

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4783069号
(P4783069)

(45) 発行日 平成23年9月28日(2011.9.28)

(24) 登録日 平成23年7月15日(2011.7.15)

(51) Int.Cl.

HO2K 11/00 (2006.01)

F 1

HO2K 11/00

V

請求項の数 11 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2005-183359 (P2005-183359)
 (22) 出願日 平成17年6月23日 (2005.6.23)
 (65) 公開番号 特開2007-6608 (P2007-6608A)
 (43) 公開日 平成19年1月11日 (2007.1.11)
 審査請求日 平成20年4月15日 (2008.4.15)

(73) 特許権者 000003078
 株式会社東芝
 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 (73) 特許権者 390014568
 東芝プラントシステム株式会社
 神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央四丁目36
 番5号
 (73) 特許権者 395009938
 東芝アイテック株式会社
 神奈川県横浜市鶴見区末広町二丁目四番地
 (74) 代理人 100078765
 弁理士 波多野 久
 (74) 代理人 100078802
 弁理士 関口 俊三

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】コイルの水漏れ検出方法およびこの検出方法に適用する水漏れ検出装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

絶縁層で被覆したコイルの導体に供給している冷却水が前記絶縁層に漏水しているかの有無を検出する際、前記導体に交流電圧を印加するとともに、前記絶縁層に表面電極装置を押し当て、この表面電極装置をインピーダンスを介して接地し、前記表面電極装置の電位を測定し、測定した電位が健全なコイルに較べて高くなっているとき、前記導体から前記絶縁層に漏水があったと判定することを特徴とするコイルの水漏れ検出方法。

【請求項 2】

表面電極装置の電位は、非接触表面電位計、交流電圧測定装置および電圧波形観測測定装置のうち、いずれかを用いて測定することを特徴とする請求項1に記載のコイルの水漏れ検出方法。

10

【請求項 3】

絶縁層で被覆したコイルの導体に供給している冷却水が前記絶縁層に漏水しているかの有無を検出する際、前記導体に交流電圧を印加する交流電源と、前記絶縁層に当接する表面電極装置と、この表面電極装置と大地との間に介装するインピーダンスと、前記表面電極装置の電位を電位測定プローブおよび電位計を介装させて測定する電圧測定装置とを備えたことを特徴とするコイルの水漏れ検出装置。

【請求項 4】

絶縁層で被覆したコイルの導体に供給している冷却水が前記絶縁層に漏水しているかの有無を検出する際、前記導体に交流電圧を印加する交流電源と、前記絶縁層に当接する表面

20

電極装置と、この表面電極装置と大地との間に介装するインピーダンスと、前記表面電極装置の電位を測定する交流電圧測定装置および電圧波形観測測定装置のうち、いずれかを備えたことを特徴とするコイルの水漏れ検出装置。

【請求項 5】

絶縁層で被覆したコイルの導体に供給している冷却水が前記絶縁層に漏水しているかの有無を検出する際、前記導体に交流電圧を印加する交流電源と、前記絶縁層に当接する表面電極装置と、この表面電極装置と大地との間に介装するインピーダンスと、前記表面電極装置の電位を変換器を介装して読み取るコンピュータとを備えたことを特徴とするコイルの水漏れ検出装置。

【請求項 6】

表面電極装置は、コイルの絶縁層に押し当てる、柔軟性材料で作製された電極板と、この電極板に押圧力を与える押し板と、前記電極板と前記押し板との間に前記電極板側から順に配置する絶縁層、接地電極およびクッション層を介装させたことを特徴とする請求項 3 乃至 5のいずれか 1 項に記載の水漏れ検出装置。

【請求項 7】

表面電極装置は、コイルの絶縁層に押し当てる、柔軟性材料で作製された電極板と、この電極板に押圧力を与える押し板と、前記電極板と前記押し板との間に前記押し板側から順に配置するクッション層、接地電極および絶縁層を介装させるとともに、前記押し板、前記クッション層、前記接地電極のそれぞれの中間位置を切り欠き、切り欠いた位置に装着したプローブを支持する支持具を備えたことを特徴とする請求項 3 乃至 5のいずれか 1 項に記載の水漏れ検出装置。

【請求項 8】

押し板は把持部を備えたことを特徴とする請求項 6 または 7に記載の水漏れ検出装置。

【請求項 9】

表面電極装置は、接地電極に設けられ、ケーブルを収容するケーブル支持部を備えるとともに、前記接地電極から順に絶縁層、背後電極板、柔軟性材料で作製された電極板を積層状に配置する構成にしたことを特徴とする請求項 3 乃至 5のいずれか 1 項に記載の水漏れ検出装置。

【請求項 10】

表面電極装置は、接地電極に設けられ、ケーブルを収容するケーブル支持部を備えるとともに、前記接地電極から順に絶縁層、背後電極板、クッション層、電極板を積層状に配置する一方、前記背後電極板と前記電極板とを電気的に接続させる構成にしたことを特徴とする請求項 3 乃至 5のいずれか 1 項に記載の水漏れ検出装置。

【請求項 11】

ケーブル支持部に収容されたケーブルは、心線を背後電極板に設けた引出し線に接続させる構成にしたことを特徴とする請求項 9 または 10に記載の水漏れ検出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、導体を直接、冷却水で冷却する高圧電気機器の絶縁コイルにおいて、コイル端部のクリップと銅素線間のろう付部分の劣化により冷却水が絶縁層内に漏水したことを検出するコイルの水漏れ検出方法およびこの検出方法に適用するコイルの水漏れ検出装置に関する。

【背景技術】

【0002】

回転電極は、容量が大きくなると、固定子コイル（固定子巻線）に流れる電流が大きくなり、これに伴って固定子コイルに発生するジュール損失により温度が高くなり過ぎて設計することが難しくなっている。

【0003】

このため、大容量回転電機では、固定子コイルを冷却水で直接、冷却するタイプのもの

10

20

30

40

50

が数多く実施されており、その構成として図25に示すものがある。

【0004】

一般に、大容量回転電機は、円筒状に形成する固定子鉄子1の内部側に数多くの溝を設け、各溝に下コイル2bおよび上コイル2aを一対の組とするコイル2を挿通させている。

【0005】

下コイル2bおよび上コイル2aを一対の組とするコイル2は、素線として中空平角銅線単独または中実平角銅線に中空平角線を混ぜたものを用いて導体3a, 3bとし、導体3a, 3bの断面外形を長方形に成形し、その外側に絶縁層4a, 4bを被覆している。

【0006】

また、上、下コイル2a, 2bは、導体3a, 3bの端部にクリップ5a, 5bを溶接接続させ、各クリップ5a, 5b間を中空に成形した接続導体で接続させ、冷却水給排絶縁管7から供給される、例えば脱イオン水等の冷却水で、直接、導体3a, 3bを冷却するようになっている。

【0007】

ところで、長年の運転の結果、導体3a, 3bとクリップ5a, 5bとのろう付け部分に腐食による劣化が生じて微細な穴があき、冷却水が絶縁層4a, 4bに漏水し、コイル2(2a, 2b)は絶縁破壊を起すことがある。

【0008】

このようなコイル2(2a, 2b)の絶縁破壊に対し、導体3a, 3bとクリップ5a, 5bとの溶接部分は、絶縁層4a, 4bで覆われていて目視確認ができないので、冷却水の絶縁層4a, 4bへの漏水確認手段として、例えば、特許文献1に見られるように、固定子コイルにアーム装置を装着し、アーム装置を駆動させて固定子コイルを移動させるものや、例えば、特許文献2に見られるように、固定子の保持環と固定子コイルとの間に駆動装置を装着し、装着した駆動装置に取付部を設けるとともに、静電容量測定部を備えたものや、あるいは例えば、特許文献3に見られるように、コイルの絶縁層に電極を配置し、電極とコイル導体との間の絶縁層の静電容量または誘導率を測定するもの等数多くの発明が開示されている。

【特許文献1】特開平9-331656号公報

【特許文献2】特開平9-51658号公報

【特許文献3】特開平10-177053号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上述の特許文献1~3は、コイルの表面に電極を装着し、導体との間の静電容量等を測定し、静電容量が健全なコイルに較べて大きくなっているとき冷却水の絶縁層への漏水があったと認定している。

【0010】

この場合、静電容量は、LCRメータ等の測定装置を用いて測定しているが、その性能上、一般には1kHz以上の周波数を用いて測定している。

【0011】

しかし、冷却水が漏水したコイルは、低周波数ほど測定感度が高くなっている。

【0012】

このため、従来からより低い周波数で測定できる手法を模索しているものの、未だ実現していない。

【0013】

また、従来、電極面積が小さいと、測定精度が悪くなることが知られており、通常、10cm²以上の電極が用いられている。

【0014】

このため、大きな電極をコイルの表面に装着できない場合、測定精度が悪くなり、冷却

10

20

30

40

50

水の絶縁層への漏水が正確に測定できない等の問題を抱えていた。

【0015】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、1 kHz 以下の低い周波数の交流電圧あるいは直流電圧を用いることができるようになるとともに、小さい電極装置を用いて、高感度で冷却水の漏水が検出できるコイルの水漏れ検出方法およびこの検出方法に適用するコイルの水漏れ検出装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明に係るコイルの水漏れ検出方法は、上述の目的を達成するために、請求項1に記載したように、絶縁層で被覆したコイルの導体に供給している冷却水が前記絶縁層に漏水しているかの有無を検出する際、前記導体に交流電圧を印加するとともに、前記絶縁層に表面電極装置を押し当て、この表面電極装置をインピーダンスを介して接地し、前記表面電極装置の電位を測定し、測定した電位が健全なコイルに較べて高くなっているとき、前記導体から前記絶縁層に漏水があったと判定する方法である。

10

【0017】

また、本発明に係るコイルの水漏れ検出方法は、上述の目的を達成するために、請求項2に記載したように、表面電極装置の電位は、非接触表面電位計、交流電圧測定装置および電圧波形観測装置のうち、いずれかを用いて測定する方法である。

【0022】

本発明に係るコイルの水漏れ検出装置は、上述の目的を達成するために、請求項3に記載したように、絶縁層で被覆したコイルの導体に供給している冷却水が前記絶縁層に漏水しているかの有無を検出する際、前記導体に交流電圧を印加する交流電源と、前記絶縁層に当接する表面電極装置と、この表面電極装置と大地との間に介装するインピーダンスと、前記表面電極装置の電位を電位測定プローブおよび電位計を介装させて測定する電圧測定装置とを備えたものである。

20

【0023】

また、本発明に係るコイルの水漏れ検出装置は、上述の目的を達成するために、請求項4に記載したように、絶縁層で被覆したコイルの導体に供給している冷却水が前記絶縁層に漏水しているかの有無を検出する際、前記導体に交流電圧を印加する交流電源と、前記絶縁層に当接する表面電極装置と、この表面電極装置と大地との間に介装するインピーダンスと、前記表面電極装置の電位を測定する交流電圧測定装置および電圧波形観測測定装置のうち、いずれかを備えたものである。

30

【0024】

また、本発明に係るコイルの水漏れ検出装置は、上述の目的を達成するために、請求項5に記載したように、絶縁層で被覆したコイルの導体に供給している冷却水が前記絶縁層に漏水しているかの有無を検出する際、前記導体に交流電圧を印加する交流電源と、前記絶縁層に当接する表面電極装置と、この表面電極装置と大地との間に介装するインピーダンスと、前記表面電極装置の電位を変換器を介装してコンピュータとを備えたものである。

40

【0025】

また、本発明に係るコイルの水漏れ検出装置は、上述の目的を達成するために、請求項6に記載したように、表面電極装置は、コイルの絶縁層に押し当てる、柔軟性材料で作製された電極板と、この電極板に押圧力を与える押し板と、前記電極板と前記押し板との間に前記電極板側から順に配置する絶縁層、接地電極およびクッション層を介装させたものである。

【0026】

また、本発明に係るコイルの水漏れ検出装置は、上述の目的を達成するために、請求項7に記載したように、表面電極装置は、コイルの絶縁層に押し当てる、柔軟性材料で作製された電極板と、この電極板に押圧力を与える押し板と、前記電極板と前記押し板との間に前記押し板側から順に配置するクッション層、接地電極および絶縁層を介装させるとと

50

もに、前記押し板、前記クッション層、前記接地電極のそれぞれの中間位置を切り欠き、切り欠いた位置に装着したプローブを支持する支持具を備えたものである。

【0027】

また、本発明に係るコイルの水漏れ検出装置は、上述の目的を達成するために、請求項8に記載したように、押し板は把持部を備えたものである。

【0028】

また、本発明に係るコイルの水漏れ検出装置は、上述の目的を達成するために、請求項9に記載したように、表面電極装置は、接地電極に設けられ、ケーブルを収容するケーブル支持部を備えるとともに、前記接地電極から順に絶縁層、背後電極板、柔軟性材料で作製された電極板を積層状に配置する構成にしたものである。

10

【0029】

また、本発明に係るコイルの水漏れ検出装置は、上述の目的を達成するために、請求項10に記載したように、表面電極装置は、接地電極に設けられ、ケーブルを収容するケーブル支持部を備えるとともに、前記接地電極から順に絶縁層、背後電極板、クッション層、電極板を積層状に配置する一方、前記背後電極板と前記電極板とを電気的に接続させる構成にしたものである。

【0030】

また、本発明に係るコイルの水漏れ検出装置は、上述の目的を達成するために、請求項11に記載したように、ケーブル支持部に収容されたケーブルは、心線を背後電極板に設けた引出し線に接続させる構成にしたものである。

20

【発明の効果】

【0031】

本発明に係るコイルの水漏れ検出方法およびこの検出方法に適用するコイルの水漏れ検出装置は、コイルの導体を被覆する絶縁層に表面電極装置を当接させ、表面電極装置の電位を測定し、測定した電位が健全なコイルの電位よりも統計的に大きいと認められたとき、コイルに水漏れがあったと判定するので、小さい電極板で、しかも測定感度を高めることのできる低い周波数の下、精度の高い水漏れ検出を行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

以下、本発明に係るコイルの水漏れ検出方法およびこの検出方法に適用するコイルの水漏れ検出装置の実施形態を図面および図面に付した符号を引用して説明する。

30

【0033】

なお、直接冷却水方式のコイルは、大容量タービン発電機の固定子コイルに用いられることが多いので、以後、例示として大容量タービン発電機の固定子コイルについて説明する。

【0034】

図1は、本発明に係るコイルの水漏れ検出方法およびこの検出方法に適用するコイルの水漏れ検出装置の第1実施形態を示す模式図である。

【0035】

本実施形態に係るコイルの水漏れ検出装置は、冷却水で直接冷却するコイル10に交流電圧を印加する交流電源11と、コイル10の電位を測定する電位測定装置12を備えている。

40

【0036】

コイル10は、中央部分に位置する導体13を巻回する絶縁層14で構成されている。

【0037】

また、電位測定装置12は、コイル10の絶縁層14に装着する表面電極装置15と、この表面電極装置15に対峙し、電位測定窓16を備えた電位測定プローブ17と、この電位測定プローブ17に入力端子18を介して接続し、コイル10の電位を測定する非接触表面電位計19と、この非接触表面電位計19に出力端子20を介して接続し、交流電源11からコイル10に印加する交流電圧を測定する、電圧測定装置21と、表面電極装

50

置 15 を交流電源 11 のアース側に接続させるインピーダンス 22 とを備えている。

【 0038 】

なお、本実施形態は、電位の測定に非接触表面電位計 19 を用いたが、この例に限らず、電圧波形観測測定装置（オシロスコープ）を用いてもよい。この場合、電圧波形観測測定装置に適したプローブが選択される。

【 0039 】

このような構成を備える電位測定装置 12 において、導体 13 から絶縁層 14 への漏水に基づく電位を検出するコイルの水漏れ検出方法は、コイル 10 の表面電極装置 15 側に電位測定プローブ 17 の電位測定窓 16 を近接させて行われる。

【 0040 】

まず、交流電源 11 からコイル 10 の導体 13 に交流電圧 E を印加し、このときの絶縁層 14 の電位を電位測定プローブ 17 を介して非接触表面電位計 19 で計測するとともに、電圧測定装置 21 で電圧を読み取る。

10

【 0041 】

そして、健全なコイルの表面電極装置の電位に較べ、統計的に有意差を持って高い電位のコイルになっていれば、コイルから絶縁層に水漏れがあったと判定される。

【 0042 】

ここで、統計的に有意差を持って高いと判定されるコイルの導体から絶縁層への水漏れ検出方法を簡単に説明する。

【 0043 】

一般に、少なくとも 50 % 以上のコイルは、健全に維持されている。このため、健全なコイルの表面電位の平均値は、全測定データのメジアンを採用してもよいし、また、正規確率分布プロットの 50 % に相当する値を採用してもよい。

20

【 0044 】

また、データのばらつきを考慮して健全なコイルの分布から外れるかどうかを判定するには、健全なコイルの表面電位の平均値に標準偏差の n 倍（n は 3、あるいはデータの多い場合、3 より大きい値を用いてもよい）以上のデータを健全なコイルではないと判定してもよい。

【 0045 】

さらに、正規確率分布プロットを用いて健全なコイルの領域から明らかに外れるコイルを健全なコイルではないと判定してもよい。

30

【 0046 】

なお、非接触表面電位計 19 自身で交流電圧を測定することができるならば、直接非接触表面電位計 19 で測定すればよい。また、交流電源 11 の出力電圧が非常に安定している場合、印加電圧をコイル毎に毎回測定する必要がなく、最初に一度測定しておればよい。

【 0047 】

また、印加電圧波形は、正弦波に限らず、三角波、矩形波などの交流波形でも上述に示す測定手法を採れば、導体から絶縁層への水漏れの判定を行うことができる。

【 0048 】

40

図 2 は、本実施形態に係るコイルの水漏れ検出方法を説明する際に用いる等価回路図である。

【 0049 】

この等価回路図は、絶縁層 14 にコイル 10 の冷却水が漏水し、導体 13 側から浸入してくる場合を想定している。

【 0050 】

今、絶縁層 14 のうち、冷却水が浸入した絶縁層を $14W$ とし、まだ冷却水が浸入していない乾燥した絶縁層を $14d$ とする。

【 0051 】

図 2 に示すように、交流電源 11、インピーダンス 22（インピーダンス Z_c ）を接続

50

し、表面電極装置 15 の電位を計算するために、表面電極装置 15 と導体 13 との間の絶縁層 14 を等価回路で表わす。

【0052】

また、絶縁層 14 のうち、吸湿層は、誘電損失が大きいので、キャパシタンス C_w と抵抗 R_w の並列回路素とし、乾燥した絶縁層は誘電損失が小さいので、キャパシタンス C_d だけで近似した。

【0053】

なお、実際には、このように吸湿層と乾燥層が明確に2分される訳ではなく、徐々に変化し、混合する領域があるが、図2は、説明を簡単にするために第1近似として示している。この図2でも、充分にその挙動を説明することができる。

10

【0054】

交流電源 11 からの印加電圧として、周波数 f 、電圧 E の正弦波交流を用いる場合、回路計算により表面電極装置 15 の電位 V_c は次式で与えられる。

【数1】

$$V_c = \frac{Zc}{\frac{Rw}{1 + j\omega CwRw} + \frac{1}{j\omega Cd} + Zc} \times E \quad \dots\dots(1)$$

【0055】

ここで、絶縁層 14 の等価回路定数を算定するのに必要な絶縁層 14 の誘電特性の一例を図3に示す。

20

【0056】

この図3から、水が絶縁層 14 に浸入すると、比誘電率、誘電正接 $\tan \delta$ が大きく増加し、しかも周波数が低いほど、その増加の度合が大きくなることがわかった。つまり、低周波数で測定するほど、吸湿の測定感度が高くなると推定される。

【0057】

図3に示した比誘電率特性を、冷却水浸入(吸湿)の絶縁層と健全な絶縁層の特性とし、図2で示した等価回路図と式(1)とを用いて計算した表面電極装置 15 の電位を図4に示す。

【0058】

30

図4は、絶縁厚さ 5 mm、表面電極装置の面積 0.0004 m^2 、印加電圧の周波数 50 Hz とし、表面電極装置の接地インピーダンスとして 500 pF のキャパシタンス、 $10 \text{ M}\Omega$ の抵抗、 500 pF と $10 \text{ M}\Omega$ とを並列にする並列インピーダンスの3つの場合を計算によって求めたものである。

【0059】

図4において、横軸は吸湿絶縁層の厚さ、縦軸は表面電極装置の電位 / 印加電圧をそれぞれ表わしたものである。

【0060】

図4から、接地インピーダンスとしてキャパシタンスでも抵抗でも、またこれらの並列接続でも吸湿絶縁層の厚さとともに表面電極装置の電位は増加し、水漏れの検出に適用できることがわかった。

40

【0061】

図4は、水漏れのない健全なコイルを基準とし、吸湿絶縁層厚さの変化に対する表面電極装置の電位の変化を示したものである。この図4のうち、縦軸に示す表面電極電位を健全なコイルを基準値にしたときの表面電極装置の電位値に置き換えると、図5に示す特性線図になる。すなわち、この図5は、コイルの導体から絶縁層に冷却水が漏出していない場合を基準とし、絶縁層に冷却水が漏出した場合、その値が漏出していない場合に較べてどの程度になっているか、具体的には、漏水がない場合を 1 とし、漏水があった場合、その値 1 に対し、どの程度電位が変化したかを知る、いわば理解を容易にするためのものであり、図4の特性線図と実質的に同一である。また、図5では、接地インピーダンスの種

50

類を変えても、図4に示した特性線図と同様に高感度で測定できることがわかった。

【0062】

また、500pFと10Mとの並列インピーダンスの場合で、印加電圧の周波数を50Hz、1kHz、10kHzと変化させた場合の健全なコイルの表面電極装置15の電位を基準にしたとき、水漏れ時の表面電極装置15の電位がどのように変化するかを示す表面電極装置15の電位線図を図6に示す。

【0063】

図6から、低周波数で測定するほど、吸湿絶縁層と健全な絶縁層の特性変化が大きく、感度が高くなることがわかった。

【0064】

他方、表面電極装置15の電位測定方法として、図1では非接触表面電位計19を用いて測定したが、入力インピーダンスが高く、変動しない電圧測定器であれば、各種の電圧測定器を用いてもよい。

10

【0065】

例えば、図7に示すように、入力インピーダンスが1M以上の場合、交流電圧測定装置23a, 23bを用いてもよい。これら交流電圧測定装置23a, 23bは、デジタル式あるいはデジタルマルチ式の電圧形である。

【0066】

この他に、電圧波形観測測定装置（オシロスコープ）を用いて電圧波形を表示し、電圧を測定してもよい。この方式では、非接触表面電位計19ほど入力インピーダンスが高くできないが、図5に示したように、各種の入力インピーダンスに対しても同様な感度で測定することができ、しかも測定システムを安く構築できる利点がある

20

なお、インピーダンス22は、表面電極装置15に直接接続してもよいし、あるいは交流電圧測定装置23a, 23bの入力端子側に接続してもよい。

【0067】

また、図8に示すように、表面電極装置15の電位を、電圧測定用のA/D変換器25aを介してコンピュータ25で電圧波形または電圧値を読み取ってもよい。このような手法を用いても、高感度で測定することができ、さらに測定値をデータとしてコンピュータ25にその場で入力でき、データ処理が素早くできる点で有効である。

【0068】

30

このように、本実施形態は、コイル10の導体13から絶縁層14に冷却水が漏出しているかの有無を表面電極装置15の電位の変化から検出するとき、測定感度を高めることのできる低い周波数を用い、また単純な電位測定のため測定誤差も小さいので、高感度の下、冷却水の漏出を精度高く検出することができる。

【0069】

図9は、本発明に係るコイルの水漏れ検出方法の第2実施形態を説明する際に用いる表面電極電位線図である。

【0070】

本実施形態は、コイル10の導体13から絶縁層14への漏水の有無を検出する際、印加電圧の位相に較べて表面電極装置15の電位の位相が絶縁層14の吸湿により遅れることに着目してなされたものである。

40

【0071】

例えば、振幅100V、50Hzの正弦波交流をコイル10の導体13に印加し、検出インピーダンスを750pFを用いた場合、一点鎖線で示す健全なコイルの表面電極装置15の電位と実線で示す絶縁層14に水漏れがあったときの表面電極装置15の電位との間には、位相差が出ている。

【0072】

この位相差は、オシロスコープに印加電圧と表面電極装置15の電位の両方を表示させゼロ電圧レベルの時間差から容易に求めることができる。

【0073】

50

位相差 を、等価回路を用いて計算した一例を図 10 に示す。図 10 には、50 Hz、1 kHz、10 kHz の印加電圧の場合を示しているが、この 3 つの周波数の中では 1 kHz が最も感度が良いことがわかる。

【0074】

位相差 が表われると、コイルには水漏れがあると判定される。

【0075】

なお、位相差 の測定には、位相差計を用いてもよいが、図 1、図 7 および図 8 に示す回路を用いて図 9 に示す位相差を求めるか、あるいは図 8 に示すコンピュータ 25 でデータ処理をする場合、コンピュータ 25 で自動的に計算することもできる。後者の方が電圧と位相差の両方を測定できる利点がある。また、位相差は、角度（度あるいはラジアン）として求めてもよいが、時間差をそのままデータとして用いてもよい。 10

【0076】

このように、本実施形態は、絶縁層に漏水があると、印加電圧と表面電極装置の電位との間に位相差が表われることに着目し、印加電圧と表面電極装置の電位とのそれぞれの波形に基づく位相を測定するので、絶縁層の漏水の有無をより簡易に、より正確に検出することができる。

【0077】

なお、本実施形態は、検出インピーダンスとして抵抗、コンデンサ、あるいは両方の組合せを用いているが、測定装置自身、プローブ、表面電極装置等は、大地に対してインピーダンスを持つので、これらいすれかの測定系を入力インピーダンスそのもの、あるいは入力インピーダンスの一部として積極的に利用してもよい。 20

【0078】

例えば、図 11 に示すように、導体 13 と絶縁層 14 を備えるコイル 10 に装着する表面電極装置 15 は、電位を同軸ケーブル 24、分圧比 (10 : 1) の電圧波形観測用プローブ 17a を介して電圧波形観測測定装置（オシロスコープ）19a に表示される。

【0079】

また、交流電源 11 からコイル 10 に与えられる印加電圧も電圧波形観測測定装置 19a に表示される。

【0080】

この場合、同軸ケーブル 24 は、長さ 5 m の 3D2V（特性インピーダンス 50 Ω の同軸ケーブル）を用いれば、心線とシールドとの間には、静電容量として 500 pF のコンデンサ 25 が挿入される。 30

【0081】

また、電圧波形観測用プローブ 17a の入力インピーダンスとして抵抗 10 MΩ と静電容量 9 pF が大地との間に挿入されることになり、合計して表面電極装置 15 と大地との間には、等価的に抵抗 10 MΩ と静電容量 509 pF が検出インピーダンスとして並列に挿入されることになる。

【0082】

したがって、この場合には特別な検出インピーダンスを取り付ける必要がなく、表面電極装置 15 が簡単に構成できる。勿論、図 1、図 7、図 8 および図 11 と同様にインピーダンス 22 またはコンデンサ 25 を設けてもよい。 40

【0083】

図 12 は、本発明に係るコイルの水漏れ検出方法の第 3 実施形態を説明する際に用いる電位線図である。

【0084】

本実施形態は、コイル 10 の導体 13 から絶縁層 14 への漏水の有無を検出する際、印加電圧として階段状に印加する直流電圧を用いたものである。

【0085】

この漏水の有無を検出する際に用いられる測定回路は、例えば、図 1、図 7、図 8 および図 11 に示されたいすれかの回路も使用することができるが、直流電圧を用いることを 50

生かすので、測定系の入力インピーダンスが高い方が望ましい。高入力インピーダンスを考えると、図1に示した非接触表面電位計19を使用するのが好ましい。

【0086】

検出インピーダンスとして500pFのキャパシタを用いる場合、図12に示すように、絶縁層が吸湿しているとき、表面電極装置15の電位は初期から健全なコイルに較べて高く、しかも時間とともに、上昇して飽和する。電圧を印加後、予め定められた時間後、あるいは飽和した時点の表面電極装置15の電位を読み取る。読み取った電位が健全なコイルに較べ統計的に優位な高い値の場合、絶縁層14に水漏れがあったと判定される。

【0087】

なお、直流の場合、帯電による影響を避けるため、電圧の印加前に表面電極装置15を一旦、短時間設置するのがよい。

【0088】

また、測定系の入力インピーダンスが充分に高い値でない場合、測定される表面電極装置15の電位は、時間とともに飽和することなく、図13に示すように、時間とともに減衰する。

【0089】

しかし、1台の発電機コイルについて同一測定系で測定し、予め定められた時間t₁後の表面電位(図中の印)を測定すれば、健全なコイルと水漏れのあったコイルを判別する場合、入力インピーダンスが無限大に近い場合と同様に可能である。

【0090】

このように、本実施形態は、コイル導体から絶縁層に漏水があるかの有無を検出する際、直流電圧を用いて測定するので、検出精度の測定感度を高くすることができ、さらに直流電圧を用いることにより電源を小形、軽量化することができる。

【0091】

図14は、本発明に係るコイルの水漏れ検出装置に適用する表面電極装置の第1実施形態を示す模式図である。

【0092】

コイルの水漏れ検出装置に適用する表面電極装置15は、電極板15aに装着する同軸ケーブル24と、把持部26とを備えている。

【0093】

また、この表面電極装置15は、図15に示すように、電極板15aに、例えばポリエスチルフィルムで作製する絶縁層27を貼り合せるとともに、その全面あるいは一部に接地電極28を貼り合せて構成されている。

【0094】

また、表面電極装置15は、接地電極28にクッション層29を介装させて押し板30を備え、この押し板30に把持部26を備えている。

【0095】

クッション層29を介装させて押し板30を備えたのは、緩やかな曲面や凹凸のあるコイル10の表面に容易に電極板15aを密着させるためである。

【0096】

また、押し板30に把持部26を備えたのは、狭いコイル間の隙間から電極板15aをコイルに密着させて取り付ける際の作業性を容易にするためである。

【0097】

そして、同軸ケーブル24は、心線を電極板15aに接続させるシールドを接地電極28に接続させる。さらに、接地電極28と電極板15aとの間の静電容量は、図1、図7および図8示したインピーダンス22として利用される。

【0098】

電極板15aおよび接地電極28は、柔らかく変形し易い材料が適するので、スズ箔、銅箔等の金属箔、導電性プラスチック、導電性ゴムのフィルム、導電性材料を塗布あるいは蒸着したプラスチックフィルム等のうち、いずれかが選択される。

10

20

30

40

50

【0099】

また、絶縁層27は、ポリエスチルやポリイミド、ゴム等の各種プラスチックフィルムのうち、いずれかが選択される。

【0100】

図14および図15に示した例では、電極板15aの表面積の方が接地電極28のそれよりも大きくなっているが、同じにしてもよく、接地電極28の表面積を大きくしてもよい。

【0101】

また、絶縁層27の表面積は、電極板15aの表面積、接地電極28の表面積のうち、小さい方の表面積よりも大きくすることが必要とされる。

10

【0102】

ここで、接地電極28の表面積は、検出インピーダンスによって決まる。絶縁層27の厚さをt、接地電極28の表面積をAとすると、電極板15aの接地電極28との間の静電容量Ccは次式で求められる。

【0103】

[数2]

$$Cc = r \times \epsilon_0 \times (A / t) \quad \dots \dots (2)$$

ここに、rは絶縁層27の比誘電率、 ϵ_0 は真空の誘電率である。

【0104】

例えば、絶縁層27の厚さt = 25 μmのポリエスチルフィルムを用いると、比誘電率はr = 3.2、接地電極28の表面積をA = 0.02m × 0.02 = 0.0004m²とすると、静電容量はCc = 453 pFになる。

20

【0105】

このとき、インピーダンス22は静電容量Cc = 453 pFのキャパシタとなる。この値は、実際に適用可能な値である。

【0106】

このように、本実施形態は、コイル10の表面に装着する表面電極装置15内に接地電極28を設け、この接地電極28によってインピーダンスをその内部内に確保させるとともに、周辺からの外乱、例えば、把持部26や押し板30等の電位変動に基づく外乱等からシールドするので、電位の測定誤差を少なくさせて絶縁層への漏水の有無をより正確に測定することができる。

30

【0107】

図16は、本発明に係るコイルの水漏れ検出装置に適用する表面電極装置の第2実施形態を示す模式図である。

【0108】

コイルの水漏れ検出装置に適用する表面電極装置15は、押し板30に把持部26を備えるとともに、プローブ31を押し板30に支持させる支持具32を備えている。

【0109】

また、この表面電極装置15は、図17に示すように、電極板15aの一側面に絶縁層27を貼り合せ、その上に支持する支持具32を介してプローブ31を取り付けるとともに、絶縁層27上でプローブ31を除いた部分に接地電極28を貼り合せている。

40

【0110】

また、表面電極装置15は、プローブおよび支持具32を除いた部分にクッション層29を貼り合せた、クッション層29の上に押し板30を貼り合せ、この押し板30に把持部26を設けている。

【0111】

このように、本実施形態は、電極板15aに絶縁層27を設けるとともに、クッション層29、接地電極28のそれぞれの中間位置を切り欠き、切り欠いた位置に装着したプローブ31を支持固定する支持具32を備え、測定時、周辺の外乱に基づく測定値の変動を支持具32の拘束力で拘束すると同時に、クッション層29のクッション力をを利用して押

50

し板 30 で電極板 15a のコイル (図示せず) への密着性をより一層高めたので、電位測定の際、より一層の精度向上に寄与することができる。

【 0112 】

図 18 ~ 図 20 は、本発明に係るコイルの水漏れ検出装置に適用する表面電極の第 3 実施形態を示す模式図である。

【 0113 】

なお、図 18 ~ 図 20 中、図 18 は表面電極装置の平面図であり、図 19 は表面電極装置の側面図であり、図 20 は図 19 の C - C 矢視方向から切断した切断断面図である。

【 0114 】

コイルの水漏れ検出装置に適用する表面電極装置 15 は、底部側から頂部側に向って順に、ゴム材に、例えばカーボン、金属の粉末、短纖維のうち、いずれかを選択した導電性粒子を充填した柔軟性の電極板 15a、背後電極板 15b、絶縁層 27、接地電極 28 を配置、接着して層状に積み重ねるとともに、接地電極 28 に接続され、同軸ケーブル 24 を支持固定する筒状のケーブル支持部 33 を備えている。10

【 0115 】

また、この表面電極装置 15 は、図 20 に示すように、ケーブル支持部 33 に支持された同軸ケーブル 24 の心線 34 に一端を接続させ、他端を絶縁層 27 を挿通して背後電極板 15b に接続する引出し線 35 を備えている。

【 0116 】

また、表面電極装置 15 は、同軸ケーブル 24 の一端をケーブル支持部 33 を介して接地電極 28 に接続するか、あるいは、直接、接地電極 28 に接続し、シールドを行うとともに、同軸ケーブル 24 の他端を交流電圧測定装置 (図示せず) に接続し、電極板 15a および背後電極板 15b の電位を測定している。20

【 0117 】

ここで、背後電極板 15b は、引出し線 35 を取り付けるため、例えば銅板、ステンレス板等が適している。また、ケーブル支持部 33 は、同軸ケーブル 24 をシールドさせるために金属製の導電材料の方が好適である。

【 0118 】

上述の構成を採ると、電極板 15a および背後電極板 15b と接地電極 28 との間の静電容量、同軸ケーブル 24 の心線 34 とケーブル支持部 33 との間の静電容量、交流電圧測定装置 (図示せず) の入力インピーダンス等が表面電極装置 15 と大地との間の実質的なインピーダンスとなり、等価回路を用いて計算する場合に、このインピーダンスを使用することができる。30

【 0119 】

このように、本実施形態は、背後電極板 15b に引出し線 35 を設け、この引出し線 35 に同軸ケーブル 24 の心線 34 を接続させる際、同軸ケーブル 24 を支持固定するケーブル支持部 33 内に行い、周辺からの外乱、例えば、隣接コイルを操作する場合、あるいは表面電極装置自身を操作する場合の測定者等からの誘導を完全にシールドできる構成にしたので、電位測定の際、より一層の精度向上に寄与することができる。

【 0120 】

なお、本実施形態は、背後電極板 15b に設けた引出し線 35 に同軸ケーブル 24 の心線 34 を接続させる際、ケーブル支持部 33 内で行ったが、この例に限らず、例えば、図 21 の表面電極装置 15 の第 4 実施形態に示すように、引出し線 35 と同軸ケーブル 24 の心線 34 との接続をケーブル支持部 33 内で行うとともに、電極板 15a と背後電極板 15b との間にクッション層 29 を介装させ、電極板 15a と背後電極板 15b とを接続線 36 で接続させてもよい。

【 0121 】

図 22 は、本発明に係るコイルの水漏れ検出装置に適用する表面電極装置の第 5 実施形態を示す模式図である。

【 0122 】

50

20

30

40

50

コイルの水漏れ検出装置に適用する表面電極装置 15 は、底部側から頂部側に向って順に、柔軟な材質で作製された電極板 15a、背後電極板 15b、絶縁層 27、ステンレス鋼で作成された接地電極 28 を配置、接着して層状に積み重ねるとともに、接地電極 28 に接続され、電位測定窓 16 を備えた電位測定プローブ 17 を収容する電位測定プローブ支持部 37 で構成される。

【0123】

この電位測定プローブ支持部 37 は、絶縁性のガラスエポキシ積層板で作製され、筒状になっている。

【0124】

なお、検出インピーダンスとして背後電極板 15b と設置電極 28 との間の静電容量のほかに、他に並列の別のインピーダンスを追加する場合、そのインピーダンス素子を接続し、電極板 15a の電位を非接触表面電位計（図示せず）で測定される。

【0125】

このように、本実施形態は、電位測定プローブ 17 を収容する電位測定プローブ支持部 37 を設置電極 28 に設け、この電位測定プローブ支持部 37 で周辺からの外乱をシールドする構成にしたので、電位測定の際、より一層の精度向上に寄与することができる。

【0126】

ところで、図 14 および図 22 に示した把持部 26、同軸ケーブル 24 と電極板 15a および接地電極 28 との取付位置は、図示の位置に限らず、90° に変更した位置にずらして取り付けるか、あるいは取付角度を可変にできるようにしてもよい。

【0127】

例えば、図 20 に示した同軸ケーブル 24 の取付位置を角度 90° に変更してみると、同軸ケーブル 24 の取付位置は、図 23 および図 24 に示すようになる。

【0128】

この場合、同軸ケーブル 24 は、ケーブル支持部を用いず、単に接地電極 28 の柄の部分に接着させるか、粘着テープで止めるかしている。

【0129】

このような構成にすれば、厚さの薄い表面電極装置になり、コイルの狭い隙間の位置でも電極板 15a を装着して電位を精度高く測定することができる。

【0130】

また、各実施形態における電極板 15a、背後電極板 15b は、例えば、四辺形にしたが、これに限らず、円形、楕円形、多角形等いずれの形状でもよい。さらにまた、表面電極装置を交流電圧測定装置に接続する導線に同軸ケーブルを用いることで説明してきたが、低周波領域で電位測定を行うことを考慮すると、同軸ケーブルでなくても良いがシールドを備えた電線が好ましい。

【図面の簡単な説明】

【0131】

【図 1】本発明に係るコイルの水漏れ検出方法およびこの検出方法に適用するコイルの水漏れ検出装置の第 1 実施形態を示す模式図。

【図 2】本発明に係るコイルの水漏れ検出方法を説明する際に用いる等価回路図。

【図 3】本発明に係るコイルの水漏れ検出方法およびこの検出方法に適用するコイルの水漏れ検出装置の第 1 実施形態におけるコイルに水漏れがあった場合とコイルに水漏れがなかった場合との比誘電率の変化を比較した比誘電率線図。

【図 4】本発明に係るコイルの水漏れ検出方法およびこの検出方法に適用するコイルの水漏れ検出装置の第 1 実施形態におけるコイルの水漏れ変化に対する表面電極電位との変化を示す表面電極電位線図。

【図 5】本発明に係るコイルの水漏れ検出方法およびこの検出方法に適用するコイルの水漏れ検出装置の第 1 実施形態におけるコイルに水漏れがなかったとしたときを基準に、コイルに水漏れがあった場合にその基準に対してどの位になっているかを示す表面電極電位線図。

10

20

30

40

50

【図6】本発明に係るコイルの水漏れ検出方法およびこの検出方法に適用するコイルの水漏れ検出装置の第1実施形態における周波数を変化させたときの表面電極の電位を示す表面電極電位線図。

【図7】本発明に係るコイルの水漏れ検出方法およびこの検出方法に適用するコイルの水漏れ検出装置の第1実施形態における水漏れ検出装置の第1変形例を示す模式図。

【図8】本発明に係るコイルの水漏れ検出方法およびこの検出方法に適用するコイルの水漏れ検出装置の第1実施形態における水漏れ検出装置の第2変形例を示す模式図。

【図9】本発明に係るコイルの水漏れ検出方法の第2実施形態を説明する際に用いる表面電極電位線図。

【図10】本発明に係るコイルの水漏れ検出方法の第2実施形態で得た位相差を等価回路を用いて計算したときの線図。 10

【図11】本発明に係るコイルの水漏れ検出方法およびこの検出方法に適用するコイルの水漏れ検出装置の第1実施形態における水漏れ検出装置の第3変形例を示す模式図。

【図12】本発明に係るコイルの水漏れ検出方法の第3実施形態を説明する際に用いる電位線図。

【図13】本発明に係るコイルの水漏れ検出方法の第3実施形態によって得た測定結果を示す電位線図。

【図14】本発明に係るコイルの水漏れ検出装置に適用する表面電極装置の第1実施形態を示す模式図。

【図15】図14のA-A矢視方向から切断した切断断面図。 20

【図16】本発明に係るコイルの水漏れ検出装置に適用する表面電極装置の第2実施形態を示す模式図。

【図17】図16のB-B矢視方向から切断した切断断面図。

【図18】本発明に係るコイルの水漏れ検出装置に適用する表面電極装置の第3実施形態を示す平面図。

【図19】図18の側面図。

【図20】図19のC-C矢視方向から切断した切断断面図。

【図21】本発明に係るコイルの水漏れ検出装置に適用する表面電極装置の第4実施形態を示す縦断面図。

【図22】本発明に係るコイルの水漏れ検出装置に適用する表面電極装置の第5実施形態を示す縦断面図。 30

【図23】本発明に係るコイルの水漏れ検出装置に適用する表面電極装置の第6実施形態を示す平面図。

【図24】図23の側面図。

【図25】従来の回転電機の固定子コイルの一部を示す概念図。

【符号の説明】

【0132】

1 固定子鉄心

2 コイル

2 a 上コイル

2 b 下コイル

3 a , 3 b 導体

4 a , 4 b 絶縁層

5 a , 5 b クリップ

6 接続導体

7 冷却水給排絶縁管

10 コイル

11 交流電源

12 電位測定装置

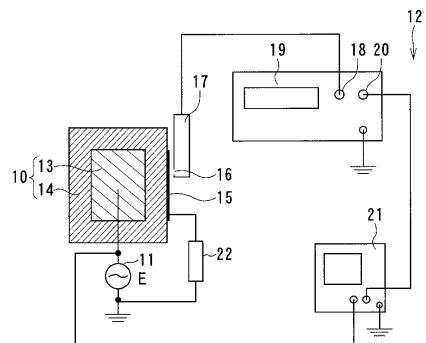
13 導体

40

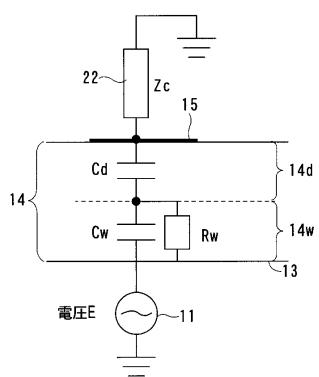
50

1 4	絶縁層	
1 5	表面電極装置	
1 5 a	電極板	
1 5 b	背後電極板	
1 6	電位測定窓	
1 7	電位測定プローブ	
1 7 a	電圧波形観測用プローブ	
1 8	入力端子	
1 9	非接触表面電位計	
1 9 a	電圧波形観測測定装置	10
2 0	出力端子	
2 1	電圧測定装置	
2 2	インピーダンス	
2 3 a , 2 3 b	交流電圧測定装置	
2 4	同軸ケーブル	
2 5	コンピュータ	
2 5 a	A / D 変換器	
2 5 c	コンデンサ	
2 6	把持部	
2 7	絶縁層	20
2 8	接地電極	
2 9	クッション層	
3 0	押し板	
3 1	プローブ	
3 2	支持具	
3 3	ケーブル支持部	
3 4	心線	
3 5	引出し線	
3 6	接続線	
3 7	電位測定プローブ支持部	30

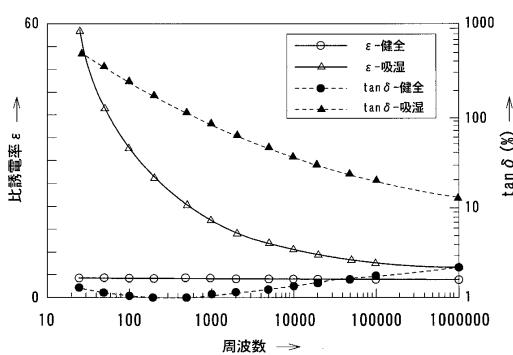
【図1】



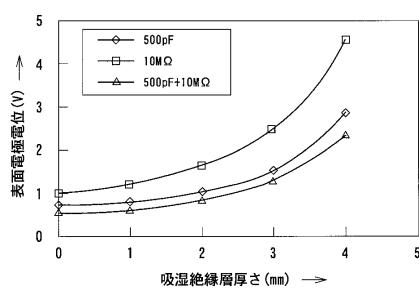
【図2】



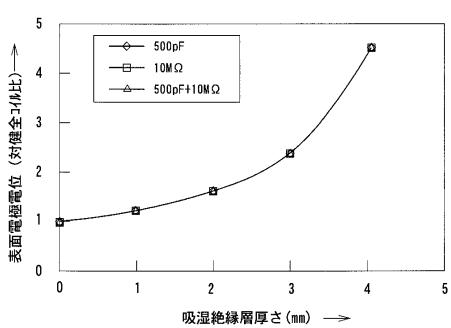
【図3】



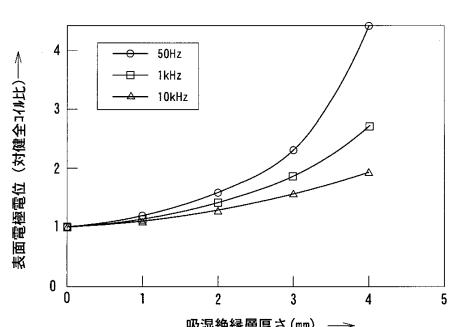
【図4】



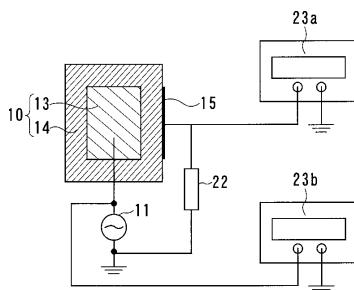
【図5】



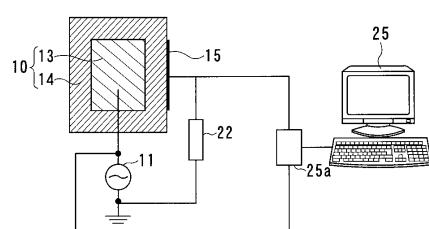
【図6】



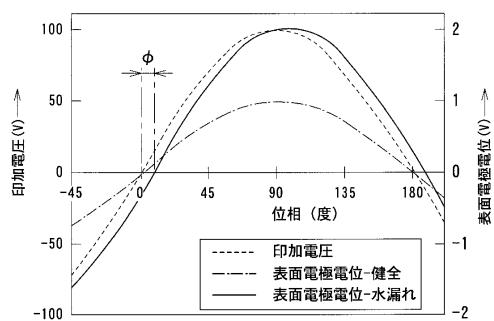
【図7】



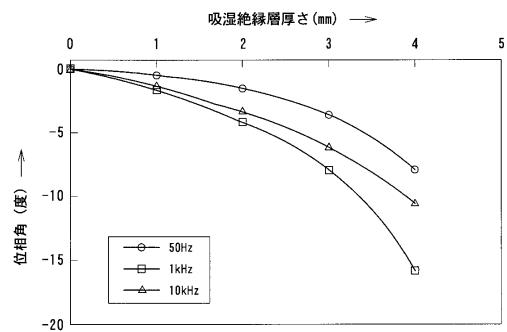
【図8】



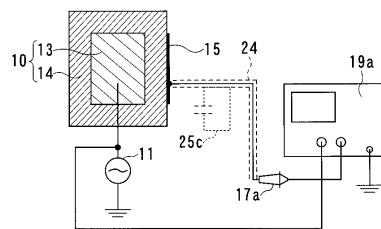
【図 9】



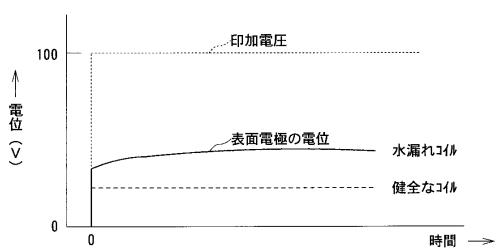
【図 10】



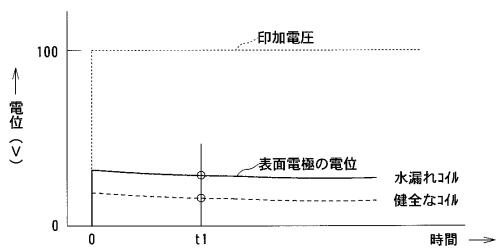
【図 11】



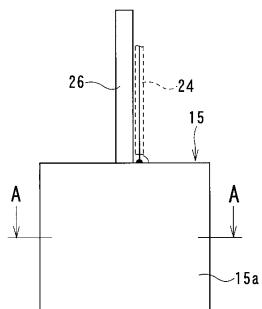
【図 12】



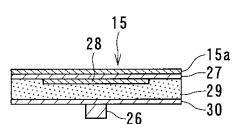
【図 13】



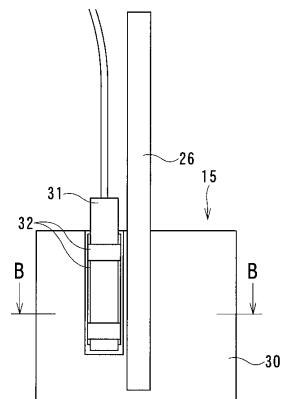
【図 14】



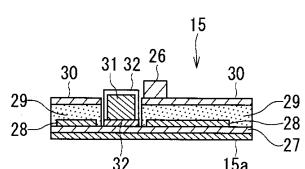
【図 15】



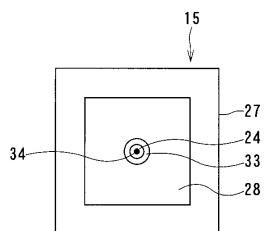
【図 16】



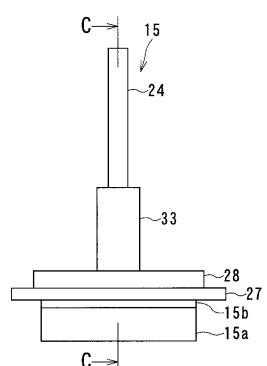
【図 17】



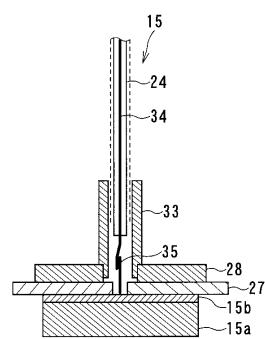
【図18】



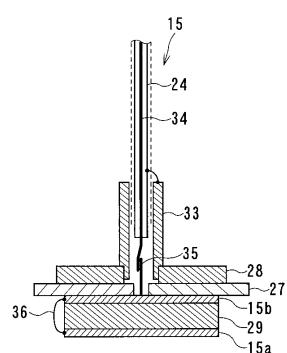
【図19】



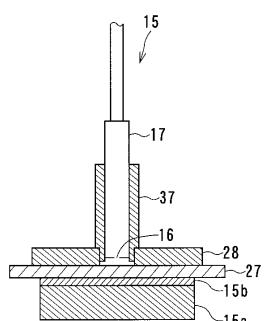
【図20】



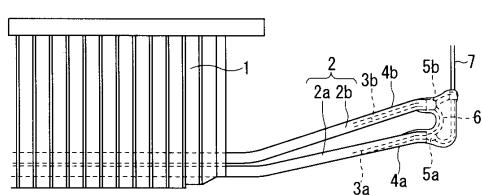
【図21】



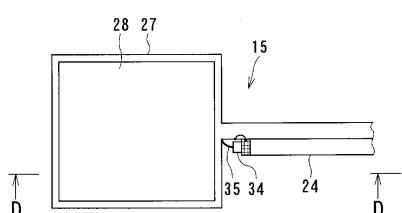
【図22】



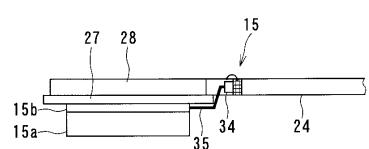
【図25】



【図23】



【図24】



フロントページの続き

(72)発明者 井上 良之
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 東芝テクノコンサルティング株式会社内

(72)発明者 島田 秀行
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 株式会社東芝 京浜事業所内

(72)発明者 関戸 忍
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 東芝アイテック株式会社内

(72)発明者 長谷川 博
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 東芝アイテック株式会社内

(72)発明者 金岩 浩志
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 株式会社東芝 京浜事業所内

(72)発明者 上元 慎二
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 株式会社東芝 京浜事業所内

(72)発明者 平井 淳一
東京都大田区蒲田五丁目37番1号 東芝プラントシステム株式会社内

審査官 櫻田 正紀

(56)参考文献 特開2003-315402 (JP, A)
特開平04-299050 (JP, A)
特開平04-299051 (JP, A)
特開2005-148039 (JP, A)
特開昭49-003105 (JP, A)
Inoue Y et al., Technology for Detecting Wet Bars in Water-Cooled Stator Windings of Turbine Generators, Electric Machines and Drives Conference, 2003, IEMDC'03, IEEE International, 2003年, Vol.2, Pages 1337-1343

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02K 11/00 - 11/04
H02K 9/00 - 9/28