

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6113104号

(P6113104)

(45) 発行日 平成29年4月12日 (2017. 4. 12)

(24) 登録日 平成29年3月24日 (2017. 3. 24)

(51) Int. Cl.		F I	
H O 2 H	3/00	(2006. 01)	H O 2 H 3/00 Q
H O 2 H	7/26	(2006. 01)	H O 2 H 7/26 F
H O 2 J	13/00	(2006. 01)	H O 2 J 13/00 3 O 1 D
G O 1 R	31/08	(2006. 01)	G O 1 R 31/08

請求項の数 18 外国語出願 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2014-76090 (P2014-76090)	(73) 特許権者	000006013
(22) 出願日	平成26年4月2日 (2014. 4. 2)		三菱電機株式会社
(65) 公開番号	特開2014-207850 (P2014-207850A)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(43) 公開日	平成26年10月30日 (2014. 10. 30)	(74) 代理人	100110423
審査請求日	平成28年12月26日 (2016. 12. 26)		弁理士 曾我 道治
(31) 優先権主張番号	13/860, 154	(74) 代理人	100111648
(32) 優先日	平成25年4月10日 (2013. 4. 10)		弁理士 梶並 順
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100122437
早期審査対象出願			弁理士 大宅 一宏
		(74) 代理人	100147566
			弁理士 上田 俊一
		(74) 代理人	100161171
			弁理士 吉田 潤一郎
		(74) 代理人	100161115
			弁理士 飯野 智史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非接地配電系統の障害の位置を特定する方法およびシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

非接地配電系統内の障害の場所を特定する方法であって、前記非接地配電系統は、変電所に接続される1組の給電線を含み、各給電線は、線分によって接続される1組の負荷を含み、各線分は、上流バスおよび下流バスを含み、前記障害は、ボルト連結単相対地障害であり、該方法は、

障害給電線の障害給電区間内の前記線分の前記上流バスおよび前記下流バス上のシャントに起因する残留電圧を求めることと、

前記線分の前記上流バスおよび前記下流バス上の障害に起因する残留電圧を求めることと、

障害相の基準角が、前記上流バス上の前記障害に起因する残留電圧の角度と前記シャントに起因する残留電圧の角度との間の差である第1の角度と、前記下流バス上の前記障害に起因する残留電圧の角度と前記シャントに起因する残留電圧の角度との間の差である第2の角度との間にあるときに、前記線分を障害線分と指定することと、

前記障害に起因する残留電圧の角度と前記シャントに起因する残留電圧の角度との間の差が、前記障害相の前記基準角と同相である、前記障害線分上の点の場所を前記障害の場所として特定することと

を含み、該方法のステップは、プロセッサによって実行される、非接地配電系統内の障害の場所を特定する方法。

【請求項 2】

前記障害中に、前記給電線の根元にある給電線遮断器に対して測定された電圧および電流と、前記給電線に沿ったセンサーを備える開閉器に対して測定された電圧および電流とを用いて、前記障害給電区間上のシャントに起因する残留電圧分布および障害に起因する残留電圧分布を求めることと、

前記シャントに起因する残留電圧分布を用いて、前記線分の前記上流バスおよび前記下流バス上の前記シャントに起因する残留電圧を求めることと、

前記障害に起因する残留電圧分布を用いて、前記線分の前記上流バスおよび前記下流バス上の前記障害に起因する残留電圧を求めることと

をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記障害相の前記基準角を前記障害相において前記非接地配電系統の変電所に給電される等価無限供給源の内部位相角として特定すること

をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記 1 組の給電線内の各給電線の根元において測定された対地電圧を下側しきい値および上側しきい値と比較することであって、前記障害相を特定することと、

前記 1 組の給電線からの各給電線の根元において測定された残留電圧の角度と残留電流の角度との間の差を角度しきい値と比較することであって、前記障害給電線を特定することと、

前記障害給電線の各給電区間の境界において測定された残留電圧の角度と残留電流の角度との間の差を前記角度しきい値と比較することであって、前記障害給電区間を特定することと

をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記障害給電区間内のバスごとの前記シャントに起因する残留電圧を前記バスにおける全ての相に対する対地電圧の和として求めること

をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記障害給電区間内のバスごとの前記対地電圧は、障害給電区間の境界において測定された電圧と、前記障害給電区間内の各線分の長さに基づいて求められ、該方法は、

インポート測定デバイスおよびエクスポート測定デバイスによって与えられる測定値を用いて前記障害給電区間の前記境界における境界バスの電圧を求めることと、

前記境界バス間の経路上のバスの電圧を、前記経路上のバスと前記境界バスとの間の相対的な距離に比例して重み付けされる、前記境界バスの前記電圧の重み付け平均として求めることと、

前記経路上にないバスの電圧を前記経路上の給電バスの電圧として求めることと

をさらに含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記線分のシャントアドミタンスから生成されたシャント電流を累積することによって前記障害給電区間の線分の各相上のシャントに起因する残留電流を求めることをさらに含み、前記累積することは、前記障害給電区間の端部に接続される線分から開始し、前記障害給電区間の根元に向かって移動しながら、上流方向における線分ごとに順次に行われる

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記障害給電区間のエクスポート測定デバイスにおける各相上の前記シャントに起因する残留電流を、前記エクスポート測定デバイスにおいて測定された残留電流と、該エクスポート測定デバイスの下流にある全ての線分のシャントアドミタンスによって生成され、前記線分のバスの対地電圧に基づいて求められた非障害相上のシャント電流とを用いて初期化すること

10

20

30

40

50

をさらに含む、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記障害給電区間の線分に対する障害に起因する残留電流を、給電区間の根元に接続される線分から開始して、前記給電区間の端部に向かって移動しながら、前記線分の下流に障害があると順次に仮定することによって求めること

をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記障害給電区間のインポート測定デバイスに接続されるデバイスの各相上の前記障害に起因する残留電流を、前記インポート測定デバイスに対して測定された前記残留電流と、前記インポート測定デバイスの下流にある全ての線分のシャントアドミタンスによって生成された非障害相上のシャント電流とを用いて初期化すること

10

をさらに含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

線分の障害相および非障害相の場合の障害に起因する残留電流を、上流線分上の障害に起因する残留電流と隣接する線分上のシャントに起因する残留電流との差と、前記線分のシャントアドミタンスによって生成されたシャント電流とに基づいて別々に求めること

をさらに含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 12】

前記障害給電区間の前記線分の前記上流バスおよび前記下流バスの前記障害に起因する残留電圧を、給電区間の根元に接続される線分から開始して、前記給電区間の端部に向かって移動しながら、前記線分の下流に障害があると順次に仮定することによって求めること

20

をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 13】

線分の直列インピーダンスおよびシャントアドミタンスを用いることによって、前記線分の前記上流バスにおける前記障害に起因する残留電圧と、相ごとの前記障害に起因する残留電流とに基づいて、前記線分の前記下流バスの前記障害に起因する残留電圧を求めること

をさらに含む、請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

30

下式

【数 1】

$$\sin(\angle(\hat{v}_p^{res} - \hat{v}_p^{res}) - \theta_x^{ref}) \sin(\angle(\hat{v}_s^{res} - \hat{v}_s^{res}) - \theta_x^{ref}) < 0$$

に従って前記基準角が前記第 1 の角度と前記第 2 の角度との間にあるときに前記障害線分を特定することをさらに含み、

ただし、

【数 2】

$$\angle(\hat{v}_p^{res} - \hat{v}_p^{res})$$

40

は、前記第 1 の角度であり、

【数 3】

$$\angle(\hat{v}_s^{res} - \hat{v}_s^{res})$$

は、前記第 2 の角度であり、 θ_x^{ref} は、前記障害相によって決定される前記基準角であり、

【数 4】

$$\hat{v}_s^{res}$$

および

50

【数 5】

$$\hat{v}_p^{res}$$

は、前記下流バス s および上流バス p における前記障害に起因する残留電圧であり、

【数 6】

$$\hat{v}_s^{res}$$

および

【数 7】

$$\hat{v}_p^{res}$$

10

は、前記下流バス s および上流バス p における前記シャントに起因する残留電圧である
請求項 1 に記載の方法。

【請求項 15】

以式

【数 8】

$$\left| (\hat{v}_f^{res} - \hat{v}_f^{res}) - \theta_x^{ref} \right| < \varepsilon$$

に従って前記障害線分に沿った場所を試験することによって前記障害の前記場所を特定する
ことをさらに含み、

20

ただし、 ε は、しきい値であり、

【数 9】

$$\hat{v}_f^{res}$$

は、前記障害の前記場所 f におけるシャントに起因する残留電圧であり、

【数 10】

$$\hat{v}_f^{res}$$

30

は、前記障害の前記場所 f における障害に起因する残留電圧である

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 16】

前記障害線分上の点の場所における前記障害に起因する残留電圧を、前記線分の前記上流バスにおける前記障害に起因する残留電圧および残留電流と、前記線分の前記上流バスから前記点の前記場所までの線分の部分の直列インピーダンスおよびシャントアドミタンスとに基づいて求めること

をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 17】

40

前記障害線分上の点の場所における前記シャントに起因する残留電圧を、前記線分の前記下流バスにおける相ごとの残留電圧および残留電流と、前記点の前記場所から下流終端バスまでの線分の部分の直列インピーダンスおよびシャントアドミタンスとに基づいて求めること

をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 18】

非接地配電系統内の障害の場所を特定するシステムであって、前記非接地配電系統は、変電所に接続される 1 組の給電線を含み、各給電線は、線分によって接続される 1 組の負荷を含み、各線分は、上流バスおよび下流バスを含み、前記障害はボルト連結単相対地障害であり、該システムは、

50

障害給電線の障害給電区間内の前記線分の前記上流バスおよび前記下流バス上のシャントに起因する残留電圧を求めることと、

前記線分の前記上流バスおよび前記下流バス上の障害に起因する残留電圧を求めることと、

障害相の基準角の値が第 1 の角度と第 2 の角度との間にある線分として障害線分を特定することであって、前記第 1 の角度は、前記上流バス上の前記障害に起因する残留電圧の角度と前記シャントに起因する残留電圧の角度との間の差に等しく、前記第 2 の角度は、前記下流バス上の前記障害に起因する残留電圧の角度と前記シャントに起因する残留電圧の角度との間の差に等しいことと、

前記障害に起因する残留電圧の角度と前記シャントに起因する残留電圧の角度との間の差が前記障害相の前記基準角と同相である、前記障害線分上の点の場所を前記障害の場所として特定することと

を実施するプロセッサを備える、非接地配電系統内の障害の場所を特定するシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、包括的には配電系統に関し、より詳細には、非接地配電系統において障害を検出し、その障害の位置を特定することに関する。

【背景技術】

【0002】

非接地配電系統は、広く使用されており、特に、中間の電圧レベル、例えば、50kV未満の電圧レベルにおいて使用されている。接地配電系統と比べて、非接地系統は、接地と接続する中性線を有さず、送電線の対地キャパシタンスを通して接地に接続される。単相對地障害が生じるとき、非接地配電系統の障害電流は、通常の負荷電流未満であるので、その系統は、障害が修正されるまで動作し続けることができる。

【0003】

しかしながら、障害の結果として、配電系統の送電線は、過電圧を受け、障害が適時に修正されないとき、過電圧が線路を損傷する可能性がある。したがって、非接地配電系統の安全で、安定した動作にとって、障害の検出および位置特定が重要である。

【0004】

非接地配電系統内の単相對地障害の位置を特定するのに、幾つかの方法が用いられてきた。例えば、特許文献1において記載されている、障害を有する系統の区間を特定する方法は、方向性要素を用いて非接地配電系統上の障害を特定し、その方向性要素は、選択された入力電流条件下で動作できるようにした後に、零相電圧および零相電流の値に応答して、零相インピーダンスを求めた。

【0005】

特許文献2において記載されている別の方法は、障害を有する線路上に、ある測定周波数を有する測定信号を導入する。障害場所は、測定信号に対応する被測定残留電流と、配電系統の所定の相対インピーダンスとに基づいて、選択された区間に対して特定される。しかしながら、さらなる周波数測定値の使用は、応用形態によっては最適でない場合がある。

【0006】

したがって、非接地配電系統内の単相對地障害の場所を特定することが必要とされている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】米国特許第6,721,671号明細書

【特許文献2】米国特許出願公開第2003/0085715号明細書

【発明の概要】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 8 】

本発明の種々の実施の形態が、障害中に収集された測定値に基づいて非接地配電系統内のボルト連結単相対地障害の場所を特定する。例えば、その測定値は、給電線遮断器および開閉器に設置される測定ユニットまたはセンサーによって求めることができる。

【 0 0 0 9 】

幾つかの実施の形態は、1つの変電所内の給電線に対して複数の測定デバイスが用いられる場合には、障害の可能性があるエリアを給電線の小さな区間に絞り込むことができるという認識に基づく。本発明の幾つかの実施の形態は、給電線の根元にある給電線遮断器、および給電線に沿ったセンサーを備える開閉器から収集される測定値を用いる。本発明の幾つかの実施の形態では、障害中の電圧測定値および電流測定値に基づいて、最初に障

10

【 0 0 1 0 】

障害電流が線分内の場所を通過して接地に流れ込むのではなく、線分にわたって流れると仮定した場合に、障害相の対地電圧の角度を障害相の基準角と比較することによって、障害線分を特定することができる。障害相の基準角の値が、線分を形成するバス端子上、すなわち、上流バスおよび下流バス上の電圧の角度間にある場合には、この線分には障害がある。しかしながら、バス上の電圧を求めるには、バスの負荷を特定しなければならず、それは難しい作業である可能性がある。したがって、負荷の特定を回避することが望ましい。

20

【 0 0 1 1 】

幾つかの実施の形態は、バスの障害に起因する残留電圧とバスのシャントに起因する残留電圧との差が、バスの障害相上の電圧を近似することができるという認識に基づく。障害に起因する残留電圧は、電流が線分にわたって流れるという仮定の下で求められた、障害時における3つ全ての相の電圧の和である。この仮定によれば、障害線の上流バスの電圧に比べて、下流バス上の電圧の角度と障害相の基準角との間の差の正負符号が変化する。

【 0 0 1 2 】

シャントに起因する残留電圧は、シャント電流に基づいて特定された障害がない、すなわち、障害電流がない場合の3つ全ての相の電圧の和である。したがって、障害に起因する残留電圧とシャントに起因する残留電圧との間の差は、障害相の電圧を近似することができるが、それらの電圧は、複数の相の電圧の和を含み、負荷は、 Δ 結線されるので、異なる相の負荷は、相殺され、それゆえ、特定される必要はない。したがって、障害線の特定が簡略化される。

30

【 0 0 1 3 】

さらに、障害の場所における障害に起因する残留電圧とシャントに起因する残留電圧との間の差は、障害相の基準角と同相である。したがって、この同相であることを用いて障害線分の種々の場所を試験し、障害の場所を特定することができる。

【 0 0 1 4 】

40

幾つかの実施の形態は、障害場所の上流および下流の残留電圧の変動が、障害場所の周囲の残留電流の方向が変化することに起因して異なるパターンを示す、という別の認識に基づくので、本発明の幾つかの実施の形態は、線分に沿った残留電圧の変動に基づいて、障害場所を特定する。本発明の幾つかの実施の形態は、2つのタイプの残留電圧を定義し、一方は、シャントに起因する残留電圧と呼ばれ、給電区間の境界における所与の測定電圧を用いて、非障害条件下での給電区間の残留電圧分布を記述するために用いられ、他方は、障害に起因する残留電圧と呼ばれ、対象となる場所の下流において生じた障害条件下での残留電圧分布を記述するために用いられる。障害線分は、1つの線分の2つ終端バスにおいて求められた2つの残留電圧間の差の位相角が、障害相に基づく基準軸の異なる側にあるときに特定される。障害場所は、2つの残留電圧の差の位相角が、基準角と同相で

50

ある障害線に沿った場所を見つけることによって特定される。

【0015】

本発明の幾つかの実施の形態が基づくさらに別の認識は、配電線が非対称であることを無視するときに、残留電流および残留電圧は、主に非接地配電系統の線分のシャントアドミタンスによって引き起こされるということであり、それゆえ、本発明の幾つかの実施の形態は、単に、障害中の電圧測定値および電流測定値と、給電区間の線分の直列インピーダンスおよびシャントアドミタンスとに基づいて、障害場所を特定する。本発明の幾つかの実施の形態は、システムの負荷需要に関するいかなる情報または測定値も、システム内の障害前条件も使用しない。それにより、測定値を収集し、処理する労力が著しく低減される。

10

【0016】

したがって、1つの実施の形態は、非接地配電系統内の障害の場所を特定する方法を開示し、その配電系統は、変電所に接続される1組の給電線を含み、各給電線は、複数の線分によって接続される1組の負荷を含み、各線分は、上流バスおよび下流バスを含み、障害は、ボルト連結単相対地障害である。本方法は、障害給電線の障害給電区間の線分の上流バスおよび下流バス上のシャントに起因する残留電圧を求めることと、その線分の上流バスおよび下流バス上の障害に起因する残留電圧を求めることと、障害相の基準角が、上流バス上の障害に起因する残留電圧の角度とシャントに起因する残留電圧の角度との間の差の第1の角度と、下流バス上の障害に起因する残留電圧の角度とシャントに起因する残留電圧の角度との間の差の第2の角度との間にあるとき、その線分を障害線分として指摘することと、障害に起因する残留電圧の角度とシャントに起因する残留電圧の角度との間の差が障害相の基準角と同相である障害線分上の点の場所を障害の場所として特定することを含む。本方法のステップは、プロセッサによって実行することができる。

20

【0017】

別の実施の形態は、非接地配電系統内の障害の場所を特定するシステムを開示し、その配電系統は、変電所に接続される1組の給電線を含み、各給電線は、複数の線分によって接続される1組の負荷を含み、各線分は、上流バスおよび下流バスを含み、障害は、ボルト連結単相対地障害である。本システムは、障害給電線の障害給電区間の線分の上流バスおよび下流バス上のシャントに起因する残留電圧を求めることと、その線分の上流バスおよび下流バス上の障害に起因する残留電圧を求めることと、障害相の基準角の値が第1の角度と第2の角度との間にある線分として障害線分を特定することであって、第1の角度は、上流バス上の障害に起因する残留電圧の角度とシャントに起因する残留電圧の角度との間の差に等しく、第2の角度は、下流バス上の障害に起因する残留電圧の角度とシャントに起因する残留電圧の角度との間の差に等しいことと、障害に起因する残留電圧の角度とシャントに起因する残留電圧の角度との間の差が、障害相の基準角と同相である障害線分上の点の場所を障害の場所として特定することと、を実施するプロセッサを備える。

30

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】例示的な非接地配電系統の図である。

【図2】本発明の幾つかの実施の形態による、非接地系統の単相対地障害の位置を特定する方法のブロック図である。

40

【図3】インポート測定デバイスとして、センサーを有する1つの遮断器または開閉器を、およびエクスポート測定デバイスとして、センサーを有する複数の開閉器を備える給電区間の図である。

【図4】インポート測定デバイスとして、センサーを有する1つの遮断器または開閉器を備える給電区間の図である。

【図5】直列インピーダンスおよびシャントアドミタンスを有する線分の概略図である。

【図6】線分の終端バスにおける残留電圧差の位相角が障害相基準角より遅れている概略的な位相ベクトル図である。

【図7】線分の終端バスにおける残留電圧差の位相角が障害相基準角より進んでいる概略

50

的な位相ベクトル図である。

【図 8】線分の終端バスにおける残留電圧差の位相角が一方の終端バスにおいて障害相基準角より進んでおり、他方の終端バスにおいて遅れている概略的な位相ベクトル図である。

【図 9】単相対地障害を有する線分の概略図である。

【図 10】1つの線分に沿った場所における残留電圧差の位相角が障害相基準角と同相である概略的な位相ベクトル図である。

【図 11】本発明の幾つかの実施の形態による非接地配電システムのモデルの障害位置特定方法のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0019】

非接地配電システムおよび障害位置特定

図 1 は、単相対地障害 104 を有する非接地配電システムの一例を示す図である。配電システムは、変電所を含み、変電所において三相変圧器 102 が送電システムから電力の供給を受け、変圧器 102 に接続される上流バス 101 および下流バス 103 を介して下流給電線に電力を供給する。

【0020】

変圧器 102 の巻線は、Y 結線または Δ 結線のいずれかを用いて、非接地である。例えば、図 1 において、変圧器の一次巻線は、Δ 結線を使用し、二次巻線は、Y 結線を使用する。給電線は、三相三線伝送路を通して負荷に電力を伝達する。全ての負荷を Δ 結線することができる。各給電線は、幾つかの切替可能な被測定デバイスを有することができ、それらのデバイスに取り付けられる測定ユニットは、三相電圧測定値および三相電流測定値を与えることができる。

20

【0021】

図 1 の例において、変圧器 102 は、3つの給電線、給電線 110、給電線 120 および給電線 130 に接続される。各給電線は、その起点に1つの給電線遮断器、遮断器 111、121 および 131 を含むことができる。給電線は、給電線の区間を画定する開閉器も含むことができる。例えば、給電線 110 は、開閉器 114 および開閉器 117 を含む。給電線 120 は、開閉器 124 および開閉器 127 を含む。給電線 130 は、開閉器 134 および開閉器 137 を含む。開閉器は、電圧、電流または両方を測定するセンサーを含むことができる。

30

【0022】

配電システムは、通常、2つのタイプ、放射型または相互接続型からなる。配電システム 100 は、放射型で動作し、すなわち、電力が変電所から出て、任意の他の電源に接続することなく、配電網区域の中を通り抜ける。

【0023】

切替可能な被測定デバイスの場所によって、給電線は、幾つかの給電区間に分割することができる。各給電区間は、その区間の起点において、この区間に電力を供給する1つのインポート測定デバイスを有することができ、その区間の下流境界において、後続の給電区間に電力を供給する幾つかのエクスポート測定デバイスを有することができる。インポート測定デバイスとエクスポート測定デバイスとの間の全ての線分またはデバイスは、給電区間の一部である。

40

【0024】

例えば、給電線 110 は、3つの給電区間、区間 112、区間 115 および区間 118 に分割することができる。給電区間 112 は、遮断器 111 の上流バス 103 と開閉器 114 の上流バス 106 との間の全ての線分またはデバイスを含み、遮断器 111 に位置する1つのインポート測定デバイスと、開閉器 114 に位置する1つのエクスポート測定デバイスとを含む。区間 115 は、開閉器 114 の上流バス 106 と開閉器 117 の上流バス 108 との間の全ての線分またはデバイスによって画定され、開閉器 114 に位置する1つのインポート測定デバイスと、開閉器 117 に位置する1つのエクスポート測定デバ

50

イスとを含む。給電区間 1 1 8 は、開閉器 1 1 7 の上流バス 1 0 8 の下流にある全ての線分またはデバイスと定義され、開閉器 1 1 7 に位置する 1 つのインポート測定デバイスを含む。給電区間 1 1 8 は、エクスポート測定デバイスを有しない。

【 0 0 2 5 】

給電区間のバスは、各バスとインポート測定デバイスの上流バスとの間に接続されるデバイスの数に応じて、幾つかの層に分割することができる。

【 0 0 2 6 】

図 3 および図 4 は、異なる測定条件を有する給電区間の 2 つの例を示す。図 3 は、その境界において複数の測定デバイスを有する給電区間 3 0 0 の概略図である。給電区間 3 0 0 は、開閉器 3 1 0 において 1 つのインポート測定デバイスを有し、開閉器 3 2 0 において 1 つのエクスポート測定デバイスを有する。図 4 は、開閉器 4 1 0 において唯一の測定デバイス、すなわち、インポート測定デバイスを有する給電区間 4 0 0 の概略図である。

【 0 0 2 7 】

図 3 に示される給電区間は、7 つの層を含む。層 1、2、3 および 4 は、それぞれ 1 つのバスを有する。層 1 は、バス 3 3 0 を含み、そのバスは、インポート測定デバイスの上流バスである。層 2、3 および 4 は、それぞれバス 3 4 0、3 5 0 および 3 6 0 を含む。層 5 は、バス 3 7 0、3 7 4 および 3 7 8 を含む。層 6 および 7 は、それぞれ 4 つのバスを含む。層 6 は、バス 3 8 0、3 8 2、3 8 4 および 3 8 6 を含む。層 7 は、バス 3 9 0、3 9 2、3 9 4 および 3 9 6 を含む。エクスポート測定デバイスの上流バス 3 8 4 は、層 6 に含まれる。

【 0 0 2 8 】

図 4 に示される給電区間は、6 つの層に分割することができる。層 1 は、1 つのバス 4 2 0、すなわち、インポート測定デバイス 4 1 0 の上流バスを含む。層 2 および層 3 も、それぞれ 1 つのバス、それぞれバス 4 3 0 および 4 4 0 を有する。層 4 は、バス 4 5 0、4 5 4 および 4 5 8 を含む 3 つのバスを有する。層 5 および層 6 は、それぞれ 4 つのバスを有する。層 5 は、バス 4 6 0、4 6 2、4 6 4 および 4 6 6 を含む。層 6 は、バス 4 7 0、4 7 2、4 7 4 および 4 7 6 を含む。

【 0 0 2 9 】

図 2 は、非接地配電系統内の単相対地障害の位置を特定する方法 2 0 0 のブロック図を示す。その方法のステップは、当該技術分野において既知であるようなメモリおよび入力出力インターフェースに接続されるプロセッサを用いて実施することができる。

【 0 0 3 0 】

障害相 2 6 5 は、対地電圧測定値 2 0 5 に基づいて特定される (2 1 0)。その後、障害の可能性があるエリアが、残留電圧測定値 2 1 5 および残留電流測定値 2 3 5 に基づいて、特定の給電線 2 7 5 および特定の給電区間 2 8 5 に絞り込まれる (2 2 0 および 2 3 0)。残留電圧および残留電流は、直接測定することができるか、または対地電圧測定値 2 0 5 および相電流測定値 2 2 5 から導出することができる。

【 0 0 3 1 】

障害相および障害給電区間がわかった後に、対地電圧測定値 2 0 5 と、残留電流測定値 2 3 5 と、システムトポロジー接続性モデル 2 4 5 と、線分の直列インピーダンスおよびシャントアドミタンスモデル 2 5 5 とを用いることによって、障害給電区間内のシャントに起因する残留電圧分布および障害に起因する残留電圧分布が求められる (2 4 0 および 2 5 0)。

【 0 0 3 2 】

障害給電区間内のそれら 2 つのタイプの残留電圧分布に基づいて、トポロジー接続性モデル 2 4 5 と、線路インピーダンスおよびアドミタンスモデル 2 5 5 とに基づいて、障害場所が 1 つまたは複数の線分 2 8 0 にさらに限定される (2 6 0)。障害の可能性がある線分ごとに、障害相の基準角を用いて、その線分に沿った場所において残留電圧差の位相角を試験することによって、障害の可能性がある場所 2 9 0 が特定される (2 7 0)。当該技術分野および本説明において一般的に用いられるように、電圧の角度は、電圧の位相

10

20

30

40

50

角である。

【 0 0 3 3 】

障害電流が線分内の場所を通過して接地に流れ込むのではなく、線分にわたって流れると仮定した場合に、障害相の電圧の角度と障害相基準角とを比較することによって、障害線を特定することができる。障害相の基準角の値が線分を形成するバス終端上、すなわち、上流バスおよび下流バス上の電圧の角度間にある場合には、この線分に障害がある。しかしながら、バス上の電圧を求めるには、バスの負荷が特定されるべきであり、それは、難しい作業である可能性がある。それゆえ、負荷の特定を回避することが望ましい。

【 0 0 3 4 】

幾つかの実施の形態は、バスの障害に起因する残留電圧とシャントに起因する残留電圧との間の差がバスの障害相上の電圧を近似することができるという認識に基づく。障害に起因する残留電圧は、電流が線分にわたって流れるという仮定の下で求められた、障害時における3つ全ての相の電圧の和である。この仮定によれば、障害線の上流バスの電圧に比べて、下流バス上の電圧の角度と障害相の基準角との間の差の正負符号が変化する。

【 0 0 3 5 】

シャントに起因する残留電圧は、シャント電流に基づいて特定された障害がない、すなわち、障害電流がない場合の3つ全ての相の電圧の和である。したがって、障害に起因する残留電圧とシャントに起因する残留電圧との間の差は、障害相の電圧を近似することができる。それらの電圧は、複数の相の電圧の和を含み、負荷は、Δ結線されるので、異なる相の負荷は、相殺され、それゆえ、特定される必要はない。したがって、障害線の特定が簡略化される。

【 0 0 3 6 】

障害の場所における障害に起因する残留電圧とシャントに起因する残留電圧との間の差は、障害相の基準角と同相である。したがって、この同相であることを用いて障害線分の種々の場所を試験し、障害の場所を特定することができる。

【 0 0 3 7 】

幾つかの実施の形態において用いられる測定値は、障害中に収集された電圧測定値および電流測定値の定常状態電力周波数成分である。各測定値は、その大きさおよび位相角によって記述することができる。電力周波数における定常状態値の代わりに、瞬時波形が与えられる場合には、最小二乗回帰法を適用して、瞬時電圧および電流測定値から、必要とされる電力周波数成分を抽出することができる。センサーを備える遮断器または開閉器の測定ユニットから収集された測定値は、相 a、b および c においてデバイスを通して下流に流れる電流 $I_{ps,a}$ 、 $I_{ps,b}$ および $I_{ps,c}$ 、並びに相 a、b および c における対地電圧 $V_{p,a}$ 、 $V_{p,b}$ および $V_{p,c}$ を含む。ただし、バス p および s は、遮断器または開閉器の終端バスであり、バス p はバス s の上流にある。図 1 の遮断器 111 を例にとると、測定値は、遮断器の上流バス 103 において測定される三相電圧と、その遮断器を通過してその上流バス 103 からその下流バス 105 に向かって流れる三相電流とを含む。

【 0 0 3 8 】

直接測定されない場合には、測定された対地電圧および相電流に基づいて、下式に従って残留電圧および残留電流を求めることができる。

【 数 1 】

$$v_p^{res} = V_{p,a} + V_{p,b} + V_{p,c}, \quad (1)$$

$$i_{ps}^{res} = I_{ps,a} + I_{ps,b} + I_{ps,c}, \quad (2)$$

ただし、 v_p^{res} は、バス p における残留電圧であり、 i_{ps}^{res} は、バス p からバス s に流れ、バス p において測定される残留電流である。

【 0 0 3 9 】

障害相、障害給電線および障害区間の特定

障害相は、障害中に変電所において測定された対地電圧に基づいて特定される。正常動

10

20

30

40

50

作中に、3つの対地電圧は、均衡するように接近し、すなわち、正規化された電圧の大きさは、単位当たり1.0に近い。給電線においてボルト連結単相對地障害が生じるとき、障害給電線の障害相の対地電圧、および同じ変電所変圧器に接続される隣接する給電線の対地電圧は、瞬時にゼロに接近する。一方、変圧器の非接地接続に起因して、変電所は、相間電圧をほぼ変化しないように保ち、その後、他の2つの非障害相の対地電圧は、正常動作の1.73倍近い値まで瞬時に増加する。

【0040】

変電所変圧器の二次側、すなわち、給電線遮断器の上流バスにおいて測定された対地電圧を用いて、ボルト連結単相對地障害の場合の障害相を特定することができる。以下の条件が満たされるとき、相 x が、障害相として特定される。

【数2】

$$|V_{sub,x}| \leq \underline{V} \quad x \in \{a, b, c\} \quad (3)$$

$$|V_{sub,y}| \geq \bar{V} \quad y \in \{a, b, c\}, y \neq x \quad (4)$$

ただし、 $V_{sub,x}$ および $V_{sub,y}$ は、それぞれ相 x および y において、変電所変圧器の二次側において測定された対地電圧であり、

【数3】

$\underline{V}$

および

【数4】

$\bar{V}$

は、異常電圧を求めるために用いられる電圧の大きさの下側しきい値および上側しきい値である。例えば、

【数5】

$\underline{V}$

および

【数6】

$\bar{V}$

は、それぞれ単位当たり0.30および単位当たり1.40と設定することができる。

【0041】

障害給電線および障害給電区間は、給電線に沿った測定デバイスにおける残留電圧と残留電流との間の角度差に基づいて特定することができる。配電線が非対称であることを無視するとき、非接地配電システムの残留電流は、障害給電線および非障害給電線の非障害相の対地容量からの寄与を受ける。

【0042】

ある給電線内の場所でボルト連結単相對地障害が生じるとき、その場所における残留電圧は、障害相の正常な対地電圧の3倍に近い値まで増大する。障害場所の下流の場所における残留電流の方向は、変電所に向かって流れているので、残留電圧は、残留電流より約90度だけ進む。障害場所の上流にあるデバイスにおける残留電流の方向は、障害場所に向かっ、かつ変電所から離れるように流れているので、残留電圧は、残留電流より約90度だけ遅れている。

【0043】

図1の単相對地障害104を例にとると、給電線110の給電区間115内に障害104がある。網のトポロジーに基づいて、給電線110の遮断器111および開閉器114は、障害の上流にあり、開閉器117は、障害の下流にある。遮断器111および開閉器114の残留電流は、白抜きの矢印113および116の方向によって示されるように、障害点に向かって流れる。開閉器117の残留電流は、白抜きの矢印119の方向によって示されるように、変電所に向かって流れる。同様に、給電線120および130の遮断器および開閉器は、障害点の上流にあるので、それらのデバイスを通して残留電流が流れ

10

20

30

40

50

る方向は、白抜きの矢印 1 2 3、1 2 6、1 2 9、1 3 3、1 3 6 および 1 3 9 によって示されるように、変電所に向かっている。

【 0 0 4 4 】

給電線遮断器において測定された残留電圧と残留電流との間の位相角差が 90 度に近いとき、給電線が障害給電線として特定される。式 (5) を用いて、給電線が、単相対地障害を有するか否かを判断する。

【 数 7 】

$$|\angle v_{fdr}^{res} - \angle i_{fdr}^{res} - 90^\circ| < \Delta\bar{\theta}, \quad (5)$$

ただし、 v_{fdr}^{res} は、給電線遮断器の上流終端バスにおいて測定された残留電圧の位相角であり、 i_{fdr}^{res} は、給電線遮断器の上流終端バスを通過して給電線遮断器に流れ込む残留電流の位相角であり、

【 数 8 】

$$\Delta\bar{\theta}$$

は、配電系統内で用いられる通常の導体のシャントサセプタンス成分を全シャントアドミタンスで割った比による、角度差の予め決定されたしきい値である。例えば、1つの実施の形態は、

【 数 9 】

$$\Delta\bar{\theta}$$

を 20 度と設定する。

【 0 0 4 5 】

図 1 の例において、式 (5) が遮断器 1 1 1 において満たされ、遮断器 1 2 1 および遮断器 1 3 1 において満たされない場合には、障害は、給電線 1 1 0 にあり、給電線 1 2 0 および 1 3 0 にはない。

【 0 0 4 6 】

障害区間は、給電区間の境界において測定デバイスの残留電圧と残留電流との間の角度差を調べることによって特定することができる。例えば、そのインポート測定デバイスにおいて残留電圧 v_{im}^{res} と残留電流 i_{im}^{res} との間の角度差が 90 度に近く、そのエクスポート測定デバイスのうちの 1 つにおいて残留電圧 v_{ex}^{res} と残留電流 i_{ex}^{res} との間の角度差が - 90 度に近いとき、すなわち、以下の条件が満たされるとき、給電区間を障害給電区間であると特定することができる。

【 数 10 】

$$|\angle v_{im}^{res} - \angle i_{im}^{res} - 90^\circ| < \Delta\bar{\theta}, \quad (6)$$

$$|\angle v_{ex}^{res} - \angle i_{ex}^{res} + 90^\circ| < \Delta\bar{\theta}. \quad (7)$$

【 0 0 4 7 】

インポート測定デバイスにおける残留電流の大きさがゼロに近い場合には、エクスポート測定デバイスのみを用いて、式 (7) を用いることにより、その区間内に障害があるか否かを判断することができる。例えば、単一給電線変電所の場合、給電線遮断器において測定される残留電流は、ゼロに近いので、下流開閉器における測定値のみが用いられる。給電区間が 1 つのみのインポート測定デバイスを有する場合には、式 (6) を用いてインポート測定デバイスにおける測定値のみを用いることによって、その区間が障害区間であるか否かが判断される。

【 0 0 4 8 】

図 1 において、遮断器 1 1 1 および開閉器 1 1 4 における角度差が 90 度に近いが、開閉器 1 1 7 において - 90 度に近い場合には、障害は、給電線 1 1 0 の開閉器 1 1 4 と開閉器 1 1 7 との間の給電区間、すなわち、給電区間 1 1 5 内にある。

【 0 0 4 9 】

シャントに起因する残留電圧分布の特定

10

20

30

40

50

その区間に障害がない場合に、その区間の境界において測定された所与の電圧を用いて給電区間の残留電圧分布を示すために、シャントに起因する残留電圧が用いられる。

【 0 0 5 0 】

バス p におけるシャントに起因する残留電圧

【 数 1 1 】

$$\hat{V}_p^{res}$$

は、下式に従って、バス p における対地電圧に基づいて求めることができる。

【 数 1 2 】

$$\hat{V}_p^{res} = \sum_{x \in \{a, b, c\}} \hat{V}_{p,x} \quad (8)$$

10

ただし、

【 数 1 3 】

$$\hat{V}_{p,x}$$

は、バス p における相 x の求められた対地電圧である。

【 0 0 5 1 】

ある給電区間の場合に、その区間内の求められた電圧分布は、その区間のインポート測定デバイスおよびエクスポート測定デバイスにおける対地電圧測定値と、そのトポロジー接続性とに基づいて求めることができる。

20

【 0 0 5 2 】

その給電区間内の測定デバイスに接続されるバスにおける電圧は、測定値として直接設定される。

【 数 1 4 】

$$\hat{V}_{im} = V_{im} , \quad (9)$$

$$\hat{V}_{ex} = V_{ex} , \quad (10)$$

ただし、

【 数 1 5 】

$$\hat{V}_{im}$$

30

および V_{im} は、インポート測定デバイス i m の境界バスにおいて求められた対地電圧および測定された対地電圧であり、

【 数 1 6 】

$$\hat{V}_{ex}$$

および V_{ex} は、エクスポート測定デバイス e x の境界バスにおいて求められた対地電圧および測定された対地電圧である。

【 0 0 5 3 】

40

インポート測定デバイスとエクスポート測定デバイスのうちの 1 つとの各対間の接続性経路内に存在するバスの対地電圧は、バスと 2 つの測定デバイスとの間の距離と、2 つの測定デバイスにおいて入手可能な電圧測定値とに基づいて求められる。例えば、2 つの測定デバイスの境界バス間の経路上に存在するバスの電圧は、その経路上のバスと境界バスとの間の相対的な距離に比例して重み付けされる、境界バスの電圧の重み付け平均として求めることができる。

【 0 0 5 4 】

例えば、バス p の対地電圧は、下式に従って求めることができる。

【数 1 7】

$$\hat{V}_p = \frac{d_{p-ex}}{d_{im-p} + d_{p-ex}} V_{im} + \frac{d_{im-p}}{d_{im-p} + d_{p-ex}} V_{ex} \quad (11)$$

ただし、

【数 1 8】

$$\hat{V}_p$$

は、バス p の求められた対地電圧のベクトルであり、 V_{im} および V_{ex} は、インポート測定デバイスおよびエクスポート測定デバイスにおいて測定された対地電圧のベクトルであり、 d_{im-p} および d_{p-ex} は、それぞれ、そのバスとインポートデバイスおよびエクスポートデバイスの上流バスとの間の経路における線分の長さの和である。

10

【0055】

その給電区間に対して複数のエクスポート測定デバイスが存在し、異なる経路間に共通のバスが存在する場合には、それらの共通バスの電圧は、全ての経路に対して求められた電圧の平均として設定することができる。

【数 1 9】

$$\hat{V}_p = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{d_{p-ex_i}}{d_{im-p} + d_{p-ex_i}} V_{im} + \frac{d_{im-p}}{d_{im-p} + d_{p-ex_i}} V_{ex_i} \right), \quad (12)$$

20

ただし、m は、バス p を通り抜ける経路の全数であり、

【数 2 0】

$$V_{ex_i}$$

は、第 i のエクスポート測定デバイス ex_i の測定された電圧であり、

【数 2 1】

$$d_{p-ex_i}$$

は、バス p と第 i のエクスポート測定デバイスの上流バスとの間の経路における線分の長さの和である。

30

【0056】

測定デバイス間のいかなる経路上にもないが、その経路内のバスのうちの 1 つから給電される任意のバスの場合、その電圧は、下式に従って、経路上の給電バスの電圧として求めることができる。

【数 2 2】

$$\hat{V}_s = \hat{V}_p, \quad (13)$$

ただし、バス s は、経路内にないバスであり、バス p は、経路内のバスであり、

【数 2 3】

$$\hat{V}_s$$

40

は、バス s の求められた対地電圧のベクトルである。

【0057】

図 3 は、バス 330 において 1 つのインポート測定デバイスを有し、384 において 1 つのエクスポート測定デバイスを有する給電区間の一例を示す。バス 340、350、360 および 374 のような、インポート測定デバイスとエクスポート測定デバイスとの間の経路上にある全てのバスは、式 (11) に従って、バス 330 および 384 までの距離と、バス 330 および 384 において測定された電圧とに基づいて特定される。バス 370、380、382、390、392 を含む、バス 360 の下流にある全てのバスの電圧は、バス 360 の電圧と同じであるとして求めることができる。バス 378、386、3

50

８８、３９４および３９６を含む、バス３７４の下流にある全てのバスの電圧は、バス３７４の求められた電圧と同じであるとして求めることができる。

【００５８】

１つのインポート測定デバイスのみを有する給電区間の場合、その区間内の全てのバスは、インポート測定デバイスにおいて測定された電圧として設定することができる。例えば、図４において、給電区間は、バス４２０において１つのみのインポート測定デバイスを有し、その区間内の全てのバスの電圧は、バス４２０において測定された電圧と同じであるとして設定される。

【００５９】

シャントに起因する残留電流分布の特定

10

給電区間内に障害がない場合には、その給電区間内の各線分上の残留電流は、その給電区間のインポート測定デバイスの下流にある線分のシャント電流による寄与のみを受ける。シャント電流は、関連する線分の終端バスにおいて求められた電圧と、それらの線分のシャントアドミタンスとに基づいて求めることができる。このタイプの残留電流は、シャントに起因する残留電流と呼ばれる。幾つかの実施の形態は、シャントに起因する残留電流を求める際に、配電線が非対称であることを無視する。

【００６０】

本発明の幾つかの実施の形態では、各相からの残留電流の寄与は、独立してモデル化され、解かれる。バス p とバス s との間の線分の場合、バス p からバス s への残留電流 i_{ps}^{res} は、下式に従って求めることができる。

20

【数２４】

$$i_{ps}^{res} = \sum_{x \in \{a,b,c\}} I_{ps,x}^{res} \quad (14)$$

ただし、 $I_{ps,x}^{res}$ は、相 x からの寄与を受けるバス p とバス s との間の線分の残留電流成分である。そして、各相からの寄与を受ける残留電流は、ベクトル I_{ps}^{res} として表すこともできる。

【数２５】

$$I_{ps}^{res} = \begin{bmatrix} I_{ps,a}^{res} \\ I_{ps,b}^{res} \\ I_{ps,c}^{res} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

30

【００６１】

後方掃引法を用いて、給電区間内のシャントに起因する残留電流分布を求めることができる。その方法は、給電区間の最後の層と接続される線分において開始し、その後、上流にある次の層に向かって後方に移動し、その区間の最初の層に接続される線分において終了する。線分ごとに、最初に、下流線分の残留電流に基づいて、下流バス側における線分の残留電流が求められ、その後、下流側における値と、線分のシャントアドミタンスからの寄与を受けるシャント電流とによって、上流バス側における残留電流が求められる。

【００６２】

図３に示される例の場合、後方掃引法は、最初に最後の層、層７の上流に接続される線分、すなわち、３８０と３９０との間の線分、３８０と３９２との間の線分、３８６と３９４との間の線分、および３８６と３９６との間の線分から開始する。その後、３７０と３８０との間の線分、３７０と３８２との間の線分、３７４と３８４との間の線分、３７８と３８６との間の線分、および３７８と３８８との間の線分を含む、層６の上流に接続される線分に移動する。そのプロセスは、層２の上流に接続される３３０と３４０との間の開閉器の電流が求められたときに終了する。

40

【００６３】

図５は、上流バス p ５１０と下流バス s ５２０との間の線分５００の一例を示す。その線分は、直列相インピーダンス行列 Z_{ps}^{se} ５３０と、２つの終端バス５４０および５５０に分割されるシャントアドミタンス行列 Y_{ps}^{sh} によってモデル化される。バス

50

pおよびバスsにおける対地電圧は、ベクトル V_{p516} および V_{s526} によって表され、バスpおよびバスsにおける残留電圧は、変数 v_{p512} および v_{s522} によって表される。線分上に流れる相残留電流は、ベクトル I_{ps518} および I_{ps528} によって表され、 I_{ps518} は、バスp510を通して線分に流れ込む残留電流のベクトルであり、 I_{ps528} は、バスs520を通して線分から出る残留電流のベクトルである。

【0064】

上流バスpから下流バスsまで接続される線分の場合、下流バスsを通して線分から出るシャントに起因する残留電流

【数26】

$$\hat{I}_{ps}^{res}$$

は、以下のように求められる。

【数27】

$$\hat{I}_{ps}^{res} = \sum_{t \in DD_s} \hat{I}_{st}^{res} \quad (16)$$

ただし、 DD_s は、線分または開閉器を通してバスsと直接接続される1組の下流バスであり、

【数28】

$$\hat{I}_{st}^{res}$$

は、バスsを通してバスsとバスtとの間の線分に流れ込むシャントに起因する残留電流のベクトルである。上流バスpを通してバスpとバスsとの間の線分に流れ込むシャントに起因する残留電流は、以下のように求められる。

【数29】

$$\hat{I}_{ps}^{res} = \hat{I}_{ps}^{res} + \frac{1}{2} Y_{ps}^{sh} (\hat{V}_p + \hat{V}_s) \quad (17)$$

ただし、

【数30】

$$\hat{V}_p$$

および

【数31】

$$\hat{V}_s$$

は、バスpおよびバスsの求められた電圧のベクトルである。

【0065】

上流バスpから下流バスsまで接続される開閉器の場合、式(16)を用いて、下流バス側におけるシャントに起因する残留電流を求め、上流バス側におけるシャントに起因する残留電流は、下流バスと同じに設定される。

【数32】

$$\hat{I}_{ps}^{res} = \hat{I}_{ps}^{res} \quad (18)$$

【0066】

バスpとsとの間の線分の下流バスsがエクスポート測定デバイスの上流バスである場合には、下流バス側におけるシャントに起因する残留電流は、下式に従って、エクスポート測定デバイスにおける測定値と、エクスポート測定デバイスの下流のシャント電流とに基づいて求められる。

10

20

30

40

【数 3 3】

$$\hat{i}_{ps',x}^{res} = i_{ex}^{res} - \sum_{y \neq x, y \in \{a,b,c\}} \hat{i}_{ps',y}^{res}, \quad (19)$$

$$\hat{i}_{ps',y}^{res} = \sum_{mn \in DN_{ex}} \frac{1}{2} Y_{mn,y}^{sh} (\hat{V}_m + \hat{V}_n), \quad (20)$$

ただし、

【数 3 4】

$$\hat{i}_{ps',x}^{res}$$

および

10

【数 3 5】

$$\hat{i}_{ps',y}^{res}$$

は、障害相 x および非障害相 y のうちの 1 つにおいてバス s を通ってバス p とバス s との間の線分から出るシャントに起因する残留電流であり、 i_{ex}^{res} は、エクスポート測定デバイスにおける残留電流測定値であり、 DN_{ex} は、エクスポート測定デバイスの下流の 1 組の全ての線分であり、 $Y_{mn,y}^{sh}$ は、非障害相 y に対応する行内のバス m とバス n との間の線分のシャントアドミタンス要素のベクトルであり、

【数 3 6】

$$\hat{V}_m$$

20

および

【数 3 7】

$$\hat{V}_n$$

は、バス m およびバス n の求められた電圧である。

【0067】

障害に起因する残留電流分布の特定

障害が線分の下流において生じている場合には、その線分の障害相の残留電流は、主に、障害給電線、および障害給電線と同じ変電所変圧器に接続される隣接する給電線の非障害相におけるシャント電流からの寄与を受ける。このタイプの残留電流は、障害に起因する残留電流と呼ばれる。

30

【0068】

障害に起因する残留電流は、障害区間内の線分ごとに求めることができ、障害の可能性のある線分を特定するために、障害に起因する残留電流を用いて、対応する障害に起因する電圧を求めることができる。

【0069】

障害に起因する残留電流の分布は、前方掃引法を通して、障害区間の根元における残留電流測定値と、求められた対地電圧と、線分のシャントアドミタンスとに基づいて求められる。線分またはデバイスの障害に起因する残留電流は、給電区間の根元に接続されるデバイスから開始して、給電区間の端部に向かって、線分またはデバイスの下流の終端バスにおいて障害があると順次に仮定することによって計算される。

40

【0070】

一例として、図 4 を用いるとき、その方法は、層 1 においてバス 420 の下流に接続されるデバイス、すなわち、バス 420 からバス 430 まで接続される開閉器 410 から開始される。その後、層 2 のバスに接続される線分、すなわち、バス 430 とバス 440 との間の線分に移動する。この方法は、層 5 と層 6 との間の線分に対する残留電流計算が完了したときに終了する。

【0071】

上流バス p を下流バス s に接続する任意の線分の場合に、上流バス p を通って線分に流

50

れ込む、障害に起因する残留電流

【数 3 8】

$$\tilde{I}_{ps}^{res}$$

は、下式に従って求められる。

【数 3 9】

$$\tilde{I}_{ps}^{res} = \tilde{I}_{dp}^{res} - \sum_{t \in DD_p, t \neq s} \hat{I}_{pt}^{res} \quad (21)$$

ただし、

【数 4 0】

$$\tilde{I}_{dp}^{res}$$

は、バス p を通ってバス d からバス p まで接続される上流線分から出るシャントに起因する残留電流であり、 DD_p は、バス p の下流にあり、線分または開閉器を通してバス p との直接接続を有する 1 組のバスであり、

【数 4 1】

$$\hat{I}_{pt}^{res}$$

は、バス p を通ってバス p とバス t との間の線分または開閉器に流れ込む障害に起因する残留電流である。

【0 0 7 2】

バス s を通って線分から出る障害に起因する残留電流

【数 4 2】

$$\tilde{I}_{ps'}^{res}$$

は、以下のように求めることができる。

【数 4 3】

$$\tilde{I}_{ps'}^{res} = \tilde{I}_{ps}^{res} - \frac{1}{2} Y_{ps}^{sh} (\hat{V}_p + \hat{V}_s) \quad (22)$$

ただし、

【数 4 4】

$$\hat{V}_p$$

および

【数 4 5】

$$\hat{V}_s$$

は、バス p およびバス s の求められた電圧である。

【0 0 7 3】

バス p とバス s との間の開閉器の場合、式 (2 1) を用いて、上流側における障害に起因する残留電流を求めることができ、その後、それらの値を用いて、下流バスにおける値を直接設定することができる。

【数 4 6】

$$\tilde{I}_{ps'}^{res} = \tilde{I}_{ps}^{res} \quad (23)$$

【0 0 7 4】

バス p とバス s との間の線分または開閉器の上流バスが、インポート測定デバイスの上

10

20

30

40

50

流バスである場合には、上流バス側における残留電流は、下式に従って、インポートデバイスにおける測定値と、インポートデバイスの下流のシャント電流とに基づいて求められる。

【数 4 7】

$$\tilde{i}_{ps,x}^{res} = \tilde{i}_{im}^{res} - \sum_{y \neq x, y \in \{a,b,c\}} \tilde{i}_{ps,y}^{res} \quad (24)$$

$$\tilde{i}_{ps,y}^{res} = \sum_{mn \in DN_{im}} \frac{1}{2} Y_{mn,y}^{sh} (\hat{V}_m + \hat{V}_n) \quad (25)$$

10

ただし、

【数 4 8】

$$\tilde{i}_{ps,x}^{res}$$

および

【数 4 9】

$$\tilde{i}_{ps,y}^{res}$$

は、障害相 x および非障害相 y のうちの 1 つにおいてバス p を通ってバス p とバス s との間の線分に流れ込む障害に起因する残留電流であり、 $\tilde{i}_{im}^{res}$ は、インポート測定デバイス im における残留電流測定値であり、 DN_{im} は、インポート測定デバイス im の下流の全ての線分の組である。

20

【0075】

障害線分の特定

本発明の幾つかの実施の形態では、上流終端バスと下流終端バスとの間の障害線分は、上流バス上の障害に起因する残留電圧の角度とシャントに起因する残留電圧との間の角度差の第 1 の角度、および下流バス上の障害に起因する残留電圧の角度とシャントに起因する残留電圧との間の差の第 2 の角度を比較することによって特定される。例えば、幾つかの実施の形態は、第 1 の角度および第 2 の角度を障害相の基準角と比較する。これらの実施の形態では、障害相の基準角の値が第 1 の角度の値と第 2 の角度の値との間にあるとき

30

【0076】

終端バスの障害に起因する残留電圧は、障害区間の根元において測定された残留電圧および残留電流と、障害に起因する残留電流と、線分の線路直列インピーダンスおよびシャントアドミタンスとに基づいて求められる。

【0077】

前方掃引法を用いて、給電区間の根元から開始して、給電区間の端部に向かって、線分ごとの障害に起因する残留電圧を求めることができる。

【0078】

上流バス p から下流バス s まで接続される任意の線分の場合に、下流バスにおける障害に起因する残留電圧は、下式に従って、上流バスにおける障害に起因する残留電圧と、上流バスを通して線分に流れ込む障害に起因する電流とに基づいて求められる。

40

【数 5 0】

$$\hat{v}_s^{res} = \hat{v}_p^{res} - T^T Z_{ps}^{se} \left(\tilde{i}_{ps}^{res} - \frac{1}{2} Y_{ps}^{sh} \hat{V}_p \right) \quad (26)$$

ただし、

【数 5 1】

$$\hat{v}_s^{res}$$

および

50

【数 5 2】

$$\hat{v}_p^{res}$$

は、バス s およびバス p における障害に起因する残留電圧であり、 T は、 $T = [1 \ 1 \ 1]^T$ と定義される単位のベクトルであり、

【数 5 3】

$$\hat{i}_{ps}^{res}$$

は、バス p を通って線分に流れ込む障害に起因する残留電流のベクトルであり、

【数 5 4】

$$\hat{V}_p$$

は、バス p において求められた対地電圧のベクトルである。

【0 0 7 9】

バス p とバス s との間の任意の開閉器の場合、下流バスにおける障害に起因する残留電圧は、上流バスと同じであるとして設定される。

【数 5 5】

$$\hat{v}_s^{res} = \hat{v}_p^{res}$$

(27)

【0 0 8 0】

前方掃引法は、給電区間の根元にあるインポート測定デバイスの上流バスから開始する。測定された残留電圧を用いて、インポートデバイスのバスにおける障害に起因する電圧を設定する。

【数 5 6】

$$\hat{v}_{im}^{res} = v_{im}^{res}$$

(28)

ただし、

【数 5 7】

$$\hat{v}_{im}^{res}$$

は、インポートデバイス i m の上流バスにおける障害に起因する残留電圧であり、 v_{im}^{res} は、障害中にインポートデバイス i m において測定された残留電圧である。

【0 0 8 1】

障害線分は、線分の 2 つの終端バスに対する障害に起因する残留電圧とシャントに起因する残留電圧との差の角度を比較することによって特定される。2 つの終端バスにおける角度が障害相による基準角によって定義される基準軸の異なる側に位置する場合には、その線分は、障害線分であると特定される。

【0 0 8 2】

幾つかの実施の形態では、式 (29) を用いて、線分が障害を有するか否かを判断する。

【数 5 8】

$$\sin(\angle(\hat{v}_p^{res} - \hat{v}_p^{res}) - \theta_x^{ref}) \sin(\angle(\hat{v}_s^{res} - \hat{v}_s^{res}) - \theta_x^{ref}) < 0, \quad (29)$$

ただし、

【数 5 9】

$$\angle(\hat{v}_p^{res} - \hat{v}_p^{res}) \text{ and}$$

および

10

20

30

40

【数 6 0】

$$\angle(\hat{v}_p^{\text{res}} - \hat{v}_s^{\text{res}})$$

は、それぞれバス p およびバス s における障害に起因する残留電圧とシャントに起因する残留電圧との差の位相角であり、 $\theta_{x^{\text{ref}}}$ は、障害相によって決定される基準角である。

【 0 0 8 3 】

幾つかの実施の形態では、障害相の基準角は、変電所に給電される送電システムに対する等価無限供給源の内部電圧の位相角として設定される。例えば、基準角は、障害相が相 a、相 b または相 c である場合にそれぞれ 0 度、- 1 2 0 度または 1 2 0 度に設定することができる。

10

【 0 0 8 4 】

図 6、図 7 および図 8 は、線分の終端バスにおける残留電圧差に関する位相ベクトル図の 3 つの例を示す。

【 0 0 8 5 】

図 6 では、終端バス p およびバス s における障害に起因する残留電圧とシャントに起因する残留電圧との差の角度、すなわち、第 1 の角度 6 1 0 および第 2 の角度 6 2 0 が、いずれも障害相の基準角 $\theta_{x^{\text{ref}}}$ 6 3 0 より遅れている。したがって、図 6 に示される線分の場合、線分内で、障害は、生じていない。

【 0 0 8 6 】

同様に図 7 に示されるように、終端バス p およびバス s における障害に起因する残留電圧とシャントに起因する残留電圧との差の角度、すなわち、第 1 の角度 7 1 0 および第 2 の角度 7 2 0 が、障害相の基準角 $\theta_{x^{\text{ref}}}$ 7 3 0 より進んでいる。したがって、図 7 に示される線分の場合、線分内で、障害は、生じていない。

20

【 0 0 8 7 】

図 8 では、バス p における障害に起因する残留電圧とシャントに起因する残留電圧との差の角度 8 1 0 が障害相の基準角 $\theta_{x^{\text{ref}}}$ 8 3 0 より遅れており、バス s における障害に起因する残留電圧とシャントに起因する残留電圧との差の角度 8 2 0 が、障害相の基準角 $\theta_{x^{\text{ref}}}$ 8 3 0 より進んでいる。したがって、その線分において、障害が生じている可能性がある。

【 0 0 8 8 】

残留電圧に基づく障害場所の特定

障害線分が特定された後に、障害に起因する残留電圧の角度とシャントに起因する残留電圧の角度との差に従って、各線分に沿った障害の可能性がある場所を特定することができる。

30

【 0 0 8 9 】

具体的には、障害の場所における障害に起因する残留電圧とシャントに起因する残留電圧との間の差は、障害相の基準角と同相である。したがって、この同相であることを用いて、障害線分の種々の場所を試験し、障害の場所を特定することができる。

【 0 0 9 0 】

図 9 は、対地障害を有する線分のモデルを示す。線分 9 0 0 は、上流バス p 9 1 0 を下流バス s 9 1 5 に接続し、障害の場所 f 9 3 2 に従って 2 つの副線分に分割される。第 1 の線分は、バス p 9 1 0 と障害の場所 f 9 3 2 との間にあり、第 2 の線分は、障害の場所 f 9 3 2 とバス s 9 1 5 との間にある。

40

【 0 0 9 1 】

障害場所 f 9 3 2 と上流バス p 9 1 0 の間の距離をバス p 9 1 0 とバス s 9 1 5 との間の線分の全長で割った比が d である場合、第 1 の線分は、直列インピーダンス $d Z_{p s}^s$ 9 4 0 と、2 つの終端バス 9 5 0 および 9 6 0 に分割されるシャントアドミタンス $d Y_{p s}^s$ とを用いてモデル化することができ、第 2 の線分は、直列インピーダンス $(1 - d) Z_{p s}^s$ 9 7 0 と、終端バス 9 8 0 および 9 9 0 に分割されるシャントアドミタンス $(1 - d) Y_{p s}^s$ とを用いてモデル化することができる。

50

【 0 0 9 2 】

バス p と障害点 f との間の第 1 の線分の場合の直列インピーダンスおよびシャントアドミタンスモデルに基づいて、障害に起因する残留電圧は以下のように計算することができる。

【 数 6 1 】

$$\hat{v}_f^{res} = \hat{v}_p^{res} - dT^T Z_{ps}^{se} \left(\hat{i}_{ps}^{res} - \frac{d}{2} Y_{ps}^{sh} \hat{v}_p \right), \quad (30)$$

ただし、

【 数 6 2 】

$$\hat{v}_f^{res}$$

10

は、場所 f における障害に起因する残留電圧であり、

【 数 6 3 】

$$\hat{v}_p^{res}$$

および

【 数 6 4 】

$$\hat{i}_{ps}^{res}$$

は、上流バス p における障害に起因する残留電圧、およびバス p を通って線分に流れ込む障害に起因する残留電流のベクトルであり、

20

【 数 6 5 】

$$\hat{v}_p$$

は、バス p の求められた対地電圧のベクトルである。

【 0 0 9 3 】

同様に、障害場所 f とバス s との間の第 2 の線分の場合の直列インピーダンスおよびシャントアドミタンスモデルに基づいて、シャントに起因する残留電圧を以下のように計算することができる。

【 数 6 6 】

$$\hat{v}_f^{res} = \hat{v}_s^{res} + (1-d)T^T Z_{ps}^{se} \left(\hat{i}_{ps}^{res} + \frac{1-d}{2} Y_{ps}^{sh} \hat{v}_s \right), \quad (31)$$

30

ただし、

【 数 6 7 】

$$\hat{v}_f^{res}$$

および

【 数 6 8 】

$$\hat{v}_s^{res}$$

は、障害場所 f および下流バス s におけるシャントに起因する残留電圧であり、

40

【 数 6 9 】

$$\hat{i}_{ps}^{res}$$

は、バス s を通って線分から出るシャントに起因する残留電流のベクトルであり、

【 数 7 0 】

$$\hat{v}_s$$

は、バス s の求められた対地電圧のベクトルである。

【 0 0 9 4 】

幾つかの実施の形態は、障害に起因する残留電圧およびシャントに起因する残留電圧の

50

差の角度を障害相に対応する基準角と比較する。それらの角度が十分に近い場合には、場所 f において、障害が、特定される。

【 0 0 9 5 】

例えば、幾つかの実施の形態は、式 (3 2) を用いて、場所 f に障害があるか否かを判断する。

【 数 7 1 】

$$|(\hat{v}_f^{res} - \hat{v}_f^{ref}) - \theta_x^{ref}| < \varepsilon, \quad (32)$$

ただし、 ε は、0 . 0 0 0 0 1 のような小さい値である。

【 0 0 9 6 】

図 1 0 は、バス p とバス s との間の線分内の場所 f に関する位相ベクトル図の一例を示しており、残留電圧差の位相角が障害相に基づく基準角と同相である。この場所 f を、障害相においてボルト連結単相対地障害を有する可能性があるとは判断することができる。

【 0 0 9 7 】

図 1 0 に示されるように、バス p 1 0 1 0 における障害に起因する残留電圧とシャントに起因する残留電圧との差は、基準角軸 1 0 4 0 より遅れており、バス s 1 0 2 0 における残留電圧の差は、基準角軸 1 0 4 0 より進んでおり、場所 f 1 0 3 0 における残留電圧の差は、基準角軸 1 0 4 0 と同相である。

【 0 0 9 8 】

実施例

図 1 1 は、本発明の 1 つの実施の形態による、非接地配電系統内のボルト連結単相対地障害の位置を特定する方法のブロック図を示す。本発明の種々の実施の形態が、方法 1 1 0 0 のステップのうちの少なくとも一部を用いる。

【 0 0 9 9 】

ステップ 1 1 0 5 において、変電所内の給電線の給電線遮断器における対地電圧および相電流測定値が求められ、例えば、測定ユニットから回収される。

【 0 1 0 0 】

ステップ 1 1 1 0 において、変電所内の給電線ごとの給電線遮断器の残留電圧および残留電流が求められる。

【 0 1 0 1 】

ステップ 1 1 1 5 において、給電線遮断器の対地電圧測定値の大きさを上側しきい値および下側しきい値と比較することによって、障害相が特定される。

【 0 1 0 2 】

ステップ 1 1 2 0 において、変電所内の給電線ごとの給電線遮断器の残留電圧と残留電流との間の位相角差を比較することによって、障害給電線が特定される。

【 0 1 0 3 】

ステップ 1 1 2 5 において、障害給電線に沿った、センサーを備える開閉器に対する対地電圧および相電流測定値が求められ、例えば、受信される。

【 0 1 0 4 】

ステップ 1 1 3 0 において、障害給電線に沿った、センサーを備える開閉器に対する残留電圧および残留電流が求められる。

【 0 1 0 5 】

ステップ 1 1 3 5 において、給電線遮断器と、障害給電線に沿ったセンサーを備える開閉器との場合の残留電圧と残留電流との間の位相角差を比較することによって、障害給電線の障害給電区間が特定される。

【 0 1 0 6 】

ステップ 1 1 4 0 において、給電線遮断器または開閉器における対地電圧測定値と、給電線トポロジー接続性とに基づいて、障害給電区間の対地電圧分布が求められる。

【 0 1 0 7 】

ステップ 1 1 4 5 において、求められた対地電圧に基づいて、障害給電区間のシャント

10

20

30

40

50

に起因する残留電圧分布が求められる。

【0108】

ステップ1150において、後方掃引法を用いて、障害給電区間内の線分のシャントに起因する残留電流を求める。その方法は、線分の求められた対地電圧と、シャントアドミタンスとに基づいて、その区間の端部に接続された線分から開始し、その線分の根元に向かう。

【0109】

ステップ1155において、前方掃引法を用いて障害給電区間内の線分の障害に起因する残留電流分布を求める。その掃引法は、その区間の根元における残留電流測定値と、ステップ1150において求められたシャントに起因する残留電流と、線分のシャントアドミタンスとに基づいて、その区間の根元に接続される線分から開始し、その区間の端部に向かう。

10

【0110】

ステップ1160において、区間の根元において測定された残留電圧と、ステップ1155において求められた障害に起因する残留電流と、ステップ1150におけるシャントに起因する残留電流と、線分の直列インピーダンスおよびシャントアドミタンスとに基づいて、障害給電区間の根元から開始し、その区間の端部に向かって、障害給電区間内の線分の障害に起因する残留電圧分布を求める。

【0111】

ステップ1165において、各線分の2つの終端バス間の障害に起因する残留電圧とシャントに起因する残留電圧との差に対する角度変化を比較することによって、障害の可能性のある線分を特定する。

20

【0112】

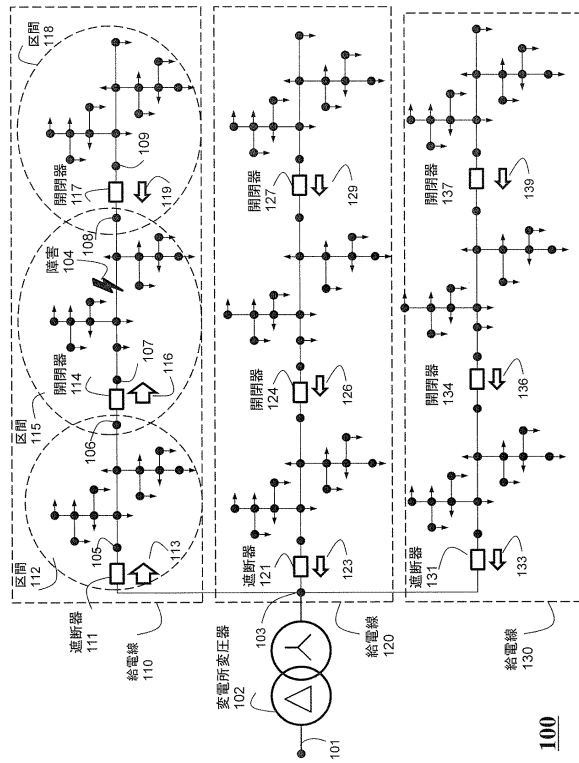
ステップ1170において、障害に起因する残留電圧とシャントに起因する残留電圧との間の差の角度が障害相に対応する基準角に等しい、線分に沿った場所を見つけることによって、障害の可能性のある線分ごとに障害の可能性のある場所を特定する。

【0113】

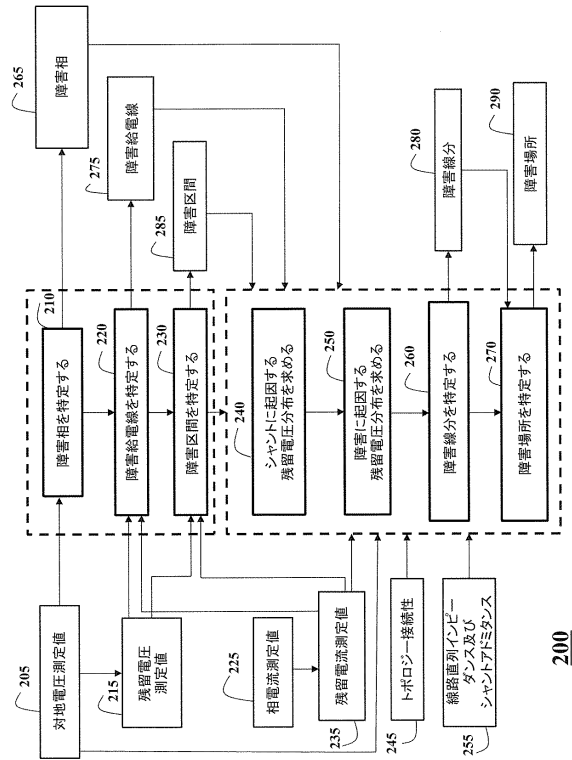
ステップ1175において、障害相、障害給電線、障害給電区間、障害の可能性のある線分、および障害場所の可能性のある地理的場所を含む、障害位置特定結果を配電自動システムに出力する。

30

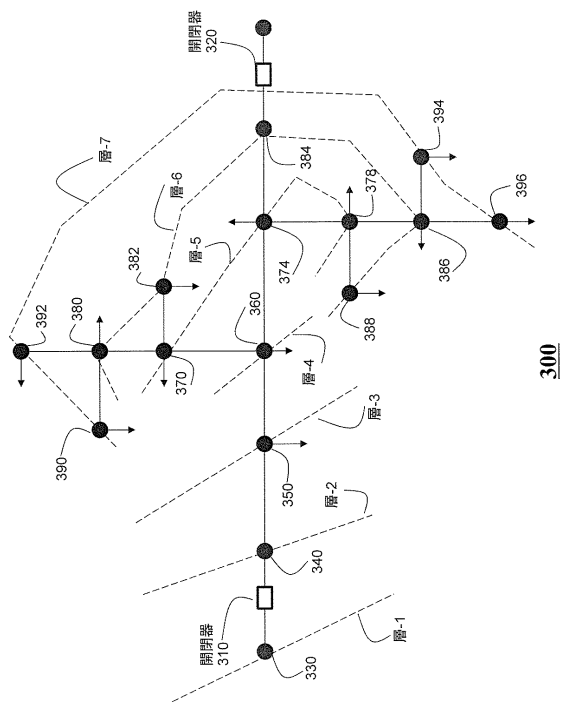
【図 1】



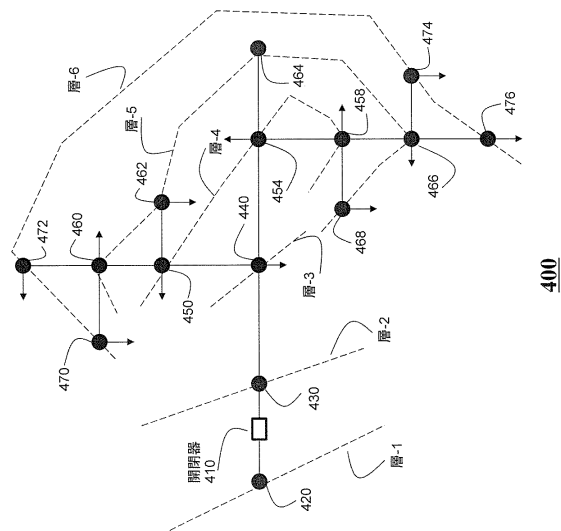
【図 2】



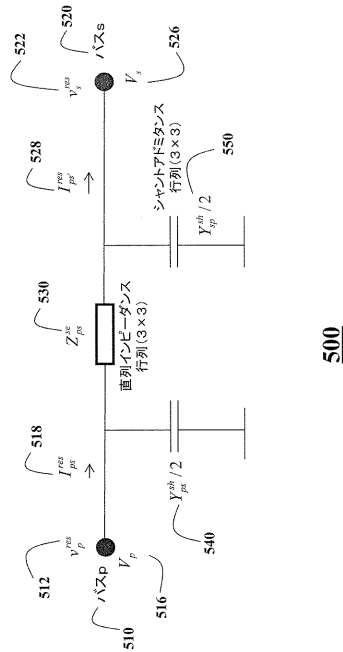
【図 3】



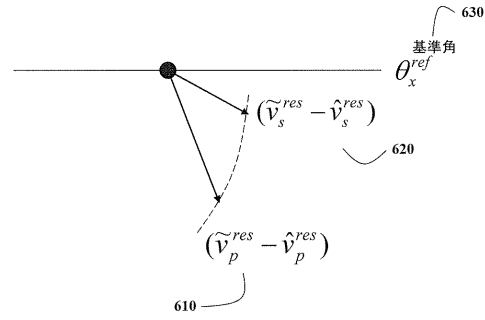
【図 4】



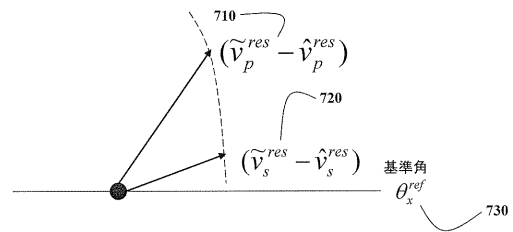
【図 5】



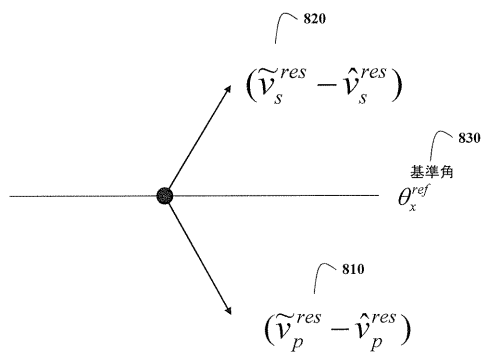
【図 6】



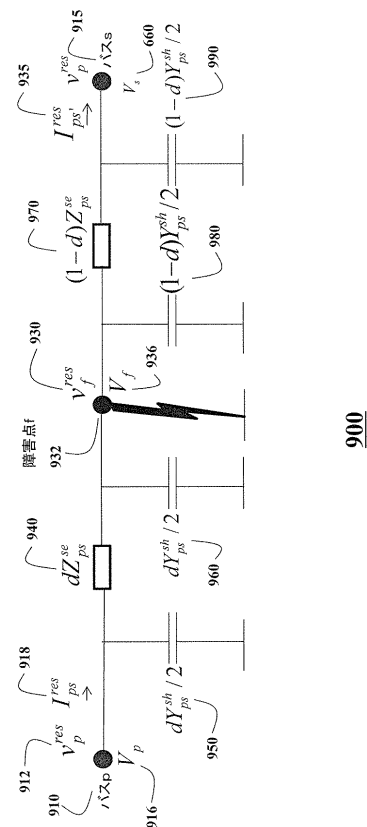
【図 7】



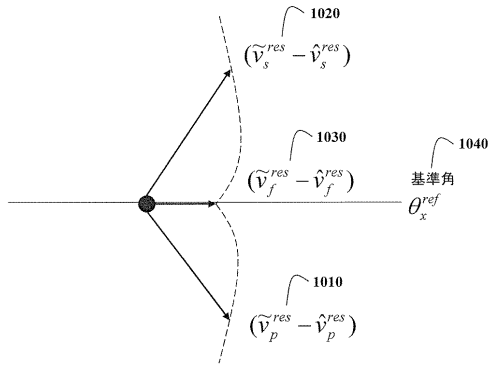
【図 8】



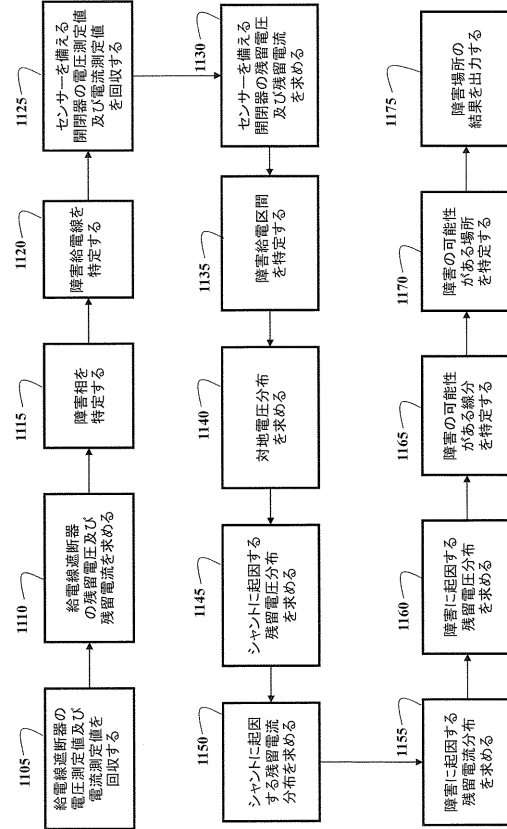
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 ホンボ・サン

アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブロードウェイ 201、ミツビシ・エレクトリック・リサーチ・ラボラトリーズ・インコーポレイテッド

審査官 古河 雅輝

(56)参考文献 特開2007-116893(JP,A)

特開平04-029522(JP,A)

特表2006-505768(JP,A)

特開平11-308758(JP,A)

特開平05-219645(JP,A)

特開昭53-124740(JP,A)

米国特許出願公開第2012/0004867(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 31/08 - 31/11

H02H 1/00 - 3/07

H02H 7/22 - 7/30

H02H 99/00

H02J 3/00 - 5/00

H02J 13/00