



PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro

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

<p>(51) Internationale Patentklassifikation ⁵ : H01F 5/08</p>	<p>A1</p>	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 93/06607 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 1. April 1993 (01.04.93)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP92/02106 (22) Internationales Anmeldedatum: 14. September 1992 (14.09.92) (30) Prioritätsdaten: 91116350.9 25. September 1991 (25.09.91) EP (34) Länder für die die regionale oder internationale Anmeldung eingereicht worden ist: DE usw. (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-8000 München 2 (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US) : NICK, Wolfgang [DE/DE]; Grimlinghauser Weg 128, D-5000 Köln 71 (DE).</p>		<p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, SE). Veröffentlicht Mit internationalem Recherchenbericht.</p>
<p>(54) Title: COIL ASSEMBLY WITH TWISTED ENDS, MADE FROM A CONDUCTOR WITH SUPERCONDUCTING FILAMENTS</p>		
<p>(54) Bezeichnung: SPULENANORDNUNG MIT VERDRILLTEN ENDEN, AUS EINEM LEITER MIT SUPRALEITFÄHIGEN FÄDEN</p>		
<p>(57) Abstract</p> <p>The invention concerns a coil assembly with at least one superconducting coil (1, 2, 3) with an associated surface (4) and a conductor (6), comprising superconducting filaments (5), wound essentially on the surface (4) of the coil. The conductor (6) has a longitudinal axis (7) and its section at each point on the longitudinal axis (7) lies on each side of a transversal axis (8) which runs approximately at right angles to the surface (4) of the coil. The two ends (9, 10) of the conductor (6) pass out of the coil (1, 2, 3). The invention calls for at least one end (9, 10) to have, in the vicinity of the coil (1, 2, 3), a twist (11) beyond which the transversal axis (8) lies approximately parallel to the surface (4) of the coil. This ensures that excessive deformation of the conductor (6) during manufacture of the coil assembly is avoided.</p>		
<p>(57) Zusammenfassung</p> <p>Die Erfindung betrifft eine Spulenanordnung mit zumindest einer supraleitfähigen Spule (1, 2, 3) mit einer zugeordneten Spulenfläche (4) und einem im wesentlichen auf der Spulenfläche (4) aufgewickelten, supraleitfähige Fäden (5) enthaltenden Leiter (6). Der Leiter (6) hat eine Längslinie (7) und weist an jeder Stelle der Längslinie (7) einen Querschnitt auf, der entlang einer etwa senkrecht zur Spulenfläche (4) gerichteten Steckungslinie (8) gestreckt ist. Der Leiter (6) ist mit zwei Enden (9, 10) aus der Spule (1, 2, 3) herausgeführt. Erfindungsgemäß weist zumindest ein Ende (9, 10) in der Nähe der Spule (1, 2, 3) eine Verdrillung (11) auf, hinter der die Streckungslinie (8) etwa parallel zur Spulenfläche (4) liegt. Auf diese Weise werden bei der Herstellung der Spulenanordnung übermäßige Deformationen des Leiters (6) vermieden.</p>		

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	FI	Finnland	MR	Mauritanien
AU	Australien	FR	Frankreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GA	Gabon	NL	Niederlande
BE	Belgien	GB	Vereinigtes Königreich	NO	Norwegen
BF	Burkina Faso	GN	Guinea	NZ	Neuseeland
BG	Bulgarien	GR	Griechenland	PL	Polen
BJ	Benin	HU	Ungarn	PT	Portugal
BR	Brasilien	IE	Irland	RO	Rumänien
CA	Kanada	IT	Italien	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	JP	Japan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SK	Slowakischen Republik
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CM	Kamerun	LK	Sri Lanka	SU	Soviet Union
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TD	Tschad
CZ	Tschechischen Republik	MC	Monaco	TG	Togo
DE	Deutschland	MG	Madagaskar	UA	Ukraine
DK	Dänemark	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
ES	Spanien	MN	Mongolei		

- 1 Spulenanordnung mit verdrehten Enden, aus einem Leiter mit supraleitfähigen Fäden
- 5 Die Erfindung bezieht sich auf eine Spulenanordnung mit zumindest einer supraleitfähigen Spule mit einer zugeordneten Spulenfläche und einem im wesentlichen auf der Spulenfläche aufgewickelten, supraleitfähige Fäden enthaltenden Leiter mit einer Längslinie, welcher Leiter
- 10 an jeder Stelle der Längslinie einen Querschnitt aufweist, der entlang einer etwa senkrecht zur Spulenfläche gerichteten Streckungslinie gestreckt ist, und welcher Leiter zwei aus der Spule herausragende Enden aufweist.
- 15 Solche Spulenanordnungen finden sich als wesentliche Bestandteile in supraleitenden Magneten vielfältiger Art, beispielsweise in supraleitenden Magneten für Teilchenbeschleuniger, Kernspintomographen und Magnetscheider.
- 20 Eine ausführliche Darstellung der supraleitenden Magneten findet sich in dem Buch "Superconducting Magnets" von M. N. Wilson, Oxford University Press, Oxford 1989. Dieses Buch beschreibt mögliche Spulenformen im Zusammenhang mit den zu erzeugenden Feldern (Kapitel 3); Beispiele sind in
- 25 den Figuren 3.9 und 3.14 dargestellt. In Kapitel 12 enthält das Buch ausführliche Hinweise zur Bildung der Leiter, die die supraleitfähigen Materialien enthalten; diese Leiter bestehen üblicherweise aus supraleitfähigen Fäden in Matrizen aus Kupfer, Kupferlegierungen oder
- 30 ähnlichen Metallen - siehe beispielsweise Figur 12.8 - und sind ausgeführt als einstückige Bänder oder als Kabel aus jeweils einer Vielzahl von untereinander verkabelten, vorzugsweise runden Drähten. Praktische Hinweise zum Aufbau supraleitfähiger Spulen für verschiedene

1 Anwendungen finden sich in dem Kapitel 13; Beispiele sind dargestellt in den Figuren 13.5 bis 13.9.

Weitere Hinweise zu Magneten mit supraleitfähigen
5 Spulenanordnungen finden sich in IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-28 (1981) 3205, wo verschiedene Ausführungsformen für Dipolmagnete mit supraleitfähigen Spulenanordnungen, die aus aufeinanderliegenden und in Tragstrukturen eingespannten Spulen bestehen, beschrieben sind. Weitere
10 Ausführungsformen für Magnete mit supraleitfähigen Spulenanordnungen sind dem Aufsatz "Supraleitende Magnete für HERA", Physik in unserer Zeit (1985) 16, der US-PS 4,038,622 und der EP 0 276 360 A2 entnehmbar; zur Verwendung supraleitfähiger Spulenanordnungen in
15 Teilchenbeschleunigeranlagen ist weiterhin auf die EP 0 208 163 B1 zu verweisen.

Neben den "klassischen" Supraleitern, worunter bestimmte Metalle, Legierungen und Intermetallische Verbindungen zu
20 verstehen sind, deren Sprungtemperaturen in ziemlicher Nähe des absoluten Nullpunktes der Temperatur liegen und die in den bisher zitierten Dokumenten ausschließlich atgehandelt werden, wurden vor einigen Jahren keramische Supraleiter entdeckt, deren Sprungtemperaturen u. U.
25 wesentlich höher liegen (solche Supraleiter werden "Hochtemperatursupraleiter" genannt) und deren Anwendung in Magneten bereits erwogen wurde; eine ausführliche Darstellung der bislang bekannten keramischen Supraleiter findet sich in Spektrum der Wissenschaft (1990) Seite 118;
30 die Herstellung von Leitern, die solche keramischen Supraleiter enthalten, ist in der DE 37 24 229 A1 beschrieben.

Insbesondere zur Bildung hoch belasteter Spulenanordnungen
35

1 werden abgeflachte Leiter verwendet, also Leiter mit einer
Längslinie, die an jeder Stelle der Längslinie einen
Querschnitt haben, der entlang einer Streckungslinie
gestreckt ist. Hinweise hierzu sind den zitierten
5 Dokumenten entnehmbar. Solche Leiter werden in der Weise
zu Spulen gewickelt, daß an jeder Stelle der Längslinie
die Streckungslinie etwa senkrecht zu einer Spulenfläche
gerichtet ist, die bestimmt ist durch die Form und
Anordnung der Spule - insbesondere verläuft die Längslinie
10 in der Spule im wesentlichen parallel zu der Spulenfläche.
Bei der Verwendung eines abgeflachten Leiters zur
Herstellung einer Spule ist die Herausführung der Enden
des Leiters aus der Spule vielfach schwierig. Da der
Leiter mit seiner Streckungslinie stets etwa senkrecht zur
15 Spulenfläche gerichtet ist, wurde es bisher in allen
Fällen, in denen ein Ende etwa senkrecht von der
Spulenfläche weggeführt werden mußte, in einer die
Längslinie und die Streckungslinie enthaltenden Ebene
abgebogen. Solches aber setzt die Struktur des Leiters
20 erheblichen mechanischen Beanspruchungen aus und kann
u. U. dazu führen, daß in der Struktur Hohlräume entstehen
und/oder supraleitfähige Fäden beschädigt werden, wodurch
die Belastbarkeit des Leiters mit elektrischem Strom
eingeschränkt würde. Als Alternative zum Verbiegen des
25 Leiters ist das Anlöten entsprechender gerichteter Stücke an
die Enden bekannt; hierbei entstehen allerdings
Lötstellen, u. U. nicht supraleitend, an der Spule, die
deren Belastbarkeit, worunter hauptsächlich der
Maximalwert des durch die Spule leitbaren elektrischen
30 Stromes zu verstehen ist, ebenfalls erheblich einschränken
können.

Dementsprechend soll mit der Erfindung eine
Spulenanordnung der erwähnten Art angegeben werden, bei

1 der die Nachteile der bekannten Anordnungen vermieden
werden.

Die erfindungsgemäße Spulenanordnung mit zumindest einer
5 supraleitfähigen Spule mit einer zugeordneten Spulenfläche
und einem im wesentlichen auf der Spulenfläche
aufgewickelten, supraleitfähige Fäden enthaltenden Leiter
mit einer Längslinie, welcher Leiter an jeder Stelle der
Längslinie einen Querschnitt aufweist, der entlang einer
10 etwa senkrecht zur Spulenfläche gerichteten
Streckungslinie gestreckt ist und welcher Leiter zwei aus
der Spule herausragende Enden aufweist, zeichnet sich
erfindungsgemäß dadurch aus, daß zumindest ein Ende in der
Nähe der Spule eine Verdrillung aufweist, hinter der die
15 Streckungslinie etwa parallel zur Spulenfläche liegt.

Die Erfindung macht sich die Tatsache zunutze, daß eine
Verdrillung eines abgeflachten Leiters wesentlich weniger
als eine Verbiegung in der Ebene der Streckungslinie zu
20 einer Schädigung der inneren Struktur des Leiters führt;
hinter einer erfindungsgemäßen Verdrillung ist der Leiter
durch Verbiegung in einer Ebene senkrecht zur
Streckungslinie leicht und ohne die Gefahr einer
Schädigung abzubiegen und von der Spule wegzuführen.

25 Die Erfindung gestattet insbesondere die Verwendung von
Leitern, die an jeder Stelle ihrer Längslinien etwa
rechteckige Querschnitte aufweisen und damit die
Ausnutzung des zur Bildung der Spulenanordnung zur
30 Verfügung stehenden Raumes in besonderer Weise gestatten.
Besonders vorteilhaft für viele Anwendungen sind Leiter,
deren Querschnitte nicht rechteckig im strengen Sinne,
sondern eher trapezförmig sind; solche Leiter werden
insbesondere zur Herstellung von Dipolspulen für

35

1 Beschleunigeranlagen bevorzugt.

Ein Leiter zur Verwendung in einer erfindungsgemäßen
Spulenordnung besteht günstigerweise aus zumindest einer
5 Matrix aus einem elektrisch gut leitfähigen, nicht aber
wie die Fäden supraleitfähigen Metall, in das die
supraleitfähigen Fäden eingebettet sind. Zur Bildung der
Matrix kommen insbesondere Kupfer, Aluminium sowie
Kupferlegierungen in Frage.

10

Für die Fäden kommen insbesondere Materialien auf der
Basis der an sich bekannten supraleitfähigen
intermetallischen Verbindungen, insbesondere NbTi oder
Nb₃Sn, in Frage. Auch ist es denkbar, die Fäden aus einem
15 keramischen Supraleiter, insbesondere aus einem
keramischen Hochtemperatursupraleiter, zu bilden.

Günstig im Rahmen jedweder Ausbildung der Erfindung ist
es, die Verdrillung mit einem Winkel von etwa 90°
20 auszuführen, so daß die Streckungslinie des Leiters vor
der Verdrillung die Streckungslinie hinter der Verdrillung
mit einem etwa 90° betragenden Winkel kreuzt. Wie bereits
erwähnt, kann an jedweder erfindungsgemäßen
Spulenordnung hinter der Verdrillung das Ende des
25 Leiters leicht und ohne die Gefahr einer
Materialschädigung abgebogen werden zur Führung des
Leiters weg von der Spule, entweder zu einer anderen Spule
oder zu einer Stromversorgungseinrichtung.

30 Zur Gestaltung der Spulenfläche der erfindungsgemäßen
Spulenordnung gibt es viele Möglichkeiten, wobei im
wesentlichen alle an sich bekannten Gestaltungen
realisierbar sind. Insbesondere kann die Spulenfläche etwa
eben sein, es ist jedoch auch eine etwa zylindrische

35

1 Spulenfläche möglich.

Auch kompliziertere Ausbildungen der Spulenfläche kommen
in Frage; so kann die Spulenfläche mit einem etwa ebenen
5 oder etwa zylindrischen Mittelsegment und zwei von dem
Mittelsegment etwa sattelförmig abgebogenen Endsegmenten
ausgeführt werden; Spulen mit solchen Spulenflächen sind
die bekannten "Sattelspulen", "Bettgestell-Spulen" und
"Bananen-Spulen".

10

In besonderer Weise erlaubt die Erfindung die
Hintereinanderschaltung einer ersten Spule und einer
zweiten Spule, wobei beiden Spulen dieselbe Spulenfläche
zugeordnet ist und die erste Spule an der Spulenfläche auf
15 der zweiten Spule aufliegt; eine Verbindung zwischen der
ersten Spule und der zweiten Spule kann realisiert werden,
indem ein aus der ersten Spule ragendes und eine
Verdrillung aufweisendes Ende mit einem aus der zweiten
Spule ragenden und gleichfalls eine Verdrillung
20 aufweisenden Ende verbunden ist. Eine solche Verbindung
zweier Spulen kann womöglich in der Weise realisiert
werden, daß mit ein und demselben Leiter zunächst die
erste Spule und unmittelbar darauf die zweite Spule
gewickelt wird.

25

Im Rahmen jedweder Ausgestaltung der Erfindung mit einer
Spule mit zumindest einem Mittelbereich und zumindest
einem Endbereich, wobei der Leiter im Endbereich
wesentlich stärker gebogen ist als im Mittelbereich, wird
30 ein die erfindungsgemäße Verdrillung aufweisendes Ende der
Spule in dem Mittelbereich, bzw. unmittelbar an dem
Mittelbereich, angeordnet. Derart ist beispielsweise die
Einspannung der erfindungsgemäßen Spulenordnung in eine
Tragstruktur, insbesondere einen Kragen, besonders

35

1 einfach. Spulen mit Mittelbereich und Endbereich kommen
z. B. vor als Dipolspulen in Beschleunigeranlagen, wo
Spulen in "Racetrack"- oder "Bananen"-Form Einsatz finden.
Bei Spulen der erstgenannten Form liegen zwei zueinander
5 parallele, nebeneinander angeordnete, gerade
Mittelbereiche vor, die über zwei relativ eng gebogene
Endbereiche miteinander verbunden sind; von der
erstgenannten Form unterscheidet sich die zweitgenannte
dadurch, daß die Mittelbereiche ihrerseits gebogen sind,
10 allerdings mit deutlich größeren Krümmungsradien als die
Endbereiche.

Besonders günstig ist es in der erfindungsgemäßen
Spulenanordnung jedweder Ausgestaltung, jedem aus der
15 Spule herausragenden Ende die erfindungsgemäße Verdrillung
zu geben.

In vielen Fällen sind in einem Leiter zur Verwendung in
einer Spulenanordnung die supraleitfähigen Fäden
20 untereinander verdrillt, und zwar oft in der Weise, daß
dadurch ein bestimmter Schraubensinn definiert wird. Im
Rahmen einer erfindungsgemäßen Spulenanordnung jedweder
Ausgestaltung, in der ein solcher Leiter verwendet ist,
wird die erfindungsgemäße Verdrillung des gesamten Leiters
25 dem Schraubensinn, der durch die Verdrillung der
supraleitfähigen Fäden bestimmt ist, entgegengerichtet.
Durch diese Maßnahme werden die supraleitfähigen Fäden
innerhalb des Leiters mechanisch entlastet; einer Gefahr
der Beschädigung der Fäden durch das Anbringen der
30 Verdrillung kann auf diese Weise begegnet werden.

Vielfach werden zur Bildung von Spulenanordnungen auch
Leiter in Form von Kabeln verwendet, wobei ein Kabel aus
einer Vielzahl von untereinander verkabelten Elementen,

1 beispielsweise Drähten, besteht. Dabei ist meistens durch
die Verkabelung der Elemente in dem Kabel ein bestimmter
Schraubensinn definiert. In einem solchen Fall ist es im
Rahmen jedweder Ausführung der Erfindung besonders
5 vorteilhaft, wenn die Verdrillung des den Leiter
darstellenden Kabels dem durch die Verkabelung der
Elemente definierten Schraubensinn gleichgerichtet ist, so
daß durch das Anbringen der erfindungsgemäßen Verdrillung
die Verkabelung der Elemente des Kabels verstärkt wird.
10 Diese Maßnahme verhindert, daß einzelne Elemente des
Kabels in der Verdrillung beweglich werden, woraus eine
Beeinträchtigung der Belastbarkeit der Spulenanordnung
entstehen könnte. Dadurch, daß der Zusammenhalt der
Elemente des Kabels nicht gelockert, sondern gefestigt
15 wird, wird solcher Gefahr zuverlässig vorgebeugt. Zu
bemerken ist, daß die zuletzt beschriebene vorteilhafte
Maßnahme nicht im Widerspruch zu der davor beschriebenen
Maßnahme steht; es ist sehr wohl denkbar, einen Leiter als
Kabel aus Elementen zu bilden, deren jedes verdrillte
20 supraleitfähige Fäden in einer Matrix enthält. In einem
solchen Fall ist allerdings üblicherweise ein durch eine
Verdrillung der supraleitfähigen Fäden definierter
Schraubensinn einem Schraubensinn entgegengerichtet, der
durch eine Verdrillung der Elemente bestimmt ist; mit
25 einem solchen Leiter sind in der Tat beide zuletzt
beschriebenen vorteilhaften Maßnahmen im Rahmen der
Erfindung mit weiterem Vorteil kombiniert realisierbar.

Schließlich sei darauf hingewiesen, daß die Erfindung auch
30 die Verwendung komplex aufgebauter Kabel, bei denen die
untereinander verkabelten Elemente ihrerseits Kabel sind,
gestattet.

Die weitere Erläuterung der Erfindung erfolgt anhand der
35

1 in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele; diese
sind nicht maßstäblich und, wo dienlich, leicht verzerrt
dargestellt zur Betonung der spezifischen Merkmale der
Erfindung. Im einzelnen zeigen:

5

Figur 1 einen Ausschnitt aus einer Spule in einer
erfindungsgemäßen Spulenanordnung mit Verdrillung;

Figur 2 einen Ausschnitt aus einer zwei
aufeinanderliegende Spulen aufweisenden erfindungsgemäßen

10 Spulenanordnung mit Verdrillung;

Figur 3 ein Band mit supraleitenden Fäden zur Verwendung
im Rahmen der Erfindung;

Figur 4 ein Beispiel für eine Spulenanordnung mit
zylindrischer Spulenfläche;

15 Figur 5 ein Beispiel für eine Spulenanordnung mit komplex
gestalteter Spulenfläche;

Figur 6 ein Kabel zur Verwendung im Rahmen der Erfindung.

Figur 1 zeigt einen Ausschnitt aus einer Spule 3 im Rahmen
20 einer erfindungsgemäßen Spulenanordnung, wobei die durch
den dargestellten Ausschnitt gegebene Spulenfläche 4 ein
Segment einer Ebene ist. Die Spule 3 besteht aus einem
aufgewickelten Leiter 6, welcher das (in Figur 1 nicht
dargestellte) supraleitfähige Material enthält. Der Leiter
25 6 weist eine Längslinie 7 auf und hat an jeder Stelle der
Längslinie 7 einen Querschnitt, der entlang einer
Streckungslinie 8 gestreckt, im vorliegenden Beispiel
rechteckig, ist. In der eigentlichen Spule 3 ist die
Streckungslinie 8 stets stumpfwinklig, vorzugsweise etwa
30 senkrecht, zur Spulenfläche 4 gerichtet; dies erweist sich
als vorteilhaft aus Erwägungen, die die Durchdringung des
Leiters 6 durch das von der Spule 3 zu erzeugende
Magnetfeld betreffen. Der Leiter 6 wird mit einem Ende 9
aus der Spule 3 herausgeführt; erfindungsgemäß weist

35

1 dieses Ende 9 eine Verdrillung 11 auf, hinter der die
Streckungslinie 8 nicht mehr senkrecht, sondern etwa
parallel zur Spulenfläche 4 gerichtet ist. Diese
Verdrillung 11 ist insbesondere deshalb vorteilhaft, weil
5 hinter ihr der Leiter 6 leicht abgeknickt und in stumpfem
Winkel, insbesondere in etwa rechtem Winkel, von der
Spulenfläche 4 weggeführt werden kann. Hinter der
Verdrillung 11 schmiegt der Leiter 6 sich wieder an die
Spule 3 an; dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn
10 die Spule 3 in eine Tragstruktur eingespannt werden soll.
Solche Tragstrukturen sind z. B. in dem oben zitierten
Aufsatz aus "Physik in unserer Zeit" beschrieben und
bedürfen daher an dieser Stelle keiner weiteren
Abhandlung.

15
Figur 2 zeigt einen Ausschnitt aus einer Spulenanordnung
mit einer ersten Spule 1 und einer zweiten Spule 2, wobei
die zweite Spule 2 auf der ersten Spule 1 aufliegt. Die in
Figur 2 nicht dargestellte Spulenfläche ist beispielsweise
20 zu denken zwischen der ersten Spule 1 und der zweiten
Spule 2. Erste Spule 1 und zweite Spule 2 sind aus einem
einigen Leiter 6 gewickelt, der mit einem Ende 9 aus der
ersten Spule 1 heraus- und an einem anderen Ende 10 in die
zweite Spule 2 hineingeführt ist. Zwischen den Enden 9 und
25 10 weist der Leiter 6 zwei erfindungsgemäße Verdrillungen
11 auf; das Einbeziehen dieser Verdrillungen 11 gestattet
die Führung des Leiters 6 zwischen erster Spule 1 und
zweiter Spule 2 mit einem Minimum an Deformation. Beide
Verdrillungen 11 haben denselben Schraubensinn; dies ist
30 vorteilhaft, da hierdurch eine andernfalls womöglich
bestehende Gefahr des Umklappens der Verdrillungen 11
vermieden wird. Auch gibt es in vielen Fällen inhärente
Schraubensinne in den verwendeten Leitern 6, die von den
zum Anbringen einer Verdrillung 11 möglichen zwei

1 Schraubensinnen einen begünstigen.

Figur 3 zeigt ein schematisiertes Beispiel für ein Band, das als Leiter 6 im Rahmen der Erfindung verwendbar ist.

5 Der Leiter 6 weist eine Längslinie 7 auf und hat, wie bereits erwähnt, an jeder Stelle der Längslinie 7 einen Querschnitt, der entlang einer Streckungslinie 8 gestreckt ist. Der Leiter 6 besteht aus einer Matrix 12 aus einem
10 Metall wie z. B. Kupfer, in welche Matrix 12 die supraleitenden Fäden 5 eingebettet sind. In der Regel sind die supraleitenden Fäden 5 weitgehend regelmäßig über die Matrix 12 verteilt; der Übersichtlichkeit halber sind nur wenige Fäden 5 dargestellt.

15 Figur 4 zeigt eine Ausführungsbeispiel für eine Spulenanordnung, in der die Erfindung realisierbar ist. Die Spulenanordnung besteht aus einer ersten Spule 1 und einer zweiten Spule 2, wobei beide Spulen 1, 2 mehrteilig sind und einander auf einer zylindrischen Spulenfläche 4
20 gegenüberliegen. Jede der Spulen 1, 2 weist Mittelbereiche 15 auf, die gerade sind und über gebogene Endbereiche 16 miteinander in Verbindung stehen. Gemäß der Erfindung können sowohl Verbindungen der Teile der Spulen 1, 2 untereinander als auch Verbindungen zwischen erster Spule
25 1 und zweiter Spule 2 realisiert werden; auch die zum Betrieb der Spulenanordnung notwendigen Stromzuführungen können über erfindungsgemäße Verdrillungen an die Spulen 1, 2 angeschlossen werden.

30 Figur 5 zeigt ein weiteres, ausschnittsweise dargestelltes, Beispiel für eine Spule 3 aus einem supraleitfähigen Leiter 6. Die Spule 3 weist wiederum etwa gerade Mittelbereiche 15 auf, die über einen bogenförmigen Endbereich 16 miteinander verbunden sind. Der Leiter 6

1 beginnt an einem äußeren Ende 9 und endet an einem inneren
Ende 10; der Übersichtlichkeit halber sind beide Enden 9,
10 parallel zu einem Mittelbereich 15 ausgerichtet
gezeigt. Die Spulenfläche 4 der Spule 3 hat im
5 dargestellten Beispiel ein ebenes Mittelsegment 13 und ein
Endsegment 14, das etwa in einem rechten Winkel zum
Mittelsegment 13 gelegt ist. Damit ist die dargestellte
Spule 3 eine sogenannte "Bettgestell-Spule" oder
"Sattelspule". Zur Bildung einer "Bananen-Spule" kann der
10 Mittelbereich 15 auch eine in dem ebenen Mittelsegment 13
verlaufende leichte Krümmung erhalten.

Figur 6 zeigt, wie ein Kabel 17 durch Verkabelung einer
Vielzahl von Elementen 18 gebildet werden kann. Das Kabel
15 17 weist eine Längslinie 7 auf, die zur Erläuterung des
durch die Verkabelung der Elemente 18 definierten
Schraubensinns 19 mit einem Richtungspfeil versehen ist.
Bezüglich dieser gerichteten Längslinie 7 sind die
Elemente 18 in einem Drehsinn 20 um die Längslinie 7
20 herumgeführt; der Schraubensinn 19 ist aus der Kombination
der gerichteten Längslinie 7 mit dem Drehsinn 20 eindeutig
bestimmt. Das Kabel 17 kann einerseits einen zum Aufbau
einer erfindungsgemäßen Spulenordnung bestimmten Leiter
darstellen; in diesem Fall können die Elemente 18 aus in
25 eine Matrix eingebetteten supraleitfähigen Fäden bestehen
(vergl. Figur 3). Auch kann das Kabel 17 eine Verdrillung
supraleitfähiger Fäden in einem zum Aufbau einer
erfindungsgemäßen Spulenordnung bestimmten Band
darstellen; die Elemente 18 sind in diesem Fall die
30 supraleitfähigen Fäden selbst.

Die Erfindung gestattet die Bildung von Spulenordnungen
aus supraleitfähigen Leitern, wobei starke Deformationen
der Leiter weitestgehend vermieden und somit

1 Beeinträchtigungen der Betriebssicherheit unterdrückt
werden.

5

10

15

20

25

30

35

1 Patentansprüche

1. Spulenanordnung mit zumindest einer supraleitfähigen Spule (1, 2, 3) mit einer zugeordneten Spulenfläche (4) und einem im wesentlichen auf der Spulenfläche (4) aufgewickelten, supraleitfähige Fäden (5) enthaltenden Leiter (6) mit einer Längslinie (7), welcher Leiter (6) an jeder Stelle der Längslinie (7) einen Querschnitt aufweist, der entlang einer etwa senkrecht zur Spulenfläche (4) gerichteten Streckungslinie (8) gestreckt ist, und welcher Leiter (6) zwei aus der Spule (1, 2, 3) herausragende Enden (9, 10) aufweist, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß zumindest ein Ende (9, 10) in der Nähe der Spule (1, 2, 3) eine Verdrillung (11) aufweist, hinter der die Streckungslinie (8) etwa parallel zur Spulenfläche (4) liegt.

2. Spulenanordnung nach Anspruch 1, bei der der Querschnitt des Leiters (6) an jeder Stelle der Längslinie (7) etwa rechteckig ist.

3. Spulenanordnung nach Anspruch 1 oder 2, bei der der Leiter (6) zumindest eine Matrix (12) aus elektrisch gut leitfähigem Metall, insbesondere Kupfer oder Aluminium, aufweist, worin die Fäden (5) eingebettet sind.

4. Spulenanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Fäden (5) im wesentlichen aus einer supraleitfähigen intermetallischen Verbindung, insbesondere aus NbTi oder Nb₃Sn, bestehen.

5. Spulenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der die Fäden (5) im wesentlichen aus einem keramischen Supraleiter, insbesondere aus einem keramischen

- 1 Hochtemperatursupraleiter, bestehen.
6. Spulenordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Verdrillung (11) einem Winkel von
5 etwa 90° entspricht.
7. Spulenordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der hinter der Verdrillung (11) das Ende (9, 10) abgebogen ist.
- 10
8. Spulenordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Spulenfläche (4) etwa eben ist.
9. Spulenordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei
15 der die Spulenfläche (4) etwa zylindrisch ist.
10. Spulenordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der die Spulenfläche (4) ein etwa ebenes oder etwa zylindrisches Mittelsegment (13) und zwei von dem
20 Mittelsegment (13) etwa sattelförmig abgebogene Endsegmente (14) aufweist.
11. Spulenordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der einer ersten Spule (1) und einer
25 zweiten Spule (2) dieselbe Spulenfläche (4) zugeordnet ist und die erste Spule (1) an der Spulenfläche (4) auf der zweiten Spule (2) aufliegt.
12. Spulenordnung nach Anspruch 11, bei der ein aus der
30 ersten Spule (1) ragendes und eine Verdrillung (11) aufweisendes Ende (9) mit einem aus der zweiten Spule (2) ragenden und gleichfalls eine Verdrillung (11) aufweisenden Ende (9) verbunden ist.

- 1 13. Spulenordnung nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, bei der die Spule (1, 2, 3) zumindest einen
Mittelbereich (15) und zumindest einen Endbereich (16)
aufweist, wobei der Leiter (6) im Endbereich (16)
5 wesentlich stärker als im Mittelbereich (15) gebogen ist
und wobei im Mittelbereich (15) das Ende (9, 10) mit der
Verdrillung (11) liegt.
- 10 14. Spulenordnung nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, bei der jedes aus der Spule (1, 2, 3)
herausragende Ende (9, 10) eine Verdrillung (11) aufweist.
- 15 15. Spulenordnung nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, bei der
a) in dem Leiter (6) die supraleitfähigen Fäden (5) in
einem Schraubensinn (19) verdrillt sind;
b) die Verdrillung (11) des Leiters (6) dem Schraubensinn
(19) entgegengerichtet ist.
- 20 16. Spulenordnung nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, bei der
a) der Leiter (6) ein Kabel (17) ist, das aus einer
Vielzahl von Elementen (18) besteht, die in einem
Schraubensinn (19) verkabelt sind;
25 b) die Verdrillung (11) des Leiters (6) dem Schraubensinn
(19) gleichgerichtet ist.
- 30
- 35

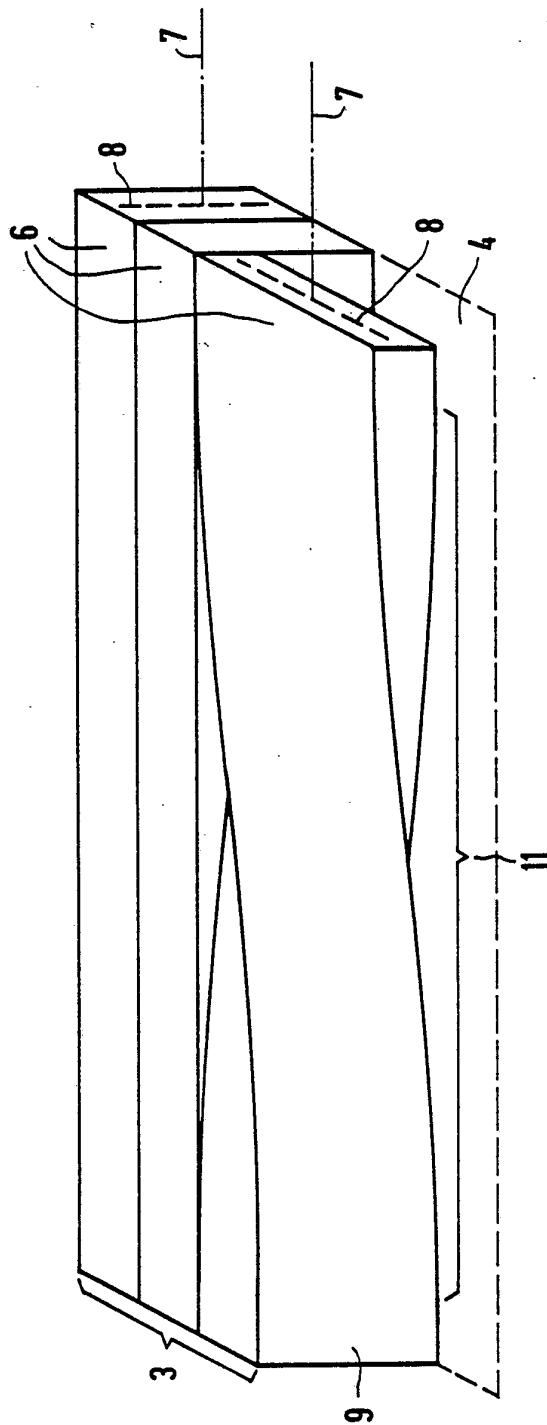


FIG 1

2/5

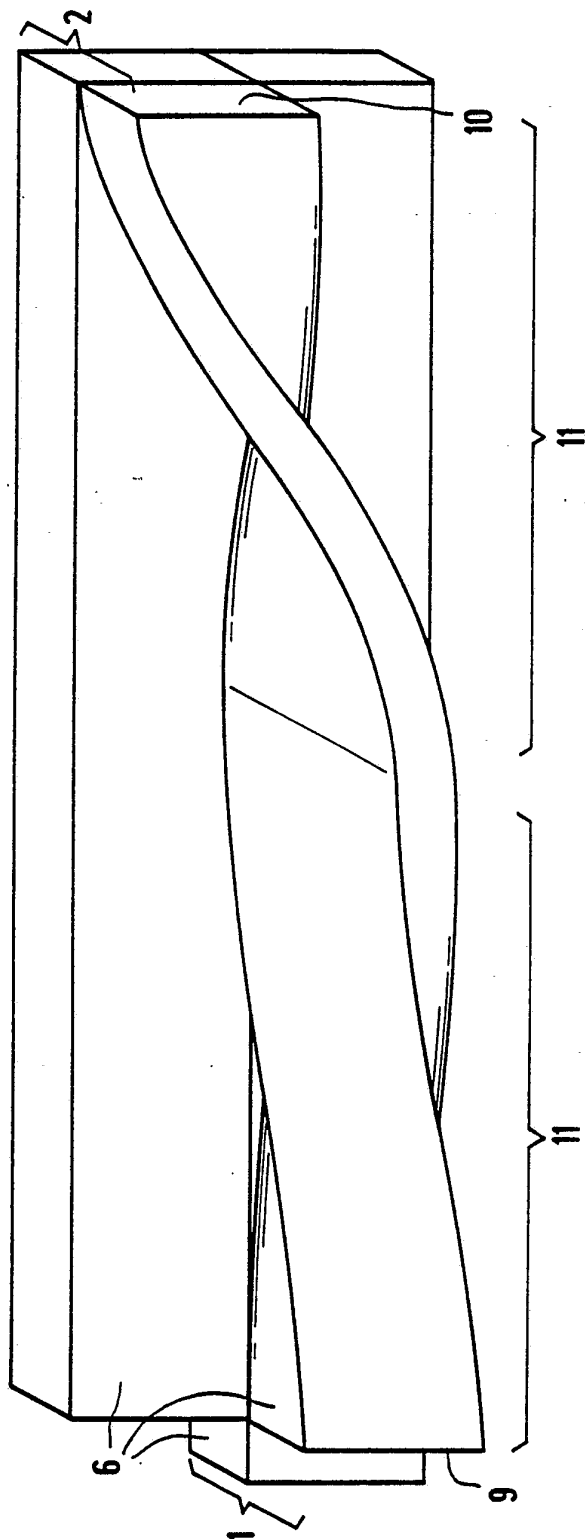


FIG 2

3/5

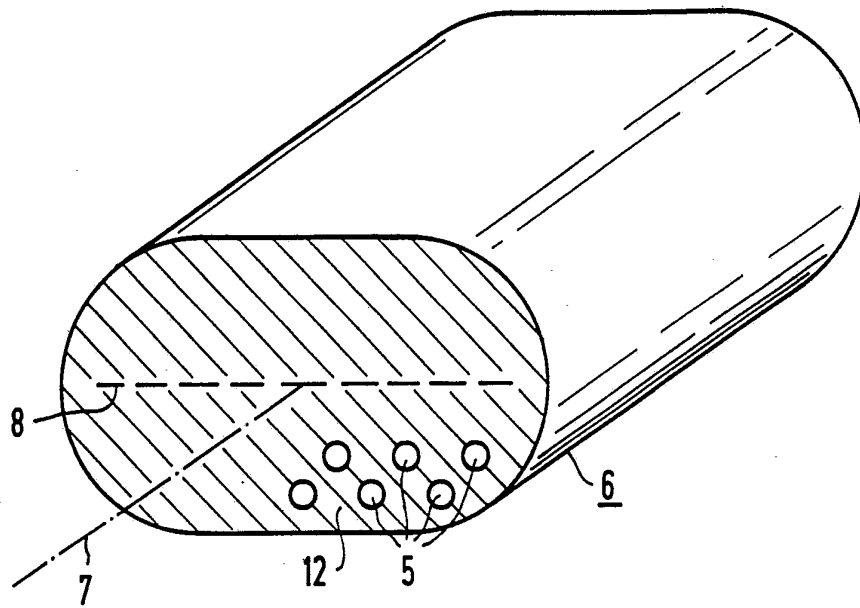


FIG 3

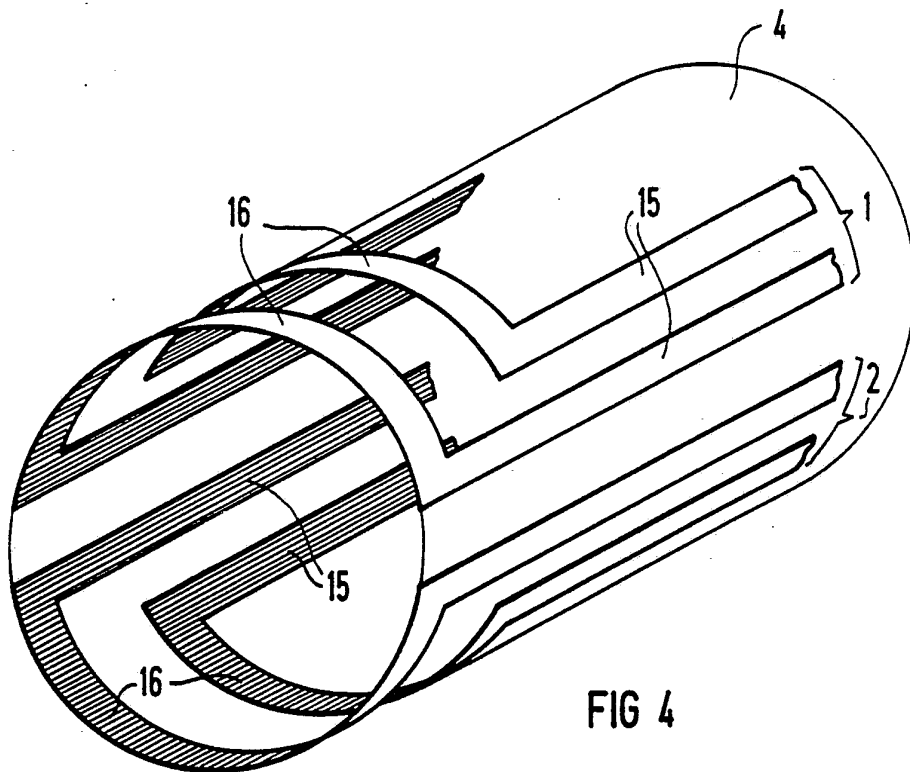


FIG 4

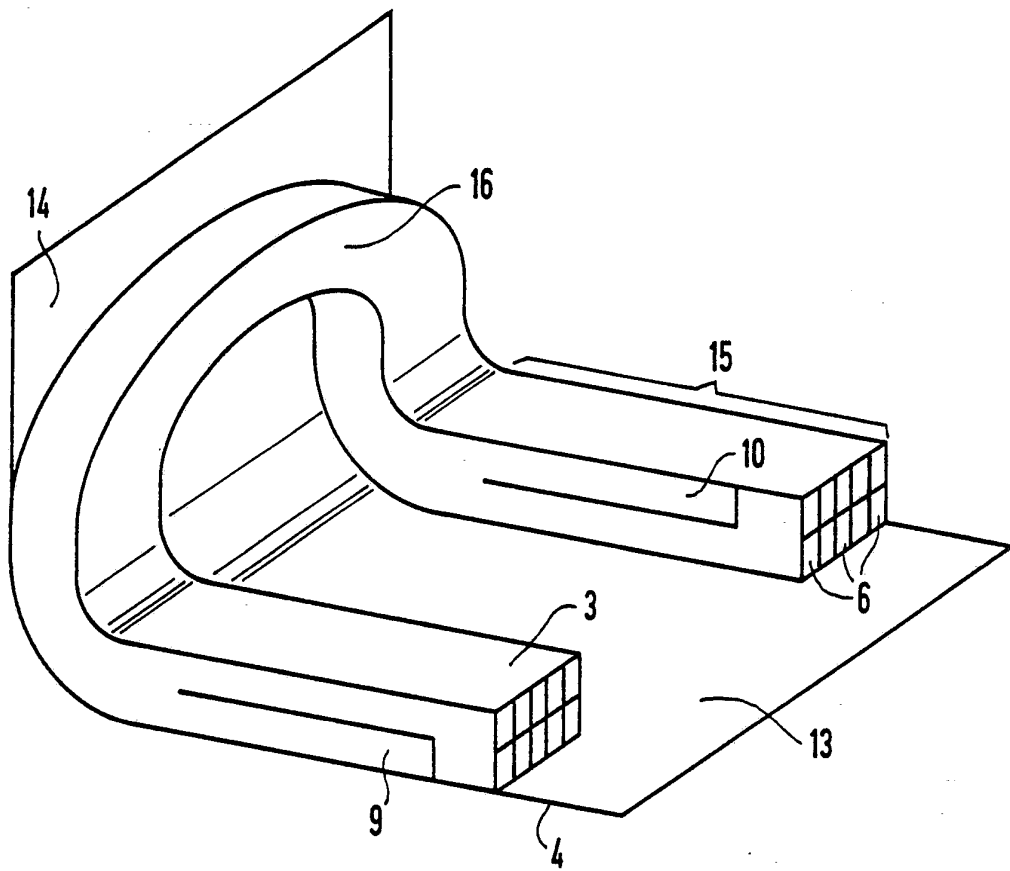


FIG 5

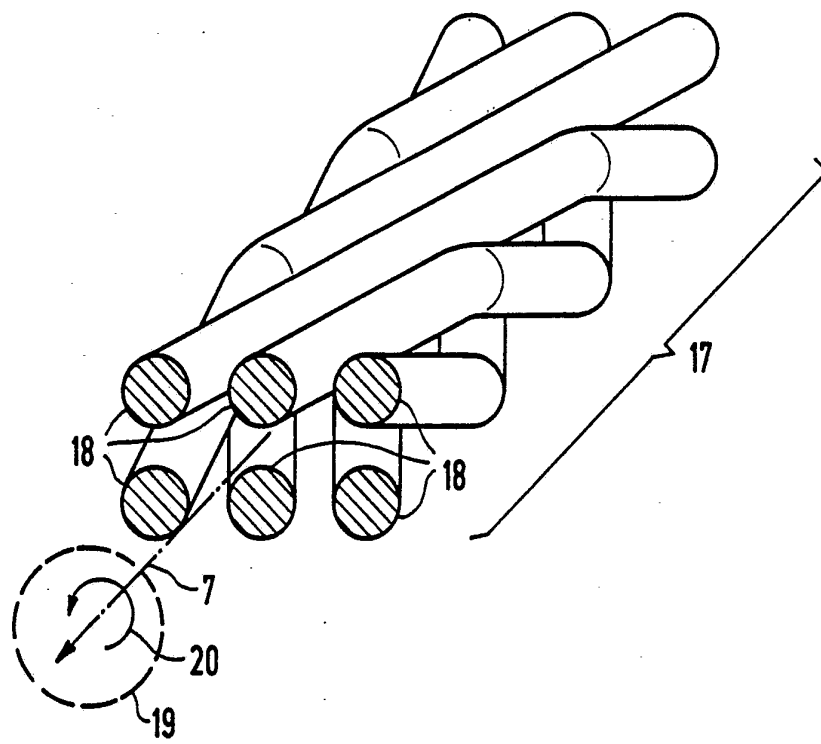


FIG 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP92/02106

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁵ : H01F 5/08

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)

Int.Cl⁵ : 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)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US, A, 4384168 (KENNEDY) 17 May 1983 see column 2, line 24 - column 3, line 10; figures 1,2	1-4
A	EP, A, 0276360 (SIEMENS) 3 August 1988 (cited in the application) see column 6, line 53 - column 7, line 22; figure 3	1,2,10
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Volume 12, No. 69 (E-587)(2916) 3 March 1988 & JP, A, 62210603 (SUMIMOTO ELECTRIC) 16 September 1987 see abstract	1,9
A	US, A, 3416111 (BOGNER) 10 December 1968 see column 7, line 43 - line 72; figure 9	1,10
A	US, A, 4529837 (BORDEN) 16 July 1985 see column 3, line 14 - column 58; figures 1A-2B	1,16

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 document 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

11 January 1993 (11.01.93)

Date of mailing of the international search report

15 January 1993 (15.01.93)

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office

Facsimile No.

Authorized officer

Telephone No.

**ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT
ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO. EP 9202106
SA 65739**

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report.
The members are as contained in the European Patent Office EDP file on
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information. 11/01/93

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-4384168	17-05-83	None	
EP-A-0276360	03-08-88	JP-A- 63188908 US-A- 4769623	04-08-88 06-09-88
US-A-3416111		None	
US-A-4529837	16-07-85	None	

EPO FORM P007

For more details about this annex : see Official Journal of the European Patent Office, No. 12/82

I. KLASSIFIKATION DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (bei mehreren Klassifikationssymbolen sind alle anzugeben) ⁶		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC Int.Kl. 5 H01F5/08		
II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE		
Recherchiertes Mindestprüfstoff ⁷		
Klassifikationssystem	Klassifikationssymbole	
Int.Kl. 5	H01F	
Recherchierte nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen ⁸		
III. EINSCHLAGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN ⁹		
Art. ⁹	Kennzeichnung der Veröffentlichung ¹¹ , soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile ¹²	Betr. Anspruch Nr. ¹³
A	US,A,4 384 168 (KENNEY) 17. Mai 1983 siehe Spalte 2, Zeile 24 - Spalte 3, Zeile 10; Abbildungen 1,2 ---	1-4
A	EP,A,0 276 360 (SIEMENS) 3. August 1988 in der Anmeldung erwähnt siehe Spalte 6, Zeile 53 - Spalte 7, Zeile 22; Abbildung 3 ---	1,2,10
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 12, no. 69 (E-587)(2916) 3. März 1988 & JP,A,62 210 603 (SUMIMOTO ELECTRIC) 16. September 1987 siehe Zusammenfassung ---	1,9
	-/--	
<p>⁹ Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen ¹⁰ :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"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)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"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</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
IV. BESCHEINIGUNG		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
11. JANUAR 1993		15. 01. 93
Internationale Recherchenbehörde		Unterschrift des bevollmächtigten Bediensteten
EUROPAISCHES PATENTAMT		MARTI ALMEDA R. <i>Ruartz</i>

III. EINSCHLAGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN (Fortsetzung von Blatt 2)		
Art °	Kennzeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US,A,3 416 111 (BOGNER) 10. Dezember 1968 siehe Spalte 7, Zeile 43 - Zeile 72; Abbildung 9 ---	1,10
A	US,A,4 529 837 (BORDEN) 16. Juli 1985 siehe Spalte 3, Zeile 14 - Spalte 58; Abbildungen 1A-2B -----	1,16

**ANHANG ZUM INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE INTERNATIONALE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 9202106
 SA 65739

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

11/01/93

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US-A-4384168	17-05-83	Keine	
EP-A-0276360	03-08-88	JP-A- 63188908 US-A- 4769623	04-08-88 06-09-88
US-A-3416111		Keine	
US-A-4529837	16-07-85	Keine	

EPO FORM P0473