



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 023 290 A1** 2006.11.23

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 023 290.6**

(22) Anmeldetag: **20.05.2005**

(43) Offenlegungstag: **23.11.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H02M 3/335** (2006.01)

**H02J 7/02** (2006.01)

**H02M 7/797** (2006.01)

(71) Anmelder:

**SMA Technologie AG, 34266 Niestetal, DE**

(74) Vertreter:

**Walther, Walther & Hinz GbR, 34130 Kassel**

(72) Erfinder:

**Falk, Andreas, 34131 Kassel, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 40 13 506 A1**

**US 65 07 503 B2**

**US2003/01 42 513 A1**

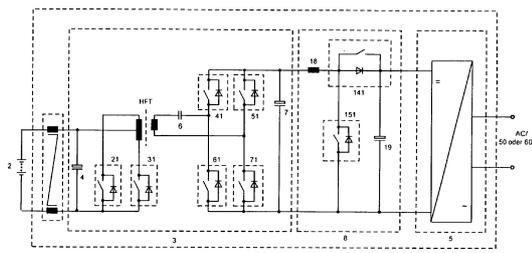
**EP 14 58 084 A2**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Bidirektionaler Batteriewechselrichter**

(57) Zusammenfassung: Bei einem bidirektionalen Batteriewechselrichter (1) mit einem DC-DC-Wandlerschaltungsteil (3), an dem die Batterie (2) anschließbar ist zur Erzeugung einer AC-Ausgangsspannung aus einer Batteriespannung der Batterie (2) in einem Entladebetrieb und zum Laden der Batterie (2) in einem Ladebetrieb, wobei der Wechselrichter (1) einen HF-Transformator umfasst, der mit einem Resonanzkondensator (6) einen Resonanzkreis bildet, soll der Wirkungsgrad erhöht werden. Dies wird dadurch erreicht, dass der Transformator primärseitig zwei Wicklungen (11, 12) mit einem Mittelabgriff (20) aufweist, der zu einer leistungselektronischen Mittelpunktschaltung mit Halbleiterschaltern (31) geschaltet ist, und sekundärseitig eine Wicklung (13) vorhanden ist, an der der Resonanzkondensator (6) in Serie geschaltet ist.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen bidirektionalen Batteriewechselrichter nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und des Anspruchs 2.

**[0002]** Bidirektionale Wechselrichter dienen einerseits dazu, eine DC-Batteriespannung von beispielsweise 12 Volt in eine 50 Hz oder 60 Hz AC-Spannung von z. B. 230 Volt umzuwandeln, aber auch andererseits dazu, die Batterie aus der AC-Spannung aufzuladen. Der Energiefluss findet sowohl von der Batterie zu einem DC/AC-Wandler statt als auch vom DC/AC-Wandler zur Batterie statt. Hierbei tritt das Problem auf, dass bei solchen kleinen DC-Spannungen relativ große Durchlassverluste eintreten.

**[0003]** Ein Wechselrichter mit einer primärseitigen Halbbrückenordnung und einer sekundärseitigen Vollbrückenordnung ist aus der EP 0820 893 A2 bekannt.

**Aufgabenstellung**

**[0004]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Wechselrichter zu schaffen, der einen hohen Wirkungsgrad aufweist.

**[0005]** Diese Aufgabe wird durch einen Wechselrichter mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs gelöst.

**[0006]** Durch die Erfindung werden alle Vorteile des resonanten Schaltens genutzt, ohne den Nachteil großer Durchlassverluste auf der Unterspannungsseite in Kauf nehmen zu müssen. Hierbei kann eine hohe Schaltfrequenz eingesetzt werden. Dadurch kann ein Planartransformator, der nach einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen ist, eingesetzt werden.

**[0007]** Die vorliegende Erfindung kombiniert die Vorteile von geringen Durchlassverlusten und der Einsatzmöglichkeit eines Planartransformators, ohne die Nachteile einer ungünstigen Strom-Spannungsauslegung, einer hohen Taktfrequenz einer Anpassungsstufe, Schaltüberspannungen, einen eingeschränkten Betriebsbereich und große Durchlassverluste auf der Niederspannungsseite in Kauf nehmen zu müssen.

**[0008]** In einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Wechselrichters ist vorgesehen, dass ein DC-AC-Wandlerschaltungsteil vorhanden ist, das an der Ausgangsseite des Wechselrichters liegt und einen Hoch-Tiefsetzsteller aufweist, der zwischen dem DC-DC-Wandler und dem DC-AC-Wandlerschaltungsteil zwischengeschaltet ist. Dadurch werden Schaltverluste durch einen nicht optimalen

Betrieb, in dem der DC-DC-Wandler nicht resonant geschaltet werden kann und eine ungünstige Strom-/Spannungsauslegung im optimalen Betriebspunkt vermieden.

**[0009]** Zweckmäßigerweise liegt die Taktfrequenz der Halbbrückenschaltung unterhalb der Taktfrequenz der Resonanzfrequenz. Diese ergibt sich aus der Streuinduktivität des Transformators und der Reihenresonanzkapazität. Durch die Wahl dieser Taktfrequenz werden die Halbleiter sowohl stromlos ein- als auch abgeschaltet.

**[0010]** Wenn die Taktfrequenz der Halbbrückenschaltung unterhalb der Resonanzfrequenz liegt, die sich aus der Streuinduktivität des Transformators und der Reihenresonanzkapazität ergibt, dann sollte immer dann eingeschaltet werden, wenn der Strom null ist, da in diesem Fall die Schaltverluste gering sind bzw. nicht vorhanden sind.

**[0011]** Nach einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist eine synchrone Ansteuerung des Hoch-Tiefsetzstellers und des Resonanzwandlers vorgesehen. Die synchrone Ansteuerung hat den Vorteil, dass die effektive Strombelastung in den Kondensatoren des Wechselrichters vermindert wird.

**[0012]** Besonders günstig ist es, wenn der Transformator als Planartransformator ausgebildet ist, wobei dieser und mit zwei Leiterplatten versehen ist. Sowohl der Transformator, als auch die Leiterplatten sind in einem Gehäuse untergebracht. Ein Gussgehäuse ist preiswerter herzustellen, da Vorsprünge im Gussgehäuse, die erforderlich sind, wenn ein solcher Planartransformator verwendet wird, leichter herzustellen sind. Ein Planartransformator mit zwei Leiterplatten ist darüber hinaus preiswerter herzustellen als einer mit einer großen Leiterplatte. Eine große Leiterplatte ist teurer als zwei kleine Leiterplatten.

**[0013]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

**Ausführungsbeispiel**

**[0014]** Ein Ausführungsbeispiel wird anhand der Zeichnungen näher erläutert, wobei weitere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung und Vorteile derselben beschrieben sind.

**[0015]** Es zeigen:

**[0016]** [Fig. 1](#) ein Schaltbild eines erfindungsgemäßen DC/DC-Wandlers,

**[0017]** [Fig. 2](#) ein Ersatzschaltbild des Transformators HFT,

[0018] [Fig. 3](#) ein Schaltbild eines erfindungsgemäßen DC-DC-Wandlers mit zwei HF Transformatoren,

[0019] [Fig. 4](#) eine Schnittdarstellung eines Planartransformators, und

[0020] [Fig. 5](#) eine weitere Darstellung des Planartransformators.

[0021] [Fig. 6](#) ein Schaltbild eines erfindungsgemäßen DC-DC-Wandlers mit Halbbrückenkondensatoren als Resonanzelemente;

[0022] [Fig. 7](#) Transformatorstrom und Transformatorspannung auf der Transformatorsekundärseite

[0023] In den Figuren sind gleiche Teile mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0024] [Fig. 1](#) zeigt einen erfindungsgemäßen Wechselrichter **1** beispielsweise für die Versorgung von AC-Verbrauchern in Inselnetzen. Dieser ist an eine Batterie **2** angeschlossen. Der Wechselrichter **1** umfasst ein DC/DC-Wandlerschaltungsteil **3** mit einem parallel an die Batterie **2** angeschlossenen Kondensator **4** und einen HF-Transformator HFT.

[0025] Weiterhin umfasst der Wechselrichter **1** ein DC/AC-Wandlerschaltungsteil **5**, das an der Ausgangsseite des Wechselrichters **1** liegt und einen Hoch-Tiefsetzsteller **8**, der zwischen dem DC/DC-Wandlerschaltungsteil **3** und dem DC/AC-Wandlerschaltungsteil **5** zwischengeschaltet ist. Das DC/AC-Wandlerschaltungsteil **5** ist einphasig ausgebildet.

[0026] Der Wechselrichter **1** ist als bidirektionaler Batteriewechselrichter ausgebildet und dient zur Erzeugung einer AC-Ausgangsspannung aus der Batteriespannung in einem Entladebetrieb und zum Laden der Batterie **2** im Ladebetrieb. Der HF-Transformator HFT bildet mit einem Resonanzkondensator **6** einen Resonanzkreis.

[0027] [Fig. 2](#) zeigt ein Ersatzschaltbild des Transformators HFT. Erfindungsgemäß weist der Transformator HFT primärseitig zwei Wicklungen **11**, **12** mit einem Mittelabgriff **20** auf, der zu einer leistungselektronischen Mittelpunktschaltung mit Halbleiterschaltern **21**, **31** geschaltet ist, wobei sekundärseitig eine Wicklung **13** vorhanden ist, an der der Resonanzkondensator **6** in Serie geschaltet ist. Die Halbleiterschaltern **21**, **31** bilden eine Mittelpunktschaltung.

[0028] In [Fig. 2](#) sind die primärseitigen Streuinduktivitäten **15**, **16** und die sekundärseitige Streuinduktivität **17** dargestellt. Mit dem Bezugszeichen **14** ist der Transformator kern gekennzeichnet. Mit dem Bezugszeichen **20** ist der Mittelabgriff gekennzeichnet. Bezugszeichen **10** bezeichnet eine zusätzliche Indukti-

vität.

[0029] Die Halbleiterschalter **21**, **31** schalten abwechselnd und erzeugen die für die Spannungstransformation erforderliche Wechselspannung, die sekundärseitig durch die Halbleiterelemente **41**, **51**, **61**, **71** in Brückenschaltung wieder in eine Gleichspannung umgewandelt wird und durch einen Glättungskondensator **7** geglättet wird. Der DC-DC-Wandlungsteil arbeitet in einem konstanten Betriebspunkt, so dass dessen Ein- und Ausgangsspannung in einem festen – durch das Übersetzungsverhältnis des Transformators vorgegebenen – Verhältnis zueinander stehen.

[0030] Durch die resonante Betriebsweise sind hohe Schaltfrequenzen von über 50 kHz zweckmäßig, so dass ein Planartransformator eingesetzt werden kann. Planartransformatoren können nämlich nur für Frequenzen oberhalb von 50 kHz sinnvoll eingesetzt werden.

[0031] Vorzugsweise liegt die Resonanzfrequenz des Wechselspannungskreises, die sich aus Streuinduktivitäten der Transformator HFT und einer Serienresonanzkapazität **6** ([Fig. 1](#)), oberhalb der Taktfrequenz der Halbleiterschalter. Dadurch können die Halbleiterschalter **21**, **31** sowohl stromlos ein- als auch ausgeschaltet werden.

[0032] Besonders vorteilhaft ist der Einsatz des Hoch-Tiefsetzstellers **8**, um Verluste weiter zu reduzieren. Durch den Hoch-Tiefsetzsteller **8** wird vermieden, dass die Pulsbreite von dem Halbleiterschalter **21**, **31** reduziert werden muss. Wenn im DC-DC-Wandler die Pulsbreite reduziert würde, kann kein resonanter Betrieb mehr gewährleistet werden. Dadurch werden Schaltverluste durch einen nicht optimalen Betrieb vermieden. Insbesondere wird ein Hoch-Tiefsetzsteller **8** eingesetzt, der die variable Batteriespannung auf eine konstante Spannung am Kondensator **19** anpasst.

[0033] Der Hoch-Tiefsetzsteller **8** besteht aus einer Drossel **18**, den Schaltelementen **141** und **151** und dem Kondensator **19**. Wenn die Eingangsspannung (Batteriespannung) höher ist als z. B. 12 Volt, dann steigt die Spannung am Kondensator **19** proportional mit der Eingangsspannung an. Dann braucht der Hoch-Tiefsetzteller nicht mehr getaktet werden.

[0034] Wie [Fig. 3](#) veranschaulicht, kann die Transformatorschaltung in zwei Teilschaltungen mit zwei HF-Transformatoren HFT 1 und HFT 21 aufgebaut sein. Hierbei werden die Anordnungen versetzt getaktet, wodurch eine geringere Kondensatorbelastung und ein geringer HF-Ripplestrom in der DC-Quelle gegeben ist.

[0035] Beide der in [Fig. 3](#) dargestellten Teilschal-

tungen sind als Halbbrückenordnung ausgeführt. Bei einer Ausgestaltung mit Halbbrücken ergibt sich ein nur halb so großes Trafoübersetzungsverhältnis. Ein kleineres Transformatorübersetzungsverhältnis ist vorteilhaft, weil dann die Streuinduktivität **15** und **16** durch das Übersetzungsverhältnis transformiert von der Oberspannungsseite nicht zu groß werden.

**[0036]** Eine Halbbrückenordnung benötigt weniger Halbleiterschalter und verursacht dadurch weniger Kosten.

**[0037]** Der in [Fig. 4](#) gezeigte Planartransformator **29** ist in einem Aluminiumgussgehäuse **24** eingebettet und weist zwei Leiterplatten **22**, **23** auf. Die Leistungshalbleiter können in SMD-Bauweise ausgeführt sein. Wie in [Fig. 5](#) gezeigt ist, weist der Transformator eine Primärwicklung **26** und eine Sekundärwicklung **27** auf, die auf einer Leiterplatte **25** angeordnet sind. Der Drosselkern **30** ist mit einem Luftspalt versehen und ist ebenfalls in die Leiterplatte **25** integriert. Er wird nur von der Sekundärwicklung **27** und nicht von der Primärwicklung **26** magnetisiert.

**[0038]** In [Fig. 6](#) ist eine Ausgestaltung der Schaltung dargestellt, bei der die Kondensatoren **34**, **35** zusammen mit der Streuinduktivität von HFT einen Resonanzkreis bilden. Bei einer solchen Ausgestaltung werden die parasitären Kondensatoren der Halbleiterschalter **21**, **31** vor dem Einschalten durch die Ströme in der Hauptinduktivität des Trafos auf besonders niedrige Werte entladen. Dadurch entstehen kleinere Einschaltverluste. Die bei dieser Ausgestaltung auftretenden Transformatorströme und Spannungen auf der Sekundärseite entsprechen der Darstellung in [Fig. 7](#). [Fig. 7](#) zeigt Strom **60** und Spannung **50** auf der Transformatorsekundärseite.

**[0039]** Der DC/AC-Wandler **5** kann als H-Brücke zur Wandlung einer einphasigen AC-Spannung oder als Dreiphasenbrücke zur Wandlung einer dreiphasigen AC-Spannung ausgeführt sein.

**[0040]** Vorteilhaft kann auch eine Anordnung sein, bei der der DC/AC-Wandler **5** immer in der Weise betrieben wird, dass die Spannung am Kondensator **19** immer größer als der Scheitelwert der Netzspannung ist. Dadurch kann im Falle, dass die Batterie geladen wird, der DC/AC-Wandler in einem PFC-Modus (Power Factor Correction) betrieben werden und dem Netz sinusförmiger Strom in Phase zu der Netzspannung entnommen werden. Im Falle, dass die Batterie entladen wird, kann eine sinusförmige AC-Spannung bei beliebiger Stromform generiert werden.

**[0041]** Um beliebige Lasten (auch Schiefast und unipolare Lasten) bei dreiphasigen Umrichtern versorgen zu können, kann eine geschalteter N als vierte Phase ergänzt werden und die gesamte Schaltung so ausgeführt werden, dass der Kondensator **19** aus

zwei Kondensatoren mit geerdetem Mittelpunkt besteht, wobei jeder Kondensator separat durch einen Resonanzwandler mit nachgeschaltetem Hoch-Tiefsetzsteller geladen bzw. entladen wird.

**[0042]** Die Halbleiter **21**, **31**, **41**, **51**, **61**, **71**, **141**, **151** können als MOSFETs, IGBTs Bipolartransistoren oder GTOs ausgeführt werden. Die parallelen Dioden können separate Bauteile sein oder aus parasitären Dioden der eingesetzten MOSFETs bestehen.

**[0043]** Die DC-Quelle **2** kann eine Batterie, eine Brennstoffzelle, ein generator-gespeister DC-Zwischenkreis oder ein Doppelschichtkondensator (Ultrapac) sein.

**[0044]** Der Resonanzwandler kann vorteilhaft in Automobilen eingesetzt werden, um den Energieaustausch zwischen verschiedenen DC-Quellen wie Traktionsbatterie, Doppelschichtkondensator, Hilfsbetriebebatterie usw. zu ermöglichen. Dabei kann die Energieflussrichtung sich beim Beschleunigen und Bremsen umkehren.

**[0045]** Der Planartransformator kann vorteilhaft so ausgestaltet werden, dass die sekundäre Streuinduktivität durch die Integration einer zusätzlichen Drossel in die sekundäre Trafowicklung erhöht wird. Dass kann in der in [Fig. 5](#) dargestellten Weise geschehen.

**[0046]** Im Gegensatz zu den Halb- und Vollbrückenschaltungen werden die Halbleiterspannungen der Halbleiter **21**, **31**, **221** und **231** nicht auf die Kondensatorspannung des Kondensators **4** begrenzt. Im Gegensatz zu normalen Mittelpunktschaltungen ist die Kondensatorspannung auch nicht auf das doppelte der Kondensatorspannung des Kondensators **4** begrenzt, sondern es kommt noch der Spannungsabfall über dem primärseitigen Anteil der Resonanzinduktivität der Transformatoren HFT 1 und HFT 21 hinzu. Dieser Effekt kann nur beherrscht werden, wenn der wesentliche Anteil der Resonanzinduktivität auf die Sekundärseite verlagert wird. Dies wird durch den beschriebenen Transformatoraufbau und/oder durch zusätzliche Resonanzinduktivitäten **10** auf der Sekundärseite erreicht.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Wechselrichter
<b>2</b>	Batterie
<b>3</b>	DC/DC-Wandlerschaltungsteil
<b>4</b>	Kondensator
<b>5</b>	DC/AC-Wandlerschaltungsteil
<b>6</b>	Resonanzkondensator
<b>7</b>	Glättungskondensator
<b>8</b>	Hoch-Tiefsetzsteller
<b>10</b>	zusätzliche Streuinduktivität
<b>11, 12</b>	primärseitige Wicklungen
<b>13</b>	sekundärseitige Wicklung

14	Transformatorkern
15, 16	primärseitige Streuinduktivitäten
17	Streuinduktivität
18	Drossel
19	Kondensator
20	Mittelabgriff
21	Halbleiterschalter
22, 23	Leiterplatten
24	Aluminiumgussgehäuse
25	Leiterplatte
26	Primärwicklung
27	Sekundärwicklung
28	Resonanzkondensator
29	Planartransformator
30	Drosselkern
31	Halbleiterschalter
32, 33	Halbbrückenkondensatoren
34, 35	Halbbrückenkondensatoren als Resonanzelemente
41, 51, 61, 71	Halbleiterelemente
50	sekundärseitige Transformatorspannung
60	sekundärseitiger Transformatorstrom
141, 151	Halbleiterschalter
HFT	HF-Transformator
HFT 1, HFT 21	HF-Transformatoren
LSP	Luftspalt
221, 231	Schaltelement

### Patentansprüche

1. Bidirektionaler Batteriewechselrichter (1) mit einem DC-DC-Wandlerschaltungsteil (3), an dem die Batterie (2) anschließbar ist, zur Erzeugung einer AC-Ausgangsspannung aus einer Batteriespannung der Batterie (2) in einem Entladebetrieb und zum Laden der Batterie (2) in einem Ladebetrieb, wobei der Wechselrichter (1) einen HF-Transformator umfasst, der mit einem Resonanzkondensator (6) einen Resonanzkreis bildet, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Transformator primärseitig zwei Wicklungen (11, 12) mit einem Mittelabgriff (20) aufweist, der zu einer leistungselektronischen Mittelpunktschaltung mit Halbleiterschaltern (21, 31) geschaltet ist, und sekundärseitig eine Wicklung (13) aufweist, an der der Resonanzkondensator (6) in Serie geschaltet ist.

2. Bidirektionaler Batteriewechselrichter (1) mit einem DC/DC-Wandlerschaltungsteil (3), an dem die Batterie (2) anschließbar ist, zur Erzeugung einer AC-Ausgangsspannung aus einer Batterie (2) in einem Entladebetrieb und zum Laden der Batterie (2) in einem Ladebetrieb, wobei der Wechselrichter (1) einen HF-Transformator umfasst, der mit den Resonanzkondensatoren (34, 35) einen Resonanzkreis bildet, dadurch gekennzeichnet, dass der Transformator primärseitig zwei Wicklungen (11, 12) mit Mittelabgriff (20) aufweist, der zu einer leistungselektronischen Mittelpunktschaltung mit Halbleiterschaltern

(21, 31) geschaltet ist, und sekundärseitig eine Wicklung (13) aufweist, die mit den Resonanzkondensatoren (34, 35) an einem Summenpunkt verbunden ist.

3. Bidirektionaler Batteriewechselrichter nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch einen DC-AC-Wandlerschaltungsteil (5), der an der Ausgangsseite des Wechselrichters (1) liegt und einen Hochsetz- oder Tiefsetzsteller (8) aufweist, der zwischen dem DC-DC-Wandlerschaltungsteil (3) und dem DC-AC-Wandlerschaltungsteil (5) zwischengeschaltet ist.

4. Bidirektionaler Batteriewechselrichter nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass, dass der DC-DC-Wandlerschaltungsteil (3) eine Halbbrücke umfasst.

5. Bidirektionaler Batteriewechselrichter nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein resonant schaltender Teil in versetzt taktende Teilschaltungen aufgeteilt ist.

6. Bidirektionaler Batteriewechselrichter nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Transformator als Planartransformator (29) ausgebildet ist.

7. Bidirektionaler Batteriewechselrichter nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Resonanzfrequenz des Wechselspannungskreises oberhalb der Taktfrequenz einer Halbbrücke liegt.

8. Bidirektionaler Batteriewechselrichter nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Primärwicklungen des Transformators nur um den Trafokern, die Sekundärwicklung aber um den Trafokern und einen zusätzlichen Drosselkern (30) geführt sind.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

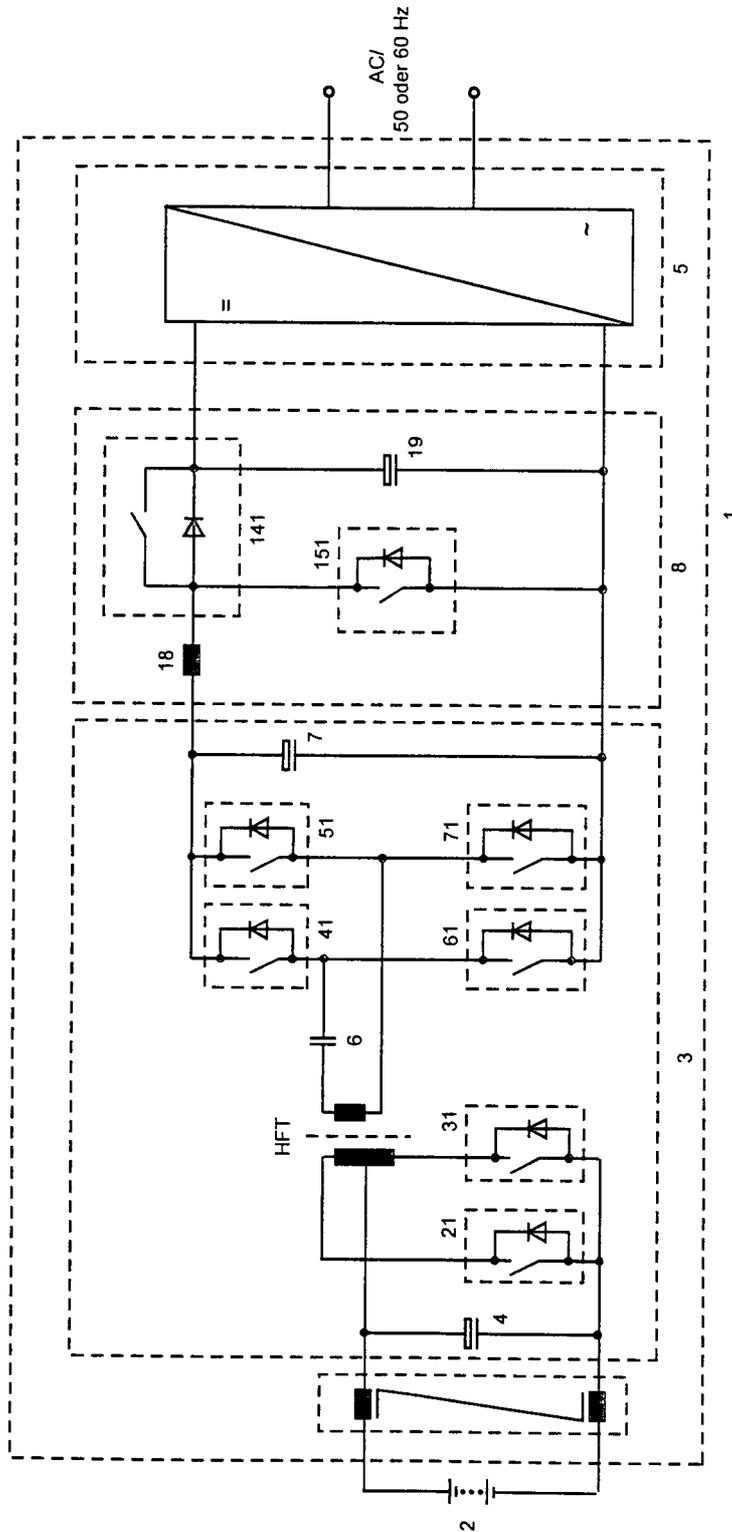


Fig. 1

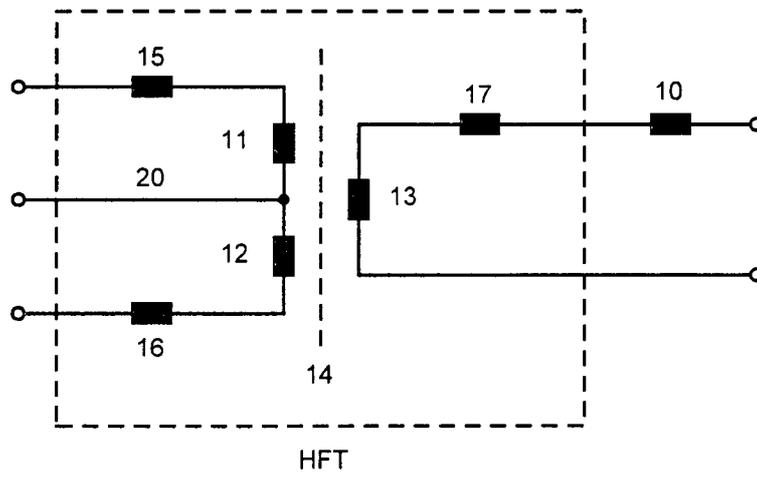


Fig. 2

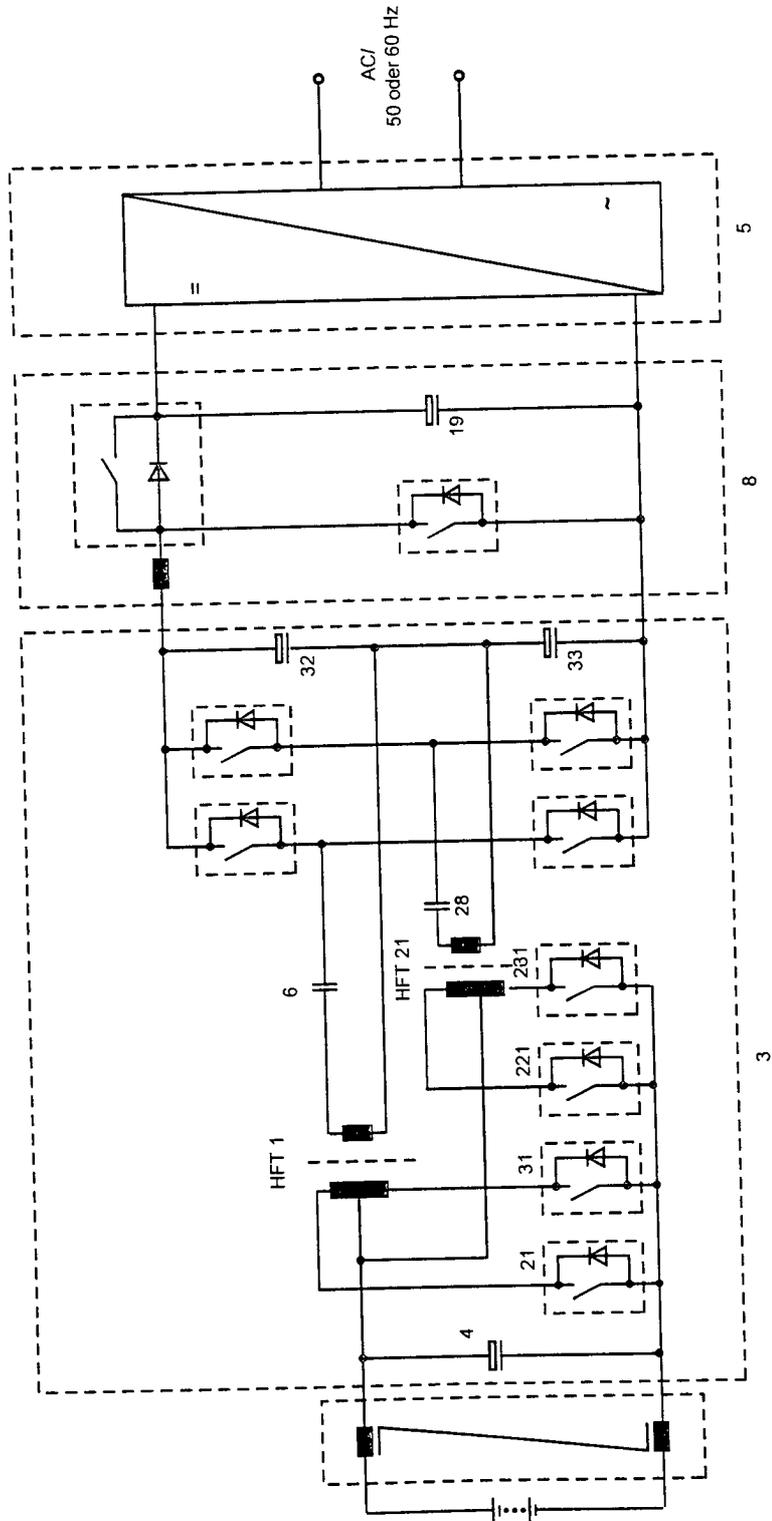


Fig. 3

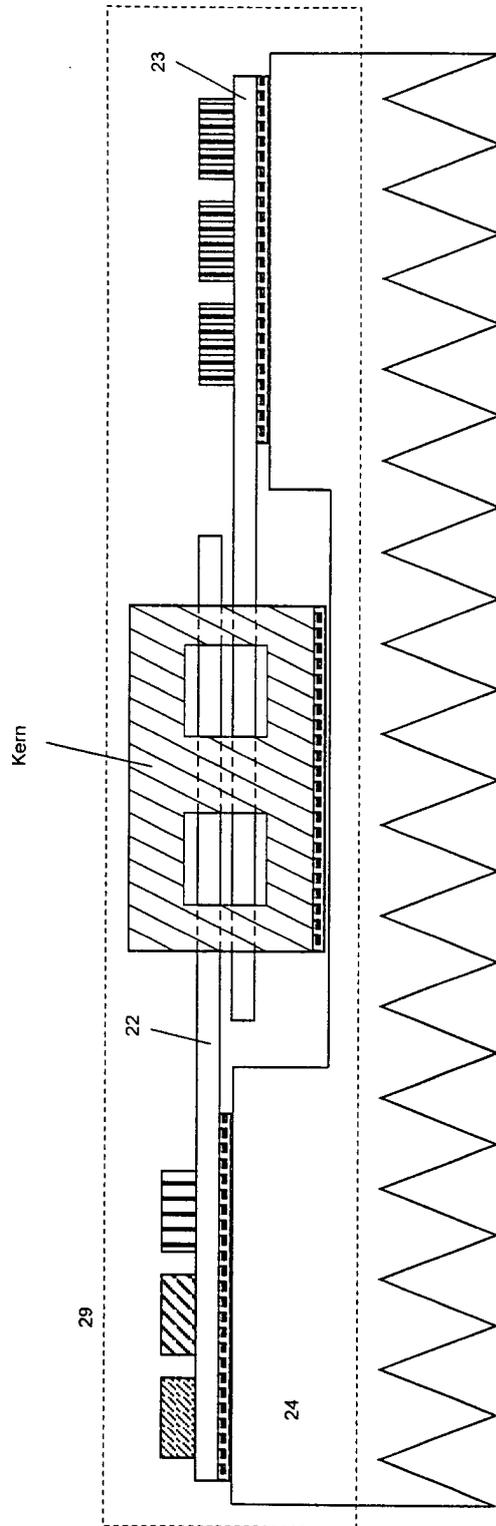


Fig. 4

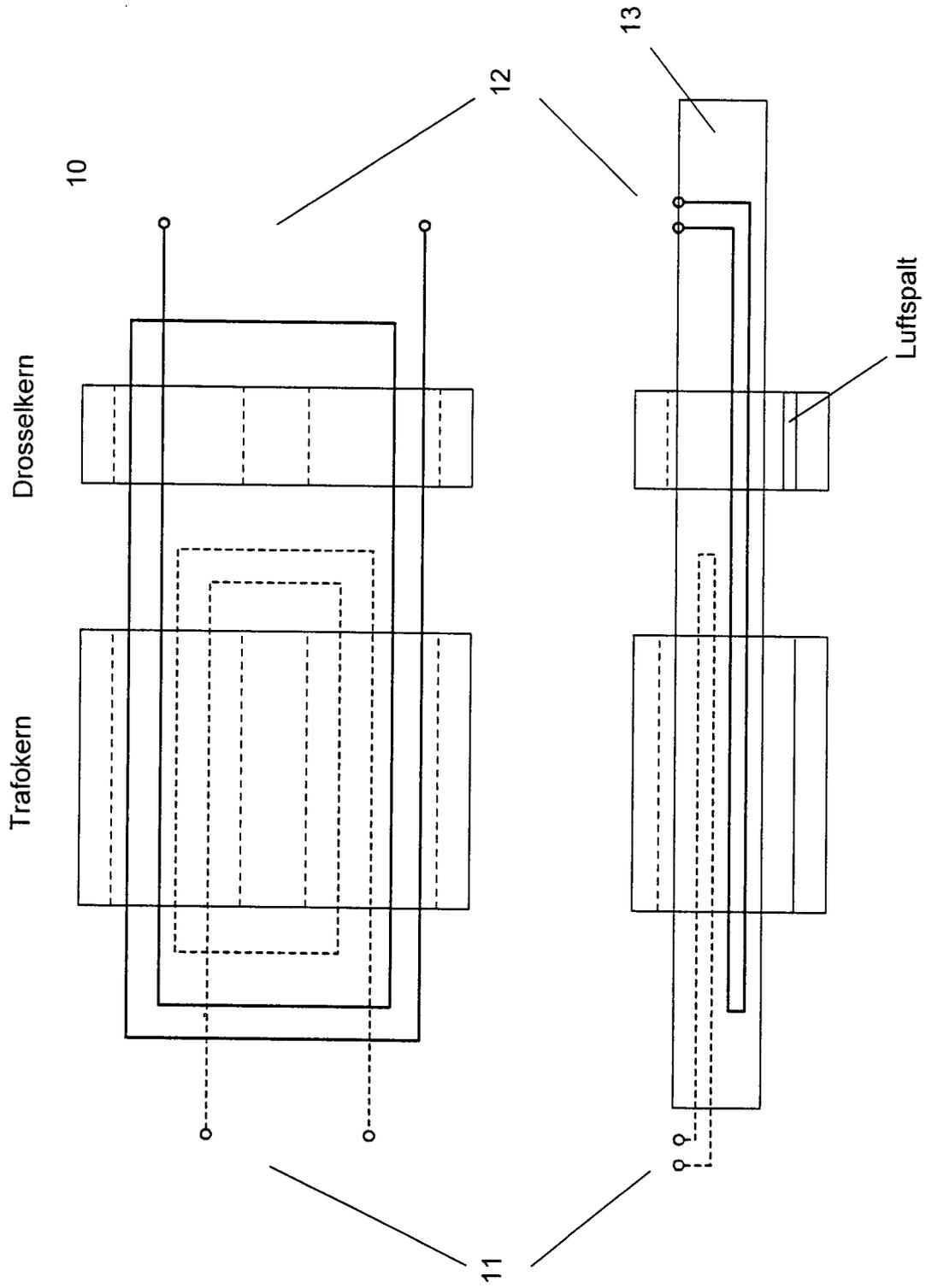


Fig. 5

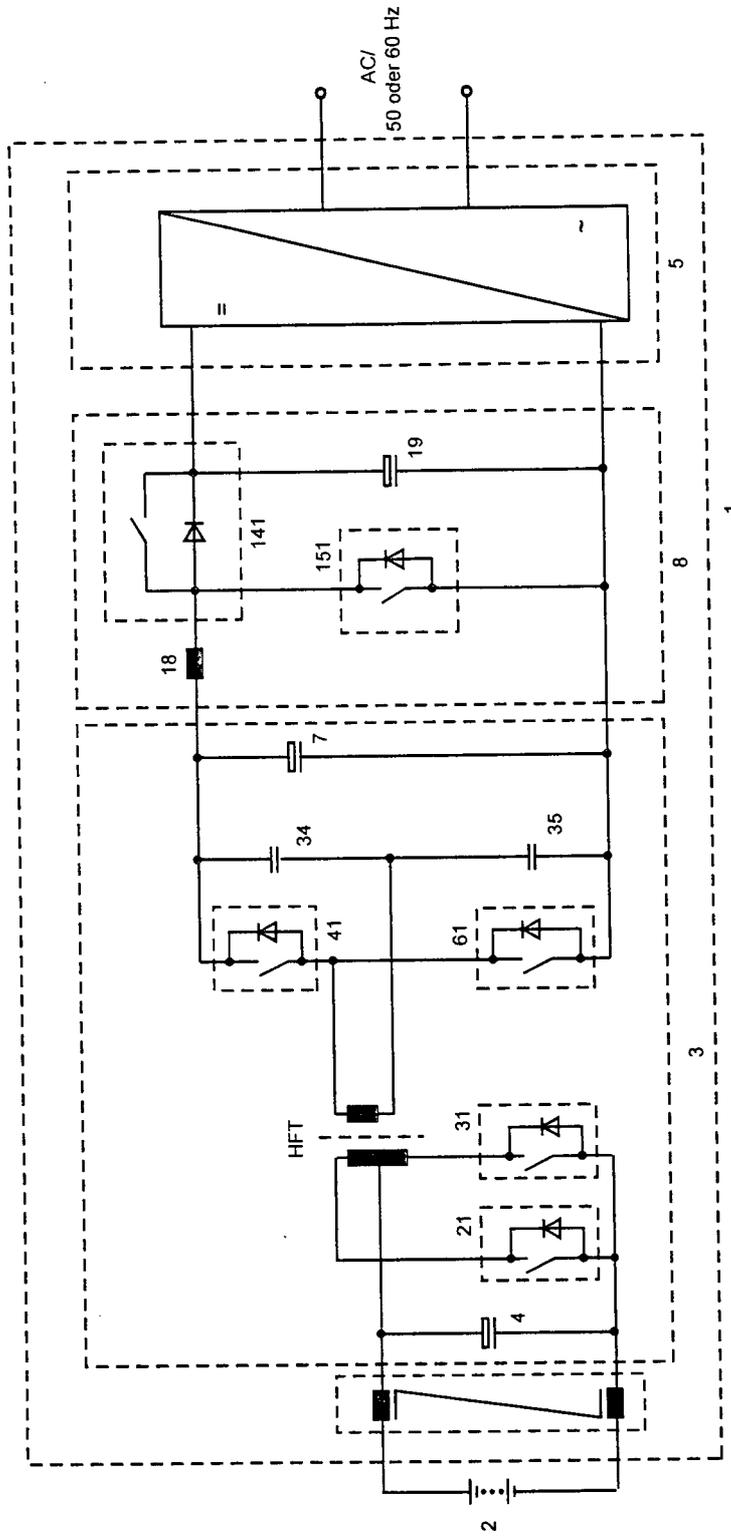


Fig. 6

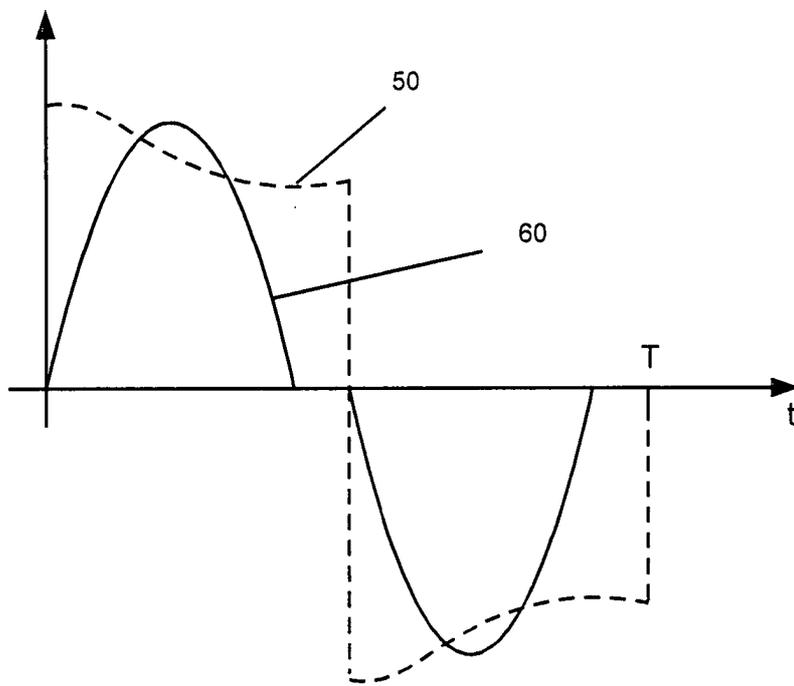


Fig. 7