

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5490989号
(P5490989)

(45) 発行日 平成26年5月14日(2014.5.14)

(24) 登録日 平成26年3月7日(2014.3.7)

(51) Int.Cl.

G01R 31/08 (2006.01)
H02H 3/00 (2006.01)

F 1

G01R 31/08
H02H 3/00

Q

請求項の数 10 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2007-326683 (P2007-326683)
 (22) 出願日 平成19年12月19日 (2007.12.19)
 (65) 公開番号 特開2008-157940 (P2008-157940A)
 (43) 公開日 平成20年7月10日 (2008.7.10)
 審査請求日 平成22年12月16日 (2010.12.16)
 (31) 優先権主張番号 11/615,103
 (32) 優先日 平成18年12月22日 (2006.12.22)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 390041542
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
 クタディ、リバーロード、1番
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 智志
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100129779
 弁理士 黒川 俊久
 (72) 発明者 ウィリアム・ジェイ・ブレマーラニ
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スコッ
 ティア、ウッドヘイブン・ドライブ、13
 3番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】マルチエンド故障位置特定システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも 2 つの終端装置と少なくとも 2 つの線路区間とを有する送電線のための故障位置検出システムであって、

ノードにおける電圧降下及び電流の値が決定される、前記少なくとも 2 つの線路区間の各々に共通なタップと、

前記少なくとも 2 つの終端装置のそれぞれにおいて、電流信号および電圧信号により三相電圧および三相電流を表す第 1 の手段と、

前記電圧降下及び電流の信号及び電圧および電流フェーザの測定値を使用して、前記送電線の前記少なくとも 2 つの線路区間のうちどれが故障のある故障線路区間であるかを判定する第 2 の手段と、

前記ノードの各線路区間の前記電圧降下及び電流の値と、前記電圧および前記電流フェーザの信号を使用して、前記故障が位置する故障線路区間の前記少なくとも 2 つの終端装置の 1 つの終端装置からの分数故障位置を判定する第 3 の手段と、

前記分数故障位置と、前記故障が位置する前記故障線路区間の長さとを使用して、前記故障線路区間ににおける前記故障の位置を判定する第 4 の手段と、

を備える故障位置検出システム。

【請求項 2】

单一の電圧および電流が使用されて、前記少なくとも 2 つの終端装置のいずれか 1 つにおける前記電圧および電流の測定値を表す請求項 1 記載の故障位置検出システム。

【請求項 3】

前記電圧信号および電流信号は、どの故障種別に対しても非ゼロである請求項 1 記載の故障位置検出システム。

【請求項 4】

前記電圧信号および電流信号は、大地電流あるいは零相電流に影響されない請求項 1 記載の故障位置検出システム。

【請求項 5】

前記故障位置は、隣接する線路区間との相互結合の量を推定することにより計算される請求項 1 記載の故障位置検出システム。

【請求項 6】

少なくとも 2 つの終端装置と少なくとも 1 つの線路区間と少なくとも 1 つの共通タップとを有する送電線上の故障位置を検出する方法であって、前記方法は、

前記少なくとも 2 つの終端装置のそれぞれにおいて、電流信号および電圧信号により三相電圧および電流を表すことと、

共通ノードにおける各路線区間ににおける電圧降下及び電流の値を決定することと、

前記電圧信号と該電圧信号の計算された前記電圧降下の値を使用して、前記送電線の前記線路区間のうちどれが故障のある故障線路区間であるかを判定することと、

前記電圧および電流フェーザの信号と前記電圧降下及び電流の値を使用して、前記故障が位置する故障線路区間の前記少なくとも 2 つの終端装置の 1 つの終端装置からの分数故障位置を判定することと、

前記少なくとも 2 つの終端装置の 1 つ終端装置からの分数故障位置と、前記故障が位置する前記故障線路区間の長さとを使用して、前記故障線路区間ににおける前記故障の位置を判定することと

を備える方法。

【請求項 7】

前記少なくとも 2 つの終端装置のいずれか 1 つにおける前記電圧および電流の測定値を表すために单一の電圧および電流が使用される請求項 6 記載の故障位置検出方法。

【請求項 8】

前記電圧信号および電流信号は、どの故障種別に対しても非ゼロである請求項 6 記載の故障位置検出方法。

【請求項 9】

前記電圧信号および電流信号は、大地電流あるいは零相電流に影響されない請求項 6 記載の故障位置検出方法。

【請求項 10】

前記故障位置の判定は、隣接する線路区間との相互結合の量を推定することにより計算される請求項 6 記載の故障位置検出方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明の分野は、送電線の故障の識別と位置特定に関する。

【背景技術】**【0 0 0 2】**

電力系統線路上の故障の位置を正確に判定し、およその故障インピーダンスを推定できることは、現場作業員を迅速に派遣することを助け、検査の高速化と修理時間の短縮化を促し、それらがすべて、影響を受ける送電線のより迅速な復旧につながることから重要である。その一方で、正確な故障位置の特定は、技術的難題でもある。これは主として、故障位置の推定は、線路終端装置で収集される非常に限られた量の情報のみに基づいて行われるためである。克服しなければならない問題には、有限な送電線のモデリング精度、機器測定の誤差、線路モデルおよびシステムモデルのパラメータの推定誤差、隣接する電力系

10

20

30

40

50

統送電線との結合、未知でしばしば非線形である故障抵抗、結果として利用可能なデータの窓が短時間であることにつながる有限な故障の持続時間、がある。

【0003】

故障位置の特定は、一般に、距離ベースの電力系統の保護継電器の機能への付加として行われる。最も一般的な方式では、1つの線路終端装置から得られる電圧と電流の測定値を使用して、各種の仮定と近似を用いて故障の位置を推定する。このような手法は、シングルエンド法と呼ばれ、あまり正確ではない。絶対的な精度に欠けるのは、主として、線路の一端から得られる測定値に基づく線路とシステムのモデルから導出できる式よりも未知数が多いことの結果である。その結果、仮定が立てられる。様々な仮定は、様々なシングルエンドの故障位置特定法をもたらす。所与の故障状況でそれらの仮定が満たされる時、故障位置特定の結果は正確である。仮定が満たされない場合は、この方法に固有の誤差が生じ、この誤差は非常に大きい場合もある。

【0004】

2つ以上の線路終端装置からの情報を利用する故障位置特定システムは、マルチエンド故障位置特定器と呼ばれる。マルチエンドの故障特定器は、シングルエンド方式の大きな弱点は解消するが、地理的に離散した線路終端装置から、実際の故障特定計算が行われる1つの場所に通信チャネルでデータを中継することを必要とする。マルチエンドの故障位置特定法の中には、線路終端装置間でデータの同期を必要とするものもある。この2つの要件のために、マルチエンド故障位置特定法は、実施するのが困難となっている。例えば、米国特許第6,256,592号は、故障発生時の逆相電流の絶対値および逆相インピーダンスの絶対値と角度値を使用して電力線上の故障の位置を特定するマルチエンドシステムを記載する。マルチエンドシステムの2つの終端装置間で絶対値と角度の情報が送信されて、その情報から故障位置の地点を求めることができる。米国特許第6,256,592号は、逆相電流の情報を用いて、終端装置間で送信しなければならないデータ量を減らすことにより、近実時間で結果を生成する。米国特許6,879,917号は、正相または逆相の電流および電圧を使用して故障の位置を特定する。大半の故障種別は、この特許の逆相法で対応できる。三相の平衡故障は逆相信号を全く生成せず、そのため、米国特許第6,879,917号の逆相法を用いることができない。そのため、前記特許の方法は、この弱点を解消するために正相に基づく数式を加えている。その結果、2組の計算を同時にに行わなければならず、そうでなければ、低精度の故障種別の特定を行わなければならない。

【0005】

故障種別を特定する必要性は、通信帯域が限られた実時間システムにとっては弱点となる。位置特定器の遠隔部分は、逆相に基づく信号と正相に基づく信号の両方を送信する必要があり、そうでなければ、特定器の2つの部分は、故障種別の特定に関して完璧に動作しなければならない。1つの部分が逆相に基づく情報を送信し、もう一方の部分がその情報を正相に基づく情報と組み合わせた場合には、故障の距離の推定に大きな誤差が生じる。

【0006】

典型的なシングルエンドまたはマルチエンドの位置特定器は、故障種別の知識、すなわち、どの導線が何本その故障に関係しているかの知識、同じ送電塔にある、あるいは近接して位置する隣接線路との相互結合の知識、およびいくらかの他の補助的情報を必要とする。こうした追加的な要素は別個の手順を通じて得られ、主要部である故障位置特定手順に誤りとともに伝達された場合には、故障位置特定の精度全体に影響を与える。

【特許文献1】米国特許第6,256,592号

【特許文献2】米国特許第6,879,917号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

誤差をさらに低減することができ、故障発生後に迅速に結果を生成することが可能な、

10

20

30

40

50

送電線上の故障の位置を正確に特定する他の方法がなお必要とされる。保護継電器と一体化された位置特定器など、実時間または近実時間で作動するマルチエンドシステムには、通信のための帯域幅の要件と、特に、送電線が備える異なる終端装置間で送信する必要のある情報の量を制限することが重要である。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一実施形態による故障位置検出システムは、送電線のすべての末端から得られる独自設計の複合電流および電圧の同期されたフェーザ測定値と、基本的な回路網方程式とを利用する。本システムは、2つ以上の終端装置を備える送電線に適用することができる。特別に作成された複合信号のみを用いることにより、本方法は、故障種別、故障抵抗、隣接線路との総合結合の量、または所与の線路の零相(zero sequence)インピーダンスの知識を必要としない。零相インピーダンスの値を無視できることにより、本方法は、零相インピーダンスが変動し、零相インピーダンスの扱いが難しいケーブル線路に応用するのに有用である。10

【0009】

本発明のさらなる実施形態では、故障の位置が特定されると、故障インピーダンスが推定される。本発明のさらに別の実施形態では、本システムは、線路の充電電流の影響が補償される。

【0010】

本発明を特徴づける新規性の様々な特徴は、本開示に添付され、本開示の一部をなす特許請求の範囲で詳細に指摘される。本発明、その動作上の効果、およびその使用により得られる利益をよりよく理解するために、添付図面と説明物を参照する。添付図面は、本発明の多くの形態の例を示すことを目的とする。図面は、本発明がなされ、使用されることができるすべての方式の制限を示すものではない。言うまでもなく、本発明の各種構成要素の変更および置換を行うことができる。本発明は、ここに記載される要素のサブコンビネーションおよびサブシステム、およびそれらを使用した方法にも存する。20

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

ここに実施される本発明の故障検出システムは、送電線のすべての末端における同期された電圧および電流の測定値により、複合信号と関連するネットワークのみを用いて、仮定や近似を行わずに回路網方程式を直接用いて故障の位置を計算することができるという発想に基づく。複合信号は、故障種別に関係なく複合信号中に外乱があるように作成される。故障地点における複合電圧は、終端装置(terminal)における複合電圧、複合電流、および適切なインピーダンスを用いて、各末端における電圧から、故障までの線路電圧降下を減算することにより、線路の各末端から計算することができる。この複合信号モデルでは未知数より式が多く、そのため、線路のすべての末端から行われた故障電圧の推定結果に一致する故障位置を求めることができる。これによりシステムが簡略化され、線路の零相インピーダンスなど、本質的な精度の制約がある可能性のある仮定とモデルパラメータをともに取り除くことにより、システムが非常に正確になる。2終端システムと3終端システムの仕組みおよび計算は同様であり、本明細書のまず課題を解決するための手段で、次いで添付図面を参照してさらに説明する。30

【0012】

2終端システムでは、測定についてのアルゴリズムを各終端装置で個別に実行する。どちらか1つの結果で、故障の位置を特定するのに十分である。両終端装置は、同じデータに適用される全く同じ数式を用いるため、全く同じ故障の位置特定を計算することになる。この事は、線路の両端で同一の数式が実行される点で計算が対称的であり、また、その結果が既知の関係にとどまる点で冗長であると要約することができる。したがって、2終端システムは、計算結果を比較して精度を保証することができる。2終端システムのさらなる実施形態では、システムは、後に故障の位置とローカルの測定結果から各終端装置における故障抵抗を計算するように構成することができ、そのため、各終端装置は、若干異40

なる推定値を計算して構わない。2つの推定値を平均して精度を高める。

【0013】

3終端装置システムでは、3つの終端装置すべてからの情報を有する各終端装置でアルゴリズムを実行する。1つの通信チャネルが故障した場合には、アルゴリズムを実行するのは3つの終端装置のうち1つのみになる可能性がある。このシステムアルゴリズムは、2つの部分からなる。1つの部分は、故障のある線路区間を求め、第2の部分は、故障のある区間ににおける故障の位置を特定する。2終端装置システムと同様に、このアルゴリズムは、各終端装置で全く同じ故障位置を計算する。しかし、各終端装置は、若干異なる故障抵抗を報告する可能性がある。故障抵抗の計算の精度は、各終端装置から得られる求められた値を後の段階で平均することによって高めることができる。

10

【0014】

次いで図面を参照すると、図1は、2終端装置の送電線のための複合信号ネットワーク100を示す。図面では、同じ要素または関連する要素は、同様の参照符号を使用して示す。第1の終端装置105と第2の終端装置110の間の故障個所における複合信号ネットワーク中の外乱が、故障150を特徴づける。本システムの故障位置特定アルゴリズムは、故障150個所における複合電圧を明示的に求めることを必要としない。代わりに、このアルゴリズムは、代わりに他の情報を使用することにより、故障位置特定のための数式から故障電圧V(F)を取り除く。

【0015】

このシステムのアルゴリズムは、以下の故障測定値および設定値に基づく。

20

【0016】

$I(1)$ = 第1の終端装置105で線路に流れ込む複合電流フェーザ
 $I(2)$ = 第2の終端装置110で線路に流れ込む複合電流フェーザ
 $V(1)$ = 第1の終端装置105における複合電圧フェーザ
 $V(2)$ = 第2の終端装置110における複合電圧フェーザ
 Z = 複合線路インピーダンス
 L = 第1の終端装置105と第2の終端装置110間の線路長

初めに複合信号を定義しなければならない。この信号は、このような複合動作信号を作成する前に故障種別の特定が必要とされないように、どの故障種別（対称故障、不平衡故障、地絡故障、または大地からの絶縁）に対しても非ゼロの動作量を提供することを目的として選択される。別の目的は、大地に流れる電流の影響をなくすように複合信号を作成することである。これは、他の線路との相互結合の影響に関して精度を高めるためである。さらに別の目的は、送電線の各種終端装置に配置された故障位置特定システムの各部分間で交換されるデータの量が最小になるように、1つの電流と電圧で状況を表すことである。

30

【0017】

本発明は、故障位置の特定を目的として、一般化されたClarke変換を使用して電圧および電流を表す。従来のClarke変換は、瞬時値とフェーザ値の両方に機能し、その成分の一つに対して次の数式を用いる。

$$V = (1/3)^* (2^* V_A - V_B - V_C) \quad (1)$$

40

上記の式は、BC故障に対してはゼロになるという弱点があり、そのため、あらゆる状況下で故障を表す信号を伝達するという要件を満たさない。そのため、数式(1)を本発明により次のように一般化する。

$$V = (1/3)^* (2^* V_A - b^* V_B - (b^*)^* V_C) \quad (2)$$

bは、

$$b = 1 + j^* \tan(\alpha\phi) \quad (3a)$$

によって与えられる複素数であり、 b^* はbの共役であり、数学的には、

$$b^* = 1 - j^* \tan(\alpha\phi) \quad (3b)$$

であり、 $\alpha\phi$ は、任意の角度である。 $\alpha\phi = 0$ で、本発明の一般化されたClarke変換が、従来のClarke変換になることに留意されたい。本明細書に開示

50

される方法の特定の一実施では、 $\alpha \text{ l } \text{ p } \text{ h } \text{ a } = \text{ p } \text{ i } / 4$ 、すなわち 45 度を用いる。ただし、多くの角度が、あらゆる種別の故障を表し、大地電流の結合の影響を受けないという要件を満たすことに留意されたい。また、位相信号 (A、B、C) の多くの他の組み合わせが、あらゆる種別の故障を表し、大地電流の結合に影響されないという要件を満たすことにも留意されたい。本発明は、大地電流が当該信号に影響せず、かつ当該信号がすべての故障種別について非ゼロになるように、故障位置特定のために 3 つの測定された信号 (A、B、C) を表す単一の信号が作成される方法を請求する。したがって、数式 (1) から (3) は単なる例であり、当業者は、この手法の多くの代法を導き出すことができる。

【0018】

対象となるすべての地点における相電流 (I A、I B、I C) と電圧 (V A、V B、V C) の両方が、対象ネットワーク全体にわたって同じ変換方法を使用する一般化された Clark 变換などで、復号信号に変換される。この変換は、故障の位置を特定する装置内で行われ、故障位置特定の方法と数式を導出する際にすべての信号に対して数学的に行われる。

【0019】

送電線の充電電流が補償される相電流測定の場合は、複合電流信号を求める際に補償された相電流フェーバーが使用され、その補償を最大限に活用した故障位置の推定値を提供する。充電電流の影響については下記でさらに説明する。

【0020】

これ以降、すべての計算は、複合電流および電圧を指す。

10

【0021】

分数単位または絶対単位のどちらかで故障の位置を知ることが求められる。

【0022】

F = 第 1 の終端装置 105 からの分数故障位置 (fractional fault location)

$D = F \cdot L$ = 第 1 の終端装置 105 から故障 150 の位置までの距離

上記の分数故障位置と故障までの距離との直線比例は、均質な線路、すなわち、インピーダンスが線路の長さに沿って均一に分散している線路に該当することに留意されたい。均質でない線路には、この直線比例は当てはまらない。しかし、本開示の方法は、非均質な線路にも容易に拡張することができる。説明を簡潔にするために、以下の説明では均質な線路の事例を検討する。

30

【0023】

【数 1】

$$\text{分数故障位置は、} F = \text{Real} \left[\frac{\frac{V(1)-V(2)}{Z} + I(2)}{I(1)+I(2)} \right] \text{で与えられる。} \quad (4)$$

数式 (4) は、データ中の冗長性を利用している。未知数より多くの式があるため、最小二乗平均適合を使用する。この式は、故障相、故障種別、故障抵抗、および隣接する送電線との零相（大地電流）結合がある場合でも左右されない。

40

【0024】

数式 (4) で用いられる送電線の合計線路インピーダンスの値 Z を理解することが重要である。この値は、もう一方の端に故障がある状態で線路の一端で測定された複合電圧と複合電流の複合比である。故障の種別は関係せず、この比は故障種別に関係なく同じになることに留意されたい。実際には、このインピーダンスは線路の逆相 (negative sequence) または正相 (positive sequence) インピーダンスと等しく、容易に求めることができる。

【0025】

数式 (4) は、第 1 の終端装置 105 および第 2 の終端装置 110 のどちらかまたは両方で計算することができ、線路の対向する両端から測定した場合を除いて、全く同じ故障

50

位置の推定値を生成する。認識されるように、2つの終端装置105、110の役割は、数式(1)が計算される終端装置を変更する時には入れ替わる。2つのF値は、同じように合計1になるはずである。

【0026】

測定およびパラメータの誤差のために数式(1)で生じる誤差は、CTタイプの機器誤差など、最悪の相対センサ誤差の2分の1に等しいことを示すことができる。これは、典型的なCT誤差および故障位置特定計測誤差の2.5~5%になる。

【0027】

上記の2終端装置アルゴリズムは、図2に示すような3終端装置システム200に容易に拡張される。第1の終端装置105からタップ220間の線路上に故障150がある場合について、3終端装置システム200の状況を図示する。他の2つの線路区間の1つに故障150がある状況は図示しないが、線路の指数の巡回置換によって得ることができる。

10

【0028】

次の測定値およびパラメータを利用できるものとする。

【0029】

$I(1)$ 、 $I(2)$ 、 $I(3)$ = 第1、第2、および第3の線路区間に流れ込む複合電流フェーザ

$V(1)$ 、 $V(2)$ 、 $V(3)$ = 第1の終端装置105、第2の終端装置110、および第3の終端装置における複合電圧フェーザ

20

$Z(1)$ 、 $Z(2)$ 、 $Z(3)$ = 第1、第2、第3の線路区間の複素複合インピーダンス

$L(1)$ 、 $L(2)$ 、 $L(3)$ = 第1、第2、第3の線路区間の線路長

言うまでもなく、故障150がある線路区間と、対応する線路終端装置105、110、115から故障150までの距離とを求めることが目標である。次のパラメータを使用して、故障150がある線路と、所与の終端装置から故障150までの距離を求める。

【0030】

N = 故障のある線路区間の終端装置の指数 (= 1、2、または3)

F = N 番目の終端装置105、110、115からの分数故障位置

$D = F \cdot L(N)$ = N 番目の終端装置105、110、115から故障150の位置までの距離

30

最初に、タップ地点と任意の終端装置間に故障のない状態を仮定して、第1、第2、第3の終端装置105、110、115それぞれから開始して、タップ220における電圧の3つの別個の推定を行う。したがって、故障位置特定アルゴリズムは、次のタップ電圧の推定値を用いる。

【0031】

【数2】

$$VT(1) = V(1) - I(1) \cdot Z(1)$$

$$VT(2) = V(2) - I(2) \cdot Z(2) \quad (5)$$

$$VT(3) = V(3) - I(3) \cdot Z(3)$$

40

$VT(1)$ 、 $VT(2)$ 、 $VT(3)$ はそれぞれ、第1の終端装置105、第2の終端装置110、第3の終端装置115から計算されたタップ電圧である。

【0032】

次いで、故障150のある線路区間を求める。線路の特定は、故障のない線路区間を通るループに沿った電圧降下は合計でゼロになることを認識することによって行うことができる。残留電圧フェーザをループごとに計算する。残留電圧が最も低いループに、故障のない2つの線路区間が含まれている。換言すると、1つのみの線路区間に故障があり、故障のない2つの区間ににより、2つの終端装置が実際のタップ電圧を推定することができる

50

。その結果、所与の終端装置の対が同じタップ電圧を求めた場合は、故障は、タップと第3の終端装置の間にあることになる。次の数式を使用して、各ループ内の残留電圧フェーザの大きさの二乗を指標として計算する。

【0033】

【数3】

$$\begin{aligned} R^2(1) &= |VT(2) - VT(3)|^2 \\ R^2(2) &= |VT(3) - VT(1)|^2 \\ R^2(3) &= |VT(1) - VT(2)|^2 \end{aligned} \quad (6)$$

10

$R^2(1)$ 、 $R^2(2)$ 、 $R^2(3)$ は、大きさの二乗である。故障150がある線路の指數N = 1、2、または3は、最小の残余電圧フェーザの指標と同じである。指標 $R^2(1)$ 、 $R^2(2)$ 、 $R^2(3)$ がすべて互いとほぼ等しい場合、故障はタップ220の近くにある。

【0034】

故障150がある線路の指數Nが求められると、その線路区間に該当するデータを供給された2終端装置線路のために導出された式を使用して、故障150の位置が特定される。各式は、指數Nを巡回置換することにより他のどの式からでも得られる。各指數あるいは線路についての式を以下に示す。まず、電流フェーザおよび上記の数式(5)で計算されたタップ電圧の推定値を使用して、タップ点220における電圧フェーザの最良推定値と、タップ220からの故障電流の寄与分とを計算する。

20

【0035】

【数4】

$$\begin{aligned} \text{if}(N=1): VT &= \frac{VT(2)+VT(3)}{2}; IT = I(2)+I(3); Z = Z(1); \\ \text{if}(N=2): VT &= \frac{VT(3)+VT(1)}{2}; IT = I(3)+I(1); Z = Z(2); \\ \text{if}(N=3): VT &= \frac{VT(1)+VT(2)}{2}; IT = I(1)+I(2); Z = Z(3); \end{aligned} \quad (7)$$

30

次いで、終端装置105およびタップの電流フェーザおよび電圧フェーザから、故障150がある線路区間の終端装置端105からの分数故障位置を計算する。タップ点220は、2終端装置アルゴリズムにおける他方の終端装置とちょうど同じように作用する。したがって、

【0036】

【数5】

$$\begin{aligned}
 & \text{if } (N=1): F = \text{Real} \left[\frac{\frac{V(1)-VT}{Z} + IT}{I(1)+I(2)+I(3)} \right] \\
 & \text{if } (N=2): F = \text{Real} \left[\frac{\frac{V(2)-VT}{Z} + IT}{I(1)+I(2)+I(3)} \right] \quad (8) \\
 & \text{if } (N=3): F = \text{Real} \left[\frac{\frac{V(3)-VT}{Z} + IT}{I(1)+I(2)+I(3)} \right]
 \end{aligned}$$

10

続いて、分数距離に、影響を受ける線路区間の長さを乗算することにより、その特定の線路に沿った実際の距離を計算する。

【0037】

$$D = F \cdot L(N) \quad (9)$$

式(8)は、必要な情報を利用可能な状態にしている3つの終端装置105、110、115のいずれか、またはすべてで実施されることができる。3つの結果はすべて同じになる。図2の実施形態で説明したようなピアツーピアのアーキテクチャでは、3つの終端装置105、110、115が各終端装置内で異なる指標を有することに多少注意を払わなければならないことに留意されたい。理解されるように、3つの通信チャネルがすべて稼働している場合は、3つの終端装置はすべて故障150の位置を計算することができる。これに対して2つのみの通信チャネルが稼働している場合は、1つの終端装置105、110、115、すなわち両方の稼働チャネルに接続されている終端装置105、110、115のみが計算を行うことができる。1つのみのチャネルが稼働している場合は、システム200を使用して故障を検出あるいは位置を特定することはできない。理解されるように、送電線回路および通信経路と接続されるか通信できる状態にあり、本明細書に記載される実施形態に従って構成された従来の測定装置および/または計算装置を使用して、必要とされるすべての測定値を得、計算を行うことができる。

20

【0038】

さらなる実施形態では、終端装置の電圧から開始し、既知の故障位置150までの電圧降下を減算することにより、故障150の箇所における対地(phase to ground)電圧を計算することで、故障抵抗を計算することができる。

30

【0039】

故障抵抗は、システム100、200を使用して計算することもできる。故障150の位置が特定されると、故障抵抗を推定するのは容易なことである。詳細事項は、故障の種別と終端装置の数によって異なる。以下の説明では、2終端装置の場合の式を考える。3終端装置の場合の式も同様であり、以下の2終端装置の説明から3終端装置の式を得る方法が理解されよう。

40

【0040】

一線地絡故障の場合、故障抵抗は、故障相の故障電圧フェーザと電流フェーザの比の実数部を取り出すことによって推定される。電圧フェーザは、相電圧フェーザが分かれている終端装置端105、110、115から開始し、故障150の箇所における電圧降下を減算することによって推定される。隣接する線路からの相互結合の影響の可能性が考慮される。図1および図3を参照して、A相地絡の事例を考える。B相地絡またはC相地絡(図3には図示せず)の式も、該当する相からの数量を使用することを除いて同様である。

50

【0041】

初めに、隣接する線路からの零相の相互結合を計算する。

【0042】

【数6】

$$Z0M = Z0 \cdot (Z0M / Z0) \quad (10)$$

$(Z0M / Z0)$ =零相結合比

次いで故障までの距離を計算する。

【0043】

【数7】

10

$$D = F \cdot L \quad (11)$$

相互結合の部分を計算する。

【0044】

【数8】

$$if(D < L_m) F_m = D / L_m \text{ else } F_m = 1 \quad (12)$$

次のように、隣接線路の3I0Mを3で割る。

【0045】

20

【数9】

$$I0M = 3I0M / 3 \quad (13)$$

送電線のローカル端に流れ込む零相電流を計算する。

【0046】

【数10】

$$I0(1) = (I_A(1) + I_B(1) + I_C(1)) / 3 \quad (14)$$

30

指数1は、ローカルの終端装置105、110から得られる電流測定値を指す。次いで、故障150の地点における対地電圧を推定し、

【0047】

【数11】

$$V_A(F) = V_A(1) - F \cdot ((I_A(1) - I0(1)) \cdot Z + I0(1) \cdot Z0) - F_m \cdot I0M \cdot Z0M \quad (15)$$

故障電流を計算する。

【0048】

【数12】

40

$$I_A(F) = I_A(1) + I_A(2) \quad (16)$$

指数1は、この場合もローカルの終端装置105、110から得られる電流測定値を指し、指数2は、リモートの終端装置110、105から得られる電流測定値を指す。最後に故障抵抗を計算する。

【0049】

【数13】

$$R_A(F) = \text{Real} \left(\frac{\mathbf{V}_A(F)}{\mathbf{I}_A(F)} \right) \quad (17)$$

相間故障抵抗は、以下の要領でより簡単に得ることができる。まず、故障のある地点における相間電圧を推定する。

【0050】

【数14】

$$\mathbf{V}_{AB}(F) = (\mathbf{V}_A(1) - \mathbf{V}_B(1)) - F \cdot (\mathbf{I}_A(1) - \mathbf{I}_B(1)) \cdot Z \quad (18)$$

10

AおよびBは相を示し、1は、ローカルの終端装置105、110の指標である。次いで、相間故障電流を推定する。

【0051】

【数15】

$$\mathbf{I}_{AB}(F) = \frac{1}{2} (\mathbf{I}_A(1) + \mathbf{I}_A(2) - \mathbf{I}_B(1) - \mathbf{I}_B(2)) \quad (19)$$

最後に、式(18)および(19)の結果を使用して相間抵抗を計算する。

【0052】

20

【数16】

$$R_{AB}(F) = \text{Real} \left(\frac{\mathbf{V}_{AB}(F)}{\mathbf{I}_{AB}(F)} \right) \quad (20)$$

理解されるように、相間故障の分析は、零相結合が問題とならないので、より単純である。

【0053】

三相故障の状況については、故障150の地点における複合電圧と複合電流の比の実数部として、同等の故障抵抗が報告される。三相故障の場合は、以下のようにして、両端からの複合電圧および電流を使用して推定値を平均することにより、故障150地点における電圧のより正確な推定値を構築することができる。

30

【0054】

【数17】

$$\mathbf{V}(F) = \frac{1}{2} (V(1) - F \cdot I(1) \cdot Z + V(2) - (1-F) \cdot I(2) \cdot Z) \quad (21)$$

よって、故障抵抗は

【0055】

【数18】

40

$$R(F) = \text{Real} \left(\frac{\mathbf{V}(F)}{\mathbf{I}(1) + \mathbf{I}(2)} \right) \quad (22)$$

となる。

【0056】

再度図3を参照すると、図3に示す回路モデルを使用して、A相からB相への地絡を考える。零相ネットワークの関与を考慮するために、A相およびB相それぞれに一線地絡の式を適用する。まず、隣接線路からの零相の相互結合を計算する。

【0057】

50

【数 1 9】

$$Z_{0M} = Z_0 \cdot (Z_{0M}/Z_0) \quad (23)$$

(Z_{0M}/Z_0) = 零相結合比

上記と同様に故障までの距離を計算し、

【0 0 5 8】

【数 2 0】

$$D = F \cdot L \quad (24)$$

相互結合の部分を計算する。

【0 0 5 9】

【数 2 1】

$$if(D < L_m) F_m = D / L_m \text{ else } F_m = 1 \quad (25)$$

次いで、隣接線路の3IOMを3で割り、

【0 0 6 0】

【数 2 2】

$$I_{0M} = 3I_{0M} / 3 \quad (26)$$

送電線のローカル端105、110に流れ込む零相電流を計算する。

【0 0 6 1】

【数 2 3】

$$I_{0}(1) = (I_A(1) + I_B(1) + I_C(1)) / 3 \quad (27)$$

次に、A相およびB相それぞれについて、故障の地点における対地電圧を推定し、

【0 0 6 2】

【数 2 4】

$$V_A(F) = V_A(1) - F \cdot ((I_A(1) - I_{0}(1)) \cdot Z + I_{0}(1) \cdot Z_0) - F_m \cdot I_{0M} \cdot Z_{0M} \quad (28)$$

$$V_B(F) = V_B(1) - F \cdot ((I_B(1) - I_{0}(1)) \cdot Z + I_{0}(1) \cdot Z_0) - F_m \cdot I_{0M} \cdot Z_{0M} \quad (29)$$

A相およびB相それぞれの故障電流を計算し、

【0 0 6 3】

【数 2 5】

$$I_A(F) = I_A(1) + I_A(2) \quad (30)$$

$$I_B(F) = I_B(1) + I_B(2) \quad (31)$$

式(28)から(31)までの結果を使用して、相間抵抗を求める。

【0 0 6 4】

【数 2 6】

$$R_\phi(F) = 2 \cdot \text{Real} \left(\frac{V_A(F) - V_B(F)}{I_A(F) - I_B(F)} \right) \quad (32)$$

最後に故障150の接地抵抗を計算する。

【0 0 6 5】

10

20

30

40

50

【数27】

$$R_g(F) = \frac{1}{2} \operatorname{Real} \left(\frac{\mathbf{V}_A(F) + \mathbf{V}_B(F)}{\mathbf{I}_A(F) + \mathbf{I}_B(F)} \right) - \frac{R_\phi(F)}{4} \quad (33)$$

このように、故障150の抵抗は、故障種別と相互結合を考慮するために上記のよう 10
様々な方式で計算することができる。故障抵抗の情報を故障の位置と組み合わせることにより、送電線の事業者が、自社のシステムをより効果的に管理することが可能になる。上記で述べたように、この情報は、故障の位置および／または故障抵抗を求めるために必要なデータを受け取るように最少数の他の終端装置に接続されたどの終端装置からも得るこ とができる。

【0066】

本発明の別の実施形態では、マルチエンド故障位置特定システムは、故障位置特定システムの精度をさらに高めるために、故障の位置を求める際に充電電流の補償を含むことができる。この故障位置特定システムは複合信号ネットワークを利用するので、図4に示すモデル回路は、このネットワークをかなりよく近似する。図4のモデルは、合計線路キャパシタンスと線路の両端における電圧V(1)、V(2)の平均とに応じて合計充電電流が決まると思定することに相当する。この電流補償モデルにおける暗黙的な仮定は、線路上の電圧は、一端からもう一端に向かって線路に沿って線形に変動するということである。これは通常の（故障のない）状態時には該当するが、故障のある状態時には該当しない。したがって、結果として、これらの仮定は故障状態によって破られることになる。これは、故障の検出には良好に機能するが、故障位置特定に対する充電電流の影響をさらに調査することを必要とする。

【0067】

故障のある間、その線路における電圧プロファイルは、終端装置から故障へのほぼ2本の直線となり、その結果図5に示すモデルとなる。ある機器が充電電流補償モードで本システムで作動している場合、各線路における複合電流フェーザは、

【0068】

【数28】

30
になり、Cは、複合励起電圧下で線路の複合充電電流を表すものと理解されるキャパシタンスである。実際の状況では、このキャパシタンスは、線路のいわゆる正相または逆相キャパシタンスに等しい。

【0069】

上記の故障位置特定アルゴリズム（6）、（7）、（8）では、単純に線電流の補償された電流値を使用するのが利便であることは理解されよう。好都合なことに、図4のモデルと図5のモデルの違いを無視するいくつかの近似で式を修正すると、式（34）の電流を使用することができる。

【0070】

図5に示すような第1の終端装置105から故障150までの複合電圧降下の式は、

【0071】

【数29】

$$F \cdot \mathbf{I}(1) \cdot \mathbf{Z} = \mathbf{V}(1) \cdot \left(1 + F^2 \cdot j\omega \frac{C}{2} \cdot \mathbf{Z} \right) - \mathbf{V}(F) \quad (35)$$

となり、第2の終端装置110から故障150までの電圧降下は、

【0072】

10

20

30

40

50

【数30】

$$(1-F) \cdot \mathbf{I}(2) \cdot \mathbf{Z} = \mathbf{V}(2) \cdot \left(1 + (1-F)^2 \cdot j\omega \frac{C}{2} \cdot \mathbf{Z} \right) - \mathbf{V}(F) \quad (36)$$

となる。

【0073】

式(35)および(36)は、後に故障位置の推定値の精度を判定するために使用できる電圧と電流との関係を求める。あるいは、これらの式は、故障位置の最小二乗平均推定値を求めるためにも使用することができる。しかし、このプロセスは結果としてFにやや複雑な係数を伴う4次多項式が来るため、実時間あるいは近実時間で解を得るためにこのアルゴリズムを実装することは効率的でない。これは、4次多項式は一般的な事例ではアプリオリに解くことができないので、数値解法を実時間で使用しなければならないためである。いずれにせよ近似が必要になるので、より効率的で単純な手法は、式(34)で与えられる補償電流を位置特定アルゴリズムで使用し、その結果生じる故障位置の誤差を解析することである。したがって、補償された複合電流フェーザを使用した2終端装置の位置特定アルゴリズムは、

【0074】

【数31】

$$F = \text{Real} \left[\frac{\frac{\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)}{\mathbf{Z}} + \hat{\mathbf{I}}(2)}{\hat{\mathbf{I}}(1) + \hat{\mathbf{I}}(2)} \right] \quad (37)$$

10

20

となり、一方、補償電流フェーザは、式(34)で与えられる。

【0075】

次いで、上記の簡略化された解決法が十分に正確であることを示す。複合電流フェーザは、式(35)、(36)を再構成することにより、故障150個所における電圧と、終端装置105、110の電圧によって表すことができる。第1の終端装置105における電流は、

30

【0076】

【数32】

$$\mathbf{I}(1) = \frac{\mathbf{V}(1) \cdot \left(1 + F^2 \cdot j\omega \frac{C}{2} \cdot \mathbf{Z} \right) - \mathbf{V}(F)}{F \cdot \mathbf{Z}} \quad (38)$$

で与えられ、第2の終端装置110における電流は、

【0077】

【数33】

$$\mathbf{I}(2) = \frac{\mathbf{V}(2) \cdot \left(1 + (1-F)^2 \cdot j\omega \frac{C}{2} \cdot \mathbf{Z} \right) - \mathbf{V}(F)}{(1-F) \cdot \mathbf{Z}} \quad (39)$$

40

で与えられる。理解されるように、次の式により、故障150個所における開放電圧に対する外乱で故障電圧を表すと利便である。

【0078】

【数34】

$$\mathbf{V}_A = (1-F) \cdot \mathbf{V}(1) + F \cdot \mathbf{V}(2) - \mathbf{V}(F) \quad (40)$$

50

数式(38)および(39)に数式(40)を代入すると、外乱電圧によって非補償電流を表す次の同等の式が得られる。

【0079】

【数35】

$$\mathbf{I}(1) = \frac{\mathbf{V}(1)-\mathbf{V}(2)}{\mathbf{Z}} + F \cdot \mathbf{V}(1) \cdot j\omega \frac{C}{2} + \frac{\mathbf{V}_\Delta}{F \cdot \mathbf{Z}} \quad (41)$$

$$\mathbf{I}(2) = \frac{\mathbf{V}(2)-\mathbf{V}(1)}{\mathbf{Z}} + (1-F) \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{2} + \frac{\mathbf{V}_\Delta}{(1-F) \cdot \mathbf{Z}} \quad (42)$$

10

数式(34)に数式(41)および(42)を代入すると、次のような補償電流フェーザの式が得られる。

【0080】

【数36】

$$\hat{\mathbf{I}}(1) = \frac{\mathbf{V}(1)-\mathbf{V}(2)}{\mathbf{Z}} - (1-F) \cdot \mathbf{V}(1) \cdot j\omega \frac{C}{2} + \frac{\mathbf{V}_\Delta}{F \cdot \mathbf{Z}} \quad (43)$$

$$\hat{\mathbf{I}}(2) = \frac{\mathbf{V}(2)-\mathbf{V}(1)}{\mathbf{Z}} - F \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{2} + \frac{\mathbf{V}_\Delta}{(1-F) \cdot \mathbf{Z}} \quad (44)$$

20

そして、数式(43)および(44)を数式(37)に代入すると、次の計算された故障位置の式が得られる。

【0081】

【数37】

$$\begin{aligned} Real & \left[\frac{\frac{\mathbf{V}(1)-\mathbf{V}(2)}{\mathbf{Z}} + \hat{\mathbf{I}}(2)}{\hat{\mathbf{I}}(1)+\hat{\mathbf{I}}(2)} \right] = \\ & F \cdot Real \left[\frac{\mathbf{V}_\Delta - F \cdot (1-F) \cdot \mathbf{Z} \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{2}}{\mathbf{V}_\Delta - F \cdot (1-F)^2 \cdot \mathbf{Z} \cdot \mathbf{V}(1) \cdot j\omega \frac{C}{2} - F^2 \cdot (1-F) \cdot \mathbf{Z} \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{2}} \right] \end{aligned} \quad (45)$$

30

数式(45)の位置特定アルゴリズムは、充電電流がない時に正確であることに気付かれよう。さらに、数式(45)は、Fが0または1になると誤差項がゼロになるので、線路のどちらか一端の近くで生じた故障に対して優れた精度を提供する。同時に、数式(45)は、故障が線路上の他の位置にある時にも非常に正確な結果をもたらす。線路の中心部近くに故障がある最悪の事例に対しても、誤差は非常に小さく、このことを以下の分析によって証明する。線路の中間点近くに位置する故障の場合、数式(45)は、実際の故障の位置に対して次の近似を生成する。

40

【0082】

【数38】

$$\begin{aligned}
 & Real \left[\frac{\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2) + \hat{\mathbf{I}}(2)}{\mathbf{Z} / (\hat{\mathbf{I}}(1) + \hat{\mathbf{I}}(2))} \right] \approx \\
 & F \cdot Real \left[\frac{\mathbf{V}_\Delta - \mathbf{Z} \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{8}}{\mathbf{V}_\Delta - \mathbf{Z} \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{8} - \mathbf{Z} \cdot (\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)) \cdot j\omega \frac{C}{16}} \right] \approx \\
 & F - \frac{1}{2} Real \left[\frac{\mathbf{Z} \cdot (\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)) \cdot j\omega \frac{C}{16}}{\mathbf{V}_\Delta - \mathbf{Z} \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{8} - \mathbf{Z} \cdot (\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)) \cdot j\omega \frac{C}{16}} \right]
 \end{aligned} \tag{46}$$

10

簡単な分析で、故障150が送電線の中間点の近くに位置する場合であっても数式(45)および(46)の誤差が小さい理由が分かる。数式(46)の次の項が残差を表す。

【0083】

【数39】

$$error \approx -\frac{1}{2} Real \left[\frac{\mathbf{Z} \cdot (\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)) \cdot j\omega \frac{C}{16}}{\mathbf{V}_\Delta - \mathbf{Z} \cdot \mathbf{V}(2) \cdot j\omega \frac{C}{8} - \mathbf{Z} \cdot (\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2)) \cdot j\omega \frac{C}{16}} \right] \tag{47}$$

20

次の因子が数式(47)中の数力所に現われる：

【0084】

【数40】

$$j \cdot \mathbf{Z} \cdot \omega \cdot C \tag{48}$$

30

この因子は、

【0085】

【数41】

$$j \cdot \mathbf{Z} \cdot \omega \cdot C \approx -\omega^2 \cdot L \cdot C \tag{49}$$

により、線路のインダクタンスとキャパシタンスにほぼ相関する。数式(49)で与えられる因子は、電力系統周波数を線路の共振周波数で割った比の二乗であり、これは、線路の長さを電力系統周波数における1波長で割った比の二乗でもある：

【0086】

【数42】

40

$$\mathbf{Z} \cdot \omega \cdot C \approx -\omega^2 \cdot L \cdot C \approx -\frac{\omega^2}{\omega_{resonant}^2} \approx -\frac{D^2}{D_\lambda^2} \tag{50}$$

数式(50)で与えられる因子はやや小さいため、数式(47)を

【0087】

【数43】

$$error \approx \frac{1}{32} \cdot \frac{D^2}{D_{resonant}^2} \cdot Real \left[\frac{(\mathbf{V}(1) - \mathbf{V}(2))}{\mathbf{V}_\Delta} \right] \quad (51)$$

で近似することができる。数式(51)の各因子は小さく、そのため線路の中間点に近い故障であっても故障位置の推定値の誤差は小さい。

【0088】

以下の数値例によりこの精度をさらに実証する。30度の終端間の電圧角度差で稼働する160kmの線路の中間点の近くに単相故障があるとする。線路の中間点近くにある単相故障の場合には、故障地点における外乱電圧が系統電圧の3分の1にほぼ等しいことを示すことができる。典型的な線路の60Hzにおける1全波長の距離は、約800kmである。線路全体にわたる電圧の大きさは、系統電圧に、線路全体にわたる角度の2分の1の正弦の2倍を乗算した値にほぼ等しい。したがって、この例の誤差は、

【0089】

【数44】

$$|error| = \frac{1}{32} \cdot \left(\frac{160km}{800km} \right)^2 \cdot \frac{2 \cdot \sin(30^\circ / 2)}{1/3} \approx 0.002 \approx 0.2\% \quad (52)$$

となる。

【0090】

このように、長さ160kmの線路に対して充電電流が補償された電流で数式(37)を用いることに伴う誤差は無視できるほど小さい。数式(51)を用いると、残差は、線路の長さの二乗として増大していくことも分かる。例えば、先の例で線路の長さを160kmから800kmに延ばすと、誤差が0.2%から5%に増大し、単純な充電補償の適用性の実際的な上限を設定する。いずれの場合も、800kmを超えるものなど非常に長い送電線については、長い送電線を表す微分方程式で充電電流をモデル化しなければならないことが当技術分野でよく知られている。

【0091】

以上好ましい実施形態を参照して本発明について説明したが、本発明の技術的範囲から逸脱することなく、本発明に関する分野の一般当業者により上記実施形態に各種の変更あるいは置換を行ってよい。

【0092】

本明細書に記載され、添付図に図示される故障位置特定システムの用途と構成は、例示的なものに過ぎない。本開示では本発明の数個の実施形態のみを詳細に説明したが、本開示を検討する当業者は、頭記の特許請求の範囲に記載される主題の新規な教示と効果から実質的に逸脱することなく多数の変更が可能であることを容易に認識されよう(例えば、複素数を表すために極座標を用いるか、直交座標を用いるか、あるいは、拡張されたCarte変換とは異なるが、あらゆる故障種別を反映し、地絡電流の影響を受けない複合信号の形式を用いる等)。したがって、そのような変更はすべて、頭記の特許請求の範囲に定義される本発明の範囲に包含されるものとする。工程や方法の段階の順序または順番は、代替実施形態に従って変更あるいは、並べ替えてよい。特許請求の範囲では、機能+手段の項はいずれも、記載される機能を行うものと本明細書に記載される構造、および構造的均等物のみならず同等の構造を包含するものとする。頭記の特許請求の範囲に示される本発明の実施形態の主旨から逸脱することなく、好ましい実施形態およびその他の例示的実施形態の設計、動作条件、および構成に、他の置換、修正、変更、および省略を加えてよい。したがって、本発明の技術的範囲は、上記の実施形態だけでなく、頭記の特許請求の範囲に該当するすべての実施形態を包含する。また、図面の符号に対応する特許請求の範囲中の符号は、単に本願発明の理解をより容易にするために用いられているもので

10

20

30

40

50

あり、本願発明の範囲を狭める意図で用いられたものではない。そして、本願の特許請求の範囲に記載した事項は、明細書に組み込まれ、明細書の記載事項の一部となる。

【図面の簡単な説明】

【0093】

【図1】本発明の一実施形態による2終端装置故障検出システムの模式回路図である。

【図2】別の実施形態による3終端装置故障検出システムの模式回路図である。

【図3】図1の2終端装置回路の故障抵抗モデルの模式回路図である。

【図4】さらなる実施形態による充電電流補償複合信号モデルの模式回路図である。

【図5】図4の充電電流補償複合信号モデルの変更を加えた模式回路図である。

【符号の説明】

【0094】

100 複合信号ネットワーク

105、110、115 終端装置

150 故障

200 3終端装置システム

220 タップ

10

【図1】

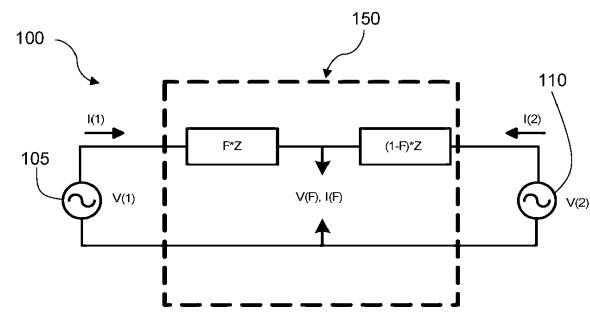
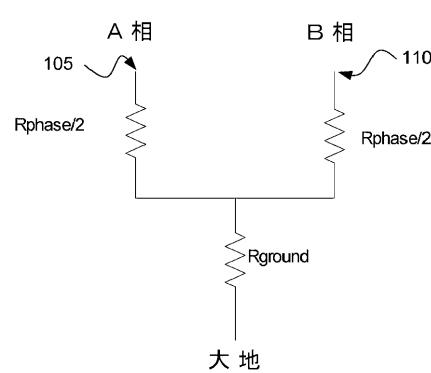


Fig. 1

【図3】



大地

【図2】

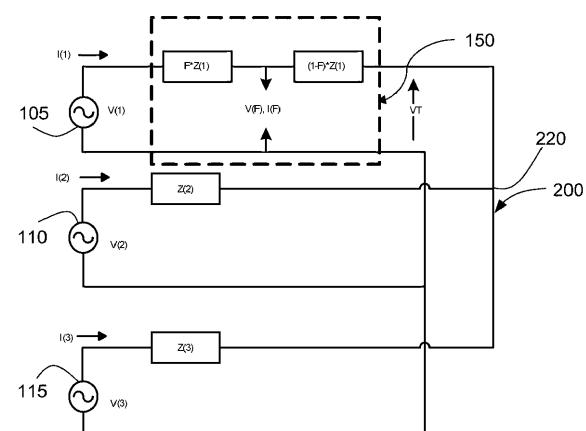


Fig. 2

Fig. 3

【図4】

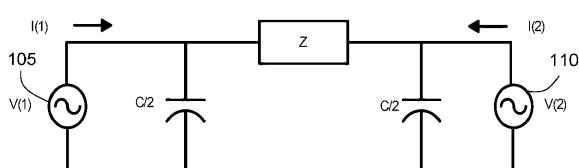


Fig. 4

【図5】

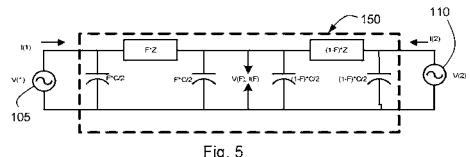


Fig. 5

フロントページの続き

(72)発明者 ボダン・ゼイ・カツツエニー

カナダ、オンタリオ州、マークハム、サー・プランディールズ・プレイス、31番

(72)発明者 マーク・ジー・アダミック

アメリカ合衆国、ペンシルバニア州、パオリ、バー・ウイン・パオイ・ロード、1423番

審査官 柳 重幸

(56)参考文献 特開昭56-62030(JP,A)

特表2000-501599(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 31/08 - 31/11

H02H 3/00