(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6605026号
(P6605026)
(45)発行日　令和1年11月13日(2019.11.13)　(24)登録日　令和1年10月25日(2019.10.25)

(51)Int.Cl.　　F I
G01B 7/00 (2006.01)　　G01B 7/00 101C
G01B 7/15 (2006.01)　　G01B 7/15

請求項の数 17　(全 14 頁)

(21)出願番号　特願2017-517398(P2017-517398)
(86)(22)出願日　平成27年6月10日(2015.6.10)
(65)公表番号　特表2017-517754(P2017-517754A)
(43)公表日　平成29年6月29日(2017.6.29)
(86)国際出願番号　PCT/EP2015/062875
(87)国際公開番号　WO2015/189232
(87)国際公開日　平成27年12月17日(2015.12.17)
審査請求日　平成30年5月30日(2018.5.30)
(31)優先権主張番号　1455403
(32)優先日　平成26年6月13日(2014.6.13)
(33)優先権主張国・地域又は機関
フランス(FR)

(73)特許権者　514241847
フォーガル　ナノテック
ＦＯＧＡＬＥ　ＮＡＮＯＴＥＣＨ
フランス共和国，Ｆ－３０９００　ニーム，リュ　ドゥ　ロステルリ　１２５，バティマン　Ａ　－　ヴァイユ　アクティブ
(74)代理人　100139594
弁理士　山口　健次郎
(74)代理人　100185915
弁理士　長山　弘典
(74)代理人　100194973
弁理士　尾崎　祐朗
(74)代理人　100090251
弁理士　森田　憲一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】静電容量センサの動作状態をリアルタイムに監視する方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
回転機械上に取り付けることができそして高周波伝送線路を介して電子測定モジュールに接続することができる静電容量センサの動作状態をリアルタイムに監視する方法であって、
前記電子測定モジュール内で、前記伝送線路および前記センサからの容量寄生効果における補償用信号を生成するステップと、
前記電子測定モジュール内で、前記伝送線路および前記センサからのコンダクタンス寄生効果における補償用信号を生成するステップと、
容量補償を表す信号およびコンダクタンス補償を表す信号を抽出して、前記センサ及び前記伝送線路の動作点を決定するステップと、
前記動作点を分析して、前記動作点が所定の領域内に位置するかどうかを確認するステップと
を含む、方法。
【請求項２】
前記動作点が前記所定の領域の外側にあるときに警報信号をトリガするステップをさらに含むことを特徴とする、請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記動作点の展開を分析して、それに基づいて故障又はリスクのタイプを導き出すステップを含む、請求項１または２に記載の方法。

【請求項４】
前記所定の領域が、前記センサおよび／または前記伝送線路の温度限界値に基づいて、次のパラメータ：前記センサの電極の短絡、前記電子測定モジュールと前記センサとの間の接続部の破断または短絡、前記センサに含まれるセラミックの亀裂、のうちの少なくとも１つを表す静電容量限界値およびコンダクタンス限界値から画定されることを特徴とする、請求項１～３のいずれか一項に記載の方法。
【請求項５】
前記所定の領域が、前記伝送線路の次のパラメータ：接地への接続手段の破断およびガード電極への接続手段の破断、の少なくとも一方を表す静電容量限界値およびコンダクタンス限界値に基づいてさらに画定されることを特徴とする、請求項４に記載の方法。
【請求項６】
前記動作点が飽和コンダクタンス値および飽和容量値に向かっているときに前記センサの前記電極の短絡に関係するリスクファクタが決定されることを特徴とする、請求項４または５の一項に記載の方法。
【請求項７】
前記動作点がますます高いコンダクタンス値に向かって展開するときに前記センサのセラミックの亀裂に関係するリスクファクタが決定されることを特徴とする、請求項４～６のいずれか一項に記載の方法。
【請求項８】
前記動作点がますます高いコンダクタンス値および容量値に向かって展開するときに前記センサの高温に関係するリスクファクタが決定されることを特徴とする、請求項４～７のいずれか一項に記載の方法。
【請求項９】
前記動作点が絶対値でますます高いコンダクタンス値に向かってかつますます高い正の容量値に向かって展開するときに前記伝送線路の高温に関係するリスクファクタが決定されることを特徴とする、請求項５～８のいずれか一項に記載の方法。
【請求項１０】
前記動作点がますます低いコンダクタンス値および容量値に向かって展開するときに前記伝送線路の接地への接続手段内の破断に関係するリスクファクタが決定されることを特徴とする、請求項５～９のいずれか一項に記載の方法。
【請求項１１】
前記動作点がますます高い容量値に向かって展開するときに前記伝送線路のガード電極への接続手段内の破断に関係するリスクファクタが決定されることを特徴とする、請求項５～１０のいずれか一項に記載の方法。
【請求項１２】
前記静電容量センサによって行われる各測定が前記動作点の決定によって実現され、前記測定は、前記動作点が前記所定の領域の内側にあるときにのみ有効になることを特徴とする、請求項１～１１のいずれか一項に記載の方法。
【請求項１３】
前記動作点が前記所定の領域の外側にあるときに音声信号および／または視覚信号を送るステップを含むことを特徴とする、請求項１～１２のいずれか一項に記載の方法。
【請求項１４】
ブレードの先端が回転機械内を通るのにかかる時間を測定する静電容量センサの動作状態をリアルタイムに監視するための、請求項１～１３のいずれか一項に記載の方法の使用。
【請求項１５】
回転機械上に取り付けることができる静電容量センサと、
電子測定モジュールと、
前記センサを前記電子測定モジュールに接続する高周波伝送線路と
を備える静電容量測定システムにおいて、

前記電子測定モジュールが、
前記伝送線路および前記センサからの容量寄生効果における補償用信号を生成するステップ、
前記伝送線路および前記センサからのコンダクタンス寄生効果における補償用信号を生成するステップ、
容量補償を表す信号およびコンダクタンス補償を表す信号を抽出して、前記センサ及び前記伝送線路の動作点を決定するステップ、
前記動作点が所定の領域の外側にあるかどうかを確認するために前記動作点を分析するステップ
によって前記センサの動作状態のリアルタイム監視を行うために構成されることを特徴とする、静電容量測定システム。
【請求項１６】
前記伝送線路が３軸ケーブルまたは同軸ケーブルを備えることを特徴とする、請求項１５に記載の静電容量測定システム。
【請求項１７】
３軸型または同軸型の静電容量センサを備えることを特徴とする、請求項１５または１６のいずれか一項に記載の静電容量測定システム。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、静電容量センサ（capteur capacitif）の動作状態を監視する方法に関する。本発明は、以下に限定するものではないが、回転機械、またはターボリアクトル若しくは飛行機ターボプロップエンジンなどのターボ機械、あるいは例えば発電機タービンにおけるブレードの通過を測定する際に特に有用に適用することができる。本発明は、本発明が非常に困難な環境条件下で静電容量センサを用いてどんなシステムにも適用することができるので、対象範囲が幅広い。
【０００２】
ターボ機械を運転する間、ハウジングに静電容量センサを取り付けることが知られている。米国特許出願公開第２０１０２６８５０９号明細書は、ロータで構成される電極とハウジングで構成される対向電極、特に、とりわけ多数のシートで構成されるハウジングの内層とを開示している。
【０００３】
一般に、回転機械またはターボ機械におけるブレードの通過を、その通過からハウジングとブレードの先端との間のクリアランスならびにブレードの振動を取り出すために、非侵入的な方法でリアルタイムに測定することが可能である。これらの２つの情報、すなわちクリアランスおよび振動は、ブレードの健全状態、すなわちブレードの機械的一体性に関する重要な情報である。これらの情報は、特にブレード健全性監視（ＢＨＭ（Ｂｌａｄｅ　Ｈｅａｌｔｈ　Ｍｏｎｉｔｏｒｉｎｇ））により、機械の全運転期間にわたってリアルタイムに監視することができる。
【０００４】
これらの条件下での静電容量の測定は、伝送線路の電気インピーダンスのために実質的に電気線路損失の影響を受けることが知られている。
【０００５】
特開２００６－１７０７９７号公報は、伝送線路の寄生要素を補償する原理を説明するものとして知られている。
【０００６】
仏国特許出願公開第２７８４１７９号明細書は、容量補償およびコンダクタンス補償を表す信号から帰還ループを生成することによって伝送線路からの漏れ電流を補償するためのシステムを記述している。

【０００７】
しかし、システムの環境、モータハウジング、ブレード（aube）、パス（cheminement）のように、クリアランスおよび振動を測定するために使用される非侵入的センサは、運転中にそのセンサに加えられる熱負荷および機械的負荷の関数として経時的に展開する。
【０００８】
本発明の目的は、センサの状態をリアルタイムに監視することである。
【０００９】
本発明の別の目的は、信頼できない測定を行うリスクを診断することである。
【００１０】
上記目的のうちの少なくとも１つは、回転機械上に取り付けることができそして高周波伝送線路を介して電子測定モジュールに接続することができる静電容量センサの動作状態をリアルタイムに監視する方法で達成される。
【００１１】
本発明によれば、この方法は、
電子モジュール内で、伝送線路およびセンサからの容量寄生効果における補償用信号を生成するステップと、
電子モジュール内で、伝送線路およびセンサからのコンダクタンス寄生効果における補償用信号を生成するステップと、
センサの動作点を決定するために、容量補償を表す信号およびコンダクタンス補償を表す信号を抽出するステップと、
動作点を分析して、動作点が所定の領域内に位置するかどうかを確認するステップと
を含む。
【００１２】
実施方法によれば、所定の領域は、温度に関係する通常の動作領域より広い、または狭い、または同等のものとすることができる。
【００１３】
回転機械は、特に、ターボリアクトルや飛行機ターボプロップなどのターボ機械、あるいは発電機タービンを備えることができる。
【００１４】
本発明による方法で静電容量センサの健全状態のリアルタイム監視が確保され、このことは、測定システムの全体的な最適化管理に完全に組み込むことができる。
【００１５】
好適には、電子モジュールが物理的信号からアナログ信号への変換ならびに測定システムの寄生効果の容量補償およびコンダクタンス補償を実施する限りにおいて、いわゆる能動技術が用いられる。
【００１６】
本発明は、特に大部分が独創的であるが、補償信号がセンサの温度の単純な確認以外にセンサの健全状態を監視するためのパラメータとして使用されるためだけではない。実際には、センサは、高温およびこれらの温度の変化に関係するが、湿気およびその他の汚染物質にも関係する非常に厳しい環境に取り囲まれる。
【００１７】
補償信号は一般に補償にのみ使用されるが、本発明は、監視および診断の方針を決めるために補償信号の存在をうまく利用する。これを行うには、容量補償値およびコンダクタンス補償値によって占められる空間、すなわち、ｘ軸およびｙ軸上に容量値およびコンダクタンス値を有する２次元空間、またはその逆も同様である２次元空間が考えられる。次いで、センサが動作できる、所定の領域と称される許容領域が決定される。この所定の領域の外側では、センサは様々な理由で欠陥と見なされる。動作点は補償値の空間内の点である。動作点は温度の関数として展開することが知られている。所定の領域は、温度の関数としての展開曲線よりも厳密に広いことが好ましい。これは、温度に加えて他の故障要素が考慮に入れられることを意味する。

【００１８】
本発明の有利な特徴によれば、上記方法は、動作点が所定の領域の外側にあるときに警報信号をトリガするステップをさらに含むことができる。このステップは、現在の動作点が非動作センサで実現されていることをオペレータに警告することを可能にする全か無かの確認とすることができる。
【００１９】
好適には、本発明による方法は、動作点の展開を分析して、その分析結果から診断法を導き出すステップを含むことができる。この展開は、軌道および／または速度および／または加速度によって具体化することができる。
【００２０】
本発明では動作点が分析される。しかし、動作点の経時的な展開も分析して、以下で分かるように、分析結果から動作点からいくつかの教示、例えば故障やリスクなどのタイプを導き出す。補償の経時的な展開を監視することにより、センサの使用中にセンサの健全状態を診断することが可能である。静電容量測定の場合、この測定は、コンダクタンス補償および容量補償の展開を監視することによって行うことができる。
【００２１】
本発明の有利な実施形態によれば、所定の領域は、センサおよび／または伝送線路の温度の限界値から、また、次の値：センサの電極の短絡、電子モジュールとセンサとの間の接続部の破断または短絡、センサに含まれるセラミックの亀裂、のうちの少なくとも１つを表す容量およびコンダクタンスの限界値から画定される。
【００２２】
したがって、所定の領域は、実験によって、または測定システムの寄生抵抗および寄生容量からの計算によって得られる多くのパラメータに基づいて実施される。これらのパラメータはセンサに直接関係する。
【００２３】
特に、上記に加えて、所定の領域は、伝送線路の次のパラメータ：接地への接続手段の破断およびガードへの接続手段の破断、の少なくとも一方を表す静電容量限界値およびコンダクタンス限界値に基づいて画定することもできる。これらのパラメータは伝送線路に直接関係する。したがって、伝送線路またはセンサに起因する故障、およびどのタイプの故障かを診断することができる。
【００２４】
非制限的な例として、所定の領域を決定する際のいくつかのパラメータおよびそのパラメータの影響が言及され得る。
【００２５】
例えば、動作点が飽和コンダクタンス値および飽和容量値に向かっているときにセンサの電極の短絡に関係するリスクファクタが決定される。したがって、動作点が最大容量値および最大コンダクタンス値に向かって展開していることを分析することによって短絡故障に向かって展開するリスクを軽減するのは比較的簡単である。
【００２６】
動作点がますます高いコンダクタンス値および容量値に向かって展開するときにセンサのセラミックの亀裂に関係するリスクファクタを決定することも可能である。したがって、容量値の変化とは無関係のコンダクタンス値の大きな変化が、センサを構成するセラミックの脆化の前兆となり得る。
【００２７】
動作点がますます高いコンダクタンス値および容量値に向かって展開するときにセンサの高温に関係するリスクファクタを決定することも可能である。
【００２８】
動作点が絶対値でますます高い負のコンダクタンス値および容量値とますます高い正の容量値とに向かって展開するときに伝送線路の高温に関係するリスクファクタを決定することも可能である。

【００２９】
最終的に、例えば、動作点がますます低いコンダクタンス値および容量値に向かって展開するときに伝送線路の接地への接続手段内の破断に関係するリスクファクタを決定することも可能である。
【００３０】
接地への接続手段は、ごく簡単に言えば、接地に接続されるコネクタとすることができる。
【００３１】
動作点がますます高い容量値に向かって展開するときに伝送線路のガードへの接続手段内の破断に関係するリスクファクタを決定することも可能である。
【００３２】
本発明の有利な利点によれば、静電容量センサによって行われる各測定は前記動作点の決定によって実現することができ、測定は、動作点が所定の領域の内側にあるときにのみ有効になる。これは、良好な条件下で行われた測定だけが考慮に入れられるように自動にすることができる監視プロセスである。
【００３３】
好ましくは、動作点が所定の領域の外側にあるときに音声信号および／または視覚信号を発するステップが提供される。
【００３４】
本発明は、ブレードの先端が回転機械内を通る時間を測定するための、以下に説明する方法の使用も提供する。
【００３５】
回転機械上に取り付けることができる静電容量センサと、
電子測定モジュールと、
センサを電子モジュールにつなぐ高周波伝送線路と
を備える静電容量測定システムも提供される。
【００３６】
本発明によれば、電子モジュールは、
伝送線路およびセンサからの容量寄生効果における補償用信号を生成するステップ、
伝送線路およびセンサからのコンダクタンス寄生効果における補償用信号を生成するステップ、
容量補償を表す信号およびコンダクタンス補償を表す信号を抽出して、センサの動作点を決定するステップ、
動作点が所定の領域の外側にあるかどうかを確認するために動作点を分析するステップ
によってセンサの動作状態のリアルタイム監視を行うために構成される。
【００３７】
本発明の有利な特徴によれば、伝送線路は３軸ケーブルまたは同軸ケーブルを備えることができる。
【００３８】
本発明の有利な特徴によれば、静電容量測定システムは３軸型または同軸型の静電容量センサを備えることができる。
【図面の簡単な説明】
【００３９】
他の利点および特徴は、決して限定されるものではない実施形態、および添付図面の詳細な説明の調査で明らかになるであろう。
【図１】本発明の実施に適合する能動測定システムの一例の概略図である。
【図２】能動測定システムに本発明による診断法を組み入れたものの簡略図である。
【図３】同軸センサ用の所定の領域を示す曲線である。
【図４】３軸センサ用の所定の領域を示す曲線である。
【発明を実施するための形態】

【００４０】
本発明は以下に限定されるものではないが、次に、ブレード先端の通過時間を測定するためにターボ機械のハウジングに取り付けられる静電容量センサを備える測定システムについて説明する。運転時にターボ機械にかかる空力負荷、熱負荷および機械的負荷はセンサの信頼性を変化させ、したがって測定結果をゆがめる可能性がある。ブレードの状態を全体的に監視する状況で、センサの状態の展開を考慮に入れる必要もある。
【００４１】
本発明の実施について、仏国特許出願公開第２７８４１７９号明細書に記載されている漏れ容量および漏れコンダクタンスの自動的補償を実施する静電容量検出システムの実施形態に関して説明する。
【００４２】
もちろん、本発明は、漏れ容量および漏れコンダクタンスの補償を実施する静電容量検出システムの他の実施形態で実施することができる。
【００４３】
明瞭化および簡潔さのために、図１および図１に関連する以下の説明は、本質的に仏国特許出願公開第２７８４１７９号明細書から得られる。
【００４４】
図１を参照すると、静電容量測定システムは、入力回路ＣＥおよび静電容量測定回路ＣＭＣを備える。
【００４５】
入力回路ＣＥは、本質的に、静電容量センサ１と、接続高周波伝送線路２と、高周波電圧源４に接続される変圧器３とを備える。
【００４６】
提示される実施形態では、静電容量センサ１は３軸型であり、第１の同心電極１１、第２の同心電極１２、および第３の同心電極１３を備える。
【００４７】
第１の電極１１は、例えば、直径が数ミリメートル程度の中心測定電極１１である。電極１１は自由端を有し、自由端は、部品Ａを含む装置の接地Ｍなどの基準電位に直接、または装置に固有の寄生容量によって接続される部品Ａと向かい合って配置される。測定電極１１の自由端と部品Ａとの間の距離Ｊは測定されるべきである。例えば、部品Ａは、図１の面に垂直なシャフトを中心に矢印Ｆに従って回転するタービンのブレードで連続的に構成される。距離Ｊは、中心電極１１の前を連続的に通り過ぎるブレードＡの端部間の１ミリメートル程度の可変クリアランスである。
【００４８】
クリアランスＪの変化は低周波信号を発生させ、この信号の振幅変動は１サイクルごとにほんの少し変化し、各サイクルは当該ブレードの通過に対応する。低周波信号は、周波数F_0の搬送波の振幅を変調してクリアランスＪの関数として変化する振幅を有する変調済み信号にする。第２の電極１２は第１の電極１１を取り囲み、ガード電極を構成する。
【００４９】
第３の電極１３は、接地Ｍに接続されかつ電極１２を取り囲む遮蔽電極であり、センサ１の円筒金属本体を構成する。センサの本体の前面は、タービンの例えば円筒形または円錐形の回転ハウジングＣＴの穴の中に固定される。
【００５０】
センサ１における寄生インピーダンス値と接続線路２における寄生インピーダンス値はどちらも温度とともに変わりやすく、測定システム１は、静電容量および抵抗のこれらの変化に対して非常に許容性がなければならない。
【００５１】
接続線路２は、図１に示されている実施形態によれば、センサ１の電極１１、１２および１３にそれぞれ接続される３つの同心電極２１、２２および２３を有する３軸ケーブルの一部分を備える。一般に、接続ケーブルは、通常長さ数メートルの剛性３軸ケーブルＬ

ＴＲと可撓性３軸ケーブルＬＴＳとを備え、ケーブルＬＴＲの一端はセンサに直接はんだ付けされ、ケーブルＬＴＳの長さは数メートル～数十メートルとすることができる。接続ケーブルは、電子回路側に同軸ケーブルの一部分も備えることができる。

【００５２】

他の実施形態によれば、静電容量センサ１は同軸型とすることができる。この場合、静電容量センサ１は、ただ１つの第１の測定電極１１と接地Ｍに接続される１つの第３の遮蔽電極１３とを備える。

【００５３】

この場合、接続線路２は同軸ケーブルであり、同軸ケーブルは、同軸センサ１の電極１１および１３にそれぞれ接続される２つの同心導体２１および２３を備える。

【００５４】

同軸センサと３軸センサとの間の重要な違いは、同軸センサ内の損失インピーダンスが温度にさらに大きく依存することである。用途に応じて、この依存性を最小限に抑えること、または反対に、この依存性を故意に増大させることが有用となり得る。

【００５５】

別の電圧源４は高周波ＨＦ発振器であり、水晶によって搬送波周波数$Ｆ_{0}$に制御され、生成された搬送波の波形を改善しかつ測定システムの特性の不変性を保証するように振幅を制御される。搬送波は、正弦波分極電圧であり、発振器４によって変圧器３を介してセンサ１に印加される。

【００５６】

提示される実施形態では、この搬送波は通常、数ボルト～１０ボルトＲＭＳ程度の振幅およびＭＨｚ程度の周波数$Ｆ_{0}$を有する。

【００５７】

発振器は、同相で直交する２つの基準電圧も与える。

$ＶＲ_{P}＝Ｖ_{R}$　ｓｉｎ（ωｔ）および$ＶＲ_{Q}＝Ｖ_{R}$　ｓｉｎ（ωｔ＋π／２）、ただし、ω＝２π$Ｆ_{0}$、ＨＦ搬送波のパルセーション（ｐｕｌｓａｔｉｏｎ）である。電圧$ＶＲ_{P}$および$ＶＲ_{Q}$は、同期検出器を制御するとともに、静電容量測定回路ＣＭＣの動作に必要な能動補償電圧信号を生成するために使用される。

【００５８】

入力回路ＣＥにおいて、変圧器３は、周波数$Ｆ_{0}$の搬送波$Ｖ_{0}$　ｓｉｎ（ωｔ）を生成する発振器４の出力端子に接続される１次コイルと、一方では接続線路２を介してセンサ１に接続され、他方では測定回路ＣＭＣに含まれる電荷増幅器５の入力に接続される浮遊源を構成する２次コイルと、を有する。下記で分かるように、接続線路は、遮蔽された３軸型もしくは２線型、または同軸型とすることができ、接続線路の導体は、測定電極１１と増幅器５の反転入力（－）を変圧器３の２次コイルを介して接続する。接続線路の遮蔽導体は、少なくともセンサ１の遮蔽電極１３と接地Ｍを接続する。

【００５９】

電荷増幅器５は演算増幅器３０であり、演算増幅器３０の出力は、並列接続の静電容量Ｃ５１の帰還コンデンサ５１および帰還抵抗器５２を介してかつ下記で説明する制御ループを介して反転入力（－）に帰還接続される。

【００６０】

制御ループは、電荷増幅器５の出力にカスケード接続された帯域通過フィルタ６１および増幅器６２、ならびに増幅器６２の出力と電荷増幅器５の反転入力（－）との間の２つの並列経路を備える。これらのチャネルは、位相（Ｐ）信号処理および直交（Ｑ）信号処理に割り当てられる。各経路は、カスケード接続で、同期検出器７_{P}、７_{Q}、積分器８_{P}、８_{Q}、増幅器９_{P}、９_{Q}、および基準容量ＣＲの基準コンデンサ$Ｃ_{P}$、$Ｃ_{Q}$を備える。

【００６１】

同期検出器７_{P}、積分器８_{P}、増幅器９_{P}、および基準コンデンサ$Ｃ_{P}$を備える経路により、センサ１および接続線路２の損失インピーダンスの無効部分を補償することが可能になる。

【００６２】
同期検出器７$_Q$、積分器８$_Q$、増幅器９$_Q$、および基準コンデンサＣ$_P$を備える経路により、センサ１および接続線路２の損失インピーダンスの抵抗部分を補償することが可能になる。
【００６３】
この損失インピーダンスは、電荷増幅器５の反転入力（－）と接地Ｍとの間の並列接続の寄生容量および寄生抵抗として全体的にモデル化することができる。
【００６４】
フィルタ６１の帯域幅ΔＦは、発振器４の周波数Ｆ$_0$を中心とし、通常は約３００ｋＨｚに固定された幅である。増幅器６２は、単位利得フォロワ増幅器であり、フィルタにかけられ増幅された電圧信号ＳＦＡを生成し、電圧信号ＳＦＡの振幅は、センサ１内のクリアランスＪに反比例して変化する。この信号は２つの同期検出器７$_P$および７$_Q$に印加され、同期検出器７$_P$および７$_Q$は、発振器４によって与えられる基準位相電圧ＶＲ$_P$および基準直交電圧ＶＲ$_Q$によって制御される。同期検出器７$_P$および７$_Q$は位相検出器であり、位相検出器は、フィルタにかけられ増幅された電圧信号ＳＦＡを二相直交成分信号Ｓ$_P$およびＳ$_Q$に復調し、一方の信号Ｓ$_P$は、クリアランスＪを測定するために使用される。低周波成分信号Ｓ$_P$およびＳ$_Q$は、制御ループを安定させるために、それぞれ積分器８$_P$および８$_Q$において相電圧Ｖ$_P$および直交電圧Ｖ$_Q$に積分される。積分器８$_P$および８$_Q$を出た電圧Ｖ$_P$およびＶ$_Q$は、増倍率Ｋを有する２つの増幅器９$_P$および９$_Q$の第１の入力に印加され、その結果、電圧Ｖ$_P$およびＶ$_Q$にそれぞれ、増幅器９$_P$および９$_Q$の第２の入力に印加される基準電圧ＶＲ$_P$＝Ｖ$_R$　ｓｉｎ（２ωｔ）およびＶＲ$_Q$＝Ｖ$_R$　ｓｉｎ（２ωｔ＋π／２）を乗算する。
【００６５】
増幅器９$_P$および９$_Q$によって生成される振幅変調済み信号［Ｋ　Ｖ$_P$　Ｖ$_R$　ｓｉｎ（２ωｔ）］および［Ｋ　Ｖ$_Q$　Ｖ$_R$　ｓｉｎ（２ωｔ＋π／２）］は、制御の安定性を得るために、基準コンデンサＣ$_P$およびＣ$_Q$を経由して電荷増幅器５の反転入力（－）に適切な位相で再注入され、センサ１によって変圧器３を経由して送られた測定信号に加算される。
【００６６】
積分器によって確保される増幅率が低周波で非常に高いものとすると、増幅器５を出た誤差信号ＥＲの平均値、したがって信号Ｓ$_P$およびＳ$_Q$の平均値がゼロに維持される。
【００６７】
センサ１を通過し、振幅として（Ｖ$_0$　Ｃ$_{13}$ω）を有する同相電流は、振幅：
Ｉｐ＝Ｋ　Ｖｐ　Ｖ$_R$　Ｃ$_R$ω
を有する相コンデンサＣｐを通過する電流で補償される。
【００６８】
センサ損失に起因し、振幅として（Ｖ$_0$　Ｃ$_{13}$）を有する直交電流は、振幅：
Ｉ$_Q$＝Ｋ　Ｖ$_Q$　Ｖ$_R$　Ｃ$_R$ω
を有する直交コンデンサＣＱを通過する電流で補償される。
【００６９】
直交電流を供給されるコンデンサＣ$_Q$は、同相電流を供給される抵抗器として機能する。したがって、これにより、抵抗器の使用で導入されるであろう熱雑音を回避しながら、抵抗損失の補償が可能になる。
【００７０】
積分器Ｉ$_P$およびＩ$_Q$の出力における公称感度は下記式の通りである。
【化１】

$$S(V_P) = \frac{V_P}{C_{13}} = \frac{V_0}{KV_R}\frac{1}{C_R} \quad \text{V/pF}$$

および

【化２】

$$S(V_Q) = \frac{V_Q}{1/R_{13}} = \frac{V_0}{KV_R}\frac{1}{C_R\omega} \text{ V/Siemens}$$

【００７１】
増幅器５の出力において、誤差信号ＥＲは、部品Ａが静止しているときに通常ゼロである。運転中、タービンが回転すると、信号ＥＲは、静電容量センサ１の暗騒音、ならびに過渡信号、例えばブレードＡの通過だけを含み、過渡信号は制御の有限帯域幅ΔＦ内にある。

【００７２】
ブレードの通過の信号$Ｓ_{Ｐ}$（または$Ｓ_{Ｑ}$）は、クリアランス測定システムの出力に平均値ゼロの信号の形で存在する。

【００７３】
図２の簡略図は、本発明による方法を実施する測定処理システムの機能表現である。提示された実施形態では、測定処理システムは、図１の電子要素を組み込んだ電子モジュール２６を備える。本発明によれば、電子モジュール２６は、本発明による方法を実施することができる信号処理ユニット２４も備える。

【００７４】
センサ２０は、３軸ケーブルによって構成された伝送線路２１の端部に配置される。提示された実施形態では、センサ２０は同軸センサであり、同軸センサの電極は、それぞれケーブルの測定導体および接地導体に接続される。もちろん、他のケーブル、特に同軸ケーブルを使用することもできる。

【００７５】
電子モジュール２６の入力は、特に図１の電荷増幅器５を備える前置増幅器２２によって確保される。コンダクタンス補償信号および容量補償信号は、信号処理ユニット２４によって生成され、前置増幅器２２に注入される。特に図１の増幅器６を組み込んだ増幅器２３は、増幅後、前置増幅器２２から来る信号から信号処理ユニット２４を供給する。信号処理ユニット２４は、図１の同期検出器および積分器、ならびに本発明による方法を実施するために構成されたマイクロコントローラ２７を有利に備える。このマイクロコントローラ２７は信号ＶＱおよびＶＰを受け取り、次いで、信号ＶＱおよびＶＰからコンダクタンス値および容量値を導き出して、ＶＱが$Ｇ_{Ｌ}$と称され得るコンダクタンスに比例し、ＶＰが$Ｃ_{Ｌ}$と称され得る静電容量に比例することを認識する。

【００７６】
信号処理ユニット２４は、センサ２０によって測定された静電容量に比例する出力信号Ｖｏｕｔを生成することができる。ただし、Ｖｏｕｔ＝ｋＣであり、ｋは実数である。この出力信号は、ＲＭＳ／ＤＣコンバータ２８に供給することができる。

【００７７】
マイクロコントローラ２７は、$Ｇ_{Ｌ}$および$Ｃ_{Ｌ}$の値をリアルタイムに決定するとともに、これらの値をメモリに保存してその値の展開を監視するために構成される。値$Ｃ_{Ｌ}$に関連する値$Ｇ_{Ｌ}$が動作点を構成し、動作点は、ｘ軸に$Ｃ_{Ｌ}$の値を有し、ｙ軸に$Ｇ_{Ｌ}$の値を有する２次元空間で表すことができる。

【００７８】
図３は、同軸センサ用の$Ｇ_{Ｌ}$／$Ｃ_{Ｌ}$座標系における動作点の変動を表す曲線を示す。

【００７９】
正のコンダクタンス値および容量値の領域内に斜めセグメントの形をした第１の曲線Ｔが見られる。

【００８０】
いわゆる通常の健全状態では、温度などの環境パラメータの変化の関数として、静電容量$Ｃ_{Ｌ}$およびコンダクタンス$Ｇ_{Ｌ}$で表される線路補償は所定の曲線Ｔの中または近くにと

どまり、静電容量C_LおよびコンダクタンスG_Lは互いに対して単調な展開をたどる（例えば、コンダクタンスは静電容量が増大すると増大する）。

【００８１】

センサまたはケーブルが故障した場合、静電容量C_LおよびコンダクタンスG_Lによって実現される動作点は、いわゆる通常の動作曲線Ｔから離れる。通常の動作曲線からある距離を置いてこれらのパラメータの展開を検出することにより、例えば、ブレード状態の監視（「ブレード健全性の監視」の場合のＢＨＭ）の状況で、故障を検出することおよび／または測定を無効にすることが可能になる。

【００８２】

通常の条件では、現在の動作点ＰＦは、温度Ｔｍｉｎに対応する下位点と温度Ｔｍａｘに対応する上位点との間の曲線Ｔの上に現れる。

【００８３】

本発明によれば、故障およびリスクを検出するために、所定の領域ＺＰを画定する曲線を事前に画定することができる。この所定の領域は曲線Ｔを含む。したがって、以下の検出方法を実施することが可能である。

動作点がもはや曲線Ｔ上にはなく、所定の領域の内側にあるとき、センサの動作状態へのリスクがあり、展開を監視する必要があると考えられ、

所定の領域を超えると、測定が信頼できないと考えられる。

【００８４】

図３は、動作点から始まり異なる方向を指す矢印Ｅ１～Ｅ４を示す。各矢印は、１つまたは複数の所定の特徴による危険な展開を表す。

【００８５】

例えば、矢印Ｅ１の方向の展開（静電容量はコンダクタンスが減少すると増大する）は、伝送線路の破断に向かう展開の特徴である。

【００８６】

矢印Ｅ２の方向の展開（コンダクタンスが固定値で静電容量が増大する）は、伝送線路のガード接続部の破断に向かう展開の特徴である。

【００８７】

矢印Ｅ３の方向の展開（コンダクタンスが固定値で静電容量が減少する）は、センサの電極の破断に向かう展開の特徴である。

【００８８】

矢印Ｅ４の方向の展開（静電容量が固定値でコンダクタンスが増大する）は、センサまたは伝送線路での短絡に向かう展開の特徴である。

【００８９】

図４は、３軸センサ用の所定の領域ＺＰ１内の通常の動作曲線Ｔ１を示す。この場合、曲線Ｔ１は、ゼロを通過しかつ正のコンダクタンスおよび負の静電容量の象限内に最小値（温度値Ｔｍｉｎに対応する）を有する曲線である。最大値（温度Ｔｍａｘに対応する）は、負のコンダクタンスおよび正の静電容量の象限内に位置する。

【００９０】

先に説明したように、本発明により、動作点および動作点の展開の分析から種々の診断を実施することが可能になる。様々なシナリオについて、非制限的な例として以下で簡単に説明する。

【００９１】

静電容量センサに関して下記の通りである。

電極相互間に絶縁体を構成するセラミックの亀裂が、湿気または汚染物質の吸収を引き起こす可能性がある。これは、漏れコンダクタンス値G_Lが異常に高いという特徴がある。関連するリスクは、センサの酸化、決定的汚染、破損、したがって破壊である。

高すぎる温度が、絶縁体の誘電体誘電率の増大を引き起こす。これは、漏れ容量C_L値および漏れコンダクタンスG_L値が異常に高いという特徴がある。関連するリスクは、センサへの不可逆的損傷またはセンサの破壊である。

測定電極と接地との間の短絡トリガは、変圧器を励磁する発振器４の補償電圧および過剰消費が飽和する特徴がある。やはりセンサが破壊するリスクがある。

測定電極との電気接続部の破断は、測定信号の不在は別として、残留漏れ容量が測定線路の破断部までの部分にしか関係していないので、漏れ容量C_Lが減少するという特徴がある。

【００９２】

ケーブル、特に３軸ケーブルに関して下記の通りである。

高すぎる温度が、絶縁体（一般に無機物）の誘電体誘電率の増大を引き起こす。これは、漏れ容量C_L値および漏れコンダクタンスG_L値の絶対値が異常に高いという特徴があり、漏れコンダクタンスG_L（等価）は、ガードケーブルの抵抗によって導入されるディフェージング（dephasage）のために負号を有する。

接地導体の接続部の破断は、接地導体が通常の長さよりも短いケーブルの（破断部までの）長さに対応しているので、漏れ容量C_L値および漏れコンダクタンスG_L値が異常に低いという特徴がある。

ガード導体の接続部の破断は、ガード導体が接地に向かって増大した漏れ容量に対応しているので、漏れ容量C_Lが異常に高いという特徴がある。

【００９３】

したがって、本発明は、下記の事象のうちの少なくとも１つを検出することにより、故障の原因、または故障の原因群、あるいは異常状態を診断することを可能にすることに留意されたい。

漏れ容量C_Lと漏れコンダクタンスG_Lとの間のパラメータ、通常値を保持する他のパラメータの異常な展開、２つのパラメータ、すなわち漏れ容量C_Lおよび漏れコンダクタンスG_Lの異常な展開。

【００９４】

もちろん、起こり得る故障の範囲または故障のより正確な識別は、追加の情報、例えば、

外部温度測定、

測定の質、または測定の不在、

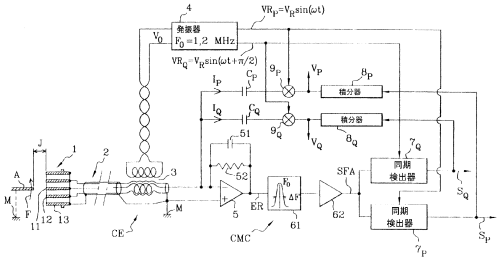
特に飽和成分を検出するための、電力消費量の監視、など

を分析に組み込むことにより、本発明に従って実現することができる。

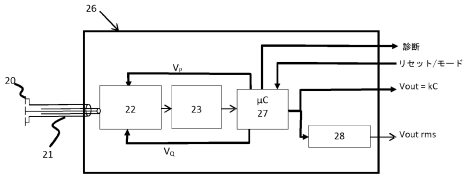
【００９５】

もちろん、本発明は、説明してきた例に限定されるものではなく、本発明の範囲を超えることなくこれらの例に多くの調整を加えることができる。

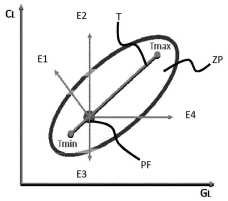
【図１】


発振器
積分器
積分器
同期
検出器
同期
検出器
SFA
ER
CE
CMC

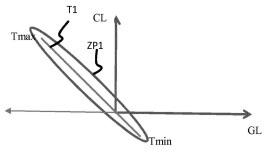
【図２】


診断
リセット/モード
Vout = kC
Vout rms
22
23
μC
27
28

【図３】


CL
E2
T
Tmax
ZP
E1
E4
Tmin
PF
E3
GL

【図４】


T1
CL
ZP1
GL
Tmin

フロントページの続き

(72)発明者　ニール　クリスチャン
フランス共和国，エフ－３０９００　ニーム，シュマン　デュ　カルティエ　デスパーニュ　７０７Ｂ
(72)発明者　ビリャル　ニコラ
フランス共和国，エフ－３０９００　ニーム，リュ　ドゥ　モントリー　２３，レジデンス　モントリー，プラン　シュッド　Ａ２３

審査官　仲野　一秀

(56)参考文献　特開平７－１９８３１２（ＪＰ，Ａ）
特開平９－２８０８０６（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２００９／０１６０４６１（ＵＳ，Ａ１）
米国特許出願公開第２００９／０２４３６３３（ＵＳ，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１１／００５０６２０（ＵＳ，Ａ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｂ　７／００－７／３４
Ｇ０１Ｄ　５／００－５／２５２
Ｇ０１Ｄ　５／３９－５／６２
Ｇ０１Ｐ　７／００－１１／０２
Ｇ０１Ｐ　２１／００－２１／０２