

(19)



(11)

EP 3 065 150 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
07.09.2016 Patentblatt 2016/36

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

(21) Anmeldenummer: **15157688.1**

(22) Anmeldetag: **05.03.2015**

(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:
MA

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder: **Schrammel, Alfons-Karl**
8253 Waldbach (AT)

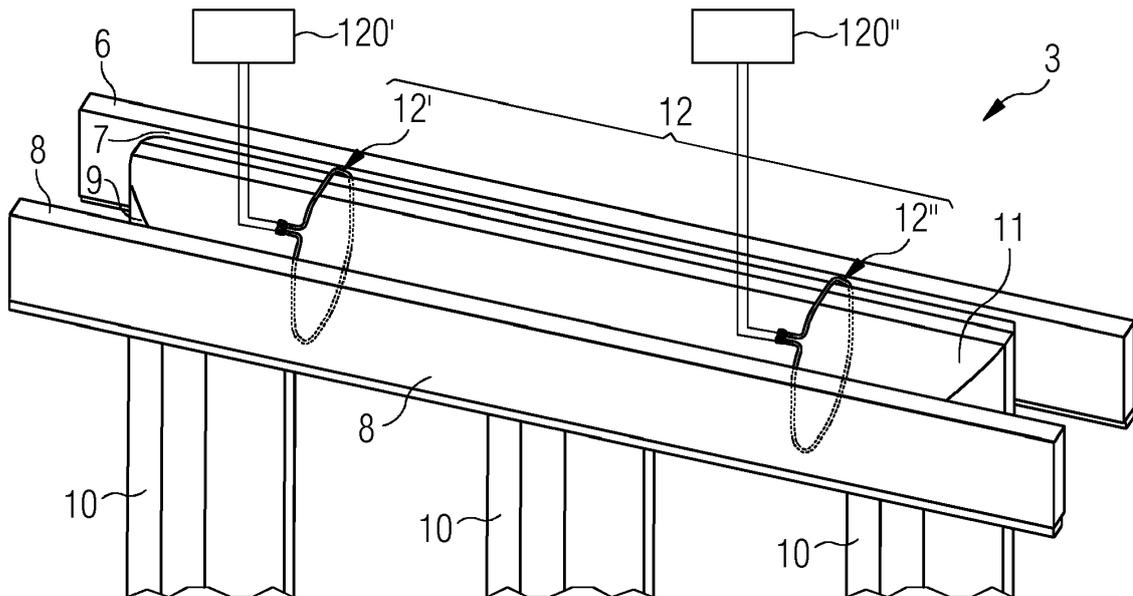
(74) Vertreter: **Maier, Daniel Oliver**
Siemens AG
Postfach 22 16 34
80506 München (DE)

(54) **Transformator sowie Verfahren zum Nachrüsten eines Transformators**

(57) Transformator mit einem magnetischen Kern, wobei der Kern zumindest einen Schenkel (10) mit einer Wicklungsanordnung und ein Joch (11) aufweist, wobei eine Kompensations-Wicklungsanordnung (12) vorgesehen ist um einen im zumindest einen Schenkel (10)

fließenden Gleichfluss-Anteil (Φ_{DC}) zu kompensieren, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kompensations-Wicklungsanordnung (12) auf dem Joch (11) angeordnet ist.

FIG 3



EP 3 065 150 A1

Beschreibung

Technisches Gebiet

5 **[0001]** Die Erfindung betrifft allgemein das Gebiet elektrischer Transformatoren die mit einer Kompensationseinrichtung zum Kompensieren eines magnetischen Gleichfluss-Anteils versehen sind.

Stand der Technik

10 **[0002]** Bei elektrischen Transformatoren, wie Sie üblicherweise in einem Energie-Verteilungsnetz eingesetzt werden, kann es zu einer unerwünschten Einspeisung eines Gleichstroms (im Folgenden auch als DC-Anteil bezeichnet) in die Primärwicklung bzw. Sekundärwicklung kommen.

[0003] Ursache für diesen DC-Anteil können beispielsweise leistungselektronische Schaltungen sein, wie Sie heutzutage bei der Ansteuerung von elektrischen Antrieben oder auch zur Blindleistungskompensation in einem Energie-Verteilungsnetz eingesetzt werden.

15 **[0004]** Eine andere Ursache für die Ausbildung eines magnetischen Gleichflusses in einem Transformator können so genannte "Geomagnetically Induced Currents" (GIC) sein.

[0005] In beiden Fällen kann das Betriebsverhalten des Transformators gestört werden, denn es bildet sich im Kern des Transformators ein magnetischer Gleichfluss aus, der sich dem magnetischen Wechselfluss überlagert. Diese Überlagerung von Gleichfluss und Wechselfluss führt zu einer unsymmetrischen Aussteuerung des magnetischen Werkstoffs, die eine Reihe von Nachteilen mit sich bringt.

20 **[0006]** Zum einen kann es zu lokalen Erwärmungen im Kern des Transformators kommen ("hot spots"). Dies verursacht erhöhte Verluste und kann auch die Lebensdauer der elektrischen Wicklung beeinträchtigen. Ein anderer unerwünschter Effekt ist eine erhöhte Geräuschemission. Diese tritt bereits bei einem sehr kleinen Gleichstrom von wenigen Ampere auf. Wenn der Transformator in der Nähe eines Wohnbereichs installiert ist, ist dies von besonderem Nachteil.

25 **[0007]** Zur Minderung der Geräuschemission eines Transformator wird in der DE 40 21 860 C2 beispielsweise vorgeschlagen, auf dem Kern neben der üblichen Wicklungsanordnung eine so genannte Kompensationswicklung anzuordnen. In diese Kompensationswicklung wird ein Kompensationsstrom eingespeist, welcher in seiner magnetischen Wirkung so gerichtet ist, dass er dem magnetischen Gleichfluss im Kern des Transformators entgegenwirkt bzw. diesen kompensiert.

30 **[0008]** Um einen Gleichfluss-Anteil im Kern eines Transformators zu kompensieren, ist also eine Messeinrichtung zum Erfassen des magnetischen Gleichflusses, eine Kompensationswicklung und eine mit dieser verbundenen Strom-Steuereinrichtung erforderlich.

[0009] Eine Messeinrichtung zum Erfassen des Gleichanteils ist beispielsweise aus der WO2011/127969 A1 bekannt.

35 **[0010]** Eine Kompensationswicklung in Verbindung mit einer Strom-Steuereinrichtung ist beispielsweise aus der WO2012/041368 A1 bekannt.

[0011] Üblicherweise wird die Kompensationswicklung bereits bei der Herstellung des Transformators vorgesehen, indem zum Beispiel jeder Schenkel des Transformators im Bereich des unteren Jochs eine solche Kompensationswicklung trägt.

40 **[0012]** Nun sind aber Transformatoren wertvolle und langlebige Investitionsgüter. Zu einer unerwünschten DC-Einspeisung bzw. zu GIC kann es auch während der langjährigen Betriebsdauer eines Transformators kommen. Um einen bereits in Betrieb befindlichen Transformator mit einer Gleichfluss- bzw. Gleichstrom-Kompensationseinrichtung auszustatten ist aber ein kaum vertretbar hoher Aufwand erforderlich. Eine solche Nachrüstung bzw. Umrüstung erfordert zumindest den Umbau der bestehenden Wicklungsanordnung, was einer Neuanschaffung des Transformators gleichkommt. Gleichwohl herrscht aber der Bedarf, auch bereits in Betrieb befindliche Transformatoren mit einer Gleichfluss-Kompensation auszustatten, da ein störender DC-Anteil bzw. GIC während des Betriebs jederzeit vorkommen kann.

Darstellung der Erfindung

50 **[0013]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung einen Transformator so anzugeben, dass die Anbringung einer Kompensationswicklung möglichst einfach ist, so dass auch ein bereits in Betrieb befindlicher Transformator mit einer Gleichfluss-Kompensationseinrichtung ausgestattet werden kann.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es ein Verfahren zum Nachrüsten eines Transformators anzugeben, das möglichst kostengünstig ist.

55 **[0014]** Die Lösung der Aufgabe erfolgt mit einem Transformator durch die Merkmale des Anspruchs 1 und mit einem Verfahren zum Nachrüsten eines Transformators durch die Merkmale des Anspruchs 7.

[0015] Vorteilhafte Ausgestaltungen, Aspekte und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den jeweils abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und der beigefügten Zeichnung.

[0016] Einem Grundgedanken der Erfindung nach, wird eine Kompensations-Wicklungsanordnung vorgeschlagen, die nicht wie bislang üblich auf einem wicklungstragenden Schenkel des Transformators, sondern am Joch des Transformator-kerns angeordnet ist. Diese Kompensations-Wicklungsanordnung ist zum Zwecke der Kompensation eines in einem Schenkel des Transformators fließenden Gleichfluss-Anteils mit zumindest einer zugeordneten Strom-Steuer-einrichtung elektrisch verbunden. Da das Joch die Kompensations-Wicklungsanordnung trägt, wird erreicht, dass die konstruktive Ausgestaltung und auch die Anordnung der Primärwicklung bzw. der Sekundärwicklung, sowie auch die konstruktive Auslegung des Kerns des Transformators nicht verändert werden müssen. Daraus ergeben sich eine Reihe von Vorteilen: Der größte Vorteil ergibt sich bei Umrüstung bzw. Nachrüstung eines bereits in Betrieb befindlichen Transformators, da die Montage einer Kompensations-Wicklungsanordnung nur einen vergleichsweise geringen Aufwand erfordert. Der Trafo muss nur für kurze Zeit vom Netz genommen werden und ein Zugang zum oberen Joch des Transformators geschaffen werden. Der Transformatordeckel wird geöffnet und die Isolations- und Kühlflüssigkeit teilweise abgepumpt. Sobald das Niveau der Isolations- und Kühlflüssigkeit auf ein Niveau unterhalb des oberen Jochs abgesenkt ist, kann am oberen Joch, an einem oder an mehreren Abschnitten, manuell leicht eine Kompensationswicklung angebracht werden. Die Kompensationswicklung wird mittels einer Verbindungsleitung an eine Strom-Speiseeinrichtung außerhalb des Kessels angeschlossen. Anschließend wird die Isolations- und Kühlflüssigkeit wieder auf das ursprüngliche Niveau im Transformator-kessel zurück gepumpt. Der Transformatordeckel wird geschlossen und der Trafo kann danach wieder ans Netz geschaltet werden. Durch die Erfindung ist es also möglich, dass mit einem vergleichsweise geringen Aufwand ein bereits in Betrieb befindlicher Transformator, - unabhängig von der Bauform eines Transformators (zum Beispiel Ein-, oder Mehrschenkelkern-Bauweise) - bei denen es im Laufe der Betriebszeit zu einer Einspeisung eines DC-Anteils gekommen ist, bzw. die einem GDC ausgesetzt sind, mit einer Einrichtung zur Gleichfluss-Kompensation auszustatten. Damit eröffnet sich auch für diese bereits betriebsmäßig eingesetzten Transformatoren die Möglichkeit Verluste abzusenken, die Erwärmung zum mindern, sowie deren Geräuschemission einzudämmen. Insbesondere Letzteres gewinnt zunehmend an Bedeutung.

Die oben genannten Vorteile ergeben sich in analoger Weise auch bei der Herstellung eines Transformators: auch im Herstellungsprozess erfordert die erfindungsgemäße Anbringung der Kompensations-Wicklungsanordnung am Joch keine Änderung an einer bestehenden Konzeption eines Transformators, weder der Wicklung noch des magnetischen Kerns. Die Ausstattung eines Transformators mit einer Gleichfluss-Kompensation ist damit auch im Herstellungsprozess mit einem vergleichsweise geringeren Aufwand möglich.

Zusammenfassend sei nochmals hervorgehoben, dass sich der wesentliche Vorteil der Erfindung im Rahmen einer so genannten "Retrofit-Lösung" ergibt. Denn es war bislang wirtschaftlich nicht vertretbar, einen bereits in Betrieb befindlichen Transformator nachträglich so umzubauen, dass eine Gleichfluss-Kompensation möglich wäre.

[0017] In einer bevorzugten Ausführung wird vorgeschlagen, dass die Kompensations-Wicklungsanordnung auf einem Abschnitt des oberen Jochs angeordnet ist. Am oberen Joch lässt sich eine Kompensationswicklung leicht anbringen. Mit geringem Kostenaufwand ist ein "Retrofit-Lösung" möglich.

[0018] Für 1- und Mehr-Schenkelkern-Transformatoren kann eine Ausführung der Erfindung bevorzugt so konstruiert sein, dass die Kompensations-Wicklungsanordnung aus mehreren Wicklungsschleifen gebildet ist, die jeweils durch einen Kühlspace zwischen einer Pressplatte und einem oberen Joch-Abschnitt hindurch geführt sind. Dieser Einbaureaum ist als Kühlspace ohnedies in der Regel bei Transformatoren größerer Leistung vorhanden. Es bedarf keiner konstruktiven Änderung einer Wicklung oder Isolierung. Die Umschlingung erfolgt direkt um das Joch.

[0019] Für Transformatoren in 3-, 4-, und 5-Schenkelkern-Bauweise kann eine bevorzugte Ausführungsform so konstruiert sein, dass um einen Abschnitt des oberen Jochs zwischen zwei Hauptschenkeln sich jeweils immer zumindest zwei Schleifen der Kompensations-Wicklungsanordnung schlingen. Diese sind wiederum durch den Kühlspace, gebildet zwischen der äußeren Blechlamelle des Jochs und der benachbart gegenüber liegenden Pressplatte hindurch geführt.

[0020] In einer bevorzugten Ausführungsform kann die Kompensations-Wicklungsanordnung aus zumindest zwei Leiterschleifen gebildet sein. Jede dieser Leiterschleifen setzt sich mit in Richtung des Jochs verlaufenden Abschnitten fort. Ein erstes korrespondierendes Leitungspaar dieser Leitungsabschnitte ist miteinander verbunden, z.B. durch Crimpen. Das zweite korrespondierende Leitungspaar endet in Anschlusskontakten. An diese wird mittels einer Verbindungsleitung eine zugeordnete Strom-Steuer-einrichtung angeschlossen. Dadurch kann für jeden Hauptschenkel ein individuell vorgegebener Kompensationsstrom eingespeist werden. Dies ermöglicht eine differenzierte, auf den jeweiligen Hauptschenkel abgestimmte Kompensation eines Gleichfluss-Anteils Φ_{DC} .

[0021] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltungen der Erfindung kann die Kompensationswicklung aus einer oder mehreren Windungen gebildet sein, angepasst an die vorgegebene Spannungsbürde der verwendeten Strom-Steuer-einrichtung.

[0022] Die oben genannte technische Aufgabe wird auch durch ein Verfahren zum Nachrüsten eines Transformators gelöst. Hierbei werden bei einem bereits in Betrieb befindlichen Transformator folgende Verfahrensschritte durchgeführt:

- a. Trennen des Transformators von einem Energie-Verteilungsnetz;
- b. Ablassen zumindest eines Teils der im Transformator-kessel enthaltenen Kühl-Isolationsflüssigkeit;

- c. Öffnen des Transformatorbessels, so dass Abschnitte des Jochs zugänglich sind;
- d. Anbringen einer Kompensations-Wicklungsanordnung auf zumindest einem Abschnitt des oberen Jochs;
- e. Herstellen einer Verbindung zwischen der Kompensations-Wicklungsanordnung und einer außerhalb des Transformatorbessels angeordneten Strom-Steueranrichtung;
- f. Schließen des Transformatorbessels;
- g. Auffüllen des Transformatorbessels mit der im Verfahrensschritt b. abgelassenen Menge an Kühl- und Isolationsflüssigkeit
- h. Verbinden des Transformators mit dem Energie-Verteilungsnetz.

[0023] Dieses Verfahren ermöglicht, mit sehr geringem Aufwand einen bereits in Betrieb befindlichen Transformator, - auch Transformatoren älterer Bauart -, mit einer Kompensationseinrichtung nachzurüsten. Bei dieser Nachrüstung ist es weder erforderlich die bestehende Primär- bzw. Sekundärwicklung zu ändern, noch sind Änderungen am magnetischen Kreis erforderlich. Bei der Montage wird die Kompensationswicklung einfach um Abschnitte des oberen Jochs gewickelt. Mit Vorteil können dabei bereits vorhandene Kanäle des Kühlsystems genutzt werden. Die einzelnen Schleifen der Kompensationswicklung werden zwischen den Joch- Pressplatten und dem Joch einfach hindurch durchgeführt. Wie bereits gesagt, kann jede Wicklung aus einer oder mehreren Windungen bestehen. Anschließend werden die Wicklungsschleifen miteinander verbunden und an eine Strom-Steueranrichtung angeschlossen. Diese Strom-Steueranrichtung befindet sich üblicherweise außerhalb des Transformatorbessels. Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens entsprechen im Wesentlichen den Vorteilen wie Sie oben anhand des erfindungsgemäßen Transformators bereits dargestellt wurden.

[0024] Der Montage- oder Umrüstaufwand ist gering. Die Unterbrechung im Energie-Verteilungsnetz ist kurz. Die "Retrofit-Lösung" ermöglicht mit vergleichsweise geringem Aufwand die Modernisierung bzw. den Ausbau bestehender Anlagen. Bekanntermaßen sind Transformatoren auf eine lange Betriebsdauer konzipiert. Stellt sich beispielsweise bei einem solchen seit Jahren in Betrieb befindlichen Transformator aufgrund einer Gleichstrom-Einspeisung eine erhöhte Geräusentwicklung ein, so kann mit geringen Modifikationen dieser Transformator modernisiert und mit der Funktionalität einer Gleichfluss-Kompensation ausgestattet werden, so dass der Transformator im Betrieb leiser ist.

Kurzbeschreibung der Zeichnung

[0025] Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird im nachfolgenden Teil der Beschreibung auf Zeichnungen Bezug genommen, aus denen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen, Einzelheiten und Weiterbildungen der Erfindung anhand nicht einschränkender Ausführungsbeispiele zu entnehmen sind. Es zeigen:

- Figur 1 eine erste Ausführung der Erfindung mit einer Kompensations-Wicklungswicklung angeordnet am oberen Joch eines 1-Schenkel-Mantelkerns, in einer räumlichen Darstellung;
- Figur 2 eine zweite Ausführung der Erfindung mit einer Kompensations-Wicklung angeordnet am oberen Joch eines 2-Schenkel-Kerns, in einer räumlichen Darstellung;
- Figur 3 eine dritte Ausführung der Erfindung mit einer Kompensations-Wicklung angeordnet am oberen Joch eines 3-Schenkel-Kerns, in einer räumlichen Darstellung;
- Figur 4 eine vierte Ausführung der Erfindung mit einer Kompensations-Wicklung angeordnet am oberen Joch eines 4-Schenkel-Kerns, in einer räumlichen Darstellung;
- Figur 5 eine fünfte Ausführung der Erfindung mit einer Kompensations-Wicklung angeordnet am oberen Joch eines 5-Schenkel-Kerns, in einer räumlichen Darstellung;
- Figur 6 eine schematische Darstellung einer an einem oberen Joch angeordneten Kompensations-Wicklung, in welcher die Kompensation eines Gleichfluss-Anteils im Schenkel veranschaulicht ist.

Ausführung der Erfindung

[0026] Die folgende Beschreibung erläutert verschiedene Ausführungen der Erfindung anhand der Figuren 1-5, die jeweils den oberen Abschnitt eines magnetischen Kerns einer bestimmten Bauart eines Transformators in einer räumlichen Darstellung zeigen. Einander entsprechende bauliche Einheiten sind mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0027] Im Folgenden ist unter einer Leiterschleife allgemein eine von einem Leiter aufgespannt Fläche zu verstehen, wobei die Leiterschleife eine elementare Form einer Wicklung verkörpern soll, die aus einer einzigen Windung oder

auch aus mehreren Windungen bestehen kann. Damit ist jede der im Folgenden mit dem Bezugszeichen 12 gekennzeichneten Leiterstrukturen entweder als eine Einzelschleife oder eine aus mehreren Windungen bestehende Wicklung aufzufassen.

[0028] Figur 1 zeigt in einer perspektivischen Darstellung den oberen Bereich des magnetischen Kerns eines elektrischen Transformators 1 in 1-Schenkel-Mantelkern-Bauweise. Der mittlere Schenkel 10 des Transformators 1 trägt eine in Figur 1 nicht näher dargestellte Wicklungsanordnung, bestehend aus Primärwicklung und Sekundärwicklung; die beiden Schenkel links und rechts des Schenkels 10 bilden den magnetischen Rückschluss dieser Bauweise. Ein Joch 11 verbindet die beiden Rückschlussschenkel und den mittleren Schenkel 10. In Figur 1 sind zwei Joch-Pressplatten 6, 8 gezeichnet, mittels derer die Blech-Lamellen des Jochblechpaketes 11 zusammen gepresst werden. Zwischen der vorderen Joch-Pressplatte 8 und dem Joch 11 ist ein Zwischenraum oder Kühlspace 9 ausgebildet, ebenso zwischen der hinteren Joch-Pressplatte 6 und dem Joch 11, ein Kühlspace 7. In Figur 1 ist die Kompensations-Wicklungsanordnung 12 auf dem Joch 11 im Bereich des mittleren Schenkels 10 angeordnet. Die Kompensations-Wicklungsanordnung 12 besteht im Wesentlichen aus zwei Leiterschleifen 13, 15. Jede dieser Leiterschleifen 13, 15 umschlingt jeweils einen zwischen Schenkel 10 und magnetischen Rückschluss gebildeten Abschnitt des oberen Jochs 11. Nach ihrer Umschlingung setzen sich die beiden Leiterschleifen 13, 15 durch Leiterabschnitte 17, 18 fort, die in Längsrichtung des Jochs 11 verlaufen. Die beiden hinteren aufeinander zulaufenden Leiterabschnitte 17, 18 liegen im Spalt 7. Ihre Enden sind durch Crimpen miteinander verbunden. Die beiden vorderen Leiterabschnitte 17, 18 verlaufen im vorderen Spalt 9. Ihre Enden bilden Kontaktanschlüsse für eine Verbindungsleitung, die zu einer in Figur 1 mit dem Bezugszeichen 120 versehenen Strom-Steuereinrichtung führt. Die Strom-Steuereinrichtung 120 dient zum Einspeisen eines Kompensationsstroms, dessen magnetische Wirkung im Transformator Kern unten stehend anhand der Beschreibung der Figur 6 näher erläutert ist. Die Einspeisung des Kompensationsstroms erfolgt dabei nach Maßgabe eines Sensors, der den störenden DC-Anteil nach Richtung und Größe erfasst. Dieser Sensor ist in den Zeichnungen nicht dargestellt.

[0029] Figur 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand eines Kerns für eine 2-Schenkelkern-Transformator 2. Der magnetische Kern besteht aus zwei Schenkeln 10, die jeweils die Transformatorwicklung tragen. Die beiden Schenkel 10 sind durch das Joch 11 verbunden. In Figur 2 ist an dem oberen Joch 11 gemäß der Erfindung eine Kompensations-Wicklungsanordnung 12 gezeichnet. Die Kompensations-Wicklungsanordnung 12 besteht aus einer einzigen Leiterschleife oder aus mehreren Leiterwindungen. Sie ist um das obere Joch 11 herum geschlungen. Die Umschlingung erfolgt dabei so, dass die Leitungsführung wieder im Spalt 7, dem unteren Bereich des oberen Jochs 11 und dann wieder im Spalt 9 nach oben verläuft. Die beiden Enden der Leiterschleife 12 münden in Anschlusskontakten. Von diesen Anschlusskontakten führt wieder eine Verbindungsleitung zu einer Strom-Steuereinrichtung 120, die zur Einspeisung eines Kompensationsstroms vorgesehen ist.

[0030] Figur 3 zeigt eine dritte Ausführung der Erfindung am Beispiel eines elektrischen Transformators 3 in 3-Schenkelkern-Bauweise. Der 3-Schenkelkern besteht aus drei wicklungstragenden Schenkeln 10 und einem verbindenden Joch 11. Auch hier wird das Blechpaket des Jochs 11 beidseits mit Joch-Pressplatten 6, 8 zusammen gepresst. Die beiden Joch-Pressplatten 6 bzw. 8 sind jeweils seitlich in einem Abstand 7 bzw. 9 zum Joch 11 angeordnet. Die Kompensations-Wicklungsanordnung 12 besteht hier aus zwei Leiterschleifen 12', 12". In der Darstellung der Figur 3 ist die linke der beiden Leiterschleifen 12' auf einem oberen Jochabschnitt 11 angeordnet, der den linken Schenkel 10 und den mittleren Schenkel 10 verbindet; die in Figur 3 rechts liegende Leiterschleife 12" ist auf einem oberen Jochabschnitt 11 angeordnet, der den mittleren Schenkel 10 und den rechten Schenkel 10 verbindet. Die Leitungsführung erfolgt gemäß der Darstellung in Figur 3 von den oben angeordneten Anschlusskontakten ausgehend in den Spalt 9 zwischen vorderer Joch-Pressplatte 8 und Joch 11, umschlingt dann den unteren Teil des Jochs 11 und führt im Spalt 7 zwischen hinterer Joch-Pressplatte 6 und Joch 11 wieder nach oben zu Anschlusskontakten. Die Anschlusskontakte jeder Leiterschleife 12', 12" sind wieder jeweils mit einer Strom-Steuereinrichtung 120', 120" verbunden. Indem jeder Kompensationswicklung 12', 12" jeweils einer separaten zugeordneten Strom-Steuereinrichtung 120' bzw. 120" angesteuert wird, ist es möglich, differenziert auf einen zu kompensierenden Gleichfluss-Anteil im linken bzw. rechten Schenkel 10 einzuwirken. Jede Strom-Steuereinrichtung 120', 120" arbeitet autonom. Durch diese beiden getrennten Strom-Steuereinrichtungen 120', 120" ist die Kompensation eines Gleichfluss-Anteils in jedem Schenkel 10 individuell und voneinander unabhängig möglich.

[0031] Figur 4 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel der Erfindung. Dargestellt ist wieder der obere Abschnitt des magnetischen Kerns eines Transformators, dargestellt am Beispiel der Bauweise eines 4-Schenkelkern-Transformators 4. Bei diesem 4-Schenkelkern tragen die beiden Hauptschenkel 10 jeweils ein in der Figur 4 nicht dargestelltes Wicklungspaket. Links und rechts der beiden Schenkel 10 erfolgt der magnetische Rückschluss über Rückschluss-Schenkel. Wie in den oberen Beispielen beschrieben erfolgt auch hier das Zusammenpressen der geschichteten Jochbleche des Jochs 11 durch zwei Joch-Pressplatten 6, 8. Zwischen einer Joch-Pressplatte 6 bzw. 8 und dem Joch 11 ist wieder jeweils ein Kühlspace 7, 9. Die Kompensations-Wicklungsanordnung 12 besteht aus einer ersten Kompensationswicklung 12' und einer zweiten Kompensationswicklung 12". Jede dieser Kompensationswicklungen 12', 12" ist auf dem oberen Joch 11 jeweils am Kopf eines Schenkels 10 angeordnet. Ähnlich zu der in Figur 1 erläuterten Kompensations-Wicklungsanordnung 12 besteht jede dieser Wicklungen 12', 12" aus zwei Leiterschleifen 13 und 15, die sich längs des Jochs

11 - im vorliegenden Beispiel in gestuft linearen Leiterabschnitten fortsetzen. Die Stufen der linearen Leiterabschnitte erfolgt gemäß dem Platzverhältnissen im Spalt 7, bzw. 9. Diese gestuft linearen Leiterabschnitte einer Wicklung 12' bzw. 12'' führen wieder aufeinander zu. Die hinteren im Spalt 7 geführten linearen Leiterabschnitte sind wieder miteinander verbunden, die vorderen im Spalt 9 geführten linearen Leiterabschnitte münden jeweils wieder in Kontaktpaaren zum Anschluss einer zugeordneten Strom-Steuereinrichtung 120' und 120''. Jede dieser beiden Strom-Steuereinrichtungen 120' und 120'' prägt in der ihr zugeordneten Wicklung 12' bzw. 12'' einen Kompensations-Strom ein, so dass ein in einem der beiden Schenkel 10 vorhandener Gleichfluss-Anteil kompensiert werden kann. Die Vorgabe des jeweiligen Kompensations-Stroms erfolgt wieder nach Maßgabe eines Sensors, der den jeweils zu kompensierenden Gleichfluss Φ_{DC} erfasst. Durch diese getrennte Einspeisung in den beiden Wicklungen 12', 12'' ist es möglich, auch bei der dargestellten 4-Schenkelkern Bauweise differenziert zu kompensieren, je nach Größe und Richtung des in einem Schenkel 10 fließende Gleichflusses Φ_{DC} diesem entgegen zu treten.

[0032] Figur 5 zeigt ein fünftes Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand eines Transformators in so genannter 5-Schenkelkern-Bauweise. Dieser 5-Schenkelkern 5 besteht aus drei jeweils eine Wicklungsanordnung tragenden Hauptschenkeln 10 und zwei außen liegende Rückschlussschenkel. Ein Joch 11 verbindet wieder diese drei Schenkel 10 und die beiden Rückschlussschenkel. Die Kompensations-Wicklungsanordnung 12 besteht in dieser Ausführung aus drei getrennten Wicklungen 12', 12'' und 12''', die wieder am oberen Joch 11 angeordnet sind und von drei separaten Stromquellen 120', 120'' und 120''' gespeist werden. Auch hier ermöglicht die getrennte Vorgabe des Kompensationsstroms in jeder der Wicklungen 12', 12'' und 12''' eine differenzierte Einflussnahme bei der Kompensation eines unerwünschten Gleichfluss-Anteil Φ_{DC} in den drei Schenkeln 10.

[0033] In den oben beschriebenen fünf Ausführungsbeispielen ist die Kesseldurchführung für die Verbindungsleitung, welche die Kompensationswicklung mit der außerhalb des Kessels angeordneten Strom-Steuereinrichtung verbindet, aus Platzgründen auf der Niederspannungsseite des Transformators angeordnet.

[0034] Abschließend soll anhand der räumlichen Skizze der Figur 6 das Wirkprinzip für die in Figur 1, Figur 4 und Figur 5 dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert werden. Figur 6 zeigt diese Ausführung der Kompensations-Wicklungsanordnung 12 im Bereich der Verbindung zwischen oberen Joch 11 und Schenkel 20. Im Schenkel 20 soll ein unerwünschter Gleichfluss Φ_{DC} fließen. Dieser magnetische Gleichfluss Φ_{DC} überlagert sich dem Wechselfluss, so dass der magnetische Werkstoff in den beiden Halbwellen unterschiedlich stark angesteuert wird. Er führt zu erhöhten Verlusten und vergrößert die Geräuschemission. Die Kompensations-Wicklungsanordnung 12 dient dem Zwecke der Kompensation dieses magnetischen Gleichflusses Φ_{DC} . Sie besteht im Wesentlichen aus zwei geöffneten Leiterschleifen 13, 15, die gekrümmt sich um das Joch schlingen und sich paarweise mit Leiterabschnitten 17 bzw. 18 in Richtung des Jochs fortsetzen. Mit ihrer Krümmung spannen die Leiterschleifen 13, 15 jeweils eine Fläche auf, die etwa orthogonal zur Richtung des magnetischen Flusses im Joch 11 verläuft. Wie in Figur 6 dargestellt, ist die erste Leiterschleife 13 um einen Joch-Abschnitt 21 links des Schenkels 20 geschlungen, die zweite Leiterschleife 15 um einen Joch-Abschnitt 22 rechts des Schenkels 20. Nach der Umschlingung setzt sich die Leiterschleife 13 mit dem Leitungspaar 17 und die Leiterschleife 15 mit dem Leitungspaar 18 in Richtung des Jochs fort, wobei die Enden der Abschnitte 17 und 18 aufeinander zugerichtet sind. Die beiden hinteren Leiterabschnitte 17 bzw. 18 sind an einer Verbindungsstelle 23 miteinander verbunden. Die beiden vorderen Leiterabschnitte 17 bzw. 18 enden in zwei Anschlusskontakten K1 bzw. K2. Über diese Anschlusskontakte K1, K2 erfolgt die Einspeisung eines Kompensationsstroms I_K . In Figur 6 fließt dieser Kompensation-Strom I_K über die Klemme K1 hinein und über die Klemme K2 aus der Kompensationswicklungs-Anordnung 12 heraus. Entsprechend der so vorgegebenen Stromrichtung hat die mit dem Stromfluss verkettete magnetische Feldstärke in der Leiterschleife 15 eine Richtung gemäß Pfeil 16 (in Stromrichtung gesehen eine Rechtsschraube), die in der Leiterschleife 13 eine gemäß Pfeil 14. Dem Kontinuitätsgesetz folgend bildet sich im Schenkel 20 ein magnetischer Kompensations-Fluss Φ_{DC}^* aus. Dieser magnetische Kompensations-Fluss Φ_{DC}^* ist in Figur 6 von unten nach oben gerichtet, wirkt also dem zu kompensierenden magnetischen Gleichfluss-Anteil Φ_{DC} entgegen. Durch Kenntnis von Größe und Richtung des magnetischen Gleichflusses Φ_{DC} ist es grundsätzlich möglich, dessen störende Wirkung zu verringern bzw. zu kompensieren. Dies hat die Wirkung, dass "hot spots" und vermehrte Geräuschemission zumindest stark gemindert werden können.

[0035] Wie bereits oben erwähnt, kann eine Kompensationswicklung 12, 12', 12'', 12''' jeweils aus einer oder mehreren Windungen bestehen. In der Praxis richtet sich die Anzahl der Windungen nach der Spannungsstufe des Transformators, da die Kompensations-Steuereinrichtung 120' bzw. 120'' bzw. 120''' den in einer Kompensationswicklung 12' bzw. 12'' bzw. 12''' induzierten Spannung standhalten muss; in einem praktischen Beispiel bei 300 V induzierte Spannung besteht die Kompensations-Wicklungsanordnung 12 aus zwei Windungen.

[0036] Obwohl die Erfindung anhand der oben dargestellten Ausführungsbeispiele näher beschrieben und erläutert wurde, so ist die Erfindung auf diese Beispiele nicht eingeschränkt. Andere Ausgestaltungen und Variationen sind denkbar, ohne dass der Grundgedanke der Erfindung verlassen wird.

Zusammenstellung der verwendeten Bezugszeichen

[0037]

5	1	1-Schenkel-Mantelkern
	2	2-Schenkelkern
	3	3-Schenkelkern
	4	4-Schenkelkern
	5	5-Schenkelkern
10	6	Joch-Pressplatte
	7	Zwischenraum
	8	Joch-Pressplatte
	9	Zwischenraum
	10	Schenkel
15	11	Joch
	12	Kompensations-Wicklungsanordnung
	12', 12'', 12'''	Kompensationswicklung
	13	Leiterschleife
	14	Pfeil
20	15	Leiterschleife
	16	Pfeil
	17	Leiterabschnitt
	18	Leiterabschnitt
	19	Anschluss
25	20	Schenkel
	21	Oberes Joch-Teil
	22	Oberes Joch-Teil
	23	Verbindung
30	120', 120'', 120'''	Strom-Steueranordnung
	I_K	Kompensationsstrom
	Φ_{DC}	magnetischer Gleichfluss
	Φ_{DC}^*	magnetischer Kompensations-Gleichfluss
35	K1, K2	Anschlusskontakte

Patentansprüche

1. Transformator mit einem magnetischen Kern, wobei der Kern zumindest einen Schenkel (10) mit einer Wicklungsanordnung und einem Joch (11) aufweist, wobei eine Kompensations-Wicklungsanordnung (12) vorgesehen ist, um einen, in zumindest einem Schenkel (10) fließenden Gleichfluss-Anteil (Φ_{DC}) zu kompensieren, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kompensations-Wicklungsanordnung (12) auf dem Joch (11) angeordnet ist.
2. Transformator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kompensations-Wicklungsanordnung (12) auf einem Abschnitten des oberen Jochs (11) angeordnet ist.
3. Transformator nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kompensations-Wicklungsanordnung (12) aus zumindest einer geöffneten Leiterschleife (15, 16) gebildet ist, die den Abschnitt des oberen Jochs zumindest teilweise umschlingt.
4. Transformator nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kompensations-Wicklungsanordnung (12) zumindest eine Kompensationswicklung (12', 12'', 12''') aufweist, die aus zwei Leiterschleifen (13, 14) gebildet ist, wobei jede Leiterschleife (13, 14) zwei sich in Richtung des Jochs fortsetzende und aufeinander zu gerichtete Leitungsabschnitte (17, 18) aufweist, wobei ein erstes korrespondierendes Leitungspaar miteinander verbunden ist und ein zweites korrespondierendes Leitungspaar zu Anschlusskontakten (K1, K2) führt, die für eine Anschluss (19) mit einer zugeordneten Strom-Steueranordnung (120, 120', 120'', 120''') vorgesehen sind.

EP 3 065 150 A1

5. Transformator nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kompensationswicklung (12', 12'', 12''') aus mehreren Windungen gebildet ist.
- 5 6. Transformator nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kompensations-Wicklungsanordnung (12) aus zwei Kompensationswicklungen (12', 12'') oder aus drei Kompensationswicklungen (12', 12'', 12''') gebildet ist, denen jeweils eine separate Strom-Steuereinrichtung (120', 120'', 120''') zugeordnet ist.
- 10 7. Verfahren zum Nachrüsten eines in ein Energie-Verteilernetz eingebundenen Transformators, der einen Kern mit zumindest einem Schenkel (10) mit einer Wicklungsanordnung und ein Joch (11) aufweist, wobei der Kern in einem Transformator-kessel angeordnet ist, der mit einer Kühl- und Isolationsflüssigkeit gefüllt ist, umfassend die Verfahrensschritte:
- 15 a. Trennen des Transformators vom Energie-Verteilungsnetz;
b. Ablassen zumindest eines Teils der Kühl- und Isolationsflüssigkeit;
c. Öffnen des Transformator-kessels, so dass Abschnitte des Jochs (11) zugänglich sind;
d. Anbringen einer Kompensations-Wicklungsanordnung (12) auf zumindest einem Abschnitt des Jochs (11);
e. Herstellen einer elektrischen Verbindung zwischen der Kompensations-Wicklungsanordnung (12) und zumindest einer außerhalb des Transformator-kessels angeordneten Strom-Steuereinrichtung (120, 120', 120'', 120''');
20 f. Schließen des Transformator-kessels;
g. Auffüllen des Transformator-kessels mit der im Verfahrensschritt b. abgelassenen Menge an Kühl- und Isolationsflüssigkeit
h. Verbinden des Transformators mit dem Energie-Verteilungsnetz.
- 25 8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kompensations-Wicklungsanordnung (12) auf einem Abschnitt des oberen Jochs (11) angeordnet wird.
- 30 9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kompensations-Wicklungsanordnung (12) aus zumindest einer geöffneten Leiterschleife (12, 12', 12'', 12''') gebildet wird, die den Abschnitt des oberen Jochs (11) zumindest teilweise umschlingt.
- 35 10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kompensations-Wicklungsanordnung (12) mit zumindest zwei Leiterschleifen (13, 14) verwendet wird, wobei jede Leiterschleife (13, 14) zwei sich in Richtung des Jochs sich fortsetzende und aufeinander zu gerichtete Leitungsabschnitte (17, 18) aufweist, wobei ein erstes korrespondierendes Leitungspaar dieser Leitungsabschnitte (17, 18) miteinander verbunden wird und ein zweites korrespondierendes Leitungspaar dieser Leitungsabschnitte (17, 18) zu Anschlusskontakten (K1, K2) geführt wird, die mit einer zugeordnete Strom-Steuereinrichtung (120, 120', 120'', 120''') elektrisch verbunden werden.
- 40 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kompensations-Wicklungsanordnung (12) aus mehreren Kompensationswicklungen (12', 12'', 12''') gebildet wird, die jeweils mit einer zugeordneten Strom-Steuereinrichtung (120, 120', 120'', 120''') verbunden werden.
- 45
- 50
- 55

FIG 1

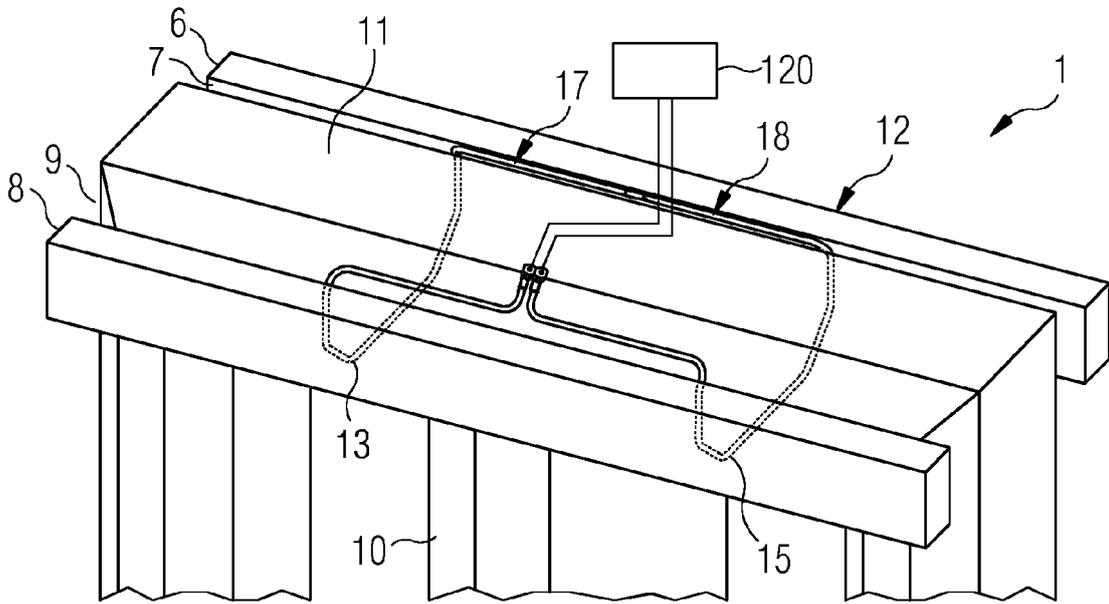


FIG 2

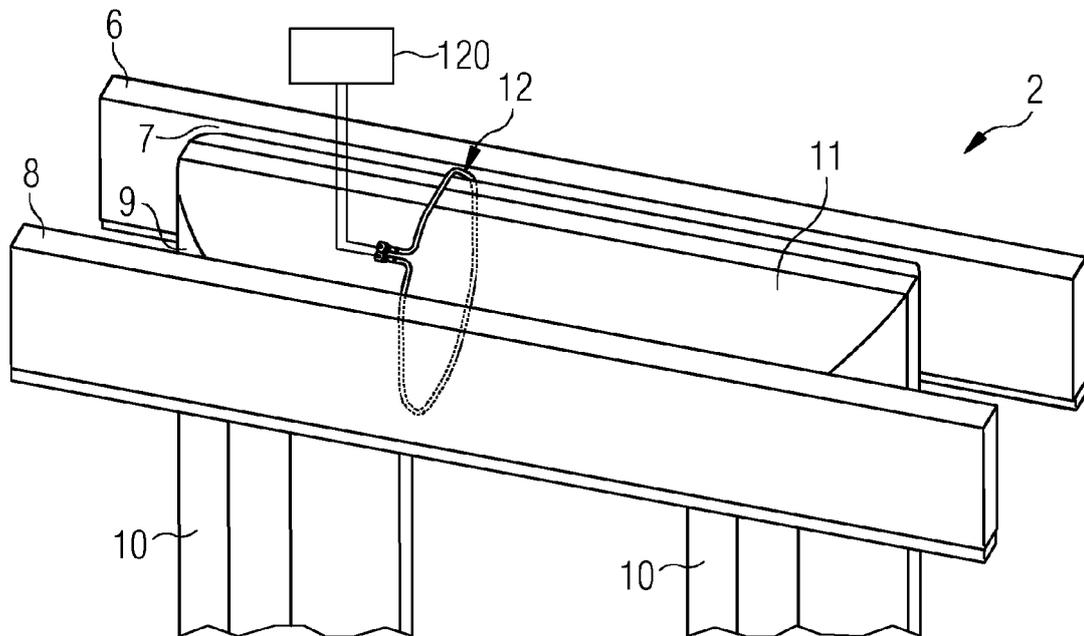


FIG 3

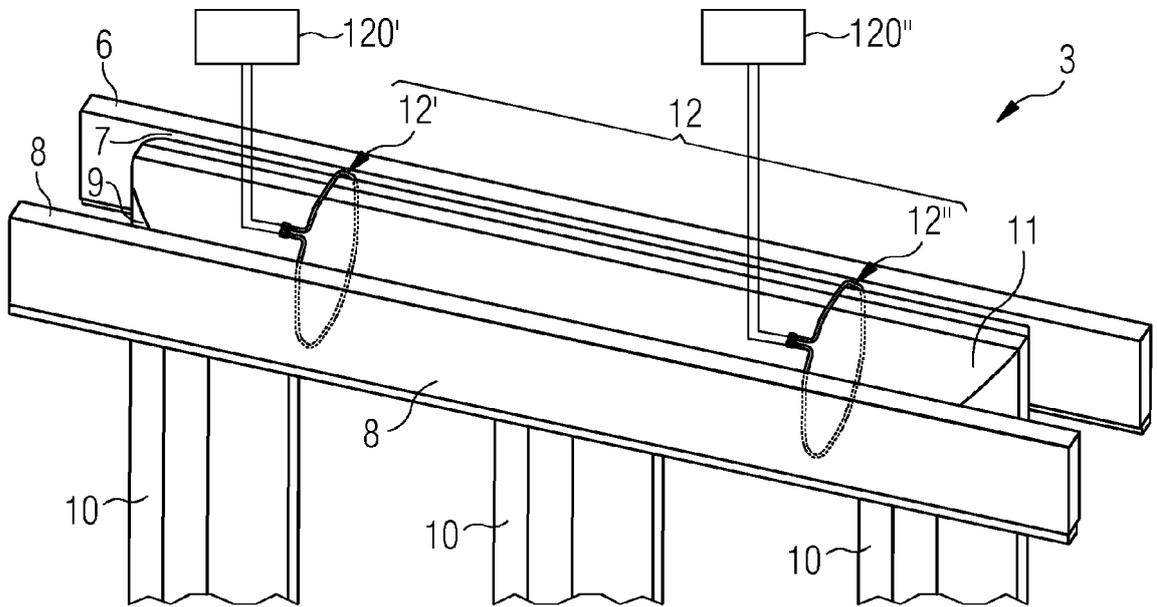


FIG 4

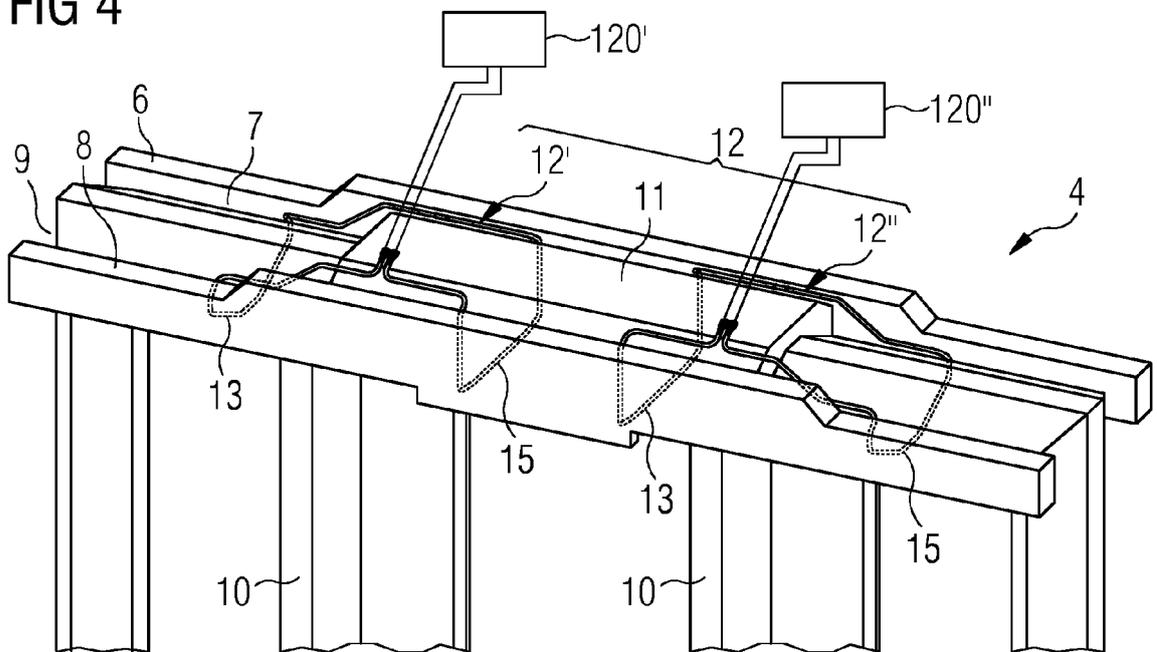


FIG 5

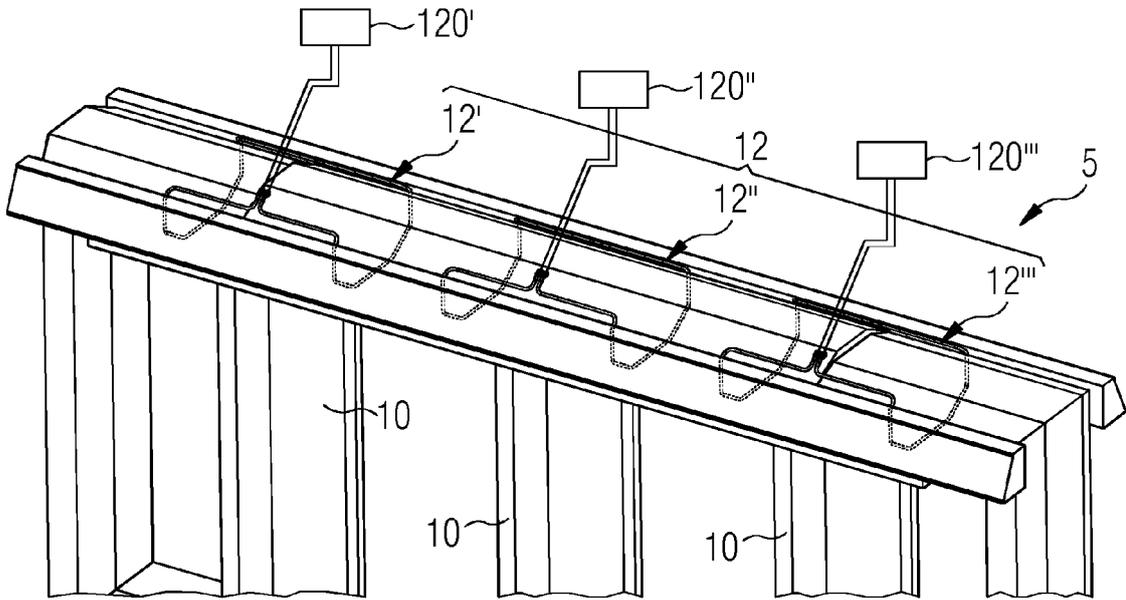
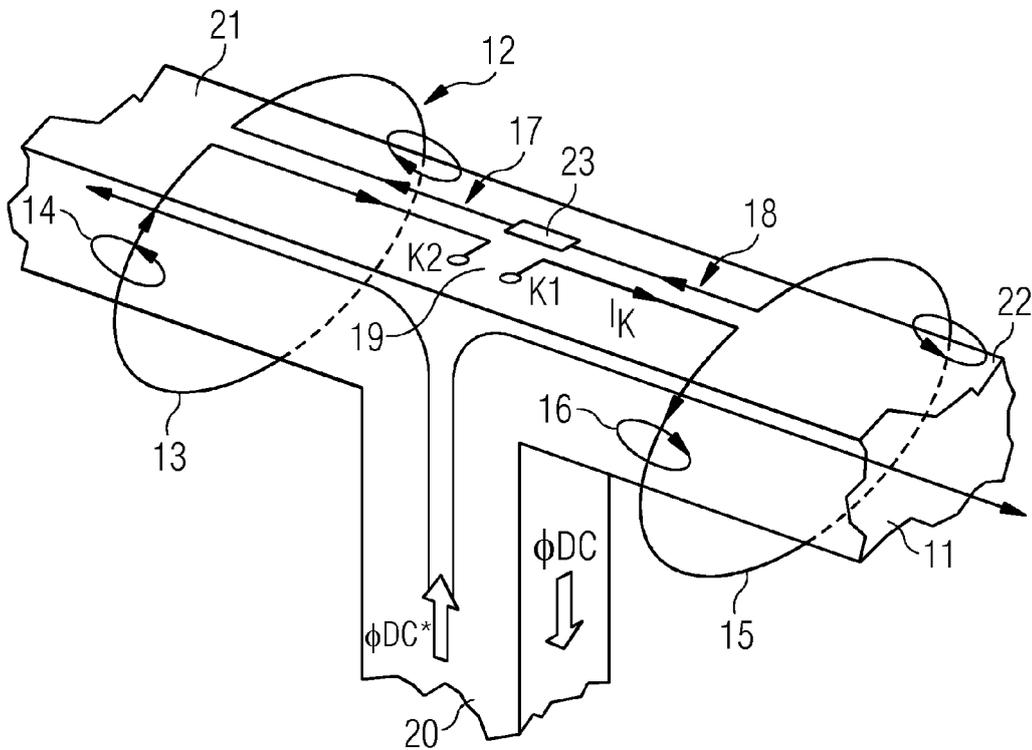


FIG 6





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 15 15 7688

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	WO 2008/151661 A1 (SIEMENS TRANSFORMERS AUSTRIA G [AT]; HAMBERGER PETER [AT]; LEIKERMOSER) 18. Dezember 2008 (2008-12-18) * Abbildung 2 * * Seite 6, Zeilen 18-22 * * Seite 10, Zeilen 8-14 * * Seiten 8,9 *	1-3,7-9, 11	INV. H01F27/38
X,D	WO 2012/041368 A1 (SIEMENS TRANSFORMERS AUSTRIA GMBH & CO KG [AT]; HAMBERGER PETER [AT];) 5. April 2012 (2012-04-05) * Abbildung 1 * * Seite 9, Zeile 34 - Seite 10, Zeile 15 *	1-3,7-9, 11	
X,D	WO 2011/127969 A1 (SIEMENS TRANSFORMERS AUSTRIA GMBH & CO KG [AT]; HAMBERGER PETER [AT];) 20. Oktober 2011 (2011-10-20) * Abbildung 2 * * Seite 10, Zeile 24 - Seite 11, Zeile 26 *	1-3,7-9, 11	
E	WO 2015/086048 A1 (SIEMENS AG [DE]) 18. Juni 2015 (2015-06-18) * Abbildungen 5-9 * * Seite 11, Zeile 10 - Seite 12, Zeile 16 *	1-3	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) H01F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 23. Juli 2015	Prüfer Weisser, Wolfgang
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 15 15 7688

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.

23-07-2015

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
10 WO 2008151661 A1	18-12-2008	CN 101681716 A	24-03-2010
		EP 2156448 A1	24-02-2010
		US 2010194373 A1	05-08-2010
		WO 2008151661 A1	18-12-2008

15 WO 2012041368 A1	05-04-2012	AU 2010361382 A1	11-04-2013
		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

20 WO 2011127969 A1	20-10-2011	AU 2010350863 A1	08-11-2012
		CA 2800551 A1	20-10-2011
		CN 102985838 A	20-03-2013
		EP 2558875 A1	20-02-2013
		HR P20140422 T1	06-06-2014
		KR 20130021386 A	05-03-2013
		RU 2012143740 A	20-05-2014
		UA 104373 C2	27-01-2014
		US 2013049751 A1	28-02-2013
		WO 2011127969 A1	20-10-2011

35 WO 2015086048 A1	18-06-2015	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

- DE 4021860 C2 [0007]
- WO 2011127969 A1 [0009]
- WO 2012041368 A1 [0010]