

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
【部門区分】第6部門第1区分
【発行日】平成17年10月20日(2005.10.20)

【公開番号】特開2004-69443(P2004-69443A)
【公開日】平成16年3月4日(2004.3.4)
【年通号数】公開・登録公報2004-009
【出願番号】特願2002-228134(P2002-228134)
【国際特許分類第7版】

G O 1 R 31/02
G O 1 R 15/20
G O 1 R 33/035

【F I】

G O 1 R 31/02 Z A A
G O 1 R 33/035
G O 1 R 15/02 A

【手続補正書】

【提出日】平成17年6月14日(2005.6.14)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】発明の名称

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の名称】超電導量子干渉素子(S Q U I D)を用いた線条導体の検査方法及び検査装置

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

線条導体の電流の流れを磁気で検出する線条導体検査方法であって、
前記線条導体の断面に対して法線方向を主成分とする磁場をS Q U I Dで検知し、
前記線条導体の欠陥部に生じる電流の流れの乱れを前記磁場の変化によって検出することにより欠陥を検出することを特徴とする線条導体検査方法。

【請求項2】

線条導体の磁場を検出するS Q U I Dと、前記S Q U I Dを冷却する手段と、前記S Q U I Dを駆動する回路と、

前記S Q U I Dからの出力信号をデータ処理するデータ処理手段とを備えた線条導体検査装置であって、

前記S Q U I Dを前記線条導体の断面に対して法線方向の磁場を検出する向きに配置したことを特徴とする線条導体検査装置。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 0 1

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電線等の線条導体の欠陥や劣化を検知する検査方法及び検査装置に関し、活線状態で断線、傷、不導体化、ならびに応力腐食割れ等といった欠陥を検出する検査方法及びそれを実行する検査装置に関する。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0002

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0002】

【従来の技術】

電線の断線、傷、不導体化、ならびに応力腐食割れ等といった欠陥を検査する方法の一つとしては、実際に流されている負荷電流が欠陥部分で流れの乱れを生じ、それによって発生する磁場の変化を検出する方法が知られている。

図7のAに示したものは従来の磁気検出法による検出形態を模式的に示したものであって、1は中心部の導体11と絶縁被覆層12とからなる被検査体である電線であり、Cがセンサの検出コイルである。この導体11に負荷電流が流れると右ネジの法則に従い電線1の断面を囲うような同心円状の磁場が発生する。磁力線の方法は電線断面に対して接線方向であり、その向きは電流の方向が紙面表から裏方向の場合時計方向となり、電流の方向が紙面裏から表方向の場合は反時計方向となる。その発生磁場を測定するための検出コイルCは、電線1の側部において当該コイルの断面が電線1の軸方向に一致すると共に線心を通る向きに配置される。この位置関係により発生する磁力線は検出コイルCの中を通過することから、電流によって発生する接線方向を主成分とする磁場変化の検出が可能となる。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0003

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0003】

この検出コイルCによって検出される接線方向の磁力信号の強度は被検査体である電線1に流される交流電流*i*に対応したものとなる。電線1に沿って当該検出コイルCを走査しながら、図7のBにあるように欠陥部分Dの近傍に来ると検出信号が変化する。この例では電線1の検出コイルCと対峙する部分の欠陥によって交流電流の一部の電流経路が乱れ、欠陥を迂回して流れた場合を想定しており、簡単に説明するとコイル中心と導電体11との距離が正常部では*a*であるところ、その部分では*b*となる。この結果電線1に流れる電流を*i*、透磁率を μ_0 とすると、検出コイルCの端に誘起される電圧値は $\mu_0 i / 2 \pi a$ から $\mu_0 i / 2 \pi b$ へと変化する。この原理に基づいて検査がなされるのであるが、以下に示す3つの問題がある。

(1) 欠陥が無い部分でも電線を流れる交流電流*i*が変化すると検出信号はその影響を、出力変動を生じる。

(2) 導体11の偏心や絶縁被覆層12の厚みのバラツキ等によってセンサと導体との距離が変動した場合の影響が大きい。

(3) 環境磁場や近傍電線に流れる電流による磁場の影響を受けることから検出値が変化する。

以上から電線の検査装置として使用するには限界があった。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0004

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0004】

図8のAに示した例は上記の(1)の問題、すなわち負荷電流の変動による影響がないように構成した、例えば特開平10-73631に記載の従来の磁気検出方による検出形態を模式的に示したものであって、1は中心部分の導体11と絶縁被覆層12とから成る被検査体である電線であり、Cがセンサの検出コイルである点と一方の検出コイルCの電線1に対する位置関係は先のものと同等であるが、検出コイルCが被検査体である電線1を挟んで反対側にも配置されている点がこの例の特徴である。この導体11に電流が流れると右ネジの法則に従い電線1の断面を囲うように同心円状の磁場を発生させるが、その磁場を2つの検出コイルCでそれぞれ検出する。この検出コイルCによって検出される磁力信号は被検査体である電線1に流される交流電流*i*に対応する。この2つの検出コイルCを差動的に接続することによりこの検出値が同じであればキャンセルされてゼロとなる。しかし、図8のBにあるように電線1に欠陥部分Dがあるとすると、電線1に沿って当該検出コイルCを走査してその近傍に来ると一方の(この場合図の上部側)検出信号が変化する。この例では電線1の検出コイルCと対峙する部分の欠陥によって交流電流の一部の電流経路が乱れ、欠陥を迂回して流れた場合、両方の検出コイル中心と導電体11との距離が正常部では*a*であるところ、その欠陥部分では片方の(この場合図の上部側)の距離は*b*となる。簡単に説明すると、電線1に流れる電流が*i*、透磁率が μ_0 として、検出コイルCに誘起される電圧値は $\mu_0 i / 2\pi a$ から $\mu_0 i / 2\pi b$ に変化する。従って、この欠陥部分で2つの検出コイルCを差動的に接続した端子には $\mu_0 i / 2\pi a - \mu_0 i / 2\pi b$ なる検出値が出力される。この原理に基づいて検査がなされるのであるが、その際に電線1を流れる負荷電流*i*が変化した場合の検出信号は、正常部分において当該電流変動による変化分は両コイルとも等しく影響を受けるためその分はキャンセルされ、欠陥部分では導電体への距離の差があるため上記の出力が検出される。この信号の大きさには電流変動分が影響するものの欠陥部分と正常部分で定性的な出力差が生じるため欠陥検出は可能である。しかしながら、この従来例では上記の(1)の問題を回避出来るものの(2)の導体11の偏心や絶縁被覆層12の厚みのバラツキ等によってセンサと導体との距離が変動した場合の影響は回避出来ないとともに、(3)の環境磁場に関しても両コイルの位置関係において差が無いようなときはキャンセルされる場合があるが、近傍電線に流れる電流による磁場など位置関係において差があるものについてはその影響を避けられず、その分検出値が変化してしまうといった問題が残る。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0005

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の課題は、上記のように電線等の線条導体を流れる電流値の変動、導体の偏心や、被覆の厚みのバラツキ等による影響、環境磁場や近傍電線に流れる電流による磁場の影響を受けず、線条導体の欠陥を精度よく検出する検査方法及び検査装置を提供することである。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0006

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0006】

【問題を解決するための手段】

本発明の電線等の線条導体の検査は、欠陥に起因する電流の流れの乱れを磁氣的に検出

する線条導体の欠陥を検査する技術であって、磁気検出器として高感度の S Q U I D を使用し、電線を流れる負荷電流値の変動や線条導体の偏心や、被覆層のバラツキ等による影響を受けないように、線条導体に対して法線方向の磁界の微小変化を検出するように構成した。

また、この検査方法を実行する線条導体検査装置としては、線条導体の断面に対して法線方向の磁場を検出する向きとなるように設置される S Q U I D、前記 S Q U I D を冷却する手段、前記 S Q U I D を駆動する回路、ならびに前記 S Q U I D 駆動回路の出力を得てデータ処理する手段を備え、線条導体の欠陥に起因する磁場検出を実行するようにした。

更に、センサとして磁場検出用コイルを用い S Q U I D には当該磁場検出用コイルと結合する構成を採用し、感度の良い線条導体検査装置を提供する。

【手続補正 9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0007】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明を電線の検査に適用する場合の実施の形態について説明する。電線の検査をする場合は、一般にはセンサ部を走行体に搭載し被検査体である電線上を走行させながら位置情報と対応させて検出情報を取得する検査形態が採られ、活線状態で実際に流されている負荷電流が欠陥部分で流れの乱れを生じ、それによって発生する磁場の変化を検出する方法に属するものであるが、前述したように従来のこの種の磁気検出法では電流の変動や絶縁被覆層の厚みの偏りと偏心に起因するセンサの位置ズレが検出誤差の原因となる問題をもっていたことに鑑み、電線を流れる電流が作る主たる磁場の変化をモニタするのではなく、欠陥部分で電流が部分的に乱れて主たる磁場とは異なる方向の磁場成分をモニタすることに想到したものである。すなわち、電線を流れる電流が作る主たる磁場は所謂右ネジの法則に従い、電線の断面に対しては接線方向となるが、断線、傷、不導体化ならびに応力腐食割れなどのによる電線欠陥部は電流経路の不良個所となり、そこでは電流は乱れや迂回現象を起こし、正常部におけるような軸方向では無い電流の流れを示す。本発明はこの軸方向とは異なる電流の流れが生じることに着目して、接線方向の磁場ではなく、この部分で生じる法線方向の磁場変化を検出・モニタするようにしたものである。この法線方向の磁場は正常部においては発生しない信号であるため、原理的には従来技術で問題となって板点が改善され、負荷電流が変動してもノイズとなることはなく、電線とコイル中心の位置がズレても発生することは無い。ただし、この法線方向の磁場は電流の迂回現象による局部的なものであるため極めて微小な値となる。

100V、100Aを通電した絶縁被覆電線（単線 C V φ 3 2 5）表面に電磁力計のピックアップコイルを接触させて予備的な試験を行ったところ、発生する磁場の大きさは、一般に従来技術で検出している接線方向では、代表値として450マイクロテスラであるのに対し、本願で着目した法線方向では100分の1程度の5マイクロテスラと地磁気成分と同レベルに小さく、この電磁力計の保証感度以下であった。

本願で着目する法線方向の磁場が電線の損傷に対してどのように変化するかを、種々のケースで体系的、かつ定量的に評価することは、技術的に非常に困難であると言わざるを得ない。しかしながら、上記の予備的な測定から、おおよそ、従来技術で着目した接線方向と比較して、本願で着目した法線方向では、1%程度の強度のきわめて微弱な磁場信号を扱う必要があり、その信号の検出にあたっては、磁場分解能が高い高感度磁気センサを必要とすることが予測された。

この推量は、次に示す測定データからも裏付けられた。磁気センサとして、特開平10-73631記載のホール素子を用いて、応力腐食割れ配電線のヘアクラック（目視で確認できる最小レベルの髪の毛ほどの細い亀裂で検出が困難なもの）が検出できるかを試験した。

図9にホール素子による電流の迂回現象による磁場の測定例を示す。このように、発生する信号が微弱である為、ホール素子のような一般的な磁気センサでは検出が困難であることがわかる。そこで、本発明では超電導現象を応用した高感度な磁気センサであるSQUID磁束計をこの配電線の検査用センサとして用いることに想到した。なお、特開平10-73631は、主として接線方向の磁場を検出する記載は開示されているが、検出する磁場の向きに関し、一部明示されておらず、あいまいな部分がある。しかし、本願で着目している法線方向の磁場変化は、特開平10-73631で用いたホール素子では到底測定できない微弱なものであることは前記の測定から自明であり、本願は特開平10-73631から導出されない。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0008】

SQUIDとは、Superconducting Quantum Interference Device（超電導量子干渉素子）の頭文字を取った略称で、超電導現象の一つであるジョセフソン効果を応用した非常に感度の高い磁気センサとして知られ、現在は、基礎物性計測、生体磁気計測、産業用計測などの分野で、微小磁場計測手段として活用されているところである。

本発明は、電線に交流電流を流したときに欠陥部分で発生する電線断面に対して法線方向の磁場を、このSQUIDを用いて検出し、電線の検査を実行しようとするものである。図2に本発明の検査システムにおける欠陥検出システムのブロック図を示し、図1に被検査体である配電線に対するSQUID磁束計の配置関係を示す。まず、本発明の検査システムにおける欠陥検出システムの構成であるが、電線表面に対峙させ電線断面に対して法線方向の磁場を検出できる位置に適正姿勢でSQUIDを配置する。その際、SQUIDの検出面を電線表面の接線方向にして直接磁場を検出させる。SQUIDは素子自体で磁場を検出することも可能であるが、素子と超電導接続された検出コイルを用いることも可能である。いずれの場合においても磁場の検出面は図1に示される

ように電線断面に対して接線方向に向けられて法線方向の磁場を検出する。このSQUIDはクライオスタットと呼ばれる低温容器に収納され、その中でこのSQUIDが動作するに十分な極低温状態に維持されている。一般には液体ヘリウムや液体窒素の寒剤が充填されるが、クライオスタットの代わりに冷凍機などの冷却機構で冷却する形態でもよい。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0011】

本発明の電線欠陥検査装置の磁場検出コイルとして(d)に示す同心円型2次微分検出コイルを採用し、被検査体である電線1に沿ってSQUIDを変位させ、順次検出されるSQUIDの出力信号をグラフ表示させたものを図5に示す。このグラフにおいて横軸は電線上の位置をmm単位で示しており、縦軸はSQUIDの検出電圧をmV単位で示したものである。このグラフから、矢印で示したように電線上の基準点から25mm手前の部分に欠陥があることが見て取れる。なお、絶縁被覆を取り除き矢印の位置にヘアクラックがあることを目視で確認した。SQUIDは電線断面に対して法線方向の磁場変動を検出しており、電線1に流れている負荷電流に変動があってもそれは電線断面に対して接線方向の磁場の変動となるからこの検出値には影響を及ぼすことはない。また、電線1の絶縁被覆層の厚み変動等に起因して導体部分と磁場検出コイル或はSQUIDとの距離が少々変化しても、それは同じく接線方向の磁場の変動となることから誤差となるような変化は生じない。そして、微分型の検出コイルの場合、局部領域で一定とみなせる環境磁場につ

いてはキャンセルされその影響を受けることはない。また、近傍の電線を流れる電流によって発生する磁場変動は、本発明の検出コイルに鎖交するため、検出信号に影響を及ぼす可能性があるが、微分型の検出コイルを用いることにより、その影響を抑えることができる。

【手続補正 1 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 1 3

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 1 3】

【発明の効果】

本発明の電線検査方法は、交流電流を流し、或は、活線状態での負荷電流を利用し、欠陥に起因する電界の乱れを磁氣的に検出する電線の欠陥検査方法であって、磁場検出器として S Q U I D を使用し、欠陥部分において生じる電流の乱れや迂回現象に起因する電線断面に対して法線方向の磁場変化から欠陥を検出するものであるから、従来の電線断面に対して接線方向の磁場変化を検出・モニタする場合と比較して、電線に流れている負荷電流に変動があってもそれが検出信号に影響を及ぼすことが無い。また、導体の偏心や絶縁被覆層 1 2 の厚みのバラツキ等によってセンサと導体との距離が若干変動したような場合でも、その変位は法線方向となるため誤差となるような変化は生じない。そして、電流の迂回現象に起因する電線断面に対して法線方向の磁場変化は、極めて微弱な物理量であるが、高感度の S Q U I D 磁束計をセンサとして採用したことにより、精度よくこれを検出することができる。

また、本発明では交流電流として、活線状態の電線の負荷電流を利用するようにしたので、検査のために送電を停止すること無く活線状態のまま検査を実行することが出来る。

【手続補正 1 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 1 4

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 1 4】

本発明の線条導体検査装置は、交流電流が通電する導体の断面に対して法線方向の磁場を検出する向きとなるように設置される S Q U I D、前記 S Q U I D を冷却する手段、前記 S Q U I D を駆動する回路、ならびに前記 S Q U I D 駆動回路の出力を得てデータ処理する手段を備え、線条導体の欠陥に起因する磁場検出を実行するようにしたので、安定した精度の良い線条導体検査が実現される。

また、導体の断面に対して法線方向の磁場を検出する向きとなるように設置された磁場検出用コイルを用い、前記磁場検出用コイルと S Q U I D とをトランス結合させる構成を採用することで、S Q U I D をセンサとして直接使用するものに比べ高感度の計測が可能となる。

【手続補正 1 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図面の簡単な説明

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明において、被検査体である電線に対する S Q U I D 磁束計の配置関係を示す図である。

【図 2】

本発明の検査システムにおける欠陥検出系統のブロック図を示図である。

【図 3】

S Q U I D と検出コイルとの超電導磁束トランスの結合を示す図である。

【図 4】

S Q U I D 磁束計に用いられる磁場検出コイルの基本構造を示す図である。

【図 5】

本発明の検査装置による検査結果を電線位置に対応させてグラフ表示させた例である。

【図 6】

本発明における F L L 方式の磁場検出部の構成と、冷却手段による冷却を必要とする構成部分を示す図である。

【図 7】

従来の磁気検出法による 電線 欠陥検出形態例を模式的に示した図である。

【図 8】

従来の磁気検出法による 電線 欠陥検出形態の異なる例を示した図である。

【図 9】

ホール素子による電流の迂回現象による磁場の測定例を示した図である。

【符号の説明】

- | | | | |
|----|--------------|---|-------------------|
| 1 | <u>電線</u> | 4 | S Q U I D 用コントローラ |
| 11 | 導体 | 6 | 駆動モータ |
| 12 | <u>絶縁被覆層</u> | 7 | モータ用コントローラ |
| 2 | 車輪 | C | 検出コイル |
| 3 | クライオスタット | D | 欠陥 |