


# Traction MMC / Bahn MMC

## Multilevel Modular Converter

**Patent****Author(s):**

[Biela, Jürgen](#) ; Beck, Simon; Fuchs, Simon

**Publication date:**

2023-06-15

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000620006>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 719 226 A2

(51) Int. Cl.: H02M 5/29 (2006.01)  
H02M 7/79 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-lichtensteinerischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 070683/2021

(71) Anmelder:  
ETH Zürich, ETH Transfer, Rämistrasse 101  
8092 Zürich (CH)

(22) Anmeldedatum: 09.12.2021

(72) Erfinder:  
Jürgen Biela, 8004 Zürich (CH)  
Simon Beck, 9490 Vaduz (LI)  
Simon Fuchs, 8902 Urdorf (CH)

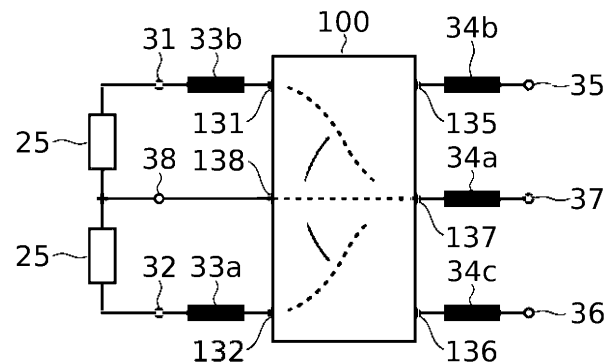
(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.06.2023

(74) Vertreter:  
Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach  
8032 Zürich (CH)

(54) **Umrichter.**

(57) Ein erfindungsgemässer elektrischer Umrichter ist zum Austausch von Energie zwischen einem einphasigen Wechselspannungseingang gegebener Frequenz und Amplitude und einem dreiphasigen Drehspannungsausgang variabler Amplitude und Frequenz vorgesehen.

Dabei ist ein Eingangsanschluss (38) direkt oder über eine Ausgangsinduktivität (34a) mit einem ersten Ausgangsanschluss (37) des Umrichters verbunden. Eine Schalteinheit (100) ist dazu ausgebildet, anhand von mindestens einer Eingangsspannung des einphasigen Wechselspannungssystems einen zweiten und einen dritten Ausgangsanschluss (35, 36) des Umrichters mit unterschiedlichen Wechselspannungen zu speisen, so dass sich zusammen mit der Spannung am ersten Ausgangsanschluss (37) des Umrichters ein gefordertes Dreiphasensystem von Spannungen ergibt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der leistungselektronischen Schaltungstechnik und insbesondere auf eine Topologie eines elektrischen Umrichters mit einem einphasigen Wechselspannungseingang gegebener Frequenz und Amplitude und einem dreiphasigen Drehspannungsausgang variabler Amplitude und Frequenz, wobei diese Variation auch eine Gleichspannung umfasst.

## STAND DER TECHNIK

**[0002]** Um elektrische Leitverluste zu minimieren, werden elektrische Systeme grosser Leistung üblicherweise anhand von Hoch- und/oder Mittelspannungsleitungen mit Energie versorgt. Im Falle von Bahnsystemen kommen dabei z.B. in der Schweiz verbreitet einphasige Wechselspannungssysteme mit 15 kV und 16.67 Hz zum Einsatz. Elektrische Maschinen (z.B. elektrische Bahnmotoren) werden im Vergleich dazu im Allgemeinen mit relativ geringen Spannungen und relativ grossen Strömen dreiphasig betrieben. Um kein aufwändiges mechanisches Getriebe zu benötigen, ist es zudem vorteilhaft diese elektrischen Maschinen mit Spannungen (und Strömen) variabler Frequenz und Amplitude betreiben zu können.

**[0003]** Um dies zu ermöglichen, kommt also ein elektrischer Konverter zum Einsatz, der eine eingangsseitige, einphasige Wechselspannung mit gegebener Frequenz und Amplitude in ausgangsseitige, dreiphasige Wechselspannungen (und -ströme) mit variabler Frequenz (inklusive Nullfrequenz) und variabler Amplitude wandelt. Der eingesetzte Konverter ist zudem in der Lage, näherungsweise reine Wirkleistung mit dem Netz auszutauschen und die ausgangsseitig geforderten Spannungen und Ströme bereitzustellen. Hinzu kommen weitere Anforderungen an den Konverter wie bidirektionaler Leistungsfluss, z.B. zur Rekuperation von Bremsenergie, hoher Wirkungsgrad, geringe Komplexität, kompakte Bauform, geringes Gewicht, niedriger Wartungsaufwand, niedrige Anschaffungs- und Wartungskosten, etc.

**[0004]** Ausserdem können entsprechende Konverter bei der Erzeugung des einphasigen Wechselspannungssystems mit 16.67 Hz eingesetzt werden, das durch das nationale dreiphasige 50 Hz Übertragungsnetz gespiesen wird.s

**[0005]** **Fig. 1** zeigt eine heute verbreitet eingesetzte Umrichtertopologie, mit einem Netztrafo 103 und einem DC-Zwischenkreis 105. Ein möglicher Energiefluss führt von einer einphasigen Spannungsquelle 25 über Eingangsklemmen 31, 32 und eine optionale Netzimpedanz 33, über den Netztrafo 103, einen Gleichrichter 107, DC-Zwischenkreis mit optionalem Mittelabgriff 105, Wechselrichter 108, und optionale Drehssystemimpedanzen 34 zu Klemmen 35, 36 und 37 eines Drehsystems, also eines mehrphasigen Wechselspannungssystems. Diese Topologie ermöglicht insbesondere einen bidirektionalen Leistungsfluss und eine variable Ausgangsamplitude und -frequenz, während näherungsweise keine Blindleistung mit dem Netz ausgetauscht wird. Da bisher keine Leistungshalbleiter existieren, die Hoch- oder Mittelspannungen direkt schalten können, wird die eingangsseitige Spannung zunächst mittels eines netzfrequenten Transformators auf ein Niveau abgesenkt, das für Leistungshalbleiter verträglich ist. Da die Netz- bzw. Versorgungsspannungsfrequenz  $f_g$  oft relativ gering (16.67 Hz - 50Hz) ist, fallen das Volumen  $V$  und damit auch das Gewicht dieses Transformators bei gegebener Scheinleistung  $S$  entsprechend gross aus (näherungsweise  $V \propto (S/f_g)^{3/2}$ ), während sich der Wirkungsgrad im Bereich von 87%-97% bewegt, siehe z.B. „ABB breakthrough transformer for trains improves efficiency and safety significantly“ von ABB veröffentlicht als Pressemitteilung am 18.09.2018.

**[0006]** Wie **Fig. 1** weiters zeigt, wird der netzfrequente Transformator sekundärseitig durch eine geeignete Gleichrichterschaltung bzw. Leistungshalbleiter mit einem DC-Zwischenkreis, der über einen Mittelabgriff verfügen kann, verbunden. Anschliessend wird der Zwischenkreis durch eine oder mehrere Wechselrichterschaltungen mit einer oder mehreren ausgangseitigen Drehspannungssystemen verbunden. Der DC-Zwischenkreis entkoppelt dabei die eingangsfrequente Seite des Converters von der ausgangsfrequenten Seite. So können u.a. Schwebungen zwischen den eingangsfrequenten und den ausgangsfrequenten Spannungen und/oder Strömen vermieden werden. Lediglich beim sehr niederfrequenten Betrieb des Ausgangs, z.B. beim Anfahren eines Motors, müssen zusätzliche Massnahmen ergriffen werden, um die Wandlung der DC-Zwischenkreisspannung(en) in niederfrequente bzw. nullfrequente (DC) Ausgangsspannungen und -ströme zu ermöglichen.

**[0007]** Es wurden mehrere Konzepte vorgestellt, die den netzfrequenten Transformator durch modulare Topologien mit einem oder mehreren mittelfrequenten Transformatoren zu ersetzen versuchen, z.B. in „MVDC Railway Traction Power Systems; State-of-the Art, Opportunities, and Challenges“ von P. Simiyu und I. E. Davidson, veröffentlicht in *Energies*, vol. 14, no. 14, p. 4156, Jul. 2021, und „Solid-State Transformers in Locomotives Fed through AC Lines: A Review and Future Developments“ von S. Farnesi, M. Marchesoni, M. Passalacqua, und L. Vaccaro, veröffentlicht in *Energies*, vol. 12, no. 24, p. 4711, Dec. 2019, um u.a. das Konvertervolumen und -gewicht zu reduzieren und potentiell den Wirkungsgrad zu steigern. Die Komplexität dieser Systeme ist allerdings erheblich höher, was direkte Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit nach sich zieht. So werden z.B. mehrere DC-Zwischenkreise eingesetzt, die jeweils durch eine vorgeschaltete Gleichrichterschaltung und eine nachgeschaltete Wechselrichterschaltung, beide bidirektional, versorgt werden müssen. Die Anzahl der dabei benötigten Halbleiter steigt entsprechend und damit auch die statistische Wahrscheinlichkeit für Defekte. Zudem steigen die Anzahl und Komplexität der dazugehörigen Regel- bzw. Steuerungssysteme, was die statistische Zuverlässigkeit des Gesamtsystems weiter senkt.

## DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0008] Es ist deshalb eine mögliche Aufgabe der Erfindung, einen elektrischen Umrichter zum Austausch von Energie zwischen einem einphasigen Wechselspannungseingang gegebener Frequenz und Amplitude und einem dreiphasigen Drehspannungsausgang variabler Amplitude und Frequenz zu schaffen, welche einen im Vergleich mit bekannten Lösungen vereinfachten Hardwareaufbau aufweist.

[0009] Eine andere mögliche Aufgabe der Erfindung ist, eine Alternative zu bestehenden Lösungen zu schaffen.

[0010] Mindestens eine dieser Aufgaben löst ein elektrischer Umrichter gemäss Patentanspruch 1.

[0011] Das Eingangsspannungssystem ist ein einphasiges Wechselspannungssystem mit einer Eingangsfrequenz und einer Eingangsamplitude. Das Ausgangsspannungssystem ist ein dreiphasiges Wechselspannungssystem mit einer Ausgangsfrequenz und einer Ausgangsamplitude.

[0012] Das einphasige Wechselspannungssystem hat typischerweise eine wählbare aber im Betrieb des Umrichters feste Frequenz. Diese kann auch Null sein, entsprechend einer Gleichspannung (DC). Das dreiphasige Wechselspannungssystem hat eine Ausgangsfrequenz und eine Ausgangsamplitude, die typischerweise variabel und steuerbar sind. Sie können insbesondere im Betrieb des Umrichters geändert werden. Die Ausgangsfrequenz kann auch Null sein, entsprechend einer Gleichspannung.

[0013] Die Spannungen zwischen allen drei Ausgangsanschlüssen des Umrichters bilden das Dreiphasensystem mit einer bestimmten Frequenz und Amplitude.

[0014] Die Hauptfunktion des Umrichters wird durch eine Einheit wahrgenommen, die im Folgenden Kerneinheit genannt wird. Umrichter und Kerneinheit haben korrespondierende Ein- und Ausgangsanschlüsse, d.h. jeder Eingangsanschluss (resp. Ausgangsanschluss) des Umrichters ist genau einem korrespondierenden Eingangsanschluss (resp. Ausgangsanschluss) der Kerneinheit zugeordnet. In Ausführungsformen sind miteinander korrespondierende Ein- resp. Ausgangsanschlüsse von Kerneinheit und Umrichter direkt miteinander verbunden. In anderen Ausführungsformen sind sie über Ein- respektive Ausgangsinduktivitäten miteinander verbunden, und/oder über Energie-Ausgleichsschaltungen miteinander verbunden.

[0015] Als hierarchische Zwischenstufe zwischen Umrichter und Kerneinheit kann eine Schalteinheit definiert werden. Auch diese weist Ein- und Ausgangsanschlüsse auf, welche jeweils mit den Ein- resp. Ausgangsanschlüssen des Umrichters und der Kerneinheit korrespondieren.

[0016] Die Schalteinheit weist mindestens zwei **Eingangsanschlüsse** auf, welche jeweils entweder direkt oder über eine entsprechende Eingangsinduktivität mit einem entsprechenden Eingangsanschluss des Umrichters verbunden sind.

[0017] Ferner sind die Eingangsanschlüsse der Schalteinheit entweder direkt oder über eine eingangsseitige Energie-Ausgleichsschaltung mit Eingangsanschlüssen der Kerneinheit verbunden.

[0018] Die Schalteinheit weist drei **Ausgangsanschlüsse** auf, welche jeweils entweder direkt oder über eine entsprechende Ausgangsinduktivität mit einem entsprechenden Ausgangsanschluss des Umrichters verbunden sind.

[0019] Ferner sind die Ausgangsanschlüsse der Schalteinheit entweder direkt oder über eine ausgangsseitige Energie-Ausgleichsschaltung mit den Ausgangsanschlüssen der Kerneinheit verbunden.

[0020] Wenn keine Eingangs- und Ausgangsinduktivitäten vorliegen, ist der Umrichter identisch mit der Schalteinheit. Wenn keine Energie-Ausgleichsschaltungen vorliegen, ist die Schalteinheit identisch mit der Kerneinheit.

[0021] Die Topologie kann auf einen netzfrequenten Transformator und DC-Zwischenkreise verzichten und kann, je nach Ausführung, auch auf AC-Zwischenkreise oder mittelfrequente Transformatoren verzichten. Mögliche Anwendungen der Erfindung sind die Versorgung von Bahndrehstrommaschinen durch das einphasige Bahnnetz und die Rekuperation von Bremsenergie einer solchen Maschine, da das Verhältnis von Ausgangsspannungsniveau und Eingangsspannungsniveau und die Ausgangsfrequenz variiert werden kann und bidirektionaler Leistungsfluss bei gleichzeitig relativ einfachem und kompaktem elektrischem und mechanischem Aufbau möglich sind.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0022] Im Folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen, welche in den beiliegenden Zeichnungen dargestellt sind, näher erläutert. Es zeigen jeweils schematisch:

Figur 1 eine bekannte Struktur eines Bahnumrichters;

Figur 2-3 Umrichtertopologien gemäss der Erfindung;

Figur 4 eine Konverter-Grundausführung;

Figur 5 die Ausführungsform aus Figur 4 mit Erweiterungen zum Energieausgleich;

Figur 6 eine alternative Konverter-Grundausführung

Figur 7 die Ausführungsform aus Figur 6 mit Erweiterungen zum Energieausgleich;

Figur 8 ein Schaltmodul;

Figur 9 eine Schalteinheit; und

Figur 10-12 weitere Ausführungsformen von Convertern.

[0023] Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche oder gleich wirkende Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

#### WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0024] **Fig. 2** zeigt eine erste Topologie des Umrichters zur unidirektionalen oder bidirektionalen Speisung eines dreiphasigen Spannungssystems variabler Amplitude und Frequenz (inklusive Nullfrequenz) an Ausgangsanschlüssen 35, 36, 37 des Umrichters durch ein einphasiges Spannungssystem variabler Amplitude und Frequenz (inkl. Nullfrequenz) 25 mit optionalem flexiblen Zwischenabgriff 38 mittels Fixierung des Potentials einer ersten Phase des dreiphasigen Spannungssystems in Bezug auf das einphasige Spannungssystem und Variation der Potentiale der beiden anderen Phasen des dreiphasigen Spannungssystems. Serie zu den Ausgangsanschlüssen respektive Eingangsanschlüssen können optional Netzimpedanzen oder Eingangsinduktivitäten 33a, 33b respektive Drehsystemimpedanzen oder Ausgangsinduktivitäten 34a, 34b, 34c vorliegen. Eine eingangsseitige Spannungsversorgung des Umrichters ist durch zwei Spannungsquellen 25 zusammengefasst dargestellt. Die Spannungsquellen sind Teil desselben einphasigen Systems, d.h. sie haben dieselbe Phasenlage und typischerweise auch dieselbe Amplitude. In Ausführungsformen haben sie unterschiedliche Amplituden. Die beiden Spannungsquellen können z.B. durch einen Transformator mit Mittelabgriff realisiert sein.

[0025] Es liegt eine Schalteinheit 100 vor, die zur Speisung eines zweiten Ausgangsanschlusses 35 und eines dritten Ausgangsanschlusses 36 der drei Ausgangsanschlüsse 35, 36, 37 des Umrichters angeordnet ist. Die Schalteinheit 100 selbst ist zur Speisung durch mindestens einen zweiten Eingangsanschluss 31 der mindestens zwei Eingangsanschlüsse 31, 32 des Umrichters angeordnet.

[0026] Die Schalteinheit 100 ist dazu ausgebildet, im Betrieb des Umrichters anhand von mindestens einer Spannung des einphasigen Wechselspannungssystems, welche an den mindestens zwei Eingangsanschlüssen 31, 32, 38 des Umrichters anliegt, den zweiten und dritten Ausgangsanschluss 35, 36 des Umrichters mit unterschiedlichen Wechselspannungen zu speisen. Die Speisung geschieht derart, dass die Spannungen zwischen allen drei Ausgangsanschlüssen 35, 36, 37 des Umrichters ein gefordertes Dreiphasensystem mit einer bestimmten Frequenz und Amplitude bildet.

[0027] **Fig. 3** zeigt eine zweite Topologie als Spezialfall der ersten Topologie, für den Fall, dass eine der beiden Spannungsquellen 25 der **Fig. 2** eine Amplitude von Null hat, respektive nicht vorliegt. Mit anderen Worten kann der einphasige Zwischenabgriff entfallen, indem er ganz zu einer Seite hin verschoben wird.

[0028] Dadurch fallen zwei der Eingangsanschlüsse 32, 38 des Umrichters zusammen. Eine untere Netzimpedanz 33a und obere Netzimpedanz 33b aus **Fig. 2** wirken in Serie und können somit in einer einzigen Netzimpedanz z.B. als obere Netzimpedanz 33b zusammengefasst werden.

[0029] **Fig. 4** zeigt eine erste Ausführungsform der Schalteinheit 100. Darin sind steuerbare Impedanzen, im Folgenden Schaltmodule 20 eingesetzt, die als modulare Elemente vorliegen können. Die Schaltmodule bilden eine H-Brücke, d.h. eine Brückenschaltung mit zwei Zweigen. Ein erster Eingangsanschluss 38 des Umrichters, der als erster Eingangsanschluss 138 der Schalteinheit 100 betrachtet werden kann, ist direkt mit einem ersten Ausgangsanschluss 137 der Schalteinheit verbunden, der über eine optionale erste Ausgangsinduktivität 34a mit einem ersten Ausgangsanschluss 37 des Umrichters verbunden ist.

[0030] Ein erster Brückenweig und ein zweiter Brückenweig mit jeweils zwei Schaltmodulen und einem Mittelabgriff sind zwischen einem zweiten Eingangsanschluss 131 und einem dritten Eingangsanschluss 132 der Schalteinheit geschaltet und über ihren jeweiligen Mittelabgriff und eine jeweilige Ausgangsinduktivität 34 an den zweiten Ausgangsanschluss 35 respektive dritten Ausgangsanschluss 36 des Umrichters geschaltet.

[0031] Durch die Brückenschaltung der Schaltmodule 20 kann die Spannung am zweiten und dritten Ausgangsanschluss 35, 36 des Umrichters so variiert werden, dass sich zusammen mit der Spannung am ersten Ausgangsanschluss 37 des Umrichters das geforderte Dreiphasensystem von Spannungen ergibt.

[0032] Die Ein- und Ausgangsinduktivitäten können auch weggelassen werden, falls der Eingang bzw. der Ausgang des Converters über hinreichend stromeinprägenden Charakter verfügt und/oder die Schaltmodule 20 bereits über hinreichend grosse Induktivitäten verfügen, um beispielsweise einen rudimentären Überspannungsschutz darzustellen.

[0033] **Fig. 5** zeigt eine Erweiterung der Schaltung aus **Fig. 4** mit Energie-Ausgleichschaltungen 41, 42, 43, 44, 45. Jede strichliert eingerahmte Einheit kann für sich verwendet werden. D.h., entweder die Einheiten mit den Bezugszeichen 41, 42 oder 43 (inklusive 41&42) auf der Eingangsseite und/oder 44 oder 45 (inklusive 44). Mit Hilfe der Energie-Ausgleichschaltungen kann in den einzelnen Schaltmodulen 20 gespeicherte Energie zwischen diesen verschoben und dadurch

gleichmässig über diese verteilt werden. Damit kann verhindert werden, dass in bestimmten Zuständen, beispielsweise bei Gleichspannung am Ein- oder Ausgang, oder beim Anfahren, einzelne Schaltmodule überlastet werden. Somit erweitern die Energie-Ausgleichschaltungen die Freiheitsgrade im Konverter und/oder einen möglichen Betriebsbereich.

**[0034] Fig. 6** zeigt eine zweite Ausführungsform der Schalteinheit 100, ebenfalls mit steuerbaren Impedanzen respektive Schaltmodulen 20 eingesetzt, die als modulare Elemente vorliegen können. Wie gemäss Fig. 4 ist auch hier der erste Eingangsanschluss 38 des Umrichters über eine optionale erste Ausgangsinduktivität 34a mit dem ersten Ausgangsanschluss 37 des Umrichters verbunden. Ein erstes Schaltmodul 20 ist als Shunt zwischen den zweiten Eingangsanschluss 131 und den dritten Anschluss 132 Schalteinheit 100 geschaltet. Drei weitere Schaltmodule 20 sind parallel zum ersten Schaltmodul in Serie miteinander verbunden. An zwei Abgriffen zwischen diesen drei Schaltmodulen sind und über eine jeweilige Ausgangsinduktivität 34 sind der zweite respektive der dritte Ausgangsanschluss 35, 36 des Umrichters geschaltet.

**[0035]** Durch die drei in Serie geschalteten Schaltmodule 20 kann die Spannung am zweiten und dritten Ausgangsanschluss 35, 36 des Umrichters so variiert werden, dass sich zusammen mit der Spannung am ersten Ausgangsanschluss 37 des Umrichters das geforderte Dreiphasensystem von Spannungen ergibt.

**[0036] Fig. 7** zeigt eine Erweiterung der Schaltung aus **Fig. 6** mit Energie-Ausgleichschaltungen. Jede strichliert eingekreimte Einheit kann für sich verwendet werden. D.h. entweder die Einheiten mit den Bezugszeichen 61 oder 62 (inklusive 61) und davon unabhängig 63.

**[0037] Fig. 8** zeigt eine Ausführungsform eines Schaltmoduls 20 respektive einer steuerbaren Impedanz. Sie weist eine Serienschaltung einer Arm-Induktivität 23, einer oder mehreren Schalteinheiten 10 und optional einer Arm-Kapazität 24 auf, die zwischen Schaltmodul-Anschlüsse 21, 22 geschaltet sind. Mittels der Schaltmodul-Anschlüsse 21, 22 können solche Schaltmodule 20 wie in den anderen Figuren gezeigt an verschiedenen Stellen in einem Umrichter gemäss der Erfindung eingesetzt sein. Falls im Betrieb erwartete Spannungen über ein Schaltmodul 20 hinreichend klein sind, kann in Ausführungsformen ein Schaltmodul 20 auch durch einen einfachen 2-Quadranten oder 4-Quadranten-Schalter realisiert werden.

**[0038] Fig. 9** zeigt eine Ausführungsform einer Schalteinheit 10 als Vollbrückenmodul mit einem DC-Kondensator als Modulkapazität 14 und vier Leistungshalbleitern 13, beispielsweise Transistoren mit antiparallel geschalteten Freilaufdioden, sowie Modul-Anschlüssen 11, 12. Die Modulkapazität 14 wird im Betrieb auf einer näherungsweise konstanten Spannung gehalten. Falls die gewählte Betriebsart es zulässt, können anstatt der Vollbrücken-Module auch Halbbrückenmodule eingesetzt werden.

**[0039] Fig. 10** zeigt eine Erweiterung der Schaltung gemäss **Fig. 4**. Vor ausgangsseitigen Energieausgleichsschaltungen 44, 45 sind vier weitere steuerbare Impedanzen in einer Brückenschaltung angeordnet. Diese können auch als Energieausgleichsschaltung betrachtet werden. Es kann damit z.B. ein AC-Zwischenkreis variabler Frequenz realisiert werden. Die Erweiterungen mit den Bezugsziffern 41, 42, 43 können wahlweise wie schon oben gezeigt vorliegen.

**[0040] Fig. 11** zeigt eine mögliche eingangsseitige Erweiterung. Ein Transformator 71 mit sekundärseitigem Zwischenabgriff 38 bildet die einphasigen Spannungsquellen 25. Eine bezüglich des Transformators primärseitige Schaltung 70 dient dazu, eine einphasige Netzspannung ohne Zwischenabgriff an Anschlussklemmen 75, 76 in eine einphasige AC-Spannung mit Zwischenabgriff zu wandeln. Eine Kapazitätsschaltung 73 mit Eingangskapazitäten 72 ist optional.

**[0041]** Der Umrichter kann auch hier (nicht dargestellt) durch eingangs- und/oder ausgangsseitige Energieausgleichsschaltungen 41-45 erweitert werden.

**[0042]** Sekundärseitig kann die Schalteinheit 100 beispielsweise mit einer Grundstruktur gemäss Fig. 4 oder gemäss Fig. 6, und ggf. mit den entsprechenden optionalen Energieausgleichsschaltungen realisiert sein. Dies ist durch **Fig. 12** verdeutlicht.

**[0043]** Der Strom, der im resultierenden Aufbau durch den ersten Ausgangsanschluss 37 des Umrichters fliesst, verursacht keinen magnetischen Fluss im Transformator 71, wenn er sich zu gleichen Teilen auf die obere und die untere Transformatorwicklung aufteilt. Um das elektrische Potential der Drehsystemseite zu definieren, kann der sekundärseitige Mittelabgriff des Transformators 71 mit Anschluss 38 verbunden werden und somit beispielsweise auf Erdpotential gebracht werden.

**[0044]** Gegenüber vorbekannten Topologien kann die Erfindung einerseits auf einen netz- bzw. niederfrequenten Transformator verzichten und erlaubt andererseits, eine erhebliche Reduktion der Komplexität und Anzahl an modularen Bauteilen, indem sie ein Drehspannungs- bzw. Drehstromsystem variabler Amplitude und Frequenz bereitstellt und auf DC-Zwischenkreise verzichtet. Damit wird, statistisch gesehen, die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems erhöht. Zur Erhöhung der Freiheitsgrade des Converters und/oder des möglichen Betriebsbereichs sind zudem Ausführungen mit AC-Zwischenkreis und optional mit einem Mittelabgriff, und Ausführungen mit einem mittelfrequenten Transformator, ebenfalls optional mit einem Mittelabgriff, möglich. In Ausführungsformen mit einem AC-Zwischenkreis werden die mittelfrequenten Zwischenkreisspannungen und -ströme potentiell direkt, also ohne DC-Zwischenkreis, zu den variablen Ausgangsspannungen und -strömen gewandelt.

## Patentansprüche

1. Elektrischer Umrichter zum Austausch elektrischer Energie zwischen einem Eingangsspannungssystem und einem Ausgangsspannungssystem, wobei das Eingangsspannungssystem ein einphasiges Wechselspannungssystem ist und das Ausgangsspannungssystem ein dreiphasiges Wechselspannungssystem ist, und wobei der Umrichter mindestens zwei Eingangsanschlüsse (31, 32, 38) zum Anschluss an das Eingangsspannungssystem, und drei Ausgangsanschlüsse (35, 36, 37) zum Anschluss an das Ausgangsspannungssystem aufweist, wobei ein erster Ausgangsanschluss (37) der drei Ausgangsanschlüsse (35, 36, 37) des Umrichters über eine optionale erste Ausgangsinduktivität (34a) mit einem ersten Eingangsanschluss (38) der mindestens zwei Eingangsanschlüsse (31, 32) des Umrichters verbunden ist, und eine Schalteinheit (100) zur Speisung eines zweiten Ausgangsanschlusses (35) und eines dritten Ausgangsanschlusses (36) der drei Ausgangsanschlüsse (35, 36, 37) des Umrichters angeordnet ist, und die Schalteinheit (100) selbst zur Speisung durch mindestens einen zweiten Eingangsanschluss (31) der mindestens zwei Eingangsanschlüsse (31, 32) des Umrichters angeordnet ist, wobei die Schalteinheit (100) dazu ausgebildet ist, im Betrieb des Umrichters anhand von mindestens einer Spannung des einphasigen Wechselspannungssystems, welche an den mindestens zwei Eingangsanschlüssen (31, 32, 38) des Umrichters anliegt, den zweiten und dritten Ausgangsanschluss (35, 36) des Umrichters mit unterschiedlichen Wechselspannungen zu speisen.
2. Elektrischer Umrichter gemäss Anspruch 1, aufweisend eine Schalteinheit (100) und eine Kerneinheit, wobei jedem **Eingangsanschluss** (31, 32, 38) des **Umrichters** genau ein korrespondierender **Eingangsanschluss** (131, 132, 138) **der Schalteinheit** (100) und ein korrespondierender **Eingangsanschluss** (231, 232, 238) **der Kerneinheit** zugeordnet ist, und jedem **Ausgangsanschluss** (35, 36, 37) des **Umrichters** genau ein korrespondierender **Ausgangsanschluss** (135, 136, 137) **der Schalteinheit** (100) und ein korrespondierender **Ausgangsanschluss** (235, 236, 237) **der Kerneinheit** zugeordnet ist.
3. Elektrischer Umrichter gemäss Anspruch 2, wobei jeweils zwischen Eingangsanschlüssen (31, 32, 38) des Umrichters und korrespondierenden Eingangsanschlüssen (131, 132, 138) der Schalteinheit Eingangsinduktivitäten (33a, 33b) geschaltet sind und/oder wobei jeweils zwischen Ausgangsanschlüssen (35, 36, 37) des Umrichters und korrespondierenden Ausgangsanschlüssen (135, 136, 137) der Schalteinheit Ausgangsinduktivitäten (34a, 34b, 34c) geschaltet sind.
4. Elektrischer Umrichter gemäss Anspruch 2 oder 3 wobei zwischen den Eingangsanschlüssen (131, 132, 138) der **Schalteinheit** und den Eingangsanschlüssen (231, 232, 238) der **Kerneinheit** eine eingangsseitige Energie-Ausgleichsschaltung (43) geschaltet ist und/oder wobei zwischen den Ausgangsanschlüssen (135, 136, 137) der Schalteinheit und den Ausgangsanschlüssen (245, 236, 237) der Kerneinheit eine ausgangsseitige Energie-Ausgleichsschaltung (45) geschaltet ist.
5. Elektrischer Umrichter gemäss Anspruch 4, wobei eine eingangsseitige Energie-Ausgleichsschaltung (43) vorliegt, und diese
  - eine eingangsseitige parallel-Ausgleichsschaltung (41) mit einem zwischen dem zweiten (131) und dem dritten (132) Eingangsanschluss der Schalteinheit geschalteten Schaltmodul (20) und/oder
  - eine eingangsseitige seriell-Ausgleichsschaltung (42) mit einem zwischen dem zweiten Eingangsanschluss (131) der Schalteinheit (100) und dem zweiten Eingangsanschluss (231) der Kerneinheit geschalteten Schaltmodul (20) aufweist.
6. Elektrischer Umrichter gemäss Anspruch 4 oder 5, wobei eine ausgangsseitige Energie-Ausgleichsschaltung (45, 62) vorliegt, und diese
  - eine ausgangsseitige parallel-Ausgleichsschaltung mit einem zwischen dem zweiten (135) und dem dritten (136) Ausgangsanschluss der Schalteinheit geschalteten Schaltmodul (20) und optional
  - eine ausgangsseitige seriell-Ausgleichsschaltung (44, 61) mit einem zwischen dem zweiten Ausgangsanschluss (135) der Schalteinheit (100) und dem zweiten Ausgangsanschluss (235) der Kerneinheit geschalteten Schaltmodul (20) sowie mit einem zwischen dem dritten Ausgangsanschluss (136) der Schalteinheit (100) und dem dritten Ausgangsanschluss (236) der Kerneinheit geschalteten Schaltmodul (20) aufweist.
7. Elektrischer Umrichter gemäss einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei die Kerneinheit eine Brückenschaltung aus vier Schaltmodulen (20) aufweist, welche jeweils eine steuerbare Impedanz realisieren, mit
  - einem Schaltmodul (20) zwischen dem **zweiten Eingangsanschluss** (231) der Kerneinheit und dem **zweiten Ausgangsanschluss** (235) der Kerneinheit,
  - einem Schaltmodul (20) zwischen dem **dritten Eingangsanschluss** (232) der Kerneinheit und dem **zweiten Ausgangsanschluss** (235) der Kerneinheit,
  - einem Schaltmodul (20) zwischen dem **zweiten Eingangsanschluss** (231) der Kerneinheit und dem **dritten Ausgangsanschluss** (236) der Kerneinheit,

- einem Schaltmodul (20) zwischen dem **dritten** Eingangsanschluss (232) der Kerneinheit und dem **dritten Ausgangsanschluss** (236) der Kerneinheit.
8. Elektrischer Umrichter gemäss einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei die Kerneinheit eine Spannungsteilerschaltung aus vier Schaltmodulen (20) aufweist, welche jeweils eine steuerbare Impedanz realisieren, mit
- einem Schaltmodul (20) zwischen dem **zweiten Eingangsanschluss** (231) der Kerneinheit und dem **zweiten Ausgangsanschluss** (235) der Kerneinheit,
  - einem Schaltmodul (20) zwischen dem **zweiten Ausgangsanschluss** (235) der Kerneinheit und dem **dritten Ausgangsanschluss** (236) der Kerneinheit,
  - einem Schaltmodul (20) zwischen dem **dritten Ausgangsanschluss** (236) der Kerneinheit und dem **dritten Eingangsanschluss** (232) der Kerneinheit,
  - einem Schaltmodul (20) zwischen dem **zweiten Eingangsanschluss** (231) der Kerneinheit und dem **dritten Eingangsanschluss** (232) der Kerneinheit.
9. Elektrischer Umrichter gemäss Anspruch 1, wobei die Schaltmodule (20) jeweils gesteuerte Impedanzen realisieren, insbesondere durch eine Serienschaltung einer Arm-Induktivität (23), mindestens einer Schalteinheit (10) und optional einer Arm-Kapazität (24).
10. Elektrischer Umrichter gemäss Anspruch 1, wobei die Schalteinheiten (10) der Schaltmodule (20) jeweils zwei Schaltmodul-Anschlüsse (11, 12) und eine Modulkapazität (14) und eine Brückenschaltung aufweisen, und die Brückenschaltung zum wahlweisen Laden oder Entladen der Modulkapazität durch die Schaltmodul-Anschlüsse (11, 12) angeordnet ist.



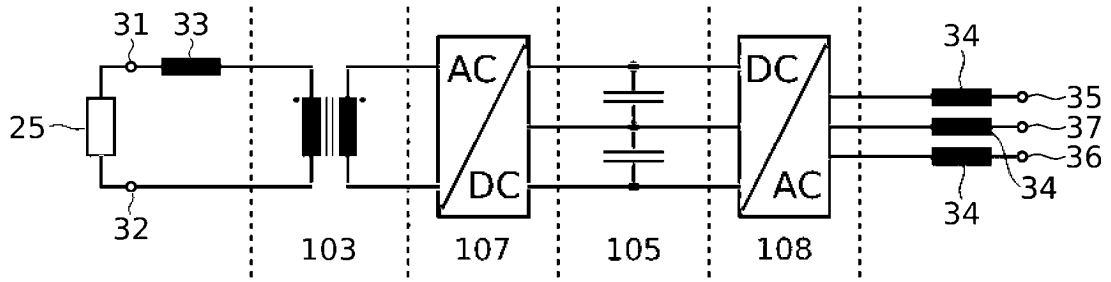


Fig. 1

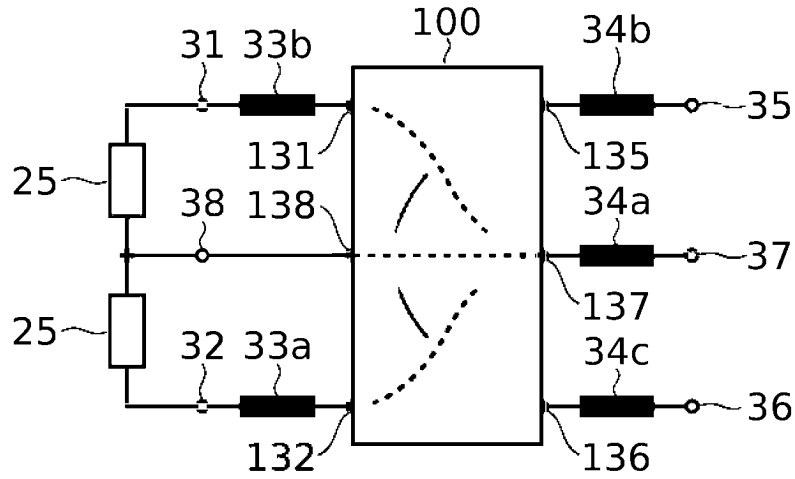


Fig. 2

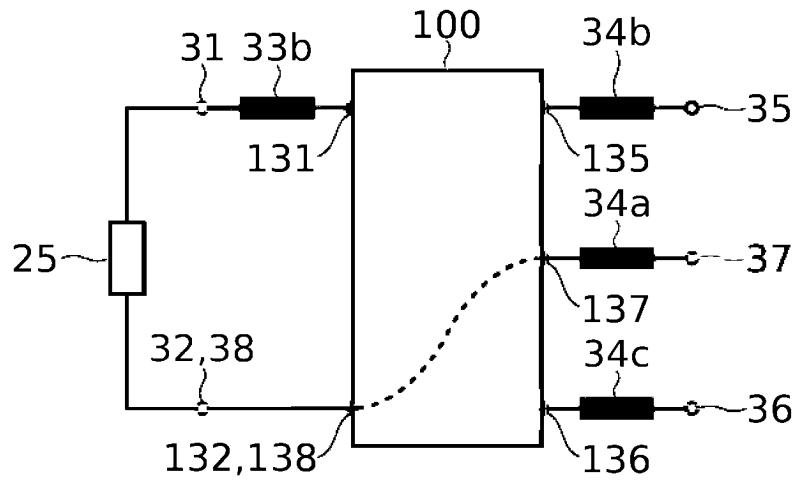


Fig. 3

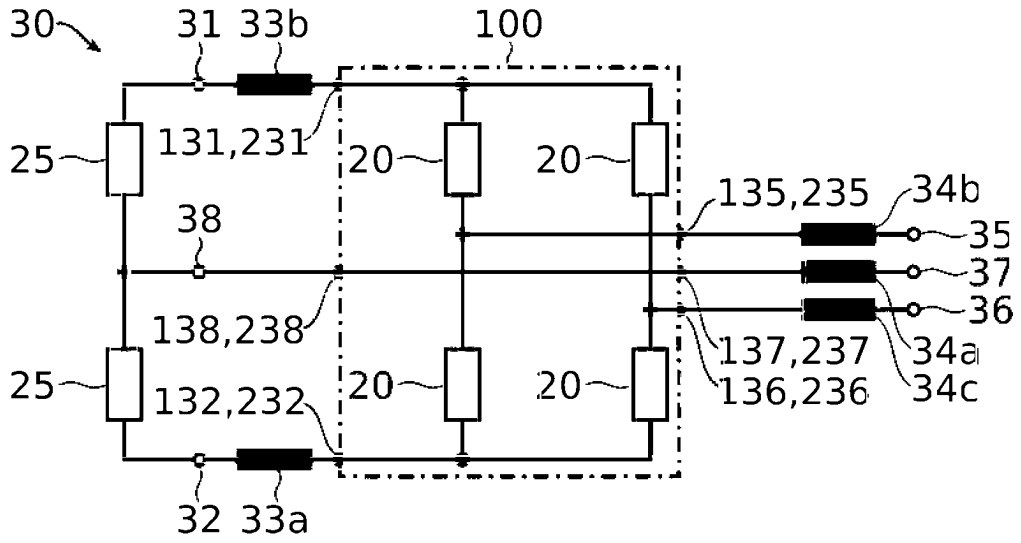


Fig. 4

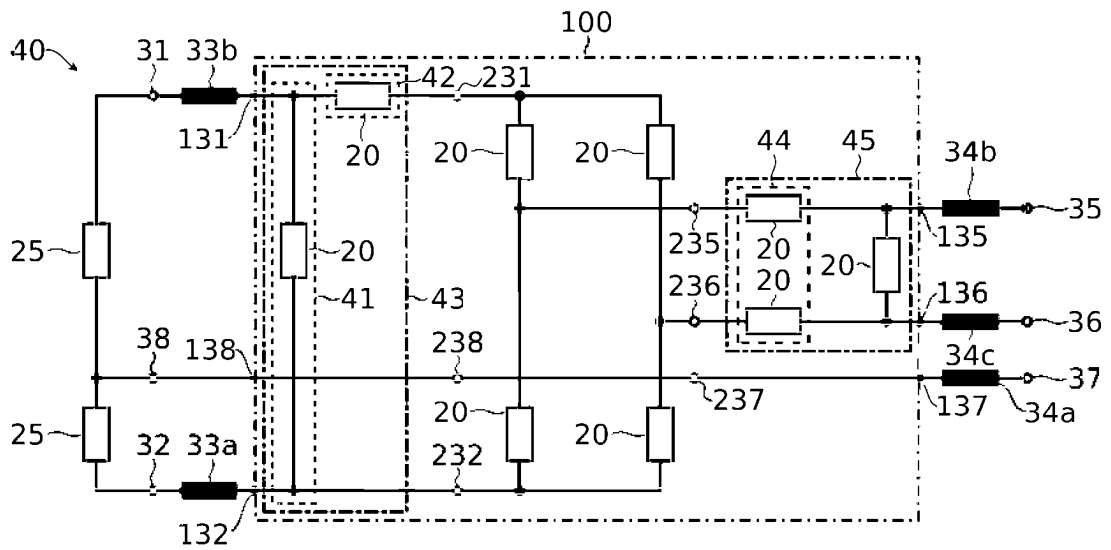


Fig. 5

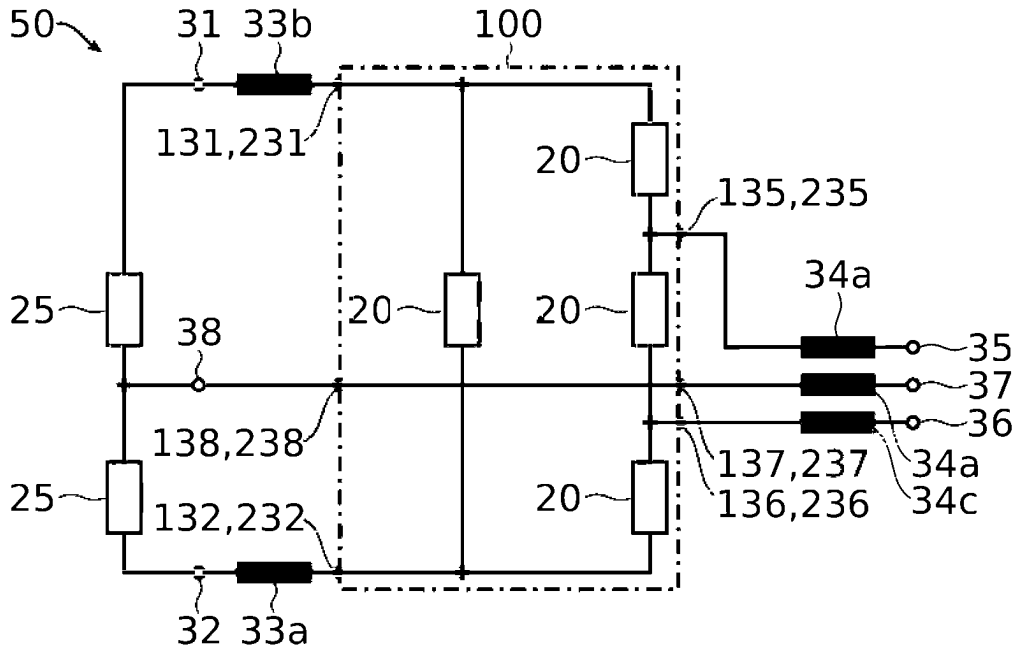


Fig. 6

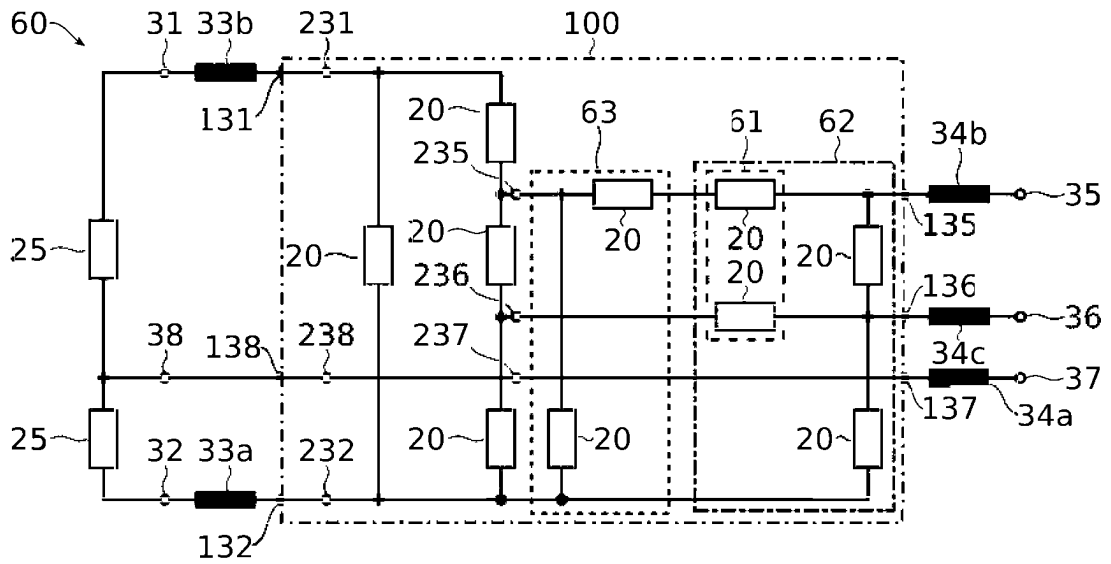


Fig. 7

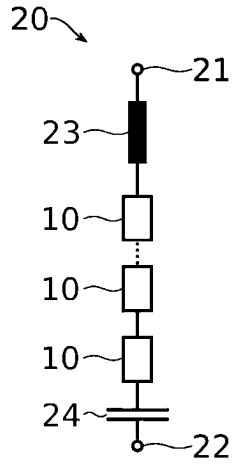


Fig. 8

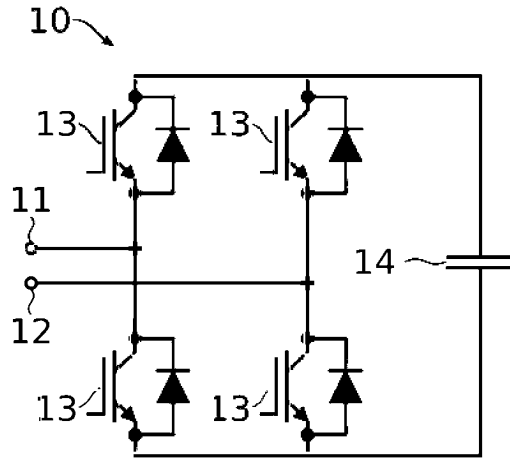


Fig. 9

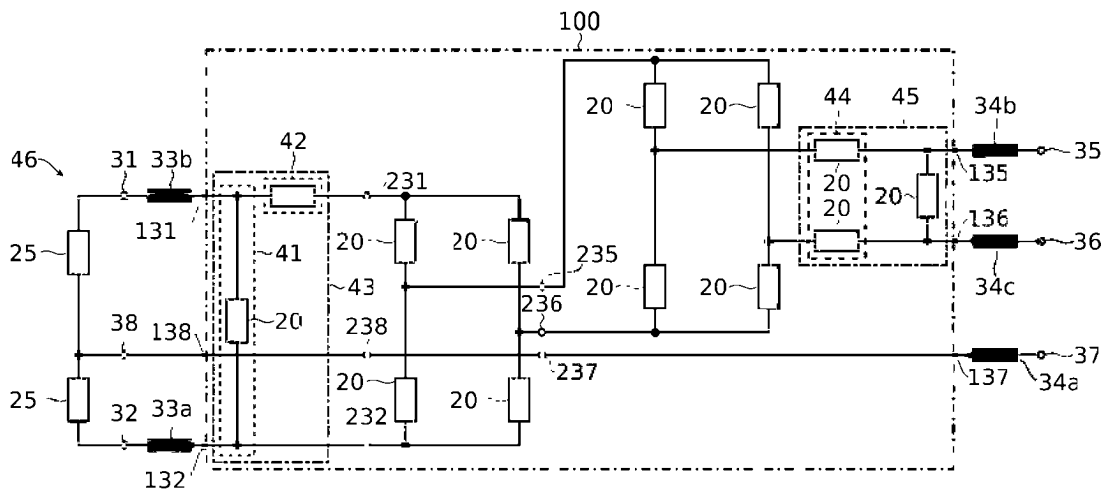


Fig. 10

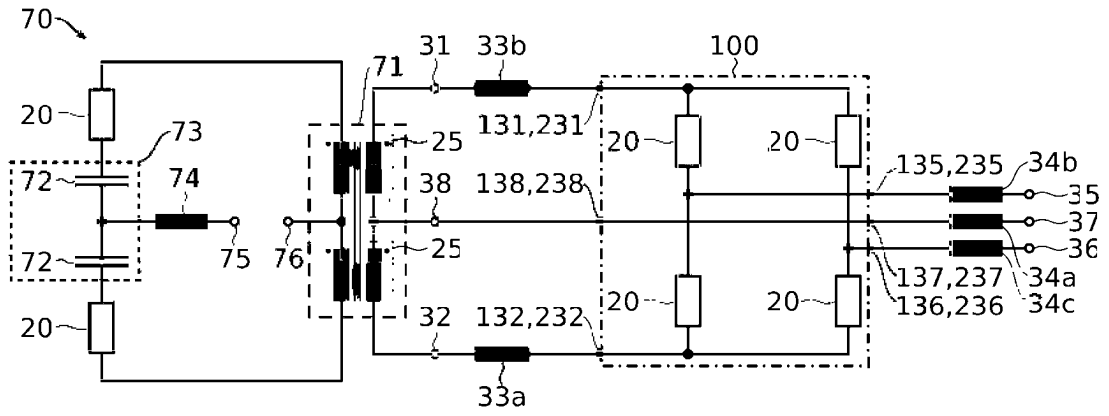


Fig. 11

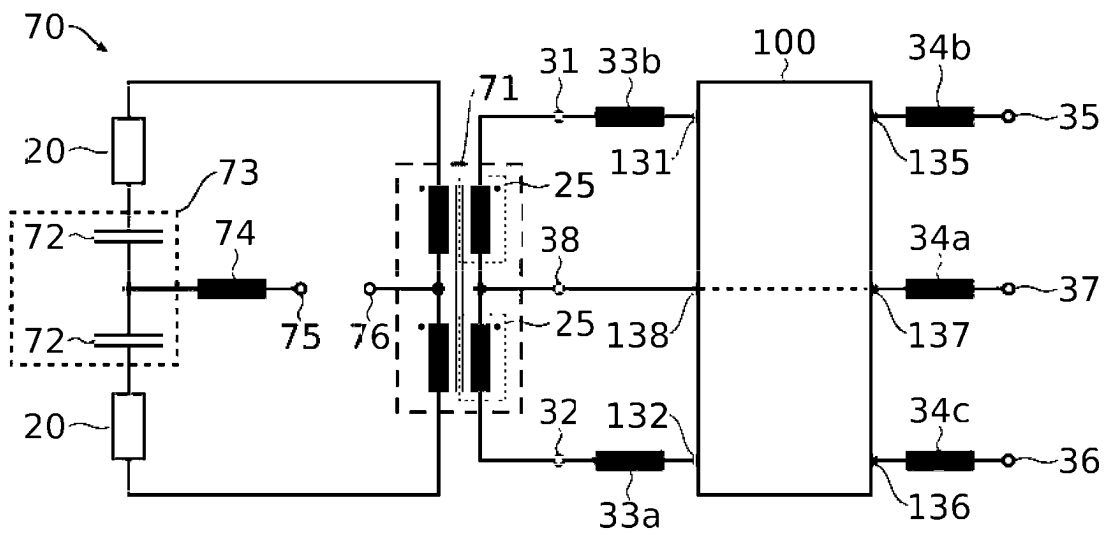


Fig. 12