

(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 I		
GO 1 R	31/08	(2006. 01)	GO 1 R	31/08	
HO 2 H	3/00	(2006. 01)	HO 2 H	3/00	Q
HO 2 H	7/26	(2006. 01)	HO 2 H	7/26	F
HO 2 J	13/00	(2006. 01)	HO 2 J	13/00	3 O 1 D

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)	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成26年8月11日 (2014. 8. 11)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
(65) 公開番号	特開2015-62010 (P2015-62010A)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州 1 2 3
(43) 公開日	平成27年4月2日 (2015. 4. 2)		4 5、スケネクタデイ、リバーロード、1
審査請求日	平成29年8月4日 (2017. 8. 4)		番
(31) 優先権主張番号	201310356104. 1	(74) 代理人	100137545
(32) 優先日	平成25年8月15日 (2013. 8. 15)		弁理士 荒川 聡志
(33) 優先権主張国	中国 (CN)	(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 (1 0) のための故障位置特定システム (1 8) であって、
電流および電圧を感知する、前記配電網 (1 0) 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 (1 9) と、
を備え、
前記故障位置評価装置 (1 9) が、
前記配電網 (1 0) 内で可能な電力流路 (P P F P) を 1 つずつ選択するための P P F P 選択ユニット (1 9 2) と、
選択されたそれぞれの前記 P P F P 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 (1 9 3) と、
選択された前記 P P F P 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 (6 1 - 6 8) に分類するための線路区間分類ユニット (1 9 4) と、
前記対応する等価故障モデル (6 1 - 6 8) 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 (1 9 5) 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 (1 9 6) 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ＰＰＦＰ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対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、

20

前記配電網（１０）内で可能な電力流路（ＰＰＦＰ）を１つずつ選択するステップと、
選択されたそれぞれの前記ＰＰＦＰ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ＰＰＦＰに基づいて、選択された線路区間の各々に対応する等価故障モデル（６１－６８）に分類するステップと、

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 」を計算するステップと、

$R_F = 0$ および $D = D_T$ 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ＰＰＦＰ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対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 (SAIDI) 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に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ブロック図である。

【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 P P F P 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 (P P F P) 」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 P P F P 内で隣接する 2 つのノード間の区間として定義される。P P F P 内のノードは網構造に基づく。例えば、ノードは P P F P 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 P P F P 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】

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「an」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氣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もよい。

20

30

【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。

40

【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

50

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、電氣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、故障領域が電氣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ことが理解される。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】

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 P P F P 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、P P F P 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。

30

【0020】

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。

40

【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 P P F P 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 P P F P 14、15、および 16 がある。すなわち、第 1 の P P F P 14 はノード 812 からノード 822 まで、第 2 の P P F P 15 はノード 812 からノード 826 まで、および第 3 の P P F P 16 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 8 1 2 からノード 8 1 4 まで、第 2 の線路区間はノード 8 1 4 からノード 8 5 0 まで、第 3 の線路区間はノード 8 5 0 からノード 8 1 6 まで、第 4 の線路区間はノード 8 1 6 からノード 8 1 8 まで、第 5 の線路区間はノード 8 1 8 からノード 8 2 0 まで、および第 6 の線路区間はノード 8 2 0 からノード 8 2 2 までである。

【 0 0 2 2 】

電氣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 6 1 から 6 8 が図 7 - 1 4 に示される。第 1 の等価故障モデル 6 1 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 6 2 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 6 3 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 6 4 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 6 5 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 6 6 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 6 7 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 6 8 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。

【 0 0 2 3 】

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。

【 0 0 2 4 】

説明を容易にするため、図 7 - 1 4 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、「 $D \times Z_L$ 」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 」はグラウンドへの故障点「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 」はグラウンドへの右点「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} 」はそれぞれグラウンドへの点「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} 」はグラウンドへの点「H」の等価抵抗を表す。

【 0 0 2 5 】

ステップ 2 2 において、故障領域 1 3 内の P P F P が選択される。例えば、図 1 5 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。

【 0 0 2 6 】

ステップ 2 3 において、選択された P P F P 1 4 の線路区間が選択される。例えば、図 1 5 はノード 8 1 6 およびノード 8 1 8 との間の線路区間 1 4 1 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 8 5 0 およびノード 8 1 6 との間の線路区間のような他の線路区間の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。

【 0 0 2 7 】

ステップ 2 4 において、選択された線路区間 1 4 1 は所定の等価故障モデル 6 1 - 6 8 の対応するものに分類される。図 1 6 を参照すると、線路区間 1 4 1 に位置する故障点 8 1 7 が存在すると仮定すると、選択された線路区間 1 4 1 (想定故障点 8 1 7 も) は、想定故障点 8 1 7 が 1 つのみの電流 - 電圧センサ 1 1 を有し故障領域 1 3 内の故障点「 F 」の上流側に側線 (ノード 8 1 6 から 8 2 4 までの側線) を有する第 1 の P P F P 1 4 内に位置するため、第 3 の等価故障モデル 6 3 に分類することができる。選択された線路区間 1 4 1 に対応する第 3 の等価故障モデル 6 3 において、点「 L 」は電流 - 電圧センサ 1 1 を表し、点「 M 」は線路区間 1 4 1 の先頭ノード 8 1 6 を表し、点「 F 」は想定故障点 8 1 7 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 1 4 1 の他のノード 8 1 8 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 1 4 1 の先頭ノード 8 1 6 から故障点 8 1 7 までの故障距離を表す。「 D_T」は線路区間 1 4 1 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。

【 0 0 2 8 】

ステップ 2 5 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の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氣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 1 4 1 が図 1 6 に示される P P F P 1 4 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 6 3 である。オームの法則の式によれば、 2 つの式がある。

【 0 0 2 9 】

【 数 1 】

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

【 0 0 3 0 】

【 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。

【 0 0 3 1 】

【 数 3 】

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

【 0 0 3 2 】

【 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、

【 0 0 3 3 】

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、「 $\text{Im}[\dots]$ 」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ことが理解され、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 P P F P 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 28 に進み、いいえの場合、プロセスは P P F P 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、P P F P 完了判定ユニット 198 はすべての P P F P 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 P P F P が計算されるまでステップ 22 に戻る。

【0039】

ステップ 29 の場合、すべての P P F P 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 P P F P 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。

40

【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に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。

【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ＰＰＦＰ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ＰＰＦＰ１４、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ＰＰＦＰ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ＰＰＦＰ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ＰＰＦＰ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。

【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。

【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。

【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

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】

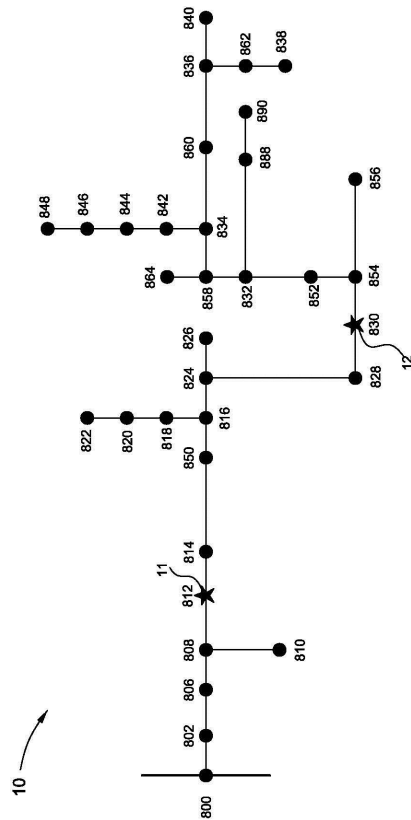


FIG. 1

【図 2】

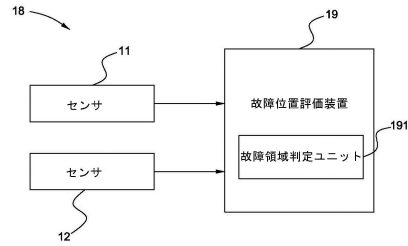


FIG. 2

【図 3】

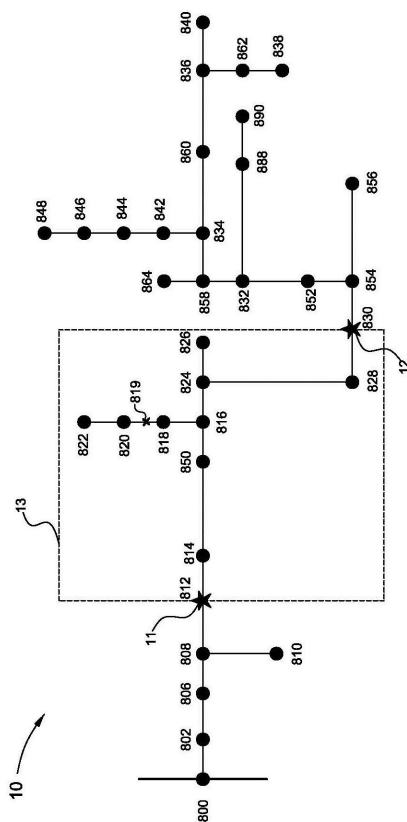


FIG. 3

【図 4】

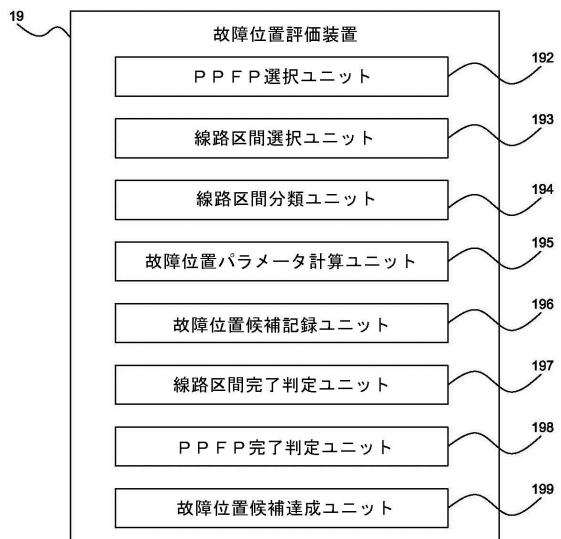


FIG. 4

【図 5】

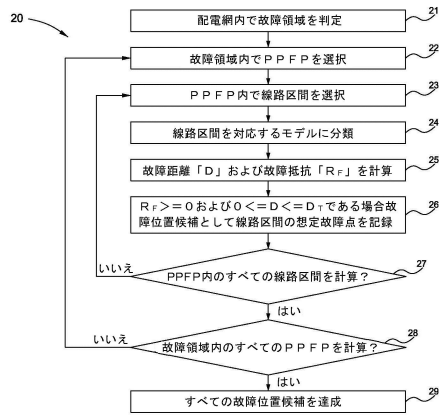


FIG. 5

【図 6】

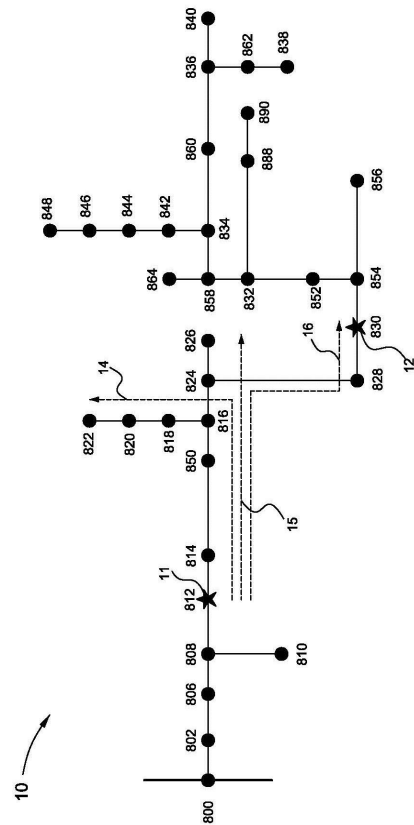


FIG. 6

【図 7】

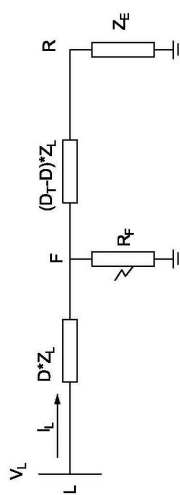


FIG. 7

【図 8】

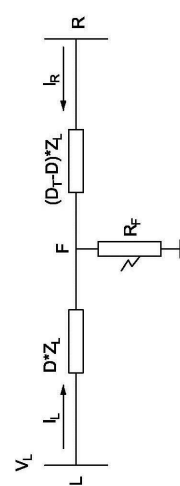


FIG. 8

【図 9】

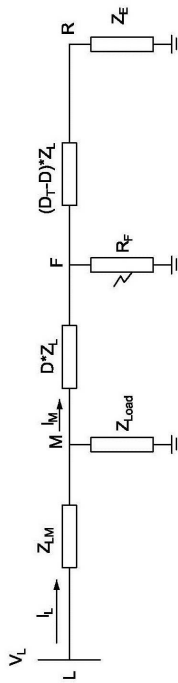


FIG. 9

【図 10】

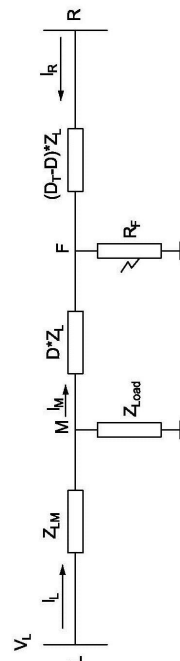


FIG. 10

【図 11】

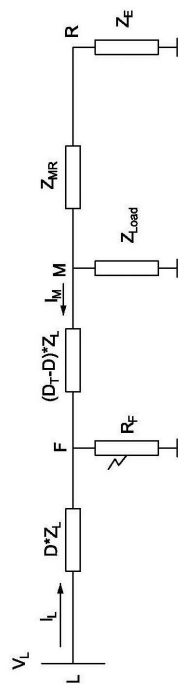


FIG. 11

【図 12】

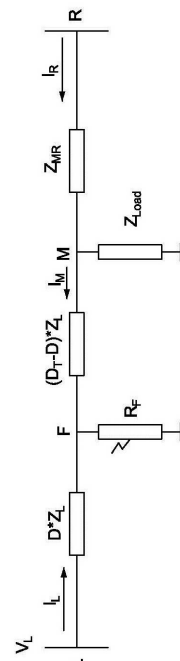
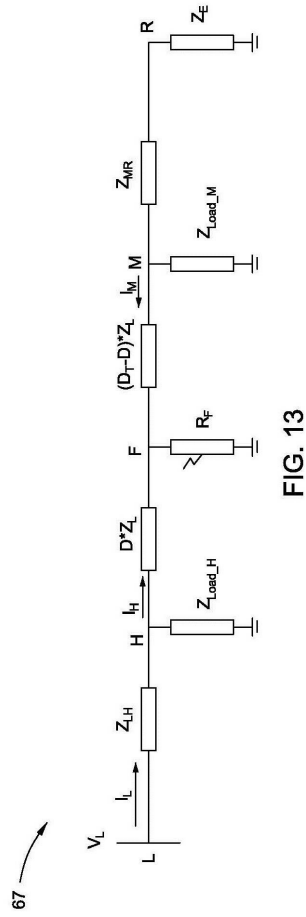
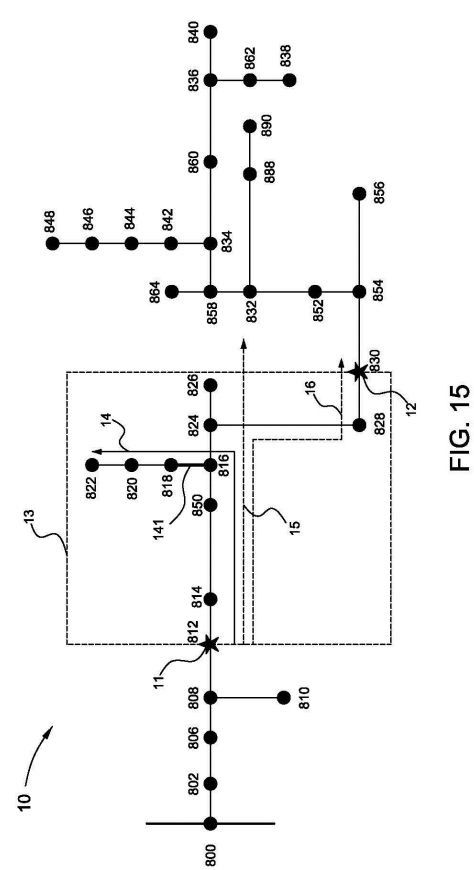


FIG. 12

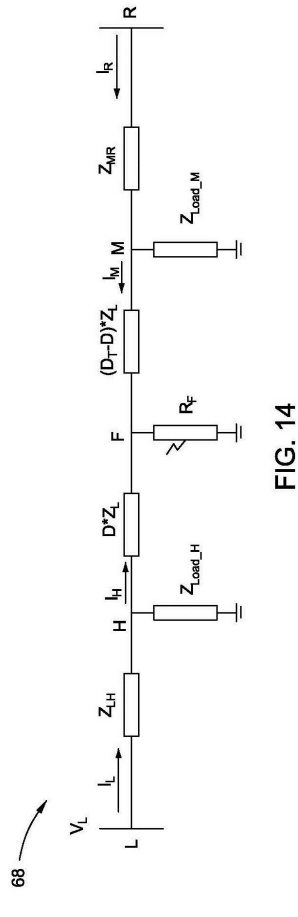
【図 13】



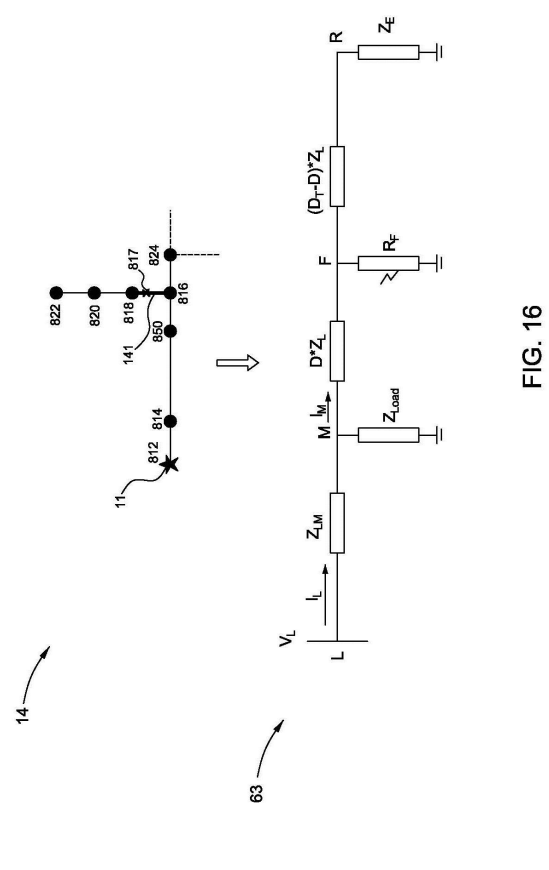
【図 15】



【図 14】



【図 16】



【図 17】

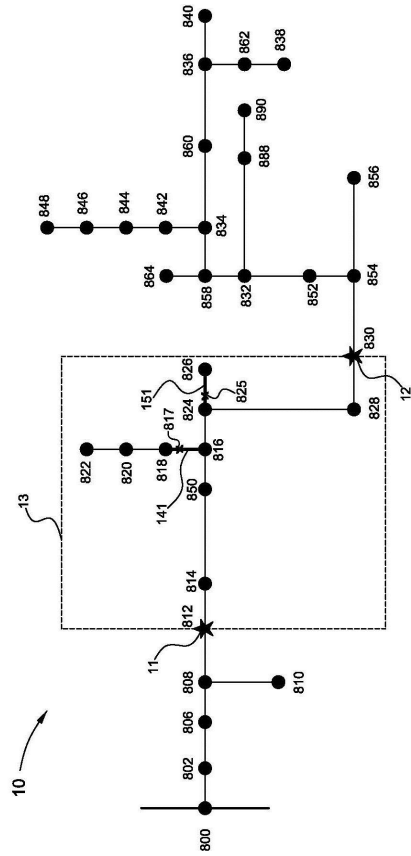


FIG. 17

【図 18】

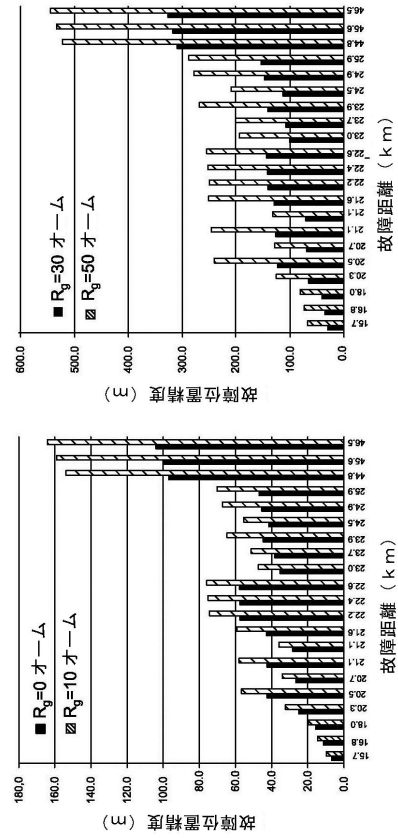


FIG. 18

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anghai・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anghai・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 |