



(11) **EP 3 783 630 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
04.10.2023 Patentblatt 2023/40

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H01F 27/42^(2006.01) H01F 27/38^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19193135.1**

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

(22) Anmeldetag: **22.08.2019**

(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**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.02.2021 Patentblatt 2021/08

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

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

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A1- 3 080 821 WO-A1-2012/041368
DE-A1- 2 723 767**

EP 3 783 630 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 zum Unterdrücken eines magnetischen Gleichstromanteils im magnetisierbaren Kern eines elektrischen Geräts, 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, einer Anzahl von Schaltzweigen, die in dem Stromkreis parallel zueinander und jeweils in Reihe zur Kompensationswicklung und zur Stromrichtereinheit angeordnet sind, wobei in jedem Schaltzweig eine Schalteinheit und eine Strombegrenzungs-drossel in Reihe geschaltet sind, und einer mit jeder Schalteinheit verbundenen Steuerungseinheit, die zum Betätigen jeder Schalteinheit eingerichtet ist, so dass ein Stromfluss über so viele Schaltzweige ermöglicht ist, dass ein Eingangssignal der Steuerungseinheit minimiert ist, wobei die Strombegrenzungs-drosseln identisch oder unterschiedlich zueinander ausgebildet sind.

[0002] Die Erfindung umfasst ferner ein Verfahren zum Unterdrücken eines Gleichstromanteils beim Betrieb eines an eine Hochspannungsnetz angeschlossenen elektrischen Geräts.

[0003] Die Erfindung betrifft ferner ein elektrisches Gerät mit einer solchen Vorrichtung.

[0004] Bei elektrischen Transformatoren, wie sie in Energie-Übertragungs- und Verteilungsnetzen eingesetzt werden, kann es zu einer unerwünschten Einspeisung eines Gleichstroms beispielsweise 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.

[0005] 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.

[0006] Zur Gleichstrom-Kompensation bzw. Verringerung von Betriebsgeräuschen eines Transformators als elektrisches Gerät sind verschiedene aktiv und passiv wirkende Einrichtungen bekannt.

[0007] 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

[0008] 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.

[0009] Weiterer Stand der Technik ist in der WO 2012/041368 A und der DE 27 23 767 A1 offenbart.

[0010] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung, ein elektrisches Gerät und ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, die kostengünstig, zuverlässig und wartungsarm sind.

[0011] Ausgehend von der eingangs genannten Vorrichtung löst die Erfindung diese Aufgabe dadurch, dass jede Strombegrenzungs-drossel aus Teilspulen zusammengesetzt ist, wobei jeweils zwei Teilspulen unter Ausbildung eines Teilspulenpaares nebeneinander zwischen zwei Metallplatten angeordnet sind und wobei jede Teilspule mit Anschlussklemmen ausgerüstet ist..

[0012] 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, bei dem ein Ausgangssignal eines Sensor, der den Gleichstromanteil in einer oder der Wicklung eines elektrischen Geräts erfasst, einer Steuerungseinheit zugeführt wird, die Steuerungseinheit so viele Schalteinheiten betätigt, dass sich ein Stromfluss in einem Stromkreis einstellt, der eine Kompensationswicklung aufweist, die induktiv mit einem Kern eines elektrischen Geräts gekoppelt ist, so dass ein Gleichflussanteil in dem elektrischen Gerät minimiert ist.

[0013] Erfindungsgemäß wird ein durch eine Kompensationswicklung fließender Gleichstrom durch Zu- und Abschalten von parallel zueinander angeordneten Strombegrenzungs-drosseln eingestellt. Dabei sind alle Strombegrenzungs-

drosseln 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 Kompensationsdrossel umso größer je mehr Schaltzweige zugeschaltet sind. Eine aufwändige Phasenschnittsregelung ist im Rahmen der Erfindung überflüssig geworden. Eine einfache digitale Steuerung ist ausreichend.

Diese schaltet im Rahmen der Erfindung so viele Schaltzweige zu, dass der von einem 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 Schaltzweigen nachgeschaltet.

[0014] Im Rahmen der Erfindung wird die im Stromkreis wirkende Induktivität durch das Zu- und Abschalten der Strombegrenzungsdrosseln stufig verändert. Dabei wirkt die Kompensationswicklung 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 Schaltzweige angeordnet sind, ist erfindungsgemäß ein geschlossener und an einer Stelle geerdeter Stromkreis.

[0015] Schaltet man in einem geschlossenen Stromkreis, der eine ideale Spannungsquelle aufweist, eine Stromrichtereinheit, beispielsweise eine Diode, und eine Strombegrenzungsdrossel in Reihe, so fließt folgender Strom $i(t)$ im Stromkreis:

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

[0016] 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. ω 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.

[0017] Durch sukzessives Zuschalten von N identischen Teilinduktivitäten wird der im Stromkreis fließende Gleichstrom in gleichen Sprüngen verändert, d. h. jedes Hinzuschalten einer Teilinduktivität verändert den Strom um ein Increment.

[0018] Beim Betrieb des elektrischen Geräts ist dieses im Rahmen der Erfindung an ein Hochspannungsnetz angeschlossen. Das elektrische Gerät ist daher für Hochspannungen ausgelegt und beispielsweise 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 Abfuhr der erzeugten Wärme in den Bauteilen.

[0019] 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.

[0020] 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.

[0021] Erfindungsgemäß ist ein elektrisches Gerät, beispielsweise ein Transformator, insbesondere Leistungstransformator, eine Drossel oder dergleichen.

[0022] 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.

[0023] 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 ein- oder 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 Polarisationswechsel für einen Strom im Stromkreis sorgt, der den Haltestrom des Thyristors unterschreitet. Soll ein Schaltkreis zugeschaltet werden,

[0024] Gemäß einer Variante der Erfindung weist jede Schalteinheit wenigstens zwei gegensinnig zueinander parallel geschaltete Thyristoren auf.

[0025] Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung dienen die Thyristoren nicht nur als Schalter, sondern auch als Strombegrenzungseinheit oder mit anderen Worten als Stromventil. 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.

[0026] Zweckmäßigerweise sind die Strombegrenzungsdröseln identisch oder unterschiedlich zueinander ausgebildet. Sind alle Strombegrenzungsdröseln identisch, kann der Strom im Stromkreis bei gleicher Verschaltung der Strombegrenzungsdröseln nur in gleichförmigen Stufen verändert werden. Erfindungsgemäß ist jede Strombegrenzungsdrösel aus Teilsulen zusammengesetzt, wobei jeweils zwei Teilsulen unter Ausbildung eines Teilsulenpaares nebeneinander zwischen zwei Metallplatten angeordnet sind und wobei jede Teilsule mit Anschlussklemmen ausgerüstet ist. Diese Bauweise der Strombegrenzungsdröseln hat sich als besonders einfach und robust erwiesen. Darüber hinaus ermöglicht diese Bauweise die Einführung einer Zwischeninduktivität, auf die später noch genauer eingegangen wird.

[0027] Weitere Kosten können im Rahmen der Erfindung eingespart werden, wenn Teilsulenpaare übereinander angeordnet sind, so dass ein Spulenstapel ausgebildet ist. Gemäß dieser Variante der Erfindung teilen sich die Teilsulenpaare eine Metallplatte. Mit anderen Worten ist die Dicke der Metallplatte zwischen zwei Teilsulenpaaren, die übereinander angeordnet ist, genau so groß wie die Dicke der unteren oder oberen Metallplatte des Stapels. Sind zwei benachbarte Teilsulenpaare aktiv, so ist in dieser Metallplatte fast kein magnetischer Fluss messbar, so dass sich der Fluss der unteren und der oberen Teilsulenpaare gegenseitig aufhebt. Die Metallplatten mit ihrer konstanten Dicke, sind notwendig, falls ein benachbartes Teilsulenpaar nicht aktiv ist, also kein magnetisches Feld erzeugt.

[0028] Vorteilhafterweise besteht jede Metallplatte aus einem ferromagnetischen Material. Auf diese Weise werden die Streufeldverluste minimiert.

[0029] Vorteilhafterweise sind die Teilsulen eines Teilsulenpaares in Reihe oder parallel zueinander geschaltet. Durch diese vorteilhafte Weiterentwicklung lässt sich die Anzahl der benötigten Teilsulenpaare verringern, so dass Material und Bauvolumen eingespart werden. Schaltet man die Teilsulen eines Teilsulenpaares nicht in Reihe, sondern parallel zueinander, ohne an der Geometrie sonst etwas zu verändern, so viertelt sich die Induktivität des Teilsulenpaares.

[0030] Gemäß einer Variante sind die Teilsulen eines Teilsulenpaares identisch ausgebildet. Gemäß einer diesbezüglichen Weiterentwicklung weisen Teilsulen verschiedener Teilsulenpaare voneinander abweichende Windungszahlen und Leiterquerschnitte auf. Bezogen auf den weiter oben ausgeführten Stapel, bedeutet dies, dass die zwischen zwei Metallplatten angeordneten Teilsulen identisch zueinander sind. Allerdings können die Teilsulen eines im Stapel weiter oben oder unten angeordneten Teilsulenpaares eine geringere Windungszahl aufweisen, dafür aber einen größeren Leiterquerschnitt, um die dann auftretenden höheren Ströme fehlerfrei führen zu können. Natürlich ist es zusätzlich möglich die Teilsulen eines Teilsulenpaares parallel oder in Reihe zu schalten.

[0031] Weitere zweckmäßige Ausgestaltungen und Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung unter Bezug auf die Figur der Zeichnung, wobei gleiche Bezugszeichen auf gleichwirkende Bauteile verweisen und wobei die

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung,
 Figur 2 eine Ausführungsbeispiel der in der Vorrichtung gemäß Figur 1 verwendeten Spulen,
 Figur 3 ein weiteres Ausführungsbeispiel der in der Vorrichtung gemäß Figur 1 verwendeten Spulen,
 Figuren 4,5 Ausführungsbeispiele der Verschaltung der Spulen gemäß der Figuren 2 und 3 schematisch verdeutlichen.

[0032] Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, die einen Stromkreis 2 zeigt, in dem eine Kompensationswicklung 3 angeordnet ist. Die Kompensationswicklung 3 ist induktiv mit einer Oberspannungswicklung eines Leistungstransformators gekoppelt, wobei der Leistungstransformator an ein Wechselspannungsführendes Hochspannungsnetz mit einer Nennspannung von 325 kV angeschlossen ist. Im Stromkreis 2 ist in Reihe zur Kompensationswicklung 3 eine Stromrichtereinheit 4 erkennbar, die beispielsweise als Diode ausgeführt ist. Eine Diode kann auch als nicht ansteuerbarer Leistungshalbleiter bezeichnet werden.

[0033] Die Stromrichtereinheit 4 ermöglicht den Stromfluss über diese in nur eine Richtung, die durch die Spitze des Dreiecks (also in Figur 1 von links nach rechts) angedeutet ist. Der geerdete Stromkreis 2 verfügt ferner über einander parallel geschaltete Schaltzweige $5_1, 5_2, 5_3 \dots 5_{n-1}, 5_n$. In jedem Schaltzweig sind eine Schalteinheit $6_1, 6_2, 6_3 \dots 6_{n-1}$,

6_n und eine Strombegrenzungsdrössel $7_1, 7_2, 7_3 \dots 7_{n-1}, 7_n$ in Reihe geschaltet. Dabei sind die Schalteinheiten $6_1, \dots, 6_n$ in dem in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel als Thyristoren realisiert, welche die Funktion der figürlich dargestellten Diode 4 übernehmen. Die Diode 4 ist somit Teil der Schalteinheit und in diese integriert. Mit anderen Worten wird die gleichrichtende Wirkung einer Stromrichtereinheit durch die elektronische Schalteinheit mit übernommen. Nach dem Zünden lässt ein Thyristor Strom in nur eine Richtung durch ihn hindurch fließen. Dabei ist Thyristor $6_1, \dots, 6_n$ über gestrichelt dargestellte Signalleitungen mit einer Steuerungseinheit 8 verbunden, die zum Zünden des jeweiligen Thyristors eingerichtet ist. Die Steuerungseinheit 8 ist ferner mit dem Ausgang eines Sensors 9 verbunden, mit dessen Hilfe ein Gleichstromanteil in einer der Wicklungen des ansonsten nicht weiter dargestellten Transformators erfasst wird. Ausgangseitig des Sensors 9 ist ein Signal breitgestellt, das dem Gleichflussanteil entspricht und das an die Steuerungseinheit 8 überführt wird.

[0034] Die induktiv mit der Oberspannungswicklung gekoppelte Kompensationswicklung 3 erzeugt im Stromkreis 2 eine Spannung U. Mit anderen Worten stellt die Kompensationswicklung 3 eine ideale Spannungsquelle für den Stromkreis 2 bereit. Die induzierte Spannung treibt nun einen Gleichstrom mit Wechselstromanteil über den Stromkreis 2. Die Größe dieses im Stromkreis fließenden Stromes ist von der Anzahl der aktiven und parallel geschalteten Schaltzweige abhängig. Je mehr Schaltzweige durch Zünden des ihr zugeordneten Thyristor aktiv geschaltet sind, desto größer wird der im Stromkreis 2 fließende Strom, der sich auch in der Kompensationswicklung 3 einstellt, so dass durch die induktive Kopplung ein Gleichflussanteil im Kern, der durch eine Gleichstromdurchflutung der Oberspannungs- und/oder Unterspannungswicklung verursacht wird, kompensiert wird.

[0035] Die Steuerungseinheit 8 ist eine besonders einfache Steuerungseinheit, da diese lediglich Schaltzweige durch Dauerzünden der Thyristoren oder eben durch Unterlassen der Dauerzündung eine Anzahl von Schaltzweigen parallel schaltet, so dass der von dem Sensor 9 erfasste Gleichstromanteil minimiert wird. Eine aufwändige Phasenanschnittsteuerung ist im Rahmen der Erfindung vermieden. Erfindungsgemäß ist eine einfache nahezu fehlerfreie und robuste Vorrichtung zur Gleichstrom-kompensation bereitgestellt.

[0036] Figur 2 verdeutlicht den Aufbau einer Induktivität $7_1, \dots, 7_n$ beispielhaft. Es ist erkennbar, dass die Strombegrenzungsdrössel 7_1 aus einem Paar von Teilsulen 10 und 11 zusammengesetzt ist, die zwischen zwei Eisenplatten 12 angeordnet sind, wobei die Teilsulen 10 und 11 mit figürlich nicht dargestellten Anzapfungen oder Anschlussklemmen versehen sind.

[0037] Die beiden Teilsulen 10 und 11 bilden ein Teilsulenpaar 13 aus. Eine so aufgebaute Induktivität kann gemeinsam mit anderen Induktivitäten auf besonders einfache und kompakte Art und Weise zu einem Stapel 14 zusammengesetzt werden, wobei benachbarte Sulenpaare 13 sich eine zwischen ihnen angeordneten Metall- oder Eisenplatte 13 teilen. Mit anderen Worten weisen alle Metallplatten 13 des Stapels 14 die gleiche Dicke auf. Zwischen zwei übereinander angeordneten Teilsulenpaaren 13 ist lediglich eine Metallplatte notwendig. Die Metallplatten sind bevorzugt identisch zueinander ausgebildet. Die Metallplatten sind bevorzugt Platten aus dünnen Elektroblechen.

[0038] Durch eine zweckmäßige Verschaltung lässt sich die Anzahl der benötigten Sulenpaare begrenzen. In Figur 4 sind zwei Teilsulen 10 und 11 beispielhaft in Reihe geschaltet. Figur 5 zeigt die zwei Teilsulen 10 und 11 eines Teilsulenpaares 13 in Parallelschaltung. Da sich die Teilsulenpaare gemäß Figur 4 und Figur 5 ansonsten nicht weiter unterscheiden, weist das Teilsulenpaar 13 gemäß Figur 5 nur ein Viertel der Induktivität des Teilsulenpaares gemäß Figur 4 auf. Bezeichnet man Teilsulenpaare mit voller Induktivität mit L1, siehe Figur 4, und Teilsulenpaare gemäß Figur 5, die einander parallel geschaltet sind und die somit ein Viertel der Induktivität von L1 aufweisen, mit L2, können mit acht Teildrosselpaaren 12 Schaltstufen realisiert werden, wie aus der Tabelle 1 hervor geht.

Tabelle 1:

n	L1	2 L2	3 L1	4 L2	5 L1	6 L2	7 L1	8 L2
1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	0	0	0	0	0
5	1	1	0	1	0	0	0	0
6	1	1	1	1	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	0	0	0
8	1	1	1	1	0	1	0	0
9	1	1	1	1	1	1	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	0

EP 3 783 630 B1

(fortgesetzt)

n	L1	2 L2	3 L1	4 L2	5 L1	6 L2	7 L1	8 L2
11	1	1	1	1	1	1	0	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1

[0039] Darüber hinaus ist es möglich, die Teildrosseln unterschiedlich auszubilden. Ist n die Anzahl der Teilspulenpaare mit unterschiedlicher Induktivität, so ergibt sich die Anzahl der möglichen Schaltstufen nach $2^n - 1$. Idealerweise werden die Teilspulenpaare so abgestuft, dass das folgende Teilspulenpaar nur die Hälfte der Induktivität aufweist. Damit kann man mit n Teilspulenpaaren $2^n - 1$ Schaltstufen mit gleichen Inkrementen realisieren.

[0040] Werden z.B. die Teildrosseln 10 und 11 eines Teildrosselpaares 13 mit nur der Hälfte der Windungszahlen aber mit einer Verdopplung des Leiterquerschnitts im Vergleich zu einem benachbarten Teildrosselpaar ausgestaltet, so bleibt die Baugröße der besagten Teildrosselpaar in etwa gleich. Durch die Parallelschaltung kann man nun die Induktivitäten der Teildrosselpaare wieder vierteln, so dass sich gemäß dieser Weiterentwicklung der Erfindung vier Teildrosselpaare mit unterschiedlichen Induktivitäten L1, L2, L4 und L8 ergeben.

[0041] Man erkennt, dass man nur vier Teilspulenpaare benötigt, um 15 Schaltstufen zu realisieren, $2^4 - 1 = 15$. Dies entspricht eine Einsparung von bis zu 60 %. Die Schaltmöglichkeiten sind in Tabelle 2 verdeutlicht:

Tabelle 2:

n	1 L1	2 L2	3 L4	4 L8
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	1	1	0	0
4	0	0	1	0
5	1	0	1	0
6	0	1	1	0
7	1	1	1	0
8	0	0	0	1
9	1	0	0	1
10	0	1	0	1
11	1	1	0	1
12	0	0	1	1
13	1	0	1	1
14	0	1	1	1
15	1	1	1	1

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,
- einer Anzahl von Schaltzweigen ($5_1, 5_2, \dots, 5_n$), die in dem Stromkreis parallel zueinander und jeweils in Reihe zur Kompensationswicklung (3) und zur Stromrichtereinheit (4) angeordnet sind, wobei in jedem Schaltzweig

($5_1, 5_2, \dots 5_n$) eine Schalteinheit ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) und eine Strombegrenzungs-drossel ($7_1, 7_2, \dots 7_n$) in Reihe geschaltet sind, und

- einer mit jeder Schalteinheit ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) verbundenen Steuerungseinheit (8), die zum Betätigen jeder Schalteinheit ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) eingerichtet ist, so dass ein Stromfluss über so viele Schaltzweige ($5_1, 5_2, \dots 5_n$) ermöglicht ist, dass ein einem erfassten Gleichstromanteil entsprechendes Eingangssignal der Steuerungseinheit (8) minimiert ist,

- wobei die Strombegrenzungs-drosseln ($7_1, 7_2, \dots 7_n$) identisch oder unterschiedlich zueinander ausgebildet sind,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- jede Strombegrenzungs-drossel ($7_1, 7_2, \dots 7_n$) aus Teilsulen (10, 11) zusammengesetzt ist, wobei jeweils zwei Teilsulen (10, 11) unter Ausbildung eines Teilsulenpaares (13) nebeneinander zwischen zwei Metallplatten (12) angeordnet sind und wobei jede Teilsule (10, 11) mit Anschlussklemmen ausgerüstet ist.

2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

jede Schalteinheit eine elektronische Schalteinheit ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) ist.

3. Vorrichtung (1) nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, dass

jede elektronische Schalteinheit ein Thyristor ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) ist.

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

dadurch gekennzeichnet, dass

jede Schalteinheit ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) wenigstens zwei gegensinnig zueinander parallel geschaltete Thyristoren aufweist.

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

dadurch gekennzeichnet, dass

die Thyristoren ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) zumindest teilweise als Stromrichtungseinheit (4) dienen.

6. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Teilsulenpaare (13) übereinander angeordnet sind, so dass ein Sulenstapel (14) ausgebildet ist.

7. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 6,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Teilsulen (10, 11) eines Teilsulenpaares (13) in Reihe oder parallel zueinander geschaltet sind.

8. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1, 6 oder 7,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Teilsulen (10, 11) eines Teilsulenpaares (13) identisch zueinander ausgebildet sind.

9. Vorrichtung (1) nach Anspruch 8,

dadurch gekennzeichnet, dass

Teilsulen (10, 11) verschiedener Teilsulenpaare (13) voneinander abweichende Windungszahlen und Leiterquerschnitte aufweisen.

10. 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 7.

11. Elektrisches Gerät nach Anspruch 10,

dadurch gekennzeichnet, dass

ein Sensor (9) zum Ermitteln des Gleichstromanteils in einer oder der Wicklung vorgesehen ist, wobei der Sensor (9) ausgangsseitig mit der Steuerungseinheit (8) verbunden ist.

12. 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 (2) angeordnete und induktiv mit dem Kern gekoppelte Kompensations-

wicklung 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 eine Anzahl von Schaltzweigen ($5_1, 5_2, \dots 5_n$) aufweist, die in dem Stromkreis (2) parallel zueinander und jeweils in Reihe zur Kompensationswicklung (3) und zur Stromrichtereinheit (4) geschaltet sind, wobei in jedem Schaltzweig ($5_1, 5_2, \dots 5_n$) eine Schalteinheit ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) und eine Strombegrenzungs-drossel ($7_1, 7_2, \dots 7_n$) in Reihe geschaltet sind, bei dem

- das Ausgangssignal eines Sensors (9), der den Gleichstromanteil in einer oder der Wicklung erfasst, einer Steuerungseinheit (8) zugeführt wird,
- die Steuerungseinheit (8) so viele Schalteinheiten ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) einschaltet, dass sich durch die Anzahl von aktiven und parallel geschalteten Schaltzweigen ein in Schaltstufen einstellbarer Stromfluss im Stromkreis (2) einstellt, der den Gleichstromanteil minimiert.

Claims

1. Apparatus (1) for suppressing a magnetic DC component in the magnetizable core of an electrical device, comprising

- 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,
- a number of switching branches ($5_1, 5_2, \dots 5_n$), which are arranged in the circuit in parallel with one another and in each case in series with the compensation winding (3) and with the power converter unit (4), wherein a switching unit ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) and a current-limiting reactor ($7_1, 7_2, \dots 7_n$) are connected in series in each switching branch ($5_1, 5_2, \dots 5_n$), and
- a control unit (8) that is connected to each switching unit ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) and is configured to actuate each switching unit ($6_1, 6_2, \dots 6_n$), such that a flow of current is enabled through so many switching branches ($5_1, 5_2, \dots 5_n$) that an input signal, which corresponds to a detected DC component, of the control unit (8) is minimized,
- wherein the current-limiting reactors ($7_1, 7_2, \dots 7_n$) are designed so as to be identical to one another or different from one another,
- **characterized in that**
- each current-limiting reactor ($7_1, 7_2, \dots 7_n$) is composed of partial coils (10, 11), wherein in each case two partial coils (10, 11) are arranged next to one another between two metal plates (12) so as to form a partial coil pair (13), and wherein each partial coil (10, 11) is equipped with connection terminals.

2. Apparatus (1) according to Claim 1,

characterized in that

each switching unit is an electronic switching unit ($6_1, 6_2, \dots 6_n$).

3. Apparatus (1) according to Claim 2,

characterized in that

each electronic switching unit is a thyristor ($6_1, 6_2, \dots 6_n$).

4. Apparatus (1) according to Claim 2 or 3,

characterized in that

each switching unit ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) has at least two thyristors that are connected in parallel with one another in opposite directions.

5. Apparatus (1) according to Claim 3 or 4,

characterized in that

the thyristors ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) are at least partially used as a power converter unit (4).

6. Apparatus (1) according to Claim 1,

characterized in that

the partial coil pairs (13) are arranged one on top of the other, such that a coil stack (14) is formed.

7. Apparatus (1) according to Claim 1 or 6,

characterized in that

the partial coils (10, 11) of a partial coil pair (13) are connected in series or in parallel with one another.

8. Apparatus (1) according to one of Claims 1, 6 and 7,

characterized in that

the partial coils (10, 11) of a partial coil pair (13) are designed so as to be identical to one another.

9. Apparatus (1) according to Claim 8,

characterized in that

partial coils (10, 11) of different partial coil pairs (13) have numbers of turns and conductor cross sections that differ from one another.

10. 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 7 that is inductively coupled to the core.

11. Electrical device according to Claim 10,

characterized in that

a sensor (9) is provided to ascertain the DC component in a or the winding, wherein the sensor (9) is connected to the control unit (8) on the output side.

12. 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 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 there-through in just one direction, and has a number of switching branches ($5_1, 5_2, \dots 5_n$), which are connected in the circuit (2) in parallel with one another and in each case in series with the compensation winding (3) and with the power converter unit (4), wherein a switching unit ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) and a current-limiting reactor ($7_1, 7_2, \dots 7_n$) are connected in series in each switching branch ($5_1, 5_2, \dots 5_n$), in which

- the output signal of a sensor (9) that detects the DC component in a or the winding is supplied to a control unit (8),
- the control unit (8) switches on so many switching units ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) that the number of switching branches that are active and connected in parallel results in a flow of current in the circuit (2) that is adjustable in switching stages and minimizes the DC component.

Revendications

1. Dispositif (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 la production d'un flux magnétique dans le noyau, dont l'effet s'oppose à la composante de flux continu,
- un circuit (2), dans lequel l'enroulement (3) de compensation est monté,
- au moins une unité (4) de redresseur de courant, 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 seulement un sens,
- un nombre de branches ($5_1, 5_2, \dots 5_n$) de coupure, qui sont montées dans le circuit en parallèle les unes avec les autres et chacune en série avec l'enroulement (3) de compensation et avec l'unité (4) de redresseur, dans lequel sont montés en série dans chaque branche ($5_1, 5_2, \dots 5_n$) de coupure une unité ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) de coupure et une bobine ($7_1, 7_2, \dots 7_n$) de limitation du courant, et
- une unité (8) de commande, qui est reliée à chaque unité ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) de coupure et qui est agencée pour actionner chaque unité ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) de coupure de manière à ce qu'un flux de courant soit rendu possible dans de si nombreuses branches ($5_1, 5_2, \dots 5_n$) qu'un signal d'entrée, correspondant à une composante de courant continu détectée, de l'unité (8) de commande soit minimisé,
- dans lequel les bobines ($7_1, 7_2, \dots 7_n$) de limitation du courant sont constituées de manière identique ou différente les unes des autres,
- **caractérisé en ce que**
- chaque bobine ($7_1, 7_2, \dots 7_n$) de limitation du courant est composée de bobines (10, 11) partielles, dans lequel respectivement deux bobines (10, 11) partielles sont disposées avec formation d'une paire (13) de bobines

partielles les unes à côté des autres entre deux plaques (12) métalliques et dans lequel chaque bobine (10, 11) partielle est équipée de bornes de connexion.

2. Dispositif (1) suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** chaque unité de coupure est une unité ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) électronique de coupure.

3. Dispositif (1) suivant la revendication 2, **caractérisé en ce que** chaque unité électronique de coupure est un thyristor ($6_1, 6_2, \dots 6_n$).

4. Dispositif (1) suivant la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** chaque unité ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) de coupure a au moins deux thyristors montés tête bêche en parallèle l'un avec l'autre.

5. Dispositif (1) suivant la revendication 3 ou 4, **caractérisé en ce que** les thyristors ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) servent au moins en partie d'unité (4) de redresseur.

6. Dispositif (1) suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** les paires (13) de bobines partielles sont disposées les unes sur les autres de manière à constituer une pile (14) de bobines.

7. Dispositif (1) suivant la revendication 1 ou 6, **caractérisé en ce que** les bobines (10, 11) partielles d'une paire (13) de bobines partielles sont montées en série en parallèle les unes avec les autres.

8. Dispositif (1) suivant l'une des revendications 1, 6 ou 7, **caractérisé en ce que** les bobines (10, 11) partielles d'une paire (13) de bobine partielle sont constituées de manière identique les unes aux autres.

9. Dispositif (1) suivant la revendication 8, **caractérisé en ce que** des bobines (10, 11) partielles de paires (13) de bobines partielles différentes ont des nombres de spires et des sections transversales de conducteur, qui sont différents les uns des autres.

10. Appareil électrique comprenant un noyau et au moins un enroulement, qui est agencé pour la production d'un flux magnétique dans le noyau, et un dispositif (1) suivant l'une des revendications 1 à 7, couplé inductivement au noyau.

11. Appareil électrique suivant la revendication 10, **caractérisé en ce que** il est prévu un capteur (9) de détermination de la composante de courant continu dans un ou dans l'enroulement, dans lequel le capteur (9) est relié du côté de la sortie à l'unité (8) de commande.

12. Procédé de suppression d'une composante de courant continu lors du fonctionnement de l'appareil électrique, qui est raccordé à un réseau en haute tension et qui a un noyau, au moins un enroulement de production d'un flux magnétique dans le noyau et un enroulement de compensation monté dans un circuit (2) et couplé inductivement au noyau, dans lequel le circuit (2) a au moins une unité (4) de redresseur, qui est montée en série avec l'enroulement (3) de compensation et qui rend possible un flux de courant dans celui-ci seulement dans un sens, et un nombre de branches ($5_1, 5_2, \dots 5_n$) de coupure, qui sont montées dans le circuit (2) en parallèle les unes avec les autres et chacune en série avec l'enroulement (3) de compensation et avec l'unité (4) de redresseur, dans lequel sont montés en série dans chaque branche ($5_1, 5_2, \dots 5_n$) de coupure une unité ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) de coupure et une bobine ($7_1, 7_2, \dots 7_n$) de limitation du courant, dans lequel

- on envoie le signal de sortie d'un capteur (9), qui détecte la composante de courant continu dans un ou dans l'enroulement, à une unité (8) de commande,

- l'unité (8) de commande met en circuit un nombre d'unités ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) de coupure tel que, par le nombre de branches de coupure actives et montées en parallèle, il s'établit dans le circuit (2) un flux de courant réglable dans des étages de coupure, qui minimise la composante de courant continu.

FIG 1

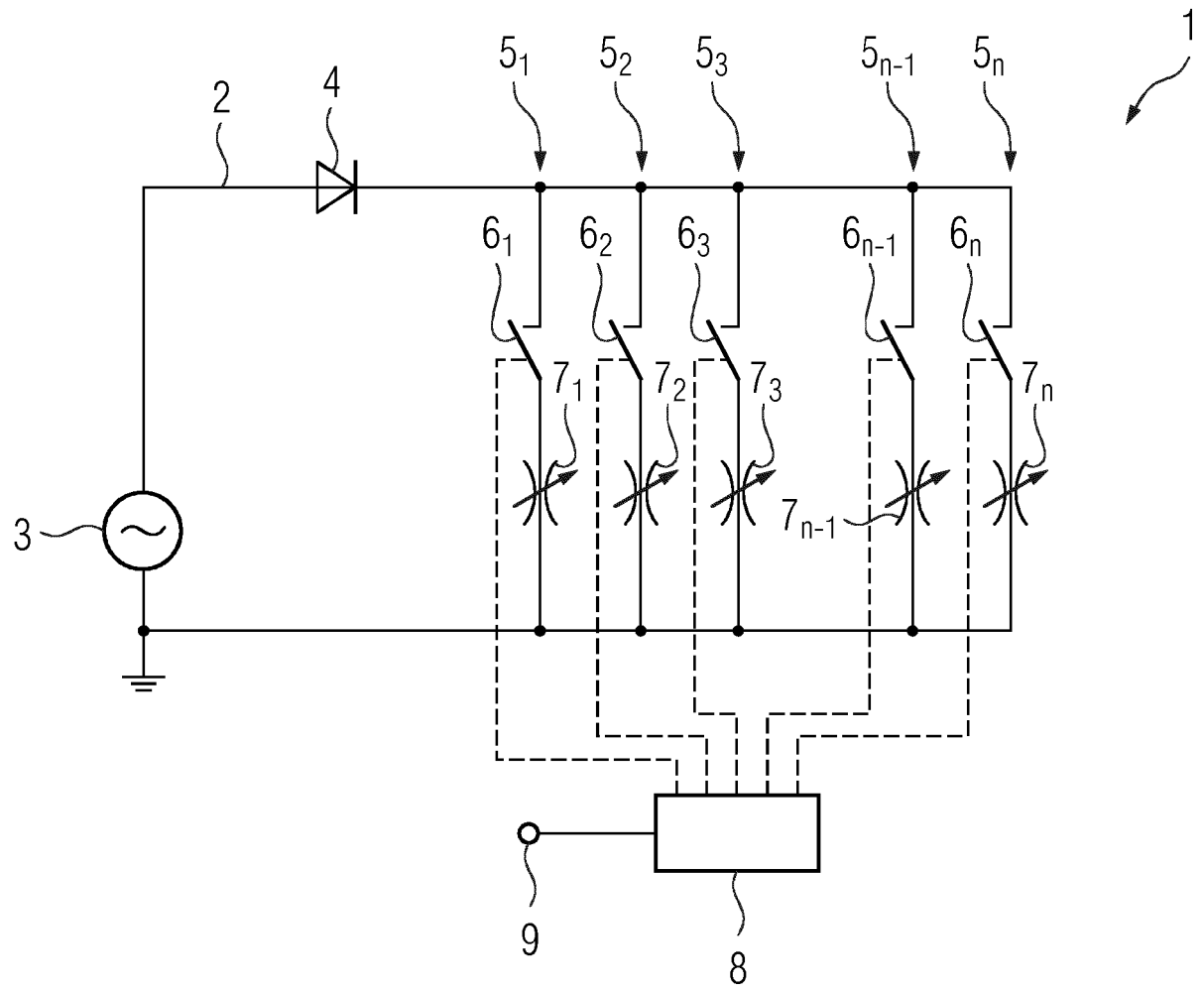


FIG 2

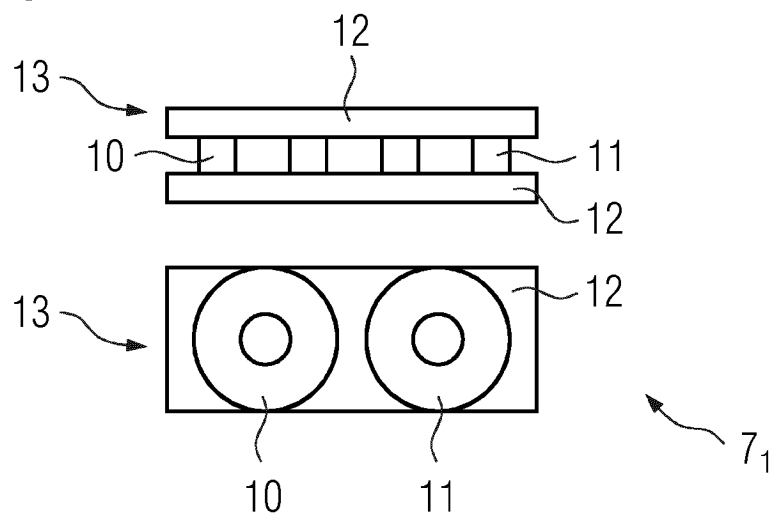


FIG 3

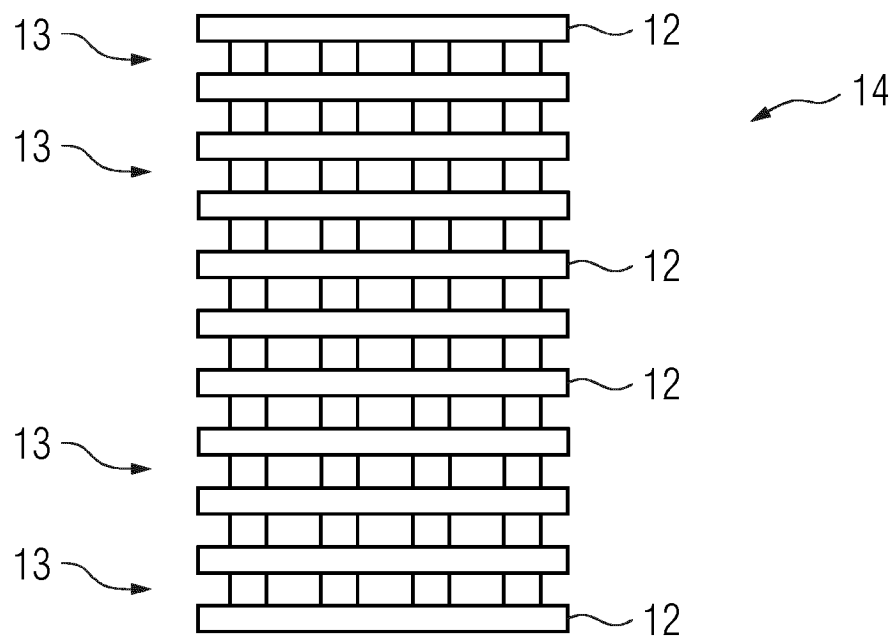


FIG 4

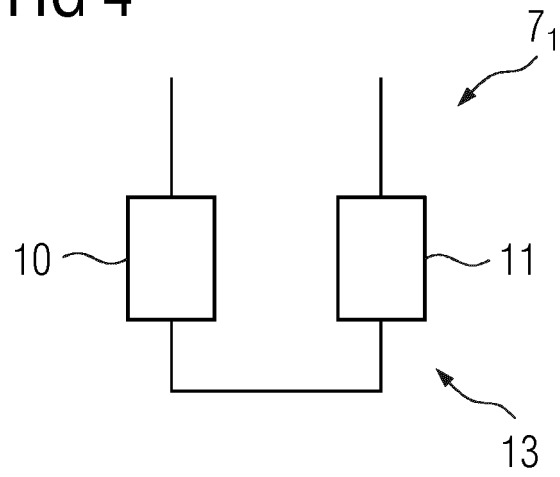
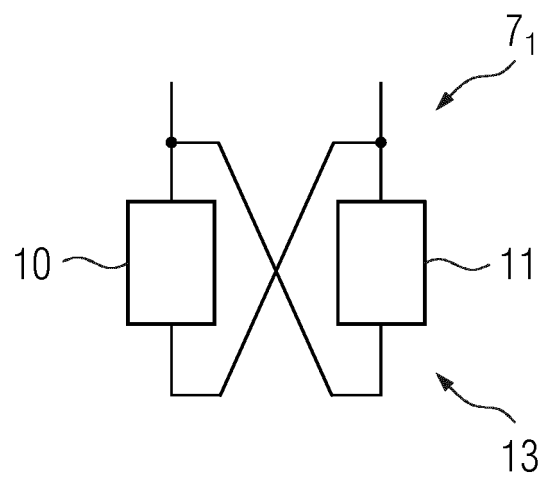


FIG 5



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 [0007]
- WO 2012041368 A [0009]
- DE 2723767 A1 [0009]