

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
8. Oktober 2015 (08.10.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/150165 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H01F 6/06 (2006.01) *H01F 41/04* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/056237
- (22) Internationales Anmeldedatum:
24. März 2015 (24.03.2015)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2014 206 506.2 4. April 2014 (04.04.2014) DE
- (71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder: OOMEN, Marijn Pieter; Aschaffener Straße 12, 91056 Erlangen (DE). VAN HASSELT, Peter; Tennenloher Str. 40, 91058 Erlangen (DE). BATZ, Otto; Mittelehrenbach 18, 91359 Leutenbach (DE). BAYER, Dietmar; Gotzmannstraße 9, 91336 Heroldsbach (DE). FRANK, Michael; Erlanger Straße 27C, 91080 Uttenreuth (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

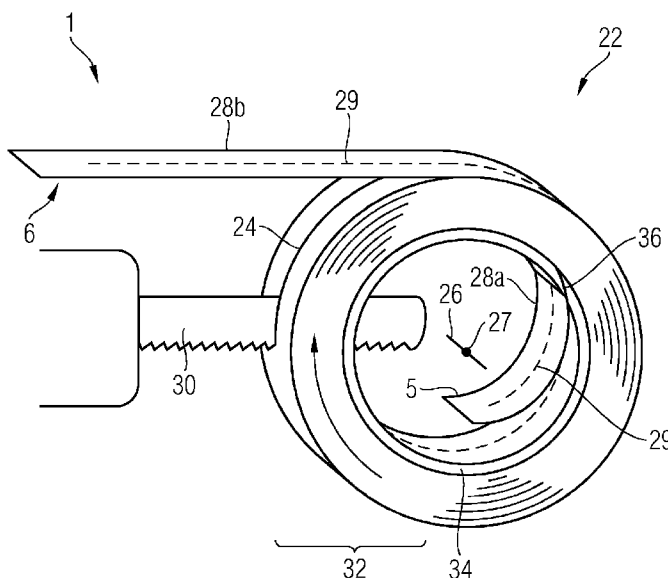
Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(54) Title: ELECTRICAL COIL DEVICE HAVING AT LEAST TWO COILS AND METHOD FOR PRODUCTION

(54) Bezeichnung : ELEKTRISCHE SPULENEINRICHTUNG MIT WENIGSTENS ZWEI TEILSPULEN UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG

FIG 3



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing an electrical coil device, which comprises the following steps: winding a strip conductor into a coil winding and subsequently dividing the coil winding into at least two partial coils by means of at least one cut through the coil winding, wherein the strip conductor remains connected as a doubly contiguous loop by means of existing remaining connections in the end regions of the strip conductor. The invention further relates to an electric coil device, which comprises at least two partial coils from a higher-level doubly contiguous strip conductor. The at least two partial coils are produced by subsequent cutting of a coil winding wound by means of a single strip conductor.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer elektrischen Spuleneinrichtung angegeben, welches die folgenden Schritte umfasst: - Aufwickeln eines Bandleiters zu einer Spulenwicklung und - anschließendes Auftrennen der Spulenwicklung in wenigstens zwei Teilspulen durch wenigstens einen Schnitt durch die Spulenwicklung, wobei der Bandleiter durch bestehen bleibende Verbindungen in seinen Endbereichen als zweifach zusammenhängende Schlaufe verbunden bleibt. Weiterhin wird eine elektrische Spuleneinrichtung angegeben, die wenigstens zwei

Teilspulen aus einem übergeordneten zweifach zusammenhängenden Bandleiter umfasst. Die wenigstens zwei Teilspulen sind dabei durch nachträgliches Schneiden einer mit einem einfachen Bandleiter gewickelten Spulenwicklung erzeugt.

Beschreibung

Elektrische Spuleneinrichtung mit wenigstens zwei Teilspulen und Verfahren zur Herstellung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft eine elektrische Spuleneinrichtung mit wenigstens zwei Teilspulen aus einem übergeordneten zweifach zusammenhängenden Bandleiter und ein Herstellungsverfahren für eine solche Spuleneinrichtung.

10

Zur Erzeugung starker, homogener Magnetfelder werden supraleitende Spulen verwendet, die im Dauerkurzschlussstrom-Modus betrieben werden. Homogene Magnetfelder mit magnetischen Flussdichten zwischen 0.5 T und 20 T werden beispielsweise für die Magnetische Kernresonanz-Spektroskopie (NMR-Spektroskopie) und für die Magnetresonanzbildgebung benötigt. Diese Magnete werden typischerweise über einen äußeren Stromkreis aufgeladen und dann von der äußeren Stromquelle getrennt, da in dem resultierenden Dauerkurzschlussstrom-Modus ein nahezu verlustfreier Stromfluss über die supraleitende Spule stattfindet. Das resultierende, starke Magnetfeld ist zeitlich besonders stabil, da es nicht von den Rauschbeiträgen eines äußeren Stromkreises beeinflusst wird.

20

25

Bei Verwendung bekannter Wicklungstechniken werden ein oder mehrere supraleitende Drähte auf Tragkörper gewickelt, wobei unterschiedliche Drahtabschnitte über Drahtverbindungen mit möglichst kleinem ohmschen Widerstand oder über supraleitende Verbindungen miteinander kontaktiert werden. Für klassische Niedertemperatursupraleiter wie NbTi und Nb₃Sn mit Sprungtemperaturen unterhalb von 23 K existieren Technologien zur Herstellung supraleitender Kontakte zur Verknüpfung von Drahtabschnitten und zur Verbindung der Wicklungen mit einem supraleitenden Dauerstromschalter. Der supraleitende Dauerstromschalter ist dabei Teil des Stromkreises der Spule und wird zur Einspeisung eines äußeren Stromes durch Aufheizen in einen ohmsch leitenden Zustand versetzt. Nach Abschalten der

30

35

Heizung und Herunterkühlen auf die Betriebstemperatur wird auch dieser Teil der Spule wieder supraleitend.

Hochtemperatursupraleiter oder auch Hoch- T_c -Supraleiter (HTS) sind supraleitende Materialien mit einer Sprungtemperatur oberhalb von 25 K und bei einigen Materialklassen, beispielsweise den Cuprat-Supraleitern, oberhalb von 77 K, bei denen die Betriebstemperatur durch Kühlung mit anderen kryogenen Materialien als flüssigem Helium erreicht werden kann. HTS-Materialien sind besonders attraktiv für die Herstellung von Magnetspulen für die NMR-Spektroskopie und die Magnetresonanzbildgebung, da manche Materialien hohe obere kritische Magnetfelder von über 20 T aufweisen. Durch die höheren kritischen Magnetfelder eignen sich die HTS-Materialien prinzipiell besser als die Niedertemperatursupraleiter zur Erzeugung hoher Magnetfelder von beispielsweise über 10 T.

Ein Problem bei der Herstellung von HTS-Magnetspulen ist das Fehlen von geeigneten Technologien zur Herstellung supraleitender HTS-Verbindungen, insbesondere für HTS der zweiten Generation, sogenannten 2G-HTS. Die 2G-HTS-Drähte liegen typischerweise in Form von flachen Bandleitern vor. Wenn ohmsche Kontakte zwischen den supraleitenden Bandleitern eingefügt werden, können die Verluste in der Spule nicht mehr vernachlässigt werden, und das erzeugte Magnetfeld fällt in einem Zeitraum von einigen Stunden oder Tagen merklich ab

In der DE 10 2010 042 598 A1 wird eine supraleitende MR-Magnetanordnung angegeben, die einen supraleitenden Bandleiter aufweist, der in Längsrichtung mit einem Schlitz zwischen den beiden Enden versehen ist, so dass der supraleitende Bandleiter eine den Schlitz umschließende geschlossene Schleife bildet. Der geschlitzte supraleitende Bandleiter wird zu einer Mehrfachspule aus mindestens zwei Teilspulen aufgewickelt, die so gegeneinander verdreht angeordnet werden, dass sie in einem Messvolumen einen vorgegebenen Magnetfeldverlauf erzeugen.

Auch in der DE 10 2011 082 652 B4 wird eine Magnetspulenordnung mit einem geschlitzten supraleitenden Bandleiter sowie zusätzlich ein Herstellungsverfahren für eine solche Magnetspulenordnung angegeben. Bei dem offenbarten Herstellungsverfahren werden die beiden Halbbänder des Bandleiters zunächst jeweils auf eine Zwischenspule aufgewickelt. Anschließend werden im Wechsel von den Zwischenspulen Windungen des ersten und zweiten Halbbandes auf einen gemeinsamen Wickelkörper gewickelt.

Nachteilig bei diesen im Stand der Technik beschriebenen Wicklungsverfahren ist, dass die Wicklung der Teilspulen aus den Leiterzweigen des geschlitzten Bandleiters relativ komplex ist. Bei der in der Anmeldung 102013207222.8 angedeuteten parallel verlaufenden Leiterführung ist die Einhaltung eines konstanten Wickelzuges für jeden Leiterzweig schwierig, da die beiden Leiterzweige leichte Abweichungen in ihren Längen und/oder ihrer Dehnbarkeit unter Zug aufweisen können. Ein einheitlicher und konstanter Wickelzug ist aber für die Qualität und die Maßhaltigkeit der resultierenden Spulenwicklung von großer Wichtigkeit. Insbesondere ist ein einheitlicher Wickelzug wichtig, um eine Spulenwicklung ohne Einschlüsse und/oder Hohlräume herstellen zu können. Bei dem in der DE 10 2011 082 652 B4 offenbarten Herstellungsverfahren unter Verwendung von zwei Zwischenspulen werden die Leiterzweige nicht parallel geführt. Sie werden bei allen Varianten des offenbarten Herstellungsverfahrens gegeneinander und/oder aus der Ebene der Spulenwicklung herausgedreht, mit anderen Worten, sie werden um eine Achse in Richtung ihrer Längsausdehnung tordiert. Diese Torsion führt zu einer Belastung der supraleitenden Bandleiter, die zu einer Schädigung der Materialien sowie ihrer elektrischen und/oder mechanischen Eigenschaften führen kann.

Ein weiterer Nachteil der bekannten Wicklungsverfahren liegt darin, dass die beiden Leiterzweige beim gleichzeitigen Wickeln relativ nebeneinander geführt werden müssen und es daher schwierig ist, die einzelnen Leiterzweige gegeneinander

elektrisch zu isolieren. Schließlich ist auch eine frühzeitige Planung der zu wickelnden Bandleiterlänge nötig, denn durch die Länge des für die Wicklung verwendeten geschlitzten Bandleiters werden die Abmessungen der zu wickelnden Spule vorbestimmt. Die komplette geschlitzte Leiterlänge muss verwickelt werden, auch wenn beispielsweise durch Abweichungen in der Leiterdicke die angestrebte Windungszahl oder Wickelhöhe unter- oder übererfüllt wird. Das Schlitzten des Bandleitermaterials und die Verarbeitung der so geschlitzten Bandleiter können außerdem leicht zu Qualitätsproblemen und Materialschädigungen führen.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Herstellung einer elektrischen Spuleneinrichtung anzugeben, welches die genannten Nachteile vermeidet. Insbesondere soll die Erfindung ein weniger komplexes Verfahren angeben, mit dem eine Spulenwicklung mit mehreren in den Endbereichen zusammenhängenden Teilleitern hergestellt werden kann. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine mit einem derartigen Verfahren hergestellte Spuleneinrichtung anzugeben.

Diese Aufgabe wird durch das in Anspruch 1 beschriebene Verfahren sowie die in Anspruch 15 beschriebene Spuleneinrichtung gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung einer elektrischen Spuleneinrichtung umfasst die folgenden Schritte:

- Aufwickeln eines Bandleiters zu einer Spulenwicklung und
- anschließendes Auftrennen der Spulenwicklung in wenigstens zwei Teilspulen durch wenigstens einen Schnitt durch die Spulenwicklung,

wobei der Bandleiter durch bestehen bleibende Verbindungen in seinen Endbereichen als zweifach zusammenhängende Schlaufe verbunden bleibt.

Der Bandleiter ist dabei insbesondere ein langgestreckter Leiter in Form eines flachen Bandes. Er kann einen Schichtstapel aus mehreren Schichten unterschiedlicher Materialien

umfassen. In der fertigen Spuleneinrichtung soll eine zweifach zusammenhängende Schlaufe eines solchen Bandleiters vorliegen. Im Sinne der Definition von „zweifach zusammenhängend“ in der geometrischen Topologie wird hier unter diesem Begriff verstanden, dass der Bandleiter die Topologie einer einfachen Schlaufe mit einem Loch besitzt. Ein solcher zweifach zusammenhängender Bandleiter kann beispielsweise durch Schlitten eines einfach zusammenhängenden Bandleiters in Längsrichtung erfolgen, wodurch zwei Leiterzweige entstehen, die an beiden Enden des ursprünglichen Bandes zusammenhängen.

Gemäß der vorliegenden Erfindung soll eine elektrische Spulenwicklung mit mehreren Teilspulen aus einem zweifach zusammenhängenden Bandleiter hergestellt werden, indem zunächst ein einfach zusammenhängender Bandleiter aufgewickelt wird und die dadurch entstehende Spulenwicklung anschließend so in zwei Teilspulen zerschnitten wird, dass eine zweifach zusammenhängende Schlaufe des Bandleiters gebildet wird.

Ein wesentlicher Unterschied gegenüber dem Stand der Technik, bei dem ein solcher Bandleiter zuerst geschlitten und dann gewickelt wird, besteht darin, dass der Wicklungsprozess wesentlich vereinfacht wird. Die Umkehr in der zeitlichen Abfolge von Wicklungsschritt und Teilungsschritt hat zahlreiche Vorteile:

Bei dem ersten beschriebenen Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens, dem Aufwickeln des einfach zusammenhängenden Bandleiters, muss nur ein Leiterzweig gewickelt werden. Es können hierbei also hinreichend bekannte und optimierte Wicklungsverfahren zur Herstellung von Einzelspulen eingesetzt werden, ohne dass mehrere Leiterzweige parallel zueinander geführt werden müssen. Insbesondere kann bei der Wicklung eines einzelnen Bandleiters auf relativ einfache Weise ein konstanter Wickelzug eingehalten werden.

Es treten auch keine Platzprobleme durch die eng benachbarte Führung mehrerer paralleler Leiterzweige auf.

Der relativ zeitaufwendige Prozessschritt des vorherigen Schlitzens des ungewickelten Bandleiters entfällt, wodurch das Herstellungsverfahren insgesamt schneller und weniger aufwendig werden kann. Das Schlitzen eines sehr langen Leiterbandes mit hoher Genauigkeit ist aufwendig und schwierig.

10 Dadurch, dass das Aufwickeln mit einem ungeschlitzten Bandleiter durchgeführt wird, muss vor dem Wickeln die Länge des verwendeten Leiters noch nicht genau feststehen. Es kann von einer Vorratsspule die jeweils benötigte Leiterlänge abgewickelt werden, wobei die Länge jedes verwendeten Stücks dynamisch bestimmt werden kann, beispielsweise um eine vorbestimmte Windungszahl oder Wicklungshöhe zu erreichen. Im Gegensatz hierzu muss vor der Wicklung eines bereits geschlitzten Bandleiters die Länge des zu wickelnden Bandleiters genau feststehen, da sie schon beim vorherigen Schlitzen bestimmt wird. Wird dann beispielsweise weniger als das bereits geschlitzte Bandleiter benötigt, dann muss überschüssiges Material im Bereich des zusammenhängenden Endstücks in der Spuleneinrichtung verbleiben. Wenn im umgekehrten Fall der vorab geschlitzte Bandleiter für das Erreichen einer bestimmten 25 Windungszahl oder Wicklungshöhe nicht ausreicht, muss ein neuer, längerer geschlitzter Bandleiter bereitgestellt werden.

Weiterhin entfällt die hohe mechanische Belastung, die beim Schlitzen von losem, noch nicht aufgewickeltem Bandleitermaterial auftreten kann. Diese mechanische Belastung kann zu Schädigungen der leitfähigen Schicht des Bandleiters führen, insbesondere im Fall von empfindlichen supraleitenden Schichten. Eine solche Schädigung nur an einer kleinen Stelle eines lang ausgedehnten Bandleiters hätte eine starke Beeinträchtigung der Dauerstrom-Eigenschaften der Leiterschleife zur Folge.

Die erfindungsgemäße elektrische Spuleneinrichtung umfasst wenigstens zwei Teilspulen aus einem übergeordneten zweifach zusammenhängenden Bandleiter. Die wenigstens zwei Teilspulen sind dabei durch nachträgliches Schneiden einer mit einem
5 einfachen Bandleiter gewickelten Spulenwicklung erzeugt.

Die Vorteile der erfindungsgemäßen Spuleneinrichtung sind analog zu den im Zusammenhang mit dem Herstellungsverfahren beschriebenen Vorteilen. Insbesondere lässt sich eine solche
10 Spuleneinrichtung also mit einem weniger aufwendigen, weniger komplexen und/oder weniger fehleranfälligen Verfahren herstellen. Eine erfindungsgemäße Spuleneinrichtung, die durch Wickeln und anschließendes Schneiden der Spulenwicklung erhalten worden ist, lässt sich leicht an den Spuren des
15 Schneideschrittes erkennen. Die typischen Schneidespuren, die eine Bewegungsrichtung der verwendeten Schneidevorrichtung anzeigen, erstrecken sich dann nämlich über eine Mehrzahl an benachbarten Windungen des zugrundeliegenden Bandleiters.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens gehen aus den von Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen hervor. Dementsprechend kann das Verfahren zusätzlich die im Folgenden beschriebenen Merkmale aufweisen. Diese Merkmale können auch vorteilhaft mit den Merkmalen der
25 erfindungsgemäßen Spuleneinrichtung kombiniert werden.

Das Aufwickeln des Bandleiters kann innerhalb einer Wicklungsebene erfolgen, und der wenigstens eine Schnitt durch die Spulenwicklung kann im Wesentlichen parallel zu dieser
30 Wicklungsebene erfolgen. Mit anderen Worten kann es sich bei der Spulenwicklung um eine Flachspule handeln, die durch einen Schnitt innerhalb ihrer Wicklungsebene in zwei an den Enden noch zusammenhängende Leiterteile geteilt wird. Diese Ausführungsform ist die einfachste Art der nachträglichen
35 Trennung einer Spulenwicklung in wenigstens zwei zusammenhängende Teilspulen. Die Wicklungsebene verläuft dabei senkrecht zu einer zentralen Wicklungsachse.

Nach dem Aufwickeln kann jeweils ein inneres und/oder ein äußeres Endstück des Bandleiters als ungewickelter Überstand neben der Spulenwicklung verbleiben. Bei dieser Ausführungsform wird also nicht der komplette Bandleiter aufgewickelt, sondern es verbleiben freie Endstücke außerhalb der Wicklung, die dann leichter von dem Schneideprozess ausgenommen werden können. Besonders vorteilhaft sind die nicht aufgewickelten inneren und äußeren Endstücke länger als die bestehen bleibenden Verbindungen in den jeweiligen Endbereichen. Dies erleichtert vorteilhaft eine relative Bewegung der beiden Teilspulen gegeneinander nach dem Schritt des Schneidens.

Beispielsweise kann die Länge des ungewickelten inneren und/oder äußeren Überstandes vorteilhaft zwischen 1 cm und 200 cm betragen. Besonders vorteilhaft kann sie zwischen einem 0,5fachen und einem 2fachen der größten Abmessung der gewickelten Spule betragen. Bei einer kreisförmigen Spulenwicklung kann sie also vorteilhaft zwischen dem 0,5fachen und dem 2fachen des Durchmessers der Spulenwicklung betragen. So kann eine der beiden Teilspulen nach der Trennung um 180° gedreht und wieder mit der anderen Teilspule zusammengelegt werden, damit sich die erzeugten Magnetfelder gegenseitig verstärken. Die Länge der noch verbundenen Endbereiche des Bandleiters kann vorteilhaft zwischen der einfachen und zehnfachen Breite des ursprünglichen ungeschlitzten Leiters betragen.

Alternativ zu der genannten Ausführungsform, bei der ein inneres und/oder äußeres Endstück nicht mit aufgewickelt wird, kann auch innen und/oder außen der Bandleiter zunächst auf der ganzen Länge gewickelt werden, und anschließend kann ein solches Endstück wieder von der Spulenwicklung abgewickelt werden. Dieses Abwickeln kann bevorzugt vor dem Schneiden in zwei Teilspulen erfolgen, um eine vollständige Trennung des Bandleiters im Endbereich zu verhindern.

Wenigstens ein Teil des ungewickelten Überstandes wenigstens eines der Endstücke kann ebenfalls in zwei Leiterteile ge-

teilt werden. Mit anderen Worten, der durch die Trennung in zwei Teilspulen entstehende Schnitt kann sich über einen Teil der Endstücke erstrecken. Der ungewickelte Überstand ist dann auf der entsprechenden Seite also länger als der noch verbundene Endbereich.

Die beschriebene Trennung im Bereich des Überstandes wenigstens eines der Endstücke kann dabei in einem auf den Schnitt der Spulenwicklung folgenden separaten Prozessschritt erfolgen. Diese Ausführungsform hat den Vorteil, dass der Prozess des Schlitzens im Bereich der Endstücke dabei besonders vorsichtig und kontrolliert erfolgen kann, da es hier besonders wichtig ist, mit dem Schnitt nicht den äußersten Endbereich zu erfassen, der noch verbunden bleiben soll. Außerdem ist der Bandleiter im Bereich des ungewickelten Überstandes mechanisch empfindlicher, da er nicht von dem Wicklungspaket gehalten wird. Bei einer Ausführungsform mit einem Verguss und/oder einem Verkleben der Spulenwicklung wird der ungewickelte Überstand vorteilhaft auch nicht mit verklebt oder vergossen, so dass der Bandleiter in diesem Bereich weniger gut vor mechanischen Belastungen geschützt ist. Der Prozess des Schneidens in zwei Leiterzweige kann dann vorteilhaft mit einem an diese höhere Empfindlichkeit angepassten unterschiedlichen Schneideverfahren erfolgen.

Das Auftrennen der Spulenwicklung in wenigstens zwei Teilspulen kann durch eine Trennvorrichtung erfolgen, deren Eindringtiefe in die Spulenwicklung nicht bis zu einem Mittelpunkt der Spule reicht. Diese Ausführungsform ist besonders vorteilhaft, um den innenliegenden Endbereich des Bandleiters vor einer vollständigen Durchtrennung zu schützen. Beispielsweise kann ein ungewickelter innenliegender Überstand des Bandleiters in einem radial innenliegenden Bereich nahe der Wicklungsachse angeordnet werden. Dieser innenliegende Endbereich wird dann nicht durchtrennt, wenn die Eindringtiefe der Schneidevorrichtung nicht bis zu diesem radial innenliegenden Bereich vordringt.

Alternativ kann der Bandleiter im innenliegenden Bereich der Spule auch vollständig aufgewickelt sein. Wenn dann die Eindringtiefe der Schneidervorrichtung zumindest in einem Teilsegment der Spulenwicklung nicht bis zum innenliegenden Endbereich des Bandleiters vordringt, dann kann auch bei vollständiger Aufwicklung eine Durchtrennung im Bereich des Endstücks vermieden werden.

Eine unvollständige Trennung im inneren Endbereich kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass die Spulenwicklung radial von außen mit einer Schneidervorrichtung mit einer festen radialen Eindringtiefe aus einer Vielzahl von Winkeln geschnitten wird. Beispielsweise kann eine Sägevorrichtung von außen radial umlaufend angesetzt werden, bei der das Sägeblatt oder der Sägedraht nicht bis zu den inneren Windungen und/oder bis zu einem innenliegenden Überstand im Zentrum der Wicklung reicht.

Die Auftrennung der Spulenwicklung kann durch mehrere Teilschnitte erfolgen, wobei in jedem Teilschnitt ein Umfangssegment der Spulenwicklung durchtrennt wird. Mit anderen Worten, eine Trennvorrichtung kann nacheinander in verschiedenen Winkelbereichen der zu durchtrennenden Spulenwicklung angesetzt werden. Dabei kann die Eindringtiefe entweder bis zum Zentrum der Spulenwicklung reichen oder sie kann wie oben beschrieben beispielsweise radial begrenzt sein.

Ein vor der Durchtrennung zu schützender innenliegender Endbereich des Bandleiters kann bei dieser Ausführungsform beispielsweise als ungewickelter Überstand vorliegen, der frei beweglich ist und während der verschiedenen Teilschritte des Trennvorgangs in ein jeweils nicht von der Trennvorrichtung durchdrungenes Winkelsegment bewegt werden kann.

Der Bandleiter kann auf einen Wicklungsträger mit einer zylindrischen Wicklungsfläche aufgewickelt werden. Hierbei kann der Wicklungsträger mit einer schlitzförmigen Ausnehmung versehen sein, in die ein inneres Endstück des Bandleiters vor

dem Aufwickeln eingeführt wird. Diese Ausführungsform ist besonders vorteilhaft geeignet, um einen innenliegenden ungewickelten Überstand des Bandleiters zu erzeugen, der beim Schneiden der Spulenwicklung in zwei Teilspulen entweder
5 nicht oder nur teilweise aufgetrennt wird. Beispielsweise kann dann beim Schneiden der Spulenwicklung nur von außen bis zu diesem Wicklungsträger geschnitten werden, wodurch der innerhalb des Wicklungsträgers liegende Teil des Bandleiters vor der Durchtrennung geschützt bleibt. Es kann aber auch ein
10 Teil des ungewickelten innen liegenden Überstandes noch weiter geschlitzt werden, so dass das verbunden bleibende Endstück des Bandleiters kürzer ist als der ungewickelte Überstand.

15 Besonders vorteilhaft kann der Wicklungsträger aus zwei voneinander trennbaren Teilstücken bestehen, so dass nach Durchschneiden des Hauptteils des Bandleiters zwei gegeneinander bewegliche und jeweils auf einem Teilstück des Wicklungsträgers angeordnete Teilspulen entstehen. Beispielsweise können
20 solche Teilstücke durch Steckverbindungen verbunden und wieder getrennt werden.

Alternativ kann der Wicklungsträger aber auch aus einem zentralen Stück bestehen, das entweder beim Schneiden der Spulenwicklung oder anschließend in einem separaten Prozessschritt
25 ebenfalls durch Zerschneiden in zwei Teilstücke getrennt wird. In jedem Fall ist es vorteilhaft, wenn die beiden durch das Schneiden entstehenden Teilspulen nach der Wicklung jeweils auf einem Teilstück des Wicklungsträgers verbleiben
30 können und mit diesem bewegt werden können.

Es ist aber auch möglich, dass die Teilspulen vor oder nach Ihrer Trennung von dem Wicklungsträger separiert werden und entweder als freitragende Spulen verbleiben oder auf einen
35 anderen Spulenträger transferiert werden. Besonders vorteilhaft können die Spulenwicklung oder die Teilwicklungen nach einem Verguss- oder Verklebeschritt von ihrem ursprünglichen Wicklungsträger gelöst werden.

Das Auftrennen der Spulenwicklung kann vorteilhaft durch Sägen, Wasserstrahlschneiden und/oder Laserschneiden erfolgen. Beispielsweise kann das Sägen mittels einer Diamantdrahtsäge
5 erfolgen. Beim Laserschneiden ist die mechanische Belastung des zu schneidenden Bandleiters vorteilhaft gering.

Die wenigstens zwei Teilspulen können nach der Auftrennung räumlich so angeordnet werden, dass sich von ihnen bei einem
10 Stromfluss durch den gemeinsamen Bandleiter erzeugte Magnetfelder gegenseitig verstärken. Dies kann vorteilhaft durch eine Verdrehung gegeneinander erreicht werden. Beispielsweise kann eine Teilspule durch eine halbe Drehung so gegen die andere gewendet werden, dass sie wieder benachbart zu dieser um
15 eine gemeinsame Symmetrieachse angeordnet werden kann. Nach einem derartigen Wenden einer Teilspule ist das durch die beiden Teilspulen erzeugte übergeordnete Magnetfeld besonders groß.

Der Bandleiter kann beim Herstellen der Spulenwicklung mit einem Imprägniermittel imprägniert werden, das nach dem Wickeln der Spulenwicklung ausgehärtet wird. Mit anderen Worten, die Spulenwicklung kann in einem sogenannten Nasswickelprozess hergestellt werden. Durch das Aushärten des Imprägniermittels erhält die Spulenwicklung dann ihre mechanische
25 Festigkeit. Besonders vorteilhaft kann der Schnitt durch die Spulenwicklung dann erst nach dem Aushärten des Imprägniermittels erfolgen, so dass der Bandleiter durch das Schneiden möglichst wenig belastet wird. Weiterhin ist es bei dieser
30 Ausführungsform vorteilhaft, wenn die inneren und/oder äußeren Endbereiche nicht mit imprägniert oder zumindest nicht gehärtet werden, so dass die Endbereiche frei beweglich bleiben und die Teilspulen dadurch auch gegeneinander bewegt werden können.

35 Alternativ oder zusätzlich zu einem Imprägnieren kann die Spulenwicklung mit einem Vergussmittel vergossen werden, wobei das Vergussmittel ebenfalls ausgehärtet werden kann. Auch

hier ist es vorteilhaft, wenn die Endbereiche des Bandleiters nicht mit vergossen werden, sondern möglichst beweglich bleiben.

5 Die Spulenwicklung kann durch mehr als einen Schnitt in mehr als zwei Teilspulen aufgetrennt werden. Insbesondere können dazu mehrere parallel verlaufende Teilschnitte durchgeführt werden, die alle parallel zu der Wicklungsebene der ursprünglichen Spulenwicklung liegen. In den Endbereichen kann der
10 Bandleiter dann wieder teilweise verbunden bleiben, so dass auch hier durch die Teilschnitte eine zweifach zusammenhängende übergeordnete Leiterschleife entsteht. Hierzu kann es hilfreich oder erforderlich sein, im Bereich der Endstücke noch zusätzliche Querteilungen und/oder Fortführungen eines
15 Teils der Schnitte vorzunehmen. Diese Querteilungen und/oder Fortführungen können vorteilhaft in einem oder mehreren zusätzlichen Prozessschritten nach der eigentlichen Auftrennung des Körpers der Spulenwicklung erfolgen. Die Auftrennung in mehr als zwei Teilspulen kann vorteilhaft sein, um ein größeres
20 Spulensystem zur Erzeugung starker und/oder komplex gestalteter Magnetfelder zu bilden.

Insbesondere können die Teilspulen in einem komplexeren Spulensystem auch asymmetrisch ausgestaltet sein, indem die Spulenwicklung in unterschiedlich dicke Teilspulen unterteilt
25 wird. Die Teilspulen haben dann unterschiedliche Leiterbreiten und somit unterschiedliche Stromtragfähigkeiten. Dies kann gezielt genutzt werden, beispielsweise um die Spulen mit den breiteren Leitern an Stellen im System zu platzieren, an
30 denen die lokalen Magnetfelder auf der Wicklung höher sind. Eine solche asymmetrische Teilung kann auch für ein System mit nur zwei Teilspulen vorteilhaft sein, um gezielt ein asymmetrisches Magnetfeld zu erzeugen und/oder asymmetrische Umgebungseinflüsse gezielt auszugleichen.

35

Die Spulenwicklung kann eine zylindrische Spulenwicklung mit einer Grundfläche in Form eines Kreises, einer Ellipse, eines Ovals, einer Rennbahngeometrie oder eines Rechtecks mit abge-

rundeten Ecken sein. Ein solcher symmetrischer Aufbau bewirkt, dass zwei oder mehr voneinander getrennte Teilspulen nach einem Wenden der Teilspulen wieder auf einer gemeinsamen Grundfläche benachbart angeordnet werden können.

5

Für die Herstellung der Spulenwicklung kann ein Bandleiter mit einer supraleitenden Schicht verwendet werden. Für einen solchen Bandleiter ist das beschriebene Verfahren besonders geeignet, um ein Spulensystem mit einer zweifach zusammenhängenden Bandleiterschleife mit einer durchgehend supraleitenden Schicht zu erzeugen. Ein solches Spulensystem kann besonders vorteilhaft für den Dauerstrombetrieb, beispielsweise für Magnetresonanzanwendungen eingesetzt werden.

15 Insbesondere kann der Bandleiter eine Hochtemperatursupraleitende Schicht aufweisen, beispielsweise eine oxydische supraleitende Schicht. Der Bandleiter kann alternativ oder zusätzlich auch eine supraleitende Schicht aus Magnesiumdiborid umfassen.

20

Für die Herstellung der Spulenwicklung kann ein Bandleiter mit wenigstens einer Isolationsschicht verwendet werden. Dies kann vorteilhaft sein, um die Windungen der Spulenwicklung elektrisch gegeneinander zu isolieren. Der Bandleiter kann mit einer elektrisch isolierenden Schicht in Form einer äußeren Lage beschichtet sein. Er kann aber auch mit einem isolierenden Band umwickelt sein. Ein solcher umwickelter Bandleiter würde sich nicht zur Wicklung von Teilspulen aus vorab geschlitztem Bandleiter eignen, da die Umwicklung durch das Schlitzten zerstört würde und ihren mechanischen Zusammenhalt verlieren würde. Das Umbündeln der einzelnen Leiterzweige eines vorab geschlitzten Bandleiters ist ebenfalls aufwendig. Ein derartig umbündelter Bandleiter kann jedoch ohne Probleme mit dem beschriebenen Verfahren zuerst aufgewickelt und anschließend in zwei Teilspulen getrennt werden. Durch die Wicklung erhält der Bandleiter genügend mechanische Festigkeit, um die isolierende Umbündelung der Leiterzweige an ihrem Ort zu halten. Besonders vorteilhaft ist diese Ausführ-

rungsform in Kombination mit der Verwendung einer Imprägnierung, Verklebung oder Vergussmasse und einer Aushärtung vor dem Schneiden.

- 5 Die Schnittflächen der beiden durch die Auftrennung entstehenden Teilspulen können nach dem Schneideprozess zusätzlich mit einer elektrisch isolierenden Schicht versehen werden, um Kurzschlüsse zwischen den durch den Schnitt offengelegten leitenden Abschnitten zu verhindern. Beispielsweise können
10 die Schnittflächen mit Epoxidharz versehen werden.

Die entstehende elektrische Spuleneinrichtung kann zusätzlich mit supraleitenden Dauerstromschaltern und Stromzuführungen versehen werden, um die Spule mit einem äußeren Stromkreis zu
15 verbinden und einen Strom für den Dauerstrombetrieb einzuspeisen.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand einiger bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die angehängten
20 Zeichnungen beschrieben, in denen:

Fig. 1 die schematische Draufsicht eines supraleitenden Bandleiters zweifach zusammenhängender Topologie zeigt,

- 25 Fig. 2 einen Querschnitt des supraleitenden Bandleiters zeigt,

Fig. 3 eine schematische perspektivische Ansicht des Auftrennungsschrittes nach einem ersten Ausführungsbeispiel zeigt,
30

Fig. 4 eine schematische Ansicht eines ersten Teilschnittes nach einem zweiten Ausführungsbeispiel zeigt,

- 35 Fig. 5 eine schematische Ansicht eines zweiten Teilschnittes nach dem zweiten Ausführungsbeispiel zeigt,

Fig. 6 eine schematische perspektivische Darstellung einer aufgetrennten Spulenwicklung zeigt,

Fig. 7 eine schematische perspektivische Darstellung einer Spuleneinrichtung mit einer geeigneten räumlichen Orientierung zweier Teilspulen zeigt und

Fig. 8 eine schematische Darstellung der Topologie des Bandleiters in einer Spuleneinrichtung mit vier Teilspulen zeigt.

Fig. 1 zeigt die schematische Draufsicht eines supraleitenden Bandleiters 1 zweifach zusammenhängender Topologie. Die gezeigte Topologie des Bandleiters 1 wird durch nachträgliche Auftrennung einer aus einem einfachen Bandleiter 1 gewickelten Spulenwicklung erzeugt.

Ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung beschreibt eine Magnetspule für die NMR-Spektroskopie. In diesem Beispiel ist die Länge 7 des verwendeten Bandleiters 1000 m. Diese Länge kann aber auch wesentlich kürzer oder länger sein. In einer Magnetspule für die Magnetresonanzbildgebung kann die Länge ein Vielfaches der hier beschriebenen Länge betragen. Der supraleitende Bandleiter 1 umfasst nach Teilung einer aus ihm gewickelten Spulenwicklung zwei annähernd gleich dimensionierte Leiterzweige 2 und 4. Durch den ersten Leiterzweig 2 fließt ein Strom I_2 , und durch den zweiten Leiterzweig fließt ein Strom I_4 gegenläufiger Richtung, so dass durch den gesamten zweifach zusammenhängenden supraleitenden Bandleiter 1 ein geschlossener Ringstrom fließt. Die Breite 8 des ursprünglichen, einfach zusammenhängenden Bandleiters beträgt in diesem Beispiel 10 mm, und die Breite der beiden Leiterzweige 2 und 4 beträgt im aufgetrennten Bereich jeweils 5 mm. Abhängig vom verwendeten Bandleitermaterial kann diese Breite der Leiterzweige 2,4 aber auch wesentlich größer oder kleiner ausfallen, insbesondere kann der Bandleiter 1 auch asymmetrisch geteilt sein. Im Bereich der beiden Leiterenden 5 und 6 bleiben die beiden Leiterzweige 2 und 4 verbunden.

Fig. 2 zeigt einen beispielhaften Querschnitt eines supraleitenden Bandleiters 1 mit einem Hochtemperatur-Supraleiter zweiter Generation, in dem der Schichtaufbau schematisch dargestellt ist. In diesem Beispiel umfasst der supraleitende Bandleiter 1 eine isolierende Schicht 10 auf seiner Unterseite. Die isolierende Schicht 10 ist in diesem Beispiel ein 50 µm dickes Kaptonband, sie kann aber auch aus anderen isolierenden Materialien, wie beispielsweise anderen Kunststoffen aufgebaut sein. Die isolierende Schicht 10 kann auch entfallen, oder es kann alternativ ein Isolierungsband auf ganzer Länge um den Bandleiter 1 herumgewickelt sein.

Der Schichtaufbau des Bandleiters 1 umfasst über der isolierenden Schicht 10 zunächst eine normalleitende Deckschicht 14, die in diesem Beispiel eine 20 µm dicke Kupferschicht ist. Darauf folgt das Trägerband 16, das hier ein 50 µm dickes Substrat aus einer Nickel-Wolfram-Legierung ist. Es sind auch Stahlbänder oder Bänder aus einer Legierung wie z.B. Hastelloy verwendbar. Über dem Trägerband 16 ist eine 0.5 µm dicke Pufferschicht 18 angeordnet, die die oxydischen Materialien CeO_2 und Y_2O_3 enthält. Darüber folgt die eigentliche supraleitende Schicht 20, hier eine 1 µm dicke Schicht aus $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$, die wiederum mit einer 20 µm dicken Deckschicht 14 aus Kupfer abgedeckt ist. Alternativ kann die Deckschicht 14 auch nur auf einer Seite des Bandleiters, dann typischerweise nur auf der von dem Substrat abgewandten Seite der supraleitenden Schicht 20 angeordnet sein. Die supraleitende Schicht 20 bildet in der herzustellenden Spuleneinrichtung eine durchgehende Schicht über die gesamte zweifach zusammenhängende Topologie.

Fig. 3 zeigt den Verfahrensschritt des Auftrennens einer aus dem Bandleiter 1 gewickelten Spulenwicklung 22 nach einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Die Spulenwicklung 22 ist in diesem Beispiel in Form einer kreiszylindrischen Scheibenwicklung auf einen ebenfalls kreiszylindrischen Wicklungsträger 34 gewickelt. Dabei sind auch andere Spulengeo-

metrien denkbar, doch sind zylindrische, ebene Wicklungen mit einer zumindest zweizähligen Symmetrie der Grundfläche besonders vorteilhaft. Die gezeigte Spulenwicklung 22 wurde durch Wickeln des Bandleiters 1 um eine zentrale Wicklungsachse 26
5 hergestellt. Dabei wurde als Ausgangsmaterial ein Bandleiter 1 mit einfach zusammenhängender Topologie verwendet, also ein normaler Bandleiter ohne vorherige Auftrennung in einzelne Leiterzweige.

10 Vor dem Aufwickeln des Bandleiters 1 zu der Spulenwicklung 22 wird ein inneres Endstück 28a des Bandleiters durch einen hierfür vorgesehenen Schlitz 36 des zylindrischen Wicklungsträgers 34 in den Innenraum des Wicklungsträgers 34 eingeführt. Hierdurch verbleibt in diesem Innenraum ein unge-
15 wickelter innenliegender Überstand 28a des Bandleiters. Auch im äußeren Bereich der Spulenwicklung 22 verbleibt ein noch ungewickelter äußerer Überstand 28b des Bandleiters. Die Spulenwicklung 22 wurde in diesem Beispiel beim Wickeln mit einem Imprägniermittel versehen, welches vor dem Auftrennen
20 der Spulenwicklung 22 ausgehärtet wurde. Dabei wurden die beiden ungewickelten Überstände 28a und 29b frei von Imprägniermittel gehalten, um diese Endbereiche des Bandleiters möglichst beweglich zu halten.

25 Nach dem Aushärten des Imprägniermittels wird die Spulenwicklung dann im in Fig. 3 schematisch gezeigten Prozessschritt in zwei Teilspulen getrennt. Hierzu wird mit einer Trennvorrichtung 30 in diesem Beispiel von radial außen ein Schnitt
30 24 am Hauptteil der Spulenwicklung 22 angebracht. Als Trennvorrichtung 30 wird in diesem Beispiel eine Säge verwendet, deren Eindringtiefe 32 nicht ganz bis zum Mittelpunkt 27 der Spulenwicklung reicht. Sie reicht aber weit genug nach innen, um hier auch den Wicklungsträger in zwei Teilstücke zu zertrennen. Während des Sägevorgangs wird die Spulenwicklung 22
35 um ihre Wicklungsachse 26 gedreht, so dass nacheinander die verschiedenen Winkelbereiche der Spulenwicklung 22 durchtrennt werden. Hierbei wird aufgrund der begrenzten Eindringtiefe der innere Überstand 28a des Bandleiters nicht voll-

ständig durchtrennt. Es bleibt zumindest sein äußerer Endbereich 5 verbunden. Dieser Überstand 28a kann aufgrund seiner Beweglichkeit auch während des Schneidevorgangs immer wieder aus dem Einwirkungsbereich der Trennvorrichtung entfernt werden. Analog kann der nicht ganz aufgewickelte äußere Überstand 28b zumindest so weit aus dem Einflussbereich der Trennvorrichtung 30 ferngehalten werden, dass zumindest sein äußerer Endbereich 6 nicht durchtrennt wird. Mit den gestrichelten Linien 29 sind Trennlinien markiert, entlang derer auch ein Teilbereich der Überstände 28a und 28b geschlitzt werden soll, damit die entstehenden Teilspulen relativ zueinander bewegt werden können. Die Fortführung des Schnittes 24 entlang dieser Trennlinien 29 kann entweder zusammen mit dem gezeigten Schneideschritt durch den eigentlichen Spulenzylinder erfolgen, oder der Schnitt kann in einem darauf folgenden weiteren Schneideschritt bis an die vor einer Zerteilung zu schützenden Endbereiche 5 und 6 fortgeführt werden.

Anstelle der in Fig. 3 schematisch gezeigten Säge kann auch eine andere Trennvorrichtung, beispielsweise eine Vorrichtung zum Laserschneiden oder Wasserstrahlschneiden verwendet werden. Die Eindringtiefe kann dann beispielsweise auch durch den Wicklungsträger 34 begrenzt werden, so dass der Wicklungsträger 34 nicht zusammen mit den Windungen der Spulenumwicklung 22 geschnitten wird. Hierzu könnte der Wicklungsträger 34 bereits von vorne herein aus zwei Teilstücken bestehen, die beispielsweise ineinander steckbar sind oder anderweitig miteinander verbindbar sind. Somit kann der Wicklungsträger 34 nach dem Trennen der Windungen des Bandleiters leicht in zwei Teilstücke zerlegt werden, die dann als Träger der beiden entstehenden Teilspulen fungieren.

Die Figuren 4 und 5 zeigen zwei Teilschritte des Trennungsvorgangs der Spulenumwicklung 22 nach einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung. In Fig. 4 ist gezeigt, wie die Spulenumwicklung 22 mit einer Trennvorrichtung 30 auf einem ersten Umfangssegment 37a in zwei Teile geteilt wird. In Fig. 5 wird sie anschließend auf einem zweiten Umfangssegment 37b

in zwei Teile geteilt. In ähnlicher Weise ist auch eine Aufteilung in eine noch größere Anzahl von Teilschritten für mehr als zwei Umfangssegmente denkbar. In den Figuren 4 und 5 sind die Umfangssegmente 37a und 37b genau zwei Zylinderhälften. Die inneren und äußeren Überstände 28a und 28b können durch ihre freie Beweglichkeit bei den verschiedenen Teilschnitten jeweils aus dem Einwirkungsbereich der Trennvorrichtung heraus bewegt werden. Beispielsweise kann der äußere Überstand 28b immer so weit abgerollt werden, dass er außerhalb des gerade zu trennenden Umfangssegments 37a oder 37b liegt. Auf ähnliche Weise kann der innenliegende Überstand zumindest in seinem zu schützenden Endbereich 5 aus dem gerade zu trennenden Umfangssegment 37a oder 37b entfernt werden.

Bei dem gezeigten zweiten Ausführungsbeispiel mit mehreren Teilschritten des Trennungsprozesses kann eine durchgehende Trennvorrichtung 30 verwendet werden, deren Eindringtiefe nicht mechanisch begrenzt ist. Anstelle der in den Figuren schematisch gezeigten Säge kann beispielsweise auch eine Vorrichtung zum Laserschneiden oder Wasserstrahlschneiden verwendet werden.

Fig. 6 zeigt die Spulenwicklung nach Durchführung des Trennungsschrittes in schematischer perspektivischer Ansicht. Gezeigt sind zwei Teilspulen 38a und 38b, deren Windungen jeweils auf einem Teilstück 40a oder 40b des Wicklungsträgers 34 vorliegen. Die Teilspulen 38a und 38b sind durch einen Schnitt 24 getrennt, der sich innen und außen bis in die ungewickelten Überstände 28a und 28b fortsetzt, sich aber nicht ganz auf die äußersten Endbereiche 5 und 6 erstreckt. Somit liegt nach dem Auftrennungsschritt eine Spulenwicklung 22 mit einem an den Enden verbundenen Bandleiter 1 zweifach zusammenhängender Topologie vor. Er besteht analog wie in Fig. 1 aus zwei Leiterzweigen 2 und 4, deren Ströme I_2 und I_4 einen zusammenhängenden Ringstrom bilden.

In Fig. 7 ist eine aus der aufgetrennten Spulenwicklung 22 gebildete Spuleneinrichtung 44 gezeigt, bei der die beiden

Teilspulen 38a und 38b gegeneinander gewendet wurden. Nach der gezeigten Drehung der Teilspule 38b relativ zu der Teilspule 38a fließen die Teilströme I_2 und I_4 mit dem gleichen Drehsinn um eine gemeinsame Systemachse 46 der Spuleneinrichtung, so dass sich durch diese Teilströme erzeugte Magnetfelder gegenseitig verstärken können. Die bis zu ihren äußersten Endbereichen 5 und 6 geschlitzten ungewickelten Überstände 28a und 28b ermöglichen die relative Beweglichkeit der über diese Endbereiche 5 und 6 elektrisch verbundenen Teilspulen.

Die beiden Schnittflächen 42a und 42b der voneinander getrennten Teilspulen können zur elektrischen Isolierung und/oder zu einem mechanischen Schutz des Bandleiters 1 zusätzlich mit einem Imprägniermittel oder einer anders gearteten Schutzschicht versehen werden. Die beiden Teilspulen 40a und 40b können auch wesentlich näher als in Fig. 7 angedeutet aufeinander zu bewegt werden. Die beiden Teilspulen 40a und 40b können auch sehr dicht benachbart angeordnet werden. Es muss nur zumindest ein Leiterzweig des Bandleiters 2 oder 4 zwischen den Innenflächen der Teilspulen 40a und 40b hindurch geführt werden können.

Fig. 8 zeigt schematisch die Topologie eines Bandleiters 1, der durch drei Schnitte 48a, 48b und 48c in vier miteinander verbundene Leiterzweige geteilt ist. Der Bandleiter ist zusätzlich an seinen Endbereichen 5 und 6 mit einer weiteren Querteilung 50 senkrecht zur Hauptrichtung der Schnitte und mit drei weiteren Fortführungen 52a, 52b und 52c der Schnitte versehen. Die zweite Fortführung 52b, also die Fortführung des mittleren Schnittes 48b erstreckt sich dabei bis an den äußersten Rand des Bandleiters. Die anderen beiden Fortführungen enden kurz vor einem alleräußersten zusammenhängenden Endbereich 54. Hierdurch ergibt sich wiederum eine übergeordnete Topologie des Bandleiters 1 in Form einer zweifach zusammenhängenden Schleife, in diesem Fall mit vier im zentralen Bereich parallel verlaufenden Leiterzweigen. Auch diese Topologie des Bandleiters kann in einer Spuleneinrichtung 44 mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzielt werden, indem die

Windungen einer Spulenwicklung in ihrem zentralen Bereich mit drei parallel verlaufenden Schnitten geteilt werden, und indem dann in den Endbereichen die nötigen Fortführungen und Querteilungen angebracht werden. Auch bei diesem Beispiel
5 können die entstehenden vier Teilspulen so zueinander bewegt und orientiert werden, dass sich die durch sie bei einem Stromfluss erzeugten Magnetfelder auf eine gewünschte Weise verstärken.

10 Ähnlich zu der in Fig. 8 gezeigten Topologie mit vier Leiterzweigen sind auch noch komplexere Teilungen in andere Anzahlen von Leiterzweigen und somit anderen Anzahlen von Teilspulen möglich. Es können auch asymmetrische oder zumindest ungleiche Teilungen der Bandleiters vorgenommen werden, bei de-
15 nen verschieden breite Leiterzweige entstehen. Wesentlich ist, dass die Teilung des Bandleiters in zwei oder mehr Teilspulen erst nach dem Aufwickeln der Spulenwicklung erfolgt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer elektrischen Spuleneinrichtung (44), umfassend die folgenden Schritte:

- 5 - Aufwickeln eines Bandleiters (1) zu einer Spulenwicklung (22) und
- Auftrennen der Spulenwicklung (22) in wenigstens zwei Teilspulen (38a,38b) durch wenigstens einen Schnitt (24) durch die Spulenwicklung (22),
- 10 wobei der Bandleiter (1) durch bestehen bleibende Verbindungen in seinen Endbereichen (5,6) als zweifach zusammenhängende Schlaufe verbunden bleibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Aufwickeln des Bandleiters (1) innerhalb einer Wicklungsebene erfolgt und bei dem der wenigstens eine Schnitt (24) durch die Spulenwicklung (22) im Wesentlichen parallel zu dieser Wicklungsebene erfolgt.

20 3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem nach dem Aufwickeln jeweils ein inneres und/oder ein äußeres Endstück des Bandleiters als ungewickelter Überstand (28a, 28b) neben den Windungen der Spulenwicklung (22) verbleibt.

25 4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem wenigstens ein Teil des ungewickelten Überstandes (28a,28b) wenigstens eines der Endstücke ebenfalls in zwei Leiterteile geteilt wird.

30 5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die Aufteilung des Bandleiters (1) im Bereich des ungewickelten Überstandes (28a,28b) in einem auf den Schnitt der Spulenwicklung (22) folgenden separaten Prozessschritt erfolgt.

35 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Auftrennen der Spulenwicklung (22) in wenigstens zwei Teilspulen (38a,38b) durch eine Trennvorrichtung (30) erfolgt, deren Eindringtiefe (32) in die Spulenwicklung (22)

nicht bis zu einem Mittelpunkt (27) der Spulenwicklung reicht.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem
5 das Auftrennen der Spulenwicklung (22) durch mehrere Teilschnitte erfolgt, wobei in jedem Teilschnitt ein Umfangssegment (37a,37b) der Spulenwicklung (22) durchtrennt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem
10 der Bandleiter (1) auf einen Wicklungsträger (34) mit einer zylindrischen Wicklungsfläche aufgewickelt wird, wobei der Wicklungsträger (34) mit einer schlitzförmigen Ausnehmung (36) versehen ist, in die ein inneres Endstück (28a) des Bandleiters (1) vor dem Aufwickeln eingeführt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem
das Auftrennen der Spulenwicklung (22) durch Sägen, Wasserstrahlschneiden und/oder Laserschneiden erfolgt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei
20 dem die wenigstens zwei Teilspulen (38a,38b) nach der Auftrennung räumlich so angeordnet werden, dass sich von ihnen bei einem Stromfluss durch den gemeinsamen Bandleiter (1) erzeugte Magnetfelder gegenseitig verstärken.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei
25 dem der Bandleiter (1) beim Herstellen der Spulenwicklung (22) mit einem Imprägniermittel imprägniert wird, das nach Herstellen der Spulenwicklung (22) ausgehärtet wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei
30 dem die Spulenwicklung (22) durch mehr als einen Schnitt (48a,48b,48c) in mehr als zwei Teilspulen aufgetrennt wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei
35 dem für die Herstellung der Spulenwicklung (22) ein Bandleiter (1) mit einer supraleitenden Schicht (20) verwendet wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem für die Herstellung der Spulenwicklung (22) ein Bandleiter (1) mit wenigstens einer Isolationsschicht (10) verwendet wird.

5

15. Elektrische Spuleneinrichtung (44) mit wenigstens zwei Teilspulen (38a,38b) aus einem übergeordneten zweifach zusammenhängenden Bandleiter (1),

wobei die wenigstens zwei Teilspulen (38a,38b) durch nach-
10 trágliches Schneiden einer mit einem einfachen Bandleiter (1) gewickelten Spulenwicklung (22) erzeugt sind.

FIG 1

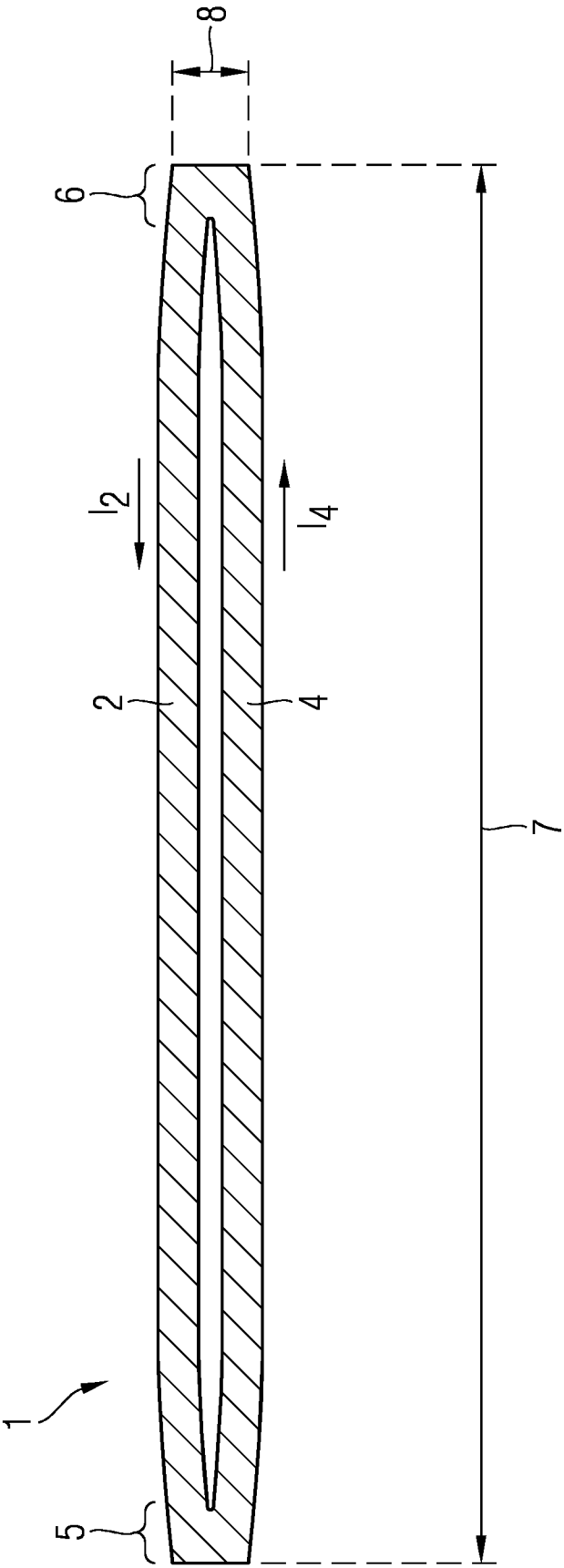


FIG 2

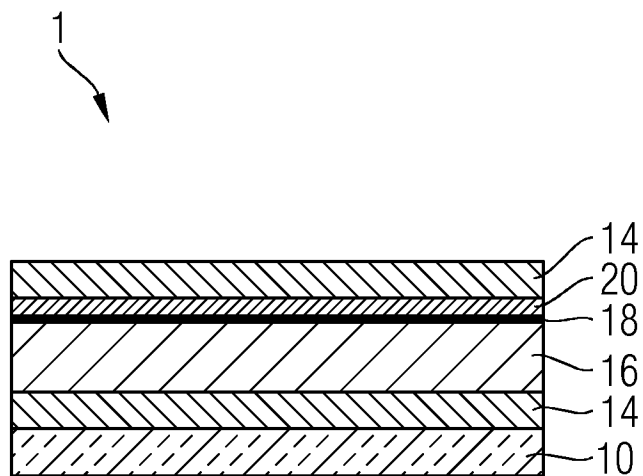


FIG 3

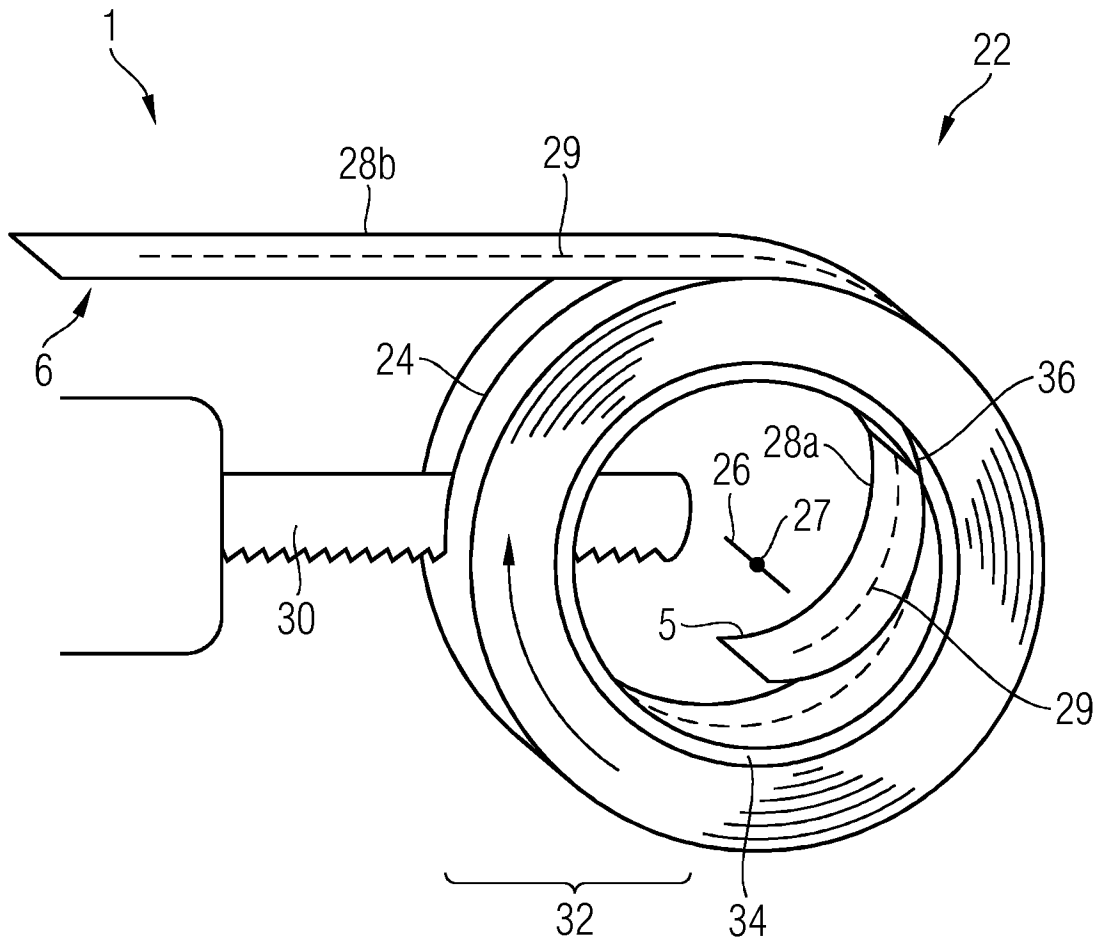


FIG 4

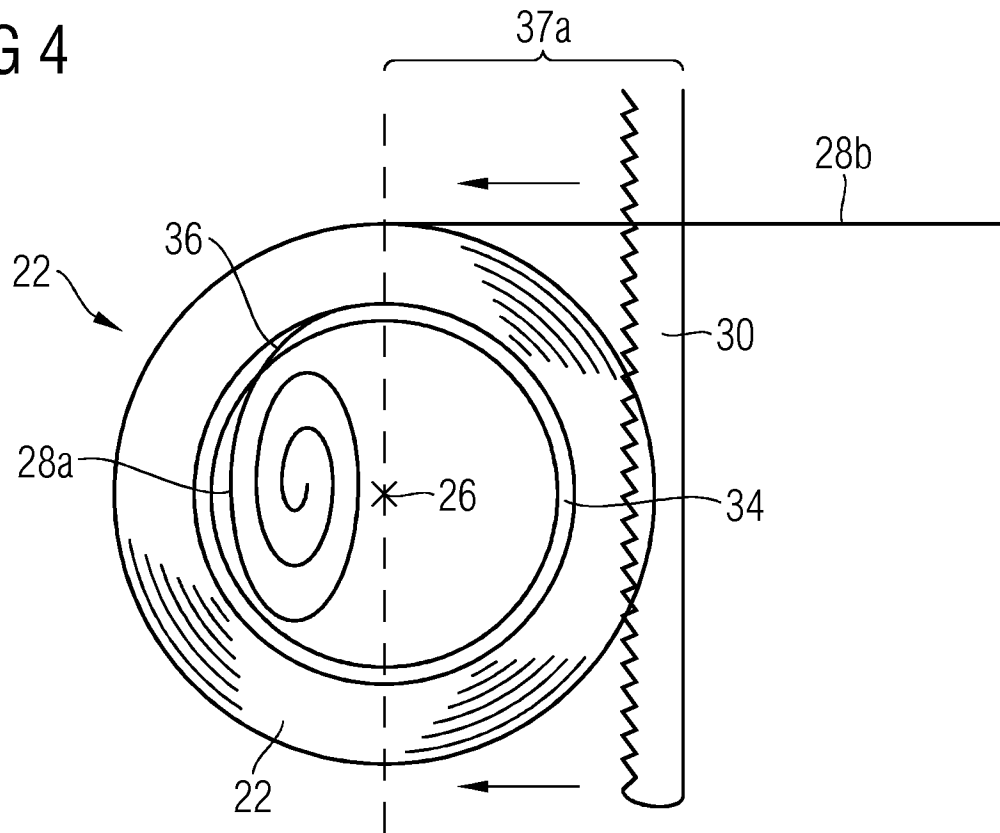


FIG 5

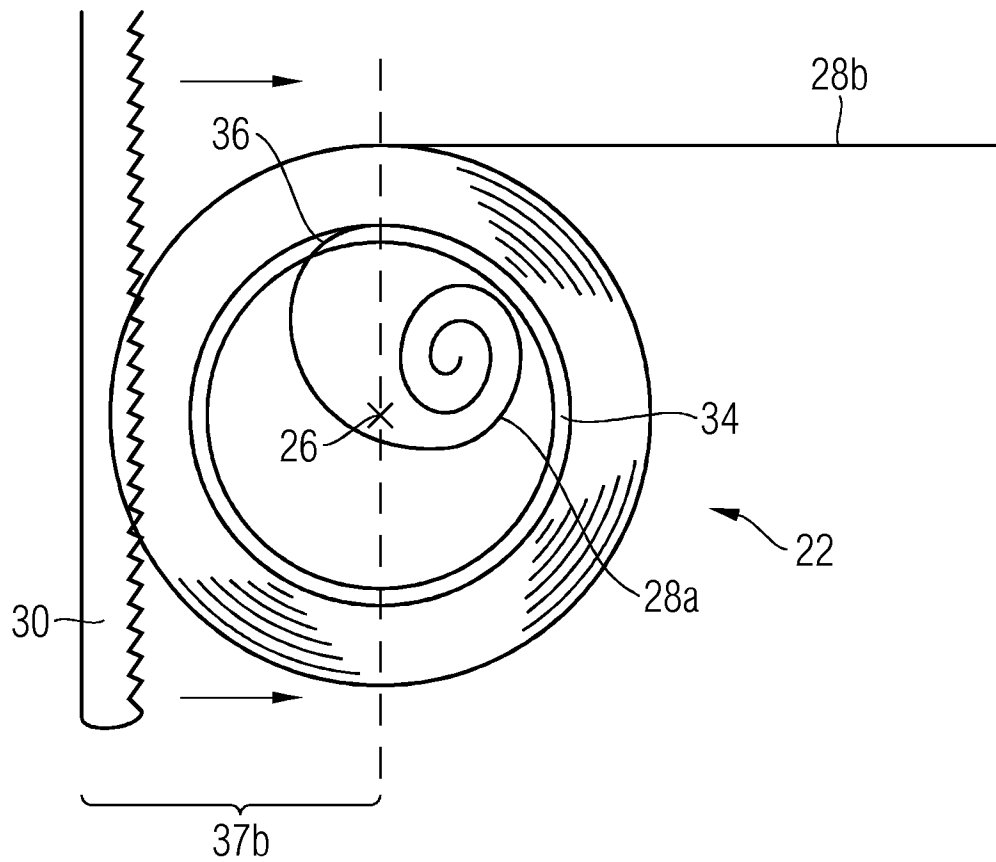


FIG 6

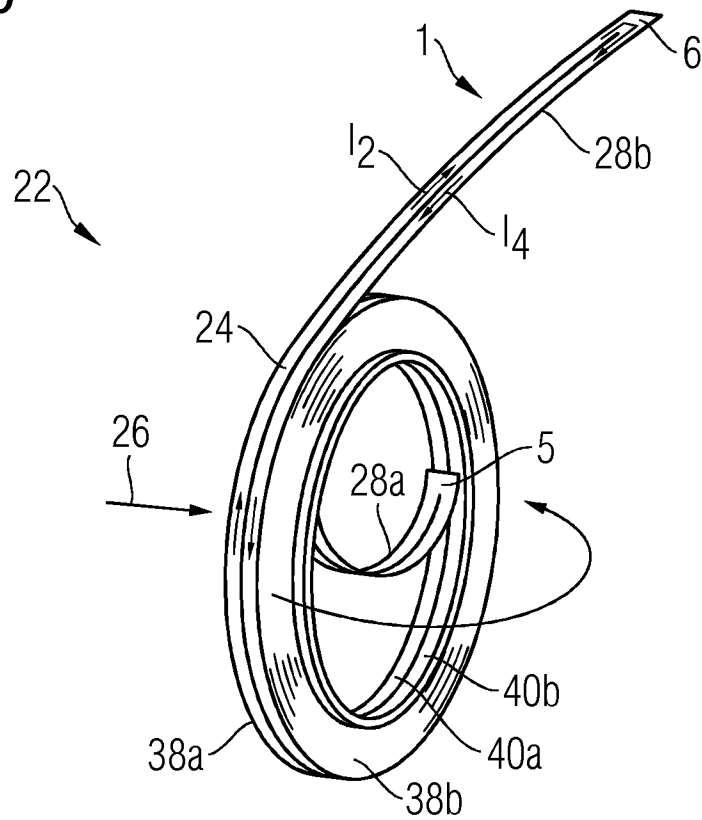
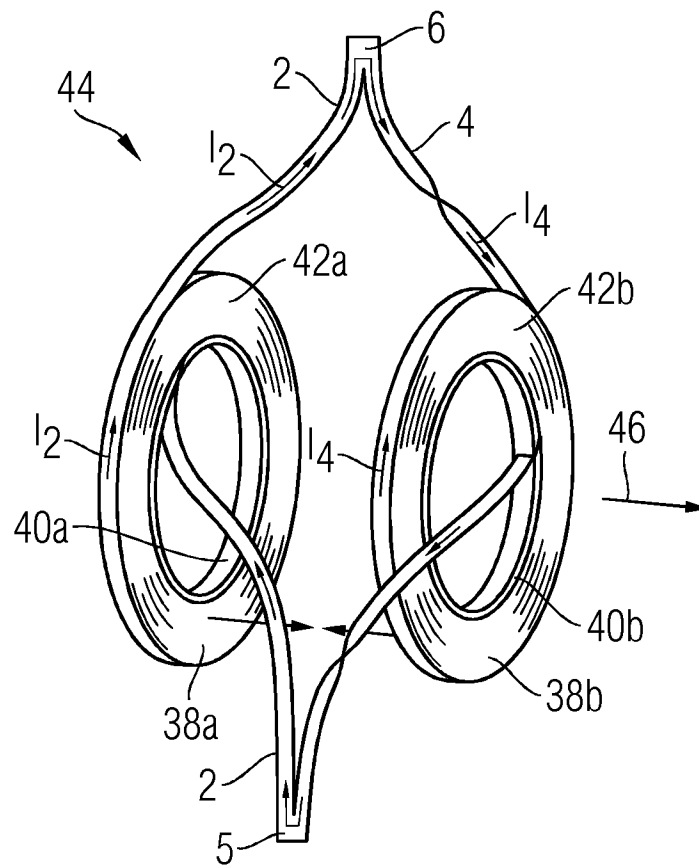


FIG 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/056237

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01F6/06 H01F41/04
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 23 58 398 A1 (DAINIPPON PRINTING CO LTD) 6 June 1974 (1974-06-06) page 5 - page 7; claims 1-3 -----	1-15
A	US 2002/173429 A1 (EHRENBERG JUERGEN [DE] ET AL) 21 November 2002 (2002-11-21) abstract paragraph [0023] - paragraph [0047] -----	1-15
X	DE 10 2010 042598 A1 (BRUKER BIOSPIN GMBH [DE]) 19 April 2012 (2012-04-19) cited in the application	15
A	abstract; claim 1; figure 2 -----	1-14



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 September 2015

Date of mailing of the international search report

11/09/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Warneck, Nicolas

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/056237

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 2358398	A1	06-06-1974	CH 563654 A5 30-06-1975
			DE 2358398 A1 06-06-1974
			FR 2207808 A1 21-06-1974
			NL 7315367 A 29-05-1974

US 2002173429	A1	21-11-2002	CA 2305500 A1 06-05-1999
			EP 1023738 A2 02-08-2000
			JP 4362009 B2 11-11-2009
			JP 2001521295 A 06-11-2001
			US 2002173429 A1 21-11-2002
			WO 9922386 A2 06-05-1999

DE 102010042598	A1	19-04-2012	NONE

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H01F6/06 H01F41/04
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H01F

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 23 58 398 A1 (DAINIPPON PRINTING CO LTD) 6. Juni 1974 (1974-06-06) Seite 5 - Seite 7; Ansprüche 1-3 -----	1-15
A	US 2002/173429 A1 (EHRENBURG JUERGEN [DE] ET AL) 21. November 2002 (2002-11-21) Zusammenfassung Absatz [0023] - Absatz [0047] -----	1-15
X	DE 10 2010 042598 A1 (BRUKER BIOSPIN GMBH [DE]) 19. April 2012 (2012-04-19) in der Anmeldung erwähnt	15
A	Zusammenfassung; Anspruch 1; Abbildung 2 -----	1-14



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

3. September 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11/09/2015

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Warneck, Nicolas

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/056237

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 2358398	A1	06-06-1974	CH 563654 A5 30-06-1975
			DE 2358398 A1 06-06-1974
			FR 2207808 A1 21-06-1974
			NL 7315367 A 29-05-1974

US 2002173429	A1	21-11-2002	CA 2305500 A1 06-05-1999
			EP 1023738 A2 02-08-2000
			JP 4362009 B2 11-11-2009
			JP 2001521295 A 06-11-2001
			US 2002173429 A1 21-11-2002
			WO 9922386 A2 06-05-1999

DE 102010042598	A1	19-04-2012	KEINE
