明　細　書

発明の名称 ： 部分放電検出装置及び部分放電検出方法

技術分野

[0001] 本発明は、部分放電検出装置及び部分放電検出方法に関する。

背景技術

[0002] 電力ケーブルの絶縁劣化の兆候を観測するには、電力ケーブルの絶縁物に高電圧を印加した際に発生する、部分放電の電荷量を測定することが一般的である。電力ケーブルの中間接続箱には、ケーブルの絶縁物と接続された接地線がある。部分放電発生時に接地線に流れる電流を、電流測定器（ＣＴ：Current Transformer）が測定することが可能である。そして、電流測定器が測定した部分放電発生時の電流は、ＡＤ（Analog-to-Digital）変換によりデジタル値に変換され、ケーブルに流れる交流波形の位相に応じて、部分放電の電流が評価される。

[0003] 例えば、特許文献１には、ケーブルの絶縁物に高電圧を印加した際に発生する部分放電の電荷量を測定することで、ケーブルの絶縁劣化の兆候を観測する技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平９－９６６５７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 電流測定器が測定した部分放電の放電パルスはアナログ信号であるため、ＡＤ変換器でアナログ信号をデジタル化する必要がある。部分放電は、微小間隔で発生する高周波パルスのアナログ波形で観測されるため、部分放電の放電パルスを広範囲な周波数帯域で測定することが求められる。また、ＡＤ変換器は、サンプリング定理を満たすように動作することが必要である。

[0006] しかし、サンプリング定理を満たす条件で、広範囲な周波数帯域のアナロ

グ信号をＡＤ変換器がデジタル化して測定するには、超高速サンプリングが必要となる。超高速サンプリングが可能なＡＤ変換器は非常に高価であり、また、ＡＤ変換したデジタルデータも超高速で出力されることとなる。この場合、デジタルデータの信号処理も超高速化が要求される。また、信号処理を実施するＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）には、超高速で行われる信号処理に対応するため、高速かつ高価なものが使用される。よって、部分放電パルスを測定するためのハードウェアが高価になってしまう。

[0007] そこで、広帯域で発生する部分放電パルスを検出するＡＤ変換器として、サンプリング定理を満たさない条件で、超高速に動作しないＡＤ変換器を採用することが発明者により検討された。サンプリング定理を満たさない条件でアナログ信号をＡＤ変換すると、第１、第２、第３、…、第ｎナイキストの全ナイキストの周波数帯域に、部分放電パルスが折返しノイズで観測される。部分放電パルスの有無を確認するだけでよければ、折返しノイズが観測されても問題ない。

[0008] しかし、サンプリング定理を満たさない条件で行われるＡＤ変換は、第１、第２、第３、…、第ｎナイキスト境界の周波数帯域におけるＳＮ比（Signal-to-Noise ratio）が著しく悪くなる。仮に、部分放電パルスの周波数帯域がナイキストの境界であった場合、ＳＮ比が悪くなるため、部分放電パルスを観測できなかった。

[0009] 本発明はこのような状況に鑑みて成されたものであり、広い帯域であってもサンプリング定理を満たさない条件で部分放電パルスを検出できるようにすることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明は、電力ケーブルにおける部分放電を検出して電力ケーブルの絶縁劣化状態を把握するための部分放電検出装置である。部分放電検出装置は、電力ケーブルに流れる交流波形のアナログ信号をデジタル信号に変換する第１の変換器と、２種類の異なるサンプリング周波数毎に規定される複数のナイキスト周波数領域にある、部分放電の電流のアナログ信号をデジタル信号

に変換する第２の変換器と、第１の変換器で変換された電力ケーブルに流れる交流波形のデジタル信号から求めた交流波形の位相毎に、第２の変換器で変換された部分放電の電流のデジタル信号から求めた電流値の最大値又は総和に基づいて、部分放電の発生を検出する信号処理部と、を備える。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、あるサンプリング周波数でサンプリングされた部分放電の電流のアナログ信号のナイキスト境界に部分放電パルスの周波数帯域が重なっていても、別のサンプリング周波数でサンプリングされたアナログ信号のナイキスト境界とは異なる場所で部分放電パルスが検出される。

上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施の形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]本発明の第１の実施の形態に係る部分放電検出装置を用いて構成される部分放電検出システム１の概略構成例を示すブロック図である。

[図2]本発明の第１の実施の形態に係る部分放電のデータの処理に使用される、測定された電流の交流波形の特定の位相間隔の区間分けと、１つの区間の拡大図である。

[図3]本発明の第１の実施の形態に係る部分放電のデータの処理方法のフローチャートである。

[図4]本発明の第１の実施の形態に係る部分放電検出装置の部分放電検出のデジタル信号処理部の詳細な構成例を示すブロック図である。

[図5]本発明の第１の実施の形態に係る高速ＡＤ変換器のサンプリング切換タイミングの例を示す説明図である。

[図6]本発明の第１の実施の形態に係る高速ＡＤ変換器における２００ＭＨｚと１８０ＭＨｚサンプリング時の周波数帯域を示す説明図である。

[図7]本発明の第１の実施の形態に係る交流波形の位相のカウントと、部分放電の検出処理の例を示すフローチャートである。

[図8]本発明の第１の実施の形態に係る交流波形の１周期で大小判定部が部分

放電を検出する様子を示す説明図である。

[図9]本発明の第１の実施の形態に係る部分放電情報テーブルのクリアと、部分放電情報の通信部への送信処理の例を示すフローチャートである。

[図10]本発明の第１の実施の形態に係る部分放電情報テーブルがクリアされるタイミングと、部分放電情報が送信されるタイミングの例を示す説明図である。

[図11]本発明の第１の実施の形態に係る上位計測装置が電力ケーブルの絶縁劣化の有無を判定する処理の例を示すフローチャートである。

[図12]本発明の第２の実施の形態に係る部分放電検出装置を用いて構成される部分放電検出システム１の概略構成例を示すブロック図である。

[図13]本発明の第２の実施の形態に係る部分放電検出装置の部分放電検出のデジタル信号処理部の詳細な構成例を示すブロック図である。

[図14]本発明の第２の実施の形態に係る第１高速ＡＤ変換器及び第２高速ＡＤ変換器のサンプリングデータの例を示す説明図である。

[図15]本発明の第２の実施の形態に係る交流波形の１周期で大小判定部が部分放電を検出する様子を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、本発明を実施するための形態について、添付図面を参照して説明する。本明細書及び図面において、実質的に同一の機能又は構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複する説明を省略する。

[0014] ［第１の実施の形態］

＜部分放電検出システムの構成例＞

始めに、本発明の第１の実施の形態に係る部分放電検出システムの構成例について説明する。

図１は、第１の実施の形態に係る部分放電検出装置１０００を用いて構成される部分放電検出システム１の概略構成例を示すブロック図である。

[0015] 中間接続箱１０は、電力ケーブル３０同士を接続するように設けられ、接地線により接地されている。接地線には、部分放電を測定する電流測定器（

例えば高周波ＣＴ）４０が取り付けられている。また、電力ケーブル３０には、交流波形を測定するロゴスキーコイル２０が取り付けられている。

[0016] 部分放電検出装置１０００は、電流測定器４０と、ロゴスキーコイル２０にそれぞれ接続される。そして、部分放電検出装置１０００は、本実施の形態に係る部分放電検出方法を用いて、電力ケーブル３０における部分放電を検出して電力ケーブル３０の絶縁劣化状態を把握することが可能である。この部分放電検出装置１０００は、外部ネットワーク５０を介して、上位計測装置６０とデータのやりとりを行うように構成されている。

このように、電力ケーブル３０と中間接続箱１０に対して、ロゴスキーコイル２０と電流測定器４０と部分放電検出装置１０００を設けて、部分放電検出装置１０００と上位計測装置６０がデータのやりとりを行うように、部分放電検出システム１が構成される。

[0017] 部分放電検出装置１０００には、電流測定器４０とロゴスキーコイル２０からそれぞれ出力されたアナログ信号（アナログ値）が入力される。なお、電流測定器４０から出力される信号は、部分放電時に接地線に流れる電流信号である。

[0018] 部分放電検出装置１０００は、低周波アナログ入力回路１１００、低速ＡＤ変換器１１１０、高周波アナログ入力回路１２００、高速ＡＤ変換器１２１０、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００及び通信部１４００を備える。

[0019] 低周波アナログ入力回路１１００には、ロゴスキーコイル２０から出力された、商用周波数の交流波形のアナログ信号が入力される。部分放電検出のデジタル信号処理部１３００は、この信号から電圧位相情報を取得する。

低速ＡＤ変換器１１１０は、電力ケーブル３０に流れる交流波形のアナログ信号をデジタル信号に変換する第１の変換器に相当するものであり、低周波アナログ入力回路１１００に入力された、交流波形のアナログ信号をデジタル化する。低速ＡＤ変換器１１１０においてデジタル化された、交流波形のデジタル信号は、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００に入力され

る。

[0020] 高周波アナログ入力回路１２００には、電流測定器４０から出力された、部分放電の電流のアナログ信号が入力される。

高速ＡＤ変換器１２１０は、２種類の異なるサンプリング周波数毎に規定される複数のナイキスト周波数領域にある、部分放電の電流のアナログ信号をデジタル信号に変換する第２の変換器に相当するものである。このため、高速ＡＤ変換器１２１０は、高周波アナログ入力回路１２００から入力された、部分放電の電流のアナログ信号をデジタル化する。高速ＡＤ変換器１２１０においてデジタル化された、部分放電のデジタル信号は、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００に入力される。

[0021] サンプリング周波数切換器１２２０は、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００から入力される切換信号に基づいて、高速ＡＤ変換器１２１０のサンプリングモードを切換える。サンプリングモードは、例えば１８０ＭＨｚモードと２００ＭＨｚモードとがある。そして、サンプリング周波数切換器１２２０は、高速ＡＤ変換器１２１０に対してサンプリングモード信号に応じて１８０ＭＨｚと２００ＭＨｚのいずれかのサンプリングクロックを出力する。

[0022] 高速ＡＤ変換器１２１０は、サンプリング周波数切換器１２２０から入力されたサンプリングクロックに従って、交流波形の１周期ごとにサンプリング周波数を切換え、部分放電の電流のアナログ信号を１８０ＭＨｚ又は２００ＭＨｚでサンプリングしてデジタル化する。このように高速ＡＤ変換器１２１０は、２種類の異なるサンプリング周波数として、第１のサンプリング周波数（１８０ＭＨｚ）及び第２のサンプリング周波数（２００ＭＨｚ）を用いる。ここで、後述する図６に示すように第１のサンプリング周波数の１／２の値（９０ＭＨｚ）と、第２のサンプリング周波数の１／２の値（１００ＭＨｚ）との最小公倍数の値（９００ＭＨｚ）が、部分放電の周波数帯域（例えば、５０ＭＨz～８００ＭＨz）より大きい値とする。

[0023] 部分放電検出のデジタル信号処理部１３００は、低速ＡＤ変換器１１１０

で変換された電力ケーブル３０に流れる交流波形のデジタル信号から求めた交流波形の位相毎に、高速ＡＤ変換器１２１０で変換された部分放電の電流のデジタル信号から求めた電流値の最大値又は総和に基づいて、部分放電の発生を検出する。このため、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００は、低速ＡＤ変換器１１１０においてデジタル化された交流波形のデジタル信号から交流波形の位相を求める。そして、求めた交流波形の位相情報を用いて、高速ＡＤ変換器１２１０においてデジタル化された部分放電の電流のデジタル信号を処理する。

[0024] 通信部１４００は、図４に示す部分放電情報テーブル１３０５に記録されたデータ（部分放電の検出結果）を、外部ネットワーク５０に接続され、部分放電を監視する上位計測装置６０に出力する。上位計測装置６０に出力されるデータは、該部分放電情報テーブル１３０５に記録された全データであるが、一部のデータだけとしてもよい。

[0025] また、中間接続箱１０で接続された、多数の電力ケーブル３０の全体に対して、複数の部分放電検出装置１０００が設けられる。上位計測装置６０は、外部ネットワーク５０を介して、複数の部分放電検出装置１０００の検出結果を、総合的に監視し、電力ケーブル３０の絶縁劣化の兆候を判断する。

[0026] 部分放電検出装置１０００では、ベースバンド・サンプリング方式とアンダー・サンプリング方式を併用して、高速ＡＤ変換器１２１０におけるアナログ・デジタル変換を行う。ここで、ベースバンド・サンプリング方式は、第１ナイキスト周波数帯域０～１／２・Ｆｓ（サンプリング周波数）を、デジタル化可能なアナログ入力帯域としている。アンダー・サンプリング方式は、サンプリング周波数よりも高周波帯域のアナログ入力に対応するもので、第１以外の、第２、第３、…第ｎナイキスト周波数帯域（ｎ－１）／２～ｎ／２・Ｆｓといった特定のナイキスト周波数帯域に限定した、サンプリング方式である。そして、ベースバンド・サンプリング方式とアンダー・サンプリング方式を併用することで、高周波アナログ入力回路１２００が、広帯域のアナログ信号を高速ＡＤ変換器１２１０に入力させることが可能となる

。

[0027] 次に、第１の実施の形態に係る部分放電のデータの処理方法について、図２と図３を参照して説明する。

図２は、部分放電のデータの処理に使用される、測定された電流の交流波形の特定の位相間隔の区間分けと、１つの区間の例を示す拡大図である。図２に示すチャートは、横軸を位相、縦軸を電圧として表される。

[0028] 交流波形１３１０の特定の位相間隔で規定される１つの区間において、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００は、デジタル化した信号から、部分放電のその区間の電荷量を求める。この電荷量として、部分放電パルス信号１３２０の総和、又は、部分放電パルス信号１３２０の最大値１３３０が求められる。同様に、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００は、特定の位相間隔の全ての区間において、各区間の電荷量として、部分放電パルス信号１３２０の総和又は最大値１３３０を求める。

[0029] 特定の位相間隔は、５０Ｈｚ又は６０Ｈｚの交流波形の１周期３６０°を、所定数で分割して求められる。例えば、１周期３６０°を９６区間に分割することで、１つの区間を３．７５°の位相間隔とすることができる。なお、図２では、図示の都合により、便宜的に、交流波形の１周期を２０区間に分割しているが、図２の２０区間に限定されるものではない。

[0030] また、交流波形１３１０としては、低速ＡＤ変換器１１１０において交流波形のアナログ信号からデジタル化された、交流波形のデジタル信号を用いる。そして、交流波形のデジタル信号から交流波形の位相を求めて、求めた交流波形の位相を用いて、図２に示したように、特定の位相間隔に分割する。

[0031] 上述したように、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００は、特定の位相間隔の全ての区間において、部分放電の電荷量として、部分放電パルス信号１３２０の総和又は最大値を求める。そして、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００における信号処理によって、求めた部分放電の電荷量のデータを間引く。

[0032] そこで、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００における信号処理は、交流波形の所定周期中において、特定の位相間隔の全区間の部分放電の電荷量（部分放電パルス信号１３２０の振幅の総和又は最大値）のうち、最大値の電荷量のみを抽出して記録する。これにより、位相間隔の全区間の所定周期数のデジタルデータが、最大値の電荷量を表す１つのデータに間引かれる。交流波形の所定周期は、例えば、５周期～２０周期の範囲から選定される。

[0033] 例えば、前述した１周期３６０°を９６区間に分割して電荷量を求めて、交流波形の所定周期を１０周期とした場合には、９６×１０＝９６０個の部分放電の電荷量のデータが記録される。このため、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００は、部分放電の電荷量の最大値を表す１個のデータだけが残るように、他のデータを間引く。

[0034] 上述したように位相間隔の全区間の所定周期数のデジタルデータを１つの最大値の電荷量に間引いても、間引いた後の最大値の電荷量が部分放電の有無に応じて変化するので、最大値の電荷量に部分放電の有無が反映される。従って、最大値の電荷量によって、部分放電の有無を検出することができる。

[0035] このように部分放電検出のデジタル信号処理部１３００は、データを間引いて、残ったデータ（抽出した最大値の電荷量のデータ）を、通信部１４００から外部ネットワーク５０を介して、上位計測装置６０に送信する。

[0036] 上位計測装置６０では、外部ネットワーク５０から受信したデータ（最大値の電荷量のデータ）の推移を監視する。上位計測装置６０において、最大値の電荷量の推移を監視することにより、電力ケーブル３０の絶縁劣化の兆候を監視することができる。また、既設の電力ケーブル３０の劣化の状態を調べて、寿命を予測することができる。

そして、上位計測装置６０において、受信した現在の部分放電の最大の電荷量のデータと、過去に受信した部分放電の最大の電荷量のデータとの比較を、継続的に行うようにすれば、多数の電力ケーブル３０全体の劣化の進行

状況を随時把握することができる。

[0037] 以上説明した部分放電のデータの処理方法を、フローチャートにまとめて図３に示す。

図３は、部分放電のデータの処理方法の例を示すフローチャートである。

[0038] 始めに、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００は、交流波形の特定の位相間隔の区間毎の電流の最大値又は総和を全ての区間で求め、これを各区間の電荷量とする（Ｓ１）。

次に、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００は、交流波形の所定周期数毎に、区間の電荷量の最大値を抽出する（Ｓ２）。これにより、（１周期の区間数×周期数）個のデータが１個のデータに間引かれる。

[0039] 次に、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００は、抽出した電荷量の最大値のデータを、通信部１４００を介して上位計測装置６０に送信する（Ｓ３）。

このようにして、抽出により間引いたデータが上位計測装置６０に送信されるので、上位計測装置６０に送るデータの量を減らすことができる。

[0040] 部分放電検出装置１０００は、電力ケーブル３０に常時設置されており、電力ケーブル３０の状態を監視する。そして、部分放電検出装置１０００は、データを間引いて、上位計測装置６０に送るデータの量を減らすことにより、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００のコストや消費電力を低減することができる。これにより、部分放電検出装置１０００の常時設置を実現することが可能になる。

[0041] なお、図１に示した低周波アナログ入力回路１１００、高周波アナログ入力回路１２００、低速ＡＤ変換器１１１０、高速ＡＤ変換器１２１０、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００は、ハードウェア又はコンピュータソフトウェアのいずれでも構成することが可能である。

各処理部をハードウェアで構成する場合には、部分放電検出装置１０００内に設けられた集積回路等で構成する。

各処理部をコンピュータソフトウェアで構成する場合には、アナログ入力

回路、ＡＤ変換器、部分放電検出のデジタル信号処理部のそれぞれの機能を実現するプログラムをマイクロコンピュータ等のプロセッサが解釈して、実行可能となるように構成する。

また、一部をハードウェアで構成して、残りをコンピュータソフトウェアで構成することも可能である。

[0042] より好ましくは、図１に示した低周波アナログ入力回路１１００、高周波アナログ入力回路１２００、低速ＡＤ変換器１１１０、高速ＡＤ変換器１２１０、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００をハードウェアで構成する。

これらの処理部をコンピュータソフトウェアで構成した場合には、計算結果等を記憶するメモリが必要になり、ソフトウェアの起動やメモリの動作のための電力も必要となる。

これに対して、ハードウェアで構成した場合には、ソフトウェアの起動やメモリの動作のための電力は不要であるため、コンピュータソフトウェアで構成した場合と比較して、部分放電検出装置１０００の動作に必要な電力を少なくすることができる。これにより、多数の電力ケーブル３０全体に対して、より多くの部分放電検出装置１０００を設置することが可能になる。

[0043] そして、高周波アナログ入力回路１２００の折返しノイズフィルタの特性により、後述する図６に示すように複数のナイキスト周波数領域のアナログ信号を通過させることができる。そして、高速ＡＤ変換器１２１０において、複数のナイキスト周波数領域のアナログ信号に対して、デジタル信号への変換が行われる。これにより、複数のナイキスト周波数領域という広帯域（例えば、５０ＭＨｚ～８００ＭＨｚ）のアナログ信号をデジタル信号に変換するので、広帯域にわたって発生する部分放電を検出することができる。

[0044] また、複数のナイキスト周波数領域のアナログ信号を変換するので、第１ナイキスト周波数領域のアナログ信号を変換するベースバンド・サンプリング方式と比較して、サンプリング周波数を低減することができる。これにより、高速ＡＤ変換器１２１０とデジタル信号処理部１３００に高価な部品を

使用する必要がなく、比較的安価な部品で高速ＡＤ変換器１２１０とデジタル信号処理部１３００を構成することができる。このため、比較的安価な部品を組み合わせて、部分放電を検出するための構成を実現することが可能である。

[0045] また、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００は、交流波形の１周期を所定の位相間隔に分割して、所定の位相間隔の全区間について、部分放電の電荷量（部分放電の電流値の最大値又は総和）を求める。これにより、高速ＡＤ変換器１２１０においてデジタル変換した部分放電の電流のデジタル信号の全体の信号から、部分放電の電荷量（電流の最大値又は総和）の信号になるため、信号の量が低減される。

[0046] さらに、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００は、全区間の交流波形の所定の周期数毎における部分放電の電荷量の最大値を抽出する。これにより、（区間数×所定の周期数）の個数の電荷量の信号が、最大値の電荷量の１個の信号に間引かれて、信号の量が低減される。

[0047] このように、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００が、高速ＡＤ変換器１２１０においてデジタル変換された、部分放電の電流の信号の量を低減する処理を行っている。これにより、複数のナイキスト周波数領域という広範囲の周波数領域の信号を取り扱っていても、処理の後の信号の量が少なくなる。信号の量が少なくなるので、信号を記憶するための構成（メモリ等）の簡略化、通信部１４００から外部ネットワーク５０にデータを送信する際のオーバーフローの防止、部分放電検出装置１０００の消費電力の低減、等を実現することが可能になる。

[0048] また、低速ＡＤ変換器１１１０においてデジタル変換された、交流波形のデジタル信号から交流波形の位相を求め、この交流波形の位相を用いて所定位相間隔の区間に分割して、部分放電の信号の低減を行っている。交流波形の位相を用いることにより、広範囲の周波数領域の信号から、容易に信号の量を低減することができる。

[0049] また、通信部１４００から外部ネットワーク５０に送信する際に、オーバ

ーフローを防止することができることにより、上位計測装置６０において、リアルタイムで確実に部分放電の発生を把握することが可能になる。

[0050] 部分放電検出装置１０００の消費電力を低減できることにより、多数の電力ケーブル３０全体に対して、より多くの部分放電検出装置１０００を設置することが可能になる。また、部分放電検出装置を測定したい箇所に移動させることが主体であった、従来の検出方法に対して、多数の部分放電検出装置１０００を据え置きで設置して、上位計測装置６０において部分放電の発生を常時監視することが可能になる。

[0051] そして、第１の実施の形態では、高速ＡＤ変換器１２１０においてデジタル変換した部分放電の電流のデジタル信号の全体の信号から、交流波形の所定の周期数毎に最大値の電荷量の１個の信号に低減されるので、信号の量が大幅に低減される。これにより、信号を記憶するための構成（メモリ等）の簡略化や、部分放電検出装置１０００の消費電力の低減の効果が大きくなり、部分放電検出装置１０００の構成の簡略化や部品コストの低減を図ることが可能になる。

[0052] さらに、部分放電検出装置１０００が通信部１４００を備え、通信部１４００が外部ネットワーク５０を介して上位計測装置６０と接続され、通信部１４００からデータを送信するように構成している。これにより、部分放電検出装置１０００と上位計測装置６０とを有線で接続した場合と比較して、部分放電検出装置１０００の設置の自由度が高まり、多数の電力ケーブル３０全体に対して、より多くの部分放電検出装置１０００を設置することが可能になる。

[0053] ＜部分放電検出のデジタル信号処理部の構成例＞

図４は、部分放電検出装置１０００の部分放電検出のデジタル信号処理部１３００の詳細な構成例を示すブロック図である。

[0054] 部分放電検出のデジタル信号処理部１３００は、位相ゼロ検出部１３０１、周期カウンタ１３０２、高速ＡＤデータ入力回数カウンタ１３０３、位相カウンタ１３０４、部分放電情報テーブル１３０５及び大小判定部１３０６

を有する。

[0055] 位相ゼロ検出部１３０１は、低速ＡＤ変換器１１１０からの交流波形サンプルデータから、交流波形の位相０（位相０°）を検出する。検出後は位相カウンタ１３０４にリセットを出力すると共に、サンプリング周波数切換器１２２０にサンプリングモード信号の切換を実施する。

[0056] 周期カウンタ１３０２は、位相ゼロ検出部１３０１からの信号を用いて、交流波形の周期をカウントし、カウントした周期数を部分放電情報テーブル１３０５に出力する。また、周期カウンタ１３０２は、所定のタイミングで部分放電情報テーブル１３０５の全データを通信部１４００に送信する送信指示を出力し、その後、部分放電情報テーブル１３０５の全データをクリアする指示を行う。周期カウンタ１３０２から送信指示が出力されるタイミングは、例えば、交流波形の１０周期毎である。

[0057] 高速ＡＤデータ入力回数カウンタ１３０３は、部分放電のデータのサンプリング回数（データ取得回数）をカウントする。

位相カウンタ１３０４は、交流波形の位相０が検出されたタイミングで出力される位相ゼロ検出部１３０１からリセットにより、交流波形の位相カウントをリセットする。その後、高速ＡＤデータ入力回数カウンタ１３０３から入力する信号を用いて、交流波形の位相をカウントする。

[0058] 部分放電情報テーブル１３０５は、第１のサンプリング周波数（１８０ＭＨｚ）で変換されたデジタル信号のデータ、及び第２のサンプリング周波数（２００ＭＨｚ）で変換されたデジタル信号のデータを交流波形の１周期を分割した所定の位相間隔毎に記録する。部分放電情報テーブル１３０５の詳細な構成例は、後述する図８にて説明する。

[0059] 大小判定部１３０６は、部分放電情報テーブル１３０５に記録されたデータと、高速ＡＤ変換器１２１０により変換されたデジタル信号のデータとを同じ位相間隔毎に比較して大小判定を行う。そして、大小判定部１３０６は、部分放電情報テーブル１３０５に記録されたデータより大きいと判定した、高速ＡＤ変換器１２１０により変換されたデジタル信号のデータにより、

部分放電情報テーブル１３０５に記録されたデータを更新する。

[0060] 例えば、大小判定部１３０６は、高速ＡＤ変換器１２１０からの部分放電のサンプルデータと、部分放電情報テーブル１３０５内のリードデータとを比較して、これらのデータの大小を判定する。そして、大小判定部１３０６は、部分放電のサンプルデータがリードデータより大きい場合に、部分放電のサンプルデータを部分放電情報テーブル１３０５に書込むためのライトデータ（図中では、「最大値更新ライトデータ」と記載）を出力する。大小判定部１３０６から出力されたライトデータにより部分放電情報テーブル１３０５の最大値が更新される。

[0061] なお、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００の各部１３０１～１３０６は、ハードウェア又はコンピュータソフトウェアのいずれでも構成することが可能である。

各部１３０１～１３０６をハードウェアで構成する場合には、集積回路等で構成する。

また、各部１３０１～１３０６をコンピュータソフトウェアで構成する場合には、各部１３０１～１３０６のそれぞれの機能を実現するプログラムを使用して、マイクロコンピュータ等のプロセッサがプログラムを解釈して、実行するように構成する。

また、各部１３０１～１３０６の一部をハードウェアで構成して、残りをコンピュータソフトウェアで構成することも可能である。

[0062] ＜サンプリング切換タイミング＞

図５は、高速ＡＤ変換器１２１０のサンプリング切換タイミングの例を示す説明図である。

[0063] 図５の波形図（１）は、商用周波数の交流波形の例を表す。商用周波数は、例えば、５０Ｈｚ又は６０Ｈｚである。本実施の形態では、商用周波数を５０Ｈｚとして説明する。

[0064] 図５のサンプリング切換タイミング（２）は、高速ＡＤ変換器１２１０がサンプリング周波数を切替えるタイミングを表す。商用周波数の交流波形の

１周期毎に、高速ＡＤ変換器１２１０のサンプリング周波数が、１８０ＭＨｚ又は２００ＭＨｚのいずれかに切換えられる。このように高速ＡＤ変換器１２１０は、第１のサンプリング周波数（１８０ＭＨｚ）でアナログ信号をデジタル信号に変換する処理と、第２のサンプリング周波数（２００ＭＨｚ）でアナログ信号をデジタル信号に変換する処理とを、交流波形の所定の周期毎に交互に切換える。

[0065] 図５のサンプリングデータ（３）は、交流波形の１周期毎に高速ＡＤ変換器１２１０から出力される１８０ＭＨｚ又は２００ＭＨｚの部分放電パルスのサンプリングデータを表す。１８０ＭＨｚと２００ＭＨｚのサンプリングデータは、部分放電情報テーブル１３０５に記憶される最大値よりも大きいか否かを判定する大小判定が実施される。そして、大きい方の値で、部分放電情報テーブル１３０５のデータが更新される。

[0066] 部分放電情報テーブル１３０５に記録される全データは、通信部１４００に渡された後、部分放電検出結果として外部ネットワーク５０に出力される。そして、上位計測装置６０が、外部ネットワーク５０を介して部分放電情報テーブル１３０５の全データを受信して、総合的に部分放電の監視を実施する。

[0067] 図６は、高速ＡＤ変換器１２１０における２００ＭＨｚと１８０ＭＨｚサンプリング時の周波数帯域を示す説明図である。第１～第ｎのナイキスト境界は、サンプリング周波数の１／２の帯域間隔となる。即ち、ナイキストの境界は、例えば２００ＭＨｚサンプリングの場合に１００ＭＨｚ毎に現れ、１８０ＭＨｚサンプリングの場合に９０ＭＨｚ毎に現れる。

[0068] 図６の上段に示すように、部分放電パルスの周波数帯域は、５０ＭＨｚ～８００ＭＨｚの範囲内で発生すると考えられる。このため、２種類のサンプリング周波数は、できるだけ広帯域でナイキスト境界が重複しないように設定される。ここで、サンプリング周波数の設定は、２種類のサンプリング周波数１／２（ナイキスト境界の周波数）の最小公倍数の値が、部分放電パルスの周波数帯域より大きい条件に設定する。

[0069] 例えば部分放電パルスが２００ＭＨｚであった場合、２００ＭＨｚサンプリング条件では、部分放電パルスを検出できなくても、１８０ＭＨｚサンプリング条件では部分放電パルスを検出できる。逆に、部分放電パルスが１８０ＭＨｚであった場合、１８０ＭＨｚサンプリング条件では、部分放電パルスを検出できなくても、２００ＭＨｚサンプリング条件では、部分放電パルスを検出できる。

以上により、サンプリング定理を満たさない高速ＡＤ変換器１２１０であっても、確実に部分放電パルスを観測することができる。

[0070] ＜交流波形の位相のカウント処理、及び部分放電の検出処理＞

次に、部分放電のデータの処理方法のうちの、交流波形の位相のカウントと、部分放電の検出について、図７及び図８を参照して説明する。

図７は、交流波形の位相のカウントと、部分放電の検出処理の例を示すフローチャートである。

図８は、交流波形の１周期で大小判定部１３０６が部分放電を検出する様子を示す説明図である。

[0071] 始めに、図７の最上部（即ち、開始時点）に示すように、位相ゼロ検出部１３０１が、５０Ｈｚの交流波形取得用の低速ＡＤ変換器１１１０から入力される交流波形サンプルデータに基づいて、交流波形の位相０°を検出する。

この時、図８に示すように、交流波形１３１０が左端のゼロクロス点となっている。

[0072] 次に、位相ゼロ検出部１３０１が位相０°を検出したときに、位相ゼロ検出部１３０１から位相カウンタ１３０４へ、リセットパルス（初期化のパルス）を出力して、位相カウンタ１３０４を初期化する（Ｓ１１）。この時、図８の左上に示すように、位相カウンタ１３０４の値が「０」になる。

[0073] 次に、大小判定部１３０６は、位相カウンタ１３０４を参照する部分放電情報テーブル１３０５より、位相カウンタ１３０４の位相に対応する検出最大値を取得する（Ｓ１２）。ここで、位相カウンタ１３０４の位相が参照ア

ドレスとして部分放電情報テーブル１３０５に送られる。そして、参照アドレスに対応する検出最大値（リードデータ）が部分放電情報テーブル１３０５から取得され、大小判定部１３０６に送られる。

[0074] 部分放電情報テーブル１３０５は、図８の右下に示すように、位相の３．７５°毎の区間（９６個の区間）の位相と、その位相の区間の交流波形１０周期分の検出最大値（１０周期分の部分放電の電荷量の最大値）とから構成されている。そして、大小判定部１３０６は、位相カウンタ１３０４の位相（０，３．７５，７．５，・・・，３５６．２５）の値を参照アドレスとして、部分放電情報テーブル１３０５から、その位相の区間の交流波形１０周期分の検出最大値（リードデータ）を取得する。

[0075] 次に、大小判定部１３０６は、高速ＡＤ変換器１２１０より取得した部分放電のサンプルデータから部分放電の入力値（電荷量）を取得する（Ｓ１３）。部分放電の入力値（電荷量）は、図８に示すように、高速ＡＤ変換器１２１０の１８０ＭＨｚのサンプリング間隔（５．５５ｎｓ）、又は高速ＡＤ変換器１２１０の２００ＭＨｚのサンプリング間隔（５ｎｓ）でサンプリングされた、部分放電パルス信号１３２０として表される。

[0076] 次に、大小判定部１３０６は、部分放電情報テーブル１３０５より取得した部分放電の検出最大値と、高速ＡＤ変換器１２１０より取得した部分放電の入力値（電荷量）を比較する（Ｓ１４）。最大値（部分放電情報テーブル１３０５の検出最大値）＜入力値の場合（Ｓ１４のＹｅｓ）、大小判定部１３０６は、部分放電情報テーブル１３０５の最大値（検出最大値）を入力値に更新して（Ｓ１５）、ステップＳ１６に進む。

[0077] 最大値（部分放電情報テーブル１３０５の検出最大値）≧入力値の場合（Ｓ１４のＮｏ）、部分放電情報テーブル１３０５の更新は行われない。そして、Ｓ１４のＮｏ、又はステップＳ１５の処理の後、大小判定部１３０６は、サンプリング周波数の値が、１８０ＭＨｚ又は２００ＭＨｚのいずれであるかを判定する（Ｓ１６）。

[0078] 大小判定部１３０６により、サンプリング周波数の値が２００ＭＨｚと判

定された場合、高速ＡＤデータ入力回数カウンタ１３０３は、高速ＡＤ変換器１２１０から４１６００回入力値を取得したか（位相３．７５°を経過したか）を、経過時間に基づいて確認する（Ｓ１７）。

[0079] ここで、入力値の回数＝（経過時間／サンプリング間隔５ｎｓ）であり、４１６００回の入力値となるのは約２０８μｓである。このため、２０８μｓ経過する毎に、高速ＡＤデータ入力回数カウンタ１３０３から信号を出力すればよい。

[0080] そして、高速ＡＤデータ入力回数カウンタ１３０３は、４１６００回入力値を取得した場合（Ｓ１７のＹｅｓ）、ステップＳ１９に進む。一方、高速ＡＤデータ入力回数カウンタ１３０３は、４１６００回入力値を取得していない場合（Ｓ１７のＮｏ）、ステップＳ１２に戻って処理を続ける。

[0081] 一方、ステップＳ１６にて大小判定部１３０６により、サンプリング周波数の値が１８０ＭＨｚと判定された場合、高速ＡＤデータ入力回数カウンタ１３０３は、高速ＡＤ変換器１２１０から３７４４４回入力値を取得したか（位相３．７５°を経過したか）を、経過時間に基づいて確認する（Ｓ１８）。

[0082] ここで、入力値の回数＝（経過時間／サンプリング間隔５．５５ｎｓ）であり、３７４４４回の入力値となるのは約２０８μｓである。このため、２０８μｓ経過する毎に、高速ＡＤデータ入力回数カウンタ１３０３から信号を出力すればよい。

[0083] そして、高速ＡＤデータ入力回数カウンタ１３０３は、３７４４４回入力値を取得した場合（Ｓ１８のＹｅｓ）、ステップＳ１９に進む。一方、高速ＡＤデータ入力回数カウンタ１３０３は、３７４４４回入力値を取得していない場合（Ｓ１８のＮｏ）、ステップＳ１２に戻って処理を続ける。

[0084] このように、サンプリング周波数の値が、１８０ＭＨｚであれば３７４４４回、サンプリング周波数の値が、２００ＭＨｚであれば４１６００回、高速ＡＤデータ入力回数カウンタ１３０３が入力値を取得するまで、ステップＳ１２～Ｓ１８の各ステップが繰り返される。これにより、図８に示す部分

放電パルス信号１３２０の入力値（電荷量）のうちの最大値１３３０を、部分放電情報テーブル１３０５の検出最大値と比較することになる。そして、入力値の最大値１３３０の方が大きければ、部分放電情報テーブル１３０５の検出最大値が入力値の最大値１３３０に更新される。

[0085] ステップＳ１７のＹｅｓ、又はステップＳ１８のＹｅｓの後、位相カウンタ１３０４を＋３．７５°進め（Ｓ１９）、ステップＳ１２に進む。この時、高速ＡＤデータ入力回数カウンタ１３０３から、位相カウンタ１３０４へ、３．７５°経過インクリメントの信号を出力する。

[0086] この時、図８においては、位相カウンタ１３０４が、次の位相の区間に移る。例えば位相３．７５の区間から位相７．５の区間に移る。

[0087] そして、次の位相の区間について、部分放電の入力値の取得、及び、入力値と部分放電情報テーブル１３０５の検出最大値の比較が実行される。このようにして、交流波形の位相のカウントと、部分放電の検出が実行されることにより、交流波形の所定位相間隔の各区間について、部分放電の入力値（電荷量）が検出され、各区間の部分放電の電荷量の最大値が抽出される。

[0088] さらに、交流波形１３１０の次の周期では、位相ゼロ検出部１３０１がサンプリングモードの切換えをサンプリング周波数切換器１２２０に指示する。そして、高速ＡＤ変換器１２１０のサンプリングモードが、前の交流波形１３１０の周期で設定されていたサンプリングモードとは異なるサンプリングモードに切換わる。例えば、前の周期で１８０ＭＨｚモードが設定されていれば、次の周期で２００ＭＨｚのサンプリングモードが設定される。逆に、前の周期で２００ＭＨｚのサンプリングモードが設定されていれば、次の周期で１８０ＭＨｚのサンプリングモードが設定される。その後、切換わったサンプリングモードにより、図７に示した処理が行われる。

[0089] ＜部分放電情報テーブルのクリアと、部分放電情報の通信部への送信処理＞

次に、部分放電のデータの処理方法のうちの、部分放電情報テーブル１３０５のクリアと、部分放電情報の通信部１４００への送信について、図４、図９及び図１０を参照して説明する。

図９は、部分放電情報テーブル１３０５をクリアする処理と、部分放電情報の通信部１４００への送信処理の例を示すフローチャートである。

図１０は、部分放電情報テーブル１３０５がクリアされるタイミングと、部分放電情報が送信されるタイミングの例を示す説明図である。

[0090] 始めに、交流波形の周期カウンタ１３０２が初期化される（Ｓ２１）。この時、周期カウンタ１３０２は、図１０に示すように、値「０」に初期化される。

[0091] 次に、部分放電情報テーブル１３０５がクリアされる（Ｓ２２）。この時、周期カウンタ１３０２から部分放電情報テーブル１３０５へ、テーブルクリアの信号が送られる。そして、図１０に示すように、テーブルクリアの信号が入力された、部分放電情報テーブル１３０５がクリアされる。

[0092] 次に、位相ゼロ検出部１３０１は、交流波形の位相０°を検出したかを確認する（Ｓ２３）。このステップＳ２３は、図７のフローチャートの最上部（開始時点）に記載された、位相０°の検出と同じ処理を表す。位相ゼロ検出部１３０１が位相０°を検出した場合（Ｓ２３のＹｅｓ）、ステップＳ２４に進み、位相０°を検出していない場合（Ｓ２３のＮｏ）、ステップＳ２３の前に戻る。

[0093] 次に、ステップＳ２３のＹｅｓの場合、周期カウンタ１３０２は、交流波形が１０周期目であるかを確認する（Ｓ２４）。交流波形が１０周期目である場合（Ｓ２４のＹｅｓ）、ステップＳ２５に進み、交流波形が１０周期目ではない場合（Ｓ２４のＮｏ）、ステップＳ２６に進む。

[0094] 周期カウンタ１３０２が、交流波形の１０周期目と判定した場合（Ｓ２４のＹｅｓ）、部分放電情報テーブル１３０５から、部分放電情報テーブル１３０５の全データが通信部１４００に送信される（Ｓ２５）。その後、位相ゼロ検出部１３０１は、周期カウンタ１３０２を初期化する。

[0095] この時、図１０では、周期カウンタ１３０２の値が１０周期目に当たる「９」である。その後、周期カウンタ１３０２が初期化されることにより、周期カウンタ１３０２の値が１周期目に当たる「０」に戻る。

[0096] また、周期カウンタ１３０２を初期化し、部分放電情報テーブル１３０５をクリアする前に、通信部１４００に送信した部分放電情報テーブル１３０５の全データが通信部１４００から上位計測装置６０へ送信される。そして、周期カウンタ１３０２を初期化する際に、部分放電情報テーブル１３０５のクリアも実行される。

[0097] 周期カウンタ１３０２が、交流波形の１０周期目ではないと判定した場合（Ｓ２４のＮｏ）、位相ゼロ検出部１３０１からの交流周期インクリメントの信号が、周期カウンタ１３０２に入力されて、周期カウンタ１３０２がインクリメントされる（Ｓ２６）。この時、図１０に示すように、周期カウンタ１３０２の値が、０から１、１から２、２から３と、１つ増えて、交流波形の次の周期に移行する。

[0098] このように、交流波形が１０周期を経過するまで、ステップＳ２３～Ｓ２６の各ステップが繰り返される。これにより、交流波形の位相０°を起点として交流波形の周期が計測され、交流波形の１０周期が経過する毎に、部分放電情報テーブル１３０５から全データが通信部１４００に送信される。そして、周期カウンタ１３０２が初期化され、部分放電情報テーブル１３０５がクリアされた後、次の１０周期における処理に移行する。

[0099] ＜上位計測装置におけるデータの推移の監視＞

次に、上位計測装置６０におけるデータの推移の監視について説明する。

上位計測装置６０は、部分放電検出装置１０００の通信部１４００から受信した部分放電情報テーブル１３０５のデータを、過去に受信した部分放電情報テーブル１３０５を参照して、比較を行う。そして、通信部１４００から受信した、現在の部分放電情報テーブル１３０５のデータが、参照した過去に受信した部分放電情報テーブル１３０５のデータと比較して、部分放電の検出最大値の増加が大きいと判定した場合には、電力ケーブル３０に絶縁劣化の兆候があることを警告する。

[0100] なお、上位計測装置６０が参照する、過去に部分放電検出装置１０００から受信した部分放電情報テーブル１３０５の受信時期は、ユーザーの設定に

より、１日前、１ヶ月前、１年前、等々、任意に選べるようにすることが好ましい。

また、部分放電の検出最大値の増加が大きいと判定する基準としては、例えば、検出最大値が２倍以上になる等、所定の基準を選定すればよい。

[0101] ＜電力ケーブルの絶縁劣化の有無の判定方法＞

次に、電力ケーブルの絶縁劣化の有無の判定方法について、説明する。

図１１は、上位計測装置６０が電力ケーブルの絶縁劣化の有無を判定する処理の例を示すフローチャートである。

[0102] 始めに、図１１の最上部（即ち、開始時点）に示すように、上位計測装置６０が部分放電情報テーブル１３０５を受信する。即ち、通信部１４００から送信された、部分放電情報テーブル１３０５の全データを、上位計測装置６０で受信する。

[0103] 次に、上位計測装置６０は、過去に受信した部分放電情報テーブル１３０５を参照する（Ｓ３１）。次に、上位計測装置６０は、過去に受信したテーブルのデータと、現在の受信したテーブルのデータとを、交流波形の位相毎に比較する（Ｓ３２）。

[0104] そして、上位計測装置６０は、過去と比較して部分放電として検出されたデータの最大値の増加が大きいか判定する（Ｓ３３）。上位計測装置６０は、過去と比較して部分放電として検出されたデータの最大値の増加が大きいと判定した場合（Ｓ３３のＹｅｓ）、「絶縁劣化の兆候有り」の警告を出力し（Ｓ３４）、本処理を終了する。

[0105] 一方、上位計測装置６０は、過去と比較して部分放電として検出されたデータの最大値の増加が大きくないと判定した場合（Ｓ３３のＮｏ）、「絶縁劣化の兆候無し」として、警告は行わず（Ｓ３５）、本処理を終了する。

[0106] このようにして、上位計測装置６０において、絶縁劣化の兆候が有ると判定した場合には、警告を出力して、絶縁劣化の兆候を周知させることができる。

[0107] 以上説明した第１の実施の形態に係る部分放電検出装置１０００では、部

分放電パルスの周波数成分が、第１、第２、第３、第ｎナイキスト周波数帯域の境界になるのを防ぐため、高速ＡＤ変換器１２１０のサンプリング周波数を２種類（１８０ＭＨｚ又は２００ＭＨｚ）としている。また、サンプリング周波数の切換は、商用周波数の周期毎のタイミングで実施される。

[0108] このため、広帯域の部分放電パルスに対して、サンプリング定理を満たさない条件で高速ＡＤ変換器１２１０が部分放電パルスの観測を行い、商用周波数のタイミングで、２種類のサンプリング周波数を切換える。そして、高速ＡＤ変換器１２１０が高周波アナログ入力回路１２００から入力されたアナログ信号をデジタル化する。大小判定部１３０６は、高周波アナログ入力回路１２００から入力する部分放電のサンプルデータと、部分放電情報テーブル１３０５内のリードデータとを比較してデータの大小を判定し、大きい方のデータで部分放電情報テーブル１３０５を更新する。このため、部分放電情報テーブル１３０５により、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００が、サンプリング定理を満たさない条件で部分放電パルスの有無を検出できる。このように本実施の形態に係る部分放電検出装置１０００では、あるサンプリング周波数でサンプリングされた部分放電の電流のアナログ信号のナイキスト境界に部分放電パルスの周波数帯域が重なっていても、別のサンプリング周波数でサンプリングされたアナログ信号のナイキスト境界とは異なる場所で部分放電パルスを検出することができる。

[0109] また、上位計測装置６０は、過去に受信した部分放電情報テーブル１３０５と、現在、受信した部分放電情報テーブル１３０５とを交流波形の位相毎に比較し、過去と比較して部分放電として検出されたデータの最大値の増加が大きいかを判定する。データの最大値の増加が大きければ、「絶縁劣化の兆候有り」の警告を行うことができる。

[0110] また、上述した実施の形態では、高速ＡＤ変換器１２１０のサンプリング周波数を１８０ＭＨｚ又は２００ＭＨｚとしたが、１８０ＭＨｚ及び２００ＭＨｚ以外の異なるサンプリング周波数でサンプリングを行ってもよい。この場合であっても、２種類のサンプリング周波数の１／２の値の最小公倍数

の値は、部分放電の周波数帯域より大きい値とすることが望ましい。

[0111] ［第２の実施の形態］

次に、本発明の第２の実施の形態に係る部分放電検出装置の構成例について、図１２～図１５を参照して説明する。

[0112] 図１２は、第２の実施の形態に係る部分放電検出装置１０００Ａを用いて構成される部分放電検出システム１Ａの概略構成例を示すブロック図である。

[0113] 第２の実施の形態に係る部分放電検出システム１Ａを構成する部分放電検出装置１０００Ａでは、電流測定器４０に２つの高周波アナログ入力回路１２００，１５００が接続される。高周波アナログ入力回路１２００，１５００には、電流測定器４０から同じアナログ信号（アナログ値）が入力される。

[0114] 高周波アナログ入力回路１２００からのアナログ信号が、第１高速ＡＤ変換器１２３０に入力される。第１高速ＡＤ変換器１２３０は、２００ＭＨｚ発振器１２４０から入力される２００ＭＨｚのサンプリングクロックに基づいて、２００ＭＨｚのサンプリング周波数で高周波アナログ入力回路１２００から入力したアナログ信号をデジタル化する。そして、２００ＭＨｚのサンプリング周波数でデジタル化された交流波形のデジタル信号が、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００Ａに入力される。第１高速ＡＤ変換器１２３０がデジタル信号処理部１３００Ａに入力するデジタル信号を、「部分放電の第１サンプルデータ」とも呼ぶ。

[0115] また、高周波アナログ入力回路１５００からのアナログ信号が、第２高速ＡＤ変換器１５１０に入力される。第２高速ＡＤ変換器１５１０は、１８０ＭＨｚ発振器１５２０から入力される１８０ＭＨｚのサンプリングクロックに基づいて、１８０ＭＨｚのサンプリング周波数で、高周波アナログ入力回路１５００から入力したアナログ信号をデジタル化する。そして、１８０ＭＨｚのサンプリング周波数でデジタル化された交流波形のデジタル信号が、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００Ａに入力される。第２高速ＡＤ

変換器１５１０がデジタル信号処理部１３００Ａに入力するデジタル信号を、「部分放電の第２サンプルデータ」とも呼ぶ。

[0116] 部分放電検出のデジタル信号処理部１３００Ａは、低速ＡＤ変換器１１１０から入力される商用周波数の交流波形のデジタル信号、第１高速ＡＤ変換器１２３０及び第２高速ＡＤ変換器１５１０からそれぞれ入力される部分放電電流のデジタル信号に基づいて、部分放電検出のためのデジタル信号処理を行う。このため、本実施の形態に係る部分放電検出装置１０００Ａでは、第１の実施の形態に係る部分放電検出装置１０００が備えていたサンプリング周波数切換器１２２０が不要となる。

[0117] ＜部分放電検出のデジタル信号処理部の構成例＞

図１３は、部分放電検出装置１０００の部分放電検出のデジタル信号処理部１３００Ａの詳細な構成例を示すブロック図である。

[0118] 部分放電検出のデジタル信号処理部１３００Ａは、第１の実施の形態に係る部分放電検出のデジタル信号処理部１３００と同様の構成としているが、大小判定部１３０６Ａに入力されるデータが異なる。具体的には、大小判定部１３０６Ａに対して、第１高速ＡＤ変換器１２３０から部分放電の第１サンプルデータが入力され、第２高速ＡＤ変換器１５１０から部分放電の第２サンプルデータが入力される。

[0119] そして、大小判定部１３０６Ａは、部分放電の第１サンプルデータ及び第２サンプルデータを重ねた値と、部分放電情報テーブル１３０５から読み出した最大値のいずれが大きいか大小判定を実施する。部分放電の第１サンプルデータ及び第２サンプルデータを重ねた値が、部分放電情報テーブル１３０５から読み出した最大値より大きい場合に、大小判定部１３０６Ａは、部分放電情報テーブル１３０５のデータを更新する。

[0120] 図１４は、第１高速ＡＤ変換器１２３０及び第２高速ＡＤ変換器１５１０のサンプリングデータの例を示す説明図である。

[0121] 図１４の波形図（１）は、商用周波数の交流波形の例を表す。商用周波数は、例えば、５０Ｈｚ又は６０Ｈｚである。

[0122] 図１４のサンプリングデータ（２）は、第１高速ＡＤ変換器１２３０が２００ＭＨｚのサンプリング周波数でサンプリングした部分放電パルスのサンプリングデータを表す。このとき、第１高速ＡＤ変換器１２３０は、第１のサンプリング周波数（２００ＭＨｚ）でアナログ信号をデジタル信号に変換する処理を行う。

[0123] 図１４のサンプリングデータ（３）は、第２高速ＡＤ変換器１５１０が１８０ＭＨｚのサンプリング周波数でサンプリングした部分放電パルスのサンプリングデータを表す。このとき、第２高速ＡＤ変換器１５１０は、第２のサンプリング周波数（１８０ＭＨｚ）でアナログ信号をデジタル信号に変換する処理を行う。

[0124] 図１４のサンプリングデータ（４）は、重ねられた２００ＭＨｚのサンプリングデータと１８０ＭＨｚのサンプリングデータを表す。第１高速ＡＤ変換器１２３０及び第２高速ＡＤ変換器１５１０がそれぞれアナログ信号をデジタル信号に変換する処理は、交流波形の１周期を分割した同じ位相間隔毎に行われる。

[0125] このように２００ＭＨｚのサンプリングデータと１８０ＭＨｚのサンプリングデータが重ねられることで、大小判定部１３０６Ａは、商用周波数の交流波形の位相毎に、サンプリングデータの最大値を求めることが可能となる。

[0126] 図１５は、交流波形の１周期で大小判定部１３０６Ａが部分放電を検出する様子を示す説明図である。

上述したように、位相カウンタ１３０４の位相（０，３．７５，７．５，・・・，３５６．２５）毎に、２００ＭＨｚのサンプリングデータと１８０ＭＨｚのサンプリングデータの値（入力値）が、部分放電情報テーブル１３０５から取得された交流波形１０周期分の検出最大値と比較される。そして、最大値（部分放電情報テーブル１３０５の検出最大値）＜入力値の場合、大小判定部１３０６Ａは、部分放電情報テーブル１３０５の最大値（検出最大値）を、入力値に更新する。

[0127] 交流波形の１周期における各位相で更新される最大値は、部分放電情報テーブル１３０５から読み出され、通信部１４００を介して上位計測装置６０に送られる。そして、上位計測装置６０は、部分放電検出装置１０００の通信部１４００から受信した部分放電情報テーブル１３０５のデータと、過去に受信した部分放電情報テーブル１３０５を参照して得たデータとを比較する。上位計測装置６０は、過去と比較して部分放電として検出されたデータの最大値の増加が大きいと判定した場合、「絶縁劣化の兆候有り」の警告を出力することができる。

[0128] 以上説明した第２の実施の形態に係る部分放電検出装置１０００Ａでは、第１高速ＡＤ変換器１２３０及び第２高速ＡＤ変換器１５１０を備えたことで、交流波形の同じ位相間隔で、異なる２種類のサンプリング周波数でアナログ信号をデジタル化することが可能となる。そして、大小判定部１３０６Ａは、２種類のサンプルデータを部分放電情報テーブル１３０５内のリードデータとを比較してデータの大小を判定する。これにより、部分放電検出のデジタル信号処理部１３００が、部分放電パルスの有無を確実に確認できるようになる。

[0129] ［変形例］

上述した各実施の形態では、交流波形１３１０の特定の位相間隔を、９６分割の位相３．７５°の区間とし、さらに電荷量の最大値を抽出する交流波形１３１０の所定周期を１０周期とした例で説明を行った。しかし、交流波形の特定の位相間隔の分割の数や、電荷量の最大値を抽出する交流波形の周期の数は、この例に限定されず、その他の数としてもよい。

そして、位相間隔の分割の数や、交流波形の周期の数をパラメータとして、任意に設定を変更できるよう制御可能なコンピュータプログラム等で構成してもよい。

[0130] また、電荷量の最大値を抽出する交流波形の周期の数は、例えば、部分放電を検出するナイキスト周波数領域の範囲に合わせて、第１ナイキスト領域のみの場合に１周期として、第１～第ｎナイキスト領域を確認する場合に（

ｎ×２）周期としてもよい。

[0131] 上述した各実施の形態では、図２や図８に示した部分放電パルス信号１３２０から、部分放電の電荷量を求める処理を、交流波形１３１０の特定の位相間隔の全区間（例えば、９６分割の全区間）について行った。

これに対して、部分放電のデジタル信号処理部１３００，１３００Ａは、交流波形の特定の位相間隔のうちの一部の区間について、部分放電の電荷量を求める処理を行うことも可能である。一部の区間について部分放電の電荷量を求めることにより、全区間について部分放電の電荷量を求めるよりも、データの量を予め減らすことが可能になる。

[0132] ただし、部分放電のデジタル信号処理部１３００，１３００Ａが、一部の区間について部分放電の電荷量を求めた場合には、部分放電の電荷量を求める処理を行わない区間において部分放電が発生したときに、発生した部分放電を検出することができない。したがって、実際の部分放電の発生頻度に対応して、部分放電の電荷量を求める処理を行う区間を選定することになる。

[0133] 部分放電の発生頻度は、５０Ｈｚまたは６０Ｈｚの交流波形のゼロクロス（電流量の符号が変わるゼロ点、位相が０°，１８０°，３６０°の点）近傍が高く、部分放電はゼロクロスの前後に分布する。そこで、例えば、前述した９６分割した９６個の区間のうち、ゼロクロスの前後の部分放電の発生頻度が高い方の所定個数（例えば、５０個や７０個）の区間を選定して、選定した区間について部分放電の電荷量を求めればよい。

[0134] 上述したように、部分放電のデジタル信号処理部１３００，１３００Ａが、交流波形の特定の位相間隔のうちの一部の区間について、部分放電の電荷量を求める場合でも、交流波形のデジタル信号から交流波形の位相を求めて、求めた交流波形の位相を用いて特定の位相間隔に分割する。

[0135] また、上述した各実施の形態と変形例では、交流波形の特定の位相間隔の全てまたは一部の区間について部分放電の電荷量を求め、所定周期数毎に電荷量の最大値を抽出するようにして、信号の量を低減していた。

部分放電のデジタル信号に対して、信号の量を低減する処理の方法は、上

述した実施の形態と変形例の方法に限定されず、その他の方法を採用することもできる。その他の方法を採用する場合でも、交流波形のデジタル信号から交流波形の位相を求め、求めた交流波形の位相を用いて、部分放電のデジタル信号に対して、信号の量を低減する処理を行う。これにより、部分放電のデジタル信号を交流波形の位相と対応させることができるので、特定の位相であるゼロクロス近傍に発生しやすい部分放電をより確実に検出しつつ、部分放電のデジタル信号の量を低減することが可能になる。

[0136] なお、本発明は上述した実施の形態に限られるものではなく、請求の範囲に記載した本発明の要旨を逸脱しない限りその他種々の応用例、変形例を取り得ることは勿論である。

例えば、上述した実施の形態は本発明を分かりやすく説明するために装置及びシステムの構成を詳細かつ具体的に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されない。また、ここで説明した実施の形態の構成の一部を他の実施の形態の構成に置き換えることは可能であり、さらにはある実施の形態の構成に他の実施の形態の構成を加えることも可能である。また、各実施の形態の構成の一部について、他の構成の追加、削除、置換をすることも可能である。

また、制御線や情報線は説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。実際には殆ど全ての構成が相互に接続されていると考えてもよい。

[0137] 上述した実施の形態では、電力ケーブル３０にロゴスキーコイル２０を設置して電流信号を検出し、電圧位相情報を取得する構成例について説明した。電圧位相情報を計測する際は作業性、安全性を考慮する必要があることから、部分放電検出対象の電力ケーブル系統に変圧器を介して電圧変換した商用電源から交流電圧信号を取込み、電圧位相情報として取得しても実現できる。なお、商用電源の交流電圧信号とケーブル系統の交流電圧信号には変圧器を介することによる位相ずれが生じるが、この位相ずれを演算補正して対処することができる。

符号の説明

[0138] １…部分放電検出システム、４０…電流測定器、６０…上位計測装置、１０００…部分放電検出装置、１１００…低周波アナログ入力回路、１１１０…低速ＡＤ変換器、１２００…高周波アナログ入力回路、１２１０…高速ＡＤ変換器、１２２０…サンプリング周波数切換器、１３００…デジタル信号処理部、１３０１…位相ゼロ検出部、１３０２…周期カウンタ、１３０３…高速ＡＤデータ入力回数カウンタ、１３０４…位相カウンタ、１３０５…部分放電情報テーブル、１３０６…大小判定部、１４００…通信部

請求の範囲

[請求項1] 電力ケーブルにおける部分放電を検出して前記電力ケーブルの絶縁劣化状態を把握するための部分放電検出装置であって、

前記電力ケーブルに流れる交流波形のアナログ信号をデジタル信号に変換する第１の変換器と、

２種類の異なるサンプリング周波数毎に規定される複数のナイキスト周波数領域にある、部分放電の電流のアナログ信号をデジタル信号に変換する第２の変換器と、

前記第１の変換器で変換された前記電力ケーブルに流れる前記交流波形のデジタル信号から求めた前記交流波形の位相毎に、前記第２の変換器で変換された前記部分放電の電流の前記デジタル信号から求めた電流値の最大値又は総和に基づいて、前記部分放電を検出する信号処理部と、を備える

部分放電検出装置。

[請求項2] 前記第２の変換器は、２種類の異なる前記サンプリング周波数として、第１のサンプリング周波数及び第２のサンプリング周波数を用い、

前記第１のサンプリング周波数の１／２の値と、前記第２のサンプリング周波数の１／２の値との最小公倍数の値が、前記部分放電の周波数帯域より大きい値とする

請求項１に記載の部分放電検出装置。

[請求項3] 前記信号処理部は、前記第２の変換器によって前記第１のサンプリング周波数で変換された前記デジタル信号のデータ、及び前記第２のサンプリング周波数で変換された前記デジタル信号のデータを前記交流波形の１周期を分割した所定の位相間隔毎に記録するテーブルと、

前記テーブルに記録された前記データと、前記第２の変換器により変換された前記デジタル信号のデータとを同じ前記位相間隔毎に比較して大小判定を行い、前記テーブルに記録された前記データより大き

い前記デジタル信号のデータにより前記テーブルに記録された前記データを更新する大小判定部と、を有する

請求項２に記載の部分放電検出装置。

[請求項4] 前記第２の変換器は、前記第１のサンプリング周波数で前記アナログ信号を前記デジタル信号に変換する処理と、前記第２のサンプリング周波数で前記アナログ信号を前記デジタル信号に変換する処理とを、前記交流波形の所定の周期毎に交互に切換えて行う

請求項３に記載の部分放電検出装置。

[請求項5] 前記第２の変換器は、前記第１のサンプリング周波数で前記アナログ信号を前記デジタル信号に変換する処理と、前記第２のサンプリング周波数で前記アナログ信号を前記デジタル信号に変換する処理とを、同じ前記位相間隔毎に行う

請求項３に記載の部分放電検出装置。

[請求項6] さらに、前記テーブルに記録された前記データを、外部ネットワークに接続され、前記部分放電を監視する上位計測装置に出力する通信部を備える

請求項３に記載の部分放電検出装置。

[請求項7] 電力ケーブルにおける部分放電を検出して前記電力ケーブルの絶縁劣化状態を把握するための部分放電検出方法であって、

前記電力ケーブルに流れる交流波形のアナログ信号をデジタル信号に変換し、

２種類の異なるサンプリング周波数毎に規定される複数のナイキスト周波数領域にある、部分放電の電流のアナログ信号をデジタル信号に変換し、

前記電力ケーブルに流れる前記交流波形のデジタル信号から求めた前記交流波形の位相毎に、前記部分放電の電流の前記デジタル信号から求めた電流値の最大値又は総和に基づいて、前記部分放電を検出する

部分放電検出方法。