



(11)

EP 2 709 124 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
07.01.2015 Patentblatt 2015/02

(51) Int Cl.:
H01F 27/24 ^(2006.01) **H01F 27/28** ^(2006.01)
H01F 27/38 ^(2006.01) **H01F 30/12** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12006409.2**

(22) Anmeldetag: **12.09.2012**

(54) **Transformator**

Transformator

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:
19.03.2014 Patentblatt 2014/12

(73) Patentinhaber: **ABB Technology AG**
8050 Zürich (CH)

(72) Erfinder:
• **Cornelius, Frank**
59939 Olsberg (DE)
• **Zhang, Jiahua**
59929 Brilon (DE)

- **Carlen, Martin**
5443 Niederrohrdorf (CH)
- **Steinmetz, Thorsten**
5405 Baden-Dättwil (CH)
- **Weber, Benjamin**
59955 Winterberg (DE)

(74) Vertreter: **Kock, Ina et al**
ABB AG
GF-IP
Wallstadter Straße 59
68526 Ladenburg (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 050 432 EP-A1- 1 852 892
WO-A1-99/14771 WO-A1-2011/099976
DE-A1- 10 042 283 US-A1- 2010 103 585

EP 2 709 124 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Transformator mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1.

[0002] Ein Beispiel für einen Transformator ist in den Patentschrift US-A-2010103585 beschrieben.

[0003] Es ist allgemein bekannt, dass in elektrischen Energieverteilungsnetzen Transformatoren eingesetzt werden, um Netzteile unterschiedlicher Spannungsebenen miteinander zu koppeln. Derartige Transformatoren sind in einer verbraucher- beziehungsweise erzeugernahen Spannungsebene häufig als Trockentransformatoren ausgeführt und weisen beispielsweise Nennspannungen im Bereich von 1 kV bis 6kV unterspannungsseitig und Nennspannungen im Bereich von 10kV bis 30kV overspannungsseitig auf, wobei entsprechende Nennleistungen im Bereich von beispielsweise 0,5 MVA bis 10 MVA liegen. Aber auch im Bereich von Windkraftanlagen finden derartige Transformatoren Anwendung, wobei sich hier die Nennleistung eines Transformators nach der Leistung einer zugehörigen Windkraftanlage richtet. Aufgrund der hohen Nennströme im Unterspannungsbereich, welche beispielsweise einige 100A betragen können, sind die Unterspannungswicklungen häufig aus einem Bandleiter gewickelt ausgeführt, wobei die Breite eines Bandleiters zumeist der kompletten axialen Länge einer jeweiligen Transformatorwicklung entspricht. Je nach Ausführungsform und Anforderungen des Transformators liegt die Anzahl an unterspannungsseitigen Windungen beispielsweise im Bereich um zehn Windungen, insbesondere auch bei Anwendungen für Windkraftanlagen, wo die generatorseits erzeugte Spannung entsprechend gering ist und durch den Transformator auf ein höheres Arbeitsniveau zu setzen ist.

[0004] Zu Regelungszwecken ist es eine bekannte Vorgehensweise, vorzugsweise die overspannungsseitige(n) Wicklung(en) eines Transformators mit mehreren Anzapfungen zu versehen, welche beispielsweise mittels eines jeweiligen Stufenschalters anwählbar sind, so dass das Übersetzungsverhältnis des Transformators damit in einem Regelbereich veränderbar ist. Eine erhöhte Regelbarkeit ist bei Anwendungen für Windkraftanlagen erforderlich, um eine Anpassung des Transformators auf die aus unterschiedlichen Windverhältnissen resultierenden Randbedingungen sicher zu stellen.

[0005] Der Aktivteil eines Transformators weist einen geschlossenen Eisenkreis und wenigstens eine Ober- und Unterspannungswicklung mit ganzzahligen, geschlossenen Windungen um den jeweiligen Kernschenkel auf. Die induzierte Spannung je geschlossener Leiterschleife ist abhängig von Netzfrequenz, Flussdichte und Kernquerschnitt.

[0006] Nachteilig ist, einerseits, dass ein overspannungsseitig angeordneter Stufenschalter aufgrund der hohen Spannungsbeanspruchung sehr komplex zu fertigen ist und dass die Regelung der Spannung minimal in derjenigen Spannungsstufung erfolgen kann, welche der induzierten Spannung einer kompletten Windung

entspricht. Bei einer Spannungsreglung ist die minimale Regelstufe daher auf den Spannungsunterschied zwischen zwei Windungen limitiert. Dies ist insbesondere bei den zuvor erwähnten unterspannungsseitigen Bandwicklungen von Nachteil, weil aufgrund der relativ niedrigen Gesamtzahl an Windungen, beispielsweise im Bereich von zehn, eine feine Regelung im Bereich von beispielsweise +/- 15% in beispielsweise Schritten von 1,5% um die Nennübersetzung nicht möglich ist.

[0007] Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es Aufgabe der Erfindung, einen Transformator bereitzustellen, welcher unterspannungsseitig eine Regelung der Spannung in kleineren Spannungsschritten ermöglicht, wobei ein entsprechender Stufenschalter aufgrund der dann geringeren Spannungsbeanspruchung einfacher zu fertigen ist.

[0008] Diese Aufgabe wird gelöst durch einen Transformator der eingangs genannten Art. Dieser ist dadurch gekennzeichnet, dass der Querschnitt des Kernschenkels und/oder eines ausgebildeten Kernjochs des Transformatorkerns in einer quer zu deren jeweiliger Erstreckung gedachten Querschnittsebene wenigstens zwei durch einen Durchbruch getrennte Bereiche aufweist und dass wenigstens eine Windung der jeweiligen Zusatzwicklung durch den Durchbruch geführt ist

[0009] Die Grundidee der Erfindung besteht darin, die induzierte Spannung einer kompletten Windung, welche zu Regelzwecken vorgesehen ist, dadurch zu reduzieren, dass diese nicht den Querschnitt des kompletten Kernschenkels beziehungsweise eines Kernjochs des Transformatorkerns sondern nur einen Teil des Querschnitts umschließt. Dadurch wird auch nur ein Teil des Flusses durch den Kernschenkel beziehungsweise durch das Kernjoch umgriffen und die in eine solche Windung induzierte Spannung ist entsprechend verringert. Hierzu ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass der Kernschenkelquerschnitt beziehungsweise der Kernjochquerschnitt in einer quer zu deren jeweiliger Erstreckung gedachten Querschnittsebene wenigstens zwei Bereiche aufweisen, die durch einen Durchbruch voneinander getrennt sind. Die Erstreckung ist in Längsrichtung eines jeweiligen Schenkel- oder Jochabschnittes zu verstehen. In welchem Winkel innerhalb der Querschnittsebene ein Durchbruch verläuft ist prinzipiell unerheblich, maßgeblich sind die fertigungstechnischen Randbedingungen. Dieser Durchbruch ermöglicht es, eine oder auch mehrere Windungen der Zusatzwicklung hindurch zu führen, womit der Spannungshub der jeweiligen Windung verringert ist. Hierdurch ist in vorteilhafter Weise eine feinere Abstufung der Spannung der Zusatzwicklung erreicht.

[0010] Ein Durchbruch kann beispielsweise mittels einer Bohrung realisiert sein, welche durch den Kernschenkel oder das Kernjoch geführt ist. Bei einem geschichteten Transformator Kern kann durch entsprechende Aussparungen in einem Blechlagenbereich ebenfalls ein kanalähnlicher Durchbruch für einen beispielsweise runden Leiter geschaffen werden. Entsprechend einer weiteren Ausgestaltungsform der Erfindung ist der

Durchbruch als Spalt ausgeführt, welcher sich längs des Kernschenkels erstreckt. Ein derartiger Spalt lässt sich je nach Transformatorkerntyp besonders einfach realisieren.

[0011] Selbstverständlich ist es auch möglich, eine entsprechend höhere Anzahl an Spalten und damit auch an Querschnittsbereichen vorzusehen. Die Unterteilung kann prinzipiell beliebig sein um die Anforderungen an die Regelbarkeit zu erfüllen, z. B. 1/3, oder 1/4. Spezifische Spannungsstufen lassen sich aber auch realisieren, indem mehrere Windungen um einen Teil des Schenkels gelegt werden, beispielsweise 3 Windungen um 1/4 des Kernschenkelquerschnittes, 4 Windungen um 1/5 des Kernschenkelquerschnittes oder 9 Windungen um 1/10 des Kernschenkelquerschnittes. Werden die Wicklungen separat um einen Teil des Kernschenkelquerschnittes gelegt, kann die Beschaltung durch die Wahl des Wickelsinns beziehungsweise der Polarität der (Zusatz-) Windung genutzt werden, um diese entweder additiv oder subtraktiv wirken zu lassen. Damit ist es möglich, die für die Spannungsregelbarkeit notwendige Anzahl der (Zusatz-) Windungen zu reduzieren.

[0012] Dies soll anhand des Beispiels von 4 (Zusatz-) Windungen um 1/5 des Kernschenkelquerschnittes erläutert werden. Ohne Polaritätswechsel ergibt sich eine einstellbare Windungszahl von:

$$\begin{array}{ll} 1, & = 1 \\ 1 + 1/5 & = 1,2, \\ 1 + 2/5 & = 1,4, \\ 1 + 3/5 & = 1,6, \\ 1 + 4/5 & = 1,8, \\ 2 & = 2. \end{array}$$

[0013] Für einen darüber hinaus gehenden Regelbereich bietet es sich an, Anzapfungen von Windungen der Zusatzwicklung zu verwenden, welche den gesamten Kernschenkelquerschnitt umschließen. So werden die durch einen jeweiligen Spalt geführten Windungen letztendlich ausschließlich für die Feinregelstufen genutzt.

[0014] Mit Polaritätswechsel ergibt sich bei 2 (Zusatz-) Windungen um 1/5 des Kernschenkelquerschnittes unter Berücksichtigung eines Polaritätswechsels folgendes Beispiel:

$$\begin{array}{ll} 1, & = 1, \\ 1 + 1/5 & = 1,2, \\ 1 + 2/5 & = 1,4, \\ 2 - 2/5 & = 1,6, \\ 2 - 1/5 & = 1,8, \\ 2 & = 2. \end{array}$$

[0015] Es aber ist auch möglich, gleichzeitig (Zusatz-) Windungen vorzusehen, welche unterschiedlich große Teile des Kernschenkelquerschnittes umschließen, z.B. 1/2 und 1/4. Beispielsweise lässt sich die Spannung in

+/- 25% Schritten der Spannung einer vollen Windung regulieren, indem die Kernschenkelquerschnittsfläche in drei Bereiche unterteilt wird, deren Inhalte 50%, 25% und 25% der gesamten Querschnittsfläche betragen. Hiermit werden +/-25%, +/-50% und +/-75% Schritte der vollen Spannung einer Windung erzielt.

[0016] Entsprechend einer besonders bevorzugten Ausgestaltungsform des erfindungsgemäßen Transformators ist zumindest die Zusatzwicklung durch einen Flachbandleiter gebildet, idealerweise aber auch die Hauptwicklung. Ein Flachbandleiter eignet sich aufgrund seines hohen Füllfaktors in besonderer Weise für eine unterspannungsseitige Transformatorwicklung, wo bei relativ geringen Nennspannungen im Bereich von beispielsweise einigen 100V bis auch über 1 kV mit entsprechend hohen Strömen zu rechnen ist, welche durchaus 1000 A übersteigen können. Darüber hinaus ist ein Flachbandleiter fertigungstechnisch auch besonders einfach durch einen erfindungsgemäßen Spalt zu führen, welcher zwei Kernschenkelbereiche voneinander trennt. Typischerweise weist ein derartiger Flachbandleiter eine Breite auf, welche der gesamten axialen Höhe der jeweiligen Wicklung entspricht, so dass eine Leiterlage jeweils genau eine Windung umfasst.

[0017] Zur sicheren elektrischen Isolation des durch den Spalt geführten Wicklungsleiters ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass dieser zumindest im Bereich des Spaltes von einer zusätzlichen Schicht aus einem elektrischen Isolationsmaterial umgeben ist. Der Spalt ist durch den typischerweise geordneten Transformatorkern gebildet und daher isolationstechnisch von besonderer Bedeutung, insbesondere weil - je nach aktueller Verschaltung der Zusatzwicklung - in den durch den Spalt geführten Windung(en) auch die volle Nennspannung anliegen kann. Optional ist es aber auch möglich, die Spaltwandungen von einer zusätzlichen Schicht Isolationsmaterial zu umgeben.

[0018] Entsprechend einer besonders bevorzugten Ausgestaltungsform des erfindungsgemäßen Transformators ist die Zusatzwicklung mit mehreren auf unterschiedliche Windungen zugreifenden Anzapfungen versehen. Idealerweise weist die Zusatzwicklung einen Feinabstufungsbereich auf, welcher durch Anzapfungen von durch den jeweiligen Spalt eines Kernschenkels geführten Windungen der Zusatzwicklung gekennzeichnet ist. Diese weisen jeweils eine induzierte Spannung auf, welche geringer ist als die induzierte Spannung einer den jeweiligen Kernschenkel komplett umfassenden Windung. Darüber hinaus kann ein Grobabstufungsbereich vorgesehen sein, welcher durch Anzapfungen von den Kernschenkel jeweils komplett umfassenden Windungen gekennzeichnet ist. Durch entsprechende Reihenschaltung des Grob- und des Feinabstufungsbereiches lässt sich eine Feinabstufung über einen weiten Bereich erzielen.

[0019] Gemäß einer weiteren erfindungsgemäßen Variante des Transformators sind Schaltmittel vorgesehen, um die Hauptwicklung wahlweise mit einer der Anzap-

fungen der Zusatzwicklung zu verbinden, so dass die Anzahl der aktiven Windungen der elektrisch verbundenen Haupt- und Zusatzwicklung damit anpassbar ist. Gegebenenfalls sind für Grob- und Feinabstufungsbereich der Zusatzwicklung separate Schaltmittel vorgesehen.

[0020] Entsprechend einer weiteren Ausgestaltungsform des Transformators umfassen die Schaltmittel einen Stufenschalter und/oder leistungselektronische Komponenten. Stufenschalter haben sich für die wahlweise Anwahl und Verschaltung von Anzapfungen einer Transformatorwicklung als Standardkomponente bewährt. Bedarfsweise sind auch leistungselektronische Komponenten wie Thyristoren oder IGBT vorgesehen.

[0021] Prinzipiell ist die Erfindung auf jeden beliebigen Transformatorkerntyp anwendbar, insbesondere auch auf Dreischenkelerne, Fünfschenkelerne oder auch einen Transformator mit dreieckförmigem Grundriss. Diese können beispielsweise geschichtet oder auch gewickelt sein. Einige besondere Ausgestaltungsformen sollen aber nachfolgend detaillierter dargestellt werden.

[0022] Gemäß einer weiteren Variante des erfindungsgemäßen Transformators ist der Transformator Kern aus einer rechteckähnlichen äußeren Kernringscheibe und wenigstens zwei von dieser umschlossenen rechteckähnlichen inneren Kernringscheiben gebildet, wobei im Schenkelbereich zwischen aneinander grenzenden Abschnitten der Kernringscheiben ein jeweiliger Spalt gebildet ist. Der Grundaufbau eines derartigen Transformator Kerns entspricht - abgesehen von den jeweiligen Spalten - prinzipiell dem Aufbau eines Evans Transformator Kerns. Die Kernringscheiben sind vorzugsweise aus jeweils gewickeltem Bandmaterial gefertigt. Neben Standardtransformatorblech kann hierfür beispielsweise auch amorphes Bandmaterial verwendet werden. Selbstverständlich ist aber auch eine Schichtung des flächigen Kernmaterials möglich.

[0023] Eine weitere Variante des erfindungsgemäßen Transformators ist dadurch gekennzeichnet, dass der Transformator Kern aus drei rechteckähnlichen in einem Dreieck angeordneten Kernringscheiben gebildet ist, wobei im Schenkelbereich zwischen aneinander grenzenden Abschnitten der Kernringscheiben ein jeweiliger Spalt gebildet ist. Auch hier ist es möglich, eine Kernringscheibe entweder aus einem bandähnlichen Material zu wickeln oder aber auch aus einem blechähnlichen Material zu schichten.

[0024] Gemäß einer weiteren Ausgestaltungsform des erfindungsgemäßen Transformators ist der Transformator Kern ein Ringkern, durch welchen der wenigstens eine Kernschenkel gebildet ist. Der gesamte Ringkern ist dann als gebogener Transformator Kernschenkel anzusehen, wobei zur Bildung des erfindungsgemäßen längs des Ringkerns verlaufenden Spaltes wenigstens zwei Ringkernmodule vorgesehen sind.

[0025] Gemäß einer weiteren erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Transformators ist radial um die Hauptwicklung eine galvanisch davon getrennte weitere Wicklung angeordnet. Hierbei ist die Hauptwicklung un-

terspannungsseitig und die weitere Wicklung überspannungsseitig verschaltet. Durch das Verhältnis der jeweils aktiven ober- und unterspannungsseitigen Windungen zueinander ist das Übersetzungsverhältnis des Transformators bestimmt. Dieser ist gemäß einer weiteren Ausgestaltungsform dreiphasig ausgeführt. Dies ist insbesondere beim Einsatz in einem Energieverteilungsnetz sinnvoll.

[0026] Einer weiteren Ausgestaltungsform der Erfindung folgend ist die um einen Transformator Kernschenkel angeordnete Hauptwicklung elektrisch in Reihe geschaltet ist mit einer Zusatzwicklung, welche um denselben Kernschenkel angeordnet ist. Hierdurch entspricht die Phasenlage der in der Zusatzwicklung induzierten Spannung der Phasenlage der in der Hauptwicklung induzierten Spannung, beziehungsweise sie ist bei entsprechender Verschaltung mit Polaritätswechsel um 180° versetzt und in Phasenopposition. Hierdurch ist eine Längsregelung der Spannung erreicht.

[0027] Einer weiteren Ausgestaltungsform entsprechend ist die um einen Transformator Kernschenkel angeordnete Hauptwicklung elektrisch in Reihe geschaltet mit einer Zusatzwicklung, welche um einen benachbarten Transformator Kernschenkel angeordnet ist. Somit ergibt sich bei einem dreiphasigen Transformator eine Phasenverschiebung von 120° beziehungsweise 240° zwischen der in der Haupt- und der Zusatzwicklung induzierten Spannung. Bei einer entsprechenden Verschaltung mit Polaritätswechsel lässt sich so eine Schrägregelung mit einem 60° Winkel realisieren.

[0028] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungsmöglichkeiten sind den weiteren abhängigen Ansprüchen zu entnehmen.

[0029] Anhand der in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiele sollen die Erfindung, weitere Ausführungsformen und weitere Vorteile näher beschrieben werden.

[0030] Es zeigen:

- Fig. 1 einen exemplarischen Querschnitt eines ersten Kernschenkels,
- Fig. 2 einen exemplarischen Querschnitt eines zweiten Kernschenkels,
- Fig. 3 einen exemplarischen ersten Transformator Kern,
- Fig. 4 einen exemplarischen zweiten Transformator Kern,
- Fig. 5 einen exemplarischen Transformator sowie
- Fig. 6 eine exemplarische Reihenschaltung von Haupt- und Zusatzwicklung.

[0031] Fig. 1 zeigt einen exemplarischen Querschnitt eines ersten Kernschenkels 10, welcher durch zwei gleichartige Kernschenkelmodule mit jeweils gleichen Querschnittsbereichen 12, 14 gebildet ist, wobei dazwischen ein Spalt 16 ausgeprägt ist, der die Querschnittsbereiche 12 und 14 voneinander trennt. Um den ersten Querschnittsbereich 12 herum, welcher 50% der Ge-

samtquerschnittsfläche des Kernschenkels 10 ausmacht, sind zwei exemplarische Windungen 18, 20 eines Bandleiters angeordnet, welche durch den Spalt 16 geführt und Teil einer exemplarischen Zusatzwicklung sind. Da jede der beiden Windungen nur 50% des gesamten Kernschenkelquerschnitts umgreift, beträgt dementsprechend die im Betrieb in eine jeweilige Windung induzierte Spannung nur 50% der Spannung eines Leiters, welcher den gesamten Kernschenkelquerschnitt umgreift. Auf diese Weise ist eine feinere Spannungsabstufung der Anzapfungen realisiert, welche mit den Bezugszeichen 22 und 24 gekennzeichnet sind. Diese sind dafür vorgesehen, mit einem nicht gezeigten Stufenschalter verbunden zu werden, welcher seinerseits mit einer nicht gezeigten Hauptwicklung verbunden ist.

[0032] Fig. 2 zeigt einen exemplarischen Querschnitt eines zweiten Kernschenkels 30, welcher durch zwei Kernschenkelmodule gebildet ist, deren Querschnittsbereiche 32 und 34 in etwa im Verhältnis 1:3 aufgeteilt sind. Der erste Querschnittsbereich 32, welcher etwa 25% der gesamten Kernschenkelquerschnittsfläche ausmacht, ist von einer ersten durch einen Spalt 36 geführten Windung 38 einer Zusatzwicklung umgriffen, wobei eine zweite Windung 40 der Zusatzwicklung den kompletten Kernschenkelquerschnitt umgreift. Dementsprechend beträgt die Höhe der im Betrieb in der ersten Windung 38 induzierten Spannung 25% der im Betrieb in der zweiten Windung 40 induzierten Spannung. Auf diese Weise ist eine feinere Spannungsabstufung der Anzapfungen realisiert, welche mit den Bezugszeichen 42 und 44 gekennzeichnet sind. Diese sind dafür vorgesehen, mit einem nicht gezeigten Stufenschalter verbunden zu werden, welcher seinerseits mit einer nicht gezeigten Hauptwicklung verbunden ist.

[0033] Fig. 3 zeigt einen exemplarischen ersten Transformator Kern 50 in einer Schnittdarstellung. Eine rechteckähnliche äußere Kernringscheibe 52, beispielsweise mit einer Breite von 2m und einer Höhe von 1,5m, umschließt zwei ebenfalls rechteckähnliche innere Kernringscheiben 54, 56, so dass ein Transformator Kern mit drei Kernschenkeln 64 gebildet ist, wobei jeder Kernschenkel 64 seinerseits aus zwei aneinander grenzenden Schenkelabschnitten von jeweiligen Kernringscheiben gebildet ist. Zwischen den Schenkelabschnitten ist ein jeweiliger Spalt 58 ausgeprägt, welcher dafür vorgesehen ist, dass einer oder auch mehrere Wicklungsleiter einer radial innen um den jeweiligen Kernschenkel angeordneten und nicht gezeigten Zusatzwicklung durch diesen hindurchgeführt werden. Ein derartiger Spalt 58 lässt sich sehr einfach dadurch realisieren, dass die Summe der äußeren Breiten der inneren Kernringscheiben geringer ist als die innere Breite der diese umgreifenden äußeren Kernringscheibe. Kernringscheiben können beispielsweise aus gewickeltem Bandmaterial gefertigt sein oder aber auch aus geschichtetem Blech.

[0034] Fig. 4 zeigt einen exemplarischen zweiten Transformator Kern 70 in einer Schnittdarstellungsdraufsicht. Drei rechteckähnliche Kernringscheiben 72, 74, 76

sind benachbart in einem gleichseitigen Dreieck angeordnet, wobei aneinander grenzende Schenkelabschnitte einen jeweiligen Kernschenkel 78, 80 mit einem jeweiligen Spalt 82 dazwischen bilden. Um einen der beiden Schenkelabschnitte eines Kernschenkels 78, 80 herum und durch einen dazwischen liegenden Spalt hindurch ist eine exemplarische erste Windung 84 einer Zusatzwicklung geführt, welche 50% der Querschnittsfläche des entsprechenden Kernschenkels umgreift und in welche beim Betrieb eine entsprechend verringerte Spannung induziert wird. Eine zweite exemplarische Windung 86 der Zusatzwicklung umgreift die gesamte Querschnittsfläche desselben Kernschenkels. Die Zusatzwicklung ist mittels der Anschlüsse 88, 90 beispielsweise mit einem nicht gezeigten Stufenschalter einer nicht gezeigten Hauptwicklung verbindbar.

[0035] Fig. 5 zeigt einen exemplarischen Transformator 100, welcher als Ringkerntransformator ausgeführt ist. Der ringähnliche Transformator Kern weist einen ringähnlichen radial äußeren ersten Teil 102 und einen ringähnlichen radial inneren Teil 104 auf, wobei dazwischen ein Spalt ausgeprägt ist. Selbstverständlich ist es auch möglich, den Transformator Kern nicht exakt kreisförmig, sondern auch beispielsweise polygonal auszugestalten. Längs der ringähnlichen Erstreckung des Transformator Kerns und diesen umgreifend sind zwei exemplarische Hauptwicklungen 106a,b und zwei exemplarische Zusatzwicklungen 108a,b vorgesehen, welche - wie nicht dargestellt - zu einer unterspannungsseitigen Wicklung verschaltet sind. Die Zusatzwicklungen 108a,b umgreifen lediglich einen Teil des Kernquerschnitts und es wird im Betrieb eine entsprechend geringere Spannung je Windung induziert. In Kombination mit entsprechenden Anzapfungen und mit beispielsweise einem Stufenschalter ergibt sich eine feinstufige Regelmöglichkeit der unterspannungsseitigen Wicklung. Ebenfalls auf dem Ringkern angeordnet sind zwei weitere galvanisch getrennte Wicklungen 107a,b, welche zu einer Oberspannungswicklung verschaltet sind.

[0036] Fig. 6 zeigt eine exemplarische Reihenschaltung einer Hauptwicklung 112 und einer Zusatzwicklung 114 zu einer unterspannungsseitigen Wicklung mit jeweiligen Anschlüssen 120, 122. Die Zusatzwicklung weist mehrere Anzapfungen 116 auf, wobei zwischen benachbarten Anzapfungen jeweils eine erfindungsgemäß durch einen Spalt eines nicht gezeigten zugehörigen Transformator Kerns geführte Windung angeordnet ist, welche beispielsweise jeweils 1/6 eines jeweiligen Kernschenkelquerschnittes umgreift. Ein Stufenschalter 118 ist dafür vorgesehen, einen elektrischen Kontakt mit einer jeweils ausgewählten Anzapfung 116 herzustellen und eine Reihenschaltung von Hauptwicklung 112 mit dem entsprechenden Teil der Zusatzwicklung 114 herzustellen.

Bezugszeichenliste

[0037]

10 exemplarischer Querschnitt eines ersten
Kernschenkels
12 erster Bereich des Querschnitts des ersten
Kernschenkels
14 zweiter Bereich des Querschnitts des ersten
Kernschenkels
16 erster Spalt
18 erste Windung der Zusatzwicklung um ersten
Kernschenkel
20 zweite Windung der Zusatzwicklung um ers-
ten Kernschenkel
22 erste Anzapfung der Zusatzwicklung um ers-
ten Kernschenkel
24 zweite Anzapfung der Zusatzwicklung um ers-
ten Kernschenkel
30 exemplarischer Querschnitt eines zweiten
Kernschenkels
32 erster Bereich des Querschnitts des zweiten
Kernschenkels
34 zweiter Bereich des Querschnitts des zweiten
Kernschenkels
36 zweiter Spalt
38 erste Windung der Zusatzwicklung um zwei-
ten Kernschenkel
40 zweite Windung der Zusatzwicklung um zwei-
ten Kernschenkel
42 erste Anzapfung der Zusatzwicklung um zwei-
ten Kernschenkel
44 zweite Anzapfung der Zusatzwicklung um
zweiten Kernschenkel
50 exemplarischer erster Transformatorkern
52 äußere Kernringscheibe
54 erste innere Kernringscheibe
56 zweite innere Kernringscheibe
58 dritter Spalt
60 vierter Spalt
62 hohlzylinderähnlicher Wicklungsbereich
64 dritter Kernschenkel
70 exemplarischer zweiter Transformatorkern
72 erste Kernringscheibe
74 zweite Kernringscheibe
76 dritte Kernringscheibe
78 vierter Kernschenkel
80 fünfter Kernschenkel
82 fünfter Spalt
84 erste Windung der Zusatzwicklung
86 zweite Windung von Zusatzwicklung
88 erster Anschluss von Zusatzwicklung
90 zweiter Anschluss von Zusatzwicklung
100 exemplarischer Transformator
102 erster Teil des Transformatorkerns
104 zweiter Teil des Transformatorkerns
106a,b Hauptwicklung
107a,b galvanisch getrennte weitere Wicklung
108a,b Zusatzwicklung
110 exemplarische Reihenschaltung von Haupt-
und Zusatzwicklung
112 Hauptwicklung

114 Zusatzwicklung
116 Anzapfungen
118 Stufenschalter
120 erster Anschluss
122 zweiter Anschluss

Patentansprüche

- 10 1. Transformator, umfassend einen Transformatorkern (50, 70) mit wenigstens einem Kernschenkel (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) sowie eine um den jeweiligen Kernschenkel (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) in einem hohlzylinderähnlichen Wicklungsbereich (62) angeordnete Haupt- (106a,b, 112) und eine damit elektrisch verbundene kernnah angeordnete Zusatzwicklung (108a,b, 114),
dadurch gekennzeichnet,
dass der Querschnitt des Kernschenkels (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) und/oder eines ausgebildeten Kernjochs des Transformatorkerns (50, 70) in einer quer zu deren jeweiliger Erstreckung gedachten Querschnittsebene wenigstens zwei durch einen Durchbruch getrennte Bereiche (12, 14, 32, 34) aufweist und dass wenigstens eine Windung (18, 20, 38, 40, 84, 86) der jeweiligen Zusatzwicklung (108a,b, 114) durch den Durchbruch geführt ist.
- 15 2. Transformator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass der Durchbruch ein Spalt ist, welcher sich längs des Kernschenkels (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) erstreckt.
- 20 3. Transformator nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet,** dass zumindest die Zusatzwicklung (108a,b, 114) durch einen Flachbandleiter gebildet ist.
- 25 4. Transformator nach einem Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet,** dass der Flachbandleiter zumindest im Bereich des Durchbruchs (16, 36, 58, 60, 82) von einer zusätzlichen Schicht aus elektrischem Isolationsmaterial umgeben ist.
- 30 5. Transformator nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Zusatzwicklung (108a,b, 114) mit mehreren auf unterschiedliche Windungen (18, 20, 38, 40, 84, 86) der Zusatzwicklung (108a,b, 114) zugreifenden Anzapfungen (22, 24, 42, 44, 116) versehen ist.
- 35 6. Transformator nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet,** dass Schaltmittel vorgesehen sind, um die Hauptwicklung wahlweise mit einer der Anzapfungen (22, 24, 42, 44, 116) zu verbinden, so dass die Anzahl der aktiven Windungen der elektrisch verbundenen Haupt- (106a,b, 112) und Zusatzwicklung (108a,b, 114) damit anpassbar ist.
- 40
- 45
- 50
- 55

7. Transformator nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaltmittel einen Stufenschalter (118) und/oder leistungselektronische Komponenten umfassen.
8. Transformator nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Transformator Kern (50, 70) aus einer rechteckähnlichen äußeren Kernringscheibe (52) und wenigstens zwei von dieser umschlossenen rechteckähnlichen inneren Kernringscheiben (54, 56) gebildet ist, wobei im Schenkelbereich zwischen aneinander grenzenden Abschnitten der Kernringscheiben (52, 54, 56) ein jeweiliger Spalt (16, 36, 58, 60, 82) gebildet ist.
9. Transformator nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Transformator Kern (50, 70) aus drei rechteckähnlichen in einem Dreieck angeordneten Kernringscheiben (72, 74, 76) gebildet ist, wobei im Schenkelbereich zwischen aneinander grenzenden Abschnitten der Kernringscheiben (72, 74, 76) ein jeweiliger Spalt (16, 36, 58, 60, 82) gebildet ist.
10. Transformator nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Transformator Kern (50, 70) ein Ringkern ist, durch welchen der wenigstens eine Kernschenkel (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) gebildet ist.
11. Transformator nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** radial um die Hauptwicklung (106a,b, 112) eine galvanisch getrennte weitere Wicklung (107a,b) angeordnet ist.
12. Transformator nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** dieser dreiphasig ausgeführt ist.
13. Transformator nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die um einen Transformator Kernschenkel (10, 30, 64, 78, 80) angeordnete Hauptwicklung (106a,b, 112) elektrisch in Reihe geschaltet ist mit einer Zusatzwicklung (108a,b, 114), welche um denselben Kernschenkel (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) angeordnet ist.
14. Transformator nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die um einen Transformator Kernschenkel (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) angeordnete Hauptwicklung (106, 112) elektrisch in Reihe geschaltet ist mit einer Zusatzwicklung (106a,b, 114), welche um einen benachbarten Transformator Kernschenkel (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) angeordnet ist.

Claims

1. Transformer, comprising a transformer core (50, 70) having at least one core limb (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) and a main winding (106a,b, 112), which is arranged around the respective core limb (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) in a hollow-cylinder-like winding region (62), and an auxiliary winding (108a,b, 114), which is arranged close to the core and is electrically connected to said main winding, **characterized in that** the cross section of the core limb (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) and/or of a core yoke formed of the transformer core (50, 70) has at least two regions (12, 14, 32, 34) separated by an aperture in a cross-sectional plane which is imaginary transverse to the respective extent of said core limb and said core yoke, and **in that** at least one turn (18, 20, 38, 40, 84, 86) of the respective auxiliary winding (108a,b, 114) is passed through the aperture.
2. Transformer according to Claim 1, **characterized in that** the aperture is a gap which extends along the core limb (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104).
3. Transformer according to Claim 2, **characterized in that** at least the auxiliary winding (108a,b, 114) is formed by a flat ribbon conductor.
4. Transformer according to Claim 3, **characterized in that** the flat ribbon conductor is surrounded, at least in the region of the aperture (16, 36, 58, 60, 82), by an additional layer consisting of an electrical insulation material.
5. Transformer according to one of the preceding claims, **characterized in that** the auxiliary winding (108a,b, 114) is provided with a plurality of taps (22, 24, 42, 44, 116) on different turns (18, 20, 38, 40, 84, 86) of the auxiliary winding (108a,b, 114).
6. Transformer according to Claim 4, **characterized in that** switching means are provided in order to connect the main winding optionally to one of the taps (22, 24, 42, 44, 116), with the result that the number of active turns of the main winding (106a,b, 112) and auxiliary winding (108a,b, 114), which are electrically connected, can be adapted thereto.
7. Transformer according to Claim 6, **characterized in that** the switching means comprise an on-load tap changer (118) and/or power electronics components.
8. Transformer according to one of the preceding claims, **characterized in that** the transformer core (50, 70) is formed from a rectangle-like outer core ring disc (52) and at least two rectangle-like inner

core ring discs (54, 56) surrounded thereby, wherein a respective gap (16, 36, 58, 60, 82) is formed in the limb region between adjoining sections of the core ring discs (52, 54, 56).

9. Transformer according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** the transformer core (50, 70) is formed from three rectangle-like core ring discs (72, 74, 76) arranged in a triangle, wherein a respective gap (16, 36, 58, 60, 82) is formed in the limb region between adjoining sections of the core ring discs (72, 74, 76).
10. Transformer according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** the transformer core (50, 70) is a toroidal core, by means of which the at least one core limb (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) is formed.
11. Transformer according to one of the preceding claims, **characterized in that** a galvanically isolated further winding (107a,b) is arranged radially around the main winding (106a,b, 112).
12. Transformer according to Claim 11, **characterized in that** said transformer has a three-phase embodiment.
13. Transformer according to Claim 12, **characterized in that** the main winding (106a,b, 112), which is arranged around a transformer core limb (10, 30, 64, 78, 80), is connected electrically in series with an auxiliary winding (108a,b, 114), which is arranged around the same core limb (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104).
14. Transformer according to Claim 12, **characterized in that** the main winding (106, 112), which is arranged around a transformer core limb (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104), is connected electrically in series with an auxiliary winding (106a,b, 114), which is arranged around an adjacent transformer core limb (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104).

Revendications

1. Transformateur, comprenant un noyau de transformateur (50, 70) avec au moins une branche de noyau (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) ainsi qu'un enroulement principal (106a,b, 112) disposé autour de la branche de noyau respective (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) dans une région d'enroulement (62) de type cylindre creux et un enroulement supplémentaire (108a,b, 114) disposé à proximité du noyau et connecté électriquement à l'enroulement principal, **caractérisé en ce que** la section transversale de la branche de noyau (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) et/ou d'une culasse de

noyau réalisée du noyau de transformateur (50, 70), dans un plan imaginaire en section transversale transversalement par rapport à son étendue respective, présente au moins deux régions (12, 14, 32, 34) séparées par un orifice et **en ce qu'**au moins une spire (18, 20, 38, 40, 84, 86) de l'enroulement supplémentaire respectif (108a,b, 114) est guidée à travers l'orifice.

2. Transformateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'orifice est une fente qui s'étend le long de la branche de noyau (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104).
3. Transformateur selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'**au moins l'enroulement supplémentaire (108a,b, 114) est formé par un conducteur plat.
4. Transformateur selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** le conducteur plat est entouré au moins dans la région de l'orifice (16, 36, 58, 60, 82) par une couche supplémentaire en matériau électriquement isolant.
5. Transformateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'enroulement supplémentaire (108a,b, 114) est pourvu de plusieurs prises (22, 24, 42, 44, 116) accédant à différentes spires (18, 20, 38, 40, 84, 86) de l'enroulement supplémentaire (108a,b, 114).
6. Transformateur selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** des moyens de commutation sont prévus pour relier l'enroulement principal de manière sélective à l'une des prises (22, 24, 42, 44, 116) de telle sorte que le nombre des spires actives de l'enroulement principal (106a,b, 112) et de l'enroulement supplémentaire (108a,b, 114) connectés électriquement puisse être adapté à ceux-ci.
7. Transformateur selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** les moyens de commutation comprennent un commutateur à plots (118) et/ou des composants électroniques de puissance.
8. Transformateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le noyau de transformateur (50, 70) est formé d'un disque annulaire de noyau extérieur de type rectangulaire (52) et d'au moins deux disques annulaires de noyau intérieurs de type rectangulaire (54, 56) entourés par celui-ci, une fente respective (16, 36, 58, 60, 82) étant formée dans la région des branches entre des portions mutuellement adjacentes des disques annulaires de noyau (52, 54, 56).
9. Transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le noyau de

transformateur (50, 70) est formé de trois disques annulaires de noyau (72, 74, 76) de type rectangulaire disposés en triangle, une fente respective (16, 36, 58, 60, 82) étant formée dans la région des branches entre des portions mutuellement adjacentes des disques annulaires de noyau (72, 74, 76). 5

10. Transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le noyau de transformateur (50, 70) est un noyau annulaire formant l'au moins une branche de noyau (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104). 10
11. Transformateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'un** enroulement supplémentaire isolé galvaniquement (107a,b) est disposé radialement autour de l'enroulement principal (106a,b, 112). 15
12. Transformateur selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** celui-ci est réalisé sous forme triphasée. 20
13. Transformateur selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** l'enroulement principal (106a,b, 112) disposé autour d'une branche de noyau de transformateur (10, 30, 64, 78, 80) est branché électriquement en série avec un enroulement supplémentaire (108a,b, 114) qui est disposé autour de la même branche de noyau (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104). 25 30
14. Transformateur selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** l'enroulement principal (106, 112) disposé autour d'une branche de noyau de transformateur (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104) est branché électriquement en série avec un enroulement supplémentaire (106a,b, 114) qui est disposé autour d'une branche de noyau de transformateur adjacente (10, 30, 64, 78, 80, 102 + 104). 35 40

45

50

55

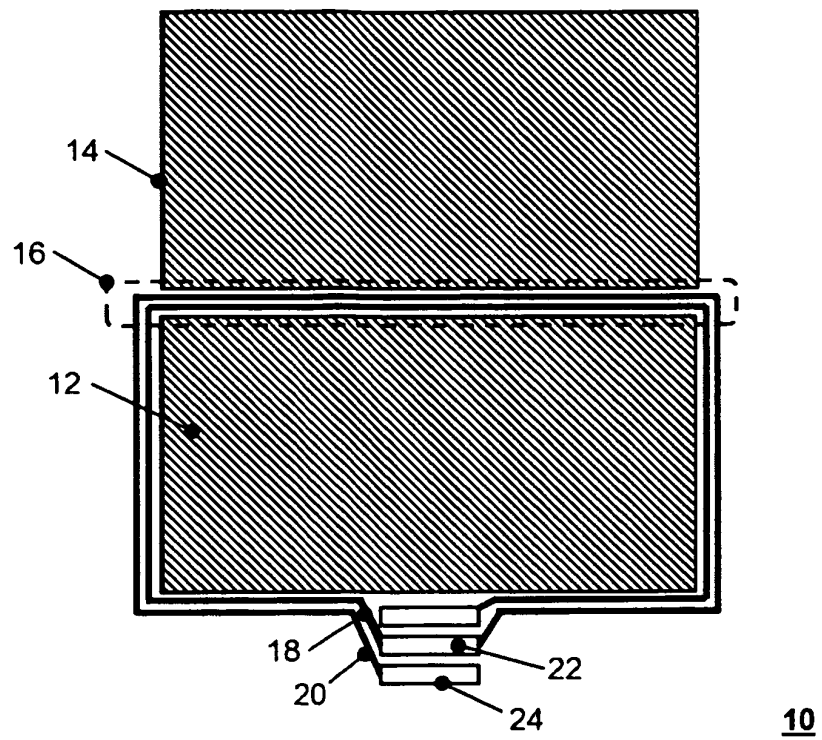


Fig. 1

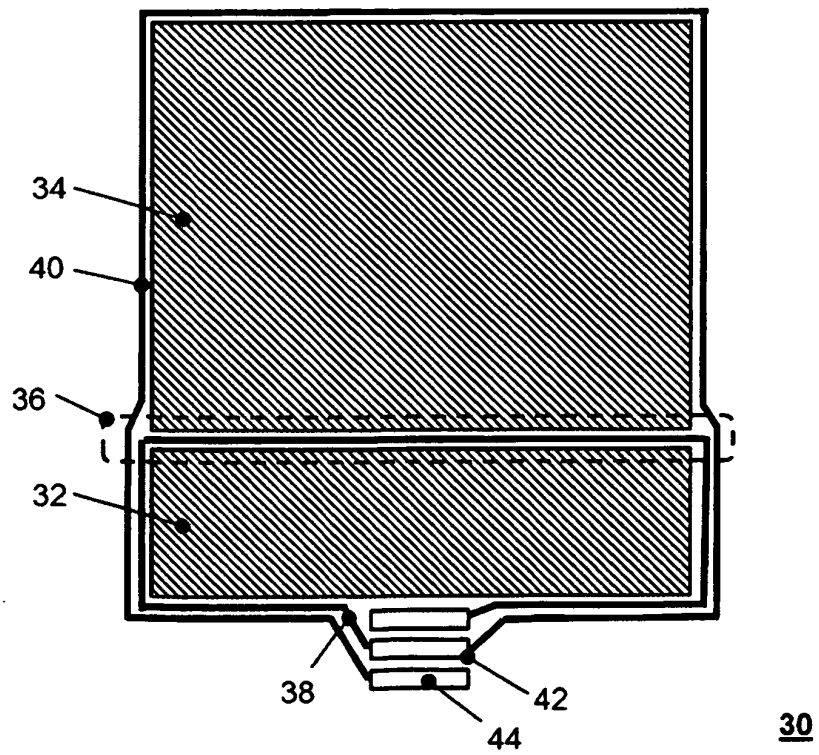
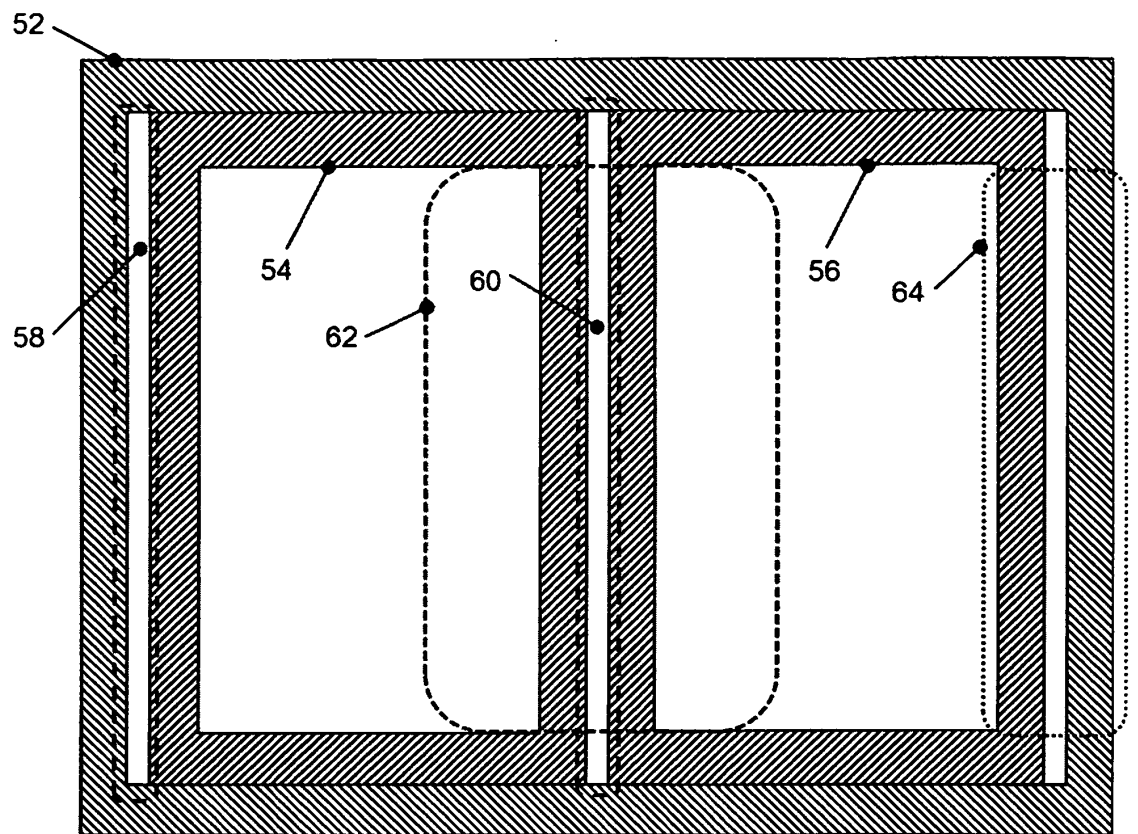


Fig. 2



50

Fig. 3

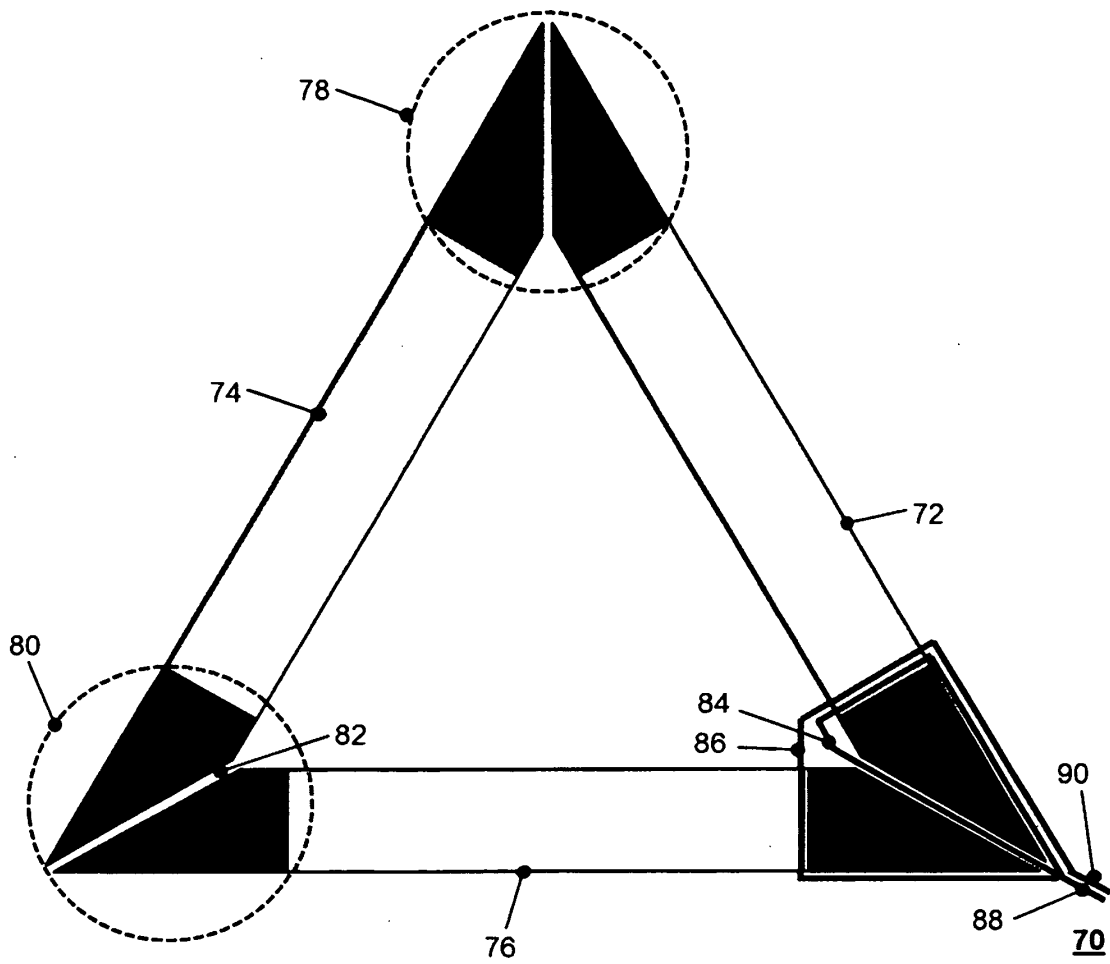


Fig. 4

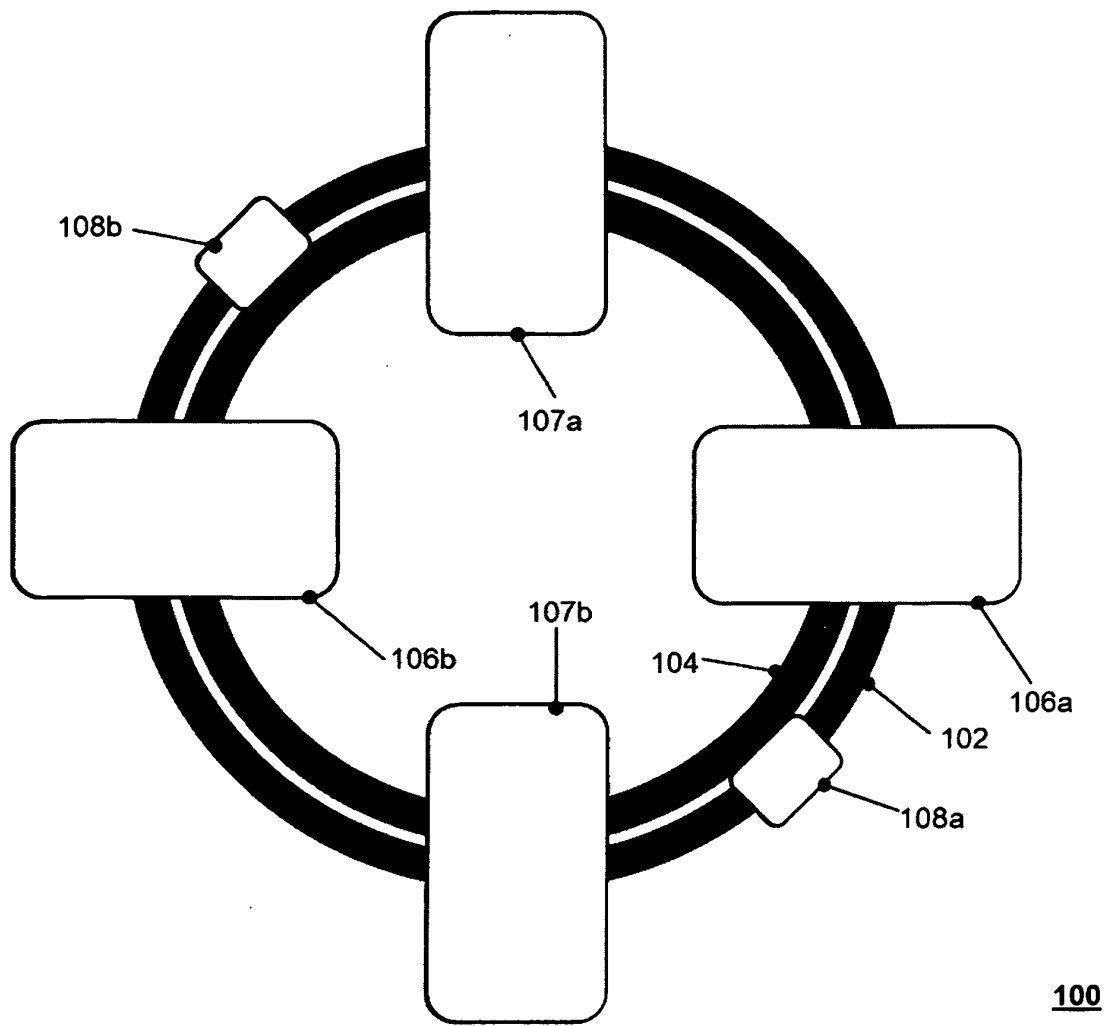


Fig. 5

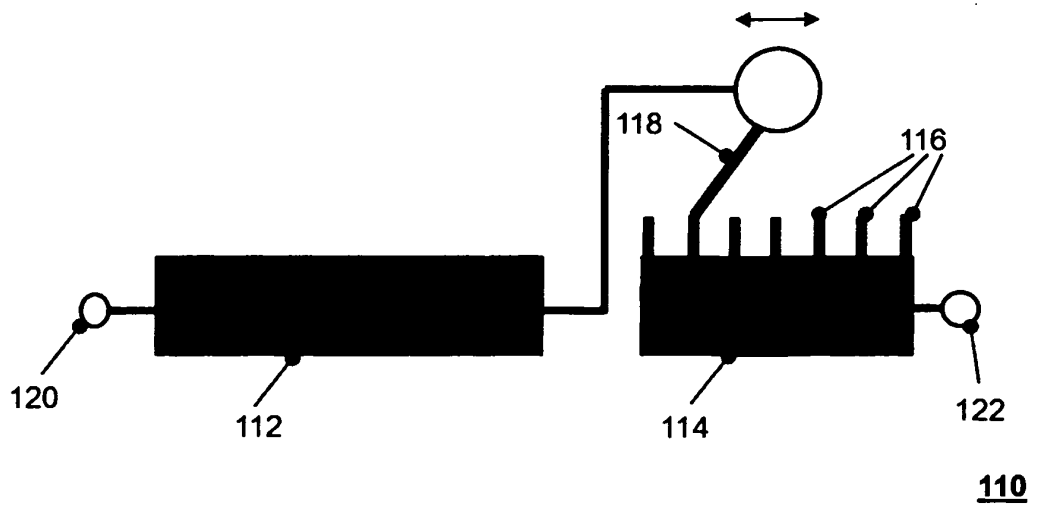


Fig. 6

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

- US 2010103585 A [0002]