

明 細 書

発明の名称：放電検出装置

技術分野

[0001] 本発明は、トラッキング、ショート及び断線などの事故によって発生した放電を検出するための放電検出装置に関する。

背景技術

[0002] 特開 2 0 1 9 - 1 8 4 4 8 0 号公報、及び特開 2 0 2 0 - 1 3 4 2 3 1 号公報には、従来の放電検出装置が記載されている。例えば、住宅の電気回路で放電が発生した場合は、商用電源に高周波帯域のノイズが重畳される。商用電源に重畳されたノイズは、商用電源の波形のピークの前後に現れる。放電検出装置は、電流センサ又は電圧センサによって、商用電源に重畳された高周波数帯域のノイズを検出し、放電が発生したか否かを判定する。

[0003] 図 2 5 は、従来の放電検出装置 1 0 0 の構成を示す。放電検出装置 1 0 0 は、ハイパスフィルタ 1 1 1、増幅器 1 1 2、平滑部 1 1 3 及び判定部 1 1 5 で構成される。ハイパスフィルタ 1 1 1 は、商用電源及び負荷に電氣的に接続される。負荷とは、電力を消費して動作する様々な機器を意味する。

[0004] 図 2 6 は、商用電源の電圧波形、及び放電検出装置 1 0 0 の各構成要素の電圧波形を示す。図 2 5 及び図 2 6 に示された (1)、(2)、(3) 及び (4) の符号は、図 2 5 中の構成要素と、図 2 6 中の出力波形とが対応していることを示す。以下、従来の放電検出装置 1 0 0 の各構成要素の処理について、図 2 5 及び図 2 6 中の (1) ~ (4) を参照しつつ説明する。

[0005] (1) 図 2 6 の最初に示される正弦波は、高周波帯域のノイズが重畳された商用電源の電圧波形である。この正弦波に示されるように、高周波帯域のノイズは、商用電源の電圧波形のピークの前後に現れる。ハイパスフィルタ 1 1 1 は、商用電源の周波数成分のうち、遮断周波数よりも高い周波数成分を減衰させずに通過させる。これにより、商用電源に重畳された高周波帯域のノイズが抽出される。

- [0006] (2) ハイパスフィルタ 111 によって抽出されたノイズは、増幅器 112 によって増幅される。増幅器 112 は、例えば、抽出されたノイズを 20 倍に増幅する。増幅器 112 によって増幅されたノイズは、短い間隔で「0」と「1」とが交互に繰り返されるような波形を描く。このような短い断続的な波形に基づいて、放電が発生したか否かを判定することは難しい。
- [0007] (3) 平滑部 113 は、増幅器 112 によって増幅されたノイズの波形を平滑化する。平滑化は、例えば、増幅されたノイズの波形のピークを繋げる処理である。平滑化されたノイズの波形は、増幅されたノイズの波形中の「1」のピークを繋げた線を描く。
- [0008] (4) 判定部 115 として、例えば、マイクロコントローラユニット (MCU) 又はマイクロコンピュータなどの演算装置が用いられる。判定部 115 は、平滑部 113 によって平滑化されたノイズの波形に基づいて、放電が発生したか否かを判定する。例えば、判定部 115 は、ノイズのレベルが閾値を超えるか否かを判定する。ノイズのレベルが閾値を超える場合、判定部 115 は、閾値を超えるレベルのノイズが所定時間を超えて継続したか否かを判定する。閾値を超えるレベルのノイズが所定時間を超えて継続した場合、判定部 115 は、放電が発生したと判定する。

先行技術文献

特許文献

- [0009] 特許文献1：特開 2019-184480 号公報
特許文献2：特開 2020-134231 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0010] <放電の誤判定のケース 1>

従来の放電検出装置 100 は、負荷の正常な動作によって生じたノイズと、放電によって生じたノイズとを区別することができないという問題があった。例えば、電動ドリルや電動ミキサーなどのモータを備えた機器には、正

常な動作中に、閾値を超えるレベルのノイズを継続的に生じさせるものがある。図 27 の最初に示される正弦波は、負荷の正常な動作によって生じたノイズが重畳された商用電源の電圧波形である。図 27 中の (1) ~ (4) の符号は、図 27 中の出力波形が図 25 中の構成要素に対応していることを示す。

[0011] 図 27 に示されるように、負荷の正常な動作によって生じたノイズは、商用電源のピークを含む全体に重畳される。このノイズは、ハイパスフィルタ 111 によって抽出された後、増幅器 112 によって増幅される。その後、増幅器 112 によって増幅されたノイズの波形は、平滑部 113 によって平滑化される。負荷の正常な動作によって生じたノイズは、負荷が動作している間継続する。このため、ノイズのレベルが閾値を超える場合、判定部 115 は、放電が発生したと誤判定する。

[0012] <放電の誤判定のケース 2>

従来の放電検出装置 100 は、放電によって生じたノイズのレベルが瞬間的に低下する場合に、放電が発生していないと誤判定してしまう問題があった。上述したように、判定部 115 は、所定時間が経過するまで、閾値以上のレベルのノイズが連続する場合に、放電が発生したと判定する。しかし、図 28 のノイズの出力波形に示されるように、判定部 115 が所定時間を計測している間に、放電によって生じたノイズのレベルが瞬間的に閾値未満となる場合がある。この場合、判定部 115 は、放電が発生していないと誤判定する。

[0013] <本発明の目的>

本発明は、上記の問題点に鑑みてなされたものであり、放電の検出精度を高めることができ、また、放電が発生した回路を特定することが可能な放電検出装置を提供することを目的とする。

[0014] さらに、本発明は、放電によって生じたノイズのレベルが瞬間的に閾値を下回る場合でも、放電が発生したことを正確に検出することができる放電検出装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0015] 本発明の放電検出装置は、負荷が電氣的に接続される回路に供給される交流電源に重畳される高周波帯域のノイズに基づいて、前記回路における放電の発生を検出する放電検出装置であって、前記交流電源から高周波帯域の周波数成分を抽出するハイパスフィルタと、前記ハイパスフィルタの出力を増幅する増幅器と、前記増幅器の出力を平滑化する平滑部と、前記交流電源の電圧又は電流の1周期の値に基づいて、ピーク値の前後の時間を含むピーク時間領域、及び0値の前後の時間を含むゼロクロス時間領域を特定するように構成された位相分割部と、前記ピーク時間領域における前記平滑部の第1出力と、前記ゼロクロス時間領域における前記平滑部の第2出力との差に基づいて、放電が発生したか否かを判定する判定部と、を備える。
- [0016] 好ましくは、本発明の放電検出装置において、前記判定部は、前記交流電源の電圧又は電流の連続する複数周期に対応して、前記第1出力と前記第2出力との差を繰り返し算出する処理と、繰り返し算出される前記差の値のそれぞれを閾値と比較する処理と、前記閾値以上の前記差の値が連続する場合に、放電が発生したと判定する処理と、を実行する。
- [0017] 好ましくは、本発明の放電検出装置は、複数の前記回路のそれぞれに電氣的に接続された複数の前記ハイパスフィルタを備え、複数の前記ハイパスフィルタのそれぞれは、複数の前記回路のそれぞれに供給される前記交流電源から高周波帯域の周波数成分を抽出し、前記判定部は、複数の前記ハイパスフィルタのそれぞれに対応して、前記第1出力と前記第2出力との差を繰り返し算出する処理と、複数の前記ハイパスフィルタのそれぞれに対応して、繰り返し算出した前記差の値の加算値又は平均値を算出する処理と、複数の前記ハイパスフィルタのそれぞれに対応する前記加算値又は前記平均値を比較することにより、放電が発生した前記回路を特定する処理と、を実行する。
- [0018] 好ましくは、本発明の放電検出装置において、前記位相分割部は、前記ピーク時間領域及び前記ゼロクロス時間領域の時間の長さを調整することが可

能に構成される。

[0019] 好ましくは、本発明の放電検出装置において、前記位相分割部は、前記ピーク時間領域及び／又は前記ゼロクロス時間領域の始まり及び／又は終わりのタイミングでパルスを出力する及び／又はパルスの出力をしないことにより、前記交流電源の電圧又は電流の略1周期に対応して、2つの前記ピーク時間領域及び2つの前記ゼロクロス時間領域を特定すること可能とする。

[0020] 好ましくは、本発明の放電検出装置において、前記判定部は、前記第1出力と前記第2出力との差の値を第1閾値と比較する処理と、前記差の値が前記第1閾値以上の場合に、前記差の値を第2閾値と比較する処理と、前記差の値が前記第2閾値以上の場合に、放電が発生したと判定する処理と、を実行する。

[0021] 好ましくは、本発明の放電検出装置において、前記判定部は、前記交流電源の電圧又は電流の少なくとも1周期に含まれる、正極の前記ピーク時間領域における前記第1出力と、負極の前記ピーク時間領域における前記第1出力とに基づいて、放電が発生した場所までの相対的な距離及び／又は放電の相対的な大きさを判定する。

[0022] 好ましくは、本発明の放電検出装置において、前記判定部は、正極の前記ピーク時間領域における前記第1出力と、正極の前記ピーク時間領域の直前又は直後の前記ゼロクロス時間領域における前記第2出力との差、負極の前記ピーク時間領域における前記第1出力と、負極の前記ピーク時間領域の直前又は直後の前記ゼロクロス時間領域における前記第2出力との差、に基づいて、放電が発生した場所までの相対的な距離及び／又は放電の相対的な大きさを判定する。

[0023] 好ましくは、本発明の放電検出装置において、前記判定部は、前記第2出力を第3閾値と比較する処理と、前記第2出力が第3閾値以上である場合に、放電が発生したか否かの判定を実行することができないことを報知する処理と、を実行する。

[0024] 好ましくは、本発明の放電検出装置において、前記判定部は、前記第2出

力を第3閾値と比較する処理と、前記第2出力が第3の閾値以上である場合に、前記増幅器の増幅率を低下させる処理と、を実行する。

[0025] 好ましくは、本発明の放電検出装置において、前記判定部は、前記交流電源の電圧又は電流の連続する複数周期の値に基づいて、前記第1出力と前記第2出力との差を繰り返し算出する処理と、繰り返し算出される前記差の値のそれぞれを閾値と比較する処理と、前記差の値が前記閾値以上の場合に、第1の所定時間の計測を開始する処理と、前記第1の所定時間が経過するまでの間に、前記閾値以上の前記差の値が連続する場合に、放電が発生したと判定する処理と、前記第1の所定時間が経過するまでの間に、前記差の値が前記閾値未満となった場合に、前記第1の所定時間よりも短い第2の所定時間の計測を開始する処理と、前記第2の所定時間が経過するまでの間に、前記差の値が前記閾値以上とならない場合に、前記第1の所定時間の計測を途中で終了する処理と、前記第2の所定時間が経過するまでの間に、前記差の値が前記閾値以上となり、且つ前記第1の所定時間が経過するまで、前記閾値以上の前記差の値が連続する場合に、放電が発生したと判定する処理と、を実行する。

[0026] 好ましくは、本発明の放電検出装置において、前記判定部は、前記交流電源の電圧又は電流の連続する複数周期の値に基づいて、前記第1出力と前記第2出力との差を繰り返し算出する処理と、繰り返し算出される前記差の値のそれぞれを閾値と比較する処理と、前記差の値が前記閾値以上の場合に、第1の所定時間の計測を開始する処理と、前記第1の所定時間が経過するまで、前記閾値以上の前記差の値が連続する場合に、放電が発生したと判定する処理と、前記第1の所定時間が経過するまでの間に、前記差の値が前記閾値未満となった場合に、前記閾値未満の前記差の値が算出された回数をカウントする処理と、前記閾値未満の前記差の値が算出された回数が予め定められた所定回数に達した場合に、前記第1の所定時間の計測を途中で終了する処理と、前記閾値未満の前記差の値が算出された回数が前記所定回数に達する前に、前記差の値が前記閾値以上となり、且つ前記第1の所定時間が経過

するまで、前記閾値以上の前記差の値が連続する場合に、放電が発生したと判定する処理と、を実行する。

発明の効果

[0027] 本発明の放電検出装置は、放電の検出精度を高めることができ、また、放電が発生した回路を特定することが可能である。

[0028] さらに、本発明の放電検出装置は、放電によって生じたノイズのレベルが瞬間的に閾値を下回る場合でも、放電が発生したことを正確に検出することができる。

図面の簡単な説明

[0029] [図1]図1は、本発明の実施形態に係る放電検出装置を示す概略図である。

[図2]図2は、放電によって生じた高周波帯域のノイズが重畳された交流電源を示す波形図である。

[図3]図3は、交流電源の波形と、位相分割部から出力されるパルスの波形とを示す波形図である。

[図4]図4は、交流電源の波形と、位相分割部から出力されるパルスの態様とを示すタイミングチャートである。

[図5]図5は、交流電源の波形、交流電源から抽出されたノイズの波形、増幅されたノイズの波形、及び平滑化されたノイズの波形を示す波形図である。

[図6]図6は、交流電源の波形と、平滑部の出力波形とを示す波形図である。

[図7]図7は、交流電源の波形と、平滑部の出力波形とを示す波形図である。

[図8]図8は、交流電源の波形と、平滑部の出力波形とを示す波形図である。

[図9]図9は、交流電源の波形と、平滑部の出力波形とを示す波形図である。

[図10]図10は、複数の放電検出装置が設けられた分電盤を示す概略図である。

[図11]図11は、交流電源の波形、図10中の第1放電検出装置の平滑部の出力波形、及び図10中の第2放電検出装置の平滑部の出力波形を示す波形図である。

[図12]図12は、交流電源の波形と、平滑部の出力波形とを示す波形図であ

る。

[図13]図13は、交流電源の波形と、平滑部の出力波形とを示す波形図である。

[図14]図14は、交流電源の波形と、平滑部の出力波形とを示す波形図である。

[図15]図15は、交流電源の波形と、平滑部の出力波形とを示す波形図である。

[図16]図16は、交流電源の波形と、平滑部の出力波形とを示す波形図である。

[図17]図17は、交流電源の波形と、平滑部の出力波形とを示す波形図である。

[図18]図18は、交流電源の波形と、平滑部の出力波形とを示す波形図であって、平滑部の出力波形には、放電によって生じたノイズ及び負荷の正常な動作によって生じたノイズの両方が含まれる。

[図19]図19は、交流電源の波形と、平滑部の出力波形とを示す波形図であって、平滑部の出力波形には、放電によって生じたノイズ及び負荷の正常な動作によって生じたノイズの両方が含まれる。

[図20]図20は、放電によって生じたノイズであって、レベルが瞬間的に低下するノイズの出力波形を示す波形図である。

[図21]図21は、放電によって生じたノイズであって、レベルが瞬間的に低下するノイズの出力波形を示す波形図である。

[図22]図22は、判定部によるノイズのレベルが閾値以上か否かの判定結果を示す概略図である。

[図23]図23(a)～(e)は、判定部による放電が発生したか否かを判定するための処理を示す概略図である。

[図24]図24は、交流電源の波形と、平滑部の出力波形とを示す波形図である。

[図25]図25は、従来の放電検出装置を示す概略図である。

[図26]図26は、交流電源の波形、交流電源から抽出されたノイズの波形、増幅されたノイズの波形、及び平滑化されたノイズの波形を示す波形図である。

[図27]図27は、交流電源の波形、交流電源から抽出されたノイズの波形、増幅されたノイズの波形、及び平滑化されたノイズの波形を示す波形図である。

[図28]図28は、放電によって生じたノイズの波形を示す波形図である。

発明を実施するための形態

[0030] 以下、本発明の実施形態に係る放電検出装置について、図面を参照しつつ説明する。

[0031] 1. 放電検出装置の構成

図1は、本実施形態の放電検出装置1と、放電検出装置1が電氣的に接続される回路とを示す。回路には、交流電源91及び負荷8が電氣的に接続される。例えば、回路は、屋内配線である。交流電源91は、屋外配線から屋内配線に供給される商用電源である。負荷8には、蛍光灯や電動ミキサーなどの電力を消費して動作する様々な機器が含まれる。放電検出装置1は、回路に供給される交流電源91に重畳される高周波帯域のノイズに基づいて、回路における放電の発生を検出する。放電検出装置1は、ハイパスフィルタ11、増幅器12、平滑部13、位相分割部14及び判定部15を備える。

[0032] ハイパスフィルタ11は、回路に電氣的に接続され、交流電源91から高周波帯域の周波数成分を抽出する。すなわち、ハイパスフィルタ11は、交流電源91の周波数成分のうち、遮断周波数よりも高い周波数成分を減衰させずに通過させる。これにより、交流電源91に重畳された高周波帯域のノイズが抽出される（図5中の（1）を参照）。

[0033] 増幅器12は、ハイパスフィルタ11の出力側に電氣的に接続される。増幅器12は、ハイパスフィルタ11によって抽出されたノイズを増幅する。例えば、増幅器12は、ハイパスフィルタ11によって抽出されたノイズを20倍に増幅する。増幅器12によって増幅されたノイズは、短い間隔で「

0」と「1」とが交互に繰り返されるような波形を描く（図5中の（2）を参照）。このような短い断続的な波形に基づいて、放電が発生したか否かを判定することは難しい。

[0034] 平滑部13は、増幅器12の出力側に電氣的に接続される。平滑部13は、増幅器12によって増幅されたノイズの波形を平滑化する。平滑化は、例えば、増幅されたノイズの波形のピークを繋げる処理である。平滑化されたノイズの波形は、増幅されたノイズの波形中の「1」のピークを繋げた線を描く（図5中の（3）を参照）。なお、平滑部13は、増幅器12によって増幅されたノイズの最大値を保持すること（ピークホールド）によって、ノイズの波形を平滑化するものであってもよい。平滑部13がノイズの波形を平滑化することにより、信号レベルの瞬間的な変動が、判定部15の判定結果に悪影響を与えない。

[0035] 位相分割部14は、回路に電氣的に接続される。位相分割部14は、図2に示される交流電源91の電圧又は電流の1周期の値に基づいて、ピーク値の前後の時間を含むピーク時間領域、及び0値の前後の時間を含むゼロクロス時間領域を特定するように構成される。位相分割部14は、例えば、図3に示されるようなパルスを所定のタイミングで出力することにより、複数周期にわたるピーク時間領域A、A'・・・及びゼロクロス時間領域B、B'・・・の特定を可能する。位相分割部14によるピーク時間領域及びゼロクロス時間領域を特定するための方法については、後に詳しく説明する。

[0036] 判定部15として、例えば、マイクロコントローラユニット（MCU）、マイクロコンピュータ又はプロセッサなどの演算装置が用いられる。判定部15は、平滑部13及び位相分割部14のそれぞれの出力側に電氣的に接続される。平滑部13及び位相分割部14のそれぞれの出力は、判定部15に入力される。すなわち、判定部15には、平滑部13によって平滑化されたノイズ波形の出力が入力される。また、判定部15には、位相分割部14から所定のタイミングで出力されるパルスが入力される。

[0037] 図3に示されるように、判定部15は、位相分割部14から入力されるパ

ルスに基づいて、ピーク時間領域 A 及びゼロクロス時間領域 B を特定する。そして、判定部 15 は、ピーク時間領域 A における平滑部 13 の第 1 出力と、ゼロクロス時間領域 B における平滑部 13 の第 2 出力との差の値を算出する。判定部 15 は、第 1 出力と第 2 出力との差の値に基づいて、放電が発生したか否かを判定する。引き続き、判定部 15 は、交流電源 91 の電圧又は電流の複数周期にわたり、ピーク時間領域 A'、A・・・及びゼロクロス時間領域 B'、B・・・を特定し、第 1 出力と第 2 出力との差の値を繰り返し算出する。

[0038] 2. 放電検出の原理

ここで、放電検出装置 1 による放電検出の原理について説明する。放電検出装置 1 の判定部 15 は、放電によって生じたノイズと、負荷の正常な動作によって生じたノイズとを区別し、放電の発生を高い精度で検出することが可能である。

[0039] 図 27 に示されるように、例えば、電動ミキサーや電動ドリルなどのモータを備えた機器には、その動作中に閾値を超えるノイズを継続的に生じさせるものがある。このような負荷の正常な動作によって生じたノイズは、平滑部 13 によって平滑化されると、図 27 中の (3) に示されるような波形となる。図 27 中の (4) に示されるように、ノイズが負荷の正常な動作によって生じた場合、平滑部 13 の出力は、負荷の動作開始から継続して閾値を超える。

[0040] 一方、図 2 に示されるように、トラッキング、ショート及び断線などの事故によって放電が発生した場合、放電によって生じたノイズは、交流電源 91 の電圧又は電流の波形のピーク値の前後に顕著に現れ、0 値の前後には現れない。電圧又は電流の波形の 1 周期を 360 度としたとき、放電によって生じたノイズは、90° 前後及び 270° 前後に顕著に現れる。換言すると、仮に、交流電源 91 の周波数が 60 Hz であるならば、電圧又は電流の波形の 1 周期は、 $1/60\text{ s} = 16.7\text{ ms}$ となる。放電によって生じたノイズは、0 値から 4.2 ms を経過する時点の前後、及び 12.5 ms を経過す

る時点の前後に顕著に現れる。したがって、ピーク値の前後における平滑部 13 の第 1 出力と、0 値の前後における平滑部 13 の第 2 出力との差に基づいて、ノイズが放電によって生じたものか否かを判別することができる。すなわち、ノイズが放電によって生じたものならば、平滑部 13 の第 1 出力と第 2 出力との差の値は大きくなる。一方、ノイズが負荷の正常な動作によって生じたものならば、平滑部 13 の第 1 出力と第 2 出力との差の値は小さくなる。

[0041] 上述した放電検出の原理を実現するために、位相分割部 14 は、交流電源 91 の電圧又は電流の 1 周期の値に基づいて、ピーク値の前後の時間を含むピーク時間領域、及び 0 値の前後の時間を含むゼロクロス時間領域を、判定部 15 に特定するためのパルスを出力する。例えば、図 3 に示されるように、位相分割部 14 は、ピーク時間領域 A、A' においてパルスを出力せず、ゼロクロス時間領域 B、B' においてパルスを出力する。図 2 に示される交流電源 91 の電圧又は電流の波形において、ピーク時間領域 A は、位相角 45 度以上 135 度未満の領域に対応する。ゼロクロス時間領域 B は、位相角 135 度以上 225 度未満の領域に対応する。ピーク領域 A' は、位相角 225 度以上 315 度未満の領域に対応する。ゼロクロス時間領域 B' は、315 度以上 405 度未満の領域に対応する。つまり、本実施形態における位相分割部 14 は、交流電源 91 の電圧又は電流の 1 周期を 4 つの領域に分割している。

[0042] なお、ピーク時間領域 A、A' 及びゼロクロス時間領域 B、B' の幅は、ピーク値及び 0 値の時間を含むことを条件に狭く又は広くしてもよい。また、ピーク時間領域 A、A' 及びゼロクロス時間領域 B、B' は、位相角に限らず、0 値から経過した時間で表現することもできる。

[0043] 判定部 15 は、位相分割部 14 から入力されるパルスに基づいて、ピーク時間領域 A 及びゼロクロス時間領域 B を特定する。例えば、判定部 15 は、ピーク時間領域 A における平滑部 13 の第 1 出力の平均値、及びゼロクロス時間領域 B における平滑部 13 の第 2 出力の平均値をそれぞれ算出する。そ

して、判定部 15 は、第 1 出力の平均値と第 2 出力の平均値との差の値を算出する。この差の値に基づいて、判定部 15 は、放電が発生したか否かを判定する。例えば、判定部 15 は、差の値が閾値以上の場合は、放電が発生したと判定する。一方、判定部 15 は、差の値が閾値未満の場合は、放電が発生したと判定しない。差の値が閾値未満であることは、交流電源 91 に重畳されたノイズが、負荷の正常な動作によって生じたものであることを意味する。

[0044] 3. 位相分割部から出力されるパルスの態様

位相分割部 14 は、様々な態様でパルスを出力し、判定部 15 にピーク時間領域 A、A' 及びゼロクロス時間領域 B、B' を特定させることが可能である。図 4 (a) ~ (c) は、位相分割部 14 から出力されるパルスの態様の具体例を示す。

[0045] 図 4 (a) に示されるように、位相分割部 14 は、正極のピーク時間領域 A、及び負極のピーク時間領域 A' においてパルスを出力し、ゼロクロス時間領域 B、B' においてパルスを出力しない。判定部 15 は、パルスが出力されている間における平滑部 13 の出力を、第 1 出力として処理する。また、判定部 15 は、パルスが出力されていない間における平滑部 13 の出力を、第 2 出力として処理する。

[0046] 図 4 (b) に示されるように、位相分割部 14 は、ピーク時間領域 A、A' 及びゼロクロス時間領域 B、B' のそれぞれの始まりのタイミングにおいて短いパルスを出力する。判定部 15 は、1 番目のパルスが出力されてから 2 番目のパルスが出力されるまでの間における平滑部 13 の出力を、第 1 出力として処理する。次に、判定部 15 は、2 番目のパルスが出力されてから 3 番目のパルスが出力されるまでの間における平滑部 13 の出力を、第 2 出力として処理する。次に、判定部 15 は、3 番目のパルスが出力されてから 4 番目のパルスが出力されるまでの間における平滑部 13 の出力を、第 1 出力として処理する。次に、判定部 15 は、4 番目のパルスが出力されてから 5 番目のパルスが出力されるまでの間における平滑部 13 の出力を、第 2 出

力として処理する。

[0047] 図4(c)に示されるように、位相分割部14は、交流電源91の電圧又は電流の1周期に含まれる正極のピーク時間領域Aにおいて、パルスを出力しない。判定部15は、パルスの出力がなくなった時点から時間の計測を開始する。そして、判定部15は、パルスの出力がなくなった時点から4.2msまでの間における平滑部13の出力を、第1出力として処理する。次に、判定部15は、4.2msから8.4msまでの間における平滑部13の出力を、第2出力として処理する。次に、判定部15は、8.4msから12.6msまでの間における平滑部13の出力を、第1出力として処理する。次に、判定部15は、12.6msから16.7msまでの間における平滑部13の出力を、第2出力として処理する。

[0048] 4. 放電検出装置による処理

図5は、放電検出装置1によって、交流電源91の電圧又は電流から抽出、増幅、及び平滑化されたノイズの波形を示す。なお、図5に示されているのは、放電によって生じたノイズの波形である。図1及び図5に示された(1)、(2)、(3)及び(4)の符号は、図1中の構成要素と、図5中の出力波形とが対応していることを示す。以下、放電検出装置1の各構成要素の処理について、図1及び図5中の(1)～(4)を参照しつつ説明する。

[0049] (1) 図5の最初に示される正弦波は、高周波帯域のノイズが重畳された交流電源91の電圧波形である。この正弦波に示されるように、高周波帯域のノイズは、交流電源91の電圧波形のピークの前後に現れる。ハイパスフィルタ11は、交流電源91の周波数成分のうち、遮断周波数よりも高い周波数成分を減衰させずに通過させる。これにより、交流電源91に重畳された高周波帯域のノイズが抽出される。

[0050] (2) ハイパスフィルタ11によって抽出されたノイズは、増幅器12によって増幅される。増幅器12は、例えば、抽出されたノイズを20倍に増幅する。増幅器12によって増幅されたノイズは、短い間隔で「0」と「1」とが交互に繰り返されるような波形を示す。このような短い断続的な波形に

基づいて、放電が発生したか否かを判定することは難しい。

[0051] (3) 平滑部 13 は、増幅器 12 によって増幅されたノイズの波形を平滑化する。平滑化は、例えば、増幅されたノイズの波形のピークを繋げる処理である。平滑化されたノイズの波形は、増幅されたノイズの波形中の「1」のピークを繋げた線を描く。

[0052] (4) 判定部 15 は、位相分割部 14 から出力されるパルスに基づいて、ピーク時間領域 A、A' 及びゼロクロス時間領域 B、B' を特定する。判定部 15 は、ピーク時間領域 A における平滑部 13 の第 1 出力の平均値を算出する。次に、判定部 15 は、ゼロクロス時間領域 B における平滑部 13 の第 2 出力の平均値を算出する。次に、判定部 15 は、第 1 出力の平均値と、第 2 出力の平均値との差の値を算出する。次に、判定部 15 は、ピーク時間領域 A' 及びゼロクロス時間領域 B' についても同様に、第 1 出力の平均値、第 2 出力の平均値、及びこれら平均値の差の値を算出する。その後、判定部 15 は、差の値に基づいて、放電が発生したか否かを判定する。

[0053] 4. 1 判定部による放電発生判定

図 6 は、交流電源 91 の波形と、平滑部 13 の出力波形とを示す。図 6 に示される平滑部 13 の出力波形は、放電によって生じたノイズの波形を平滑化したものである。上述したように、放電によって生じた高周波帯域のノイズは、交流電源 91 の波形のピークの前後に現れる。したがって、図 6 に示されるように、ピーク時間領域 A、A' における平滑部 13 の第 1 出力の値は、大きくなる。一方、ゼロクロス時間領域 B、B' における平滑部 13 の第 2 出力の値は、0 又は 0 に近くなる。

[0054] 判定部 15 は、交流電源 91 の複数周期に対応して、正極のピーク時間領域 A、ゼロクロス時間領域 B、負極のピーク時間領域 A'、ゼロクロス時間領域 B' ……のそれぞれにおける平滑部 13 の出力を時系列に取得する。判定部 15 は、あらかじめ定められた所定時間が経過するまでの間において、交流電源 91 の 1 周期ごとに、以下に述べる演算処理を実行する。

[0055] 図 7 に示されるように、判定部 15 は、正極のピーク時間領域 A 及びゼロ

クロス時間領域Bについて、第1出力の平均値A及び第2出力の平均値Bを算出する。次に、判定部15は、平均値Aと平均値Bとの差の値を算出する。ノイズが放電に起因する場合、平均値Bは0又は0に近い値となる。したがって、平均値Aと平均値Bとの差の値は、平均値Aと同じ値、又は平均値Aに近い値となる。次に、判定部15は、平均値Aと平均値Bとの差の値を、あらかじめ定められた閾値と比較する。その後、判定部15は、負極のピーク時間領域A'及びゼロクロス時間領域B'のそれぞれにおける平滑部13の出力についても、上記と同様の演算処理を実行し、平均値A'と平均値B'との差の値を閾値と比較する。

[0056] 判定部15は、所定時間が経過するまでの間において算出された、平均値Aと平均値Bとの差の値、及び平均値A'と平均値B'との差の値が、いずれも閾値以上である場合に、放電が発生したと判定する。

[0057] なお、放電が発生したか否かの判定の基準となる閾値は、特に限定されるものではないが、少なくとも危険性のある放電を漏れなく検出することが可能な値とすることが好ましい。

[0058] また、図7において、理論上は、交流電源91の半周期に対応する演算処理(A-B)の結果、又は交流電源91の1周期に対応する演算処理(A-B及びA'-B')の結果に基づいて、放電が発生したか否かを判定することが可能である。しかし、上述した本実施形態の判定方法のように、所定時間が経過するまでの間において、交流電源91の複数周期に対応する演算処理(A-B、A'-B'、A-B・・・)を実行し、閾値以上の差の値が連続する場合に、放電が発生したと判定することが好ましい。上述した本実施形態の判定方法によれば、放電が発生したか否かを高精度で判定することができる。

[0059] さらに、上述した本実施形態の判定方法では、平滑部13の第1出力の平均値A、A'と第2出力の平均値B、B'との差の値に基づいて、放電が発生したか否かを判定するが、平均値に限定されるものではない。例えば、平滑部13の第1出力の加算値と第2出力の加算値との差の値に基づいて、放

電が発生したか否かを判定することも可能である。また、交流電源 9 1 の 1 周期ごとに、平滑部 1 3 の第 1 出力と第 2 出力との差の値を算出する。次に、所定時間内に得られた差の値の平均値又は加算値を閾値と比較することにより、放電が発生したか否かを判定することもできる。

[0060] 4. 2 判定部による放電非発生の判定

図 8 は、交流電源 9 1 の波形と、平滑部 1 3 の出力波形とを示す。図 8 に示される平滑部 1 3 の出力波形は、負荷の正常な動作によって生じたノイズの波形を平滑化したものである。上述したように、負荷の正常な動作によって生じたノイズは、交流電源 9 1 の波形のピークを含む全体に現れる。したがって、図 8 に示されるように、ピーク時間領域 A、A' 及びゼロクロス時間領域 B、B' における平滑部 1 3 の出力は、いずれも同じ値となる。このため、平滑部 1 3 の第 1 出力の平均値 A、A' 及び第 2 出力の平均値 B、B' は、いずれも同じ値となる。そして、平均値 A と平均値 B との差の値、及び平均値 A' と平均値 B' との差の値は、いずれも 0 又は 0 に近い値となる。この結果、平均値 A と平均値 B との差の値、及び平均値 A' と平均値 B' との差の値は、いずれも閾値未満となり、判定部 1 5 は、放電が発生していないと判定する。つまり、判定部 1 5 は、負荷の正常な動作によって生じたノイズに基づいて、放電が発生したと誤判定することがない。

[0061] 4. 3 判定部によるその他の判定方法 1

例えば、図 9 に示されるように、判定部 1 5 は、交流電源 9 1 の複数周期に含まれる正極のピーク時間領域 A 又は負極のピーク時間領域 A' のいずれか一方に現れるノイズに基づいて、放電が発生したか否かを判定してもよい。

[0062] 図 9 に示される平滑部 1 3 の出力波形は、単相 2 線式の配線で構成される回路において生じたノイズを示す。単相 2 線式の配線は、例えば、一般的な住宅の屋内配線として広く普及している。単相 2 線式の配線は、電圧線と中性線との 2 本で構成される。負荷 8 が原因で放電が発生した場合、この放電によって生じたノイズは、電圧線又は中性線のいずれか一方に出力される。

すなわち、負荷 8 のプラグの正極及び負極が、正しく電圧線及び中性線に接続された場合、放電によって生じたノイズは電圧線に出力され、交流電源 9 1 の波形の正極のピークの前後に現れる。一方、負荷 8 のプラグの正極及び負極が、逆に電圧線及び中性線に接続された場合、放電によって生じたノイズは中性線に出力され、交流電源 9 1 の波形の負極のピークの前後に現れる。したがって、放電検出装置 1 が単相 2 線式の配線に設けられた場合、判定部 1 5 は、交流電源 9 1 の複数周期に含まれる正極のピーク時間領域 A 又は負極のピーク時間領域 A' のいずれか一方に現れるノイズに基づいて、放電が発生したか否かを判定すればよい。

[0063] 4. 4 判定部によるその他の判定方法 2

判定部 1 5 は、上述した演算処理の結果を複数の閾値と比較することによって、より複雑な判定を行うことが可能である。例えば、判定部 1 5 は、交流電源 9 1 の複数周期に対応する演算処理 ($A - B$ 、 $A' - B'$ 、 $A - B \cdot \dots$) を実行し、演算処理の結果を第 1 閾値と比較する。この結果、第 1 閾値以上の差の値が連続する場合に、判定部 1 5 は、放電が発生したと判定する。

[0064] 次に、判定部 1 5 は、第 1 閾値以上の差の値の平均値を算出する。そして、判定部 1 5 は、差の値の平均値を第 2 閾値と比較する。この結果、差の値の平均値が第 2 閾値以上である場合に、判定部 1 5 は、交流電源 9 1 と回路との間に電氣的に接続された図示しないブレーカを遮断させるための信号を出力する。なお、第 2 閾値は、第 1 閾値を超える値である。

[0065] 5. 複数の放電検出装置を用いた複数の回路の監視

図 1 0 は、複数の放電検出装置 1 が設けられた分電盤を示す。分電盤は、主幹ブレーカ 3 と、複数の分岐ブレーカ 4 とを備える。主幹ブレーカ 3 の一次側は、図示しない屋外配線を介して、交流電源 9 1 に電氣的に接続される。主幹ブレーカ 3 の二次側は、バスバーを介して、複数の分岐ブレーカ 4 に電氣的に接続される。複数の分岐ブレーカ 4 のそれぞれは、屋内配線で構成される回路に電氣的に接続される。複数の回路のそれぞれには、負荷 8 が電

氣的に接続される。また、各回路における分岐ブレーカ4の二次側には、放電検出装置1が電氣的に接続される。複数の放電検出装置1は、いずれも比較判定部2に電氣的に接続される。複数の放電検出装置1は、各回路で発生した放電を検出する。各放電検出装置1の検出結果は、比較判定部2に出力される。比較判定部2は、各放電検出装置1から出力された検出結果に基づいて、例えば、放電が発生した回路、放電が発生した場所までの相対的な距離、及び放電の相対的な大きさなどを特定する。

[0066] 5. 1 放電が発生した回路の特定

図11は、交流電源91の波形、図10中の第1放電検出装置1の平滑部13の出力波形、及び図10中の第2放電検出装置1の平滑部13の出力波形を示す。図10に示される3つの分岐ブレーカ4の二次側には、図中の上から順番に、第1放電検出装置1、第2放電検出装置1及び第3放電検出装置1・・・が電氣的に接続されている。第1放電検出装置1が電氣的に接続される第1回路において、実際に放電が発生したと仮定する。この場合、第1放電検出装置1は、第1回路において発生した放電を検出する。ここで、第1回路において発生した放電が大きい場合には、放電によって生じたノイズが第2放電検出装置1、第3放電検出装置1・・・にも入力され、第2放電検出装置1、第3放電検出装置1・・・もまた放電を検出することがある。そこで、図10に示される比較判定部2は、各放電検出装置1の検出結果に基づいて、放電が発生した回路を特定する。

[0067] 図11に示されるように、第1放電検出装置1の判定部15は、交流電源91の複数周期に含まれる正極のピーク時間領域A及びゼロクロス時間領域Bについて、平滑部13の第1出力Aと第2出力Bとの差の値 C_{01} 、 C_{03} 、 $\dots$ 、 C_{0x} を算出する。次に、第1放電検出装置1は、差の値の加算値 $C_{01} + C_{03} + \dots + C_{0x}$ を算出し、算出結果を比較判定部2に出力する。図10に示されるように、放電は、第1放電検出装置1が電氣的に接続された第1回路において発生している。第1放電検出装置1は、他の放電検出装置1よりも放電の発生源に近いと、差の値の加算値 $C_{01} + C_{03} + \dots + C_{0x}$ は、

他の放電検出装置 1 と比較して最も大きくなる。

[0068] 一方、第 2 放電検出装置の判定部 15 もまた、交流電源 91 の複数周期に含まれる正極のピーク時間領域 A 及びゼロクロス時間領域 B について、平滑部 13 の第 1 出力 A と第 2 出力 B との差の値 C_{11} 、 C_{13} 、 $\dots$ 、 C_{1x} を算出する。次に、第 2 放電検出装置 1 は、差の値の加算値 $C_{11} + C_{13} + \dots + C_{1x}$ を算出し、算出結果を比較判定部 2 に出力する。図 10 に示されるように、放電により発生したノイズは、第 1 回路から 2 つの分岐ブレーカを経て第 2 回路に到達し、第 2 放電検出装置 1 に入力される。このため、図 11 に示されるように、第 2 放電検出装置 1 における平滑部 13 の第 1 出力 A の値は、第 1 放電検出部における平滑部 13 の第 1 出力 A の値の半分に減衰する。

[0069] 図 10 に示される比較判定部 2 は、第 1 放電検出装置 1 から出力された差の値の加算値 $C_{01} + C_{03} + \dots + C_{0x}$ と、第 2 放電検出装置 1 から出力された差の値の加算値 $C_{11} + C_{13} + \dots + C_{1x}$ とを比較する。この結果、比較判定部 2 は、差の値の加算値が大きい第 1 放電検出装置 1 に対応する第 1 回路で放電が発生したことを特定する。

[0070] ここで、図 10 に示される実施形態では、複数の回路のそれぞれに放電検出装置 1 を設けているが、この構成に限定されるものではない。例えば、図 11 に示される放電検出装置 1 の構成要素のうち、少なくともハイパスフィルタ 11 を複数の回路のそれぞれに設け、各ハイパスフィルタ 11 の出力を、共通の増幅器 12、平滑部 13、位相分割部 14 及び判定部 15 によって処理する構成としてもよい。

[0071] 6. 放電が発生した場所までの相対的な距離、及び放電の相対的な大きさの判定

本実施形態の放電検出装置 1 は、ピーク時間領域 A、A' における第 1 出力及び／又はゼロクロス時間領域 B、B' における第 2 出力に基づいて、放電が発生した場所までの相対的な距離、及び放電の相対的な大きさを判定することができる。

[0072] 6. 1 正極及び負極のピーク時間領域 A、A' における第 1 出力に基づく

判定

図 9 に示されるように、単相 2 線式の配線で構成される回路では、正極のピーク時間領域 A 又は負極のピーク時間領域 A' のいずれか一方にノイズが現れる。しかし、放電検出装置 1 から近い場所で放電が発生した場合、又は発生した放電のレベルが大きい場合は、正極及び負極のピーク時間領域 A、A' の両方にノイズが現れることがある。放電検出装置 1 は、正極のピーク時間領域 A における第 1 出力と、負極のピーク時間領域 A' における第 1 出力とに基づいて、放電が発生した場所までの相対的な距離、及び放電の相対的な大きさを判定する。

[0073] 放電が発生した場所までの相対的な距離、及び放電の相対的な大きさは、例えば、図 1 に示される判定部 15 によって判定される。なお、複数の放電検出装置 1 によって複数の回路を監視する場合は、図 10 に示される比較判定部 2 が、放電が発生した場所までの相対的な距離、及び放電の相対的な大きさを判定することとしてもよい。

[0074] 判定部 15 は、交流電源 91 の 1 周期ごとに、正極のピーク時間領域 A における第 1 出力と、負極のピーク時間領域 A' における第 1 出力とを平滑部 13 から取得する。次に、判定部 15 は、正極のピーク時間領域 A における第 1 出力の平均値 A と、負極のピーク時間領域 A' における第 1 出力の平均値 A' を算出する。次に、判定部 15 は、2 つの第 1 出力の平均値 A、A' の差の値を算出する。そして、判定部 15 は、下記の表 1 に示されるデータテーブルを参照し、放電の相対的な大きさを判定する。

[0075] [表1]

A - A'	$0.9 \leq$	0.8~0.2	≤ 0.1
放電の大きさ	小	中	大

[0076] 例えば、判定部 15 は、図 12 に示される正極及び負極のピーク時間領域 A、A' における第 1 出力を平滑部 13 から取得する。正極のピーク時間領域 A における第 1 出力の平均値 A は「1.0」である。一方、負極のピーク時間領域 A' における第 1 出力の平均値 A' は「0.5」である。2 つの第

1 出力の平均値 A 、 A' の差の値は「0.5」である。平均値 A 、 A' の差の値を、上記の表 1 のデータテーブルと比較する。この結果、判定部 15 は、放電の相対的な大きさが「中」とであると判定する。

[0077] また例えば、判定部 15 は、図 13 に示される正極及び負極のピーク時間領域 A 、 A' における第 1 出力を平滑部 13 から取得する。正極のピーク時間領域 A における第 1 出力の平均値 A は「1.0」である。一方、負極のピーク時間領域 A' における第 1 出力の平均値 A' は「1.0」である。2 つの第 1 出力の平均値 A 、 A' の差の値は「0」である。判定部 15 は、平均値 A 、 A' の差の値を、上記の表 1 のデータテーブルと比較する。この結果、判定部 15 は、放電の相対的な大きさが「大」とであると判定する。

[0078] 判定部 15 の判定結果は、放電検出装置 1 に設けられた報知手段を介して、ユーザーに視覚的又は聴覚的に示される。ユーザーは、放電検出装置 1 の報知手段が示す判定結果に基づいて、放電の相対的な大きさを把握する。ユーザーは、放電の相対的な大きさに応じた行動をとることが可能となる。

[0079] なお、上記の表 1 に示されるデータテーブルは、2 つの第 1 出力の平均値 A 、 A' の差の値を「小」、「中」、「大」のうちのいずれかの大きさに置き換えるものである。一方、2 つの第 1 出力の平均値 A 、 A' の差の値が小さいほど、放電検出装置 1 から放電が発生した場所までの距離が近いといえる。また、2 つの第 1 出力の平均値 A 、 A' の差の値が大きいほど、放電検出装置 1 から放電が発生した場所までの距離が遠いといえる。したがって、2 つの第 1 出力の平均値 A 、 A' の差の値と、放電が発生した場所までの相対的な距離とを対応させたデータテーブルを作成し、このデータテーブルを判定部 15 に参照させることにより、判定部 15 は、放電検出装置 1 から放電が発生した場所までの相対的な距離を判定することが可能である。

[0080] 6. 2 正極における差の値 C と、負極における差の値 C' とに基づく判定
正極のピーク時間領域 A における平滑部 13 の第 1 出力と、ゼロクロス時間領域 B における平滑部 13 の第 2 出力との差の値を C とする。負極のピーク時間領域 A' における平滑部 13 の第 1 出力と、ゼロクロス時間領域 B'

における平滑部 13 の第 2 出力との差の値を C' とする。判定部 15 は、正極における差の値 C と、負極における差の値 C' とに基づいて、放電が発生した場所までの相対的な距離、及び放電の相対的な大きさを判定することができる。

[0081] 例えば、判定部 15 は、所定時間が経過するまでの間において、交流電源 91 の 1 周期ごとに、正極における差の値 C と、負極における差の値 C' とを算出する。次に、判定部 15 は、正極における差の値 C の加算値 $C_{01} + C_{03} + \dots + C_{0X}$ を算出する。また、判定部 15 は、負極における差の値 C' の加算値 $C_{02} + C_{04} + \dots + C_{0X+1}$ を算出する。そして、判定部 15 は、下記の表 2 に示されるデータテーブルを参照し、放電の相対的な大きさを判定する。

[0082] [表2]

$C - C'$	≤ 35	36~49	$50 \leq$
放電の大きさ	大	中	小

[0083] 例えば、判定部 15 は、正極のピーク時間領域 A、ゼロクロス時間領域 B、負極のピーク時間領域 A' 及びゼロクロス時間領域 B' において、図 14 に示される出力を平滑部 13 から取得する。

[0084] 次に、判定部 15 は、交流電源 91 の 1 周期ごとに、正極のピーク時間領域 A における第 1 出力の平均値 A、ゼロクロス時間領域における第 2 出力の平均値 B、負極のピーク時間領域 A' における第 1 出力の平均値 A'、ゼロクロス時間領域 B' における第 2 出力の平均値 B' を算出する。

[0085] 次に、判定部 15 は、交流電源 91 の半周期ごとに、平均値 A と平均値 B との差の値 C_{01} 、 C_{03} 、 $\dots$ 、 C_{0X} を算出する。図 14 に示される出力において、差の値 C_{01} 、 C_{03} 、 $\dots$ 、 C_{0X} は、いずれも「1」である。これと同様に、判定部 15 は、交流電源 91 の半周期ごとに、平均値 A' と平均値 B' との差の値 C_{02} 、 C_{04} 、 $\dots$ 、 C_{0X+1} を算出する。図 14 に示される出力において、差の値 C_{02} 、 C_{04} 、 $\dots$ 、 C_{0X+1} は、いずれも「0.5」である。

[0086] 次に、判定部15は、差の値 C_{01} 、 C_{03} 、 $\dots$ 、 C_{0X} の加算値 C を算出する。図14に示される出力において、加算値 C は「76」である。これと同様に、判定部15は、差の値 C_{02} 、 C_{04} 、 $\dots$ 、 C_{0X+1} の加算値 C' を算出する。図14に示される出力において、加算値 C' は「38」である。そして、判定部15は、加算値 C と加算値 C' との差の値を算出する。図14に示される出力において、加算値 C と加算値 C' との差の値は「38」である。判定部15は、加算値 C 、 C' の差の値を、上記の表2のデータテーブルと比較する。この結果、判定部15は、放電の相対的な大きさが「中」とであると判定する。

[0087] また例えば、判定部15は、正極のピーク時間領域A、ゼロクロス時間領域B、負極のピーク時間領域A'及びゼロクロス時間領域B'において、図15に示される出力を平滑部13から取得する。

[0088] 図15に示される出力において、正極の差の値 C_{01} 、 C_{03} 、 $\dots$ 、 C_{0X} は、いずれも「1」である。一方、図15に示される出力において、負極の差の値 C_{02} 、 C_{04} 、 $\dots$ 、 C_{0X+1} もまた、いずれも「1」である。そして、図15に示される出力において、正極の加算値 C は「76」である。一方、図15に示される出力において、負極の加算値 C' もまた「76」である。したがって、図15に示される出力において、加算値 C と加算値 C' との差の値は「0」である。判定部15は、加算値 C 、 C' の差の値を、上記の表2のデータテーブルと比較する。この結果、判定部15は、放電の相対的な大きさが「大」とであると判定する。

[0089] なお、上述した本実施形態の判定方法には、正極における差の値 C の加算値 $C_{01} + C_{03} + \dots + C_{0X}$ と、負極における差の値 C' の加算値 $C_{02} + C_{04} + \dots + C_{0X+1}$ とを用いたが、これに限定されるものではない。例えば、交流電源91の1周期に含まれる正極の差の値 C_{01} と、負極の差の値 C_{02} とに基づいて、放電の相対的な大きさを判定することも可能である。

[0090] 6. 3 閾値以上の差の値 C 、 C' の算出回数に基づく判定

上述した本実施形態の判定方法において、判定部15は、閾値以上の差の

値 C 、 C' の算出回数に基づいて、放電が発生した場所までの相対的な距離、及び放電の相対的な大きさを判定することができる。

[0091] 例えば、判定部15は、正極のピーク時間領域A、ゼロクロス時間領域B、負極のピーク時間領域A'及びゼロクロス時間領域B'において、図16に示される出力を平滑部13から取得する。

[0092] 判定部15は、所定時間が経過するまでの間において、交流電源91の1周期ごとに、正極における差の値 C_{01} 、 C_{03} 、 $\dots$ 、 C_{0X} と、負極における差の値 C_{02} 、 C_{04} 、 $\dots$ 、 C_{0X+1} とを算出する。判定部15は、所定時間内に算出した全ての差の値 C_{01} 、 C_{02} 、 C_{03} 、 C_{04} 、 $\dots$ 、 C_{0X} を、あらかじめ定められた閾値と比較する。そして、閾値以上の差の値が算出された回数をカウントする。例えば、図16に示される出力において、閾値以上の差の値 C_{01} 、 C_{03} 、 $\dots$ 、 C_{0X} は、それぞれ「1」とカウントされる。一方、閾値未満の差の値 C_{02} 、 C_{04} 、 $\dots$ 、 C_{0X+1} は、それぞれ「0」とカウントされる。この結果、閾値以上の差の値が算出された回数は「6」である。そして、判定部15は、閾値以上の差の値が算出された回数「6」を、下記の表3に示されるデータテーブルと比較する。この結果、判定部15は、放電の相対的な大きさが「中」と判定する。

[0093] [表3]

算出回数	≤ 5	6~24	$25 \leq$
放電の大きさ	小	中	大

[0094] また例えば、判定部15は、正極のピーク時間領域A、ゼロクロス時間領域B、負極のピーク時間領域A'及びゼロクロス時間領域B'において、図17に示される出力を平滑部13から取得する。図17に示される出力は、正極及び負極のピーク時間領域A、A'における第1出力の値が、いずれもあらかじめ定められた閾値を超える。

[0095] 図17に示される出力においては、所定時間内に算出した全ての差の値 C_{01} 、 C_{02} 、 C_{03} 、 C_{04} 、 $\dots$ 、 C_{0X} が閾値を超える。このため、全ての差の値 C_{01} 、 C_{02} 、 C_{03} 、 C_{04} 、 $\dots$ 、 C_{0X} が「1」とカウントされる。この結

果、閾値以上の差の値が算出された回数は「25」である。そして、判定部15は、閾値以上の差の値が算出された回数「25」を、上記の表3に示されるデータテーブルと比較する。この結果、判定部15は、放電の相対的な大きさが「大」とであると判定する。

[0096] 7. 増幅器の増幅率の制御

上述したように、放電検出装置1の判定部15は、ピーク時間領域A、A'における平滑部13の第1出力と、ゼロクロス時間領域B、B'における平滑部13の第2出力との差に基づいて、放電が発生したか否かを判定する。例えば、判定部15は、第1出力と第2出力との差の値が第1閾値以上である場合に、放電が発生したと判定する。また例えば、判定部15は、第1閾値以上の差の値を第2閾値と比較し、差の値が第2閾値以上である場合に、ブレーカを遮断させるための信号を出力する。

[0097] 一方、電動ドリルや電動ミキサーなどのモータを備えた機器には、正常な動作中に、閾値を超えるレベルのノイズを継続的に生じさせるものがある。負荷の正常な動作によって生じたノイズは、交流電源91のピークを含む全体に重畳される。このため、負荷が生じさせるノイズは、ゼロクロス時間領域B、B'における平滑部13の第2出力を大きくする。したがって、負荷のノイズが交流電源91の全体に重畳された状態において、放電が発生した場合は、ピーク時間領域A、A'における平滑部13の第1出力と、ゼロクロス時間領域B、B'における平滑部13の第2出力との差の値が、第1閾値よりも小さくなることもある。このような場合に、判定部15は、放電が発生したか否かを正確に判定することができない。

[0098] 図18及び図19は、交流電源91の波形と、平滑部13の出力波形とを示す波形図であって、平滑部13の出力波形には、放電によって生じたノイズ及び負荷の正常な動作によって生じたノイズの両方が含まれる。本実施形態の放電検出装置1には、ゼロクロス時間領域B、B'における平滑部13の第2出力を監視するための第3閾値及び第4閾値が設定される。

[0099] 図18に示すように、判定部15は、位相分割部14から出力されるパル

スに基づいて、ゼロクロス時間領域B、B'における平滑部13の第2出力を時系列に取得する。次に、判定部15は、第2出力を第3閾値と比較する。第2出力の値が第3閾値以上である場合、判定部15は、増幅器12に信号を出力し、増幅器12の増幅率を低下させる。判定部15は、第2出力の値が第3閾値未満となるまで、増幅器12の増幅率を段階的に低下させる。なお、判定部15は、第2出力の値が第3閾値以上になってから第3閾値未満となるまでの間に、放電が発生したか否かの判定を実行することができないことをユーザーに報知することが好ましい。

[0100] その後、ノイズを生じさせる負荷の使用が終わると、図19に示されるように、第2出力の値は、第3閾値未満となる。この場合、判定部15は、第2出力を第4閾値と比較する。第4閾値は、第3閾値よりも小さい値である。第2出力の値が第4閾値未満である場合、判定部15は、増幅器12に信号を出力し、増幅器12の増幅率を元の値に戻す。

[0101] 8. ノイズのレベルの瞬間的な低下に対応するための処理

上述したように、判定部15は、交流電源91の1周期ごとに、平滑部13の第1出力と第2出力との差の値を算出する。そして、判定部15は、あらかじめ定められた所定時間が経過するまで、閾値以上の差の値が連続する場合に、放電が発生したと判定する。

[0102] しかし、図28のノイズの出力波形に示されるように、判定部15が所定時間を計測している間に、放電によって生じたノイズのレベルが瞬間的に閾値未満となる場合がある。この場合、平滑部13の第1出力と第2出力との差の値もまた閾値未満となる。これにより、判定部15は、放電が発生していないと判定し、所定時間の計測をリセットする。その直後に、ノイズのレベルは再び閾値以上になる。すると、判定部15は、あらためて所定時間の計測を開始する。つまり、判定部15は、ノイズのレベルが瞬間的に低下するたびに、放電が発生していないと判定し、所定時間の計測をやり直すことになる。このように、判定部15には、ノイズのレベルが瞬間的に低下する断続的な放電を検出することができない問題があった。そこで、本実施形態

の放電検出装置 1 は、ノイズのレベルの瞬間的な低下に起因する放電の検出漏れを無くすために、以下に説明する処理を採用する。

[0103] 8. 1 ノイズのレベルが低下した時間の計測

図 20 は、放電によって生じたノイズであって、レベルが瞬間的に低下するノイズの出力波形を示す。図 20 において、ノイズのレベルが閾値以上となったタイミングで、判定部 15 は、第 1 の所定時間の計測を開始する。第 1 の所定時間が経過するまでの間に、判定部 15 は、放電が発生したか否かを判定するために、上述した演算処理を実行する。そして、第 1 の所定時間が経過するまで、閾値以上のレベルのノイズが連続する場合に、判定部 15 は、放電が発生したと判定する。

[0104] 一方、第 1 の所定時間が経過するまでの間に、ノイズのレベルが閾値未満に低下した場合、判定部 15 は、第 1 の所定時間の計測を継続するとともに、第 2 の所定時間の計測を開始する。第 2 の所定時間は、放電によって生じたノイズのレベルが閾値未満となった時間であって、放電の連続性を肯定することが可能な短い時間である。第 2 の所定時間は、例えば、交流電源 91 の 1 ～ 3 周期に相当の時間に設定することができる。

[0105] 第 2 の所定時間が経過するまでの間に、ノイズのレベルが閾値以上となった場合、判定部 15 は、第 2 の所定時間の計測をリセットする。その後、第 1 の所定時間が経過するまで、閾値以上のレベルのノイズが連続する場合に、判定部 15 は、放電が発生したと判定する。

[0106] 一方、第 2 の所定時間が経過するまで、ノイズのレベルが閾値以上とならなかった場合、判定部 15 は、第 1 の所定時間の計測をリセットするとともに、放電が発生したか否かを判定するための演算処理を終了する。

[0107] 第 2 の所定時間の計測を実行するための条件を設定してもよい。例えば、図 21 に示されるような最低継続時間を設定する。最低継続時間は、閾値以上のレベルのノイズが継続して生じたといえる最低限の時間である。最低継続時間は、閾値以上のレベルのノイズが継続するか否かの指標となる。最低継続時間が経過するまでの間に、閾値以上のレベルのノイズが継続して生じ

た場合に、判定部 15 は、第 2 の所定時間の計測を実行する。このような最低継続時間を設定することにより、閾値以上のレベルのノイズが瞬間的に生じるたびに、第 2 の所定時間の計測を繰り返すことが無くなる。

[0108] 図 21 に示される第 1 の所定時間、第 2 の所定時間及び最低継続時間のそれぞれの初期値は、あらかじめ放電検出装置 1 に設定される。放電検出装置 1 には、第 1 の所定時間、第 2 の所定時間及び最低継続時間のそれぞれの初期値を変更するための図示しないユーザーインターフェースを設けることが好ましい。ユーザーインターフェースは、例えば、表示部及びボタンを備える。表示部には、第 1 の所定時間、第 2 の所定時間及び最低継続時間のそれぞれの設定値が表示される。ボタンを操作することにより、第 1 の所定時間、第 2 の所定時間及び最低継続時間のそれぞれの設定値が変更される。また例えば、ユーザーが所有するパーソナルコンピュータ、タブレットコンピュータ、スマートフォンなどの端末装置にインストールされたプログラムによって、放電検出装置 1 のユーザーインターフェースを構成してもよい。端末装置は、有線又は無線によって、放電検出装置 1 と通信する。端末装置を操作することにより、第 1 の所定時間、第 2 の所定時間及び最低継続時間のそれぞれの設定値が変更される。

[0109] 8. 2 判定部の処理の具体例 1

例えば、図 22 に示されるように、判定部 15 は、交流電源 91 の 1 周期ごとに、閾値以上のレベルのノイズが検出されたか否かを判定する。判定部 15 は、閾値以上のレベルのノイズが検出された場合は「1」を記憶する。一方、判定部 15 は、閾値以上のレベルのノイズが検出されなかった場合は「0」を記憶する。図 22 に示される「11110111」は、交流電源 91 の 1～4 周期に閾値以上のレベルのノイズが連続して検出されたこと、5 周期目にノイズのレベルが閾値未満に低下したこと、6～8 周期に閾値以上のレベルのノイズが連続して検出されたことを示す。このように、判定部 15 は、交流電源 91 の 1 周期ごとに、閾値以上のレベルのノイズが検出されたか否かを「1」、「0」で記憶する。

[0110] 図23(a)～(e)は、判定部15による放電が発生したか否かを判定するための処理を示す。図23において、判定部15は、交流電源91の3周期に対応する検出結果に基づいて、判定に関する処理を実行する。例えば、判定部15は、閾値以上のレベルのノイズが3周期に連続して検出された場合(「111」)、又は閾値以上のレベルのノイズが3周期に連続して検出されなかった場合(「000」)に、判定に関する処理を実行する。

[0111] 図23(a)中の「001」は、判定部15によって、閾値以上のレベルのノイズが初めて検出されたタイミングを示す。このとき、判定部15は、何の処理も実行しない。つまり、判定部15は、閾値以上のレベルのノイズが1回検出されただけでは、第1の所定時間の計測を開始しない。

[0112] 次に、図23(b)中の「111」は、判定部15によって、閾値以上のレベルのノイズが3周期に連続して検出されたタイミングを示す。このとき、判定部15は、第1の所定時間の計測を開始する。

[0113] 次に、図23(c)中の「110」は、判定部15によって、閾値未満のレベルのノイズが検出されたタイミングを示す。このとき、判定部15は、何の処理も実行しない。つまり、判定部15は、閾値未満のレベルのノイズが1回検出されただけでは、第1の所定時間の計測を終了させない。判定部15は、3周期に連続して閾値未満のレベルのノイズ「000」が検出されない限り、第1の所定時間の計測をリセットしない。

[0114] 次に、図23(d)中の「011」は、ノイズのレベルが、閾値未満から再び閾値以上になったタイミングを示す。判定部15は、第1の所定時間の計測を継続する。次に、図23(e)中の「111」は、第1の所定時間が経過したタイミングを示す。図23(e)中の矢印で示すように、第1の所定時間が経過するまでの間、閾値以上のレベルのノイズが連続して検出された。この結果、判定部15は、放電が発生したと判定する。

[0115] 8. 3 判定部の処理の具体例2

図24は、交流電源91の波形と、平滑部13の出力波形とを示す。図24に示されるように、判定部15は、ピーク時間領域A、A'における平滑

部 1 3 の第 1 出力と、ゼロクロス時間領域 B、B' における平滑部 1 3 の第 2 出力とに基づいて、ノイズのレベルの瞬間的な低下に対応するための処理を実行することが可能である。

[0116] 例えば、判定部 1 5 は、交流電源 9 1 の 1 周期ごとに、正極のピーク時間領域 A における平滑部 1 3 の第 1 出力と、ゼロクロス時間領域 B における平滑部 1 3 の第 2 出力との差の値 C_{01} 、 C_{03} 、 C_{05} 、 C_{07} 、 C_{09} 、 C_{11} 、 C_{13} 、 C_{15} 、 $\dots$ 、 C_{xx} を算出する。判定部 1 5 は、閾値以上の差の値 C_{01} が算出されたタイミングにおいて、第 1 の所定時間及び最低継続時間の計測を開始する。次に、判定部 1 5 は、閾値以上の差の値 C_{01} 、 C_{03} 、 C_{05} が 3 周期に連続して検出されたタイミングにおいて、最低継続時間の計測を終了する。

[0117] 次に、判定部 1 5 は、閾値未満の差の値 C_{07} が算出されたタイミングにおいて、第 2 の所定時間の計測を開始する。第 2 の所定時間は、例えば、交流電源 9 1 の 3 周期に相当する。このとき、判定部 1 5 は、第 1 の所定時間の計測を終了させない。判定部 1 5 は、3 周期に連続して閾値未満のレベルのノイズ「000」が検出されない限り、第 1 の所定時間の計測をリセットしない。

[0118] 次に、判定部 1 5 は、閾値以上の差の値 C_{09} が算出されたタイミングにおいて、第 2 の所定時間の計測を終了する。引き続き、判定部 1 5 は、第 1 の所定時間が経過するまでの間に、閾値以上の差の値 C_{11} 、 C_{13} 、 C_{15} 、 $\dots$ 、 C_{xx} を算出する。この結果、判定部 1 5 は、放電が発生したと判定する。

符号の説明

- [0119] 1 放電検出装置
8 負荷
1 1 ハイパスフィルタ
1 2 増幅器
1 3 平滑部
1 4 位相分割部

1 5 判定部

9 1 交流電源

請求の範囲

- [請求項1] 負荷が電氣的に接続される回路に供給される交流電源に重畳される高周波帯域のノイズに基づいて、前記回路における放電の発生を検出する放電検出装置であって、
- 前記交流電源から高周波帯域の周波数成分を抽出するハイパスフィルタと、
- 前記ハイパスフィルタの出力を増幅する増幅器と、
- 前記増幅器の出力を平滑化する平滑部と、
- 前記交流電源の電圧又は電流の1周期の値に基づいて、ピーク値の前後の時間を含むピーク時間領域、及び0値の前後の時間を含むゼロクロス時間領域を特定するように構成された位相分割部と、
- 前記ピーク時間領域における前記平滑部の第1出力と、前記ゼロクロス時間領域における前記平滑部の第2出力との差に基づいて、放電が発生したか否かを判定する判定部と、
- を備えた放電検出装置。
- [請求項2] 前記判定部は、
- 前記交流電源の電圧又は電流の連続する複数周期に対応して、前記第1出力と前記第2出力との差を繰り返し算出する処理と、
- 繰り返し算出される前記差の値のそれぞれを閾値と比較する処理と、
- 、
- 前記閾値以上の前記差の値が連続する場合に、放電が発生したと判定する処理と、を実行する請求項1に記載の放電検出装置。
- [請求項3] 複数の前記回路のそれぞれに電氣的に接続された複数の前記ハイパスフィルタを備え、
- 複数の前記ハイパスフィルタのそれぞれは、複数の前記回路のそれぞれに供給される前記交流電源から高周波帯域の周波数成分を抽出し、
- 、
- 前記判定部は、

複数の前記ハイパスフィルタのそれぞれに対応して、前記第 1 出力と前記第 2 出力との差を繰り返し算出する処理と、

複数の前記ハイパスフィルタのそれぞれに対応して、繰り返し算出した前記差の値の加算値又は平均値を算出する処理と、

複数の前記ハイパスフィルタのそれぞれに対応する前記加算値又は前記平均値を比較することにより、放電が発生した前記回路を特定する処理と、を実行する請求項 2 に記載の放電検出装置。

[請求項 4] 前記位相分割部は、前記ピーク時間領域及び前記ゼロクロス時間領域の時間の長さを調整することが可能に構成される請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の放電検出装置。

[請求項 5] 前記位相分割部は、前記ピーク時間領域及び／又は前記ゼロクロス時間領域の始まり及び／又は終わりのタイミングでパルスを出力する及び／又はパルスの出力をしないことにより、前記交流電源の電圧又は電流の略 1 周期に対応して、2 つの前記ピーク時間領域及び 2 つの前記ゼロクロス時間領域を特定すること可能とする請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の放電検出装置。

[請求項 6] 前記判定部は、
前記第 1 出力と前記第 2 出力との差の値を第 1 閾値と比較する処理と、
前記差の値が前記第 1 閾値以上の場合に、前記差の値を第 2 閾値と比較する処理と、

前記差の値が前記第 2 閾値以上の場合に、放電が発生したと判定する処理と、を実行する請求項 1 に記載の放電検出装置。

[請求項 7] 前記判定部は、前記交流電源の電圧又は電流の少なくとも 1 周期に含まれる、正極の前記ピーク時間領域における前記第 1 出力と、負極の前記ピーク時間領域における前記第 1 出力とに基づいて、放電が発生した場所までの相対的な距離及び／又は放電の相対的な大きさを判定する請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の放電検出装置。

- [請求項8] 前記判定部は、
正極の前記ピーク時間領域における前記第1出力と、正極の前記ピーク時間領域の直前又は直後の前記ゼロクロス時間領域における前記第2出力との差、
負極の前記ピーク時間領域における前記第1出力と、負極の前記ピーク時間領域の直前又は直後の前記ゼロクロス時間領域における前記第2出力との差、
に基づいて、放電が発生した場所までの相対的な距離及び／又は放電の相対的な大きさを判定する請求項7に記載の放電検出装置。
- [請求項9] 前記判定部は、
前記第2出力を第3閾値と比較する処理と、
前記第2出力が第3閾値以上である場合に、放電が発生したか否かの判定を実行することができないことを報知する処理と、を実行する請求項1～8のいずれか1項に記載の放電検出装置。
- [請求項10] 前記判定部は、
前記第2出力を第3閾値と比較する処理と、
前記第2出力が第3の閾値以上である場合に、前記増幅器の増幅率を低下させる処理と、を実行する請求項1～8のいずれか1項に記載の放電検出装置。
- [請求項11] 前記判定部は、
前記交流電源の電圧又は電流の連続する複数周期の値に基づいて、
前記第1出力と前記第2出力との差を繰り返し算出する処理と、
繰り返し算出される前記差の値のそれぞれを閾値と比較する処理と、
、
前記差の値が前記閾値以上の場合に、第1の所定時間の計測を開始する処理と、
前記第1の所定時間が経過するまでの間に、前記閾値以上の前記差の値が連続する場合に、放電が発生したと判定する処理と、

前記第 1 の所定時間が経過するまでの間に、前記差の値が前記閾値未満となった場合に、前記第 1 の所定時間よりも短い第 2 の所定時間の計測を開始する処理と、

前記第 2 の所定時間が経過するまでの間に、前記差の値が前記閾値以上とならない場合に、前記第 1 の所定時間の計測を途中で終了する処理と、

前記第 2 の所定時間が経過するまでの間に、前記差の値が前記閾値以上となり、且つ前記第 1 の所定時間が経過するまで、前記閾値以上の前記差の値が連続する場合に、放電が発生したと判定する処理と、
を実行する請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の放電検出装置。

[請求項12]

前記判定部は、

前記交流電源の電圧又は電流の連続する複数周期の値に基づいて、
前記第 1 出力と前記第 2 出力との差を繰り返し算出する処理と、

繰り返し算出される前記差の値のそれぞれを閾値と比較する処理と

、

前記差の値が前記閾値以上の場合に、第 1 の所定時間の計測を開始する処理と、

前記第 1 の所定時間が経過するまで、前記閾値以上の前記差の値が連続する場合に、放電が発生したと判定する処理と、

前記第 1 の所定時間が経過するまでの間に、前記差の値が前記閾値未満となった場合に、前記閾値未満の前記差の値が算出された回数をカウントする処理と、

前記閾値未満の前記差の値が算出された回数が予め定められた所定回数に達した場合に、前記第 1 の所定時間の計測を途中で終了する処理と、

前記閾値未満の前記差の値が算出された回数が前記所定回数に達する前に、前記差の値が前記閾値以上となり、且つ前記第 1 の所定時間が経過するまで、前記閾値以上の前記差の値が連続する場合に、放電

が発生したと判定する処理と、
を実行する請求項 1 ～ 1 0 のいずれか 1 項に記載の放電検出装置。