

(19)



(11)

EP 2 645 384 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
14.11.2018 Patentblatt 2018/46

(51) Int Cl.:
H01F 27/28 ^(2006.01) **H01F 27/36** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12161388.9**

(22) Anmeldetag: **27.03.2012**

(54) Transformator und Verfahren zur Herstellung eines Transformators

Transformer and method for manufacturing a transformer

Transformateur et procédé de fabrication d'un transformateur

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.10.2013 Patentblatt 2013/40

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

(72) Erfinder:
• **Hörmann, Daniel
90489 Nürnberg (DE)**

- **Silbernagel, Andre
90491 Nürnberg (DE)**
- **Wittemann, Sebastian
90489 Nürnberg (DE)**
- **Zehner, Ingo Gerd
90513 Zirndorf (DE)**
- **Baumann, Markus
90762 Fürth (DE)**
- **Beck, Reinhold
91578 Leutershausen (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A1- 0 466 642 WO-A2-2006/103193
US-A- 3 678 428**

EP 2 645 384 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 einer Oberspannungsprimärwicklung und einer Unterspannungssekundärwicklung, die konzentrisch zueinander und zu einem magnetisch leitfähigen Kern in einer Röhrenwicklungsanordnung angeordnet sind, sowie ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen Transformators.

[0002] Das Eingangsklemmenverhalten eines Transformators lässt sich über einen komplexen Widerstand, im Folgenden als Eingangsimpedanz bezeichnet, beschreiben. Da in einem Transformator Kapazitäten, Induktivitäten und Ohmsche Widerstände in der Art eines linearen Netzwerkes verknüpft sind, ist die Eingangsimpedanz des Transformators im Allgemeinen von der Frequenz einer an einer Oberspannungsprimärwicklung anliegenden sinusförmigen Wechselspannung, im Folgenden als Betriebsfrequenz bezeichnet, abhängig.

[0003] Wicklungsanordnungen, bei denen verschiedene Wicklungen konzentrisch zueinander um den magnetisch leitfähigen Kern angeordnet sind, werden als Röhrenwicklungen bezeichnet.

[0004] Derartige Röhrenwicklungen können als Lagenwicklung ausgebildet sein, wobei mehrere fortlaufende Windungen eines elektrisch leitfähigen Drahts in einer axialen Richtung nebeneinander als Lage angeordnet werden. Hierbei bilden mehrere in einer radialen Richtung übereinander liegende Lagen eine Wicklung.

[0005] Derartige Röhrenwicklungen können auch als Spulenwicklung ausgebildet sein, wobei mehrere fortlaufende Windungen eines elektrisch leitfähigen Drahts in radialer Richtung übereinander als Spule angeordnet werden. Hierbei bilden mehrere in axialer Richtung nebeneinander liegende Spulen eine Wicklung. Ferner sind Röhrenwicklungsanordnungen möglich, bei denen mindestens eine Wicklung als Spulenwicklung und mindestens eine weitere Wicklung als Lagenwicklung ausgeführt ist.

[0006] Es ist bekannt, dass die Herstellung von Spulenwicklungen aufwändiger als die Herstellung von Lagenwicklungen mit gleicher Windungsanzahl ist, wenn die Zahl der Lagen ausreichend groß, beispielsweise größer als etwa 10 ist.

[0007] Aus dem Stand der Technik ist ferner bekannt, dass Transformatoren elektromagnetische Störstrahlung aussenden. Bei einer vorgegebenen Betriebsfrequenz nimmt hierbei die Leistung der elektromagnetischen Störstrahlung mit abnehmender Eingangsimpedanz des Transformators zu.

[0008] Aus dem Stand der Technik ist ferner bekannt, dass bei gleicher Windungszahl und bei gleichem Übersetzungsverhältnis die Eingangsimpedanz oberhalb einer Grenzfrequenz, beispielsweise oberhalb von 10 Kilohertz, bei einem Transformator mit einer Oberspannungsprimärwicklung in Spulenwicklung höher ist als bei einer in Lagenwicklung ausgeführten Oberspannungsprimärwicklung.

[0009] Aus der US 3,678,28 A ist ein Leistungstransformator bekannt, der einen zwischen Unterspannungswicklung und Oberspannungswicklung angeordneten Schirmzylinder aufweist.

5 **[0010]** Aus der WO 2006/103193 A3 ist ein Gießharztransformator bekannt, dessen Oberspannungswicklung nahezu vollständig von einer Abschirmung umgeben ist.

[0011] Aus der EP 0 466 642 A1 ist Transformator mit einer zwischen innerer Wicklung und Kern oder zwischen zwei Wicklungen angeordneten Abschirmung bekannt, die aus einer zwischen zwei Isolierfolien angeordneten streifenförmig metallisierten Folie besteht.

10 **[0012]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen verbesserten Transformator mit einer Oberspannungsprimärwicklung und einer Unterspannungssekundärwicklung in Röhrenwicklungsanordnung anzugeben. Ferner liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen Transformators anzugeben.

15 **[0013]** Die Aufgabe wird erfindungsgemäß hinsichtlich des Transformators durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale und hinsichtlich des Verfahrens durch die im Anspruch 11 angegebenen Merkmale gelöst.

[0014] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

25 **[0015]** Bei einem Transformator mit einer Oberspannungsprimärwicklung und einer Unterspannungssekundärwicklung in Röhrenwicklungsanordnung ist ein Schirmzylinder konzentrisch zwischen der Oberspannungsprimärwicklung und der Unterspannungssekundärwicklung angeordnet und umfasst mindestens eine zur Zylindermantelfläche näherungsweise konzentrische elektrisch leitfähige Schirmungslage, die mit einem Erdkontakt des Transformators elektrisch verbunden ist.

30 **[0016]** Die konzentrische Anordnung der Oberspannungsprimärwicklung und der Unterspannungssekundärwicklung bewirkt neben der induktiven Kopplung zwischen beiden Wicklungen die Ausbildung einer elektrischen Kapazität in der Art eines Zylinderkondensators. Die Eingangsimpedanz der Oberspannungsprimärwicklung wird somit grundsätzlich von der Wicklungsinduktivität, dem Ohmschen Leitungswiderstand und der Kapazität der Windungen beeinflusst.

35 **[0017]** Durch die Anordnung einer elektrisch leitfähigen, mit dem Erdkontakt des Transformators verbundenen Fläche zwischen der Oberspannungsprimärwicklung und der Unterspannungssekundärwicklung wird die Verteilung des elektrischen Feldes dazwischen verändert. Diese Veränderung des elektrischen Feldes bewirkt
40 eine Verringerung der elektrischen Kapazität der Oberspannungsprimärwicklung.

45 **[0018]** Der Betrag des kapazitiven Anteils der Eingangsimpedanz der Oberspannungsprimärwicklung ist umgekehrt proportional zur Betriebsfrequenz des Transformators, während der Betrag des induktiven Anteils der Eingangsimpedanz proportional zur Betriebsfrequenz ist und der Betrag des Ohmschen Anteils der Eingangsimpedanz unabhängig von der Betriebsfrequenz ist.

[0019] Der von der Oberspannungsprimärwicklung aufgenommene Störstrom wird somit bei niedrigen Betriebsfrequenzen von der Induktivität und bei hohen Betriebsfrequenzen von der Kapazität der Oberspannungsprimärwicklung begrenzt.

[0020] Durch die Verringerung der Kapazität wird somit insbesondere in hohen Bereichen der Betriebsfrequenz, beispielsweise bei einer Betriebsfrequenz von über 10 Kilohertz, der Betrag der Eingangsimpedanz vergrößert. Damit wird zugleich die kapazitiv übertragene elektrische Leistung verringert. Dies bewirkt eine Verringerung der abgestrahlten Störleistung.

[0021] In der erfindungsgemäßen Ausführungsform der Erfindung umfasst die Schirmungslage mindestens ein ringförmig um die Zylinderachse angeordnetes Ringband aus elektrisch leitfähigem Material, mindestens ein in axialer Richtung ausgedehntes Längsband aus elektrisch leitfähigem Material und eine flexible, schlauchartig um die Gesamtheit dieser Bänder angeordnete Umhüllung aus elektrisch leitfähigem Material, wobei die Bänder untereinander und mit der Umhüllung elektrisch verbunden sind.

[0022] Mittels der konzentrischen Anordnung der Ringbänder und der senkrecht hierzu angeordneten Längsbänder, im Folgenden als Schirmungsgeflecht bezeichnet, wird eine besonders gute elektrische Abschirmung der Wicklungen voneinander in der Art eines Faradayschen Käfigs und somit eine besonders starke Erhöhung des kapazitiven Anteils der Impedanz erreicht. Damit wird eine besonders wirksame Verringerung der abgestrahlten Störleistung in hohen Frequenzbereichen bewirkt.

[0023] Aufgrund dieser durch die elektrisch verbundenen Ringbänder und Längsbänder bereits erreichten guten elektrischen Abschirmung kann zur vollflächigen Umhüllung des Schirmungsgeflechts auch ein Material mit einem schlechteren Stromleitungsverhalten verwendet werden. Ein flexibles Material, beispielsweise in der Art eines Leitpapiers oder eines Kupfergewebes, eignet sich hierfür besonders, da der Umformungs- und Anpassungsaufwand besonders gering ist.

[0024] Die Umhüllung des Schirmungsgeflechts aus leitfähigem Material nimmt Teile des elektrischen Feldes auf, die in die Lücken zwischen den Ringbändern und Längsbändern eindringen. Da die Umhüllung mit den Ringbändern und Längsbändern elektrisch verbunden ist, ist der Stromfluss in der Umhüllung auf den Potenzialausgleich innerhalb einer solchen Lücke beschränkt. In vorteilhafter Weise kann daher auch ein Material mit höherem spezifischen Widerstand eingesetzt werden.

[0025] In vorteilhafter Weise ist es durch eine Anordnung eines Schirmzylinders zwischen einer inneren und einer äußeren Wicklung bei einem Transformator in Lagenwicklungsanordnung somit möglich, Obergrenzen für die abgestrahlte Störleistung einzuhalten, die ohne diese Anordnung eines Schirmzylinders nur durch Verwendung einer Spulenwicklungsanordnung einzuhalten wären.

[0026] Durch den Einsatz der Erfindung kann daher eine kostengünstigere Herstellungstechnik bei der Fertigung eines Transformators mit vorgegebenem Betriebsverhalten verwendet werden.

5 **[0027]** In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung liegt die Oberspannungsprimärwicklung in radialer Richtung außen und ist als Lagenwicklung ausgeführt.

[0028] Ferner ist die induktive Kopplung bei einer konzentrischen Anordnung der Unterspannungssekundärwicklung innerhalb der Oberspannungsprimärwicklung besonders groß, da hierbei ein besonders großer Anteil des von der Oberspannungsprimärwicklung erzeugten magnetischen Streuflusses die Unterspannungssekundärwicklung durchströmt.

10 **[0029]** In vorteilhafter Weise verringert daher die Anordnung eines Schirmzylinders zwischen einer in radialer Richtung innen liegenden Unterspannungssekundärwicklung und einer außen liegenden Oberspannungsprimärwicklung die Herstellungskosten für einen Transformator, da dies den Einsatz einer Lagenwicklungsanordnung für die Oberspannungsprimärwicklung erlaubt.

15 **[0030]** In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die Unterspannungssekundärwicklung als Traktionssekundärwicklung zur Versorgung einer elektrischen Antriebsmaschine eines Fahrzeugs ausgebildet, weist eine geringere Anzahl von Windungen als die Oberspannungsprimärwicklung auf und ist konzentrisch innerhalb des Schirmzylinders angeordnet.

20 **[0031]** Die vom Fahrleitungsdraht gelieferte Oberspannung liegt abhängig vom Bahnstromsystem bei mehreren Kilovolt, beispielsweise bei 15 Kilovolt. Die zur Versorgung der Antriebsmaschine verwendete Traktionsspannung liegt im Bereich von mehreren Hundert Volt bis etwa 2 Kilovolt. Die Umwandlung der Oberspannung in die Traktionsspannung wird von einem als Traktions-
25 transformator bezeichneten Transformator vorgenommen. Die Betreiber von Bahnsystemen geben frequenzabhängige Grenzwerte für die Störleistung vor, die von einem Traktionstransformator maximal abgestrahlt werden darf.

30 **[0032]** In vorteilhafter Weise ist bei einem Traktionstransformator die Oberspannungsprimärwicklung konzentrisch um die als Traktionssekundärwicklung bezeichnete Unterspannungssekundärwicklung angeordnet. Hierdurch wird ein besonders großer Anteil des von der Oberspannungsprimärwicklung erzeugten magnetischen Flusses durch die Traktionssekundärwicklung geleitet. Durch die konzentrische Anordnung eines Schirmzylinders zwischen der Traktionssekundärwicklung und der Oberspannungsprimärwicklung wird in der beschriebenen Weise die kapazitive Spannungsübertragung in die Oberspannungsprimärwicklung vermindert, und damit das Absinken der Impedanzwerte bei Frequenzen oberhalb einer Grenzfrequenz, beispielsweise oberhalb von 10 Kilohertz, verhindert oder vermindert, und damit die Leistung der abgestrahlten Störstrahlung insbesondere im Bereich hoher Frequenzen, beispielsweise oberhalb von 10 Kilohertz, verringert.

[0033] Die dadurch ermöglichte Ausbildung der Oberspannungsprimärwicklung als Lagenwicklung bietet zum Einen einen Kostenvorteil gegenüber der aufwändigeren Spulenwicklung bei gleichzeitiger Einhaltung der Anforderungen hinsichtlich der abgestrahlten Störleistung.

[0034] Zum Anderen ermöglicht es die Erfindung in vorteilhafter Weise, den in Fahrzeugen oft beschränkten Bauraum für einen Traktionstransformator optimal auszunutzen, da auf weitere Maßnahmen zur Änderung des Impedanzverlaufs, beispielsweise durch Änderung der Abmessungen oder der Geometrie des Traktionstransformators, verzichtet werden kann.

[0035] Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass Traktionstransformatoren, welche bislang Vorgaben eines Bahnsystembetreibers hinsichtlich der abgestrahlten Störleistung verletzt haben, durch das erfindungsgemäße Einfügen eines Schirmzylinders so modifiziert werden, dass die Einhaltung dieser Vorgaben erreicht wird.

[0036] Damit werden zusätzliche Anpassungskosten vermieden und das Entwicklungsrisiko und die Entwicklungszeit für einen solchen Traktionstransformator können gesenkt werden.

[0037] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst der Schirmzylinder einen in einer radialen Richtung innen liegenden inneren Isolationszylinder aus elektrisch isolierendem Material und einen in radialer Richtung außen liegenden äußeren Isolationszylinder aus elektrisch isolierendem Material, wobei die elektrisch leitfähige Schirmungslage konzentrisch zwischen dem inneren Isolationszylinder und dem äußeren Isolationszylinder angeordnet ist.

[0038] In besonders vorteilhafter Weise werden durch diese Ausführungsform die Oberspannungsprimärwicklung, die Unterspannungssekundärwicklung sowie die elektrisch leitfähige Schirmungslage jeweils voneinander elektrisch isoliert.

[0039] Bei einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist/sind das mindestens eine Ringband und/oder das mindestens eine Längsband aus Kupfer gefertigt.

[0040] Da Kupfer einen geringen spezifischen Widerstand aufweist, ist es in besonderem Maß geeignet, elektrischen Strom aus einem größeren Oberflächenbereich der Umhüllung des Schirmungsgeflechts abzuführen. In vorteilhafter Weise können daher die Abstände zwischen den Ringbändern größer gewählt werden, als dies bei einem Material mit größerem spezifischen Widerstand möglich gewesen wäre.

[0041] Ein weiterer Vorteil bei der Verwendung von Kupfer ist dessen vergleichsweise sehr geringe magnetische Permeabilität. Dadurch wird die Ausbreitung des Magnetflusses von der Oberspannungswicklung in die Traktionssekundärwicklung nicht oder nur minimal beeinträchtigt.

[0042] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist zwischen dem inneren Isolationszylinder und dem Schirmungsgeflecht wenigstens eine

erste Lage Isolationspapier angeordnet.

[0043] In vorteilhafter Weise wird durch das Aufbringen von Isolationspapier der innere Isolationszylinder vor einer mechanischen Beschädigung beim Aufbringen der Ringbänder geschützt. Dies vermindert zusätzlich das Risiko eines zu geringen Isolationswiderstands zwischen der Schirmungslage des Schirmzylinders und der Traktionssekundärwicklung.

[0044] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist zwischen dem äußeren Isolationszylinder und der Umhüllung des Schirmungsgeflechts wenigstens eine zweite Lage Isolationspapier angeordnet.

[0045] Analog zur Wirkung der ersten Lage Isolationspapier bewirkt die zweite Lage Isolationspapier einen Schutz des äußeren Isolationszylinders vor mechanischer Beschädigung durch die Umhüllung aus flexiblem elektrischem Material und die darunter liegenden Ringbänder und Längsbänder.

[0046] Bei einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist die Umhüllung des Schirmungsgeflechts als elektrisch leitfähiges Leitpapier oder als ein Kupfergewebe ausgebildet.

[0047] Die Montage des Transformators wird durch die Verwendung eines flexiblen elektrisch leitfähigen Materials besonders erleichtert, da damit zum Einen Toleranzschwankungen im Durchmesser der darunter liegenden Traktionssekundärwicklung ausgeglichen werden können. Zum Anderen ist es mit flexiblem Material möglich, eine geschlossene elektrisch leitfähige Umhüllung des Schirmungsgeflechts durch Umwickeln eines Schenkels eines Transformator-kerns mit geschlossenem Joch herzustellen.

[0048] Leitpapier und Kupfergewebe eignen sich zur Umhüllung in besonderem Maß, da sie eine hohe elektrische Leitfähigkeit und eine geringe magnetische Permeabilität aufweisen. Ein besonderer Vorteil bei der Verwendung von Kupfergewebe ist ferner dessen mechanische Stabilität und Robustheit gegen ein Zerreißen und ein Zerschneiden beispielsweise an Knickstellen.

[0049] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist zwischen dem Schirmzylinder und mindestens einer der Wicklungen eine Wärmeleitvorrichtung angeordnet.

[0050] Durch den Ohmschen Widerstand des Wicklungsdrahts entsteht im Inneren einer Wicklung Wärme. In vorteilhafter Weise wird diese Wärme mittels Wärmeleitvorrichtungen zum Gehäuse des Transformators transportiert. Dies erlaubt einerseits einen Betrieb des Transformators mit einer höheren Übertragungsleistung und ermöglicht andererseits die Verwendung von Wicklungsdraht mit geringerem Querschnitt und verbessert somit insgesamt die Effizienz eines Transformators.

[0051] Bei einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung weist eine Wärmeleitvorrichtung wenigstens einen Ölkanal zum Transport von Transformatoröl auf.

[0052] Bei einer Füllung des Transformators mit Trans-

formatoröl sind die Wicklungen vollständig vom Transformatoröl umschlossen. Dies erlaubt eine gute Wärmeabgabe vom Wicklungsdraht an das umgebende Transformatoröl. Dieses wiederum kann die Wärme an das Transformatorengehäuse und/oder an Kühlvorrichtungen, beispielsweise in der Art eines Lüftergekühlten Wärmetauschers, abgeben.

[0053] Für die Ableitung von Wärme aus inneren Wicklungsbereichen ist es vorteilhaft, Vorrichtungen zum Transport von Transformatoröl von und nach diesen inneren Wicklungsbereichen vorzusehen. Ein Ölkanal erlaubt eine verbesserte Zirkulation des Transformatoröls zwischen den inneren Wicklungsbereichen und Ölreservoirs, welche in direktem Kontakt zum Transformatorgehäuse und/oder zur Kühlvorrichtungen stehen. Durch die Anordnung eines Ölkanals zwischen einem Isolationszylinder und einer Wicklung wird eine Unterbrechung des Ölflusses durch den Isolationszylinder vermieden. In vorteilhafter Weise kann sich dadurch erwärmtes Transformatoröl aus dem vom Schirmzylinder eingeschlossenen Bereich leicht in einen äußeren, gekühlten Bereich ausbreiten.

[0054] Bei einem Verfahren zur Herstellung eines Transformators wird/werden erfindungsgemäß

- um eine Traktionssekundärwicklung ein erster Ölkanal angeordnet,
- um den ersten Ölkanal ein innerer Isolationszylinder angeordnet,
- auf den inneren Isolationszylinder wenigstens eine erste Lage Isolationspapier gewickelt,
- Ringbänder in festgelegten Abständen zueinander um die wenigstens eine erste Lage Isolationspapier angeordnet,
- die Ringbänder durch mindestens ein Längsband elektrisch leitfähig miteinander zu einem Schirmungsgeflecht verbunden,
- um dieses Schirmungsgeflecht eine Umhüllung aus flexiblem elektrisch leitfähigem Material gewickelt,
- um die Umhüllung wenigstens eine zweite Lage Isolationspapier gewickelt,
- ein äußerer Isolationszylinder um die wenigstens eine zweite Lage Isolationspapier herum angeordnet,
- um den äußeren Isolationszylinder ein zweiter Ölkanal angeordnet,
- eine Oberspannungsprimärwicklung auf den zweiten Ölkanal in einer Lagenwicklungsanordnung gewickelt und
- die Bänder mit einem Erdkontakt des Transformators elektrisch verbunden.

[0055] Es ist ein Vorteil dieses Verfahrens, dass die Herstellung eines Transformators mit den oben beschriebenen vorteilhaften Eigenschaften in einer entlang einer radialen Richtung von innen nach außen fortschreitenden Reihenfolge erfolgt.

[0056] In vorteilhafter Weise können somit aus dem Stand der Technik bekannte Herstellungsverfahren für

Transformatoren verwendet werden.

[0057] Ein besonderer Vorteil dieses Verfahrens ist die Ausführung der Oberspannungsprimärwicklung in einer Lagenwicklungsanordnung, die im Vergleich zu einer anderen Wicklungsanordnung, beispielsweise zu einer Spulenwicklungsanordnung, einfacher herzustellen ist. Beispielsweise ist die Herstellung einer Oberspannungsprimärwicklung eines Traktionstransformators in Lagenwicklungsanordnung durch einen einzelnen Bearbeiter möglich, während zur Herstellung in Spulenwicklungsanordnung oft zwei Bearbeiter benötigt werden.

[0058] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden.

[0059] Dabei zeigen:

FIG 1 schematisch den frequenzabhängigen Verlauf der Impedanz ohne Schirmzylinder aus dem Stand der Technik,

FIG 2 schematisch einen Schnitt in axialer Richtung durch eine Röhrenwicklungsanordnung mit Schirmzylinder,

FIG 3 schematisch einen Schnitt in radialer Richtung durch eine Röhrenwicklungsanordnung mit Schirmzylinder,

FIG 4 schematisch den Aufbau einer Schirmungslage und

FIG 5 schematisch den frequenzabhängigen Verlauf der Impedanz mit Schirmzylinder.

[0060] Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0061] Figur 1 zeigt schematisch den Verlauf der Eingangsimpedanz eines Traktionstransformators entlang einer Impedanzachse Z über der Frequenz entlang einer Frequenzachse f aus dem Stand der Technik in doppelt logarithmischer Darstellung.

[0062] Damit die Betriebssicherheit elektrischer Bahnanlagen gewährleistet ist, muss eine elektrisch angetriebene Lokomotive für die Zulassung zum Betrieb festgelegte Grenzwerte für die elektromagnetische Störstrahlung einhalten. Für Traktionstransformatoren besteht deshalb die Forderung, den Störstrom zu begrenzen. Der Soll-Impedanzverlauf 1 gibt die hierzu minimal erforderliche Impedanz in einem kritischen Frequenzbereich, beispielsweise zwischen 100 Hertz und 150 Kilohertz, an.

[0063] Aus dem Stand der Technik bekannte Traktionstransformatoren mit Lagenwicklung weisen einen Impedanzverlauf 2.1 ohne Schirmzylinder auf, der typischerweise in einem oberen Frequenzbereich, beispiels-

weise oberhalb von 10 Kilohertz, den Soll-Impedanzverlauf 1 unterschreitet.

[0064] Diese verringerte Impedanz wird bei hohen Frequenzen durch den kapazitiven Anteil der Impedanz bewirkt, der bekanntlich betragsmäßig umgekehrt proportional zur Frequenz ist. Dadurch wird eine Störstrahlung verursacht, die punktuell oder über Frequenzbereiche hinweg über dem zugelassenen Grenzwert liegt.

[0065] Die Figuren 2 und 3 zeigen schematisch Schnittdarstellungen eines Ausführungsbeispiels für die koaxiale Anordnung eines Schirmzylinders 6 zwischen einer Traktionssekundärwicklung 3 und einer Oberspannungsprimärwicklung 4 eines Transformators T. Beide Wicklungen 3, 4 sind zueinander und zu einem magnetisch leitfähigen Kern 5 ebenfalls konzentrisch angeordnet. Figur 2 zeigt einen Schnitt in axialer Richtung durch eine Röhrenwicklungsanordnung mit Schirmzylinder 6, Figur 3 zeigt einen Schnitt in radialer Richtung R.

[0066] Der Schirmzylinder 6 umfasst einen in einer radialen Richtung R inneren Isolationszylinder 6.1 und einen in einer radialen Richtung R äußeren Isolationszylinder 6.2 sowie eine zwischen den Isolationszylindern 6.1, 6.2 angeordnete elektrisch leitfähige Schirmungslage 6.3.

[0067] In weiteren Ausführungsformen der Erfindung ist es möglich, zwischen dem Schirmzylinder 6 und mindestens einer Wicklung 3, 4 Kühlvorrichtungen anzuordnen, beispielsweise Ölkanaäle zum Transport von Transformatorenöl.

[0068] Die elektrisch leitfähige Schirmungslage 6.3 umfasst mehrere konzentrisch zum Kern 5, der Traktionssekundärwicklung 3 sowie dem inneren Isolationszylinder 6.1 angeordnete Ringbänder 6.3.1 aus elektrisch leitfähigem Material. Diese Ringbänder 6.3.1 sind entlang einer axialen Richtung A in näherungsweise gleichen Abständen angeordnet und mit mindestens einem Längsband 6.3.2 aus elektrisch leitfähigem Material untereinander elektrisch verbunden.

[0069] Um das Geflecht aus Ringbändern 6.3.1 und mindestens einem Längsband 6.3.2 ist eine nicht dargestellte Umhüllung aus flexiblem elektrisch leitfähigem Material angeordnet. Diese Umhüllung kann beispielsweise als elektrisch leitfähiges Leitpapier oder als ein Kupfergewebe ausgebildet sein.

[0070] Figur 4 zeigt schematisch weitere Details der Schirmungslage 6.3. Der hier nicht dargestellte innere Isolationszylinder 6.1 umschließt die Traktionssekundärwicklung 3. Er kann ferner optional einen Ölkanal umschließen. Um diesen inneren Isolationszylinder 6.1 sind mehrere Lagen Isolationspapier gewickelt. Auf der in radialer Richtung R äußersten Lage des Isolationspapiers sind die Ringbänder 6.3.1 angeordnet und mit Klebestreifen 6.3.3 fixiert. Auf den Ringbändern 6.3.1 ist mindestens ein in axialer Richtung A ausgedehntes Längsband 6.3.2 angeordnet, mit Klebestreifen 6.3.3 fixiert und mit den Ringbändern 6.3.1 elektrisch verbunden. In radialer Richtung R ist über den Ringbändern 6.3.1 und dem mindestens einen Längsband 6.3.2 die Umhüllung aus fle-

xiblem elektrisch leitfähigem Material angeordnet. In axialer Richtung A erstreckt sich die Schirmungslage 6.3 über die gesamte Länge der Wicklungen 3, 4.

[0071] Mindestens ein Längsband 6.3.2 wird mittels eines Kabelschuhs 6.3.4 mit dem Erdkontakt des Transformators T verbunden.

[0072] In der Gesamtheit wirken die Bänder 6.3.1, 6.3.2 und die Umhüllung aus flexiblem elektrisch leitfähigem Material als Faradayscher Käfig, der näherungsweise eine Äquipotenzialfläche mit dem elektrischen Potenzial des Erdkontakts darstellt. Dadurch wird die Ausbreitung des elektrischen Feldes zwischen der inneren Traktionssekundärwicklung 3 und der äußeren Oberspannungsprimärwicklung 4 verhindert oder stark gemindert. Damit sinkt die kapazitive Kopplung zwischen der Oberspannungsprimärwicklung und der Traktionssekundärwicklung. Dies bewirkt in vorteilhafter Weise eine Verringerung des Störstroms und somit eine verringerte Leistung der Störstrahlung vorzugsweise im oberen, vom kapazitiven Impedanzanteil bestimmten Frequenzbereich.

[0073] Figur 5 zeigt schematisch den Impedanzverlauf 2.2 eines Transformators T beim Einsatz eines Schirmzylinders 6. Durch die verringerte Kapazität sind die Impedanzeinbrüche bei hohen Frequenzen, beispielsweise oberhalb von 10 Kilohertz, verringert. Der Impedanzverlauf 2.2 mit Schirmzylinder liegt somit im gesamten spezifizierten Frequenzbereich über den Werten, die durch den Soll-Impedanzverlauf 1 vorgegeben sind. Damit ist sichergestellt, dass die festgelegten Obergrenzen für die abgestrahlte Störleistung durch den Transformator T mit Schirmzylinder 6 eingehalten werden.

[0074] Obwohl die Erfindung im Detail durch ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Transformator (T) mit einer Oberspannungsprimärwicklung (4) und einer Unterspannungssekundärwicklung in einer Röhrenwicklungsanordnung sowie einem konzentrisch dazwischen angeordneten Schirmzylinder (6), wobei

- der Schirmzylinder (6) mindestens eine zur Zylindermantelfläche näherungsweise konzentrische elektrisch leitfähige Schirmungslage (6.3) umfasst und die Schirmungslage mindestens ein ringförmig um die Zylinderachse angeordnetes Ringband (6.3.1) aus elektrisch leitfähigem Material umfasst und die Schirmungslage (6.3) mit einem Erdkontakt des Transformators (T) elektrisch verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schirmungslage (6.3),

- mindestens ein in axialer Richtung (A) ausge-
dehntes Längsband (6.3.2) aus elektrisch leitfä-
higem Material und
 - eine flexible, schlauchartig um ein Schir-
mungsgeflecht aus diesen Bändern (6.3.1, 5
6.3.2) angeordnete Umhüllung aus elektrisch
leitfähigem Material umfasst, welche miteinan-
der elektrisch verbunden sind.
2. Transformator (T) nach Anspruch 1, wobei die Ober- 10
spannungsprimärwicklung (4) in radialer Richtung
(R) außen liegt und als Lagenwicklung ausgeführt
ist.
3. Transformator (T) nach Anspruch 2, wobei 15
- die Unterspannungssekundärwicklung als
Traktionssekundärwicklung (3) zur Versorgung
einer elektrischen Antriebsmaschine eines
Fahrzeugs ausgebildet ist und eine geringere 20
Anzahl an Windungen aufweist als die Ober-
spannungsprimärwicklung (4) und
 - diese Traktionssekundärwicklung (3) konzen-
trisch innerhalb des Schirmzylinders (6) ange-
ordnet ist. 25
4. Transformator (T) nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, wobei der Schirmzylinder (6)
- einen in einer radialen Richtung (R) innen lie- 30
genden inneren Isolationszylinder (6.1) aus
elektrisch isolierendem Material und
 - einen in radialer Richtung (R) außen liegenden
äußeren Isolationszylinder (6.2) aus elektrisch
isolierendem Material 35
- umfasst und wobei die elektrisch leitfähige Schir-
mungslage (6.3) konzentrisch zwischen dem inne-
ren Isolationszylinder (6.1) und dem äußeren Isola-
tionszylinder (6.2) angeordnet ist. 40
5. Transformator (T) nach einem der Ansprüche 1 bis
4, wobei das mindestens eine Ringband (6.3.1)
und/oder das mindestens eine Längsband (6.3.2)
aus Kupfer gefertigt sind. 45
6. Transformator (T) nach einem der Ansprüche 1 bis
5, wobei wenigstens eine erste Lage Isolationspa-
pier zwischen dem inneren Isolationszylinder (6.1)
und dem Schirmungsgeflecht angeordnet ist. 50
7. Transformator (T) nach einem der Ansprüche 1 bis
6, wobei wenigstens eine zweite Lage Isolationspa-
pier zwischen dem äußeren Isolationszylinder (6.2)
und der Umhüllung des Schirmungsgeflechts aus
den Bändern (6.3.1, 6.3.2) angeordnet ist.
- 7, wobei die Umhüllung des Schirmungsgeflechts
aus den Bändern (6.3.1, 6.3.2) als elektrisch leitfä-
higes Leitpapier oder als ein Kupfergewebe ausge-
bildet ist.
9. Transformator (T) nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, wobei wenigstens eine Wärmeleitvor-
richtung zwischen dem Schirmzylinder (6) und min-
destens einer der Wicklungen (3, 4) angeordnet ist.
10. Transformator (T) nach Anspruch 9, wobei wenig-
stens eine Wärmeleitvorrichtung wenigstens einen
Ölkanal zum Transport von Transformatorenöl auf-
weist.
11. Verfahren zur Herstellung eines Transformators (T),
wobei
- um eine Traktionssekundärwicklung (3) ein
erster Ölkanal angeordnet wird,
 - um den ersten Ölkanal ein innerer Isola-
tionszylinder (6.1) angeordnet wird,
 - auf den inneren Isolationszylinder (6.1) we-
nigstens eine erste Lage Isolationspapier gewi-
ckelt wird,
 - Ringbänder (6.3.1) in festgelegten Abständen
zueinander um die wenigstens eine erste Lage
Isolationspapier angeordnet werden,
 - die Ringbänder (6.3.1) durch mindestens ein
Längsband (6.3.2) elektrisch leitfähig miteinan-
der zu einem Schirmungsgeflecht verbunden
werden,
 - um dieses Schirmungsgeflecht, und hiermit
elektrisch leitend verbunden, eine Umhüllung
aus flexiblem elektrisch leitfähigem Material ge-
wickelt wird,
 - um die Umhüllung wenigstens eine zweite La-
ge Isolationspapier gewickelt wird,
 - ein äußerer Isolationszylinder (6.2) um die we-
nigstens eine zweite Lage Isolationspapier he-
rum angeordnet wird,
 - um den äußeren Isolationszylinder (6.2) ein
zweiter Ölkanal angeordnet wird,
 - eine Oberspannungsprimärwicklung (4) auf
den zweiten Ölkanal in einer Lagenwicklungs-
anordnung gewickelt wird und
 - die Bänder (6.3.1, 6.3.2) mit einem Erdkontakt
des Transformators (T) elektrisch verbunden
werden.

Claims

1. Transformer (T) comprising a high-voltage primary
winding (4) and a low-voltage secondary winding in
a tubular winding arrangement and also a shielding
cylinder (6) which is arranged concentrically there-
between, wherein

- the shielding cylinder (6) comprises at least one electrically conductive shielding layer (6.3) which is approximately concentric with respect to the cylinder casing surface, and the shielding layer comprises at least one annular strip (6.3.1) which is arranged in the form of a ring around the cylinder axis and is composed of an electrically conductive material, and the shielding layer (6.3) is electrically connected to an earth contact of the transformer (T), **characterized in that** the shielding layer (6.3) comprises
- at least one longitudinal strip (6.3.2) which is extended in the axial direction (A) and is composed of electrically conductive material, and
 - a flexible sheathing which is arranged in a hose-like manner around a shielding mesh comprising these strips (6.3.1, 6.3.2) and is composed of electrically conductive material, which longitudinal strip and sheathing are electrically connected to one another.
2. Transformer (T) according to Claim 1, wherein the high-voltage primary winding (4) is situated on the outside in the radial direction (R) and is designed as a layer winding.
Frei verwendbar
3. Transformer (T) according to Claim 2, wherein
- the low-voltage secondary winding is in the form of a traction secondary winding (3) for supplying an electrical drive machine of a vehicle and has a lower number of turns than the high-voltage primary winding (4), and
 - this traction secondary winding (3) is arranged concentrically within the shielding cylinder (6).
4. Transformer (T) according to one of the preceding claims, wherein the shielding cylinder (6) comprises
- an inner insulating cylinder (6.1) which is situated on the inside in a radial direction (R) and is composed of electrically insulating material, and
 - an outer insulating cylinder (6.2) which is situated on the outside in the radial direction (R) and is composed of electrically insulating material, and wherein the electrically conductive shielding layer (6.3) is arranged concentrically between the inner insulating cylinder (6.1) and the outer insulating cylinder (6.2).
5. Transformer (T) according to one of Claims 1 to 4, wherein the at least one annular strip (6.3.1) and/or the at least one longitudinal strip (6.3.2) are manufactured from copper.
6. Transformer (T) according to one of Claims 1 to 5,
- wherein at least one first layer of insulating paper is arranged between the inner insulating cylinder (6.1) and the shielding mesh.
7. Transformer (T) according to one of Claims 1 to 6, wherein at least one second layer of insulating paper is arranged between the outer insulating cylinder (6.2) and the sheathing of the shielding mesh composed of the strips (6.3.1, 6.3.2).
8. Transformer (T) according to one of Claims 1 to 7, wherein the sheathing of the shielding mesh composed of the strips (6.3.1, 6.3.2) is in the form of an electrically conductive paper or in the form of a woven copper fabric.
9. Transformer (T) according to one of the preceding claims, wherein at least one thermally conductive apparatus is arranged between the shielding cylinder (6) and at least one of the windings (3, 4).
10. Transformer (T) according to Claim 9, wherein at least one thermally conductive apparatus has at least one oil channel for transporting transformer oil.
11. Method for producing a transformer (T), wherein
- a first oil channel is arranged around a traction secondary winding (3),
 - an inner insulating cylinder (6.1) is arranged around the first oil channel,
 - at least one first layer of insulating paper is wound onto the inner insulating cylinder (6.1),
 - annular strips (6.3.1) are arranged at defined distances from one another around the at least one first layer of insulating paper,
 - the annular strips (6.3.1) are electrically conductively connected to one another to form a shielding mesh by at least one longitudinal strip (6.3.2),
 - a sheathing composed of flexible electrically conductive material is wound around this shielding mesh and electrically conductively connected thereto,
 - at least one second layer of insulating paper is wound around the sheathing,
 - an outer insulating cylinder (6.2) is arranged around the at least one second layer of insulating paper,
 - a second oil channel is arranged around the outer insulating cylinder (6.2),
 - a high-voltage primary winding (4) is wound onto the second oil channel in a layer winding arrangement, and
 - the strips (6.3.1, 6.3.2) are electrically connected to an earth contact of the transformer (T).

Revendications

1. Transformateur (T) ayant un enroulement (4) primaire de tension haute et un enroulement secondaire de tension basse en un agencement d'enroulement tubulaire, ainsi qu'un cylindre (6) de blindage interposé concentriquement, dans lequel
 - le cylindre (6) de blindage comprend au moins une couche (6.3) de blindage conductrice de l'électricité à peu près concentrique à la surface latérale cylindrique et la couche de blindage comprend au moins une bande (6.3.1) annulaire en matériau conducteur de l'électricité disposée annulairement autour de l'axe du cylindre et la couche (6.3) de blindage est reliée électriquement à un contact de terre du transformateur (T), **caractérisé en ce que** la couche (6.3) de blindage comprend
 - au moins une bande (6.3.2) longitudinale en matériau conducteur de l'électricité s'étendant dans une direction (A) axiale et
 - une enveloppe souple en matériau conducteur de l'électricité, de type tuyau souple, disposée autour d'un tissu de blindage composé de ces bandes (6.3.1, 6.3.2), qui sont reliées électriquement entre elles.
2. Transformateur (T) suivant la revendication 1, dans lequel l'enroulement (4) primaire de tension haute se trouve à l'extérieur dans la direction (R) radiale et est réalisé sous la forme d'un enroulement à couches.
3. Transformateur (T) suivant la revendication 2, dans lequel
 - l'enroulement secondaire de tension basse est constitué en enroulement (3) secondaire de traction pour l'alimentation d'une machine électrique de traction d'un véhicule et a un nombre de spires plus petit que l'enroulement (4) primaire de tension haute et
 - cette enroulement (3) secondaire de traction est disposé concentriquement à l'intérieur du cylindre (6) de blindage.
4. Transformateur (T) suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel le cylindre (6) de blindage comprend
 - un cylindre (6.1) isolant intérieur en matériau isolant électriquement se trouvant à l'intérieur dans une direction (R) radiale et
 - un cylindre (6.2) isolant extérieur en matériau isolant électriquement se trouvant à l'extérieur
- dans la direction (R) radiale, et dans lequel la couche (6.3) de blindage conductrice de l'électricité est disposée concentriquement entre le cylindre (6.1) isolant intérieur et le cylindre (6.2) isolant extérieur.
5. Transformateur (T) suivant l'une des revendications 1 à 4, dans lequel la au moins une bande (6.3.1) annulaire et/ou la au moins une bande (6.3.2) longitudinale sont en cuivre.
6. Transformateur (T) suivant l'une des revendications 1 à 5, dans lequel au moins une première couche de papier isolant est disposée entre le cylindre (6.1) isolant intérieur et le tissu de blindage.
7. Transformateur (T) suivant l'une des revendications 1 à 6, dans lequel au moins une deuxième couche de papier isolant est disposée entre le cylindre (6.2) isolant extérieur et l'enveloppe du tissu de blindage composé des bandes (6.3.1, 6.3.2).
8. Transformateur (T) suivant l'une des revendications 1 à 7, dans lequel l'enveloppe du tissu isolant composé des bandes (6.3.1, 6.3.2) est constituée sous la forme de papier conducteur de l'électricité ou d'un tissu de cuivre.
9. Transformateur (T) suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel au moins un dispositif conducteur de la chaleur est disposé entre le cylindre (6) de blindage et au moins l'un des enroulements (3,4).
10. Transformateur (T) suivant la revendication 9, dans lequel au moins un dispositif conducteur de la chaleur a au moins un conduit pour de l'huile pour le transport d'huile de transformateur.
11. Procédé de fabrication d'un transformateur (T), dans lequel
 - on met un premier conduit pour de l'huile autour d'un enroulement (3) secondaire de traction,
 - on met un cylindre (6.1) isolant intérieur autour du premier conduit pour de l'huile,
 - sur le cylindre (6.1) isolant intérieur, on enroule au moins une première couche de papier isolant,
 - on met des bandes (6.3.1) annulaires à des distances fixées les unes par rapport aux autres autour de la au moins une première couche de papier isolant,
 - on relie les bandes (6.3.1) annulaires par au moins une bande (6.3.2) longitudinale d'une manière conductrice de l'électricité entre elles en un tissu de blindage,
 - on enroule autour de ce tissu de blindage et

on relie ainsi d'une manière conductrice de l'électricité une enveloppe en matériau souple conducteur de l'électricité,

- on enroule au moins une deuxième couche de papier isolant autour de l'enveloppe, 5

- on met un cylindre (6.2) isolant extérieur autour de la au moins une deuxième couche de papier isolant,

- on met un deuxième conduit pour de l'huile autour du cylindre (6.2) isolant extérieur, 10

- on enroule, suivant un agencement d'enroulement à couches, un enroulement (4) primaire de tension haute sur le deuxième conduit pour de l'huile et

- on relie électriquement les bandes (6.3.1, 6.3.2) à un contact de terre du transformateur (T). 15

20

25

30

35

40

45

50

55

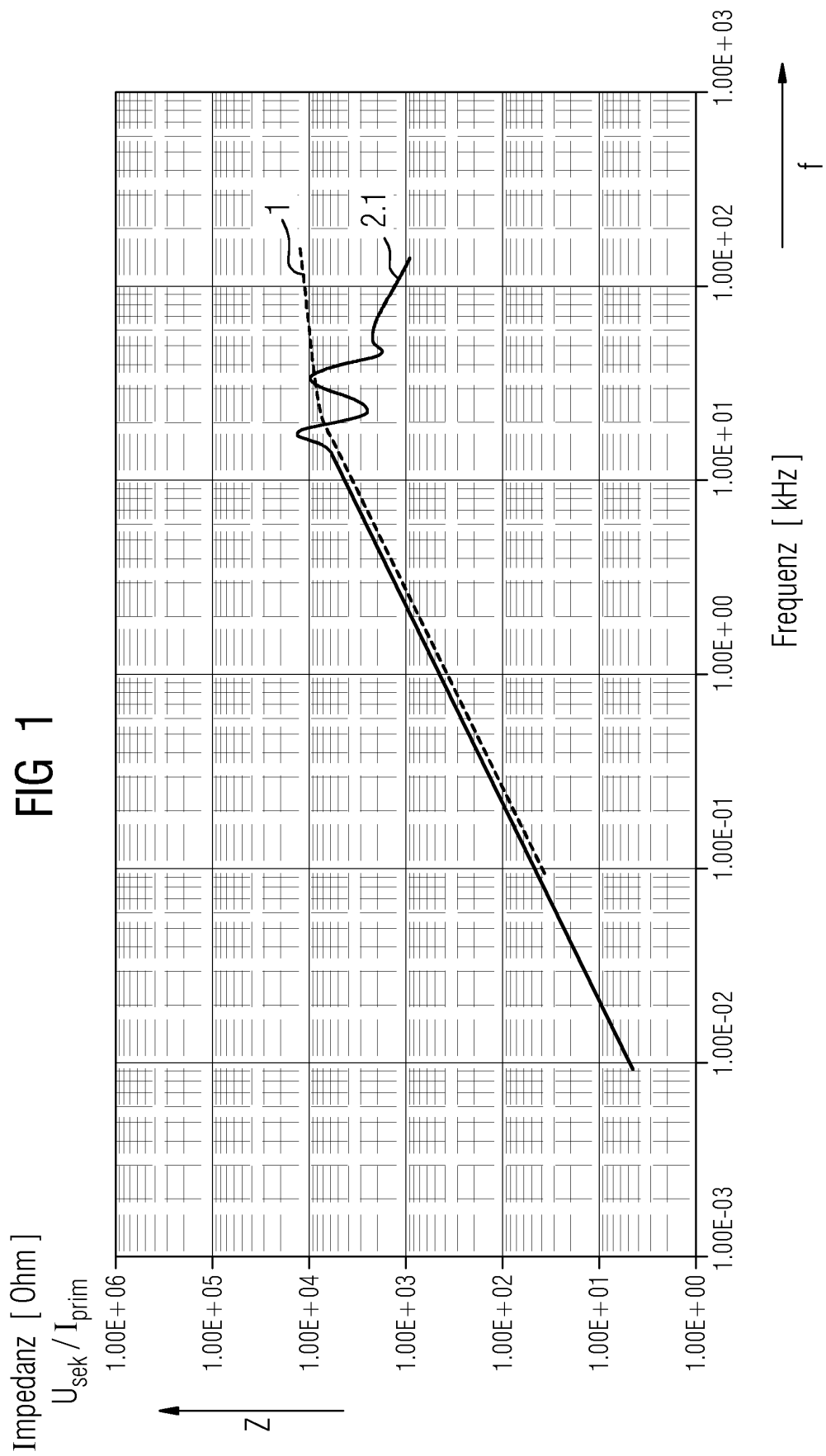


FIG 2

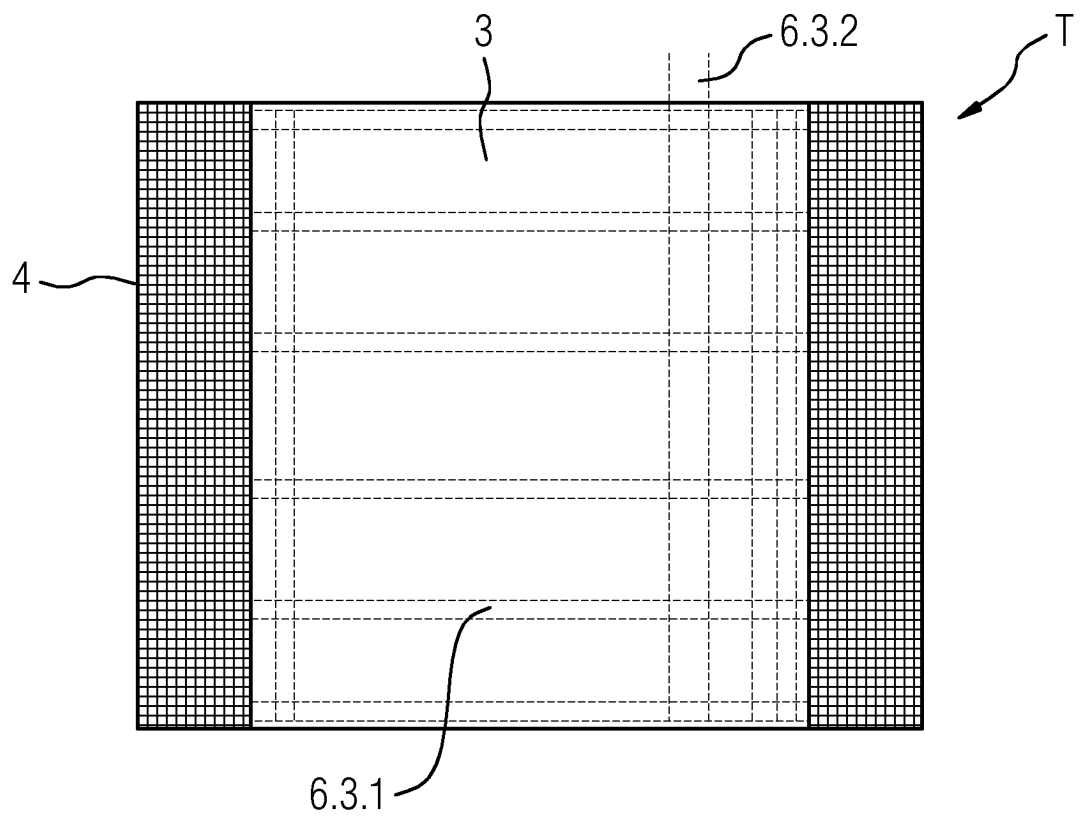


FIG 3

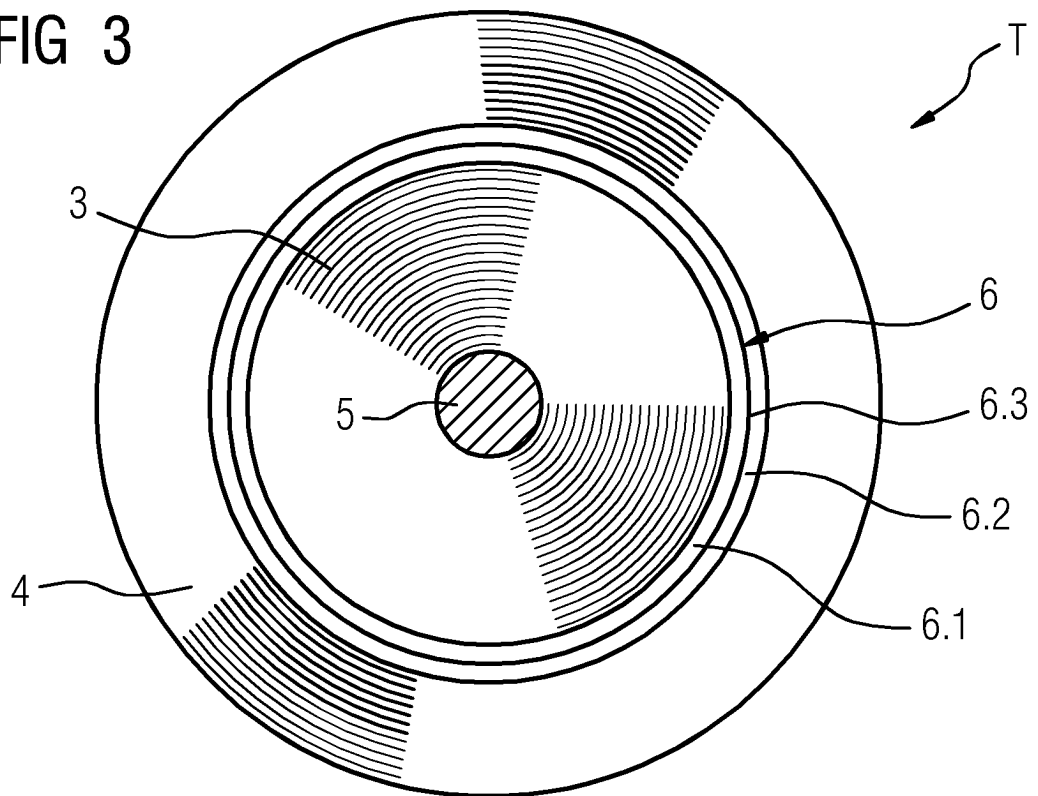
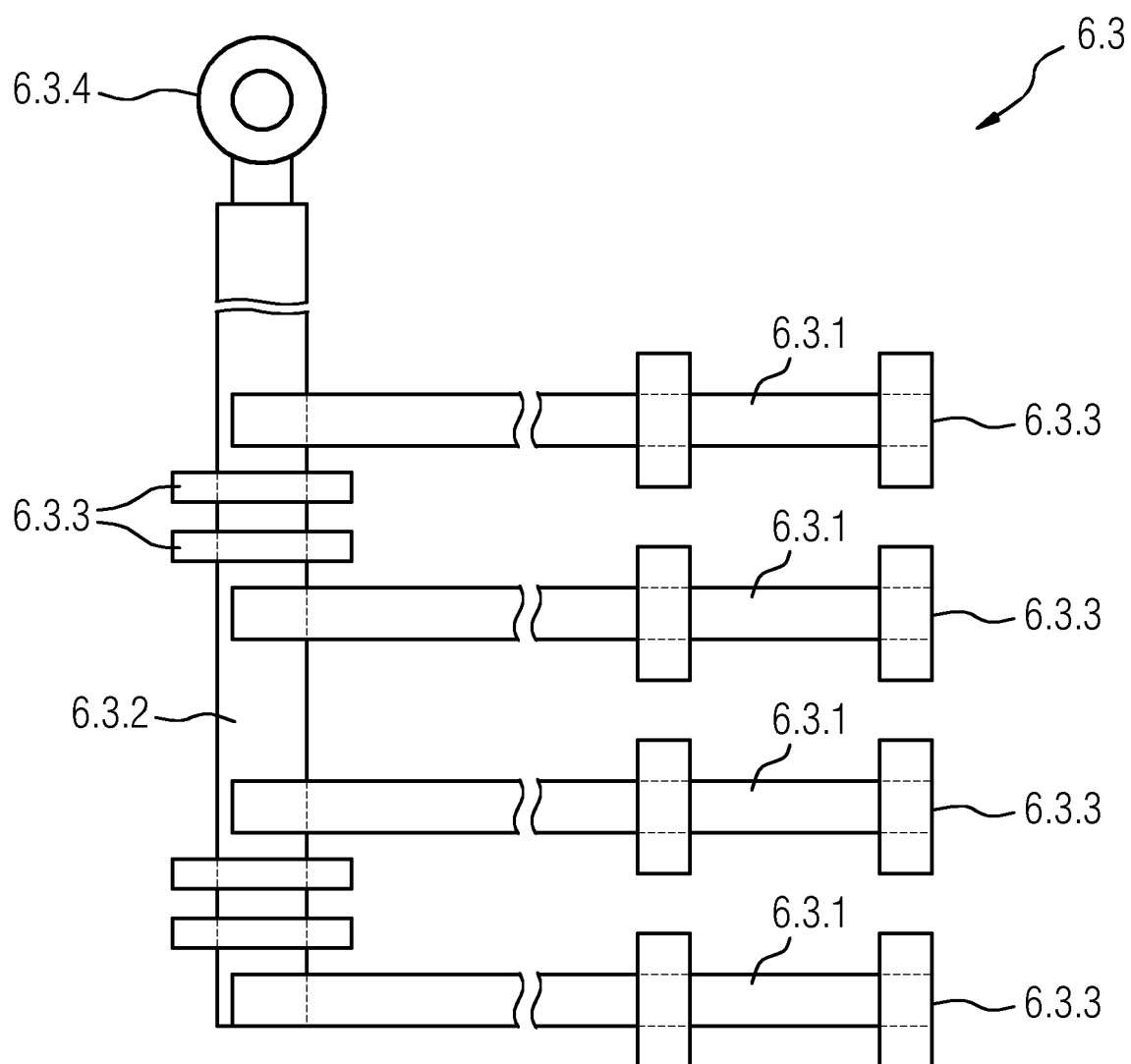
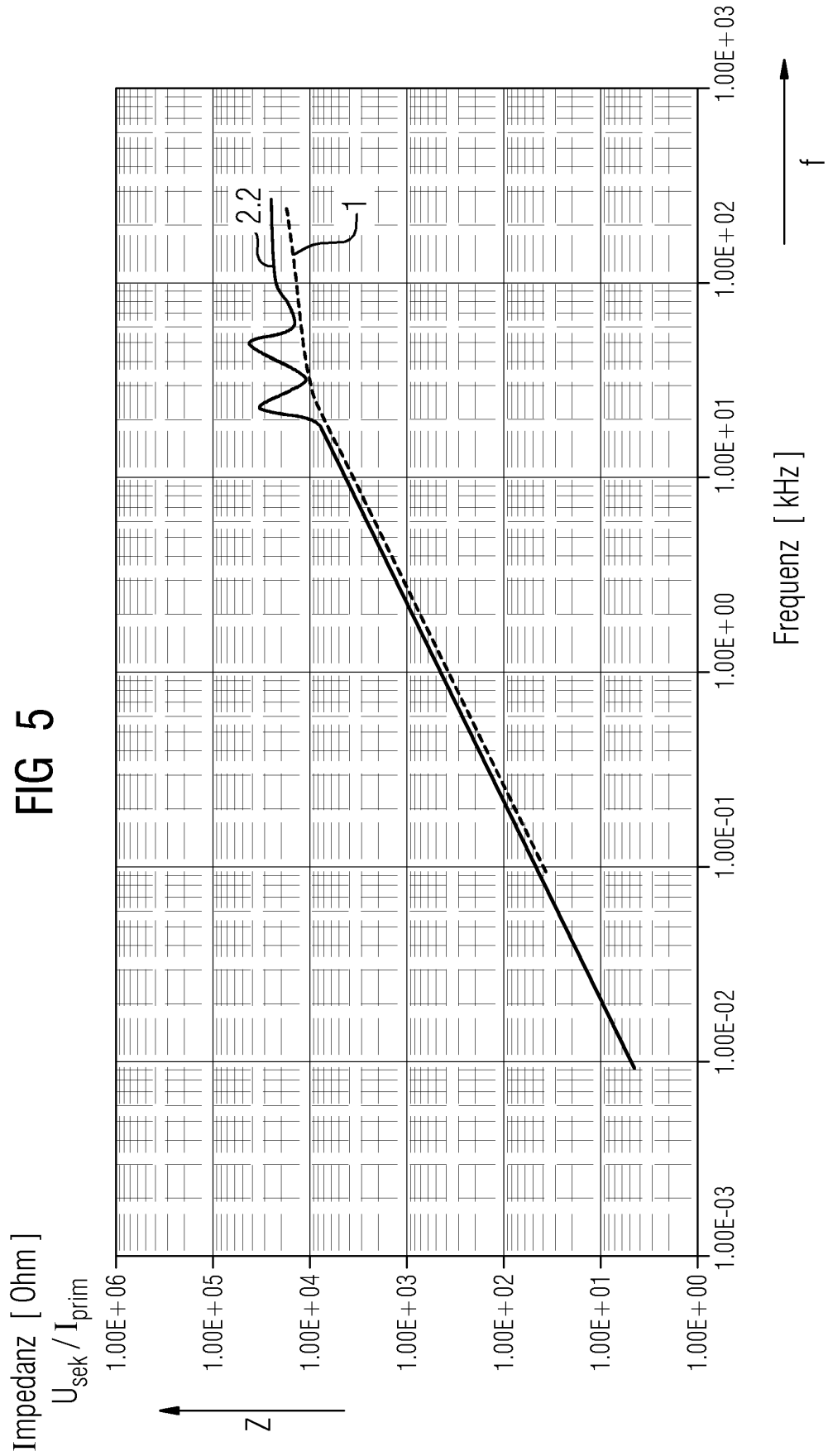


FIG 4





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 367828 A [0009]
- WO 2006103193 A3 [0010]
- EP 0466642 A1 [0011]