



(11) **EP 1 504 458 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
18.07.2007 Patentblatt 2007/29

(51) Int Cl.:
H01F 6/04 ^(2006.01) **F02D 15/02** ^(2006.01)
F25B 25/00 ^(2006.01) **G01R 33/3815** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **03752654.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2003/001378

(22) Anmeldetag: **29.04.2003**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2003/098645 (27.11.2003 Gazette 2003/48)

(54) **EINRICHTUNG DER SUPRALEITUNGSTECHNIK MIT EINEM SUPRALEITENDEN MAGNETEN
UND EINER KÄLTEEINHEIT**

SUPERCONDUCTOR TECHNOLOGY-RELATED DEVICE COMPRISING A SUPERCONDUCTING
MAGNET AND A COOLING UNIT

DISPOSITIF DE SUPRACONDUCTIVITE COMPORTANT UN AIMANT SUPRACONDUCTEUR ET
UNE UNITE DE REFROIDISSEMENT

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FI FR GB IT

(72) Erfinder: **VAN HASSELT, Peter**
91058 Erlangen (DE)

(30) Priorität: **15.05.2002 DE 10221639**

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A- 19 813 211 US-A- 4 726 199
US-A- 4 995 450 US-A- 5 070 702

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.02.2005 Patentblatt 2005/06

• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 1995, no.
03, 28. April 1995 (1995-04-28) & JP 06 342721 A
(TOKIN CORP), 13. Dezember 1994 (1994-12-13)

(73) Patentinhaber: **SIEMENS**
AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 504 458 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung der Supraleitungstechnik

- mit einem Magneten, der mindestens eine supraleitfähige, kältemittelfreie Wicklung enthält,
- mit einer Kälteeinheit, die mindestens einen Kaltkopf aufweist,

und

- mit einem Leitungssystem mit wenigstens einer geschlossenen Rohrleitung für ein darin nach einem Thermosyphon-Effekt zirkulierendes Kältemittel zur thermischen Ankopplung der mindestens einen Wicklung an die Kälteeinheit.

Eine entsprechende Einrichtung geht aus der US 4,726,199 A hervor.

[0002] Neben den seit langem bekannten metallischen Supraleitermaterialien wie z.B. NbTi oder Nb₃Sn, die sehr niedrige Sprungtemperaturen T_c besitzen und deshalb auch als Niedrig(Low)- T_c -Supraleitermaterialien oder LTS-Materialien bezeichnet werden, kennt man seit 1987 metalloxidische Supraleitermaterialien mit Sprungtemperaturen T_c von über 77 K. Letztere Materialien werden auch als Hoch(High)- T_c -Supraleitermaterialien oder HTS-Materialien bezeichnet.

[0003] Mit Leitern unter Verwendung solcher HTS-Materialien versucht man auch, supraleitende Magnetwicklungen zu erstellen. Wegen ihrer bislang noch verhältnismäßig geringen Stromtragfähigkeit in Magnetfeldern, insbesondere mit Induktionen im Tesla-Bereich, werden vielfach die Leiter solcher Wicklungen trotz der an sich hohen Sprungtemperaturen T_c der verwendeten Materialien dennoch auf einem unterhalb von 77 K liegenden Temperaturniveau, beispielsweise zwischen 10 und 50 K gehalten, um so bei höheren Feldstärken wie z.B. von einigen Tesla nennenswerte Ströme tragen zu können.

[0004] Zur Kühlung von Wicklungen mit HTS-Leitern kommen in dem genannten Temperaturbereich bevorzugt Kälteeinheiten in Form von sogenannten Kryokühlern mit geschlossenem Helium-Druckgaskreislauf zum Einsatz. Solche Kryokühler sind insbesondere vom Typ Gifford-McMahon oder Stirling oder sind als sogenannte Pulsröhrenkühler ausgebildet. Entsprechende Kälteeinheiten haben zudem den Vorteil, dass die Kälteleistung quasi auf Knopfdruck zur Verfügung steht und dem Anwender die Handhabung von tiefkalten Flüssigkeiten erspart wird. Bei einer Verwendung solcher Kälteeinheiten wird z.B. eine supraleitende Magnetspulenwicklung nur durch Wärmeleitung zu einem Kaltkopf eines Refrigerators indirekt gekühlt, ist also kältemittelfrei. Entsprechende Einrichtungen der Supraleitungstechnik gehen z.B. aus "Proc. 16th Int. Cryog. Engng. Conf. [ICEC 16]", Kitakyushu, JP, 20. 24.05.1996, Verlag Elsevier Science, 1997, Seiten 1109 bis 1132 hervor.

[0005] Die Kühlung supraleitender Magnetsysteme insbesondere von MRI(Magnetresonance Imaging)-Anlagen ist derzeit bei heliumgeköhlten Magneten in der Regel als Badkühlung ausgeführt (vgl. US 6,246,308 B1). Hierfür ist als Vorrat eine vergleichsweise große Menge an flüssigem Helium erforderlich, beispielsweise einige 100 Liter. Dieser Vorrat führt in einem Quenchfall des Magneten, d.h. bei einem Übergang von zunächst supraleitenden Teilen seiner Wicklung in den normalleitenden Zustand, zu einem unerwünschten Druckaufbau in einem erforderlichen Kryostaten.

[0006] Bei LTS-Magneten wurden bereits Refrigerator-Kühlungen unter Verwendung von gut-wärmeleitenden Verbindungen wie z.B. in Form von gegebenenfalls auch flexibel ausgeführten Cu-Rohren zwischen einem Kaltkopf einer entsprechenden Kälteeinheit und der supraleitenden Wicklung des Magneten realisiert (vgl. die genannte Literaturstelle aus ICEC 16, insbesondere Seiten 1113 bis 1116). Je nach Abstand zwischen dem Kaltkopf und dem zu kühlenden Objekt führen dann aber die für eine gute thermische Ankopplung erforderlichen großen Querschnitte zu einer beträchtlichen Vergrößerung der Kaltmasse. Insbesondere bei den in MRI-Anwendungen üblichen, räumlich ausgedehnten Magnetsystemen ist dies auf Grund der verlängerten Abkühlzeiten von Nachteil.

[0007] Statt einer solchen thermischen Ankopplung der mindestens einen Wicklung an den mindestens einen Kaltkopf über wärmeleitende Festkörper kann auch ein Leitungssystem vorgesehen sein, in dem ein He-Gasstrom zirkuliert (vgl. z.B. US 5,485,730).

[0008] Aus der eingangs genannten US 4,726,199 A ist eine Einrichtung der Supraleitungstechnik zu entnehmen, die ein Leitungssystem mit einem LHe-Behälter umfasst, von dem eine Rohrleitung zu einer Wärmeaustauschplatte führt, an welche eine supraleitende Wicklung thermisch angekoppelt ist. Nicht näher ausgeführt ist dabei, wie die Kälteleistung in den LHe-Behälter einzubringen ist. Bei dieser bekannten Einrichtung führt von dem Wärme aufnehmenden Bereich der Wärmeaustauschplatte eine Rohrleitung in das LHe-Bad des Behälters zurück. Damit ist die Rohrleitung in einen ersten Teil, in dem flüssiges Kältemittel zu der Wärmequelle geführt wird, und in einen zweiten, sich daran anschließenden Teil unterteilt, in dem das dort verdampfte Kältemittel zu dem Behälter zurückgeführt wird. Bei einer solchen, auch als Zwei-Rohr-Thermosyphon bezeichneten Rohrleitung erfolgt eine natürliche, auf Dichteunterschieden beruhende Zirkulation des Kältemittels.

[0009] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Einrichtung der Supraleitungstechnik mit den eingangs genannten Merkmalen anzugeben, bei welcher der Aufwand zur Kühlung einer supraleitenden Wicklung verringert ist.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den in Anspruch 1 angegebenen Maßnahmen gelöst. Demgemäß soll die Kälteeinheit mindestens einen Kaltkopf aufweisen und soll die wenigstens eine Rohrleitung mit

einem das Kältemittel aufnehmenden Querschnitt von unter 10 cm^2 an ihrem Ende abgeschlossen sein. Unter einem Kaltkopf sei hierbei jede beliebige Kaltfläche einer Kälteeinheit verstanden, über die die Kälteleistung an das Kältemittel direkt oder indirekt abgegeben wird.

[0011] Ein entsprechendes Leitungssystem weist wenigstens eine geschlossene Rohrleitung auf, die zwischen dem Kaltkopf und der supraleitenden Wicklung mit einem Gefälle verläuft. Das Gefälle beträgt dabei zumindest in einigen Teilen der Rohrleitung im Allgemeinen mehr als $0,5^\circ$, vorzugsweise mehr als 1° gegenüber der Horizontalen. Das in dieser Rohrleitung befindliche Kältemittel rekondensiert an einer Kaltfläche der Kälteeinheit bzw. des Kaltkopfes und gelangt von dort in den Bereich der supraleitenden Wicklung, wo es sich erwärmt und dabei im Allgemeinen verdampft. Das so verdampfte Kältemittel strömt dann innerhalb der Rohrleitung wieder zurück in den Bereich der Kaltfläche des Kaltkopfes. Das Rohrleitungssystem stellt folglich einen sogenannten Ein-Rohr-Thermosyphon dar, in dem die Zirkulation des Kältemittels auf Grund des sogenannten "Thermosyphon-Effektes" erfolgt. Dabei wird von der Erkenntnis ausgegangen, dass selbst bei kleinen Rohrquerschnitten von unter 10 cm^2 eine solche Zirkulation ermöglicht ist.

[0012] Durch die Verwendung eines solchen Thermosyphons zur Übertragung der Kälteleistung an die Wicklung wird die erforderliche umlaufende Menge des kryogenen Kältemittels im Vergleich zu einer Badkühlung erheblich reduziert, beispielsweise um einen Faktor von etwa 100. Da außerdem die Flüssigkeit nur in Rohrleitungen mit vergleichsweise kleinen Durchmessern, die im Allgemeinen in der Größenordnung von wenigen Zentimetern liegen, zirkuliert, ist der Druckaufbau in einem Quenchfall ohne Probleme technisch beherrschbar. Neben den Sicherheitsaspekten ist die Verringerung der Menge an flüssigem Kältemittel im System, insbesondere bei einer Verwendung von Helium oder Neon als Kältemittel, außerdem ein deutlicher Kostenvorteil. Im Vergleich zu einer Kühlung mit wärmeleitenden Verbindungskörpern bietet ein Thermosyphon außerdem den Vorteil einer guten thermischen Ankopplung unabhängig von der räumlichen Entfernung zwischen dem Kaltkopf und dem zu kühlenden Objekt.

[0013] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Einrichtung der Supraleitungstechnik nach der Erfindung gehen aus den abhängigen Ansprüchen hervor.

[0014] So kann das Leitungssystem insbesondere zwei oder mehr Rohrleitungen aufweisen, die mit verschiedenen Kältemitteln mit unterschiedlicher Kondensationstemperatur gefüllt sind. Damit sind je nach Anforderung der Anwendung entsprechend abgestufte Arbeitstemperaturen, z.B. für eine Vorkühlung, eine quasi kontinuierliche thermische Ankopplung oder eine quasi kontinuierliche thermische Ankopplung durch überlappende Arbeitstemperaturbereiche der Kältemittel möglich. Die Teilsysteme können dabei entweder an einen gemeinsamen Kaltkopf oder auch an getrennte Kaltköpfe einer Kälteeinheit thermisch angekoppelt sein.

[0015] Besonders vorteilhaft kann der supraleitende Magnet der Einrichtung eine Wicklung enthalten, die supraleitendes HTS-Material aufweist und insbesondere auch auf einer Temperatur unter 77 K zu halten ist. Selbstverständlich ist aber eine erfindungsgemäße Einrichtung der Supraleitungstechnik auch für LTS-Magnete auszulegen.

[0016] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Einrichtung gehen aus den vorstehend nicht angesprochenen abhängigen Ansprüchen hervor.

[0017] Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsbeispiele von Einrichtungen der Supraleitungstechnik nach der Erfindung an Hand der Zeichnung noch weiter erläutert. Dabei zeigen jeweils schematisch im Schnitt deren Figur 1 die Kühlung eines MRI-Magneten mit zwei Wicklungen

und deren Figur 2 die Kühlung eines anderen MRI-Magneten mit vier Wicklungen.

[0018] Bei der in der Figur 1 allgemein mit 2 bezeichneten und nur in ihren für die Erfindung wesentlichen Details ausgeführten Einrichtung der Supraleitungstechnik kann es sich insbesondere um einen Teil einer MRI-Magnetanlage handeln. Dabei wird von an sich bekannten Ausführungsformen mit einem sogenannten C-Magneten ausgegangen (vgl. z.B. DE 198 13 211 C2 oder EP 0 616 230 A1). Diese Anlage enthält deshalb einen nicht näher ausgeführten, vorzugsweise supraleitenden Magneten 3 mit einer oberen, in einer horizontalen Ebene liegenden supraleitenden Wicklung 4a und einer dazu parallel angeordneten, unteren supraleitenden Wicklung 4b. Diese Wicklungen können insbesondere mit Leitern aus Hoch- T_c -Supraleitermaterial wie z.B. $(\text{Bi, Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ erstellt sein, das aus Gründen einer hohen Stromtragfähigkeit auf einer Betriebstemperatur unter 77 K gehalten werden kann. Die Wicklungen weisen eine Ringform auf. Sie sind jeweils in einem entsprechenden, nicht dargestellten Vakuumgehäuse untergebracht.

[0019] Die Kälteleistung zur Kühlung der Wicklungen 4a und 4b wird von einer nicht näher dargestellten Kälteeinheit mit wenigstens einem an ihrem kalten Ende befindlichen Kaltkopf 6 bereit gestellt. Dieser Kaltkopf weist eine auf einem vorbestimmten Temperaturniveau zu haltende Kaltfläche 7 auf oder ist mit dieser thermisch verbunden. An diese Kaltfläche ist thermisch der Innenraum einer Kondensorkammer 8 angekoppelt; beispielsweise bildet die Kaltfläche 7 eine Wand dieses Raumes. Gemäß dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Innenraum dieser Kondensorkammer 8 in zwei Teilräume 9a und 9b unterteilt. An den (ersten) Teilraum 9a ist eine Rohrleitung 10a eines Rohrleitungssystems 10 angeschlossen. Diese Rohrleitung führt zunächst von dem Teilraum 9a in den Bereich der supraleitenden Wicklung 4a, wo sie mit der Wicklung in gut wärmeleitendem Kontakt steht. Beispielsweise führt die Rohrleitung 10a in spiralförmigen Windungen an der Innenseite der Wicklung entlang. Die Anbringung auf der Innenseite ist nicht zwin-

gend; wichtig ist nur, dass die Rohrleitung mit permanentem Gefälle den gesamten Umfang der Wicklung erreicht und dort thermisch gut an die zu kühlenden Teile bzw. Leiter der Wicklung angekoppelt ist. Die Rohrleitung 10a schließt zumindest mit ihren wesentlichsten Teilen mit der Horizontalen h einen Gefälle-(oder Neigungs-)Winkel α von mehr als $0,5^\circ$, vorzugsweise mehr als 1° ein. So beträgt z.B. der Gefällwinkel α im Bereich der Wicklung 4a etwa 3° . Die Rohrleitung 10a führt dann in den Bereich der unteren Wicklung 4b, wo sie in entsprechender Weise angeordnet ist. Sie ist an ihrem Ende 11 abgeschlossen. Der das Kältemittel k_1 aufnehmende Querschnitt q der Rohrleitung 10a kann vorteilhaft klein gehalten werden und insbesondere unter 10 cm^2 liegen. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel beträgt q etwa 2 cm^2 .

[0020] In der mit dem Gefälle verlegten Rohrleitung 10a befindet sich ein erstes Kältemittel k_1 , beispielsweise Neon (Ne). Das Kältemittel k_1 zirkuliert dabei in der Rohrleitung 10a einschließlich dem damit verbundenen Teilraum 9a auf Grund eines an sich bekannten Thermosyphon-Effektes. Hierbei kondensiert das Kältemittel in dem Teilraum 9a an der Kaltfläche 7 und gelangt in flüssiger Form in den Bereich der supraleitenden Wicklungen. Dort erwärmt sich das Kältemittel, beispielsweise unter zumindest teilweiser Verdampfung, und strömt in der Rohrleitung 10a zurück in den Teilraum 9a, wo es rekondensiert wird.

[0021] Gemäß dem dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst das Leitungssystem 10 eine zweite Rohrleitung 10b, die parallel zu der ersten Rohrleitung 10a führt und mit einem weiteren Kältemittel k_2 gefüllt ist. Dieses Kältemittel ist von dem ersten Kältemittel k_1 verschieden, d.h., es hat eine andere, vorzugsweise höhere Kondensationstemperatur. Beispielsweise wird für das Kältemittel k_2 Stickstoff (N_2) gewählt. Die Rohrleitung 10b ist dabei an den (zweiten) Teilraum 9b der Kondensorkammer 8 angeschlossen. Das zweite Kältemittel k_2 zirkuliert dabei ebenfalls auf Grund eines Thermosyphon-Effektes in der geschlossenen Rohrleitung 10b und dem Teilraum 9b. Bei einer Abkühlung der Magnetwicklungen wird dann zuerst das zweite Kältemittel k_2 kondensiert, wobei die Wicklungen z.B. im Falle einer Verwendung von N_2 als Kältemittel k_2 auf etwa 70 bis 80 K vorgekühlt werden können. Mit weiterer Abkühlung der Kaltfläche 7 kondensiert dann das erste, in der Rohrleitung 10a befindliche Kältemittel k_1 mit der vergleichsweise niedrigeren Kondensationstemperatur und führt so zu einer weiteren Abkühlung auf die vorgesehene Betriebstemperatur von beispielsweise 20 K (bei Verwendung von Ne als erstem Kältemittel k_1). Das zweite Kältemittel k_2 kann bei dieser Betriebstemperatur im Bereich des Teilraums 9b ausgefroren sein.

[0022] Abweichend von dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel kann die erfindungsgemäße Einrichtung 2 der Supraleitungstechnik selbstverständlich auch nur ein Leitungssystem mit nur einer einzigen Rohrleitung aufweisen. Sieht man eine größere Anzahl von

Rohrleitungen vor, so können mehrere Rohrleitungen thermisch auch an separate Kaltköpfe oder an auf verschiedenen Temperaturniveaus liegende Stufen einer Kälteeinheit angekoppelt sein. Bei zweistufigen Kälteeinheiten bzw. Kaltköpfen, wie sie insbesondere zur Kühlung von thermischen Schilden eingeplant werden, würde man zu einer schnelleren Vorkühlung mit einer weiteren Thermosyphon-Rohrleitung, die beispielsweise mit N_2 oder Ar gefüllt ist, die Magnetwicklungen - neben der thermischen Anbindung an die zweite Stufe - auch an die erste (wärmere) Stufe ankoppeln.

[0023] Selbstverständlich ist die vorbeschriebene Thermosyphon-Kühlung auch für Magnete anwendbar, die vertikal angeordnete Wicklungen aufweisen. Ein Ausführungsbeispiel einer Einrichtung nach der Erfindung mit entsprechenden Wicklungen ist in Figur 2 angedeutet. Die allgemein mit 12 bezeichneten Einrichtung enthält einen solenoidförmigen Supraleitungsmagneten 13, der z.B. vier in Achsrichtung hintereinander liegende supraleitende Wicklungen 14j (mit $j = 1 \dots 4$) aufweist. Die einzelnen Wicklungen werden dabei z.B. jeweils an beiden Stirnseiten über zumindest im wesentlichen vertikal verlaufende Rohrleitungen 15i (mit $i = 1 \dots 8$) gekühlt, die z. B. mit einem Kältemittel k_1 gefüllt sind. Hier kann also auf eine Spiralförmigkeit wie im Falle des Ausführungsbeispiels nach Figur 1 verzichtet werden und der Gefällwinkel α beträgt in großen Teilen des allgemein mit 20 bezeichneten Leitungssystems etwa 90° . Eine Kondensorkammer 18 und ein Kaltkopf werden im Allgemeinen oberhalb der Wicklungen angeordnet, um so das erforderliche Gefälle zu gewährleisten. Pro Wicklung ist mindestens eine Rohrleitung 15i erforderlich, da im Gegensatz zu horizontal angeordneten Wicklungen nicht eine Rohrleitung alle Wicklungen unter Beibehaltung des Gefälles erreichen kann.

[0024] Um sicherzustellen, dass jede Rohrleitung 15i genügend rekondensiertes Kältemittel k_1 erhält, muss das gesamte, aus den Rohrleitungen 15i gebildete Rohrleitungssystem 20 entweder als ein System kommunizierender Röhren ausgeführt sei und im Bereich der Wicklungen 14j komplett mit dem flüssigen Kältemittel geflutet sein. Dies ist in der Figur 2 durch eine schwärzere Einfärbung des Kältemittels k_1 angedeutet, während das verdampfte Kältemittel heller eingefärbt und mit k_1' bezeichnet ist. Oder aber jede Rohrleitung 15i muss eine separate Kondensor(teil)kammer an dem Kaltkopf erhalten.

[0025] Selbstverständlich kann für die in Figur 2 angedeutete Ausführungsform einer Einrichtung 12' nach der Erfindung auch ein Leitungssystem mit parallel verlaufenden, mit unterschiedlichen Kältemitteln (k_1 bzw. k_2) gefüllten Rohrleitungen vorgesehen werden.

[0026] Abweichend von den dargestellten Ausführungsbeispielen kann eine erfindungsgemäße Einrichtung der Supraleitungstechnik ein Leitungssystem mit mindestens einer Rohrleitung aufweisen, in der auch in Gemisch aus zwei Kältemitteln mit unterschiedlichen Kondensationstemperaturen vorhanden ist. Dann kann

folglich bei einer allmählichen Abkühlung zunächst das Gas mit der höchsten Kondensationstemperatur kondensieren und einen geschlossenen Kreislauf zur Wärmeübertragung an eine zu kühlende Wicklung ausbilden. Nach einer Vorkühlung dieser Wicklung bis zur Tripelpunkttemperatur dieses Gases wird dieses dann im Bereich der Kondensorkammer ausfrieren, worauf die andere Gasgemischkomponente mit der niedrigeren Kondensationstemperatur die weitere Abkühlung auf die Betriebstemperatur gewährleistet.

[0027] In der Praxis kommen als Kältemittel je nach gewünschter Arbeitstemperatur die Gase He, H₂, Ne, O₂, N₂, Ar sowie verschiedene Kohlenwasserstoffe in Frage. Die Auswahl des jeweiligen Kaltgases erfolgt so, dass bei der vorgesehenen Betriebstemperatur das Kältemittel gleichzeitig gasförmig und flüssig vorliegt. Auf diese Weise ist eine Zirkulation unter Ausnutzung eines Thermosyphon-Effektes zu gewährleisten. Zur gezielten Einstellung der Füllmenge bei gleichzeitiger Begrenzung des Systemdrucks können warme und/oder kalte Ausgleichsbehälter an dem Leitungssystem vorgesehen werden.

[0028] Selbstverständlich hängt die Wahl des Kältemittels auch von dem verwendeten Supraleitermaterial ab. Wird ein LTS-Material wie Nb₃Sn vorgesehen, kommt nur He als Kältemittel in Frage.

Patentansprüche

1. Einrichtung (2) der Supraleitungstechnik

- mit einem Magneten (3), der mindestens eine supraleitfähige, kältemittelfreie Wicklung (4a, 4b) enthält,
- mit einer Kälteeinheit,

und

- mit einem Leitungssystem (10) mit wenigstens einer geschlossenen Rohrleitung (10a, 10b) für ein darin nach einem Thermosyphon-Effekt zirkulierendes Kältemittel (k1, k1'; k2) zur thermischen Ankopplung der mindestens einen Wicklung (4a, 4b) an die Kälteeinheit,

dadurch gekennzeichnet, dass die Kälteeinheit mindestens einen Kaltkopf (6) aufweist und die wenigstens eine Rohrleitung (10a, 10b) mit einem das Kältemittel (k1 k1', k2) aufnehmenden Querschnitt (8) von unter 10 cm² an ihrem Ende (11) abgeschlossen ist.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Leitungssystem (10) zwei Rohrleitungen (10a, 10b) aufweist, die mit verschiedenen Kältemitteln (k1 bzw. k2) mit unterschiedlichen Kondensationstemperaturen gefüllt sind.

3. Einrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rohrleitungen (10a, 10b) an einen gemeinsamen Kaltkopf (6) thermisch angeschlossen sind.

4. Einrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rohrleitungen an getrennte Kaltköpfe thermisch angeschlossen sind.

5. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest Teile der mindestens einen Rohrleitung (10a, 10b) ein Gefälle gegenüber der Horizontalen (h) von mehr als 0,5°, vorzugsweise mehr als 1°, aufweisen.

6. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die supraleitende Wicklung (4a, 4b; 14j) Hoch-T_c-Supraleitermaterial enthält.

7. Einrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Supraleitermaterial auf einer Temperatur unter 77 K zu halten ist.

8. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Kältemittel (k1 bzw. k2) ein Gemisch aus mehreren Kältemittelkomponenten mit unterschiedlichen Kondensationstemperaturen vorgesehen ist.

9. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der supraleitende Magnet (3) Teil einer MRI-Anlage ist.

Claims

1. Superconductor device (2)

- having a magnet (3) which contains at least one superconducting winding (4a, 4b) without any refrigerant,
- having a refrigeration unit,

and

- having a line system (10) having at least one closed pipeline (10a, 10b) for a refrigerant (k1, k1'; k2) which circulates in it on the basis of a thermosyphon effect for thermal coupling of the at least one winding (4a, 4b) to the refrigeration unit,

characterized in that the refrigeration unit has at least one cold head (6), and the at least one pipeline (10a, 10b) is closed with a cross section (2), which holds the refrigerant (k1, k1', k2), of less than 10 cm² at its end (11).

2. Device according to Claim 1, **characterized in that** the line system (10) has two pipelines (10a, 10b) which are filled with different refrigerants (k1 and k2, respectively) with different condensation temperatures. 5
3. Device according to Claim 2, **characterized in that** the pipelines (10a, 10b) are thermally coupled to a common cold head (6). 10
4. Device according to Claim 2, **characterized in that** the pipelines are thermally coupled to separate cold heads. 15
5. Device according to one of the preceding claims, **characterized in that** at least parts of the at least one pipeline (10a, 10b) have a gradient with respect to the horizontal (h) of more than 0.5°, preferably more than 1°. 20
6. Device according to one of the preceding claims, **characterized in that** the superconducting winding (4a, 4b; 14j) contains high- T_c superconductor material. 25
7. Device according to Claim 6, **characterized in that** the superconductor material must be kept at a temperature below 77 K. 30
8. Device according to one of the preceding claims, **characterized in that** a mixture of two or more refrigerant components with different condensation temperatures is provided as the refrigerant (k1 or k2, respectively). 35
9. Device according to one of the preceding claims, **characterized in that** the superconducting magnet (3) is part of an MRI installation. 40

Revendications

1. Dispositif (2) de la technique de supraconductivité
 - comprenant un aimant (3) qui comporte au moins un enroulement (4a, 4b) apte à la supraconductivité et exempt de fluide frigorigène,
 - comprenant un groupe frigorifique,
 et 50
 - comprenant un système (10) de conduits ayant au moins une canalisation (10a, 10b) fermée pour un fluide (k1, k1' ; k2) frigorigène y circulant suivant un effet de thermosiphon, en vue du couplage thermique du au moins un enroulement (4a, 4b) au groupe frigorifique, 55

caractérisé en ce que le groupe frigorifique a au moins une tête (6) froide et la au moins une canalisation (10a, 10b) est fermée, en ayant une section (2) transversale de réception du fluide (k1, k1' ; k2) frigorigène de moins de 10 cm² à son extrémité (11).

2. Dispositif suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** le système (10) de conduits a deux canalisations (10a, 10b) qui sont emplies de fluides (k1 et k2) frigorigènes différents ayant des températures de condensation différentes.
3. Dispositif suivant la revendication 2, **caractérisé en ce que** les canalisations (10a, 10b) sont couplées thermiquement à une tête (6) froide commune.
4. Dispositif suivant la revendication 2, **caractérisé en ce que** les canalisations sont couplées thermiquement à des têtes froides distinctes.
5. Dispositif suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**au moins des parties de la au moins une canalisation (10a, 10b) ont une pente par rapport à l'horizontale (h) de plus de 0,5°, de préférence de plus de 1°.
6. Dispositif suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce** l'enroulement (4a, 4b ; 14j) supraconducteur contient un matériau supraconducteur à T_c haute.
7. Dispositif suivant la revendication 6, **caractérisé en ce que** le matériau supraconducteur doit tenir à une température inférieure à 77 K.
8. Dispositif suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**il est prévu comme fluide (k1 et k2) frigorigène un mélange de plusieurs constituants de fluide frigorigène ayant des températures de condensation différentes.
9. Dispositif suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce** l'aimant (3) supraconducteur fait partie d'une installation MRI.

FIG 1

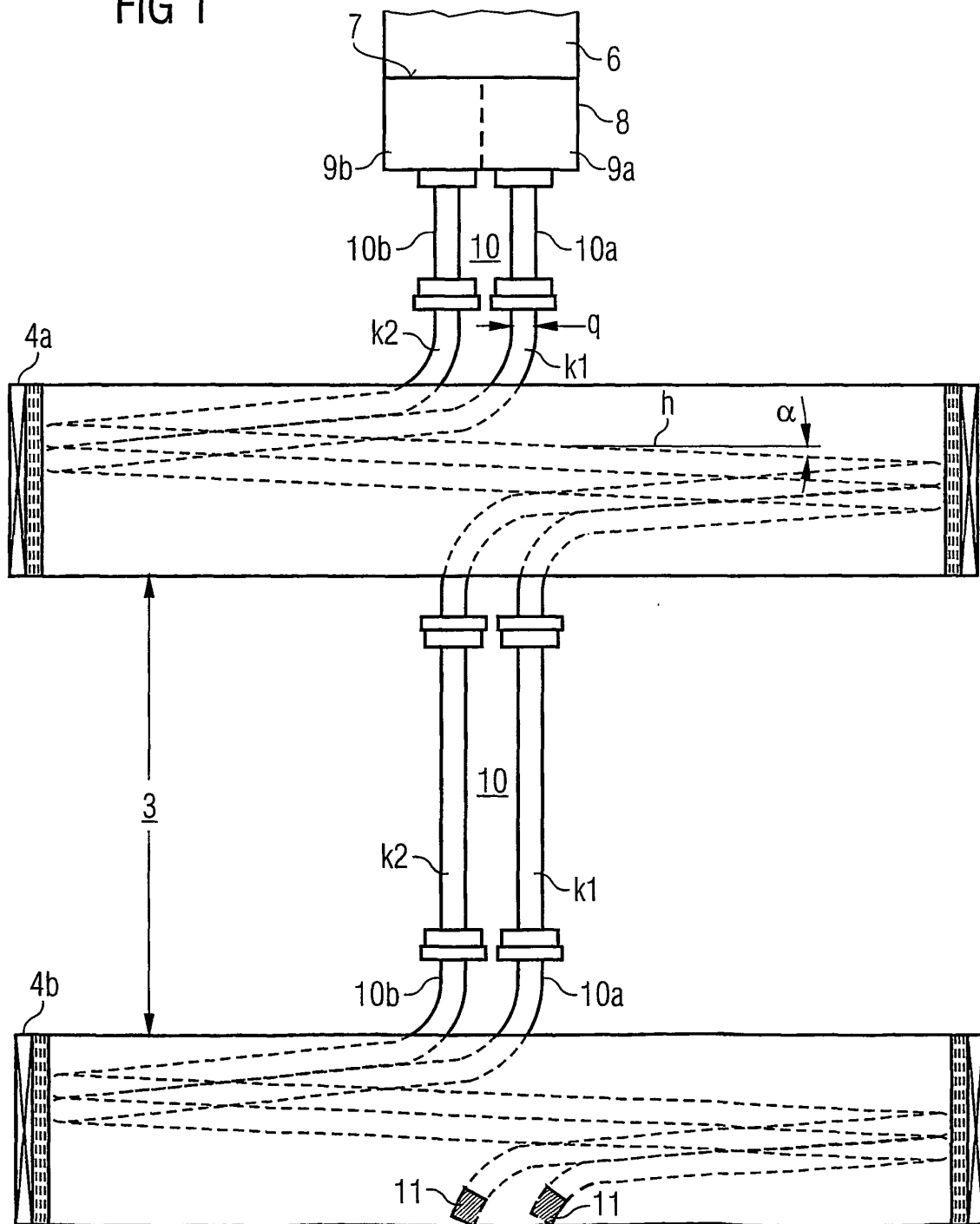
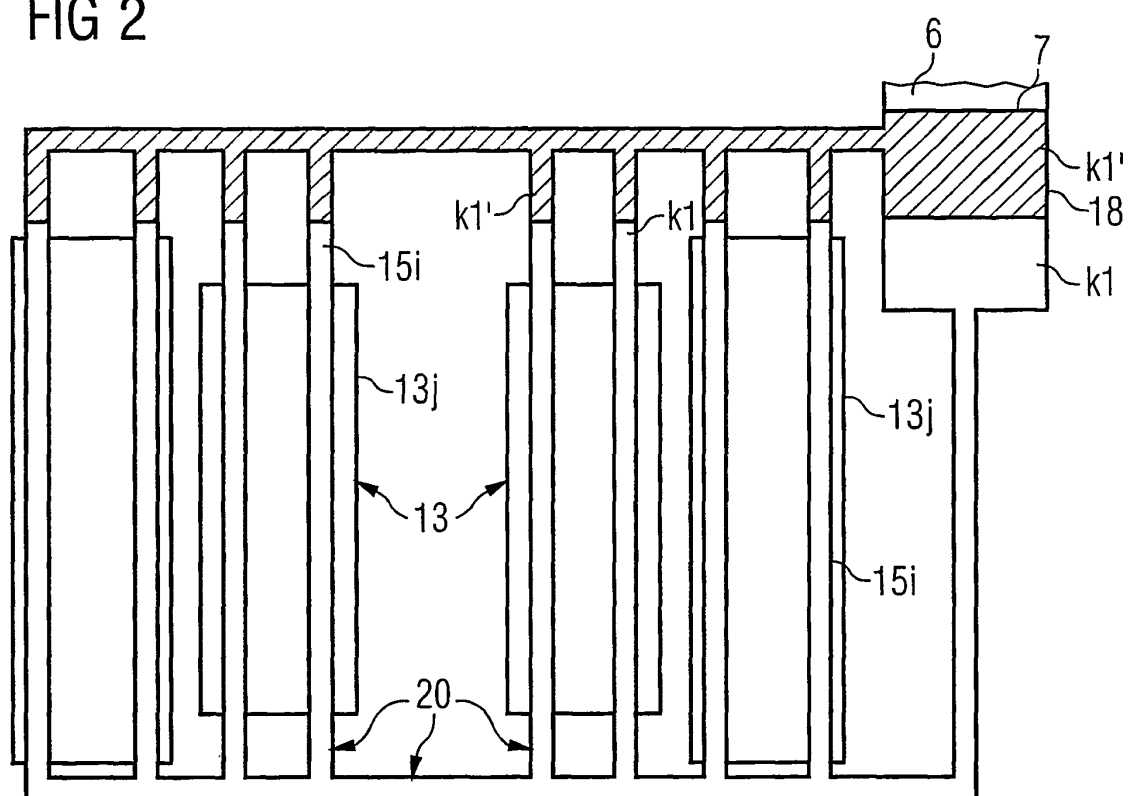


FIG 2



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentedokumente

- US 4726199 A [0001] [0008]
- US 6246308 B1 [0005]
- US 5485730 A [0007]
- DE 19813211 C2 [0018]
- EP 0616230 A1 [0018]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **KITAKYUSHU, JP.** Proc. 16th Int. Cryog. Engng. Conf. [ICEC 16. Verlag Elsevier Science, 1997, vol. 20, 1109-1132 [0004]
- Literaturstelle aus ICEC. vol. 16, 1113-1116 [0006]