



(19) Republik
Österreich
Patentamt

(11) Nummer:

AT 405 580 B

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1966/95

(51) Int.CI. 6 : H01F 27/28

(22) Anmelddatum: 1.12.1995

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 1.1999

(45) Ausgabedatum: 27. 9.1999

(56) Entgegenhaltungen:

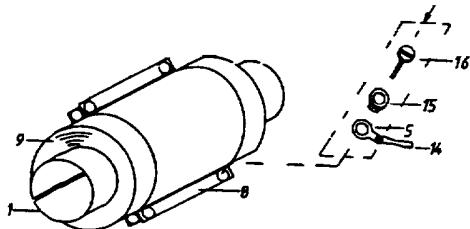
DE 2125116A EP 0040262B1 GB 1235041A GB 1157696A
US 1158810A WO 92/02941A1

(73) Patentinhaber:

HAUSER HANS DR.
A-1160 WIEN (AT).
BUGRAM CHRISTOPH
A-2522 OBERWALTERSDORF, NIEDERÖSTERREICH (AT).
VORLICEK KARL DIPL.ING.
A-1140 WIEN (AT).

(54) FOLIENSPULE ZUR ERZEUGUNG STARKER (IMPULS-)MAGNETFELDER

(57) Gekühlte Folienspule zur Erzeugung starker (Impuls-)Magnetfelder mit mehreren elektrisch parallel geschalteten Folienwicklungspaketen (9), dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen den Folienpaketen hinreichende Umspülung mit Kühlmedium gewährleistet, und daß die Folienpakete (9) an ein oder mehrere inneren Lagen durch jeweils einen oder mehrere Kühlstreifen (10) des Folienmaterials untereinander verbunden werden bzw. axial aus den Folienpaketen herausragen, sodaß diese Streifen im Zwischenraum und den Enden der Spulenpakete intensiv vom Kühlmittel umströmt werden, wobei die Streifen (10) beim Wickelprozeß eingebracht werden, und daß die Folienpakete zur elektrischen Parallelschaltung an ihren radialen Außenseiten von leitenden - und zum Durchtritt des Kühlmediums, zumindest im Bereich des Hohlrums zwischen den Spulenpaketen - geschlitzten oder gelochten Halbschalen (8) so umfaßt werden, daß die Folienpakete gleichzeitig gegenüber den einwirkenden Kräften mechanisch stabilisiert werden und eine oder beide Halbschale(n) die großflächige elektrische Kontaktierung und homogene Stromverteilung an den äußeren Folienlagen gewährleisten, wobei die Halbschale(n) wiederum mit der elektrischen Zuführungsleitung (14) verbunden wird (werden) und die Halbschalen zur Vermeidung des Windungsschlusses über geeignete Isolierstücke (15,16) zusammengespannt werden.



B

AT 405 580

Die Erfindung betrifft eine gekühlte Folienspule, insbesondere zur Erzeugung starker (Impuls-) Magnetfelder, mit mehreren elektrisch parallel geschalteten Folienwicklungspaketen, bestehend aus jeweils mehreren Lagen leitfähiger Folie mit zwischenliegenden Lagen dünner Isolierfolie, die in axialem Abstand zueinander auf ein axial geschlitztes, metallisches Innenrohr aufgebracht sind, wobei die elektrische 5 Kontaktierung der innersten Folienlagen großflächig über das geschlitzte Metallrohr erfolgt, das seinerseits mit einer elektrischen Zuführungsleitung verbunden ist. Solche Spulen finden beispielsweise in Aufmagnetisierungsanlagen Verwendung: Üblicherweise wird zu diesem Zweck das Magnetfeld im Inneren einer mit Draht bewickelten Zylinderspule erzeugt, in welche der zu magnetisierende Probenkörper eingebracht wird. An Stelle der konventionellen, mit Draht bewickelten Spule wird eine spezielle Folienspule vorgeschlagen, 10 welche die typischen Nachteile der Drahtspulen vermeidet, sowie ein Verfahren zu deren Herstellung.

Erläuternd sollen Draht- und Folienspulen einander gegenübergestellt werden: Die Drahtspule kann in einfacher Weise mit konventionellen Wickelmaschinen hergestellt werden, wobei der Drahdurchmesser in relativ weiten Bereichen variiert werden kann. Im Vergleich zur Folienspule weist die Drahtspule bei gleicher Windungszahl einen höheren Widerstand und bei hohen Frequenzen bzw. kurzen Impulsen zusätzlich 15 Verluste durch den Skin-Effect auf. Bei mehrlagig gewickelten Drahtspulen können große Spannungsunterschiede zwischen benachbarten, (übereinanderliegenden) Wicklungslagen auftreten. Deswegen müssen bei solchen Drahtspulen die Hohlräume - so auch Lufteinschlüsse - zwischen den Windungen zur Erhöhung der Durchschlagsfestigkeit mittels einer aufwendigen Harztränkung, gegebenenfalls unter Vakuum, eliminiert werden. Weiters bewirkt die Tränkung der Drahtwicklung eine erhöhte Stabilität gegenüber den Kräften 20 zwischen den stromdurchflossenen Windungen. Diese Kräfte begrenzen die Einsatzfähigkeit solcher Spulen, da der geringe Füllfaktor in der Größenordnung von etwa 73% und die Form und Größe des Drahtquerschnitts nur eine beschränkte Abstützung der Windungen zueinander erlauben. Drahtspulen lassen aufgrund ihrer hohen Induktivität keine schnellen Schaltvorgänge zu, weshalb ihre Verwendung im Starkstrombereich stark eingeschränkt ist.

25 Folienspulen sind aus der Hf-Technik hinlänglich bekannt: in der Hf-Technik werden sie hauptsächlich wegen ihrer geringen Verluste geschätzt, da die gegenüber Wicklungsdrähten größere Oberfläche der einzelnen Folienlagen den negativen Einfluß des Skin-Effekts reduziert.

Da jedoch nur kleine Signalströme und damit nur kleine Felder auftreten, sind jene Folienspulen nicht unmittelbar in der Energietechnik einsetzbar: Neben der Erzeugung großer Feldstärken bzw. Induktionen 30 müssen in der Energietechnik verwendbare Spulen mechanische Stabilität der Wicklung gegenüber den einwirkenden Kräften, hinreichende Eigenschaften zur Verlustwärmeverteilung und möglichst hohen Füllfaktor bzw. kleine Abmessungen aufweisen.

Eine Spulenanordnung für Aufmagnetisierungsanlagen muß folgende Anforderungen erfüllen:

1. Zur Erzielung höchster Induktionen muß auf einen möglichst kleinen Innenradius der Folienwicklung und damit auf einen möglichst dünnwandigen Träger (Innenrohr) der Folienwicklung geachtet werden, da 35 die Feldbeiträge der innersten Folienlagen am größten sind.
2. Um hohe Aufmagnetisierungszyklen (Taktzeiten) erzielen zu können, muß die Verlustwärme effektiv abgeführt werden, weswegen schmale, parallel geschaltete Folienpakete mit axialem Abstand zueinander verwendet werden, sodaß kurze Wärmeleitwege zu den Seiten der Folie gegeben sind, die dann 40 ihrerseits vom Kühlmedium umströmt werden. (Der schmale Hohlraum zwischen den einzelnen Folienpaketen bewirkt fast keine Feldschwächung bzw. Inhomogenität.)
3. Die Elemente zur äußeren, radialen Fixierung der Folienpakete müssen den auftretenden Kräften standhalten und sollten zur Reduktion der benötigten Einzelteile der Konstruktion gleichzeitig eine möglichst großflächige Stromeinkopplung ermöglichen, wie auch die Parallelschaltung der einzelnen 45 Pakete und den Zutritt des Kühlmediums.

Nachfolgend sei der Stand der Technik erläutert:

1. Die FR 114.604A offenbart eine Halterung bzw. ein mehrteiliges Aufnahmestück für eine Folienwicklung, wonach ein in der Langsachse geschlitztes Aluminiumrohr als Träger für die Folienwicklung dient. Zwecks höherer Stabilität wird der Schlitz mit einem isolierenden Plattenstück oder mit einem eingesetzten T-Stück überbrückt, wobei dieses Teil fest mit dem Rohr verbunden ist. Zusätzlich werden an den 50 Zylinderenden nichtleitende Spannringe angebracht, welche Rohr und Füllstück stabilisieren. Dieser Vorschlag ermöglicht eine homogene Stromeinkopplung.
2. Die DE 1 194 496C beinhaltet eine auf einen geschlitzten Spulenring gewickelte Flachbandspule, deren inneres Ende mit einem Keil versehen ist. Dieser Keil wird in eine entsprechenden Ausnehmung 55 im Spulenring plaziert und soll das Aufbringen der Wicklung unter Aufrechterhaltung einer gleichmäßigen Bandspannung erleichtern. Der Keil ermöglicht eine gleichmäßige Spannung der Folie beim Wicklungsvorgang, unterbindet allerdings eine großflächige Stromeinkopplung. Die Dichtigkeit gegenüber Flüssigkeiten ist nicht gegeben.

3. Die DE 1 202 902B beschreibt eine Spule aus eloxiertem Aluminiumband und die Ausführung der inneren und äußeren, elektrischen Anschlußfahnen. Dabei wird die die Spulenwicklung über ihren (gesamten) Umfang von einem metallischen Spannband umschlossen, welches auch eine Anschlußfahne aufweist, sodaß die äußere Kontaktierung auch dem Zusammenhalt der Wicklung dient. Nach diesem Vorschlag müßten mehrere, axial benachbarte Wicklungspakete über zusätzliche Kabelverbindungen parallelgeschalten werden, sowie für jedes Paket separate Bänder vorgesehen werden.
4. In der US 1 157 696A werden separate elektrische Anschlußstücke für eine Folienspule beschrieben, welche an der Innenseite der Wicklung zwischen Trägerrohr und Folie angebracht werden und an der Außenseite über den Druck eines die Wicklung umschließenden Spannbandes mit der Folie kontaktiert werden. Dem Vorteil der einfachen Herstellung steht der Nachteil der geringflächigen, inhomogenen Stromverteilung gegenüber. Auch hier wären mehrere Spannbänder bzw. zusätzliche Kabelverbindungen nötig.
5. In der GB 1 235 041A werden mehrere, axial voneinander distanzierte Wicklungspakete auf einem isolierten Trägerrohr gewickelt. Die beschriebene Serienschaltung der einzelnen Pakete erfolgt über metallische, laschenförmige Anschlußstücke, die sowohl an der Innenseite des Wicklungspaketes, als auch an der Außenseite mit der entsprechenden Folie vernietet werden. Diese Eigenschaften und Aussagen entsprechen weitgehend jenen unter Punkt 4.
6. Die WO 92/02941A beschreibt einen Transformator, der mit Hilfe zweier axial benachbarter Folienwicklungen aufgebaut wird. Die elektrische Verbindung der beiden Wicklungen (entsprechend der Primär- u. Sekundärwicklung eines Spartransformators) wird durch einen leitfähigen Gurt oder durch ein leitfähiges Band geschaffen. Dieses Metallband umschließt und verbindet beide Folienpakete nahezu über den gesamten Umfang, jedoch jeweils nur einen Teil der Breite der Folienpakete. Die Verbindung zwischen dem Metallband und den beiden Wicklungen erfolgt durch Löten. Zur Vermeidung der Ausbildung einer Kurzschlußwindung wird ein Isolierstück verwendet, welches Anfang und Ende des leitfähigen Bandes oder Gurtes voneinander isolieren. Die innenliegenden Folienenden werden mit Massivleitern verbunden. Da der Hohlraum zwischen den benachbarten Spulen durch das Verbindungsband verschlossen ist, kann kein Kühlmedium zu diesen Seiten der Spulenpakete gelangen. Bei höheren Kräften, wie sie in Aufmagnetisierungsanlagen auftreten, müssen die Folienpakete durch eine Vorrichtung an der radialen Außenseite vollflächig abgestützt werden.
7. Nach der EP 040 262A werden für Kraftwerksanwendungen gekühlte, koaxiale Folienspulen beschrieben, die in axialem Abstand zueinander auf einem Trägerelement angeordnet sind, wobei mehrere Spulen elektrisch parallelgeschalten sind. Die Gestaltung des Folienträgers 35 nach dortiger Figur 1 ermöglicht die axiale Durströmung des Folienträgers mit Kühlmittel, sodaß der magnetische Kern 36 gekühlt wird. Ein weiterer Kühlmittelkanal ist solcherart konzipiert, daß die Kühlflüssigkeit **axial** eingeleitet wird und daß rillenartige Durchbrüche im Träger 35 zwischen den Folienpaketen den radialen Austritt des Kühlmediums ermöglichen, sodaß die Kühlflüssigkeit den Hohlraum spült, der durch jeweils zweier benachbarter Folienpäckte gebildet wird und somit die Wärme der Folienwicklungen radial abtransportiert wird.
- Während die in den Punkten 1 bis 5 zitierten Patentschriften hauptsächlich konstruktive Maßnahmen zur Spulenherstellung offenbaren, beschreibt dieses Dokument eine Möglichkeit zur Verlustwärmeverfuhr und bietet durch die axialen Kühlkanäle die Möglichkeit zur Kühlung eines Magnetkernes. Die Vergrößerung des Innendurchmessers einer Folienspule führt aber zu einer starken Feldschwächung im zylindrischen Hohlraum der Spule, die durch das Einbringen eines magnetischen Kerns ($\mu_{\text{Kern}} >> \mu_{\text{Luft}}$) teilweise kompensiert werden kann. Diese Feldschwächung ist aber gerade bei Aufmagnetisierungsanlagen unerwünscht, da der Probenkörper vorgegebener Größe und vorgegebener Permeabilität von hoher Induktion durchsetzt werden soll. Deswegen muß das Folienträgerrohr möglichst dünnwandig gestaltet und eine andere Möglichkeit gefunden werden, die Verlustwärmee abzuführen.

Aufgabe:

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Folienspule zu schaffen, die eine bessere Kühlung der inneren Folienlagen und eine einfache, großflächige und somit verlustarme Kontaktierung der Folien mit den Zuführungsleitern ermöglicht.

Lösung:

Gemäß der Erfindung wird vorgeschlagen, daß die Folienpakete (9) an mindestens einer inneren Lage - insbesondere im mittleren Radiusbereich der Folienpakete (9) - durch jeweils einen oder mehrere Kühlstreifen

fen (10) des Folienmaterials untereinander verbunden sind bzw. axial aus den Folienpaketen herausragen (Anspruch 1).

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden die Kühlstreifen (10) beim Wickelprozeß eingebracht und gegebenenfalls mittels Klebstoff fixiert (Anspruch 2).

Nach einer bevorzugten Ausführung der Erfindung werden die Folienpakete zur elektrischen Parallelschaltung an ihren radialen Außenseiten von leitenden, zumindest im Bereich des Hohlraums zwischen den Spulenpaketen, geschlitzten oder gelochten Halbschalen (8) umfaßt und über geeignete Isolierstücke (15,16) zusammengespannt wobei mindestens eine Halbschale mit einer elektrischen Zuführungsleitung (14) verbunden ist (Anspruch 3).

Nach einer anderen Ausführung der Erfindung wird die Folienspule von einem Gehäusemantel umfaßt, der zusätzliche Strömungsleitbleche für das Kühlmedium aufweist (Anspruch 4).

Die flüssigkeitsgefüllte Ausführung der Erfindung ist ferner dadurch gekennzeichnet, daß am Gehäusemantel flüssigkeitsdichte Kabelverschraubungen angebracht sind (Anspruch 5).

Nach einer weiteren Ausführung der Erfindung sind im Zwischenraum der Spulenpakete an die Streifen (10) Temperaturfühler angebracht. Weitere solche Sensoren können am metallischen Innenrohr (1) bzw. an den Halbschalen (8) angebracht sein, deren Steuersignal einer im Inneren des Spulengehäuses befindlichen oder einer externen Verarbeitungselektronik zugeführt wird (Anspruch 6).

Gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung sind die innersten Folienlagen direkt mit den elektrischen Zuführungsleitern kontaktiert, wobei die (radial) innersten Folienlagen auch jeweils mehrfach, gefalzt und unter den Folienpaketen herausgeführt sind (Anspruch 7).

Nach der Erfindung erfolgt eine zusätzliche Kontaktierung der innersten Folienlagen mit dem Innenrohr (1) durch Punktschweißen, Nieten oder Löten, vorzugsweise am inneren Ende der Folienbahn, wobei die Stromzuführung zum Innenrohr (1) mittels Schellen (7) und Zuführungskabeln (4) oder durch unmittelbar angelötete bzw. angeschweißte Zuführungsleiter erfolgt, die gegebenenfalls wiederum zu Anschlußösen am Spulengehäuse geführt sind (Anspruch 8).

Die flüssigkeitsgekühlte Variante der Folienspule ist dadurch gekennzeichnet, daß der Schlitzbereich des Innenrohrs (1) mit einem Isolierstück (2), vorteilhafterweise in Gestalt eines I- oder T-Profil, kühlmitteldicht verschlossen ist (Anspruch 9).

Eine andere Ausführung der Folienspule weist ein geschlitztes Innenrohr (1) auf, das auf einem innenliegenden, dünnwandigen, durchgehenden Kunststoffrohr (3a) angebracht ist, wobei die Verbindung beider Rohrhülsen (1, 3) durch eine Klemmvorrichtung oder durch Klebung erfolgt (Anspruch 10).

Gemäß der Erfindung kann die Isolierung der Leiterfolien durch Pulverbeschichtung oder Lackierung erfolgen oder aber auch mit Hilfe einer Isolierfolie, die auf die Leiterfolie aufkaschiert ist (Ansprüche 11, 12).

Die Erfindung eignet sich weiters ganz hervorragend für alle Spulenvorrichtungen, die über einen in sich geschlossenen magnetischen Kern bzw. über ein magnetisches Joch verfügen. Diese Ausführungen werden in der Praxis beispielsweise als Entstör- oder Abschaltdiode eingesetzt (Ansprüche 13, 14).

Zur Erzeugung starker (Impuls-)Magnetfelder werden nach einer weiteren Ausführung der Erfindung die Folienpakete zur elektrischen Parallelschaltung an ihren radialen Außenseiten von leitenden, zumindest im Bereich des Hohlraums zwischen den Spulenpaketen, geschlitzten oder gelochten Halbschalen (8) derart umfaßt, daß eine großflächige elektrische Kontaktierung mit homogener Stromverteilung an den äußeren Folienlagen erfolgt und daß mindestens eine Halbschale wiederum mit einer weiteren elektrischen Zuführungsleitung (14) verbunden ist und daß diese Halbschalen über geeignete Isolierstücke (15, 16) zusammengespannt sind (Anspruch 15).

Um die Verlustwärme effektiv abzuführen, wird eine Ausführungsform der Erfindung beschrieben, die dadurch gekennzeichnet ist, daß an mindestens einer inneren Lage des Folienpaketes, vorzugsweise im mittleren Radiusbereich, jeweils ein oder mehrere Kühlstreifen (10) axial aus den Folienpaket herausragen (Anspruch 16).

Die Streifen (10) werden beim Wickelprozeß eingebracht und gegebenenfalls mittels Klebstoff fixiert (Anspruch 17).

Eine weitere Ausführung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß das Folienpaket an seinen radialen Außenseiten von leitenden, zumindest im Bereich der (axialen) Enden, geschlitzten oder gelochten Halbschalen (8) umfaßt und über geeignete Isolierstücke (15,16) zusammengespannt und daß mindestens eine Halbschale mit einer elektrischen Zuführungsleitung (14) verbunden ist (Anspruch 18).

Eine Ausführung der gekühlten Folienspule weist wiederum einen Gehäusemantel auf, der vorzugsweise mit separaten Strömungsleitblechen ausgestattet ist (Anspruch 19).

Die flüssigkeitsgekühlte Ausführungsform der Erfindung ist am Gehäusemantel mit flüssigkeitsdichte Kabelverschraubungen versehen (Anspruch 20).

- Eine erfindungsgemäße Ausführung der gekühlten Folienspule ist dadurch gekennzeichnet, daß an die an den Enden des Folienpaketes herausragenden Streifen (10) Temperaturfühler angebracht sind und/oder daß (weitere) solche Sensoren am metallischen Innenrohr (1) bzw. an den Halbschalen (8) angebracht sind, deren Steuersignal einer im Inneren des Spulengehäuses befindlichen oder einer externen Verarbeitungs-
5 elektronik zugeführt wird (Anspruch 21).

Schließlich erlaubt die Ausführung der Folienspule mit den an den Enden herausragenden Kühlstreifen (10) eine Wärmeabgabe durch Konvektion (Anspruch 22).

Vorteile der Folienspule:

10

Bei geeignetem Aufbau der Folienspule kann ein Füllfaktor von bis zu 95% erzielt werden. Die geringe Potentialdifferenz zwischen den einzelnen Lagen ermöglichen stark reduzierten Isolationsaufwand und somit lediglich sehr dünne Isolationschichten. Die selbsthemmend wirkende, großflächige Abstützung der Folienlagen sowie der Fixierung der Folienpakete mit einfachen Klemmvorrichtungen erlauben sehr viel höhere
15 elektrische Belastungen. Weiters zeichnet sich die Folienspule durch niedrigere Stromdichte, kleineren ohmschen Widerstand und geringere Verluste bei hohen Frequenzen zufolge Skin-Effekt aus. Schließlich kann durch die im folgenden vorgeschlagenen Maßnahmen eine effiziente Verlustwärmeabfuhr gewährleistet werden.

20 Kenngrößen der Folienspule:

Schließlich werden die beiden wichtigsten Kenngrößen der Folienspule, nämlich ihr ohmscher Widerstand und ihre Induktivität näherungsweise angeführt: Der Widerstand R der Folienspule lautet

25

$$R = \rho \frac{\pi N D_m}{bd} ,$$

- 30 wobei ρ den spezifischen Widerstand des leitenden Folienmaterials, N die Zahl der Folienlagen, D_m den mittlere Durchmesser der Folienspule, b die Folienbreite und d den Innendurchmesser benennen.
Für die Induktivität L_{Folie} gelten die Gleichungen

35

$$L = \frac{\Phi}{I} = \frac{N\Phi}{I} k(N) = \frac{\mu_0 \pi N^2 D_m^2}{4 \sqrt{D_m^2 + b^2}} ,$$

40 mit den weiteren Beziehungen

45

$$\Phi = \frac{\mu_0 N I k(N) A}{b}$$

$$k(N) = \frac{b}{\sqrt{b^2 + (D_i + 2Nd)^2}}$$

50

$$A = \frac{D_m^2 \pi}{4} = \frac{(D_i + Nd)^2 \pi}{4}$$

- 55 Dabei stellen Φ den verketteten Fluß, ϕ den Fluß durch eine Windung, $k(N)$ einen Korrekturfaktor, μ_0 die Permeabilität des leeren Raumes und A die durchflutete Querschnittsfläche dar. D_i und D_m sind Innendurchmesser bzw. mittlerer Durchmesser der Folienspule. Eine Optimierung der Spulengeometrie nach maximaler Flußdichte im Inneren der Spule ist in Figur 1 veranschaulicht, woraus die geringe Baugröße bei hohen Feldern hervorgeht.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen:

Figur 2 zeigt da Querschnitt der Folienspule mit dem geschlitzten metallischen Rohrstück (1), welches entweder aufeinem Kunststoffträger (3) fixiert ist oder mit Hilfe des Isolierstückes (2) distanziert wird.

5 Figur 3 zeigt ein einzelnes, ungeschlitztes, nichtleitendes Innenrohr (3) als Folienträger und den elektrischen Zuführungsleiter (4) bzw. die Anschlußöse (5) an der gefalzten Folie (6).

In Figur 4 wird die großflächige Kontaktierung der innersten Folienlage mittels der Schellen (7) am Metallträger (1) dargestellt.

10 In Figur 5 wird die großflächige Stromeinkopplung an der äußersten Folienlage mit Hilfe der Halbschalen (8) dargestellt.

Figur 6 zeigt die einzelnen, axial distanzierten Folienpakete (9) samt der geschlitzten Halbschalen (8), die einerseits den Kühlmittelzutritt in Zwischenraum der Folienpakete, andererseits die großflächige Stromeinkopplung an der äußersten Folienlage ermöglichen.

15 Figur 7 zeigt die Streifen (10), welche etwa im mittleren Radiusbereich in die Folienpakete eingebracht sind, womit die Wärme aus dem Inneren der Folienpakete (9) wirkungsvoll abgeführt werden kann. Die Streifen (10) werden an den Enden der Spule und im Bereich zwischen den einzelnen Folienpaketen vom Kühlmittel umströmt.

Aufbau der Folienspule:

20 Die Magnetisierungsspule wird nach Figur 2 (in Querschnittsansicht) mittels eines dünnwandigen, geschlitzten, metallischen Innenrohres (1) aufgebaut, welches zur mechanischen Stabilisierung, bei Flüssigkeitskühlung der Spule zwecks Abdichtung, mit einem Isolierstück (2), vorteilhafterweise in Gestalt eines T- oder I-Profil, versehen wird. Alternativ oder zusätzlich kann das geschlitzte Metallrohr (1) auf einem dünnwandigen, durchgehenden Kunststoffrohr (3) angebracht werden, wobei die Verbindung der Rohrhülsen (1) und (3) durch eine Klemmvorrichtung oder durch Klebung erfolgt.

Bei geringer thermischer Belastung kann nach Figur 3 auch nur ein einzelnes, ungeschlitztes, nichtleitendes Innenrohr (3) verwendet werden. In diesem Falle erfolgt die Stromzuführung direkt über die innerste Lage der Folienwicklung (6), wobei die Folie oder auch nur Streifen der Folie beispielsweise gefalzt und ein- oder beidseitig axial unter der Wicklung herausgeführt sind. Das herausgeführte Folienstück wird mit den Anschlußkabeln (4) oder Ösen (5) verbunden (Um eine homogene Stromverteilung zu erzielen, wird man die Folie mehrfach falzen und herausführen, daß mindestens zwei Einkoppelstellen, vorzugsweise an beiden Seiten der Folienwicklung, vorgesehen werden.)

35 Die Verwendung eines entlang der Längsachse geschlitzten Innenrohres (1) verbessert einerseits die Wärmeabfuhr, andererseits wird eine äußerst homogene Stromverteilung an den Einspeisestellen ermöglicht, wenn die innerste Lage der Folienwicklung das metallische Rohr großflächig berührt. Eine zusätzliche Kontaktierung der innersten Folienlage mit dem Innenrohr (1) kann nach Figur 4 durch punktschweißen, nielen oder löten, vorzugsweise am inneren Ende der Folienbahn erfolgen, wodurch die Folienwicklung zusätzlich mechanisch fixiert und der Übergangswiderstand zwischen Metallrohr und Wicklung von Oxydschichten nicht mehr negativ beeinflußbar ist. Die Stromzuführung zum Rohr (1) erfolgt über ein- oder beidseitig angeordnete, entsprechend gestaltete Schellen (7) und Kabeln (4) oder durch angelötete bzw. angeschweißte Leiter, die wiederum zu Anschlußösen am Spulengehäuse geführt sind.

40 Schließlich werden die Folienlagen, vorzugsweise aus Kupfer, (wegen des angestrebten Füllfalltors) gemeinsam mit möglichst dünnen Isolierfolien auf den Spulenkörper gewickelt. Hochwertige, formtreue Folien, deren Kanten nicht gewölbt sind und keine Grate aufweisen, können (pulver-)beschichtet, lackiert oder auch ummantelt ausgeführt sein, sodaß auf die separate Isolierfolie verzichtet werden kann. (Die Potentialdifferenz der aufeinanderliegenden Lagen ist im allgemeinen sehr klein, in der Größenordnung von einigen Volt, wodurch an die Isolation keine hohen Anforderungen gestellt werden.)

45 An der Außenseite der Folienwicklung werden nach Figur 5 Spannelemente, etwa in Form von metallischen Halbschalen (8) so angebracht, daß die beiden Halbschalen elektrisch voneinander isoliert sind. Die Isolierung erfolgt beispielsweise mittels Kunststoffschauben (16) oder mit Hilfe unter den Schraubenköpfen beigelegten Isolierkörpern (15). Mit Hilfe dieser Spannelemente wird gleichzeitig eine großflächige Stromeinkopplung in die Wicklung, beispielsweise über eine Halbschale, ermöglicht, wobei zweckmäßigerweise entsprechende Ösen (5) unter den Schraubenköpfen oder Muttern (bzw. unter den Isolierstücken) die elektrische Verbindung über Kabeln zu den externen Anschlußpunkten, beispielsweise am Spulengehäuse, erlauben. Natürlich sind auch andere Vorrichtungen zur Aufnahme der auftretenden Kräfte denkbar, genauso wie separate Spannelemente und separate Elemente zur Stromeinkopplung.

Erfnungsgemäßer Vorschlag:

Energietechnische Anwendungen erfordern aufgrund der hohen Verlustleistungen Einrichtungen zur verbesserten Kühlung. Die Kühlung wird entweder durch eine verstärkte Luftströmung mittes Lüfter oder über ein flüssiges Kühlmedium und (separatem) Wärmetauscher vorgenommen. Zur effizienten Wärmeableitung werden mehrere, getrennte Folienpakete (9) nebeneinander über das Innenrohr (1) gewickelt, wobei ein Abstand weniger Millimeter zwischen den Paketen die Zufuhr des Kühlmittels ermöglicht, die Homogenität des Feldes aber nicht beeinträchtigt. (Natürgemäß reduziert die kleinere Breite auch den Wärmewiderstand der einzelnen Pakete in der maßgeblichen axialen Richtung. Die radialen Wärmeleitungsweg sind zu lang und verhindern eine effektive Wärmeabfuhr.) Figur 6 zeigt die Anordnung einer solchen Spule, wobei die oben erwähnten Vorrichtungen, nämlich das Rohr (1) und das geschlitzte oder perforierte Halbschalenpaar (8) die elektrische Verbindung der einzelnen Wicklungspakete, die Stromeinspeisung und die mechanische Fixierung selbiger gewährleisten. Die Perforation oder die Schlitze der Halbschalen im Bereich des Zwischenraumes benachbarter Folienpakete ermöglichen nun auf einfache Weise die Umspülung der Seitenflächen der Folienpakete und eine effiziente Wärmeabfuhr. Durch diese Ausführung der Halbschalen werden Zutritt des Kühlmediums, großflächige Stromeinkopplung, Parallelschaltung der einzelnen Folienpakte und mechanische Stabilität gleichermaßen erfüllt. Die Pfeile in Figur 6 veranschaulichen den Durchsatz des Kühlmediums, entweder Luft oder Kühlflüssigkeit. (Der besseren Übersichtlichkeit wegen wurden der flüssigkeitsdichten Gehäusemantel mit Zu- und Ablaufstutzen und entsprechenden flüssigkeitsdichten Kabdurchführungen, sowie die Schlitze bzw. Perforierungen in der unteren Halbschale nicht skizziert.) Auch bei Luftkühlung erweist sich ein Gehäuse neben der Funktion als Berücksicht als vorteilhaft, da die Gehäusewände als Luftleitbleche die Kühlung verbessern. Die Anordnung und Gestaltung der Stutzen zur Luftzufuhr sind für die erzielbare Kühlwirkung von maßgeblicher Bedeutung. Weiters stabilisieren die Stirnseiten des Gehäuses zusätzlich das geschlitzte Innenrohr. Natürlich können auch mehrere, entsprechend parallelgeschaltete Halbschalenpaare nebeneinander vorgesehen werden.

Schließlich kann die Wärmeabfuhr der Anordnung nach Figur 6 verbessert werden, wenn die Spulenpakte wie nach Figur 7 an mehreren Lagen durch jeweils einen oder mehrere Kühlstreifen (10) des (dünnwandigen) Folienmaterials untereinander verbunden werden, bzw. wenn diese Streifen axial aus den Folienpaketen (9) hervorragen: diese Streifen werden im Zwischenraum der Spulenpakte vom Kühlmittel besser umströmt und vergrößern gleichzeitig die wirksame Kühlfläche. Zweckmäßigerweise werden diese Streifen an den Stellen eingefügt, wo die Wärmeabfuhr problematisch ist, beispielsweise im Bereich $(r_a + r_i)/2$. Selbstverständlich erhöht die Anzahl dieser Kühlstreifen, beispielsweise zwischen jeder 10. und 11. Der radiale Abstand zwischen den Streifen und die Flächendimensionen muß natürlich den Durchsatz des Kühlmediums ermöglichen. Lage ein Streifenpaar nach Figur 7, die Kühlwirkung. Die Kühlstreifen (10) müssen natürlich bereits beim Wickeln der Pakete eingebracht werden. Das gegebenenfalls nötige Fixieren dieser Streifen kann mittels Punktklebeverbindungen unter Verwendung schnell aushärtender Klebstoffe ohne wesentliche Verzögerung des Herstellungsprozesses erfolgen.

Diese Streifen dienen also der Wärmeabfuhr aus dem Inneren (bzw. der Mitte) der Folienpakte und unterscheiden sich neben der Zielsetzung auch hinsichtlich der Materialstärke von am Außen- oder Innenradius angebrachten Vorrichtungen zur Parallelschaltung der Folienpakte oder zur Stromeinkopplung.

Im Zwischenraum der Spulenpakte können an die Kühlstreifen (10) zusätzlich Temperaturfühler angebracht werden, wobei diese Sensoren gegenüber der Einwirkung des Kühlmediums zweckmäßig abgeschirmt sein sollten. Weitere geeignete Anschlußstellen für solche Sensoren wären das metallische Innenrohr (1) und/oder die Halbschalen (8). Diese Sensoren können mit entsprechender interner oder externer Elektronik zur Regelung der Stromstärke, der Taktzeit- bzw. Frequenz oder zur Regelung der Durchflußmenge des Kühlmittels verwendet werden.

Die Erfindung findet beispielsweise Verwendung in Aufmagnetisierungsanlagen und allen anderen Anwendungen, wo starker Felder erzeugt werden sollen. Natürlich kann die vorgeschlagene Spule auch mit ferro- oder ferrimagnetischem Kern aufgebaut werden, sodaß damit beispielsweise hochbelastbare Entstör- bzw. Abschalttdrosseln mit allen oben erwähnten Vorteilen realisiert werden können.

Patentansprüche

1. Gekühlte Folienspule, insbesondere zur Erzeugung starker (Impuls-)Magnetfelder, mit mehreren elektrisch parallel geschalteten Folienwicklungspaketen, bestehend aus jeweils mehreren Lagen leitfähiger Folie mit zwischenliegenden Lagen dünner Isolierfolie, die in axalem Abstand zueinander auf ein axial geschlitztes, metallisches Innenrohr aufgebracht sind, wobei die elektrische Kontaktierung der innersten Folienlagen großflächig über das geschlitzte Metallrohr erfolgt, das seinerseits mit einer elektrischen

Zuführungsleitung verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Folienpakete (9) an mindestens einer inneren Lage insbesondere im mittleren Radiusbereich der Folienpakete (9) durch jeweils einen oder mehrere Kühlstreifen (10) des Folienmaterials untereinander verbunden sind bzw. axial aus den Folienpaketen herausragen.

- 5 2. Gekühlte Folienspule nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kühlstreifen (10) beim Wickelprozeß eingebracht und gegebenenfalls mittels Klebstoff fixiert sind.
- 10 3. Gekühlte Folienspule nach den Ansprüchen 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Folienpakete zur elektrischen Parallelschaltung an ihren radialen Außenseiten von leitenden, zumindest im Bereich des Hohlraums zwischen den Spulenpaketen geschlitzten oder gelochten Halbschalen (8) umfaßt und über geeignete Isolierstücke (15,16) zusammengespannt sind und daß mindestens eine Halbschale mit einer elektrischen Zuführungsleitung (14) verbunden ist.
- 15 4. Gekühlte Folienspule nach den Ansprüchen 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Folienspule von einem Gehäusemantel umfaßt ist, der zusätzliche Strömungsleitbleche aufweist.
- 20 5. Gekühlte Folienspule nach den Ansprüchen 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß am Gehäusemantel flüssigkeitsdichte Kabelverschraubungen angebracht sind.
- 25 6. Gekühlte Folienspule nach den Ansprüchen 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Zwischenraum der Spulenpakete an die Streifen (10) Temperaturfühler angebracht sind und/oder daß (weitere) solche Sensoren am metallischen Innenrohr (1) bzw. an den Halbschalen (8) angebracht sind, deren Steuersignal einer im Inneren des Spulengehäuses befindlichen oder einer externen Verarbeitungselektronik zugeführt ist.
- 30 7. Gekühlte Folienspule nach den Ansprüchen 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die innersten Folienlagen direkt mit den elektrischen Zuführungsleitern kontaktiert sind, wobei die (radial) innersten Folienlagen auch jeweils mehrfach, gefalzt und unter den Folienpaketen herausgeführt sind.
- 35 8. Folienspule nach den Ansprüchen 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine zusätzliche Kontaktierung der innersten Folienlagen mit dem Innenrohr (1) durch Punktschweißen, Nieten oder Löten, vorzugsweise am inneren Ende der Folienbahn erfolgt und die Stromzuführung zum Innenrohr (1) mittels Schellen (7) und Zuführungskabeln (4) oder durch unmittelbar angelötete bzw. angeschweißte Zuführungsleiter erfolgt, die gegebenenfalls wiederum zu Anschlußösen am Spulengehäuse geführt sind.
- 40 9. Folienspule nach den Ansprüchen 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Schlitzbereich des Innenrohrs (1) mit einem Isolierstück (2), vorteilhafterweise in Gestalt eines I- oder T-Profil, kühlmittel-dicht verschlossen ist.
- 45 10. Folienspule nach den Ansprüchen 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß das geschlitzte Innenrohr (1) auf einem innenliegenden, dünnwandigen, durchgehenden Kunststoffrohr (3a) angebracht ist, wobei die Verbindung beider Rohrhülsen (1,3) durch eine Klemmvorrichtung oder durch Klebung erfolgt.
- 50 11. Folienspule nach den Ansprüchen 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Leiterfolien pulverbeschichtet oder lackiert sind.
- 55 12. Folienspule nach den Ansprüchen 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Isolierfolie auf die Leiterfolie aufkaschiert ist.
- 60 13. Folienspule nach den Ansprüchen 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Spulenvorrichtung über einen in sich geschlossenen magnetischen Kern bzw. über ein magnetisches Joch verfügt.
- 65 14. Folienspule nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Folienspule als Entstör- oder Abschaldosse verwendet wird

15. Gekühlte Folienspule, insbesondere zur Erzeugung starker (Impuls-)Magnetfelder, mit mehreren elektrisch parallel geschalteten Folienwicklungspaketen, bestehend aus jeweils mehreren Lagen leitfähiger Folie mit zwischenliegenden Lagen dünner Isolierfolie, die in axialem Abstand zueinander auf ein axial geschlitztes Metallrohr aufgebracht sind wobei die elektrische Kontaktierung der innersten Folienlagen großflächig über das geschlitzte Metallrohr erfolgt, das seinerseits mit einer elektrischen Zuführungsleitung verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Folienspulen zur elektrischen Parallelschaltung Spulenpaketen, geschlitzten oder gelochten Halbschalen (8) umfaßt sind, daß eine großflächige elektrische Kontaktierung mit homogener Stromverteilung an den äußeren Folienlagen erfolgt und daß mindestens eine Halbschale wiederum mit einer weiteren elektrischen Zuführungsleitung (14) verbunden ist und daß die Halbschalen über geeignete Isolierstücke (15,16) zusammengespannt sind.
- 5 16. Gekühlte Folienspule, insbesondere zur Erzeugung starker (Impuls-)Magnetfelder, mit einem Folienwicklungspaket, bestehend aus mehreren Lagen leitfähiger Folie mit zwischenliegenden Lagen dünner Isolierfolie, wobei die elektrische Kontaktierung der innersten Folienlagen großflächig über ein geschlitztes Metallrohr erfolgt, das seinerseits mit einer elektrischen Zuführungsleitung verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß an mindestens einer inneren Lage des Folienspulenpaketes, vorzugsweise im mittleren Radiusbereich, jeweils ein oder mehrere Kühlstreifen (10) axial aus dem Folienspulenpaket herausragen.
- 10 17. Gekühlte Folienspule nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Streifen (10) beim Wickelprozeß eingebracht und gegebenenfalls mittels Klebstoff fixiert sind.
- 15 18. Gekühlte Folienspule nach den Ansprüchen 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Folienspulenpaket an seinen radialen Außenseiten von leitenden, zumindest im Bereich der (axialen) Enden, geschlitzten oder gelochten Halbschalen (8) umfaßt und über geeignete Isolierstücke (15,16) zusammengespannt und daß mindestens eine Halbschale mit einer elektrischen Zuführungsleitung (14) verbunden ist.
- 20 19. Gekühlte Folienspule nach den Ansprüchen 16 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Folienspule von einem Gehäusemantel umfaßt ist, der zusätzliche Strömungsleitbleche aufweist.
- 25 20. Gekühlte Folienspule nach den Ansprüchen 16 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß am Gehäusemantel flüssigkeitsdichte Kabelverschraubungen angebracht sind.
- 30 21. Gekühlte Folienspule nach den Ansprüchen 14 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß an die an den Enden des Folienspulenpaketes herausragenden Streifen (10) Temperaturfühler angebracht sind und/oder daß (weitere) solche Sensoren am metallischen Innenrohr (1) bzw. an den Halbschalen (8) angebracht sind, deren Steuersignal einer im Inneren des Spulengehäuses befindlichen oder einer externen Verarbeitungselektronik zugeführt wird.
- 35 22. Gekühlte Folienspule nach den Ansprüchen 16 und 19 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß die an den Enden herausragenden Kühlstreifen (10) eine Wärmeabgabe mittels Konvektion bewirken.

Hiezu 2 Blatt Zeichnungen

45

50

55

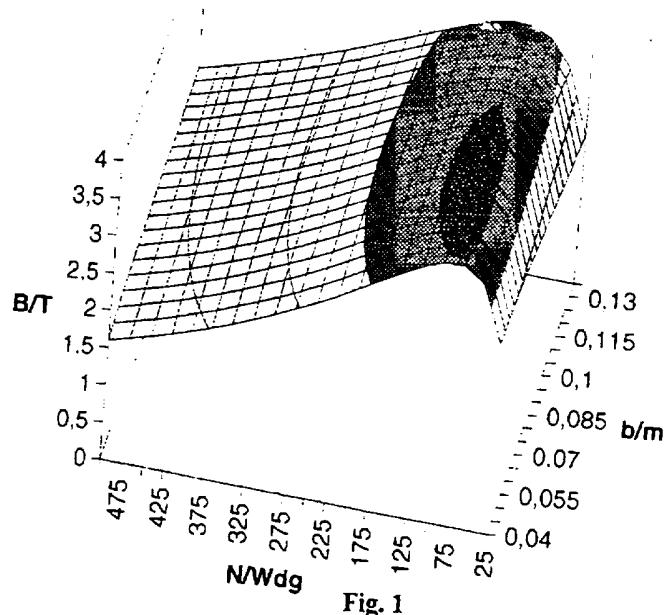


Fig. 1

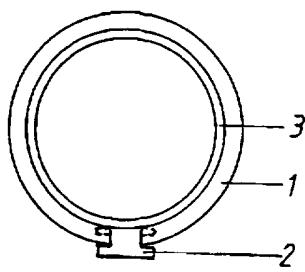


Fig. 2

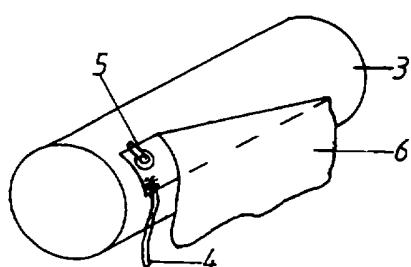


Fig. 3

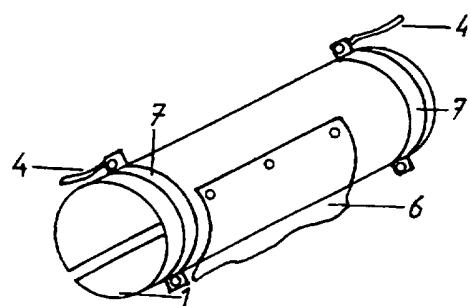


Fig. 4

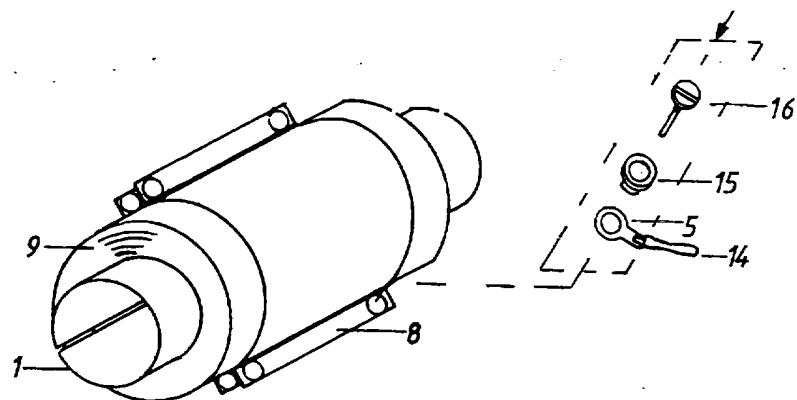


Fig. 5

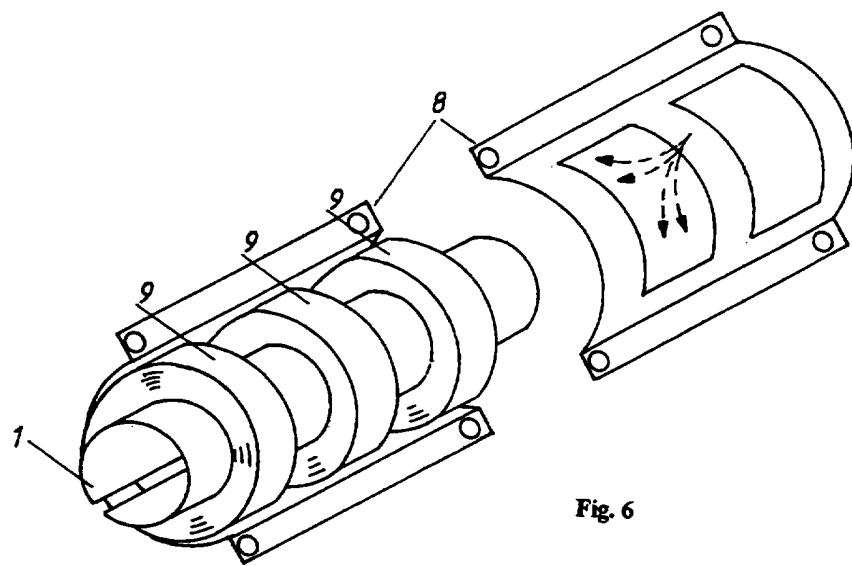


Fig. 6

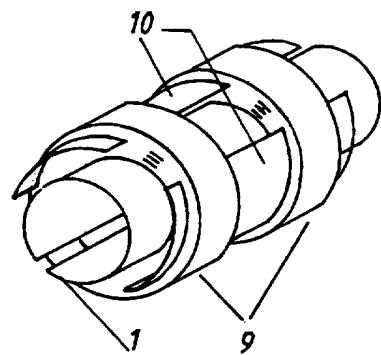


Fig. 7