

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3993407号

(P3993407)

(45) 発行日 平成19年10月17日(2007.10.17)

(24) 登録日 平成19年8月3日(2007.8.3)

(51) Int. Cl.	F I	
HO 1 F 6/00 (2006.01)	HO 1 F 7/22	J
HO 1 B 12/16 (2006.01)	HO 1 B 12/16	
HO 1 L 39/04 (2006.01)	HO 1 L 39/04	Z A A

請求項の数 1 (全 7 頁)

(21) 出願番号	特願2001-309515 (P2001-309515)	(73) 特許権者	000005234 富士電機ホールディングス株式会社 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
(22) 出願日	平成13年10月5日(2001.10.5)	(73) 特許権者	000231235 大陽日酸株式会社 東京都品川区小山一丁目3番26号
(65) 公開番号	特開2003-115404 (P2003-115404A)	(73) 特許権者	000173784 財団法人鉄道総合技術研究所 東京都国分寺市光町2丁目8番地38
(43) 公開日	平成15年4月18日(2003.4.18)	(74) 代理人	100088270 弁理士 今井 毅
審査請求日	平成16年6月21日(2004.6.21)	(72) 発明者	船木 和夫 福岡県福岡市東区みどりが丘1の1の7
		(72) 発明者	岩熊 成卓 福岡県大野城市下大利団地26の402 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超電導機器用電流リード

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも一部が高温超電導体で構成された超電導機器用電流リードであって、通電時には前記高温超電導体部をその超電導転移温度以下に強制冷却し、非通電時には高温超電導体部の少なくとも高温端側は強制冷却を解除する“電流リードの冷却制御手段”を備えて成り、かつ、前記電流リードの冷却制御手段が、電流リードを配設したクライオスタット蓋部に取り付けられた電流リードの高温超電導体部を囲む鞘管と、この鞘管内部の空間とその外側のクライオスタット内の空間とを連通させたガス通路と、当該ガス通路を開閉するバルブとを有した“クライオスタット内に保持された液状冷却媒体の液面レベル制御装置”であって、前記鞘管の下部はクライオスタット内の液状冷却媒体に没しており、また当該鞘管内に囲まれた電流リードの高温超電導体部は、前記バルブが開とされた鞘管内液状冷却媒体液面の上昇時に当該液状冷却媒体に没してこの液状冷却媒体により抜熱され、装置の作動電源が切られて前記バルブが閉とされた鞘管内液状冷却媒体液面の下降時には電流リード高温超電導体部の高温端側が当該液状冷却媒体液面から突出する状態とされていることを特徴とする、超電導機器用電流リード。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、例えば超電導コイルを用いる鉄道用車載変圧器、医療用MRI、SMES(超電導電流貯蔵装置)、超電導ケーブル等といった超電導機器用の電流リードに関する

ものである。

【 0 0 0 2 】

【 従来 の 技 術 】

現在、省エネルギー - 思想は産業界の隅々にまで浸透してきており、例えば鉄道運行システム等においても厳しい省エネルギー - 化が進められているが、そのような状況下で鉄道用車載変圧機のエネルギー - 損失にも改善の目が向けられるようになってきた。そして、鉄道用車載変圧機に超電導コイルを導入する試みが検討され始めている。

【 0 0 0 3 】

ところが、実機を試作しての検討から、鉄道用車載変圧機を超電導機器化するに当っては“電流リ - ドを通じての超電導コイルを収納するクライオスタット内への熱侵入”が問題となり、この熱侵入が目論見通りの省エネルギー - 化を達成する上で少なからぬ障害となりかねないということが明らかとなった。

10

【 0 0 0 4 】

即ち、現在、超電導磁石を使用した磁気浮上式鉄道、医療機器、エネルギー - 貯蔵装置、発電機等といった超電導機器用の超電導コイルに電流を供給する手段として一般的に採用されているのは、超電導機器の室温部に電源を配置し、この電源から銅製のリ - ド線（電流リ - ド）を使って超電導機器のクライオスタット内に収容され極低温に冷却されている超電導コイルに電流を供給する方法である。しかし、電流リ - ドを構成する銅は電気伝導度の優れた材料ではあるものの、一方で熱伝導率が高い材料でもある。そのため、この電流リ - ドが、室温部に位置する電源部からクライオスタット内の冷却系への熱侵入経路となつて超電導機器の冷却効率を悪化する原因となり、少なからぬエネルギー - 損失を招く結果となっていた。

20

もっとも、通常の超電導機器では、熱侵入を極力防止するために電流リ - ドを構成する銅線を極力細いものとし、更にこれを冷凍機から供給される極低温の冷却媒体（液体窒素等）で常時冷却しながら銅線からの抜熱を行うことにより超電導コイル部への熱侵入を防止する対策が講じられている。

【 0 0 0 5 】

しかしながら、鉄道用車載変圧器などの場合には、パンタグラフが降ろされて全ての機器の電源が切られてしまう状態に置かれることが少なくない。そのため、超電導コイルを導入した鉄道用車載変圧機ではパンタグラフが降ろされた状態になると冷凍機の電源も切れてしまい、電流リ - ドの冷却も途絶えてしまうか不十分となるので、クライオスタット外の電源部につながる電流リ - ドが主な熱侵入源となつて、熱シ - ルド板や真空層に囲われて十分な輻射熱対策が施されているクライオスタットであっても内部の液状冷却媒体が過度に気化して所期する冷却状態を維持できなくなる。従つて、変圧器の作動を再開する時には少なからぬ液状冷却媒体の補給が必要になるという問題を回避できなかった。

30

【 0 0 0 6 】

【 発 明 が 解 決 し よ う と す る 課 題 】

このようなことから、本発明が目的としたのは、超電導機器類の冷却系への熱侵入を極力抑制できる簡易な手段を提供し、超電導関連機器の運用を容易ならしめることである。

【 0 0 0 7 】

【 課 題 を 解 決 す る た め の 手 段 】

本発明者等は、上記目的を達成すべく鋭意研究を行い、次のような知見を得ることができた。

40

即ち、近年、超電導転移温度（臨界温度）が液体窒素温度（77.3K）を越える高温超電導体（酸化物高温超電導体）が次々と発見されているが、これら高温超電導体はこれまで超電導機器用電流リ - ド材として適用されてきた銅等の金属材料に比べるとその熱伝導率が極めて低い。因みに、銅の77Kにおける熱伝導率は5W/cm・Kであるのに対して、酸化物高温超電導体、例えばイットリウム系銅酸化物超電導体の77Kにおける熱伝導率は65～76mW/cm・Kであり、2桁ほど銅の熱伝導率より小さい値である。

【 0 0 0 8 】

50

従って、これら高温超電導体を超電導機器用電流リ - ド材の少なくとも一部を構成する部材として適用すれば、電流リ - ドを通じての冷却系への熱侵入を著しく低減することができる。

つまり、超電導機器用電流リ - ドを高温超電導体で構成すると、この高温超電導体は酸化物であって熱伝導率の低い材料であるため冷却系外から電流リ - ドに伝わる熱は先細り状の熱勾配を形成して電流リ - ド内で止まり、電流リ - ドの積極冷却を続けて間断のない抜熱を行わなくても、即ち電流リ - ドの強制冷却を行わない状態にしたとしてもクライオスタット外の室温部からクライオスタット内の冷却系への熱侵入を抑えることができるので、鉄道用車載変圧器などのように機器の電源が全て切られる機会の少ない超電導機器の場合であっても非通電時に電流リ - ドを通じて冷却系へ侵入する熱量が極めて少なくなる。

10

そして、このように、高温超電導体を電流リ - ド材として用いた超電導機器では非稼働時の電源が全て切られた状態であっても主な熱侵入源である“電流リ - ド”を通しての冷却系への熱侵入が極力抑えられるので、再稼働に際して極低温の冷却媒体を冷却系へ補給して冷却系に侵入した熱の蓄積を補償し解消する必要が殆どなくなる。

【0009】

ただ、超電導機器に配設した高温超電導体製電流リ - ドを積極冷却しない状態にすると、前述したように、クライオスタット外の電源部から侵入する伝導熱のために電流リ - ドの温度が上昇し、熱伝導率の低い高温超電導体であっても少なくともその電源側端が超電導転移温度（臨界温度）以上となって電流リ - ドの機能を果たさなくなるという問題が生じた。

20

【0010】

しかし、この問題も、上記高温超電導体製電流リ - ドに簡単な冷却制御手段を取り付けておき、通電が必要な時には強制冷却がなされていなかった電流リ - ドを前記冷却制御手段により超電導転移温度以下に冷却するだけで容易に解決できることが分かった。即ち、非通電時には高温超電導体製電流リ - ドの強制冷却を解除し、通電が必要な時には当該電流リ - ドのみを液体窒素温度付近の超電導転移温度以下に冷却するという簡易な手立てで必要な超電導電流の通電容量が保証されるので、超電導機器の機能に支障を来すことなく円滑な運転が可能であることを確認した。

【0011】

本発明は上記知見事項等を基にしてなされたものであり、次の超電導機器用電流リ - ドを提供するものである。

30

1) 少なくとも一部が高温超電導体で構成された超電導機器用電流リ - ドであって、通電時には前記高温超電導体部をその超電導転移温度以下に強制冷却し、非通電時には高温超電導体部の少なくとも高温端側は強制冷却を解除する“電流リ - ドの冷却制御手段”を備えて成り、かつ、前記電流リ - ドの冷却制御手段が、電流リ - ドを配設したクライオスタット蓋部に取付けられた電流リ - ドの高温超電導体部を囲む鞘管と、この鞘管内部の空間とその外側のクライオスタット内の空間とを連通させたガス通路と、当該ガス通路を開閉するバルブとを有した“クライオスタット内に保持された液状冷却媒体の液面レベル制御装置”であって、前記鞘管の下部はクライオスタット内の液状冷却媒体に没しており、また当該鞘管内に囲まれた電流リ - ドの高温超電導体部は、前記バルブが開とされた鞘管内液状冷却媒体液面の上昇時に当該液状冷却媒体に没してこの液状冷却媒体により抜熱され、装置の作動電源が切られて前記バルブが閉とされた鞘管内液状冷却媒体液面の下降時には電流リ - ド高温超電導体部の高温端側が当該液状冷却媒体液面から突出する状態とされていることを特徴とする、超電導機器用電流リ - ド。

40

【0012】

なお、本発明超電導機器用電流リ - ドに適用する高温超電導体（酸化物系超電導体）はその種類が特に制限されるものではなく、例えば希土類系の銅酸化物超電導体 { 化学式が $YBa_2Cu_3O_y$, $NdBa_2Cu_3O_y$, $SmBa_2Cu_3O_y$, $GdBa_2Cu_3O_y$ 又は $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_y$ で表されるもの等 } や、Bi系の銅酸化物超電導体 { 化学式が $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_z$, $(Bi, Pb)_2Sr_2Ca$

50

$2\text{Cu}_3\text{O}_2$ で表されるもの等 } など、熱伝導率の低いものの何れをも適用することができる。

【 0 0 1 3 】

ところで、本発明に係る超電導機器用電流リ - ドは、その全てを高温超電導体で構成する必要はなく、少なくとも一部を高温超電導体とし、その他の部分には従来通りの金属線（銅線等）を適用しても良い。

【 0 0 1 4 】

この電流リ - ドは、クライオスタット外の室温部に位置する電源に接続されるので該部分から熱侵入が起きるが、前述したように電流リ - ドの高温超電導体部は熱伝導率の低い材料であるため、強制冷却によって該部分の抜熱を行わなければこの部分において“熱侵入側（電源側）が比較的高温で超電導コイル側が低温となる熱勾配”が形成されて侵入熱が食い止められる。このため、例えば鉄道用車載変圧機においてパンタグラフが降ろされて全ての電源が切られた状態等のような“電流リ - ドの積極冷却がなされない状況下”におかれたとしても、冷却系の系外から電流リ - ドを通して侵入する熱は当該電流リ - ドの高温超電導体部で殆ど止まってしまい、冷却系へ悪影響を及ぼすことが無くなる。勿論、この時は超電導コイルへの通電を行わないので、電流リ - ドの高温超電導体部は超電導状態である必要はない。

10

【 0 0 1 5 】

なお、電流リ - ドの高温超電導体部は、その熱侵入側（電源側：高温端側）が熱侵入によって昇温しても、超電導コイル側はクライオスタット内に收容されている極低温の液状冷却媒体中のコイルと直接的にあるいは金属製導電線を介して連結されているので超電導転移温度（臨界温度）以下に保持されるのが通常であり、そのため高温超電導体部の高温端側を“電流リ - ドの冷却制御手段”によって液体窒素付近の超電導転移温度にまで冷却するだけで通電時における超電導電流の通電容量が保証される。

20

【 0 0 1 6 】

従って、本発明に係る電流リ - ドを使用した超電導機器では、通電時には“電流リ - ドの冷却制御手段”によって電流リ - ドの高温超電導体部を（通常はその高温端側だけを）その超電導転移温度以下に強制冷却すれば必要な電流を十分に通電することができ、一方、非通電時に“電流リ - ドの冷却制御手段”を停止した状態としても電流リ - ドの高温超電導体部が断熱材となって系外からの熱浸入を抑えるので、次の通電時まで格別なエネルギー - の消費を伴わずに冷却系を侵入熱が蓄積されない良好な状態に維持することができる。

30

【 0 0 1 7 】

そのため、例えば超電導機器が鉄道用車載変圧機である場合にはその休止時における冷却系への熱浸入量を簡易に抑えることができ、稼働再開時に極低温冷却媒体供給用の冷凍機を過度に運転する必要がなくなる。

また、例えば医療用MRI等に本発明の電流リ - ドを使用した場合には、極低温冷却媒体の供給間隔が延ばすことができ、更には付属冷凍機器の容量、使用電力を低減することも可能となる。

【 0 0 1 8 】

前記“電流リ - ドの冷却制御手段”としては、「超電導機器のクライオスタット内に保持された液状冷却媒体の液面レベル制御装置」を採用することができる。

40

【 0 0 1 9 】

【 発明の実施の形態 】

続いて、本発明を実施例により更に具体的に説明する。

図1は、本発明に係る電流リ - ドを用いた車載用超電導変圧機の一例についての概要説明図である。

図面において、符号1は超電導変圧機のクライオスタットであり、例えば液体窒素等の極低温液状冷却媒体2を收容して超電導コイル3を超電導転移温度（臨界温度）以下に冷却・保持する。また、符号4で示すのは超電導コイル3に電流を供給するための電源であ

50

る。

【0020】

この例で示す電流リ - ドは、電源4に接続される銅線部5と、これに続く高温超電導体部6と、“クライオスタット内に保持された液状冷却媒体の液面レベル制御装置”とを有して構成されている。

なお、電流リ - ドの高温超電導体部には例えばYBCO ($YBa_2Cu_3O_y$)等の酸化物超電導体がいられる。

【0021】

なお、この例において採用した“クライオスタット内に保持された液状冷却媒体の液面レベル制御装置”は、図1に示したように、クライオスタット1の蓋部に取り付けられた電流リ - ドの高温超電導体部を囲む鞘管10と、この鞘管内部の空間とその外側のクライオスタット内の空間とを連通させたガス通路11と、当該ガス通路を開閉するバルブ12とを有した構成のものである。

10

【0022】

さて、図1は装置を稼働する際の状態を示している。この状態は、ガス通路11を開閉するバルブ12を“開”とすることによって作り出されるものであるが、鞘管10の内部の空間とその外側のクライオスタット1の内部の空間とがガス通路11によって連通した状態となるので両空間のガス圧は等しく、そのため“鞘管内に位置する液状冷却媒体の液面”と“その外側のクライオスタット内に位置する液状冷却媒体の液面”とが同じレベルとなって、鞘管内に位置した電流リ - ドの高温超電導体部6は液状冷却媒体2に没してしまう。そのため、高温超電導体部6に止まっていた系外からの侵入熱は極低温の液状冷却媒体2に抜熱され、高温超電導体部6はその超電導転移温度(臨界温度)以下に冷却される。

20

従って、超電導状態となった電流リ - ドの高温超電導体部6を通じて超電導コイルへの通電を十分かつ効率的に行うことができる。

【0023】

この際、電流リ - ドを伝っての系外からの侵入熱は高温超電導体部6の部位から液状冷却媒体2に移動するが、この時期は超電導機器が稼働状態となっているので冷却媒体への侵入熱は容易かつ速やかに除去され、従って効率の良い機器の運転が継続される。

【0024】

一方、超電導機器の休止期に入ってバルブ12を含む装置の作動電源が全て切られるようなことがあると、バルブ12は“閉”の状態となってガス通路11が塞がれる。

30

この状態では、電流リ - ドを伝っての系外からの侵入熱は鞘管10の内部に位置する液状冷却媒体に移るが、このため鞘管内部に位置する液状冷却媒体の気化が進むので“鞘管内部の空間の圧力”が“その外側のクライオスタット内の空間の圧力”よりも上昇し、“鞘管内に位置する液状冷却媒体の液面”が下降して“電流リ - ドの高温超電導体部6の高温端側(電源側)が液状冷却媒体の液面から突出した状態となる(図2)。このため、電流リ - ドを伝っての系外からの侵入熱は熱伝導率が低くて断熱性に富む高温超電導体部6の部位に熱勾配を作って止まり、液状冷却媒体への移動が防止される。

従って、超電導機器の休止期であっても冷却系の極低温を長期にわたって維持することが可能である。

40

なお、この超電導機器の休止期には通電がなされないので電流リ - ドの高温超電導体部6は超電導状態である必要がない。

【0025】

以上の実施例では鉄道用車載変圧器に係る超電導機器用電流リ - ドを中心とした説明に終始したが、医療用MRI, SMES, 超電導ケ - ブル等といったその他の超電導機器に本発明の電流リ - ドを適用しても同様の作用・効果が得られることは言うまでもない。

【0026】

【発明の効果】

以上に説明した如く、この発明によれば、電源を全て切られた機器の休止期間であっても冷却系の極低温を長期にわたって維持することが可能であり、次の稼働時に冷却媒体供

50

給用の冷凍機に過度の負荷をかけてエネルギー消費を増大するおそれがない簡易な超電導機器用電流リドを提供することができ、超電導関連産業の更なる省エネルギー化の推進が可能になるなど、産業上有用な効果がもたらされる。

【図面の簡単な説明】

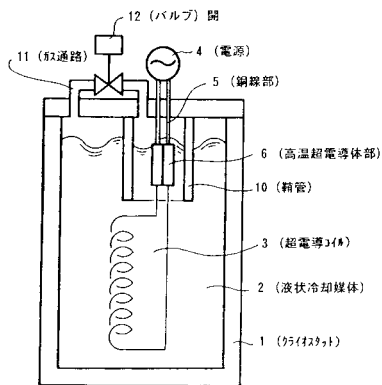
【図1】 本発明に係る電流リドを用いた車載用超電導変圧機の一例についての概要説明図である。

【図2】 図1に示した装置の休止状態に係る説明図である。

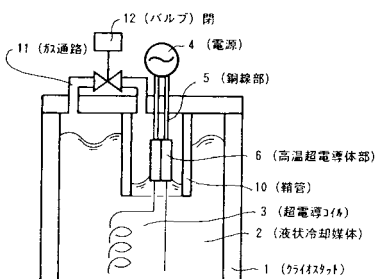
【符号の説明】

- 1 クライオスタット
- 2 液状冷却媒体
- 3 超電導コイル
- 4 電源
- 5 銅線部
- 6 高温超電導体部
- 10 鞘管
- 11 ガス通路
- 12 バルブ

【図1】



【図2】



フロントページの続き

- (72)発明者 坊野 敬昭
神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号 富士電機株式会社内
- (72)発明者 山田 尚生
神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号 富士電機株式会社内
- (72)発明者 上岡 泰晴
大阪府大阪市西区靱本町 2 丁目 4 番 1 1 号 大陽東洋酸素株式会社内
- (72)発明者 吉田 茂
大阪府大阪市西区靱本町 2 丁目 4 番 1 1 号 大陽東洋酸素株式会社内
- (72)発明者 相良 勇
大阪府大阪市西区靱本町 2 丁目 4 番 1 1 号 大陽東洋酸素株式会社内
- (72)発明者 秦 広
東京都国分寺市光町二丁目 8 番地 3 8 財団法人鉄道総合技術研究所内
- (72)発明者 藤本 浩之
東京都国分寺市光町二丁目 8 番地 3 8 財団法人鉄道総合技術研究所内
- (72)発明者 上條 弘貴
東京都国分寺市光町二丁目 8 番地 3 8 財団法人鉄道総合技術研究所内
- (72)発明者 長嶋 賢
東京都国分寺市光町二丁目 8 番地 3 8 財団法人鉄道総合技術研究所内

審査官 右田 勝則

- (56)参考文献 特開平 0 8 - 3 0 6 9 7 1 (J P , A)
特開昭 6 2 - 1 9 3 1 0 5 (J P , A)
特開平 0 6 - 2 5 2 4 5 4 (J P , A)
特開平 0 2 - 2 6 0 4 0 4 (J P , A)
特開昭 6 1 - 2 0 8 2 0 7 (J P , A)
特開昭 5 7 - 0 9 6 5 0 9 (J P , A)
特開平 0 7 - 1 3 1 0 7 9 (J P , A)
特開平 0 5 - 0 0 7 0 2 2 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H01F 6/00- 6/06
H01L 39/02-39/04
39/14-39/16
39/20