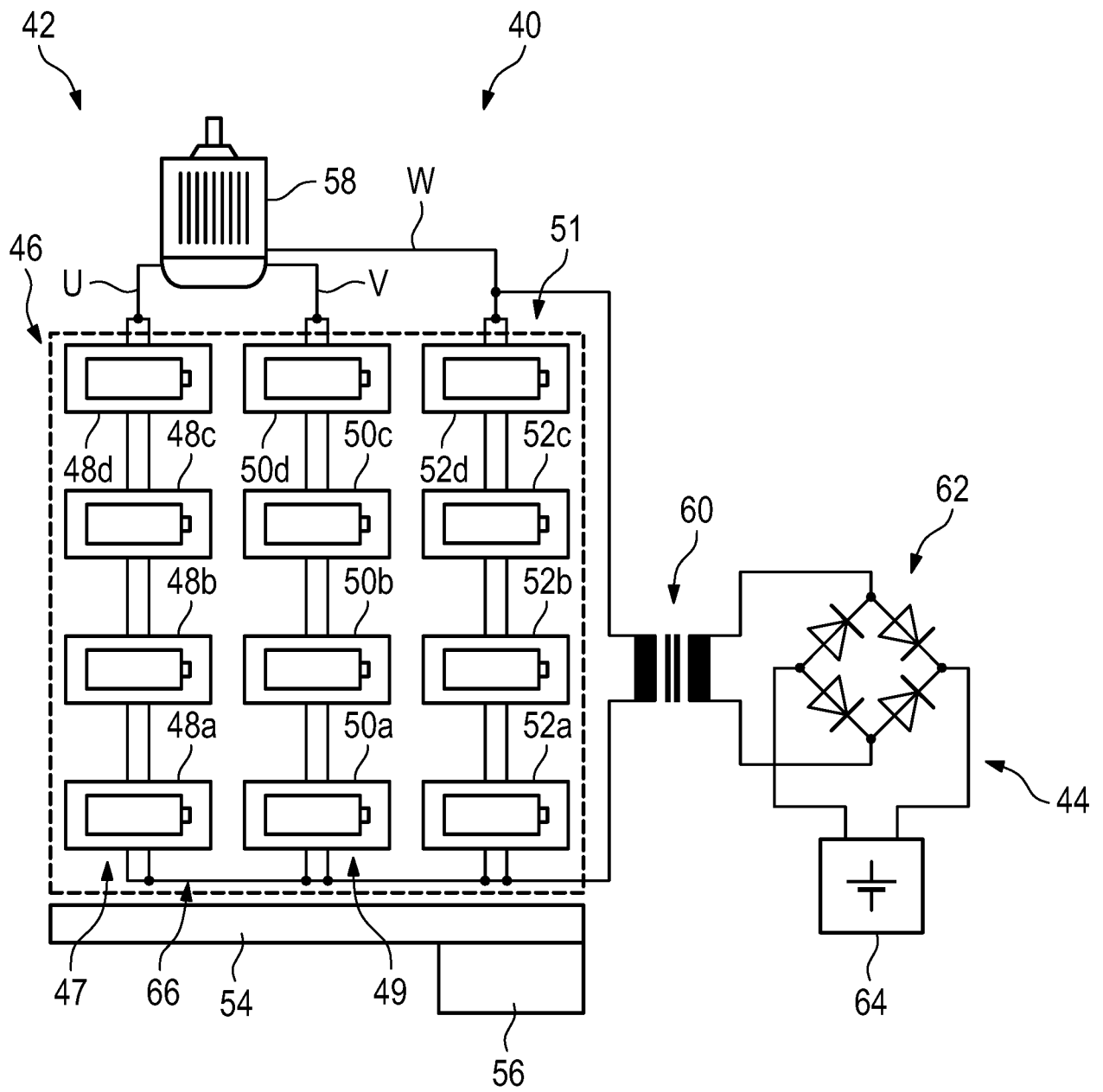


Fig. 3a

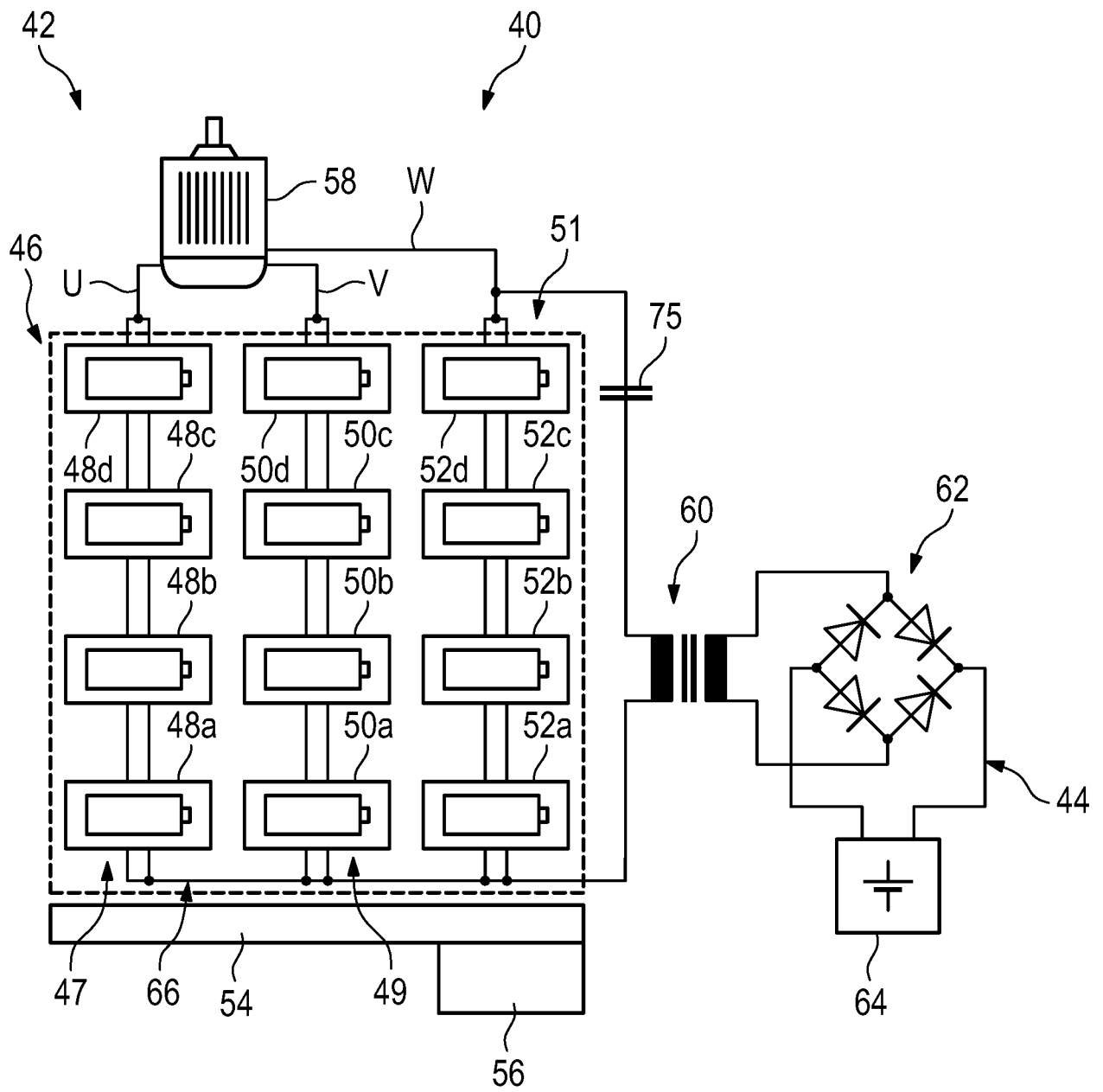


Fig. 3c

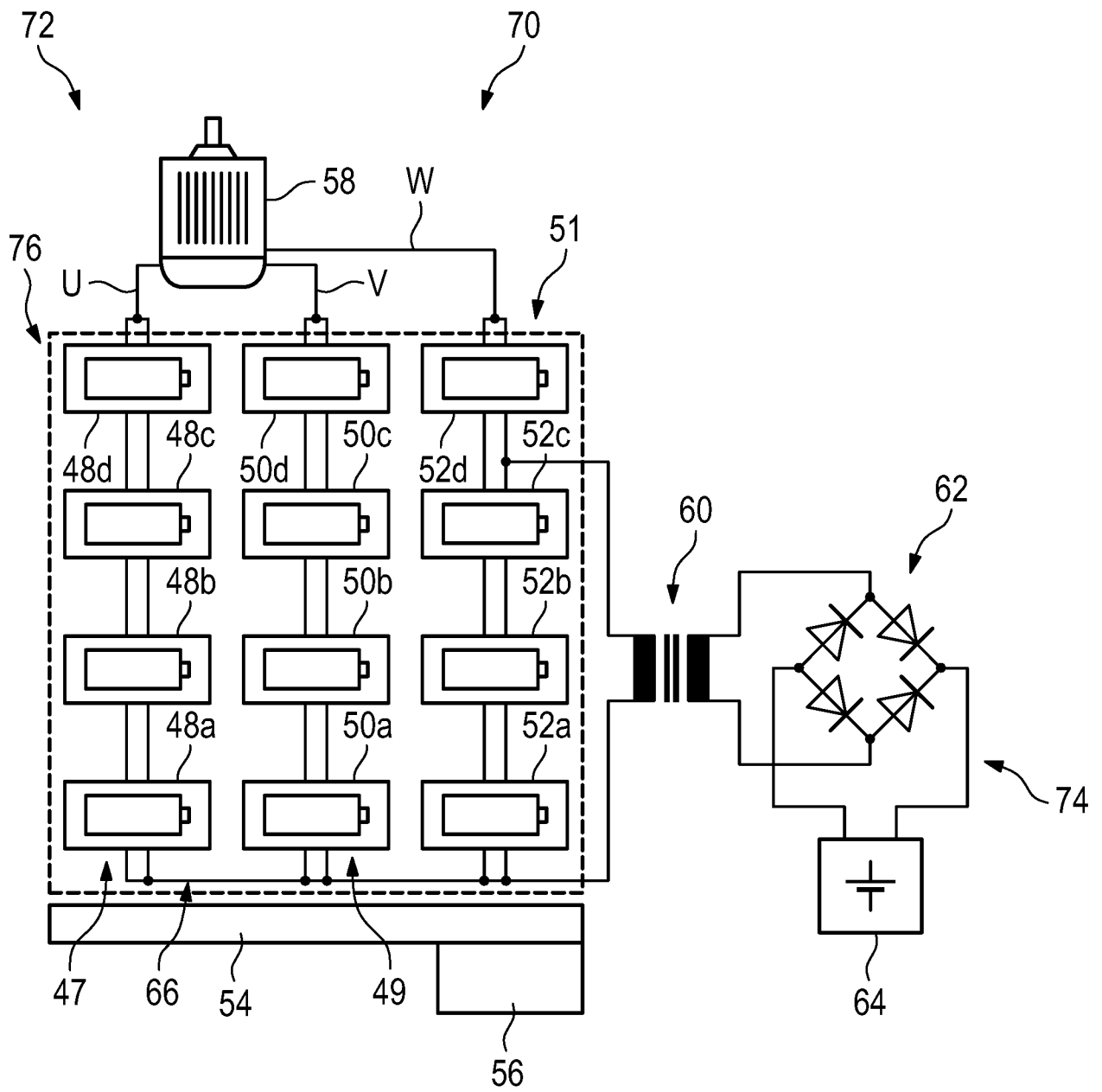


Fig. 4a

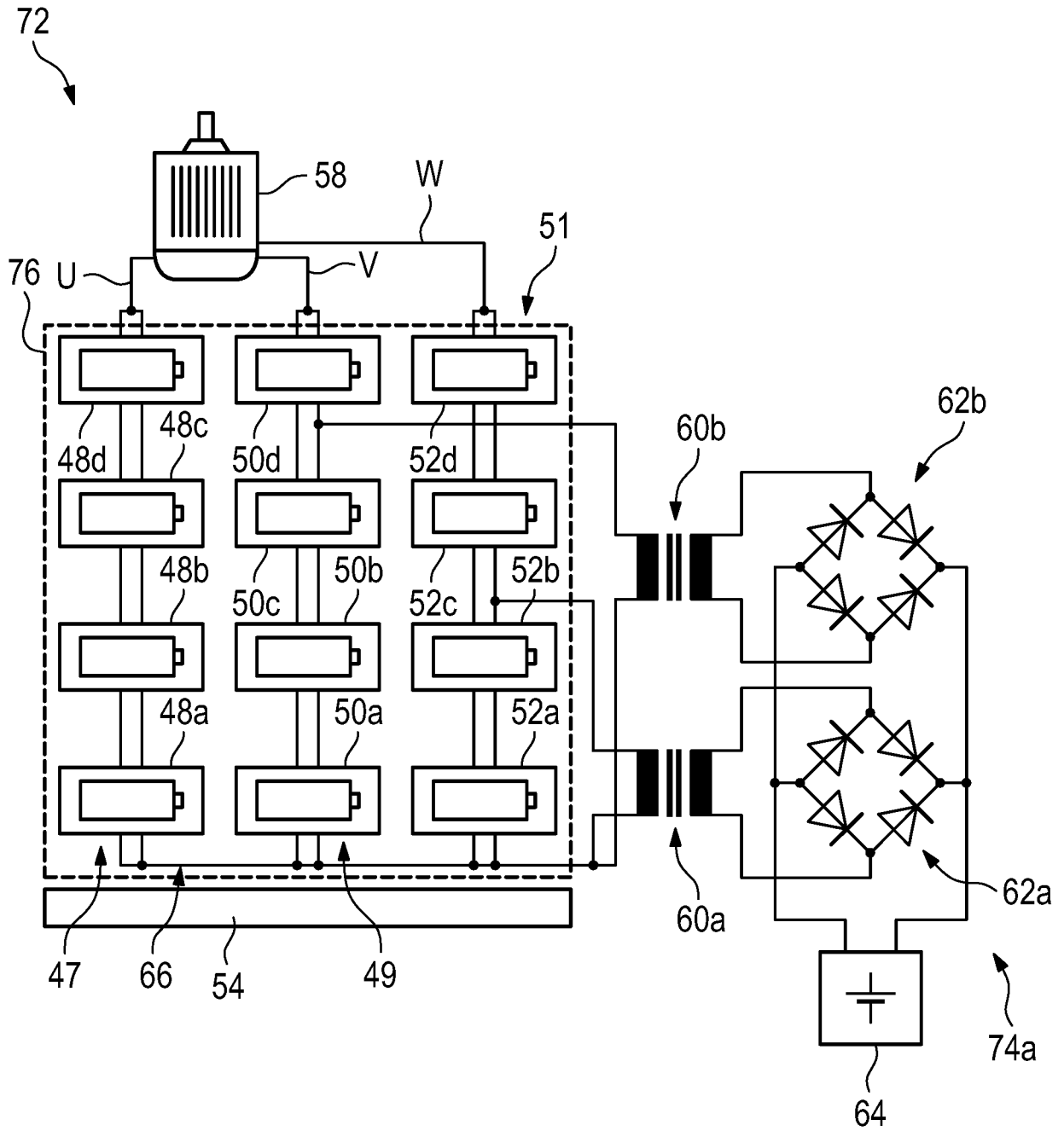


Fig. 4b

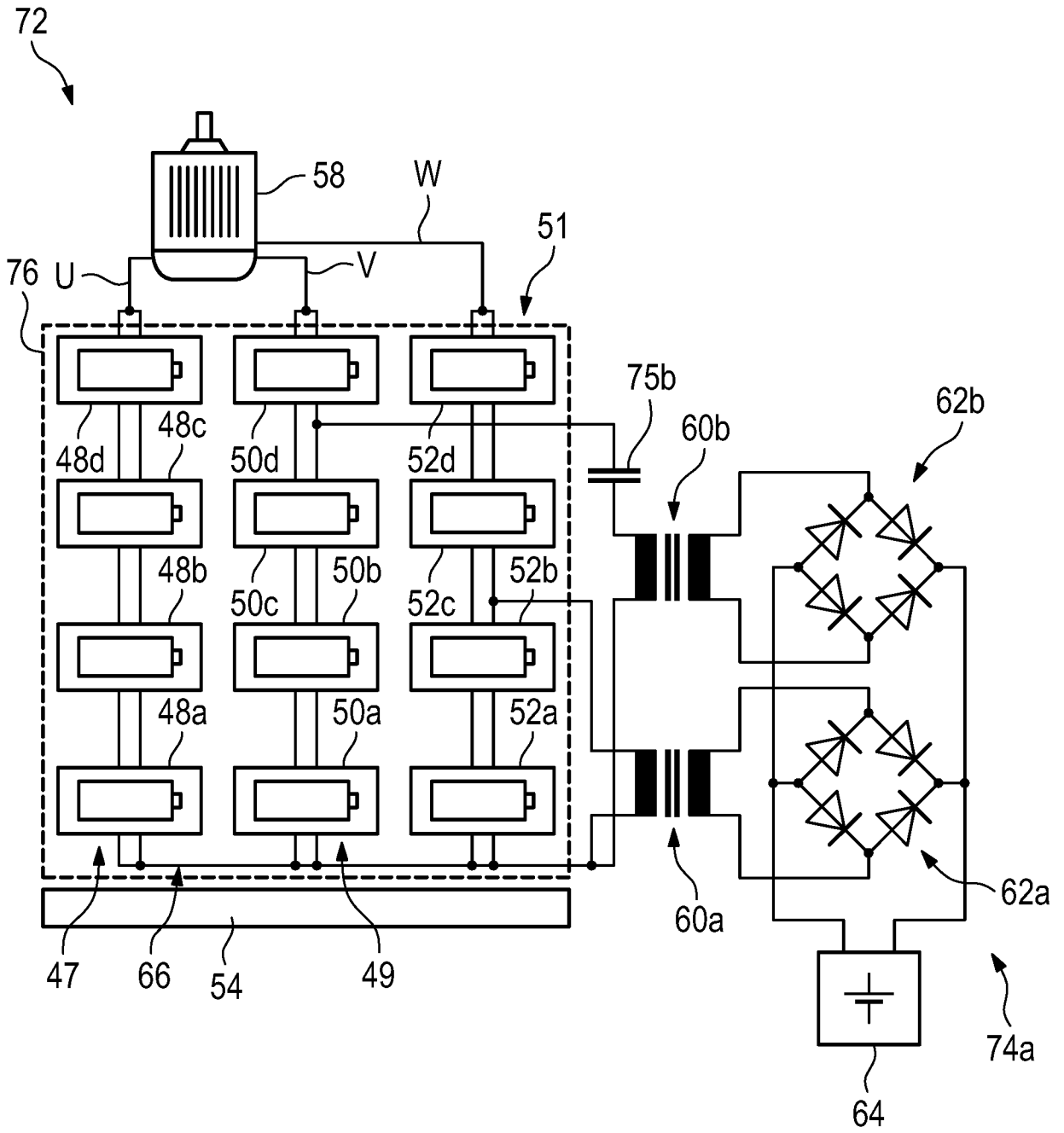


Fig. 4c

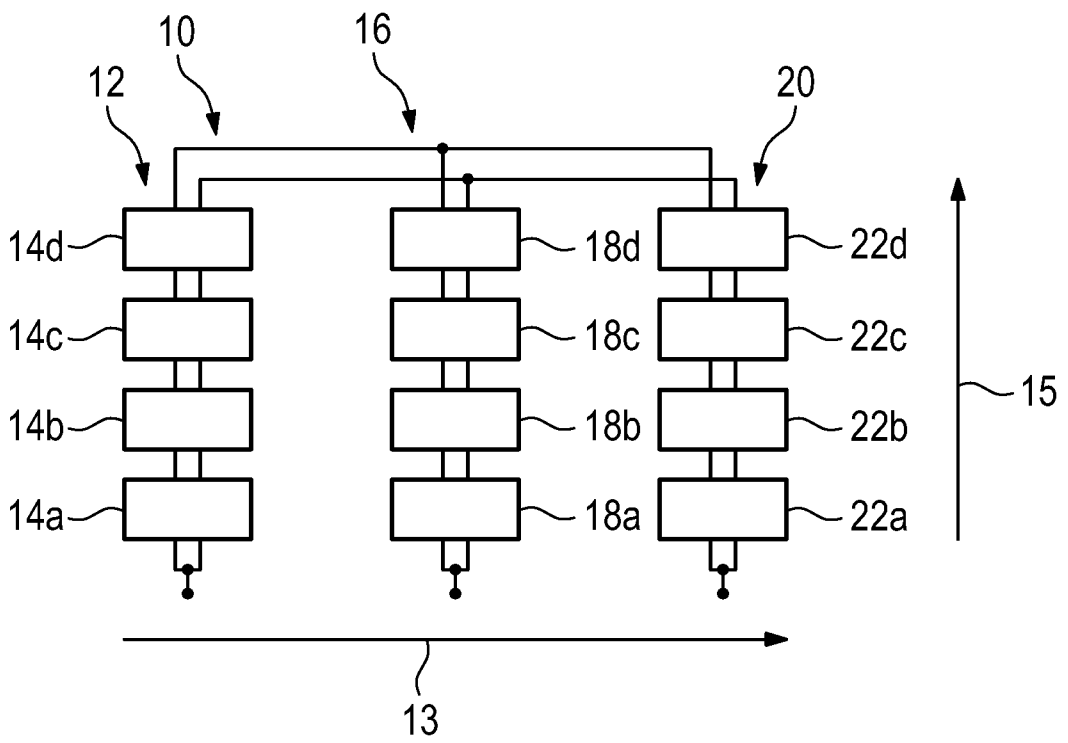


Fig. 5a

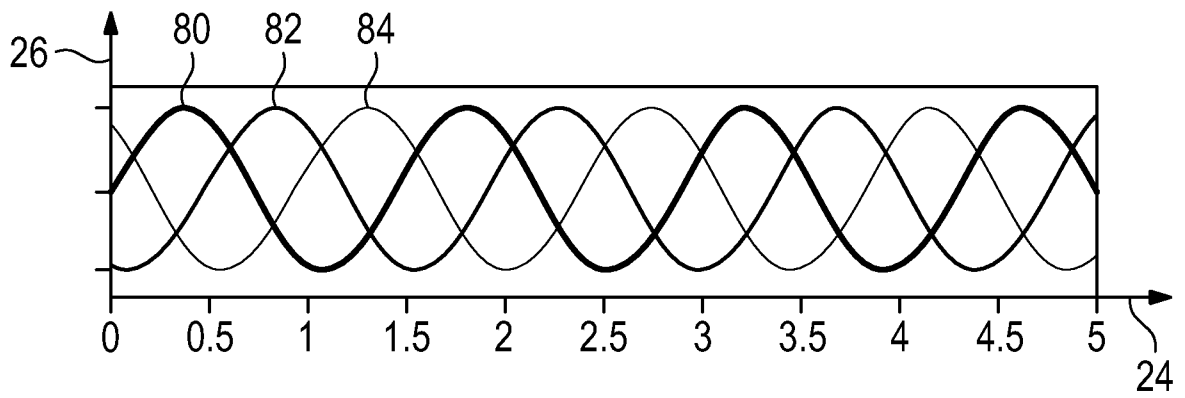


Fig. 5b

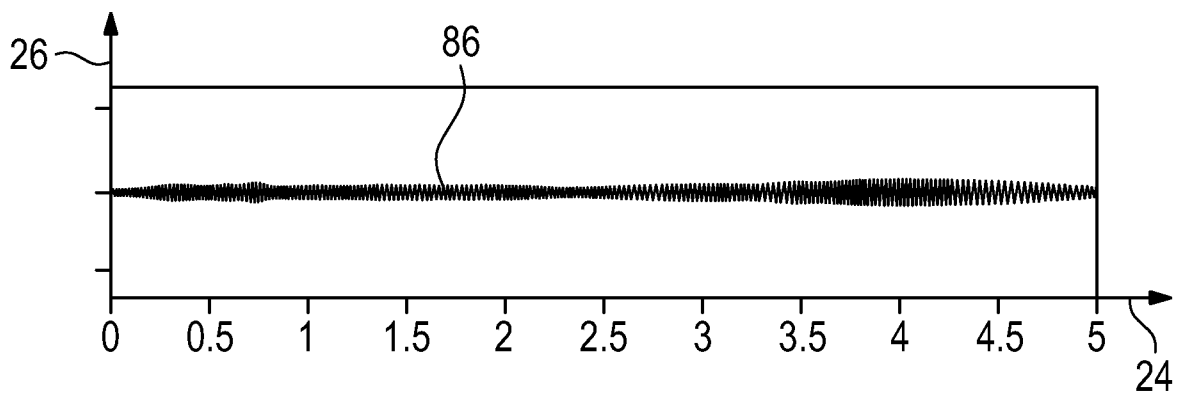


Fig. 5c

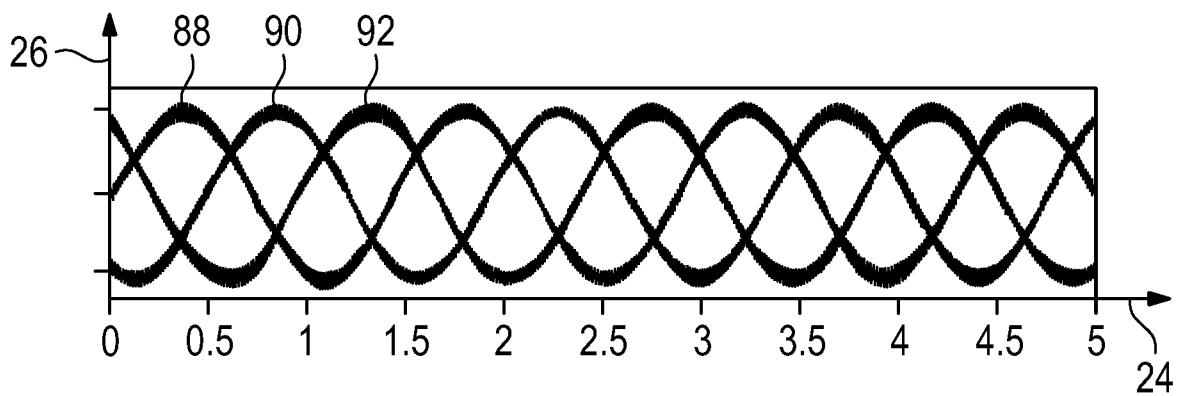


Fig. 5d

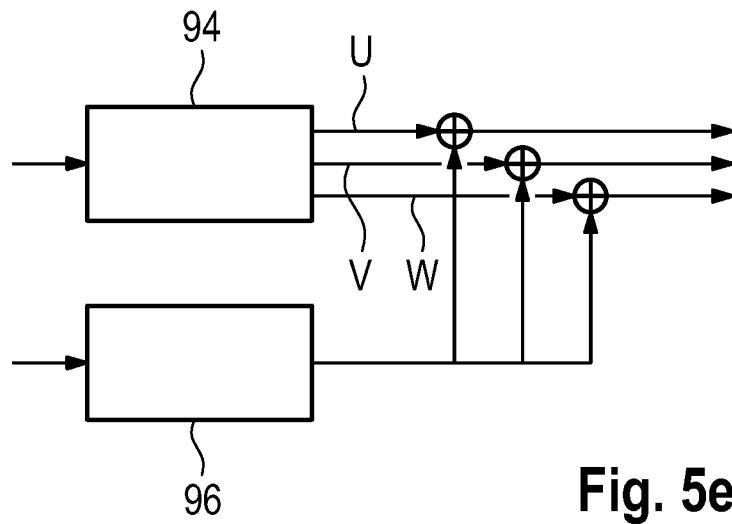


Fig. 5e

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/025059

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. B60L11/18 B60L15/00 B60L7/14 H02M7/49 H02M7/483
 B60L1/00
 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)
 B60L 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	JP 5 853094 B2 (HITACHI LTD) 9 February 2016 (2016-02-09)	1-19, 21-23, 25,26
A	abstract figures 1-7 paragraphs [0018] - [0138]	20,24
A	US 2013/241472 A1 (FEUERSTACK PETER [DE] ET AL) 19 September 2013 (2013-09-19) the whole document	1-26
A	WO 2012/107149 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; FEUERSTACK PETER [DE]; WEISSENBORN ERIK [DE];) 16 August 2012 (2012-08-16) the whole document	1-26
	----- -/--	

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 1 June 2017	Date of mailing of the international search report 12/06/2017
--	--

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 Schmitt, Gilles
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/025059

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 2011/198936 A1 (GRAOVAC DUSAN [DE] ET AL) 18 August 2011 (2011-08-18) abstract figures 18, 19 paragraphs [0107] - [0112] -----	1-26
A	DE 10 2012 202867 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 29 August 2013 (2013-08-29) abstract figure 4 paragraphs [0049] - [0056] -----	1-26

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2017/025059

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 5853094	B2	09-02-2016	BE 840434 A1 02-08-1976 BR 7602089 A 05-10-1976 DE 2615110 A1 21-10-1976 FR 2307066 A1 05-11-1976 GB 1508102 A 19-04-1978 JP S5853094 B2 26-11-1983 JP S51123358 A 28-10-1976 US 3960186 A 01-06-1976
US 2013241472	A1	19-09-2013	CN 103109415 A 15-05-2013 DE 102010041040 A1 22-03-2012 EP 2619842 A2 31-07-2013 JP 5642286 B2 17-12-2014 JP 2013539955 A 28-10-2013 US 2013241472 A1 19-09-2013 WO 2012038188 A2 29-03-2012
WO 2012107149	A1	16-08-2012	CN 103338968 A 02-10-2013 DE 102011003861 A1 09-08-2012 EP 2673160 A1 18-12-2013 US 2013314046 A1 28-11-2013 WO 2012107149 A1 16-08-2012
US 2011198936	A1	18-08-2011	CN 102263524 A 30-11-2011 DE 102011004248 A1 18-08-2011 US 2011198936 A1 18-08-2011 US 2013127251 A1 23-05-2013
DE 102012202867	A1	29-08-2013	CN 103296712 A 11-09-2013 DE 102012202867 A1 29-08-2013 FR 2987509 A1 30-08-2013

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/025059

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B60L11/18 B60L15/00 B60L7/14 H02M7/49 H02M7/483
 B60L1/00
 ADD.
 Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE
 Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B60L 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	JP 5 853094 B2 (HITACHI LTD) 9. Februar 2016 (2016-02-09)	1-19, 21-23, 25,26
A	Zusammenfassung Abbildungen 1-7 Absätze [0018] - [0138]	20,24
A	US 2013/241472 A1 (FEUERSTACK PETER [DE] ET AL) 19. September 2013 (2013-09-19) das ganze Dokument	1-26
A	WO 2012/107149 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; FEUERSTACK PETER [DE]; WEISSENBORN ERIK [DE];) 16. August 2012 (2012-08-16) das ganze Dokument	1-26
	----- -/-	

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
1. Juni 2017	12/06/2017

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 Schmitt, Gilles
--	--

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2011/198936 A1 (GRAOVAC DUSAN [DE] ET AL) 18. August 2011 (2011-08-18) Zusammenfassung Abbildungen 18, 19 Absätze [0107] - [0112] -----	1-26
A	DE 10 2012 202867 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 29. August 2013 (2013-08-29) Zusammenfassung Abbildung 4 Absätze [0049] - [0056] -----	1-26

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/025059

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 5853094	B2	09-02-2016	BE 840434 A1 02-08-1976
			BR 7602089 A 05-10-1976
			DE 2615110 A1 21-10-1976
			FR 2307066 A1 05-11-1976
			GB 1508102 A 19-04-1978
			JP S5853094 B2 26-11-1983
			JP S51123358 A 28-10-1976
			US 3960186 A 01-06-1976

US 2013241472	A1	19-09-2013	CN 103109415 A 15-05-2013
			DE 102010041040 A1 22-03-2012
			EP 2619842 A2 31-07-2013
			JP 5642286 B2 17-12-2014
			JP 2013539955 A 28-10-2013
			US 2013241472 A1 19-09-2013
			WO 2012038188 A2 29-03-2012

WO 2012107149	A1	16-08-2012	CN 103338968 A 02-10-2013
			DE 102011003861 A1 09-08-2012
			EP 2673160 A1 18-12-2013
			US 2013314046 A1 28-11-2013
			WO 2012107149 A1 16-08-2012

US 2011198936	A1	18-08-2011	CN 102263524 A 30-11-2011
			DE 102011004248 A1 18-08-2011
			US 2011198936 A1 18-08-2011
			US 2013127251 A1 23-05-2013

DE 102012202867	A1	29-08-2013	CN 103296712 A 11-09-2013
			DE 102012202867 A1 29-08-2013
			FR 2987509 A1 30-08-2013
