

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4261041号
(P4261041)

(45) 発行日 平成21年4月30日(2009.4.30)

(24) 登録日 平成21年2月20日(2009.2.20)

(51) Int.Cl.

F 1

GO 1 R	31/12	(2006.01)	GO 1 R	31/12	A
GO 1 N	27/92	(2006.01)	GO 1 N	27/92	E
HO 1 H	33/56	(2006.01)	HO 1 H	33/56	H
HO 2 B	13/065	(2006.01)	HO 2 B	13/06	D
HO 2 G	5/06	(2006.01)	HO 2 G	5/06	391

請求項の数 17 (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2000-282262 (P2000-282262)

(22) 出願日

平成12年9月18日 (2000.9.18)

(65) 公開番号

特開2002-90413 (P2002-90413A)

(43) 公開日

平成14年3月27日 (2002.3.27)

審査請求日

平成17年8月11日 (2005.8.11)

(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

(74) 代理人 100083806

弁理士 三好 秀和

(74) 代理人 100100712

弁理士 岩▲崎▼ 幸邦

(74) 代理人 100100929

弁理士 川又 澄雄

(74) 代理人 100108707

弁理士 中村 友之

(74) 代理人 100095500

弁理士 伊藤 正和

(74) 代理人 100101247

弁理士 高橋 俊一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】高電圧機器の絶縁異常診断装置及びその絶縁異常診断方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

高電圧機器が発生した部分放電により当該機器の筐体に生じる振動を検出する A E センサと、

前記部分放電による漏れ電流を検出する C T センサと、

前記 A E センサと C T センサからの検出結果および当該機器の電源線からの電源信号をそれぞれ計測する計測手段と、

計測結果に包絡線処理を行う包絡線処理機能と、包絡線処理した結果に対してウェーブレット変換を行うウェーブレット変換処理機能とを有し、ウェーブレット変換した結果から異常診断に有益な情報を抽出する信号処理手段と、

信号処理結果と部分放電の電荷量との相関情報を蓄積する異常診断データベースと、

前記信号処理手段からの信号処理結果により前記異常診断データベースを参照して当該部分放電の電荷量を算出する電荷量算出手段と、

A E センサと C T センサでの検出結果の強度と放電部位を蓄積する放電部位推定データベースと、

前記 A E センサと C T センサでの検出結果により前記放電部位推定データベースを参照して放電部位を推定する放電部位推定手段とを備えたことを特徴とする高電圧機器の絶縁異常診断装置。

【請求項2】

高電圧機器が発生した部分放電により当該機器の筐体に生じる振動を検出する広帯域振

動センサと、

前記広帯域振動センサからの検出結果から部分放電の特徴となる周波数帯域を判定する周波数解析手段と、

前記周波数解析手段により得られた部分放電の特徴となる周波数帯域に対して、高い感度特性を有する部分放電検出用 A E センサを選択するセンサ選択手段と、

前記センサ選択手段により選択された部分放電検出用 A E センサからの検出信号および前記広帯域振動センサからの検出信号を計測する計測手段と、

計測結果に包絡線処理を行う包絡線処理機能と、包絡線処理した結果に対してウェーブレット変換を行うウェーブレット変換処理機能とを有し、ウェーブレット変換した結果から診断に有益な情報を取り出す信号処理手段と、

信号処理結果と部分放電の電荷量の相関情報を蓄積する異常診断データベースと、

前記信号処理手段からの信号処理結果により前記異常診断データベースを参照して当該部分放電の電荷量を算出する電荷量算出手段と、

前記広帯域振動センサと前記選択された部分放電検出用 A E センサでの検出結果の強度と放電部位を蓄積する放電部位推定データベースと、

前記広帯域振動センサと複数の前記部分放電検出用 A E センサでの検出結果により前記放電部位推定データベースを参照して放電部位を推定する放電部位推定手段とを備えたことを特徴とする高電圧機器の絶縁異常診断装置。

【請求項 3】

前記計測手段は、

前記高電圧機器に印加される電源波形と部分放電波形を計測するチャネルを有し、

全てのチャネルを同時に、かつ、計測する周波数帯域に対してサンプリング定理を満たすサンプリング周波数で計測することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の高電圧機器の絶縁異常診断装置。

【請求項 4】

前記計測手段は、

前記高電圧機器に印加される電源の波形をパイロット信号とするトリガ機能と、

前記電源の周期の整数倍の周期でデータ計測を行う機能とを備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項記載の高電圧機器の絶縁異常診断装置。

【請求項 5】

前記周波数解析手段は、

高速フーリエ変換機能またはウェーブレット変換処理機能を有することを特徴とする請求項 2 記載の高電圧機器の絶縁異常診断装置。

【請求項 6】

前記ウェーブレット変換処理機能は、

ウェーブレット変換に用いる複数のマザーウェーブレットを備えたことを特徴とする請求項 1, 2, 5 のいずれか 1 項記載の高電圧機器の絶縁異常診断装置。

【請求項 7】

前記異常診断データベースは、

電荷量測定器で計測した部分放電電荷量の合計値と、A E センサによる検出結果の実効値の相関曲線を備えたことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の高電圧機器の絶縁異常診断装置。

【請求項 8】

前記異常診断データベースは、

電荷量計測器で計測した部分放電の電荷量の合計値と、A E センサによる検出結果に対してウェーブレット変換したピーク強度との相関曲線を備えたことを特徴とする請求項 1, 2, 7 のいずれか 1 項記載の高電圧機器の絶縁異常診断装置。

【請求項 9】

前記センサ選択手段は、

周波数特性の異なる複数の A E センサ群を備え、前記周波数解析結果から得られる部

10

20

30

40

50

分放電の特徴となる周波数帯域に対して高い感度を有する A E センサを選択することを特徴とする請求項 2 記載の高電圧機器の絶縁異常診断装置。

【請求項 1 0】

前記電荷量算出手段は、

電源電圧の正位相側の半周期と負位相の半周期について A E センサからの A E 信号の実効値をそれぞれ算出する機能を備えたことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の高電圧機器の絶縁異常診断装置。

【請求項 1 1】

前記電荷量算出手段は、

前記 A E センサからの A E 信号をウェーブレット変換した結果に対して、電源電圧の正位相および負位相に出現する周波数 100 Hz 帯でのウェーブレットピークを部分放電成分と決定し、それぞれのピークごとに体積分することでウェーブレットピーク強度を算出することを特徴とする請求項 1, 2, 1 0 のいずれか 1 項記載の高電圧機器の絶縁異常診断装置。10

【請求項 1 2】

前記電荷量算出手段は、

診断対象機種ごとに前記異常診断データベースから異なる電荷量推定用マスター曲線を選択する機能と、評価しきい値を変更する評価しきい値変更機能とを備えたことを特徴とする請求項 1, 2, 1 0, 1 1 のいずれか 1 項記載の高電圧機器の絶縁異常診断装置。20

【請求項 1 3】

前記放電部位推定手段は、

前記 C T センサでの検出結果と、 A E センサでの検出結果の強度と位相ずれの組合せを算出することを特徴とする請求項 1 記載の高電圧機器の絶縁異常診断装置。

【請求項 1 4】

計測系に電源を供給するバッテリを備えたことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の高電圧機器の絶縁異常診断装置。

【請求項 1 5】

前記計測系の電源ラインからノイズを除去するノイズカッタを挿入することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の高電圧機器の絶縁異常診断装置。30

【請求項 1 6】

高電圧機器が発生した部分放電により当該機器の筐体に生じる振動を検出するステップと、

前記部分放電による漏れ電流を検出するステップと、

振動と漏れ電流の検出結果および当該機器の電源線からの電源信号をそれぞれ計測するステップと、

計測結果に包絡線処理を行い、包絡線処理した結果に対してウェーブレット変換を行い、ウェーブレット変換した結果から異常診断に有益な情報を抽出し信号処理するステップと、

信号処理結果と部分放電の電荷量との相關情報を蓄積する異常診断データベースを参照して信号処理結果から当該部分放電の電荷量を算出するステップと、40

振動と漏れ電流の検出結果の強度と放電部位を蓄積する放電部位推定データベースを参照して振動と漏れ電流の検出結果から放電部位を推定するステップとを備えたことを特徴とする高電圧機器の絶縁異常診断方法。

【請求項 1 7】

高電圧機器が発生した部分放電により当該機器の筐体に生じる振動を検出するステップと、

振動の検出結果から部分放電の特徴となる周波数帯域を判定するステップと、

前記周波数帯域に感度特性をもつセンサを選択するステップと、

振動の検出結果および前記センサからの検出信号をそれぞれ計測するステップと、

計測結果に包絡線処理を行い、包絡線処理した結果に対してウェーブレット変換を行い50

、ウェーブレット変換した結果から異常診断に有益な情報を抽出し信号処理するステップと、

信号処理結果と部分放電の電荷量の相関情報を蓄積する異常診断データベースを参照して信号処理結果から当該部分放電の電荷量を算出するステップと、

振動の検出結果と前記センサでの検出結果の強度と放電部位を蓄積する放電部位推定データベースを参照して振動の検出結果と前記センサでの検出結果から放電部位を推定するステップとを備えたことを特徴とする高電圧機器の絶縁異常診断方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

10

本発明は、絶縁異常の定量的評価を実現可能な高電圧機器の絶縁異常診断装置に関し、特に、高電圧機器の設置場所で容易に状態診断を行うことができ、広範囲な診断対象機種に対応可能な高電圧機器の絶縁異常診断装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、経年使用されている高圧受配電設備が増加傾向にあり、状態監視に基づく最適保全計画（予測保全）のニーズが増大しつつある。そこで、高電圧機器の部分放電を検出して、状態監視を行う絶縁異常診断装置の開発が急務となっている。

【0003】

従来、高電圧機器の部分放電を検出手法としては、CTセンサを用いて接地線での漏れ電流を検出手法、アンテナを用いて放電時に発生する電磁波を計測する放電電磁波計測手法、光ファイバを用いて部分放電光を検出手法等があり、現在も研究開発が進められている。

20

【0004】

また、高電圧機器の部分放電に伴って発生する気中の超音波を集音器で計測する気中超音波集音装置なども市販されている。その他、部分放電による筐体振動をAEセンサや振動センサで検出手法も報告されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

30

前述した部分放電検出手法は、その検出原理や対象とする機器の定格・サイズなどが異なるため、一概に比較できない面もあるが、現状、絶縁診断分野では、放電検出の感度を向上させることと、診断精度向上のためのノイズ分離（識別）、及び、フィールドで診断を行う際の実用性の向上にある。

【0006】

ところが、従来の手法にあっては以下の問題があった。

【0007】

漏れ電流検出手法の場合、高電圧機器にCTセンサを取り付ける接地線がなければ、部分放電による漏れ電流を計測することができなかった。また、盤全体からの漏れ電流を計測するので盤内の機器のどこで部分放電が発生しているのか特定することが困難であった。

【0008】

40

また、電磁波計測法の場合、電磁波を計測するために高速サンプリングを必要とするので、計測系の装置負担が大きくなるといった問題があった。

【0009】

さらに、部分放電光の検出手法の場合、光ファイバを取り付けても、部分放電光を検出できる位置と検出できない位置とがあるといった問題があった。

【0010】

さらにまた、気中超音波集音装置の場合、部分放電に伴い気中超音波を発生しないモードでは、部分放電を検出することができない。検出可能なケースでは、集音したデータをFFT処理して、そのスペクトル強度で絶縁劣化の程度をレベル判定するが、実際に機器から発生している放電電荷量を評価することはできない。

50

【 0 0 1 1 】

また、A E センサを盤に取り付けて部分放電による筐体振動から絶縁異常を診断する方法では、スイッチギヤの盤天井や遮断機の筐体にA E センサを取付けて、部分放電を超音波領域の機械振動として検出するが、機種や材質等によって、放電の周波数帯域や強度が異なるので、広範囲の機種にそれぞれ固有の周波数帯域での部分放電を1つのA E センサだけで検出することができなかった。

【 0 0 1 2 】

また、A E センサからの検出信号をウェーブレット変換を用いて、フィールドノイズと部分放電音に識別することはできても、A E センサの検出信号から放電電荷量を推定することはできなかった。

10

【 0 0 1 3 】

本発明は、上記に鑑みてなされたもので、その目的としては、高電圧機器に部分放電が発生した場合でも、放電電荷量と放電部位を推定することができる高電圧機器の絶縁異常診断装置及びその絶縁異常診断方法を提供することにある。

【 0 0 1 4 】**【課題を解決するための手段】**

請求項1記載の発明は、上記課題を解決するため、高電圧機器が発生した部分放電により当該機器の筐体に生じる振動を検出するA E センサと、前記部分放電による漏れ電流を検出するC T センサと、前記A E センサとC T センサからの検出結果および当該機器の電源線からの電源信号をそれぞれ計測する計測手段と、計測結果に包絡線処理を行う包絡線処理機能と、包絡線処理した結果に対してウェーブレット変換を行うウェーブレット変換処理機能とを有し、ウェーブレット変換した結果から異常診断に有益な情報を抽出する信号処理手段と、信号処理結果と部分放電の電荷量との相関情報を蓄積する異常診断データベースと、前記信号処理手段からの信号処理結果により前記異常診断データベースを参照して当該部分放電の電荷量を算出する電荷量算出手段と、A E センサとC T センサでの検出結果の強度と放電部位を蓄積する放電部位推定データベースと、前記A E センサとC T センサでの検出結果により前記放電部位推定データベースを参照して放電部位を推定する放電部位推定手段とを備えたことを要旨とする。

20

【 0 0 1 5 】

請求項2記載の発明は、上記課題を解決するため、高電圧機器が発生した部分放電により当該機器の筐体に生じる振動を検出する広帯域振動センサと、前記広帯域振動センサからの検出結果から部分放電の特徴となる周波数帯域を判定する周波数解析手段と、前記周波数解析手段により得られた部分放電の特徴となる周波数帯域に対して、高い感度特性を有する部分放電検出用A E センサを選択するセンサ選択手段と、前記センサ選択手段により選択された部分放電検出用A E センサからの検出信号および前記広帯域振動センサからの検出信号を計測する計測手段と、計測結果に包絡線処理を行う包絡線処理機能と、包絡線処理した結果に対してウェーブレット変換を行うウェーブレット変換処理機能とを有し、ウェーブレット変換した結果から診断に有益な情報を取り出す信号処理手段と、信号処理結果と部分放電の電荷量の相関情報を蓄積する異常診断データベースと、前記信号処理手段からの信号処理結果により前記異常診断データベースを参照して当該部分放電の電荷量を算出する電荷量算出手段と、前記広帯域振動センサと前記選択された部分放電検出用A E センサでの検出結果の強度と放電部位を蓄積する放電部位推定データベースと、前記広帯域振動センサと複数の前記部分放電検出用A E センサでの検出結果により前記放電部位推定データベースを参照して放電部位を推定する放電部位推定手段とを備えたことを要旨とする。

30

請求項16記載の発明は、上記課題を解決するため、高電圧機器が発生した部分放電により当該機器の筐体に生じる振動を検出するステップと、前記部分放電による漏れ電流を検出するステップと、振動と漏れ電流の検出結果および当該機器の電源線からの電源信号をそれぞれ計測するステップと、計測結果に包絡線処理を行い、包絡線処理した結果に対してウェーブレット変換を行い、ウェーブレット変換した結果から異常診断に有益な情報

40

50

を抽出し信号処理するステップと、信号処理結果と部分放電の電荷量との相関情報を蓄積する異常診断データベースを参照して信号処理結果から当該部分放電の電荷量を算出するステップと、振動と漏れ電流の検出結果の強度と放電部位を蓄積する放電部位推定データベースを参照して振動と漏れ電流の検出結果から放電部位を推定するステップとを備えたことを要旨とする。

請求項 1_7 記載の発明は、高電圧機器が発生した部分放電により当該機器の筐体に生じる振動を検出するステップと、振動の検出結果から部分放電の特徴となる周波数帯域を判定するステップと、前記周波数帯域に感度特性をもつセンサを選択するステップと、振動の検出結果および前記センサからの検出信号をそれぞれ計測するステップと、計測結果に包絡線処理を行い、包絡線処理した結果に対してウェーブレット変換を行い、ウェーブレット変換した結果から異常診断に有益な情報を抽出し信号処理するステップと、信号処理結果と部分放電の電荷量の相関情報を蓄積する異常診断データベースを参照して信号処理結果から当該部分放電の電荷量を算出するステップと、振動の検出結果と前記センサでの検出結果の強度と放電部位を蓄積する放電部位推定データベースを参照して振動の検出結果と前記センサでの検出結果から放電部位を推定するステップとを備えたことを要旨とする。
10

【0016】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0017】

(第1の実施の形態)

図1は、本発明の第1の実施の形態に係る高電圧機器の絶縁異常診断装置11の概略的構成を示すプロック図である。

【0018】

高電圧機器の絶縁異常診断装置11は、高電圧機器が発生した部分放電を金属容器(筐体)の振動現象として検出するAEセンサ15と、部分放電による漏れ電流を検出するCTセンサ17と、AEセンサ15とCTセンサ17での検出結果および印加されている電源LINE19の電圧信号を入力してそれを增幅してフィルタ処理を行うアンプ部13と、アンプ部13の出力を計測する計測部21と、計測結果から診断に有益な情報を取り出す信号処理部23と、信号処理部23からの信号処理結果と部分放電の電荷量の相関関数を蓄積する絶縁異常診断データベース25と、絶縁異常診断データベース25を参照して当該部分放電の電荷量を算出する電荷量算出部27と、AEセンサ15とCTセンサ17での検出結果の強度と放電部位を蓄積する放電部位推定データベース29と、AEセンサ15とCTセンサ17での検出結果により放電部位推定データベース29を参照して放電部位を推定する放電部位推定部31とから構成されている。
30

【0019】

以下、高電圧機器の絶縁異常診断装置11を構成する各部について詳細に説明するとともに、高電圧機器の絶縁異常診断装置11の動作を説明する。

【0020】

図1において、アンプ部13には、AEセンサ15からのAE信号と、CTセンサ17からのCT信号と、電源ライン19からの電圧信号などの複数の信号が入力されており、入力されたそれぞれの信号はアンプ部13の内部に設けられたフィルタ回路(図示せず)、増幅回路(図示せず)を経由して所望のセンサ・アンプ特性を満たす信号に変換され、計測部21に出力される。
40

【0021】

なお、AEセンサやCTセンサからの出力信号にAC電源ノイズの重畠を防ぐために、アンプ部13の供給電源ラインにノイズカッタを挿入するようすれば、現地で供給される電源ラインからのセンサ出力に対するノイズの重畠を防ぐことができる。また、AEセンサやCTセンサからの出力信号にAC電源ノイズの重畠を防ぐために、アンプ部13の電源を全てバッテリで供給するようすれば、現地で供給される電源ラインからのセンサ出
50

力に対するノイズの重畳を防ぐことができる。

【0022】

図2に移り、計測部21は、多チャンネル入力の高速A/D変換ボード41と、ノートパソコン43で構成することで小形化を図り、ノートパソコン43上に診断機能を有する診断ソフトをインストールすることにより、現地診断に有効なツールとなる。なお、精密測定を重視する場合には、オシロスコープなど精密機器での計測の後に、計測データを診断ソフトに間接的に入力するように計測部21を構成してもよい。

【0023】

なお、AEセンサやCTセンサからの出力信号にAC電源ノイズの重畠を防ぐために、計測系の供給電源ラインにノイズカッタを挿入するようすれば、現地で供給される電源ラインからのセンサ出力に対するノイズの重畠を防ぐことができる。また、AEセンサやCTセンサからの出力信号にAC電源ノイズの重畠を防ぐために、計測部21の電源を全てバッテリで供給するようすれば、現地で供給される電源ラインからのセンサ出力に対するノイズの重畠を防ぐことができる。

10

【0024】

ここで、図3を参照して、計測部21による診断機能の概要を説明する。

【0025】

AEセンサ15は、高圧の受配電盤45のケースや遮断器47の筐体にマグネットやグリースなどで取り付けられており、受配電盤45内部の部分放電に伴う超音波領域の盤振動または遮断器47の筐体振動を検出する。この際、AE信号の出力の強度は、AEセンサ15の取付位置に依存するため、部分放電に対して定量的な評価を実現するためには、診断対象機種毎に予備実験などによって予めAEセンサ15を取り付ける位置を指定しておく必要がある。

20

【0026】

ここで、図5を参照して、磁気遮断器(MBB)に対応するAEセンサの取付位置について説明する。

【0027】

図5(a)に示す磁気遮断器(MBB)に対して、AEセンサ15を位置A,B,Cに取り付けて計測実験を行う。

30

【0028】

図5(b)に示すように、位置Aと位置Bでは、放電開始電圧の検出限界はほぼ等しいが、検出感度が大きく異なる。これは、位置Aと位置Bが同じ金属筐体上の一点であるが、内部の放電発生位置からの距離差に依存してAE信号の減衰量に開きがあるためである。しかし、位置Aはフィールドにおいて安全上実際に取り付けるのが困難であるため、実際の運用を考えると位置Bがよいことになる。

【0029】

また、位置Cについては、最もAEセンサを取り付け易い位置ではあるが、構造的に接続部品や空間を介しているため、AEセンサからのAE信号の強度が接合部で大幅に減衰してしまうという問題がある。

40

【0030】

この結果、図5(a)に示す磁気遮断器(MBB)では、AEセンサ15を位置Bに取り付けて計測するのがよい。また、各診断対象で最適なAEセンサの取付位置があるので、予めAEセンサ位置を指定する必要がある。

【0031】

一方、CTセンサ17は、一連の盤群に付設されている接地線に取り付けて、部分放電に伴う漏れ電流信号を検出する。また、部分放電の発生位相と印加電源位相との位相ずれ情報を得るために、図1に示すように、現地の電源ライン19も検出する。

【0032】

図3に示すように、これらの複数のセンサ出力を絶縁アンプ13aにより所望の信号に変換し、A/Dカード41でデジタルデータに変換した後に計測部21に取り込む。なお、

50

絶縁アンプ 13a は、計測中にセンサに対して放電があった場合でも、センサから計測部 21 に放電が及ばないように電気的に絶縁された電気回路構成となっている。

【0033】

例えば、図 5 に示す磁気遮断器 (MBB) に対して、AE センサ 15 の中心共振周波数は、図 17 に示すセンサ B の特性のように、ローパスフィルタ、ハンドパスフィルタなどを用いて、20 ~ 40 kHz 帯に設定するのがよい。これは、種々の機種や放電モードに対する部分放電試験で得られた筐体振動の周波数解析結果に基づくものである。

【0034】

このように、AE センサ 15 または CT センサ 17 は、20 kHz ~ 40 kHz 帯に高感度な周波数応答をもつようにしたため、ある種の磁気遮断器 (MBB) について高感度な部分放電検出と精度の良い定量的な絶縁診断を行うことができる。10

【0035】

また、計測部 21 は、図 6 に示すようなデータ収集条件設定機能を備え、測定日時、温度、湿度、測定波形 (AE 信号、CT 信号、電源信号)、電源周波数、被測定機器名、測定者名、サイト名、メーカー名、型式、デバイス名、製造番号、対象設備名称などのデータ収集条件をファイルとしてハードディスクなどの記憶部 (図示せず) に保存することができる。

【0036】

このように、計測部 21 は、測定日時、温度、湿度、測定波形 (AE 信号、CT 信号、電源信号)、電源周波数、被測定機器名、測定者名、サイト名、メーカー名、型式、デバイス名、製造番号、対象設備名称などのデータ収集条件を設定する機能を備えるようにしたため、現地診断時におけるフィールド情報や環境情報などの必要情報を入力し保存することができる。20

【0037】

そして、複数のセンサからの信号を A/D カード 41a に同時に入力し、サンプリング定理を満たすサンプリング周波数で高速サンプリングして A/D 変換し、例えば CSV 形式などのデータとしてファイルに保存する。

【0038】

このように、計測部 21 は、高電圧機器に印加される電源波形と部分放電波形を計測するチャネルを有し、全てのチャネルを同時に、かつ、計測する周波数帯域に対してサンプリング定理を満たすサンプリング周波数で計測するようにしたため、計測波形のエリアシングを排除するとともに、各計測信号間の時間 (位相) 遅れ情報を正確に把握することができる。この正確な時間情報を、放電形態や放電位置を推定する情報を得ることができる。30

【0039】

さらに、計測部 21 では、データの多チャンネル同時収集機能として、計測者の指定する時刻で計測することもできる。また、例えば図 7 に示すように、電源波形などのパイロット信号で - から + のゼロクロス点で計測するようにトリガをかけられるトリガ機能も設けられている。また、計測時間は、商用電源の周波数 (50 Hz や 60 Hz) に対して、例えば整数倍の所望の周期分のデータ計測が可能な設定機能とする。40

【0040】

このように、計測部 21 は、高電圧機器に印加される電源波形をパイロット信号とするトリガ機能と、電源周期の整数倍のデータ計測を行う機能とを備えるようにしたため、常に印加電源に対してどの位相で部分放電が生じているかを確認することができる。

【0041】

次に、計測部 21 で収集したデータは、図 1 に示す信号処理部 23 に入力される。この信号処理部 23 は、図 8 に示す手順に従い、診断用ソフトウェアにより信号処理を実行する。

【0042】

信号処理部 23 では、印加電源の 1 周期毎の AE 信号の挙動を調べるために、まず、ステ50

ステップ S 10 では、高速 A / D 変換ボード 41 により高速サンプリングされた A E データに包絡線処理（デジタルフィルタリング処理により、所望の周波数でローパスフィルタ、ハイパスフィルタ、バンドパスフィルタを設定できる）を施し、A E 信号の振幅変調成分を検出する。

【0043】

このように、信号処理部 23 は、計測波形データの包絡線処理機能（デジタルフィルタ処理機能）と、ウェーブレット変換機能とを備えるようにしたため、部分放電に伴う A E 信号からその振幅変調成分を抽出できるとともに、A E 振幅変調成分の時間周波数解析をすることができ、計測 A E 波形に含まれる部分放電成分の特徴成分を時間周波数平面上のピーカとして検出することが可能となる。

10

【0044】

そして、ステップ S 20 では、包絡線処理結果から計測データの絶対値平均などを差し引くことにより、データの直流成分を除去する。

【0045】

このように、信号処理部 23 は、計測サンプリングした波形データの直流分除去機能を備えるようにしたため、絶縁異常診断アルゴリズムに不必要的 A E 信号の直流成分をカットすることができ、ウェーブレット変換結果の表示も見やすくなる。

【0046】

次に、ステップ S 30 では、印加電圧と部分放電の発生位相の関係をみるために、電源の正弦波に対して 1 周期相当のデータを切出す。次に、ステップ S 40 では、診断用の変換式によりウェーブレット変換を行い、変換結果（3 次元データ）をノートパソコン 43 の表示画面上において時間 - 周波数平面上に表示させる。

20

【0047】

この表示方法としては、図 3 (b), 図 4 (c) に示すような等高線表示方法などがある。通常、ウェーブレット変換は式 (1) のように定義され、マザーウェーブレットと呼ばれる局在関数 ψ と解析対象波形 $f(t)$ の内積をとって、 $f(t)$ を時間 - 周波数平面上のウェーブレット係数 $W_{\psi} f$ (a, b) に変換する。

【0048】

【数 1】

$$(W_{\psi} f)(b, a) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad \dots (1)$$

30

ここで、式 (2) のように、マザーウェーブレット のパラメータを $a = 2^j$, $b = k$ と置換し、診断用に特化して低周波側でも時間分解能が粗くならないように工夫している。

【0049】

【数 2】

$$(W_{\psi} f)(k, j) =$$

40

$$\sum_j 2^{j/2} \sum_{k=-n/2+1}^{k=n/2} \left\{ \sum_{t=-n/2+1}^{t=n/2} f(t) \cdot \psi^* (2^j t - 2^j k) \right\} \quad \dots (2)$$

また、マザーウェーブレット変換では、診断対象によって最適な関数が異なるので、予め複数のマザーウェーブレットを選択しておく。よく使用されるマザーウェーブレットの代表例は、式 (3) に示すメキシカンハットがある。

【0050】

50

【数3】

$$\Psi(t) = (1-t^2) \exp(-t^2/2) \quad \cdots (3)$$

実際には、図9に示すように、電源周波数に対応して1周期分だけ切り出す機能や、マザーウェーブレット（アナライジングウェーブレットともいう）を選択する機能を診断ソフトウェアに付加しておくのがよい。

【0051】

このように、信号処理部23は、ウェーブレット変換用に複数のマザーウェーブレットを備えるようにしたため、診断対象機器およびセンサ出力毎に適したマザーウェーブレットを用いて、部分放電特徴成分を検出し易いウェーブレット変換を実行することができる。 10

【0052】

次に、図4(a)を参照して、ウェーブレット変換した結果から診断を行うアルゴリズムを説明する。

【0053】

まず、ステップS110, S120では、上述したウェーブレット変換の結果得られたピークの周波数成分から部分放電ノイズの識別を行う。部分放電は、印加電圧波形の正負のピーク近傍で発生する傾向があり、AE信号も印加電圧の半周期で振幅変調すると予想される。 20

【0054】

また、ノイズは種類毎に特徴的周波数成分があり、放電とノイズが全く同期することさえなければ、ウェーブレット変換結果の周波数成分から放電とノイズを識別できる部分放電の特徴周波数成分は、印加電圧の正と負の双方のピークで部分放電が発生し易いことから、印加周波数の2倍とする。 20

【0055】

次に、ステップS130, S140では、ノイズと識別した部分放電ピークについて、上記の部分放電と放電位相による部分放電モードの特定を行う。すなわち、沿面放電、ギャップ放電、ボイド放電など個々の部分放電モード毎に、特有の信号強度や放電位相があるので、ウェーブレット変換結果の等高線表示における放電ピークの重心位相に着目して、放電モードを判定する。 30

【0056】

次に、ステップS150, S160では、放電ピーク強度（等高線表示における放電ピークの体積）に着目する。これは、図4(d)に示すように、発生した部分放電の電荷量（放電エネルギー）と対応する。従って、放電ピーク強度の計算から部分放電電荷量を定量的に推定し得る。推定した部分放電の大きさがメーカー基準またはユーザ基準または何らかの規格などを外れるか否かで絶縁異常を判定する。 30

【0057】

そこで、信号処理部23では、図10に示すように、切り出した1周期分の電源正位相（0°～180°）と電源負位相（180°～360°）で、それぞれAE信号の出力データの実効値を計算するとともに、ウェーブレット変換結果で得られる部分放電成分のピーク強度も体積積分（放電ピーク内に含まれるウェーブレット係数の総和）により算出していく。 40

【0058】

このように、信号処理部23は、計測波形から電源波形の1周期分を切り出す機能を備えるようにしたため、電源位相0°から360°毎のデータ解析が可能になり、ウェーブレット変換結果の時系列解析がし易くなる。

【0059】

次に、信号処理部23で算出した諸数値を図1に示す電荷量算出部27に入力する。もともと、印加電圧と部分放電電荷、AE信号の出力の間には、図11に示すような関係がある。そこで、予め実験室レベルで、印加電圧を調節して部分放電電荷量を変化させながら 50

、印加電源電圧、放電電荷量（電荷量計測器で計測した部分放電の電荷量）、部分放電時の A E 信号の 3 項目を同時計測したデータについて、図 1 1 に示す丸で囲んだ部分の群小放電の合計電荷量と A E 信号の出力実効値のデータの組、また、丸で囲んだ部分の群小放電の合計電荷量とそれに対応するウェーブレット変換結果部分の放電ピーク強度のデータの組をデータベースに蓄積しておけばよい。

【 0 0 6 0 】

この予備実験を実施することにより、絶縁異常診断データベース 2 5 として、図 1 2 に示すような「A E 信号強度と部分放電電荷量の相関曲線」や「A E 信号のウェーブレット変換ピーク強度と部分放電電荷量の相関曲線」のマスターカーブを備えることができる。

【 0 0 6 1 】

そこで、電荷量算出部 2 7 は、診断対象機種ごとに診断データベース 2 5 から異なる電荷量推定用マスターカーブを選択する機能と、評価しきい値変更機能を備えれば、診断データベース 2 5 から診断対象機種ごと最適な電荷量推定用マスターカーブと診断用の評価しきい値を設定することができ、定量的な絶縁診断を実現することができる。

【 0 0 6 2 】

図 1 2 は、図 5 に示す磁気遮断器（M B B ）についての診断データベースであり、図 1 7 に示す周波数特性をもつ A E センサを用いた場合の相関曲線を示している。相関係数 R が 0 . 9 近くなる精度のよい電荷量推定を行うことができる。

【 0 0 6 3 】

電荷量算出部 2 7 は、信号処理部 2 3 で算出された A E 信号の出力実効値や部分放電のウェーブレット強度を絶縁異常診断データベース 2 5 内に蓄積してある当該相関曲線係数を参照して部分放電電荷量を計算する機能を有する。

【 0 0 6 4 】

また、図 1 2 では、電荷量合計が 1 5 0 0 ~ 2 0 0 0 p C を境として A E 信号の出力と電荷量の相関が異なる振舞いを示している。図 1 2 (a) , (b) に示す低電荷量領域を拡大すると、図 1 2 (c) , (d) に示すような相関曲線を得ることができる。

【 0 0 6 5 】

ここで、特に電荷合計が 0 ~ 1 5 0 0 p C (低合計電荷量領域) の場合には、線形近似 (比例関係) が成り立ち、更に相関 (R ^ 2 値) が向上することが判る。電荷合計が 2 0 0 p C 以上の領域では、A E 信号の出力に飽和傾向があり、診断には、部分放電の電荷合計量が 0 ~ 1 5 0 0 p C の低合計電荷量領域の相関関数を用いると精度のよい電荷量推定を行うことができる。

【 0 0 6 6 】

実際の運用上では、例えば、図 1 2 (c) に示す相関曲線をデータベースとして事前に準備しておけば、低ノイズ環境のフィールドでは、A E 信号の出力を計測するだけで、部分放電を定量評価できる。仮に、センサ B からの A E 信号の出力の実効値 (電源半周期分) が 3 0 0 m V r m s と計測されたとすると、回帰近似式から、部分放電電荷量は 5 7 0 (p C) と推定できる。

【 0 0 6 7 】

このように、データベースは、電荷量計測器 (図示せず) で計測した部分放電電荷量の合計値と A E センサ出力のウェーブレット変換ピーク強度との相関曲線を備えるようにしたため、フィールド計測にて収集した筐体 (盤) 振動の A E 信号の出力にノイズが混在する場合でも、ウェーブレット変換でノイズ識別した部分放電の特徴ピーク強度を算出することで A E 信号の出力から部分放電電荷量を推定することができる。

【 0 0 6 8 】

また、電荷量算出部 2 7 は、診断データベース 2 5 における低合計電荷量領域 (例 : 0 ~ 1 5 0 0 p C) での相関曲線の線形性を利用するようにしたため、相関係数 0 . 9 以上の相関で精度の良い電荷量推定を実現できる。

【 0 0 6 9 】

ただし、実際のフィールド計測では、様々なノイズが含まれるケースが想定されるので、

10

20

30

40

50

実用性を考慮すると、計測した A E 信号からウェーブレット変換を用いてノイズ成分を除いた部分放電成分の定量的相関を用いるケースが多い。そこで、図 12 (d) に示すような部分放電特徴成分のウェーブレットピーク強度と放電電荷量との相関を用いて A E 信号のウェーブレット変換から部分放電電荷量を推定する。

【 0 0 7 0 】

このように、電荷量算出部 27 は、A E 信号のウェーブレット変換結果の電源電圧の正位相および負位相に出現する周波数 100 Hz 帯のウェーブレットピークを部分放電成分と決定し、それぞれのピークごとに体積分することでウェーブレットピーク強度を演算するようにしたため、ノイズを識別した部分放電成分のウェーブレット変換ピークについて体積分で精度良く強度を評価できるとともに、印加電圧の正負のピークで群小発生する傾向の強い部分放電について、それぞれの一群によって引き起こされる A E 信号の出力の振幅変調成分ごとにウェーブレットピーク強度を評価することができる。10

【 0 0 7 1 】

さらに、電荷量算出部 27 は、電源電圧の正位相側の半周期と負位相の半周期について A E 信号の出力の実効値をそれぞれ算出する機能を備えるようにしたため、印加電圧の正負のピークで群小発生する傾向の強い部分放電について、それぞれ一群の部分放電によって引き起こされる A E 信号の出力の振幅変調成分ごとに実効値を評価することができ、部分放電の発生傾向をより詳細に分析することが可能となる。

【 0 0 7 2 】

また、上述したステップ S 130 , S 140 で部分放電モードの特定を行ったが、電荷量算出部 27 では、ウェーブレット変換結果における部分放電成分ピークの位相中心を算出する機能を備えれば、部分放電が発生した時間情報をとらえることができ、部分放電モード（沿面放電、ギャップ放電、ボイド放電、etc.）を推定して、さらに、部分放電モードの特定精度を向上することができる。20

【 0 0 7 3 】

次に、図 13 を参照して、放電部位推定部 31 と放電部位推定データベース 29 について説明する。

【 0 0 7 4 】

まず、図 13 (a) は、3 つのケース中で最大の C T 信号の出力を示すにも拘わらず、A E 信号の出力が最も小さい。電源周期の負の位相 (180 ~ 360 °) で放電が発生しており、金属棒の先端部からの電子放出が金属棒の振動を促すと推測されるが、金属棒がモデル電極にしっかりと固定されていないため、テープ止め部分で振動が吸収され、A E センサに振動が伝達しにくい。30

【 0 0 7 5 】

一方、図 13 (b) は、負位相における C T 信号の出力が図 13 (a) では半分以下であるにも関わらず、A E センサ 15 で部分放電が確実に検出されている。これは、放電部位のボルト電極が強固に固定されており、放電部位で発生する振動が伝播し易いためである。また、同図において、電源の正位相での放電の他に、負の位相側でも高レベルの C T 信号の出力が検出されており、これは、平板のアース側から高圧のボルト電極側に電子が引き上げられているケースである。この場合も、放電エネルギーが大きいため、筐体振動が A E 信号の出力にはっきり出現する。40

【 0 0 7 6 】

また、図 13 (c) は、接地側からボルト電極が突き出ている構造で、高圧側の印加電圧が正位相のとき、すなわち、ボルト先端に電子集中が起こる場合のみ放電が発生する。これは、電子放出により、接地側にボルト止めした電極の振動で筐体に良く振動が伝播することを意味する。負位相ではほとんど放電が見られないが、これは、平面電極の導体内が一様に負の電位となって電子が局在しないために、電子放出が起こり得ないからである。

【 0 0 7 7 】

このように、電極形状や電極部の固定状態の差に関して、図 13 (a) , (b) , (c) のような C T 信号の出力と A E 信号の出力の組合せのパターンを予め放電部位推定データ50

ベース 29 として備えておけば、CT 信号の出力と AE 信号の出力の強度や位相ずれの組合せの相違から、放電部位の形状と放電部位の位置を推定することができる。

【 0078 】

本発明の第 1 の実施の形態に関する効果としては、高電圧機器が発生した部分放電により当該機器の筐体に生じる振動を AE センサで検出し、部分放電による漏れ電流を CT センサで検出し、AE センサと CT センサからの検出結果および当該機器の電源線からの電源信号をそれぞれアンプ部を介して増幅してさらにフィルタ処理を行った後に計測し、計測結果から異常診断に有益な情報を抽出する信号処理を行い、信号処理結果により異常診断データベースを参照して当該部分放電の電荷量を算出し、AE センサと CT センサでの検出結果により放電部位推定データベースを参照して放電部位を推定することで、高電圧機器に部分放電が発生した場合でも、放電電荷量と放電部位を推定することができる。10

【 0079 】

(第 2 の実施の形態)

図 14 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る高電圧機器の絶縁異常診断装置 51 の概略的構成を示すブロック図である。図 15、図 16 は、本発明の第 2 の実施の形態における広帯域振動センサの出力を周波数解析部にて解析した例を示す図である。図 17 は、AE センサの特徴周波数帯例を示す図である。

【 0080 】

図 14において、絶縁異常診断装置 51 は、広帯域振動センサ 53 を備えている。部分放電に伴う筐体（盤）振動の特徴となる超音波周波数領域は診断対象機種によって異なる。そこで、まず、広帯域振動センサを受配電盤や遮断器の筐体に取り付けて広周波数帯域の盤振動および筐体振動を検出する。次に、広帯域振動センサ 53 の出力を周波数解析部 55 に入力する。20

【 0081 】

周波数解析部 55 は、FFT 機能やウェーブレット変換機能を備え、入力された広帯域振動の周波数分析を実施する。例えば、FFT を実施した例が図 15、図 16 に示す 6 つの周波数特性図であり、機種や部分放電モードによって得られる周波数スペクトルは微妙に異なる。そこで、周波数解析部 55 で得られた周波数スペクトルに基づいて、対象とする部分放電盤の振動および筐体振動の特徴周波数成分を特定し、センサ選択部 57 に解析結果を出力する。30

【 0082 】

このように、周波数解析部 55 は、FFT（高速フーリエ変換）機能またはウェーブレット変換機能を有するようにしたため、診断対象装置から発生する部分放電による広帯域振動センサ出力の周波数成分の強度分布を計算することができ、診断対象に最適な周波数特性をもつ AE センサを選択することができる。

【 0083 】

センサ選択部 57 は、解析結果を基準に感度良く部分放電振動を検出できる周波数帯に感度特性をもつセンサをセンサ群 59 から選択する。そして、選択されセンサを診断対象に取りつけ、部分放電による超音波振動を検出し、アンプ部 13 に入力する。

【 0084 】

このように、センサ選択部 57 は、予め周波数特性の異なった複数の高感度 AE センサ群を備えており、周波数解析結果から得られる部分放電の特徴周波数帯域に高い感度をもつ AE センサを選択するようにしたため、診断対象機器の部分放電検出に最適（最も周波数特性の適した）センサを診断に用いることができるようになり、感度よく部分放電を検出することができる。40

【 0085 】

また、センサ群の取付位置を対象機種ごとに予め決定しておくようすれば、毎回の診断の際に、センサの位置ずれによる計測誤差を防ぐことができ、診断データベースを用いた定量評価が可能となる。

【 0086 】

10

20

30

40

50

以下、アンプ部 13 以降の計測部 21、信号処理部 23、電荷量算出部 27、放電部位推定部 31 については、本発明の第 1 の実施の形態に記載した絶縁異常診断装置 11 と同様の構成を有するので、その説明を省略する。

【0087】

本発明の第 2 の実施の形態に関する効果としては、高電圧機器が発生した部分放電により当該機器の筐体に生じる振動を広帯域振動センサで検出し、広帯域振動センサからの検出結果から部分放電の特徴となる周波数帯域を判定し、得られた部分放電の特徴となる周波数帯域に対して、高い感度特性を有する部分放電検出用 A E センサを選択し、選択された部分放電検出用 A E センサからの検出信号および前記広帯域振動センサからの検出信号を計測し、計測結果から診断に有益な情報を取り出す信号処理を行い、信号処理結果により異常診断データベースを参照して当該部分放電の電荷量を算出し、広帯域振動センサと複数の部分放電検出用 A E センサでの検出結果により放電部位推定データベースを参照して放電部位を推定することで、高電圧機器に部分放電が発生した場合でも、放電電荷量と放電部位を推定することができる。10

【0088】

特に、個々の診断対象、個々の放電モードに対して、最適なセンサを用いて高感度な部分放電の検出が可能となり、高電圧機器に部分放電が発生した場合でも、放電電荷量と放電部位の推定精度を向上することができる。

【0089】

【発明の効果】

請求項 1 及び 1_6 記載の本発明によれば、高電圧機器が発生した部分放電により当該機器の筐体に生じる振動を A E センサで検出し、部分放電による漏れ電流を C T センサで検出し、A E センサと C T センサからの検出結果および当該機器の電源線からの電源信号をそれぞれ計測し、計測結果に包絡線処理を行い、包絡線処理した結果に対してウェーブレット変換を行い、ウェーブレット変換した結果から異常診断に有益な情報を抽出する信号処理を行い、信号処理結果により異常診断データベースを参照して当該部分放電の電荷量を算出し、A E センサと C T センサでの検出結果により放電部位推定データベースを参照して放電部位を推定することで、高電圧機器に部分放電が発生した場合でも、放電電荷量と放電部位を推定することができる。20

【0090】

また、請求項 2 及び 1_7 記載の本発明によれば、高電圧機器が発生した部分放電により当該機器の筐体に生じる振動を広帯域振動センサで検出し、広帯域振動センサからの検出結果から部分放電の特徴となる周波数帯域を判定し、得られた部分放電の特徴となる周波数帯域に対して、高い感度特性を有する部分放電検出用 A E センサを選択し、選択された部分放電検出用 A E センサからの検出信号および前記広帯域振動センサからの検出信号を計測し、計測結果に包絡線処理を行い、包絡線処理した結果に対してウェーブレット変換を行い、ウェーブレット変換した結果から診断に有益な情報を取り出す信号処理を行い、信号処理結果により異常診断データベースを参照して当該部分放電の電荷量を算出し、広帯域振動センサと複数の部分放電検出用 A E センサでの検出結果により放電部位推定データベースを参照して放電部位を推定することで、高電圧機器に部分放電が発生した場合でも、放電電荷量と放電部位を推定することができる。30

【0091】

特に、個々の診断対象、個々の放電モードに対して、最適なセンサを用いて高感度な部分放電の検出が可能となり、高電圧機器に部分放電が発生した場合でも、放電電荷量と放電部位の推定精度を向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 実施の形態に係る高電圧機器の絶縁異常診断装置の概略的構成を示すブロック図である。

【図 2】絶縁異常診断装置の計測部の構成を説明するための図である。

【図 3】絶縁異常診断装置を用いた診断概要を説明するための図 (a), (b), (c) 40

である。

【図4】絶縁異常診断装置による絶縁診断アルゴリズムを説明するための図(a),(b),(c),(d)である。

【図5】絶縁異常診断装置を用いた場合のAEセンサの取付位置の依存性を示す図(a),(b)である。

【図6】絶縁異常診断装置の計測部におけるデータ収集条件設定機能の例を示す図である。

【図7】絶縁異常診断装置の計測部におけるトリガ機能と電源周期の整数倍のデータ計測を行う機能を説明するための図である。

【図8】絶縁異常診断装置の信号処理機能の概要を説明するための図である。 10

【図9】絶縁異常診断装置の信号処理部におけるデータ切り出し機能と複数のマザーボードブレット常備機能を説明するための図である。

【図10】絶縁異常診断装置を用いた絶縁異常診断の評価結果例を示す図である。

【図11】実際に発生する群小部分放電パルスとAE信号の対応関係を説明するための図である。

【図12】絶縁異常診断装置の絶縁異常診断データベースに蓄積される相関曲線の例を示すための図(a),(b),(c),(d)である。

【図13】絶縁異常診断装置の放電部位推定部の放電部位推定データベースの例を示す図(a),(b),(c)である。

【図14】本発明の第2の実施の形態の高電圧機器の絶縁異常診断装置の概略的構成を示すブロック図である。 20

【図15】本発明の第2の実施の形態における広帯域振動センサの出力を周波数解析部で解析した例を示す図(a),(b),(c)である。

【図16】本発明の第2の実施の形態における広帯域振動センサの出力を周波数解析部にて解析した例を示す図(a),(b),(c)である。

【図17】AEセンサの特徴周波数帯例を示す図である。

【符号の説明】

11, 51 絶縁異常診断装置

15 AEセンサ

17 CTセンサ

30

19 電源LINE

13 アンプ部

21 計測部

23 信号処理部

25 絶縁異常診断データベース

27 電荷量算出部

29 放電部位推定データベース

31 放電部位推定部

53 広帯域振動センサ

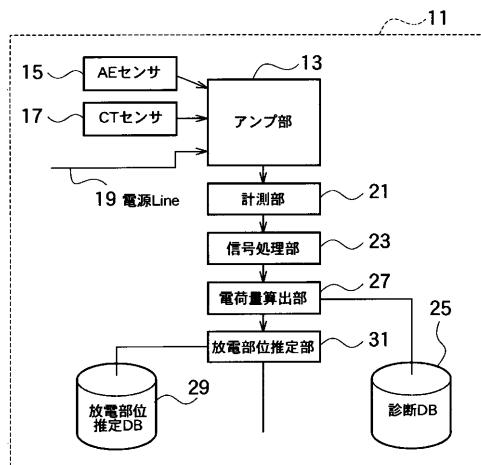
55 周波数解析部

40

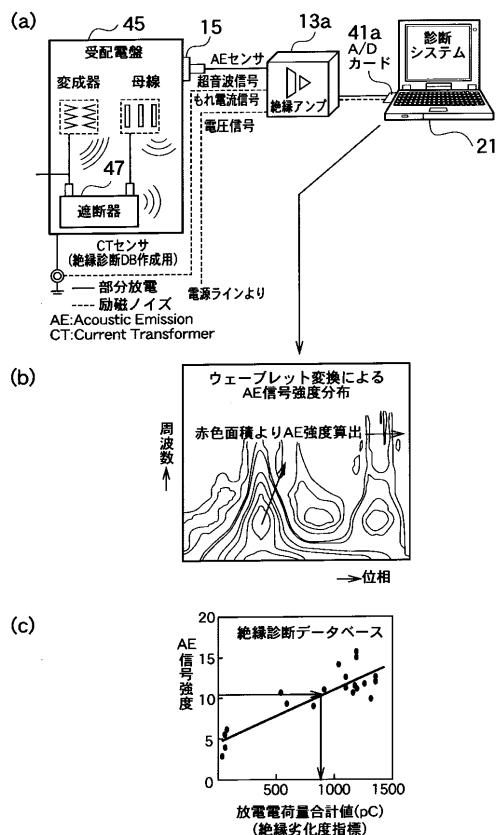
57 センサ選択部

59 センサ群

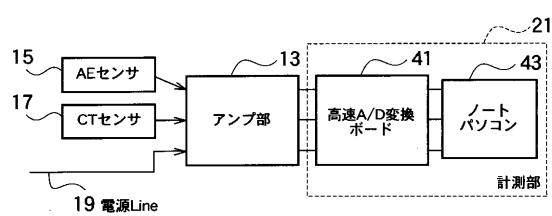
【図1】



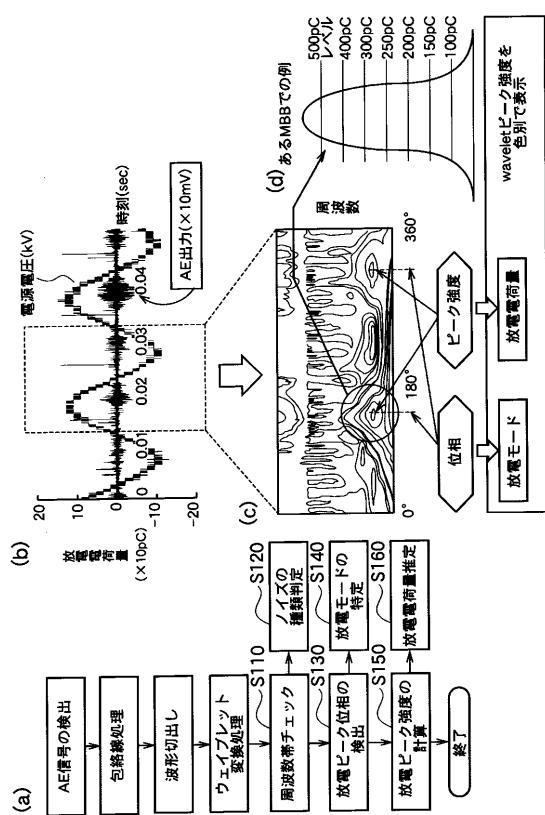
【図3】



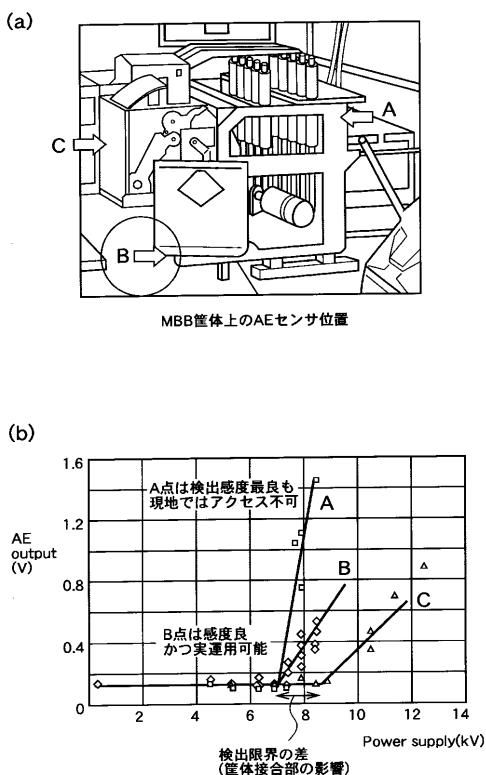
【図2】



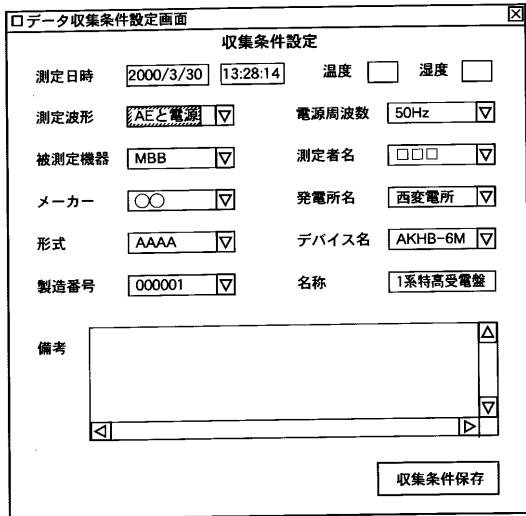
【図4】



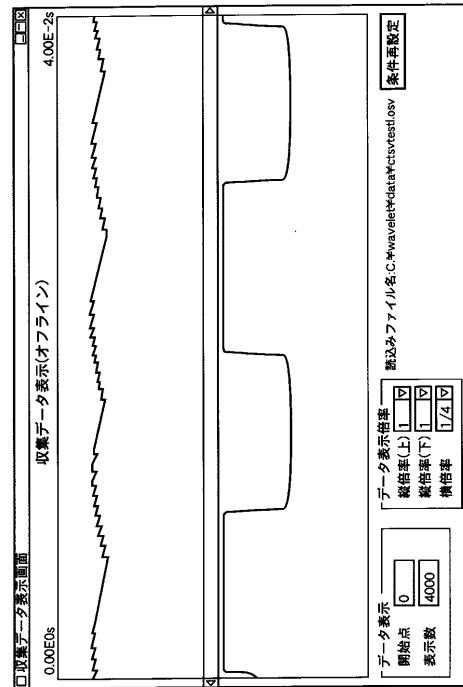
【図5】



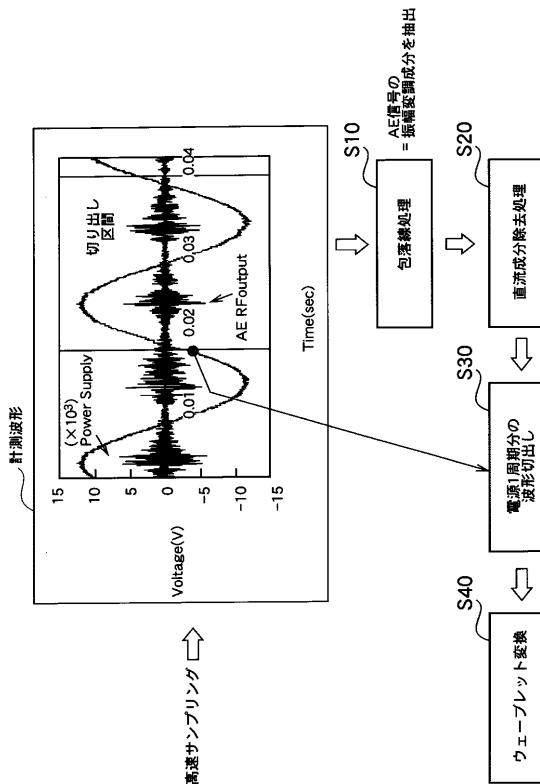
【図6】



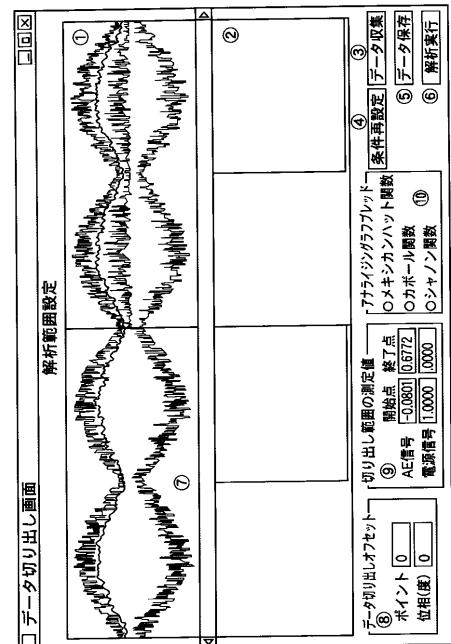
【図7】



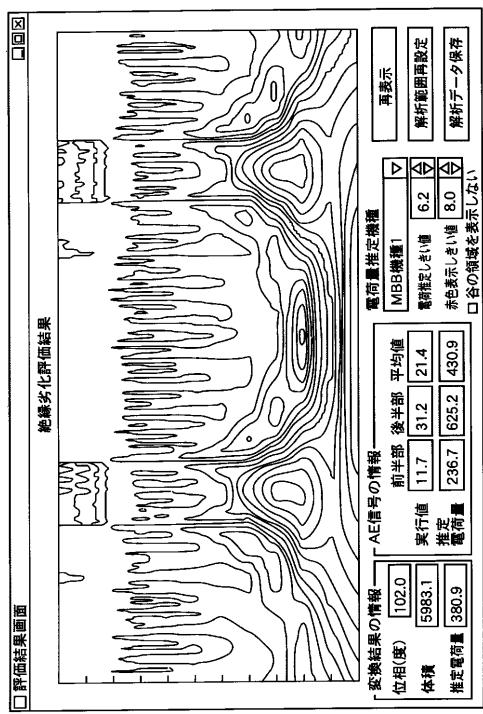
【図8】



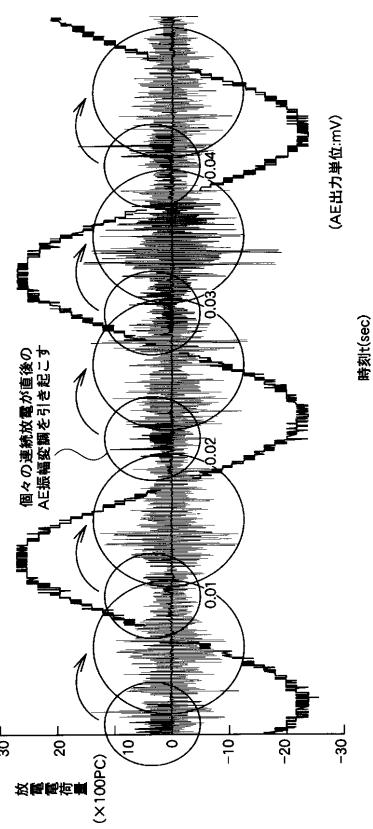
【図9】



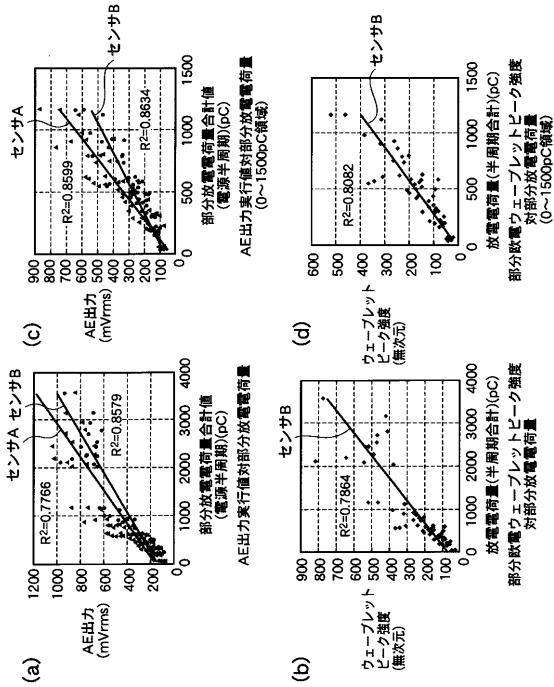
【図10】



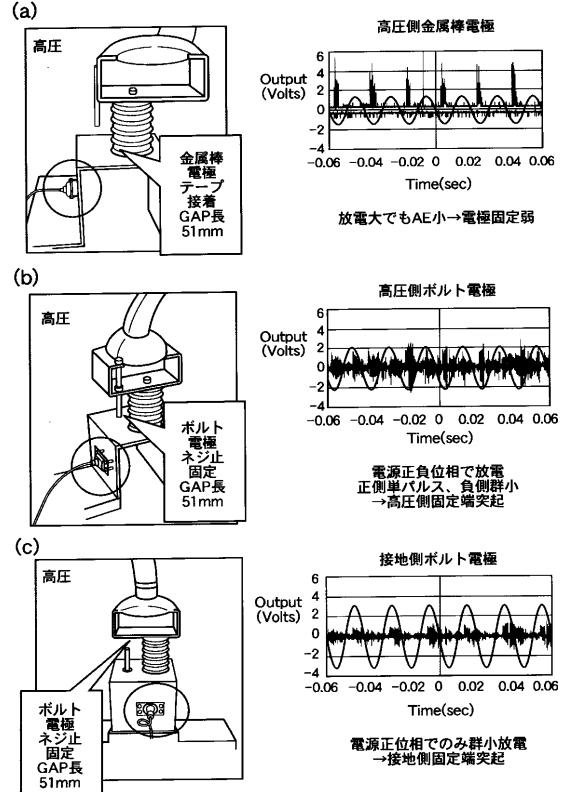
【図11】



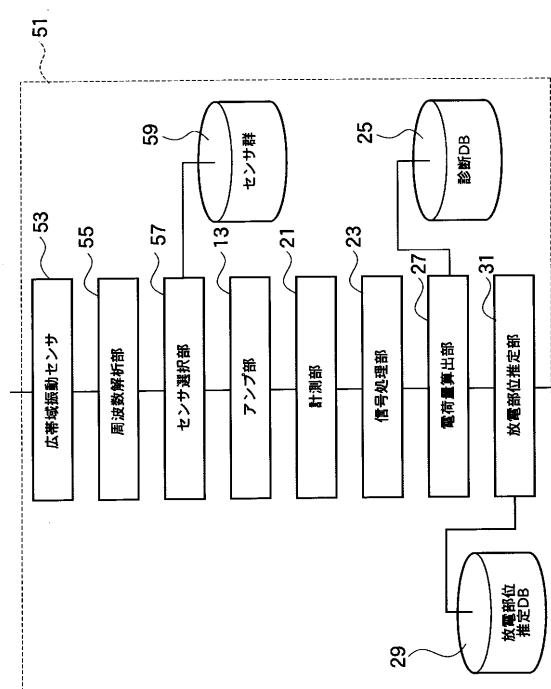
【図12】



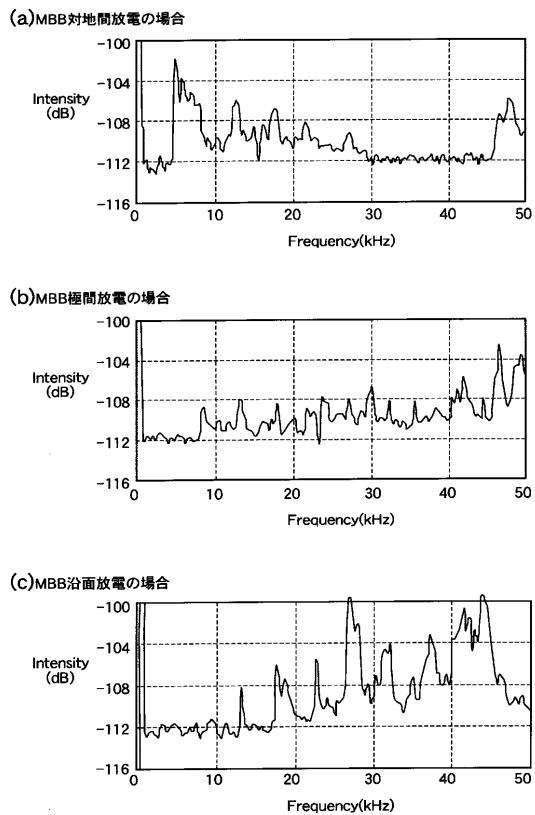
【図13】



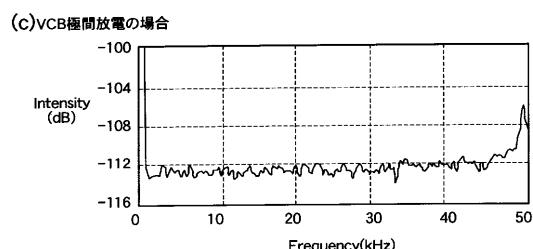
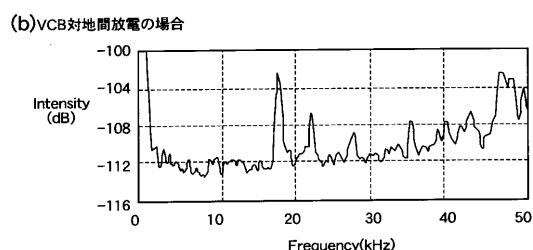
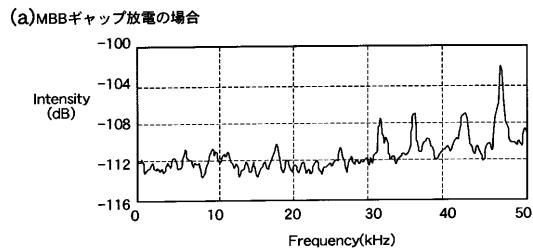
【図14】



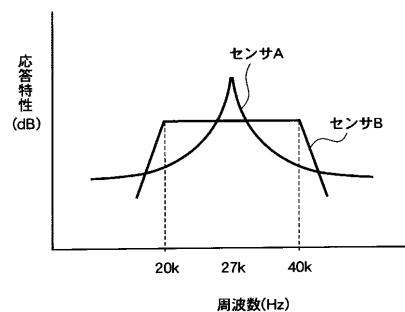
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 01N 29/14 (2006.01) G 01N 29/14

(74)代理人 100098327
弁理士 高松 俊雄
(72)発明者 佐々木 恵一
東京都府中市東芝町1番地 株式会社東芝 府中事業所内
(72)発明者 澤田 彰
東京都府中市東芝町1番地 株式会社東芝 府中事業所内
(72)発明者 渡部 剛士
東京都府中市東芝町1番地 株式会社東芝 府中事業所内
(72)発明者 根本 英樹
東京都府中市東芝町1番地 株式会社東芝 府中事業所内
(72)発明者 広井 克之
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 本社事務所内

審査官 松川 直樹

(56)参考文献 特開平10-288639(JP,A)
特開平07-049362(JP,A)
特開2000-137053(JP,A)
特開平01-248926(JP,A)
特開平01-287475(JP,A)
特開昭55-027903(JP,A)
特開2000-046893(JP,A)
特開平07-167908(JP,A)
特開平09-229993(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 31/12
G01N 29/14
G01N 27/92
H01H 33/56
H02B 13/065
H02G 5/06
JSTPlus(JDreamII)