



(10) **DE 10 2016 105 542 A1** 2017.09.28

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 105 542.5**

(22) Anmeldetag: **24.03.2016**

(43) Offenlegungstag: **28.09.2017**

(51) Int Cl.: **H02M 7/483 (2007.01)**
B60L 11/18 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Dr. Ing. h.c. F. Porsche Aktiengesellschaft, 70435
Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:

**Götz, Stefan, Dr., 85659 Forstern, DE; Jaensch,
Malte, Dr., 74321 Bietigheim-Bissingen, DE;
Lappe, Dirk, 76228 Karlsruhe, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

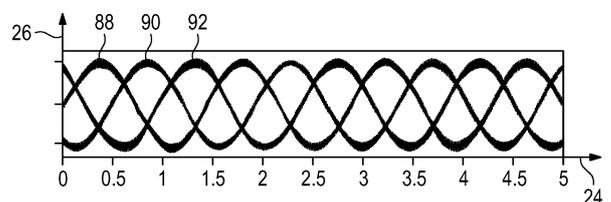
DE	199 08 495	A1
DE	10 2010 041 040	A1
DE	10 2011 004 248	A1
DE	10 2013 203 734	A1
DE	10 2015 205 278	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben eines elektrischen Netzes**

(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 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.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines elektrischen Netzes, einen Multilevelkonverter und ein Energieversorgungssystem.

[0002] Ein elektrisches Netz kann mehrere Energiequellen aufweisen, über die mehreren Verbrauchern, die mit dem elektrischen Netz verbunden sind, elektrische Energie bereitstellbar ist. Hierbei ist weiterhin möglich, dass das elektrische Netz in mehrere Teilnetze unterteilt ist, denen jeweils unterschiedliche Energiequellen sowie Verbraucher 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 oder einen Wechselspannungswandler, miteinander verbunden.

[0003] 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 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.

[0004] 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.

[0005] Aus der Druckschrift US 2013 0 106 365 A1 ist bekannt, einen Energiespeicher eines elektrischen Kraftfahrzeugs über eine externe Energiequelle aufzuladen. Dabei ist möglich, den Energiespeicher des Kraftfahrzeugs mit der externen Energiequelle galvanisch getrennt oder direkt aufzuladen.

[0006] 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 benötigte mehrphasige

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

[0007] 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 Spannungsquellen und Spannungsnetzen eines elektrischen Kraftfahrzeugs ausgebildet ist.

[0008] Vor diesem Hintergrund war es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren sowie eine Einrichtung bereitzustellen, mit dem bzw. der Spannungen mit unterschiedlichen maximale 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.

[0009] Diese Aufgabe wird mit dem Verfahren gemäß Patentanspruch 1, einem Multilevelkonverter gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 7 sowie einem Energieversorgungssystem gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 15 gelöst. Ausgestaltungen des Verfahrens, des Multilevelkonverters und des Energieversorgungssystems ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen und der Beschreibung.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren ist zum Betreiben eines elektrischen Netzes vorgesehen, das ein erstes Teilnetz und ein zweites Teilnetz umfasst, die über einen Transformator miteinander verbunden und durch diesen voneinander galvanisch getrennt werden. Dabei wird eine Primärseite des Transformators mit einer ersten Windungszahl dem ersten Teilnetz und eine Sekundärseite des Transformators mit einer zweiten Windungszahl dem zweiten Teilnetz zugeordnet. Das erste Teilnetz weist einen Multilevelkonverter mit einer Mehrzahl an Einzelmodulen auf, wobei jedes Einzelmodul einen elektrischen Energiespeicher aufweist. Von dem Multilevelkonverter wird mindestens eine erste bzw. primäre eingehende elektrische Wechselspannung als Eingangsspannung bereitgestellt und/oder erzeugt, die mit mindestens einer zweiten bzw. sekundären eingehenden elektrischen Wechselspannung als weiteren Eingangsspannung moduliert wird. Eine aus einer derartigen Modulation resultierende elektrische Spannung wird dem Transformator bereitgestellt und von diesem auf eine ausgehende elektrische Spannung als Ausgangsspannung transformiert, die dem zweiten Teilnetz bereitgestellt wird.

[0011] Üblicherweise ist die erste Windungszahl der Primärseite des Transformators größer als die zweite Windungszahl der Sekundärseite. Somit ist eine maximale Amplitude der resultierenden Wechselspan-

nung des ersten Teilnetzes und somit eines Hochspannungsnetzes größer als eine Amplitude der ausgehenden Wechselspannung für das zweite Teilbordnetz, das entsprechend als Niederspannungsnetz ausgebildet und/oder zu bezeichnen ist.

[0012] Bei dem Verfahren ist vorgesehen, dass die mindestens eine erste eingehende Wechselspannung eine Amplitude mit einem ersten Wert und eine Frequenz mit einem ersten Wert aufweist, und dass die mindestens eine zweite eingehende 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 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 möglich, dass der erste Wert der Amplitude der mindestens einen ersten eingehenden Wechselspannung kleiner als der zweite Wert der zweiten eingehenden Wechselspannung ist. Außerdem ist auch möglich, dass der Wert der Frequenz der mindestens einen ersten eingehenden Wechselspannung größer als der Wert der Frequenz der zweiten eingehenden Wechselspannung ist.

[0013] In Ausgestaltung wird die mindestens eine erste eingehende Wechselspannung an einem Referenzpunkt des Multilevelkonverters mit der mindestens einen zweiten eingehenden Wechselspannung moduliert. Hierbei wird als Referenzpunkt bspw. ein Sternpunkt des Multilevelkonverters gewählt.

[0014] Üblicherweise wird die mindestens eine zweite eingehende Wechselspannung, unter Umsetzung einer Amplitudenmodulation, auf die mindestens eine erste eingehende Wechselspannung moduliert und somit dieser hinzuaddiert, wobei die resultierende Spannung als Summe der eingehenden Wechselspannungen bereitgestellt wird.

[0015] Weiterhin ist möglich, dass von dem Multilevelkonverter mehrere, bspw. drei, zueinander phasenverschobene eingehende erste bzw. primäre Wechselspannungen bzw. Phasen bereitgestellt werden, die mit der mindestens einen zweiten bzw. sekundären eingehenden Wechselspannung moduliert werden. Hierbei ist vorgesehen, jede der ersten eingehenden Wechselspannungen mit jeweils einer phasenindividuell einzustellenden zweiten eingehenden Wechselspannung zu modulieren. Alternativ hierzu werden sämtliche erste eingehenden Wechselspannungen mit derselben zweiten eingehenden Wechselspannung moduliert.

[0016] In Ausgestaltung wird die mindestens eine erste eingehende Wechselspannung bzw. Phase mit der mindestens einen zweiten eingehenden Wechselspannung moduliert und somit angeregt. Die hierbei durchgeführte Modulation wird relativ zu dem Referenzpunkt des Multilevelkonverters, bspw. zwischen einem Anschluss des Multilevelkonverters und dem Referenzpunkt, moduliert, wobei ein jeweiliger Anschluss für die mindestens eine erste eingehende Wechselspannung bzw. Phase vorgesehen ist. Falls mit dem Multilevelkonverter mehrere erste eingehende Wechselspannungen und somit Phasen erzeugt werden, werden diese mit der zur Modulation zu verwendenden mindestens einen zweiten eingehenden Wechselspannung kompensiert.

[0017] Der mehrere Einzelmodule mit Energiespeichern umfassende Multilevelkonverter ist ebenfalls als Energiespeicher bzw. Energiequelle ausgebildet und/oder zu bezeichnen, 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.

[0018] Weiterhin wird Verbrauchern des zweiten Teilnetzes über den Transformator abhängig von der resultierenden Wechselspannung die ausgehende Wechselspannung bereitgestellt, wobei deren Frequenz sowie Amplitude von der Frequenz und Amplitude der resultierenden Wechselspannung sowie von einem Verhältnis der beiden Windungszahlen des Transformators abhängig ist.

[0019] Außerdem weist der Multilevelkonverter mehrere verteilte Einzelmodule auf, wobei von einem Energiespeicher eines jeweiligen Einzelmoduls eine Gleichspannung oder eine 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.

[0020] Der erfindungsgemäße Multilevelkonverter bzw. mehrstufige Konverter, der auch als Multilevelumrichter zu bezeichnen ist, ist in einem elektrischen Netz anzuordnen, das ein erstes Teilnetz und ein zweites Teilnetz umfasst, die über einen Transformator miteinander zu verbinden und durch diesen voneinander galvanisch zu trennen sind, wobei eine Primärseite des Transformators mit einer ersten Windungszahl dem ersten Teilnetz und eine Sekundärseite des 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 eingehende elektrische Wechselspannung als Eingangsspannung bereitzustellen und/oder zu erzeugen und mit mindestens einer zweiten eingehenden elektrischen Wechselspannung als Eingangsspannung zu modulieren, wobei dem Transformator von dem Multilevelkonverter eine resultierende elektrische Spannung bereitzustellen ist, die von dem Transformator auf eine ausgehende elektrische Spannung als Ausgangsspannung zu transformieren und dem zweiten Teilnetz bereitzustellen ist.

[0021] 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 eingehenden Wechselspannung einzustellen. Je nach Definition ist diese Kontrolleinheit als Komponente des Multilevelkonverters ausgebildet und/oder zu bezeichnen.

[0022] Weiterhin sind mindestens zwei Einzelmodule des Multilevelkonverters, in der Regel sämtliche Einzelmodule, gleich ausgebildet.

[0023] Der Multilevelkonverter ist dazu ausgebildet, die mindestens eine erste eingehende Wechselspannung aus einer Einzelspannung von einer Energiequelle bzw. einem Energiespeicher mindestens eines Einzelmoduls zu erzeugen bzw. bereitzustellen, wobei mehrere eingehende erste Wechselspannungen einander überlagert und/oder zueinander zeitlich phasenverschoben werden.

[0024] Außerdem ist der Multilevelkonverter dazu ausgebildet, mindestens zwei Einzelmodule in Reihe und/oder zueinander parallel zu schalten, und die mindestens eine erste eingehende Wechselspannung aus einer Kombination von Einzelspannungen der mindestens zwei miteinander zu kombinierenden Einzelmodule bereitzustellen. Hierbei werden einzelne Einzelmodule je nach Bedarf eingeschaltet oder ausgeschaltet.

[0025] 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 eingehende Wechselspannung und somit Phase zu erzeugen ist. Der Wert der Amplitude der jeweiligen ersten eingehenden 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.

[0026] Dem Multilevelkonverter ist mindestens eine zusätzliche Energiequelle bzw. mindestens ein zu-

sätzlicher Energiespeicher zugeordnet, die bzw. der dazu ausgebildet ist, die mindestens eine zweite eingehende Wechselspannung bereitzustellen.

[0027] Die Energiespeicher der Einzelmodule sind in der Regel als Gleichspannungsquellen ausgebildet. Der Multilevelkonverter weist mindestens einen Wandler auf, der dazu ausgebildet ist, eine als Gleichspannung ausgebildete Einzelspannung eines Energiespeichers mindestens eines Einzelmoduls in eine Wechselspannung umzuwandeln und daraus die mindestens eine erste eingehende Wechselspannung bereitzustellen.

[0028] Üblicherweise wird auf die mindestens eine erste eingehende, niederfrequente Wechselspannung die mindestens eine zweite eingehende, hochfrequente Wechselspannung moduliert.

[0029] Weiterhin wird die Primärseite des Transformators durch den Multilevelkonverter, d. h. durch die von dem Multilevelkonverter bereitgestellte resultierende Spannung, angeregt.

[0030] Der Transformator weist eine Hochpasscharakteristik auf, wobei durch den Transformator aus der resultierenden Spannung nur Anteile berücksichtigt und auf die ausgehende Spannung transformiert werden, die mindestens so groß wie eine Grenzfrequenz sind.

[0031] Das erfindungsgemäße Energieversorgungssystem umfasst ein elektrisches Netz, das ein erstes Teilnetz und ein zweites Teilnetz umfasst, die über einen Transformator miteinander verbunden und durch diesen voneinander galvanisch getrennt sind, wobei eine Primärseite des Transformators eine erste Windungszahl aufweist und dem ersten Teilnetz zugeordnet ist, und wobei eine Sekundärseite des 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 eingehende elektrische Wechselspannung bzw. Eingangsspannung bereitzustellen und/oder zu erzeugen und mit mindestens einer zweiten eingehenden elektrischen Wechselspannung bzw. Eingangsspannung zu modulieren. Eine daraus resultierende elektrische Spannung ist dem Transformator bereitzustellen. Der Transformator ist dazu ausgebildet, die resultierende elektrische Spannung auf eine ausgehende elektrische Spannung bzw. Ausgangsspannung zu transformieren und dem zweiten Teilnetz bereitzustellen.

[0032] In Ausgestaltung ist die erste Windungszahl einer Spule der Primärseite des Transformators größer als die zweite Windungszahl einer Spule der Se-

kundärseite des Transformators. Alternativ ist denkbar, dass die erste Windungszahl der Spule der Primärseite kleiner als die zweite Windungszahl der Spule der Sekundärseite ist.

[0033] Das Energieversorgungssystem ist bspw. in einem Kraftfahrzeug anzuordnen.

[0034] Weiterhin ist dem ersten Teilnetz als Verbraucher eine elektrische Maschine zuzuordnen, die mehrere Phasen aufweist, wobei der Multilevelkonverter dazu ausgebildet ist, jeder Phase jeweils eine erste eingehende Wechselspannung bereitzustellen.

[0035] Der vorgestellte erfindungsgemäße Multilevelkonverter ist in Ausgestaltung als Komponente des vorgestellten erfindungsgemäßen Energieversorgungssystems 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 als elektrischer Motor betrieben wird, mit dem elektrische Energie in mechanische Energie umgewandelt wird. Alternativ oder ergänzend ist auch möglich, dass diese elektrische Maschine je nach Anforderung als elektrischer Generator betrieben wird.

[0036] Falls das Energieversorgungssystem und das Netz für ein Kraftfahrzeug vorgesehen sind, 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.

[0037] 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.

[0038] In Ausgestaltung wird eine Anregung mindestens einer Primärseite und somit einer primären Spule bzw. Wicklung des 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 eingehenden 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 eingehenden Wechselspannung, die zur Modulation der mindestens einen ersten eingehenden Wechselspannung verwendet wird, größer als der Wert der Frequenz der mindestens einen ersten eingehenden Wechselspannung.

[0039] 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 Electronics) von S. M. Goetz, A. V. Peterchev und T. Weyh beschrieben.

[0040] In der Regel weist die mindestens eine zu erzeugende erste eingehende Wechselspannung eine hohe Dynamik auf. Üblicherweise ist der Wert der Amplitude der mindestens einen ersten eingehenden Wechselspannung um mehrere Größenordnungen größer als der Wert der Amplitude der mindestens einen zweiten eingehenden Wechselspannung. Durch Kombination mehrerer erster eingehender Wechselspannungen, die von dem Multilevelkonverter überlagert werden, ist ein sogenanntes Frequenzmultiplexing der ersten eingehenden Wechselspannungen möglich, wobei die derart miteinander kombinierten ersten eingehenden Wechselspannungen zum Versorgen des Verbrauchers des ersten Teilnetzes ausgehend von dem Multilevelkonverter zu versorgen sind.

[0041] Eine Hochpasscharakteristik des 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.

[0042] Die Anregung des Transformators wird durch den Wert der Frequenz und/oder der Amplitude der resultierenden Spannung, die von dem Multilevel-

konverter aus den eingehenden Wechselspannungen bereitgestellt wird, eingestellt. Dabei wird zumindest die Amplitude und/oder Frequenz der ersten eingehenden Wechselspannungen an Erfordernisse des Verbrauchers des ersten Teilnetzes angepasst. Im Rahmen der von dem Multilevelkonverter durchzuführenden Modulation wird eine Amplitudenmodulation durchgeführt. Diese durchzuführende Modulation ist lediglich für eine erste eingehende Wechselspannung und somit eine erste Phase oder für mehrere erste eingehende Wechselspannungen und somit für mehrere Phasen durchführbar, wobei im letztgenannten Fall die eingehenden ersten Wechselspannungen gegenseitig kompensiert werden.

[0043] Die Sekundärseite des Transformators ist in Ausgestaltung mit mindestens einem Gleichrichter und somit ggf. einer Topologie aus mehreren Gleichrichtern verbunden, wobei an dem mindestens einen Gleichrichter wiederum mindestens ein Verbraucher des zweiten Teilnetzes angeschlossen ist, wobei die von dem Transformator bereitgestellte 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 Wechselspannungs- bzw. DC-Regelstufe auf, die bspw. als Back-, Boost-, oder Back-Boost-Stufe für Spannungen von 110 V oder 240 V 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.

[0044] Bei einer ersten möglichen Ausführungsform des Verfahrens, des Multilevelkonverters und/oder des Energieversorgungssystems ist vorgesehen, dass das erste Teilnetz als Hochspannungsversorgungsnetz und das zweite Teilnetz als Niederspannungsversorgungsnetz ausgebildet ist. Dabei weist das zweite Teilnetz in Ausgestaltung mindestens einen eigenen Energiespeicher, bspw. einen Kondensator und/oder eine Batterie, auf. Ein 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 maximalen Spannung von bspw. 12 V 1 bis 3 kW. Dagegen beträgt der Leistungsbedarf des ersten Teilnetzes je nach Ausgestaltung des anzutreibenden Kraftfahrzeugs für dessen Antrieb bspw. 20 kW bis 400 kW.

[0045] Bei der mit dem Multilevelkonverter durchzuführenden Modulation wird über die mindestens eine zweite eingehende Wechselspannung zusätzliche Leistung in das erste Teilnetz eingespeist und dabei in eine dynamische Leistungsregelung des ersten Teilnetzes eingefügt. Damit eine aktuelle Leistung des ersten Teilnetzes, die sich aus einem eigentlichen Soll-Strom- oder Soll-Spannungsverlauf auf Grundlage der mindestens einen ersten eingehenden Wechselspannung 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 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.

[0046] Bei der zweiten Ausführungsform 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 resultierenden Wechselspannung in dem ersten Teilnetz wird eine elektrostatische 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 wird durch Nutzung der Freiheitsgrade des Multilevelkonverters als physikalische Schaltung die Modulation relativ zu deren Referenzpunkt durchgeführt. Dabei entspricht dieser Referenzpunkt bspw. einem Sternpunkt des üblicherweise mehrphasigen Multilevelkonverters bzw. Multilevelumrichters. Die Modulation wird hierbei zwischen einem Anschluss einer Phase des Verbrauchers, bspw. der mehrphasigen elektrischen Maschine, und dem Referenzpunkt durchgeführt. Falls der Verbraucher mindestens einen 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 somit dem Referenzpunkt, jedoch nicht zwischen Anschlüssen des Verbrauchers vorliegt. Dabei wird der Referenzpunkt als Anschluss für den Transformator verwendet.

[0047] Mit dem vorgestellten Multilevelkonverter bzw. Multilevelumrichter ist eine resultierende Spannung bereitzustellen, die eine geringe Verzerrung

aufweist, 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 möglich, die elektrische Maschine ausgehend von dem Multilevelkonverter spannungs-gesteuert zu betreiben.

[0048] 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, für mindestens eine elektrische Maschine zum Antreiben eines Kraftfahrzeugs zu erzeugen sind, bereitgestellt werden. Eine derartige zur Versorgung vorgesehene Spannung weist 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.

[0049] 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 maximale Spannung von 12 V, 24 V, oder 48 V auf. Dagegen weist das erste Teilnetz wesentlich höhere Spannungen von bspw. 110 V oder 240 V auf.

[0050] Alle Teilnetze sind über den Transformator voneinander galvanisch getrennt, so dass ein eventueller Halbleiterschaden im zweiten Teilnetz keine leitende Verbindung zu dem zweiten Teilnetz und damit bspw. eine lebensgefährliche Berührungsspannung 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.

[0051] 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 Transformator für das zweite Teilnetz eine hierzu vergleichsweise geringe Spannung bereitgestellt, wobei diese beiden Teilnetze über den 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.

[0052] 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 Transformator mit dem ersten Teilnetz verbunden, wobei zwischen den beiden Teilnetzen ein Energieaustausch ermöglicht wird. Der Transformator wird mit der üblicherweise geringen zweiten eingehenden Wechselspannung, die auf die erste eingehende Wechselspannung moduliert wird, mit elektrischer Energie versorgt. Diese zweite eingehende Wechselspannung wird auf mindestens eine Phase, in der Regel alle Phasen, des Multilevelkonverters moduliert. Ein hierbei passend auszuwählender Referenzpunkt ermöglicht, dass die modulierten zweite eingehende Wechselspannung einen Betrieb der elektrischen Maschine nicht beeinflusst.

[0053] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.

[0054] Es versteht sich, dass die voranstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0055] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsformen in den Zeichnungen schematisch dargestellt und wird unter Bezugnahme auf die Zeichnungen schematisch und ausführlich beschrieben.

[0056] Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung eine aus dem Stand der Technik bekannte elektrische Schaltung

[0057] Fig. 2 zeigt in schematischer Darstellung eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters und Diagramme zur Durchführung einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0058] Fig. 3 zeigt in schematischer Darstellung eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Energieversorgungssystems.

[0059] Fig. 4 zeigt in schematischer Darstellung eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Energieversorgungssystems.

[0060] Fig. 5 zeigt in schematischer Darstellung die erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters und Diagramme zur Durchführung einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0061] Die Figuren werden zusammenhängend und übergreifend beschrieben. Gleichen Komponenten sind dieselben Bezugsziffern zugeordnet.

[0062] Die in Fig. 1a schematisch dargestellte Schaltung 2 umfasst eine Energiequelle 4 und eine Hochspannungslast 6, die beide über einen Inverter 8 verbunden sind, der dazu ausgebildet ist, eine von der Energiequelle 4 erzeugte Gleichspannung in eine Wechselspannung zu wandeln und der Hochspannungslast 6 bereitzustellen.

[0063] Dabei ist es möglich, wie das Diagramm aus Fig. 1b zeigt, durch eine Phasenanschnittsteuerung eine variable Durchschnittsspannung zu erzeugen. Alternativ ist, wie das Diagramm aus Fig. 1c zeigt, durch eine Dreipunkt-Pulsweitenmodulation eine variable Durchschnittsspannung zu erzeugen.

[0064] Die in Fig. 2a schematisch dargestellte erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters 10 umfasst einen ersten Strang 12 mit vier Einzelmodulen 14a, 14b, 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 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 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 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.

[0065] Die Fig. 2b, Fig. 2c, Fig. 2d umfassen jeweils ein Diagramm mit einer Abszisse 24 entlang der die Zeit aufgetragen ist, und eine Ordinate 26, entlang der Werte einer elektrischen Spannung aufgetragen sind. Dabei zeigt das erste Diagramm aus Fig. 2b einen Verlauf 28 einer ersten eingehenden Wechselspannung, die von einem Verbraucher bzw. einer Last, hier der elektrischen Maschine benötigt wird. Hierbei ist vorgesehen, dass diese Maschine innerhalb 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 einen galvanisch trennenden Transistor mit dem ersten Teilnetz zu verbinden ist.

[0066] Ein Verlauf 30 der zweiten eingehenden Wechselspannung dieses zweiten Verbrauchers ist in dem zweiten Diagramm aus Fig. 2c gezeigt, wobei ein Vergleich der Diagramme aus den Fig. 2b und Fig. 2c zeigt, dass die erste eingehende Wechselspannung für den ersten Verbraucher eine höhere Amplitude als die zweite eingehende Wechselspannung des zweiten Verbrauchers aufweist. Dagegen weist die Frequenz der zweiten eingehenden Wechselspannung des zweiten Verbrauchers eine höhere Frequenz als jene des ersten Verbrauchers auf. Bei Durchführung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die in dem Diagramm aus Fig. 2c gezeigte zweite eingehende Wechselspannung mit dem Verlauf 30 auf die erste eingehende Wechselspannung mit dem Verlauf 28 aus Fig. 2b addiert, wobei eine resultierende Spannung mit einem Verlauf 32, wie in Fig. 2d dargestellt, erzeugt wird, die als Summenspannung bei einer Modulation der ersten eingehenden Wechselspannung mit der zweiten eingehenden Wechselspannung entsteht und zur Anregung der Primärseite des Transformators verwendet wird.

[0067] Die in Fig. 3 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 umfasst 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 umfasst ein erstes Einzelmodul 48a, ein zweites Einzelmodul 48b, ein drittes Einzelmodul 48c und ein viertes Einzelmodul 48d aufweist.

velkonverters **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.

[0068] 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.

[0069] Beim Betrieb des Multilevelkonverters **46** wird ein Wert einer Amplitude einer ersten eingehenden 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.

[0070] Sämtliche Einzelmodule **48a**, **48b**, **48c**, **48d**, **50a**, **50b**, **50c**, **50d**, **52a**, **52b**, **52c**, **52d** sind gleichartig ausgebildet und weisen jeweils eine gleichartigen Energiespeicher auf, mit dem jeweils eine Wechselspannung bereitzustellen ist, deren Amplitude denselben Wert aufweist. 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**, **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 werden.

[0071] 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, 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.

[0072] 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.

[0073] 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.

[0074] 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.

[0075] In einer Ausführungsform des Verfahrens wird auf eine erste eingehende Wechselspannung zwischen der dritten Phase W und dem Referenzpunkt **66** eine zweite eingehende 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 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: $V_{u-v} = V_{u-r} - V_{v-r}$, $V_{u-w} = V_{u-r} - V_{w-r}$ und $V_{u-w} = V_{u-r} = V_{w-r}$ gilt.

[0076] 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.

[0077] Die Fig. 4 schematisch dargestellte zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Energieversorgungssystems **70** umfasst ein erstes Teilnetz **72** und ein zweites Teilnetz **74**. Das erste Teilnetz **42** umfasst eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters **76**. Hierbei ist vorgesehen, dass die dritte Ausführungsform des Multilevelkonverters **46** 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 Energieversorgungssystems **40** aus **Fig. 3**.

[0078] 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 **47**, **49**, **51** bereitgestellt. Weiterhin wird auf diese mindestens eine erste bzw. primäre eingehende Wechselspannung eine zweite bzw. sekundäre eingehende Wechselspannung moduliert, deren Amplitude einen geringeren zweiten Wert aufweist. Allerdings weist diese zweite eingehende Wechselspannung eine höhere Frequenz als die erste eingehende Wechselspannung auf.

[0079] Die zweite Ausführungsform des Energieversorgungssystems **70** unterscheidet sich dadurch von der ersten Ausführungsform aus **Fig. 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** und einem vierten Einzelmodul **52d** des dritten Strangs **51** des Multilevelkonverters **46** verbunden ist.

[0080] **Fig. 5a** zeigt ebenfalls die aus **Fig. 2a** bekannte erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Multilevelkonverters **10**.

[0081] Dabei ist in **Fig. 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 ersten bzw. primären eingehenden 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 eingehenden Wechselspannung aufgrund einer Reihen- und/oder Parallelschaltung der Einzelmodule **14a**, **1b**, **14c**, **14d**, **18a**, **18b**, **18c**, **18d**, **22a**, **22b**, **22c**, **22d** beitragen.

[0082] Die **Fig. 5b**, **Fig. 5c**, **Fig. 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 **Fig. 5b** einen Verlauf **80** einer ersten primären eingehenden 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 eingehende 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 eingehende 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 eingehenden Wechselspannungen dieselbe Frequenz und dieselbe Amplitude auf. Außerdem sind diese primären eingehenden Wechselspannungen um 120° zueinander phasenverschoben.

[0083] Das Diagramm aus **Fig. 5c** zeigt einen Verlauf **86** einer zweiten bzw. sekundären eingehenden Wechselspannung, die wiederum auf die drei primären eingehenden Wechselspannungen moduliert wird.

[0084] Verläufe **88**, **90**, **92** von daraus resultierenden Spannungen, hier von resultierenden Wechselspannungen, sind in dem Diagramm aus **Fig. 5d** dargestellt.

[0085] Auch hier ist vorgesehen, dass der Multilevelkonverter **10** in einem ersten Teilnetz angeordnet ist, das ebenfalls einen dreiphasigen Verbraucher aufweist, dem die drei primären eingehenden Wechselspannungen bereitgestellt werden. Weiterhin ist dieses Teilnetz über 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.

[0086] **Fig. 5e** zeigt in schematischer Darstellung eine Steuerung **94** eines Verbrauchers des ersten Teilnetzes, über dessen drei Phasen U, V, W von dem Multilevelkonverter **10** die drei primären eingehenden Wechselspannungen bereitzustellen sind, deren Verläufe **80**, **82**, **84**, in **Fig. 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 eingehende Wechselspannung erzeugt, deren Verlauf **86** in dem Diagramm aus **Fig. 5c** gezeigt ist. Diese zweite eingehende Wechselspannung wird auf die drei ersten eingehenden Wechselspannungen addiert und dem Verbraucher, hier einer elektrischen Maschine, bereitgestellt.

[0087] Somit werden von der Kontrolleinheit **94** bei Durchführung einer Regelung der elektrischen Ma-

schine die ersten eingehenden phasenspezifischen Wechselspannungen U, V, W bzw. phasenspezifischen Ströme bereitgestellt. (Alternativ ist 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.)

[0088] Die Kontrolleinheit **96**, die u. a. zum Kontrollieren eines Gleichspannungswandlers des Multilevelkonverters **10** ausgebildet ist, erzeugt die hochfrequente zweite eingehende Wechselspannung mit seitlich veränderlicher Amplitude und/oder Frequenz, die bspw. zur Regelung einer Leistung von Verbrauchern des zweiten Teilnetzes vorgesehen ist. Da die zweite eingehende Wechselspannung auf alle drei ersten eingehenden Wechselspannungen bzw. Phasen moduliert wird, ist diese für den Verbraucher bzw. die elektrische Maschine des ersten Teilnetzes nicht sichtbar. Die zweite eingehende Wechselspannung entspricht gleichzeitig einer Differenz des Referenzpunkts des Verbrauchers sowie mindestens eines Referenzpunkts des Multilevelkonverters **10**, wobei der mindestens eine derartige Referenzpunkt üblicherweise als Sternpunkt ausgebildet ist.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- US 5093583 A [0003]
- US 20100140003 A1 [0004]
- US 20130106365 A1 [0005]
- US 20140152089 A1 [0006]
- US 20140225432 A1 [0007]
- DE 102015112513 [0064]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- "Modular Multilevel Converter with Series and Parallel Module Connectivity: Topology and Control."(IEEE Transaction on Power Electronics) von S. M. Goetz, A. V. Peterchev und T. Weyh [0039]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines elektrischen Netzes (40, 70), das ein erstes Teilnetz (42, 72) und ein zweites Teilnetz (44, 74) umfasst, die über einen Transformator (60) miteinander verbunden und durch diesen voneinander galvanisch getrennt werden, wobei eine Primärseite des Transformators (60) mit einer ersten Windungszahl dem ersten Teilnetz (42, 72) und eine Sekundärseite des Transformators (60) mit einer zweiten Windungszahl dem zweiten Teilnetz (44, 74) zugeordnet wird, 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 Energiespeicher aufweist, wobei von dem Multilevelkonverter (10, 46, 76) 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 (60), bereitgestellt wird, die von dem Transformator (60) auf eine ausgehende elektrische Spannung transformiert wird, die dem zweiten Teilnetz (44, 74) bereitgestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem vorgesehen ist, dass die mindestens eine erste eingehende Wechselspannung eine Amplitude mit einem ersten Wert und eine Frequenz mit einem ersten Wert aufweist, und dass die mindestens eine zweite eingehende 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, 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 erste eingehende Wechselspannung an einem Referenzpunkt (66) des Multilevelkonverters (10, 47, 76) mit der mindestens einen zweiten eingehenden Wechselspannung moduliert wird.

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

5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem die mindestens eine zweite ein-

gehende Wechselspannung auf die mindestens eine erste eingehende Wechselspannung moduliert wird, wobei die resultierende Spannung als Summe der eingehenden Wechselspannungen bereitgestellt wird.

6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, bei dem von dem Multilevelkonverter (10, 46, 76) mehrere zueinander phasenverschobene eingehende erste Wechselspannungen bereitgestellt werden, die mit der mindestens einen zweiten eingehenden Wechselspannung moduliert werden.

7. 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, 74) umfasst, wobei die beiden Teilnetze (42, 44, 72, 74) über einen Transformator (60) miteinander zu verbinden und durch diesen voneinander galvanisch zu trennen sind, wobei eine Primärseite des Transformators (60) mit einer ersten Windungszahl dem ersten Teilnetz (42, 72) und eine Sekundärseite des Transformators (60) mit einer zweiten Windungszahl dem zweiten Teilnetz (44, 74) zuzuordnen ist, wobei der Multilevelkonverter (10, 46, 76) in dem ersten Teilnetz (42, 72) anzuordnen ist 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 eingehenden elektrischen Wechselspannung zu modulieren, wobei eine daraus resultierende elektrische Spannung dem Transformator (60), bereitzustellen ist, die von dem Transformator (60) auf eine ausgehende elektrische Spannung zu transformieren und dem zweiten Teilnetz (44, 74) bereitzustellen ist.

8. Multilevelkonverter nach Anspruch 7, dem eine Kontrolleinheit (54) zugeordnet ist, die dazu ausgebildet ist, Werte von mindestens einem physikalischen Parameter der mindestens einen eingehenden Wechselspannung einzustellen.

9. Multilevelkonverter nach Anspruch 7 oder 8, bei dem 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) gleich ausgebildet sind.

10. Multilevelkonverter nach einem der Ansprüche 7 bis 9, der dazu ausgebildet ist, die mindestens eine erste eingehende Wechselspannung aus einer Einzelspannung von einem Energiespeicher 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**) zu erzeugen.

11. Multilevelkonverter nach Anspruch 10, 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 eingehende 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.

12. Multilevelkonverter nach einem der Ansprüche 7 bis 10, 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 eingehende Wechselspannung zu erzeugen ist.

13. Multilevelkonverter nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dem mindestens ein zusätzlicher Energiespeicher (**56**) zugeordnet ist, der dazu ausgebildet ist, die mindestens eine zweite eingehende Wechselspannung bereitzustellen.

14. Multilevelkonverter nach einem der Ansprüche 7 bis 13, 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 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 eingehende Wechselspannung bereitzustellen.

15. Energieversorgungssystem, das ein elektrisches Netz (**40, 70**) aufweist, das ein erstes Teilnetz (**42, 72**) und ein zweites Teilnetz (**44, 74**) umfasst, die über einen Transformator (**60**) miteinander verbunden und durch diesen voneinander galvanisch getrennt sind, wobei eine Primärseite des Transformators (**60**) mit einer ersten Windungszahl dem ersten Teilnetz (**42, 72**) und eine Sekundärseite des Transformators (**60**) mit einer zweiten Windungszahl dem zweiten Teilnetz (**44, 74**) 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, 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 eingehenden elektrischen Wechselspannung zu modulieren, wobei eine daraus resultierende elektrische Spannung dem Transformator (**60**) bereitzustellen ist, wobei der Transformator (**60**) dazu ausgebildet ist, die resultierende elektrische Spannung auf eine ausgehende elektrische Spannung zu transformieren und dem zweiten Teilnetz (**44, 74**) bereitzustellen.

16. Energieversorgungssystem nach Anspruch 15, bei dem die erste Windungszahl der Primärseite des Transformators (**60**) größer als die zweite Windungszahl der Sekundärseite des Transformators (**60**) ist.

17. Energieversorgungssystem nach Anspruch 15 oder 16, das in einem Kraftfahrzeug anzuordnen ist.

18. Energieversorgungssystem nach einem der Ansprüche 15 bis 17, bei dem dem ersten Teilnetz (**42, 72**) als Verbraucher (**58**) eine elektrische Maschine zuzuordnen ist, die mehrere Phasen aufweist, wobei der Multilevelkonverter (**10, 46, 76**) dazu ausgebildet ist, jeder Phase jeweils eine erste eingehende Wechselspannung bereitzustellen.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

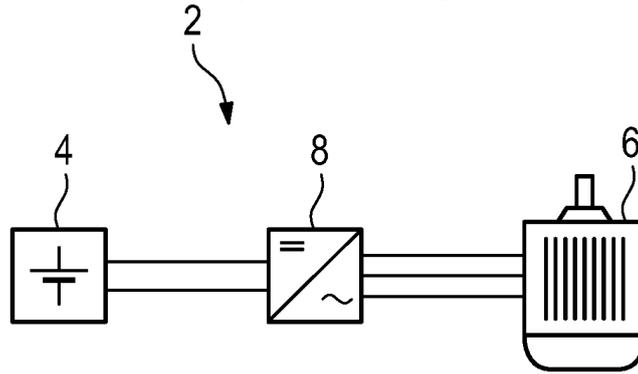


Fig. 1a

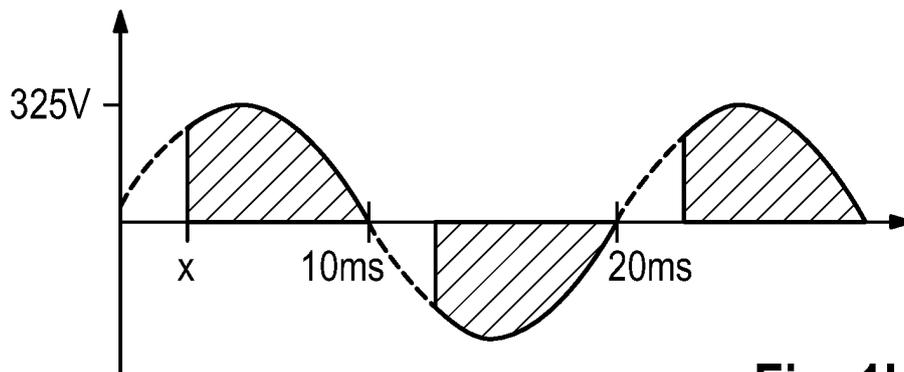


Fig. 1b

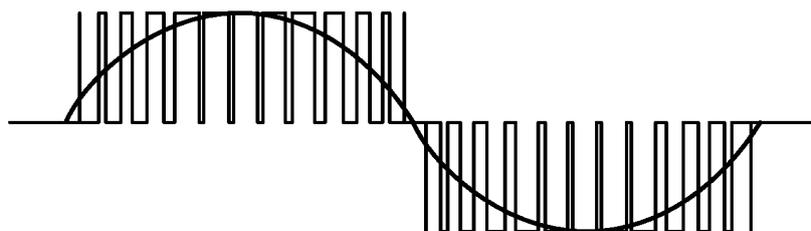


Fig. 1c

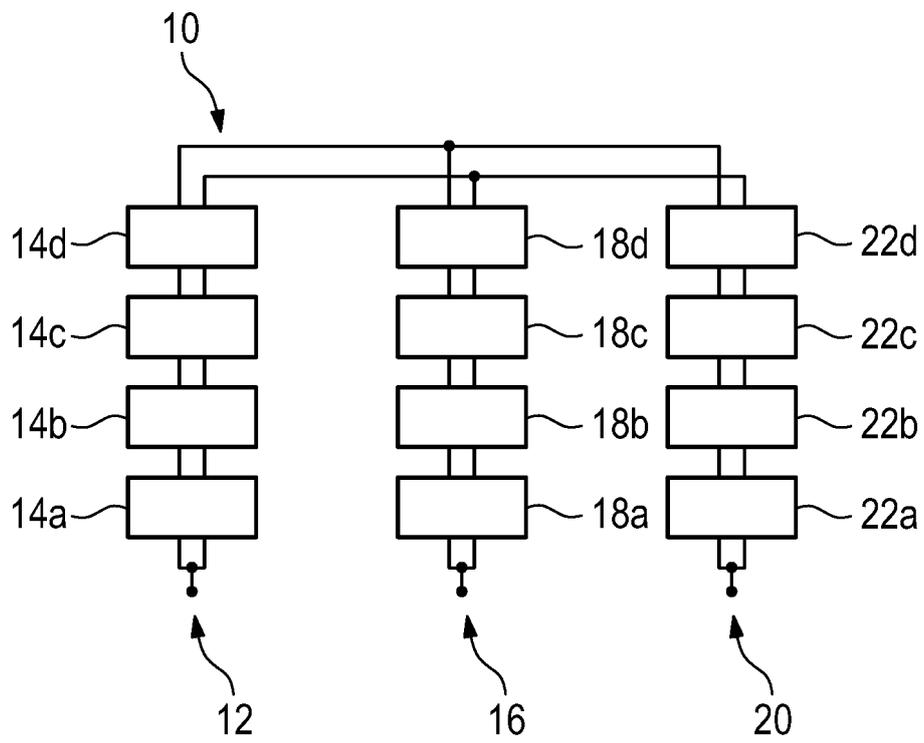


Fig. 2a

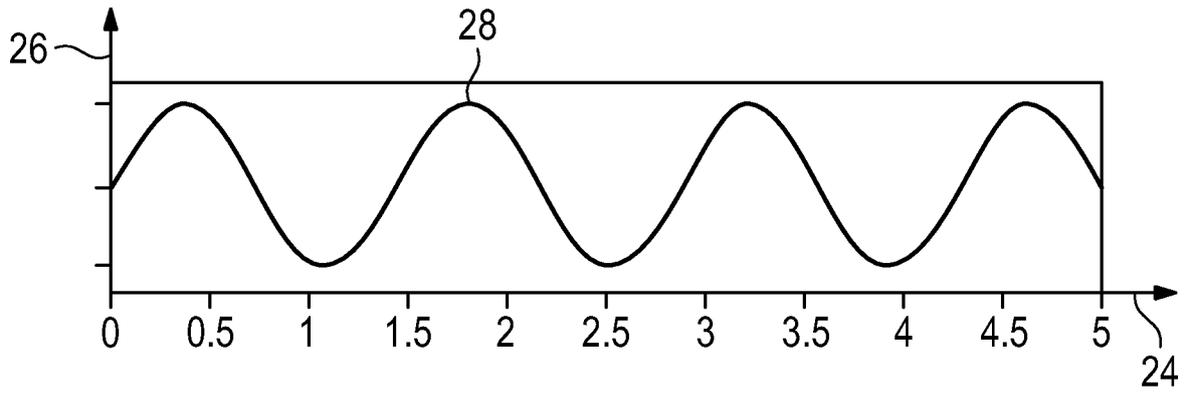


Fig. 2b

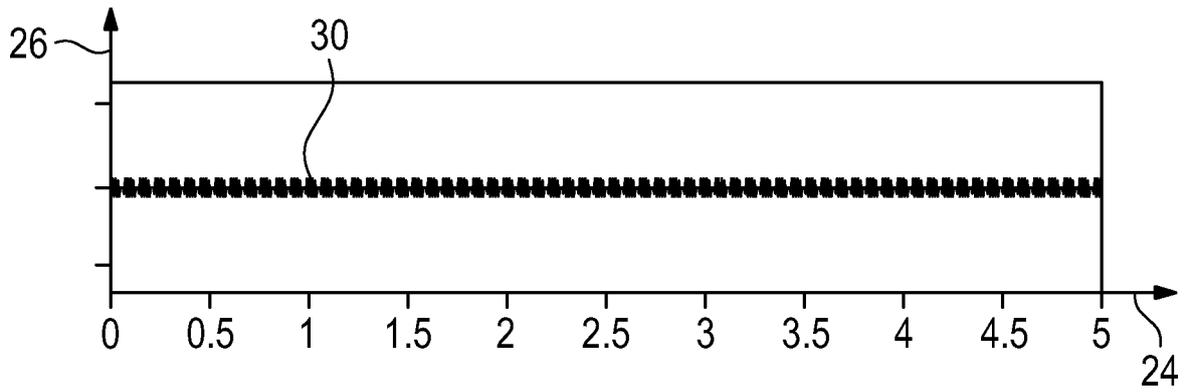


Fig. 2c

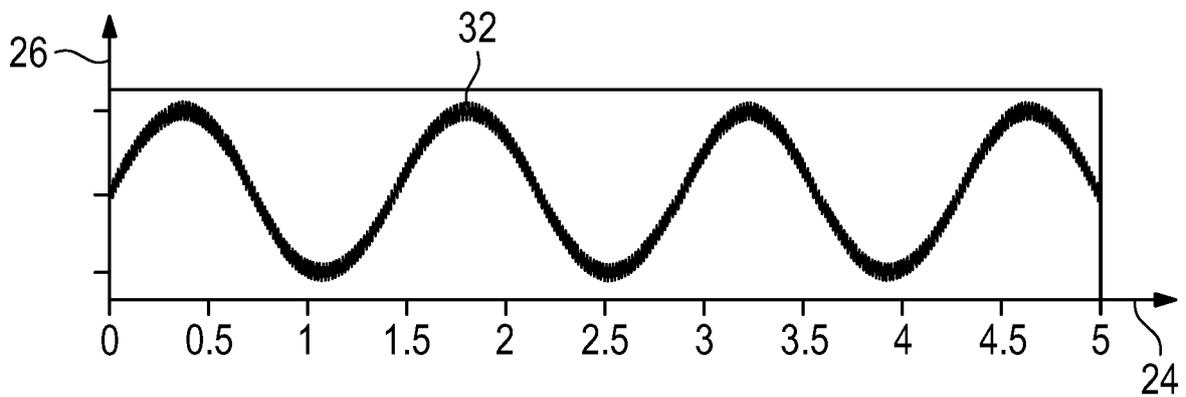


Fig. 2d

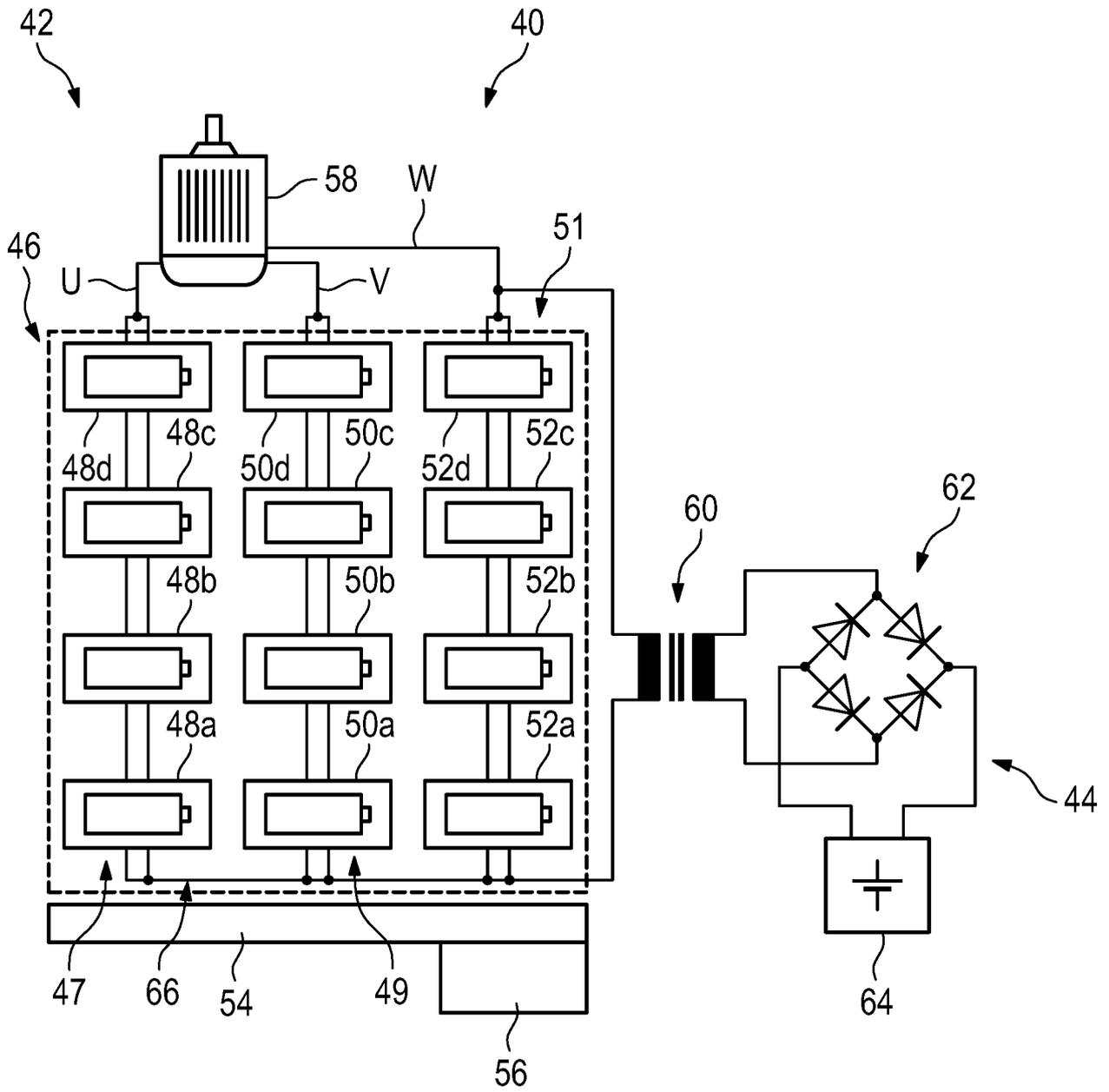


Fig. 3

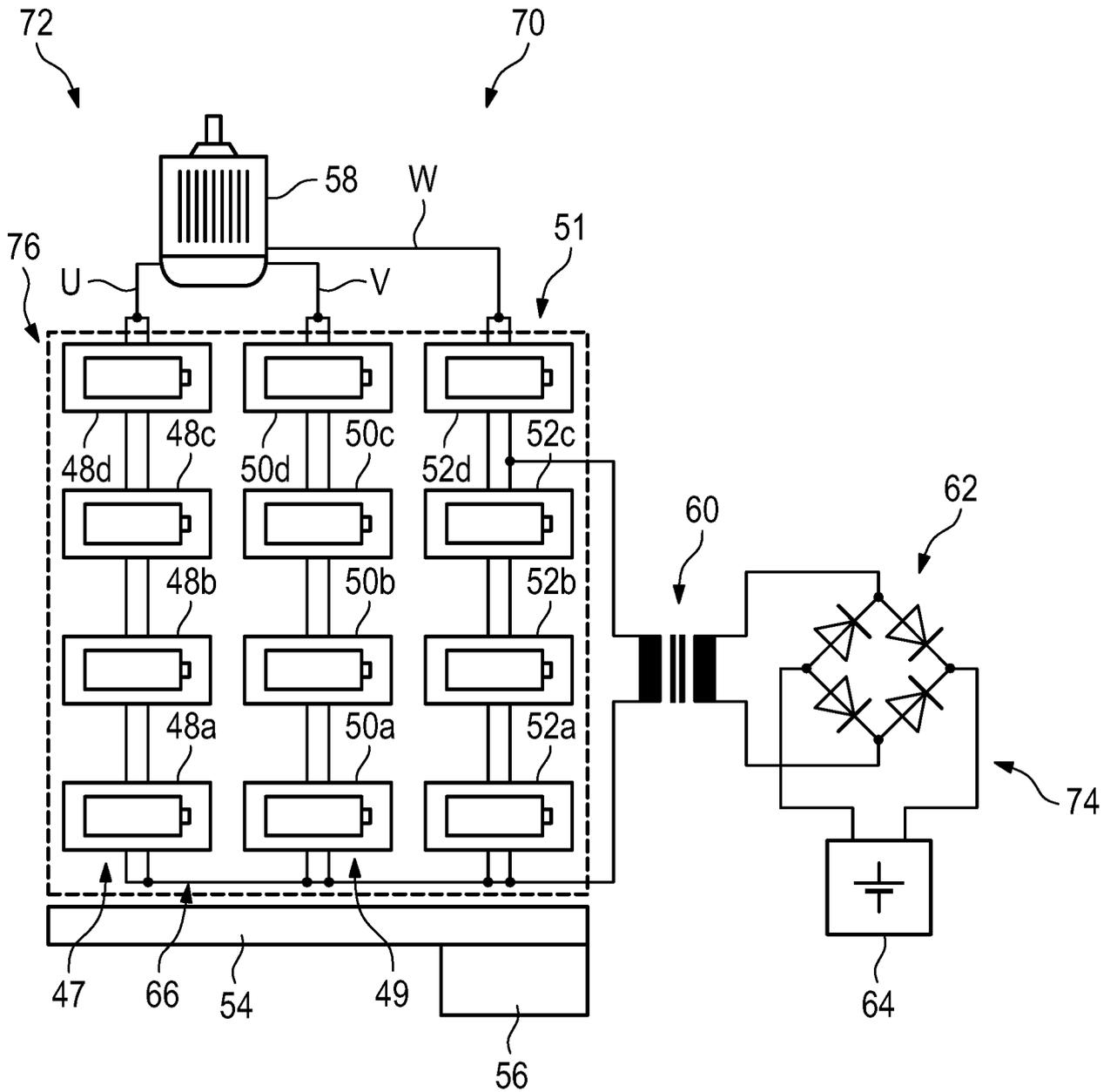


Fig. 4

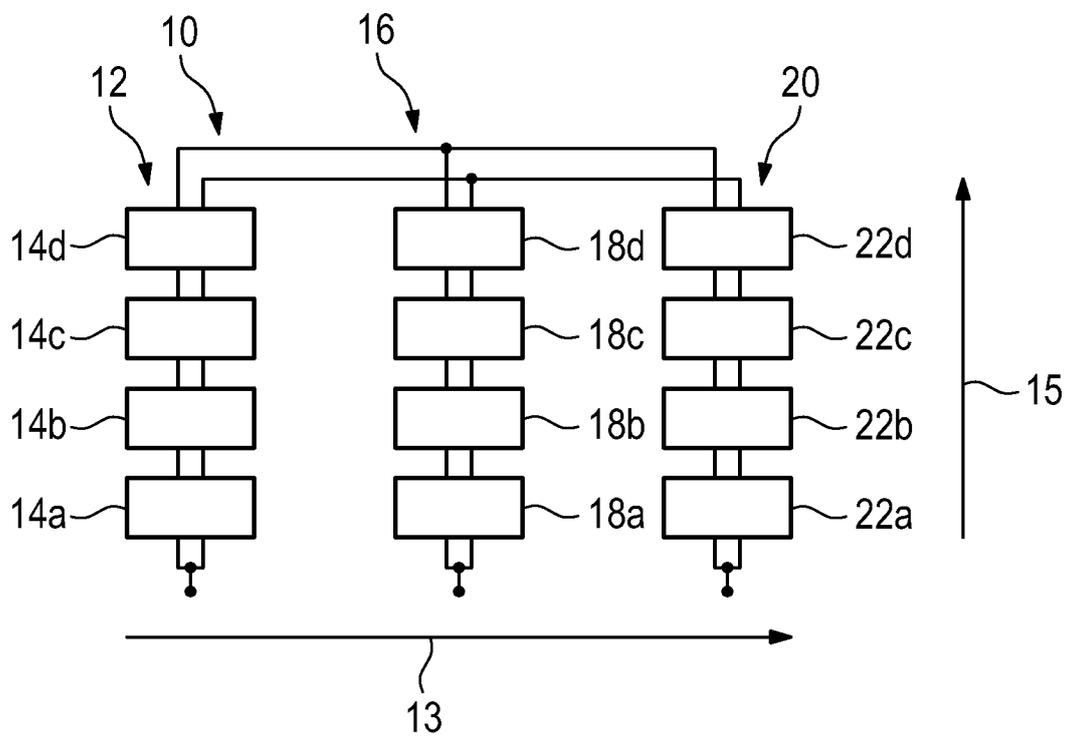


Fig. 5a

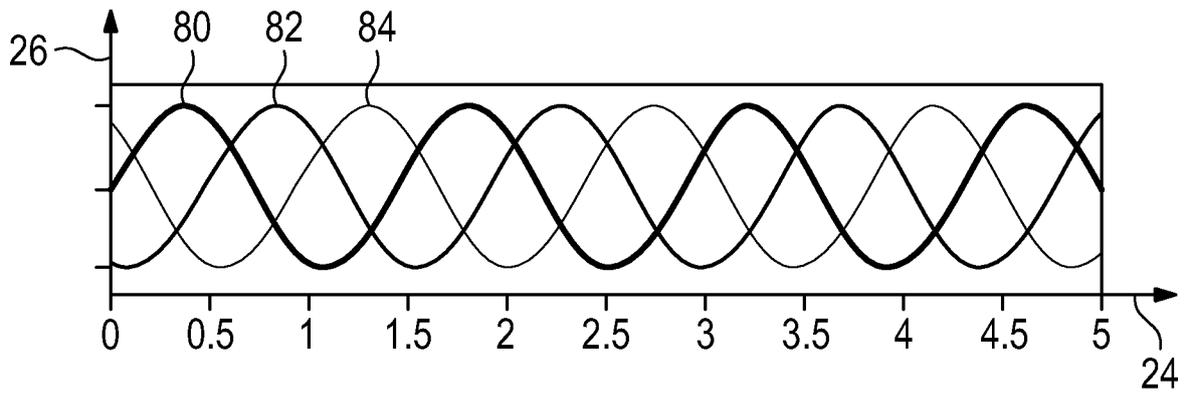


Fig. 5b

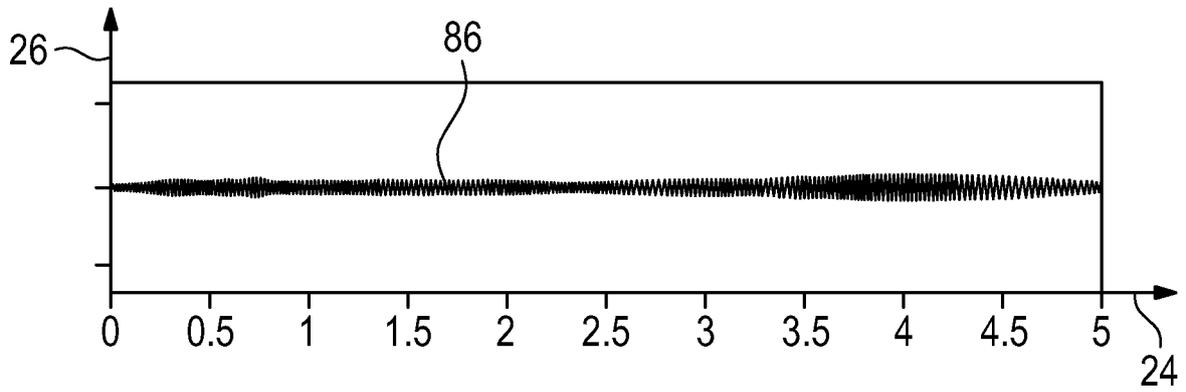


Fig. 5c

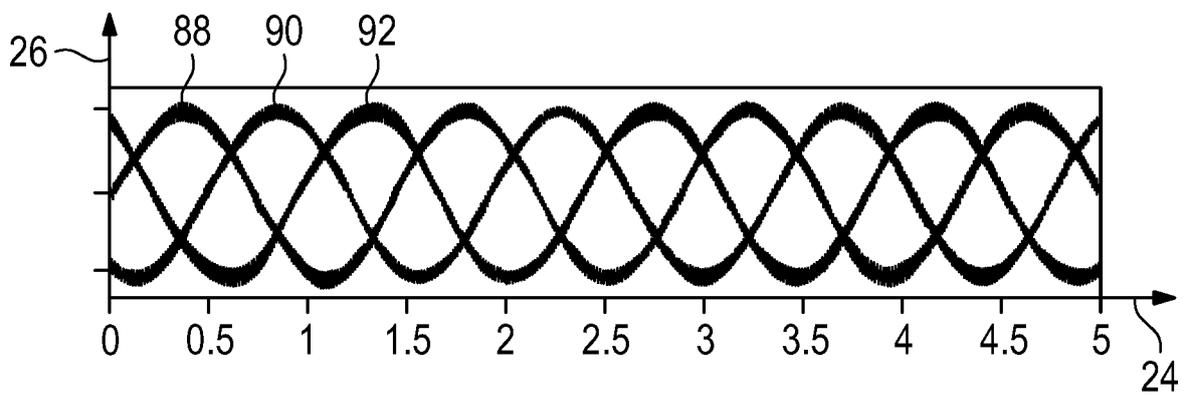


Fig. 5d

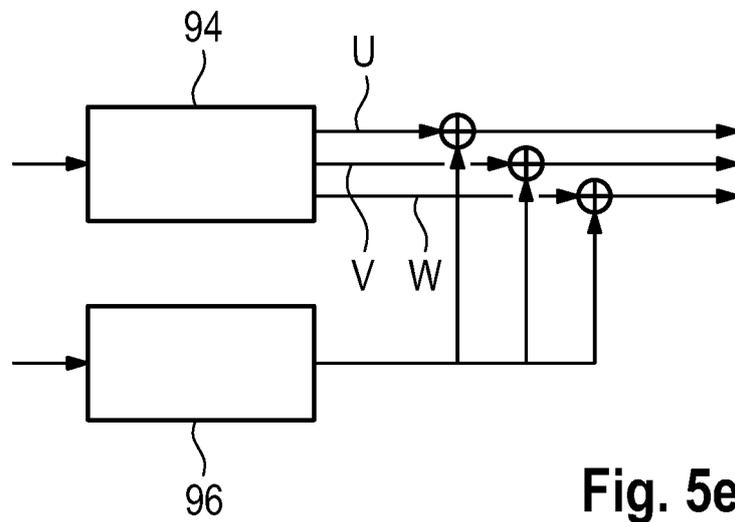


Fig. 5e