

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6378574号
(P6378574)

(45) 発行日 平成30年8月22日(2018.8.22)

(24) 登録日 平成30年8月3日(2018.8.3)

(51) Int.Cl.	F 1
GO1R 31/08 (2006.01)	GO1R 31/08
HO2H 3/00 (2006.01)	HO2H 3/00 Q
HO2H 7/26 (2006.01)	HO2H 7/26 F
HO2J 13/00 (2006.01)	HO2J 13/00 301D

請求項の数 10 外国語出願 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2014-163266 (P2014-163266)
(22) 出願日	平成26年8月11日(2014.8.11)
(65) 公開番号	特開2015-62010 (P2015-62010A)
(43) 公開日	平成27年4月2日(2015.4.2)
審査請求日	平成29年8月4日(2017.8.4)
(31) 優先権主張番号	201310356104.1
(32) 優先日	平成25年8月15日(2013.8.15)
(33) 優先権主張国	中国(CN)

(73) 特許権者	390041542 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー アメリカ合衆国、ニューヨーク州 123 45、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 聰志
(74) 代理人	100105588 弁理士 小倉 博
(74) 代理人	100129779 弁理士 黒川 俊久
(74) 代理人	100113974 弁理士 田中 拓人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】配電網の故障位置特定システムおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

配電網(10)のための故障位置特定システム(18)であって、
電流および電圧を感知する、前記配電網(10)上に配置された少なくとも1つのセンサと、

故障位置評価装置(19)と、
を備え、

前記故障位置評価装置(19)が、
前記配電網(10)内で可能な電力流路(PPFP)を1つずつ選択するためのPP
FP選択ユニット(192)と、

選択されたそれぞれの前記PPFP内の線路区間を1つずつ選択するための線路区間選択ユニット(193)と、

選択された前記PPFPに基づいて、選択された線路区間の各々を対応する等価故障モデル(61-68)に分類するための線路区間分類ユニット(194)と、

前記対応する等価故障モデル(61-68)に基づいて前記選択された線路区間の各々の想定故障点の故障距離「D」および故障抵抗「R_F」を計算するための故障位置パラメータ計算ユニット(195)と、

R_F 0、0 D D_Tである場合に、ここで「D_T」は前記対応する線路区間の合計長である、故障位置候補として前記想定故障点を記録するための故障位置候補記録ユニット(196)と、

10

20

を備える、
故障位置特定システム（18）。

【請求項2】

前記対応する線路区間が少なくとも2つのPPPに属する場合に前記故障距離「D」は少なくとも2つの計算された故障距離「D」の平均値である、請求項1に記載の故障位置特定システム（18）。

【請求項3】

前記等価故障モデル（61-68）は少なくとも1つのセンサ点、故障点、故障抵抗、および異なる線路区間に応する線路インピーダンスを備える、請求項1に記載の故障位置特定システム（18）。

10

【請求項4】

前記故障距離「D」および故障抵抗「R_F」はオームの法則の式、前記少なくとも1つのセンサからの前記感知された電流および電圧、および前記対応する等価故障モデル（61-68）における所定のパラメータに基づいて計算される、請求項3に記載の故障位置特定システム（18）。

【請求項5】

前記少なくとも1つのセンサは前記配電網（10）を前記少なくとも2つの領域に均等に分割する、請求項1に記載の故障位置特定システム（18）。

【請求項6】

配電網（10）のための故障位置特定方法（20）であって、
少なくとも1つのセンサを用いて、前記配電網（10）の少なくとも1つの位置における電流および電圧を感知するステップと、
前記配電網（10）内で可能な電力流路（PPP）を1つずつ選択するステップと、
選択されたぞれぞれの前記PPP内で、線路区間を1つずつ選択するステップと、
選択された前記PPPに基づいて、選択された線路区間の各々を対応する等価故障モデル（61-68）に分類するステップと、

20

前記対応する等価故障モデル（61-68）に基づいて前記選択された線路区間の各々の想定故障点の故障距離「D」および故障抵抗「R_F」を計算するステップと、

$R_F = 0$ および $0 < D < D_T$ である場合に、ここで「D_T」は前記対応する線路区間の合計長である、故障位置候補として前記想定故障ポイントを記録するステップと、
を含む、故障位置特定方法（20）。

30

【請求項7】

前記対応する線路区間が少なくとも2つのPPPに属する場合に前記故障距離「D」は少なくとも2つの計算された故障距離「D」の平均値である、請求項6に記載の故障位置特定方法（20）。

【請求項8】

前記等価故障モデル（61-68）は少なくとも1つのセンサ点、故障点、故障抵抗、および異なる線路区間に応する線路インピーダンスを備える、請求項6に記載の故障位置特定方法（20）。

【請求項9】

前記故障距離「D」および故障抵抗「R_F」はオームの法則の式、前記感知された電流および電圧、および対応する等価故障モデル（61-68）における所定のパラメータに基づいて計算される、請求項8に記載の故障位置特定方法（20）。

40

【請求項10】

前記少なくとも1つの位置は前記配電網（10）を前記少なくとも2つの領域に均等に分割する、請求項6に記載の故障位置特定方法（20）。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明の実施形態は一般的に電力システム内の故障位置を特定するためのシステムおよび方法に関し、特に配電網内の故障位置を判定するためのシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【0002】

正確な故障位置特定はシステム平均停電継続指数（S A I D I）を低減するために電力会社がサービスの信頼性維持を可能にする必須の技術である。例えば、短絡故障などのような故障が発生した際、影響を受ける地域を減少させるために即時のアクションが取られなければならない。しかしながら、配電網における1つの大きな課題は配電網が多数の配電線側線／分岐および分散負荷を有することである。このようなシナリオでは、インピーダンスに基づく方法のような従来の故障位置特定法の適用は、送電網としての配電網用に同様の精度を達成することができない。

10

【0003】

したがって、上述の問題に対処するためのシステムおよび方法を提供することが望ましい。

【発明の概要】

【0004】

本明細書に開示される一実施形態によれば、配電網の故障位置特定システムが提供される。故障位置特定システムは少なくとも1つのセンサおよび故障位置評価装置を含む。少なくとも1つのセンサは電流を感知するおよび少なくとも2つの領域に配電網を分割するために配電網上に配置される。故障位置評価装置は、少なくとも1つのセンサからの感知された電流を計算することにより、少なくとも2つの領域のどちらの一方がその中に故障を発生した故障領域であるかを判定するための故障領域判定ユニットを含む。

20

【0005】

本明細書に開示される別の実施形態によれば、配電網の故障位置特定システムが提供される。故障位置特定システムは少なくとも1つのセンサおよび線路区間選択ユニット、線路区間分類ユニット、故障位置パラメータ計算ユニット、および故障位置候補記録ユニットを含む故障位置評価装置を含む。少なくとも1つのセンサは電流および電圧を感知するために配電網上に配置される。線路区間選択ユニットは配電網内の線路区間を1つずつ選択するためのものである。線路区間分類ユニットは選択された線路区間の各々を対応する等価故障モデルに分類するためのものである。故障位置パラメータ計算ユニットは対応する等価故障モデルに基づいて選択された線路区間の各々の想定故障点の故障距離「 D 」および故障抵抗「 R_F 」を計算するためのものである。故障位置候補記録ユニットは、 R_F 0 および $0 < D < D_T$ である場合に、ここで「 D_T 」は対応する線路区間の合計長である、故障位置候補として想定故障点を記録するためのものである。

30

【0006】

本明細書に開示されるさらに別の実施形態によれば、配電網の故障位置特定方法が提供される。故障位置特定方法は配電網の少なくとも1つの位置で電流を感知すること；少なくとも1つの位置に基づいて少なくとも2つの領域に配電網を分割すること；および少なくとも1つの位置で感知された電流を計算することにより、少なくとも2つの領域のどちらの一方がその中に故障を発生した故障領域であるかを判定することを含む。

40

【0007】

本開示のこれらおよび他の特徴、態様、および利点は、図面全体を通して同様の部分を同様の文字で表す添付の図面を参照して以下の詳細な説明が読まれる際により良く理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】図1は、本開示の例示的な実施形態による配電網の概略図である。

【図2】図2は、本開示の例示的な実施形態による、図1の配電網の故障位置特定システムのプロック図である。

【図3】図3は、図1の配電網の故障領域を示す概略図である。

50

【図4】図4は、本開示の例示的な実施形態による、図2の故障位置特定システムの故障位置評価装置のブロック図である。

【図5】図5は、本開示の例示的な実施形態による、図1の配電網の故障位置特定方法のフロー チャートである。

【図6】図6は、図3の故障領域内の3つのPPPを示す概略図である。

【図7】図7は、等価故障モデルの等価図である。

【図8】図8は、等価故障モデルの等価図である。

【図9】図9は、等価故障モデルの等価図である。

【図10】図10は、等価故障モデルの等価図である。

【図11】図11は、等価故障モデルの等価図である。

【図12】図12は、等価故障モデルの等価図である。

【図13】図13は、等価故障モデルの等価図である。

【図14】図14は、等価故障モデルの等価図である。

【図15】図15は、図6の配電網の故障領域の線路区間を示す概略図である。

【図16】図16は、線路区間を対応する等価故障モデルに分類する分類処理を示す概略図である。

【図17】図17は、図6の配電網の故障領域の2つの故障位置候補を示す概略図である。

【図18】図18は、4つの異なる故障抵抗のもとでの図2の故障位置特定システムの距離精度を示すシミュレーション図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

本明細書に開示される実施形態は、一般的に配電網内の可能性のある故障位置をほんの少数の故障位置候補に減らすことができる各線路区間の故障の可能性を評価するための故障位置候補の評価機能を有する故障位置特定システムおよび故障位置特定方法に関する。このように、運用者は少数の故障位置候補の中から実際の故障位置を簡単に判定することができる、または単に少数の故障位置候補に基づいて配電網を維持することができる。この故障位置特定システムおよび故障位置特定方法は、配電網または他の同様の電力網における故障点を検出する上で効率を増大させてもよい。

【0010】

本明細書で使用される用語「可能な電力流路（PPP）」は、電流が配電網の上流側センサから側線の端部または故障領域の下流側センサに流れてもよい可能な経路を指す。一実施形態におけるセンサはセンサが配置される場所の電流および電圧を感知するために使用される電流・電圧センサを備える。用語「線路区間」はPPP内で隣接する2つのノード間の区間として定義される。PPP内のノードは網構造に基づく。例えば、ノードはPPP内に設計されたいくつかの装置または変電所、変圧器、抵抗素子、容量素子、トランジスタ素子、または何か他のもののような電気的要素を表してもよい。各PPPは所定のノード数に応じていくつかの線路区間を含んでもよい。線路区間の数は同様に網構造に基づいて判定される。

【0011】

本開示の1つ以上の特定の実施形態が以下に説明される。これらの実施形態の簡潔な説明を提供する努力において、実際の実装のすべての特徴が明細書に記載されている訳ではない。任意のエンジニアリングまたは設計プロジェクトにおけるように、任意のそのような実際の実装の開発において、多数の実装特有の判定は1つの実装から別のものに変更となる場合がある、システム関連およびビジネス関連の制約の遵守のような、開発者の特定の目標を達成するためになされなければならないことが理解されるべきである。さらに、そのような開発努力は複雑で時間がかかるかもしれないが、それにもかかわらずこの開示の利益を有する当業者にとっての設計、製作、および製造の日常的な仕事であろうことが理解されるべきである。

【0012】

10

20

30

40

50

別途定義されない限り、本明細書で使用される技術用語および科学用語は本開示が属する当業者により一般的に理解されるものと同じ意味を有する。本明細書で使用される用語「第1の」、「第2の」などは任意の順序、数量または重要度を表すものではなく、むしろある要素を別の要素から区別するために使用される。また、用語「a」および「a n」は量の限定を表すものではなく、むしろ参照項目が少なくとも1つ存在することを表す。用語「または」は包括的であることを意味し、列挙された項目のいずれかまたはすべてを意味する。本明細書における「含む」、「備える」または「有する」およびその変形の使用は、その後に列挙される項目およびその等価物並びに追加の項目を包含することを意味する。用語「接続される」および「結合される」は物理的または機械的な接続または結合に限定されず、および直接的または間接的のどちらであっても電気的な接続または結合を含むことができる。さらに、用語「回路」および「回路網」および「コントローラ」は、説明される機能を提供するために能動的および/または受動的のいずれかであって、および必要に応じて一緒に接続されるまたはそうでなければ結合されてもよい、単一の要素または複数の要素のいずれかを含んでもよい。10

【0013】

図1は本開示の例示的な実施形態による配電網10の概略図を示す。説明を容易にするために、配電網10の詳細な構成は図1に示されない。配電網10は電力システムの他のタイプと同様に都市電力網および地方電力網で使用されてもよい。

【0014】

図1の図示の実施形態において、配電網10は本流（ノード800、802、806、808、812、814、850、816、824、828、830、854、852、832、858、834、860、836、840）、およびいくつかの側線（ノード808からノード810までの側線、ノード816、818、820、822の側線、ノード824からノード826までの側線、ノード854から856までの側線、ノード832、888、890の側線、ノード858からノード864までの側線、ノード834、842、844、846、848の側線、およびノード836、862および838の側線など）を含んでもよい。図1および図2を参照すると、配電網10は2つの電流-電圧センサ11、12を有する故障位置特定システム18および故障位置評価装置19をさらに含む。故障位置評価装置19は、コンピュータ、マイクロコントロールユニット（MCU）、デジタルシグナルプロセッサ（DSP）、または任意の他の適切なコントローラまたはプログラマブルデバイスなどのような任意のタイプのデータ処理装置で有り得る。例えば、故障位置評価装置19は配電網10の適切な位置に配置された個々の装置を備えてもよく、または配電網10の関連する制御装置に埋め込まれた計算ユニットを備えてよい。20

【0015】

図1のこの図示の実施形態において、一例として電流-電圧センサ11は本流のノード812上にインストールされ、電流-電圧センサ12は本流のノード830上にインストールされる。他の実施形態において、センサ11および12は配電網10上の任意の適切な位置にインストールすることができる。例えば、電流-電圧センサ11はノード812およびノード814との間にインストールされてもよく、電流-電圧センサ12はノード828およびノード830との間にインストールされてもよい。電流-電圧センサの数および位置は配電網を通して流れる電流および電圧を感知するための必要性に応じて調整することができる。30

【0016】

配電網10はこのように電流-電圧センサによりいくつかの領域に分割することができる。例えば、図1の配電網10は2つの電流-電圧センサ11、12により3つの領域に分割される。すなわち、1つの領域はノード800から電流-電圧センサ11（ノード812）までであり、1つの領域は電流-電圧センサ11から電流-電圧センサ12（ノード830）までであり、および1つの領域は電流-電圧センサ12からノード840までである。いくつかの実施形態において、配電網10は各分割領域が2つの端子間で同一ま40

たは類似の長さを有するように均等に複数の領域に分割される。他の実施形態において、配電網10はいくつかの領域に均等に分割されなくてもよい。上述のように、センサの数を変更することができる。他の例として、センサの数が1つだけである場合は、因って配電網10は2つの領域に分割される。センサの数が2つ以上の場合は、配電網10はそれに応じて3つ以上の領域に分割される。

【0017】

図2を参照すると、故障位置評価装置19はその中で故障が発生した際にどの領域が故障領域であるかを判定するために使用される故障領域判定ユニット191を含む。電流-電圧センサ11および12はそれらが位置する場所の電流および電圧を感知するために使用される。故障位置評価装置19は、電気的理論に基づいて検知された電流に応じて故障領域を判定するために、すべての電流-電圧センサ11、12から検知された電流の振幅を計算する。

10

【0018】

図3を参照すると、例えば、電流-電圧センサ11および電流-電圧センサ12との間の故障領域13内の故障点819で故障が発生したと仮定すると、電流-電圧センサ11を通して流れる電流は故障が発生した後著しく減少するであろうし、および電流-電圧センサ12を通して流れる電流は故障が発生した後著しく増加するであろう。両方のノード812および830における電流の急激な変化を考慮すると、故障領域が電気的理論および網トポロジーの分析によって同定することができる。別の例では、電流-電圧センサ11を通して流れる電流および電流-電圧センサ12を通して流れる電流の両方が故障が発生した後著しく減少した場合、故障がノード800およびノード812との間の領域で発生したことを意味する。いくつかの状況において、運用者は判定された故障領域に基づいて故障の問題に対処することができる。他の状況において、故障領域13が判定された後に、故障領域13の対応する線路区間の故障位置候補は、以下に説明するように故障位置評価装置19によりさらに判定される。別の例では、センサの数が1つだけでセンサが配電網10を前方領域および後方領域に分割する場合、故障が発生した後センサを通して流れる電流が著しく減少した際には、その故障が前方領域で発生したことを意味し、故障が発生した後センサを通して流れる電流が著しく増加した際には、その故障が後方領域で発生したことを意味する。

20

【0019】

30

図4を参照すると、故障位置候補を判定するために、故障位置評価装置19はPPFP選択ユニット192、線路区間選択ユニット193、線路区間分類ユニット194、故障位置パラメータ計算ユニット195、故障位置候補記録ユニット196、線路区間完了判定ユニット197、PPFP完了判定ユニット198、および故障位置候補達成ユニット199をさらに含む。一実施形態において、故障位置評価装置19の上記ユニット191-199は個別のユニットおよび/またはアルゴリズムに位置してもよい。他の実施形態において、故障位置評価装置19の2つ以上のこれらのユニットは共通ユニットおよび/またはアルゴリズムに一体化されてもよい。

【0020】

40

図5を参照すると、本開示の例示的な実施形態による図1の配電網10の故障位置特定方法20のフローチャートが示される。図5のこの図示の実施形態において、故障位置特定方法20は故障位置評価装置19のユニット191-199によりそれぞれ実行される9つのステップ21-29を含む。

【0021】

ステップ21において、故障領域13は上記の電流-電圧センサ11および12からの出力に基づいて配電網10内で判定される。故障領域13が判定された後、それに応じて故障領域13内のすべてのPPFPが判定される。例えば、図6を参照すると、故障領域13内に判定された3つのPPFP14、15、および16がある。すなわち、第1のPPFP14はノード812からノード822まで、第2のPPFP15はノード812からノード826まで、および第3のPPFP16はノード812からノード830までで

50

ある。さらに、各 P P F P は図示されるようにいくつかの線路区間を含んでもよい。例えば、第1の P P F P 1 4 は6つの線路区間を含み、すなわち第1の線路区間はノード812からノード814まで、第2の線路区間はノード814からノード850まで、第3の線路区間はノード850からノード816まで、第4の線路区間はノード816からノード818まで、第5の線路区間はノード818からノード820まで、および第6の線路区間はノード820からノード822までである。

【0022】

電気的な論理に基づいて、実際の故障点の位置がどこに位置していても、故障点を有する線路区間は計算を容易にするために対応する等価故障モデルに分類することができる。一例として8つの可能な等価故障モデル61から68が図7-14に示される。第1の等価故障モデル61は、1つのみの電流-電圧センサを有し故障領域に側線を有しないP P F Pに位置する故障点「F」を表す。第2の等価故障モデル62は、2つの電流-電圧センサを有し故障領域に側線を有しないP P F Pに位置する故障点「F」を表す。第3の等価故障モデル63は、1つのみの電流-電圧センサを有し故障領域における故障点「F」の上流に側線を有するP P F Pに位置する故障点「F」を表す。第4の等価故障モデル64は、2つの電流-電圧センサを有し故障領域における故障点「F」の上流に側線を有するP P F Pに位置する故障点「F」を表す。第5の等価故障モデル65は、1つのみの電流-電圧センサを有し故障領域における故障点「F」の下流に側線を有するP P F Pに位置する故障点「F」を表す。第6の等価故障モデル66は、2つの電流-電圧センサを有し故障領域における故障点「F」の下流に側線を有するP P F Pに位置する故障点「F」を表す。第7の等価故障モデル67は、1つのみの電流-電圧センサを有し故障領域における故障点「F」の上流および下流に側線を有するP P F Pに位置する故障点「F」を表す。第8の等価故障モデル68は、2つの電流-電圧センサを有し故障領域における故障点「F」の上流および下流に側線を有するP P F Pに位置する故障点「F」を表す。

【0023】

他の実施形態において、可能な等価故障モデルは他の適切なモデルのアルゴリズムに基づいて変更されてもよい。例えば、可能な等価故障モデルは2つのみのカテゴリ：2つ以上のセンサとの間の故障点（1つの上流側センサおよび1つ以上の下流側センサを有する）、および例えば1つのみの上流側センサを有する故障点を含んでもよい。

【0024】

説明を容易にするため、図7-14において、「L」は電流-電圧センサが配置される左点を表す。「R」はもう1つの電流-電圧センサが配置されてもよい右点を表す。「F」は故障が発生した故障点である。「V_L」はポイント「L」の電圧を表す。「I_L」は左点「L」から流れる電流を表す。「D」は故障点「F」への線路区間の先頭ノードからの故障距離を表す。「D_T」は線路区間の総線路長を表す。「Z_L」は単位長の線路インピーダンスを表す。このように、「D × Z_L」は故障点「F」への線路区間の先頭のノードからの線路インピーダンスを表す。「R_F」はグランドへの故障点「F」の故障抵抗を表す。「I_R」は右点「R」から流れる電流値を表す。「Z_E」はグランドへの右点「R」の等価抵抗を表す。「M」は線路区間の一方の端子を表す。「H」は線路区間の他方の端子を表す。「Z_{LM}」は左点「L」および点「M」との間の線路インピーダンスを表す。「Z_{MR}」は右点「R」と点「M」との間の線路インピーダンスを表す。「I_M」は点「M」から流れる電流値を表す。「Z_{load}」および「Z_{load-M}」はそれぞれグランドへの点「M」の等価抵抗を表す。「Z_{LH}」は左点「L」および点「H」との間の線路インピーダンスを表す。「I_H」は点「H」から流れる電流値を表す。「Z_{load-H}」はグランドへの点「H」の等価抵抗を表す。

【0025】

ステップ22において、故障領域13内のP P F Pが選択される。例えば、図15は第1のP P F P 1 4 が最初に選択される実施形態である。他の実施形態において、第2のP P F P 1 5 または第3のP P F P 1 6 が異なるプログラミングの設計に応じて最初に選択されてもよい。

10

20

30

40

50

【0026】

ステップ23において、選択されたPPFP14の線路区間が選択される。例えば、図15はノード816およびノード818との間の線路区間141が最初に選択されることを示す。他の実施形態において、ノード850およびノード816との間の線路区間のようないずれかが異なるプログラミングの設計に応じて最初に選択されてもよい。

【0027】

ステップ24において、選択された線路区間141は所定の等価故障モデル61-68の対応するものに分類される。図16を参照すると、線路区間141に位置する故障点817が存在すると仮定すると、選択された線路区間141（想定故障点817も）は、想定故障点817が1つのみの電流・電圧センサ11を有し故障領域13内の故障点「F」の上流側に側線（ノード816から824までの側線）を有する第1のPPFP14内に位置するため、第3の等価故障モデル63に分類することができる。選択された線路区間141に対応する第3の等価故障モデル63において、点「L」は電流・電圧センサ11を表し、点「M」は線路区間141の先頭ノード816を表し、点「F」は想定故障点817を表し、「R_F」はグランドへの故障点「F」の故障抵抗を表し、点「R」は線路区間141の他のノード818を表し、「Z_{LM}」は点「L」および点「M」との間の線路インピーダンスを表し、「Z_{Load}」はグランドへの点「M」の等価抵抗を表し、「Z_E」はグランドへの点「R」の等価抵抗を表し、「D」は線路区間141の先頭ノード816から故障点817までの故障距離を表す。「D_T」は線路区間141の総線路長を表す。「Z_L」は単位長の線路インピーダンスを表す。他の状況において、想定故障点が他の線路区間に位置する際に、想定故障点は同様の方法によって対応する等価故障モデルに分類することができ、したがって記載されない。

【0028】

ステップ25において、対応する等価故障モデルが選択された線路区間にために判定された後に、対応する故障距離「D」および故障抵抗「R_F」は等価故障モデルおよび電気的理論に基づいて計算される。例えば、選択された線路区間141が図16に示されるPPFP14である際に、対応する等価故障モデルは上述した第3の等価故障モデル63である。オームの法則の式によれば、2つの式がある。

【0029】

【数1】

$$V_M = V_L - Z_{LM} I_L$$

【0030】

【数2】

$$I_M = I_L - (V_L - Z_{LM} I_L) / Z_{Load}$$

故障が抵抗性であると仮定すると、式(1)および(2)は故障距離「D」に関して二次方程式に換算することができ、したがって故障距離「D」および対応する故障抵抗「R_F」は以下のように解くことができる。

【0031】

【数3】

$$D = [-b \pm \sqrt{(b^2 - 4ac)}]/2a$$

【0032】

【数4】

$$R_F = (V_M - D \times Z_L \times I_M) / [(D_T - D) \times Z_L + Z_E] / [I_M \times (D_T \times Z_L + Z_E) - V_M]$$

ここで、

【0033】

10

20

30

40

50

【数5】

$$a = \text{Im}[Z_L^2 \times (D_T \times Z_L + Z_E - V_M/I_M)^*]$$

【0034】

【数6】

$$b = \text{Im}[-Z_L \times (D_T \times Z_L + Z_E + V_M/I_M) \times (D_T \times Z_L + Z_E - V_M/I_M)^*]$$

【0035】

【数7】

$$c = \text{Im}[(V_M/I_M) \times (D_T \times Z_L + Z_E) \times (D_T \times Z_L + Z_E - V_M/I_M)^*]$$

10

ここで、「Im[. . .]」は複素数の虚数部を表し、「*」は複素共役を表す。2つの「D」の解（およびしたがって「R_F」）が式(2)で与えられる。しかし、「D」および対応する「R_F」の2つの解の負の一方は破棄される。電圧および電流「V_L」および「I_L」は電流・電圧センサ11により感知され、その他のパラメータ「D_T」、「Z_{LM}」、「Z_E」、「Z_{Load}」は予め決められている。他の等価故障モデル61、62、64-68はまたオームの法則の式に基づいて対応する故障距離「D」および故障抵抗「R_F」を計算するために使用することができる事が理解され、したがってこれらは記載されない。

【0036】

20

ステップ26において、故障距離「D」および故障抵抗「R_F」が計算された後に、故障距離「D」がゼロ以上および線路区間141の総線路長「D_T」以下であるか否か、および故障抵抗「R_F」がゼロ以上であるか否かが判定される。計算された故障距離「D」および故障抵抗「R_F」は上記2つの条件に整合し、想定故障点817が故障位置候補として記録される。

【0037】

ステップ27において、線路区間完了判定ユニット197はすべての線路区間が対応するPPP内に計算されたか否かを判定する。はいの場合、プロセスはステップ28に進み、いいえの場合、プロセスはPPP内のすべての線路区間が計算されるまでステップ23に戻る。

30

【0038】

ステップ28において、PPP完了判定ユニット198はすべてのPPPが故障領域13内で計算されたか否かを判定する。はいの場合、プロセスはステップ29に進み、いいえの場合、プロセスは故障領域13内のすべてのPPPが計算されるまでステップ22に戻る。

【0039】

40

ステップ29の場合、すべてのPPP内のすべての線路区間が計算された後に、それに応じてすべての故障位置候補が判定される。例えば、図17の実施形態において、すべてのPPP内のすべての線路区間が計算された後に、2つ故障位置候補817および825が故障距離「D」および故障抵抗「R_F」の上記の2つの条件に整合するように判定される。この例では、故障位置候補817は線路区間141に位置し、故障位置候補825は線路区間151に位置する。

【0040】

上記の選択処理の後、ほとんどの場合配電網10における1つまたは多数の線路区間のうちの小数のいずれかが故障位置候補として報告されることが予想される。いくつかの状態において、運用者は小数の故障候補位置に基づいて故障問題に対処するためにいくつかの復旧操作を行うことができる。いくつかの状況において、運用者はほんの小数の故障候補位置を確認する必要がある、時には1つだけ故障候補位置を確認する必要があるだけなので、運用者は速やかに故障問題を復旧することができる。したがって、ほんの少数の故障候補位置に基づく復旧処理は多数の故障候補位置に基づく従来の復旧処理よりもより簡

50

略化されより効率的である。例えば、従来の復旧処理において故障が発生した際に、運用者は最初に電源をオフにする必要があり、次に対応する線路区間上の実際の故障位置を見つけるまで多数の線路区間を1つずつ手作業での線路チェックに依存しているかもしれない。従来の復旧処理は大規模な労働コストおよび長い検査時間がかかる必要があるかもしれない。しかしながら、本発明の故障位置特定システム18を使用することにより、運用者が高精度で非常に迅速に復旧処理を行う手助けをすることができる1つまたは少数の故障位置候補を自動的に判定することができる。

【0041】

いくつかの実施形態において、ステップ22および28は省略されてもよく、故障領域内の選択された線路区間は対応する等価故障モデルおよび故障領域の全体のトポロジー構成に基づいて1つずつ計算される。いくつかの実施形態において、ステップ21の1つのみで故障位置の可能な位置を限定するのに十分である。例えば、配電網10が非常に短く、多くの電流センサが配電網10の異なるノードに配置される際、各分割領域は非常に小さく、電流センサからの感知された電流を計算することにより故障領域が判定された後に故障問題に対処するのに十分である。

10

【0042】

いくつかの条件において、いくつかの線路区間は2つ以上のPPPに属してもよい。例えば、ノード816からノード824までの線路区間は図6に示す3つのPPP14、15、および16に属する。実際には、故障がこのような線路区間で発生した場合、複数のPPPを通して計算された故障距離「D」は非常に接近している。したがって、すべての関連するPPPから故障距離「D」を計算し、次にこの線路区間の最終的な故障距離「D」として平均値を計算してもよいし、またはこれらの関連するPPPの任意の1つを選択し、最終的な値として故障距離を計算してもよいのどちらかである。例えば、どちらのアプローチを選択するかは計算負荷および時間要件に依存する。

20

【0043】

図18を参照すると、故障位置特定システム18の故障位置精度を示すシミュレーション図が示される。図18において、故障距離は原点および配電網10の故障点との間の距離である。このシミュレーション図は、 $R_F = 0$ オーム、 $R_F = 10$ オーム、 $R_F = 30$ オーム、 $R_F = 50$ オームを含む4つの異なる故障抵抗状態を示す。 $R_F = 0$ オームである際に、約5-100メートルに属する故障位置精度が非常に高い。さらに、 $R_F = 50$ オームであっても、約60-520メートルに属する故障位置精度が高いレベルである。これらのシミュレートされた故障位置精度はすべての精度要件を満たす。

30

【0044】

本発明は例示的な実施形態を参照して説明してきたが、本発明の範囲から逸脱することなく様々な変更が行われてもよく、等価物がその要素と置換されてもよいことは当業者には理解されるであろう。加えて、多くの改変がその本質的な範囲から逸脱することなく、本発明の教示に特定の状況または材料を適合させることができる。したがって、本発明は特定の実施形態に限定されるものではなく、本発明を実施するための最良の形態として開示したが、本発明は添付の特許請求の範囲内に入るすべての実施形態を包含することが意図される。

40

【符号の説明】

【0045】

10 配電網

11 電流・電圧センサ

12 電流・電圧センサ

13 故障領域

18 故障位置特定システム

19 故障位置評価装置

20 故障位置特定方法

21、22、23、24、25、26、27、28、29 ステップ

50

6 1	第 1 の等価故障モデル	
6 2	第 2 の等価故障モデル	
6 3	第 3 の等価故障モデル	
6 4	第 4 の等価故障モデル	
6 5	第 5 の等価故障モデル	
6 6	第 6 の等価故障モデル	
6 7	第 7 の等価故障モデル	
6 8	第 8 の等価故障モデル	
1 4 1、1 5 1	線路区間	
1 9 1	故障領域判定ユニット	10
1 9 2	P P F P 選択ユニット	
1 9 3	線路区間選択ユニット	
1 9 4	線路区間分類ユニット	
1 9 5	故障位置パラメータ計算ユニット	
1 9 6	故障位置候補記録ユニット	
1 9 7	線路区間完了判定ユニット	
1 9 8	P P F P 完了判定ユニット	
1 9 9	故障位置候補達成ユニット	
8 0 0、8 0 2、8 0 6、8 0 8、8 1 0、8 1 2、8 1 4、8 1 6	ノード	
8 1 7	故障位置候補、想定故障点	20
8 1 8、8 2 0、8 2 2、8 2 4、8 2 6、8 2 8、8 3 0、8 3 2、8 3 4、8 3 6、		
8 4 0、8 4 2、8 4 4、8 4 6、8 4 8、8 5 0、8 5 2、8 5 4、8 5 8、8 6 0、		
8 6 2、8 6 4、8 8 8、8 9 0	ノード	
8 1 9	故障点	
8 2 5	故障位置候補	
D	故障距離	
F	故障点	
R F	故障抵抗	

【 図 1 】

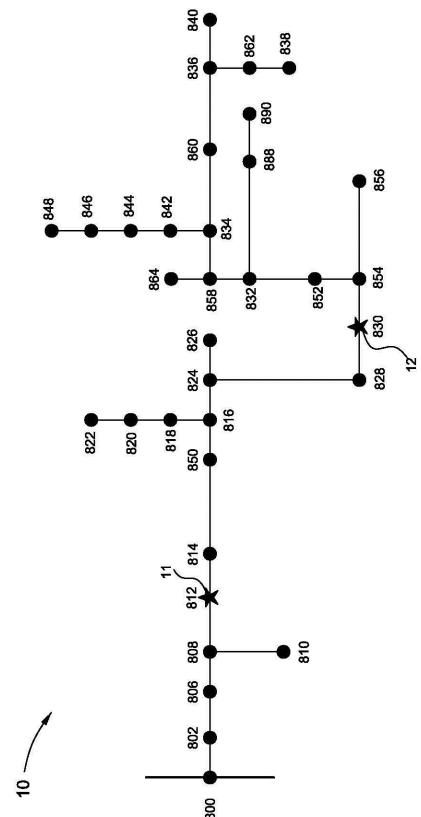


FIG. 1

【図2】

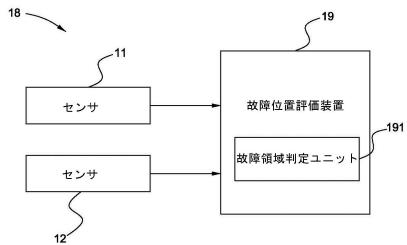


FIG. 2

【図3】

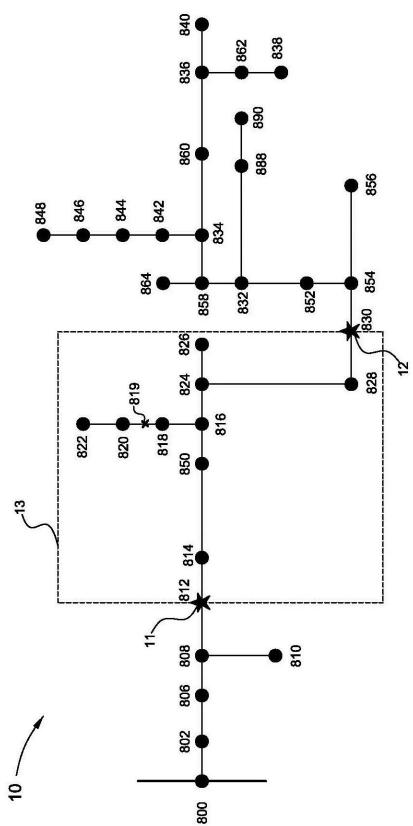


FIG. 3

【 図 4 】

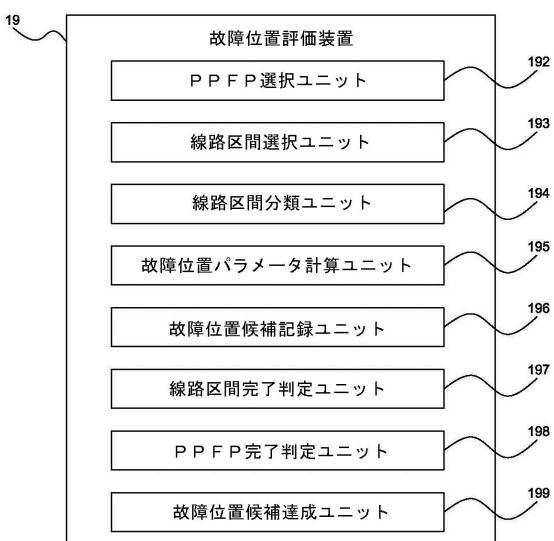


FIG. 4

【図5】

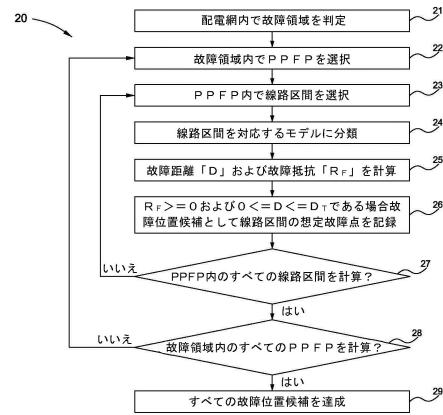


FIG. 5

【図6】

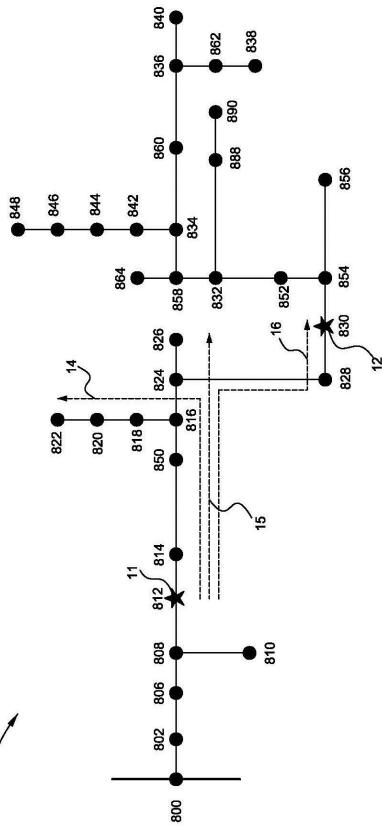


FIG. 6

【図7】

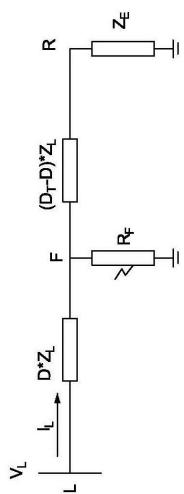


FIG. 7

【図8】

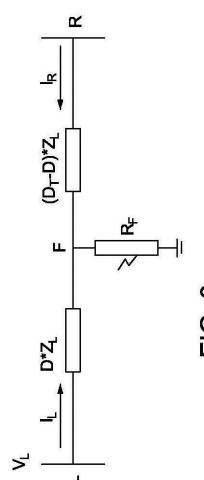


FIG. 8



【図9】

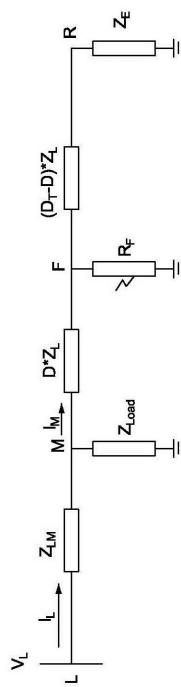


FIG. 9

【図10】

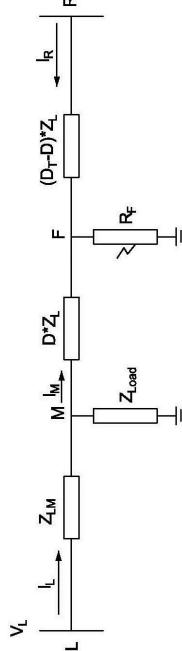


FIG. 10

【図11】

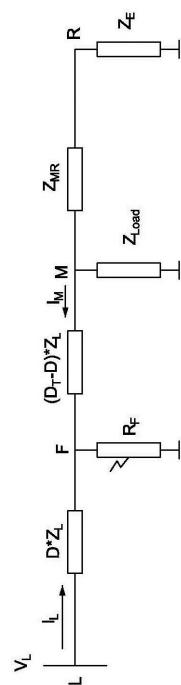


FIG. 11

【図12】

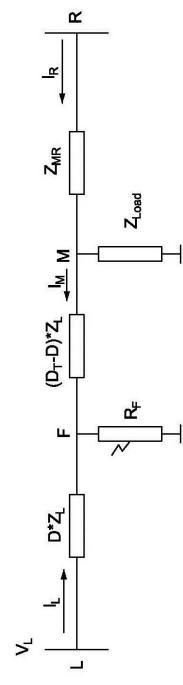


FIG. 12

【図 1 3】

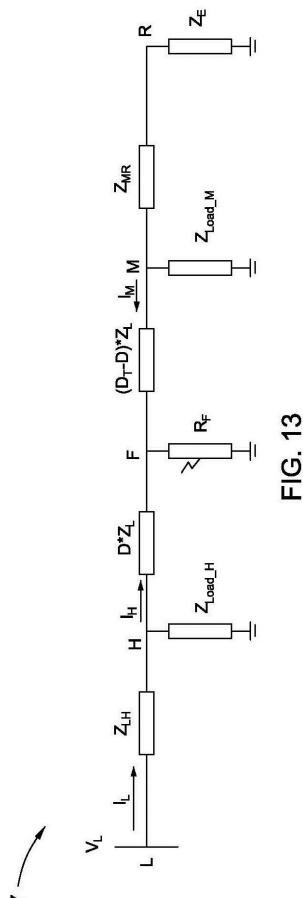


FIG. 13

【図 1 4】

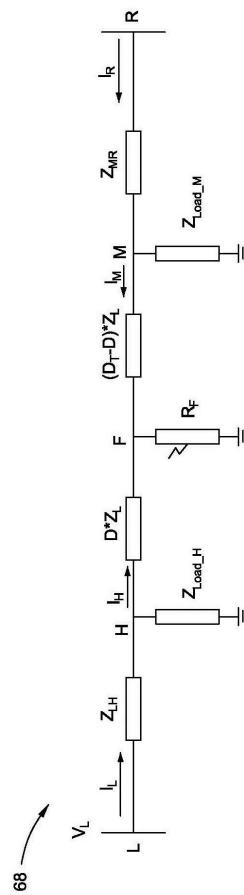


FIG. 14

【図 1 5】

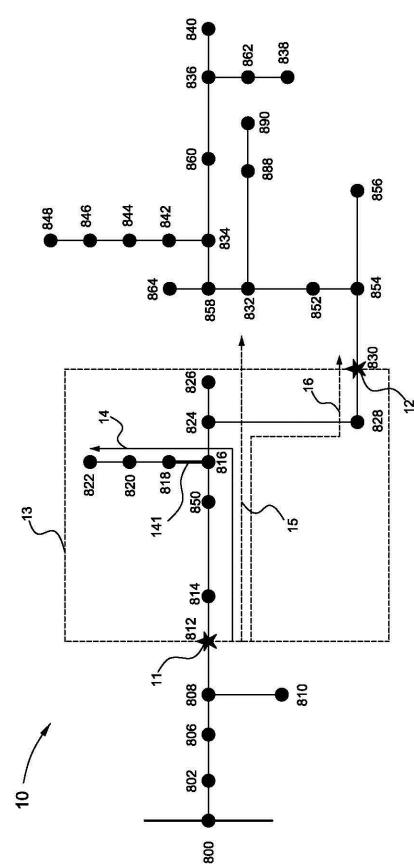


FIG. 15

【図 1 6】

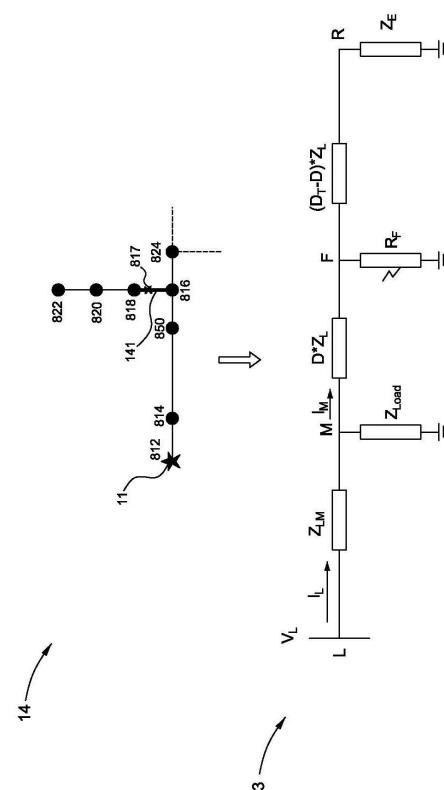


FIG. 16

【図17】

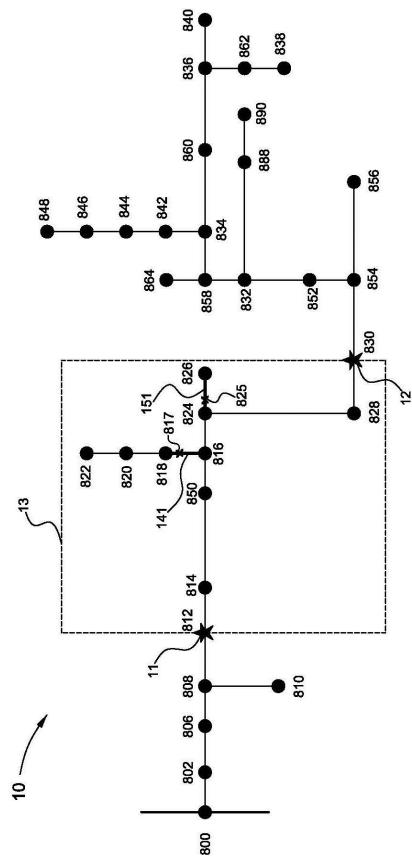


FIG. 17

【図18】

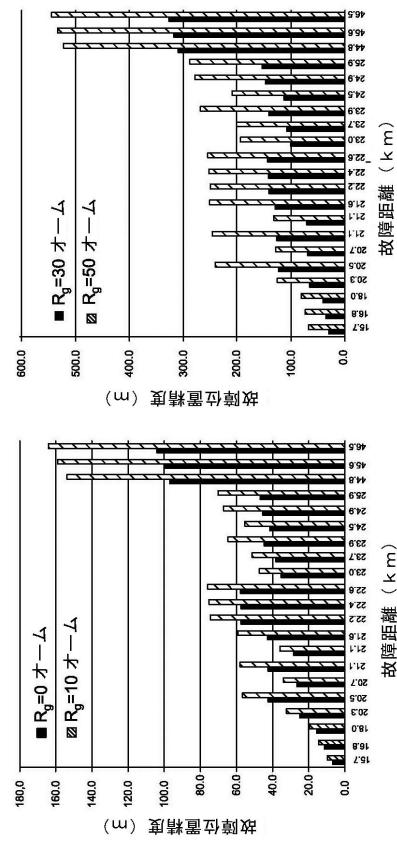


FIG. 18

フロントページの続き

(72)発明者 チリン , ウー

中華人民共和国、シャンハイ・201203、ブードン・ディストリクト、カイルン・ロード、1
800番

(72)発明者 リハン , ヘ

中華人民共和国、シャンハイ・201203、ルーム・1501、ドア・5、カイルン・ロード、
1800番

(72)発明者 チハン・シュー

カナダ、オンタリオ・エル6シー・0エム1、マークハム、マークランド・ストリート、650番

(72)発明者 イリア・ヴォロ

カナダ、オンタリオ・エル6シー・0エム1、マークハム、マークランド・ストリート、650番

審査官 島 崎 純一

(56)参考文献 特開平06-258378 (JP, A)

特開平02-262073 (JP, A)

米国特許出願公開第2011/0264388 (US, A1)

米国特許出願公開第2011/0031977 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G01R 31/08

H02H 3/00

H02H 7/26

H02J 13/00