



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
24.07.2002 Patentblatt 2002/30

(51) Int Cl.7: **H01F 27/28**

(21) Anmeldenummer: **01810067.7**

(22) Anmeldetag: **23.01.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

• **Luchsinger, Rolf**
5416 Kirchdorf (CH)
• **Lakner, Martin**
5413 Birmenstorf (CH)

(71) Anmelder: **ABB RESEARCH LTD.**
8050 Zürich (CH)

(74) Vertreter: **ABB Patent Attorneys**
c/o ABB Schweiz AG
Brown Boveri Strasse 6
5400 Baden (CH)

(72) Erfinder:
• **Rhyner, Jakob**
8006 Zürich (CH)

(54) **Transformatorwicklung**

(57) Das vorgeschlagene modulare Transformator-konzept basiert auf einer Herstellung in zwei Schritten, welche die Fabrikation der Windungen vom Zusammenbau des Transformators trennt und somit Automatisierungspotential und Flexibilität vereinigt. Sowohl die Hochspannungswicklung wie die Niederspannungswicklung werden aus quasizweidimensionalen spiralförmigen Leiterbahnen (21,22) zusammengesetzt. Diese Leiterbahnen können computerunterstützt produziert

werden und brauchen anschliessend nur noch gestapelt und elektrisch verbunden zu werden. Spezielle Isolatorschichten (11,12) werden zwischen die Leiterbahnen eingefügt, welche einerseits das Gewicht tragen und andererseits eine optimale elektrische Isolation bewirken, so dass die Abstände zwischen den Hoch- und Niederspannungsleiterbahnen verringert und die Verluste in den Leitern sowie die Kurzschlussimpedanz der Wicklung herabgesetzt werden können.

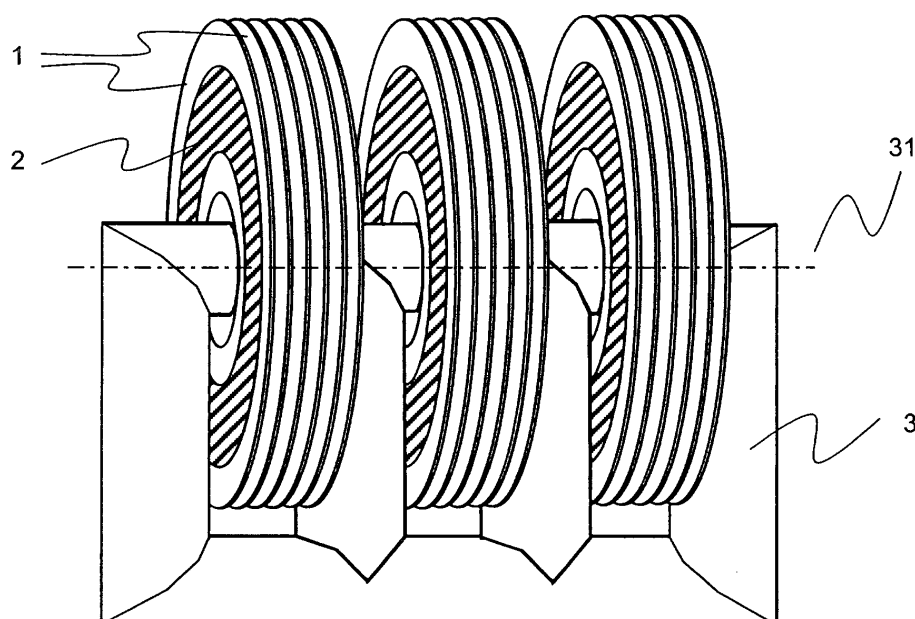


Fig. 1

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

- 5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet des Transformatorbaus und betrifft eine Transformatorwicklung mit einer Hoch- und einer Niederspannungswicklung.

STAND DER TECHNIK

- 10 **[0002]** Die Herstellung von konventionellen, gewickelten Leistungstransformatoren weist einen hohen und kostenintensiven Anteil an Handarbeit auf, bedingt durch die komplizierte Wicklungstechnik im Zusammenspiel mit den erforderlichen elektrischen Isolationen. Im Weiteren sind Transformatoren im Bereich der Stromübertragung mit Leistungen von 10 bis 500 MVA keine Serienprodukte und werden nach Kundenwünschen gefertigt, so dass sich praktisch jedesmal unvermeidliche Entwicklungs- oder Anpassungskosten ergeben. Die konventionelle Herstellung von Leistungstransformatoren weist kein grosses Automatisierungspotential auf. Alternative Herstellungskonzepte, bei denen
15 beispielsweise auf eine begrenzte Anzahl standardisierter, vorgefertigter Halbfabrikate zurückgegriffen wird, haben aber oft Flexibilitätseinbussen zur Folge.

- [0003]** Konventionelle Leistungstransformatoren weisen aufgrund der durch die magnetischen Streufelder zwischen der Hochspannungswicklung und der Niederspannungswicklung erzeugten Impedanz auch eine strombegrenzende Funktion auf. Die sogenannte Kurzschlussimpedanz X_{CC} ist gekennzeichnet durch das Verhältnis von Betriebs- zu Kurzschlussstrom, d.h. ein Transformator mit einer Kurzschlussimpedanz X_{CC} von N% begrenzt den Kurzschlussstrom auf das 100/N-fache des Betriebs- oder Nennstromes. Leistungstransformatoren haben gewöhnlich Kurzschlussimpedanzen von 10 bis 15%. Konventionelle, gewickelte Transformatoren mit einer kleinen Kurzschlussimpedanz von einigen wenigen Prozent sind in der Herstellung sehr teuer, da zur Reduktion der Streufelder die Windungen in aufwändiger Weise verschachtelt werden müssen.
25

- [0004]** Aus der Europäischen Patentanmeldung EP-A 0 354 121 ist ein Transformator zur Stromversorgung von elektrischen Schaltkreisen bekannt. Dieser umfasst eine Hoch- und eine Niederspannungswicklung, welche beide aus flachen, identisch ausgebildeten Leiterbahnen in Form einer einzigen Windung aufgebaut sind. Die Leiterbahnen der Hochspannungswicklung und diejenigen der Niederspannungswicklung sind unterschiedlich angeordnet und wechseln sich ab. Über Verbindungselemente sind Erstere elektrisch in Serie und Letztere elektrisch in Parallel geschaltet, so dass das Verhältnis zwischen Hoch- und Niederspannung gleich der Anzahl der Hochspannungsleiterbahnen ist und in allen Leiterbahnen ein Strom gleicher Stärke fließt. Dementsprechend sind keine nicht-ganzzahligen Übersetzungsverhältnisse möglich. Die genannten Verbindungselemente fungieren gleichzeitig als Wärmeableiter und Stützen für die Leiterbahnen, die Achse des Transformators ist dementsprechend horizontal, d.h. parallel zur Erdoberfläche, vorgesehen.
35

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

- [0005]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine einfach zu realisierende Wicklung für einen Transformator anzugeben. Diese Aufgabe wird durch eine Transformatorwicklung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie ein Verfahren zur Herstellung einer derartigen Transformatorwicklung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 10 gelöst.
40

- [0006]** Kern der Erfindung ist es, eine Transformatorwicklung aus ebenen Leiterbahnen aufzubauen, welche aufeinanderfolgend angeordnet und durch geeignete Abstands- und Isolationselemente voneinander getrennt werden. Durch diesen modularen Transformatoraufbau entfällt der arbeitsintensive Wickelprozess des konventionellen Leiterdrahtes.
45

- [0007]** Das vorgeschlagene Transformator-konzept basiert auf einer Herstellung, welche in zwei Schritten zuerst die Fabrikation der Windungen und anschliessend deren Zusammenbau zum Transformator umfasst und somit Automatisierungspotential und Flexibilität vereinigt. Sowohl die Hochspannungswicklung wie die Niederspannungswicklung werden aus quasi-zweidimensionalen, vorzugsweise spiralförmigen Leiterbahnen zusammengesetzt. Diese Leiterbahnen umfassen mindestens eine Windung, die entsprechende Struktur kann maschinell erzeugt werden. Anschliessend werden die Leiterbahnen in der gewünschten Reihenfolge angeordnet und zu einer Wicklung elektrisch verbunden. Isolations- und Abstandselemente werden zwischen die Leiterbahnen eingefügt, welche einerseits eine optimale elektrische Isolation bewirken und andererseits trotz der unvermeidbaren elektromagnetischen Kräfte und Vibrationen für mechanische Stabilität sorgen.
50

- [0008]** In einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemässen Transformatorwicklung zerfallen die Abstandselemente in mehrere Teilelemente oder weisen Aussparungen oder Kanäle auf, durch welche im Betrieb des Transformators eine Kühlflüssigkeit zur Kühlung der Leiterbahnen zirkulieren kann.
55

- [0009]** Gemäss einer zweiten Ausführungsform ist die Transformatorachse vertikal, d.h. senkrecht zur Erdoberfläche

vorgesehen. Diese Anordnung ist selbsttragend, nur die unterste Leiterbahn muss gestützt und gegebenenfalls gegenüber dem Kern oder Gehäuse des Transformators elektrisch isoliert werden.

[0010] Gemäss einer weiteren Ausführungsform sind die Leiterbahnen der Hochspannungswicklung und diejenigen der Niederspannungswicklung untereinander jeweils identisch, so dass nur zwei verschiedene Leiterbahntypen gefertigt und an Lager gehalten werden müssen.

[0011] Gemäss einer weiteren Ausführungsform sind die Hoch- und Niederspannungsleiterbahnen paarweise zu Modulen zusammengefasst. Das Stromdichteintegral über einen Modulquerschnitt, welcher in einer die Transformatorachse enthaltenden Ebene liegt, ist dabei annähernd gleich Null, d.h. die über alle Windungen summierte Gesamtstromstärke in der Niederspannungsleiterbahn ist entgegengesetzt gleich derjenigen in der Hochspannungsleiterbahn. Dadurch sind nur im Bereich des Isolationselementes namhafte magnetische Streufelder zu verzeichnen, was eine geringe Impedanz der Wicklung zur Folge hat.

[0012] Gemäss einer weiteren Ausführungsform sind die Gesamtleiterbahnbreiten gleich gross, wodurch sich auch die Magnetfeldkomponenten in den Leitern, welche senkrecht zur Ebene der Leiterbahnen stehen und für einen grossen Teil der Wechselstromverluste verantwortlich sind, minimiert.

[0013] Gemäss einer weiteren Ausführungsform sind die Niederspannungsleiterbahnen und die Hochspannungsleiterbahnen je elektrisch in Serie geschaltet. Das durch die Windungsgesamtzahlen festgelegte Übersetzungsverhältnis findet sich im Windungsverhältnis jedes Moduls wieder. Beliebige nichtganzzahlige, rationale Übersetzungsverhältnisse sind möglich.

[0014] Gemäss einer weiteren Ausführungsform wird nur ein Typ Module eingesetzt und dafür jedes zweite Modul auf den Kopf gestellt, so dass jede Niederspannungsleiterbahn eines ersten Moduls mit der Niederspannungsleiterbahn des nächstfolgenden Moduls benachbart ist und zwischen diesen Modulen nur Abstandselemente benötigt werden.

[0015] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen gehen aus den weiteren abhängigen Patentansprüchen hervor.

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0016] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 einen grundlegenden Aufbau eines dreiphasigen Transformators in Schrägaufsicht,

Fig.2 ein Modul umfassend ein Isolationselement, eine Hochspannungsleiterbahn und eine Niederspannungsleiterbahn in Aufsicht und als Schnitt,

Fig.3 einen Ausschnitt aus einem Schnitt durch eine Anordnung mit sechs Modulen.

[0017] Die in den Zeichnungen verwendeten Bezugszeichen sind in der Bezugszeichenliste zusammengefasst. Grundsätzlich sind gleiche Teile mit denselben Bezugszeichen versehen.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0018] In Fig. 1 ist ein grundlegender Aufbau eines dreiphasigen Transformators mit erfindungsgemässen Wicklungen dargestellt. Auf oder zwischen Isolations- oder Abstandselementen 1 sind Leiterbahnen 2 angeordnet, von denen in Fig. pro Phase nur jeweils eine sichtbar ist. Anstelle einer runden, ringförmigen Geometrie können die Elemente 1 und/oder die Leiterbahnen 2 auch eine rechteckige Form haben. Durch eine zentrale Öffnung der Elemente 1 führt der Transformator Kern 3 in Richtung der Transformatorachse 31. Der dreiphasige Transformator Kern in Fig.1 weist eine sogenannte "shell-type" Topologie auf, wobei beispielsweise auch eine "core-type" Topologie möglich ist oder die Transformatorachse 31 vertikal ausgerichtet werden kann. Analog zur Ausgestaltung des Kernes bei klassischen, gewickelten Transformatoren sind auch hier Kriterien wie Eisenverluste und Volumen zu berücksichtigen. Zumindest bei Leistungstransformatoren umgibt eine wärmeleitende Kühl- und/oder elektrische Isolationsflüssigkeit, beispielsweise Öl oder flüssiger Stickstoff im Falle von hochtemperatursupraleitenden Leitern, die Wicklungen. Der Tank oder Kryostat zur Aufnahme dieser Flüssigkeit wie auch die elektrischen Anschlussleiter an die Hoch- und Niederspannungswicklung sind in Fig.1 nicht gezeigt. Transformator Kern und Kühlflüssigkeit werden in der Folge nicht mehr weiter betrachtet.

[0019] In Fig.2 ist ein Modul umfassend ein scheiben- oder plattenförmiges Isolationselement 11, eine Hochspannungsleiterbahn 21 und eine Niederspannungsleiterbahn 22 dargestellt. Die Niederspannungsleiterbahn 22 weist vier spiralförmige Windungen auf, wogegen die Hochspannungsleiterbahn 21 insgesamt zwölf Windungen umfasst und in Fig.2 im Schnitt unterhalb des Isolationselementes 11 sichtbar ist. Im vorliegenden Fall sind beide Leiterbahnen aus einem ringförmigen leitenden Bereich der Gesamtleiterbreite B herausstrukturiert worden. Bei einem derartigen Modul

kommt den dielektrischen Eigenschaften des Isolationselementes 11 eine entscheidende Bedeutung zu, wobei nicht nur die Durchbruchfeldstärke des Materials des Isolationselementes 11, sondern auch dessen geometrische Ausgestaltung wichtig ist. Entlang von Kriechstrompfaden 13, wovon in Fig.2 zwei Beispiele fett eingezeichnet sind, können zwischen einer Hochspannungsleiterbahn 21 und einer Niederspannungsleiterbahn 22 an der Oberfläche des Isolationselementes 11 sogenannten Kriechströme fließen. Um Letzteren vorzubeugen, wird eine Minimallänge für sämtliche Kriechstrompfade 13 eingestellt. Dies wird erreicht, indem die radiale Ausdehnung des Isolationselementes 11, d.h. dessen Ringbreite, deutlich grösser gewählt wird als die Gesamtleiterbreite B der Leiterbahnen 21,22.

[0020] In Fig.3 ist ein Ausschnitt aus einem Schnitt entlang einer Transformatorachse 31 einer Anordnung mit sechs Modulen gemäss Fig.2 gezeigt. Die einzelnen Hoch- und Niederspannungsleiterbahnen sind untereinander über Verbindungselemente 4,4' elektrisch zu einer unkonventionellen Hoch- beziehungsweise Niederspannungswicklung verschaltet. Diese Wicklungen umfassen also keine herkömmlichen Spulen in Form einer dreidimensionalen Helix, sondern untereinander in diskreten Abständen angeordnete ebene Leiterbahnen. Abstandselemente 12 sind zwischen benachbarten Leiterbahnen 22,22' vorgesehen, welche zur selben Wicklung gehören. Obwohl auch von den Abstandselementen 12 eine gewisse Spannungsfestigkeit gefordert ist, haben sie hauptsächlich eine mechanische Funktion als Abstandshalter und Vibrationsdämpfer. Im Gegensatz zu den Isolationselementen 11 zerfallen die Abstandselemente 12 in beispielsweise radial angeordnete, speichenförmige Teilelemente oder sind zumindest mit Aussparungen, Kanälen oder Hohlräumen versehen, welche im Betrieb mit dem genannten Kühlmittel gefüllt sind. Bei der Anordnung gemäss Fig.3 wechseln sich Isolations- und Abstandselemente 12 ab, so dass jede Leiterbahn zumindest einseitig gekühlt wird. Es folgt also auf die Niederspannungsleiterbahn 22 eines Moduls die Niederspannungsleiterbahn 22' des benachbarten Moduls, d.h. jedes zweite Modul steht auf dem Kopf. Als zusätzlicher Vorteil ist es bei dieser Anordnung möglich, identische Module zu verwenden, da dadurch der Umlaufsinn der Ströme beim Übergang von einem Modul zum Nächstfolgenden beibehalten wird. Die Anordnung nach Fig.3 kommt somit mit einer begrenzten Anzahl von nur gerade vier Basiseinheiten (Hoch- und Niederspannungsleiterbahn, Isolations- und Abstandselement) sowie den Verbindungselementen aus.

[0021] Es ist selbstverständlich auch möglich, die genannten Basiseinheiten auf eine andere Weise zu Modulen oder kleinsten Transformatoreinheiten zusammenzustellen. Der Begriff Modul bezeichnet denn auch mehr eine logische denn eine physische Einheit. Es sind auch andere Anordnungen der Basiseinheiten als die in Fig.3 dargestellte denkbar. Es können auch mehrere Modultypen eingesetzt werden, insbesondere ist es denkbar, für die erste und/oder letzte Leiterbahn einer Wicklung eine unterschiedliche Gesamtleiterbahnbreite oder eine andere Strukturierung, beispielsweise weniger und dafür breitere Windungen, zu wählen.

[0022] Die induktive Impedanz eines Transformators wird hauptsächlich durch das Volumen der Bereiche mit hohen magnetischen Feldern bestimmt, wobei sie quadratisch mit der Feldstärke steigt. Bei klassischen, gewickelten Transformatoren ist der radiale Abstand zwischen der hohlzylinderförmigen Niederspannungs- und der dazu coaxialen Hochspannungsspule massgebend. In einem Modul nach Fig.2 finden sich wegen des im Schnitt angedeuteten gegensinnigen Umlaufsins der Ströme in den Hoch- und Niederspannungsleiterbahnen hohe magnetische Felder nur zwischen den Leiterbahnen, d.h. im Bereich des Isolationselementes 11, sowie im unmittelbar daran anschliessenden Bereich der Leiterbahnen. Der gewünschte Effekt wird allerdings nur dann erreicht, falls bei konstanter Stromdichte die Gesamtquerschnittsflächen von Hoch- und Niederspannungsleiterbahnen unabhängig von der jeweiligen Unterteilung in Windungen gleich gross sind. Durch die verschachtelte Anordnung mehrerer Module wie in Fig.3 werden die ausserhalb der Module, d.h. im Bereich der Abstandselemente 12, liegenden restlichen Streufelder zusätzlich reduziert. Wird die Dicke des Isolationselementes 11 auf den dielektrischen Minimalwert eingestellt, lassen sich Streuimpedanzen von einem Prozent oder weniger realisieren. Soll aber im Gegensatz dazu eine im konventionellen Rahmen liegende Impedanz erreicht werden, kann der Abstand zwischen Hoch- und Niederspannungsleiterbahnen grösser gewählt oder durch eine weniger verschachtelte Anordnung der Leiterbahnen auf die feldkompensierende Modulbildung gemäss Fig.2 ganz verzichtet werden.

[0023] Ein weiteres Kriterium sind die Ohm'schen Verluste und die durch die zeitabhängigen Magnetfelder im Leiter selbst hervorgerufenen Wechselstromverluste. Letztere hängen mindestens linear von der Magnetfeldamplitude ab und heissen auch Wirbelstromverluste in metallischen Leitern und Hystereseverluste in Supraleitern und treten dort auch dann auf, wenn die Wechselstromamplitude unterhalb der kritischen Gleichstromstärke liegt. Bei flachen Leiterbahnen wie im vorliegenden Fall sind hauptsächlich die Magnetfeldkomponenten senkrecht zur Ebene dieser Leiterbahnen wichtig. Falls nun im Modul nach Fig.2 der Betrag der Flächenstromdichte lokal in der Hoch- und der Niederspannungsleiterbahn gleich ist und somit beide Leiterbahnen dieselbe Gesamtleiterbahn- oder Ringbreite B aufweisen, werden auch die genannten senkrechten Magnetfeldkomponenten in den Leitern selber maximal kompensiert und die Verluste weiter eingeschränkt. Eine maximale Reduktion der Verluste in den Leitern gemäss Fig.3 hat somit immer auch eine Verringerung der Felder zwischen den Leiterbahnen und damit eine niedrige Kurzschlussimpedanz der Transformatorwicklung zur Folge.

[0024] Für eine weitere Reduktion der genannten Wechselstromverluste können zumindest die Niederspannungsleiter in mehrere parallelgeführte Teileiter unterteilt werden. Um einer die Verluste erhöhenden Asymmetrie in den

Magnetfeldern und der Stromverteilung in den Teileitern vorzubeugen, benötigt eine derartige Parallelführung aber eine Transponierung der Teileiter, d.h. ein Vertauschen eines inneren mit einem äusseren oder eines oberen mit einem unteren Teileiter. Diese Transponierung erfolgt geeigneterweise bei den Verbindungselementen 4, d.h. beim Übergang von einem Modul zum nächsten.

[0025] Die genannten Leiterbahnen können sowohl metallische Leiter, beispielsweise Cu oder Al, wie auch hochtemperatursupraleitende Materialien umfassen. Hochtemperatursupraleiter sind keramische Werkstoffe, welche unterhalb einer kritischen Temperatur T_C für Ströme unterhalb eines kritischen Stromes I_C einen vernachlässigbaren Gleichstromwiderstand aufweisen. Dünne einkristalline oder hochtexturierte supraleitende Schichten werden mittels Vakuumverfahren wie beispielsweise PVD (Physical Vapor Deposition), CVD (Chemical Vapor Deposition), IBAD (Ion Beam Assisted Deposition), ISD (Inclined Substrate Deposition), PLD (Pulsed Laser Deposition) oder EBE (Electron Beam Evaporation) oder alternativ dazu über sogenannte Sol-Gel Prozesse wie LPE (Liquid Phase Epitaxy) auf ein Substrat aufgewachsen. Die Schichtdicken betragen beispielsweise für Supraleiter der YBCO-Familie auf einem Substrat aus Saphir weniger als 5 μm . Diese Verfahren zur Aufbringung einer dünnen supraleitenden Schicht erlauben im Zusammenwirken mit einer geeigneten Maskentechnik gleichzeitig die Ausgestaltung einer zweidimensionalen Struktur.

[0026] Polykristalline schmelzprozessierte Supraleiter vom Typ $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ sind zwischen 50 und 5000 μm dick und werden häufig durch einen Träger in Form eines Glasfaserkunststoffes mechanisch gestützt und geschützt. Normalerweise werden die Hochtemperatursupraleiter noch durch einen elektrisch parallelgeschalteten normalleitenden Bypass elektrisch stabilisiert.

[0027] Aus einer durchgehenden, normal- oder hochtemperatursupraleitenden Schicht können mittels verschiedener Verfahren Strukturen wie beispielsweise eine Spirale herausgearbeitet werden. Dazu gehören Ätzverfahren, bei welchen durch Öffnungen in einer Maske aus einem geeigneten Photoresist die darunterliegende leitende Schicht zumindest teilweise abgetragen wird. Andere Verfahren zur selektiven Materialabtragung sind Wasserstrahlschneiden, Laserschneiden, Fräsen oder Stanzen. Die zu erstellende Struktur kann rechteckig oder rund sein, weist eine zentrale Öffnung für den Transformator Kern auf und wird vorzugsweise per CAD definiert und per CAM realisiert. Anschliessend werden die radial versetzten Windungen einer Leiterbahn mittels eines Lackes elektrisch voneinander isoliert. Die erhaltene Leiterbahn wird anschliessend auf ein Isolations- oder Abstandselement gepresst oder geklebt. Eine supraleitende Schicht kann direkt auf ihrem Substrat oder Träger strukturiert werden, wobei Letztere die Funktion eines Isolations- oder Abstandselementes übernehmen.

[0028] Beim Design eines Transformators müssen auf viele Bedingungen und Parameter Rücksicht genommen werden. So gilt es abzuwägen zwischen den Verlusten im Leiter und denjenigen im Eisenkern, zwischen Leiterlänge und Leiterquerschnitt. Als Material für das Isolationselement geeignet sind beispielsweise Pressboard oder Polymere wie Polyethylen, Polypropylen, Polyprolen, Polyvinylchlorid oder Polyethylenterephthalat mit Durchbruchfeldstärken in der Grössenordnung von 10 kV/mm und mittleren Kriechstromfeldstärken in der Grössenordnung von 0.1 bis 2 kV/mm. Ein numerisches Ausführungsbeispiel basierend auf einer mittleren Kriechstromfeldstärke von 0.5 kV/mm erlaubt einen Vergleich zwischen einem konventionellen, gewickelten Transformator und zwei erfindungsgemässen, modularen Transformatoren gleicher Leistung mit Leiterbahnen aus Kupfer beziehungsweise einem Hochtemperatursupraleiter:

	Modularer Transformator mit supraleitenden Leiterbahnen	Modularer Transformator mit Cu Leiterbahnen	Konventioneller Transformator
Leistung [MVA]	50	50	50
Spannung [kV]	110/18	110/18	110/18
Strom [A]	262/1604	262/1604	262/1604
Anzahl Windungen	489/80	489/80	642/105
Anzahl Module	30	20	-
Volumen [m^3]	4	4	5.0
Radius [m]	0.9	0.8	0.5
Höhe [m]	0.5	0.7	1.8
Stromdichte [A/mm^2]	30.0/30.0	2.0/2.0	2.26/2.45
Verluste total [kW]	138	164	166
Induktivität X_{CC} [%]	0.1	0.3	9.8

[0029] Im Idealfall müssen nur die unstrukturierten leitenden Schichten an Lager gehalten werden. Je nach Auftrag und Spezifikation des Transformators können daraus die gewünschten Strukturen, d.h. die Anzahl der Windungen der spiralförmigen Leiterbahn, herausgearbeitet werden. Anschliessend werden die Leiterbahnen zusammen mit den Abstands- und Isolationselementen in der gewünschten Reihenfolge aufeinandergestapelt, eine Arbeit, welche geeigneterweise einem Roboter übertragen werden kann, und elektrisch verbunden. Der Anteil an manuellen Arbeiten und damit die Herstellungskosten können durch das erfindungsgemässe Verfahren signifikant gesenkt werden.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0030]

- 1 Leiterbahnen
- 11 Isolationselement
- 12 Abstandselement
- 13 Kriechstrompfad
- 2 Leiterbahnen
- 21 Hochspannungsleiterbahn
- 22 Niederspannungsleiterbahn
- 3 Transformator kern
- 31 Transformatorachse
- 4 Verbindungselement

Patentansprüche

1. Transformatorwicklung, welche um eine Transformatorachse (31) zentriert und für ein Übersetzungsverhältnis N von Hoch- zu Niederspannung ausgelegt ist, mit
 - a) einer Hochspannungswicklung umfassend mehrere untereinander über Verbindungselemente (4) elektrisch verbundene und senkrecht zur Achse (31) ausgerichtete Hochspannungsleiterbahnen (21),
 - b) einer Niederspannungswicklung umfassend mehrere untereinander über Verbindungselemente (4) elektrisch verbundene und senkrecht zur Achse (31) ausgerichtete Niederspannungsleiterbahnen (22),
 - c) plattenförmigen elektrischen Isolationselementen (11) zwischen jeweils einer Niederspannungsleiterbahn (22) und einer benachbarten Hochspannungsleiterbahn (21),
 - d) Abstandselementen (12) zwischen jeweils zwei benachbarten Niederspannungsleiterbahnen (22,22') und zwischen jeweils zwei benachbarten Hochspannungsleiterbahnen.
2. Transformatorwicklung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abstandselemente (12) mehrere Teilelemente umfassen oder Aussparungen aufweisen, in welchen eine Kühlflüssigkeit zirkulieren kann.
3. Transformatorwicklung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Transformatorachse (31) vertikal ausgerichtet ist und die Leiterbahnen (21,22) übereinander angeordnet sind.
4. Transformatorwicklung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** alle Niederspannungsleiterbahnen (22) und alle Hochspannungsleiterbahnen (21) jeweils dieselbe Form und Strukturierung aufweisen.
5. Transformatorwicklung nach Anspruch 1, wobei gleich viele Niederspannungsleiterbahnen wie Hochspannungsleiterbahnen vorgesehen sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** zu jeder Niederspannungsleiterbahn (22) eine Hochspannungsleiterbahn (21) benachbart ist und mit Ersterer unter Einschluss des Isolationselementes (11) ein Modul bildet, dass in jedem derartigen Modul in der Hochspannungsleiterbahn (21) und in der Niederspannungsleiterbahn (22) zumindest annäherungsweise gleich grosse Gesamtstromstärken fliessen, und dass die magnetischen Felder ausserhalb der Module durch die Ströme in den Leiterbahnen der Module kompensiert sind.
6. Transformatorwicklung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jedes Modul die Gesamtbreite der Niederspannungsleiterbahn (22) zumindest annäherungsweise gleich der Gesamtbreite der Hochspannungsleiterbahn (21) ist.
7. Transformatorwicklung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** alle Hochspannungsleiterbahnen und

EP 1 225 602 A1

alle Niederspannungsleiterbahnen in Serie geschaltet sind und dass für jedes Modul das Verhältnis der Anzahl Windungen der Hochspannungsleiterbahn (21) zur Anzahl Windungen der Niederspannungsleiterbahn (22) zumindest annäherungsweise gleich dem Übersetzungsverhältnis N ist.

- 5 **8.** Transformatorwicklung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** alle Niederspannungsleiterbahnen und alle Hochspannungsleiterbahnen jeweils dieselbe Form und Strukturierung aufweisen und dass jede Niederspannungsleiterbahn mit einer weiteren Niederspannungsleiterbahn benachbart ist.
- 10 **9.** Transformatorwicklung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** insbesondere die Niederspannungsleiterbahnen in mindestens zwei elektrisch und geometrisch parallel geführte Teilleiterbahnen unterteilt sind, und dass die Teilleiterbahnen in den Verbindungselementen (4) transponiert werden.
- 15 **10.** Verfahren zur Herstellung einer Transformatorwicklung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die spiralförmigen Nieder- und Hochspannungsleiterbahnen aus einer durchgehenden, elektrisch leitenden Schicht herausstrukturiert werden und anschliessend senkrecht zur Transformatorachse (31) angeordnet und untereinander elektrisch verbunden werden.

20

25

30

35

40

45

50

55

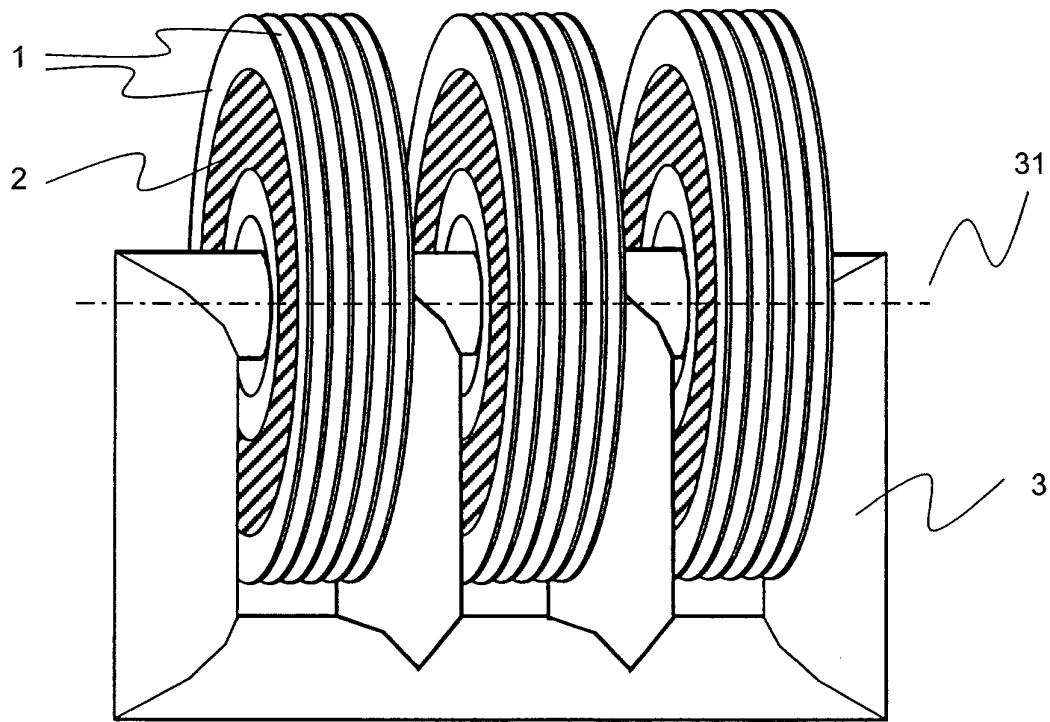


Fig. 1

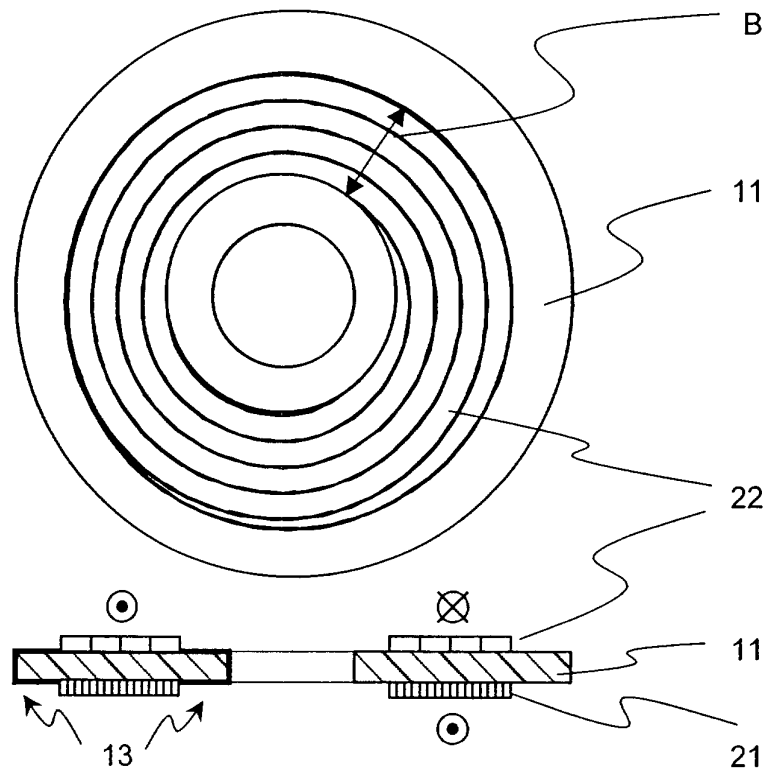


Fig. 2

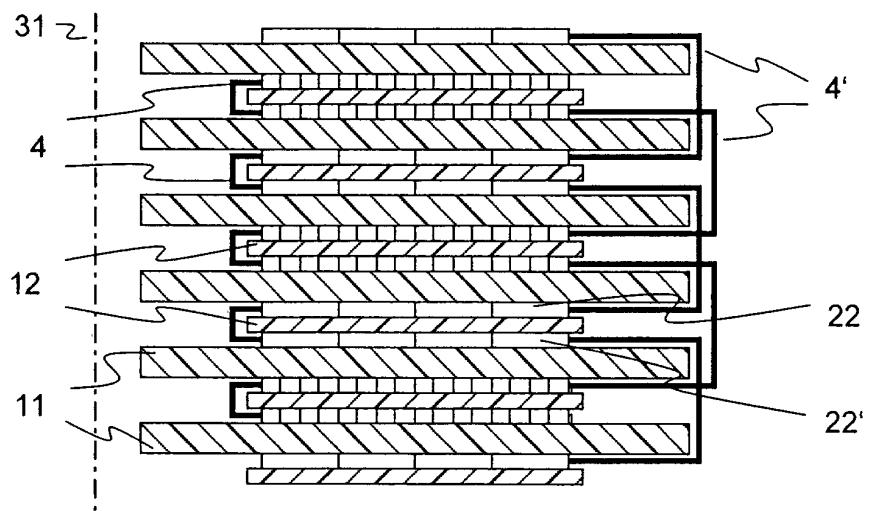


Fig. 3



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 01 81 0067

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	WO 96 21935 A (BOTHE MICHAEL ; SCHORR HOLGER (DE); SCHULZ REINHOLD (DE); FRIEMANN) 18. Juli 1996 (1996-07-18) * Anspruch 1 *	1	H01F27/28
A	FR 2 476 898 A (MINI INFORMATIQ SYSTEM STE EUR) 28. August 1981 (1981-08-28)		
A	DE 197 56 188 A (TRW NELSON BOLZENSCHWEISSTECHN) 24. Juni 1999 (1999-06-24)		
A	WO 91 17555 A (JAKOUBOVITCH ALBERT) 14. November 1991 (1991-11-14)		
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1997, no. 03, 31. März 1997 (1997-03-31) & JP 08 316054 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 29. November 1996 (1996-11-29) * Zusammenfassung *		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
			H01F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
DEN HAAG		14. Juni 2001	
		Prüfer	
		Vanhulle, R	
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 : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, 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 01 81 0067

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.

14-06-2001

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9621935 A	18-07-1996	DE 19500943 C AT 166178 T DE 59502173 D DK 750785 T EP 0750785 A ES 2117449 T	23-05-1996 15-05-1998 18-06-1998 02-06-1998 02-01-1997 01-08-1998
FR 2476898 A	28-08-1981	KEINE	
DE 19756188 A	24-06-1999	WO 9931681 A EP 1040491 A	24-06-1999 04-10-2000
WO 9117555 A	14-11-1991	FR 2661547 A EP 0491740 A	31-10-1991 01-07-1992
JP 08316054 A	29-11-1996	KEINE	

EPO FORM P0461

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