

(19)



(11)

EP 2 905 792 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
21.09.2016 Patentblatt 2016/38

(51) Int Cl.:
H01F 27/38 ^(2006.01) **H01F 27/42** ^(2006.01)
H01F 29/14 ^(2006.01) **H03H 7/09** ^(2006.01)
H03H 7/01 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14154070.8**

(22) Anmeldetag: **06.02.2014**

(54) **Vorrichtung zur Verringerung eines magnetischen Gleichfluss-Anteils im Kern eines Transformators**

Device for reducing a magnetic unidirectional flux component in the core of a transformer

Dispositif de réduction d'une part de flux continu magnétique dans le noyau d'un transformateur

(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:
12.08.2015 Patentblatt 2015/33

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft
80333 München (DE)**

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

(74) Vertreter: **Maier, Daniel Oliver et al
Siemens AG
Postfach 22 16 34
80506 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**WO-A1-2012/041368 US-A1- 2006 197 511
US-A1- 2010 194 373 US-A1- 2013 207 483**

EP 2 905 792 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

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Verringerung eines magnetischen Gleichfluss-Anteils im Kern eines Transformators mit zumindest drei Schenkeln, insbesondere eines Dreiphasentransformators, umfassend zumindest eine Kompensationswicklung pro Schenkel des Transformators, wobei die Kompensationswicklungen magnetisch mit dem Kern des Transformators gekoppelt sind.

[0002] Der Einsatzbereich der Erfindung liegt grundsätzlich sowohl bei Transformatoren im Nieder- oder Mittelspannungsbereich, wie auch bei Transformatoren sehr hoher Leistung (Leistungstransformatoren, HGÜ (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs)-Transformatoren).

Stand der Technik

[0003] Bei elektrischen Transformatoren, wie sie in Energieverteilungsnetzen eingesetzt werden, kann es zu einer unerwünschten Einspeisung eines Gleichstroms in die Primärwicklung oder Sekundärwicklung kommen. Eine solche Gleichstromeinspeisung, auch als DC-Anteil bezeichnet, kann beispielsweise von elektronischen Bauelementen herrühren, wie sie heutzutage bei der Ansteuerung von elektrischen Antrieben oder auch bei der Blindleistungskompensation verwendet werden. Eine andere Ursache können sogenannte geomagnetisch induzierte Ströme (englisch "Geomagnetically Induced Currents", GIC) sein.

[0004] Aufgrund von Sonnenwinden wird das Erdmagnetfeld verändert und damit werden an Leiterschleifen an der Erdoberfläche sehr niederfrequente Spannungen induziert. Bei langen elektrischen Energieübertragungsleitungen kann die induzierte Spannung relativ große niederfrequente Ströme (Quasi-Gleichströme) bewirken. Geomagnetisch induzierte Ströme treten ungefähr in Zehnjahreszyklen auf. Sie verteilen sich gleichmäßig auf alle (drei) Phasen, können pro Phase bis zu 30 A erreichen und fließen über den Sternpunkt eines Transformators ab. Dies führt zu einer starken Sättigung des Kerns des Transformators in einem Halbzyklus und daher zu einem starken Erregerstrom in einem Halbzyklus. Diese zusätzliche Erregung hat einen starken Oberwellenanteil und dadurch werden durch das Streufeld mit Oberwellenanteil Wirbelstromverluste in Wicklungen und Eisenteilen des Transformators verursacht. Dies kann zu lokaler Überhitzung im Transformator führen. Weiters kommt es durch den starken Erregungsbedarf zu einem hohen Blindleistungsverbrauch und Spannungsabfall. Gemeinsam kann dies zur Instabilität des Energieübertragungsnetzes führen. Stark vereinfacht gesprochen verhält sich der Transformator in einer Halbwelle wie eine Drossel.

[0005] Manche Energieübertragungsunternehmen

verlangen daher in der Spezifikation von Transformatoren bereits 100 A Gleichstrom für den Sternpunkt des Transformators.

[0006] Gemäß der WO 2012/041368 A1 wird eine in einer Kompensationswicklung induzierte elektrische Spannung genutzt und für die Kompensation des störenden magnetischen Gleichfluss-Anteils herangezogen, indem ein Thyristorschalter in Serie mit einer Strombegrenzungs-drossel geschaltet wird, um den Kompensationsstrom in die Kompensationswicklung einzubringen. Diese Lösung funktioniert gut für auszugleichende Gleichströme in einem Bereich, die um eine Größenordnung kleiner sind als geomagnetisch induzierte Ströme, also etwa im Bereich unter 10 A. Für geomagnetisch induzierte Ströme müsste man auf die Mittelspannungsebene gehen, also in den Bereich von etwa 5 oder 8 kV, und leistungsstarke Thyristoren einsetzen. Aufgrund der hohen Verlustleistung derartiger Thyristoren wäre eine eigene Kühlung für die Thyristoren vorzusehen, sodass diese Lösung dann nicht wirtschaftlich wäre.

[0007] Eine andere Lösung für geomagnetisch induzierte Ströme stellt der sogenannte DC Blocker dar, bei dem im Prinzip ein Kondensator in den Sternpunkt des Transformators geschaltet wird. Diese Lösung ist problematisch, weil durch das Aufladen des Kondensators eine Verlagerungsspannung entsteht. Darüber hinaus ist die Verlagerungsspannung am Kondensator begrenzt, sodass in der Regel nicht der gesamte Gleichstrom geblockt werden kann. Problematisch ist diese Lösung auch, wenn es zu einem Kurzschluss im Übertragungsnetz und daher zu Nullströmen kommt.

[0008] Eine Vorrichtung gemäß Oberbegriff von Anspruch 1 ist durch jede der Druckschriften US 2010/0194373 und US2006/0197511 offenbart.

[0009] Darstellung der Erfindung Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung zur Verringerung eines geomagnetisch induzierten magnetischen Gleichfluss-Anteils im Kern eines Transformators zur Verfügung zu stellen, in welcher die Spannung unterhalb eines vorgebbaren Wertes liegt, welche z.B. innerhalb der sogenannten Niederspannungsrichtlinie, also unter 690 V, angesiedelt ist.

[0010] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den jeweiligen abhängigen Ansprüchen definiert.

[0011] Das Prinzip der erfindungsgemäßen Lösung beruht wieder auf der Gleichstromkompensation mittels Kompensationswicklungen, indem gezielt Strom in die Kompensationswicklungen eingespeist wird, dessen Wirkung dem Gleichfluss-Anteil entgegengerichtet ist und die Aufmagnetisierung des Kerns des Transformators verhindert. Mit anderen Worten werden sogenannte Gegenamperewindungen in den Transformator eingebracht, wobei Amperewindung ein anderer Begriff für die magnetische Durchflutung ist. Dabei wird der Kompensationsstrom durch eine Schalteinheit in die Kompensationswicklungen eingebracht, wobei pro Phase bzw. pro

Schenkel des Transformatorkerns eine Kompensationswicklung vorgesehen sein muss und erfindungsgemäß pro Phase bzw. pro Schenkel des Transformatorkerns zwei Kompensationswicklungen vorgesehen sind.

[0012] Dadurch, dass die Kompensationswicklungen einer Dreieckschaltung unterschiedliche Windungszahlen haben, addiert sich die Umlaufspannung der Dreieckschaltung bewusst nicht auf Null, sondern die stehende Umlaufspannung ist durch den Parameter m so einstellbar, dass sie unter einem bestimmten Wert, z. B. unter 690 V, liegt. Die effektive Windungszahl N kann im Prinzip beliebig groß gewählt werden, es muss lediglich die Spannungsfestigkeit im Transformator beachtet werden.

[0013] Bei der Phasenanschnittsteuerung wird die Phase der in den Kompensationswicklungen induzierten Spannung detektiert und die Schalteinheit so angesteuert, dass in die Kompensationswicklungen ein pulsierender Gleichstrom eingespeist wird, wie bereits in der WO 2012/041368 A1 gezeigt ist.

[0014] Eine Ausführungsform der Erfindung sieht zwei Dreieckschaltungen mit jeweils unterschiedlicher Wicklungszahl der Kompensationswicklungen vor, nämlich, dass die Kompensationswicklungen folgende Windungszahlen aufweisen und N , m von Null verschiedene natürliche Zahlen mit $N > m$ sind:

die erste Kompensationswicklung eines ersten Schenkels hat $N+m$ Windungen, während die zweite Kompensationswicklung des ersten Schenkels $N-m$ Windungen hat,

die erste und die zweite Kompensationswicklung eines zweiten Schenkels haben jeweils N Windungen, die erste Kompensationswicklung eines dritten Schenkels hat $N-m$ Windungen, während die zweite Kompensationswicklung des dritten Schenkels $N+m$ Windungen hat.

[0015] Mit anderen Worten haben die beiden Kompensationswicklungen eines Schenkels gemeinsam immer gleich viele Windungen, sie sind jedoch bei zwei von drei Schenkeln nicht gleichmäßig auf die beiden Kompensationswicklungen verteilt. Auch haben alle Kompensationswicklungen einer Dreieckschaltung insgesamt gleich viele Windungen, die Anzahl der Windungen ist nur nicht gleichmäßig auf die Schenkel verteilt.

[0016] Bei dieser Ausführungsvariante ist es vorteilhaft, wenn erste und zweite Dreieckschaltung elektrisch nicht miteinander verbunden sind, sondern jede Dreieckschaltung über eine eigene Schalteinheit verfügt.

[0017] Eine andere Ausführungsform der Erfindung sieht zwei miteinander verschachtelte Dreieckschaltungen vor: die Kompensationswicklungen weisen folgende Windungszahlen auf und N , m , M sind von Null verschiedene natürliche Zahlen mit $N > m$:

die erste Kompensationswicklung eines ersten Schenkels hat $N+m$ Windungen, während die zweite

Kompensationswicklung des ersten Schenkels M Windungen hat,

die erste Kompensationswicklung eines zweiten Schenkels hat N Windungen, die zweite Kompensationswicklung des zweiten Schenkels hat M Windungen,

die erste Kompensationswicklung eines dritten Schenkels hat $N-m$ Windungen, während die zweite Kompensationswicklung des dritten Schenkels M Windungen hat.

[0018] Bei dieser Ausführungsform der miteinander verschachtelten Dreieckschaltungen kann vorgesehen sein, dass erste und zweite Dreieckschaltung elektrisch in Serie geschaltet sind und über eine gemeinsame Schalteinheit verfügen.

[0019] Für alle Schalteinheiten kann vorgesehen sein, dass zumindest eine Strombegrenzungsdrossel elektrisch in Reihe mit der Schalteinheit angeordnet ist. Durch dieses Vorschaalten einer Strombegrenzungsdrossel (Induktivität) kann man transiente Spannungen effektiv ausfiltern.

[0020] Für die Bestimmung des notwendigen Kompensationsstroms kann vorgesehen sein, dass die Schalteinheit mit einer Messeinrichtung zum Erfassen des magnetischen Gleichfluss-Anteils im Transformator verbunden ist. Derartige Messeinrichtungen sind etwa aus der WO 2012/041368 A1 in Form eines magnetischen Nebenschluss-Teils mit einer Sensorspule bekannt. Der Nebenschluss-Teil kann am Kern des Transformators z. B. an einem Schenkel oder am Joch anliegend angeordnet sein, um einen Teil des magnetischen Flusses in einem Bypass zu führen. Aus diesem, im Nebenschluss geführten magnetischen Fluss, lässt sich mittels einer Sensorspule sehr leicht ein langzeitstabiles Sensorsignal gewinnen, welches gegebenenfalls nach einer Signalaufbereitung den Gleichfluss-Anteil (CD-Anteil) sehr gut abbildet.

[0021] Zum Durchführen der Phasenanschnittsteuerung kann eine Steuereinheit für die Schalteinheit vorgesehen sein, wobei die Steuereinheit ein Zeitglied umfasst, welches so mit einem Phasendetektor verbunden ist, dass das Zeitglied vom Phasendetektor getriggert werden kann, welcher die Phase der in den Kompensationswicklungen induzierten Spannungen detektieren kann und die Schalteinheit so ansteuern kann, dass in die Kompensationswicklungen ein pulsierender Gleichstrom eingespeist wird. Die Steuereinheit wäre dann auch mit der Messeinrichtung zum Erfassen des magnetischen Gleichfluss-Anteils im Transformator verbunden.

[0022] Ein entsprechendes Verfahren zum Betrieb der Vorrichtung ist in Anspruch 9 definiert.

Kurzbeschreibung der Figuren

[0023] Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird im nachfolgenden Teil der Beschreibung auf die Figuren Be-

zug genommen, aus der weitere vorteilhafte Ausgestaltungen, Einzelheiten und Weiterbildungen der Erfindung zu entnehmen sind. Es zeigen:

- Figur 1 eine Prinzipschaltung nach dem Stand der Technik zum Einbringen von Kompensationsstrom in eine Kompensationswicklung, umfassend einen Thyristorkreis,
- Figur 2 eine Prinzipschaltung nach dem Stand der Technik zum Einbringen von Kompensationsstrom in Kompensationswicklungen mittels einer steuerbaren Stromquelle,
- Figur 3 eine erfindungsgemäße Prinzipschaltung mit Kompensationswicklungen in zwei getrennten Dreieckschaltungen,
- Figur 4 Spannungs- und Stromverlauf in den Dreieckschaltungen von Fig. 3,
- Figur 5 eine erfindungsgemäße Prinzipschaltung mit Kompensationswicklungen in zwei miteinander elektrisch verbundenen Dreieckschaltungen.

Ausführung der Erfindung

[0024] Gemäß dem Stand der Technik in Fig. 1 wird bei der sogenannten Gleichstrom-Kompensation gezielt Gleichstrom in eine Kompensationswicklung K eingebracht, um die Gleichstrommagnetisierung des Transformator-kerns aufzuheben. Zum Einbringen der notwendigen magnetischen Durchflutung (der sogenannten Gleichstrom-Ampere-windungen) in die Kompensationswicklung K macht man sich die in der Kompensationswicklung K induzierte Wechselspannung zunutze, die Kompensationswicklung K wirkt wie eine Wechselspannungsquelle. An der Kompensationswicklung K wird eine als Thyristor ausgebildete Schalteinheit T in Serie mit einer Strombegrenzungs-drossel L geschaltet. Der erforderliche Gleichstrom kann durch spannungssynchrones Zünden bei einem bestimmten Zündzeitpunkt des Thyristors T eingestellt werden (Phasenanschnittsteuerung). Zündet man den Thyristor im Spannungsnull-durchgang, so stellt sich der maximale Gleichstrom ein, der jedoch mit einem Wechselstrom von der Amplitude des Gleichstroms und der Netzfrequenz überlagert ist. Zündet man den Thyristor T später, so wird der Gleichstrom kleiner, es entstehen jedoch auch Oberschwingungswechselströme. Der Stromverlauf im Thyristor T wird durch eine Strombegrenzungs-drossel L begrenzt, dimensionierend für die Strombegrenzung ist die zulässige thermische Belastung des Thyristors T.

[0025] Eine andere bekannte Ausführungsform zur Verringerung des magnetischen Gleichfluss-Anteils wird in Fig. 2 gezeigt. Statt des Thyristors T, und in dieser Ausführungsform auch statt der Strombegrenzungs-dros-

sel L, wird eine steuerbare Stromquelle S verwendet und pro Phase des Transformators eine Kompensationswicklung K1, K2, K3 vorgesehen, die mittels Dreieckschaltung miteinander verbunden sind. Die steuerbare Stromquelle S ist elektrisch in Reihe mit den Kompensationswicklungen K1, K2, K3 geschaltet. Je eine Kompensationswicklung K1, K2, K3 ist auf einem Schenkel eines - hier nicht dargestellten - Dreiphasentransformators angeordnet.

[0026] Die drei Kompensationswicklungen an den drei Phasen können nun in Form einer Dreieckschaltung miteinander verschaltet werden, weil sich der geomagnetisch induzierte Strom gleichmäßig auf alle drei Phasen verteilt. Daher muss man auch in alle drei Phasen bzw. in deren Kompensationswicklungen die gleichen Gleichspannungs-Gegenampere-windungen einbringen. Eine Dreieckschaltung der Kompensationswicklungen erscheint deshalb sinnvoll, weil durch alle der gleiche Strom fließen muss und sich die Umlaufspannung (die Summe aller Teilspannungen eines Umlaufs bzw. einer Masche in einem elektrischen Netzwerk) in einem idealen symmetrischen Stromnetz (keine Nullkomponenten) zu Null addiert.

[0027] Man könnte sich nun die Umlaufspannung von Null zunutze machen und die Gleichspannungs-Gegenampere-windungen über eine steuerbare Stromquelle S einbringen. Falls aber der Transformator nicht symmetrisch belastet wird, addieren sich die Teilspannungen der Umlaufspannung nicht zu Null und es ist von der Stromquelle S eine Blindleistung aufzubringen. Diese Leistung für die Stromquelle S ist aus anderen Quellen zuzuführen.

[0028] Durch Abwandlung der Vorrichtung aus Fig. 2, nämlich durch zwei erfindungsgemäße Dreieckschaltungen, kann aber wieder das Prinzip der Gleichstrom-Kompensation nach Fig. 1 verwendet und die Stromquelle S damit eliminiert werden.

[0029] Eine erste Ausführungsform der Erfindung ist in Fig. 3 für einen Dreiphasentransformator dargestellt. Pro Schenkel bzw. Phase des Transformators sind zwei Kompensationswicklungen K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2 vorgesehen sind. Immer wird eine Kompensationswicklung K1-1, K2-1, K3-1 eines Schenkels herausgegriffen und mit einer anderen der anderen Schenkel in einer ersten Dreieckschaltung 1 miteinander elektrisch verbunden. Die jeweils andere Kompensationswicklung K1-2, K2-2, K3-2 eines Schenkels wird in einer zweiten Dreieckschaltung 2 mit den jeweils übrigen Kompensationswicklungen K1-2, K2-2, K3-2 der anderen Schenkel miteinander elektrisch verbunden.

[0030] Erste und zweite Dreieckschaltung 1, 2 sind elektrisch nicht miteinander verbunden, jede Dreieckschaltung 1, 2 verfügt über eine eigene Schalteinheit T mit vorgeschalteter Strombegrenzungs-drossel (Induktivität) L.

[0031] Die Kompensationswicklungen K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2 sind in der Regel gleichartig ausgebildet, also mit gleichem Leiterquerschnitt und glei-

chem Windungsdurchmesser, jedoch teilweise mit unterschiedlicher Anzahl von Windungen. Die Kompensationswicklungen haben dabei folgende Windungszahlen, wobei N, m natürliche Zahlen mit $N > m$ sind: die erste Kompensationswicklung K1-1 eines ersten Schenkels (einer ersten Phase) hat $N+m$ Windungen, während die zweite Kompensationswicklung K1-2 des ersten Schenkels (der ersten Phase) $N-m$ Windungen hat,

die erste und die zweite Kompensationswicklung K2-1, K2-2 eines zweiten Schenkels (der zweiten Phase) haben jeweils N Windungen, die erste Kompensationswicklung K3-1 eines dritten Schenkels (der dritten Phase) hat $N-m$ Windungen, während die zweite Kompensationswicklung K3-2 des dritten Schenkels (der dritten Phase) $N+m$ Windungen hat.

[0032] Damit addieren sich die Teilspannungen der Umlaufspannung in beiden Dreieckschaltungen bewusst nicht zu Null, wodurch wieder eine Phasenanschnittsteuerung verwendet werden kann. Die resultierende (stehenbleibende) Umlaufspannung kann durch den Parameter m so eingestellt werden, dass sie auf unter 690 V zu liegen kommt und die erfindungsgemäße Vorrichtung unter die Niederspannungsrichtlinie fällt. Die effektive Windungszahl liegt jedoch bei N und kann im Prinzip beliebig groß gewählt werden, es muss lediglich die Spannungsfestigkeit im Transformator beachtet werden. Man benötigt keine fremd zugeführte Leistung, eventuell auftretende Nullkomponenten würden die erfindungsgemäße Vorrichtung nicht außer Tritt bringen.

[0033] Ein weiterer Vorteil der Ausführung nach Fig. 3 liegt darin, dass die Umlaufspannung U_{u1} in der ersten Dreiecksschaltung 1 gegengleich zur Umlaufspannung U_{u2} in der zweiten Dreiecksschaltung 2 ist, wie Fig. 4 zu entnehmen ist. In der oberen Darstellung ist der Verlauf der Umlaufspannung U_u über die Zeit t dargestellt. Die Umlaufspannungen U_{u1} , U_{u2} sind nicht nur genau gegengleich, sondern auch jeweils gleich groß.

[0034] Wenn man nun die als Thyristor ausgebildete Schalteinheit T in der zweiten Dreieckschaltung 2 aus Fig. 3 um eine Halbperiode $T/2$ später zündet als den Thyristor T in der ersten Dreieckschaltung 1, so ergibt sich der gleiche Gleichstromanteil, aber die überlagerte Wechselspannung ist gegengleich. Damit ergibt sich eine Reduktion der Oberwellenanteile, der in das Energienetz eingebrachte Oberwellenanteil wird reduziert. Der Verlauf des Kompensationsstromes I über die Zeit t ist in der unteren Darstellung in Fig. 4 zu sehen, I_1 bezeichnet den Kompensationsstrom der ersten Dreieckschaltung 1, I_2 den Kompensationsstrom der zweiten Dreieckschaltung 2. Die strichlierte waagrechte Linie ist der effektive Kompensationsstrom beider Dreieckschaltungen 1, 2.

[0035] Eine verbesserte Ausführungsform mit reduzierten Spannungspotentialen in den Kompensationswicklungen ist in Fig. 5 dargestellt. Durch die miteinander

verschalteten Dreieckschaltungen 1, 2 addieren sich die Teilspannungen in jeder Dreieckschaltung zu Null. Erste und zweite Dreieckschaltung sind elektrisch in Serie geschaltet, indem der Ausgang der ersten Kompensationswicklung K1-1 des ersten Schenkels mit dem Eingang der zweiten Kompensationswicklung K3-2 des dritten Schenkels elektrisch verbunden ist. Der Eingang der ersten Kompensationswicklung K3-1 des dritten Schenkels ist mit der - den beiden Dreieckschaltungen 1, 2 gemeinsamen - Schalteinheit T verbunden, ebenso der Ausgang der zweiten Kompensationswicklung K1-2 des ersten Schenkels. Der Schalteinheit T ist auch hier eine Strombegrenzungsdrössel (Induktivität) L vorgeschaltet.

[0036] Die Kompensationswicklungen weisen folgende Windungszahlen auf, wobei N, m, M natürliche Zahlen mit $N > m$ und - in diesem Fall - $M < N$ sind:

die erste Kompensationswicklung K1-1 eines ersten Schenkels (der ersten Phase) hat $N+m$ Windungen, während die zweite Kompensationswicklung K1-2 des ersten Schenkels M Windungen hat, die erste Kompensationswicklung K2-1 des zweiten Schenkels (der zweiten Phase) hat N Windungen, die zweite Kompensationswicklung K2-2 des zweiten Schenkels hat M Windungen, die erste Kompensationswicklung K3-1 eines dritten Schenkels (der dritten Phase) hat $N-m$ Windungen, während die zweite Kompensationswicklung K3-2 des dritten Schenkels M Windungen hat.

[0037] Die Windungszahl M in der zweiten Dreieckschaltung 2 in Fig. 5 ist in diesem Fall kleiner als die Windungszahl N in der ersten Dreieckschaltung 1, die Windungszahl M könnte aber auch gleich groß wie oder größer als die Windungszahl N in der ersten Dreieckschaltung 1 sein.

[0038] Damit addieren sich die Teilspannungen der Umlaufspannung über beide Dreieckschaltungen bewusst nicht zu Null, wodurch wieder eine Phasenanschnittsteuerung unter Verwendung des Thyristors T , wie bereits bei Fig. 3 erläutert, verwendet werden kann. Die resultierende (stehenbleibende) Umlaufspannung kann durch den Parameter m wieder so eingestellt werden, dass sie auf unter 690 V zu liegen kommt und die erfindungsgemäße Vorrichtung unter die Niederspannungsrichtlinie fällt. Die effektive Windungszahl liegt jedoch bei N für die erste Dreieckschaltung 1 und bei M für die zweite Dreieckschaltung 2. Die effektive Windungszahl N kann im Prinzip beliebig groß gewählt werden, es muss lediglich die Spannungsfestigkeit im Transformator beachtet werden. Man benötigt keine fremd zugeführte Leistung, die erfindungsgemäße Vorrichtung ist robust gegenüber eventuell auftretenden Nullkomponenten.

[0039] Die Pfeile in den Fig. 2, 3 zeigen die Stromrichtung des Kompensationsstromes an.

[0040] Für alle Ausführungsvarianten gilt, dass beim Schalten der Schalteinrichtung, also beim Zünden der

Thyristoren T, der Kompensationsstrom zu fließen beginnt. Die Steuerung der Thyristoren kann wie in der WO 2012/041368 A1 erfolgen: die Steuereinheit besteht im Wesentlichen aus einem Phasendetektor und einem Zeitglied. Der Phasendetektor, z.B. ein Nulldurchgang-Detektor, leitet aus der induzierten Spannung ein Triggersignal ab, welches einem Zeitglied zugeführt wird. Zusammen mit einem ebenfalls der Steuereinheit zugeführten Steuersignal stellt die Steuereinheit ausgangsseitig eine Stellgröße bereit, welche dem Thyristor T zugeleitet wird. Die Induktivität L ist dabei so bemessen, dass bei einem Durchschalten des Thyristors T ein in eine Stromrichtung fließender, pulsierender Stromverlauf in die Kompensationswicklung K eingespeist wird. Dabei wird der Thyristor T am Ende des Gleichstrompulses in den stromlosen Zustand geschaltet, etwa, indem der Haltestrom des Thyristors T unterschritten wird.

Bezugszeichenliste:

[0041]

1	erste Dreieckschaltung	
2	zweite Dreieckschaltung	
I	Kompensationsstrom	
I1	Kompensationsstrom der ersten Dreieckschaltung	
12	Kompensationsstrom der zweiten Dreieckschaltung	
K	Kompensationswicklung	
K1	Kompensationswicklung des ersten Schenkels	
K2	Kompensationswicklung des zweiten Schenkels	
K3	Kompensationswicklung des dritten Schenkels	
K1-1	erste Kompensationswicklung des ersten Schenkels	
K1-2	zweite Kompensationswicklung des ersten Schenkels	
K2-1	erste Kompensationswicklung des zweiten Schenkels	
K2-2	zweite Kompensationswicklung des zweiten Schenkels	
K3-1	erste Kompensationswicklung des dritten Schenkels	
K3-2	zweite Kompensationswicklung des dritten Schenkels	
L	Strombegrenzungsdrössel (Induktivität)	
M	Windungszahl	
N	Windungszahl	
N+m	Windungszahl	
N-m	Windungszahl	
T	Schalteinheit (Thyristor)	
T/2	Halbperiode	
S	steuerbare Stromquelle	
Uu	Umlaufspannung	
Uu1	Umlaufspannung der ersten Dreieckschaltung	
Uu2	Umlaufspannung der zweiten Dreieckschaltung	

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Verringerung eines magnetischen Gleichfluss-Anteils im Kern eines Transformators mit zumindest drei Schenkeln, insbesondere eines Dreiphasentransformators, umfassend zumindest eine Kompensationswicklung (K1, K2, K3) pro Schenkel des Transformators, wobei die Kompensationswicklungen (K1, K2, K3), wenn auf die Schenkel aufgebracht, magnetisch mit dem Kern des Transformators gekoppelt sind,
dadurch gekennzeichnet, dass

- die Vorrichtung pro Schenkel zwei Kompensationswicklungen (K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2) umfasst,
- jeweils die ersten Kompensationswicklungen (K1-1, K2-1, K3-1) der Schenkel in einer ersten Dreieckschaltung (1) miteinander elektrisch verbunden sind,
- jeweils die zweiten Kompensationswicklungen (K1-2, K2-2, K3-2) der Schenkel in einer zweiten Dreieckschaltung (2) miteinander elektrisch verbunden sind,
- wobei die Kompensationswicklungen zumindest einer der Dreieckschaltungen (1, 2) folgende Windungszahlen aufweisen und N, m von Null verschiedene natürliche Zahlen mit $N > m$ sind:

die erste Kompensationswicklung (K1-1) eines ersten Schenkels hat $N+m$ Windungen, die erste Kompensationswicklung (K2-1) eines zweiten Schenkels hat N Windungen, die erste Kompensationswicklung (K3-1) eines dritten Schenkels hat $N-m$ Windungen,

- und wobei für eine Phasenanschnittsteuerung zumindest eine Schalteinheit (T) in Reihe mit den Kompensationswicklungen angeordnet ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kompensationswicklungen folgende Windungszahlen aufweisen und N, m von Null verschiedene natürliche Zahlen mit $N > m$ sind:

die erste Kompensationswicklung (K1-1) eines ersten Schenkels hat $N+m$ Windungen, während die zweite Kompensationswicklung (K1-2) des ersten Schenkels $N-m$ Windungen hat, die erste und die zweite Kompensationswicklung (K2-1, K2-2) eines zweiten Schenkels haben jeweils N Windungen, die erste Kompensationswicklung (K3-1) eines dritten Schenkels hat $N-m$ Windungen, während die zweite Kompensationswicklung (K3-2) des dritten Schenkels $N+m$ Windungen hat.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** erste und zweite Dreieckschaltung (1, 2) elektrisch nicht miteinander verbunden sind, sondern jede Dreieckschaltung über eine eigene Schalteinheit (T) verfügt. 5
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kompensationswicklungen folgende Windungszahlen aufweisen und N, m, M von Null verschiedene natürliche Zahlen mit $N > m$ sind: 10
- die erste Kompensationswicklung (K1-1) eines ersten Schenkels hat $N+m$ Windungen, während die zweite Kompensationswicklung (K1-2) des ersten Schenkels M Windungen hat, 15
- die erste Kompensationswicklung (K2-1) eines zweiten Schenkels hat N Windungen, die zweite Kompensationswicklung (K2-2) des zweiten Schenkels hat M Windungen, 20
- die erste Kompensationswicklung (K3-1) eines dritten Schenkels hat $N-m$ Windungen, während die zweite Kompensationswicklung (K3-2) des dritten Schenkels M Windungen hat.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** erste und zweite Dreieckschaltung (1, 2) elektrisch in Serie geschaltet sind und über eine gemeinsame Schalteinheit (T) verfügen. 25
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung zumindest eine Strombegrenzungs-drossel (L) umfasst, die elektrisch in Reihe mit der Schalteinheit (T) angeordnet ist. 30
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung eine Messeinrichtung zum Erfassen des magnetischen Gleichfluss-Anteils umfasst und dass die Schalteinheit (T) mit der Messeinrichtung verbunden ist. 35 40
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Steuereinheit für die Phasenanschnittsteuerung der Schalteinheit (T) vorgesehen ist, wobei die Steuereinheit ein Zeitglied umfasst, dass ein Phasendetektor vorgesehen ist, dass das Zeitglied mit so dem Phasendetektor verbunden ist, dass das Zeitglied vom Phasendetektor getriggert werden kann, welcher die Phase der in den Kompensationswicklungen (K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2) induzierten Spannungen detektieren kann und die Schalteinheit (T) so ansteuern kann, dass in die Kompensationswicklungen (K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2) ein pulsierender Gleichstrom eingespeist wird. 45 50
9. Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steu-

ereinheit ein Zeitglied umfasst, welches vom Phasendetektor getriggert wird, welcher die Phase der in den Kompensationswicklungen (K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2) induzierten Spannungen detektiert und die Schalteinheit (T) so ansteuert, dass in die Kompensationswicklungen (K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2) ein pulsierender Gleichstrom eingespeist wird.

Claims

1. Device for reducing a magnetic unidirectional flux component in the core of a transformer having at least three limbs, in particular a three-phase transformer, comprising at least one compensation winding (K1, K2, K3) per limb of the transformer, wherein the compensation windings (K1, K2, K3), if attached to the limb, are magnetically coupled to the core of the transformer, 50
- characterised in that**

- the device comprises two compensation windings (K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2) per limb,
- the first compensation windings (K1-1, K2-1, K3-1) of the limb are connected electrically to one another in a first delta connection (1) in each case,
- the second compensation windings (K1-2, K2-2, K3-2) of the limb are connected electrically to one another in a second delta connection (2) in each case,
- wherein the compensation windings of at least one of the delta connections (1, 2) have the following number of windings and N, m are natural numbers with $N > m$ which differ from zero:

the first compensation winding (K1-1) of a first limb has $N+m$ windings,
the first compensation winding (K2-1) of a second limb has N windings,
the first compensation winding (K3-1) of a third limb has $N-m$ windings,

- and wherein for a phase controlled modulator at least one switching unit (T) is arranged in series with the compensation windings.

2. Device according to claim 1, **characterised in that** the compensation windings have the following number of windings and N, m are natural numbers with $N > m$ which differ from zero:

the first compensation winding (K1-1) of a first limb has $N+m$ windings, while the second compensation winding (K1-2) of the first limb has $N-m$ windings,

- the first and the second compensation winding (K2-1, K2-2) of a second limb have N windings in each case, the first compensation winding (K3-1) of a third limb has N-m windings, while the second compensation winding (K3-2) of the third limb has N+m windings.
3. Device according to claim 2, **characterised in that** the first and second delta connection (1, 2) are not electrically connected to one another, but each delta connection has a separate switching unit (T).
4. Device according to claim 1, **characterised in that** the compensation windings have the following number of windings and N, m, M are natural numbers with $N > m$ which differ from zero:
- the first compensation winding (K1-1) of a first limb has N+m windings, while the second compensation winding (K1-2) of the first limb has M windings,
- the first compensation winding (K2-1) of a second limb has N windings, the second compensation winding (K2-2) of the second limb has M windings,
- the first compensation winding (K3-1) of a third limb has N-m windings, while the second compensation winding (K3-2) of the third limb has M windings.
5. Device according to claim 4, **characterised in that** the first and second delta connection (1, 2) are electrically connected in series and have a shared switching unit (T).
6. Device according to one of claims 1 to 5, **characterised in that** the device comprises at least one current-limiting inductor (L) which is arranged electrically in series with the switching unit (T).
7. Device according to one of claims 1 to 6, **characterised in that** the device comprises a measuring apparatus for detecting the magnetic unidirectional flux component and that the switching unit (T) is connected to the measuring apparatus.
8. Device according to one of claims 1 to 7, **characterised in that** a control unit for the phase controlled modulator of the switching unit (T) is provided, wherein the control unit comprises a timer, that a phase detector is provided, that the timer is connected to the phase detector such that the timer can be triggered by the phase detector, which can detect the phase of the voltages induced into the compensation windings (K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2) and can activate the switching unit (T) such that a pulsating direct current is fed into the compensation windings (K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2).

9. Method for operating a device according to claim 8, **characterised in that** the control unit comprises a timer, which is triggered by the phase detector, which detects the phase of the voltages induced into the compensation windings (K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2) and activates the switching unit (T) such that a pulsating direct current is fed into the compensation windings (K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2).

Revendications

1. Dispositif de réduction d'une part de flux magnétique continu dans le noyau d'un transformateur à au moins trois branches, en particulier d'un transformateur triphasé, comprenant au moins un enroulement de compensation (K1, K2, K3) par branche du transformateur, les enroulements de compensation (K1, K2, K3), lorsqu'ils sont enfilés sur les branches, étant couplés magnétiquement au noyau du transformateur,
- caractérisé en ce que**
- le dispositif comprend deux enroulements de compensation (K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2) par branche,
 - les premiers enroulements de compensation (K1-1, K2-1, K3-1) des branches sont reliés électriquement entre eux dans un premier montage en triangle (1),
 - les seconds enroulements de compensation (K1-2, K2-2, K3-2) des branches sont reliés électriquement entre eux dans un second montage en triangle (2),
 - les enroulements de compensation au moins d'un des montages en triangle (1, 2) ayant les nombres de spires suivants et N, m étant des entiers naturels différents de zéro avec $N > m$:
 - le premier enroulement de compensation (K1-1) d'une première branche a N+m spires,
 - le premier enroulement de compensation (K2-1) d'une deuxième branche a N spires,
 - le premier enroulement de compensation (K3-1) d'une troisième branche a N-m spires,
 - et pour un réglage de l'angle de phase, au moins une unité de commutation (T) étant disposée en série avec les enroulements de compensation.
2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les enroulements de compensations ont les nombres de spires suivants et N, m sont des entiers naturels différents de zéro avec $N > m$:

- le premier enroulement de compensation (K1-1) d'une première branche a N+m spires, tandis que le deuxième enroulement de compensation (K1-2) de la première branche a N-m spires, les premier et deuxième enroulements de compensation (K2-1, K2-2) d'une deuxième branche ont chacun N spires, le premier enroulement de compensation (K3-1) d'une troisième branche a N-m spires, tandis que le deuxième enroulement de compensation (K3-2) de la troisième branche a N+m spires.
3. Dispositif selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** les premier et second montages en triangle (1, 2) ne sont pas reliés électriquement entre eux mais chaque montage en triangle dispose d'une propre unité de commutation (T).
4. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les enroulements de compensations ont les nombres de spires suivants et N, m, M sont des entiers naturels différents de zéro avec $N > m$:
- le premier enroulement de compensation (K1-1) d'une première branche a N+m spires, tandis que le deuxième enroulement de compensation (K1-2) de la première branche a M spires, le premier enroulement de compensation (K2-1) d'une deuxième branche a N spires, le deuxième enroulement de compensation (K2-2) de la deuxième branche a M spires, le premier enroulement de compensation (K3-1) d'une troisième branche a N-m spires, tandis que le deuxième enroulement de compensation (K3-2) de la troisième branche a M spires.
5. Dispositif selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** les premier et second montages en triangle (1, 2) sont montés électriquement en série et disposent d'une unité de commutation (T) commune.
6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le dispositif comprend au moins une inductance de limitation de courant (L), montée électriquement en série avec l'unité de commutation (T).
7. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le dispositif comprend un dispositif de mesure destiné à détecter la part de flux magnétique continu et **en ce que** l'unité de commutation (T) est reliée au dispositif de mesure.
8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce qu'**une unité de commande est prévue pour le réglage de l'angle de phase de l'unité de commutation (T), ladite unité de commande comprenant un organe de temporisation, **en ce qu'**un dé-

tecteur de phase est prévu, **en ce que** l'organe de temporisation est relié au détecteur de phase, de sorte que l'organe de temporisation peut être déclenché par le détecteur de phase, lequel détecteur peut détecter la phase des tensions induites dans les enroulements de compensation (K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2) et commander l'unité de commutation (T) de telle façon qu'un courant continu pulsé est envoyé dans les enroulements de compensation (K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2).

9. Procédé de fonctionnement d'un dispositif selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** l'unité de commande comprend un organe de temporisation déclenché par le détecteur de phase, lequel déclencheur détecte la phase des tensions induites dans les enroulements de compensation (K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2) et commande l'unité de commutation (T) de telle façon qu'un courant continu pulsé est envoyé dans les enroulements de compensation (K1-1, K1-2; K2-1, K2-2; K3-1, K3-2).

FIG 1

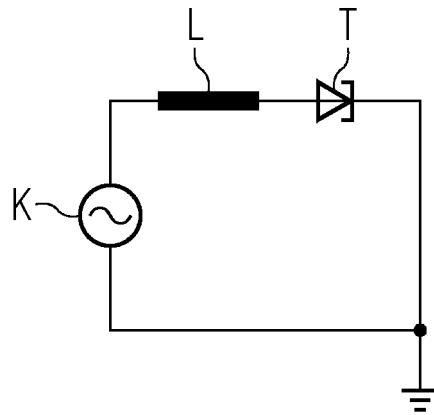


FIG 2

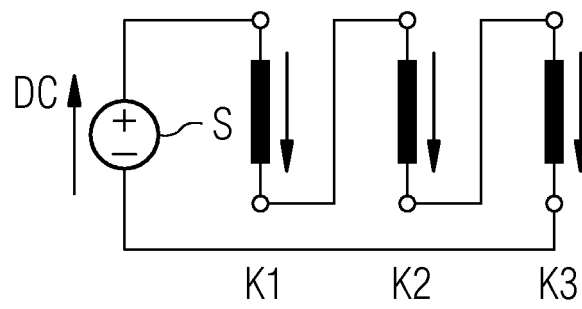


FIG 3

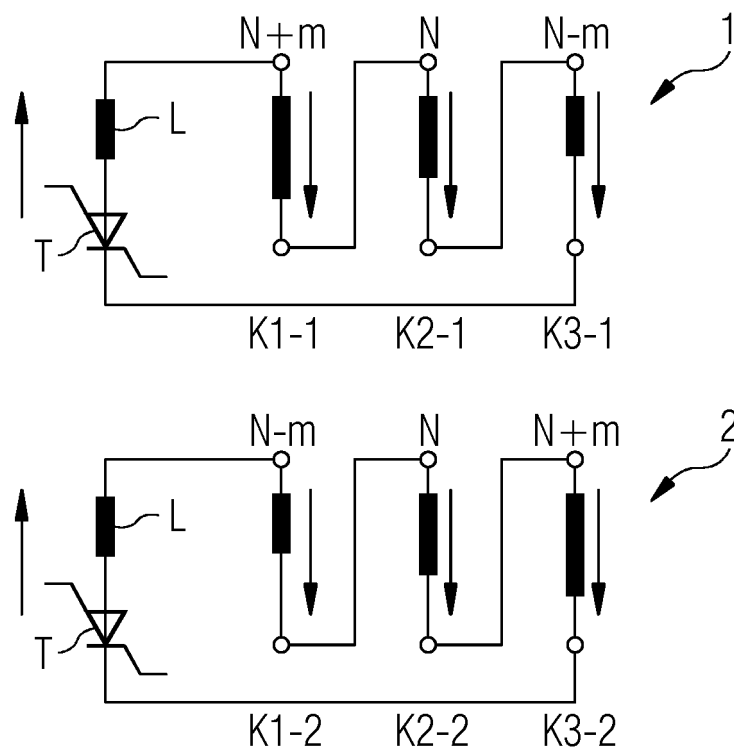


FIG 4

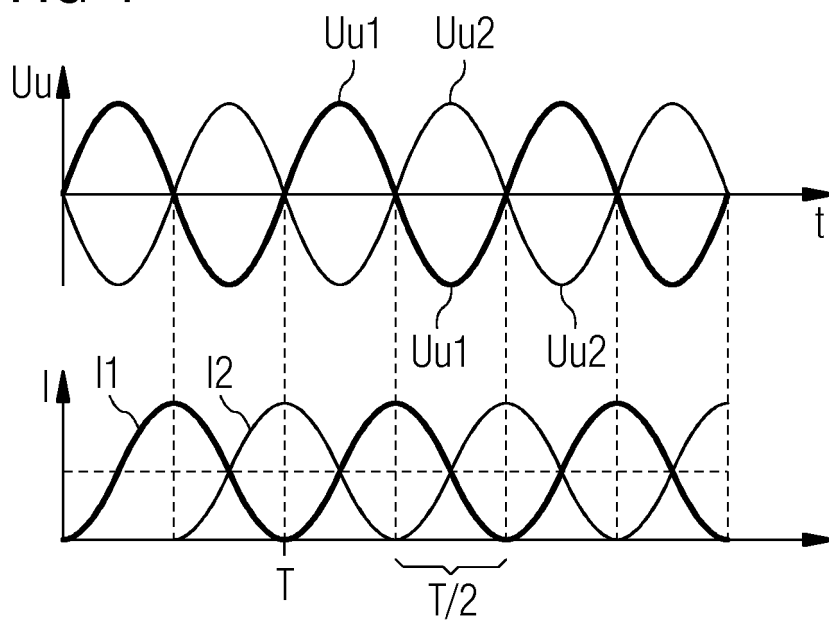
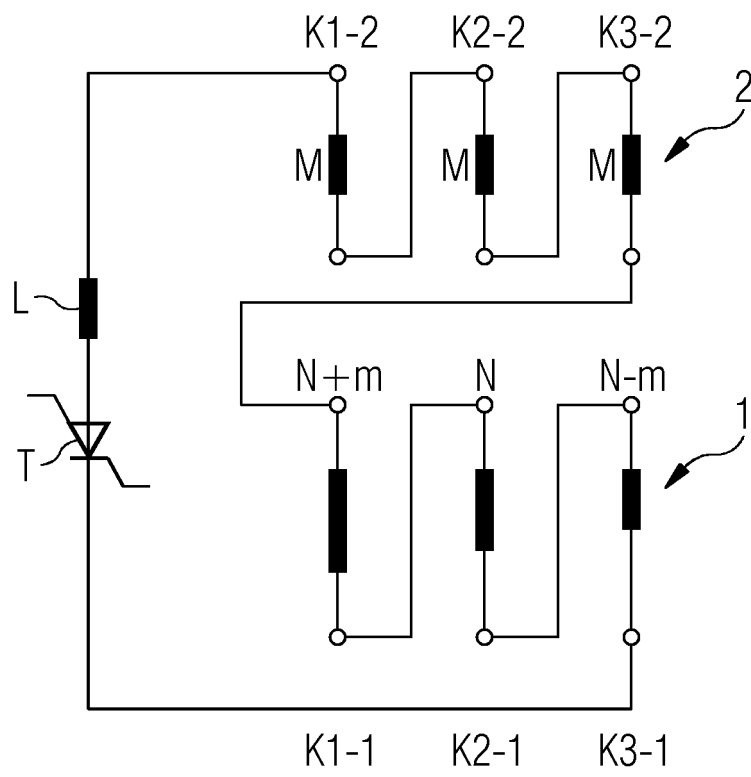


FIG 5



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

- WO 2012041368 A1 [0006] [0013] [0020] [0040]
- US 20100194373 A [0008]
- US 20060197511 A [0008]