(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3936755号
(P3936755)
(45)発行日　平成19年6月27日(2007.6.27)　(24)登録日　平成19年3月30日(2007.3.30)

(51)Int.Cl.　F I
H01F 6/06 (2006.01)　H01F 5/08 ZAAC

請求項の数 7 (全 9 頁)

(21)出願番号　特願平8-91383
(22)出願日　平成8年4月12日(1996.4.12)
(65)公開番号　特開平8-298209
(43)公開日　平成8年11月12日(1996.11.12)
審査請求日　平成15年4月7日(2003.4.7)
(31)優先権主張番号　19515003.1
(32)優先日　平成7年4月24日(1995.4.24)
(33)優先権主張国　ドイツ(DE)

前置審査

(73)特許権者　302041073
エービービー　シュヴァイツ　アクチェンゲゼルシャフト
スイス国　バーデン　ブラウン　ボヴェリ　シュトラーセ　６
Ｂｒｏｗｎ　Ｂｏｖｅｒｉ　Ｓｔｒａｓｓｅ　６，ＣＨ－５４００　Ｂａｄｅｎ，Ｓｗｉｔｚｅｒｌａｎｄ
(74)代理人　100061815
弁理士　矢野　敏雄
(74)代理人　100094798
弁理士　山崎　利臣
(74)代理人　100099483
弁理士　久野　琢也

最終頁に続く

(54)【発明の名称】超電導コイル

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
ａ）高温超電導体から成る複数のコイルエレメントの少なくとも１つの層を有し、
ｂ）少なくとも１つの内側コイル（Ｎ１）および外側コイル（Ｎ２）が設けられている超電導コイルにおいて、
ｃ）前記内側コイル（Ｎ１）および外側コイル（Ｎ２）は、並列接続され相互に積層された、電気的および機械的に並列接続された複数の高温超電導体の層（Ｌ１、Ｌ２）を有し、
ｄ）内側コイル（Ｎ１）の外層（Ｌ２）は外側コイル（Ｎ２）の内層（Ｌ１）に電気的に直列に接続されており、また、その逆の関係を以て接続され、
ｅ）前記部分コイル（Ｎ１，Ｎ２）の少なくとも１つの層（Ｌ１，Ｌ２）は複数の並列的な導体を有し、
ｆ）コイル始端における前記並列的な導体の開始位置（Ｅ１～Ｅ８）、およびコイル終端における前記並列的な導体の終了位置（Ａ１～Ａ８）は、コイル周囲上に均等に分布されていることを特徴とする超電導コイル。
【請求項２】
ａ）該超電導コイルへの電流入力供給部（８）および該超電導コイルからの電流出力部（９）が設けられており、
ｂ）電流入力供給部（８）と開始位置（Ｅ１～Ｅ８）との間の始端側の導体路の長さと、終了位置（Ａ１～Ａ８）と電流出力部（９）との間の相応する終端側の導体路の長さと

の和は、超電導コイルのすべての導体において実質的に等しい、請求項１記載のコイル。
【請求項３】
始端側および終端側の導体路の長さの和は、実質的にコイルの一巻き分である、請求項２記載の超電導コイル。
【請求項４】
前記部分コイル（Ｎ１、Ｎ２；Ｈ１～Ｈ４）は少なくとも１つの常伝導体（６，７）を介して相互に電気的に接続されている請求項１から３までのいずれか１項記載の超電導コイル。
【請求項５】
部分コイル（Ｎ１、Ｎ２；Ｈ１～Ｈ４）は終端側で、スペーサ（１０、１１）で位置固定されるように構成されている請求項１から４までのうち１項記載の超電導コイル。
【請求項６】
高温超電導体は少なくとも１つの電気的に絶縁性のファイバにより囲繞されており、
前記高温超電導体は電気的に絶縁性のファイバで補強されたエポキシ樹脂内に、又はプラスチック内に埋め込まれている、請求項１から５までのいずれか１項記載の超電導コイル。
【請求項７】
少なくとも１つの低電圧コイル（Ｎ）と少なくとも１つの高電圧コイル（Ｈ）とを有するトランスにおいて用いられる請求項１から６までのうち少なくとも１つの超電導コイルの使用法において、
低電圧コイル（Ｎ）には、少なくとも１つの内側コイル（Ｎ１）および１つの外側コイル（Ｎ２）が同軸で設けられており、
前記内側コイル（Ｎ１）および外側コイル（Ｎ２）は、並列接続され相互に積層された、並列に案内された高温超電導体の複数の層（Ｌ１，Ｌ２）を有し、
１つの内側コイル（Ｎ１）の外層（Ｌ２）は外側部分コイル（Ｎ２）の内層（Ｌ１）と電気的に直列接続されており、また、その逆の関係を以て接続され、
前記部分コイル（Ｎ１，Ｎ２）の少なくとも１つの層（Ｌ１，Ｌ２）は複数の並列的な導体を有し、
コイル始端における前記並列的な導体の開始位置（Ｅ１～Ｅ８）、およびコイル終端における前記並列的な導体の終了位置（Ａ１～Ａ８）は、コイル周囲上に均等に分布されている超電導コイルの使用法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明が属する分野】
本発明は請求項１の上位概念による超電導コイル及び当該超電導コイルの使用法に関する。
【０００２】
【従来の技術】
本発明は、その特許請求の範囲の請求項１の上位概念により、例えばＤＥ－ＡＳ１５８９９９２において公知である従来技術に関するものであることを規定している。ここでは、直流電流給電式コイルにおいて、低温超電導体ベース上に複数の部分コイルが並列または直列に接続される。部分コイルは同軸でも同心でも配置され、これらの部分コイルは外側コイルおよび内側コイルを形成する。
【０００３】
『Finite Element Analysis of Transient Phenomena in Four-Wound Type of Superconducting Power Transformer』（IEEE Transactions on Magnetics, Vol.26, No.2 ９１７～９２０ページ）からは、１次コイルおよび２次コイルをそれぞれ２つずつ有する超電導体トランスが公知である。前記それぞれ２つの部分コイルはメインコイルおよび補助コイルを有し、（一次コイルおよび２次コイルの）２つの補助コイル間には高い漏れインダクタンス（leakage inductance）が設けられている。

【０００４】
ＥＰ－Ａ１－０３５３４３３では、Ａ１５結晶構造を有する金属間化合物の帯状の初期製造物を基にして、まず表面を洗浄して粗化した後、導体の全面に酸化物層をプラズマ溶射によって設け、この導体をコイルに巻き付け、反応熱処理で超電導体に変換させる。前記Ａ１５結晶構造を有する金属間化合物の例は、Nb_3SnまたはV_3Gaである。コイルに巻き付ける前に、絶縁された導体にはガラス織物層が取り付けられる。反応熱の後、コイルをエポキシ樹脂によって加工する。欠点は、液体ヘリウムによる冷却のコストが高いことである。
【０００５】
ＤＥ－Ａ１－４２３２７０３からは、高温超電導体から成るコイルを有する、軌道車両のための超電導トランスが公知である。ここでは、液体窒素によって冷却が行われる。コイルの構成については詳細に記載されていない。
【０００６】
ＤＥ３８０３２８５から公知の高温超電導体では、複数のプレハブ製造物（事前作製物）のスリット付きのシリンダリングが、当該スリットに隣接するコンタクト面を介して機械的締め合わせ又は溶接により電気的に接続され、トロイダル（環状）コイルを形成する。
【０００７】
ＤＥ３７２９１２５Ａ１からは、セラミックの超電導構成素子製造方法が公知であり、該方法ではシリンダ状の担体上に交番的に複数のきわめて薄い超電導性及び常伝導性の層が被着される。その種の複数の系列の後、その都度常伝導性材料からなる比較的厚い層および絶縁層が被着される。
【０００８】
ＤＥ－Ａ１－４２３２７０３からは高温超電導体から成るコイル装備の軌道車両用の超電導体トランスフォーマ（トランス）（変換器）が公知であり、ここでは液体窒素での冷却がなされる。コイルの構成は詳細には記載されていない。
【０００９】
ＤＥ－ＡＳ　１　５８９　９９２からは１つの超電導コイルの複数の部分巻線を並列的にまたは直列的に接続することが公知である。
【００１０】
ＤＥ３８　０３　２８５Ｃ２によって公知の高温超電導体では複数のプレハブ製造物（事前作製物）のスリット付きのシリンダリンクが、当該スリットに隣接するコンタクト面を介して機械的締め合わせ又は溶接により電気的に接続され、そして、トロイダル（環状）コイルを形成する。
【００１１】
ＤＥ３７　２９　１２５Ａ１からはセラミックの超電導構成素子作製方法が公知であり、該方法ではシリンダ状の担体上に交番的に複数のきわめて薄い超電導性及び常伝導性の層が被着される。その種の複数の系列の後その都度常伝導性材料からなる比較的厚い層および絶縁層が被着される。
【００１２】
【発明が解決しようとする課題】
本発明が目的ないし課題とするところは、冒頭に述べた形式の超電導コイルを、超電導体において交流電流損失が低減されるように発展させることである。
【００１３】
【課題を解決するための手段】
上記課題は、前記内側コイル（Ｎ１）および外側コイル（Ｎ２）は、並列接続され相互に積層された、電気的および機械的に並列接続された高温超電導体の層（Ｌ１、Ｌ２）を有し、内側コイル（Ｎ１）の外層（Ｌ２）は外側コイル（Ｎ２）の内層（Ｌ１）に電気的に直列に接続されており、また、その逆の関係を以て接続されるように構成することによって解決される。

【００１４】
本発明によって、内側コイルおよび外側コイルの内層と外層とを転置（変位）させることにより、交流電流損失を低減させることができる。本発明の有利な発展形態を引用請求項に規定する。
【００１５】
本発明の利点とするところは当該コイルは多面的に使用出来、比較的簡単に冷却可能であることである。各コイルごとの電流が高温超電導体の耐量（耐力）を越える場合、複数の導体が並列的に接続されて設けられる。
【００１６】
本発明の有利な実施例によれば内側及び外側部分の内側及び外側層の転置（変位）により交流損失が低減され得る。
【００１７】
【実施例】
次の本発明を実施例を用いて説明する。
【００１８】
図１には例えば６４０ＫＶＡの電圧用の超電導トランスを示し、該超電導トランスフォーマは、成層化された鉄心ないしトランスコア２、低電圧コイルＮ、その上方に位置する高電圧源１を有する。該低電圧コイルＮは動作中、出力側にて例えば４２０Ｖの低電圧U_Nを送出し、高電圧源１から例えば１８．７ＫＶの高電圧U_Hの供給を高電圧コイルは受ける。ΦはトランスコアにおけるＭ束である。
【００１９】
図２は２つのコイルＮ，Ｈの取り囲む横断面が矩形のトランスコア２の脚部の横断面を示す。上記トランスコアのところには低電圧コイルＮの２つの部分コイルＮ１，Ｎ２及び高電圧コイルＨの４つの部分コイルＨ１～Ｈ４が示してあり、上記部分コイルは当該矩形状のトランスコア２の内部空間内及びクライオスタット３の内部空間内に設けられている。作動中に液状窒素で充填されるクライオスタット３は２５ｍｍの厚さである。低電圧コイルＮと高電圧コイルＨとの間の冷却チャネルは５ｍｍの幅を有する。トランスコア２とクライオスタット３との間の間隔は１５ｍｍである。部分コイルＮ１，Ｈ２～Ｈ４は５ｍｍ厚であり、部分コイルＮ２ないしＨ１は８ｍｍないし７ｍｍである。部分コイルＮ１はクライオスタット３からは２５ｍｍの間隔を有し、部分コイルＨ４は３０ｍｍの間隔を有する。
【００２０】
部分コイルＮ１，Ｎ２；Ｈ１～Ｈ４は５ｍｍの相互間隔を有する。ここで、部分コイルＮ１，Ｎ２は各２つの層Ｌ１，Ｌ２を有する。
【００２１】
それぞれの帯状の高温超電導体は複数のワイヤ、線材ないしファイバ（フィラメント）からなり、これは$Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$からなる。それらは銀マトリクス内に埋め込まれる。上記超電導体は２．５ｍｍの幅及び０．２５ｍｍの厚さを有する。当該の高温超電導体はファイバ補強され、有利にはグラスファイバ補強されたエポキシ樹脂内に、又は金属のような類似の熱膨張特性付きのプラスチック内に埋め込まれる。高温超電導体は部分コイルＮ１の層Ｌ１，Ｌ２を形成する。
【００２２】
エポキシ樹脂又はプラスチック内への埋め込みの厚さｄは半径方向の力方向で次のように選定されており、有利には＞２ｍｍであるように選定されており、即ち、短絡の場合に生じる機械的力が吸収されその際高温超電導体が０．２％の臨界的な膨張を越えることのないように選定されている。当該の力方向と逆の方向ではエポキシ樹脂又はプラスチックの厚さｃは非常に薄く、有利には≦２ｍｍ、殊に≦０．６ｍｍであるので、高温超電導体内に生じる損失熱は大きな効率で冷却媒体へ放出され得る（参照図３）。１つの低電圧コイルＮ１，Ｎ２の高温超電導体の隣接する層Ｌ１，Ｌ２間の間隔は同様に≦２ｍｍ、有利には≦０．６ｍｍである。

【００２３】
図３は高温超電導体のそれぞれ２つの隣接層Ｌ１，Ｌ２を有する。図２による層は低電圧コイルＮ１，Ｎ２を示す。上記の層はグラスファイバ補強されたエポキシ樹脂内に埋め込まれ、終端側にて、常伝導体又は高温超電導体から成る電気的導体を介して直列に、かつ、導体コネクタないしコンタクトないし銀板５を介して並列に接続されている。複数の層Ｌ１，Ｌ２の場合、図示の接続におけるように各層間の電流が転置（変位）せしめられ、それにより、交流損失が最小化される。このことは現在知られている高温超電導体により達成され得る最良の転置技術である。上記コイル部分における接触接続はすべての層Ｌ１．Ｌ２に共通な銀板５へのろう付けにより確保される。

【００２４】
各コイルＮ毎の電流が高温超電導体の耐量を越えると、殊に低電圧コイルＮの場合、複数の導体が並列的に接続される。

【００２５】
図４は図３の実施例に対して代替選択的に、断片的に且つ斜視的に７つの並列導体を有する低電圧コイルＮ１の層Ｌ１を示す。

【００２６】
図５及び図６はコイル内へのほぼ点状の電流入力供給部８、換言すれば局所的に狭い範囲に限定された電流給電ないし高熱の周囲から低温のクライオスタット３内へのコイルからの点状電流出力部９を示す。

【００２７】
有利にはコイル始端ないしコイル終端における部分コイルＮ１，Ｎ２；Ｈ～Ｈ１～Ｈ４の入力線路Ｅ１～Ｅ８、出力線路Ａ１～Ａ８は等しい相互間隔を有し、ここにおいて、入力線路Ｅ１～Ｅ８，出力線路Ａ１～Ａ８は均一にコイル周囲に亘って分布されている。高温超電導体の各々の始端及び終端側導体路の長さの和はほぼ等しく、ここで入力側にて比較的短い導体路Ｅ１が出力側Ａ１にて比較的長くなっている。電流入力及び電流出力部９を有する高温超電導体の端部のその種接触接続により丁度１つのコイル巻回が実現され得る。それによりコンパクトな構成形態が達成される。

【００２８】
低電圧コイルＮ（図３参照）の下端における内側ないし外側部分コイルＮ１，Ｎ２の内層ないし外層の転置（変位）の結果、電流は均一に種々の層Ｌ１，Ｌ２へ分割される。それにより交流損失の所期の最小化が行われる。

【００２９】
図７は２つの支持体リンクないし下方及び上方スペーサ１０、１１への部分コイルの固定（締着）の様子を示し、ここで、前記の２つの支持体リンクないし下方及び上方スペーサ１０、１１は、少なくとも１つの電気的絶縁性の引張（締着）棒（バー）１２により０．７５ｍの所定の相互間隔に保持される。部分コイル（Ｎ１、Ｘ２；Ｈ１～Ｈ４）は、１５ｍｍの残留する剰余深度（ａ）のもとで、５ｍｍの所定長ｂに亘ってスペーサ１０，１１内に侵入する。就中、短絡の際生じる、軸方向の力は当該スペーサ１０，１１により受容される。

【００３０】
低電圧源Ｎは１３の巻数（ターン）で設計されており、上記巻数のうち図３にはたんに７のみを示し、２つの部分コイルＮ１，Ｎ２は各々２つの導体層Ｌ１，Ｌ２毎に３６の導体が並列的に接続されており、その結果７２の線路が各巻回（ターン）を有する１つの部分コイル上に巻回される。第１３の巻回（ターン）は電流入力側８及び電流出力側９により形成される。

【００３１】
重要なことはプレハブ（事前製作）製造物ではなく仕上がり済みの高温超電導体が１５ｃｍの最小半径を有するコイルへ巻回されることである。

【００３２】
【発明の効果】

本発明によれば、冒頭に述べた形式の超電導コイルを高温超電導体により構成され得、かつ、大きな巻回数の場合にも比較手わずかな構成高さで済まされるように発展させること、及び当該コイルは多面的に使用出来、比較的簡単に冷却可能であるという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図１】　トランスの基本接続図である。

【図２】　図１のトランスの磁気コア及び冷却低、高電圧部分コイルの部分断面図である。

【図３】　並列的な層ないし導体を有する図２の低電圧コイルの概念図である。

【図４】　複数の並列導体を有する低電圧部分コイルの一部を示す斜視図である。

【図５】　コイルの入力側における電流入力部の基本構成の概念図である。

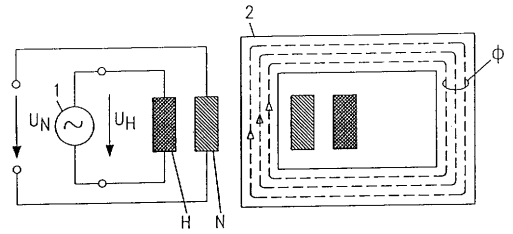
【図６】　コイルの入力側における電流入力部の基本構成の概念図である。

【図７】　図１のトランスフォーマ（トランス）の部分コイルの締結固定の様子を示す概念図である。

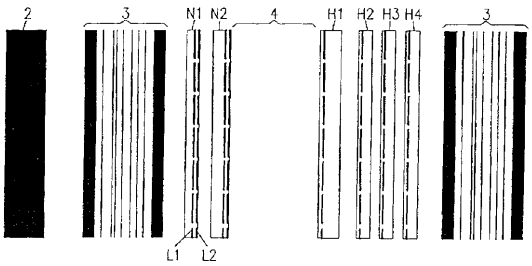
【符号の説明】

１	高電圧源、網
２	トランスフォーマ（トランス）コア
３	クライオスタット
４	ＮとＨ間の冷却チャネル
５	線路コネクタ、コンタクト及び銀板
６	電気線路、常伝導体
７	電気線路、常伝導体
８	電流入力部
９	電流出力部
１０	Ｈ、Ｎに対する下方ないし上方スペーサ
１１	Ｈ、Ｎに対する下方ないし上方スペーサ
１２	引張（締着）棒

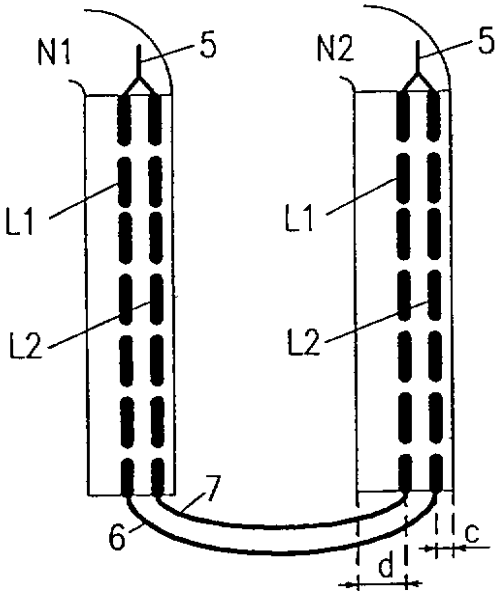
【図１】


2
1
U_N
U_H
Φ
H
N

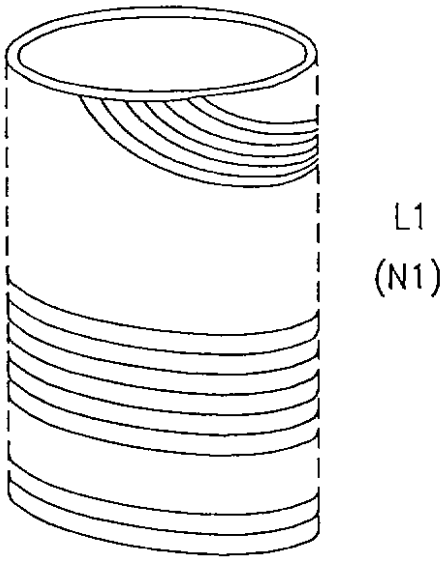
【図２】


2
3
N1 N2
4
H1 H2 H3 H4
3
L1 L2

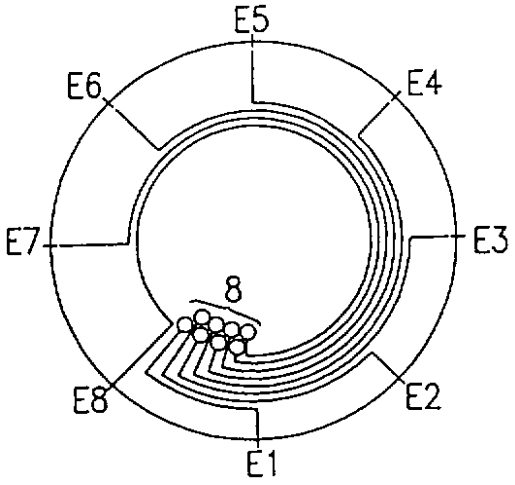
【図３】


N1
5
N2
5
L1
L1
L2
L2
7
6
c
d

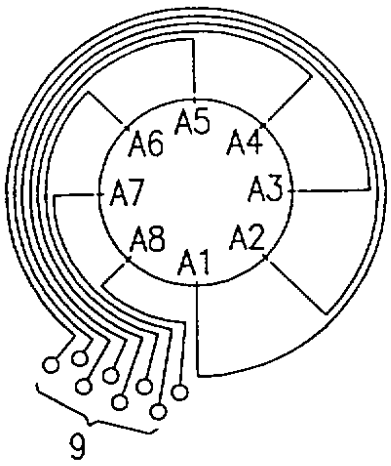
【図４】


L1
(N1)

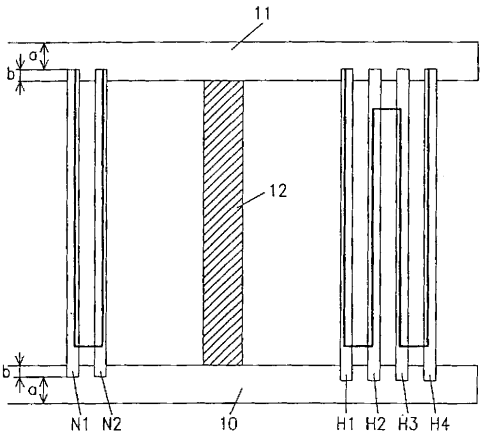
【図５】


E5
E6
E4
E7
E3
8
E8
E2
E1

【図６】



【図７】



フロントページの続き

(72)発明者 アントン デーマールメルス
スイス国 レンツブルク ヒンテレ キルヒガッセ １１
(72)発明者 スヴェン ヘルンフェルト
スウェーデン国 ヴェステロース イェートガータン ４アー
(72)発明者 フリードリッヒ ケーニッヒ
スイス国 オーバーベーツベルク ルーマーマット ２３６
(72)発明者 ヤーコプ リュナー
スイス国 チューリッヒ ゾンタークスシュタイク ３
(72)発明者 ホセ マリア リヴェラ
スイス国 ローザンヌ リュ デュ リサロ ７

審査官 近藤 聡

(56)参考文献 特開平０１－２４１８０４（ＪＰ，Ａ）
実開平０３－０６７４１４（ＪＰ，Ｕ）
特開昭６４－０２３５０８（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－０５５０３４（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－２１８２１５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)
H01F 6/00 ZAA