



(10) **DE 10 2004 057 204 B4** 2012.06.14

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 057 204.6**
(22) Anmeldetag: **26.11.2004**
(43) Offenlegungstag: **08.06.2006**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **14.06.2012**

(51) Int Cl.: **H01F 6/00 (2006.01)**
H01L 39/20 (2012.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Siemens AG, 80333, München, DE

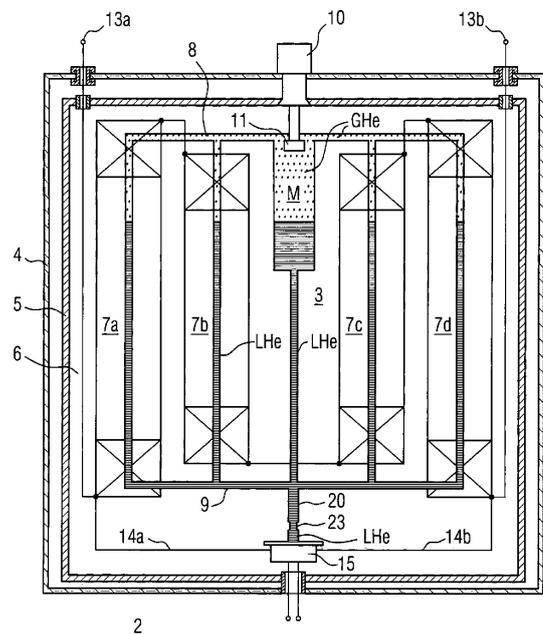
(72) Erfinder:
Haßelt, Peter van, Dr., 91058, Erlangen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	102 21 639	B4
US	5 680 085	A
EP	0 014 766	B1
EP	0 645 830	A1

(54) Bezeichnung: **Supraleitungseinrichtung mit Kryosystem und supraleitendem Schalter**

(57) Hauptanspruch: Einrichtung (2) der Supraleitungstechnik mit einem Kryosystem (3), an dessen von einer Kälteanlage (10) zu kühlendes kryogenes Medium (M) thermisch – die Supraleiter wenigstens eines supraleitenden Gerätes (7a bis 7d)
und
– die mit diesen Supraleitern elektrisch verbundene supraleitende Schaltstrecke (16) eines supraleitenden Schalters (15) gekoppelt sind, wobei der supraleitenden Schaltstrecke (15) Heizmittel (17) zu einem gesteuerten Überführen des supraleitenden Materials der Schaltstrecke (16) in den normalleitenden Zustand zugeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass an einen Kältemittelraum (9) des kryogenen Mediums (M) zur Kühlung der Supraleiter des mindestens einen Gerätes (7a bis 7d) eine für das kryogene Medium (M) zugängliche Rohrleitung (20) angeschlossen ist, welche ein abgeschlossenes Ende aufweist,
– an welches die Schaltstrecke (16) des supraleitenden Schalters (15) thermisch angekoppelt ist, und
– die eine Querschnittsverengung (23) derart aufweist, dass die bei Aktivierung der Heizmittel (17) hervorgerufenen dissipierten Verluste größer sind als die...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung der Supraleitungstechnik mit einem Kryosystem, an dessen von einer Kälteanlage zu kühlendes kryogenes Medium thermisch

- die Supraleiter wenigstens eines supraleitenden Gerätes und
- die mit diesen Supraleitern elektrisch verbundene supraleitende Schaltstrecke eines supraleitenden Schalters

gekoppelt sind, wobei der supraleitenden Schaltstrecke Heizmittel zu einem gesteuerten Überführen des supraleitenden Materials der Schaltstrecke in den normalleitenden Zustand zugeordnet sind.

[0002] Eine entsprechende Supraleitungseinrichtung mit einem solchen Kryosystem ist der EP 0 074 030 A2 zu entnehmen.

[0003] Bei supraleitenden Schaltern lässt sich der physikalische Effekt des steuerbaren Übergangs vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand zum Realisieren einer Schaltfunktion insbesondere in den Fällen nutzen, in denen keine galvanische Trennung unmittelbar mit dem eigentlichen Schaltvorgang gefordert wird. Entsprechende Schalter werden insbesondere auf dem Gebiet der Kernspintomographie (sogenanntes „Magnet Resonance Imaging [MRI]“) zur medizinischen Diagnostik als sogenannte Dauerstrom- oder Kurzschlusschalter für supraleitende Magnete eingesetzt. Um die supraleitenden Magnetwicklungen solcher Geräte/Magnete mit Strom beaufschlagen zu können, muss die sie überbrückende supraleitende Schaltstrecke des Kurzschluss Schalters geöffnet werden. Dabei kann der supraleitende Zustand durch Erhöhen der Temperatur über die kritische Sprungtemperatur, der elektrischen Stromdichte und/oder des magnetischen Feldes an der Schaltstrecke aufgehoben werden. Entsprechende thermisch zu steuernde Schaltstrecken von supraleitenden Schaltern sind seit langem bekannt (vgl. die eingangs genannte EP-A2-Schrift oder US 3 255 335 A oder US 4 602 231 A).

[0004] Aus der EP 0 645 830 A1 sowie der US 5 680 085 A sind jeweils Kryosysteme mit supraleitenden Magneten bekannt, die einen supraleitenden Permanentstromschalter aufweisen. Mittels eines zugeordneten Heizelements kann dieser vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand überführt werden. Durch eine geeignet gestaltete Zuleitung des Kältemittels zum Schalter sowie durch eine Einkapselung des Schalters in ein jeweiliges Gehäuse wird dabei die Wärmeübertragung vom Schalter an das Kältebad reduziert, so dass die Abdampfverluste im normalleitenden Betrieb des Schalters verringert werden.

[0005] Üblicherweise befindet sich der supraleitende Schalter innerhalb eines Kryosystems mit einem kryogenen Medium, welches auch zur Kühlung der Supraleiter eines supraleitenden Gerätes wie z. B. einer Magnetwicklung herangezogen wird (vgl. die eingangs genannte EP-A2-Schrift). Dies bedingt, dass im warmen, normalleitenden Zustand des Schalters dieser eine beträchtliche Wärmemenge in das kryogene Medium des Kryosystems einbringt. Diese Wärmemenge kann in einem Flüssighelium(LHe)-Bad eines MRI-Magneten bis zu einigen Watt betragen. Eine derartige Wärmeeinleitung ist vielfach nicht akzeptabel. Dies trifft insbesondere für rekondensierende, geschlossene Kryosysteme zu, bei denen die Kälteleistung von einem Kaltkopf einer Kälteanlage z. B. in Form eines sogenannten Kryokühlers erbracht wird. Solche Kryokühler sind insbesondere vom Typ Gifford McMahon oder Stirling oder sind als sogenannte Pulsröhrenkühler ausgebildet.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Supraleitungseinrichtung mit den eingangs genannten Merkmalen dahingehend auszugestalten, dass eine sichere Schaltfunktion der thermisch aktivierten Schaltstrecke des supraleitenden Schalters zu gewährleisten ist.

[0007] Diese Aufgabe wird für eine Supraleitungseinrichtung der eingangs genannten Art mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen gelöst. Demgemäß soll an einen Kältemittelraum des kryogenen Mediums zur Kühlung der Supraleiter des mindestens einen Gerätes eine für das kryogene Medium zugängliche Rohrleitung angeschlossen sein, welche ein abgeschlossenes Ende aufweist, an welches die Schaltstrecke des supraleitenden Schalters thermisch angekoppelt ist und die eine Querschnittsverengung derart aufweist, dass die bei Aktivierung der Heizmittel hervorgerufenen dissipierten Verluste größer sind als die von der Kälteanlage mittels des in dem Kältemittelraum befindlichen kryogenen Mediums durch die Querschnittsverengung übertragbare Kälteleistung.

[0008] Bei dem Kryosystem der erfindungsgemäßen Supraleitungseinrichtung erfolgt somit die thermische Ankopplung des supraleitenden Schalters über den in der Rohrleitung befindlichen Teil des kryogenen Mediums an den die Supraleiter des supraleitenden Gerätes kühlenden Teil des kryogenen Mediums. Dabei ist es einerseits möglich, bei geringer dissipierter Leistung im Schalter eine Kühlung mit sehr guter Ankopplung zu realisieren, die vergleichbar mit einer Badkühlung ist; andererseits lässt sich durch die Wahl des Querschnitts der Rohrleitung im Bereich ihrer Verengung die an den Schalter übertragbare Kälteleistung effektiv begrenzen, indem der Wärmestrom von der aktivierten, nunmehr resistiven Schaltstrecke in den an die Rohrleitung angeschlossenen Kältemittelraum reduziert ist. Auf diese Weise ist es

zu realisieren, den Schalter im normalleitenden Zustand zu halten mit verhältnismäßig geringen dissipierten Verlusten U^2/R (mit U = die über der resistiv gewordenen Schaltstrecke abfallende Spannung bzw. mit R = deren Widerstand), die deutlich unter dem Watt-Bereich bekannter thermisch geschalteter Schalter liegen kann. Eine eventuell am Schalter vorhandene überschüssige Verlustleistung führt dann zu einer kontinuierlichen Erwärmung der Schaltstrecke im aktivierten/resistiven Zustand. Vorteilhaft lässt sich so ein sicherer Schaltzustand gewährleisten und dabei die erforderliche Kälteleistung des Kryosystems bzw. seiner Kälteanlage begrenzen.

[0009] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Supraleitungseinrichtung gehen aus den von Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen hervor.

[0010] Eine gewünschte Begrenzung eines Wärmestroms in das kryogene Medium in dem Kältemittelraum lässt sich im Allgemeinen mit einer Querschnittsfläche der Querschnittsverengung zwischen $0,5 \text{ mm}^2$ und 100 mm^2 , vorzugsweise zwischen 7 mm^2 und 30 mm^2 , realisieren. Damit ist einerseits eine hinreichend gute Kühlung der Schaltstrecke zu gewährleisten, ohne dass andererseits zu viel Wärme in das Kältemittelleitungssystem gelangt.

[0011] Bevorzugt sollte sich die Querschnittsverengung in einem dem supraleitenden Schalter zugewandten Teil der Rohrleitung befinden, um einen Wärmeeintrag in größere Teile des kryogenen Mediums zu unterbinden.

[0012] Der Kältemittelraum kann vorteilhaft Teil eines Kältemittelleitungssystems mit Kältemittelwegen an dem oder durch das mindestens eine supraleitende Gerät sein. Die erforderliche Menge an kryogenem Medium ist so zu begrenzen.

[0013] Dabei kann vorteilhaft eine Zirkulation des kryogenen Mediums in dem Kältemittelleitungssystem gemäß dem sogenannten Thermosyphon-Effekt vorgesehen sein (vgl. z. B. WO 03/098 645 A1).

[0014] In das in dem Kältemittelleitungssystem zirkulierende kryogene Medium lässt sich die Kälteleistung bevorzugt mittels wenigstens eines Kaltkopfes wenigstens einer Kälteanlage einbringen. Da der Wärmeeintrag in das kryogene Medium durch die erfindungsgemäße Verwendung der Rohrleitung mit Verengung begrenzt ist, können bekannte Kälteanlagen mit begrenzter Kälteleistung zum Einsatz kommen.

[0015] Das mindestens eine supraleitende Gerät und der supraleitende Schalter können in einem gemeinsamen Vakuumraum angeordnet sein. Durch den Vakuumraum können dann vorteilhaft supraleitende Verbindungsleiter zwischen der Schaltstrecke

und den Supraleitern der Geräte ohne besondere aufwendige Kühlmaßnahmen verlaufen.

[0016] Auch in der Rohrleitung kann vorteilhaft eine Zirkulation des kryogenen Mediums gemäß dem Thermosyphon-Effekt eingestellt sein.

[0017] Im Allgemeinen handelt es sich bei dem kryogenen Medium um Helium. Dieses Medium wird insbesondere dann erforderlich, wenn die supraleitenden Teile der Supraleitungseinrichtung als supraleitendes Material sogenanntes Low- T_c -Supraleitermaterial (LTC-Supraleitermaterial) aufweisen. Bei Verwendung von oxidischem High- T_c -Supraleitermaterial (HTC-Supraleitermaterial) sind selbstverständlich auch andere kryogene Medien verwendbar.

[0018] Der supraleitende Schalter kann in an sich bekannter Weise als Dauerstromschalter oder Kurzschlusschalter ausgebildet sein. Entsprechende Schalter sind insbesondere für einen Dauerbetrieb von supraleitenden Magnetwicklungen geeignet, die keine permanente Stromzufuhr von außen benötigen.

[0019] Entsprechende Magnetwicklungen können bevorzugt die eines MRI-Magneten sein.

[0020] Andere vorteilhafte Ausgestaltungen der Supraleitungseinrichtung mit dem besonders ausgestalteten Kryosystem gehen aus den vorstehend nicht angesprochenen Unteransprüchen hervor.

[0021] Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird nachfolgend auf die Zeichnungen Bezug genommen, an Hand derer ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Kryosystems noch weiter beschrieben wird. Dabei zeigen

[0022] deren [Fig. 1](#) in stark schematisierter Ansicht einen Längsschnitt durch eine Supraleitungseinrichtung mit erfindungsgemäß ausgeführtem Kryosystem sowie

[0023] deren [Fig. 2](#) als Detailansicht den supraleitenden Schalter der Einrichtung nach [Fig. 1](#).

[0024] In den Figuren sind sich entsprechende Teile mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0025] Das erfindungsgemäß ausgeführte Kryosystem kann an sich für beliebige Einrichtungen der Supraleitungstechnik vorgesehen sein, die mindestens einen supraleitenden Schalter für ihr wenigstens ein supraleitendes Gerät erfordern. Bei den supraleitenden Geräten oder Vorrichtungen kann es sich beispielsweise um eine Magneten, eine Maschine oder einen Transformator handeln; auch kann es ein supraleitendes Kabel sein. Bevorzugt ist das supraleitende Gerät ein MRI-Magnet oder ein entsprechen-

des Magnetsystem, das mittels wenigstens eines supraleitenden Dauerstromschalters für den Betriebszustand kurzzuschließen ist. Von einem derartigen Ausführungsbeispiel sei nachfolgend ausgegangen.

[0026] Die in [Fig. 1](#) allgemein mit **2** bezeichnete Supraleitungseinrichtung weist ein Kryosystem **3** mit einem Kryostaten **4** auf. In dessen Innenraum ist zur thermischen Isolierung ein Strahlungsschild **5** vorhanden und ein Vakuumraum **6** ausgebildet. In diesem Vakuumraum sind als supraleitende Geräte vier supraleitende Magnete **7a** bis **7d** eines MRI-Magnetsystems untergebracht. Zur Kühlung der Supraleiter dieser Magnete mit einem kryogenen Medium M wie beispielsweise Helium ist ein Kältemittelleitungssystem **8** vorgesehen, dessen Kältemittelwege an den oder durch die Magnete verlaufen. Das Leitungssystem **8** umfasst einen Kältemittelraum **9**, in dem sich das kryogene Medium nach Durchlaufen der Magneten **7a** bis **7d** an deren Unterseite sammelt. Bevorzugt kann das kryogene Medium M in dem Kältemittelleitungssystem **8** gemäß dem Thermosyphon-Effekt strömen; d. h., es wird auf eine bekannte Badkühlung verzichtet. Hierzu ist kryogene Medium M in dem Kältemittelleitungssystem **8** auf dessen oberer Seite thermisch an den Kaltkopf **11** einer Kälteanlage **10** angekoppelt, wo eine (Re-)Kondensation von gasförmigem Helium GHe zu flüssigem Helium LHe erfolgt. Gegebenenfalls kann das Leitungssystem **8** auch als ein Ein-Rohr-System in an sich bekannter Weise ausgebildet sein (vgl. die genannte WO 03/098 645 A1). In einem solchen Leitungssystem erfolgt sowohl die Strömung des kälteren Mediums in Richtung auf den Kältemittelraum **9** und damit zu der zu kühlenden Schaltstrecke **16** als auch die Rückströmung des erwärmten Mediums zu dem Kaltkopf **11** in derselben Leitung.

[0027] Die Enden der elektrisch hintereinander geschalteten Magnete **7a** bis **7d** sind über elektrische Anschlussleiter **13a** und **13b** mit einer außerhalb des Kryostaten befindlichen Stromquelle zu verbinden. Zwischen diese Anschlussleiter der Stromquelle ist innerhalb des Vakuumraums **6** ein an sich bekannter thermischer Dauerstrom- bzw. Kurzschlusschalter **15** geschaltet, mit dem die Hintereinanderschaltung der supraleitenden Magnete **7a** bis **7d** kurzzuschließen ist. Hierzu weist der Schalter **15** eine supraleitende Schaltstrecke **16** auf, die im Bedarfsfall mittels eines von außen ansteuerbaren elektrischen Heizelementes **17** vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand überführt werden kann. Beispielsweise hat dann die Schaltstrecke einen Widerstand R von 20 bis 30 Ω bei einem Spannungsabfall U von etwa 10 V.

[0028] Zur Kühlung dieser Schaltstrecke **16** ist der Schalter **15** nicht direkt in das Kältemittelleitungssystem **8** mit dem kryogenen Medium M integriert. Vielmehr ist eine besondere Rohrleitung **20** an den un-

teren Kältemittelraum **9** des Leitungssystems **8** angeschlossen, über die das kryogene Medium M bis zu dem Schalter **15** gelangen kann. Zur thermischen Ankopplung des Schalters **15** an das untere, abgeschlossene Ende dieser Rohrleitung **20** dient ein Wärme-Bus in Form z. B. einer Platte **21** aus einem thermisch gut leitenden Material wie z. B. Cu. Diese Platte ist elektrisch isolierend, jedoch hinreichend gut wärmeleitend mit dem Inneren des Schalters **15** und damit mit der Schaltstrecke **16** verbunden. Beispielsweise kann hierfür eine Verklebung **22** mit einem geeigneten Epoxidharz-Kleber wie z. B. mit der Warenbezeichnung „Stycast“ (Firma Emerson and Cuming, US) vorgesehen kann, der außerdem hinreichend tieftemperaturtauglich sein muss.

[0029] Wie ferner insbesondere der [Fig. 2](#) zu entnehmen ist, weist die Rohrleitung **20** zwischen ihrem der Cu-Platte **21** zugewandten Ende und dem Kältemittelraum **9** eine vorbestimmte Querschnittsverengung **23** auf. Vorzugsweise wird diese Querschnittsverengung in der unteren, der Cu-Platte **21** zugewandten Hälfte der Rohrleitung **20** vorgesehen. Die Querschnittsfläche F dieser Verengung **23** soll dabei so gewählt werden, dass der bei Aktivierung des Heizelementes **17** hervorgerufene, durch eine gepfeilte Linie dargestellte Wärmestrom W in das in dem Kältemittelraum **9** befindliche kryogene Medium M mindestens zu begrenzen ist. Das bedeutet, dass bei einer Aktivierung des Heizelementes die hervorgerufene dissipierte Verlustleistung U^2/R größer sein soll als die Kälteleistung, welche über das in dem Kältemittelraum befindliche kryogene Medium durch die Engstelle hindurch zur Verfügung gestellt wird.

[0030] Für bekannte MRI-Magnetsysteme und thermische Kurzschlusschalter weist die Querschnittsverengung **23** einen Durchmesser in der Größenordnung etwa zwischen 0,8 und 11,2 mm auf, so dass dann die Querschnittsfläche F etwa zwischen 0,5 mm² und 100 mm² zu liegen kommt. Vorzugsweise wird die Fläche F zwischen etwa 7 mm² und 30 mm² bzw. der Durchmesser zwischen etwa 2 mm und 10 mm liegend gewählt. Auf diese Weise ist es möglich, den Schalter **15** mit einer dissipierten Leistung von größenordnungsmäßig nur 0,1 W bis zu einigen 0,1 W im normalleitenden Zustand bei Aktivierung seines Heizelementes **17** und/oder durch die entlang der Schaltstrecke auftretende Wärmeleistung ($U^2/R_{\text{normalleitend}}$) zu halten. Mittels dieser Querschnittsverengung ist die erforderliche Kälteleistung seitens des Kältemittelleitungssystems **8** und damit der Kälteanlage **10** zu begrenzen (sogenanntes „Entrainment-Limit“). Der unter diesen Gesichtspunkten konkret zu wählende Wert der Querschnittsfläche F lässt sich in einfachen Versuchen ermitteln.

[0031] Bei dem vorstehend angenommenen Ausführungsbeispiel wurde davon ausgegangen, dass die Supraleiter der supraleitenden Einrichtung **2** mit ih-

ren Magneten **7a** bis **7d** mittels eines Kältemittelleitungssystems **8**, in dem gegebenenfalls eine Zirkulation des kryogenen Mediums gemäß dem Thermosyphon-Effekt erfolgt, zu kühlen sind. Selbstverständlich sind auch andere Kühlarten geeignet, um die Leiter unterhalb der kritischen Sprungtemperatur ihres supraleitenden Materials zu halten. So kann hierfür z. B. auch eine Badkühlung vorgesehen sein.

[0032] Selbstverständlich ist das erfindungsgemäß gestaltete Kryosystem einer Supraleitungseinrichtung auch für supraleitende Geräte einsetzbar, deren Leiter eine Kühlung auch bei höheren Temperaturen als denen des LHe zulassen. Hierbei kann es sich insbesondere um Leiter mit sogenanntem Hoch- T_c -Supraleitermaterial handeln, deren kritische Sprungtemperatur über 77 K, der Siedetemperatur des LN₂, liegt. Für die supraleitende Schaltstrecke des Schalters ist dann ein entsprechendes Material zu wählen. Es ist jedoch auch denkbar, dass hierfür ein anderes Supraleitermaterial mit einer unterschiedlichen kritischen Sprungtemperatur zum Einsatz kommt.

[0033] Ferner wurde angenommen, dass es sich bei dem mindestens einen supraleitenden Gerät um einen Magneten einer MRI-Anlage handelt. Selbstverständlich kann es sich auch um den Magneten einer Strahlführungsanlage oder einer Energiespeicheranlage handeln. Da es sich bei dem supraleitenden Schalter nicht unbedingt um einen Kurzschlusschalter für einen entsprechenden Magneten handeln muss, kann das supraleitende Gerät auch die Wicklung eines Transformators oder einer elektrischen Maschine oder ein Abschnitt eines Kabels sein.

Patentansprüche

1. Einrichtung (**2**) der Supraleitungstechnik mit einem Kryosystem (**3**), an dessen von einer Kälteanlage (**10**) zu kühlendes kryogenes Medium (M) thermisch
– die Supraleiter wenigstens eines supraleitenden Gerätes (**7a** bis **7d**)
und
– die mit diesen Supraleitern elektrisch verbundene supraleitende Schaltstrecke (**16**) eines supraleitenden Schalters (**15**)
gekoppelt sind, wobei der supraleitenden Schaltstrecke (**15**) Heizmittel (**17**) zu einem gesteuerten Überführen des supraleitenden Materials der Schaltstrecke (**16**) in den normalleitenden Zustand zugeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass an einen Kältemittelraum (**9**) des kryogenen Mediums (M) zur Kühlung der Supraleiter des mindestens einen Gerätes (**7a** bis **7d**) eine für das kryogene Medium (M) zugängliche Rohrleitung (**20**) angeschlossen ist, welche ein abgeschlossenes Ende aufweist,
– an welches die Schaltstrecke (**16**) des supraleitenden Schalters (**15**) thermisch angekoppelt ist,

und

– die eine Querschnittsverengung (**23**) derart aufweist, dass die bei Aktivierung der Heizmittel (**17**) hervorgerufenen dissipierten Verluste größer sind als die von der Kälteanlage (**10**) mittels des in dem Kältemittelraum (**9**) befindlichen kryogenen Mediums (M) durch die Querschnittsverengung (**23**) übertragbare Kälteleistung.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Querschnittsverengung (**23**) eine Querschnittsfläche (F) zwischen 0,5 mm² und 100 mm² aufweist.

3. Einrichtung nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch eine Querschnittsfläche (F) der Querschnittsverengung (**23**) zwischen 7 mm² und 30 mm².

4. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Querschnittsverengung (**23**) in einem dem supraleitenden Schalter (**15**) zugewandten Teil der Rohrleitung (**20**) befindet.

5. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kältemittelraum (**9**) Teil eines Kältemittelleitungssystems (**8**) mit Kältemittelwegen an dem oder durch das mindestens eine supraleitende Gerät (**7a** bis **7d**) ist.

6. Einrichtung nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch eine Zirkulation des kryogenen Mediums (M) in dem Kältemittelleitungssystem (**8**) gemäß dem Thermosyphon-Effekt.

7. Einrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Kälteleistung mittels wenigstens eines Kaltkopfes (**11**) wenigstens einer Kälteanlage (**10**) in das in dem Kältemittelleitungssystem (**8**) befindliche kryogene Medium (M) einzubringen ist.

8. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine supraleitende Gerät (**7a** bis **7d**) und der supraleitende Schalter (**15**) in einem gemeinsamen Vakuumraum (**6**) angeordnet sind.

9. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Zirkulation des kryogenen Mediums (M) in der Rohrleitung (**20**) gemäß dem Thermosyphon-Effekt.

10. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das kryogene Medium (M) Helium ist.

11. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der supraleitende Schalter (**15**) als Dauerstromschalter ausgebildet ist.

12. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine supraleitende Gerät (**7a** bis **7d**) ein MRI-Magnet ist.

13. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Supraleiter des wenigstens einen supraleitenden Gerätes (**7a** bis **7d**) metallisches LTC-Supraleitermaterial aufweisen.

14. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Supraleiter des wenigstens einen supraleitenden Gerätes (**7a** bis **7d**) oxidisches HTC-Supraleitermaterial aufweisen.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

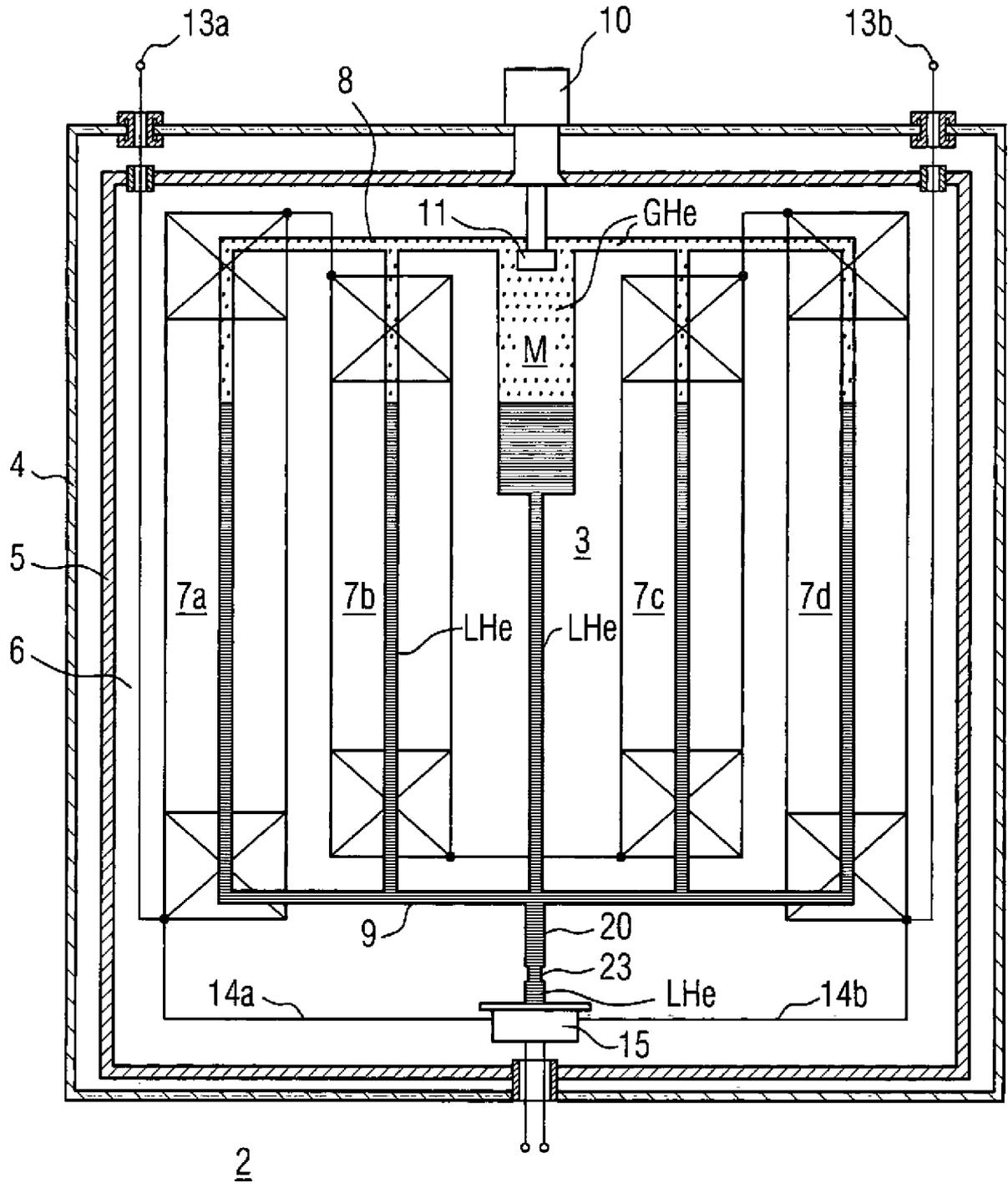


FIG 2

