



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
24.02.2021 Patentblatt 2021/08

(51) Int Cl.:
H01F 27/42^(2006.01) H01F 27/38^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19193135.1**

(22) Anmeldetag: **22.08.2019**

(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**

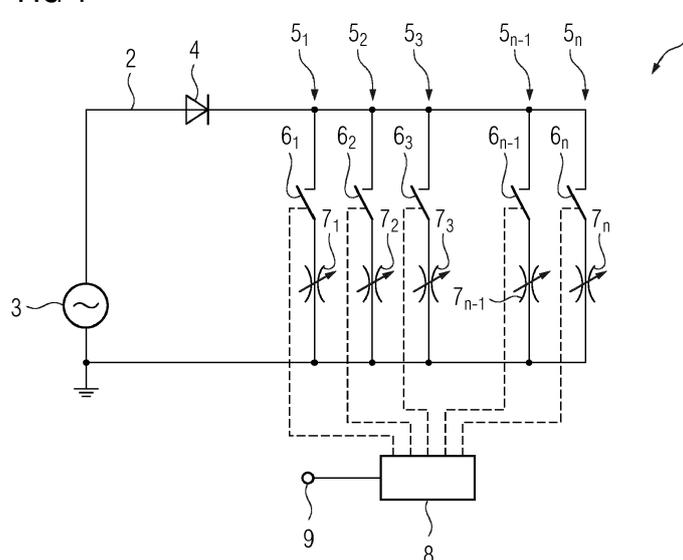
(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1) zum Unterdrücken eines magnetischen Gleichstromanteils im magnetisierbaren Kern eines elektrischen Geräts, mit

- 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 Stromrichtereinheit (4), die einen Stromfluss über diese in nur einer Richtung ermöglicht,
- einer Anzahl von Schaltzweigen (5₁, 5₂, ... 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 (5₁, 5₂, ... 5_n) eine Schalteinheit (6₁, 6₂, ... 6_n) und eine Strombegrenzungsdrossel (7₁, 7₂, ... 7_n) in Reihe geschaltet sind, und

- einer mit jeder Schalteinheit (6₁, 6₂, ... 6_n) verbundenen Steuerungseinheit (8), die zum Betätigen jeder Schalteinheit (6₁, 6₂, ... 6_n) eingerichtet ist, so dass einen Stromfluss über so viele Schaltzweige (5₁, 5₂, ... 5_n) ermöglicht ist, dass ein Eingangssignal der Steuerungseinheit (8) 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 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.

[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 eine Kompensationswicklung zum Erzeugen eines magnetischen Flusses in dem Kern, dessen Wirkung dem Gleichflussanteil entgegengerichtet ist, einen Stromkreis, in dem die Kompensationswicklung angeordnet ist, wenigstens eine in dem Stromkreis und in Reihe zur Kompensationswicklung angeordnete Stromrichtereinheit, die einen Stromfluss über diese in nur einer Richtung ermöglicht, eine Anzahl von Schaltzweigen, die in dem Stromkreis parallel zueinander und jeweils in Reihe zur Kompensationswicklung und zur Stromrichtereinheit angeordnet sind, aufweist, wobei in jedem Schaltzweig eine Schalteinheit und eine Strombegrenzungsdrossel in Reihe geschaltet sind. Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst ferner eine mit jeder Schalteinheit verbundene 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.

[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, 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.

[0011] Erfindungsgemäß wird ein durch eine Kompensationswicklung fließender Gleichstrom durch Zu- und Abschalten von parallel zueinander angeordneten Strombegrenzungsdrosseln eingestellt. Dabei sind alle Strombegrenzungsdrosseln 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 Phasenanschnittsregelung 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 zweckmäßi-

gerweise an einem Potentialpunkt geerdet. Dieser Potentialpunkt ist in Richtung des von der Stromrichtereinheit zugelassenen Stromes im Stromkreis den Schaltzweigen nachgeschaltet.

[0012] Im Rahmen der Erfindung wird die im Stromkreis wirkende Induktivität durch das Zu- und Abschalten der Strombegrenzungsdröseln 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.

[0013] Schaltet man in einem geschlossenen Stromkreis, der eine ideale Spannungsquelle aufweist, eine Stromrichtungseinheit, beispielsweise eine Diode, und eine Strombegrenzungsdrösel in Reihe, so fließt folgender Strom $i(t)$ im Stromkreis:

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

[0014] 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. 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.

[0015] 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 Drösel. Ein solcher Transformator oder eine solche Drösel 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.

[0016] 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.

[0017] 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.

[0018] Erfindungsgemäß ist ein elektrisches Gerät, beispielsweise ein Transformator, insbesondere Leistungstransformator, eine Drösel oder dergleichen.

[0019] 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.

[0020] 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.

[0021] Gemäß einer Variante der Erfindung weist jede Schalteinheit wenigstens zwei gegensinnig zueinander parallel

geschaltete Thyristoren auf.

[0022] 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.

[0023] Zweckmäßigerweise sind die die Strombegrenzungsdrosseln identisch oder unterschiedlich zueinander ausgebildet. Sind alle Strombegrenzungsdrosseln identisch, kann der Strom im Stromkreis bei gleicher Verschaltung der Strombegrenzungsdrosseln nur in gleichförmigen Stufen verändert werden.

[0024] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist jede Strombegrenzungsdrossel aus Teilspulen zusammengesetzt, wobei jeweils zwei Teilspulen unter Ausbildung eines Teilspulenpaares nebeneinander zwischen zwei Metallplatten angeordnet sind und wobei jede Teilspule mit Anschlussklemmen ausgerüstet ist. Diese Bauweise der Strombegrenzungsdrosseln hat sich als besonders einfach und robust erwiesen. Darüber hinaus ermöglicht diese Bauweise die Einführung einer Zwischeninduktivität, auf die später noch genauer eingegangen wird.

[0025] Weitere Kosten können im Rahmen der Erfindung eingespart werden, wenn Teilspulenpaare übereinander angeordnet sind, so dass ein Spulenstapel ausgebildet ist. Gemäß dieser Variante der Erfindung teilen sich die Teilspulenpaare eine Metallplatte. Mit anderen Worten ist die Dicke der Metallplatte zwischen zwei Teilspulenpaaren, die übereinander angeordnet ist, genau so groß wie die Dicke der unteren oder oberen Metallplatte des Stapels. Sind zwei benachbarte Teilspulenpaare aktiv, so ist in dieser Metallplatte fast kein magnetischer Fluss messbar, so dass sich der Fluss der unteren und der oberen Teilspulenpaare gegenseitig aufhebt. Die Metallplatten mit ihrer konstanten Dicke, sind notwendig, falls ein benachbartes Teilspulenpaar nicht aktiv ist, also kein magnetisches Feld erzeugt.

[0026] Vorteilhafterweise besteht jede Metallplatte aus einem ferromagnetischen Material. Auf diese Weise werden die Streufeldverluste minimiert.

[0027] Vorteilhafterweise sind die Teilspulen eines Teilspulenpaares in Reihe oder parallel zueinander geschaltet. Durch diese vorteilhafte Weiterentwicklung lässt sich die Anzahl der benötigten Teilspulenpaare verringern, so dass Material und Bauvolumen eingespart werden. Schaltet man die Teilspulen eines Teilspulenpaares nicht in Reihe, sondern parallel zueinander, ohne an der Geometrie sonst etwas zu verändern, so viertelt sich die Induktivität des Teilspulenpaares.

[0028] Gemäß einer Variante sind die Teilspulen eines Teilspulenpaares identisch ausgebildet. Gemäß einer diesbezüglichen Weiterentwicklung weisen Teilspulen verschiedener Teilspulenpaare voneinander abweichende Windungszahlen und Leiterquerschnitte auf. Bezogen auf den weiter oben ausgeführten Stapel, bedeutet dies, dass die zwischen zwei Metallplatten angeordneten Teilspulen identisch zueinander sind. Allerdings können die Teilspulen eines im Stapel weiter oben oder unten angeordneten Teilspulenpaares 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 Teilspulen eines Teilspulenpaares parallel oder in Reihe zu schalten.

[0029] 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.

[0030] 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 Wechselspannung führenden 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.

[0031] 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 Strombegrenzungsdrossel $7_1, 7_2, 7_3 \dots 7_{n-1}, 7_n$ 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.

[0032] 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.

[0033] 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 Thyristors 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.

[0034] 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 Gleichstromkompensation bereitgestellt.

[0035] Figur 2 verdeutlicht den Aufbau einer Induktivität $6_1, \dots, 6_n$ beispielhaft. Es ist erkennbar, dass die Strombegrenzungs-drossel 6_1 aus einem Paar von Teilspulen 10 und 11 zusammengesetzt ist, die zwischen zwei Eisenplatten 12 angeordnet sind, wobei die Teilspulen 10 und 11 mit figürlich nicht dargestellten Anzapfungen oder Anschlussklemmen versehen sind. Die beiden Teilspulen 10 und 11 bilden ein Teilspulenpaar 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 Spulenpaare 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 Teilspulenpaaren 13 ist lediglich eine Metallplatte notwendig. Die Metallplatten sind bevorzugt identisch zueinander ausgebildet. Die Metallplatten sind bevorzugt Platten aus dünnen Elektroblechen.

[0036] Durch eine zweckmäßige Verschaltung lässt sich die Anzahl der benötigten Spulenpaare begrenzen. In Figur 4 sind zwei Teilspulen 10 und 11 beispielhaft in Reihe geschaltet. Figur 5 zeigt die zwei Teilspulen 10 und 11 eines Teilspulenpaares 13 in Parallelschaltung. Da sich die Teilspulenpaare gemäß Figur 4 und Figur 5 ansonsten nicht weiter unterscheiden, weist das Teilspulenpaar 13 gemäß Figur 5 nur ein Viertel der Induktivität des Teilspulenpaares gemäß Figur 4 auf. Bezeichnet man Teilspulenpaare mit voller Induktivität mit L1, siehe Figur 4, und Teilspulenpaare 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	1 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
11	1	1	1	1	1	1	0	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1

[0037] 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.

5 **[0038]** 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 L_1, L_2, L_4 und L_8 ergeben.

10 **[0039]** 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

40 **Patentansprüche**

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

- 45 - 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,
- 50 - 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 Strombegrenzungsdrossel ($7_1, 7_2, \dots, 7_n$) in Reihe geschaltet sind, und
- 55 - 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 einen Stromfluss über so viele Schaltzweige ($5_1, 5_2, \dots, 5_n$) ermöglicht ist, dass ein Eingangssignal der Steuerungseinheit (8) minimiert ist.

EP 3 783 630 A1

2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
jede Schalteinheit eine elektronische Schalteinheit ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) ist.
- 5 3. Vorrichtung (1) nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
jede elektronische Schalteinheit ein Thyristor ($6_1, 6_2, \dots 6_n$) ist.
- 10 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.
- 15 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.
- 20 6. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Strombegrenzungsdrosseln ($7_1, 7_2, \dots 7_n$) identisch oder unterschiedlich zueinander ausgebildet sind.
- 25 7. Vorrichtung (1) nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
jede Strombegrenzungsdrossel ($7_1, 7_2, \dots 7_n$) aus Teilspulen (10, 11) zusammengesetzt ist, wobei jeweils zwei
Teilspulen (10, 11) unter Ausbildung eines Teilspulenpaares (13) nebeneinander zwischen zwei Metallplatten (12)
angeordnet sind und wobei jede Teilspule (10, 11) mit Anschlussklemmen ausgerüstet ist.
- 30 8. Vorrichtung (1) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Teilspulenpaare (13) übereinander angeordnet sind, so dass ein Spulenstapel (14) ausgebildet ist.
- 35 9. Vorrichtung (1) nach Anspruch 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Teilspulen (10, 11) eines Teilspulenpaares (13) in Reihe oder parallel zueinander geschaltet sind.
- 40 10. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Teilspulen (10, 11) eines Teilspulenpaares (13) identisch zueinander ausgebildet sind.
- 45 11. Vorrichtung (1) nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
Teilspulen (10, 11) verschiedener Teilspulenpaare (13) voneinander abweichende Windungszahlen und Leiterquer-
schnitte aufweisen.
- 50 12. 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.
- 55 13. Elektrisches Gerät nach Anspruch 9,
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.
14. Verfahren zum Unterdrücken eines Gleichstromanteils beim Betrieb eines an ein Hochspannungsnetz angeschlos-
senen 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 Kom-

EP 3 783 630 A1

pensionswicklung (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

- 5 - 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 ein Stromfluss im Stromkreis (2) einstellt, der den Gleichflussanteil minimiert.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

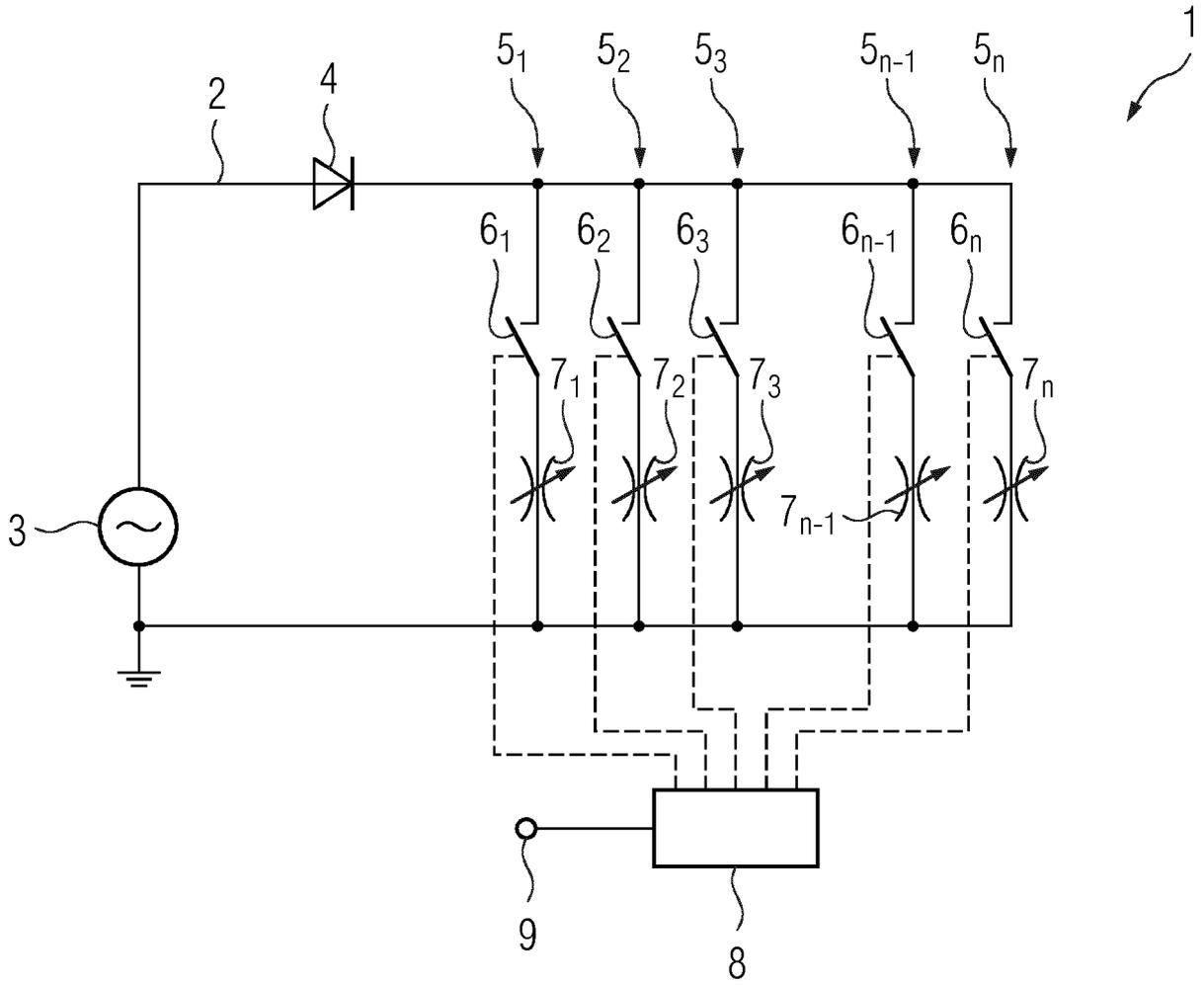


FIG 2

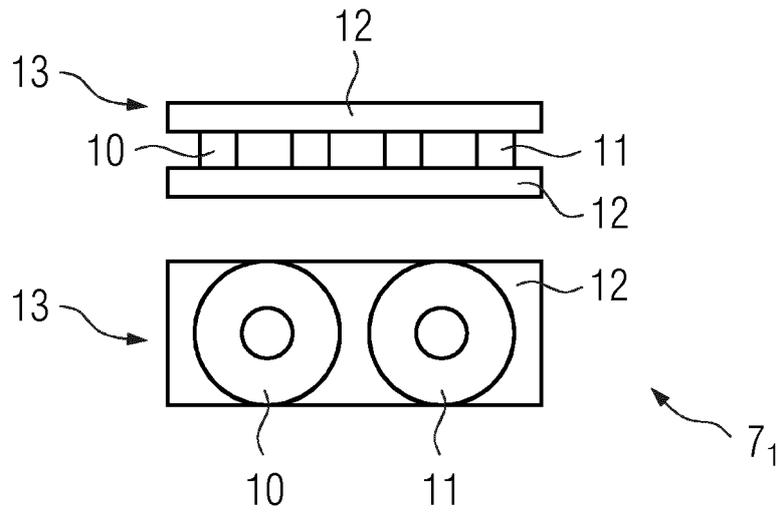


FIG 3

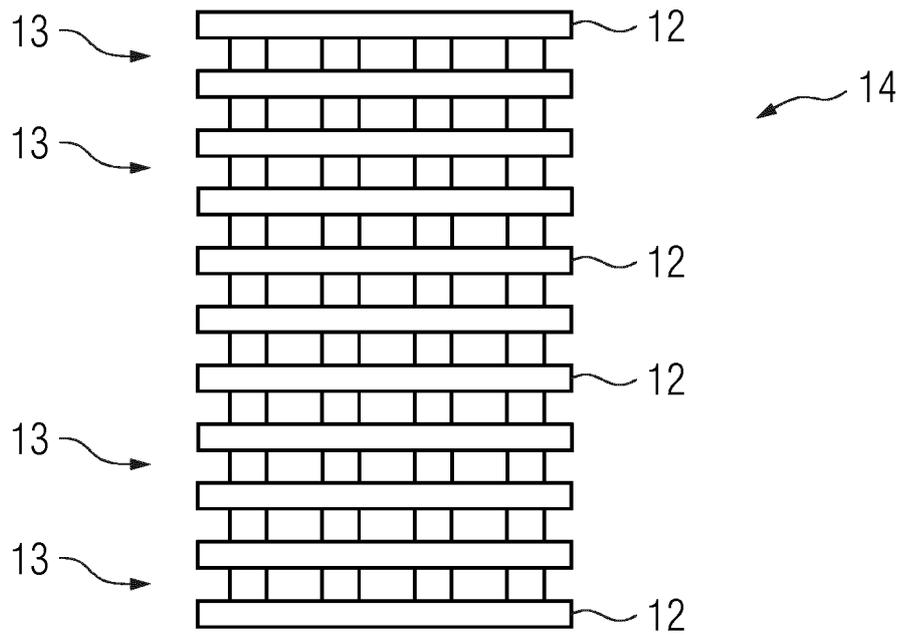


FIG 4

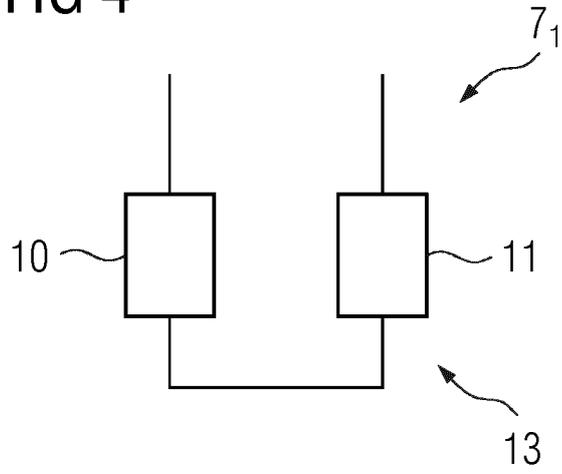
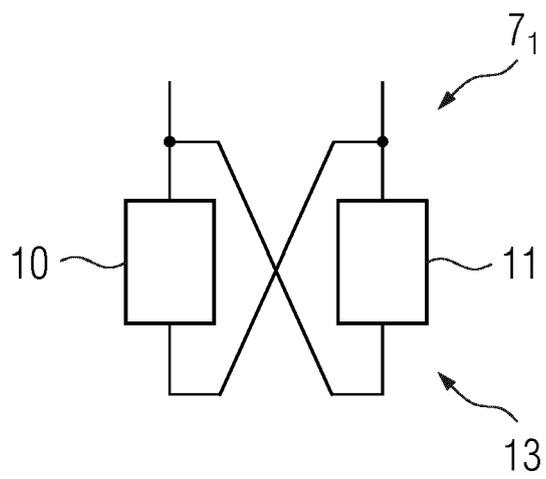


FIG 5





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 19 19 3135

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)
X,D	EP 3 080 821 A1 (SIEMENS AG [DE]) 19. Oktober 2016 (2016-10-19)	1-3,5,6, 12-14	INV. H01F27/42 H01F27/38
Y	* Seite 2, Absatz 4 - Seite 5, Absatz 28 *	4	
A	* Seite 6, Absatz 41-43 * * Abbildungen 1-9 * * Ansprüche 1-9 *	7-11	
Y	----- WO 2012/041368 A1 (SIEMENS TRANSFORMERS AUSTRIA GMBH & CO KG [AT] ET AL.) 5. April 2012 (2012-04-05) * Zusammenfassung * * Seite 9, Zeile 10 - Seite 16, Zeile 4; Abbildungen 1-3 * * Ansprüche 1-16 *	4	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) H01F
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 * -----	1-14	
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 3135

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

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3080821 A1	19-10-2016	CA 2930845 A1	18-06-2015
		CN 105793935 A	20-07-2016
		EP 3080821 A1	19-10-2016
		US 2016300662 A1	13-10-2016
		WO 2015086048 A1	18-06-2015

WO 2012041368 A1	05-04-2012	AU 2010361382 A1	11-04-2013
		BR 112013007671 A2	09-08-2016
		CA 2813057 A1	05-04-2012
		CN 103270561 A	28-08-2013
		EP 2622614 A1	07-08-2013
		KR 20130099982 A	06-09-2013
		US 2013201592 A1	08-08-2013
		WO 2012041368 A1	05-04-2012

DE 2723767 A1	30-11-1978	KEINE	

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]