(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6065643号
(P6065643)

(45)発行日　平成29年1月25日(2017.1.25)　(24)登録日　平成29年1月6日(2017.1.6)

(51)Int.Cl.		F I		
H01F 41/00	(2006.01)	H01F	41/00	D
H01F 36/00	(2006.01)	H01F	36/00	

請求項の数 3　(全 9 頁)

(21)出願番号　特願2013-35771(P2013-35771)
(22)出願日　平成25年2月26日(2013.2.26)
(65)公開番号　特開2014-165366(P2014-165366A)
(43)公開日　平成26年9月8日(2014.9.8)
審査請求日　平成28年1月14日(2016.1.14)

(出願人による申告)平成２３年３月１８日付け独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構委託研究契約に基づく開発項目「イットリウム系超電導電力機器技術開発」に係る委託研究、産業技術力強化法第１９条の適用を受ける特許出願

(73)特許権者　000005234
富士電機株式会社
神奈川県川崎市川崎区田辺新田１番１号
(74)代理人　100075166
弁理士　山口　巖
(74)代理人　100133167
弁理士　山本　浩
(72)発明者　富岡　章
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　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

審査官　右田　勝則

最終頁に続く

(54)【発明の名称】超電導変圧器の交流損失測定方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

液体冷媒に浸漬して極低温容器に収容した超電導コイルよりなる一次側、二次側巻線の少なくとも一方の巻線をスター結線した三相超電導変圧器にキャンセル法を適用して交流損失を測定する超電導変圧器の交流損失測定方法において、

スター結線した一次、二次いずれか一方側の巻線から選択した二つの相巻線の外部端子に単相電源、およびキャンセル法の測定回路を接続するとともに、前記相巻線に対応する他方側巻線の相巻線の外部端子間を短絡し、この状態で選択した二つの相巻線間に単相電力を供給して交流損失の測定を行うことを特徴とする超電導変圧器の交流損失測定方法。

【請求項２】

請求項１の交流損失測定方法において、スター結線した一次側巻線の各相をＵ，Ｖ，Ｗ相として、外部から単相電力を供給する外部端子の組合せをＵ－Ｖ相、Ｖ－Ｗ相、Ｗ－Ｕ相の三通りにしてそれぞれ交流損失の測定を分けて行い、その各測定値の合算値を除数２で除算して三相超電導変圧器全体としての交流損失を求めることを特徴とする超電導変圧器の交流損失測定方法。

【請求項３】

請求項１の交流損失測定方法において、スター結線した二次側巻線の各相をｕ，ｖ，ｗ相として、外部から単相電力を供給する外部端子の組合せをｕ－ｖ相、ｖ－ｗ相、ｗ－ｕ相の三通りにしてそれぞれ交流損失の測定を行い、その各測定値の合算値を除数２で除算して三相超電導変圧器全体としての交流損失を求めることを特徴とする超電導変圧器の交

流損失測定方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、電力用の三相超電導変圧器に適用する超電導変圧器の交流損失測定方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
近年、超電導機器の研究、開発が進められており、その一つに電力用の超電導変圧器がある。従来では超電導コイルを臨界温度以下に保つために液体ヘリウムを用いることが必要であったが、昨今では高温超電導体の出現により液体窒素温度（７７Ｋ）近傍の温度条件で超電導機器を構成することが可能となり、超電導機器の優位性が従来よりも大きくなっている。
【０００３】
ところで、超電導コイルは超電導状態において電気抵抗がほぼゼロで、抵抗損失（ジュール損失）を発生しないため効率は極めて高いが、超電導コイルに交番電流を通電したり変動磁界を加えたりする超電導変圧器では、通電に伴い常電導変圧器の負荷損に相当する交流損失（主としてヒステリシス損失)が発生する。
【０００４】
しかも、超電導変圧器はその超電導コイルを極低温容器（クライオスタット）に収容して冷凍機で冷却することから、この冷凍機の冷凍能力やコイル容器の断熱性等を選定するためにも、超電導変圧器の交流損失を測定、評価することが重要である。
【０００５】
一方、超電導コイルに発生する交流損失は常電導機器の損失値に比べると極めて小さいため、常電導機器に対して一般的に用いられる電力量計、四端子法では交流損失の測定が困難である。そこで、超電導コイルの交流損失測定法については従来から様々な研究、提案がなされており、その一つに"キャンセル法"と呼ばれる電気的測定法が知られている（例えば、非特許文献１参照）。
【０００６】
この"キャンセル法"は、交番電流の通電によって超電導コイルに誘起されるインダクタンス成分の電圧を、別途用意したキャンセルコイルでキャンセルして抵抗成分による交流損失を測定する方法であり、次に、単相の超電導変圧器に適用する"キャンセル法"の測定回路、および交流損失の測定原理を図３で説明する。
【０００７】
図３において、１は被測定の単相超電導変圧器、２は超電導変圧器１の一次側巻線、３は二次側巻線、４は一次側巻線２に給電する電源（単相交流電源）であり、電源４から超電導変圧器１の一次側巻線２に給電する回路には、シャント抵抗５とキャンセルコイル６を直列に結線し、さらにキャンセル回路７、および電圧測定器８を図示のように組み合わせて交流損失測定回路を構成している。なお、測定時には変圧器１の二次巻線３は短絡しておく。
【０００８】
上記の交流損失測定回路においては、変圧器１の一次側巻線２の誘起電圧、およびキャンセルコイル６の出力電圧（電流との位相差：π／２）をキャンセル回路７に入力し、一次側巻線２のインダクタンス成分の電圧をキャンセルコイル６の出力電圧でキャンセリングする。また、キャンセル回路７から出力するキャンセル後の電圧とシャント抵抗５で検出した一次巻線２の電流に比例した電圧を電圧測定器８に入力し、電圧測定器８にて前記電流（シャント抵抗５の電圧）にキャンセル後の電圧を乗じて積分することにより、変圧器１の交流損失を求める。この"キャンセル法"により、被測定の超電導変圧器１が単相であれば、その一次側巻線２に流れる電流とキャンセルコイル５に流れる電流の位相が同一となるため、交流損失を測定できる。

【０００９】
なお、超電導コイルの交流損失測定法として、前記した電気的測定法のほかに、交流損失により発生する熱量が液体窒素などの液体冷媒が気化するときの気体量に変換されることを利用して交流損失を測定する熱的測定法も知られている（例えば、特許文献１参照）。
【００１０】
この熱的測定法は、被測定の超電導コイルと計測器を電気的に接続する必要が無いため高電圧の環境でも測定可能であるが、極低温容器に収容した超電導コイルを、液体窒素の飽和温度（77.3K）より低い温度、例えば約65～70Kで冷却する通常の超電導変圧器においては、超電導コイルに交流損失による発熱があっても液体窒素中に気泡が発生することがないため、この熱的測定方法を適用することができない。そこで、先記した電気的測定方法（"キャンセル法"）を適用することになる。
【先行技術文献】
【非特許文献】
【００１１】
【非特許文献１】林 秀美、他2名、"冷凍機冷却式高温超電導コイル"、図10、［online］、富士時報 Vol,72 No.10(1999)、［平成２５年２月２０日検索］、インターネット＜ＵＲＬ：http://www.fujielectric.co.jp/company/jihou#archives/pdf/72-10/FEJ-72-10-0000-1999.pdf＞
【特許文献】
【００１２】
【特許文献１】特開２００６－１７６５６号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【００１３】
ところで、先記した"キャンセル法"を電力用の三相超電導変圧器に適用して交流損失を測定しようとする場合、次記のような課題がある。
【００１４】
すなわち、三相超電導変圧器は、三台の単相変圧器を組み合わせて三相変圧器とする方式もあるが、一般には図４（ａ）～（ｅ）で示すように、変圧器鉄心９の脚部に巻装した一次側のＵ，Ｖ，Ｗ相巻線１０、および二次側のｕ，ｖ，ｗ相巻線１１をスター結線（以下、Ｙ結線ともいう。）、もしくはデルタ結線（以下、△結線ともいう。）して、液体冷媒（液体窒素）１２を満たした極低温容器のタンク１３に収容し、該タンク１３の頂部に配置した外部リード１４、１５を介して一次側、二次側の各相巻線の端子を引き出すようにした組立構造になる。なお、１６はスター結線の中性点Ｏに接続する相巻線間の渡り線である。
【００１５】
また、電力用の三相変圧器では、中性点接地への対応、および第３高調波の発生防止のために、一般的には図４（ｃ）～（ｅ）で示すように一次側（高圧側）、二次側（低圧側）の各相巻線をＹ－Ｙ結線、Ｙ－△結線、もしくは△－Ｙ結線とする結線方式を採用している。
【００１６】
ところで、図４（ｃ）～（ｅ）のように結線した三相超電導変圧器について、先記の"キャンセル法"を適用して交流損失を測定しようとすると、三相変圧器のＹ結線、△結線によって相電圧と線間電圧、相電流と線電流が異なる関係から、交流損失を正しく測定することができなくなるという問題があり、次にＹ結線の場合について説明する。
【００１７】
すなわち、図４（ｃ）のＹ－Ｙ結線において、Ｕ－Ｖ端子間の線間電圧はＵ相の相電圧とＶ相の相電圧とのベクトル合成電圧（相電圧の√３倍）となり、この線間電圧がキャンセル回路７（図３参照）に入力される。

【００１８】
一方、交流損失測定回路のキャンセルコイル６（図３参照）をＹ結線のＵ端子と連なる電線に接続した場合には、Ｕ端子に流れる線電流によってキャンセルコイル６に誘起された電圧がキャンセル電圧としてキャンセル回路７に入力されることになるが、三相巻線のＵ端子に流れる電流はＵ端子から中性点Ｏを経てＶ端子およびＷ端子に分流して流れるので、Ｕ端子に接続したキャンセルコイル６に流れる電流はＵ－Ｖ間とＵ－Ｗ間に分流して流れる電流の和となるので、キャンセルコイル６を介してキャンセル回路７に入力されるキャンセル電圧はＵ－Ｖ間とＵ－Ｗ間に分流して流れる電流の和に対応した電圧となる。このために、Ｙ結線の変圧器巻線に 先記の"キャンセル法"をそのまま適用しても、その巻線に誘起するインダクタンス成分の電圧を適正にキャンセリングすることができず、その結果として交流損失を正しく測定できなくなる。

【００１９】
本発明は上記の点に鑑みなされたものであり、その目的は前記課題を解決し、図４（ｃ）～（ｅ）に示した結線方式、すなわち一次側、二次側巻線の少なくとも一方の巻線をスター結線した結線方式の三相超電導変圧器に"キャンセル法"を適用して交流損失を正しく測定できるようにした超電導変圧器の交流損失測定方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【００２０】
前記目的を達成するために、本発明によれば、液体冷媒に浸漬して極低温容器に収容した超電導コイルよりなる一次側、二次側巻線の少なくとも一方の巻線をスター結線した三相超電導変圧器にキャンセル法を適用して交流損失を測定する超電導変圧器の交流損失測定方法において、
スター結線した一次、二次いずれか一方側の巻線から選択した二つの相巻線の外部端子に単相電源、およびキャンセル法の測定回路を接続するとともに、前記相巻線に対応する他方側巻線の相巻線の外部端子間を短絡し、この状態で選択した二つの相巻線間に単相電力を供給して交流損失の測定を行うものとし、
好ましくは、スター結線した前記一次側巻線の各相をＵ，Ｖ，Ｗとして、外部から単相電力を供給する外部端子の組合せをＵ－Ｖ、Ｖ－Ｗ、Ｗ－Ｕの三通りにしてそれぞれ交流損失の測定を行い、その各測定値の合算値を除数２で除算して三相超電導変圧器全体としての交流損失を求めるようにする。

【００２１】
また、スター結線した前記二次側巻線の各相をｕ，ｖ，ｗ相として、外部から単相電力を供給する外部端子の組合せをｕ－ｖ相、ｖ－ｗ相、ｗ－ｕ相の三通りにしてそれぞれ交流損失の測定を行い、その各測定値の合算値を除数２で除算して三相超電導変圧器全体としての交流損失を求めるようにしてもよい。

【発明の効果】

【００２２】
上記の交流損失測定によれば、単相電源からの給電により三相超電導変圧器の巻線に通流する電流と、給電回路に接続したキャンセルコイルに流れる電流とを同一とすることができ、これにより三相超電導変圧器の巻線に誘起するインダクタンス成分の電圧をキャンセルコイルの誘起電圧でキャンセリングして交流損失を測定することができる。

【００２３】
また、スター結線した前記一次側巻線の各相をＵ，Ｖ，Ｗとして、外部から単相電力を供給する端子の組合せをＵ－Ｖ、Ｖ－Ｗ、Ｗ－Ｕの三通りにしてそれぞれ交流損失の測定を行い、その各測定値の合算値を除数２で除算することにより、三相超電導変圧器全体としての交流損失（各相巻線に生じる交流損失の総和）を測定することができる。

【００２４】
また、スター結線した前記二次側巻線の各相をｕ，ｖ，ｗとして、外部から単相電力を供給する端子の組合せをｕ－ｖ、ｖ－ｗ、ｗ－ｕの三通りにしてそれぞれ交流損失の測定を行い、その各測定値の合算値を除数２で除算することによっても、三相超電導変圧器全

体としての交流損失（各相巻線に生じる交流損失の総和）を測定することができる。
【００２５】
これにより、液体冷媒に浸漬して極低温容器に収容した超電導コイルよりなる一次側、二次側巻線の少なくとも一方の巻線をスター結線した三相超電導変圧器について、その容器の頂部に配置して外部に引き出した一次側、二次側の各相巻線に対応する外部リードを選択して試験用の電源、交流損失測定回路、および短絡線を配線するだけで、変圧器巻線の内部結線はそのままにした状態で、キャンセル法を適用して三相超電導変圧器の負荷特性（交流損失）を正しく測定、評価することができる。
【図面の簡単な説明】
【００２６】
【図１】Ｙ－Ｙ結線の三相超電導変圧器を対象とした本発明による交流損失測定法の説明図であり、（ａ）、（ｂ）、（ｃ）は三通りに分けて行う各測定ステップに対応した測定回路の接続図である。
【図２】Ｙ－△結線の三相超電導変圧器を対象とした本発明による交流損失測定法の測定回路図である。
【図３】単相超電導変圧器に適用して交流損失を測定する"キャンセル法"の測定回路図である。
【図４】本発明の交流損失測定法を適用する三相超電導変圧器の構成図であって、（ａ）、（ｂ）はその組立構造の模式正面図、および側面図、（ｃ）～（ｅ）は一次側、二次側巻線の各種結線方式を表す結線図である。
【発明を実施するための形態】
【００２７】
以下、この発明による交流損失測定方法の実施の形態を図１、図２に示す実施例１、２に基づいて説明する。なお、各実施例の図中で、図３、図４に対応する部材には同じ符号を付してその説明は省略する。
【実施例１】
【００２８】
まず、図４（ｃ）に示したＹ－Ｙ結線の三相超電導変圧器を例に、"キャンセル法"を適用して変圧器の交流損失を測定する実施例１の測定回路、およびその測定ステップ－１～３を図１（ａ）～（ｃ）により説明する。
【００２９】
すなわち、Ｕ，Ｖ，Ｗ相、およびｕ，ｖ，ｗ相の相巻線をＹ結線（スター結線）した三相変圧器巻線１７の一次側巻線１０と二次側巻線１１について、図１（ａ）の測定ステップ－１では、一次側巻線１０のＵ相巻線、Ｖ相巻線を選択してその外部端子Ｕ－Ｖの端子間に単相の電源４の給電線を接続し、その給電回路には図３の交流損失測定回路と同様にシャント抵抗５、キャンセルコイル６を直列に接続して、Ｗ相の外部端子Ｗは開放しておく。一方、二次側巻線１１では、外部端子ｕ－ｖの間に短絡線１８を接続して短絡し、ｗ端子は開放とする。なお、前記の外部端子Ｕ，Ｖ，Ｗ、およびｕ，ｖ，ｗは、図４（ａ）、（ｂ）の組立構造において、変圧器容器１３の頂部に配した外部リード１４、１５を介して外部に引き出している。
【００３０】
上記した測定ステップ－１で電源４から変圧器に単相電力を給電すると、電流は一次側のＵ相およびＶ相巻線を直列に通流し、そのＵ，Ｖ端子間の線間電圧がキャンセル回路７に入力される。また、シャント抵抗５、キャンセルコイル６には前記電流と同じ位相の電流が流れ、キャンセルコイル６には前記電流と位相がπ／２ずれた電圧が誘起し、この誘起電圧がキャンセル回路７に入力される。
【００３１】
これにより、キャンセル回路７において、Ｕ相およびＶ相巻線のインダクタンス成分電圧がキャンセルコイル６の誘起電圧でキャンセリングされ、キャンセル後の電圧がキャンセル回路７から後段の電圧測定器８に出力される。そして、この電圧測定器８により、前

記のキャンセル後の電圧とシャント抵抗５で検出した電流に比例した電圧を乗じて積分することにより、Ｕ－Ｖ端子間のＵ相、Ｖ相巻線に発生する交流損失を測定できる。

【００３２】

また、図１（ｂ）で示すように電源４を一次側巻線１０のＶ－Ｗ端子間に接続し、二次側巻線１１のｖ－ｗ端子間を短絡した測定ステップ－２、および図１（ｃ）で示すように電源４を一次側巻線１０のＷ－Ｕ端子間に接続し、二次側巻線１１のｗ－ｕ端子間を短絡した測定ステップ－３の状態で図１（ａ）と同様な測定を行うことにより、Ｖ－Ｗ端子間、およびＷ－Ｕ端子間の交流損失を測定できる。

【００３３】

ここで、図１（ａ）の測定ステップ－１で変圧器巻線のＵ相巻線に発生する交流損失をＱｕ、Ｖ相巻線に発生する交流損失をＱｖ、Ｕ－Ｖ端子間で測定した交流損失の測定値をＱ１とすると、Ｑ１＝Ｑｕ＋Ｑｖの関係になる。

【００３４】

同様に、図１（ｂ）の測定ステップ－２で発生するＶ相巻線の交流損失をＱｖ、Ｗ相巻線に発生する交流損失をＱｗ、Ｖ－Ｗ端子間で測定した交流損失の測定値をＱ２とすると、Ｑ２＝Ｑｖ＋Ｑｗの関係になる。

【００３５】

また、図１（ｃ）の測定ステップ－３で発生するＷ相巻線の交流損失をＱｗ、Ｕ相巻線に発生する交流損失をＱｕ、Ｗ－Ｕ端子間で測定した交流損失の測定値をＱ３とすると、Ｑ３＝Ｑｖ＋Ｑｗの関係になる。

【００３６】

上記のように、三相変圧器の交流損失測定を、測定ステップ－１、測定ステップ－２、測定ステップ－３の三通りに分けて行うことにより、各測定ステップで前記Ｑ１、Ｑ２、Ｑ３の測定値が得られ、この測定値を合算すると、

Ｑ１＋Ｑ２＋Ｑ３＝（Ｑｕ＋Ｑｖ）＋（Ｑｖ＋Ｑｗ）＋（Ｑｖ＋Ｑｗ）

＝２（Ｑｕ＋Ｑｖ＋Ｑｗ）・・・（１）式

となる。

【００３７】

そこで、前記した三通りの各測定ステップ（ステップ－１、ステップ－２、ステップ－３）で得た（１）式の合算値Ｑ１＋Ｑ２＋Ｑ３を除数"２"で除算することにより、三相超電導変圧器全体の交流損失Ｑｕ＋Ｑｖ＋Ｑｗを求めることができる。

【００３８】

なお、この実施例１では、交流損失の測定試験で電源４から一次側巻線１０に流す電流値を定格電流に設定したが、前記の交流損失Ｑ１、Ｑ２、Ｑ３を測定する各測定ステップの給電電流が同一であれば定格電流に限定されない。

【００３９】

また、図示の実施例ではＹ－Ｙ結線の変圧器について、二次側巻線１１の方を短絡しておき、一次側巻線１０の外部端子に電源４から単相交流電圧を印加して交流損失を測定する例を示したが、一次側巻線１０の方を短絡しておき、二次側巻線１１の外部端子に単相交流電圧を印加しても前記と同様に変圧器の交流損失を測定できる。より具体的には、Ｙ結線した二次側巻線１１に対して外部から単相電力を供給する外部端子の組合せをｕ－ｖ相、ｖ－ｗ相、ｗ－ｕ相の三通りにしてそれぞれ"キャンセル法"を適用した交流損失の測定を行い、その各測定値の合算値を除数２で除算することによってＹ－Ｙ結線の三相超電導変圧器全体としての交流損失を求めることができる。

【実施例２】

【００４０】

次に、本発明の実施例２として、図４（ｄ）に対応するＹ－△結線の三相超電導変圧器に適用する"キャンセル法"の交流測定回路を図２に示す。

【００４１】

この実施例においては、△結線した二次側巻線１１の端子u－v－w相互間を短絡線１８

で短絡し、この状態で先記実施例１と同様に、Ｙ結線した一次側巻線１０のＵ－Ｖ端子、Ｖ－Ｗ端子、およびＷ－Ｕ端子の三通りに分けて電源４から単相交流電圧を印加することで、三相変圧器全体の交流損失を測定することができる。

【００４２】

なお、この実施例においては、図示のように電源４を一次側巻線１０のＵ－Ｖ端子に接続し、Ｗ相を開放した状態で単相交流電圧を印加した場合には、二次側巻線１１のｕ－ｗ間の誘起電圧は零となるため、二次側のｗ相巻線には電流が流れない。したがって、回路的には図１（ａ）の測定ステップ－１の回路に等価と見なすことができ、これにより"キャンセル法"を適用してＹ－△結線の交流損失を測定できる。

【００４３】

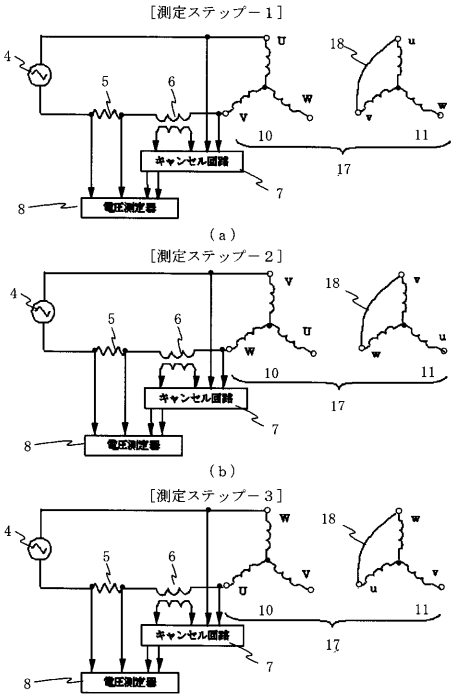
また、上述の実施例２では、図４（ｄ）に対応するＹ－△結線の三相超電導変圧器について"キャンセル法"を適用して交流損失を測定する例を示したが、本発明は、図４（ｅ）に対応する△－Ｙ結線の三相超電導変圧器の交流損失測定にも適用することができる。すなわち、Ｙ－△結線の変圧器については、図２で説明したように、△結線した二次側巻線１１の方を短絡しておき、Ｙ結線した一次側巻線１０の外部端子に電源４から単相交流電圧を印加して交流損失を測定するが、これに対して、△－Ｙ結線の変圧器については、△結線した一次側巻線１０の方を短絡しておき、Ｙ結線した二次側巻線１１の外部端子に単相交流電圧を印加することにより交流損失を測定することができる。より具体的には、Ｙ結線した二次側巻線１１に対して外部から単相電力を供給する外部端子の組合せをｕ－ｖ相、ｖ－ｗ相、ｗ－ｕ相の三通りにしてそれぞれ"キャンセル法"を適用した交流損失の測定を行い、その各測定値の合算値を除数２で除算することによって△－Ｙ結線の三相超電導変圧器全体としての交流損失を求めることができる。

【符号の説明】

【００４４】

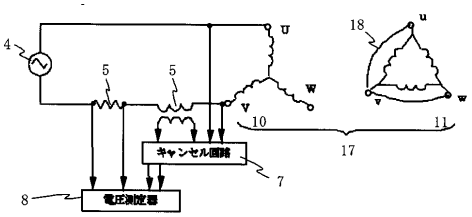
４：単相交流電源
５：シャント抵抗
６：キャンセルコイル
７：キャンセル回路
８：電圧測定器
９：変圧器鉄心
１０：一次側巻線
１１：二次側巻線
１２：液体窒素（冷媒）
１３：変圧器容器
１４，１５：外部リード
１６：中性点接続用の渡り線
１７：三相超電導変圧器の巻線
１８：短絡線
Ｕ，Ｖ，Ｗ：一次側巻線の外部端子
ｕ，ｖ，ｗ：二次側巻線の外部端子
Ｏ：中性点

【図１】

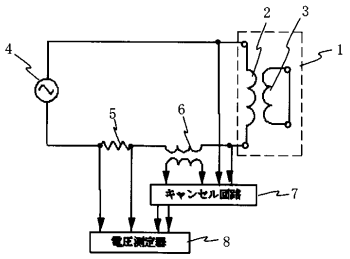


4：電源
5：シャント抵抗
6：キャンセルコイル
7：キャンセル回路
8：電圧測定器
10：一次側巻線
11：二次側巻線
18：短絡線

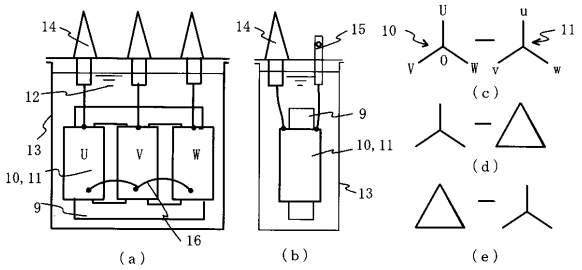
【図２】



【図３】



【図４】



フロントページの続き

(56)参考文献 米国特許出願公開第２０１１／０１０２００１（ＵＳ，Ａ１）
特開平１１－０９７２６０（ＪＰ，Ａ）
特開昭５５－０２４６４０（ＪＰ，Ａ）
実開昭６０－１１８２２８（ＪＰ，Ｕ）
特開２０１４－０７８５９７（ＪＰ，Ａ）
特開２０１４－１４９２６４（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－１４８９２０（ＪＰ，Ａ）
林秀美、岩熊成卓、富岡章，冷凍機冷却式高温超電導コイル，富士時報，日本，富士電機株式会社技術企画室，１９９９年１０月１０日，Ｖｏｌ．７２ Ｎｏ．10，P570-573

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｆ ４１／００
Ｈ０１Ｆ ３６／００
Ｈ０１Ｆ ６／００