

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4444958号
(P4444958)

(45) 発行日 平成22年3月31日(2010.3.31)

(24) 登録日 平成22年1月22日(2010.1.22)

(51) Int.Cl.

H02H 9/02 (2006.01)

F I

H02H 9/02

B

請求項の数 14 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2006-518319 (P2006-518319)	(73) 特許権者	591005785
(86) (22) 出願日	平成16年6月3日(2004.6.3)		ロールス・ロイス・ピーエルシー
(65) 公表番号	特表2007-527682 (P2007-527682A)		ROLLS-ROYCE PUBLIC
(43) 公表日	平成19年9月27日(2007.9.27)		LIMITED COMPANY
(86) 国際出願番号	PCT/GB2004/002370		イギリス国ロンドン、エスタブリッシュ1イ
(87) 国際公開番号	W02005/006455		ー・6エイティー、バッキンガム・ゲート
(87) 国際公開日	平成17年1月20日(2005.1.20)		65
審査請求日	平成19年2月2日(2007.2.2)	(74) 代理人	100089705
(31) 優先権主張番号	0315663.5		弁理士 社本 一夫
(32) 優先日	平成15年7月4日(2003.7.4)	(74) 代理人	100140109
(33) 優先権主張国	英国 (GB)		弁理士 小野 新次郎
		(74) 代理人	100075270
			弁理士 小林 泰
		(74) 代理人	100080137
			弁理士 千葉 昭男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 障害電流制限器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入力ノード(11)、出力ノード(12)、及び、前記入力ノード(11)と前記出力ノード(12)との間に接続された可変インピーダンス素子(13)を備えた障害電流制限器(10)であって、

第1冷却剤を循環させる第1冷却サイクル(30)と第2冷却剤を循環させる少なくとも1つの第2冷却サイクル(32)とを有するマルチサイクル冷蔵システム(14)を具備し、

前記第1冷却サイクル及び前記第2冷却サイクルが閉サイクルであって、20K～60Kの範囲の転移温度を持つ超伝導材料の前記可変インピーダンス素子(13)を冷却するために熱的に結合され、

前記可変インピーダンス素子(13)の全体が前記第1冷却剤に浸され、

前記第1冷却サイクルの全体が前記第2冷却剤に埋められる

ことを特徴とする障害電流制限器。

【請求項 2】

前記可変インピーダンス素子(13)がホウ化物をベースとする金属超伝導材料からなることを特徴とする、請求項1に記載の障害電流制限器(10)。

【請求項 3】

前記可変インピーダンス素子(13)がマグネシウム・ジボライドから作られることを特徴とする、請求項2に記載の障害電流制限器(10)。

10

20

【請求項 4】

前記第 1 冷却剤が 5 K ~ 76 K の温度範囲にあることを特徴とする、請求項 1 に記載の障害電流制限器 (10)。

【請求項 5】

前記第 1 冷却剤が液体ネオンであることを特徴とする、請求項 4 に記載の障害電流制限器 (10)。

【請求項 6】

前記入力ノード (11) に与えられた電流が閾値を越えたとき、前記可変インピーダンス素子 (13) の電流密度が転移電流密度を超え、且つ、前記可変インピーダンス素子 (13) が低インピーダンスの超伝導状態から高インピーダンスの通常状態へ切り換わるように、前記可変インピーダンス素子 (13) が構成されていることを特徴とする、請求項 1 ~ 5 のうちのいずれか一つに記載の障害電流制限器 (10)。

10

【請求項 7】

前記遷移電流密度が 27 K において $10^3 \sim 10^6 \text{ A/cm}^2$ の範囲にあることを特徴とする、請求項 6 に記載の障害電流制限器 (10)。

【請求項 8】

前記可変インピーダンス素子 (13) における磁束密度が転移磁束密度を越えたとき、前記可変インピーダンス素子 (13) が低インピーダンスの超伝導状態から高インピーダンスの通常状態へ切り換わるように、前記可変インピーダンス素子 (13) が構成されることを特徴とする、請求項 1 ~ 7 のうちのいずれか一つに記載の障害電流制限器。

20

【請求項 9】

少なくとも 1 つの高温超伝導接続体 (42、43) を第 1 の可変インピーダンス素子 (13) に直列に接続することを特徴とする、請求項 1 ~ 8 のうちのいずれか一つに記載の障害電流制限器 (10)。

【請求項 10】

第 1 の高温超伝導接続体 (42) 及び第 2 の高温超伝導接続体 (43) が前記障害電流制限器において前記可変インピーダンス素子に接続されることを特徴とする、請求項 9 に記載の障害電流制限器。

【請求項 11】

前記高温超伝導接続体 (42、43) が前記第 2 冷却部 (49) における冷却剤に浸されることを特徴とする、請求項 9 又は 10 に記載の障害電流制限器 (10)。

30

【請求項 12】

前記第 2 冷却部 (49) における前記冷却剤が液体窒素である、請求項 1 ~ 11 のうちのいずれか一つに記載の障害電流制限器。

【請求項 13】

前記可変インピーダンス素子 (13) に並列に抵抗 (17) を接続したことを特徴とする、請求項 1 ~ 12 のうちのいずれか一つに記載の障害電流制限器 (10)。

【請求項 14】

前記抵抗 (17) を前記マルチサイクル冷蔵システム (14) の外部に配置し、前記可変インピーダンス素子 (13) を前記マルチサイクル冷蔵システム (14) の内部に配置することを特徴とする、請求項 13 に記載の障害電流制限器。

40

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

この発明の実施の形態は傷害電流制限器 (FCL) に関し、特に、電気分配網のための FCL に関する。

電気分配網は電流を発生源から負荷へ伝送するために使用される。こうした分配網において電氣的な傷害が発生すると、負荷に損傷を生じ得る大電流が発生する。傷害が発生すると、障害電流制限器はインピーダンスを変え、電流を低減する。

【0002】

50

超伝導材料は低インピーダンスの超伝導状態と高インピーダンスの通常状態とを有するので、障害電流制限器において可変インピーダンス素子として用いることができる。通常の動作状態の下では、超伝導素子はほぼゼロのインピーダンスを持つので、FCLにおいて電圧降下は生じない。傷害が発生して大電流が流れ始めると、超伝導素子はその超伝導状態から通常状態へ切り換わり、分配網にインピーダンスを導入する。その結果、FCLにおいて大きな電圧降下が生じる。

【0003】

低温超伝導体(LTS)は23.2 Kよりも低い転移温度を有する。転移温度(T_c)は、それより低い温度で材料が超伝導を行う温度である。材料が超伝導するのは、印加される磁界と電流密度と温度との全部が、材料の種類に依存する閾値よりも低いときである。LTSをその転移温度(T_c)よりも低く冷却するために液体ヘリウムを使用しなければならないが、液体ヘリウムは極めて高価であり、効率のよい冷却剤ではない。このため、FCLで使うとき、LTSは高価になる。

10

【0004】

セラミックをベースとする高温超伝導(HTS)材料が1980年代に開発された。HTS材料は液体窒素の使用によって達成可能な温度(77 K)で超伝導することができる。液体窒素は液体ヘリウムよりもほぼ20倍ほど冷却効率がよく、10倍安価である。しかし、HTS材料は機械的に弱くて壊れやすい性質のために製造が困難である。

【0005】

したがって、冷却剤として液体窒素を使用することができ且つHTS材料よりも大きな機械的強度を有する超伝導障害電流制限器を提供することが望ましい。

20

本発明によると、入力ノード、出力ノード、これら入力ノードと出力ノードとの間に接続された可変インピーダンス素子、及びマルチサイクル冷蔵システムを具備する障害電流制限器が提供され、該障害電流制限器は、可変インピーダンス素子を冷却するための第1冷却部と、第1冷却部を冷却するために第1冷却部に熱的に結合された第2冷却部とを備えており、可変インピーダンス素子は20 K ~ 60 Kの範囲の転移温度を持つ超伝導材料で構成される。

【0006】

FCLの可変インピーダンス素子は、入力ノードでの電流が閾値を越えるとき、超伝導状態から通常状態へ切り換わるよう構成される。超伝導状態においては、FCLでの電圧降下は最小である。通常状態では、FCLでの電圧降下は大きく、出力ノードによって提供される電流は制限される。

30

【0007】

可変インピーダンス素子はマグネシウム・ジボライドのようなホウ化物をベースとする金属超伝導体からなることが好ましい。

マグネシウム・ジボライドの使用により、幾つかの利点を提供される。マグネシウム・ジボライドは製造が容易であり、容易に大量処理することができる。また、種々の物理的形狀に形成することができる。これにより、FCLに設計上の柔軟性が与えられる。マグネシウム・ジボライド材料は任意の合理的な形状に容易に製造することができるので、FCLの設計を任意の所与の用途に対して最適化することができる。また、製造プロセスは高温超伝導体(HTS)材料のサンプルが一貫性に欠けるのに対して、信頼性が高く均一で反復可能なサンプルをもたらす。さらに、原材料(粉状)のコストと処理コストとに関して、 MgB_2 材料のコストはHTS材料のコストよりもかなり低いし、低く維持される傾向にある。 MgB_2 はHTS材料のほぼ20倍の熱伝導度を持つ。これにより、超伝導体を急速且つ均一に冷却することができ、機械的及び熱的衝撃による損傷を受けることがなくなる。電気供給網での傷害に起因する電流の増加は大きく、典型的には数100アンペアから数1000アンペアであるが、 MgB_2 は傷害時に電磁氣的に発生する極めて大きな力に耐えるだけの機械的強度を有する。

40

【0008】

可変インピーダンス素子は5 K ~ 76 Kの温度範囲を持つ第1冷却剤に浸される。例え

50

ば、第 1 冷却剤は液体ネオンであり、第 2 冷却剤は液体窒素であってよい。F C L のこの設計は、冷却剤として液体ヘリウムの代わりに液体ネオンを用いる。液体ネオンは液体ヘリウムの約 40 倍の比熱容量を有する。

【0009】

マグネシウム・ジボライドで構成された可変インピーダンス素子の消滅時間は迅速である。消滅時間は、超伝導材料が超伝導状態から通常状態へ移るのに要する時間である。この迅速な消滅時間は特別の利点を提供する。可変インピーダンス素子は電力網に負荷を課すよう迅速に切り換わる。これによって、電力網から供給される負荷が損傷される可能性が低減される。加えて、可変インピーダンス素子の抵抗加熱が低減されるので、冷却が少なくて済む。

10

【0010】

可変インピーダンス素子は分岐抵抗に並列に電氣的に接続される。可変インピーダンス素子内の電流が閾値を越えると、可変インピーダンス素子は低インピーダンスの超伝導状態から高インピーダンスの通常状態へ切り換わるので、電流は分岐抵抗を流れるようになる。分岐抵抗はその熱エネルギーを環境へ移す。

【0011】

閾値電流は、超伝導素子の転移電流密度を越えることになる電流である。代わりに、電流が閾値電流を越えるときに、印加される磁界が転移磁界を超えるように、超伝導素子を構成してもよい。

【0012】

転移電流密度は液体ネオン温度 (27 K) 及び自己電磁界 (self-field) において $10^3 \sim 10^6 \text{ A/cm}^2$ の範囲にある。転移電流密度は超伝導材料の質の関数である。電流密度の上限は高いので、可変インピーダンス素子を小さくすることができる。これは、スペース要件が重要である用途において有益である。こうした用途の一つは電氣的海洋推進システムである。こうしたシステムにおいては、スペースが限られる故に F C L が小さいことが望ましい。

20

【0013】

本発明の理解を一層深めるために、単なる例として添付図面を参照する。

図は、入力ノード 11、出力ノード 12、これら入力ノード 11 と出力ノード 12 との間に接続された可変インピーダンス素子 13、及び、マルチサイクル冷蔵システム 14 を具備する障害電流制限器 10 を示しており、冷蔵システム 14 は、可変インピーダンス素子 13 を冷却する (18) 第 1 冷却剤サイクル 30 と、この第 1 冷却剤サイクル 30 に熱的に結合されていて第 1 冷却剤 44 を冷却するための第 2 冷却剤サイクル 32 とを有しており、可変インピーダンス素子 13 はマグネシウム・ジボライドからなる。

30

【0014】

より詳細には、図 1 は、電流 I が閾値を越えたときに、負荷へ提供される電流 I (15) を制限するための障害電流制限器 10 の概略回路図である。障害電流制限器 10 は可変インピーダンス素子 13 と入力ノード 11 と出力ノード 12 とマルチサイクル冷蔵システム 14 と分路抵抗 17 とを備えている。可変インピーダンス素子 13 は入力ノード 11 と出力ノード 12 との間に電氣的に接続される。抵抗 17 は入力ノード 11 と出力ノード 12 との間に且つ可変インピーダンス素子 13 と並列に電氣的に接続される。負荷 16 は出力ノード 12 に電氣的に接続される。可変インピーダンス素子 13 はマルチサイクル冷蔵システム 14 に熱的に結合される (18)。熱は可変インピーダンス素子 13 からマルチサイクル冷蔵システム 14 へ移される。

40

【0015】

通常の動作時においては、電流 I が傷害のための閾値を越えなかったとき、可変インピーダンス素子 13 は超伝導体として動作し、有効にゼロのインピーダンスを持つ。抵抗 17 は大きな一定の抵抗値を有する。したがって、(典型的には数百アンペアの) 電流 I は入力ノード 11 から可変インピーダンス素子 13 を通して出力ノード 12 へ流れ、負荷 16 に提供される。入力ノード 11 と出力ノード 12 との間で降下する電圧は最小である。

50

【 0 0 1 6 】

傷害が発生すると、入力ノード 1 1 での電流 I は（典型的には数千アンペアの）閾値よりも大きくなり、可変インピーダンス素子 1 3 は低インピーダンスの超伝導状態から高インピーダンスの通常状態へ切り換わる。熱エネルギーが可変インピーダンス素子 1 3 からマルチサイクル冷蔵システム 1 4 へ移され（ 1 8 ）、熱的衝撃によって傷害が可変インピーダンス素子 1 3 に生じる可能性を低減する。可変インピーダンス素子 1 3 がその低インピーダンスの超伝導状態から高インピーダンスの通常状態へ切り換わると、電流 I は抵抗 1 7 を通って流れるように切り換えられる。電流によって抵抗 1 7 に発生した熱エネルギーは環境へ移される。したがって、傷害が発生すると、障害電流制限器 1 0 は（ほぼゼロの）低インピーダンスを持つ状態から抵抗 1 7 の抵抗値と同じ又はそれに近い高インピーダンスを持つ状態へ変わる。抵抗 1 7 は、回路に流れる電流を全負荷電流（負荷の最大動作電流）の 3 倍以下に制限するように選択されるのがよい。

10

【 0 0 1 7 】

傷害時には可変インピーダンス素子 1 3 が F C L 1 0 のインピーダンスを提供するのではなく、抵抗 1 7 が提供し、熱エネルギーは環境へ移される。可変インピーダンス素子 1 3 の消滅時間は短い。これにより、可変インピーダンス素子 1 3 はその低インピーダンスの超伝導状態から高インピーダンスの通常状態へ迅速に切り換えることができる。

【 0 0 1 8 】

図 1 の障害電流制限器は可変インピーダンス素子 1 3 と負荷 1 6 への電流路に接続された抵抗 1 7 との並列接続を有する。代替の実施の形態においては、入力ノード 1 1 と出力ノード 1 2 との間の電流路に一次インダクタを接続し、並列に接続された可変インピーダンス素子 1 3 と抵抗 1 7 とは、一次インダクタに磁氣的に結合された二次インダクタに直列に接続される。一次インダクタを通る電流が増すと、二次インダクタに誘導される電流が上昇する。この二次電流によって可変インピーダンス素子の状態を切り換え、一次インダクタを流れる電流を制限する。

20

【 0 0 1 9 】

図 2 は、可変インピーダンス素子 1 3 からの熱が環境 3 7 へ移動されるようにマルチサイクル冷蔵システム 1 4 に熱的に結合された可変インピーダンス素子 1 3 を示している。マルチサイクル冷蔵システム 1 4 は第 1 冷却剤サイクル 3 0、第 2 冷却剤サイクル 3 2、第 1 熱結合 3 4 及び第 2 熱結合 3 8 を有する。第 1 冷却剤サイクル 3 0 は第 1 冷却剤を循環させ、第 1 熱結合 3 4 によって第 2 冷却剤サイクル 3 2 から物理的に分離されている。第 2 冷却剤サイクル 3 2 は第 2 冷却剤を循環させ、第 2 熱結合 3 8 によって環境 3 7 から物理的に分離されている。第 1 冷却剤サイクル 3 0 と第 2 冷却剤サイクル 3 2 とは閉サイクルであって、環境 3 7 に対して開いていない。

30

【 0 0 2 0 】

熱エネルギーは可変インピーダンス素子 1 3 から第 1 冷却剤サイクル 3 0 へ移動される（ 1 8 ）。次いで、熱エネルギーは第 1 冷却剤サイクル 3 0 から第 2 冷却剤サイクル 3 2 へ第 1 熱結合 3 4 を介して移動される。最後に、熱エネルギーは第 2 冷却剤サイクル 3 2 から環境 3 7 へ第 2 熱結合 3 8 を介して移動される（ 3 6 ）。熱エネルギーの結果的な移動は矢印 3 9 によって示される。こうして、熱エネルギーは可変インピーダンス素子 1 3 から環境 3 7 へ、閉じた冷却剤サイクルを介して移動される。図では 2 つの閉じたサイクルの使用を示しているが、直列に接続された 3 つ以上の閉じたサイクルを用いることができる。

40

【 0 0 2 1 】

図 3 は、入力ノード 1 1 と出力ノード 1 2 と可変インピーダンス素子 1 3 とマルチサイクル冷蔵システム 1 4 とを備えた障害電流制限器 1 0 を示している。可変インピーダンス素子 1 3 は入力ノード 1 1 と出力ノード 1 2 との間に接続され、マルチサイクル冷蔵システム 1 4 は、可変インピーダンス素子 1 3 を冷却するための第 1 冷却剤 4 4 と、第 1 冷却剤 4 4 を冷却するための第 2 冷却剤 4 6 とを備える。可変インピーダンス素子 1 3 は、転移温度が 2 0 K から 6 0 K の範囲内にある超伝導材料からなり、第 2 冷却剤 4 6 は液体窒素である。これにより、可変インピーダンス素子 1 3 の電氣的インピーダンスは、入力ノ

50

ード 11 に与えられる電流 15 が閾値を越えると変化し、可変インピーダンス素子 13 を超伝導状態から通常状態へ転移させる。

【0022】

より詳細には、図 3 において、障害電流制限器 10 は入力ノード 11、出力ノード 12、可変インピーダンス素子 13、固定抵抗 17、第 1 接続部 42、第 2 接続部 43 及びマルチサイクル冷蔵システム 14 を備える。マルチサイクル冷蔵システム 14 は、第 1 冷却剤 44 を内蔵した第 1 の閉じた収容部 48 と、第 2 冷却剤 46 のバスに浸された第 1 の閉じた収容部を内蔵した第 2 の閉じた収容部 49 と、熱交換部 41 とを備える。

【0023】

第 1 接続部 42 は可変インピーダンス素子の一端を入力ノード 11 に電氣的に接続し、第 2 接続部 43 は可変インピーダンス素子の他端を出力ノード 12 に接続する。抵抗 17 は、第 1 接続部 42 と可変インピーダンス素子 13 と第 2 接続部 43 との直列の組み合わせに平行に、且つ、入力ノード 11 と出力ノード 12 との間に接続される。

【0024】

可変インピーダンス素子 13 は第 1 の閉じた収容部 49 内の第 1 冷却剤 44 に浸される。可変インピーダンス素子 13 は第 1 接続部 42 及び第 2 接続部 43 に第 1 収容部の壁において物理的に接続される。第 1 接続部 42 及び第 2 接続部 43 は、第 2 冷却剤 46 を通過してから第 2 の閉じた収容部 49 の壁を通過して外に現れ、抵抗 17 の対向端に電氣的に接続される。こうして、可変インピーダンス素子 13 は第 1 冷却剤 13 に完全に浸され、抵抗 17 はマルチサイクル冷蔵システム 14 の外部にある。

【0025】

第 1 冷却剤 44 は、熱交換器 41 内の第 1 熱結合 34 (図示せず) によって第 2 冷却剤 46 から物理的に分離されており、第 1 冷却剤サイクル 30 を形成するよう対流によって移動する。第 2 冷却剤は、熱交換器 41 内の第 2 熱結合 38 (図示せず) によって環境 37 から物理的に分離されており、第 2 冷却剤サイクル 32 を形成するよう対流によって移動する。熱交換器は熱エネルギーを第 1 冷却剤サイクル 30 から第 2 冷却剤サイクル 32 へ、次いで環境 37 へ移動させる。第 2 の閉じた収容部 49 はクリオスタットであり、第 1 の閉じた収容部 48 はガラス容器である。

【0026】

好ましい実施の形態においては、上記可変インピーダンス素子はマグネシウム・ジボライド超伝導素子である。マグネシウム・ジボライド (MgB_2) は製造が容易であり、任意の量だけ任意の形態で生産することができる。また、HTS に比べて熱的及び機械的な衝撃に対して感受性が低い。 MgB_2 の T_c は約 30 K である。第 1 冷却剤は液体ネオン ($\sim 27 K$) であり、第 2 冷却剤は液体窒素 ($\sim 77 K$) である。転移電流密度 (J_c) は液体ネオン温度 ($27 K$) 及び自己電磁界において $10^3 \sim 10^6 A/cm^2$ の範囲にある。

【0027】

第 2 冷却剤を通過する第 1 接続部及び第 2 接続部の部分は高温超伝導体 (HTS) から形成され得る。HTS は低い熱伝導度を持つが、超伝導状態においては高い電気伝導度を有する。したがって、接続体の部分として HTS を使用することにより、第 1 冷却剤 44 の冷却に必要な作業を低減することができるので、障害電流制限器 10 を小型化することができる。可変インピーダンス素子 13 が、高温超伝導体接続部 42、43 の状態を切り換えることのない電流閾値において、低インピーダンスの超伝導状態から高インピーダンスの通常状態へ切り換えられるように、HTS の接続部は構成される。

【0028】

可変インピーダンス素子の断面積及び超伝導材料の転移電流密度は、可変インピーダンス素子が低インピーダンス状態から高インピーダンス状態へ切り換わる閾値電流を決定する。つまり、異なる電面積の可変インピーダンス素子 13 は異なる閾値電流に対して使用される。可変インピーダンス素子 13 の長さは、高インピーダンス状態でのインピーダンスが抵抗 17 よりも遙かに大きいように選択される。これにより、第 1 冷却剤 44 の抵抗

10

20

30

40

50

加熱が最小になる。図3の蛇行した又は折り返し型の形状は、こうした電流切り換え型可変インピーダンス素子に好適である。

【0029】

マグネシウム・ジボライドは種々の形態を持ち、消滅伝搬が導体の長さ方向又は交叉方向に生じるようになされるので、極めて多様な消滅時間を作ることができる。図3の蛇行した又は折り返し型の形状により、熱的には近接するが電気的には離間した超伝導可変インピーダンス素子の各部分は複数の消滅開始点をトリガーすることができることになる。

【0030】

代替の実施の形態においては、可変インピーダンス素子は、該可変インピーダンス素子を流れる電流が増すにつれて増大する磁界を受けるように構成され得る。増大する磁界自体を用いて、又は、増大する磁界と増大する電流との組み合わせを用いて、可変インピーダンス素子13を低インピーダンス状態から高インピーダンス状態へ切り換えることができる。例えば、可変インピーダンス素子はソレノイドとして構成され得る。

【0031】

Jcに対して磁束密度が持つ影響は、材料製造手順及び添加物に依存する（自己電磁界から0.3Tへの磁束密度の増加は些細であり、Jcを50分の1まで低減する）。

MgB₂材料は任意の合理的な形状に容易に製造することができるので、FCL設計を任意の所与の用途に対して適正化することができる。また、製造プロセスは、高温超伝導体（HTS）材料のサンプルが一貫性に欠けるのに対して、信頼性の高い均一で反復可能なサンプルをもたらす。更に、原材料（粉状）のコスト及び処理コストの面において、MgB₂のコストはHTS材料のコストよりもかなり低く、低い状態を維持する傾向にある。

【0032】

これまでのパラグラフで本発明の実施の形態を種々の例を参照しながら記述してきたが、理解されるように、与えられた例に対する修正は、特許請求された範囲から逸脱することなく可能である。例えば、マルチサイクル冷蔵システム14は、第1冷却サイクル30と第2冷却サイクル32との間に置かれる1つ以上の中間冷却サイクルを持つことができる。加えて、可変インピーダンス素子13の超伝導素子として、MgB₂を必ずしも使用しなくてよい。転移温度、電流密度、磁束密度及び冷却時間に対して同じ特性であれば、他の超伝導材料も適している。ホウ化物をベースとする材料、すなわち、非超伝導状態において従来の実質的な金属結合及び電気伝導度を持つ金属超伝導体として記述される超伝導材料も使用に適している。

【図面の簡単な説明】

【0033】

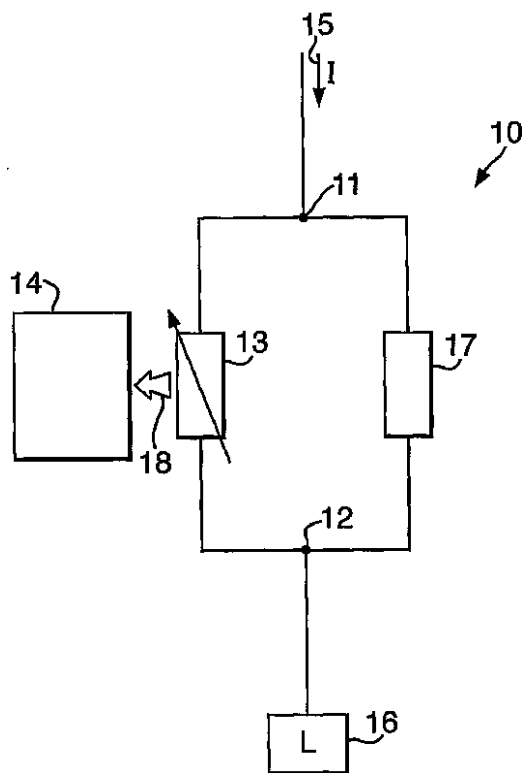
【図1】本発明の一つの実施の形態に係る障害電流制限器の概略的な回路図を示す図である。

【図2】マルチサイクル冷蔵システムを介して可変インピーダンス素子から環境へ移動する熱エネルギーを概略的に示す図である。

【図3】本発明の一つの実施の形態に係る障害電流制限器を示す図である。

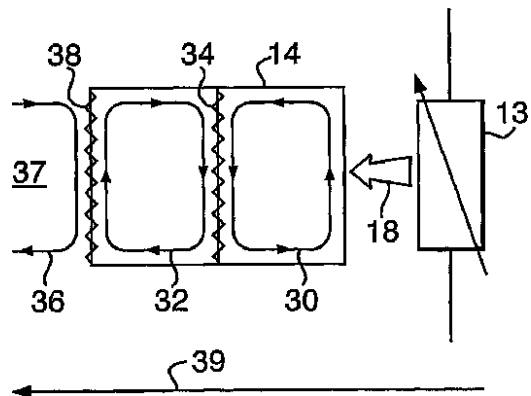
【図1】

Fig.1.



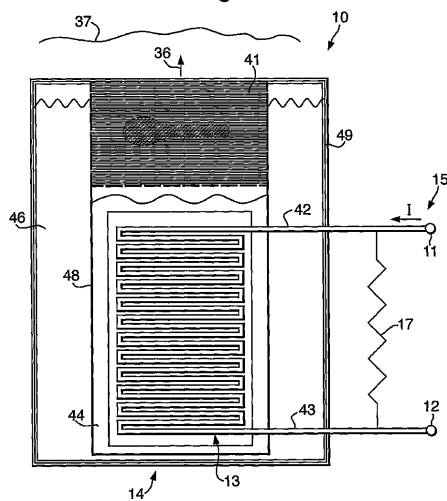
【図2】

Fig.2.



【図3】

Fig.3.



フロントページの続き

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100091063

弁理士 田中 英夫

(72)発明者 サージェント, フィリップ・マイケル

イギリス国ケンブリッジ, シービー 1 3 キュージェイ, グレビル・ロード 2 7

(72)発明者 マルキン, ピーター

イギリス国ノーサンバーランド エヌイー 4 6 1 ビーティー, ヘクサム, サウス・パーク 5

(72)発明者 スイマーズ, ブライアン・エドワード

イギリス国ダービー ディーイー 7 3 1 キュービー, チェラストン, スレード・ランズ・ドライブ 1 6

審査官 石川 晃

(56)参考文献 特開平 1 0 - 1 4 4 5 4 5 (J P , A)

特開 2 0 0 3 - 1 8 5 2 8 0 (J P , A)

特開 2 0 0 2 - 3 7 3 5 3 4 (J P , A)

特開昭 6 4 - 0 3 9 2 3 0 (J P , A)

特表 2 0 0 1 - 5 2 5 6 5 0 (J P , A)

特開平 0 1 - 1 1 7 6 2 3 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

H02H 9/02