



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
03.03.2021 Patentblatt 2021/09

(51) Int Cl.:
H01F 27/42 (2006.01) **H01F 27/38 (2006.01)**
H01F 29/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19194634.2**

(22) Anmeldetag: **30.08.2019**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

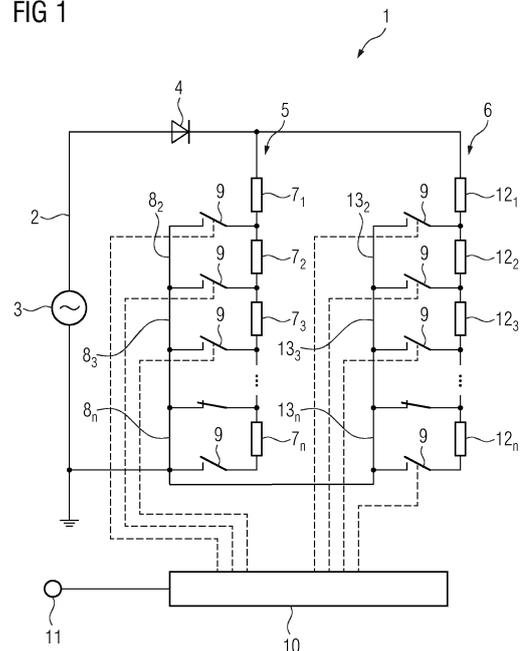
(71) Anmelder: **Siemens Energy Global GmbH & Co. KG**
81739 München (DE)

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

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

(57) Die Erfindung betrifft eine 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 Stromrichterinheit (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.

FIG 1



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 Energie-Übertragungs- 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.

[0005] Zur Gleichstrom-Kompensation bzw. Verringerung von Betriebsgeräuschen eines Transformators als elektrisches Gerät sind verschiedene aktiv und passiv wirkende Einrichtungen bekannt.

[0006] 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.

[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 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.

[0010] Schließlich löst die Erfindung die Aufgabe durch ein Verfahren zum Unterdrücken 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 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, Über-

führen 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.

[0011] 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.

[0012] 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.

[0013] Der gemäß der Erfindung erzeugte Gleichstrom I_{DC} ist umgekehrt proportional zur im Stromkreis wirksamen Induktivität gemäß $I_{DC} \propto 1/L$.

[0014] 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.

[0015] 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.

[0016] 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.

[0017] 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.

[0018] 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

[0019] 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.

[0020] 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.

[0021] 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.

[0022] 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.

[0023] 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:

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

[0024] 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.

[0025] 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.

[0026] 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.

[0027] 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.

[0028] Erfindungsgemäß ist ein elektrisches Gerät, beispielsweise ein Transformator, insbesondere Leistungstransformator, eine Drossel oder dergleichen.

[0029] 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.

[0030] 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 Polaritätswechsel für einen Strom im Stromkreis sorgt, der den Haltestrom des Thyristors unterschreitet. Soll ein Schaltkreis zugeschaltet werden, wird der Thyristor dauergezündet.

[0031] Gemäß einer Variante der Erfindung weist jede Schalteinheit wenigstens zwei gegensinnig zueinander parallel geschaltete Thyristoren auf.

[0032] 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.

[0033] 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.

[0034] 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.

[0035] 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.

[0036] 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.

[0037] 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.

[0038] Die Steuerungseinheit 10 ist einansseitig 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.

[0039] Auch die Schalteinheiten 9 des Feinstufenzweig es 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.

[0040] 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.

[0041] 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 gegenseitig zueinander parallel geschaltete Thyristoren (9) aufweist.

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

dadurch gekennzeichnet, dass die Schalteinheiten (9) zumindest teilweise als Stromrichtereinheit (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 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.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

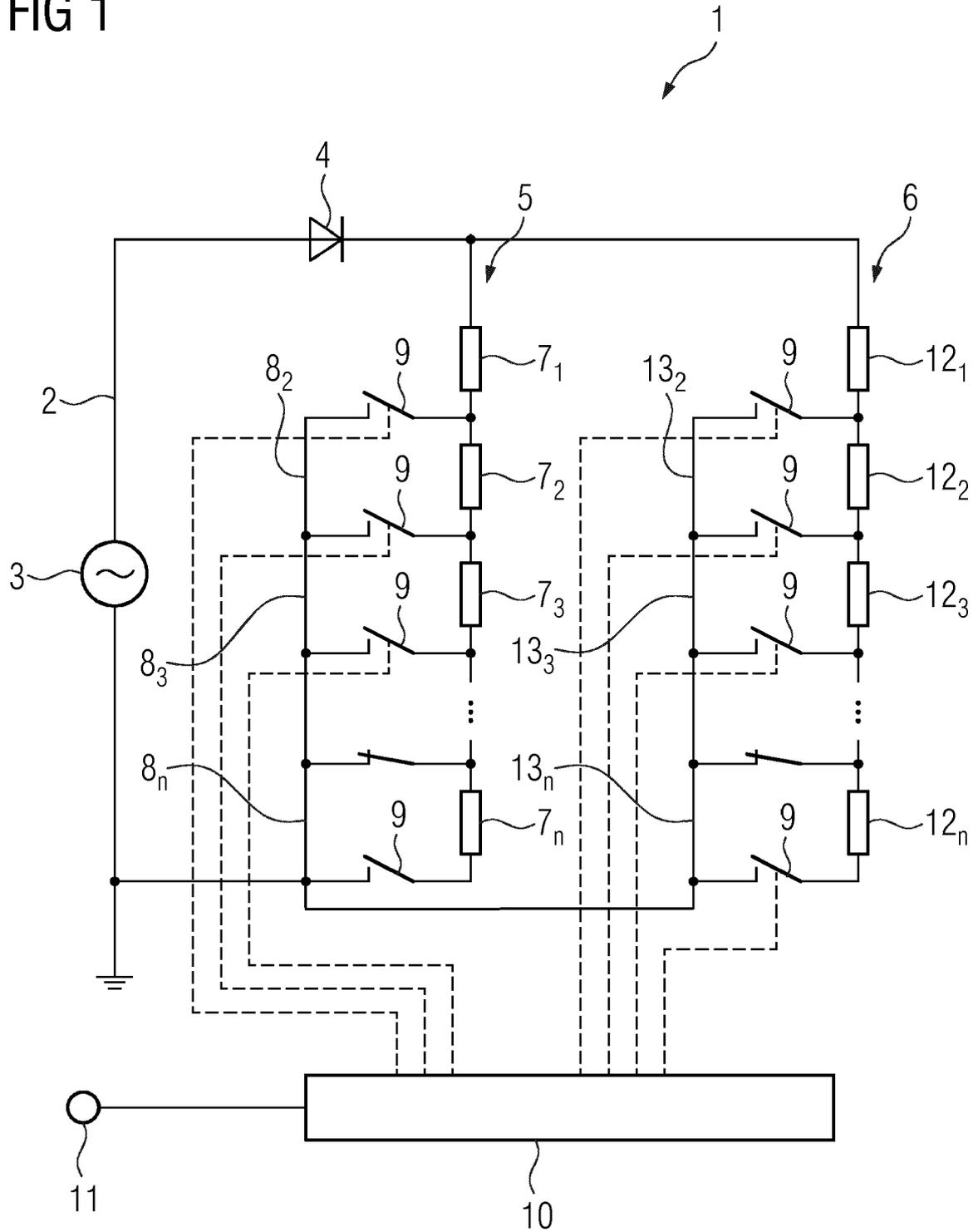
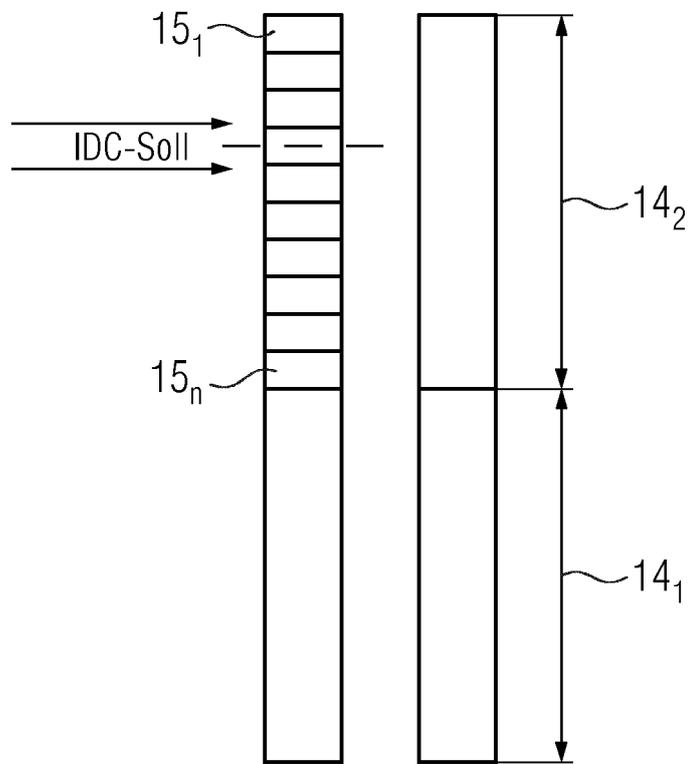


FIG 2





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 19 19 4634

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A,D	EP 3 080 821 A1 (SIEMENS AG [DE]) 19. Oktober 2016 (2016-10-19) * Seite 2, Absatz 4 - Seite 5, Absatz 28 * * Seite 6, Absatz 41-43 * * Abbildungen 1-9 * * Ansprüche 1-9 *	1-10	INV. H01F27/42 H01F27/38 H01F29/02
A	DE 27 23 767 A1 (MESSER GRIESHEIM GMBH) 30. November 1978 (1978-11-30) * Seite 2, Absatz 2 - Seite 6, letzter Absatz; Abbildungen 1-4 * -----	1-10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			H01F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 20. Februar 2020	Prüfer Kardinal, Ingrid
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 19 19 4634

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

20-02-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	EP 3080821	A1	19-10-2016	CA 2930845 A1 CN 105793935 A EP 3080821 A1 US 2016300662 A1 WO 2015086048 A1	18-06-2015 20-07-2016 19-10-2016 13-10-2016 18-06-2015
20	DE 2723767	A1	30-11-1978	KEINE	
25					
30					
35					
40					
45					
50					
55					

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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 [0006]