

(19)



(11)

**EP 3 786 987 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**20.07.2022 Patentblatt 2022/29**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**H01F 27/42** <sup>(2006.01)</sup> **H01F 27/38** <sup>(2006.01)</sup>  
**H01F 29/02** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **19194634.2**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**H01F 29/02; H01F 27/38; H01F 27/42;**  
**H01F 2029/143**

(22) Anmeldetag: **30.08.2019**

(54) **VORRICHTUNG ZUM UNTERDRÜCKEN EINES GLEICHSTROMANTEILS BEIM BETRIEB EINES AN EIN HOCHSPANNUNGSNETZ ANGESCHLOSSENEN ELEKTRISCHEN GERÄTS**

DEVICE FOR SUPPRESSING A DIRECT CURRENT COMPONENT DURING THE OPERATION OF AN ELECTRICAL APPLIANCE CONNECTED TO A HIGH-VOLTAGE NETWORK

DISPOSITIF DE SUPPRESSION D'UNE COMPOSANTE COURANT CONTINU LORS DU FONCTIONNEMENT D'UN APPAREIL ÉLECTRIQUE CONNECTÉ À UN RÉSEAU HAUTE TENSION

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(72) Erfinder: **Hamberger, Peter**  
**4202 Kirchsschlag bei Linz (AT)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**03.03.2021 Patentblatt 2021/09**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A1- 3 080 821 EP-A1- 3 786 986**  
**DE-A1- 2 723 767**

(73) Patentinhaber: **Siemens Energy Global GmbH & Co. KG**  
**81739 München (DE)**

**EP 3 786 987 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Unterdrücken einen Gleichstromanteils beim Betrieb eines an eine Hochspannungsnetz angeschlossenen elektrischen Geräts.

**[0002]** Die Erfindung betrifft ferner ein elektrisches Gerät mit einer solchen Vorrichtung.

**[0003]** Bei elektrischen Transformatoren, wie sie in Energieübertragungs- und Verteilungsnetzen eingesetzt werden, kann es zu einer unerwünschten Einspeisung eines Gleichstroms in die Wicklungen kommen. Auch leistungselektronische Baukomponenten im Netz, beispielsweise die Ansteuerung elektrischer Antriebe, Umrichter für flexible AC Transmission Systeme, Streuströme von mit Gleichstrom betriebenen Bahnsystemen oder die Hochspannungsgleichstromübertragung können für Gleichströme im elektrischen Gerät sorgen. Eine andere Ursache für Gleichströme können so genannte "Geomagnetically Induced Currents" (im Folgenden auch kurz als GIC bezeichnet) sein.

**[0004]** Ein Gleichstromanteil hat im Kern des Transformators einen magnetischen Gleichfluss-Anteil zur Folge, der sich dem Wechselfluss überlagert. Es kommt zu einer unsymmetrischen Aussteuerung des magnetischen Werkstoffs im Kern, was eine Reihe von Nachteilen mit sich bringt. Bereits ein Gleichstrom von wenigen Ampere führt zu einer Sättigung des Kerns mit magnetischem Fluss. Damit verbunden ist eine signifikante Erhöhung der Verluste im Kern (z.B.: 20-30%). Erwärmungsprobleme können, insbesondere bei großem GIC auftreten. Es kommt ferner bei Betrieb zu einer erhöhten Geräuschemission, die insbesondere dann als besonders störend empfunden wird, wenn der Transformator in der Nähe eines Wohnbereichs betrieben wird. Zur Gleichstrom-Kompensation bzw. Verringerung von Betriebsgeräuschen eines Transformators als elektrisches Gerät sind verschiedene aktiv und passiv wirkende Einrichtungen bekannt.

**[0005]** So sind die eingangs genannte Vorrichtung und das eingangs genannte Verfahren in der EP 3 080 821 B1 beschrieben. Die dort offenbarte Vorrichtung verfügt über eine Kompensationswicklung, die Teil eines Stromkreises ist. In dem besagten Stromkreis ist ein Schaltzweig in Reihe zur Kompensationswicklung vorgesehen, wobei in dem Schaltzweig eine Drossel und ein Thyristor in Reihe geschaltet sind. Mit Hilfe einer Regeleinheit wird eine Phasenanschnittsteuerung realisiert. Mit anderen Worten wird der über den Schaltzweig im Stromkreis fließende Strom geregelt, indem die Phasenverschiebung zwischen dem Zündzeitpunkt des Thyristors und der Spannung im Kompensationsstromkreis variiert wird. Der regelbare Strombereich kann durch einen zweiten Schaltzweig, der dem ersten Schaltzweig parallel geschaltet ist, erhöht werden. Durch den zweiten Schaltzweig kann die erzielbare Durchflutung im Kern erhöht werden, so dass größere Gleichstromanteile kompensiert werden können. Das spannungssynchrone Zünden des oder der Thyristoren macht jedoch eine aufwändige Elektronik erforderlich, die kostenintensiv und wartungsanfällig ist.

**[0006]** Weiterer Stand der Technik ist in der DE 27 23 767 A1 beschrieben.

**[0007]** Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung, ein elektrisches Gerät und ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, die kostengünstig, zuverlässig und wartungsarm sind.

**[0008]** Ausgehend von der eingangs genannten Vorrichtung löst die Erfindung diese Aufgabe dadurch, dass die Vorrichtung mit einer Kompensationswicklung zum Erzeugen eines magnetischen Flusses in dem Kern, dessen Wirkung dem Gleichflussanteil entgegengerichtet ist, einem Stromkreis, in dem die Kompensationswicklung angeordnet ist, wenigstens einer in dem Stromkreis und in Reihe zur Kompensationswicklung angeordneten Stromrichtereinheit, die einen Stromfluss über diese in nur einer Richtung ermöglicht, einem in dem Stromkreis und in Reihe zur Kompensationswicklung angeordneten Grobstufenzweig mit wenigstens zwei in Reihe geschalteten Hauptdrosselabschnitten, wobei wenigstens einem Hauptdrosselabschnitt ein niederohmiger Überbrückungspfad parallel geschaltet ist, in dem eine Schalteinheit angeordnet ist, die von einer Sperrstellung, in der ein Stromfluss über die Schalteinheit ermöglicht ist, in eine Unterbrecherstellung, in der ein Stromfluss über die Schalteinheit verhindert ist, oder umgekehrt überführbar ist, einem Sensor zum Erfassen des Gleichstromanteils und einer mit jeder Schalteinheit und dem Sensor verbundenen Steuerungseinheit, die zum Betätigen jeder Schalteinheit eingerichtet ist, so dass einen Stromfluss über so viele Hauptdrosselabschnitte einstellbar ist, dass der von dem Sensor erfasste Gleichstromanteil minimiert ist.

**[0009]** Die Erfindung löst diese Aufgabe ferner durch ein elektrisches Gerät mit einem Kern und wenigstens einer Wicklung, die zum Erzeugen eines magnetischen Flusses in dem Kern eingerichtet ist, wobei das elektrische Gerät eine induktiv mit dem Kern gekoppelte erfindungsgemäße Vorrichtung aufweist. Schließlich löst die Erfindung die Aufgabe durch ein Verfahren zum Unterdrücken eines Gleichstromanteils beim Betrieb eines an ein Hochspannungsnetz angeschlossenen elektrischen Geräts, das einen Kern, wenigstens eine Wicklung zum Erzeugen eines magnetischen Flusses in dem Kern und eine in einem Stromkreis angeordnete und induktiv mit dem Kern gekoppelte Kompensationswicklung aufweist, wobei der Stromkreis wenigstens eine in Reihe zur Kompensationswicklung angeordnete Stromrichtereinheit, die einen Stromfluss über diese in nur einer Richtung ermöglicht, und einen in dem Stromkreis und in Reihe zur Kompensationswicklung angeordneten Grobstufenzweig mit wenigstens zwei in Reihe geschalteten Hauptdrosselabschnitten aufweist, wobei wenigstens einem Hauptdrosselabschnitt ein niederohmiger Überbrückungspfad parallel geschaltet ist, in dem eine Schalteinheit angeordnet ist, die von einer Sperrstellung, in eine Durchlassstellung oder umgekehrt überführbar ist, und eine Steuerungseinheit aufweist, die mit einem Sensor zum Erfassen des Gleichstromanteils und jeder Schalteinheit verbunden ist, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist: Erfassen des Gleichstromanteils durch

den Sensor unter Bereitstellung eines Ausgangssignals, Überführen des Ausgangssignals an die Steuerungseinheit, Ansteuern der Schaltungseinheiten durch die Steuerungseinheit, so dass ein Strompfad über so viele Hauptdrosselabschnitte ermöglicht ist, dass sich im Stromkreis ein Stromfluss einstellt, der den Gleichflussanteil minimiert.

5 **[0010]** Erfindungsgemäß wird ein durch eine Kompensationswicklung fließender Gleichstrom durch Zu- und Abschalten von Hauptdrosselabschnitten eingestellt. Dabei sind alle Hauptdrosselabschnitte in Reihe zur Kompensationswicklung in einem Stromkreis angeordnet, in dem eine Stromrichtereinheit für die Gleichrichtung des im Stromkreis fließenden Stromes sorgt. Im Rahmen der Erfindung wird der kompensierende Gleichstrom in der Kompensationswicklung umso größer je mehr Hauptdrosselabschnitte überbrückt sind. Eine aufwändige Phasenanschnittsregelung ist im Rahmen der Erfindung überflüssig geworden. Eine einfache digitale Steuerung ist ausreichend. Diese überbrückt im Rahmen der Erfindung so viele Hauptdrosselabschnitte, dass der von dem Sensor in einem elektrischen Gerät gemessene Gleichstromanteil minimiert ist. Der Stromkreis der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist zweckmäßigerweise an einem Potentialpunkt geerdet. Dieser Potentialpunkt ist in Richtung des von der Stromrichtereinheit zugelassenen Stromes im Stromkreis den Hauptdrosselabschnitten nachgeschaltet.

10 **[0011]** Der Hauptanteil der Erzeugung des Gleichstroms in der Kompensationswicklung am Kern des elektrischen Geräts übernimmt die Hauptdrossel, die Hauptdrosselabschnitte mit der Stufeninduktivität  $L$  aufweist. Die Stromrichtereinheit dient zur Gleichrichtung des Stromes im Stromkreis. Die im Stromkreis wirksame Induktivität der Hauptdrossel kann durch Rein- und Rausschalten von Teilwindungen als Hauptdrosselabschnitte einer angezapften Hauptdrossel oder durch Zu- und Wegschalten von in Reihe geschalteten Teildrosseln als Hauptdrosselabschnitten realisiert werden. Die Teildrosseln sind beispielsweise also eigenständige Drosseln ausgebildet und die im Grobstufenzweig in Reihe angeordnet. Jede Teildrossel ist durch einen Überbrückungszweig überbrückbar, wenn die im Überbrückungspfad angeordnete Schalteinheit eingeschaltet ist.

15 **[0012]** Der gemäß der Erfindung erzeugte Gleichstrom  $I_{DC}$  ist umgekehrt proportional zur im Stromkreis wirksamen Induktivität gemäß  $I_{DC} \propto 1/L$ .

20 **[0013]** Die Hauptdrosselabschnitte weisen gemäß einer vorteilhaften Weiterentwicklung der Erfindung alle die gleiche Induktivität  $L$  auf. Mit anderen Worten kann man durch überbrücken von Hauptdrosselabschnitten den Stellbereich ( $0 \dots I_{dc,max}$ ) in  $N$  gleiche Abschnitte unterteilen. Die Hauptdrosselabschnitte können jedoch hiervon abweichend im Rahmen der Erfindung auch unterschiedlich ausgestaltet sein, also eine voneinander abweichende Induktivität  $L$  aufweisen.

25 **[0014]** Gemäß einer bevorzugten Weiterentwicklung der Erfindung ist ein dem Grobstufenzweig parallel geschalteter Feinstufenzweig vorgesehen, der wenigstens zwei in Reihe geschaltete Nebendrosselabschnitten aufweist, wobei wenigstens einem Nebendrosselabschnitt ein niederohmiger Überbrückungspfad parallel geschaltet ist, in dem eine Schalteinheit angeordnet ist, die von einer Sperrstellung in eine Durchgangsstellung oder umgekehrt überführbar ist.

30 **[0015]** Vorzugsweise ist jede Schalteinheit eine elektronische Schalteinheit oder mit anderen Worten ein elektronischer Schalter. Elektronische Schalter weisen im Vergleich mit mechanischen Schaltern eine schnellere Schaltzeit auf. Unter dem Begriff Schaltzeit wird die Zeitdauer vom Auslösezeitpunkt bis zum Zeitpunkt des Erreichens der Trennstellung verstanden. Die Schalter des Feinstufenzweiges müssen verglichen mit den Schaltern des Hauptstufenzweiges weniger Strom tragen und können daher kompakter als diese ausgestaltet sein. Bevorzugt sind die Nebendrosselanschnitte wieder als eigenständige Teildrosseln oder in Gestalt von Anzapfungen einer großen Teildrossel ausgebildet. Die Nebendrosselabschnitte unterteilen einen Stellbereich des Hauptstufenzweigs in Unterabschnitt, so dass eine genauere Feinregelung ermöglicht ist. Ist der Stellbereich insgesamt ( $0 \dots I_{dc,max}$ ) und unterteilt der Grobstufenzweig diesen Stellbereich in  $N$  gleich Grobabschnitte  $I_{dc,max}/N$  dann unterteilt der Feinstufenzweig mit seinen  $M$  Teilinduktivitäten die Grobabschnitte in  $M$  Feinstufenabschnitte.

35 **[0016]** Unterteilt man die Feindrosselabschnitte auch in  $N$  gleiche Teilinduktivitäten und kommt jeder Teilinduktivität der Wert  $N \cdot L$  zu, kann der Gleichstrom  $I_{DC}$  mit einer Genauigkeit von  $1/(2 \cdot N)$  des maximalen Gleichstroms  $I_{dc,max}$  eingestellt werden

40 **[0017]** Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, dass die durch eine Drosseln und Stromrichtereinheit erzeugten Strompulse nur einen Wechselstromanteil der Grundharmonischen und einen DC-Mittelwert in der Höhe der Amplitude des Wechselstroms aufweisen. Daher hat man keine hohen harmonischen Stromanteile, so dass Wirbelstromverluste in den Wicklungen herab gesetzt sind.

45 **[0018]** Im Rahmen der Erfindung ist kein Umrichter notwendig, stattdessen benötigt man nur relativ einfache Schaltelemente. Auch ist im Rahmen der Erfindung eine komplexe und fehleranfällige Phasenanschnittssteuerung vermieden. Erfindungsgemäß erhöht oder verringert die Steuerungseinheit den im Stromkreis fließenden Strom stufenweise, bis der von dem Sensor erfasste Gleichstromanteil minimiert ist.

50 **[0019]** Dies geschieht durch eine einfache digitale Ansteuerung der Schalter. Probleme mit einer so genannten Schwingungsneigung eines PI-Reglers sind im Rahmen der Erfindung vermieden. Auch müssen keine langwierigen Reglereinstellungen (PI) vorgenommen werden. Erfindungsgemäß ist eine einfache Nullpunktregelung (minimales Sensorsignal) durch Zu- und Wegschalten der jeweiligen Drosselabschnitte ausreichend. Ferner entfällt die aufwändige Kalibrierung des Sensors.

55 **[0020]** Im Rahmen der Erfindung wird die im Stromkreis wirkende Induktivität stufig verändert. Dabei wirkt die Kom-

pensionswicklung im Stromkreis als ideale Spannungsquelle. Beim Betrieb eines elektrischen Geräts, das eine erfindungsgemäße Vorrichtung aufweist, wird in der Kompensationswicklung, die induktiv mit der oder den Wicklungen des elektrischen Geräts gekoppelt ist, eine Spannung induziert. Diese Spannung treibt einen durch die Stromrichtereinheit gleichgerichteten Strom im Stromkreis, dessen Größe von der im Stromkreis eingestellten Induktivität abhängig ist. Der Stromkreis, in dem die Kompensationswicklung und die Haupt- und ggf. Nebendrosselabschnitte angeordnet sind, ist erfindungsgemäß ein geschlossener und an einer Stelle geerdeter Stromkreis.

**[0021]** Schaltet man in einem geschlossenen Stromkreis, der eine ideale Spannungsquelle aufweist, eine Stromrichtereinheit, beispielsweise eine Diode, und Haupt- und ggf. Nebendrosselabschnitte in Reihe, so fließt folgender Strom im Stromkreis:

$$i(t) = I_{DC}(1 - \cos(\omega t)) \text{ mit } I_{DC} = \frac{U_{eff} \sqrt{2}}{\omega L}$$

**[0022]** Es fließt somit ein Gleichstrom  $I_{DC}$ , der von einem Wechselstrom überlagert wird, wobei die Amplitude des Wechselstromes dem Wert des Gleichstroms in etwa entspricht.  $\omega$  entspricht der Kreisfrequenz des Wechselstromes.  $L$  steht für die Induktivität des Stromkreises.  $U_{eff}$  ist der Effektivwert der Wechselspannung, die in der Kompensationswicklung induziert wird.

**[0023]** Beim Betrieb des elektrischen Geräts ist dieses im Rahmen der Erfindung an ein Hochspannungsnetz angeschlossen. Das elektrische Gerät ist daher für Hochspannungen ausgelegt und beispielweise ein Transformator, insbesondere Leistungstransformator oder eine Drossel. Ein solcher Transformator oder eine solche Drossel verfügt bevorzugt über einen mit einem Isolierfluid befüllten Tank. In dem Tank ist ein Aktivteil angeordnet, das einen magnetisierbaren Kern und wenigstens eine Wicklung aufweist. Wenigstens eine Wicklung ist beim Betrieb mit dem Wechselspannung führenden Hochspannungsnetz verbunden. Als Isolierfluid kommt beispielsweise eine Esterflüssigkeit oder ein mineralisches Öl in Betracht. Es dient neben der elektrischen Isolation des Aktivteils gegenüber dem auf Erdpotential liegenden Tank auch zur Kühlung der Wärme entwickelnden Bauteile.

**[0024]** Als Sensor kommt im Rahmen der Erfindung jeder Sensor in Betracht, der Gleichströme erfassen und in Abhängigkeit der Größe des Gleichstroms ausgangsseitig ein elektrisches Signal bereitstellt. Das elektrische Signal kann ein analoges elektrisches Signal, beispielsweise ein elektrischer Strom oder eine Spannung sein, dessen Stärke oder Intensität der Größe des erfassten Gleichstromes entspricht. Das Ausgangssignal des Sensors kann jedoch im Rahmen der Erfindung auch ein digitales Signal, wie beispielsweise eine Folge digitaler Werte, sein, die z.B. durch Abtasten eines analogen Signals unter Gewinnung von Abtastwerten und digitalisieren der Abtastwerte erzeugt wurden.

**[0025]** Das elektrische Gerät ist im Rahmen der Erfindung für einen Betrieb im Spannungs- bzw. Hochspannungsnetz ausgelegt, d.h. für eine Betriebsspannung zwischen 1 kV und 1200 kV, insbesondere 50 kV und 800 kV. Das Hochspannungsnetz ist bevorzugt ein Wechselspannungsnetz. Aber auch eine Kombination aus Wechsel- und Gleichspannungsnetz ist im Rahmen der Erfindung möglich.

**[0026]** Erfindungsgemäß ist ein elektrisches Gerät, beispielsweise ein Transformator, insbesondere Leistungstransformator, eine Drossel oder dergleichen.

**[0027]** Gemäß einer weiteren Variante der Erfindung ist jede Schalteinheit eine elektronische Schalteinheit. Eine elektronische Schalteinheit oder mit anderen Worten ein elektronischer Schalter ist beispielsweise ein ansteuerbarer Leistungshalbleiter, der durch ein Steuer- oder Zündsignal von einer Sperrstellung, in der ein Stromfluss über den Leistungshalbleiter unterbrochen ist, in eine Durchgangsstellung überführt wird, in der ein Stromfluss über den Leistungshalbleiterschalter ermöglicht ist. Ein ansteuerbarer Leistungshalbleiter ist beispielsweise ein Thyristor, GTO, IGBT, IGCT oder dergleichen.

**[0028]** Gemäß einer diesbezüglich zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung ist jede elektronische Schalteinheit ein Thyristor. Thyristoren sind besonders robuste Leistungshalbleiter und kostengünstig am Markt erhältlich. Thyristoren können aktiv nur von einer Sperrstellung in die Durchgangsstellung überführt werden. Sie können also mit anderen Worten nur einoder zugeschaltet werden. Um von der Durchgangsstellung in die Sperrstellung zu gelangen, muss der über den Thyristor fließende Strom einen Haltestrom unterschreiten. Dies ist jedoch im Rahmen der Erfindung gewährleistet, da die Kompensationswicklung eine Wechselspannung im Stromkreis erzeugt, die bei einem Polaritätswechsel für einen Strom im Stromkreis sorgt, der den Haltestrom des Thyristors unterschreitet. Soll ein Schaltkreis zugeschaltet werden, wird der Thyristor dauergezündet.

**[0029]** Gemäß einer Variante der Erfindung weist jede Schalteinheit wenigstens zwei gegensinnig zueinander parallel geschaltete Thyristoren auf.

**[0030]** Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung dienen die Thyristoren nicht nur als Schalter, sondern auch als Stromrichtereinheit. Befindet sich ein Thyristor in seiner Durchgangsstellung ist der Stromfluss über ihn in nur einer Richtung möglich. Mit anderen Worten richtet der Thyristor den Strom zugleich.

**[0031]** Weitere zweckmäßige Ausgestaltungen und Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Be-

schreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung unter Bezug auf die Figur der Zeichnung, wobei gleiche Bezugszeichen auf gleichwirkende Bauteile verweisen und wobei

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung, und  
 Figur 2 die Stellbereiche der Vorrichtung gemäß Figur 1 schematisch verdeutlicht.

**[0032]** Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, die einen Stromkreis 2 umfasst, in dem eine Kompensationswicklung 3 angeordnet ist. Die in Kompensationswicklung 3 ist beim Betrieb der Vorrichtung 1 induktiv mit einer Oberspannungswicklung eines figurlich nicht dargestellten Leistungstransformators gekoppelt, wobei der Leistungstransformator an ein Wechselspannung führendes Hochspannungsnetz mit einer Nennspannung von 325 kV angeschlossen ist.

**[0033]** Im Stromkreis 2 ist in Reihe zur Kompensationswicklung 3 eine Stromrichtereinheit 4 erkennbar, die in dem dargestellten Beispiel als Diode 4 ausgeführt ist. Die Diode 4 ist ein nicht ansteuerbarer Leistungshalbleiter.

**[0034]** Die Stromrichtereinheit oder mit anderen Worten die Diode 4 ermöglicht einen Stromfluss im Stromkreis 2 in nur einer Richtung, die durch die Spitze des Dreiecks also in Figur 1 von links nach rechts angedeutet ist.

**[0035]** Der geerdete Stromkreis 2 verfügt ferner über einen Grobstufenzweig 5, sowie über einen Feinstufenzweig 6. In dem Grobstufenzweig 5 sind Hauptdrosselabschnitte  $7_1, 7_2, 7_3 \dots 7_n$  in Reihe geschaltet. Bis auf den ersten Hauptdrosselabschnitt  $7_1$  sind alle weiteren Hauptdrosselabschnitte  $7_2, 7_3 \dots 7_n$  durch einen Überbrückungspfad  $8_2, 8_3 \dots 8_n$  überbrückbar. In jedem der aufgezählten Überbrückungspfade  $8_2, 8_3 \dots 8_n$  ist eine Schalteinheit 9 angeordnet. Jede Schalteinheit 9 ist als Thyristor ausgeführt, der über eine gestrichelt dargestellte Signalleitung mit einer Steuerungseinheit 10 verbunden ist. Um einen Hauptdrosselabschnitt oder einen Nebendrosselabschnitt in den Stromkreis 2 zu schalten, muss sich der Thyristor in seiner Unterbrecherstellung befinden. Mit anderen Worten darf der Thyristor, der aktiv nur von seiner Sperrstellung in seine Durchgangsstellung überführt werden kann, nicht gezündet werden. Um den Thyristor wieder auszuschalten, um ihn also von seiner Durchgangsstellung in seine Sperrstellung zu überführen, muss der über den Thyristor fließende Strom eine Haltestrom unterschreiten. Der Haltestrom liegt im Bereich eines Nullstroms. Auf Grund der von der Kompensationswicklung her rührenden Wechselspannung wird der Haltestrom periodisch unterschritten. Zum Überbrücken wird der Thyristor dauergezündet.

**[0036]** Die Steuerungseinheit 10 ist einseitig mit einem Sensor 11 verbunden, der zum Erfassen eines Gleichstromanteils in einem elektrischen Gerät, wie einem Transformator eingerichtet ist. In dem Feinstufenzweig 6 sind N Nebendrosselabschnitte  $12_1, 12_2, 12_3 \dots 12_n$  in Reihe geschaltet. Die dem ersten Feinstufenabschnitt folgenden Feinstufenabschnitte  $12_2, 12_3 \dots 12_n$  sind wieder durch Überbrückungszweige  $13_2, 13_3 \dots 13_n$ , in denen jeweils eine Schalteinheit 9 angeordnet ist, überbrückbar.

**[0037]** Auch die Schalteinheiten 9 des Feinstufenzweiges 6 sind über gestrichelt dargestellte Signalleitungen mit der Steuerungseinheit 10 verbunden. Die Hauptdrosselabschnitte  $7_1, 7_2, 7_3$  weisen die gleich Induktivität L auf. Die Induktivität der Feindrosselabschnitte  $12_1, 12_2, 12_3$  ist größer. Sie beträgt im gezeigten Ausführungsbeispiel  $N \times L$ . Da die Feindrosselabschnitte jedoch einen geringeren Strom tragen, können diese vergleichsweise kompakter ausgestaltet werden. Figur 2 zeigt den Regelbereich der Hauptdrosselabschnitte  $7_1, 7_2, 7_3 \dots 7_n$  sowie die Regelbereich der Feindrosselabschnitte  $12_1, 12_2, 12_3 \dots 12_n$ . In Figur 2 sind lediglich zwei Hauptregelbereiche  $14_1, 14_2$  dargestellt. Der Hauptregelbereich  $14_2$  ist wiederum in Feinregelbereiche  $15_1$  bis  $15_n$  unterteilt.

**[0038]** Die Steuerungseinheit 10 kann nun durch Öffnen der Thyristoren 9 so viele Hauptdrosselabschnitte  $7_1, 7_2, 7_3 \dots 7_n$  und Nebendrosselabschnitte  $12_1, 12_2, 12_3 \dots 12_n$  überbrücken, dass sich im Stromkreis 2 ein Strom einstellt, der den Gleichstromanteil in dem Transformator, in dem die Vorrichtung 1 verbaut ist, minimiert.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zum Unterdrücken eines magnetischen Gleichstromanteils im magnetisierbaren Kern eines elektrischen Geräts, mit

- einer Kompensationswicklung (3) zum Erzeugen eines magnetischen Flusses in dem Kern, dessen Wirkung dem Gleichflussanteil entgegengerichtet ist,
- einem Stromkreis (2), in dem die Kompensationswicklung (3) angeordnet ist,
- wenigstens einer in dem Stromkreis (2) und in Reihe zur Kompensationswicklung (3) angeordneten Stromrichtereinheit (4), die einen Stromfluss über diese in nur einer Richtung ermöglicht,
- einem in dem Stromkreis (2) und in Reihe zur Kompensationswicklung (3) angeordneten Grobstufenzweig (5) mit wenigstens zwei in Reihe geschalteten Hauptdrosselabschnitten ( $7_1, 7_2, \dots 7_n$ ), wobei wenigstens einem Hauptdrosselabschnitt ( $7_2, \dots 7_n$ ) ein niederohmiger Überbrückungspfad ( $8_2, \dots 8_n$ ) parallel geschaltet ist, in dem eine Schalteinheit (9) angeordnet ist, die von einer Durchlassstellung, in der ein Stromfluss über die

Schalteinheit (9) ermöglicht ist, in eine Unterbrecherstellung, in der ein Stromfluss über die Schalteinheit (9) verhindert ist, oder umgekehrt überführbar ist,

- einem Sensor (11) zum Erfassen des Gleichstromanteils und
- einer mit jeder Schalteinheit (9) und dem Sensor (11) verbundenen Steuerungseinheit (10), die zum Betätigen jeder Schalteinheit (9) eingerichtet ist, so dass ein Stromfluss über so viele Hauptdrosselabschnitte ( $7_1, 7_2, \dots 7_n$ ) einstellbar ist, dass der von dem Sensor (11) erfasste Gleichstromanteil minimiert ist.

2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1,

**gekennzeichnet durch**

einen dem Grobstufenzweig parallel geschalteten Feinstufenzweig (6) mit wenigstens zwei in Reihe geschalteten Nebendrosselabschnitten ( $12_1, 12_2, \dots 12_n$ ), wobei wenigstens einem Nebendrosselabschnitt ( $12_1, 12_2, \dots 12_n$ ) ein niederohmiger Überbrückungspfad ( $13_2, \dots 13_n$ ) parallel geschaltet ist, in dem eine Schalteinheit (9) angeordnet ist, die von einer Sperrstellung in eine Durchgangsstellung oder umgekehrt überführbar ist.

3. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2,

**dadurch gekennzeichnet, dass** jede Schalteinheit eine elektronische Schalteinheit (9) ist.

4. Vorrichtung (1) nach Anspruch 3,

**dadurch gekennzeichnet, dass** jede elektronische Schalteinheit ein Thyristor (9) ist.

5. Vorrichtung (1) nach Anspruch 3 oder 4,

**dadurch gekennzeichnet, dass** jede Schalteinheit wenigstens zwei gegensinnig zueinander parallel geschaltete Thyristoren (9) aufweist.

6. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet, dass** die Schalteinheiten (9) zumindest teilweise als Stromrichtungseinheit (4) dienen.

7. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Hauptdrosselabschnitte ( $7_1, 7_2, \dots 7_n$ ) identisch oder unterschiedlich zueinander ausgebildet sind.

8. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 7,

**dadurch gekennzeichnet, dass** Nebendrosselabschnitte  $i$  ( $12_1, 12_2, \dots 12_n$ ) identisch oder unterschiedlich zueinander ausgebildet sind.

9. Elektrisches Gerät mit einem Kern und wenigstens einer Wicklung, die zum Erzeugen eines magnetischen Flusses in dem Kern eingerichtet ist, und einer induktiv mit dem Kern gekoppelten Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8.

10. Verfahren zum Unterdrücken eines einen Gleichstromanteils beim Betrieb eines an ein Hochspannungsnetz angeschlossenen elektrischen Geräts, das einen Kern, wenigstens eine Wicklung zum Erzeugen eines magnetischen Flusses in dem Kern und einen in einem Stromkreis (2) angeordnete und induktiv mit dem Kern gekoppelte Kompensationswicklung (3) aufweist, wobei der Stromkreis (2) wenigstens eine in Reihe zur Kompensationswicklung (3) angeordnete Stromrichtereinheit (4), die einen Stromfluss über diese in nur einer Richtung ermöglicht, und einen in dem Stromkreis und in Reihe zur Kompensationswicklung (3) angeordneten Grobstufenzweig (5) mit wenigstens zwei in Reihe geschalteten Hauptdrosselabschnitten ( $7_1, 7_2, \dots 7_n$ ), wobei wenigstens einem Hauptdrosselabschnitt ( $7_2, \dots 7_n$ ) ein niederohmiger Überbrückungspfad ( $8_2, \dots 8_n$ ) parallel geschaltet ist, in dem eine Schalteinheit (9) angeordnet ist, die von einer Sperrstellung, in eine Durchlassstellung oder umgekehrt überführbar ist, und eine Steuerungseinheit (10) aufweist, die mit einem Sensor (11) zum Erfassen des Gleichstromanteils und jeder Schalteinheit (9) verbunden ist, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Erfassen des Gleichstromanteils durch den Sensor (9) unter Bereitstellung eines Ausgangssignals,
- Überführen des Ausgangssignals an die Steuerungseinheit (10),
- Ansteuern der Schalteinheiten (9) durch die Steuerungseinheit (10), so dass ein Stromfluss über so viele Hauptdrosselabschnitte ( $7_1, 7_2, \dots 7_n$ ) ermöglicht ist, dass sich ein Stromfluss im Stromkreis (2) einstellt, der den Gleichflussanteil minimiert.

## Claims

1. Apparatus (1) for suppressing a magnetic DC component in the magnetizable core of an electrical device, comprising
- 5           - a compensation winding (3) for generating a magnetic flux in the core, the effect of which is counter to the DC flux component,  
           - a circuit (2) in which the compensation winding (3) is arranged,  
           - at least one power converter unit (4) that is arranged in the circuit (2) and in series with the compensation winding (3), and enables a flow of current therethrough in just one direction,
- 10           - a coarse stage branch (5) that is arranged in the circuit (2) and in series with the compensation winding (3) and comprises at least two main inductor sections ( $7_1, 7_2, \dots 7_n$ ) that are connected in series, wherein a low-resistance bypass path ( $8_2, \dots 8_n$ ) is connected in parallel with at least one main inductor section ( $7_2, \dots 7_n$ ), in which bypass path a switching unit (9) is arranged that can be changed over from an on-state position, in which a flow of current through the switching unit (9) is enabled, into an interrupter position, in which a flow of current
- 15           through the switching unit (9) is prevented, or vice versa,  
           - a sensor (11) for detecting the DC component, and  
           - a control unit (10) that is connected to each switching unit (9) and the sensor (11) and is configured to actuate each switching unit (9) so that a flow of current can be set through so many main inductor sections ( $7_1, 7_2, \dots 7_n$ ) that the DC component detected by the sensor (11) is minimized.
- 20
2. Apparatus (1) according to Claim 1,  
**characterized by**  
 a fine stage branch (6) that is connected in parallel with the coarse stage branch and comprises at least two auxiliary inductor sections ( $12_1, 12_2, \dots 12_n$ ) that are connected in series, wherein a low-resistance bypass path ( $13_2, \dots 13_n$ ) is connected in parallel with at least one auxiliary inductor section ( $12_1, 12_2, \dots 12_n$ ), in which bypass path a switching unit (9) is arranged that can be changed over from an off-state position into an on-state position, or vice versa.
- 25
3. Apparatus (1) according to Claim 1 or 2,  
**characterized in that**  
 each switching unit is an electronic switching unit (9).
- 30
4. Apparatus (1) according to Claim 3,  
**characterized in that**  
 each electronic switching unit is a thyristor (9).
- 35
5. Apparatus (1) according to Claim 3 or 4,  
**characterized in that**  
 each switching unit has at least two thyristors (9) that are connected in parallel with one another in opposite directions.
- 40
6. Apparatus (1) according to one of the preceding claims, **characterized in that**  
 at least some of the switching units (9) are used as the power converter unit (4).
7. Apparatus (1) according to one of the preceding claims, **characterized in that**  
 main inductor sections ( $7_1, 7_2, \dots 7_n$ ) are of identical or different design.
- 45
8. Apparatus (1) according to one of Claims 2 to 7, **characterized in that**  
 auxiliary inductor sections  $i$  ( $12_1, 12_2, \dots 12_n$ ) are of identical or different design.
9. Electrical device having a core and at least one winding that is configured to generate a magnetic flux in the core, and an apparatus (1) according to one of Claims 1 to 8 that is inductively coupled to the core.
- 50
10. Method for suppressing a DC component during operation of an electrical device that is connected to a high-voltage network and has a core, at least one winding for generating a magnetic flux in the core and a compensation winding (3) that is arranged in a circuit (2) and is inductively coupled to the core, wherein the circuit (2) has at least one power converter unit (4) that is arranged in series with the compensation winding (3) and enables a flow of current therethrough in just one direction, and a coarse stage branch (5) that is arranged in the circuit and in series with the compensation winding (3) and comprises at least two main inductor sections ( $7_1, 7_2, \dots 7_n$ ) that are connected in series, wherein a low-resistance bypass path ( $8_2, \dots 8_n$ ) is connected in parallel with at least one main inductor
- 55

section ( $7_2, \dots, 7_n$ ), in which bypass path a switching unit (9) is arranged that can be changed over from an off-state position into an on-state position, or vice versa, and a control unit (10) that is connected to a sensor (11) for detecting the DC component and each switching unit (9), wherein the method includes the following steps:

- 5
- detecting the DC component by way of the sensor (9), with provision of an output signal,
  - transferring the output signal to the control unit (10),
  - activating the switching units (9) by way of the control unit (10) so that a flow of current is enabled through so many main inductor sections ( $7_1, 7_2, \dots, 7_n$ ) that a flow of current is established in the circuit (2) that minimizes the DC flux component.
- 10

## Revendications

- 15
1. Montage (1) de suppression d'une composante magnétique de courant continu dans le noyau magnétisable d'un appareil électrique, comprenant

- un enroulement (3) de compensation pour produire un flux magnétique dans le noyau, dont l'effet est de sens contraire à la composante de flux continu,
- un circuit (2), dans lequel l'enroulement (3) de compensation est monté,
- 20 - au moins une unité (4) de convertisseur, qui est montée dans le circuit (2) et en série avec l'enroulement (3) de compensation et qui rend possible un flux de courant dans celui-ci dans un sens seulement,
- une branche (5) d'étage grossier, qui est montée dans le circuit (2) et en série avec l'enroulement (3) de compensation et qui a au moins deux sections ( $7_1, 7_2, \dots, 7_n$ ) de bobine principale montées en série, dans lequel avec au moins une section ( $7_2, \dots, 7_n$ ) de bobine principale est monté en parallèle un chemin ( $8_2, \dots, 8_n$ ) de dérivation à petite valeur ohmique, dans lequel est montée une unité (9) de coupure, qui peut passer ou
- 25 de dérivation à petite valeur ohmique, dans lequel est montée une unité (9) de coupure, qui peut passer ou inversement d'une position de passage, dans laquelle un flux de courant est rendu possible dans l'unité (9) de coupure, à une position d'interruption, dans laquelle un flux de courant dans l'unité (9) de coupure est empêché,
- un capteur (11) de détection de la composante de courant continu et
- une unité (10) de commande, qui est reliée à chaque unité (9) de coupure et au capteur (11) et qui est conçue pour actionner chaque unité (9) de coupure, de manière à ce qu'un flux de courant soit réglable dans tellement
- 30 de sections ( $7_1, 7_2, \dots, 7_n$ ) de bobine principale que la composante de courant continu détectée par le capteur (11) soit minimisée.

- 35
2. Montage (1) suivant la revendication 1, **caractérisé par** une branche (6) d'étage fin, qui est montée en parallèle à la branche d'étage grossier et qui a au moins deux sections ( $12_1, 12_2, \dots, 12_n$ ) de bobine secondaire montées en série, dans lequel avec au moins une section ( $12_1, 12_2, \dots, 12_n$ ) de bobine secondaire est monté en parallèle un chemin ( $13_2, \dots, 13_n$ ) de dérivation à petite valeur ohmique, dans lequel est montée une unité (9) électronique de coupure, qui peut passer d'une position de blocage à une
- 40 position de passage ou inversement.

- 45
3. Montage (1) suivant la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** chaque unité de coupure est une unité (9) électronique de coupure.

4. Montage (1) suivant la revendication 3, **caractérisé en ce que** chaque unité électronique de coupure est un thyristor (9).

- 50
5. Montage (1) suivant la revendication 3 ou 4, **caractérisé en ce que** chaque unité de coupure a au moins deux thyristors (9) montés en parallèle tête bêche l'un par rapport à l'autre.

- 55
6. Montage (1) suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les unités (9) de coupure servent au moins en partie d'unités (4) de conversion de courant.

7. Montage (1) suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les sections ( $7_1, 7_2, \dots, 7_n$ ) de bobine principale sont constituées de manière identique ou différente les unes des



autres.

8. Montage (1) suivant l'une des revendications 2 à 7,  
**caractérisé en ce que**

5 les sections ( $12_1, 12_2, \dots, 12_n$ ) de bobine secondaire sont constituées de manière identique ou différentes les unes des autres.

9. Appareil électrique ayant un noyau et au moins un enroulement, qui est conçu pour la production d'un flux magnétique dans le noyau, et un montage (1) suivant l'une des revendications 1 à 8 couplé de manière inductive au noyau.

10 Procédé de suppression d'une composante de courant continu, lors du fonctionnement d'un appareil électrique connecté à un réseau de haute tension et ayant un noyau, au moins un enroulement de production d'un flux magnétique dans le noyau et un enroulement (3) de compensation monté dans un circuit (2) et couplé inductivement au noyau, dans lequel le circuit (2) a au moins une unité (4) de convertisseur, qui est montée en série avec l'enroulement (3) de compensation et qui rend possible un flux de courant dans celui-ci dans un sens seulement, et une  
15 branche (5) d'étage grossier montée dans le circuit en série avec l'enroulement (3) de compensation et ayant au moins deux sections ( $7_1, 7_2, \dots, 7_n$ ) de bobine principale montées en série, dans lequel au moins une section ( $7_2, \dots, 7_n$ ) de bobine principale est montée en parallèle avec un chemin ( $8_2, \dots, 8_n$ ) de dérivation à petite valeur ohmique, dans lequel est montée une unité (9) de coupure, qui peut passer d'une position de blocage à une position de passage ou inversement, et une unité (10) de commande, qui est reliée à un capteur (11) de détection de la  
20 composante de courant continu et à chaque unité (9) de coupure, le procédé ayant les stades suivants :

- détection de la composante de courant continu par le capteur (9) en mettant à disposition un signal de sortie,
- transmission du signal de sortie à l'unité (10) de commande,
- commande des unités (9) de coupure par l'unité (10) de commande, de manière à rendre possible un flux de  
25 courant par tellement de sections ( $7_1, 7_2, \dots, 7_n$ ) de bobine principale qu'il s'établit dans le circuit (2) un flux de courant, qui minimise la composante de flux continu.

30

35

40

45

50

55

FIG 1

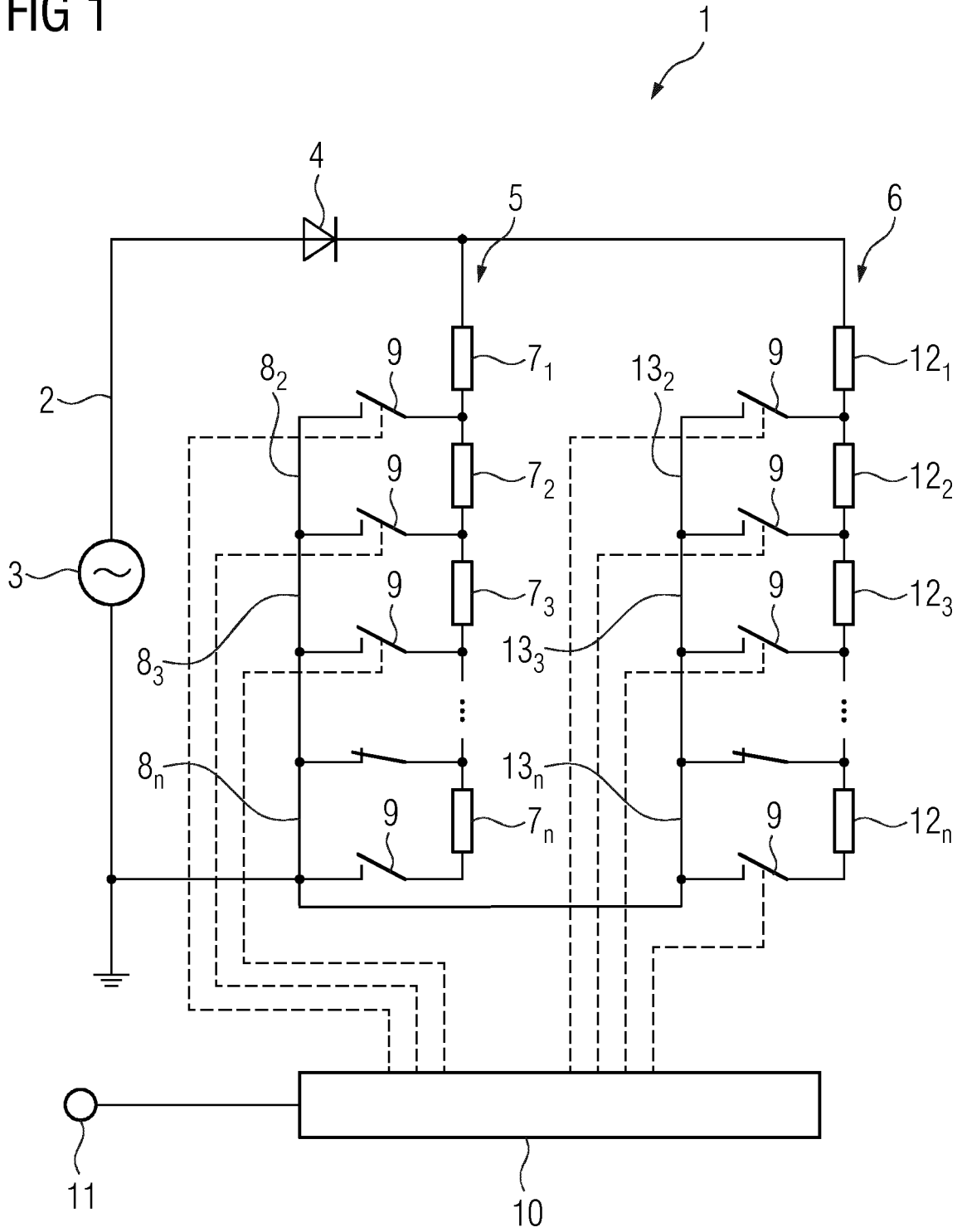
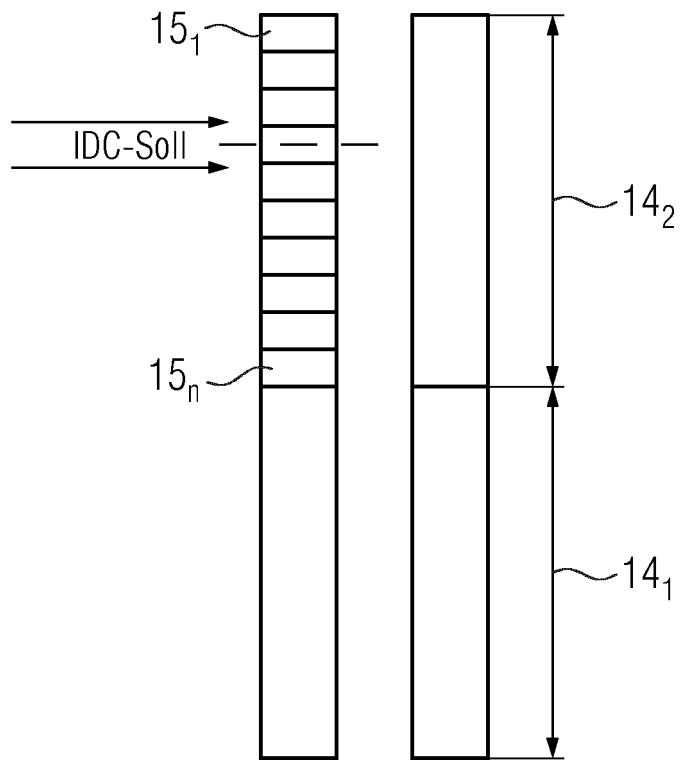


FIG 2



**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 3080821 B1 [0005]
- DE 2723767 A1 [0006]