

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6739384号
(P6739384)

(45) 発行日 令和2年8月12日(2020.8.12)

(24) 登録日 令和2年7月27日(2020.7.27)

(51) Int. Cl.		F I			
GO 1 R	31/08	(2020.01)	GO 1 R	31/08	
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 7 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2017-60880 (P2017-60880)	(73) 特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(22) 出願日	平成29年3月27日(2017.3.27)	(74) 代理人	110001195 特許業務法人深見特許事務所
(65) 公開番号	特開2018-163065 (P2018-163065A)	(72) 発明者	尾田 重遠 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三 菱電機株式会社内
(43) 公開日	平成30年10月18日(2018.10.18)	審査官	永井 皓喜
審査請求日	令和1年7月23日(2019.7.23)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 故障点標定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

線路上に直列コンデンサを有する送電線の故障点標定装置であって、
前記送電線の各端子の3相電流および3相電圧の時系列データを正相電流および正相電圧の時系列データに変換する座標変換部と、
前記送電線の各端子について、前記直列コンデンサとの間に故障点が存在しない第1端子であるか、前記直列コンデンサとの間に前記故障点が存在する第2端子であるかを判定する故障区間判定部と、
前記直列コンデンサの有するインピーダンスによって生じる電圧を加算することによって前記第1端子の正相電圧を補償する端子電圧補償部と、
前記第1端子の正相電流と補償後の正相電圧とに基づく前記故障点の正相電圧の振幅と、前記第2端子の正相電流および正相電圧に基づく前記故障点の正相電圧の振幅とが等しいとして、故障点の位置を判定する故障点判定部とを備える、故障点標定装置。

【請求項2】

前記故障区間判定部は、
前記送電線の一方の端子の正相電圧および正相電流から算出したインピーダンスの位相角と、前記送電線の他方の端子の正相電圧および正相電流から算出したインピーダンスの位相角とを比較し、
前記算出した位相角が小さいほうの端子を前記第1端子とし、前記算出した位相角が大きいほうの端子を前記第2端子とするように構成される、請求項1に記載の故障点標定装

置。

【請求項 3】

前記直列コンデンサが保護回路を含むことによって、前記送電線の各相に設けられた前記直列コンデンサは、自身に流れる電流に応じてインピーダンスが変化する特性を有し、

前記端子電圧補償部は、前記第 1 端子の各相の電流と前記直列コンデンサのインピーダンス特性とに基づいて、前記第 1 端子の正相電圧に加算すべき電圧を算出する、請求項 1 または 2 に記載の故障点標定装置。

【請求項 4】

線路上に直列コンデンサを有する送電線の故障点標定装置であって、

前記送電線が 1 線故障の場合に前記送電線の各端子の 3 相電流および 3 相電圧の時系列データを 回路の電流および電圧の時系列データに座標変換し、前記送電線が 2 線故障の場合に前記送電線の各端子の 3 相電流および 3 相電圧の時系列データを 回路の電流および電圧の時系列データに座標変換し、前記送電線が 3 相故障の場合に前記送電線の各端子の 3 相電流および 3 相電圧の時系列データを 回路および 回路のうちの一方の電流および電圧の時系列データに座標変換する座標変換部と、

前記送電線の各端子について、前記直列コンデンサとの間に故障点が存在しない第 1 端子であるか、前記直列コンデンサとの間に前記故障点が存在する第 2 端子であるかを判定する故障区間判定部と、

前記直列コンデンサの有するインピーダンスによって生じる電圧を加算することによって前記第 1 端子の前記座標変換後の電圧を補償する端子電圧補償部と、

前記第 1 端子の前記座標変換後の電流と前記補償された電圧とに基づく前記故障点の電圧の振幅と、前記第 2 端子の前記座標変換後の電流および電圧に基づく前記故障点の電圧の振幅とが等しいとして、前記故障点の位置を判定する故障点判定部とを備える、故障点標定装置。

【請求項 5】

前記送電線の故障相を検出する送電線故障検出部をさらに備える、請求項 4 に記載の故障点標定装置。

【請求項 6】

前記故障区間判定部は、

前記送電線の一方の端子の前記座標変換後の電圧および電流から算出したインピーダンスの位相角と、前記送電線の他方の端子の前記座標変換後の電圧および電流から算出したインピーダンスの位相角とを比較し、

前記算出した位相角が小さいほうの端子を前記第 1 端子とし、前記算出した位相角が大きいほうの端子を前記第 2 端子とするように構成される、請求項 4 または 5 に記載の故障点標定装置。

【請求項 7】

前記直列コンデンサが保護回路を含むことによって、前記送電線の各相に設けられた前記直列コンデンサは、自身に流れる電流に応じてインピーダンスが変化する特性を有し、

前記端子電圧補償部は、前記第 1 端子の各相の電流と前記直列コンデンサのインピーダンス特性とに基づいて、前記第 1 端子の前記座標変換後の電圧に加算すべき電圧を算出する、請求項 4 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の故障点標定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この開示は、送電線の故障点を標定する故障点標定装置に関し、特に、補償用の直列コンデンサが送電線に接続されている場合に好適に用いられるものである。

【背景技術】

【0002】

長距離送電線では、送電線インピーダンス（特にリアクタンス成分）が大きくなって受

10

20

30

40

50

電端での電圧低下が大きくなる。そこで、送電線上に直列コンデンサを設置し、インピーダンスのリアクタンス成分をこの直列コンデンサで補償することによって、受電端での電圧低下を抑制し、送電効率を高めることができる。このような理由から、補償用の直列コンデンサは、主に長距離送電線に適用される。

【0003】

直列コンデンサが送電線上に設置されるとその設置点でコンデンサのキャパシタンス分だけ線路インピーダンスが急変するため、故障点標定が困難になる。直列コンデンサが接続された送電線における故障点標定方法は、たとえば、特許文献1（特開昭53-105109号公報）に開示されている。

【0004】

具体的に特許文献1の方法では、同時刻の自端と相手端の系統電圧および系統電流が処理装置に取り込まれる。処理装置は、故障点がコンデンサよりも自端側または相手端側に存在する場合の双方について、自端の電圧および電流から算出したインピーダンス値を、自端および相手端の電流と送電線インピーダンス角とにより補正することにより、自端から故障点までのリアクタンスを算出する。さらに、処理装置は、故障点がコンデンサよりも自端側または相手端側に存在する場合の双方について、相手端の電圧および電流から算出したインピーダンス値を、自端および相手端の電流と送電線インピーダンス角とにより補正することにより、相手端から故障点までのリアクタンスを算出する。処理装置は、これらのリアクタンスの計算結果を組合わせた和を算出し、線路亘長に相当するリアクタンスに一致する場合の算出値を故障点までの線路リアクタンスとして選択する。

【0005】

特許文献2（特開2010-19625号公報）は、直列コンデンサを有する送電線の故障標定に関するものではないが、自端と相手端とで電流および電圧の測定に完全な同期を必要としない故障点標定方法を開示する。

【0006】

具体的に特許文献2では、自端から故障点までの距離 x を未知数として、自端の電流および電圧と送電線線路定数とから故障点電圧の2乗値を算出する。同様に、相手端の電流および電圧と送電線線路定数とから故障点電圧の2乗値を算出する。算出したこれらの故障点電圧の2乗値が等しいとして未知数 x を算出する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開昭53-105109号公報

【特許文献2】特開2010-19625号公報

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】大浦好文監修、「保護リレーシステム工学」、初版、社団法人電気学会、2002年3月、p.111

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上記した特許文献1, 2に開示された技術には以下のような問題点がある。

まず、特許文献1に開示された故障点標定方法では、送電線の各端から故障点までのリアクタンスを算出するために、自端電流と相手端電流とを合成する（すなわち、ベクトル和を計算する）必要がある。したがって、通信衛星からGPS信号などの同期信号を用いることによって、送電線の自端の電流を検出するタイミングと送電線の相手側の電流を検出するタイミングとを高精度に同期させる必要がある。

【0010】

しかし、通信衛星からのGPS信号は、天候などの影響を受けやすいため、送電線の故障発生時に互いに距離の離れた送電線両端の変電所でGPS信号が正しく受信できている

10

20

30

40

50

という保証がない。

【0011】

GPS信号を使用しない方法として、送電線の両端の変電所間を接続する信号伝送路を介してデータを互いにやり取りすることによって、送電線の両端でのサンプリング同期を実現する方法がある。しかしながら、この方法は、自端から相手端への信号伝送遅延時間と相手端から自端への信号伝送遅延時間とが互いに等しいことが前提となっている。実際には、両方向の伝送遅延時間には数百 μ 秒程度の誤差が生じる場合がある。この程度の誤差であれば、電流差動方式の保護リレー演算の場合には特性値を調整することによって保護上問題とならないが、故障点標定の場合には演算結果に大きな影響を与える。

【0012】

特許文献2に記載された故障点標定方法では、送電線の両端での電流および電圧の検出タイミングを完全に同期させる必要はない。しかしながら、特許文献2の方法は、送電線線路定数が均一であることが前提となっており、送電線に直列コンデンサが設けられている場合のようにインピーダンスが急変する場合への適用法については、何ら教示または示唆されていない。

【0013】

この開示は上記の問題点を考慮したものであり、その目的は、送電線の両端でのサンプリング同期を必要とせず、直列コンデンサが設けられた送電線の故障点標定を比較的簡単に行う故障点標定装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0014】

一実施形態による故障点標定装置は、線路上に直列コンデンサを有する送電線の故障点標定に用いられ、座標変換部と、故障区間判定部と、端子電圧補償部と、故障点判定部とを備える。座標変換部は、送電線の各端子の3相電流および3相電圧の時系列データを正相電流および正相電圧の時系列データに変換する。故障区間判定部は、送電線の各端子について、直列コンデンサとの間に故障点が存在しない第1端子であるか、直列コンデンサとの間に故障点が存在する第2端子であるかを判定する。端子電圧補償部は、直列コンデンサの有するインピーダンスによって生じる電圧を加算することによって第1端子の正相電圧を補償する。故障点判定部は、第1端子の正相電流と補償後の正相電圧とに基づく故障点の正相電圧の振幅と、第2端子の正相電流および正相電圧に基づく故障点の正相電圧の振幅とが等しいとして、故障点の位置を判定する。

【0015】

他の実施形態による故障点標定装置は、線路上に直列コンデンサを有する送電線の故障点標定に用いられ、座標変換部と、故障区間判定部と、端子電圧補償部と、故障点判定部とを備える。座標変換部は、送電線が1線故障の場合に送電線の各端子の3相電流および3相電圧の時系列データを回路の電流および電圧の時系列データに座標変換し、送電線が2線故障の場合に送電線の各端子の3相電流および3相電圧の時系列データを回路の電流および電圧の時系列データに座標変換し、送電線が3相故障の場合に送電線の各端子の3相電流および3相電圧の時系列データを回路および回路のうちの一方の電流および電圧の時系列データに座標変換する。故障区間判定部は、送電線の各端子について、直列コンデンサとの間に故障点が存在しない第1端子であるか、直列コンデンサとの間に故障点が存在する第2端子であるかを判定する。端子電圧補償部は、直列コンデンサの有するインピーダンスによって生じる電圧を加算することによって第1端子の座標変換後の電圧を補償する。故障点判定部は、第1端子の座標変換後の電流と補償された電圧とに基づく故障点の電圧の振幅と、第2端子の座標変換後の電流および電圧に基づく故障点の電圧の振幅とが等しいとして、故障点の位置を判定する。

【発明の効果】

【0016】

上記の一実施形態の故障点標定装置によれば、第1端子の正相電流と補償後の正相電圧とに基づく故障点の正相電圧の振幅と、第2端子の正相電流および正相電圧に基づく故障

10

20

30

40

50

点の正相電圧の振幅とが等しいとして故障点標定を行うので、送電線の両端でのサンプリング同期を必要とせずに、比較的簡単に故障点標定を行うことができる。また、上記の他の実施形態の故障点標定装置によれば、第1端子の座標変換後の電流と補償された電圧とに基づく故障点の電圧の振幅と、第2端子の座標変換後の電流および電圧に基づく故障点の電圧の振幅とが等しいとして故障点標定を行うので、送電線の両端でのサンプリング同期を必要とせずに、比較的簡単に故障点標定を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】実施の形態1による故障点標定装置が設置された電力システムの構成図である。

【図2】図1の各故障点標定装置106のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。 10

【図3】直列コンデンサ103が送電線102の保護区間にある場合において故障点Fでa相地絡故障が生じた場合の回路図である。

【図4】図3の回路図に対応する対称座標法による等価回路である。

【図5】図3の故障点Fにおいてbc相2線地絡故障が生じた場合の対称座標法による等価回路である。

【図6】図3の故障点Fにおいてbc相2線短絡故障が生じた場合の対称座標法による等価回路である。

【図7】図3の故障点Fにおいて3相地絡故障が生じた場合の正相回路である。

【図8】A端と故障点Fとの間に直列コンデンサ103が設けられている場合において、正相回路による簡易等価回路と正相電圧の分布を示す図である。 20

【図9】B端と故障点Fとの間に直列コンデンサ103が設けられている場合において、簡易等価回路と正相電圧の分布を示す図である。

【図10】図8(A)の簡易等価回路におけるインピーダンス図である。

【図11】図9(A)の簡易等価回路におけるインピーダンス図である。

【図12】実施の形態1の故障点標定装置の機能ブロック図である。

【図13】実施の形態1の故障点標定手順を示すフローチャートである。

【図14】図13のステップS104の手順をさらに詳しく示すフローチャートである。

【図15】第2の記憶領域RAM2のデータ保存期間を説明するためのタイミング図である。 30

【図16】120°および240°の移相演算方法について説明するための図である。

【図17】故障点標定装置を備えた電力システムの他の構成例を示す図である。

【図18】保護回路MOVが並列接続された直列コンデンサSCを示す回路図と、保護回路MOVの電圧電流特性とを示す図である。

【図19】図18(A)に示す回路の等価回路とその特性を示す図である。

【図20】図3の故障点Fにおいて1線地絡故障が生じた場合のクラーク座標法による等価回路である。

【図21】図3の故障点Fにおいて2線地絡故障が生じた場合のクラーク座標による等価回路である。

【図22】図3の故障点Fにおいて2線短絡故障が生じた場合のクラーク座標による等価回路である。 40

【図23】図3の故障点Fにおいて3相故障が生じた場合のクラーク座標による等価回路である。

【図24】図3の故障点Fにおいて故障が生じた場合のクラーク座標による簡易等価回路である。

【図25】クラーク変換による変換式を表形式でまとめた図である。

【図26】実施の形態3の故障点標定装置の機能ブロック図である。

【図27】実施の形態3の故障点標定手順を示すフローチャートである。

【図28】図26の座標変換部123Aのより詳細な構成を示す機能ブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 8 】

以下、各実施の形態について図面を参照して詳しく説明する。なお、同一または相当する部分には同一の参照符号を付して、その説明を繰返さない。

【 0 0 1 9 】

実施の形態 1 .

〔 電力系統の概略構成 〕

図 1 は、実施の形態 1 による故障点標定装置が設置された電力系統の構成図である。図 1 を参照して電力系統は、送電線 1 0 2 と、A 端変電所において送電線 1 0 2 に接続された電流変成器 (C T : Current Transformer) 1 0 4 _ 1 および電圧変成器 (V T : Voltage Transformer) 1 0 5 _ 1 と、B 端変電所において送電線 1 0 2 に接続された C T 1 0 4 _ 2 および V T 1 0 5 _ 2 と、送電線 1 0 2 の途中に接続された直列コンデンサ 1 0 3 とを備える。直列コンデンサの容量値を C とする。C T 1 0 4 _ 1 , 1 0 4 _ 2 の間の区間が送電線 1 0 2 の保護区間となっている。

10

【 0 0 2 0 】

なお、電力系統は 3 相回路であるため、送電線 1 0 2 、直列コンデンサ 1 0 3 、ならびに各端子の変電所に設けられた C T 1 0 4 および V T 1 0 5 は実際には 3 相分ある。図 1 では図解を容易にするために 1 相分のみを模式的に示している。

【 0 0 2 1 】

送電線 1 0 2 の A 端の遠方には 3 相の背後電源 1 0 1 _ 1 が設けられ、送電線 1 0 2 の B 端の遠方には 3 相の背後電源 1 0 1 _ 2 が設けられている。背後電源 1 0 1 _ 1 の各相の電圧振幅を E a とし、背後電源 1 0 1 _ 2 の各相の電圧振幅を E b とする。

20

【 0 0 2 2 】

さらに、電力系統は、A 端変電所に設けられた故障点標定装置 1 0 6 _ 1 と、B 端変電所に設けられた故障点標定装置 1 0 6 _ 2 と、通信装置 1 0 8 _ 1 , 1 0 8 _ 2 とを備える。各故障点標定装置 1 0 6 は、自端の C T 1 0 4 から電流値をサンプリングして取り込み、自端の V T 1 0 5 から電圧値をサンプリングして取り込む。各故障点標定装置 1 0 6 は、取り込んだ電流値および電圧値を A / D (Analog to Digital) 変換することによって、デジタル値の電流データおよび電圧データを生成する。

【 0 0 2 3 】

通信装置 1 0 8 _ 1 , 1 0 8 , 2 は、自端の故障点標定装置 1 0 6 _ 1 , 1 0 6 _ 2 にそれぞれ接続される。各通信装置 1 0 8 は、自端の故障点標定装置 1 0 6 から電流データおよび電圧データの入力を受け、入力された自端の電流データおよび電圧データを相手端の通信装置 1 0 8 に伝送路 1 0 7 を介して送信する。各通信装置 1 0 8 は、伝送路 1 0 7 を介して受信した相手端の電流データおよび電圧データを自端の故障点標定装置 1 0 6 に出力する。

30

【 0 0 2 4 】

各故障点標定装置 1 0 6 は、相手端の故障点標定装置 1 0 6 によってサンプリングされた電流データおよび電圧データを用いて同期処理を行う。そして、各故障点標定装置 1 0 6 は、伝送路 1 0 7 の伝送時間だけ自端のデータを遅延させることによって送電線 1 0 2 の両端でほぼ同時刻にサンプリングされた電圧データおよび電流データを得る。各故障点標定装置 1 0 6 は、これらの電圧データおよび電流データを用いて電流差動方式の保護リレー演算を行う。

40

【 0 0 2 5 】

上記の同期処理の方法について補足する。具体的に、故障点標定装置 1 0 6 _ 1 , 1 0 6 _ 2 は、電流および電圧データを一定周期でシリアルデータとして送信することを通じて同期処理を行う。各故障点標定装置 1 0 6 に接続された通信装置 1 0 8 からの送信データには、電流および電圧データの他に、そのデータの送信タイミングを表すタイミング信号と、そのタイミング信号を送信してから相手端からのタイミング信号を受信するまでの時間差を表す信号が含まれる。各故障点標定装置 1 0 6 は、A 端で測定した時間差 T a と B 端で測定した時間差 T b とが等しくなるようにどちらかの端子 (例えば B 端) で送信タ

50

イミングを調整することで同期を採ることができる。

【 0 0 2 6 】

A 端から B 端への伝送遅延時間と B 端から A 端への伝送遅延時間が等しい場合には、上記の同期処理方法によって同期が採れる。しかしながら、両方向の伝送遅延時間に差がある場合には、 $(T_a - T_b) / 2$ に相当する同期誤差が生じる。実際上の誤差の大きさは、汎用の通信装置で、最大 250 μ 秒から 500 μ 秒程度である。しかし、この程度の誤差であれば、電流差動リレーの動作特性を調整することによって保護動作上問題にならないようにできる。

【 0 0 2 7 】

電流差動リレー以外の方法で保護区間での故障発生を検出する場合には同期処理は必要でない。この場合、片端、たとえば、A 端の故障点標定装置 106__1 でのみ故障点標定を行う。B 端の故障点標定装置 106__2 は、B 端の電流および電圧を検出する機能と、A/D 変換した B 端の電流データおよび電圧データを A 端の故障点標定装置 106__1 に送信する機能とを有していれば十分である。この場合、A 端の故障点標定装置 106__1 は、A/D 変換した A 端の電流データおよび電圧データを B 端の故障点標定装置 106__2 に送信する必要はない。

【 0 0 2 8 】

ただし、電流差動リレー以外の方法で保護区間での故障発生を検出する場合においても、故障点標定を行うために、保護区間が故障中の際の両端での電流および電圧データは必要である。したがって、電流差動リレー演算に必要な精度でのサンプリング同期は必要ないとしても、ミリ秒オーダーでの同期は必要である。

【 0 0 2 9 】

[故障点標定装置のハードウェア構成の一例]

図 2 は、図 1 の各故障点標定装置 106 のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。図 2 の故障点標定装置 106 は、いわゆるデジタルリレー装置と同様の構成を有している。具体的に図 2 を参照して、故障点標定装置 106 は、入力変換部 201 と、A/D 変換部 211 と、演算処理部 221 と、I/O (Input and Output) 部 231 とを備える。

【 0 0 3 0 】

入力変換部 201 は、各入力チャンネルごとに補助変成器 202__1, 202__2, ... を備える。入力変換部 201 は、図 1 の CT 104 から出力された各相の電流信号および図 1 の VT 105 から出力された各相の電圧信号が入力される入力部である。各補助変成器 202 は、CT 104 および VT 105 からの電流信号および電圧信号を演算処理部 221 および演算処理部 221 での信号処理に適した電圧レベルの信号に変換する。

【 0 0 3 1 】

A/D 変換部 211 は、アナログフィルタ (AF: Analog Filter) 212__1, 212__2, ... と、サンプルホールド回路 (S/H: Sample Hold Circuit) 213__1, 213__2, ... と、マルチプレクサ (MPX: Multiplexer) 214 と、A/D 変換器 215 とを含む。アナログフィルタ 212 およびサンプルホールド回路 213 は、入力信号のチャンネルごとに設けられる。

【 0 0 3 2 】

各アナログフィルタ 212 は、A/D 変換の際の折返し誤差を除去するために設けられたローパスフィルタである。各サンプルホールド回路 213 は、対応のアナログフィルタ 212 を通過した信号を規定のサンプリング周波数でサンプリングして保持する。サンプリング周波数は、たとえば、4800 Hz である。マルチプレクサ 214 は、サンプルホールド回路 213__1, 213__2, ... に保持された電圧信号を順次選択する。A/D 変換器 215 は、マルチプレクサ 214 によって選択された信号をデジタル値に変換する。

【 0 0 3 3 】

演算処理部 221 は、CPU (Central Processing Unit) 222 と、RAM (Random Access Memory) 223 と、ROM (Read Only Memory) 224 と、これらを接続

10

20

30

40

50

するバス225とを含む。CPU222は、故障点標定装置106の全体の動作を制御する。RAM223およびROM224は、CPU222の主記憶として用いられる。ROM224は、フラッシュメモリなどの不揮発性メモリを用いることにより、プログラムおよび信号処理用の設定値などを収納することができる。

【0034】

I/O部231は、自端の通信装置108と接続するためのインターフェース(I/F: Interface)回路232と、デジタル入力(D/I: Digital Input)回路234と、デジタル出力(D/O: Digital Output)回路235とを含む。デジタル入力回路234およびデジタル出力回路235は、CPU222と通信装置108以外の外部装置との間で通信を行う際のインターフェース回路である。

10

【0035】

[故障点標定方法について]

以下、実施の形態1による故障点標定方法の原理について説明する。

【0036】

<1.簡易等価回路による表現>

図3は、直列コンデンサ103が送電線102の保護区間にある場合において故障点Fでa相地絡故障が生じた場合の回路図である。故障点抵抗をRとする。故障点抵抗はアーク抵抗である。図3では、直列コンデンサ103がA端と故障点Fとの間に存在している場合が示されている。

【0037】

図3において、A端変電所とB端変電所との間の送電線102の巨長を'1'とした場合、A端変電所から故障点Fまでの距離の割合を'X'とし、B端変電所から故障点Fまでの割合を'1-X'とする。本実施の形態による故障点標定方法では、送電線102のA端およびB端の電流および電圧ならびに送電線102の線路定数を、対称座標法を用いて座標変換する。

20

【0038】

図4は、図3の回路図に対応する対称座標法による等価回路である。図4に示すように、A端における正相電圧を V_{A1} とし、B端における正相電圧を V_{B1} とする。A端における正相電流を I_{A1} とし、逆相電流を I_{A2} とし、零相電流を I_{A0} とする。B端における正相電流を I_{B1} とし、逆相電流を I_{B2} とし、零相電流を I_{B0} とする。A端の背後電源101__1から出力される正相電圧を E_A とし、B端の背後電源101__2から出力される正相電圧を E_B とする。A端の背後電源101__1から故障点Fまでの送電線102の逆相インピーダンスを Z_{A2} とし、B端の背後電源101__2から故障点Fまでの送電線102の逆相インピーダンスを Z_{B2} とする。A端の背後電源101__1から故障点Fまでの送電線102の零相インピーダンスを Z_{A0} とし、B端の背後電源101__2から故障点Fまでの送電線102の零相インピーダンスを Z_{B0} とする。なお、逆相インピーダンス Z_{A2} には、直列コンデンサ103の逆相分のキャパシタンスが含まれる。零相インピーダンス Z_{A0} には、直列コンデンサ103の零相分のキャパシタンスが含まれる。

30

【0039】

a相地絡故障の等価回路は、図4に示すように正相回路と逆相回路と零相回路とが故障点Fにおいて直列に接続された構成を有している。この場合、逆相回路、零相回路、および地絡点抵抗 $3 \cdot R$ は、下式(1)のインピーダンス Z_F として1つにまとめることができる。

40

【0040】

$$Z_F = Z_{A2} // Z_{B2} + Z_{A0} // Z_{B0} + 3 \cdot R \quad \dots (1)$$

上式(1)において、記号//は、並列接続のインピーダンスを表す。したがって、a相地絡故障の等価回路は、上式(1)のインピーダンス Z_F を用いることによって、図8(A)のように正相回路のみの簡易等価回路で表すことができる。なお、b相地絡故障およびc相地絡故障の場合も同様である。

50

【 0 0 4 1 】

図 3 および図 4 では 1 線地絡故障の場合の簡易等価回路について説明したが、他の故障種類である 2 線地絡故障、2 線短絡故障、3 相地絡故障、3 相短絡故障の場合も同様の簡易等価回路で表すことができる。以下、図 5 ~ 図 7 を参照して簡単に説明する。

【 0 0 4 2 】

図 5 は、図 3 の故障点 F において b c 相 2 線地絡故障が生じた場合の対称座標法による等価回路である。b 相および c 相の単独の地絡点抵抗を r とし、共通の地絡点抵抗を R とする。図 5 に示すように、2 線地絡故障の等価回路は、正相回路の故障点 F に逆相回路と零相回路とが並列に接続された構成を有する。したがって、下式 (2) で表されるインピーダンス Z_F 、すなわち、

$$Z_F = r + (r + Z_{A2} // Z_{B2}) // (r + 3R + Z_{A0} // Z_{B0}) \quad \dots (2)$$

を用いることによって、b c 相 2 線地絡故障の等価回路は、図 8 (A) の簡易等価回路で表すことができる。なお、c a 相 2 線地絡故障および a b 相 2 線地絡故障の場合も同様である。

【 0 0 4 3 】

図 6 は、図 3 の故障点 F において b c 相 2 線短絡故障が生じた場合の対称座標法による等価回路である。図 6 に示すように、2 線短絡故障の等価回路は、正相回路の故障点 F に逆相回路が並列に接続された構成を有する。したがって、下式 (3) で表されるインピーダンス Z_F 、すなわち、

$$Z_F = Z_{A2} // Z_{B2} \quad \dots (3)$$

を用いることによって、b c 相 2 線短絡故障の等価回路は、図 8 (A) の簡易等価回路で表すことができる。なお、c a 相 2 線短絡故障および a b 相 2 線短絡故障の場合も同様である。

【 0 0 4 4 】

図 7 は、図 3 の故障点 F において 3 相地絡故障が生じた場合の正相回路である。なお、3 相短絡故障の場合の正相回路は、図 7 において地絡点抵抗 r が 0 になる。したがって、3 相短絡故障および 3 相地絡故障の場合も、インピーダンス Z_F を用いることによって図 8 (A) の簡易等価回路で表すことができる。

【 0 0 4 5 】

< 2 . 故障点標定方法 - 直列コンデンサが A 端と故障点 F との間にある場合 >

図 8 は、A 端と故障点 F との間に直列コンデンサ 1 0 3 が設けられている場合 (すなわち、A 端と直列コンデンサ 1 0 3 との間に故障点 F が存在せず、B 端と直列コンデンサ 1 0 3 との間に故障点 F が存在する場合) において、正相回路による簡易等価回路と正相電圧の分布を示す図である。この明細書では、上記の場合の A 端を第 1 端と称し、B 端を第 2 端と称する場合がある。

【 0 0 4 6 】

図 8 (A) に図 3 に対応する対称座標法による簡易等価回路が示される。上述のように、ほとんどすべての故障種類に対して図 8 (A) に示すように、正相回路の故障点 F にインピーダンス Z_F を付加した簡易等価回路で電力系統を表すことができる。図 8 (A) において、「 * 」は乗算を表す記号である。

【 0 0 4 7 】

図 8 (B) に図 8 (A) の簡易等価回路の各点における正相電圧の分布が示される。A 端における正相電圧を V_{A1} とし、正相電流を I_{A1} とする。B 端における正相電圧を V_{B1} とし、正相電流を I_{B1} とする。故障点 F における正相電圧を V_F とする。

【 0 0 4 8 】

図 8 (A) および図 8 (B) を参照して、A 端から B 端までの送電線 1 0 2 の全長を 1 とし、A 端から故障点 F までの距離を X とし、B 端から故障点 F までの距離を $1 - X$ とする。0 X 1 が成り立つ。さらに、A 端から直列コンデンサ 1 0 3 の設置位置までの距離を X_1 とし、直列コンデンサ 1 0 3 の設置位置から故障点 F までの距離を X_2 とする。この場合、 $X = X_1 + X_2$ が成り立つ。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 9 】

さらに、A 端から B 端までの送電線 1 0 2 の巨長のインピーダンスを Z とする。この場合、A 端から故障点 F までの直列コンデンサ 1 0 3 を含まないインピーダンスは、 $X * Z$ で表され、B 端から故障点 F までのインピーダンスは $(1 - X) * Z$ で表される。さらに、A 端から直列コンデンサ 1 0 3 までの送電線 1 0 2 のインピーダンスは $X 1 * Z$ であり、直列コンデンサ 1 0 3 から故障点 F までの送電線 1 0 2 のインピーダンスは $X 2 * Z$ である。

【 0 0 5 0 】

図 8 (B) に示すように、直列コンデンサ 1 0 3 の設置点において正相電圧が $V C$ だけ増加している。この正相電圧 $V C$ は、直列コンデンサ 1 0 3 のキャパシタンス C による電圧増加である。直列コンデンサ 1 0 3 のインピーダンス $Z C$ は、虚数単位を j とし、系統周波数を f として、

$$Z C = - j (1 / C)、 \quad = 2 \quad f \quad \dots(4)$$

で表される。したがって、直列コンデンサ 1 0 3 に電流 $I A 1$ が流れるとその電圧 $V C$ は、

$$V C = Z C * I A 1 = - j (1 / C) * I A 1 \quad \dots(5)$$

で表される。直列コンデンサ 1 0 3 の設置点ではこの電圧 $V C$ だけ正相電圧が増加する。

【 0 0 5 1 】

ここで、A 端の正相電圧 $V A 1$ を上記の電圧 $V C$ によって補償した電圧 $V A 1'$ 、すなわち、

$$V A 1' = V A 1 + V C \quad \dots(6)$$

を考える。そうすると、故障点 F の正相電圧 $V F$ は、A 端の補償電圧 $V A 1'$ および正相電流 $I A 1$ を用いて、

$$V F = V A 1' - X * Z * I A 1 \quad \dots(7)$$

によって表される。

【 0 0 5 2 】

また、故障点 F の正相電圧 $V F$ は、B 端の正相電圧 $V B 1$ および正相電流 $I B 1$ を用いて、

$$V F = V B 1 - (1 - X) * Z * I B 1 \quad \dots(8)$$

によって表される。

【 0 0 5 3 】

上記の (7) 式および (8) 式はそれぞれベクトル演算で成立するが、A 端の電流および電圧データと B 端の電流および電圧データとに同時刻性がないとすると、(7) 式に従って計算された正相電圧 $V F$ と (8) 式に従って計算された正相電圧 $V F$ とは、時間差があるために等しくならない。しかし、(7) 式の正相電圧 $V F$ の振幅値と (8) 式の正相電圧 V 故障点 F の振幅値とは、同時刻性は必要でないので、互いに等しくなる。

【 0 0 5 4 】

具体的に振幅値を記号「amp」で表すと、(7) 式に対応する振幅値の関係式は、

$$V F \text{ amp} = (V A 1' - X * Z * I A 1) \text{ amp} \quad \dots(9)$$

で表される。また、(8) 式に対応する振幅値の関係式は、

$$V F \text{ amp} = (V B 1 - (1 - X) * Z * I B 1) \text{ amp} \quad \dots(10)$$

で表される。したがって、

$$(V A 1' - X * Z * I A 1) \text{ amp} = (V B 1 - (1 - X) * Z * I B 1) \text{ amp} \quad \dots(11)$$

が成立する。ここで、(1 1) 式は、 X 以外は全て既知であるので X を算出することができる。A 端と B 端との間の送電線 1 0 2 の実際の巨長を、算出した X に乗算することによって、A 端から故障点 F までの距離を計算することができる。

【 0 0 5 5 】

なお、(1 1) 式において、時系列にサンプリングされたデータを用いて振幅値を演算する方法は、公知の方法を用いることができる。たとえば、大浦好文監修、「保護リレーシステム工学」、初版、社団法人電気学会、2 0 0 2 年 3 月、p . 1 1 1 (非特許文献 1

10

20

30

40

50

)の表5.2に記載された各種の振幅値演算方法を適用することができる(これに限定されるものではない)。

【0056】

<3.故障点標定方法-直列コンデンサがB端と故障点Fとの間にある場合>

図9は、B端と故障点Fとの間に直列コンデンサ103が設けられている場合(すなわち、A端と直列コンデンサ103との間に故障点Fが存在し、B端と直列コンデンサ103との間に故障点Fが存在しない)において、簡易等価回路と正相電圧の分布を示す図である。この明細書では、上記の場合のB端を第1端と称し、A端を第2端と称する場合がある。

【0057】

ほとんどすべての故障種類に対して図9(A)に示すように、正相回路の故障点Fにインピーダンス Z_F を付加した簡易等価回路で電力系統を表すことができる。図9(B)に図9(A)の簡易等価回路の各点における正相電圧の分布が示される。

【0058】

図9(A)および図9(B)を参照して、A端からB端までの送電線102の巨長を1とし、A端から故障点Fまでの距離を X とし、B端から故障点Fまでの距離を $1-X$ とする。 $0 \leq X \leq 1$ が成り立つ。さらに、B端から直列コンデンサ103の設置位置までの距離を X_1 とし、直列コンデンサ103の設置位置から故障点Fまでの距離を X_2 とする。この場合、 $1-X = X_1 + X_2$ が成り立つ。

【0059】

直列コンデンサ103に電流 I_{B1} が流れると、直列コンデンサ103に生じる電圧 V_C は、

$$V_C = Z_C * I_{B1} = -j(1/C) * I_{B1} \quad \dots(12)$$

で表される。直列コンデンサ103の設置点ではこの電圧 V_C だけ正相電圧が増加する。

【0060】

ここで、B端の正相電圧 V_{B1} を上記の電圧 V_C によって補償した電圧 V_{B1}' 、すなわち、

$$V_{B1}' = V_{B1} + V_C \quad \dots(13)$$

を考える。そうすると、故障点Fの正相電圧 V_F は、B端の補償電圧 V_{B1}' および正相電流 I_{B1} を用いて、

$$V_F = V_{B1}' - (1-X) * Z * I_{B1} \quad \dots(14)$$

によって表される。

【0061】

また、故障点Fの正相電圧 V_F は、A端の正相電圧 V_{A1} および正相電流 I_{A1} を用いて、

$$V_F = V_{A1} - (1-X) * Z * I_{A1} \quad \dots(15)$$

によって表される。

【0062】

A端の電流および電圧データとB端の電流および電圧データとの間での同時刻性を不要とするために、上式(14)および(15)の振幅値演算を行うと、

$$V_{Famp} = (V_{B1}' - (1-X) * Z * I_{B1})_{amp} \quad \dots(16)$$

$$V_{Famp} = (V_{A1} - (1-X) * Z * I_{A1})_{amp} \quad \dots(17)$$

が成立する。したがって、

$$(V_{A1} - X * Z * I_{A1})_{amp} = (V_{B1}' - (1-X) * Z * I_{B1})_{amp} \quad \dots(18)$$

が成立する。ここで、(18)式は、 X 以外は全て既知であるので X を算出することができる。A端とB端との間の送電線102の実際の巨長を、算出した X に乘算することによって、A端から故障点Fまでの距離を計算することができる。

【0063】

<4.直列コンデンサの設置位置と故障点Fとの関係>

次に、故障点FがA端と直列コンデンサ103との間に存在するか、B端と直列コンデ

10

20

30

40

50

ンサ103との間に存在するかを簡単に判定する方法について説明する。

【0064】

図10は、図8(A)の簡易等価回路におけるインピーダンス図である。図10(A)にA端から見たインピーダンス図を示し、図10(B)にB端から見たインピーダンス図を示す。

【0065】

図8(A)および図10(A)を参照して、A端の正相電圧 V_{A1} および正相電流 I_{A1} を用いて計算したインピーダンスを V_{A1}/I_{A1} とし、その位相角を θ_A とする。インピーダンス V_{A1}/I_{A1} は、A端から直列コンデンサ103までの送電線102のインピーダンス $X_1 * Z$ と、直列コンデンサ103のインピーダンス Z_C と、直列コンデンサ103から故障点Fまでの送電線102のインピーダンス $X_2 * Z$ と、故障点Fのインピーダンス Z_F とを合成(すなわち、ベクトル加算)した値に等しい。

10

【0066】

図8(A)および図10(B)を参照して、B端の正相電圧 V_{B1} および正相電流 I_{B1} を用いて計算したインピーダンスを V_{B1}/I_{B1} とし、その位相角を θ_B とする。インピーダンス V_{B1}/I_{B1} は、B端から故障点Fまでの送電線102のインピーダンス $(1-X)*Z$ と、故障点Fのインピーダンス Z_F とを合成した値に等しい。

【0067】

図10(A)と図10(B)とを比較すると、直列コンデンサ103のインピーダンス $Z_C = -j(1/C)$ のため、A端から見たインピーダンス V_{A1}/I_{A1} の位相角 θ_A は、B端から見たインピーダンス V_{B1}/I_{B1} の位相角 θ_B よりも明らかに小さい。すなわち、 $\theta_A < \theta_B$ となる。

20

【0068】

図11は、図9(A)の簡易等価回路におけるインピーダンス図である。図11(A)にA端から見たインピーダンス図を示し、図11(B)にB端から見たインピーダンス図を示す。

【0069】

図9(A)および図11(A)を参照して、A端の正相電圧 V_{A1} および正相電流 I_{A1} を用いて計算したインピーダンスを V_{A1}/I_{A1} とし、その位相角を θ_A とする。インピーダンス V_{A1}/I_{A1} は、A端から故障点Fまでの送電線102のインピーダンス $X * Z$ と、故障点Fのインピーダンス Z_F とを合成した値に等しい。

30

【0070】

図9(A)および図11(B)を参照して、B端の正相電圧 V_{B1} および正相電流 I_{B1} を用いて計算したインピーダンスを V_{B1}/I_{B1} とし、その位相角を θ_B とする。インピーダンス V_{B1}/I_{B1} は、B端から直列コンデンサ103までの送電線102のインピーダンス $X_1 * Z$ と、直列コンデンサ103のインピーダンス Z_C と、直列コンデンサ103から故障点Fまでの送電線102のインピーダンス $X_2 * Z$ と、故障点Fのインピーダンス Z_F とを合成(すなわち、ベクトル加算)した値に等しい。

【0071】

図11(A)と図11(B)とを比較すると、直列コンデンサ103のインピーダンス $Z_C = -j(1/C)$ のため、A端から見たインピーダンス V_{A1}/I_{A1} の位相角 θ_A は、B端から見たインピーダンス V_{B1}/I_{B1} の位相角 θ_B よりも明らかに大きい。すなわち、 $\theta_A > \theta_B$ となる。

40

【0072】

以上により、A端から見たインピーダンス V_{A1}/I_{A1} の位相角 θ_A と、B端から見たインピーダンス V_{B1}/I_{B1} の位相角 θ_B とを比較し、 $\theta_A < \theta_B$ の場合には、故障点FはB端と直列コンデンサ103との間に存在し、A端と直列コンデンサ103との間には存在しないと判定することができる。一方、 $\theta_A > \theta_B$ の場合には、故障点FはA端と直列コンデンサ103との間に存在し、B端と直列コンデンサ103との間には存在しないと判定することができる。

50

【 0 0 7 3 】

そして、故障点 F が B 端と直列コンデンサ 1 0 3 との間に存在すると判定された場合には、前述の (5) 式および (6) 式に従って A 端の正相電圧を補償し、前述の (1 1) 式に従って未知数 X を計算することができる。一方、故障点 F が A 端と直列コンデンサ 1 0 3 との間に存在すると判定された場合には、前述の (1 2) 式および (1 3) 式に従って B 端の正相電圧を補償し、前述の (1 8) 式に従って未知数 X を計算することができる。

【 0 0 7 4 】

[故障点標定の具体的手順]

以下、これまでの説明を総括して、故障低標定の具体的手順について説明する。

【 0 0 7 5 】

図 1 2 は、実施の形態 1 の故障点標定装置の機能ブロック図である。図 1 3 は、実施の形態 1 の故障点標定手順を示すフローチャートである。図 1 4 は、図 1 3 のステップ S 1 0 4 の手順をさらに詳しく示すフローチャートである。

【 0 0 7 6 】

図 1 2 を参照して、故障点標定装置 1 0 6 は、機能的に見ると、電流・電圧データ入出力部 1 2 0 と、同期処理部 1 2 1 と、第 1 の記憶領域 R A M 1 と、第 2 の記憶領域 R A M 2 と、送電線故障検出部 1 2 2 と、座標変換部 1 2 3 と、故障区間判定部 1 2 4 と、端子電圧補償部 1 2 5 と、故障点判定部 1 2 6 とを含む。

【 0 0 7 7 】

電流・電圧データ入出力部 1 2 0 は、図 2 の入力変換部 2 0 1 ならびに通信装置 1 0 8 に接続された I / O 部 2 3 1 のインターフェース回路 2 3 2 に対応する。第 1 の記憶領域 R A M 1 および第 2 の記憶領域 R A M 2 は、図 2 の演算処理部 2 2 1 の R A M 2 2 3 に設けられた記憶領域である。同期処理部 1 2 1、送電線故障検出部 1 2 2、座標変換部 1 2 3、故障区間判定部 1 2 4、端子電圧補償部 1 2 5、および故障点判定部 1 2 6 の各機能は、図 2 の演算処理部 2 2 1 の C P U 2 2 2 によってプログラムが実行されることによって実現される。なお、図 2 の C P U 2 2 2 に代えて、F P G A (Field Programmable Gate Array) または A S I C (Application Specific Integrated Circuit) などによって構成した専用回路によっても、これらの機能を実現することができる。以下、図 1 2 の故障点標定装置 1 0 6 の各構成要素の動作について、図 1 3 および図 1 4 のフローチャートに沿って説明する。

【 0 0 7 8 】

図 1 2 および図 1 3 を参照して、ステップ S 1 0 0 において、電流・電圧データ入出力部 1 2 0 (具体的には、入力変換部 2 0 1) は、C T 1 0 4 から自端の電流値の入力を受け、V T 1 0 5 から自端の電圧値の入力を受ける。図 2 の A / D 変換部 2 1 1 は、入力された電流値および電圧値を規定のサンプリング周波数 (たとえば、4 8 0 0 H z) でサンプリングし、サンプリングした電流値および電圧値をデジタル値に A / D 変換する。

【 0 0 7 9 】

次のステップ S 1 0 1 において、電流・電圧データ入出力部 1 2 0 (具体的には、図 2 の通信装置 1 0 8 に接続されたインターフェース回路 2 3 2) は、A / D 変換後の電流データおよび電圧データを、伝送路 1 0 7 および通信装置 1 0 8 _ 1 , 1 0 8 _ 2 を介して相手端の故障点標定装置 1 0 6 に送信する。また、ステップ S 1 0 2 において、電流・電圧データ入出力部 1 2 0 (具体的には、図 2 の通信装置 1 0 8 に接続されたインターフェース回路 2 3 2) は、相手端の故障点標定装置 1 0 6 によってサンプリングされた相手端の電流データおよび電圧データを受信する。

【 0 0 8 0 】

次のステップ S 1 0 3 において、各故障点標定装置 1 0 6 の同期処理部 1 2 1 は、自端の電流データおよび電圧データに対して同期処理を行う。具体的に、各故障点標定装置 1 0 6 は、自端から他端への伝送路 1 0 7 の伝送時間と他端から自端への伝送路 1 0 7 の伝送時間が等しいとして、伝送路 1 0 7 の伝送遅延時間 (通常は、数 m 秒) だけ自端の電流データおよび電圧データのサンプリング時刻を遅らせることにより、自端のデータのサン

10

20

30

40

50

プリング時刻と他端のデータのサンプリング時刻とをほぼ同時刻にする。

【 0 0 8 1 】

次のステップ S 1 0 4 において、送電線故障検出部 1 2 2 は、電流差動方式などによる保護リレー演算を行うことによって送電線 1 0 2 の保護区間（本実施形態の場合、A 端と B 端との間）における故障の有無を検出するとともに、電流データおよび電圧データの急変を検出する。

【 0 0 8 2 】

図 1 4 は、図 1 3 のステップ S 1 0 4 の手順をさらに詳しく示すフローチャートである。図 1 5 は、第 2 の記憶領域 R A M 2 のデータ保存期間を説明するためのタイミング図である。

【 0 0 8 3 】

図 1 2、図 1 4 および図 1 5 を参照して、ステップ S 2 0 0 において、第 1 の記憶領域 R A M 1 および第 2 の記憶領域 R A M 2 は、同期処理後の自端および他端の電流データおよび電圧データの入力を受ける。

【 0 0 8 4 】

次のステップ S 2 0 1 において、第 1 の記憶領域 R A M 1 および第 2 の記憶領域 R A M 2 は、最新の自端の電流データおよび電圧データと最新の他端の電流データおよび電圧データとを格納する。このとき、第 1 の記憶領域 R A M 1 および第 2 の記憶領域 R A M 2 の格納データは、電流・電圧データ入出力部 1 2 0 によって最新のデータが取得される度に、その最新のデータが最も古いデータに置換されることによって更新される。第 1 の記憶領域 R A M 1 のデータ格納期間は、電流差動リレーなどの保護リレー演算に必要な期間である。第 2 の記憶領域 R A M 2 のデータ格納期間は、故障点標定に必要な期間であり、図 1 5 の T 1 期間である。

【 0 0 8 5 】

次のステップ S 2 0 2 において、送電線故障検出部 1 2 2 は、自端（または他端）の電流データまたは電圧データが急変したか否かを検出する。この急変検出処理として、たとえば、現時点のデータと 1 サイクル前のデータとの差が閾値を超えているか、または、現時点のデータと半サイクル前のデータとの和が閾値を超えているかが検出される。このような処理は、一般に電流（または電圧）変化幅リレーと称され、電流差動リレーなどの保護リレー演算よりも早く異常を検出することができる。

【 0 0 8 6 】

この結果、電流データまたは電圧データの急変が検出された場合には（ステップ S 2 0 2 で Y E S）、次のステップ S 2 0 5 において第 2 の記憶領域 R A M 2 は、その急変検出時刻 t_2 から T 2 期間（T 2 は T 1 よりも小さい）の経過後にデータの更新を停止する。これによって、電流データまたは電圧データの急変が検出された時刻 t_2 前後の T 1 期間（図 1 5 の時刻 t_1 から時刻 t_4 まで）のデータが、第 2 の記憶領域 R A M 2 に保存される（図 1 3 のステップ S 1 0 5）。第 2 の記憶領域 R A M 2 に保存されたデータは、図 1 3 のステップ S 1 0 6 以降の故障点標定に用いられる。なお、故障点標定後に、第 2 の記憶領域 R A M 2 に格納されるデータの更新が再開される。

【 0 0 8 7 】

このステップ S 2 0 2 と並行して、ステップ S 2 0 3 において送電線故障検出部 1 2 2 は、電流差動方式などによる保護リレー演算を行い、これにより送電線 1 0 2 の保護区間（本実施形態の場合、A 端と B 端との間）における故障の有無を検出する。この結果、保護区間内で送電線 1 0 2 の故障が検出された場合には（ステップ S 2 0 4 で Y E S）、次のステップ S 1 0 6 以降に処理が進み、故障点標定が実行される。

【 0 0 8 8 】

一方、電流または電圧の急変が検出された時刻 t_2 から T 3 期間が経過しても送電線 1 0 2 の保護区間内での故障が検出されなかった場合には（ステップ S 2 0 4 で N O）、ステップ S 1 0 5 で第 2 の記憶領域 R A M 2 に保存されたデータは無効とされ、第 2 の記憶領域 R A M 2 に格納されるデータの更新が再開される。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 9 】

図 1 5 において、一般的な時間設定例として、T 1 期間は 2 から 3 サイクルに設定され、T 2 期間は 1 から 2 サイクル程度に設定され、T 3 期間は 3 サイクル以上に設定される（これらの設定値に限定されるものではない）。

【 0 0 9 0 】

再び図 1 2 および図 1 3 を参照して、次のステップ S 1 0 6 において、座標変換部 1 2 3 は、第 2 の記憶領域 R A M 2 に格納された T 1 期間のデータのうち、故障区間に相当する期間のうち振幅値演算に必要な 1 サイクル程度のデータを取り出す。第 2 の記憶領域 R A M 2 に格納されたデータには、遮断器開放、つまり、故障除去後のデータが含まれている可能性があり、そのデータは故障点標定に用いることができないからである。座標変換部 1 2 3 は、取り出した A 端の a 相電圧 V a、b 相電圧 V b、c 相電圧 V c の時系列データを用いて A 端の正相電圧 V A 1 の時系列データを算出する。同様に、座標変換部 1 2 3 は、A 端の a 相電流 I a、b 相電流 I b、c 相電流 I c の時系列データを用いて A 端の正相電流 I A 1 の時系列データを算出する。さらに、座標変換部 1 2 3 は、B 端の a 相電圧 V a、b 相電圧 V b、c 相電圧 V c の時系列データを用いて B 端の正相電圧 V B 1 の時系列データを算出し、B 端の a 相電流 I a、b 相電流 I b、c 相電流 I c の時系列データを用いて B 端の正相電流 I B 1 の時系列データを算出する。

10

【 0 0 9 1 】

以下、A 端および B 端の正相電圧を総称して V 1 と記載し、A 端および B 端の正相電流を総称して I 1 と記載する。正相電圧 V 1 および正相電流 I 1 は、次の (1 9) 式および (2 0) 式に従って計算される。

20

【 0 0 9 2 】

$$V 1 = (V a + a * V b + (a ^ 2) * V c) / 3 \quad \dots (19)$$

$$I 1 = (I a + a * I b + (a ^ 2) * I c) / 3 \quad \dots (20)$$

ここで、「 ^ 」は累乗を表す記号であり、a は 1 2 0 ° の移相を表し、

$$a = (1 - j \sqrt{3}) / 2 \quad \dots (21)$$

によって定義される。したがって、a ^ 2 は 2 4 0 ° の移相を表す。

【 0 0 9 3 】

図 1 6 は、1 2 0 ° および 2 4 0 ° の移相演算方法について説明するための図である。図 1 6 を参照して、1 2 0 ° および 2 4 0 ° の移相演算にはサンプリングデータの電気角で例えば 6 0 ° 前のデータを使って計算することができる。

30

【 0 0 9 4 】

具体的に、図 1 6 において、現時点の電圧データを V (t) とし、現時点よりも電気角 6 0 ° 前の電圧データを V (t - 6 0 °) とする。そうすると、現時点の電圧データ V (t) を 1 2 0 ° 移相した電圧データ V 1 2 0 ° および 2 4 0 ° 移相した電圧データ V 2 4 0 ° は、

$$V 1 2 0 ^ \circ = - V (t - 6 0 ^ \circ) \quad \dots (22)$$

$$V 2 4 0 ^ \circ = V (t - 6 0 ^ \circ) - V (t) \quad \dots (23)$$

で表される。

【 0 0 9 5 】

40

したがって、(1 9) 式の a * V b および (a ^ 2) * V c は、

$$a * V b = V b 1 2 0 ^ \circ = - V b (t - 6 0 ^ \circ) \quad \dots (24)$$

$$(a ^ 2) * V c = V c 2 4 0 ^ \circ = V c (t - 6 0 ^ \circ) - V c (t) \quad \dots (25)$$

に従って、計算することができる。正相電流 I 1 の場合も同様である。

【 0 0 9 6 】

次のステップ S 1 0 7 において、故障区間判定部 1 2 4 は、A 端から見た送電線 1 0 2 のインピーダンス V A 1 / I A 1 の位相角 A = A r g (V A 1 / I A 1) と、B 端から見た送電線 1 0 2 のインピーダンス V B 2 / I B 2 の位相角 B = A r g (V B 2 / I B 2) とを算出する。

【 0 0 9 7 】

50

次にステップS 1 0 8において、故障区間判定部 1 2 4 は、位相角 A および B の大小を判定する。故障区間判定部 1 2 4 は、 $A < B$ の場合には、故障点 F は B 端と直列コンデンサ 1 0 3 との間にあると判定する（ステップS 1 0 9）。この場合、端子電圧補償部 1 2 5 は、前述の（5）式および（6）式に従って A 端の正相電圧 $V A 1$ を補償した補償電圧 $V A 1'$ を算出し、故障点判定部 1 2 6 は、前述の（11）式の未知数 X を求める。算出した X に送電線 1 0 2 の実際の巨長を乗算することによって、 A 端から故障点 F までの距離が標定できる。

【0098】

一方、故障区間判定部 1 2 4 は、 $A > B$ の場合には、故障点 F は A 端の直列コンデンサ 1 0 3 との間にあると判定する（ステップS 1 1 1）。この場合、端子電圧補償部 1 2 5 は、前述の（12）式および（13）式に従って B 端の正相電圧 $V B 1$ を補償した補償電圧 $V B 1'$ を算出し、故障点判定部 1 2 6 は、前述の（18）式の未知数 X を求める。算出した X に送電線 1 0 2 の実際の巨長を乗算することによって、 A 端から故障点 F までの距離が標定できる。

10

【0099】

故障区間判定部 1 2 4 は、 $A = B$ の場合には、故障点 F は直列コンデンサ 1 0 3 の配置位置であると判定して（ステップS 1 1 3）、処理を終了する。もしくは、 $A = B$ の場合には、判定不可として（11）式および（18）式の双方で未知数 X を求めることによって、 A 端から故障点 F までの距離と B 端から故障点 F までの距離とを参考値として表示するようにしてもよい。

20

【0100】

[変形例]

図 1 3 のステップS 1 0 1 およびステップS 1 0 2 において、故障点標定装置 1 0 6 __ 1 , 1 0 6 __ 2 は、3 相電流および 3 相電圧を、伝送路 1 0 7 を介して相互にやり取りするようにしている。これに代えて、各故障点標定装置 1 0 6 においてまず正相電流および正相電圧に座標変換し、相手端の故障点標定装置 1 0 6 に正相電圧および正相電流を送信するようにしてもよい。これによって、伝送路 1 0 7 を介して伝送するデータ量を少なくすることができるとともに、第 1 の記憶領域 $R A M 1$ および第 2 の記憶領域 $R A M 2$ に格納するデータ量を少なくすることができる。

【0101】

図 1 4 のステップS 2 0 2 では、同期処理前の自端の電流データまたは電圧データをそのまま用いて電流または電圧が急変したか否かを判定するようにしてもよい。同期処理を行わないので、より早く電流または電圧の急変を検出できる。

30

【0102】

図 1 3 のステップS 1 0 3 の同期処理は、送電線 1 0 2 の故障検出に電流差動方式を用いるために行っている。したがって、他の方式によって送電線 1 0 2 の故障検出を行う場合には同じ故障状態のデータのやりとりができればよく、正確な同期処理の必要はない。

【0103】

図 1 7 は、故障点標定装置を備えた電力系統の他の構成例を示す図である。図 1 7 の電力系統は、図 1 の故障点標定装置 1 0 6 __ 1 , 1 0 6 __ 2 に代えて電流差動方式の保護リレー装置 1 1 0 __ 1 , 1 1 0 __ 2 が設けられる。故障点標定装置 1 1 1 は、各保護リレー装置から検出された電流データおよび電圧データを受信する。

40

【0104】

この場合、故障点標定装置 1 1 1 は、ハードウェア構成として、図 2 の演算処理部 2 2 1 と、 I/O 部 2 3 1 のデジタル入力回路 2 3 4 およびデジタル出力回路 2 3 5 とを備える。図 1 3 のステップS 1 0 5 までは各保護リレー装置 1 1 0 および通信装置 1 0 8 によって実行され、故障点標定装置 1 1 1 は、図 1 3 のステップS 1 0 6 以降の各ステップを実行するように構成される。

【0105】

[効果]

50

上記のとおり、実施の形態1の故障点標定装置106, 111は、直列コンデンサ103を有する送電線102の故障点標定に好適に用いられる。

【0106】

具体的に、故障点標定装置106, 111は、A端の正相電圧および正相電流から得られるインピーダンス角AとB端の正相電圧および正相電流から得られるインピーダンス角Bとを比較することによって、故障点Fが直列コンデンサ103よりもA端の近くにあるか、B端の近くにあるかをまず判定する。そして、故障点Fが直列コンデンサ103よりもB端の近くにある場合には、直列コンデンサ電圧によってA端の正相電圧を補償し、A端の補償電圧とA端の正相電流とを用いて故障点Fの正相電圧 V_F を演算する。さらに、B端の正相電圧とB端の正相電流とを用いて故障点Fの正相電圧 V_F を演算する。これらの2通りの演算による正相電圧 V_F の振幅値が等しいとして、A端およびB端から故障点までの距離が求められる。故障点Fが直列コンデンサ103よりもA端の近くにある場合にも同様の計算によって故障点を標定することができる。

10

【0107】

このように、実施の形態1の故障点標定方法では、A端の電圧および電流とB端の電圧および電流とを合成(ベクトル演算)する必要がないので、両端のデータの正確なサンプリング同期は不要である。したがって、GPSを用いた高精度の同期処理を行わなくても、精度のよい故障点標定を行うことができる。さらに、実施の形態1の故障点標定方法は、故障種類によらず同一の演算式を用いることができるというメリットがある。

【0108】

20

実施の形態2.

実施の形態2では、図1の直列コンデンサ103に保護回路が設けられている場合について説明する。以下では、保護回路として、金属酸化物バリスタ(MOV: Metal Oxide Varistor)を例に挙げて説明する。

【0109】

図18は、保護回路MOVが並列接続された直列コンデンサSCを示す回路図と、保護回路MOVの電圧電流特性とを示す図である。図18(A)に回路図が示される。直列コンデンサSCと保護回路MOVとの並列回路に印加される電圧を V_V とし、並列回路に流れる電流を I_V とする。図18(B)に保護回路MOVの電圧 v_{MOV} と電流 i_{MOV} との関係が示される。図18(B)に示すように電流 i_{MOV} が増加しても保護回路MOVに生じる電圧 v_{MOV} が制限されるために、図18(A)の電圧 V_V も制限される。これによって、直列コンデンサSCにかかる電圧が定格電圧を超えないように保護することができる。

30

【0110】

図19は、図18(A)に示す回路の等価回路とその特性を示す図である。図18(A)に示す直列コンデンサSCと保護回路MOVとの並列接続回路は、図19(A)において抵抗 R_V とリアクタンス X_V との直列回路として示されている。図19(B)には、電流の I_V の絶対値 $|I_V|$ に対する保護回路付き直列コンデンサSCのインピーダンス特性(すなわち、抵抗 R_V およびリアクタンス X_V の特性)が示されている。

【0111】

図19(B)に示すように、保護回路MOVを有する直列コンデンサSCは、電流に応じてインピーダンス(すなわち、抵抗およびリアクタンス)が変化する素子として特徴付けることができる。そこで、電流に対する抵抗およびリアクタンス特性をメモリに記憶することによって、図8および図9に示す直列コンデンサに生じる電圧 V_C を計算することができる。

40

【0112】

具体的に、a相送電線に接続された保護回路付き直列コンデンサの抵抗を R_{va} とし、リアクタンスを X_{va} とする。b相送電線に接続された保護回路付き直列コンデンサの抵抗を R_{vb} とし、リアクタンスを X_{vb} とする。c相送電線に接続された保護回路付き直列コンデンサの抵抗を R_{vc} とし、リアクタンスを X_{vc} とする。この場合、保護回路付き直列コンデンサに生じる電圧 V_C は、前述の式(21)の $a = (1 - j \sqrt{3}) / 2$ 、a

50

相電流 I_a 、 b 相電流 I_b 、および c 相電流 I_c を用いて、

$$V_C = (X_{Va} + R_{Va}) * I_a + a * (X_{Vb} + R_{Vb}) * I_b + (a^2) * (X_{Vc} + R_{Vc}) * I_c \quad \dots (26)$$

で表される。上式 (26) は、前述の (5) 式または (12) 式に代えて用いられる。

【0113】

以上をまとめると、送電線 102 の各相に設けられた保護回路付き直列コンデンサは、自身に流れる電流に応じてインピーダンスが変化する特性を有する。この場合、端子電圧補償部 125 は、各相の電流 I_a 、 I_b 、 I_c と保護回路付き直列コンデンサのインピーダンス特性とに基づいて、各相の保護回路付き直列コンデンサに生じる電圧を算出し、算出した各相の電圧から保護回路付き直列コンデンサに生じる正相電圧 V_C を計算する。

【0114】

実施の形態 2 の故障点標定装置のその他の点は実施の形態 1 の場合と同様であるので説明を繰り返さない。

【0115】

実施の形態 3 .

実施の形態 1 の故障点標定装置 106 では、対称座標を用いて送電線 102 の両端の 3 相電圧および 3 相電流を正相電圧および正相電流に変換し、正相電圧および正相電流を用いて故障点標定を行っていた。実施の形態 3 の故障点標定装置 106 は、クラーク変換 (- 0 法) を用いて送電線 102 の両端の 3 相電圧および 3 相電流を 電圧および電流もしくは 電圧または 電流に変換し、電圧および電流もしくは電圧または電流を用いて故障点標定を行う。以下に説明するように、クラーク変換を用いる場合には、故障相の判定が必要であり、さらに故障相に応じて変換式が異なる点に注意する必要がある。

【0116】

[故障点標定方法について]

以下、実施の形態 3 による故障点標定方法の原理について説明する。

【0117】

< 1 . 簡易等価回路による表現 >

図 20 は、図 3 の故障点 F において 1 線地絡故障が生じた場合のクラーク座標法による等価回路である。A 端における 回路の電圧を V_A とし、回路の電流を I_A とする。B 端における 回路の電圧を V_B とし、回路の電流を I_B とする。また、A 端の零相電流を I_{A0} とし、B 端の零相電流 I_{B0} とする。A 端の背後電源 101_1 の 回路における出力電圧を $E_A = E_a$ とし、回路における出力電圧を $E_A = -j E_a$ とする。B 端の背後電源 101_2 の 回路における出力電圧を $E_B = E_b$ とし、回路における出力電圧を $E_B = -j E_b$ とする。

【0118】

図 20 に示すように、1 線地絡故障の場合のクラーク座標法による等価回路は、故障点 F において 回路と零相回路とが直列に接続された構成を有する。

【0119】

図 21 は、図 3 の故障点 F において 2 線地絡故障が生じた場合のクラーク座標による等価回路である。A 端における 回路の電圧を V_A とし、回路の電流を I_A とする。B 端における 回路の電圧を V_B とし、回路の電流を I_B とする。

【0120】

図 21 に示すように、2 線地絡故障の場合のクラーク座標法による等価回路は、故障点 F において 回路と零相回路が並列に接続されるとともに、故障点 F において 回路が短絡された構成を有する。

【0121】

図 22 は、図 3 の故障点 F において 2 線短絡故障が生じた場合のクラーク座標による等価回路である。図 22 に示すように、2 線短絡故障の場合のクラーク座標法による等価回路は、故障点 F において 回路が短絡された構成を有する。

【0122】

10

20

30

40

50

図 2 3 は、図 3 の故障点 F において 3 相故障が生じた場合のクラーク座標による等価回路である。図 2 3 に示すように、3 相故障の場合のクラーク座標による等価回路は、故障点 F において 回路が短絡されるとともに、故障点 F において 回路が短絡された構成を有する。

【 0 1 2 3 】

図 2 4 は、図 3 の故障点 F において故障が生じた場合のクラーク座標による簡易等価回路である。図 2 4 (A) は 回路による簡易等価回路を示し、故障点 F にインピーダンス Z_F が付加された構成を示している。故障点 F の電圧を V_F とする。図 2 4 (A) の簡易等価回路は、1 線地絡故障および 3 相故障の場合に適用できる。

【 0 1 2 4 】

図 2 4 (B) は 回路による簡易等価回路を示し、故障点 F にインピーダンス Z_F が付加された構成を示している。故障点 F の電圧を V_F とする。図 2 4 (B) の簡易等価回路は、2 線地絡故障、2 線短絡故障、3 相故障の場合に適用できる。このように、クラーク変換の場合には、故障種類に応じて適用すべき簡易等価回路が異なる。

【 0 1 2 5 】

< 2 . クラーク変換の変換式 >

図 2 5 は、クラーク変換による変換式を表形式でまとめた図である。故障種類は、1 線短絡故障、2 線短絡故障、2 線地絡故障、および 3 相故障の区別がある。

【 0 1 2 6 】

図 2 5 を参照して、1 線地絡故障の場合は、回路による簡易等価回路が用いられる。ただし、クラーク変換式が故障相に応じて異なる点に注意する必要がある。

【 0 1 2 7 】

2 線地絡故障または 2 線短絡故障の場合には、回路による簡易等価回路が用いられる。ただし、クラーク変換式が故障相に応じて異なる点に注意する必要がある。

【 0 1 2 8 】

3 相故障の場合には、図 2 5 では、回路で b c 相故障の場合の変換式が示されている。ただし、この場合は、他の相の変換式を用いてもよいし、回路の変換式を用いることもできる。

【 0 1 2 9 】

図 2 5 に示す変換式に従って送電線 1 0 2 の各端子の電圧および電流の座標変換が行われる。その後の故障点標定を行う手順については実施の形態 1 の場合とほぼ同様である。以下、図 2 6 および図 2 7 を参照して説明する。

【 0 1 3 0 】

[故障点標定の具体的手順]

図 2 6 は、実施の形態 3 の故障点標定装置の機能ブロック図である。図 2 7 は、実施の形態 3 の故障点標定手順を示すフローチャートである。

【 0 1 3 1 】

図 2 6 に示す故障点標定装置 1 0 6 の構成は、図 1 2 の故障点標定装置 1 0 6 の場合とほぼ同じである。ただし、図 2 6 の座標変換部 1 2 3 A は、送電線 1 0 2 の各端子の電圧および電流の時系列データを、送電線故障検出部 1 2 2 から出力された故障相に応じて、

回路の電圧および電流の時系列データもしくは 回路の電圧および電流の時系列データに変換する。なお、送電線故障検出部 1 2 2 が電流差動方式によって故障検出する場合には、故障相の特定は容易である。

【 0 1 3 2 】

図 2 6 および図 2 7 を参照して、図 2 7 のステップ S 1 0 0 からステップ S 1 0 4 までは、図 1 3 および図 1 4 で説明した場合と同様であるので説明を繰り返さない。

【 0 1 3 3 】

次のステップ S 1 0 5 A において、第 2 の記憶領域 R A M 2 は、電流または電圧の急変検出時刻の前後の予め定める期間（すなわち、図 1 5 の T 1 期間）における A 端および B 端の電流および電圧時系列データを保存する。第 2 の記憶領域 R A M 2 は、さらに、故障

10

20

30

40

50

相の情報も保存する。

【0134】

次のステップS106Aにおいて、座標変換部123Aは、故障相の情報に基づいて、回路および回路のうちいずれを適用すべきかを決定するとともに、クラーク変換式を決定する。

【0135】

図28は、図26の座標変換部123Aのより詳細な構成を示す機能ブロック図である。図28には、送電線故障検出部122の構成も示されている。

【0136】

図28を参照して、送電線故障検出部122は、a相故障検出部130と、b相故障検出部131と、c相故障検出部132とを含む。a相故障検出部130は、電流差動方式によってa相送電線の保護区間における故障の有無を判定し、判定結果を座標変換部123Aに出力する。b相故障検出部131は、電流差動方式によってb相送電線の保護区間における故障の有無を判定し、判定結果を座標変換部123Aに出力する。c相故障検出部132は、電流差動方式によってc相送電線の保護区間における故障の有無を判定し、判定結果を座標変換部123Aに出力する。

10

【0137】

座標変換部123Aは、a相故障検出部130、b相故障検出部131、c相故障検出部132の各出力に基づいて故障相を特定する論理演算部133～139と、電圧電流の座標変換を行う演算部140～145とを含む。

20

【0138】

論理演算部133は、3相故障が生じているか否かを判定する。論理演算部134は、a相1線故障であるか否かを判定する。論理演算部135は、bc相の2線故障であるか否かを判定する。論理演算部136は、b相1線故障であるか否かを判定する。論理演算部137は、ca相の2線故障であるか否かを判定する。論理演算部138は、c相1線故障であるか否かを判定する。論理演算部139は、ab相の2線故障であるか否かを判定する。

【0139】

演算部140～145は、論理演算部133～139の演算結果にそれぞれ基づいて、図25の表で示した変換式に従って送電線102の両端の電圧および電流の座標変換を行う。すなわち、1線故障の場合は、検出された故障相に対応する演算部は、故障相に応じた変換式を用いて、A端の電圧 V_A および電流 I_A とB端の電圧 V_B および電流 I_B とを算出する。2線故障の場合は、検出された故障相に対応する演算部は、故障相に応じた変換式を用いて、A端の電圧 V_A および電流 I_A とB端の電圧 V_B および電流 I_B とを算出する。3線故障の場合は、演算部133は、たとえば、回路のbc相故障の場合と同じ式を用いて、A端の電圧 V_A および電流 I_A とB端の電圧 V_B および電流 I_B とを算出する(図27のステップS106A)。

30

【0140】

図27の次のステップS107Aにおいて、故障区間判定部124は、ステップS106Aで算出したA端の電圧 V_A および電流 I_A (または、A端の電圧 V_A および電流 I_A)を用いて、A端から見たインピーダンス V_A / I_A (または、インピーダンス V_A / I_A)の位相角 θ_A を算出する。さらに、故障区間判定部124は、ステップS106Aで算出したB端の電圧 V_B および電流 I_B (または、B端の電圧 V_B および電流 I_B)を用いて、B端から見たインピーダンス V_B / I_B (または、インピーダンス V_B / I_B)の位相角 θ_B を算出する。

40

【0141】

次のステップS108において、故障区間判定部124は、位相角 θ_A および θ_B の大小を判定する。故障区間判定部124は、 $\theta_A < \theta_B$ の場合には、故障点FはB端と直列コンデンサ103との間にあると判定する(ステップS109)。この場合、端子電圧補

50

償部 1 2 5 は、前述の (5) 式および (6) 式に従って A 端の 電圧 V_A (または 電圧 V_A) を補償した補償電圧 V_A' (または V_A') を算出し、故障点判定部 1 2 6 は、前述の (1 1) 式の未知数 X を求める。ただし、前述の (5) 式、(6) 式、および (1 1) 式において正相電圧は 電圧 (または 電圧) に変更され、正相電流は 電流 (または 電流) に変更される。

【 0 1 4 2 】

実施の形態 2 で説明した保護回路付きの直列コンデンサ 1 0 3 の場合には、前述の (2 6) 式を変更する必要がある。具体的に、a 相地絡故障の場合には、保護回路付き直列コンデンサ 1 0 3 に生じる電圧 V_C は、

$$V_C = [2 * (Xv_a + Rv_a) * I_a - (Xv_b + Rv_b) * I_b - (Xv_c + Rv_c) * I_c] / 3 \quad \dots (27)$$

10

となる。b c 相の短絡 (地絡) 故障および 3 相故障の場合は、保護回路付き直列コンデンサ 1 0 3 に生じる電圧 V_C は、 $I_b = -I_c$ であるので、

$$V_C = [(Xv_b + Rv_b) * I_b - (Xv_c + Rv_c) * I_c] / 3 \\ = (2 / 3) * (Xv_b + Rv_b) * I_b \quad \dots (28)$$

となる。他相の故障の場合も上記と同様に電圧 V_C を計算できる。

【 0 1 4 3 】

その後の計算は実施の形態 1 の場合と同様に行われる。以下、簡単に説明すると、回路 (または 回路) のコンデンサ補償後の A 端電圧 V_A () ' は、

$$V_A () ' = V_A () + V_C \quad \dots (29)$$

となる。したがって、コンデンサ補償後の A 端電圧 V_A () ' と A 端電流とを用いて計算した故障点 F における電圧 V_F () は、

20

$$V_F () = V_A () ' - X * Z * I_A () \quad \dots (30)$$

で与えられる。

【 0 1 4 4 】

同様に、B 端電圧 V_B () と B 端電流 V_B () とを用いて計算した故障点 F における電圧 V_F () は、

$$V_F () = V_B () - (1 - X) * Z * I_B () \quad \dots (31)$$

で与えられる。

【 0 1 4 5 】

A 端の電圧および電流と B 端の電圧および電流の完全な同時刻性を不要とするために、上式 (3 0) および (3 1) の振幅値を演算し、故障点 F の電圧 V_F () の振幅値 V_F () amp の演算結果が互いに等しいとする。これによって、

30

$$(V_A () ' - X * Z * I_A ()) \text{ amp} \\ = (V_B () - (1 - X) * Z * I_B ()) \text{ amp} \quad \dots (32)$$

が成立する。上式 (3 2) において、未知数 X 以外は全て既知であるので、 X を算出できる。算出した X に送電線 1 0 2 の実際の巨長を乗算することによって、A 端から故障点 F までの距離を標定できる。

【 0 1 4 6 】

一方、故障区間判定部 1 2 4 は、 $A > B$ の場合には、故障点 F は A 端の直列コンデンサ 1 0 3 との間にあると判定する (ステップ S 1 1 1)。この場合、端子電圧補償部 1 2 5 は、前述の (1 2) 式および (1 3) 式に従って B 端の 電圧 V_B (または 電圧 V_B) を補償した補償電圧 V_B' (または V_B') を算出し、故障点判定部 1 2 6

40

は、前述の (1 8) 式の未知数 X を求める。ただし、前述の (1 2) 式、(1 3) 式、および (1 8) 式において正相電圧は 電圧 (または 電圧) に変更され、正相電流は 電流 (または 電流) に変更される。保護回路付きの直列コンデンサ 1 0 3 の場合には、直列コンデンサ 1 0 3 に生じる電圧 V_C が、前述の (2 7) 式または (2 8) 式に置き替えられる。算出した X に送電線 1 0 2 の実際の巨長を乗算することによって、A 端から故障点 F までの距離が標定できる。

【 0 1 4 7 】

故障区間判定部 1 2 4 は、 $A = B$ の場合には、故障点 F は直列コンデンサ 1 0 3 の

50

配置位置であると判定して(ステップS 1 1 3)、処理を終了する。もしくは、 $A = B$ の場合には、判定不可として(11)式および(18)式の双方で未知数 X を求めることによって、A端から故障点Fまでの距離とB端から故障点Fまでの距離とを参考値として表示するようにしてもよい。

【0148】

[効果]

このようにクラーク座標法を利用する場合には、対称座標法と異なり、 120° および 240° の移相演算が不要である。このため、演算に必要なデータの検出期間(図15のT1期間)を短くできる。特に、保護回路付の直列コンデンサを用いる場合には、電流に応じて直列コンデンサの電圧が変化することを考慮する必要があるが、演算に必要なデータの検出期間を短くすることによって、演算誤差を減らすことができる。

10

【0149】

さらに、対称座標法を用いる実施の形態1の場合には、系統周波数が定格周波数からずれた場合に、電気角 60° 前のデータを用いて移相演算を行うと移相演算に誤差が生じる。これに対して、クラーク変換では現時刻の最新データしか使用しないので、座標変換による誤差を考慮する必要がないというメリットがある。

【0150】

[変形例]

実施の形態1~3の故障点標定装置は、電流差動リレーのように送電線の両端の電流および電圧に基づいて送電線保護を行う送電線保護リレー装置に内蔵することができる。

20

【0151】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものでないと考えられるべきである。この発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【符号の説明】

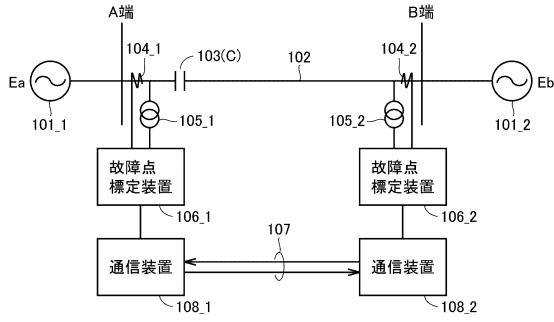
【0152】

101 背後電源、102 送電線、103 直列コンデンサ、106, 111 故障点標定装置、107 伝送路、108 通信装置、120 電圧データ入出力部、121 同期処理部、122 送電線故障検出部、123, 123A 座標変換部、124 故障区間判定部、125 端子電圧補償部、126 故障点判定部、201 入力変換部、211 A/D変換部、221 演算処理部、222 CPU、231 I/O部、F 故障点。

30

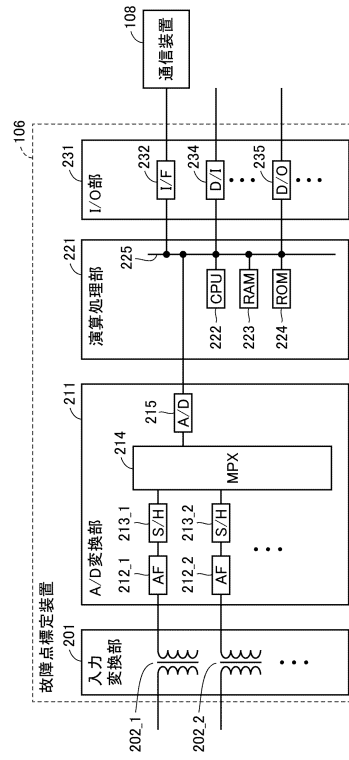
【 図 1 】

図1



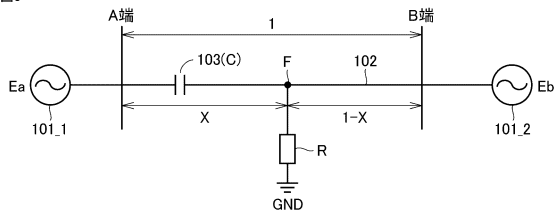
【 図 2 】

図2



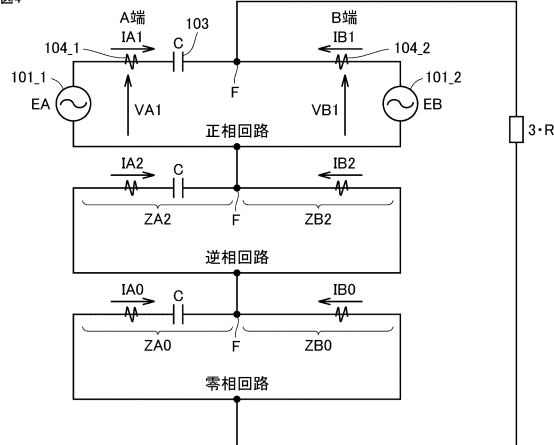
【 図 3 】

図3



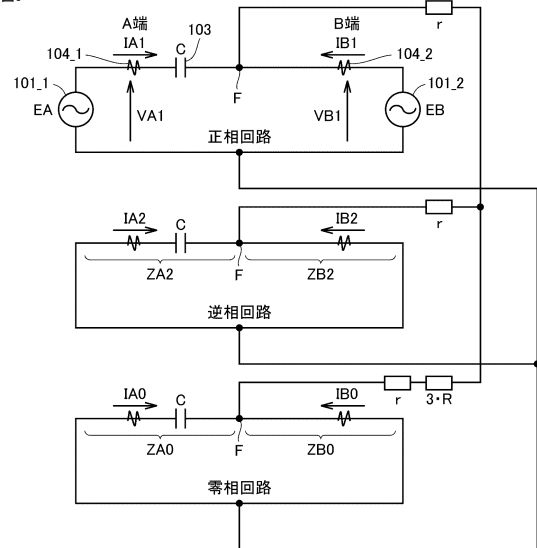
【 図 4 】

図4



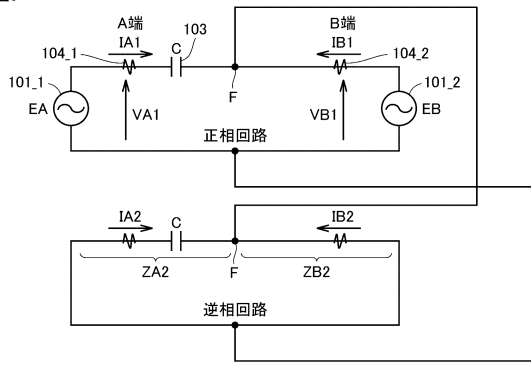
【 図 5 】

図5



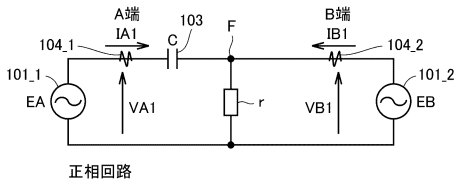
【図6】

図6



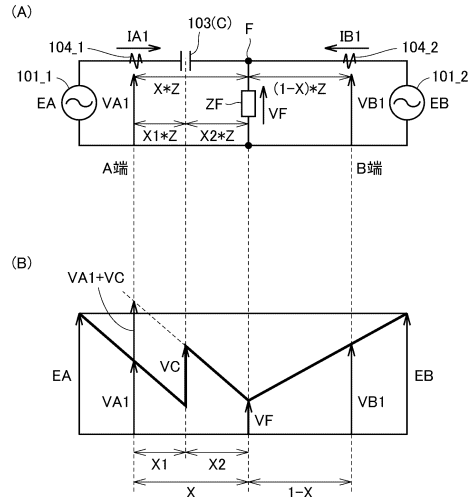
【図7】

図7



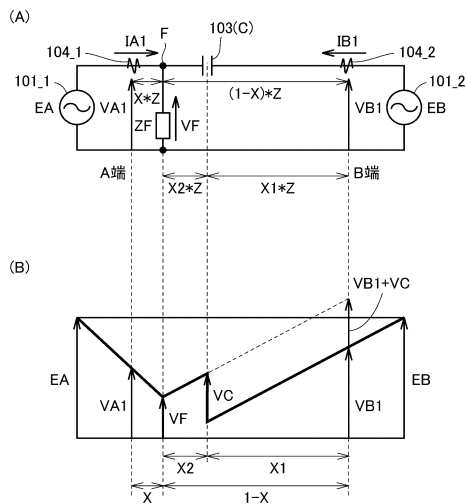
【図8】

図8



【図9】

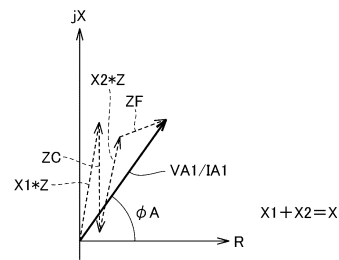
図9



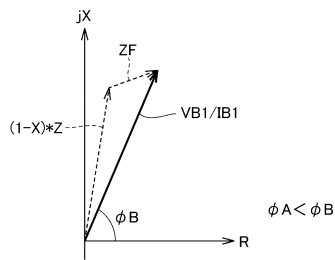
【図10】

図10

(A) A端のインピーダンス図



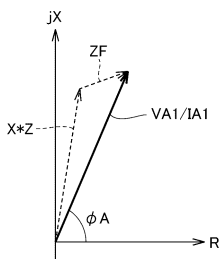
(B) B端のインピーダンス図



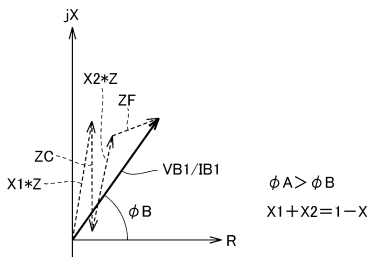
【図11】

図11

(A) A端のインピーダンス図

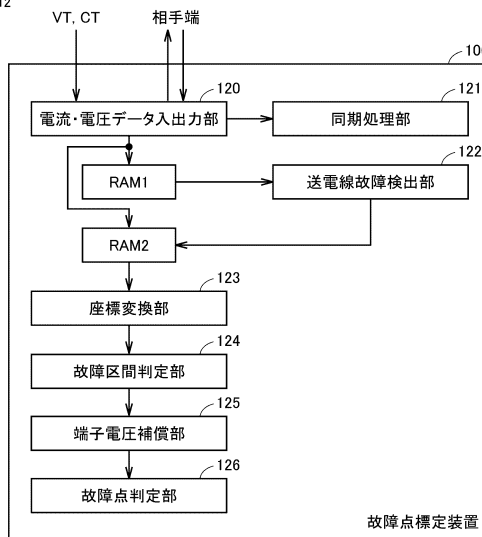


(B) B端のインピーダンス図



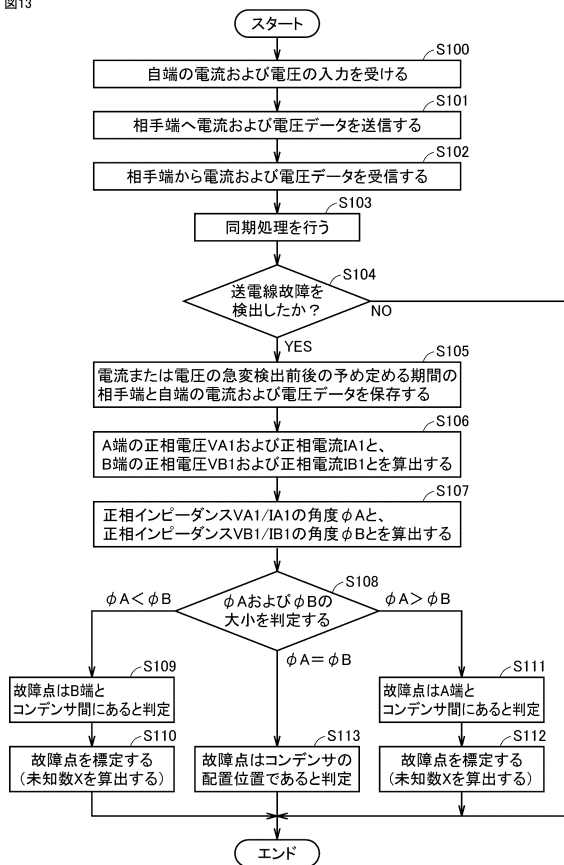
【図12】

図12



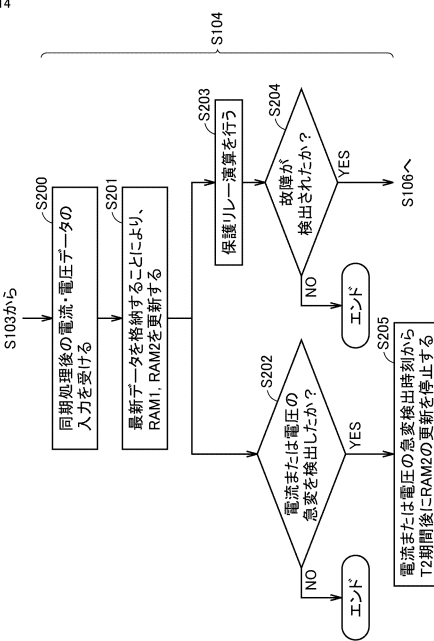
【図13】

図13



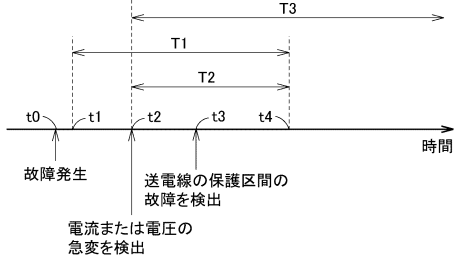
【図14】

図14



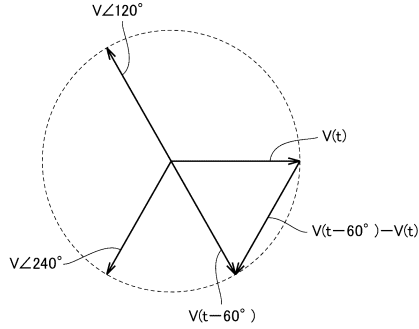
【図15】

図15



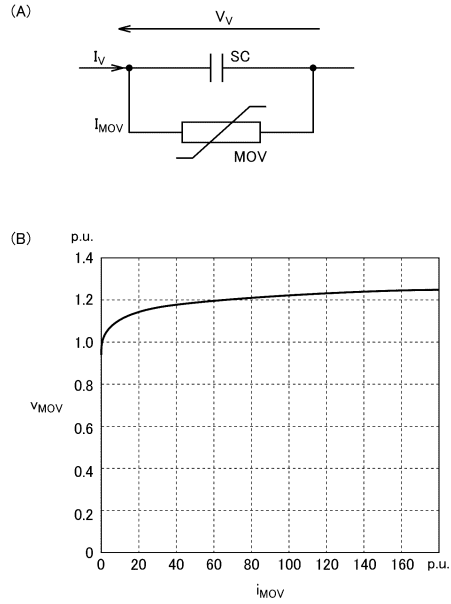
【図16】

図16



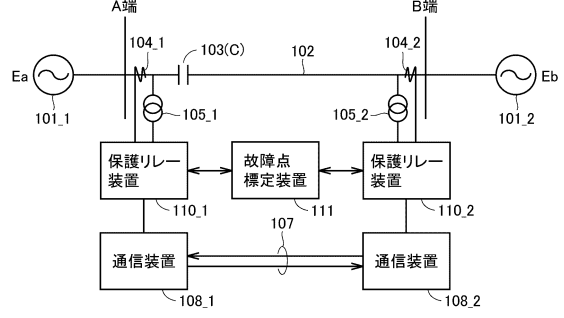
【図18】

図18



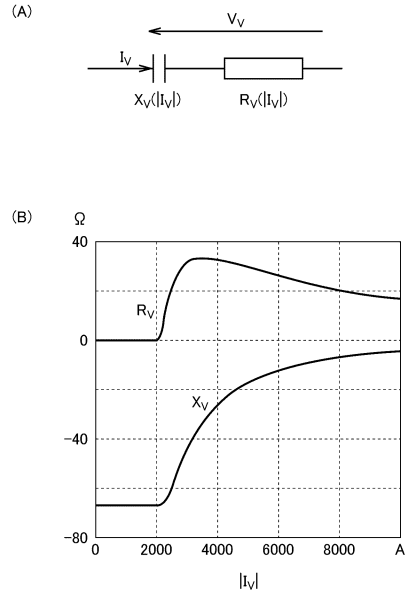
【図17】

図17



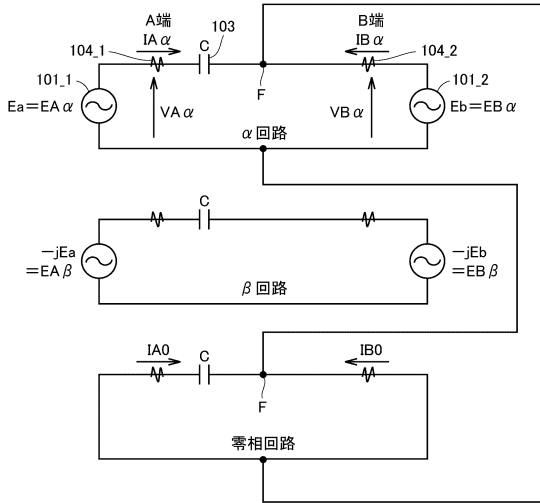
【図19】

図19



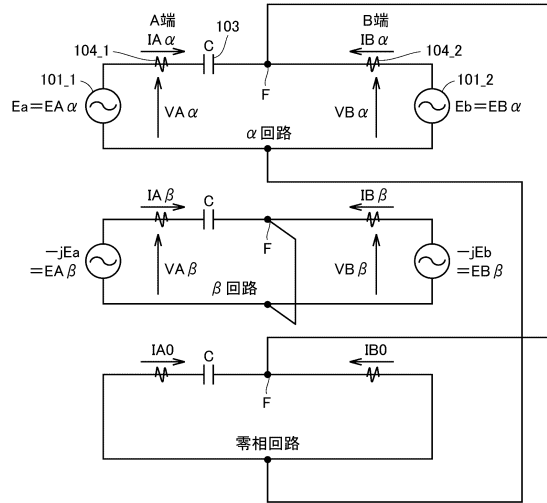
【图 20】

图20



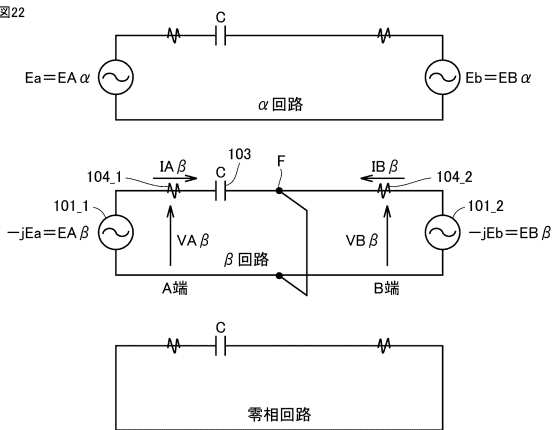
【图 21】

图21



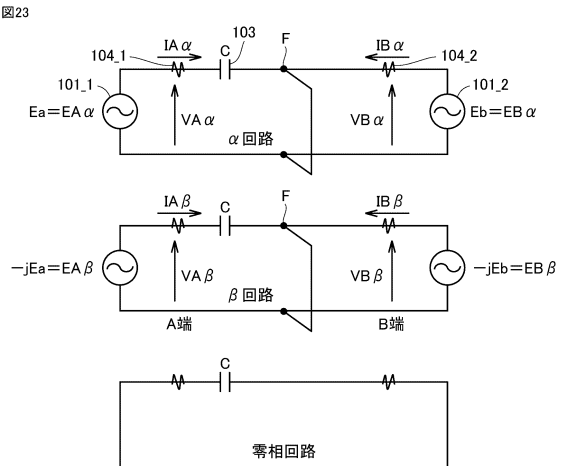
【图 22】

图22



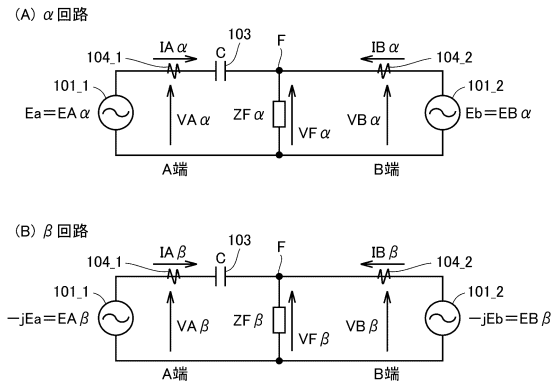
【图 23】

图23



【図24】

図24



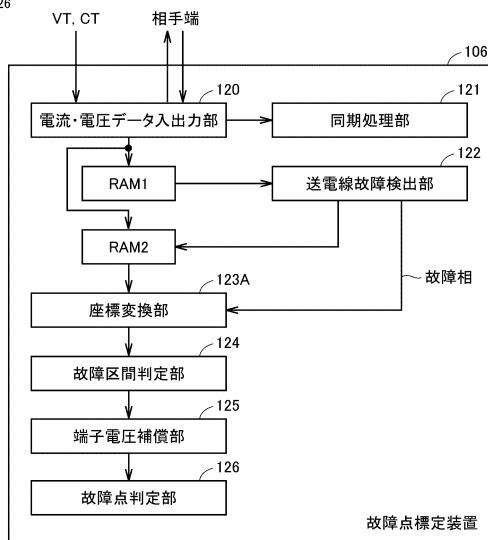
【図25】

図25

故障種類	故障相	α回路			β回路		
		$(2*V_a - V_b - V_c)/3$	$(2*I_a - I_b - I_c)/3$	$(V_b - V_c)/\sqrt{3}$	—	$(I_b - I_c)/\sqrt{3}$	$(V_b - V_c)/\sqrt{3}$
1線地絡故障	a	$(-V_a + 2*V_b - V_c)/3$	$(-I_a + 2*I_b - I_c)/3$	$(V_c - V_a)/\sqrt{3}$	$(I_c - I_a)/\sqrt{3}$	$(V_a - V_b)/\sqrt{3}$	$(I_a - I_b)/\sqrt{3}$
	b	$(-V_a - V_b + 2*V_c)/3$	$(-I_a - I_b + 2*I_c)/3$	—	—	$(V_b - V_c)/\sqrt{3}$	$(I_b - I_c)/\sqrt{3}$
	c	—	—	—	—	—	—
2線短絡, 2線地絡故障	bc	—	—	—	—	—	—
	ca	—	—	—	—	—	—
3相故障	ab	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—

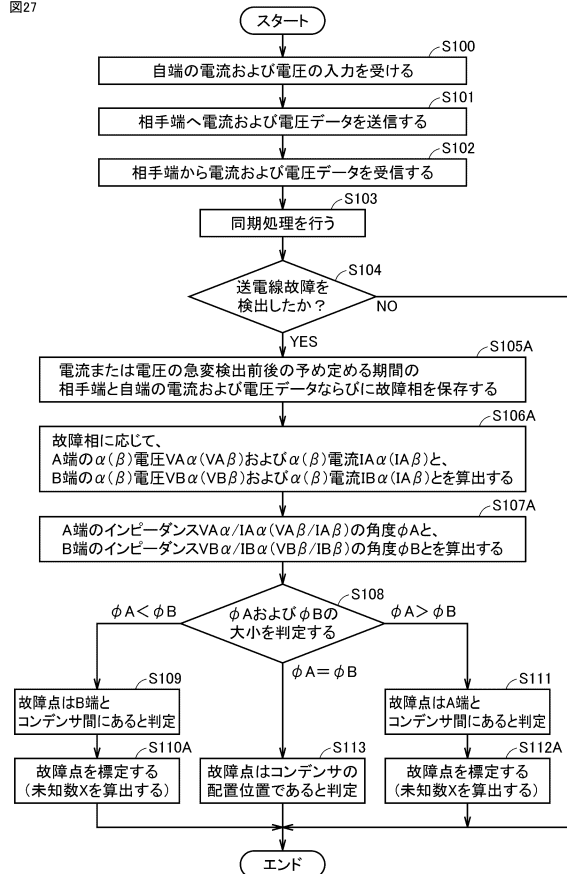
【図26】

図26

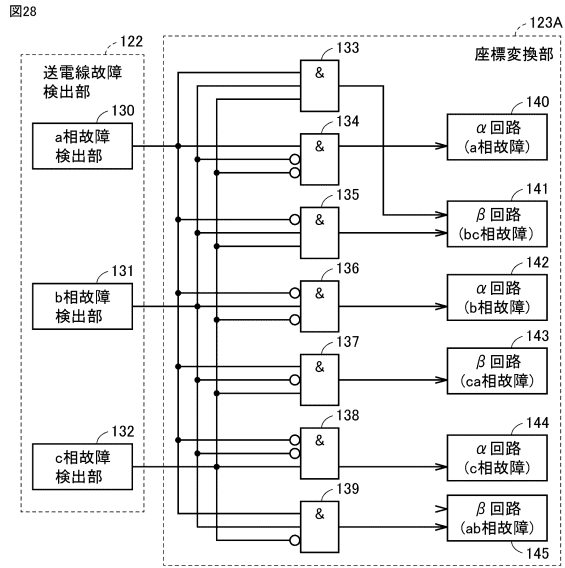


【図27】

図27



【図 28】



フロントページの続き

(56)参考文献 米国特許第6529010(US, B1)
特開昭53-105109(JP, A)
国際公開第2010/006652(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01R 31/08
H02H 7/26
H02J 13/00