

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6491331号
(P6491331)

(45) 発行日 平成31年3月27日 (2019.3.27)

(24) 登録日 平成31年3月8日 (2019.3.8)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 F 6/06 (2006.01)

H O 1 B 13/00 (2006.01)

H O 1 F 6/06 1 1 O

H O 1 F 6/06 1 2 O

H O 1 F 6/06 1 5 O

H O 1 B 13/00 5 6 1 Z

H O 1 B 13/00 E

請求項の数 11 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2017-521237 (P2017-521237)
 (86) (22) 出願日 平成27年7月15日 (2015.7.15)
 (65) 公表番号 特表2017-535948 (P2017-535948A)
 (43) 公表日 平成29年11月30日 (2017.11.30)
 (86) 国際出願番号 PCT/KR2015/007328
 (87) 国際公開番号 W02016/064069
 (87) 国際公開日 平成28年4月28日 (2016.4.28)
 審査請求日 平成29年4月26日 (2017.4.26)
 (31) 優先権主張番号 10-2014-0141766
 (32) 優先日 平成26年10月20日 (2014.10.20)
 (33) 優先権主張国 韓国 (KR)

(73) 特許権者 510273880
 コリア ユニバーシティ リサーチ アン
 ド ビジネス ファウンデーション
 KOREA UNIVERSITY RE
 SEARCH AND BUSINESS
 FOUNDATION
 大韓民国、02841 ソウル、ソンプク
 ーグ、アナムーロ 145
 (74) 代理人 110000800
 特許業務法人創成国際特許事務所
 (72) 発明者 イ, ヘグン
 大韓民国 ソウル 130-787 トン
 デムン-グ ジャンハン-ロ 119 #
 548

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 部分絶縁巻線を用いた超電導コイル及び超電導コイルの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ボビン (b o b b i n) と、

前記ボビンを中心に巻回される無絶縁の超電導線材と
 を含み、

前記超電導線材は、前記ボビンに巻回されるとき、所定間隔毎に絶縁物質が挿入される
 ことによって、巻回された超電導線材の間に前記絶縁物質が部分的に形成され、前記絶縁
 物質が挿入される挿入区間の線材は、前記絶縁物質が挿入されない非挿入区間の線材より
 も小さいターン (t u r n) 数を有することを特徴とする、超電導コイル。

【請求項 2】

前記絶縁物質が挿入される挿入区間と前記絶縁物質が挿入されない非挿入区間との比率
 を示す部分絶縁巻線の比率は、前記超電導コイルの特性評価を通じて実験的に算出される
 ことを特徴とする、請求項 1 記載の超電導コイル。

【請求項 3】

前記特性評価は、前記絶縁物質の挿入比率による充電遅延時間及び急放電遅延時間のう
 ちの少なくとも 1 つを含むことを特徴とする、請求項 2 に記載の超電導コイル。

【請求項 4】

前記絶縁物質が挿入される挿入区間と前記絶縁物質が挿入されない非挿入区間との比率
 を示す部分絶縁巻線の比率は、前記超電導コイルを用いた充電遅延時間の大きさに反比例
 することを特徴とする、請求項 1 記載の超電導コイル。

10

20

【請求項 5】

前記絶縁物質が挿入される挿入区間と前記絶縁物質が挿入されない非挿入区間との比率を示す部分絶縁巻線の比率は、前記超電導コイルを用いた急放電遅延時間の大きさに反比例することを特徴とする、請求項 1 記載の超電導コイル。

【請求項 6】

前記急放電遅延時間は、

巻線のターン (turn) 間の接触抵抗 (characteristic resistance) による時定数 (time constant) を基準として設定されることを特徴とする、請求項 5 記載の超電導コイル。

【請求項 7】

超電導コイルの要求特性が入力されるステップと、

入力された前記要求特性に基づいて、超電導コイル内に絶縁物質が挿入される挿入区間と絶縁物質が挿入されない非挿入区間との比率を示す部分絶縁巻線の比率を算出するステップと、

ボビンに無絶縁の超電導線材を巻回するステップとを含み、

前記超電導線材を巻回するステップは、

前記超電導線材を前記ボビンに巻回するとき、前記部分絶縁巻線の比率に基づいて決定された一定間隔毎に絶縁物質が挿入されることによって、巻回された超電導線材の間に前記絶縁物質が部分的に形成され、前記絶縁物質が挿入される挿入区間の線材は、前記絶縁物質が挿入されない非挿入区間の線材よりも小さいターン数を有することを特徴とする、超電導コイルの製造方法。

【請求項 8】

前記部分絶縁巻線の比率は、前記超電導コイルの特性評価を通じて実験的に算出され、

前記特性評価は、前記絶縁物質の挿入比率による充電遅延時間及び急放電遅延時間のうちの少なくとも 1 つを含むことを特徴とする、請求項 7 記載の超電導コイルの製造方法。

【請求項 9】

前記部分絶縁巻線の比率は、前記超電導コイルを用いた充電遅延時間の大きさに反比例することを特徴とする、請求項 7 記載の超電導コイルの製造方法。

【請求項 10】

前記部分絶縁巻線の比率は、前記超電導コイルを用いた急放電遅延時間の大きさに反比例することを特徴とする、請求項 7 記載の超電導コイルの製造方法。

【請求項 11】

前記急放電遅延時間は、

巻線のターン間の接触抵抗による時定数を基準として設定されることを特徴とする、請求項 10 記載の超電導コイルの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超電導コイルの作製のための巻線技術に関し、より詳細には、超電導物質で形成された高温超電導線材を巻回して超電導コイルを製造するにおいて、無絶縁超電導コイルの充電・放電遅延の向上のための部分絶縁技術を用いて、絶縁コイルの低い熱的安定性を補完すると共に、無絶縁コイルの充電・放電遅延現象を改善することができる超電導コイル及び超電導コイルの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

常電導状態のある物質が臨界温度以下で電気抵抗が急速に減少してゼロ (zero) となる現象を超電導現象といい、このような物質を超電導体という。臨界温度が 20 K 以下である超電導体を低温超電導体 (LTS) という。一方、高温超電導体としては、臨界温度 30 K 付近の高温超電導体 (HTS) である LaBaCuO、及び液体窒素温度 (77 K) 以上の臨界温度を有する酸化物超電導体である YBaCuO 以外にも、高温超電導体

10

20

30

40

50

である BiSrCaCuO 、 TlBaCaCuO 、 HgBaCaCuO などが発見された。高温超電導体の発見により、液体ヘリウムの代わりに液体窒素を冷媒として使用するようになり、装置の冷却コストが著しく減少し、高温超電導電力機器（発電機、超電導磁気エネルギー貯蔵装置、限流器など）の開発研究が活性化された。

【0003】

このような超電導体の電線（線材）を巻き付けて（巻回）作ったコイルを超電導コイルといい、超電導コイルに電流を流すと電磁石となる。超電導線材は、一般的に超電導体の細線を銅の母材の中に複数個埋め込んだものであって、超電導体として、 NbTi 、 Nb_3Sn 、 V_3Ga などが使用されている。超電導体は、電気抵抗が「0」であるため、電流が流れてもジュール熱は発生せず、電力も消費しない。しかし、磁場が強くなると、超電導状態が崩れ、抵抗がある普通の金属に戻る性質があるため、これを克服できる材料を選択してコイルを作製しなければならない。同期回転機械内の超電導コイル及びローター内の超電導系ワインディングを製造するための方法が提案されている（特許文献1参照）。

10

【0004】

一方、超電導コイルの活用において、誘導反発式磁気浮上式鉄道車両に使用されている超電導コイルは、ニオブ（ Nb ）とチタン（ Ti ）の合金細線を銅の母材に埋め込んだ超電導線をレーストラック形状に巻回した後、エポキシ樹脂で含浸して作製される。超電導コイルは、内槽（内部のタンク）に永久電流スイッチと共に収納され、常温部でパワーリードを介して電流が供給された後、永久電流モードになる。永久電流モードが崩れたときに超電導コイルを焼損させないように、保護抵抗器がコイルの両端の間に設置されることもある。

20

【0005】

このような超電導コイルは、用途と特性に応じて、絶縁物質を備えるか否かが異なり得、両者は、それぞれ互いに異なる問題点を有しているところ、より良い要求特性を有する超電導コイルの開発が必要である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】韓国特許公開公報第2002-0090861号（ゼネラルエレクトリック社、2002年12月05日公開）

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明が解決しようとする技術的課題は、従来の絶縁コイルの場合、絶縁物質の低い熱伝達特性により、予期せぬ過電流による熱点の発生時に、熱伝搬が制限されて低い熱的安定性を有するという問題を解決し、このような問題点を克服するために提案された無絶縁コイルの場合、ターン（turn）間の絶縁物質の除去によって充電・放電時に遅延現象が発生するという副作用を解消し、特に、充電・放電の遅延により、速い充電・放電を要求する一部の電力機器には適用が制限されるという限界を克服しようとする。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記技術的課題を解決するために、本発明の一実施例に係る超電導コイルは、ボビン（bobbin）；及び前記ボビンを中心に巻回される無絶縁の超電導線材；を含み、前記超電導線材は、前記ボビンに巻回されるとき、所定間隔毎に絶縁物質が挿入されることによって、巻回された超電導線材の間に前記絶縁物質が部分的に形成される。

【0009】

一実施例に係る前記超電導コイルにおいて、前記絶縁物質が挿入される挿入区間と前記絶縁物質が挿入されない非挿入区間との比率を示す部分絶縁巻線の比率は、前記超電導コイルの特性評価を通じて実験的に算出することができる。また、前記特性評価は、前記絶

50

縁物質の挿入比率による充電遅延時間及び急放電遅延時間のうちの少なくとも1つを含むことができる。

【0010】

一実施例に係る前記超電導コイルにおいて、前記絶縁物質が挿入される挿入区間の線材は、前記絶縁物質が挿入されない非挿入区間の線材よりも小さいターン(turn)数を有する。

【0011】

一実施例に係る前記超電導コイルにおいて、前記絶縁物質が挿入される挿入区間と前記絶縁物質が挿入されない非挿入区間の比率を示す部分絶縁巻線の比率は、前記超電導コイルを用いた充電遅延時間の大きさに反比例する。

10

【0012】

一実施例に係る前記超電導コイルにおいて、前記絶縁物質が挿入される挿入区間と前記絶縁物質が挿入されない非挿入区間の比率を示す部分絶縁巻線の比率は、前記超電導コイルを用いた急放電遅延時間の大きさに反比例する。また、前記急放電遅延時間は、巻線のターン(turn)間の接触抵抗(characteristic resistance)による時定数(time constant)を基準として設定されてもよい。

【0013】

上記技術的課題を解決するために、本発明の一実施例に係る超電導コイルの製造方法は、超電導コイルの要求特性が入力されるステップ；入力された前記要求特性に基づいて、超電導コイル内に絶縁物質が挿入される挿入区間と絶縁物質が挿入されない非挿入区間の比率を示す部分絶縁巻線の比率を算出するステップ；及びボビンに無絶縁の超電導線材を巻回するステップ；を含み、前記超電導線材を巻回するステップは、前記超電導線材を前記ボビンに巻回するとき、前記部分絶縁巻線の比率に基づいて決定された一定間隔毎に絶縁物質が挿入されることによって、巻回された超電導線材の間に前記絶縁物質が部分的に形成される。

20

【0014】

一実施例に係る前記超電導コイルの製造方法において、前記部分絶縁巻線の比率は、前記超電導コイルの特性評価を通じて実験的に算出され、前記特性評価は、前記絶縁物質の挿入比率による充電遅延時間及び急放電遅延時間のうちの少なくとも1つを含むことができる。

30

【0015】

一実施例に係る前記超電導コイルの製造方法において、前記絶縁物質が挿入される挿入区間の線材は、前記絶縁物質が挿入されない非挿入区間の線材よりも小さいターン数を有する。

【0016】

一実施例に係る前記超電導コイルの製造方法において、前記部分絶縁巻線の比率は、前記超電導コイルを用いた充電遅延時間の大きさに反比例する。

【0017】

一実施例に係る前記超電導コイルの製造方法において、前記部分絶縁巻線の比率は、前記超電導コイルを用いた急放電遅延時間の大きさに反比例する。また、前記急放電遅延時間は、巻線のターン間の接触抵抗による時定数を基準として設定されてもよい。

40

【発明の効果】

【0018】

本発明の実施例は、無絶縁高温超電導線材を用いて巻線を行うにおいて、部分的に絶縁物質を挿入する部分絶縁技術を採用することによって、超電導回転機器に使用するようになる超電導コイルにおいて、高い熱的安定性だけでなく、充電・放電遅延現象を改善することによって、結果的に、速い充電・放電が要求されるエネルギー貯蔵装置(SMES)のような高温超電導電力機器に、本発明の実施例に係る高温超電導コイル及びその製造方法を広く活用することができる。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 1 9 】

【図 1】絶縁物質を用いて製造した超電導コイルの断面図。

【図 2】絶縁物質が除去された無絶縁巻線方式による超電導コイルの断面図。

【図 3】本発明の一実施例に係る部分絶縁巻線を用いた超電導コイルの断面図。

【図 4】本発明の一実施例に係る部分絶縁巻線を用いた超電導コイルの製造方法を示したフローチャート。

【図 5】絶縁物質の使用程度による超電導コイルの特性評価を比較した図表を例示した図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 0 】

10

本発明の一実施例に係る超電導コイルは、ボビン (b o b b i n) ; 及び前記ボビンを中心に巻回される無絶縁の超電導線材 ; を含み、前記超電導線材が前記ボビンに巻回されるとき、所定間隔毎に絶縁物質が挿入されることによって、巻回された超電導線材の間に前記絶縁物質が部分的に形成される。

【 0 0 2 1 】

また、本発明の一実施例に係る超電導コイルの製造方法は、超電導コイルの要求特性が入力されるステップ ; 入力された前記要求特性に基づいて、超電導コイル内に絶縁物質が挿入される挿入区間と絶縁物質が挿入されない非挿入区間との比率を示す部分絶縁巻線の比率を算出するステップ ; 及びボビンに無絶縁の超電導線材を巻回するステップ ; を含み、前記超電導線材を巻回するステップは、前記超電導線材を前記ボビンに巻回するとき、前記部分絶縁巻線の比率に基づいて決定された一定間隔毎に絶縁物質が挿入されることによって、巻回された超電導線材の間に前記絶縁物質が部分的に形成される。

20

【 0 0 2 2 】

(実施例)

本発明の実施例を説明するに先立ち、超電導コイル技術に関して概括的に紹介し、その代表的な 2 つの方式 (絶縁方式及び無絶縁方式) 別にそれぞれの問題点と限界を検討した後、これを解決するために本発明の実施例が採択している技術的手段を順次紹介する。

【 0 0 2 3 】

超電導コイルを含んでいる超電導回転機器には、超電導発電機及び超電導モータがあるが、これらに制限されない。一般に、これらの機械は、電磁氣的に結合された固定子及び回転子を含む。回転子は、多重極回転子コア、及び回転子コア上に取り付けられた界磁コイルを含むことができる。回転子コアは、鉄製コアローターのような磁氣的に透過性の材料を含むことができる。

30

【 0 0 2 4 】

このような従来の回転機器の界磁コイルは、一般的な銅コイル又は永久磁石が通常使用される。しかし、銅コイル及び永久磁石は、発生させ得る磁場の大きさが制限的であり、特に、電気抵抗によって発生したジュール熱により大きな電流を通電することができないため、大容量回転機器を作製するためにはコイルのサイズが大きくなるという欠点がある。

【 0 0 2 5 】

40

一方、最近盛んに研究されている超電導コイルは、コイルの固有な臨界温度、臨界電流、臨界磁場下で電気抵抗がないため、多量の電流を通電させることができ、それによって、銅コイルと永久磁石に比べて非常に大きな磁場を出すことができるため、大容量回転機器の界磁コイル用にこのような超電導コイルを使用する場合、機器の軽量化及び小型化に非常に有利である。

【 0 0 2 6 】

一般的に超電導コイルを作製するときは、電氣的な短絡を防止するためにターン (t u r n) 間に絶縁物質が挿入された超電導絶縁コイルを使用するようになるが、この場合、絶縁物質の低い熱伝達特性により、超電導体の焼き入れ (q u e n c h) などによる予期せぬ過電流の通電によって発生したジュール熱が半径方向 (r a d i a l d i r e c t

50

ion)に伝搬されることが制限されてしまい、絶縁コイルは低い熱的安定性を有することになる。

【0027】

しかし、高温超電導体の場合、基板及び安定化材層が独自の絶縁層の役割を果たすことができるため、このようなアイデアに基づいて、ターン間の絶縁物質が除去された無絶縁巻線技術が提案され得る。このような無絶縁巻線技術は、絶縁物質の省略によるコイルの小型化を可能にし、予期せぬ過電流が流れる場合、熱点の生成による過度な熱/電流が自動的に迂回し得るため、絶縁コイルの低い熱/電氣的安定性を克服することができる。

【0028】

しかし、このような無絶縁コイルの場合、ターン間の接触抵抗(characteristic resistance、 R_c)による時定数(time constant、 τ)の増加で充電・放電遅延現象が発生するため、速い充電・放電が要求されるエネルギー貯蔵装置(SMES)のような一部の電力機器への適用には適していない。

【0029】

したがって、このような2つの巻線方式(絶縁方式及び無絶縁方式)にそれぞれ存在する特徴的な問題点に対する改善が必要であり、以下で記述される本発明の実施例は、絶縁巻線技術及び無絶縁巻線技術の利点を同時に有しながらも、両者の弱点を補完しようとする。

【0030】

以下では、図面を参照して本発明の実施例を具体的に説明する。ただし、以下の説明及び添付の図面において、本発明の要旨を不明瞭にする可能性がある公知の機能又は構成についての詳細な説明は省略する。

【0031】

上述した無絶縁超電導コイルは、絶縁体を挿入せずに巻回されて超電導コイルをなす場合、充電・放電時に遅延現象が発生する。そこで、本発明の実施例はこれを解決するために、部分的に絶縁体を挿入して巻回する技術を提案しようとする。

【0032】

図1及び図2は、上述した2つの方式の超電導コイルを例示したもので、図中の線材が実線で表現される場合に無絶縁線材を示し、線材が点線で表現される場合に絶縁線材を示していることを予め説明しておく。

【0033】

図1は、絶縁物質を用いて製造した高温超電導コイルの断面図である。図1の絶縁コイルを参照すると、剛性材料を用いて作製されるボビン(bobbin)110を中心に高温超電導線材120が絶縁物質と共に巻回されて超電導絶縁コイルを構成するようになる。

【0034】

上述したように、このような図1の絶縁コイルの場合、絶縁物質の低い熱伝達特性により、超電導体の焼き入れなどによる予期せぬ過電流の通電のため発生したジュール熱が半径方向に伝搬されることが制限されてしまい、低い熱的安定性を有するようになるおそれがあり、挿入された絶縁物質により絶縁コイルの大きさが相対的に大きくなるという弱点を有する。

【0035】

図2は、絶縁物質が除去された無絶縁巻線方式による高温超電導コイルの断面図である。図2の無絶縁コイルを参照すると、同様に剛性材料を用いて作製されるボビン110を中心に高温超電導線材210が絶縁物質なしに巻回されて超電導無絶縁コイルを構成するようになる。

【0036】

上述したように、このような図2の無絶縁コイルの場合、絶縁物質の省略によるコイルの小型化を可能にし、絶縁コイルの低い熱/電氣的安定性を克服できるという利点を有する一方、ターン間の接触抵抗による時定数の増加で充電・放電遅延現象が発生するという

10

20

30

40

50

副作用が発生した。

【0037】

そこで、このような図1の絶縁コイル及び図2の無絶縁コイルを改良した部分絶縁巻線技術を、図3を参照して紹介する。

【0038】

図3は、本発明の一実施例に係る部分絶縁巻線を用いた超電導コイルの断面図であって、その断面には、点線で示された絶縁線材310と実線で示された無絶縁線材320とが混在していることを確認できる。

【0039】

図1及び図2と同様に、剛性材料で作製されたボビン110を中心に高温超電導線材が絶縁物質と共に部分的に巻回されて超電導コイルを構成する。しかし、巻回された高温超電導コイルの場合、一般的な絶縁コイル(図1)とは異なり、絶縁物質が部分的に挿入されることを特徴とし、絶縁物質の量と絶縁物質の挿入区間は、本発明の実施例の活用目的及び要求特性に応じて適切に調節することができる。

【0040】

まとめると、図3の超電導コイルは、ボビン(bobbin)110、及び前記ボビン110を中心に巻回される無絶縁の超電導線材320を含み、前記超電導線材は、前記ボビンに巻回されるとき、所定間隔毎に絶縁物質310が挿入されることによって、巻回された超電導線材の間に前記絶縁物質310が部分的に形成される。

【0041】

このような超電導線材は超電導物質で構成され、このような超電導物質は、非常に低い温度で超電導現象を起こすため、これを線材に加工して超電導コイルの巻線に使用する。現在知られている超電導体は、ニオブ、バナジウムのような元素を含有する合金または金属化合物であり、その中でもよく知られているものは、ニオブ-ジルコニウム(ジルコニウム約20%)合金、ニオブ-チタン(チタン約40%)合金、ニオブ-錫の化合物 Nb_3Sn 、及びバナジウム-ガリウムの化合物 V_3Ga などである。これらの材料が超電導現象を示す温度の上限は、それぞれ、10.8K、9.7K、18.0K、14.5Kであり、本発明の属する超電導技術分野における通常の知識を有する者は、以上で例示された超電導物質以外に、採択可能な他の超電導物質を選択することもできる。

【0042】

また、図3の超電導コイルにおいて、前記絶縁物質が挿入される挿入区間と、前記絶縁物質が挿入されない非挿入区間との比率を示す「部分絶縁巻線の比率」は、前記超電導コイルの特性評価を通じて実験的に算出することができる。特に、前記特性評価は、前記絶縁物質の挿入比率による充電遅延時間及び急放電遅延時間のうちの少なくとも1つを含むことが好ましい。

【0043】

ただし、前記絶縁物質が挿入される挿入区間の線材は、前記絶縁物質が挿入されない非挿入区間の線材よりも小さいターン(turn)数を有することが好ましい。すなわち、ボビン110に超電導線材を巻回するとき、絶縁物質なしに巻回される線材のターン数が、部分的な絶縁物質が挿入されて巻回される線材のターン数よりも多くなければならない。

【0044】

一方、部分絶縁された高温超電導線材が巻回されるボビンの形状は、前記超電導コイルの応用形態に応じて様々に変形可能であり、図3に示された円筒形の断面を有するボビンは、その一例に過ぎず、本発明の権利範囲を限定したり、応用形態を制約したりしない。

【0045】

さらに、前記超電導コイルに挿入される部分絶縁物質の種類は、使用者の要求に応じて様々な形態で適用することができ、例えば、カプトン(Kapton)またはノーマックス(Nomex)を絶縁物質として活用することができ、具現環境に応じて、絶縁効果がある他の物質が採択されてもよい。

10

20

30

40

50

【0046】

図4は、本発明の一実施例に係る部分絶縁巻線を用いた超電導コイルの製造方法を示したフローチャートであり、次の一連の過程を含む。

【0047】

ステップS410では、超電導コイルの要求特性の入力を受ける。このような要求特性は、超電導コイルを通じて達成しようとする動作範囲及び出力を特定するパラメータであって、線材の特性だけでなく、部分絶縁される巻線内の絶縁比率によっても変わる。したがって、要求特性とは、超電導コイルの出力仕様 (specification) に該当する。

【0048】

ステップS420では、上述したステップS410を通じて入力された前記要求特性に基づいて、超電導コイル内に絶縁物質が挿入される挿入区間と、絶縁物質が挿入されない非挿入区間との比率を示す「部分絶縁巻線の比率」を算出する。このような部分絶縁巻線の比率は、前記超電導コイルの特性評価を通じて実験的に算出することができ、その閾値は、それぞれ、純粋な「絶縁コイル」と純粋な「無絶縁コイル」となり得る。すなわち、超電導コイルを構成する線材と超電導コイルの物理的特性を同一に維持する条件下で絶縁コイルを具現した場合の特性評価値と、無絶縁コイルを具現した場合の特性評価値とが両極端の閾値を形成する。その後、両極端の閾値を連結する各特性評価値の線形的な変化量を推定し、ステップS410を通じて入力された前記要求特性に合致する部分絶縁巻線の比率を算出することができる。このとき、前記特性評価は、前記絶縁物質の挿入比率による充電遅延時間及び急放電遅延時間のうちの少なくとも1つを含むことが好ましい。

【0049】

次いで、ステップS430では、ボビンに無絶縁の超電導線材を巻回する。このとき、ステップS435の部分絶縁巻線過程を併行するようになり、超電導線材を前記ボビンに巻回するとき、前記ステップS420を通じて算出された部分絶縁巻線の比率に基づいて決定された一定間隔毎に絶縁物質が挿入されることによって、巻回された超電導線材の間に前記絶縁物質が部分的に形成される。特に、ステップS435の絶縁物質の挿入過程は、コイルを巻線するにおいて、巻線張力が維持された状態で無絶縁ターンの間に絶縁体を均一に挿入する方式で作製され得る。このような絶縁物質の挿入過程は、巻線機の特성에依りて異なり得、前記で決定された部分絶縁巻線の比率に基づいて絶縁物質を巻線過程に供給できるいかなる方式も活用可能である。

【0050】

一方、前記絶縁物質が挿入される挿入区間の線材は、前記絶縁物質が挿入されない非挿入区間の線材よりも小さいターン (turn) 数を有することが好ましいことは、上述した通りである。

【0051】

また、前記部分絶縁巻線の比率は、前記超電導コイルを用いた充電遅延時間の大きさに反比例し、前記超電導コイルを用いた急放電遅延時間の大きさに反比例する。後者の場合、前記急放電遅延時間は、巻線のターン (turn) 間の接触抵抗 (characteristic resistance) による時定数 (time constant) を基準として設定されることが好ましい。

【0052】

図5は、絶縁物質の使用程度による超電導コイルの特性評価を比較した図表を例示した図であって、超電導コイルの特性評価に用いられた3つのコイルの仕様を示したものである。図5を参照すると、3つの場合に用いられた線材及び線材の物理的特性は同じ条件に維持し、単に、絶縁物質の有無及びその比率だけを異ならせた。勿論、絶縁物質によって超電導コイルの物理的な大きさが変わることは当然である。本発明の実施例が採択している部分絶縁超電導コイルの場合、絶縁は5ターン毎に行われる方法を例示し、絶縁物質が挿入される挿入区間と絶縁物質が挿入されない非挿入区間との比率を示す「部分絶縁巻線の比率」は、0.2 (1:5) である。

【 0 0 5 3 】

このような図 5 の比較表と共に、無絶縁コイルの充電・放電遅延現象及び改善を確認するために、無絶縁コイル、部分絶縁コイル及び絶縁コイルを用いて充電及び急放電テストを行った。その実験の結果、次のような結論を得ることができた。

【 0 0 5 4 】

第一に、超電導コイル内の絶縁物質の挿入量と充電遅延現象との相関関係が確認できた。そのために、超電導コイル別に、充電時の時間による磁場の変化を観察した。充電実験は、それぞれの超電導コイル（無絶縁コイル及び部分絶縁コイル）に対して行い、電流を単位時間別に一定量ずつ充電し、遅延の発生可否を確認した。

【 0 0 5 5 】

その結果、無絶縁コイルの充電遅延現象は、本発明の実施例が採択している部分絶縁技術を活用した部分絶縁コイルを通じて改善されたことを確認できる。すなわち、充電遅延時間が、無絶縁コイルに比べて部分絶縁コイルの場合に大幅に短縮されたことを確認した。

【 0 0 5 6 】

これを通じて、絶縁物質が挿入される挿入区間と絶縁物質が挿入されない非挿入区間との比率を示す部分絶縁巻線の比率は、次式 1 のように、前記超電導コイルを用いた充電遅延時間の大きさに反比例することがわかり、区間別の代表的な指標値の測定を通じて、部分絶縁巻線の比率と充電遅延時間との相関関係を推定することが可能である。

【 0 0 5 7 】

部分絶縁巻線の比率 $1 / (\text{充電遅延時間の長さ})$ (1)。

【 0 0 5 8 】

第二に、超電導コイル内の絶縁物質の挿入量と放電遅延現象との相関関係が確認できた。そのために、急放電時の時間による磁場の変化を観察した。急放電実験は、計 3 個のコイル（無絶縁コイル、部分絶縁コイル及び絶縁コイル）に対して行い、一定の大きさの電流を維持した後、電源供給装置の電源を遮断して、コイルの急放電による磁場の変化を確認した。このとき、急放電遅延時間は、巻線のターン (turn) 間の接触抵抗 (character i s t i c r e s i s t a n c e) による時定数 (t i m e c o n s t a n t) を基準として設定され得、実験では、遅延現象を確認できる判断指標である時定数として、磁場で正規化された値が特定の値となる時間地点を、磁場の減衰時間 (τ) と定めた。

【 0 0 5 9 】

その結果、無絶縁コイルの放電遅延現象もまた、部分絶縁技術を活用した部分絶縁コイルを通じて改善されたことを確認できる。すなわち、磁場で正規化された値が予め設定した特定の値となる時間地点を基準として、部分絶縁コイルが、無絶縁コイルに比べて放電時間が大幅に減少したことを確認できる。特に、部分絶縁コイルが、たとえ低い比率の絶縁物質を使用したにもかかわらず、むしろ、絶縁コイルに近似した性能特性を示していることに注目した。

【 0 0 6 0 】

これを通じて、絶縁物質が挿入される挿入区間と絶縁物質が挿入されない非挿入区間との比率を示す部分絶縁巻線の比率は、次式 2 のように、前記超電導コイルを用いた急放電遅延時間の大きさに反比例することがわかり、区間別の代表的な指標値の測定を通じて、部分絶縁巻線の比率と急放電遅延時間との相関関係を推定することが可能である。

【 0 0 6 1 】

部分絶縁巻線の比率 $1 / (\text{急放電遅延時間の長さ})$ (2)。

【 0 0 6 2 】

以上、本発明に関して、その様々な実施例を中心に説明した。本発明の属する技術分野における通常の知識を有する者は、本発明が、本発明の本質的な特性から逸脱しない範囲で変形された形態で具現され得るということを理解できるであろう。したがって、開示された実施例は、限定的な観点ではなく説明的な観点で考慮されなければならない。本発明

10

20

30

40

50

の範囲は、上述した説明ではなく特許請求の範囲に示されており、それらと同等の範囲内にある全ての相違点は、本発明に含まれるものと解釈されるべきである。

【産業上の利用可能性】

【0063】

上述した本発明の実施例によれば、無絶縁高温超電導線材を用いて巻線を行うにおいて、部分的に絶縁物質を挿入する部分絶縁技術を採用することによって、無絶縁巻線技術の充電・放電遅延現象を改善するだけでなく、絶縁コイルの低い熱的安定性の限界を克服して、速い充電・放電速度及び高い熱的安定性を有するコイルの作製を可能にする。その結果、速い充電・放電が要求されるエネルギー貯蔵装置（SMES）のような高温超電導電力機器に、本発明の実施例に係る高温超電導コイル及びその製造方法を広く活用できると

10

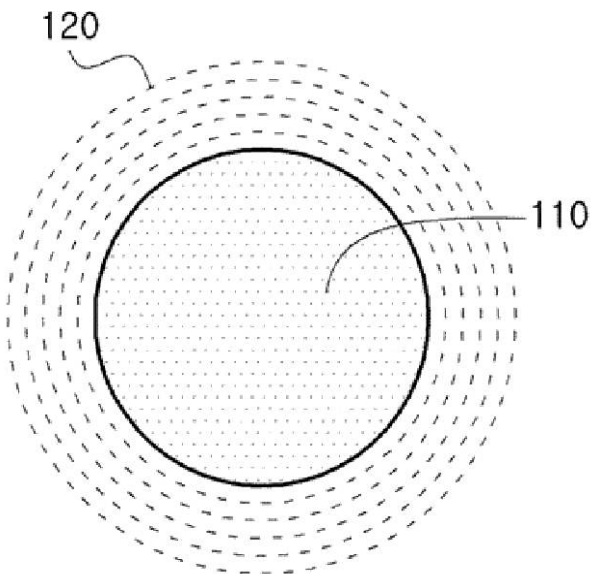
【符号の説明】

【0064】

110 ポビン、120 絶縁された高温超電導線材、210 無絶縁高温超電導線材、310 部分絶縁された高温超電導線材における絶縁された部分、320 部分絶縁された高温超電導線材における絶縁されていない部分。

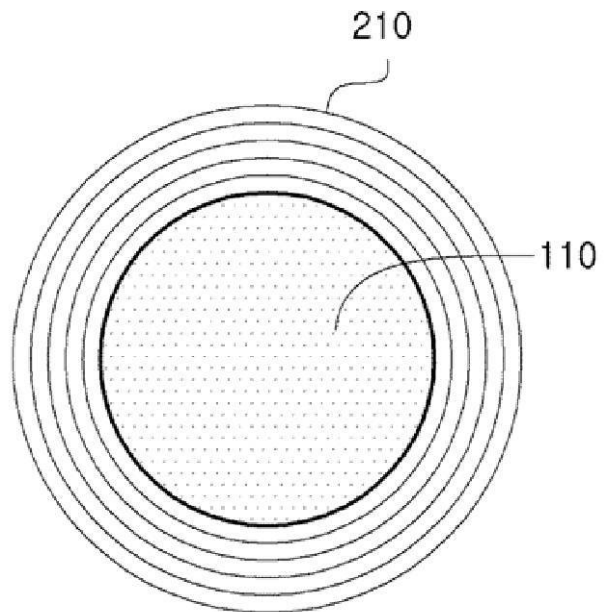
【図1】

FIG.1

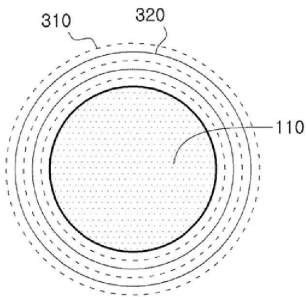


【図2】

FIG.2

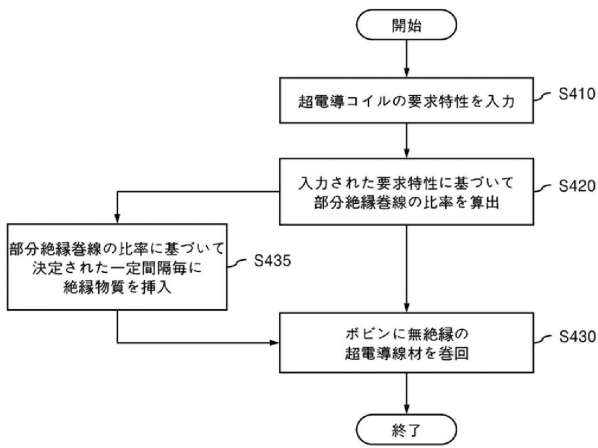


【図 3】
FIG.3



【図 4】

FIG.4



【図 5】

FIG.5

指標	単位	無絶縁コイル (Coil 1)	部分絶縁コイル (Coil 2)	絶縁コイル (Coil 3)
GdBCO coated conductor (SuNAM Corp.)				
使用された線材				
線材の幅：厚さ	[mm]	4.1	4.1	4.1
コイルの臨界電流(@ 77 K)	[A]	88	83	78
絶縁物質		N/A	Kapton	Kapton
コイルのターン数		60	60	60
絶縁方法		N/A	5ターン毎に 絶縁	ターン毎に 絶縁
内径：外径：高さ	[mm]	60; 84; 4.1	60; 85.32; 4.1	60; 91.2; 4.1
コイルの中心での B_f/A	[mT/A]	0.937	0.945	0.927
インダクタンス	[μ H]	392.1	390.7	386.4
使用された線材の長さ	[m]	13.52	13.65	14.21

フロントページの続き

(72)発明者 チェ, ユンヒョク

大韓民国 ソウル 136-774 ソンブク-ク チボン-ロ 21-ギル 19 102-1
203

(72)発明者 チェ, ジュフィ

大韓民国 キョンギ-ド 420-833 プチョン-シ ウォンミ-グ ブイル-ロ 817

審査官 池田 安希子

(56)参考文献 特開2014-161427(JP, A)

特開平06-176924(JP, A)

特開2000-277322(JP, A)

特開平11-135320(JP, A)

特開平05-055034(JP, A)

特開平04-343404(JP, A)

特開昭63-278308(JP, A)

特開昭60-086808(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01F 6/06

H01B 13/00