

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7196297号
(P7196297)

(45)発行日 令和4年12月26日(2022.12.26)

(24)登録日 令和4年12月16日(2022.12.16)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 R 31/72 (2020.01) G 0 1 R 31/72
G 0 1 R 31/34 (2020.01) G 0 1 R 31/34 C

請求項の数 10 (全27頁)

(21)出願番号	特願2021-524498(P2021-524498)	(73)特許権者	000219820 株式会社トーエネック 愛知県名古屋市中区栄1丁目20番31号
(86)(22)出願日	令和1年6月3日(2019.6.3)	(74)代理人	100131406 弁理士 福山 正寿
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/021901	(72)発明者	中村 久栄 愛知県名古屋南区滝春町1番地79 株式会社トーエネック技術研究開発部内
(87)国際公開番号	WO2020/245859	審査官	續山 浩二
(87)国際公開日	令和2年12月10日(2020.12.10)		
審査請求日	令和3年11月2日(2021.11.2)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 巻線短絡診断装置および巻線短絡診断方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

円周方向に略等間隔で複数配置されたティースに集中巻を施した回転機の固定子または回転子における巻線の短絡を診断する巻線短絡診断装置であって、

前記巻線の端子間に交流電圧を印加するよう構成された電圧発振部と、

前記交流電圧の印加に応じて前記ティース毎に巻かれた前記巻線に生じる磁界の強さを前記ティースの延出方向に沿って所定間隔毎に計測する磁界センサと、

前記交流電圧または該交流電圧に起因して前記巻線に流れる交流電流と、前記磁界の強さと、を記憶するメモリと、

前記交流電圧または前記交流電流と前記磁界の強さとに基づいて前記メモリに記憶された前記磁界の向きを計測位置毎に決定すると共に、決定した該磁界の向きの全てが第1方向である第1パターンの場合には、前記巻線には短絡が発生していないと判定し、前記磁界の向きが前記第1方向から該第1方向とは反対方向である第2方向に変化した後、該第2方向から前記第1方向に変化する第2パターンの場合には、前記ティースの前記延出方向に隣接する前記巻線間において短絡が発生したと判定し、前記磁界の向きが前記第1方向または前記第2方向から前記第2方向または前記第1に変化した後、該第2方向または該第1方向のまま推移する第3パターンの場合、および、前記磁界の向きの全てが第2方向である第4パターンの場合には、前記巻線の層間において短絡が発生したと判定するプロセッサと、

を備える巻線短絡診断装置。

【請求項 2】

前記プロセッサは、前記第 3 パターンの場合であって、前記第 1 方向または前記第 2 方向から前記第 2 方向または前記第 1 方向への前記磁界の向きの変化が前記ティースの前記延出方向の端部において生じている場合には、該第 2 方向の前記磁界の強さと閾値とを比較し、該磁界の強さが前記閾値以上である場合、および/または、前記磁界の向きが前記第 1 方向または前記第 2 方向から前記第 2 方向または前記第 1 方向に変化する際の前記磁界の強さの変化割合の絶対値と基準変化割合とを比較し、該変化割合の絶対値が該基準変化割合以上である場合には、前記ティースの長手向に隣接する前記巻線間において短絡が発生したと判定し、前記磁界の強さが前記閾値未満である場合、および/または、前記変化割合の絶対値が前記基準変化割合未満である場合には、前記巻線の層間において短絡が発生したと判定する

10

請求項 1 に記載の巻線短絡診断装置。

【請求項 3】

前記メモリは、前記磁界の強さを計測位置に紐づけて記憶可能であり、
前記プロセッサは、前記巻線の層間において短絡が発生していると判定した場合、前記磁界の向きが最初に前記第 2 方向となった前記計測位置において前記巻線に短絡が発生していると判定する

請求項 1 または 2 に記載の巻線短絡診断装置。

【請求項 4】

前記メモリは、前記磁界の強さを計測位置に紐づけて記憶可能であり、
前記プロセッサは、前記ティースの長手向に隣接する前記巻線間において短絡が発生していると判定した場合、前記第 2 方向の前記磁界の強さと第 2 閾値とを比較し、最初に前記第 2 閾値以上であると判定された前記磁界の強さに紐づけされた前記計測位置において前記巻線に短絡が発生していると判定する

20

請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の巻線短絡診断装置。

【請求項 5】

前記電圧発振部は、商用周波数よりも高い周波数を有する交流電圧を前記巻線の端子間に印加する

請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の巻線短絡診断装置。

【請求項 6】

前記電圧発振部は、200 ボルト以下の交流電圧を前記巻線の端子間に印加する

請求項 1 ないし 5 のいずれ 1 項に記載の巻線短絡診断装置。

30

【請求項 7】

前記磁界センサは、前記磁界の強さを計測するサーチコイルを有しており、前記磁界の強さを計測する際、前記サーチコイルの軸線方向が前記ティースに巻かれた前記巻線の軸線方向と平行になるよう配置されている

請求項 1 ないし 6 のいずれ 1 項に記載の巻線短絡診断装置。

【請求項 8】

前記磁界センサは、前記磁界の強さを計測するサーチコイルを有しており、前記磁界の強さを計測する際、前記固定子または前記回転子の軸線方向の一方側から見たときの仮想投影面上における前記サーチコイルの軸線が、前記ティースに巻かれた前記巻線の軸線に重なるよう配置されている

請求項 1 ないし 7 のいずれ 1 項に記載の巻線短絡診断装置。

40

【請求項 9】

円周方向に略等間隔で複数配置されたティースに集中巻を施した回転機の固定子または回転子における前記巻線の短絡を診断する巻線短絡診断方法であって、

(a) 前記ティース毎に巻かれた前記巻線の端子間に交流電圧を印加し、

(b) 前記交流電圧の印加に応じて前記ティース毎に巻かれた前記巻線に生じる磁界の強さを、前記ティースの延出方向に沿って所定間隔毎に計測し、

(c) 前記交流電圧または該交流電圧に起因して前記巻線に流れる交流電流と、計測さ

50

れた前記磁界の強さと、を記憶し、

(d) 前記交流電圧または前記交流電流と、前記磁界の強さと、に基づいて、記憶された前記所定間隔毎の前記磁界の向きを決定し、

(e) 決定した前記磁界の向きの全てが第1方向である第1パターンの場合には、前記巻線には短絡が発生していないと判定し、決定した前記磁界の向きが前記第1方向から該第1方向とは反対方向である第2方向に変化した後、該第2方向から前記第1方向に変化する第2パターンの場合には、前記ティースの前記延出方向に隣接する前記巻線間において短絡が発生していると判定し、決定した前記磁界の向きが前記第1方向から前記第2方向に変化した後、該第2方向のまま推移する第3パターンの場合、または、前記磁界の向きの全てが第2方向である第4パターンの場合には、前記巻線の層間において短絡が発生

10

巻線短絡診断方法。

【請求項10】

前記ステップ(e)は、前記第3パターンの場合であって、前記第1方向または前記第2方向から前記第2方向または前記第1方向への前記磁界の向きの変化が前記ティースの前記延出方向の端部において生じている場合には、該第2方向の前記磁界の強さと閾値とを比較し、該磁界の強さが前記閾値以上である場合、および/または、前記磁界の向きが前記第1方向または前記第2方向から前記第2方向または前記第1方向に変化する際の前記磁界の強さの変化割合の絶対値と基準変化割合とを比較し、該変化割合の絶対値が該基準変化割合以上である場合には、前記ティースの長手向に隣接する前記巻線間において短絡が発生したと判定し、前記磁界の強さが前記閾値未満である場合、および/または、前記変化割合の絶対値が前記基準変化割合未満である場合には、前記巻線の層間において短絡が発生したと判定するステップを含んでいる

20

請求項9に記載の巻線短絡診断方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、円周方向に略等間隔で複数配置されたティースに集中巻を施した回転機の固定子または回転子における巻線の短絡を診断する巻線短絡診断装置および巻線短絡診断方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

特開平2009-115505号公報(特許文献1)には、電動機や発電機のような回転機の内部の巻線のうち任意の相の巻線の端子間にインパルス電圧を印加すると共に、当該インパルス電圧の印加によって巻線の端子間に発生する振動電圧の波形を検出し、当該検出した振動電圧の波形を予め作成しておいた正常巻線(短絡が発生していない巻線)の振動電圧の波形と比較することにより、巻線の短絡発生の有無を診断する巻線短絡診断装置が記載されている。

【0003】

当該巻線短絡診断装置では、どの相の巻線で短絡が発生しているのか、例えば、三相誘導電動機であれば、短絡がU相で発生しているのか、それともV相やW相で発生しているのかを特定することができる。

40

【0004】

ところで、電動機や発電機のような回転機の内部の巻線がどのような態様で短絡しているのかを特定できれば、当該短絡の態様情報を設計段階へフィードバックすることで、巻線の巻き方や巻線を巻くためのティースの構造などについて対策を施すことができるため、電動機や発電機といった回転機の短絡発生割合を低下させることにつながり、大きなメリットとなる。ここで、巻線の短絡の態様としては、例えば、ティースの長さ方向に隣接する巻線間において短絡が発生する態様や、巻線の層間において短絡が発生する態様が考えられる。

50

【 0 0 0 5 】

なお、出願人も、電動機や発電機といった回転機の短絡発生割合を低下させるとの観点から、特許第6404424号公報（特許文献2）において、ティースに集中巻を施した回転機の固定子または回転子における巻線のどのあたりで短絡が発生しているのかを特定することができる巻線短絡診断装置を提案している。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 6 】

【 文献 】 特開2009 - 115505号公報
特許第6404424号公報

10

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであり、ティースに集中巻を施した回転機の固定子または回転子における巻線の短絡の態様を簡易に特定することができる巻線短絡診断装置および巻線短絡診断方法を提供することを主目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 8 】

本発明に係る巻線短絡診断装置の好ましい形態によれば、円周方向に略等間隔で複数配置されたティースに集中巻を施した回転機の固定子または回転子における巻線の短絡を診断する巻線短絡診断装置が構成される。当該巻線短絡診断装置は、電圧発振部と、磁界センサと、メモリと、プロセッサと、を備えている。電圧発振部は、巻線の端子間に交流電圧を印加するように構成されている。磁界センサは、交流電圧の印加に応じてティース毎に巻かれた巻線に生じる磁界の強さをティースの延出方向に沿って所定間隔毎に計測する。メモリは、交流電圧または当該交流電圧に起因して巻線に流れる交流電流と磁界の強さとを記憶する。プロセッサは、交流電圧または交流電流と磁界の強さとに基づいてメモリに記憶された磁界の向きを計測位置毎に決定する。また、プロセッサは、決定した磁界の向きの全てが第1方向である第1パターンの場合には、巻線には短絡が発生していないと判定し、磁界の向きが第1方向から当該第1方向とは反対方向である第2方向に変化した後、当該第2方向から第1方向に変化する第2パターンの場合には、ティースの延出方向に隣接する巻線間において短絡が発生したと判定し、磁界の向きが第1方向または第2方向から第2方向または第1方向に変化した後、当該第2方向または第1方向のまま推移する第3パターンの場合、および、磁界の向きが全て第2方向である第4パターンの場合には、巻線の層間において短絡が発生したと判定する。

20

30

【 0 0 0 9 】

ここで、本願発明における「磁界の強さ」とは、ティース毎に巻かれた巻線に生じる磁束密度の大きさ、あるいは、当該磁束密度の大きさに比例した電圧がこれに該当する。

【 0 0 1 0 】

本発明者は、ティースに集中巻を施した回転機の固定子または回転子における巻線の短絡について鋭意研究を行った結果、ティースの延出方向に沿って所定間隔毎に求めた磁界の強さおよび磁界の向きの変化のパターンが、巻線の短絡の態様によって異なることを見出した。このような研究結果を踏まえて、本発明では、第1パターンの場合には、巻線に短絡が発生していないと判定し、第2パターンの場合には、ティースの延出方向に隣接する巻線間において短絡が発生したと判定し、第3パターンおよび第4パターンの場合には、巻線の層間において短絡が発生したと判定する構成であるため、巻線の短絡の態様を簡易に特定することができる。これにより、短絡の態様情報を設計段階へフィードバックすることができる。この結果、電動機や発電機といった回転機の短絡発生割合を低下させることにつながり、品質向上に寄与し得る。

40

【 0 0 1 1 】

50

本発明に係る巻線短絡診断装置の更なる形態によれば、プロセッサは、第3パターンの場合であって、第1方向または第2方向から第2方向または第1方向への磁界の向きの変化がティースの延出方向の端部において生じている場合には、第2方向の磁界の強さと閾値とを比較し、当該磁界の強さが閾値以上である場合、および/または、当該磁界の向きが第1方向または第2方向から第2方向または第1方向に変化する際の磁界の強さの変化割合の絶対値と基準変化割合とを比較し、当該変化割合の絶対値が当該基準変化割合以上である場合には、ティースの長手向に隣接する巻線間において短絡が発生したと判定し、磁界の強さが閾値未満である場合、および/または、変化割合の絶対値が基準変化割合未満である場合には、巻線の層間において短絡が発生したと判定する。

【0012】

本形態によれば、ティースの延出方向の端部であって、磁界の計測開始位置または計測終了位置において発生した巻線の短絡が、ティースの延出方向に隣接する巻線間の短絡か、巻線の層間の短絡か、を判定することができる。ティースの延出方向に隣接する巻線間の短絡であっても、ティースの延出方向の端部であって、磁界の計測開始位置または計測終了位置において巻線の短絡が生じている場合には、磁界の向きが第1方向または第2方向から第2方向または第1方向へ変化したままとなるため、当該第2方向の磁界の強さを予め設定した閾値と比較することによって、および/または、磁界の向きが第1方向または第2方向から第2方向または第1方向へと変化する際の磁界の強さの変化割合の絶対値を予め設定した基準変化割合と比較することによって、発生した当該短絡がティースの延出方向に隣接する巻線間の短絡か、巻線の層間の短絡か、を判別するのである。ここで、同じ条件であれば、巻線の層間での短絡の方がティースの延出方向に隣接する巻線間での短絡よりも、磁界の強さが弱い、あるいは、磁界の強さの変化割合の絶対値が小さいことから、巻線の層間で短絡が発生した場合の磁界の強さ、あるいは、磁界の強さの変化割合の絶対値と、ティースの延出方向に隣接する巻線間で短絡が発生した場合の磁界の強さ、あるいは、磁界の強さの変化割合の絶対値と、の間の適切な値に閾値または基準変化割合を設定することによって、ティースの延出方向に隣接する巻線間の短絡と、巻線の層間の短絡と、の判別が可能となる。

【0013】

本発明に係る巻線短絡診断装置の更なる形態によれば、メモリは、磁界の強さを計測位置に紐づけて記憶可能である。そして、プロセッサは、巻線の層間において短絡が発生していると判定した場合、磁界の向きが最初に第2方向となった計測位置において巻線に短絡が発生していると判定する。

【0014】

本形態によれば、巻線の層間において短絡が発生している場合において、ティースに巻かれた巻線のどのあたりで短絡が発生しているのかを特定することができる。これにより、短絡が発生しやすい傾向にある箇所の情報を取得し得るため、当該情報を設計段階へフィードバックすることによって、短絡が起こりやすい箇所での構造的もしくは強度的な対策を施すことができ、電動機や発電機といった回転機の短絡発生割合を低下させることにつながり、品質向上に寄与し得る。

【0015】

本発明に係る巻線短絡診断装置の更なる形態によれば、メモリは、磁界の強さを計測位置に紐づけて記憶可能である。そして、プロセッサは、ティースの長手向に隣接する巻線間において短絡が発生していると判定した場合、第2方向の磁界の強さと第2閾値とを比較し、最初に第2閾値以上であると判定された磁界の強さに紐づけされた計測位置において巻線に短絡が発生していると判定する。

【0016】

本形態によれば、ティースの長手向に隣接する巻線間に短絡が発生している場合において、ティースに巻かれた巻線のどのあたりで短絡が発生しているのかを特定することができる。これにより、短絡が発生しやすい傾向にある箇所の情報を取得し得るため、当該情報を設計段階へフィードバックすることによって、短絡が起こりやすい箇所での構造的も

10

20

30

40

50

しくは強度的な対策を施すことができ、電動機や発電機といった回転機の短絡発生割合を低下させることにつながり、品質向上に寄与し得る。

【0017】

本発明に係る巻線短絡診断装置の更なる形態によれば、電圧発振部は、商用周波数よりも高い周波数を有する交流電圧を巻線の端子間に印加する。

【0018】

本発明者らは、電圧発振部によって印加する交流電圧の周波数を上げていくことに伴って、巻線のインダクタンス成分の影響によって、計測される磁束密度は小さくなる一方で、巻線のうち短絡が発生している箇所において計測される磁束密度の低下割合は、短絡が発生していない箇所において計測される磁束密度の低下割合に対して大きくなる傾向にあることを見出した。即ち、電圧発振部によって印加する交流電圧の周波数を上げていくと、巻線において短絡が発生していない正常な箇所において計測される磁束密度の値と、短絡が発生している箇所において計測される磁束密度の値と、の間に大きな差異が生じることを見出した。このような研究結果を踏まえて、本実施形態では、巻線の端子間に印加する交流電圧の周波数を商用周波数よりも高い周波数とする構成であるため、短絡が発生の有無を特定し易くなる。

10

【0019】

本発明に係る巻線短絡診断装置の更なる形態によれば、電圧発振部は、200ボルト以下の交流電圧を巻線の端子間に印加する。

【0020】

本形態によれば、電圧発振部に供給する電源を小型化することができると共に、電圧発振部の電子回路を安価に仕上げるができる。これにより、巻線短絡診断装置自体の小型化およびコスト低減を図ることができる。

20

【0021】

本発明に係る巻線短絡診断装置の更なる形態によれば、磁界センサは、磁界の強さを計測するサーチコイルを有している。そして、当該磁界センサは、磁界の強さを計測する際、サーチコイルの軸線方向がティースに巻かれた巻線の軸線方向と平行になるように配置されている。

【0022】

本形態によれば、電圧発振部により巻線の端子間に印加された交流電圧によって当該巻線に発生する磁界の強さを精度よく計測することができる。

30

【0023】

本発明に係る巻線短絡診断装置の更なる形態によれば、磁界センサは、磁界の強さを計測するサーチコイルを有している。そして、当該磁界センサは、磁界の強さを計測する際、固定子または回転子の軸線方向の一方側から見たときの仮想投影面上におけるサーチコイルの軸線が、ティースに巻かれた巻線の軸線に重なるように配置されている。

【0024】

本形態によれば、磁界センサのサーチコイルの軸線をティースに巻かれた巻線の軸線に一致させた状態で磁界の強さを計測する構成であるため、ティースに巻かれた巻線の側縁、換言すれば、ティースに巻かれた巻線のうち軸線から径方向外方向に離れた位置にある部分によって作られる磁界の影響を小さく抑えることができる。これにより、より正確に巻線の短絡発生の有無を診断することができる。

40

【0025】

本発明に係る巻線短絡診断方法の好ましい形態によれば、円周方向に略等間隔で複数配置されたティースに集中巻を施した回転機の固定子または回転子における当該巻線の短絡を診断する巻線短絡診断方法が構成される。当該巻線短絡診断方法は、(a)ティース毎に巻かれた巻線の端子間に交流電圧を印加し、(b)交流電圧の印加に応じてティース毎に巻かれた巻線に生じる磁界の強さを、ティースの延出方向に沿って所定間隔毎に計測し、(c)交流電圧または当該交流電圧に起因して巻線に流れる交流電流と、計測された磁界の強さと、を記憶し、(d)交流電圧または交流電流と、磁界の強さと、に基づいて、

50

記憶された所定間隔毎の磁界の向きを決定し、(e)決定した磁界の向きの全てが第1方向である第1パターンの場合には、巻線には短絡が発生していないと判定し、決定した磁界の向きが第1方向から当該第1方向とは反対方向である第2方向に変化した後、当該第2方向から第1方向に変化する第2パターンの場合には、ティースの延出方向に隣接する巻線間において短絡が発生していると判定し、決定メモリに記憶した磁界の向きが第1方向または第2方向から第2方向または第1方向に変化した後、当該第2方向または第1方向のまま推移する第3パターンの場合、および、磁界の向きの全てが第2方向である第4パターンの場合には、巻線の層間において短絡が発生していると判定する。

【0026】

ここで、本願発明における「磁界の強さ」とは、ティース毎に巻かれた巻線に生じる磁束密度の大きさ、あるいは、当該磁束密度の大きさに比例した電圧がこれに該当する。

10

【0027】

本発明者は、ティースに集中巻を施した回転機の固定子または回転子における巻線の短絡について鋭意研究を行った結果、ティースの延出方向に沿って所定間隔毎に求めた磁界の強さおよび磁界の向きの変化のパターンが、巻線の短絡の態様によって異なることを見出した。このような研究結果を踏まえて、本発明では、第1パターンの場合には、巻線に短絡が発生していないと判定し、第2パターンの場合には、ティースの延出方向に隣接する巻線間において短絡が発生したと判定し、第3パターンおよび第4パターンの場合には、巻線の層間において短絡が発生したと判定する構成であるため、巻線の短絡の態様を簡易に特定することができる。これにより、短絡の態様情報を設計段階へフィードバックすることができ、巻線の巻き方や巻線を巻くためのティースの構造などについての対策を施すことができる。この結果、電動機や発電機といった回転機の短絡発生割合を低下させることにつながり、品質向上に寄与し得る。

20

【0028】

本発明に係る巻線短絡診断方法の更なる形態によれば、ステップ(e)は、第3パターンの場合であって、第1方向または第2方向から第2方向または第1方向への磁界の向きの変化がティースの延出方向の端部において生じている場合には、当該第2方向の磁界の強さと閾値とを比較し、当該磁界の強さが閾値以上である場合、および/または、磁界の向きが第1方向または第2方向から第2方向または第1方向に変化する際の磁界の強さの変化割合の絶対値と基準変化割合とを比較し、当該変化割合の絶対値が当該基準変化割合以上である場合には、ティースの長手向に隣接する巻線間において短絡が発生したと判定し、磁界の強さが閾値未満である場合、および/または、変化割合の絶対値が基準変化割合未満である場合には、巻線の層間において短絡が発生したと判定するステップを含んでいる。

30

【0029】

本形態によれば、ティースの延出方向の端部であって、磁界の計測開始位置または計測終了位置において発生した巻線の短絡が、ティースの延出方向に隣接する巻線間の短絡か、巻線の層間の短絡か、を判定することができる。ティースの延出方向に隣接する巻線間の短絡であっても、ティースの延出方向の端部であって、磁界の計測開始位置または計測終了位置において巻線の短絡が生じている場合には、磁界の向きが第1方向または第2方向から第2方向または第1方向へ変化したままとするため、当該第2方向の磁界の強さを予め設定した閾値と比較することによって、および/または、磁界の向きが第1方向または第2方向から第2方向または第1方向へと変化する際の磁界の強さの変化割合の絶対値を予め設定した基準変化割合と比較することによって、発生した当該短絡がティースの延出方向に隣接する巻線間の短絡か、巻線の層間の短絡か、を判別するのである。ここで、同じ条件であれば、巻線の層間での短絡の方がティースの延出方向に隣接する巻線間での短絡よりも、磁界の強さが弱い、あるいは、磁界の強さの変化割合の絶対値が小さいことから、巻線の層間で短絡が発生した場合の磁界の強さ、あるいは、磁界の強さの変化割合の絶対値と、ティースの延出方向に隣接する巻線間で短絡が発生した場合の磁界の強さ、あるいは、磁界の強さの変化割合の絶対値と、の間の適切な値に閾値または基準変化割合

40

50

を設定することによって、ティースの延出方向に隣接する巻線間の短絡と、巻線の層間の短絡と、の判別が可能となる。

【発明の効果】

【0030】

本発明によれば、ティースに集中巻を施した回転機の固定子または回転子における巻線の短絡の態様を特定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0031】

【図1】本発明の実施の形態に係る巻線短絡診断装置1の構成の概略を示す構成図である。

【図2】回転子32が取り外された状態の電動機2を軸線方向の一方側から見た状態を示す説明図である。

10

【図3】固定子22の構成の概略を示す説明図である。

【図4】U相巻線24Uと当該U相巻線24U上に設置されるサーチコイル62との位置関係を示す斜視説明図である。

【図5】U相巻線24Uと当該U相巻線24U上に設置されるサーチコイル62との位置関係を、軸線CL1, CL2に直行する平面で切った断面で見た状態を示す説明図である。

【図6】U相巻線24U上に設置されたサーチコイル62を、ティース22bの延出方向に沿って所定間隔d毎に移動させながら磁界を計測する際の様子を示す説明図である。

【図7】U相巻線24Uの端子間に交流電圧を印加した際に、当該U相巻線24Uの周辺に生じる磁界の様子を模式的に示す説明図である。

20

【図8】U相巻線24Uの一部に短絡Sが発生した際の当該U相巻線24Uの周辺に生じる磁界の様子を模式的に示す説明図である。

【図9】位相差が所定範囲内である場合の交流電流と出力電圧Vsとの様子を示す説明図である。

【図10】位相差が所定範囲外である場合の交流電流と出力電圧Vsとの様子を示す説明図である。

【図11】ソレノイドコイルSLC1における出力電圧Vsの計測結果を示す実験結果である。

【図12】ソレノイドコイルSLC2における出力電圧Vsの計測結果を示す実験結果である。

30

【図13】ソレノイドコイルSLC3における出力電圧Vsの計測結果を示す実験結果である。

【図14】ソレノイドコイルSLC4における出力電圧Vsの計測結果を示す実験結果である。

【図15】ソレノイドコイルSLC5における出力電圧Vsの計測結果を示す実験結果である。

【図16】ソレノイドコイルSLC6における出力電圧Vsの計測結果を示す実験結果である。

【図17】ソレノイドコイルSLC7における出力電圧Vsの計測結果を示す実験結果である。

40

【図18】ソレノイドコイルSLC8における出力電圧Vsの計測結果を示す実験結果である。

【図19】ソレノイドコイルSLC1を模式的に示す説明図である。

【図20】ソレノイドコイルSLC2を模式的に示す説明図である。

【図21】ソレノイドコイルSLC3を模式的に示す説明図である。

【図22】ソレノイドコイルSLC4を模式的に示す説明図である。

【図23】ソレノイドコイルSLC5を模式的に示す説明図である。

【図24】ソレノイドコイルSLC6を模式的に示す説明図である。

【図25】ソレノイドコイルSLC7を模式的に示す説明図である。

【図26】ソレノイドコイルSLC8を模式的に示す説明図である。

50

【図 2 7】変形例の磁界センサ 1 0 6 を用いて出力電圧 V_s を計測する際の様子を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0 0 3 2】

次に、本発明を実施するための最良の形態を実施例を用いて説明する。

【実施例】

【0 0 3 3】

本発明の実施の形態に係る巻線短絡診断装置 1 は、図 1 に示すように、回転機としての電動機 2（図 2 参照）の後述する三相巻線 2 4 U，2 4 V，2 4 W のいずれかの端子間に交流電圧を印加する電圧発振部 4 と、当該電圧発振部 4 によって交流電圧が印加されたこと

10

によって三相巻線 2 4 U，2 4 V，2 4 W に発生する磁界を計測する磁界センサ 6 と、電圧発振部 4 および磁界センサ 6 に信号線 L 1，L 2 によって電氣的に接続された A / D 変換部 8 と、当該 A / D 変換部 8 に信号線 L 3 によって電氣的に接続された診断部 1 0 と、当該診断部 1 0 に信号線 L 4 によって電氣的に接続された表示装置 1 2 と、を備えている。

【0 0 3 4】

電動機 2 は、汎用三相誘導電動機として構成されており、図 2 に示すように、主に、固定子 2 2 と、回転子 3 2 と、を備えている。

【0 0 3 5】

固定子 2 2 は、薄い電磁鋼板（強磁性体）を積層して構成されており、図 3 に示すように、略環状に構成されたヨーク 2 2 a と、当該ヨーク 2 2 a の内周面から当該ヨーク 2 2 a の中心に向かって延出する複数のティース 2 2 b と、を備えている。

20

【0 0 3 6】

ティース 2 2 b は、ヨーク 2 2 a の内周面に円周方向に均等間隔で、例えば、1 8 個設けられている。各ティース 2 2 b には、図 2 に示すように、絶縁物（図示せず）を介して直接三相巻線 2 4 U，2 4 V，2 4 W が施されている（所謂、集中巻方式）。即ち、1 8 個のティース 2 2 b のうちの 6 個に U 相巻線 2 4 U が巻かれ、他の 6 個に V 相巻線 2 4 V が巻かれ、残りの 6 個に W 相巻線 2 4 W が巻かれている。なお、各三相巻線 2 4 U，2 4 V，2 4 W の端部は、口出し線として電動機 2 の外部に引き出されて商用交流電源に接続される接続端子 2 6 を構成している。ここで、三相巻線 2 4 U，2 4 V，2 4 W が集中巻方式で巻かれたティース 2 2 b を有する固定子 2 2 は、本発明における「円周方向に略等間隔で複数配置されたティースに集中巻を施した回転機の固定子」に対応する実施構成の一例である。

30

【0 0 3 7】

電圧発振部 4 は、三相巻線 2 4 U，2 4 V，2 4 W のうち U 相巻線 2 4 U および V 相巻線 2 4 V 間（以下、「U - V 相間」という）、あるいは、V 相巻線 2 4 V および W 相巻線 2 4 W 間（以下、「V - W 相間」という）、あるいは、W 相巻線 2 4 W および U 相巻線 2 4 U 間（以下、「W - U 相間」という）に交流電圧を印加可能に構成されており、印加する交流電圧の周波数を変更可能なファンクションジェネレータとして構成されている。なお、電圧発振部 4 によって U - V 相間、V - W 相間、W - U 相間それぞれに印加される交流電圧または当該交流電圧によって流れる交流電流 A C I は、図 1 に示すように、A / D 変換部 8 によってデジタル化された後、信号線 L 3 を介して診断部 1 0 に送信される。

40

【0 0 3 8】

本実施の形態では、電圧発振部 4 によって U - V 相間、V - W 相間、W - U 相間それぞれに印加される交流電圧は 2 0 0 ボルト以下とし、周波数は商用交流電圧発振部の周波数 6 0 H z（あるいは 2 0 0 H z）よりも高い 1 k H z とした。例えば、交流電圧を 5 0 ボルト以下とすることによって、電源を小型化することができると共に、電圧発振部 4 の電子回路を安価に仕上げることができる。この結果、巻線短絡診断装置 1 自体の小型化およびコスト低減を図ることができる。また、周波数を商用交流電源の周波数 6 0 H z（あるいは 5 0 H z）よりも高い 1 k H z とすることによって、三相巻線 2 4 U，2 4 V，2 4

50

Wに短絡が発生したことを特定し易くなる。当該理由についての詳細は後述する。

【0039】

磁界センサ6は、図1に示すように、サーチコイル62と、当該サーチコイル62から出力される出力電圧 V_s の大きさを増幅する増幅器64と、を備えている。サーチコイル62は、コイルを数ターンから数十ターン程度巻いた構成をしており、これにより磁束密度の大きさに比例した出力電圧 V_s を出力する。サーチコイル62から出力されて増幅器64によって増幅されたアナログ信号である出力電圧 V_s は、A/D変換部8によってデジタル化された後、信号線L3を介して診断部10に送信される。

【0040】

診断部10は、図示しないCPU70を中心とするマイクロプロセッサとして構成され
10
ており、CPU70の他に処理プログラムを記憶する図示しないROM72と、データを
一時的に記憶するRAM74と、信号線L3が接続される入力ポートと、信号線L4が接
続される出力ポートと、を備えている。診断部10には、A/D変換部8からの出力電圧
 V_s や交流電圧、交流電流ACIが入力されており、診断部10からは、各三相巻線24
U, 24V, 24Wの短絡診断結果が信号線L4を介して表示装置12に出力される。

【0041】

次に、こうして構成された本発明の実施の形態に係る巻線短絡診断装置1による電動機
2の三相巻線24U, 24V, 24Wの短絡診断の際の動作について説明する。ここで、
三相巻線24U, 24V, 24Wの短絡診断は、電動機2から回転子32を取り外した状
態、即ち、集中巻の固定子22のみとした状態で行われる(図2参照)。なお、当該診断
20
は、三相巻線24U, 24V, 24Wのいずれかが巻かれた1つのティース22b毎に行
うが、以下では、説明の便宜上、任意の1つのティース22bに巻かれたU相巻線24U
における短絡の診断を行う場合を例に挙げて説明をする。

【0042】

まず、図2に示すように、電動機2から回転子32が取り外された状態の固定子22に
おいて、U相巻線24Uが巻かれた任意の1つのティース22b上に磁界センサ6を設
置する。ここで、磁界センサ6は、図2、図4および図5に示すように、サーチコイル62
の軸線CL1がティース22bに巻かれたU相巻線24Uの軸線CL2(ティース22b
の軸線CL2)に対して平行で、軸線CL1のU相巻線24Uの表面からの距離が所定距
離h(例えば、5mm)となる位置関係となるように(図5参照)、かつ、電動機2(固
30
定子22、回転子32)の軸線方向の一方側から見たときに(図2を紙面に垂直な方向か
ら見たときに)、軸線CL1と軸線CL2とが重なる位置関係(図2参照)となるように
設置される。このとき、磁界センサ6は、図6に示すように、サーチコイル62がティ
ース22bの根元部(ティース22bのヨーク22aへの接続端部)に巻かれたU相巻線2
4U上、即ち、計測位置 t_0 に来るように設置される。

【0043】

そして、当該設置状態において、電圧発振部4からU相巻線24Uの端子間、より詳細
には、U-V相間(あるいは、W-U相間)に周波数1kHzの交流電圧(200V以下
)を印加して交流電流ACIを流す。ここで、交流電圧に起因してU相巻線24Uに流れ
る交流電流ACIは、A/D変換部8によってデジタル化された後、計測した計測位置 t_0
40
に紐づけられて診断部10のRAM74に一時的に記憶される。

【0044】

U相巻線24Uの端子間(U-V相間、あるいは、W-U相間)に交流電圧が印加され
ると、U相巻線24U周辺に磁界が生じる。これにより、当該磁界の強さが磁束密度の大
きさに比例した出力電圧 V_s としてサーチコイル62から出力される。サーチコイル62
から出力された出力電圧 V_s は、増幅器64によって増幅されると共にA/D変換部8に
よってデジタル化された後、当該出力電圧 V_s を計測した計測位置 t_0 に紐づけされて診
断部10のRAM74に一時的に記憶される。交流電圧に起因してU相巻線24Uに流れ
る交流電流ACIおよび出力電圧 V_s を計測した計測位置 t_0 に紐づけして記憶するRA
M74は、本発明における「メモリ」に対応する実施構成の一例である。
50

【 0 0 4 5 】

ここで、U相巻線24Uに短絡が生じていない場合、即ち、U相巻線24Uが正常な状態の場合に当該U相巻線24Uの端子間に交流電圧を印加すると、図7の実線矢印に示すように、U相巻線24Uには交流電流ACIが流れ、当該交流電流ACIによってU相巻線24U周辺には強さH₀の磁界が生じる。しかしながら、U相巻線24Uの一部に短絡Sが生じると、図8に示すように、U相巻線24Uの中に短絡Sによって新たな閉ループ24Usが発生する。短絡Sでは抵抗がほとんど値0となるため、交流電流ACIは当該短絡Sを流れて閉ループ24Usには流れなくなる。

【 0 0 4 6 】

一方、閉ループ24Usには、交流電流ACIによってU相巻線24U周辺に生じた磁界が通過することによって誘導起電力が発生し、当該誘導起電力に起因して電流I_sが流れる(図8参照)。これにより、閉ループ24Us周辺には、図8に示すように、当該電流I_sによって強さH_sであって、交流電流ACIによってU相巻線24U周辺に生じた磁界の向きとは逆方向の磁界が発生する。即ち、サーチコイル62から出力される出力電圧V_sは、交流電流ACIによってU相巻線24U周辺に生じた磁界の強さH₀と電流I_sによって閉ループ24Us周辺に生じた磁界の強さH_sとの差に比例した大きさとなる。

10

【 0 0 4 7 】

なお、誘導起電力は、U相巻線24Uの端子間に印加する交流電圧の周波数の関数として表すことができるため、U相巻線24Uの端子間に印加する交流電圧の周波数を高くすることによって、閉ループ24Us周辺に生じる磁界の強さH_sを意図的に大きくすることができる。これにより、U相巻線24Uに短絡が生じたか否かの特定が容易となる。

20

【 0 0 4 8 】

換言すれば、U相巻線24Uの端子間に印加する交流電圧の周波数を上げていくことに伴って、U相巻線24Uのインダクタンス成分の影響により、計測される磁束密度は、小さくなる一方で、短絡Sが発生している箇所において計測される磁束密度の低下割合が、短絡Sが発生していない箇所において計測される磁束密度の低下割合に対して大きくなる傾向にあるため、U相巻線24Uの端子間に印加する交流電圧の周波数を上げていくことに伴って、短絡Sが発生している箇所において計測される磁束密度の値と、短絡Sが発生していない正常な箇所において計測される磁束密度の値と、の間に大きな差異を生じさせることができ、以てU相巻線24Uに短絡が生じたか否かの特定が容易となるのである。

30

【 0 0 4 9 】

ここで、図8では、U相巻線24Uが当該U相巻線24Uの軸線CL2方向(ティース22bの軸線CL2方向、あるいは、ティース22bの延出方向)に隣接する巻線間において短絡が発生した場合で説明したが、U相巻線24Uが巻線の層間において短絡が発生した場合でも同様に、U相巻線24Uの中に短絡Sによって新たな閉ループが発生し、当該閉ループに起因した誘導起電力が発生して、交流電流ACIによってU相巻線24U周辺に生じた磁界の向きとは逆方向の磁界が発生する。

【 0 0 5 0 】

なお、U相巻線24Uの軸線CL2方向(ティース22bの軸線CL2方向、あるいは、ティース22bの延出方向)に隣接する巻線間において短絡が発生した場合の方が、U相巻線24Uが巻線の層間において短絡が発生した場合よりも、閉ループ24Usに流れる電流I_sの値も大きくなる(次式(1)および(2)参照)。したがって、U相巻線24Uの軸線CL2方向(ティース22bの軸線CL2方向、あるいは、ティース22bの延出方向)に隣接する巻線間において短絡が発生した場合の方が、U相巻線24Uが巻線の層間において短絡が発生した場合よりも、閉ループ24Us周辺に生じる磁界の強さH_sおよび磁界の変化割合の絶対値は大きくなる。

40

【 0 0 5 1 】

(数1)

$$I_s = 1 / (R^2 + n^2 \cdot \omega^2 \cdot L^2) \cdot d / dt \dots \dots (1)$$

$$I_s = 1 / (R^2 + N^2 \cdot \omega^2 \cdot L^2) \cdot d / dt \dots \dots (2)$$

50

【 0 0 5 2 】

ここで、式(1)は、U相巻線24Uの軸線CL2方向(ティース22bの軸線CL2方向、あるいは、ティース22bの延出方向)に隣接する巻線間において短絡が発生した場合の電流 I_s を求める式であり、式(2)は、U相巻線24Uが巻線の層間において短絡が発生した場合の電流 I_s を求める式であり、 $N > n$ である。なお、 R は、短絡S部分の抵抗、 ω は、角周波数、 L は、短絡S部分のインダクタンス成分、 Φ は、短絡S部分を通過する磁束、 t は、時間、 n 、 N は、短絡Sの巻数である。

【 0 0 5 3 】

出力電圧 V_s を計測位置 t_0 とともにRAM74に一時的に記憶すると、続いて、診断部10のCPU70は、RAM74に記憶された交流電流ACIと出力電圧 V_s との関係に基づいて、磁界センサ6(サーチコイル62)によって計測された磁界の向きを決定する。具体的には、交流電流ACIと出力電圧 V_s との位相差を比較し、当該位相差に基づき磁界の向きを決定する。図9に示すように、交流電流ACIと出力電圧 V_s との位相差が所定範囲内であれば、磁界の方向は正方向であると判定し、図10に示すように、交流電流ACIと出力電圧 V_s との位相差が所定範囲外であれば負方向であると判定する。ここで、磁界の方向が正方向であるとは、磁界センサ6(サーチコイル62)によって計測された磁界の方向が、U相巻線24U周辺に生じる磁界の方向と同じ方向であると規定され、磁界の方向が負方向であるとは、磁界センサ6(サーチコイル62)によって計測された磁界の方向が、U相巻線24U周辺に生じる磁界の方向とは逆方向であると規定される。ここで、交流電流ACIと出力電圧 V_s との位相差を比較し、当該位相差に基づき磁界の向きを決定する診断部10のCPU70は、本発明における「プロセッサ」に対応する実施構成の一例である。磁界の方向が正方向である態様は、本発明における「第1方向」に対応し、磁界の方向が負方向である態様は、本発明における「第2方向」に対応する実施構成の一例である。

【 0 0 5 4 】

このように、磁界センサ6(サーチコイル62)によって計測された磁界の向きを決定するのは、U相巻線24Uに短絡が発生したか否かをより精度よく診断するためである。即ち、集中巻きではティース22bの材質に強磁性体を用いる構成上、短絡のような軽微な短絡が発生した場合でも、短絡が発生していない他の部分が作る磁界の方向とは逆方向に強い磁界を発生するため、磁界の強さ(出力電圧 V_s の大きさ)のみでは、短絡が発生している場合と短絡が発生していない場合との差異が不明確となる場合があり、短絡発生の判定が困難となる場合があるが、磁界の方向を考慮することにより、短絡が発生している場合と短絡が発生していない場合とで両者の差異が明確となるため、短絡の発生を確実に診断することができる。

【 0 0 5 5 】

そして、判定した磁界の方向に関する正を、記憶した出力電圧 V_s に付加する処理を実行する。即ち、先にRAM74に記憶した(正負情報が付加されていない)出力電圧 V_s を、正負情報が付加された出力電圧 V_s に置き換える処理を実行する。こうして計測位置 t_0 における正負情報が付加された出力電圧 V_s をRAM74に記憶する処理が完了すると、サーチコイル62が計測位置 t_1 に来るように磁界センサ6を移動して、当該計測位置 t_1 において出力電圧 V_s を計測すると共に、当該出力電圧 V_s と交流電流ACIとの関係に基づいて磁界の向きを決定し、先にRAM74に記憶した(正負情報が付加されていない)出力電圧 V_s を、正負情報が付加された出力電圧 V_s に置き換える処理を実行する。

【 0 0 5 6 】

こうした処理を計測位置 t_L まで所定間隔 d ずつ移動しながら繰り返し実行する。即ち、サーチコイル62の位置をティース22bの根元部(ティース22bのヨーク22aへの接続端部)からティース22bの先端部(固定子22の中心寄りの端部)に向かってティース22bの軸線CL2の延在方向に沿って所定間隔 d ずつ移動しながら上述した処理(正負情報が付加されていない出力電圧 V_s を計測してから正負情報が付加された出力電

10

20

30

40

50

圧 V_s に置き換えるまでの処理) を実行する。なお、所定間隔 d は、例えば、各三相巻線 $24U$ 、 $24V$ 、 $24W$ を構成するコイルの中心間距離にほぼ等しい値に設定することができる。

【0057】

そして、正負の情報が付加された各計測位置 t_i ($i = 0 \sim L$) 毎の出力電圧 V_s の変化態様の判定を行う処理を実行する。具体的には、出力電圧 V_s が全て正である第1パターンであるのか、出力電圧 V_s が正から負に変化した後、再び負から正に変化する第2パターンであるのか、出力電圧 V_s が正または負から負または正に変化したまま当該負または正のまま推移する第3パターンであるのか、あるいは、出力電圧 V_s が負のまま推移する第4パターンであるのかの判定を行う。

10

【0058】

第1パターンの場合には、U相巻線 $24U$ に短絡は発生していないと判定し、当該判定結果を表示装置12に送信する。第2パターンの場合には、負の情報が付加された出力電圧 V_s の絶対値と閾値 V_{sref1} とを比較する処理を実行する。ここで、閾値 V_{sref1} は、U相巻線 $24U$ の軸線 $CL2$ 方向(ティース22bの軸線 $CL2$ 方向、あるいは、ティース22bの延出方向)に隣接する巻線間に短絡が発生している場合に、当該短絡の発生個所を決定するために設定される値であり、本実施の形態では、予め実験などによって求めておき、ROM72に記憶しておく構成とした。閾値 V_{sref1} は、本発明における「第2閾値」に対応する実施構成の一例である。

【0059】

負の情報が付加された出力電圧 V_s の絶対値と閾値 V_{sref1} との比較の結果、閾値 V_{sref1} 以上であると判定された出力電圧 V_s が存在する場合には、最初に閾値 V_{sref1} 以上であると判定された出力電圧 V_s の計測位置 t_i ($i = 0 \sim L$) において、U相巻線 $24U$ の軸線 $CL2$ 方向(ティース22bの軸線 $CL2$ 方向、あるいは、ティース22bの延出方向)に隣接する巻線間に短絡が発生していると判定し、当該判定結果を表示装置12に送信する。

20

【0060】

また、出力電圧 V_s の変化態様が第3パターンであると判定された場合には、正または負から負または正に変化した出力電圧 V_s の計測位置 t_i ($i = 0 \sim L$) が、ティース22bの端部(ティース22の延出端部あるいはティース22の固定子22への接続部側の端部)、即ち、計測位置 t_0 あるいは計測位置 t_L であるか否かの判定を行う。正または負から負または正に変化した出力電圧 V_s の計測位置 t_i ($i = 0 \sim L$) が計測位置 t_0 、 t_L でない場合には、出力電圧 V_s が正から負に変化する態様であれば、最初に負の情報が付加された出力電圧 V_s の計測位置 t_i ($i = 0 \sim L$) において、U相巻線 $24U$ の層間に短絡が発生していると判定し、出力電圧 V_s が負から正に変化する態様であれば、出力電圧 V_s が負から正に転じる直前の負の情報が付加された出力電圧 V_s の計測位置 t_i ($i = 0 \sim L$) において、U相巻線 $24U$ の層間に短絡が発生していると判定して、当該判定結果を表示装置12に送信する。

30

【0061】

一方、正または負から負または正に変化した出力電圧 V_s の計測位置 t_i ($i = 0 \sim L$) が計測位置 t_0 、 t_L である場合には、負の情報が付加された出力電圧 V_s の絶対値が閾値 V_{sref2} 以上であるか否か、あるいは、正の情報が付加された出力電圧 V_s のピーク値と負の情報が付加された出力電圧 V_s のピーク値との差を、正の情報が付加された出力電圧 V_s のピーク値の計測位置 t_i ($i = 0 \sim L$) と負の情報が付加された出力電圧 V_s のピーク値の計測位置 t_i ($i = 0 \sim L$) との差で除して算出した変化割合 CR の絶対値が基準変化割合 BCR 以上であるか否かの判定を行う。ここで、閾値 V_{sref2} および基準変化割合 BCR は、U相巻線 $24U$ が軸線 $CL2$ 方向(ティース22bの軸線 $CL2$ 方向、あるいは、ティース22bの延出方向)に隣接する巻線間で短絡が発生しているのか、あるいは、U相巻線 $24U$ が層間で短絡が発生しているのかを判定するために設定される値であり、本実施の形態では、予め実験などによって求めておき、ROM72に

40

50

記憶しておく構成とした。閾値 V_{sref2} は、本発明における「閾値」に対応する実施構成の一例である。

【0062】

負の情報が付加された出力電圧 V_s の絶対値が閾値 V_{sref2} 以上、あるいは、変化割合 CR の絶対値が基準変化割合 BCR 以上であれば、計測位置 t_0 、 t_L において、 U 相巻線 24U の軸線 $CL2$ 方向（ティース 22b の軸線 $CL2$ 方向、あるいは、ティース 22b の延出方向）に隣接する巻線間に短絡が発生していると判定し、当該判定結果を表示装置 12 に送信する。一方、負の情報が付加された出力電圧 V_s の絶対値が閾値 V_{sref2} 未満、あるいは、変化割合 CR の絶対値が基準変化割合 BCR 未満であれば、計測位置 t_0 、 t_L において、 U 相巻線 24U の層間に短絡が発生していると判定し、当該判定結果を表示装置 12 に送信する。

10

【0063】

さらに、出力電圧 V_s の変化態様が第 4 パターンであると判定された場合には、 U 相巻線 24U の層間に短絡が発生していると判定し、当該判定結果を表示装置 12 に送信する。正負の情報が付加された各計測位置 t_i ($i = 0 \sim L$) 毎の出力電圧 V_s の変化態様（第 1、第 2、第 3 および第 4 パターン）に基づき U 相巻線 24U に発生している短絡の態様、即ち、 U 相巻線 24U の軸線 $CL2$ 方向に隣接する巻線間に短絡が発生しているのか、あるいは、当該巻線の層間に短絡が発生しているのかを判定する CPU 70 は、本発明における「プロセッサ」に対応する実施構成の一例である。

【0064】

次に、本実施の形態に係る本発明の巻線短絡診断装置 1 を用いて上述した第 1、第 2、第 3 および第 4 パターンの短絡発生の診断を行った実験結果について図 11 ないし図 26 を参照しながら説明する。当該実験では、長さ 60 mm の鉄の材質の直方体の長手方向の両端を 5 mm だけ残して長手方向の中央 50 mm の範囲に巻線を二層巻いたソレノイドコイルを用い、当該ソレノイドコイルの長手方向の一端（以下、「測定開始点」という）にサーチコイル 62 が配置されるように磁界センサ 6 を設置して、磁界センサ 6 をソレノイドコイルの軸線方向（直方体の長手方向）に 2 mm（巻線の中心間距離）ずつずらしながら、ソレノイドコイルの長手方向の他端（以下、「測定終了点」という）まで測定点を変えて磁界を計測した。

20

【0065】

なお、当該実験では、短絡を有さない 2 層巻線構造のソレノイドコイル $SLC1$ （図 11 および図 19）、測定開始点から 30 mm の箇所（計測位置 t_{30} 、図 12 および図 20）においてソレノイドコイルの長手方向に隣接する巻線間に短絡を発生させた 2 層巻線構造のソレノイドコイル $SLC2$ 、測定開始点（計測位置 t_0 、図 13 および図 21）においてソレノイドコイルの長手方向に隣接する巻線間に短絡を発生させた 2 層巻線構造のソレノイドコイル $SLC3$ 、測定終了点（計測位置 t_{50} 、図 14 および図 22）においてソレノイドコイルの長手方向に隣接する巻線間に短絡を発生させた 2 層巻線構造のソレノイドコイル $SLC4$ 、測定開始点から 37 mm の箇所（図 15 および図 23）において巻線の層間に短絡を発生させた 2 層巻線構造のソレノイドコイル $SLC5$ 、測定終了点（図 16、図 17、図 24 および図 25）において巻線の層間に短絡を発生させた 2 層巻線構造のソレノイドコイル $SLC6$ 、 $SLC7$ （ソレノイドコイル $SLC6$ とソレノイドコイル $SLC7$ とは短絡箇所は同じで、測定開始値を異ならせている）、および、測定開始点（計測位置 t_0 、図 18 および図 26）において巻線の層間に短絡を発生させた 3 層巻線構造のソレノイドコイル $SLC8$ を用いるものとした。なお、ソレノイドコイルの端子間には、約 70 mA の交流電流 ACI を通電するものとした（このときの周波数は 1 kHz である）。

30

【0066】

ソレノイドコイル $SLC1$ （図 19 参照）では、図 11 に示すように、計測位置 t_0 （測定開始点）から計測位置 t_{50} （測定終了点）までの全範囲で、出力電圧 V_s は正の値を示した。この結果、出力電圧 V_s の変化態様が第 1 パターンの場合であれば、巻線に短

40

50

絡は発生していないと判定することができることを確認できた。

【0067】

ソレノイドコイルSLC2(図20参照)では、図12に示すように、計測位置 t_{28} (測定開始点から28mmの箇所)から出力電圧 V_s が負となり、計測位置 t_{34} (測定開始点から34mmの箇所)から出力電圧 V_s が再び正となっている。この結果、出力電圧 V_s の変化態様が第2パターンの場合であれば、巻線の長手方向に隣接する巻線間に短絡が発生していると判定することができることを確認できた。なお、出力電圧 V_s の絶対値が閾値 V_{sref1} 以上となった計測位置 t_{30} (測定開始点から30mmの箇所)において、短絡が発生していることを特定することができることも確認できた。

【0068】

ソレノイドコイルSLC3(図21参照)では、図13に示すように、計測位置 t_0 (測定開始点)において出力電圧 V_s が負となっており、計測位置 t_4 (測定開始点から4mmの箇所)において出力電圧 V_s が正に転じて、計測位置 t_{50} (測定終了点)まで出力電圧 V_s は正のまま推移している。ここで、計測位置 t_0 (測定開始点)における出力電圧 V_s の絶対値は、閾値 V_{sref2} (図13の一点鎖線)以上となっている。また、出力電圧 V_s のうちの正のピーク値と負のピーク値とを結ぶ直線(図13の二点鎖線)の傾きの絶対値(出力電圧 V_s の変化割合CR)が基準変化割合BCR(図13の実線)以上となっている。この結果、出力電圧 V_s の変化態様が第3パターンの場合であって、短絡がティース22bの端部(ティース22bの延出端部あるいはティース22bの固定子22への接続部側の端部)において生じている場合には、出力電圧 V_s の絶対値が閾値 V_{sref2} 以上であるか、あるいは、出力電圧 V_s の変化割合CRが基準変化割合BCR以上であれば、ティース22bの長手方向に隣接する巻線間に短絡が発生していると判定することができることを確認できた。なお、出力電圧 V_s の絶対値が閾値 V_{sref1} (図13の破線)以上となった計測位置 t_0 (測定開始点)において、短絡が発生していることを特定することができることも確認できた。

【0069】

ソレノイドコイルSLC4(図22参照)では、図14に示すように、計測位置 t_{48} (測定開始点から48mmの箇所)において出力電圧 V_s が負に転じ、計測位置 t_{50} (測定終了点)に至るまで出力電圧 V_s は負のまま推移している。なお、計測位置 t_{50} (測定終了点)において出力電圧 V_s の絶対値が、閾値 V_{sref2} (図14の一点鎖線)以上となっている。また、出力電圧 V_s のうちの正のピーク値と負のピーク値とを結ぶ直線(図14の二点鎖線)の傾きの絶対値(出力電圧 V_s の変化割合CR)が基準変化割合BCR(図14の実線)以上となっている。この結果、出力電圧 V_s の変化態様が第3パターンの場合であって、短絡がティース22bの端部(ティース22bの延出端部あるいはティース22bの固定子22への接続部側の端部)において発生している場合には、出力電圧 V_s の絶対値が閾値 V_{sref2} 以上であるか、あるいは、出力電圧 V_s の変化割合CRが基準変化割合BCR以上であれば、ティース22bの長手方向に隣接する巻線間に短絡が発生していると判定することができることを確認できた。なお、出力電圧 V_s の絶対値が閾値 V_{sref1} (図14の破線)以上となった計測位置 t_{50} (測定終了点)において短絡が発生していることを特定することができることも確認できた。

【0070】

ソレノイドコイルSLC5(図23参照)では、図15に示すように、計測位置 t_{38} (測定開始点から38mmの箇所)において出力電圧 V_s が負に転じ、計測位置 t_{50} (測定終了点)に至るまで出力電圧 V_s は負のまま推移している。この結果、出力電圧 V_s の変化態様が第3パターンの場合であって、短絡がティース22bの端部以外、即ち、計測位置 t_0 , t_{50} (測定終了点)以外において発生している場合であれば、巻線の層間に短絡が発生していると判定することができることを確認できた。なお、出力電圧 V_s が正から負に転じた計測位置 t_{38} (測定開始点から38mmの箇所)において、短絡が発生していることを特定することができることも確認できた。

【0071】

10

20

30

40

50

ソレノイドコイル S L C 6 (図 2 4 参照) では、図 1 6 に示すように、計測位置 t_{50} (測定開始点から 5 0 mm の箇所) において出力電圧 V_s が負に転じている。なお、計測位置 t_{50} (測定終了点) において出力電圧 V_s の絶対値が、閾値 V_{sref2} (図 1 6 の一点鎖線) 未満となっている。また、出力電圧 V_s のうちの正のピーク値と負のピーク値とを結ぶ直線 (図 1 6 の二点鎖線) の傾きの絶対値 (出力電圧 V_s の変化割合 CR) が基準変化割合 BCR (図 1 6 の実線) 未満となっている。この結果、出力電圧 V_s の変化態様が第 3 パターンの場合であって、短絡がティース 2 2 b の端部 (ティース 2 2 b の延出端部あるいはティース 2 2 b の固定子 2 2 への接続部側の端部) において発生している場合には、出力電圧 V_s の絶対値が閾値 V_{sref2} 未満であるか、あるいは、出力電圧 V_s の変化割合 CR が基準変化割合 BCR 未満であれば、巻線の層間に短絡が発生していると判定することができることを確認できた。なお、出力電圧 V_s が正から負に転じた計測位置 t_{50} (測定終了点) において短絡が発生していることを特定することができることも確認できた。

10

【 0 0 7 2 】

ソレノイドコイル S L C 7 は、図 2 5 に示すように、基本的には、ソレノイドコイル S L C 6 と同じ箇所短絡を発生させているが、測定開始点および測定終了点がソレノイドコイル S L C 6 とは逆となっている。即ち、ソレノイドコイル S L C 7 では、測定開始点が計測位置 t_{50} となっており、測定終了点が計測位置 t_0 となっている。ソレノイドコイル S L C 7 では、図 1 7 に示すように、計測位置 t_{50} (測定開始点) において出力電圧 V_s が負を示し、その後、測定位置 t_{48} (測定開始点から 2 mm の箇所) において出力電圧 V_s が正に転じて、以降、出力電圧 V_s は測定位置 t_0 (測定終了点) まで正のまま推移している。ここで、計測位置 t_{50} (測定開始点) において出力電圧 V_s の絶対値が、閾値 V_{sref2} (図 1 7 の一点鎖線) 未満となっている。また、出力電圧 V_s のうちの正のピーク値と負のピーク値とを結ぶ直線 (図 1 7 の二点鎖線) の傾きの絶対値 (出力電圧 V_s の変化割合 CR) が基準変化割合 BCR (図 1 7 の実線) 未満となっている。この結果、出力電圧 V_s の変化態様が第 3 パターンの場合であって、短絡がティース 2 2 b の端部 (ティース 2 2 b の延出端部あるいはティース 2 2 b の固定子 2 2 への接続部側の端部) において発生している場合には、出力電圧 V_s の絶対値が閾値 V_{sref2} 未満であるか、あるいは、出力電圧 V_s の変化割合 CR が基準変化割合 BCR 未満であれば、巻線の層間に短絡が発生していると判定することができることを確認できた。なお、出力電圧 V_s が正から負に転じた計測位置 t_{50} (測定開始点) において短絡が発生していることを特定することができることも確認できた。

20

30

【 0 0 7 3 】

ソレノイドコイル S L C 8 は、図 2 6 に示すように、ソレノイドコイル S L C 1 ~ 7 とは異なり、3 層の巻線構造となっている (ソレノイドコイル S L C 1 ~ 7 は 2 層の巻線構造) 。ソレノイドコイル S L C 8 (図 2 6 参照) では、図 1 8 に示すように、計測位置 t_0 (測定開始点) から計測位置 t_{50} (測定終了点) までの全範囲で、出力電圧 V_s は負の値を示した。この結果、出力電圧 V_s の変化態様が第 4 パターンの場合であれば、巻線の層間に短絡が発生していると判定することができることを確認できた。なお、この場合、短絡の発生箇所については特定できない。

40

【 0 0 7 4 】

以上説明した本実施の形態に係る本発明の巻線短絡診断装置 1 によれば、ティース 2 2 b 毎に巻かれた三相巻線 2 4 U , 2 4 V , 2 4 W に生じる磁界を当該ティース 2 2 b の延出方向に沿って所定間隔 d 毎に計測すると共に、三相巻線 2 4 U , 2 4 V , 2 4 W に流れる交流電流 ACI と計測位置 t_i ($i = 0 \sim L$) 毎の出力電圧 V_s との位相差を比較して磁界センサ 6 (サーチコイル 6 2) により計測される磁界の向きを決定し、当該磁界の向きを考慮した出力電圧 V_s の変化態様がパターン 1 ないし 4 のいずれに該当するのかによって、三相巻線 2 4 U , 2 4 V , 2 4 W にティース 2 2 b の延出方向に隣接する巻線間において短絡が発生しているのか、あるいは、層間において短絡が発生しているのかを判定する構成であるため、ティース 2 2 b に巻かれた三相巻線 2 4 U , 2 4 V , 2 4 W がどのような態

50

様で短絡しているのかを特定することができる。これにより、短絡が発生しやすい傾向にある態様情報を取得し得るため、当該情報を設計段階へフィードバックすることによって、巻線の巻き方や巻線を巻くためのティースの構造などについての対策を施すことができる。この結果、電動機 2 や発電機といった回転機の短絡発生割合を低下させることにつながり、品質向上に寄与し得る。

【 0 0 7 5 】

本実施の形態では、コイルを数ターンから数十ターン程度巻いた 1 つのサーチコイル 6 2 を有す磁界センサ 6 を、計測位置 t_0 から計測位置 t_L まで軸線 $CL2$ の延在方向に沿って移動しながら各計測位置 t_i ($i = 0 \sim L$) での磁界 (出力電圧 V_s) を計測する構成としたが、これに限らない。例えば、図 27 に例示する変形例の磁界センサ 106 に示すように、磁界センサ 106 がコイルを数ターンから数十ターン程度巻いたサーチコイル 6 2 を有し、当該サーチコイル 6 2 を各計測位置 t_i ($i = 0 \sim L$) 毎に配置して、一度に各計測位置 t_i ($i = 0 \sim L$) での磁界 (出力電圧 V_s) を計測する構成としても良い。当該構成によれば、サーチコイル 6 2 を移動させる時間を省略することができるため、計測時間の短縮および計測の簡略化を図ることができる。

10

【 0 0 7 6 】

本実施の形態では、交流電流 ACI と出力電圧 V_s との位相差を比較し、当該位相差に基づき磁界の向きを決定する構成としたが、これに限らない。例えば、磁界の向きを決定するにあたり、交流電圧と出力電圧 V_s との位相差を比較し、当該位相差に基づき磁界の向きを決定する構成としても良い。

20

【 0 0 7 7 】

本実施の形態では、ティース 22b の根元部 (ティース 22b のヨーク 22a への接続端部) からティース 22b の先端部 (固定子 22 の中心寄りの端部) に向かって磁界の強さを測定すると共に、磁界の方向を決定する処理を行う構成としたが、これに限らない。例えば、本実施の形態とは逆に、ティース 22b の先端部 (固定子 22 の中心寄りの端部) からティース 22b の根元部 (ティース 22b のヨーク 22a への接続端部) に向かって磁界の強さを測定すると共に、磁界の方向を決定する処理を行う構成としても良い。

【 0 0 7 8 】

本実施の形態では、出力電圧 V_s の変化態様が第 3 パターンの場合であって、短絡がティース 22b の端部 (ティース 22 の延出端部あるいはティース 22 の固定子 22 への接続部側の端部) にて生じている場合には、負の情報が付加された出力電圧 V_s の絶対値が閾値 V_{sref2} 以上であるか否か、および、出力電圧 V_s の変化割合 CR の絶対値が基準変化割合 BCR 以上であるか否か、の両方の判定を行う構成としたが、これに限らない。例えば、負の情報が付加された出力電圧 V_s の絶対値が閾値 V_{sref2} 以上であるか否か、あるいは、出力電圧 V_s の変化割合 CR の絶対値が基準変化割合 BCR 以上であるか否か、の一方のみを判定する構成としても良い。また、負の情報が付加された出力電圧 V_s の絶対値が閾値 V_{sref2} 以上であるか否か、および、出力電圧 V_s の変化割合 CR の絶対値が基準変化割合 BCR 以上であるか否か、の両方の判定を行う場合、両方が「可」の場合のみ、U 相巻線 24U の軸線 $CL2$ 方向 (ティース 22b の軸線 $CL2$ 方向、あるいは、ティース 22b の延出方向) に隣接する巻線間に短絡が発生していると判定し、両方が「否」であれば、U 相巻線 24U の層間に短絡が発生していると判定する構成としても良い。

30

40

【 0 0 7 9 】

本実施の形態では、電圧発振部 4 によって U - V 相間、V - W 相間、W - U 相間それぞれに印加する交流電圧の周波数を 1 kHz に設定したが、これに限らない。電圧発振部 4 によって U - V 相間、V - W 相間、W - U 相間それぞれに印加する交流電圧の周波数は、商用交流電源の周波数 60 Hz (あるいは 50 Hz) よりも高い周波数であれば周波数は如何なる値であっても良い。

【 0 0 8 0 】

本実施の形態では、電圧発振部 4 によって U - V 相間、V - W 相間、W - U 相間それぞ

50

れに印加する交流電圧を 200 ボルト以下に設定したが、これに限らない。

【0081】

本実施の形態では、サーチコイル 62 を移動させる間隔である所定間隔 d を各三相巻線 24U, 24V, 24W を構成するコイルの中心間距離にほぼ等しい値に設定する構成としたが、これに限らない。

【0082】

本実施の形態では、三相巻線 24U, 24V, 24W が直接巻回されたティース 22b を有する固定子 22 における当該三相巻線 24U, 24V, 24W の短絡を診断する構成としたが、これに限らない。例えば、三相巻線 24U, 24V, 24W が直接巻回されたスロットを有する回転子 32 における当該三相巻線 24U, 24V, 24W の短絡を診断する構成としても良い。この場合、電動機 2 から固定子 22 を取り外して、回転子 32 のみとした状態で、三相巻線 24U, 24V, 24W の短絡を診断を行う構成とすれば良い。

10

【0083】

本実施の形態は、本発明を実施するための形態の一例を示すものである。したがって、本発明は、本実施形態の構成に限定されるものではない。なお、本実施形態の各構成要素と本発明の各構成要素の対応関係を以下に示す。

【符号の説明】

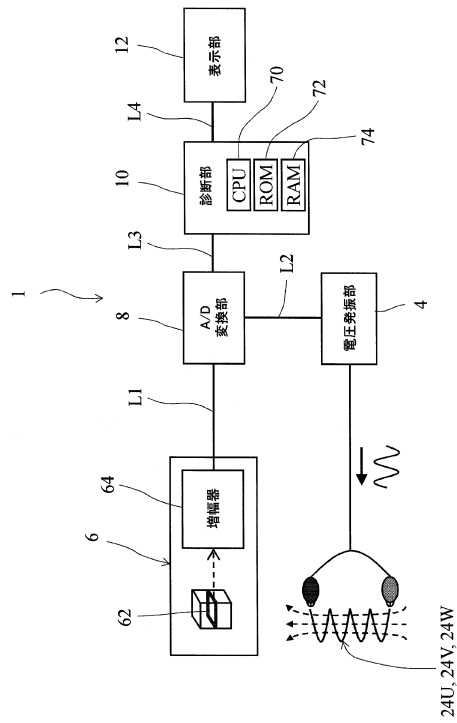
【0084】

1	巻線短絡診断装置（巻線短絡診断装置）	
2	電動機（回転機）	20
4	電圧発振部（電圧発振部）	
6	磁界センサ（磁界センサ）	
8	A / D 変換部	
10	診断部	
22	固定子（固定子）	
22a	ヨーク	
22b	ティース（ティース）	
24U	U 相巻線（巻線）	
24Us	閉ループ	
24V	V 相巻線（巻線）	30
24W	W 相巻線（巻線）	
26	接続端子	
32	回転子（回転子）	
62	サーチコイル（サーチコイル）	
64	増幅器	
70	CPU（プロセッサ）	
72	ROM	
74	RAM（メモリ）	
106	磁界センサ（磁界センサ）	
ACI	交流電流（交流電流）	40
L1	信号線	
L2	信号線	
L3	信号線	
L4	信号線	
Vs	出力電圧（出力電圧）	
CL1	軸線	
CL2	軸線	
H0	磁界の強さ	
Hs	磁界の強さ	
Is	電流	50

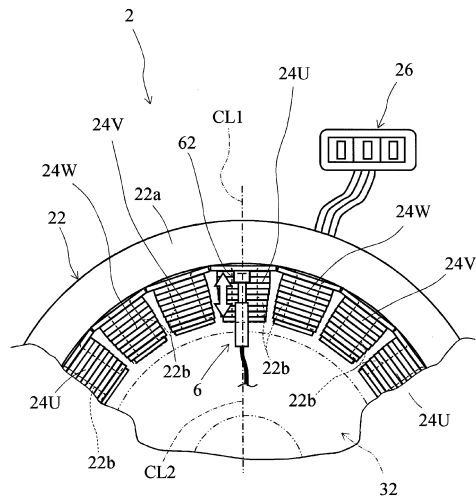
- S 短絡
- t₀ 計測位置
- t_L 計測位置
- t_i 計測位置
- d 所定間隔
- h 所定距離
- V_{sref1} 閾値 (第2閾値)
- V_{sref2} 閾値 (閾値)
- S_{LC1} ソレノイドコイル
- S_{LC2} ソレノイドコイル
- S_{LC3} ソレノイドコイル
- S_{LC4} ソレノイドコイル
- S_{LC5} ソレノイドコイル
- S_{LC6} ソレノイドコイル
- S_{LC7} ソレノイドコイル
- S_{LC8} ソレノイドコイル

【図面】

【図1】



【図2】



10

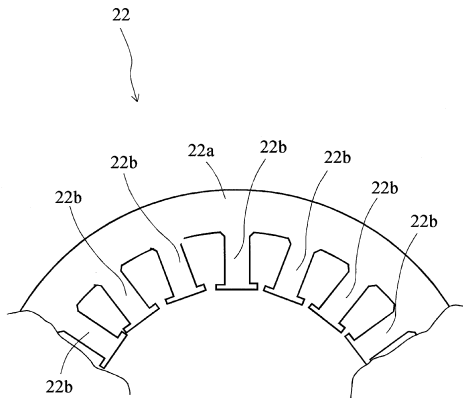
20

30

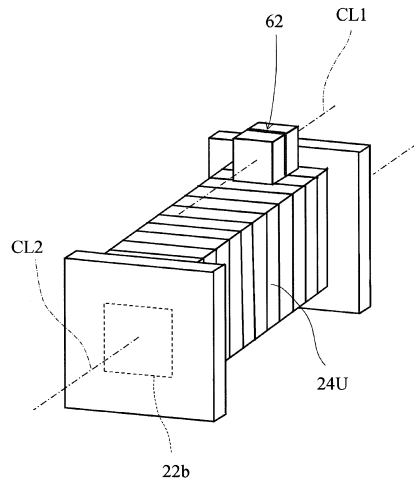
40

50

【 図 3 】



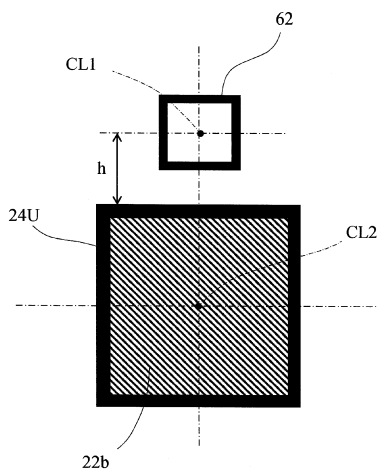
【 図 4 】



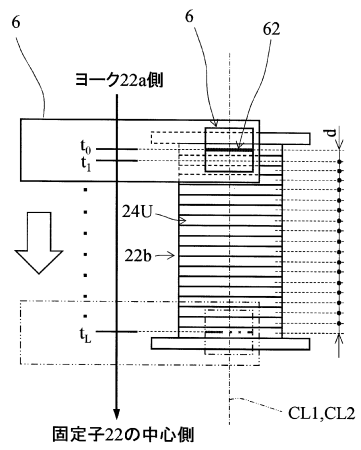
10

20

【 図 5 】



【 図 6 】

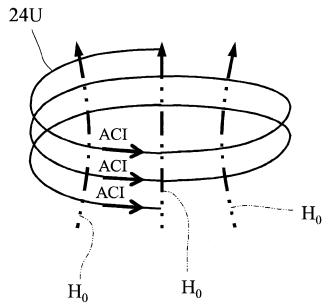


30

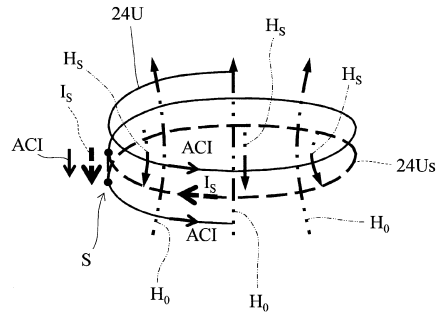
40

50

【 図 7 】

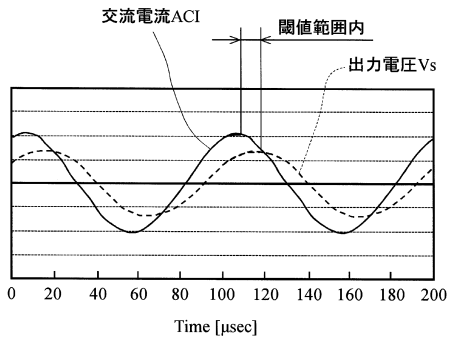


【 図 8 】

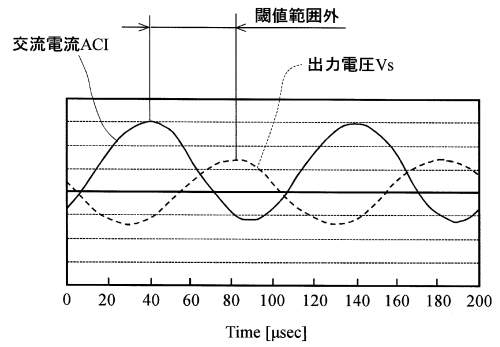


10

【 図 9 】



【 図 10 】



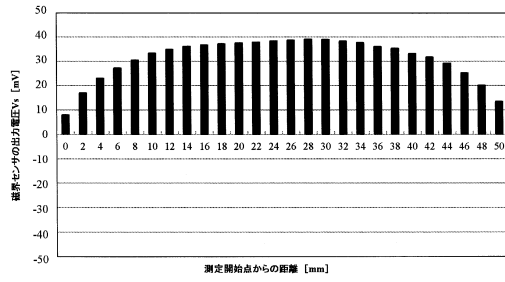
20

30

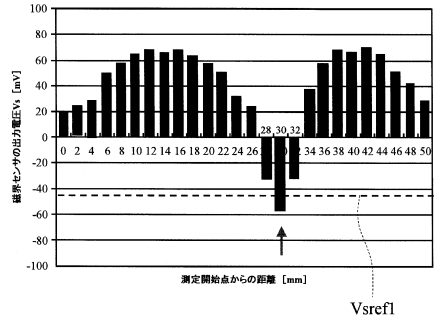
40

50

【図 1 1】

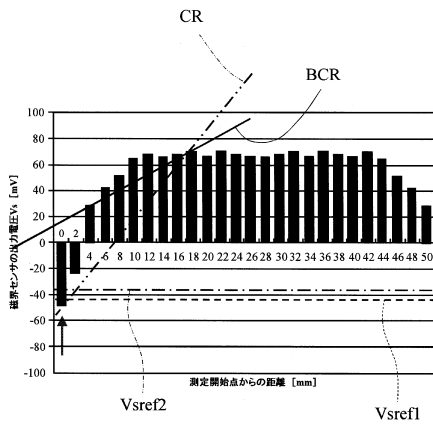


【図 1 2】

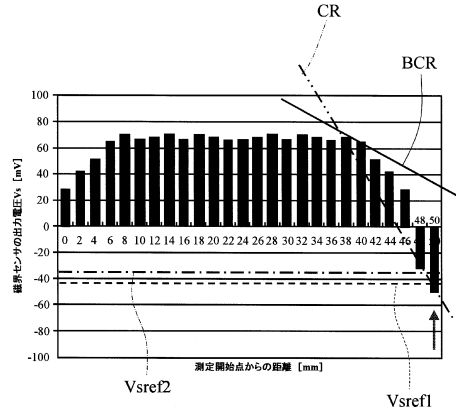


10

【図 1 3】



【図 1 4】



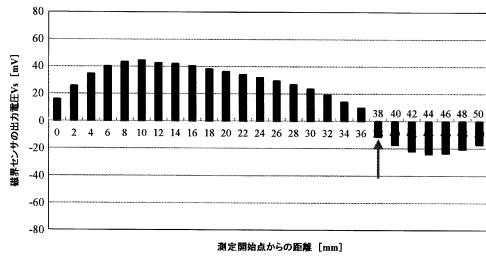
20

30

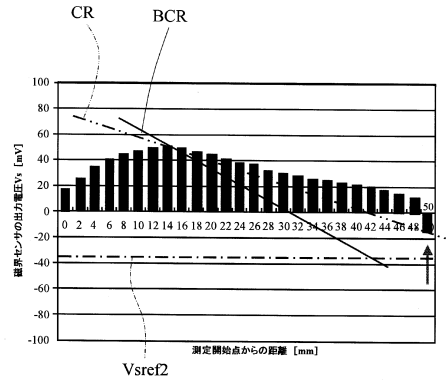
40

50

【図 15】

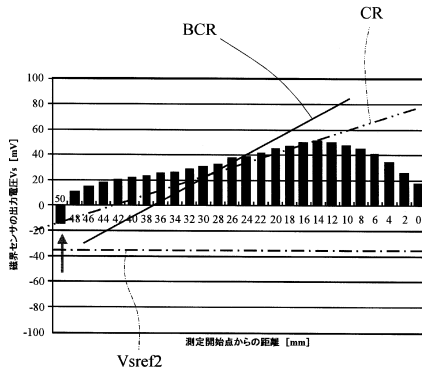


【図 16】

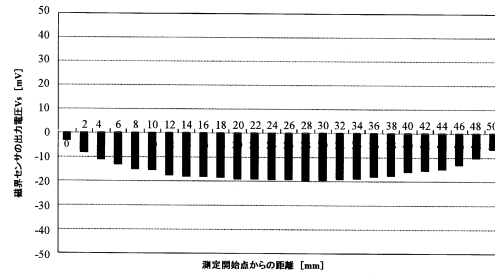


10

【図 17】



【図 18】



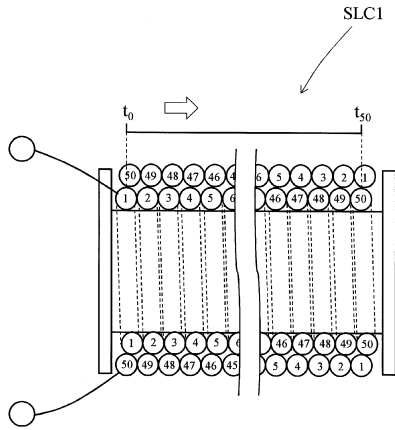
20

30

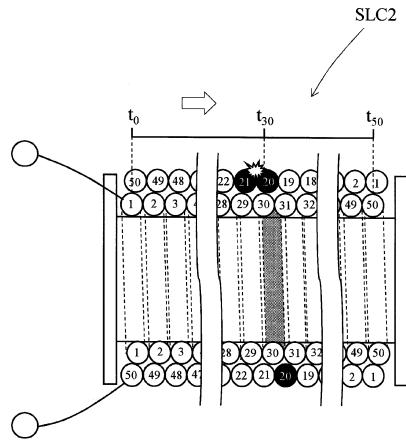
40

50

【 図 19 】

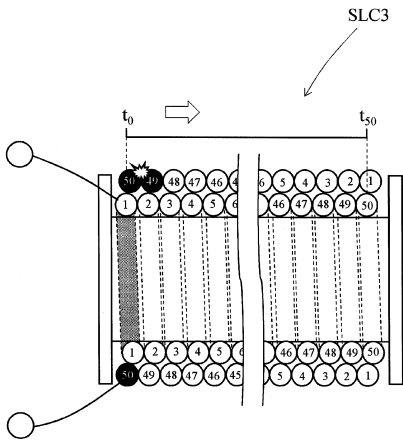


【 図 20 】

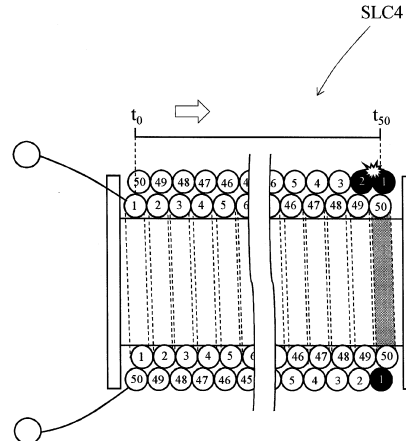


10

【 図 21 】



【 図 22 】



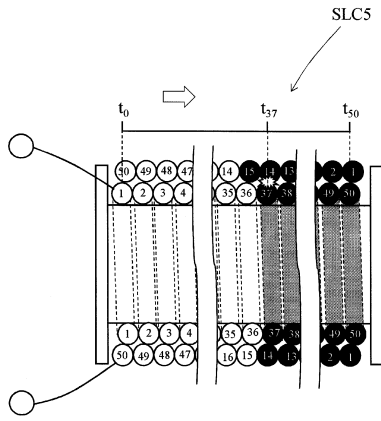
20

30

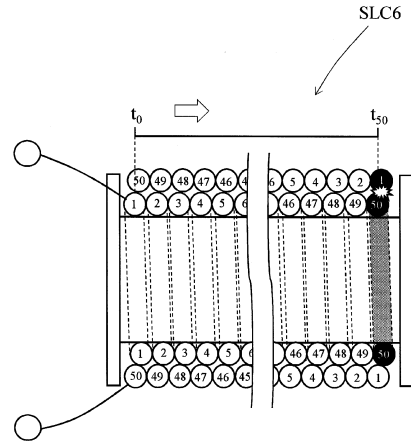
40

50

【 図 2 3 】

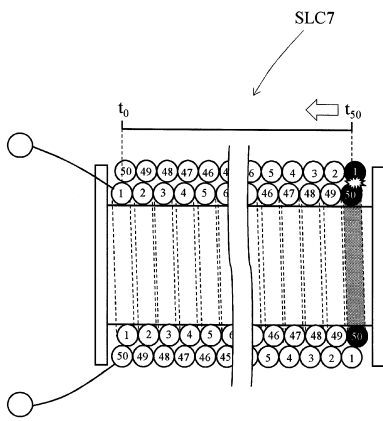


【 図 2 4 】

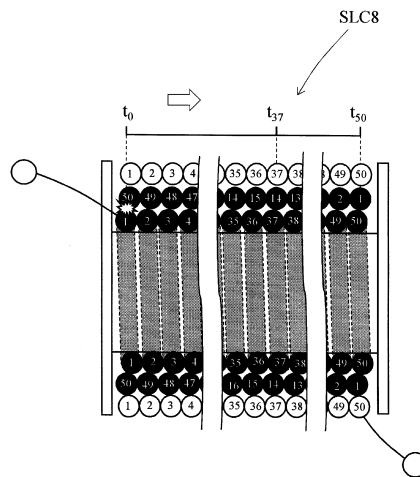


10

【 図 2 5 】



【 図 2 6 】



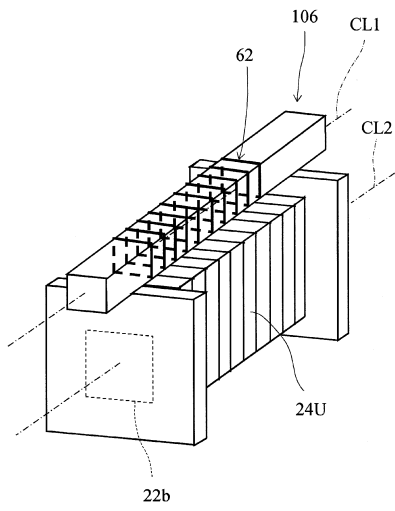
20

30

40

50

【 図 27 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特許第 6 4 0 4 4 2 4 (J P , B 1)
特開 2 0 0 9 - 2 4 7 2 0 3 (J P , A)
特開平 0 1 - 3 0 7 6 7 7 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- G 0 1 R 3 1 / 7 2
G 0 1 R 3 1 / 3 4