



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
02.10.2013 Patentblatt 2013/40

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

(21) Anmeldenummer: **12161388.9**

(22) Anmeldetag: **27.03.2012**

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

- **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)

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

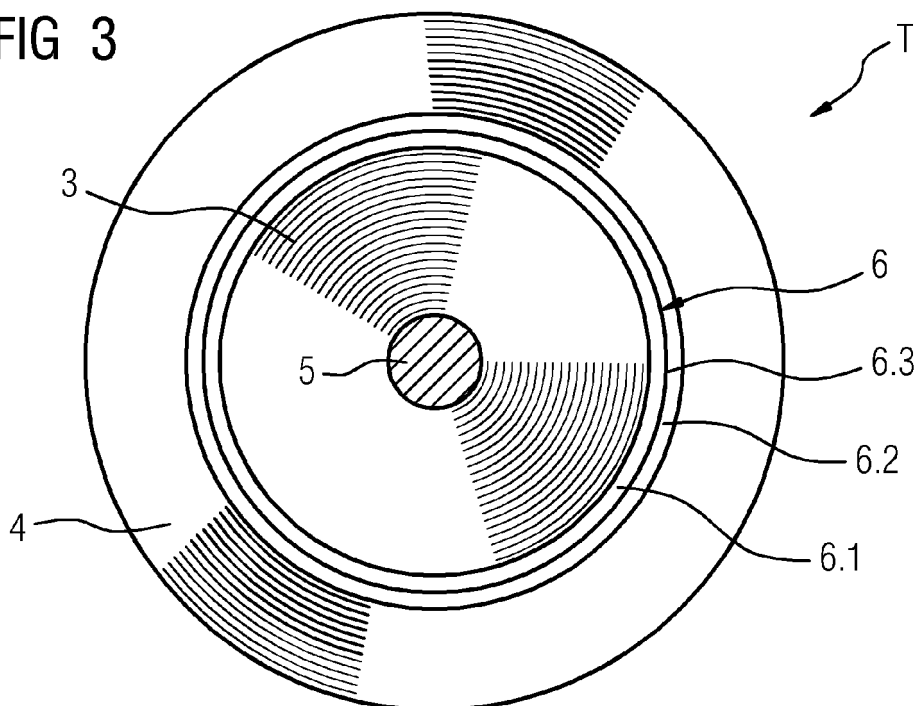
(72) Erfinder:
• **Hörmann, Daniel**
90489 Nürnberg (DE)

(54) **Transformator und Verfahren zur Herstellung eines Transformators**

(57) Die Erfindung betrifft einen Transformator (T) mit einer Oberspannungsprimärwicklung (4) und einer Unterspannungssekundärwicklung in Röhrenwicklungsanordnung sowie einem konzentrisch dazwischen ange-

ordneten Schirmzylinder (6). Hierbei umfasst der Schirmzylinder (6) mindestens eine zur Zylindermantelfläche näherungsweise konzentrische elektrisch leitfähige Schirmungslage (6.3), welche mit einem Erdkontakt des Transformators (T) elektrisch verbunden ist.

FIG 3



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 Wechselfrequenz, 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.

[0006] Ferner sind Röhrenwicklungsanordnungen möglich, bei denen mindestens eine Wicklung als Spulenwicklung und mindestens eine weitere Wicklung als Lagenwicklung ausgeführt ist.

[0007] Es ist bekannt, dass die Herstellung von Spulenwicklungen aufwändiger als die Herstellung von Lagenwicklungen mit gleicher Windungszahl ist, wenn die Zahl der Lagen ausreichend groß, beispielsweise größer als etwa 10 ist.

[0008] 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.

[0009] 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.

[0010] 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.

[0011] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß hinsichtlich des Transformators durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale und hinsichtlich des Verfahrens durch die im Anspruch 12 angegebenen Merkmale gelöst.

[0012] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0013] Bei einem Transformator mit einer Oberspannungsprimärwicklung und einer Unterspannungssekundärwicklung in Röhrenwicklungsanordnung ist erfindungsgemäß 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.

[0014] 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.

[0015] Durch die erfindungsgemäße 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 eine Verringerung der elektrischen Kapazität der Oberspannungsprimärwicklung.

[0016] 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.

[0017] Der von der Oberspannungsprimärwicklung aufgenommene Störstrom wird somit bei niedrigen Betriebsfrequenzen von der Induktivität und bei hohen Betriebsfrequenzen von der Kapazität der Oberspannungsprimärwicklung begrenzt.

[0018] 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 Verrin-

gerung der abgestrahlten Störleistung.

[0019] 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.

[0020] Durch den Einsatz der Erfindung kann daher eine kostengünstigere Herstellungstechnik bei der Fertigung eines Transformators mit vorgegebenem Betriebsverhalten verwendet werden.

[0021] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung liegt die Oberspannungsprimärwicklung in radialer Richtung außen und ist als Lagenwicklung ausgeführt.

[0022] 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 Streufusses die Unterspannungssekundärwicklung durchströmt.

[0023] 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.

[0024] 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.

[0025] 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 Traktionstransformator bezeichneten Transformator vorgenommen. Die Betreiber von Bahnsystemen geben frequenzabhängige Grenzwerte für die Störleistung vor, die von einem Traktionstransformator maximal abgestrahlt werden darf.

[0026] 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.

[0027] 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.

[0028] 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.

[0029] 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.

[0030] 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.

[0031] Damit werden zusätzliche Anpassungskosten vermieden und das Entwicklungsrisiko und die Entwicklungszeit für einen solchen Traktionstransformator können gesenkt werden.

[0032] 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.

[0033] In besonders vorteilhafter Weise werden durch diese Ausführungsform die Oberspannungsprimärwicklung, die Unterspannungssekundärwicklung sowie die elektrisch leitfähige Schirmungslage jeweils voneinander elektrisch isoliert.

[0034] In einer weiteren 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.

[0035] 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.

[0036] 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.

[0037] 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.

[0038] Bei einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist/sind das mindestens eine Ringband und/oder das mindestens eine Längsband aus Kupfer gefertigt.

[0039] 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.

[0040] 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.

[0041] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist zwischen dem inneren Isolationszylinder und dem Schirmungsgeflecht wenigstens eine erste Lage Isolationspapier angeordnet.

[0042] 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.

[0043] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist zwischen dem äußeren Isolations-

zylinder und der Umhüllung des Schirmungsgeflechts wenigstens eine zweite Lage Isolationspapier angeordnet.

[0044] 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 elektrischen Material und die darunter liegenden Ringbänder und Längsbänder.

[0045] Bei einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist die Umhüllung des Schirmungsgeflechts als elektrisch leitfähiges Leitpapier oder als ein Kupfergewebe ausgebildet.

[0046] 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.

[0047] 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.

[0048] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist zwischen dem Schirmzylinder und mindestens einer der Wicklungen eine Wärmeleitvorrichtung angeordnet.

[0049] 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.

[0050] Bei einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung weist eine Wärmeleitvorrichtung wenigstens einen Ölkanal zum Transport von Transformatoröl auf.

[0051] Bei einer Füllung des Transformators mit Transformatoröl 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.

[0052] Für die Ableitung von Wärme aus inneren Wicklungsbereichen ist es vorteilhaft, Vorrichtungen zum Transport von Transformatoröl von und nach diesen in-

neren 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.

[0053] 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.

[0054] 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.

[0055] In vorteilhafter Weise können somit aus dem Stand der Technik bekannte Herstellungsverfahren für Transformatoren verwendet werden.

[0056] 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 Arbeiter möglich, während zur Herstellung in Spulenwicklungs-

anordnung oft zwei Arbeiter benötigt werden.

[0057] 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.

[0058] Dabei zeigen:

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

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

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

FIG 4 schematisch den Aufbau einer Schirmungslage und

25 FIG 5 schematisch den frequenzabhängigen Verlauf der Impedanz mit Schirmzylinder.

[0059] Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

30 **[0060]** 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.

35 **[0061]** 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.

45 **[0062]** Aus dem Stand der Technik bekannte Traktionstransformatoren mit Lagenwicklung weisen einen Impedanzverlauf 2.1 ohne Schirmzylinder auf, der typischerweise in einem oberen Frequenzbereich, beispielsweise oberhalb von 10 Kilohertz, den Soll-Impedanzverlauf 1 unterschreitet.

50 **[0063]** 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.

[0064] 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.

[0065] 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.

[0066] In weiteren Ausführungsformen der Erfindung ist es möglich, zwischen dem Schirmzylinder 6 und mindestens einer Wicklung 3, 4 Kühlvorrichtungen anzuordnen, beispielsweise Ölkanäle zum Transport von Transformatorenöl.

[0067] 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.

[0068] 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.

[0069] 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 flexiblem elektrisch leitfähigem Material angeordnet. In axialer Richtung A erstreckt sich die Schirmungslage 6.3 über die gesamte Länge der Wicklungen 3, 4.

[0070] Mindestens ein Längsband 6.3.2 wird mittels eines Kabelschuhs 6.3.4 mit dem Erdkontakt des Transformators T verbunden.

[0071] 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 Po-

tenzial 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.

[0072] 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.

[0073] 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 Schutzzumfang 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 (6.3) mit einem Erdkontakt des Transformators (T) elektrisch verbunden ist.
2. Transformator (T) nach Anspruch 1, wobei die Oberspannungsprimärwicklung (4) in radialer Richtung (R) außen liegt und als Lagenwicklung ausgeführt ist.
3. Transformator (T) nach Anspruch 2, wobei
 - die Unterspannungssekundärwicklung als Traktionssekundärwicklung (3) zur Versorgung einer elektrischen Antriebsmaschine eines Fahrzeugs ausgebildet ist und eine geringere Anzahl an Windungen aufweist als die Oberspannungsprimärwicklung (4) und

- diese Traktionssekundärwicklung (3) konzentrisch innerhalb des Schirmzylinders (6) angeordnet ist.
4. Transformator (T) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schirmzylinder (6)
- einen in einer radialen Richtung (R) innen liegenden inneren Isolationszylinder (6.1) aus elektrisch isolierendem Material und
 - einen in radialer Richtung (R) außen liegenden äußeren Isolationszylinder (6.2) aus elektrisch isolierendem Material
- umfasst und wobei die elektrisch leitfähige Schirmungslage (6.3) konzentrisch zwischen dem inneren Isolationszylinder (6.1) und dem äußeren Isolationszylinder (6.2) angeordnet ist.
5. Transformator (T) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Schirmungslage (6.3)
- mindestens ein ringförmig um die Zylinderachse angeordnetes Ringband (6.3.1) aus elektrisch leitfähigem Material,
 - mindestens ein in axialer Richtung (A) ausge dehntes Längsband (6.3.2) aus elektrisch leitfähigem Material und
 - eine flexible, schlauchartig um ein Schirmungsgeflecht aus diesen Bändern (6.3.1, 6.3.2) angeordnete Umhüllung aus elektrisch leitfähigem Material
- umfasst, welche miteinander elektrisch verbunden sind.
6. Transformator (T) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mindestens eine Ringband (6.3.1) und/oder das mindestens eine Längsband (6.3.2) aus Kupfer gefertigt sind.
7. Transformator (T) nach Anspruch 5 oder 6, **gekennzeichnet durch** wenigstens eine zwischen dem inneren Isolationszylinder (6.1) und dem Schirmungsgeflecht angeordnete erste Lage Isolationspapier.
8. Transformator (T) nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **gekennzeichnet durch** wenigstens eine zwischen dem äußeren Isolationszylinder (6.2) und der Umhüllung des Schirmungsgeflechts aus den Bändern (6.3.1, 6.3.2) angeordnete zweite Lage Isolationspapier.
9. Transformator (T) nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umhüllung des Schirmungsgeflechts aus den Bändern (6.3.1, 6.3.2) als elektrisch leitfähiges Leitpapier oder als
- ein Kupfergewebe ausgebildet ist.
10. Transformator (T) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** wenigstens eine zwischen dem Schirmzylinder (6) und mindestens einer der Wicklungen (3, 4) angeordnete Wärmeleitvorrichtung.
11. Transformator (T) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eine Wärmeleitvorrichtung wenigstens einen Ölkanal zum Transport von Transformatorenöl aufweist.
12. Verfahren zur Herstellung eines Transformators (T), wobei
- um eine Traktionssekundärwicklung (3) ein erster Ölkanal angeordnet wird,
 - um den ersten Ölkanal ein innerer Isolationszylinder (6.1) angeordnet wird,
 - auf den inneren Isolationszylinder (6.1) wenigstens eine erste Lage Isolationspapier gewickelt 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 miteinander zu einem Schirmungsgeflecht verbunden werden,
 - um dieses Schirmungsgeflecht eine Umhüllung aus flexiblem elektrisch leitfähigem Material gewickelt wird,
 - um die Umhüllung wenigstens eine zweite Lage Isolationspapier gewickelt wird,
 - ein äußerer Isolationszylinder (6.2) um die wenigstens eine zweite Lage Isolationspapier herum angeordnet wird,
 - um den äußeren Isolationszylinder (6.2) ein zweiter Ölkanal angeordnet wird,
 - eine Oberspannungsprimärwicklung (4) auf den zweiten Ölkanal in einer Lagenwicklungsanordnung gewickelt wird und
 - die Bänder (6.3.1, 6.3.2) mit einem Erdkontakt des Transformators (T) elektrisch verbunden werden.

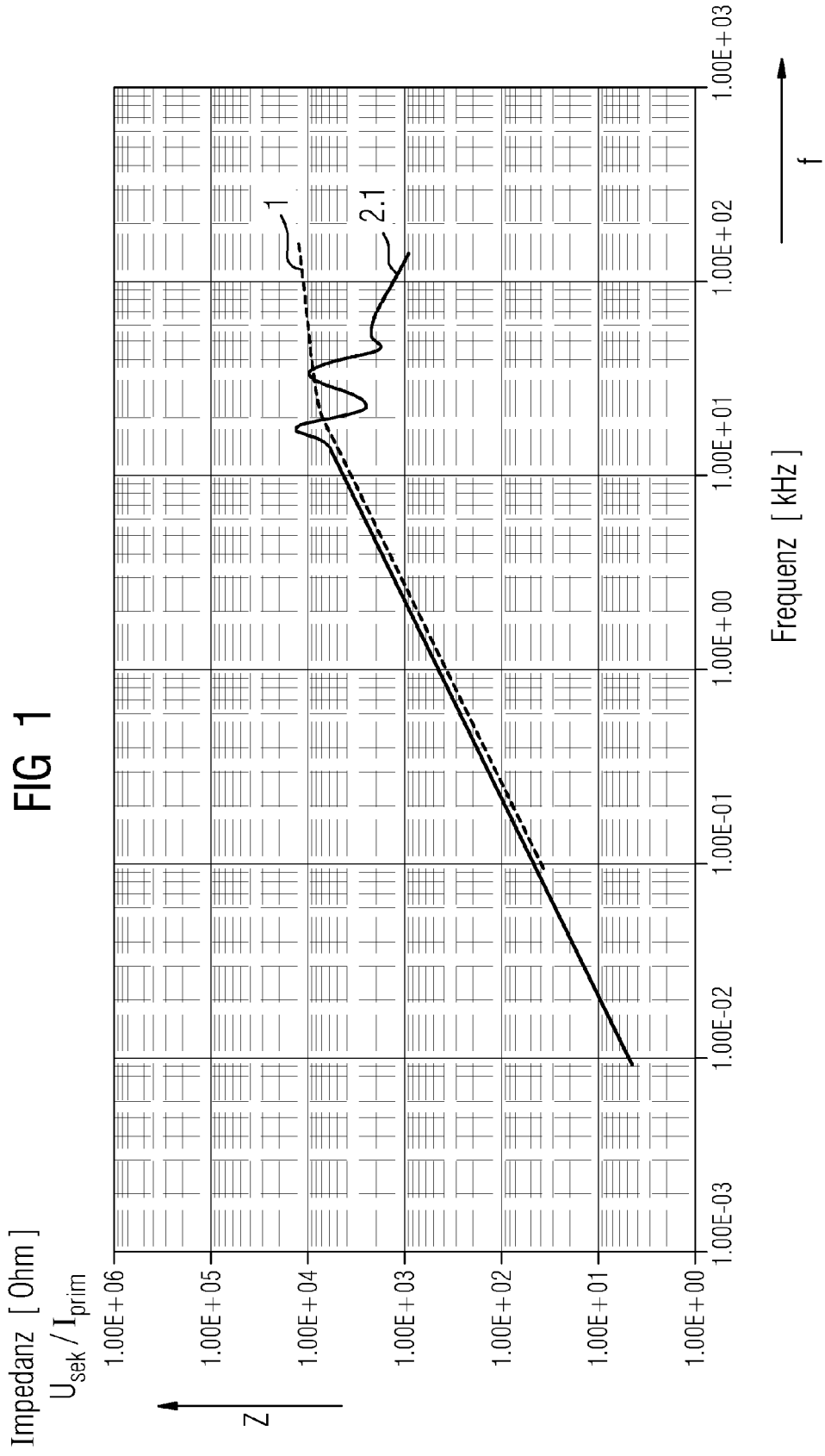


FIG 2

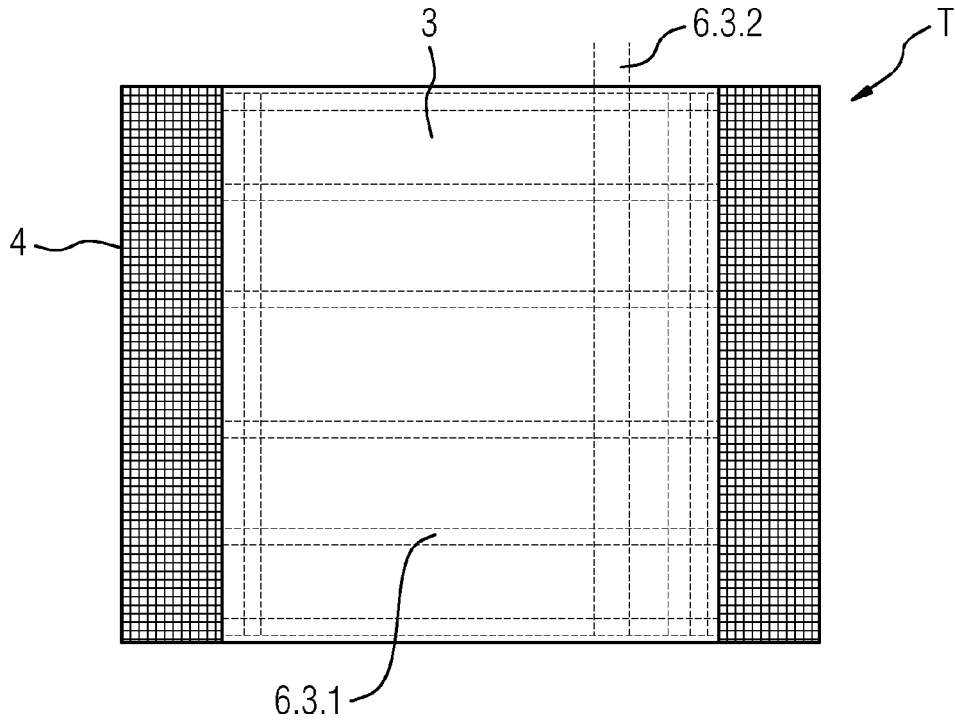


FIG 3

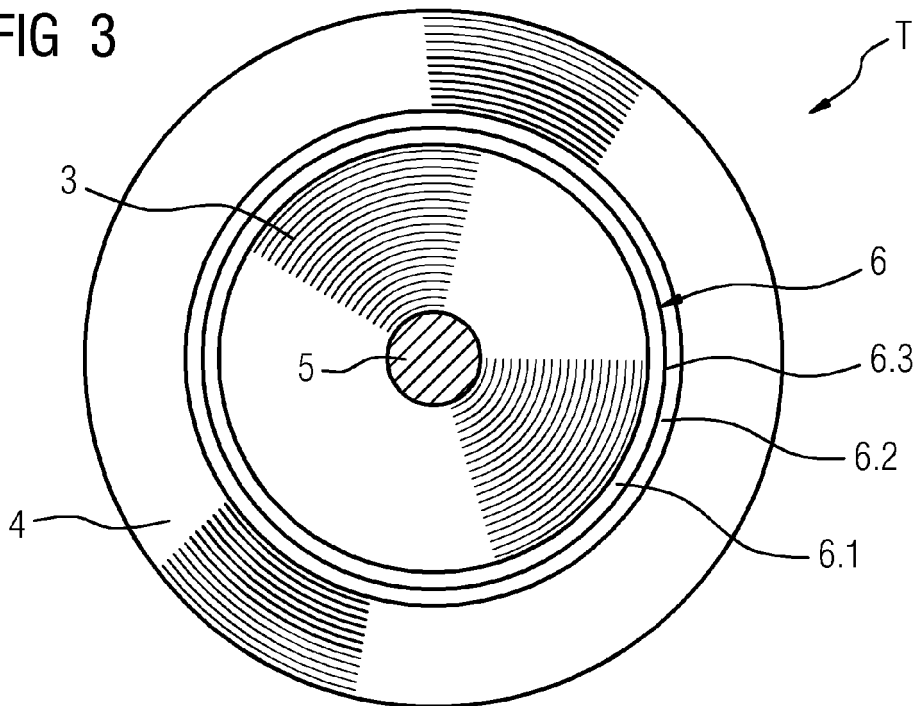
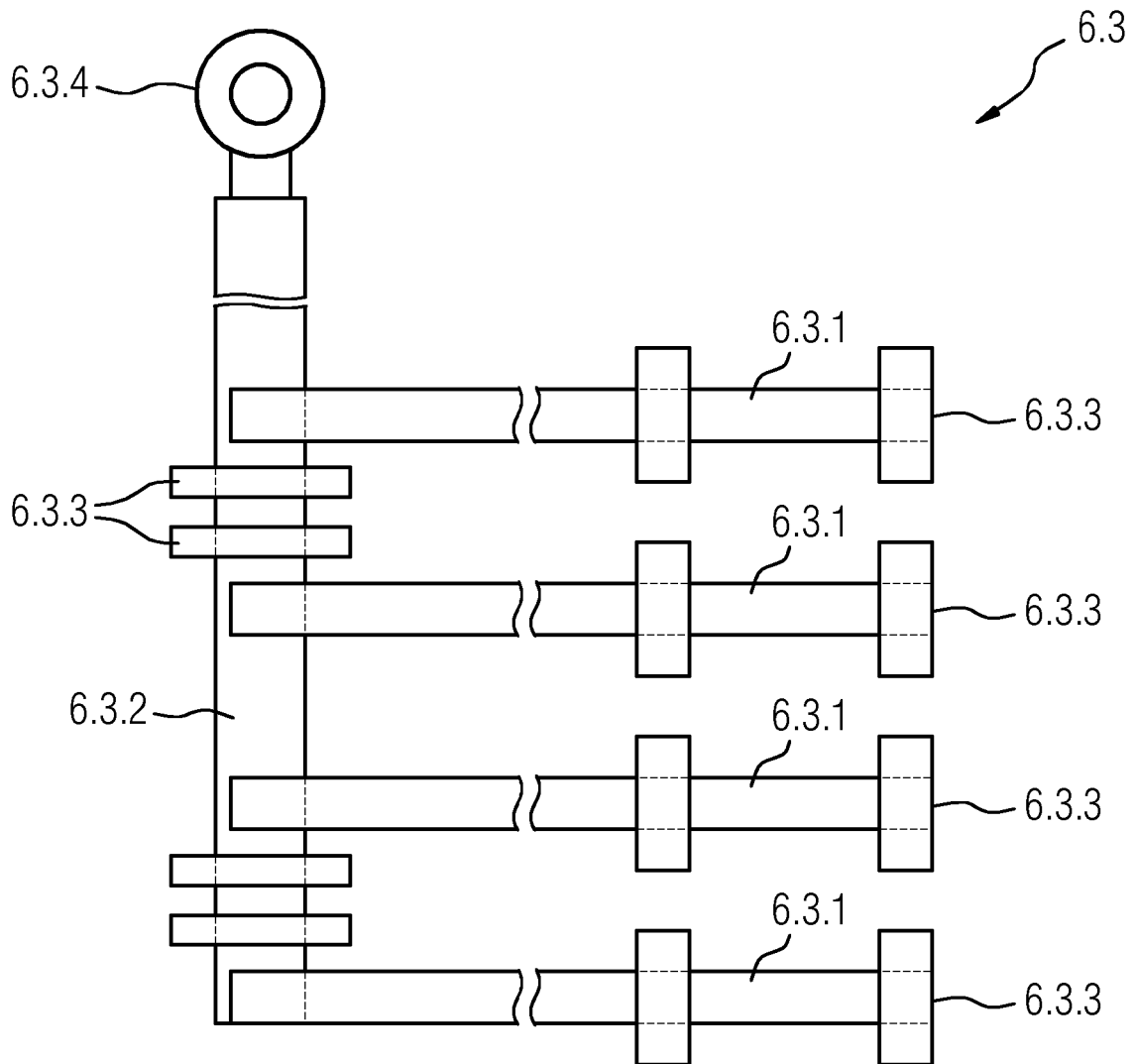


FIG 4



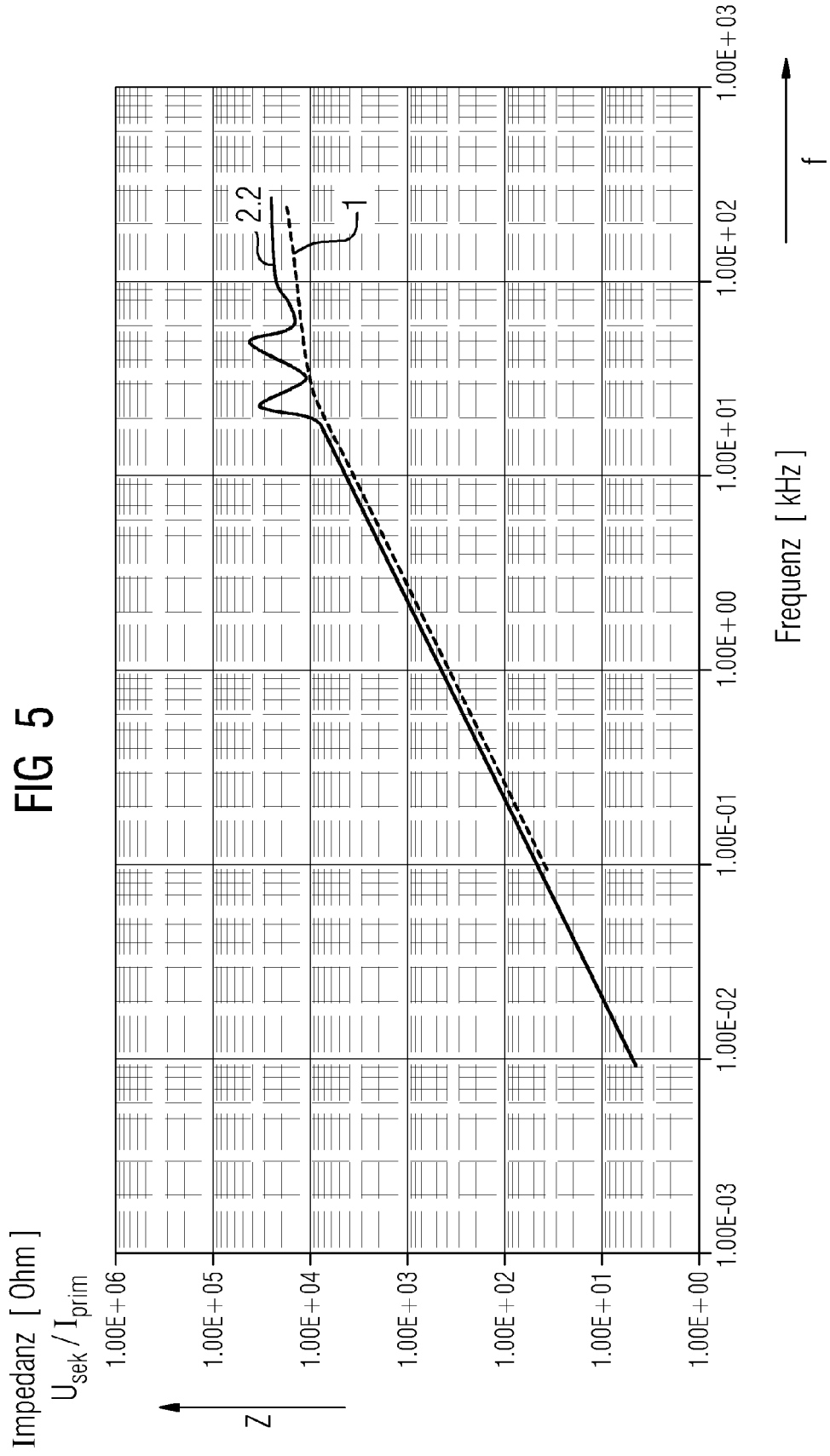


FIG 5



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 12 16 1388

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 3 678 428 A (MORRIS LOUIS ET AL) 18. Juli 1972 (1972-07-18) * Zusammenfassung * * Spalte 1, Zeilen 34-51 * * Spalte 2, Zeilen 6-29 * -----	1-4,10	INV. H01F27/28 H01F27/36
X	WO 2006/103193 A2 (SIEMENS AG [DE]; HANOV RUDOLF [DE]) 5. Oktober 2006 (2006-10-05) * Zusammenfassung * * Seite 6, Zeile 27 - Seite 7, Zeile 7; Abbildungen 1-3 * -----	1-3,10, 11	
X	EP 0 466 642 A1 (WEIDMANN H AG [CH]) 15. Januar 1992 (1992-01-15) * Zusammenfassung * * Seite 3, Zeile 49 - Seite 4, Zeile 36; Abbildungen 1-11 * -----	1-4	
			RECHERCHIERTES SACHGEBIETE (IPC)
			H01F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 5. September 2012	Prüfer Winkelman, André
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres 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	

1
EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 12 16 1388

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.

05-09-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3678428	A	18-07-1972	FR 2137956 A1	29-12-1972
			US 3678428 A	18-07-1972

WO 2006103193	A2	05-10-2006	BR PI0609599 A2	20-04-2010
			CN 101151689 A	26-03-2008
			DE 102005015785 A1	16-11-2006
			EP 1864304 A2	12-12-2007
			US 2008211611 A1	04-09-2008
			WO 2006103193 A2	05-10-2006

EP 0466642	A1	15-01-1992	AT 104800 T	15-05-1994
			DE 59101427 D1	26-05-1994
			DK 0466642 T3	16-05-1994
			EP 0466642 A1	15-01-1992
			ES 2055980 T3	01-09-1994

EPO FORM P0461

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