



(11)

EP 2 827 346 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
16.11.2016 Patentblatt 2016/46

(51) Int Cl.:
H01F 27/28 ^(2006.01) **H01F 27/32** ^(2006.01)
H01F 27/08 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13003609.8**

(22) Anmeldetag: **17.07.2013**

(54) **Trockentransformator**

Dry type transformer

Transformateur sec

(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:
21.01.2015 Patentblatt 2015/04

(73) Patentinhaber: **ABB Schweiz AG
5400 Baden (CH)**

(72) Erfinder: **Weber, Benjamin
59955 Winterberg (DE)**

(74) Vertreter: **Marks, Frank et al
ABB AG
GF-IP
Wallstadter Strasse 59
68526 Ladenburg (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A1- 2 439 755 EP-A1- 2 472 533
EP-A1- 2 549 495 EP-A1- 2 793 244
EP-A2- 1 715 495 CN-U- 202 189 656
CN-U- 202 473 553 US-B1- 6 368 530**

EP 2 827 346 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 einen Trockentransformator mit einer Trockentransformatorspule.

[0002] Es ist allgemein bekannt, dass Trockentransformatoren in Energieverteilungsnetzen zur Anpassung an jeweilige Spannungsebenen verwendet werden, beispielsweise zwischen 6kV / 10kV / 30kV oder 60kV Ebenen. Hierbei sind Nennleistungen von einigen 100kVA bis über 10MVA üblich. Während bei Höchstspannungstransformatoren - beispielsweise in der Spannungsebene 380kV - die Verwendung von Öl als Kühl- und Isolationsmittel unumgänglich ist, wird bei Trockentransformatoren aufgrund der geringeren Isolationsanforderungen in den entsprechen darunter liegenden Spannungsebenen bewusst auf eine ein flüssiges Kühl- beziehungsweise Isolationsmittel verzichtet. Dies bietet den Vorteil eines vereinfachten Aufbaus. Die Isolation beziehungsweise Kühlung erfolgt dann typischerweise über Umgebungsluft.

[0003] Aufgrund der im Vergleich zu Öl geringeren Wärmekapazität erweist sich die Kühlung eines Trockentransformators beziehungsweise der jeweiligen Trockentransformatorspulen mit Luft als schwierig und aufwändig. Es ist neben einer Vielzahl von die Trockentransformatorspule axial durchquerenden Kühlkanälen je nach Leistungsklasse üblicherweise auch eine forcierte Kühlung vorzusehen. Je nach Leistungsklasse erfordert eine forcierte Kühlung einen erheblichen Aufwand aufgrund der Notwendigkeit einer entsprechenden Förderung des Kühlmittels Luft durch die Kühlkanäle. Es gibt aber auch durchaus Trockentransformatorvarianten mit natürlicher Kühlung. Diese sind aber aufgrund der limitierten Kühlwirkung deutlichen Einschränkungen in deren maximaler Leistung unterworfen.

[0004] Das Patentdokument EP 2 549 495 A1 offenbart einen Trockentransformator für mobile Anwendungen, umfassend einen Transformatorkern und wenigstens ein radial inneres erstes und ein radial äußeres zweites um eine gemeinsame Wickelachse gewickeltes und von dem Transformatorkern durchgriffenes hohlzylindrisches Wicklungssegment, welche ineinander verschachtelt und radial voneinander beabstandet sind, so dass dazwischen ein hohlzylindrischer Kühlkanal ausgeprägt ist, wobei zur Beabstandung Abstandselemente vorgesehen sind, welche derart angeordnet sind, dass der Kühlkanal in axialer Richtung von einem Kühlmittel durchströmbar ist.

[0005] Das Patentdokument EP 2 439 755 A1 offenbart einen Trockentransformator mit einem Kern, einer radial inneren und einer davon radial beabstandeten äußeren Wicklung, wobei in dem dazwischen liegenden als Kühlkanal genutzten hohlzylindrischen Zwischenraum eine Mehrzahl an hohlzylindrischen elektrischen Isolationsbarrieren angeordnet sind. In axialer Richtung sind Stützleisten vorgesehen, so dass eine radial umlaufende Unterteilung in einzelne Kühlkanäle bewirkt ist.

[0006] Das Patentdokument EP 1 715 495 A2 offenbart

einen harzisierten Trockentransformator gemäß Oberbegriff von Anspruch 1 (siehe Fig.2).

[0007] Das Patentdokument US 6 368 530 B1 offenbart eine Methode zum Einbringen von Kühlkanälen in harzgeformte Spulen und einen Trockentransformator mit dieser Spule.

[0008] Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es Aufgabe der Erfindung, einen Trockentransformator anzugeben, welcher ein verbessertes Kühlverhalten aufweist beziehungsweise ein vorhandenes Strömungsvolumen an Kühlmittel möglichst effektiv nutzt.

[0009] Die Aufgabe wird gelöst durch einen Trockentransformator mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

[0010] Die Grundidee der Erfindung besteht darin, die Kühlkanäle, welche in einem hohlzylindrischen Zwischenraum einer Trockentransformatorspule angeordnet sind, gerade nicht mit einer gleichmäßigen sondern mit einer ungleichmäßigen Kühlkanaldichte anzuordnen und zwar derart, dass sich im eingebauten Zustand einer Trockentransformatorspule unter Berücksichtigung der gegebenen Strömungsverhältnisse eine möglichst homogene Durchströmung der Kühlkanäle ergibt.

[0011] Bei einem Einbau in einen Transformator, beispielsweise in einen dreiphasigen Transformator, sind Trockentransformatorspulen um einen jeweiligen Schenkel eines Transformatorkernes angeordnet. Bei einem dreiphasigen Transformator gibt es beispielsweise Kernauführungen mit drei oder fünf parallelen und in einer gemeinsamen senkrechten Ebene angeordneten Kernschenkeln, welche durch ein jeweils darunter beziehungsweise darüber verlaufendes Kernjoch verbunden sind.

[0012] Durch derartige Kernjoch erfolgt daher eine Abschattung der vorzugsweise senkrecht verlaufenden Kühlkanäle, so dass sich für durch die Kühlkanäle strömende Luft ein unterschiedlicher Strömungswiderstand ergibt. Als Folge dessen strömt durch die abgeschatteten Kühlkanäle aufgrund des höheren Strömungswiderstandes ein geringerer Luftstrom als durch die nicht-abgeschatteten Kühlkanäle, sofern ein homogener Füllfaktor mit Kühlkanälen über den gesamten Querschnitt des hohlzylindrischen Zwischenraums vorausgesetzt wird.

[0013] Ein Füllfaktor wird im Rahmen des Erfindungsgegenstandes definiert als das Verhältnis von aktiver Kühlkanalquerschnittsfläche über einen jeweiligen Teilabschnitt der Grundfläche des hohlzylindrischen Zwischenraums zu der Grundfläche selbst. Für den theoretischen Fall, dass der hohlzylindrische Zwischenraum lediglich hauchdünne Membranen aufweisen würde, durch welche eine Trennung der parallel verlaufenden Kühlkanäle erfolgt, wäre für den betreffenden Teilabschnitt der Füllfaktor nahe eins. Für den Fall, dass durch entsprechende Stützleisten oder der dergleichen die Hälfte der Grundfläche eines jeweiligen Teilabschnitts verbraucht wäre, wäre der Füllfaktor in diesem Teilabschnitt bei 50%. Ein hoher Füllfaktor in einem Teilabschnitt ist daher gleichzusetzen mit einem geringen Strömungswiderstand. Eine bereichsweise Variation des Füllfaktors kann

beispielsweise durch eine entsprechende Materialdicke von Leistenelementen erfolgen, durch welche die Kühlkanäle gebildet sind.

[0014] Durch eine entsprechende abschnittsweise Anpassung des Füllfaktors lässt sich dadurch in vorteilhafter Weise eine Erhöhung des Strömungswiderstandes in Bereichen außerhalb der Trockentransformatorspule kompensieren. Somit ist für eine homogene Kühlung über den gesamten Spulenumfang gesorgt. Für den Fall, dass aufgrund der Anordnung der Trockentransformatorspulen ein inhomogener Kühlbedarf besteht, beispielsweise wenn benachbarte Trockentransformatorspulen gegenseitiger Wärmeeinstrahlung ausgesetzt sind, lässt sich aber auch gezielt eine inhomogene Durchströmung der Kühlkanäle entsprechend dem Kühlbedarf realisieren.

[0015] Die Dimensionierung des jeweiligen geeigneten Füllfaktors längs des Umfangs des hohlzylindrischen Zwischenraumes erfolgt anhand der gegebenen Strömungsbedingungen und der typischen Betriebsparameter des Transformators. Hierbei kann eine Durchströmung der Kühlkanäle lediglich anhand natürlicher Konvektion erfolgen, der Transformator kann aber auch über ein Kühlgebläse verfügen und auch in ein Gehäuse eingebaut sein.

[0016] Gemäß dem erfindungsgemäßen Trockentransformator ist die Variation des Füllfaktors durch eine zumindest bereichsweise erfolgende Verengung wenigstens eines axialen Teilbereiches von wenigstens einem Kühlkanal bewirkt. Konstruktiv ist die Aufteilung des hohlzylindrischen Zwischenraums in völlig gleichartige Kühlkanäle nämlich besonders einfach zu realisieren. Um dennoch auch bei eigentlich gleichartigen Kühlkanälen eine Variation des Füllfaktors zu bewirken, ist es daher erfindungsgemäß vorgesehen, einen jeweiligen Kühlkanal abschnittsweise zu verengen, wodurch dann der jeweilige Strömungswiderstand durch den Kühlkanal erhöht wird.

[0017] Eine jeweilige Verengung eines Kühlkanals, erfolgt ein darin oder davor angeordnetes Verengungselement. Diese bieten den Vorteil, dass sie sich nachträglich in bereits gefertigte Kühlkanäle von Trockentransformatorspulen einsetzen lassen und daher kaum zusätzlichen Aufwand erfordern. Es sind sowohl Verengungselemente denkbar, welche sich direkt in einen Kühlkanal einsetzen lassen und diesen bereichsweise verengen, es sind aber auch Blendelemente denkbar, welche direkt an einer axialen Stirnseite eines jeweiligen Kühlkanals angeordnet sind.

[0018] In besonders bevorzugter Weise ist ein jeweiliges Verengungselement aus einem Isolationsmaterial gefertigt. Hierdurch wird die Isolationsfähigkeit der ebenfalls bevorzugter Weise aus einem Isolationsmaterial gefertigten Kühlkanäle nicht negativ beeinträchtigt.

[0019] Gemäß dem erfindungsgemäßen Trockentransformator ist wenigstens ein Verengungselement aus mehreren Modulen mit unterschiedlichem Temperaturendeckungskoeffizient gefertigt. Somit kann in vor-

teilhafter Weise eine temperaturabhängige Verengung des Querschnittes eines Kühlkanals erreicht werden. Das wenigstens eine Verengungselement ist derart ausgestaltet und angeordnet, dass bei steigender Temperatur der Strömungswiderstand durch den jeweiligen Kühlkanal reduziert wird.

[0020] Somit hat eine lokal erhöhte Temperatur automatisch eine lokal verbesserte Kühlwirkung zur Folge. Eine entsprechende Ausführungsform umfasst beispielsweise ein zungenähnliches Verengungselement, welches in den Kühlkanal hineinragt und ähnlich dem Verhalten eines Bimetallstreifens ein temperaturabhängiges Biegeverhalten aufweist. Bei einer erhöhten Temperatur wird die Biegung reduziert und ein erhöhter Querschnitt des Kühlkanals freigegeben.

[0021] Der Füllfaktor des hohlzylindrischen Zwischenraums ist derart variiert, dass er in von den Kernjochen stirnseitig abgeschatteten Bereichen höher ist als in den nicht abgeschatteten Bereichen. Idealerweise ergibt sich hieraus zumindest für einen bevorzugten Betriebszustand des Trockentransformators trotz der Abschattungen eine homogene Durchströmung der jeweiligen Kühlkanäle mit Kühlmittel, wie zum Beispiel Luft.

[0022] Gemäß einer erfindungsgemäßen Variante des Trockentransformators ist dieser forciert gekühlt, weist also beispielsweise ein Fördermittel für Kühlluft auf, beispielsweise ein Gebläse. Hierdurch wird die Effektivität der Kühlkanäle noch einmal weiter gesteigert. Die durch ein Gebläse entstehenden Druckverhältnisse an den stirnseitigen Einlässen der jeweiligen Kühlkanäle sind bei der Auslegung einer geeigneten Füllfaktorverteilung zu berücksichtigen.

[0023] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungsmöglichkeiten sind den weiteren abhängigen Ansprüchen zu entnehmen.

[0024] Anhand der in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiele sollen die Erfindung, weitere Ausführungsformen und weitere Vorteile näher beschrieben werden. Es zeigen:

- Fig. 1 eine exemplarische Trockentransformatorspule,
- Fig. 2 einen exemplarischen Kernschenkel mit Trockentransformatorspule und
- Fig. 3 einen exemplarischen Transformator Kern mit Trockentransformatorspulen.

[0025] Figur 1 zeigt eine exemplarische Trockentransformatorspule 10 in einer Draufsicht auf eine derer beiden Stirnflächen. Um eine Mittelachse herum sind ineinander geschachtelt und zueinander beabstandet eine erste 12 und eine zweite 14 Wicklung der Trockentransformatorspule 10 angeordnet. In einem durch die Beabstandung gebildeten hohlzylindrischen Zwischenraum 16 sind in mehreren exemplarischen Abschnitten 18, 20, 22, 24, 26, 28 mehrere Beispiele für Anordnungen von Kühlkanälen 30, 32, 34, 36 mit jeweils unterschiedlichen Füllfaktoren gegeben.

[0026] Im ersten 18 und zweiten 20 Abschnitt sind Kühlkanäle 30 vorgesehen, welche im ersten Abschnitt 18 tangential beabstandet sind, womit sich ein geringerer Füllfaktor ergibt als im zweiten Abschnitt 20, wo die Kühlkanäle 30 tangential aneinandergrenzend sind. Im dritten Abschnitt 22 sind wiederum tangential aneinander grenzende Kühlkanäle 32 angeordnet, welche in ihrem Inneren jedoch ein jeweiliges Verengungselement 38 aufweisen, so dass auch im dritten Abschnitt ein reduzierter Füllfaktor gegeben ist.

[0027] Im vierten 24 und fünften 26 Abschnitt sind Kühlkanäle 34 mit geringerem Durchmesser als der der Kühlkanäle 30 und 32 angeordnet. Im vierten Abschnitt 24 sind diese einlagig tangential aneinandergrenzend und im fünften Abschnitt 26 zweilagig tangential aneinandergrenzend angeordnet, so dass der fünfte Abschnitt 26 einen etwa doppelt so hohen Füllfaktor aufweist wie der vierte Abschnitt 24.

[0028] Im sechsten Abschnitt 28 wiederum sind tangential angeordnete Leistenelemente vorgesehen zur Beabstandung vorgesehen, durch deren Dicke letztendlich der Füllfaktor im sechsten Abschnitt 28 bestimmt ist.

[0029] Figur 2 zeigt einen exemplarischen Kernschenkel 42 mit Trockentransformatorspule in einer Abbildung 40. Der Kernschenkel 42 ist längs einer Rotationsachse 44 ausgerichtet, um welche radialsymmetrisch angeordnet eine erste 46 und eine zweite 48 Wicklung der Transformatorspule angeordnet sind. In einem hohlzylindrischen Zwischenraum zwischen radial beabstandeter erster 46 und zweiter 48 Wicklung ist ein Kühlkanal 50 gebildet, an dessen oberen Ende ein Verengungselement 50 eingesetzt ist. Hierdurch wird der Strömungswiderstand durch den Kühlkanal 50 künstlich erhöht, womit der effektiv wirksame Füllfaktor für diesen Bereich des hohlzylindrischen Zwischenraumes reduziert ist. Kühlluft tritt von der unteren Stirnseite in den Kühlkanal 50 ein und an dessen oberen stirnseitigen Ende wieder aus, wie mit den Pfeilen mit der Bezugsziffer 54 und 56 angedeutet.

[0030] Die Fig. 3 zeigt einen exemplarischen Transformator kern mit darauf angeordneten Trockentransformatorspulen 62, 64, 66 in einer Draufsicht 60. Der Transformator kern weist drei Schenkel auf, welche an ihren beiden jeweiligen Enden mit einem quer dazu verlaufendem Joch 70 verbunden sind. Jeweilige Kühlkanäle sind in jeweiligen hohlzylindrischen Zwischenräumen 68 der Trockentransformatorspulen 62, 64, 66 gebildet. Das obere 70 und das untere Joch sind in einem Abstand zu den jeweiligen axialen Stirnflächen der Trockentransformatorspulen 62, 64, 66 angeordnet, so dass ein Luftstrom in den abgeschatteten Bereichen 72, 74, 76, 78 nicht ungehindert in die Kühlkanäle eintreten kann. Die hierdurch gebildete Verengungsstelle wird erfindungsgemäß durch einen erhöhten Füllfaktor in den entsprechenden Bereichen des hohlzylindrischen Zwischenraumes kompensiert, so dass sich für die alle Kühlkanäle unter der Berücksichtigung einer jeweiligen Abschattung ein etwa gleicher Strömungswiderstand ergibt.

Bezugszeichenliste

[0031]

- | | | |
|----|----|---|
| 5 | 10 | exemplarische Trockentransformatorspule |
| | 12 | erste Wicklung von Trockentransformatorspule |
| | 14 | zweite Wicklung von Trockentransformatorspule |
| | 16 | hohlzylindrischer Zwischenraum |
| | 18 | erster Abschnitt von hohlzylindrischem Zwischenraum |
| 10 | 20 | zweiter Abschnitt von hohlzylindrischem Zwischenraum |
| | 22 | dritter Abschnitt von hohlzylindrischem Zwischenraum |
| 15 | 24 | vierter Abschnitt von hohlzylindrischem Zwischenraum |
| | 26 | fünfter Abschnitt von hohlzylindrischem Zwischenraum |
| | 28 | sechster Abschnitt von hohlzylindrischem Zwischenraum |
| 20 | 30 | erster Kühlkanal in hohlzylindrischem Zwischenraum |
| | 32 | zweiter Kühlkanal in hohlzylindrischem Zwischenraum |
| 25 | 34 | dritter Kühlkanal in hohlzylindrischem Zwischenraum |
| | 36 | vierter Kühlkanal in hohlzylindrischem Zwischenraum |
| | 38 | exemplarisches Verengungselement |
| 30 | 40 | exemplarischer Kernschenkel mit Trockentransformatorspule |
| | 42 | Kernschenkel |
| | 44 | Mittelachse |
| | 46 | erste Wicklung von Trockentransformatorspule |
| 35 | 48 | zweite Wicklung von Trockentransformatorspule |
| | 50 | Kühlkanal |
| | 52 | exemplarisches Verengungselement |
| | 54 | einströmende Luft |
| | 56 | ausströmende Luft |
| 40 | 60 | exemplarischer Transformator kern mit Trockentransformatorspulen |
| | 62 | erste Trockentransformatorspule |
| | 64 | erste Trockentransformatorspule |
| | 66 | erste Trockentransformatorspule |
| 45 | 68 | hohlzylindrischer Zwischenraum von erster Trockentransformatorspule |
| | 70 | Kernjoch |
| | 72 | erster abgeschatteter Bereich |
| | 74 | erster abgeschatteter Bereich |
| 50 | 76 | erster abgeschatteter Bereich |
| | 78 | erster abgeschatteter Bereich |

Patentansprüche

- 55
1. Trockentransformator (60), umfassend einen Transformator kern mit wenigstens zwei Kernjochen (70) und mit wenigstens zwei Kernschenkeln (42), wobei

um wenigstens einen Kernschenkel (42) eine Trockentransformatorspule (10, 62, 64, 66), umfassend

wenigstens zwei hohlzylindrische, ineinander verschachtelte und radial beabstandete Wicklungen (12, 14, 46, 48) beziehungsweise Wicklungsteile, wobei in dem durch die Beabstandung gebildeten hohlzylindrischen Zwischenraum (16, 68) axial verlaufende Kühlkanäle (30, 32, 34, 36, 50) angeordnet sind, wobei das als Füllfaktor bezeichnete Verhältnis von aktiver Kühlkanalquerschnittfläche über einen jeweiligen Teilabschnitt der Grundfläche des hohlzylindrischen Zwischenraums zu der Grundfläche des jeweiligen Teilabschnitts über den radialen Umfang des hohlzylindrischen Zwischenraums (16, 68) variiert und der Füllfaktor des hohlzylindrischen Zwischenraums (16, 68) derart variiert ist, dass er in von den Kernjochen (70) stirnseitig abgeschatteten Bereichen (72, 74, 76, 78) höher ist als in den nicht abgeschatteten Bereichen, wobei diese Variation durch eine zumindest bereichsweise erfolgende Verengung wenigstens eines axialen Teilbereiches von wenigstens einem der Kühlkanäle (30, 32, 34, 36, 50) bewirkt ist, wobei die jeweilige Verengung eines der Kühlkanäle (30, 32, 34, 36, 50) durch ein darin oder davor angeordnetes Verengungselement (38, 52) erfolgt, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens ein Verengungselement (38, 52) aus mehreren Modulen mit unterschiedlichem Temperatúrausdehnungskoeffizient gefertigt sowie derart ausgestaltet und angeordnet ist, dass bei steigender Temperatur die Verengung des Querschnitts des jeweiligen Kühlkanals (30, 32, 34, 36, 50) reduziert wird und damit auch der Strömungswiderstand durch diesen.

2. Trockentransformator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** dieser ein Fördermittel für Kühlluft aufweist.
3. Trockentransformator (60) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein jeweiliges Verengungselement (38, 52) aus einem Isolationsmaterial gefertigt ist.

Claims

1. Dry-type transformer (60) comprising a transformer core having at least two core yokes (70) and having at least two core limbs (42), wherein a dry-type transformer coil (10, 62, 64, 66) around at least one core limb (42), comprising at least two hollow-cylindrical windings (12, 14, 46, 48) or winding parts which are interleaved and are radially spaced apart from one

another, wherein axially running cooling channels (30, 32, 34, 36, 50) are arranged in the hollow-cylindrical intermediate space (16, 68) which is formed by the spacing, wherein the ratio of active cooling channel cross-sectional area over a respective sub-section of the base area of the hollow-cylindrical intermediate space to the base area of the respective sub-section over the radial circumference of the hollow-cylindrical intermediate space (16, 68), which ratio is called the filling factor, varies and the filling factor of the hollow-cylindrical intermediate space (16, 68) is varied in such a way that it is higher in regions (72, 74, 76, 78) which are shaded at the end by the core yokes (70) than in the regions which are not shaded, wherein this variation is effected by a constriction, which is implemented at least in regions, of at least one axial sub-region of at least one of the cooling channels (30, 32, 34, 36, 50), wherein the respective constriction of one of the cooling channels (30, 32, 34, 36, 50) is implemented by a constriction element (38, 52) which is arranged in the said cooling channels or in front of the said cooling channels, **characterized in that** at least one constriction element (38, 52) is produced from a plurality of modules with different coefficients of thermal expansion and also is designed and arranged in such a way that, as the temperature increases, the constriction of the cross section of the respective cooling channel (30, 32, 34, 36, 50) is reduced and therefore the flow resistance through the said cooling channel is also reduced.

2. Dry-type transformer according to Claim 1, **characterized in that** it has a conveying means for cooling air.
3. Dry-type transformer (60) according to Claim 1 or 2, **characterized in that** a respective constriction element (38, 52) is produced from an insulating material.

Revendications

1. Transformateur sec (60), comprenant un noyau de transformateur pourvu d'au moins deux culasses de noyau (70) et pourvu d'au moins deux branches de noyau (42), une bobine de transformateur sec (10, 62, 64, 66) autour d'au moins l'une des branches de noyau (42), comprenant au moins deux enroulements (12, 14, 46, 48) cylindriques creux, ou parties d'enroulement, imbriqués l'un dans l'autre et espacés dans le sens radial, des canaux de refroidissement (30, 32, 34, 36, 50) qui s'étendent dans le sens radial étant disposés dans l'espace intermédiaire (16, 68) cylindrique creux formé par l'espacement, le rapport, appelé facteur de remplissage, entre la surface de section

transversale de canal de refroidissement active sur une portion partielle respective de la surface de base de l'espace intermédiaire cylindrique creux et la surface de base de la portion partielle respective sur le pourtour radial de l'espace intermédiaire (16, 68) cylindrique creux étant variable et le facteur de remplissage de l'espace intermédiaire (16, 68) cylindrique creux variant de telle sorte qu'il est plus haut dans les zones (72, 74, 76, 78) masquées du côté frontal par les culasses de noyau (70) que dans les zones non masquées, cette variation étant produite par un rétrécissement, qui a lieu au moins dans certaines zones, d'au moins une zone partielle axiale d'au moins l'un des canaux de refroidissement (30, 32, 34, 36, 50), le rétrécissement respectif de l'un des canaux de refroidissement (30, 32, 34, 36, 50) étant effectué par un élément de rétrécissement (38, 52) disposé dans celui-ci ou devant celui-ci, **caractérisé en ce qu'**au moins un élément de rétrécissement (38, 52) est constitué de plusieurs modules ayant des coefficients de dilatation thermique différents et aussi configuré et disposé de telle sorte que lorsque la température augmente, le rétrécissement de la section transversale du canal de refroidissement (30, 32, 34, 36, 50) correspondant est réduit et, de ce fait, également la résistance à l'écoulement par celui-ci.

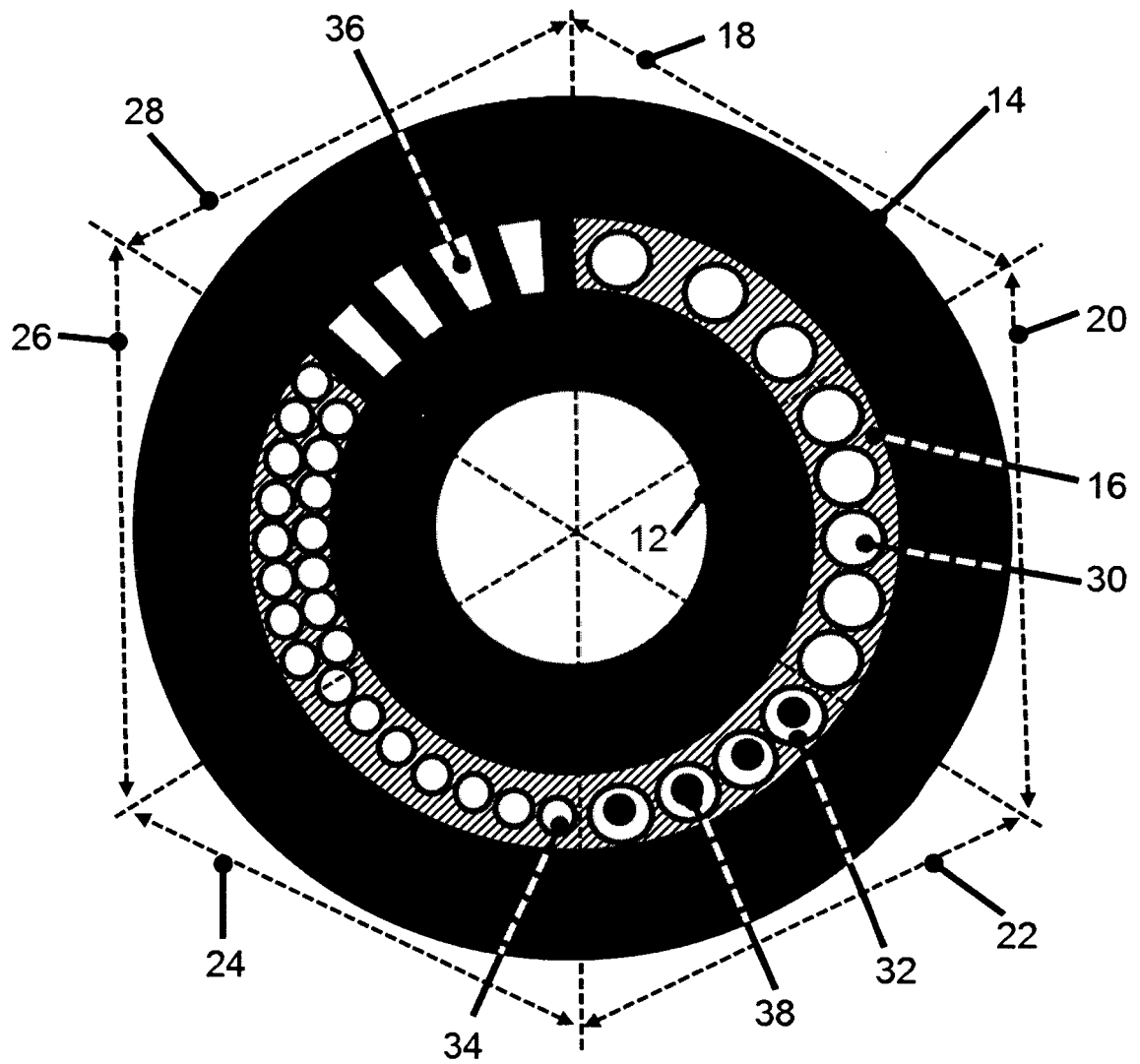
2. Transformateur sec selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** celui-ci possède un moyen de transport pour de l'air de refroidissement.
3. Transformateur sec (60) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'**un élément de rétrécissement (38, 52) respectif est fabriqué dans un matériau isolant.

40

45

50

55



10

Fig. 1

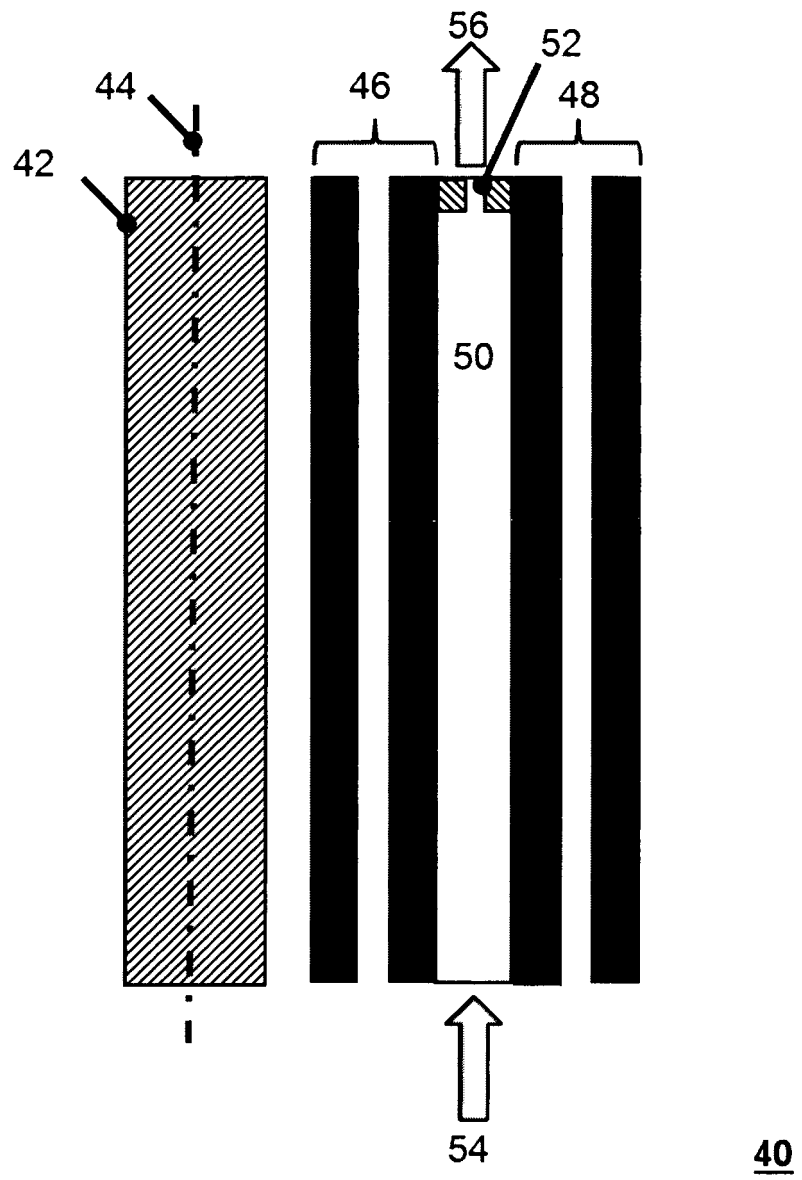
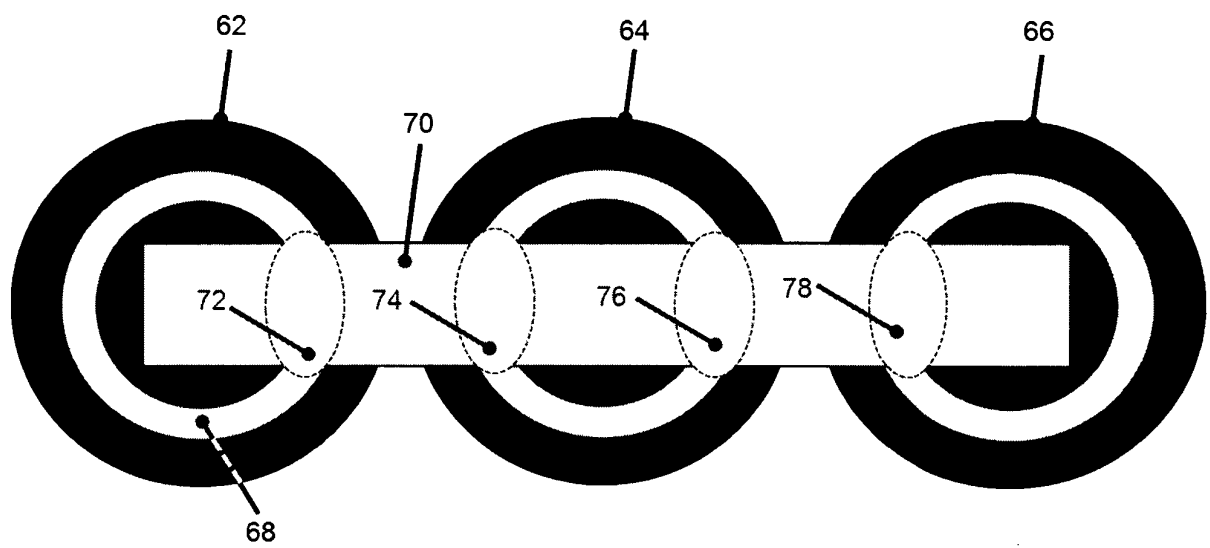


Fig. 2



60

Fig. 3

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 2549495 A1 [0004]
- EP 2439755 A1 [0005]
- EP 1715495 A2 [0006]
- US 6368530 B1 [0007]