

明 細 書

発明の名称：絶縁劣化検出システムおよび絶縁劣化検出方法

技術分野

[0001] 本開示は、絶縁劣化検出システムおよび絶縁劣化検出方法に関し、特に部分放電の検出に関する。

背景技術

[0002] 電気機器は、経年変化によって電気機器表面又は電気機器内部の絶縁体の絶縁性能が劣化する。絶縁性能が劣化すると、劣化箇所で部分放電が発生する。さらに絶縁性能の劣化が進行した場合、絶縁破壊が起きる。絶縁破壊によって、地絡事故等の重大事故が発生する。このため、電気機器の維持・保守において、部分放電を検出する作業が行われている（特許文献1および2参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2019-211431号公報

特許文献2：特開2022-78825号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] この点で、従来方式では幅広い周波数帯を測定範囲としており、一部周波数では部分放電、火花放電の電磁波とノイズの区別が難しい場合があった。そのため、放電の検出ができない場合があり、精度の高い放電の検出に関してさらなる改良が必要であった。

[0005] 本開示は、上記のような問題を解消するためなされたもので、精度の高い放電の検出が可能な絶縁劣化検出システムおよび絶縁劣化検出方法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

[0006] 本開示の絶縁劣化検出システムは、受変電設備に対して設けられ、電波を

検出するためのアンテナと、アンテナと接続され、アンテナで受信した電波信号を検出する検出部と、検出部で検出した電波信号および電波信号を検出する際の受変電設備の交流電源との関係に基づいて受変電設備の放電を検出する判定部とを備え、アンテナは、少なくとも180MHz～800MHz内の帯域の部分放電または火花放電に由来する電波を検出する。

[0007] 好ましくは、検出部は、アンテナで受信した電波信号の最大値を保持するピークホールド回路を含む。

[0008] 好ましくは、判定部は、検出部で検出した電波信号および電波信号を検出する際の受変電設備の三相交流電源の位相関係に基づいて受変電設備の放電を検出する。

[0009] 好ましくは、判定部は、受変電設備の三相交流電源のいずれかの相の立ち上がり時および立ち下がり時に検出部で電波信号を検出した場合に受変電設備の放電を検出する。

[0010] 好ましくは、判定部は、検出部で受変電設備の交流電源の周波数の定数倍の周期で電波信号を検出する場合に受変電設備の放電を検出する。

[0011] 好ましくは、判定部は、検出部で受変電設備の交流電源の1周期の間に電波信号を2回以上検出する場合に受変電設備の放電を検出する。

[0012] 好ましくは、判定部は、検出部で受変電設備の交流電源の1周期の間に電波信号を2回以上検出する場合に検出した電波信号に対して交流電源の60度または120度位相がシフトした位置においてさらに別の電波信号を検出する場合に受変電設備の別の放電を検出する。

[0013] 好ましくは、電波信号は交流電源の位相に対して特定の分布を有する。

好ましくは、特定の分布は正規分布である。

[0014] 好ましくは、判定部は、電波信号の信号振幅がしきい値以上の場合および電波信号を検出する際の受変電設備の交流電源との関係に基づいて受変電設備の放電を検出する。

[0015] 好ましくは、判定部は、電波信号の信号振幅が第1のしきい値以上の場合および電波信号を検出する際の受変電設備の交流電源との関係に基づいて受

変電設備の火花放電を検出し、判定部は、電波信号の信号振幅が第2のしきい値以上、第1のしきい値未満の場合および電波信号を検出する際の受変電設備の交流電源との関係に基づいて受変電設備の部分放電を検出する。

- [0016] 好ましくは、アンテナは、受変電設備内の絶縁物に対向して配置される。
好ましくは、アンテナは、受変電設備内の部分放電が発生するおそれのある絶縁物に近接あるいは接触する母線及びケーブルに対向して配置される。
- [0017] 好ましくは、絶縁物は、エポキシ樹脂あるいはポリエステル樹脂である。
好ましくは、絶縁物は、磁器あるいはセラミックである。
- [0018] 好ましくは、受変電設備に複数のアンテナを設け、複数のアンテナにそれぞれ対応して設けられる複数の検出部をさらに設け、複数の検出部からの検出結果を表示する表示部をさらに備える。
- [0019] 好ましくは、表示部は、複数の検出部からの電波信号のそれぞれの信号強度の分布比較を示す画面を表示する。
- [0020] 好ましくは、複数の検出部からの電波信号の信号強度に基づいて受変電設備の放電箇所を特定する位置特定部をさらに備える。
- [0021] 好ましくは、位置特定部は、複数の検出部からの電波信号のそれぞれの信号強度の分布比較に基づいて受変電設備の放電箇所を特定し、表示部は、位置特定部で特定された受変電設備の放電箇所を表示する。
- [0022] 好ましくは、アンテナは、逆Fアンテナや逆Lアンテナを含むモノポールアンテナであり、モノポールアンテナのカウンターポイズと受変電設備の基準電位となる導体間とを導通させる。
- [0023] 好ましくは、アンテナは、180MHz～800MHz内の帯域の内、放電由来の電波信号と、放電が発生していないときのノイズ由来の電波信号の信号強度の差が最も大きい帯域の電波を検出する。
- [0024] 本開示の絶縁劣化検出方法は、受変電設備に対して設けられたアンテナを介して電波信号を検出するステップと、検出した電波信号および電波信号を検出する際の受変電設備の交流電源との関係に基づいて受変電設備の放電を検出するステップとを備え、検出するステップは、少なくとも180MHz

～800MHz内の帯域の部分放電または火花放電に由来する電波を検出する。

発明の効果

[0025] 本開示の絶縁劣化検出システムおよび絶縁劣化検出方法は、放電由来の電磁波の検出感度を上げるとともに、放電由来以外の電磁波の検出感度を下げることによって絶縁劣化初期の微弱な放電の検出を可能にするとともに、放電由来以外の電磁波による誤検知を減らすことで高精度に放電の検出が可能である。

図面の簡単な説明

- [0026] [図1]実施の形態1に従う受変電設備1について説明する図である。
- [図2]実施の形態1に従う配電盤10Bの外観について説明する図である。
- [図3]実施の形態1に従う絶縁劣化検出システム100について説明する図である。
- [図4]実施形態1に従う配電盤10のエポキシ樹脂の絶縁物で生じた放電をアンテナ20で受信した電波信号の周波数特性について説明した実験結果を表す図である。
- [図5]実施形態1に従う配電盤10のポリエステル樹脂の絶縁物で生じた放電をアンテナ20で受信した電波信号の周波数特性について説明した実験結果を表す図である。
- [図6]実施の形態1に従う電波信号を受信するタイミングと交流電源の位相関係について説明する図である。
- [図7]実施の形態1に従う三相交流電源と電波信号との位相関係について説明する図である。
- [図8]実施の形態1に従う検出器40の構成について説明する図である。
- [図9]実施の形態1に従う検出器40の信号処理について説明する図である。
- [図10]実施の形態1に従うPLC80からPC60に出力されるデータについて説明する図である。
- [図11]実施の形態1に従う判定部62の判定処理について説明するフロー図

である。

[図12]実施の形態1に従う判定部62が抽出した放電強度が高い信号の検出時間の具体例について説明する図である。

[図13]実施の形態2に従う受変電設備1の表示部80の表示について説明する図である。

[図14]実施の形態2の変形例に従う受変電設備1の表示部80の表示について説明する図である。

[図15]実施の形態2の変形例に従う受変電設備1の表示部80の別の表示について説明する図である。

[図16]実施の形態2の変形例に従う受変電設備1の表示部80のさらに別の表示について説明する図である。

[図17]実施の形態2の変形例2に従う受変電設備1の表示部80の表示について説明する図である。

[図18]実施の形態2の変形例2に従う受変電設備1の表示部80の別の表示について説明する図である。

[図19]実施の形態2の変形例2に従う受変電設備1の表示部80のさらに別の表示について説明する図である。

[図20]実施の形態3に従う絶縁劣化検出システム110について説明する図である。

発明を実施するための形態

[0027] 本実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中の同一または相当部分については、同一符号を付してその説明は繰り返さない。

[0028] 以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

(実施の形態1)

図1は、実施の形態1に従う受変電設備1について説明する図である。図1を参照して受変電設備1には、複数の配電盤10A～10G（以下、総称して配電盤10とも称する）が設けられる。各配電盤10には、目的に応じ

て各種の電気機器が設けられる。一例として、受変電設備 1 の結線図が示されており、各配電盤 10 に対応して各種の電気機器が設けられる場合が示されている。

[0029] 具体的には、配電盤 10A には、避雷器 (SAR) と、遮断器 (VCB) と、変流器 (CT) と、接地形計器用変圧器 (EVT) とが設けられる場合が示されている。同様に、各配電盤 10B～10G についても各種の電気機器が設けられる。

[0030] 図 2 は、実施の形態 1 に従う配電盤 10B の外観について説明する図である。図 2 (A) を参照して、母線に対して上側および下側に遮断器 (VCB) が設けられている場合が示されている。なお、本例においては、1 つの配電盤に対してさらに遮断器 (VCB) を設ける構成も可能である。例えば、上段、中段、下段のそれぞれに遮断機 (VCB) を配置するようにしてもよい。

[0031] また、本例においては配電盤 10B の扉の内側にアンテナ 20 を設置する場合が示されている。扉の内側に設けることにより配電盤 10B の扉の外側に設ける場合に比べて放電検出感度を上げることが可能である。また、本例においては配電盤 10B の外側に検出器 40 を設ける場合が示されているが配電盤 10B の内側に検出器 40 を設けるようにしてもよい。また、アンテナ 20 は、逆 F 型アンテナや逆 L 型アンテナを用いるようにしてもよい。一例として、アンテナ 20 は、配電盤 10B の内部に設け、配電盤の隙間、または貫通孔または専用の同軸コネクタを介して同軸ケーブルでアンテナと検出器間を接続する様子を示している。維持・保守のためには可能な限り小さな放電を測定することが望ましいため、アンテナ 20 は配電盤の内部に配置するのが望ましい。ただし、放電に起因する電波が配電盤の外に漏れ出る場合や、アンテナ 20 を設置するスペースを受変電設備の内部に設けられない場合には、アンテナ 20 を配電盤の外に配置しても良い。

[0032] 図 2 (B) を参照して、配電盤 10B の側面方向からの図が示されている。アンテナ 20 は、配電盤 10B の内部の絶縁物に対向する位置に設けられ

る。一例として、母線に対して設けられた導体支持用碍子150に対向して設けられる。導体支持用碍子150は、エポキシ樹脂あるいはポリエステル樹脂あるいは磁器やセラミックが用いられる。また、CT／PT用ケース、VCB用ケース等の絶縁物についてもエポキシ樹脂あるいはポリエステル樹脂が用いられる。また、磁器やセラミックは、変圧器や進相コンデンサのブッシングに用いられることがある。エポキシ樹脂またはポリエステル樹脂あるいは磁器やセラミックは、表面の汚損により部分放電が発生する可能性がある。

[0033] 配電盤内部の絶縁物で発生した放電に由来する信号は、絶縁物に接続される導体を経由して母線へ伝搬される。したがって、アンテナ20は、劣化が予測される絶縁物ばかりでなく、当該絶縁物と近接あるいは接触している導体すなわち母線およびケーブルに対向して配置することで放電に伴う電波を効率的に検出することも可能である。当該配置により配電盤内部の絶縁物に接続される機器との間での放電に伴う電波を効率的に検出することが可能である。更にアンテナ20に逆F型アンテナや逆L型アンテナなどのモノポールアンテナを使用することは、アンテナ20の寸法を小さくでき、装置の内部に入れることができるため望ましい実施の形態である。そして、このようなアンテナは、カウンターポイズ、すなわちアンテナ用のグラウンド（＝基準電位となる導体）を持つ。ただし、装置内部に入れるためアンテナを小さくするためにカウンターポイズを小さくする必要があり、アンテナの受信性能を劣化させる要因となる。そこで、カウンターポイズに対して機器の導体に直接またはリード線を介して接続することは、カウンターポイズが大きくなりモノポールアンテナのアンテナエレメントに対する基準電位が安定することでアンテナの受信感度を向上させる効果があるため望ましい。更に、カウンターポイズを機器の導体に接続することは強電界、強磁界環境下でカウンターポイズが帯電することを防ぐことができる効果がある。

[0034] 図3は、実施の形態1に従う絶縁劣化検出システム100について説明する図である。

図3を参照して、絶縁劣化検出システム100は、受変電設備1の複数の配電盤10A～10Gにそれぞれ対応して設けられ、電波を検出するためのアンテナ20と、当該アンテナ20と同軸ケーブル30を介して接続される検出器40と、PLC(Programmable Logic Controller)80と、PC(Personal Computer)60と、表示部80とを含む。本例においては、一例として配電盤10A、10Bに設けられている場合が示されている。なお、1つの配電盤に対応して設けるようにしてもよい。検出器40は、アンテナ20で受信した電波信号を検出する。PLC80は、受変電設備1と関連する交流電源と接続され、検出器40で検出した電波信号を検出する際の交流電源の位相関係の情報を取得して、PC60に出力する。PC60は、PLC82からの情報に基づいて受変電設備1の放電を検出する。具体的には、PC60は、判定部62と、画面生成部64とを含む。

[0035] 判定部62は、検出器40で検出した電波信号および電波信号を検出する際の受変電設備1の交流電源との関係に基づいて受変電設備1の放電を検出する。具体的には、判定部62は、検出器40で検出した電波信号および電波信号を検出する際の受変電設備1の三相交流電源の位相関係に基づいて受変電設備1の放電を検出する。判定部62は、受変電設備1の三相交流電源のいずれかの相の立ち上がり時および立ち下がり時に検出器40で電波信号を検出した場合に受変電設備1の放電を検出する。画面生成部64は、判定部62の検出結果に基づいて表示部80に表示する画面を生成する。

[0036] PC60は、少なくとも1つ以上のCPU(Central Processing Unit)と、メモリとを有し、当該メモリに格納されたプログラムをCPUが実行することにより各種の機能を実現する。具体的には、判定部62および画面生成部64の機能を実現する。本例においては、PLC80と、PC60とがそれぞれ別個に設けられた構成について説明するが、1つの装置で実現するようにしてもよい。また、検出器40も含めて1つの装置とすることも可能である。また、ネットワークを介してPLC80やPC60の機能を外部のサーバを用いて実現するようにしてもよい。また、本例においては、同軸ケー

ブル30を用いてアンテナ20と検出器40とを接続する構成について説明しているが例えば、有線ではなく無線で接続するようにしてもよい。

[0037] 図4は、実施形態1に従う配電盤10のエポキシ樹脂の絶縁物で生じた放電をアンテナ20で受信した電波信号の周波数特性について説明した実験結果を表す図である。図4(A)を参照して、本例においては、エポキシ樹脂の絶縁物で部分放電が生じた場合の電波信号の信号強度と周波数特性との関係が示されている。ここでは、配電盤10の絶縁物は、導体支持用碍子、CT/PT用ケース、VCB用ケースなどがあるが、エポキシ用いられている場合の周波数特性が示されている。また、ノイズは放電が発生していないときの暗ノイズを意味し、装置の内部の機器からの電波や装置の隙間から電波として侵入する外来ノイズ、または機器の外部から内部に引き込むケーブル経由で伝搬してきた電流が機器内部で放射することで生じる電波を含む。一例として、部分放電が生じた場合に、180MHz～800MHzの周波数帯域で暗ノイズと比較して高い電波信号の信号強度が得られる場合が示されている。例えば、当該周波数帯域で所定のしきい値 V_{th1} (−30dB)を超える電波信号が検出された場合に部分放電を判定することが可能である。しきい値は環境や周波数、使用するアンテナに応じて自由に決めることができるが、暗ノイズとの差を小さくすると誤検出が増加し、差を大きくすると放電が発生していても未検出が増加しやすくなるため、図4(A)では暗ノイズから約10dB大きい−30dBmとしている。特に図4(A)では、周波数帯域200MHz～400MHz帯域における暗ノイズの電波成分と部分放電による電波成分との差が顕著である。したがって、180MHz～800MHzの周波数帯域の内、暗ノイズの電波成分と部分放電による電波成分との差の強度が所定値以上の成分の周波数帯域を使用して部分放電を判定するようにしてもよい。このようにすることで誤検出の可能性を減少させることができる。

[0038] 図4(B)を参照して、ここでは、配電盤10のエポキシ樹脂の絶縁物で火花放電が生じた場合の電波信号の信号強度と周波数特性との関係が示され

ている。ここでは、配電盤 10 の絶縁物としてエポキシ樹脂が用いられている場合の周波数特性が示されている。一例として、火花放電が生じた場合に、 $180\text{ MHz} \sim 800\text{ MHz}$ の周波数帯域でノイズと比較して高い電波信号の信号強度が得られる場合が示されている。例えば、当該周波数帯域で所定のしきい値 V_{th2} (-20 dBm) を超える電波信号が検出された場合に火花放電を判定することが可能である。

[0039] なお、当該しきい値は一例であり、絶縁物の材料の種類や状況に合わせて適宜変更することが可能である。さらに、強度の差により部分放電と火花放電の判定に用いてもよい。

[0040] 図 5 は、実施形態 1 に従う配電盤 10 のポリエステル樹脂の絶縁物で生じた放電をアンテナ 20 で受信した電波信号の周波数特性について説明した実験結果を表す図である。図 5 (A) を参照して、本例においては、ポリエステル樹脂の絶縁物で部分放電が生じた場合の電波信号の信号強度と周波数特性との関係が示されている。一例として、部分放電が生じた場合に、 $180\text{ MHz} \sim 800\text{ MHz}$ の周波数帯域で暗ノイズと比較して高い電波信号の信号強度が得られる場合が示されている。例えば、当該周波数帯域で所定のしきい値 V_{th1} (-30 dBm) を超える電波信号が検出された場合に部分放電を判定することが可能である。しきい値は環境や周波数、使用するアンテナに応じて自由に決めることができるが、暗ノイズとの差を小さくすると誤検出が増加し、差を大きくすると放電が発生していても未検出が増加しやすくなるため、図 5 (A) では暗ノイズから約 10 dB 大きい -30 dBm としている。

[0041] 図 5 (B) を参照して、ここでは、配電盤 10 のポリエステル樹脂の絶縁物で火花放電が生じた場合の電波信号の信号強度と周波数特性との関係が示されている。一例として、火花放電が生じた場合に、 $180\text{ MHz} \sim 800\text{ MHz}$ の周波数帯域でノイズと比較して高い電波信号の信号強度が得られる場合が示されている。例えば、当該周波数帯域で所定のしきい値 V_{th2} (-20 dBm) を超える電波信号が検出された場合に火花放電を判定するこ

とが可能である。

- [0042] なお、当該しきい値は一例であり、絶縁物の材料の種類や状況に合わせて適宜変更することが可能である。さらに、強度の差により部分放電と火花放電の判定に用いてもよい。
- [0043] 一方で、配電盤 10 の環境や状態によってはノイズの状態も変化するため瞬時的に信号強度の高い電波信号が検出される可能性もある。
- [0044] したがって、本例においては、当該状況を回避するためにさらに、電波信号を検出する際の受変電設備 1 の交流電源の位相関係に基づいて受変電設備 1 で生じた放電を検出する。
- [0045] 図 6 は、実施の形態 1 に従う電波信号を受信するタイミングと交流電源の位相関係について説明する図である。図 6 を参照して、本例においては、三相交流電源の R S T 相の R 相を基準にした場合に 60° 位相がずれた位置および 240° 位相がずれた位置において信号強度の高い電波信号を受信していることが示されている。すなわち、三相交流電源の R 相を基準にした場合に T 相の立ち上がり時で 60° と、立ち下がり時から 180° 位相が遅れた立ち上がり時である 240° で放電を検出した実験結果が示されている。
- [0046] 図 7 は、実施の形態 1 に従う三相交流電源と電波信号との位相関係について説明する図である。図 7 を参照して、横軸を時間軸、縦軸を振幅 d B m とした場合が示されている。実施の形態 1 に従う三相交流電源の R S T 相の交流電源波形と、放電タイミングについて説明する。図 7 に示されるように、R 相、S 相および T 相が示されており、それぞれ 120 度ずつ位相がずれている場合が示されている。本例においては、R 相を基準にした場合に T 相の下がり時および立ち上がり時であるゼロクロス付近において放電が発生している場合が示されている。
- [0047] 本例においては、最初に信号強度の高い電波信号が検出された後、位相が 180° ずれた位置において再び信号強度の高い電波信号が検出されるか否かに基づいて放電の発生を判定する。交流電源波形と相関する 180° の位相がずれたタイミングにおいて 2 回信号強度の高い電波信号が検出された場

合には放電と判定する。本例においては、T相において放電が検出されているが、R相、S相においても同様に判定することが可能である。

[0048] このように交流電源を60Hzとすると、1周期内のゼロクロスからの立ち上がり時とゼロクロスからの立ち下がり時の2回の放電が生じる。したがって、放電検出信号は、交流電源の周波数60Hzの2倍の120Hzの周波数特性を有する。この特性を利用し、放電検出信号の周波数特性が交流電源の2倍の周波数である場合には放電として判定する。さらに、誤検知を減らすためには交流電源の2倍の周波数の放電検出信号を繰り返し検出した場合に放電として判定してもよい。

[0049] また、放電の特性から放電の位置がずれることで放電由来の振幅が揺らぐことや、ゼロクロスからの立ち上がりと立ち下がりで放電箇所が異なることがある。そのため、交流電源の2倍の周期で現れ、各振幅が異なる電波信号を放電由来の電波信号と判定することや、繰り返し測定で振幅や波形に揺らぎがある電波信号を放電由来の電波信号と判定するようにしてもよい。

[0050] この特性を1つ以上組み合わせることにより誤検知を防ぐことができる。なぜならば、暗ノイズとして例えば船舶無線や空港無線、TV放送や携帯電話などの電波信号をアンテナが誤検知することがある。しかしながら、これらの信号は交流電源の周期とは無関係な信号であるため60Hz等の定数倍の周期（例えば120Hz）では発生しない。仮に120Hz周期の信号を誤検出した場合でも繰り返し測定で偶然の要素を排除することが可能である。

[0051] また、機器内部の電子機器から発生する電波信号は交流電源と同期して電波信号を発生する可能性が高く、誤検知原因の一つであるが、一般的な電子機器は60Hz周期の動作であり、120Hz周期で動作することは少なく、2倍の周期で測定することで誤検知を低減できる。また、120Hz周期で電波信号を発生させる電子機器が機器内部にあっても、電子機器は通常、安定状態での繰り返し動作であるため発生する電波信号も振幅や周波数に変化が少ない。

- [0052] 一方で、放電由来の電波信号は繰り返し測定のために異なる、振幅や波形となる可能性が高い。したがって、安定した電波信号か、変動成分が大きい電波信号か否かに基づいて電子機器からの電波信号と放電由来の電波信号とを判別するようにしてもよい。また、一般的な電子機器からの電波信号は断続的に発生するのに対して、放電由来の電波信号は数分に一度、長い場合には数日に1度程度の頻度で発生する間欠的な電磁波である。そのため、電子機器からの電波信号と放電由来の電波信号とを区別するために、電波信号を検出する頻度の情報を用いるようにしてもよい。
- [0053] また、図6で示されるように、2回以上の放電由来の電波信号を検出し、横軸を位相、縦軸を電波強度として、測定結果を点としてプロットしたとき、測定結果の分布が特定の分布を有する場合を部分放電由来の電波信号として判定するようにしてもよい。例えば特定の分布とは、正規分布（ガウス分布）を含む確率分布を指す。また、正確な分布を得るために10回以上の測定結果を用いることや、放電発生時の測定回数を増やすようにしてもよい。
- [0054] 上記の説明においては交流電源の周期と、放電の周期を得るために交流電源にセンサを配置して交流電流を検出するとともに、放電源の近くにアンテナを配置して、放電由来の電波信号を検出して、2つの信号を組み合わせ放電の判定をする場合について説明した。
- [0055] この点で、交流電源のゼロクロスからの立ち上がり立ち下りのタイミングと、放電タイミングとを同期させるために、交流電源に取り付けるセンサから検出器までの電気長と、放電源からアンテナを経由して検出器に至るまでの電気長を測定し、後処理で電気長補正することで2つの信号を同期させるようにしてもよい。電気長補正は、測定対象ごとにアンテナの取り付け位置やケーブルの長さなどの違い等を考慮して行うようにしてもよい。
- [0056] また、図7ではゼロクロスでの放電を示しているが、放電と交流電源の位相とは必ずしも同期を取る必要はなく、120Hzのアンテナの受信信号を得たとき、放電と判断しても良い。機器を動作させる交流電源の周波数は既知であるため、交流電源の周波数の2倍の周期で発生している電波信号を放

電由来の電波信号と判定することで、交流電源用のセンサと検出器とが不要となるだけでなく、電気長補正も不要となる。その結果、交流電源の2倍の周期の電波信号を検出することは、アンテナを機器に取り付けることだけで、測定対象の機器に依らず、誤検出の少ない放電の検出が可能になる。

[0057] さらに、例えばT相だけでなく、R相でも同じタイミングで放電が起こる状況のように2箇所以上で同時に放電する場合には、放電検出信号は、120Hzの定数倍となる240Hz、360Hzの周波数特性を有する。したがって、これらを検出することで複数の放電源にも対応できる。横軸を位相とすると120Hzの信号は180度位相がずれた信号となっており、240Hzはこの信号に対して60度、または120度、位相がシフトした位置に現れる信号である。また、360Hzは、120Hzの信号に対して60度かつ120度位相がシフトした位置に現れる信号となる。

[0058] ただし、隣り合うT相、R相、S相周辺での放電では120Hzの定数倍で電波が発生したものとみなせるが、異なる位置にある絶縁体からの放電の場合には、放電源とアンテナとの距離による伝搬距離の違いにより厳密には定数倍とはならない。そこで、120Hz周期の信号が2つ存在する場合には2つの放電源があると判定することや、絶縁体の劣化度合いによって放電の振幅や周波数が異なることから、振幅や周波数の違いで放電源の数を判定してもよい。

[0059] さらに、ゼロクロスからの立ち上がり時の放電の振幅と、ゼロクロスからの立ち下りの放電の振幅や周波数は必ずしも同じとならない。特に部分放電由来の電波信号は微弱で測定器の持つ測定限界のため、例えばゼロクロスからの立ち下り時のみの放電しか検出できない場合もある。したがって、交流電源の周波数と同じ周期、例えば60Hzで検出した信号を部分放電として検出するようにしてもよい。この場合、例えば、2倍の120Hzで検出した場合に比べて、信頼性が低くなる可能性があるため検出回数を増やして信頼性を向上させることや、測定ごとに振幅に数%～数10%の変化があることや、ピーク周波数(設定した周波数帯域での最大値)に0.01%～1

%程度の変化があること等、ノイズ源となる周囲の電子機器や外来ノイズが持たない、放電固有の情報と組み合わせて、放電由来の電波信号と判定するようにしてもよい。

- [0060] なお、振幅と周波数とを異なるものとして説明したが、複数の周波数での振幅を取得できる場合には、周波数特性とみなしてもよい。
- [0061] 図8は、実施の形態1に従う検出器40の構成について説明する図である。図8を参照して、検出器40は、バンドパスフィルタ41と、増幅および絶対値化回路42と、ピークホールド回路43と、A/D変換回路44と、0値化無効化処理回路45と、D/A変換回路46と、リセット信号発生器47とを含む。
- [0062] 検出器40は、同軸ケーブル30と接続されるアンテナ20を介して放電波形（入力）である信号SAの入力を受ける。
- [0063] バンドパスフィルタ41は、入力される所定の周波数帯域の信号SAを通過させて、それ以外の帯域の信号を除去する回路である。本例においては、所定の周波数帯域として180MHz～800MHzの信号を通過させて、それ以外の帯域の信号を除去する。これにより放電に起因する電波信号のみを受信することが可能である。
- [0064] 増幅および絶対値化回路42は、信号を増幅および絶対値化させて電波信号の特徴を検出しやすいように波形を調整する。調整された信号SBがピークホールド回路43に入力される。
- [0065] リセット信号発生器47は、所定周期でリセット信号を発生させる。本例においては、30μs毎にリセット信号を発生させる。具体的には、リセット信号発生器47は、29μs後にリセット期間として1μsのリセット信号を出力する。
- [0066] ピークホールド回路43は、リセット信号に従ってリセットした後、アナログ信号である調整された信号SBのピーク値を保持する。
- [0067] A/D変換回路44は、ピークホールド回路43からのアナログ信号をデジタル信号に変換して0値化無効化処理回路45に出力する。

[0068] 0値化無効化処理回路45は、リセット信号に従ってA/D変換回路44から出力された最大のデータを所定期間保持する。具体的には、所定期間は $30\mu s$ である。

[0069] D/A変換回路46は、0値化無効化処理回路45からのデジタル信号をアナログ信号に変換した信号SEを外部のPLC80に出力する。

[0070] 図9は、実施の形態1に従う検出器40の信号処理について説明する図である。図9を参照して、時刻T0において、アンテナ20を介して放電波形の電波信号が検出器40に入力される。増幅および絶対値化回路42は、当該放電波形の電波信号の波形を調整する。ピークホールド回路43は、当該電波信号のピーク値を保持する。また、A/D変換回路44は、当該電波信号をデジタル値に変換して0値化無効化処理回路45に出力する。0値化無効化処理回路45は、リセット信号の入力に従ってA/D変換回路44を介するピークホールド回路43で保持されるピーク値を所定期間保持する。D/A変換回路46は、ピークホールド回路43で保持される当該ピーク値をアナログ信号として出力する。

[0071] 以下、同様に時刻T1、T2、T3…でも同様の信号処理が行われる。

0値化無効化処理回路45は、A/D変換回路44を介するピークホールド回路43で保持されたピーク値を所定期間($30\mu s$)保持することが可能である。したがって、例えば、検出器40にピークホールド回路43のみが設けられている場合には、リセット信号によってデータがリセットされた期間に、PLC80へデータを出力する場合には放電波形を取り逃してしまう可能性もあるが、リセット期間と関係なくピーク値が所定期間保持されて出力されるため確実にPLCへデータを出力することが可能であり、放電を検出することが可能である。

[0072] 図10は、実施の形態1に従うPLC80からPC60に出力されるデータについて説明する図である。図10を参照して、PLC80は、所定期間に従って検出器40からのデータ(放電強度データ)を受け付けて、当該受け付けた際の交流電源の位相情報(時間)と関連付けてPC60に出力する

。

[0073] 本例においては、検出器40からのデータを時系列的に受け付けて、位相情報（時間）と関連付けた場合が示されている。具体的には、PLC80は、検出器40から所定周期である $30\mu s$ 毎にデータを受け付ける。例えば、交流電源のR相を基準にした場合が示されている。一例として、時刻0の場合にR相の交流電源の電圧が0である場合に、 $30\mu s$ 毎に検出器40から放電強度を示す信号を受け付けた場合が示されている。

[0074] 例えば、データ番号「1」～「8」として、時間（ms）と放電強度とが関連付けられている場合が示されている。当該時間により交流電源の位相を算出することが可能である。

[0075] 以降、PLC80は、同様にして検出器40で検出した放電強度と位相情報（時間）とを関連付けてPC60に出力する。

[0076] 図11は、実施の形態1に従う判定部62の判定処理について説明するフロー図である。図11を参照して、判定部62は、データを取得する（ステップS2）。例えば図10に示すような形式で、判定部62は、PLC80から検出器40で検出した放電強度と関連付けられた交流電源の位相情報（時間）のデータを取得する。次に、判定部62は、取得したデータについて放電強度がしきい値以上の信号の検出時間を抽出する（ステップS4）。例えば、一例として図4で説明したようにしきい値 V_{th1} 以上の放電強度の信号があるかどうかを判定し、放電強度の高い信号の位相情報（時間）を抽出する。

[0077] 図12は、実施の形態1に従う判定部62が抽出した放電強度が高い信号の検出時間の具体例について説明する図である。図12を参照して、一例として交流電源のT相において放電が発生した場合が示されている。具体的には、交流電源のR相の 0° を基準に 60° の位置（時間「0.002777」）、 240° の位置（時間「0.011111」）、 420° の位置（時間「0.019444」）、 600° の位置（時間「0.027777」）、・・・において放電強度がしきい値以上の信号を検出した場合が示されて

いる。

- [0078] 再び図 11 を参照して、判定部 62 は、 180° 位相がずれた位置で放電強度がしきい値以上の信号があるか否かを判定する（ステップ S8）。例えば、交流電源が 60 Hz である場合には、 180° 位相がずれた位置は、0.008333 s 経過後である。最初に放電強度がしきい値以上の信号を検出した時間と、次に放電強度がしきい値以上の信号を検出した時間とを比較して、 180° 位相がずれた位置（時間「0.008333」）か否かを判定することが可能である。
- [0079] ステップ S8 において、判定部 62 は、 180° 位相がずれた位置で放電強度がしきい値以上の信号がないと判定した場合（ステップ S8 において NO）には、放電はないとして処理を終了する（エンド）。
- [0080] 一方、ステップ S8 において、判定部 62 は、 180° 位相がずれた位置で放電強度がしきい値以上の信号があると判定した場合（ステップ S8 において YES）には、放電を検出する（ステップ S10）。そして、処理を終了する（エンド）。
- [0081] 本例においては、ステップ S8 において、 180° の位相がずれた位置で放電強度がしきい値以上の信号があるか否かを判定する場合について説明するが厳密に 180° の位相がずれている必要はなくその近傍の位置で放電強度がしきい値以上の信号があれば放電として検出するようにしてもよい。
- [0082] また、図 11 のフローにおいては、 180° 位相がずれた位置で放電強度がしきい値以上の信号が 1 回連続した場合に放電を検出する場合について説明しているが、例えば複数回以上連続する場合に、放電を検出として判断するようにしてもよい。これにより精度の高い放電の検出が可能である。
- [0083] また、判定部 62 は、上記のフローとは別の方式に従って放電を検出することも可能である。
- [0084] 具体的には、判定部 62 は、図 12 で抽出した所定期間における検出時間のデータに基づいて放電を検出することが可能である。
- [0085] 判定部 62 は、図 12 の検出時間のデータ特性として周波数特性を解析し

、120Hzである場合に放電を検出として判断するようにしてもよい。すなわち、判定部62は、交流電源の周波数（一例として60Hz）の定数倍の周期で放電強度がしきい値以上の電波信号を検出する場合に受変電設備の放電を検出する。

[0086] また、判定部62は、受変電設備1の三相交流電源のいずれかの相の立ち上がり時および立ち下がり時に放電強度がしきい値以上の電波信号を検出した場合に受変電設備1の放電を検出と判断するようにしてもよい。

[0087] また、図6で説明したように判定部62は、2回以上の放電由来の電波信号を検出し、横軸を位相、縦軸を電波強度として、測定結果を点としてプロットしたとき、測定結果の分布が特定の分布を有する場合を部分放電由来の電波信号として判定するようにしてもよい。

[0088] また、図7で説明したように判定部62は、R、S、T相のいずれの相で放電が生じたかも検出することが可能である。判定部62は、交流電源の1周期の間に放電強度がしきい値以上の電波信号を2回以上検出する場合に検出した電波信号に対して交流電源の60度または120度位相がシフトした位置においてさらに別の放電強度がしきい値以上の電波信号を検出する場合に受変電設備の別の放電として検出する。

[0089] 本例においては、一例としてしきい値 V_{th1} 以上の放電強度の信号であるか否かを判定する場合について説明したが、例えば、しきい値 V_{th2} 以上の放電強度の信号であるか否かを判定することにより火花放電が生じたか否かも検出することが可能である。

[0090] （実施の形態2）

実施の形態2においては、放電が発生した位置に関する情報をユーザに表示する場合について説明する。

[0091] 具体的には、PC60の画面生成部64は、検出器40からの電波信号の信号強度に基づいて受変電設備1の放電強度のレベルを表示部80に表示する。

[0092] 図13は、実施の形態2に従う受変電設備1の表示部80の表示について

説明する図である。図13(A)を参照して、本例においては配電盤10A～10Gのそれぞれの配電盤10に対応してアンテナ20A～20Gを設けた場合が示されている。

[0093] 検出器40は、各アンテナ20A～20Gとそれぞれ接続され、各アンテナ20A～20Gで受信した電波信号を検出する。PLC80は、複数台のアンテナが接続され、受変電設備1と相關する交流電源と接続され、当該電源と検出器40で検出した電波信号を検出する際の交流電源の位相関係の情報を取得して、PC60に出力する。PC60は、上記の実施の形態1で説明した方式に従ってPLC82からの情報に基づいて受変電設備1の放電を検出する。

[0094] 図13(B)を参照して、判定部62で放電を検出した場合に、画面生成部64は、複数のアンテナ20A～20Gで検出した電波信号のうち信号強度に応じたグラフを表示部80に表示する。

[0095] 一例として、画面生成部64は、複数のアンテナ20A～20Gのうち最も放電強度の高いアンテナ20Dに対応する位置に対応して放電強度が高いグラフを表示部80に表示する。

[0096] ユーザは、表示部80に表示された信号強度の分布比較に基づいて最も放電強度の高い位置のアンテナ20に対応する位置を放電箇所として特定することが可能である。

[0097] 当該方式により放電の発生を検出するだけでなく、ユーザは放電箇所の位置を確認することが可能である。

[0098] 図14は、実施の形態2の変形例に従う受変電設備1の表示部80の表示について説明する図である。図14(A)を参照して、本例においては、1つの配電盤10に対して位置が異なる複数のアンテナ20P～20Rを設けた場合が示されている。

[0099] 検出器40は、各アンテナ20P～20Rとそれぞれ接続され、各アンテナ20P～20Rで受信した電波信号を検出する。PLC80は、受変電設備1と相關する交流電源と接続され、当該電源と検出器40で検出した電波

信号を検出する際の交流電源の位相関係の情報を取得して、P C 6 0 に出力する。P C 6 0 は、上記の実施の形態 1 で説明した方式に従って P L C 8 2 からの情報に基づいて受変電設備 1 の放電を検出する。

[0100] 図 1 4 (B) を参照して、判定部 6 2 で放電を検出した場合に、画面生成部 6 4 は、複数のアンテナ 2 0 P ~ 2 0 R で検出した電波信号のうち信号強度に応じたグラフを表示部 8 0 に表示する。

[0101] 一例として、画面生成部 6 4 は、複数のアンテナ 2 0 P ~ 2 0 R のうち最も放電強度の高いアンテナ 2 0 P に対応する位置に対応して放電強度が高いグラフを表示部 8 0 に表示する。

[0102] ユーザは、表示部 8 0 に表示された信号強度の分布比較に基づいて最も放電強度の高い位置のアンテナ 2 0 に対応する位置を放電箇所として特定することが可能である。本例においては、ユーザは、複数のアンテナ 2 0 P ~ 2 0 R のうち最も放電強度の高いアンテナ 2 0 P に対応する位置を放電箇所として特定することが可能である。

[0103] 図 1 5 は、実施の形態 2 の変形例に従う受変電設備 1 の表示部 8 0 の別の表示について説明する図である。図 1 5 (A) を参照して、本例においては、1 つの配電盤 1 0 に対して位置が異なる複数のアンテナ 2 0 P ~ 2 0 R を設けた場合が示されている。

[0104] 検出器 4 0 は、各アンテナ 2 0 P ~ 2 0 R とそれぞれ接続され、各アンテナ 2 0 P ~ 2 0 R で受信した電波信号を検出する。P L C 8 0 は、受変電設備 1 と関連する交流電源と接続され、当該電源と検出器 4 0 で検出した電波信号を検出する際の交流電源の位相関係の情報を取得して、P C 6 0 に出力する。P C 6 0 は、上記の実施の形態 1 で説明した方式に従って P L C 8 2 からの情報に基づいて受変電設備 1 の放電を検出する。

[0105] 図 1 5 (B) を参照して、判定部 6 2 で放電を検出した場合に、画面生成部 6 4 は、複数のアンテナ 2 0 P ~ 2 0 R で検出した電波信号のうち信号強度に応じたグラフを表示部 8 0 に表示する。

[0106] 一例として、画面生成部 6 4 は、複数のアンテナ 2 0 P ~ 2 0 R のうち最

も放電強度の高いアンテナ 20 Q に対応する位置に対応して放電強度が高いグラフを表示部 80 に表示する。

- [0107] ユーザは、表示部 80 に表示された信号強度の分布比較に基づいて最も放電強度の高い位置のアンテナ 20 に対応する位置を放電箇所として特定することが可能である。本例においては、ユーザは、複数のアンテナ 20 P ~ 20 R のうち最も放電強度の高いアンテナ 20 Q に対応する位置を放電箇所として特定することが可能である。
- [0108] 図 16 は、実施の形態 2 の変形例に従う受変電設備 1 の表示部 80 のさらに別の表示について説明する図である。図 16 (A) を参照して、本例においては、1 つの配電盤 10 に対して位置が異なる複数のアンテナ 20 P ~ 20 R を設けた場合が示されている。
- [0109] 検出器 40 は、各アンテナ 20 P ~ 20 R とそれぞれ接続され、各アンテナ 20 P ~ 20 R で受信した電波信号を検出する。PLC 80 は、受変電設備 1 と相関する交流電源と接続され、当該電源と検出器 40 で検出した電波信号を検出する際の交流電源の位相関係の情報を取得して、PC 60 に出力する。PC 60 は、上記の実施の形態 1 で説明した方式に従って PLC 82 からの情報に基づいて受変電設備 1 の放電を検出する。
- [0110] 図 16 (B) を参照して、判定部 62 で放電を検出した場合に、画面生成部 64 は、複数のアンテナ 20 P ~ 20 R で検出した電波信号のうち信号強度に応じたグラフを表示部 80 に表示する。
- [0111] 一例として、画面生成部 64 は、複数のアンテナ 20 P ~ 20 R のうち最も放電強度の高いアンテナ 20 R に対応する位置に対応して放電強度が高いグラフを表示部 80 に表示する。
- [0112] ユーザは、表示部 80 に表示された信号強度の分布比較に基づいて最も放電強度の高い位置のアンテナ 20 に対応する位置を放電箇所として特定することが可能である。本例においては、ユーザは、複数のアンテナ 20 P ~ 20 R のうち最も放電強度の高いアンテナ 20 R に対応する位置を放電箇所として特定することが可能である。

- [0113] 当該方式により、１つの配電盤１０内に複数のアンテナを設けることにより、当該配電盤１０内で生じた放電の発生を検出するだけでなく、ユーザは放電箇所の位置を特定することが可能である。
- [0114] 図１７は、実施の形態２の変形例２に従う受変電設備１の表示部８０の表示について説明する図である。図１７（Ａ）を参照して、本例においては、１つの配電盤１０に対して位置が異なる複数のアンテナ２０Ｐ、２０Ｒを設けた場合が示されている。
- [0115] 図１４の構成と比較して、アンテナ２０Ｑを削除して、アンテナ２０Ｐ、２０Ｒのみとした点が異なる。
- [0116] 図１７（Ｂ）を参照して、判定部６２で放電を検出した場合に、画面生成部６４は、複数のアンテナ２０Ｐ、２０Ｒで検出した電波信号のうち信号強度に応じたグラフを表示部８０に表示する。
- [0117] 一例として、画面生成部６４は、複数のアンテナ２０Ｐ、２０Ｒのうち放電強度の高いアンテナに対応する位置に対応して放電強度が高いグラフを表示部８０に表示する。
- [0118] ユーザは、表示部８０に表示された信号強度の分布比較に基づいて最も放電強度の高い位置のアンテナ２０に対応する位置を放電箇所として特定することが可能である。本例においては、ユーザは、複数のアンテナ２０Ｐ、２０Ｒのうち最も放電強度の高いアンテナ２０Ｐに対応する位置を放電箇所として特定することが可能である。
- [0119] 図１８は、実施の形態２の変形例２に従う受変電設備１の表示部８０の別の表示について説明する図である。図１８（Ａ）を参照して、本例においては、１つの配電盤１０に対して位置が異なる複数のアンテナ２０Ｐ、２０Ｒを設けた場合が示されている。
- [0120] 図１８（Ｂ）を参照して、判定部６２で放電を検出した場合に、画面生成部６４は、複数のアンテナ２０Ｐ、２０Ｒで検出した電波信号のうち信号強度に応じたグラフを表示部８０に表示する。
- [0121] 一例として、画面生成部６４は、複数のアンテナ２０Ｐ、２０Ｒのうち放

電強度の高いアンテナに対応する位置に対応して放電強度が高いグラフを表示部 80 に表示する。

[0122] ユーザは、表示部 80 に表示された信号強度の分布比較に基づいて最も放電強度の高い位置のアンテナ 20 に対応する位置を放電箇所として特定することが可能である。本例においては、アンテナ 20 P、20 R の放電強度は同じレベルの場合が示されている。

[0123] ユーザは、この場合にはアンテナ 20 P、20 R の間に対応する位置を放電箇所として特定することが可能である。

[0124] 図 19 は、実施の形態 2 の変形例 2 に従う受変電設備 1 の表示部 80 のさらに別の表示について説明する図である。図 19 (A) を参照して、本例においては、1 つの配電盤 10 に対して位置が異なる複数のアンテナ 20 P、20 R を設けた場合が示されている。

[0125] 図 19 (B) を参照して、判定部 62 で放電を検出した場合に、画面生成部 64 は、複数のアンテナ 20 P、20 R で検出した電波信号のうち信号強度に応じたグラフを表示部 80 に表示する。

[0126] 一例として、画面生成部 64 は、複数のアンテナ 20 P、20 R のうち放電強度の高いアンテナに対応する位置に対応して放電強度が高いグラフを表示部 80 に表示する。

[0127] ユーザは、表示部 80 に表示された信号強度の分布比較に基づいて最も放電強度の高い位置のアンテナ 20 に対応する位置を放電箇所として特定することが可能である。本例においては、ユーザは、複数のアンテナ 20 P、20 R のうち最も放電強度の高いアンテナ 20 R に対応する位置を放電箇所として特定することが可能である。

[0128] 例えば、電波を遠方界とすると放電強度が距離に反比例するため、アンテナ 20 P、20 R の受信強度に応じて距離の比に換算することができ、この情報から放電源を見つけることができる。また、測定対象の周波数と配電盤の寸法によっては近傍界(概ね 1 波長以下では近傍界とでき、300 MHz では 1 波長 1 m となります)となることもあり、この場合には放電強度が距離の

2乗や3乗に反比例するため、これらの近傍界における電磁波の特性も考慮して距離の比に換算するのが望ましい。

[0129] 当該方式により、アンテナの個数を減らした場合であっても複数のアンテナで検出される放電強度を互いに比較することにより、放電箇所の位置を特定することが可能である。

[0130] 本例においては、1つの配電盤10に対して、アンテナの個数を減らした場合において放電箇所の位置を特定する場合について説明したが、例えば、図13の構成のような場合にも同様に適用可能である。具体的には、図13の構成のような場合に、アンテナ20B、20D、20Fを削除した場合について説明する。判定部62で放電を検出した場合に、画面生成部64は、複数のアンテナ20A、20C、20E、20Gで検出した電波信号のうち放電強度の高い位置のアンテナ20に対応する位置に対応して放電強度が高いグラフを表示する。

[0131] ユーザは、表示部80に表示された信号強度の分布比較に基づいて最も放電強度の高い位置のアンテナ20に対応する位置を放電箇所として特定することが可能である。

[0132] 当該方式により、アンテナの個数を削減しつつ、放電の発生を検出するだけでなく、放電箇所の位置を特定することが可能である。

[0133] (実施の形態3)

実施の形態3においては、放電が発生した位置を特定する方式について説明する。

[0134] 図20は、実施の形態3に従う絶縁劣化検出システム110について説明する図である。

[0135] 図20を参照して、絶縁劣化検出システム110は、図3で説明した絶縁劣化検出システム100と比較して、PC60をPC61に変更した点異なる。PC61は、PC60と比較して、位置特定部66を新たに設けた点異なる。

[0136] 位置特定部66は、実施の形態2で説明した信号強度の分布比較に基づい

て放電箇所を特定して表示部 80 に表示する。具体的には、位置特定部 66 は、図 13 で説明した信号強度の分布比較に基づいて最も放電強度の高い位置のアンテナ 20D に対応する位置を放電箇所として特定し、当該特定された位置に関する情報を表示部 80 に表示する。これによりユーザは、放電箇所の位置を容易に把握することが可能である。なお、他の図 14 ～図 19 の例についても同様に適用可能である。

[0137] (その他の形態)

その他の形態として、判定部 62 の判定処理として機械学習により放電の検出を判断するようにしてもよい。

[0138] 具体的には、放電が発生した場合の放電強度と位相情報とを関連付けたデータを学習データとして、絶縁体からの放電を推論するための学習済モデルを生成する。

[0139] 判定部 62 は、生成した学習済モデルを用いて、放電強度と位相情報とを関連付けたデータに基づいて絶縁体からの放電を検出する。

[0140] 学習済モデルを生成する際の学習アルゴリズムは、教師あり学習、教師なし学習、強化学習等の公知のアルゴリズムを用いることが可能である。例えば、一例として、教師なし学習である k 平均法 (クラスタリング) を適用し、クラスタに属するか否かで放電を検出するようにしてもよい。k 平均 (k-means) 法による非階層型クラスタリングに限らず、クラスタリング可能な他の公知のアルゴリズムを用いてもよい。例えば、最短距離法等の階層型クラスタリングを用いてもよい。また、教師あり学習においては横軸を位相、縦軸を放電強度とすることで、時系列データと同様に処理することができる。そのため、時系列データを入力可能なニューラルネットワークの一つである RNN (Recurrent Neural Network) や決定木の一つである勾配ブースティング、統計的手法に基づく自己回帰和分移動平均モデル (Autoregressive integrated moving average、略称: ARIMA) などを用いることができる。さらに、それらの出力を放電なしの正常と放電ありの異常の 2 値に分ける異常検知 (anomaly detection) や、放電なしの正常と部分放電と火花放電の 3 値に分

けるクラス分類や、数日から数年先の放電の状態を予測する回帰予測に用いても良い。さらに、放電は温湿度環境に依存しやすいことから、時間や環境に変化する傾向を強化学習で学習することで、誤検知を低減できるため望ましい。

[0141] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した説明ではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0142] 1 受変電設備、10 配電盤、20 アンテナ、30 同軸ケーブル、40 検出器、41 バンドパスフィルタ、42 増幅および絶対値化回路、43 ピークホールド回路、44 A/D変換回路、46 D/A変換回路、45 0値化無効化処理回路、47 リセット信号発生器、60, 61 PC、62 判定部、64 画面生成部、66 位置特定部、100, 110 絶縁劣化検出システム。

請求の範囲

- [請求項1] 受変電設備に対して設けられ、電波を検出するためのアンテナと、
前記アンテナと接続され、前記アンテナで受信した電波信号を検出する検出部と、
前記検出部で検出した電波信号および前記電波信号を検出する際の前記受変電設備の交流電源との関係に基づいて前記受変電設備の放電を検出する判定部とを備え、
前記アンテナは、少なくとも180MHz～800MHz内の帯域の部分放電または火花放電に由来する電波を検出する、絶縁劣化検出システム。
- [請求項2] 前記検出部は、前記アンテナで受信した電波信号の最大値を保持するピークホールド回路を含む、請求項1記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項3] 前記判定部は、前記検出部で検出した電波信号および前記電波信号を検出する際の前記受変電設備の三相交流電源の位相関係に基づいて前記受変電設備の放電を検出する、請求項1記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項4] 前記判定部は、前記受変電設備の三相交流電源のいずれかの相の立ち上がり時および立ち下がり時に前記検出部で電波信号を検出した場合に前記受変電設備の放電を検出する、請求項3記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項5] 前記判定部は、前記検出部で前記受変電設備の交流電源の周波数の定数倍の周期で前記電波信号を検出する場合に前記受変電設備の放電を検出する、請求項1記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項6] 前記判定部は、前記検出部で前記受変電設備の交流電源の1周期の間に前記電波信号を2回以上検出する場合に前記受変電設備の放電を検出する、請求項5記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項7] 前記判定部は、前記検出部で前記受変電設備の交流電源の1周期の

間に前記電波信号を2回以上検出する場合に検出した電波信号に対して前記交流電源の60度または120度位相がシフトした位置においてさらに別の電波信号を検出する場合に前記受変電設備の別の放電を検出する、請求項6記載の絶縁劣化検出システム。

- [請求項8] 前記電波信号は前記交流電源の位相に対して特定の分布を有する、請求項1記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項9] 前記特定の分布は正規分布である、請求項8記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項10] 前記判定部は、前記電波信号の信号振幅がしきい値以上の場合および前記電波信号を検出する際の前記受変電設備の交流電源との関係に基づいて前記受変電設備の放電を検出する、請求項1記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項11] 前記判定部は、前記電波信号の信号振幅が第1のしきい値以上の場合および前記電波信号を検出する際の前記受変電設備の交流電源との関係に基づいて前記受変電設備の火花放電を検出し、
前記判定部は、前記電波信号の信号振幅が第2のしきい値以上、前記第1のしきい値未満の場合および前記電波信号を検出する際の前記受変電設備の交流電源との関係に基づいて前記受変電設備の部分放電を検出する、請求項10記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項12] 前記アンテナは、前記受変電設備内の絶縁物に対向して配置される、請求項1記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項13] 前記アンテナは、前記受変電設備内の部分放電が発生するおそれのある絶縁物に近接あるいは接触する母線及びケーブルに対向して配置される、請求項12記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項14] 前記絶縁物は、エポキシ樹脂あるいはポリエステル樹脂である、請求項12記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項15] 前記絶縁物は、磁器あるいはセラミックである、請求項12記載の絶縁劣化検出システム。

- [請求項16] 前記受変電設備に複数のアンテナを設け、
前記複数のアンテナにそれぞれ対応して設けられる複数の前記検出部をさらに設け、
前記複数の検出部からの検出結果を表示する表示部をさらに備える、請求項1記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項17] 前記表示部は、前記複数の検出部からの電波信号のそれぞれの信号強度の分布比較を示す画面を表示する、請求項14記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項18] 前記複数の検出部からの電波信号の信号強度に基づいて前記受変電設備の放電箇所を特定する位置特定部をさらに備える、請求項14記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項19] 前記位置特定部は、前記複数の検出部からの電波信号のそれぞれの信号強度の分布比較に基づいて前記受変電設備の放電箇所を特定し、
前記表示部は、前記位置特定部で特定された前記受変電設備の放電箇所を表示する、請求項16記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項20] 前記アンテナは、逆Fアンテナや逆Lアンテナを含むモノポールアンテナであり、
前記モノポールアンテナのカウンターポイズと前記受変電設備の基準電位となる導体間とを導通させる、請求項1記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項21] 前記アンテナは、前記180MHz～800MHz内の帯域の内、放電由来の電波信号と、放電が発生していないときのノイズ由来の電波信号の信号強度の差が最も大きい帯域の電波を検出する、請求項1記載の絶縁劣化検出システム。
- [請求項22] 受変電設備に対して設けられたアンテナを介して電波信号を検出するステップと、
検出した電波信号および前記電波信号を検出する際の前記受変電設備の交流電源との関係に基づいて前記受変電設備の放電を検出するス

テップとを備え、

前記検出するステップは、少なくとも $180\text{MHz} \sim 800\text{MHz}$ 内の帯域の部分放電または火花放電に由来する電波を検出する、絶縁劣化検出方法。