(19)日本国特許庁(JP)　(12)特 許 公 報(B2)　(11)特許番号
特許第3786372号
(P3786372)
(45)発行日 平成18年6月14日(2006.6.14)　(24)登録日 平成18年3月31日(2006.3.31)

(51)Int.Cl.
H02H 3/28 (2006.01)
G06F 1/12 (2006.01)
H02H 7/045 (2006.01)

F I
H02H 3/28 W
G06F 1/04 340A
H02H 7/045 D

請求項の数 10 (全 24 頁)

(21)出願番号 特願平10-513880
(86)(22)出願日 平成9年9月12日(1997.9.12)
(65)公表番号 特表2000-501599(P2000-501599A)
(43)公表日 平成12年2月8日(2000.2.8)
(86)国際出願番号 PCT/US1997/016154
(87)国際公開番号 WO1998/011641
(87)国際公開日 平成10年3月19日(1998.3.19)
審査請求日 平成16年9月10日(2004.9.10)
(31)優先権主張番号 08/713,295
(32)優先日 平成8年9月13日(1996.9.13)
(33)優先権主張国 米国(US)

(73)特許権者
ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
アメリカ合衆国、１２３４５、ニューヨーク州、スケネクタデイ、リバーロード、１番
(74)代理人
弁理士 松本 研一
(72)発明者 アダミアク，マーク・ジェラード
アメリカ合衆国、１９３０１、ペンシルヴァニア州、パオリ、バーウィン－パオリ・ロード、１４２３番
(72)発明者 アレクサンダー、ジョージ・エドモンド
アメリカ合衆国、１９０８６、ペンシルヴァニア州、ウォーリングフォード、クーパー・ドライブ、２０５番
最終頁に続く

(54)【発明の名称】ディジタル電流差分システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

複数個の送電端子を含む送電線路系統の故障を検出する方法に於いて、
各々の送電端子の各相で同時に相電流サンプルを測定し、
相電流サンプルの部分和を構成する実数及び虚数フェーズレットを計算し、
各々のフェーズレットに対し、各相電流サンプルの自乗のそれぞれの部分和を計算し、
可変寸法の滑りサンプル窓に亘って実数及び虚数フェーズレットの和を計算し、
サンプル窓に亘ってフェーズレットからフェーザの実数及び虚数成分を計算し、
サンプル窓に亘って自乗の部分和の和を計算し、
実数及び虚数フェーズレットの和、フェーザの実数及び虚数成分、及び自乗の部分和の和を使って、フェーザの実数及び虚数成分を表す、相電流サンプルと当てはめた正弦波との間の誤差の自乗の和を計算し、
誤差の自乗の和を使って、楕円不確実さ領域を限定する分散マトリクスを計算し、
擾乱が起ったかどうかを判断し、起っていれば、サンプル窓を初期設定し直し、
それぞれの相に対する各端子からの電流フェーザの和がそれぞれの相に対する楕円不確実さ領域の外側に出るかどうかを判断することを含む、送電線路系統の故障を検出する方法。

【請求項２】

更に、実数及び虚数フェーズレットを計算し、各相電流サンプルの自乗のそれぞれの部分和を計算する前記ステップの前に、測定された相電流サンプルから減衰するオフセットを

除くことを含む請求項１記載の方法。

【請求項３】

擾乱が起ったかどうかを判断する前記ステップが、誤差の自乗の和、正相電流、逆相電流又は接地電流の大きさ、正相、逆相又は零相電流の変化、又は負荷電流の変化の内の少なくとも１つを監視することを含む請求項２記載の方法。

【請求項４】

実数及び虚数フェーズレット、フェーザの実数及び虚数成分、及び自乗の部分和の和を使って、フェーザの実数及び虚数成分を表す、相電流サンプルと当てはめた正弦波との間の誤差の自乗の和を計算する前記ステップが、自乗の部分和の和から、フェーザの実数成分と実数フェーズレットの和との積、及びフェーザの虚数成分と虚数フェーズレットの和との積を減算することを含む請求項２記載の方法。

【請求項５】

各々の送電端子の各相で同時に相電流サンプルを測定する前記ステップが、相電流サンプルから各端子に於ける正相電流サンプルを決定し、前記正相電流サンプルから必要な位相角の補正値を決定し、位相角をフィルタ作用にかけて、各々の端子に於けるサンプリング・クロックをゆっくりと調節することを含む請求項２記載の方法。

【請求項６】

分散マトリクスが次の式で構成され、

【数１】

$$\begin{bmatrix} C_{RR(n,W)} & C_{RI(n,W)} \\ C_{IR(n,W)} & C_{II(n,W)} \end{bmatrix} = \frac{E_n^2}{W} \cdot \left(\begin{bmatrix} T_{RR(n,W)} & T_{RI(n,W)} \\ T_{IR(n,W)} & T_{II(n,W)} \end{bmatrix} \right)$$

ここで、C_{RR}がフェーザの実数成分の誤差の自乗の予想値、C_{RI}及びC_{IR}がフェーザの実数及び虚数成分の誤差の積の予想値、C_{II}がフェーザの虚数成分の誤差の自乗の予想値、E_n^2が誤差の自乗の和、Ｗがサンプル窓内にあるサンプルの数、ｎがフェーザ指数を表し、またT_{RR}（ｎ，Ｗ）、T_{RI}（ｎ，Ｗ）、T_{IR}（ｎ，Ｗ）、T_{II}（ｎ，Ｗ）がフェーズレット変換マトリクスを表している請求項２記載の方法。

【請求項７】

電流フェーザの和が楕円不確実さ領域の外側に出るかどうかを判断する前記ステップが、Restraintを所定の予定の拘束乗数として、次の式

【数２】

$$Severity = PhasorReal^2 \cdot \sqrt{\frac{C_{II}}{C_{RR}}}$$

$$- PhasorReal \cdot PhasorImaginary \cdot 2 \cdot \frac{C_{RI}}{\sqrt{C_{RR} \cdot C_{II}}}$$

$$+ PhasorImaginary^2 \cdot \sqrt{\frac{C_{RR}}{C_{II}}}$$

$$- 18 \cdot Restraint^2 \cdot \sqrt{C_{RR} \cdot C_{II}} \cdot \left(1 - \frac{C_{RI}^2}{C_{RR} \cdot C_{II}}\right)$$

を使って故障の重大さ（Ｓｅｖｅｒｉｔｙ）を判定し、この重大さをフィルタリングし、フィルタリングされた重大さがゼロより大きければ、送電線路の遮断器を引き外すことを含んでいる請求項６記載の方法。

【請求項８】

分散マトリクスを計算する前記ステップが、下記の３つのマトリクス

【数３】

$$\frac{Icharge^2}{9}\cdot\left(\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix}\right)、$$

$$\frac{\Delta\phi^2}{9}\cdot\left(\begin{bmatrix}PhasorImaginary_n^2 & -PhasorReal_n\cdot PhasorImaginary_n\\ -PhasorReal_n\cdot PhasorImaginary_n & PhasorReal_n^2\end{bmatrix}\right)$$

及び

$$\frac{\Delta g^2}{9}\cdot\left(\begin{bmatrix}PhasorImaginary_n^2 & PhasorReal_n\cdot PhasorImaginary_n\\ PhasorReal_n\cdot PhasorImaginary_n & PhasorReal_n^2\end{bmatrix}\right)$$

を加算して、下記のマトリクス

【数４】

$$\frac{E_n^2}{W}\cdot\left(\begin{bmatrix}T_{RR(n,W)} & T_{RI(n,W)}\\ T_{IR(n,W)} & T_{II(n,W)}\end{bmatrix}\right)$$

を作ることを含んでおり、ここで、Ichargeは充電電流、Δφは最大残留位相誤差、Δｇは最大残留利得誤差を表している請求項７記載の方法。

【請求項９】

複数個の送電端子を含む送電線路系統の故障を検出するシステムに於いて、各々の送電端子の各相で同時に相電流サンプルを測定する電流センサと、計算機とをを有し、該計算機は、

（１）相電流サンプルの部分和で構成する実数及び虚数フェーズレットを計算し、

（２）各々のフェーズレットに対し、各相電流サンプルの自乗のそれぞれの部分和を計算し、

（３）可変寸法の滑りサンプル窓に亘って実数及び虚数フェーズレットの和を計算し、

（４）サンプル窓に亘って前記フェーズレットからフェーザの実数及び虚数成分を計算し、

（５）サンプル窓に亘って自乗の部分和の和を計算し、

（６）実数及び虚数フェーズレットの和、フェーザの実数及び虚数成分、及び自乗の部分和の和を使って、フェーザの実数及び虚数成分を表す、相電流サンプルと当てはめた正弦波との間の誤差の自乗の和を計算し、

（７）誤差の自乗の和を使って、楕円不確実さ領域を限定する分散マトリクスを計算し、

（８）擾乱が起ったかどうかを判断し、起っていれば、サンプル窓を初期設定し直し、

（９）それぞれの相に対する各端子からの電流フェーザの和がそれぞれの相に対する楕円不確実さ領域の外側に出るかどうかを判断する計算機である、送電線路系統の故障を検出するシステム。

【請求項１０】

前記計算機が、相電流サンプルから各々の端子で正相電流サンプルを決定し、前記正相電流サンプルから必要な位相角の補正値を決定し、位相角をフィルタリングして各々の端子にあるサンプリング・クロックをゆっくりと調節することにより、前記電流センサの同時の測定ができるようにする手段を含んでいる請求項９記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

発明の背景

多端子電力系統送電線路に於ける故障の高速検出が、ディジタル電流差分測定値を使うことによって試みられている。差分方式は、各相の正常状態では、端子に入る電流の和がその相に対する充電電流に等しいことに基づいている。従来の１つのディジタル差分電流シ

ステムでは、手順は、個別のサンプルを比較するか、１サイクル窓を使い、従来の２重勾配作動－拘束特性を使い、線路の充電を補償することである。このシステムは、帯域幅が大きい通信チャンネル及び小さい通信チャンネルの両方で動作するほどの融通性がない。更に、従来の作動－拘束特性が適応型でない為、このシステムの感度が低い。従来の別のディジタル差分電流システムでは、それぞれの電流信号を積分することによって、２端子システムの両端で電荷を計算して、その後比較する。このシステムは感度の制約があり、２端子の場合にしか働かない。

多数の場所に於ける電力系統ディジタル測定値が同期していれば、多くの電力系統監視、保護及び制御機能は更に効率良く且つ正確に実施することができる。一般的にこのような測定値は、物理的に大きな距離だけ隔たるサンプリング・クロックを正確に同期させるのが困難である為、ある程度同期しているというに過ぎない。従来ディジタル通信を使って遠隔の場所にあるサンプリング・クロックを同期化させていたのでは、メッセージ送達時間の不確定さの為に精度が制限される。特にディジタル通信は、一対の地点の間で方向が違うと、遅延が異なることがあり、これはクロック同期の誤差を招く。

電力系統保護装置の可変寸法データ窓は、それに伴う複雑さ、計算の負担及び通信要件の為に一般的に避けられていた。可変寸法データ窓を実施した場合、データ窓毎に異なる１組の加重関数を使う。データ窓の寸法が変ると、データ窓内にある全てのサンプルに対する計算のやり直しが必要である。

電気機械型、ソリッド・ステート型及びディジタル型継電器を含めて、従来の電力系統インピーダンス継電器は、典型的には、電圧及び電流測定値から実効インピーダンスを計算することによって故障を検出する。実効インピーダンスがある特定の範囲内に入ると、故障を宣言する。第１区間継電器では、この範囲は典型的には、電力系統の各々の量の基本となる測定値にある不確実さを見込んで、線路全長インピーダンスの８５－９０％に設定される。実際の不確実さは時間と共に変化する。従来のインピーダンス継電器は、基本となる測定値が時間と共に変化する性質であることを認識しておらず、その為、感度及び保安性がそれほどではない。

ディジタル化されたサンプルから基本電力周波数の電圧及び電流を推定する時には、固有の不確実さが存在し、これは、例えば電力系統の雑音、過渡状態、センサ利得、位相及び飽和誤差、並びに標本化クロックの誤差を含めて多数の原因によって生ずる。従来のやり方は、最悪の場合を推定し、誤差を見込んだ十分な余裕を含めることにより、システムの設計の際に、こういう誤差を考慮に入れる。従来の手順は、誤差が時間につれて変化する性質であることを考慮に入れていない。自乗の和を決定するこの他の手順は、計算が膨大である。

変圧器電流差分保護を行う標準的な方法は、各巻線の測定された変圧器電流から拘束及び作動信号を作成し、離散的フーリエ変換（ＤＦＴ）又は高速フーリエ変換（ＦＥＴ）を使って種々の高調波を計算する。普通、作動信号は、アンペア・ターンの和が磁化電流に大体等しいという原理に基づいて計算され、従って、各巻線に対するアンペア・ターンの代数和として計算される。普通、拘束信号は、基本周波数の電流か、又は磁化突入電流及び過励磁を考慮に入れて、基本周波数の電流と選ばれた高調波との加重和に基づいている。

発明の概要

従来のシステムに比べて、応答時間を一層速くすると共に感度を高めて、広い範囲の帯域幅の通信チャンネルで動作し得るディジタル差分電流システムを提供することが望ましい。

また、多数の場所に於ける電力系統の測定値を同期させる方法、可変寸法データ窓に亘るディジタル・データ・サンプルから、電圧及び電流の基本電力系統周波数成分を計算する方法、到達範囲（距離継電器の設定値）が測定値の品質に連続的に適応するような形で、電力系統の各量の測定値から不確実さを計算する方法、並びに時間につれて変化する性質の誤差を追跡するような形で、利用し得る情報からオンラインで誤差を推定することにより、電圧及び電流の基本電力系統周波数の測定値の不確実さを決定する方法を提供することも望ましい。

本発明では、離散的フーリエ変換（ＤＦＴ）に使われる項の部分和のデータ・コンソリデーション（ｃｏｎｓｏｌｉｄａｔｉｏｎ）によって電流測定値が伝送され、これによりディジタル通信の帯域幅が減少され、また、系統の状態が変化する際での電流測定値の信頼度を反映するように統計的な原理を使うことによって適応拘束領域が自動的に調節され、更に、測定された電流のデータを解析することによってサンプリングの同期化が達成され得る。
データ・コンソリデーションは、送電線路相電流の生のサンプルから伝送すべき適当なパラメータを抽出することを含む。データ・コンソリデーションを利用して、過渡的な応答と帯域幅の要件との間の釣り合いを達成することができる。コンソリデーションは時間と位相の２次元で可能である。時間のコンソリデーションは、時系列のサンプルを組み合わせて所要の帯域幅を小さくする。位相のコンソリデーションは３つの相及び中性点からの情報を組み合せる。どの相が故障したかの検出が望まれるディジタル・システムでは、一般的に位相のコンソリデーションは使われていない。時間のコンソリデーションによって通信の帯域幅要件が低下すると共に、１個の狂ったデータ・サンプルを故障と誤って解釈する可能性を排除することにより、保安性を改善する。本発明は、「フェーズレット（ｐｈａｓｅｌｅｔ）」と呼ぶ新しいコンソリデーション方式を用いる。フェーズレットは、完全なフェーザ（ｐｈａｓｏｒ）の計算の項の部分和である。整数個のフェーズレットと整合した任意の時間窓に亘って、フェーズレットをフェーザに組み合せることができる。各相１サイクル当りに伝送しなければならないフェーズレットの数は、１サイクル当りのサンプルの数を１フェーズレット当りのサンプルの数で除したものである。
拘束特性は、故障と宣言される状態と宣言されない状態との間の判定境界である。本発明は、測定誤差の原因のオンラインでの計算に基づく適応型判定プロセスを用いて、可変の長軸、短軸及び向きを持つ楕円拘束領域を作る。楕円のパラメーターは、電流測定値の精度を活用する為に、時間につれて変化する。
同期化についていうと、例えばＩＥＥＥトランザクションズ・オン・コミュニケーションズ誌、第３９巻第１０号（１９９１年１０月号）、１４８２－９３頁所載のミルズの論文「インターネット時間同期化：ネットワーク時間プロトコル」に記載されているような従来の方式は、通信遅延を計算するクロックを同期化する為に、往復時間タグ・メッセージを用いる「ピンポン」方式である。ピンポン方式の制約は、２つの端子の間のそれぞれの方向に於ける遅延の間の差を決定することができないことである。本発明は、測定された電流及びディジタル通信についての情報を利用することにより、２端子又は３端子送電線路の場合においてこの不確実さを補償する新しい方式を含む。こうして、多数の場所に於ける電力系統の電圧及び電流の大きさ及び位相角を共通の時間基準で測定することができる。４つ又は更に多くの端子が用いられる時、従来のピンポン方式を使う。
本発明の新規と考えられる特徴は請求の範囲に具体的に記載してある。しかし、本発明自体の構成、作用及びその他の目的並びに利点は、以下図面について説明するところから最も良く理解されよう。図面では同じ参照数字は同じ部品を表す。
【図面の簡単な説明】
第１図は本発明の送電線路保護の１実施例のブロック図である。
第２図は本発明の送電線路保護の別の実施例のブロツク図である。
第３ａ図は２端子単相等価線路充電モデルの回路図である。
第３ｂ図は端子に対する３相電荷補償モデルを示す。
第４図は当てはめた正弦波を示すと共に、測定されたデータ・サンプルと当てはめた正弦波との間の誤差の自乗の和を示す時間線図である。
第５図は距離継電器の回路図である。
第６図は本発明の変圧器保護の実施例のブロック図である。
詳しい説明
本発明では、マスターリーモート及びピアーピア（ｐｅｅｒ－Ｐｅｅｒ）の２種類のアーキテクチュアを使うことができる。更に、希望により、何れの種類のアーキテクチュアでも、11/2遮断方式を使うことができる。

第１図に示すマスターリモート型の実施例１０では、端子３０にある１個のマスタ装置１２（クロック１２ａを持つ）が、それぞれ端子２４、２６、２８にある遠隔装置１４、１６、１８の遠隔クロック１４ａ、１６ａ、１８ａの同期を保ち、局部電流と共に遠隔装置からの電流測定値を受取り、電力線路２０に於ける故障状態を確認する。遠隔装置は、各相に対する電流センサ３２、３４、３６、３８を使って端子電流を測定し、サンプルをフェーズレットに変換し、通信線路２２ａ、２２ｂ、２２ｃ、２２ｄ、２２ｅ、２２ｆを介して、フェーズレット情報及び測定値不確実さ情報をマスタ装置に知らせる。通信に冗長さを持たせる為、各々の遠隔装置とマスタ装置との間に２本の通信線路が存在することが好ましい。それぞれの電流センサの他に、各々の端子３０、２４、２６、２８は、他にも部品があるが、それぞれの遮断器３０ａ、２４ａ、２６ａ、２８ａ及びそれぞれの母線３０ｂ、２４ｂ、２６ｂ、２８ｂを有する。

マスタ装置は物理的に電力系統内のどこにあっても良い。往復通信遅延を最小限に抑える為、好ましい場所は、送電線路の全ての端にとっての中心である。マスタは、例えば、１つの端子の近くに設けることができる。遠隔装置が各々の端子にある。図面に示したようにマスタ及び遠隔装置が同じ場所にある場合、それらの機能を１つの装置１２にまとめることができる。

第２図に示すピアーピア型の実施例では、複数個の端子４６、４８、５０（それぞれ遮断器４６ａ、４８ａ、５０ａ及び母線４６ｂ、４８ｂ、５０ｂを有する）が、それぞれピア４０、４２、４４の電流センサ５２、５４、５６によって電力線路５８を監視する。各々のピアは、少なくとも幾つかの他のピアまで延びる通信線路（６０ａ、６０ｂ、６０ｃに示す）を持ち、前述の実施例のマスタと同様に、電流の解析を実施するようになっている。各々の対のピアの間には１本の通信線路があれば十分である。ことごとく対のピアの間に通信線路がある必要はなく、４つ以上の端子の場合、特にそうである。通信線路は、１本の線路が故障しても、システムが動作可能であるように選ぶべきである。

第１図又は第２図の各々の端子で、３相電流が１サイクル当り複数回（Ｎ回）サンプリングされる。希望によっては、マスタ又はピアで相電流から接地電流を取出すことができる。ピンポン式メッセージ方式を使うことにより、大まかな同期を保つことができる。２及び３端子システムでは、電流フェーザの和を調べることによって、更に正確な同期を達成することができる。

　オフセットを発生する誘導回路の微分方程式に基づいていて、普通「模擬回路」と呼ばれる回路のディジタル・シミュレーションを使って、各相測定値から減衰するオフセットを除くことができる。その後、フェーズレットが、各々の端子で、各相の電流に対し（又は減衰するオフセットが除かれていれば、模擬計算の出力信号から）計算され、各相に対し、生のデータ・サンプルの自乗の和が計算される。

フェーズレットが組み合わされてフェーザを形成し、希望により、位相情報から接地電流を再生することができる。測定誤差の原因（ソース）を組み合せることにより、楕円拘束領域が決定される。擾乱が検出された時、可変寸法計算窓を調節し直して、故障前の電流測定値をフェーザの決定から除外する。

擾乱か検出され、且つ電流フェーザの和が楕円拘束領域の外になることにより、故障が検出される。フェーザから拘束領域までの統計的な距離は、故障の重大さの表示になり得る。故障の重大さに見合った応答速度が得られるようにする為、例えば約６０ヘルツの単極低域フィルタを使って、該距離をフィルタリングすることができる。中位の故障では、このフィルタリングにより、測定の精度が改善されるが、その代り、１サイクル程度の若干の遅延が生ずる。重大な故障は１つのフェーズレット以内に検出することができる。

フェーザの和が楕円拘束領域内で収まれば、いつでもシステムは故障がないと想定し、クロックの微細調節に利用し得るどんな情報でも使う。

<u>時間の同期化</u>

時間の同期化は、多端子伝送線路にとって重要である他に、電力継電器、事象の系列の決定、経済的な送電、並びにクロックの同期化を必要とするその他のあらゆる場合のような他の多くの用途にとって重要である。ここで説明する同期化方式は、端子で測定された正

相電流の和を調べることにより、２端子又は３端子システムの端子でクロックを同期させる為に用いることができる。場合によっては、同じ場所にあるクロックがデータを共有して同期させることができることを活用して、更に大きなクロックの集合を同期させることができる。同期誤差は、端子に於けるフェーザ測定で、位相角及び過渡的な誤差となって現れる。同一の電流が異なる位相角を持つフェーザを生じる時に、位相角誤差が生じ、また、電流が同時に変化して、その影響が異なる測定点で異なる時刻に観測される時に、過渡的な誤差が生じる。

電流が流れていない状態での２端子又は３端子を持つシステムと同じく、４つ以上の端子を持つシステムでは、従来のピンポン方式を使う。ピンポン方式の場合の時間同期誤差の大きさは、局部的なクロックの安定度、どれだけ頻繁にピンポンが実行されるか、並びに差別的なチャンネル遅延を含む因子に関係する。ピンポンは、局部的なクロックのドリフトを補償する位に頻繁に実行しなければならない。少量のチャンネル遅延自体は、チャンネル遅延が端子の間の各々の方向で同じであれば、重大ではない（主にシステムの過渡的な応答にだけ影響する）。チャンネル遅延が同じでないと、それらの遅延の間の差が、拘束境界に亘って同期化させようとするクロック相互の間に差別的な誤差を招き、システムの感度を下げる。従って、４端子又は更に多くの端子の場合、差別的な遅延を特定して、設計の目標を達成するように制御すべきである。

２端子又は３端子の場合、位相角誤差を決定する為に、電流フェーザから別の情報が抽出される。送電線路の複数の末端にあるクロックを同期させる基本は、基本的な回路理論の法則に従って、正相電流の和がその伝送線路に対する正相充電電流に等しいということである。正相充電電流は、測定された電圧から計算することができる。等しくないことがあれば、それは正相電流の推定値の大きさ並びに／又は位相角の誤差に帰因する。２端子又は３端子送電線路の場合、同期誤差に関係する位相角誤差は、各々の端子に対して近似的に決定することができる。

データ・サンプリングを更に電力系統周波数に同期させて、非同期的なサンプリングの誤差の影響をなくすことができる。端子クロックを互いに位相ロック（ｌｏｃｋ）すると共に、電力系統に対して周波数ロックする。基本的な周波数ロック方法は、複素平面に於けるフェーザの見かけの回転から周波数偏移を計算し、それに従ってサンプリング周波数を調節することである。この計算は、マスターリモート・アーキテクチュアの場合はマスタ端子で行われ、ピアーピア・アーキテクチュアの場合は時間及び周波数の基準として作用する全ての端子で行われる。フェーザの回転速度は、電力系統周波数と、サンプリング周波数を１サイクル当りのサンプルの数で除した比との間の差に等しい。この差を使って、サンプリングを電力系統周波数と同期させる為に、サンプリング・クロックを補正する。この補正は電力系統周波数の１サイクル当り１回計算される。ここで使われるフェーザの表記を下記のように簡単にまとめておく。

（１） $\bar{I}(n) = \mathrm{PhasorReal}_n + j \cdot \mathrm{PhasorImaginary}_n$

（２） $\bar{I}_{a,k}(n) = \bar{I}(n)$ ；時間ステップｎでｋ番目の端子からのａ相

（３） $\bar{I}_{b,k}(n) = \bar{I}(n)$ ；時間ステップｎでｋ番目の端子からのｂ相

（４） $\bar{I}_{c,k}(n) = \bar{I}(n)$ ；時間ステップｎでｋ番目の端子からのｃ相

この時、各端子に対する正相電流は次の式によって計算することができる。

(5) $$\bar{I}_{pos,k}(n) = 1/3 \cdot \left(\bar{I}_{a,k}(n) + e^{\frac{j2\pi}{3}} \bar{I}_{b,k}(n) + e^{-\frac{j2\pi}{3}} \bar{I}_{c,k}(n) \right)$$

ここでｎは送電線路のk番目の端子におけるサンプル番号である。

各々の端子で減算によって充電電流の寄与分を取去ることができる。第３ａ図は２端子正相等価線路充電モデルを示し、第３ｂ図は端子に対する３相電荷補償モデルを示す。

線路抵抗６６及びインダクタンス６８を持つ電力系統送電線路の場合、端子７０及び７２に入る電流の和は、線路に対する容量性充電電流の為に、正確にゼロではない。短い送電線路では、充電電流は未知の誤差として扱うことができる。こういう実施例では、電圧センサを必要とせず、線路充電電流は全体的な分散（後で式３７について説明する）中に定数項として含まれ、これにより線路充電電流を補償する為にシステムの拘束が強められる。

長い送電線路では、充電電流が重要になり、差分アルゴリズムの感度を低下させるので、電圧測定を用いた充電電流の補償が有利である。このような補償を行う１つの方式は、システムの各端子で測定された電流から、Ｃ　ｄｖ／ｄｔ項（静電容量６２又は６４に電圧の時間変化を乗じたもの）を差引くことである。この方式によると、電力系統の基本周波数と、送電線路の過渡的な応答の幾つかの周波数の両方で、容量性電流が補償される。送電線路上の進行波の細かい成分は補償されず、それらはデータ・サンプル中の誤差の自乗の和を増加することによって拘束に対して寄与する。２端子システムに対する補償モデルを示してあるが、このモデルは任意の数の端子に対処するように拡張することができる。

第３ｂ図に示すように３相モデルを使う時、相間静電容量（C_{pp}）及び対地相静電容量（C_{pg}）の両方を解析しなければならない。C_{pg}及びC_{pp}を零相静電容量（C_{zero}）及び正相静電容量（C_{plus}）で表すと、C_{pg}＝C_{zero}及びC_{pp}＝（１／３）C_{plus}－（１／３）C_{zero}と表される。

各相に対する補償方式は、３相全部からのデータを使うことができる。例えば、″ａ″相に対する補償は、C_{pg}×ｄＶａ／ｄｔ＋C_{pp}×（２×ｄＶａ／ｄｔ－ｄＶｂ／ｄｔ－ｄＶｃ／ｄｔ）で表すことができる。ここでＶａ、Ｖｂ及びＶｃは各相電圧である。″ａ″相充電電流に対するこれと同等の式はC_{plus}×（ｄＶａ／ｄｔ－ｄＶｏ／ｄｔ）＋C_{zero}×ｄＶｏ／ｄｔであり、ここでＶｏは零相電圧である。

ある非常に長い線路では、線路の分布特性の為に、従来の送電線路方程式になり、これは線路に沿った電圧及び電流の分布について解くことができる。補償モデルは、線路の端子から見た実効正相及び零相静電容量を使う。

長い送電線路に用いる或る用途では、分路リアクトルを使って、線路に必要な充電電流の幾分かを供給することができる。分路リアクトルが基本電力系統周波数で差分システムから見た充電電流の量を減らす。更に、分路リアクトルが充電静電容量と相互作用して、送電線路の過渡応答に別の周波数成分を導入する。１実施例では、保護充電補償は、基本電力系統周波数で残留充電電流（容量性及び誘導性リアクタンスの差）に等しくなるように設定される。インダクタ電流は、変流器接続（図面に示してない）を介して回路から実効的に「取除く」ことができる。

改善された位相同期化を達成する基本的な手順は、電流フェーザの和をゼロに向って駆動するように、サンプリング・クロックに小さな調節を加えることである。同期誤差は３相全部に影響するから、こういう調節は正相電流に基づくことができる。

２端子システムの場合、クロック位相角補正（ϕ_1（ｎ）、ϕ_2（ｎ））は次に示すように、正相電流から計算される。

$$(6)\qquad \phi_1(n)=\frac{1}{2}\cdot\arctan\left(\frac{imag\left(\bar{I}_{pos,2}(n)\cdot\bar{I}^{*}_{pos,1}(n)\right)}{real\left(\bar{I}_{pos,2}(n)\cdot\bar{I}^{*}_{pos,1}(n)\right)}\right)$$

$$(7)\qquad \phi_2(n)=-\phi_1(n)$$

４象限逆正接を使うことが可能であり、この場合、上に示したように、虚数（ｉｍａｇｉｎａｒｙ）部及び実数（ｒｅａｌ）部に負の符号が必要である。

３端子システムの場合、補正（ϕ_1（ｎ）、ϕ_2（ｎ）、ϕ_3（ｎ））が次の式によって近似される。

(8)

$$\phi_1(n) \approx \frac{real\left(\left(\bar{I}_{pos,2}(n) - \bar{I}_{pos,3}(n)\right)\cdot\left(\bar{I}^*_{pos,1}(n) + \bar{I}^*_{pos,2}(n) + \bar{I}^*_{pos,3}(n)\right)\right)}{imag\left(\bar{I}_{pos,2}(n)\cdot\bar{I}^*_{pos,1}(n) + \bar{I}_{pos,3}(n)\cdot\bar{I}^*_{pos,2}(n) + \bar{I}_{pos,1}(n)\cdot\bar{I}^*_{pos,3}(n)\right)}$$

(9)

$$\phi_2(n) \approx \frac{real\left(\left(\bar{I}_{pos,3}(n) - \bar{I}_{pos,1}(n)\right)\cdot\left(\bar{I}^*_{pos,1}(n) + \bar{I}^*_{pos,2}(n) + \bar{I}^*_{pos,3}(n)\right)\right)}{imag\left(\bar{I}_{pos,2}(n)\cdot\bar{I}^*_{pos,1}(n) + \bar{I}_{pos,3}(n)\cdot\bar{I}^*_{pos,2}(n) + \bar{I}_{pos,1}(n)\cdot\bar{I}^*_{pos,3}(n)\right)}$$

(10)

$$\phi_3(n) \approx \frac{real\left(\left(\bar{I}_{pos,1}(n) - \bar{I}_{pos,2}(n)\right)\cdot\left(\bar{I}^*_{pos,1}(n) + \bar{I}^*_{pos,2}(n) + \bar{I}^*_{pos,3}(n)\right)\right)}{imag\left(\bar{I}_{pos,2}(n)\cdot\bar{I}^*_{pos,1}(n) + \bar{I}_{pos,3}(n)\cdot\bar{I}^*_{pos,2}(n) + \bar{I}_{pos,1}(n)\cdot\bar{I}^*_{pos,3}(n)\right)}$$

位相角補正が閉ループ方式でゼロに向って駆動されるまで、位相角補正をフィルタリングして各々の端子でクロックをゆっくりと調節する。位相角のこの調節は、それ自体で行っても良いし、あるいはこれから説明する周波数同期化方式と組み合せて行うことができる。

各々の端子に対し、正相電流と前のサイクルの正相電流の複素共役との積を計算することにより、或るサイクルから次のサイクルまでの回転量を表す量を（用途によって、充電電流を取除いて又は取除かずに）正相電流から導き出すことができる。

(11) $Deviation = \bar{I}_{pos,k}(n)\cdot\left(\bar{I}_{pos,k}(n-N)\right)^*$

各々の端子に対する１サイクル当りの偏差（ｄｅｖｉａｔｉｏｎ）フェーザの角度は、１９８７年１２月２２日にプリマーラニに付与され且つ出願人に譲渡された米国特許第４，７１５，０００号に記載されているように、その端子に於ける周波数偏差に比例する。クロック同期化方法が周波数同期を保つので、周波数偏差は各々の端子で同じである。従って、全ての端子からの偏差フェーザを加算して、システムに対する正味の偏差フェーザを求めることができる。

(12) $Deviation(n) = \sum_{k=1}^{NT} Deviation_k(n)$

ここでＮＴは端子の数である。偏差フェーザをフィルタリングして、雑音の影響を減らし、適応プロセスの過渡的な挙動を制御する。その後、フィルタリングされた偏差フェーザDeviationf(n)から、サンプリング偏差周波数が計算される。

(13) $\frac{\Delta f}{f_o} = \arctan\left(\frac{imag(Deviationf(n))}{real(Deviationf(n))}\right)$

ここでΔｆは周波数偏差であり、f_0は公称周波数である。４象限逆正接の２つの引数に対して別々に偏差の虚数部及び実数部を用いることにより、４象限逆正接を計算することができる。端子のサンプリング・クロックは、サンプリング周波数偏差をゼロに近づけるように調節することができる。

データ・コンソリデーション

電力系統の基本周波数の電圧及び電流が、計算の負担を最小限に抑えて、可変寸法を持ち得るデータ窓を用いて、電圧及び電流のディジタル化されたサンプルから計算される。電圧及び電流の情報を通知する必要がある用途では、この方法は、通信帯域幅の要件の点で特に効率が良い。本発明は、基本周波数の電圧又は電流成分を測定するディジタル装置に使うことができる。

データ圧縮は、データ・サンプルと、このデータ・サンプルを最も良く近似する正弦波形との間の誤差の自乗の和を最小にする。半サイクルの整数倍である固定寸法データ窓の場合、離散的フーリエ変換（ＤＦＴ）を本発明に従って使う為に変更することができる。可

変寸法データ窓の場合は、変更したＤＦＴは、個々のサンプルの重みがデータ窓の幅に関係する時、データ・サンプルの加重和から複素数振幅を計算するという問題を招き、それと共に帯域幅の要件がある。

本発明の「フェーズレット」方式は、この計算を２つのプロセスに分ける。第１のプロセスは、１サイクルの重みを乗じたデータ・サンプルの部分和の計算である。第２のプロセスは、所望のデータ窓の幅に亘って部分和を加算すること、並びに１サイクルの重みによって生じた歪みを補正することである。

部分和（フェーズレット）は、各々のデータ・サンプルに、データ窓に関係しない対応する複素係数を乗じ、いくつかのデータ・サイクルに亘ってその結果を加算することによって計算される。複素振幅を通知する必要がある用途では、フェーズレットが計算され次第通知される。１つのフェーズレット内のサンプルの数は、通信帯域幅の要件と過渡応答との間にどんな折合いを希望するかによるが、それを達成するように選ぶことができる。フェーズレット当りのサンプルの数を大きくすると、通信帯域幅が小さくなる。フェーズレット当りのサンプルの数を小さくすると、過渡応答が低下する。

フェーズレットは任意の寸法のデータ窓に亘る複素振幅に変換される。この変換を行うには、該窓内にあるフェーズレットを加算して、その特定の窓に対する予め計算された係数を乗ずる。

更に具体的に言うと、フェーズレットは、データ・サンプルの正弦及び余弦の加重和の１部分である。半サイクルに亘って、フェーズレット（複数）から（１つの）フェーザが計算される。そのために、単にそれらのフェーズレットを加算して、４／Ｎを乗ずる。半サイクル又は半サイクルの倍数以外の寸法の窓では、フェーザは、窓に亘ってフェーズレットを加算し、次いで正規化用２×２実数マトリックスにフェーズレットの和の実数部及び虚数部を乗ずることにより、計算される。

フェーザは実数及び虚数成分として表される。実数成分はｃｏｓ（ωｔ）項を表し、虚数成分は－ｓｉｎ（ωｔ）項を表す。ここで用いる表記法では、フェーザの全ての量をピーク値として表す。ｒｍｓに変換するには、２の平方根で割る。

以下の式で、加算に使われる全ての指数は、下限から上限も含めて上限まで、１ずつ増数される。サンプル、フェーズレット及びサイクルの計数は、１から始まるが、これは時間基準ｔ＝０と想定する。正弦及び余弦関数の引数はサンプリング角度の１／２だけずれている。時刻ｔ＝０に対する最初の係数、即ち、整数指数（ｋ）カウント＝１は、サンプリング角度の１／２の位相角に対するものである。サンプリングは１サイクル当りＮサンプルの割合（ｒａｔｅ）で行われ、Ｎの選び方は特定の用途に関係する。フェーズレットはＰ個のデータ・サンプル毎に計算され、Ｐの選び方は用途の要件に関係する。新しいフェーズレットが利用できるようになった時には、いつでもフェーザが更新される。１／２サイクル滑り窓（ｓｌｉｄｉｎｇ　ｗｉｎｄｏｗ）の場合、一定数のフェーズレットを加算してフェーザを作る。可変窓を使う時、フェーズレットの数は窓の寸法に比例する。

フェーズレットは、１サイクルの端数（一部分）に亘る正弦及び余弦加重サンプルの和である。１サイクル当り６４個のサンプルから、１サイクル当り１６個のフェーザの値を抽出する為の適当な方法は、最初に、１グループ当り４個ずつのサンプルで、これらのグループの正弦及び余弦加重和を計算することである。１／２サイクルに亘るＤＦＴは、１／２サイクルに亘ってフェーズレットを加算し、適当な係数を乗ずることによって計算することができる。他の寸法の窓では、フェーザを加算し、窓の幅及び位相角に関係する適当なマトリクスを乗ずることにより、ＤＦＴが計算される。

フェーズレットの計算は次の通りである。

(14) $$PhaseletReal_p = \sum_{k=p\cdot P-P+1}^{p\cdot P} \cos\left(\frac{2\cdot\pi}{N}\cdot\left(k-\frac{1}{2}\right)\right)\cdot x_k$$

(15) $$PhaseletImaginary_p = -\sum_{k=p\cdot P-P+1}^{p\cdot P} \sin\left(\frac{2\cdot\pi}{N}\cdot\left(k-\frac{1}{2}\right)\right)\cdot x_k$$

ここで、
$PhaseletReal_p$＝信号ｘに対するｐ番目のフェーズレットの実数部、
$PhaseletImaginary_p$＝ｘに対するｐ番目のフェーズレットの虚数部、
ｐ＝フェーズレット指数；１サイクル当りＮ／Ｐ個のフェーズレットがある、
Ｐ＝１フェーズレット当りのサンプルの数、
Ｎ＝１サイクル当りのサンプルの数、
x_k＝１サイクル当りＮサンプルで求めた信号ｘのｋ番目のサンプル。
式（１４）及び（１５）に示した正弦及び余弦関数に対する引数は、フェーズレットをフェーザに変換するのに必要なマトリクスの計算を簡単にする為、並びにサンプリング周波数の小さい誤差を補正する為の随意選択のプロセスを簡単にする為、サンプリング角度の１／２だけずれている。
種々の数のフェーズレットを組み合せて滑り窓ＤＦＴを形成することができる。例えば、１／２サイクルＤＦＴでは、フェーズレットからフェーザを計算するプロセスは、フェーズレットを加算して４／Ｎを乗ずることである。

(16) $$PhasorReal_n = \frac{4}{N}\cdot\left(\sum_{p=n-\frac{N}{2\cdot P}+1}^{n} PhaseletReal_p\right)$$

(17) $$PhasorImaginary_n = \frac{4}{N}\cdot\left(\sum_{p=n-\frac{N}{2\cdot P}+1}^{n} PhaseletImaginary_p\right)$$

ここでｎはフェーザ指数を表す（１サイクル当りＮ／Ｐ個のフェーザがある）。
乗算がサンプル毎に行われていれば、固定小数点算数で再帰的に和を実施しても、切捨て誤差が累積する惧れはない。初期設定の後、新しい和の一番新しい項を加算すると共に、前の和の一番古い項を減算することにより、ｎの１つの値に於ける和を前の和から計算する。
フェーズレットをフェーザに変換することは、他の窓の寸法でも、フェーズレットを加算し、次いでフェーズレット変換マトリクスを乗ずることによって行うことができる。最初に、フェーズレットを所望の窓に亘って加算する。

(18) $$PhasorSumReal_n = \sum_{p=n-\frac{W}{P}+1}^{n} PhaseletReal_p$$

(19) $$PhasorSumImaginary_n = \sum_{p=n-\frac{W}{P}+1}^{n} PhaseletImaginary_p$$

ここでＷ＝サンプルで表した窓の寸法であり、Ｗ／Ｐはフェーズレットで表した窓の寸法である。
随意選択により、これらの和を再帰的に計算することができる。前に述べたように、ｎの１つの値に於ける和は、新しい和の一番新しい項を加算すると共に、前の和の一番古い項を減算するすることによって、前の和から計算することができる。その後、下記のマトリクスを乗ずることにより、和がフェーザに変換される。

(20)

$$\begin{bmatrix} PhasorReal_n \\ PhasorImaginary_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{RR}(n,W) & T_{RI}(n,W) \\ T_{IR}(n,W) & T_{II}(n,W) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} PhaseletSumReal_n \\ PhaseletSumImaginary_n \end{bmatrix}$$

ここで、

(21)

$$T_{RR} = \left(1 - \left(\frac{1}{W} \cdot \cos\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot P \cdot n}{N} - \frac{2 \cdot \pi \cdot W}{N}\right) \cdot \frac{\sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot W}{N}\right)}{\sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{N}\right)}\right)\right) \cdot \frac{2}{W - \frac{\left(\sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot W}{N}\right)\right)^2}{W \cdot \left(\sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{N}\right)\right)^2}}$$

(22)

$$T_{RI} = T_{IR} = \frac{1}{W} \cdot \sin\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot P \cdot n}{N} - \frac{2 \cdot \pi \cdot W}{N}\right) \cdot \frac{\sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot W}{N}\right)}{\sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{N}\right)} \cdot \frac{2}{W - \frac{\left(\sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot W}{N}\right)\right)^2}{W \cdot \left(\sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{N}\right)\right)^2}}$$

(23)

$$T_{II} = \left(1 + \left(\frac{1}{W} \cdot \cos\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot P \cdot n}{N} - \frac{2 \cdot \pi \cdot W}{N}\right) \cdot \frac{\sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot W}{N}\right)}{\sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{N}\right)}\right)\right) \cdot \frac{2}{W - \frac{\left(\sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot W}{N}\right)\right)^2}{W \cdot \left(\sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{N}\right)\right)^2}}$$

このようにマトリクスは、設計定数Ｐ及びＮと、変数Ｗ及びｎに関係する。原則として、ｎ及びＷの各々の組み合せに対し、マトリクスを計算すべきである。

擾乱が検出されるまで、フェーズレットを組み合せて滑り窓ＤＦＴを形成する。擾乱が検出された後、現在の窓から前に計算されたフェーズレットを取除き、次いで、新しいデータを集める時に現在の窓を拡張して滑り窓ＤＦＴを再び形成することにより、窓が初期設定し直される。こうして前に求めた正常な情報が存在することによって、更に関係の深い擾乱の情報が希釈されない。

減衰するオフセットの除去

ある用途では、減衰するオフセットが起ることがあり、測定された電流サンプルが正弦波とどれくらい良く当てはまるかの判断を妨げる誤差を生ずることがある。例えば、電力系統送電線路の誘導性の挙動が、過渡状態の間、指数関数形の減衰するオフセットを生ずる。

下に示すように、模擬（ｍｉｍｉｃ）アルゴリズムを使って減衰するオフセットを取除くことができる。

$$(24)\quad Imimic_m = \frac{R}{\cos\left(\frac{\pi \cdot M}{N}\right)} \cdot \frac{(i_m + i_{m-M})}{2} + \frac{X}{\sin\left(\frac{\pi \cdot M}{N}\right)} \cdot \frac{(i_m - i_{m-M})}{2},$$

ここで、
$Imimic_m$＝模擬アルゴリズムの出力のｍ番目のサンプル、
i_m＝ｍ番目の電流サンプル、
ｍ＝１サイクル当りＮ個のサンプルで、１から始まるサンプル指数、
Ｍ＝模擬シミュレーションを近似する為に使われるサンプル数で表した期間、
Ｎ＝１サイクル当りのサンプル数で表したサンプリング速度、
Ｘ＝模擬のリアクタンス、
Ｒ＝模擬の抵抗。
電圧サンプルに対しても同様な式を使うことができる。模擬の過渡応答は、１サイクル当りＮ個のサンプルで、Ｍサンプルである。Ｍ＝４及びＮ＝６４とすると、過渡応答は１ミリ秒である。
次に、下に示すように、x_kを$Imimic_k$に置換えて、式（１４）及び（１５）と同様に、フェーズレットを計算する。

$$(25)\quad PhaseletReal_p = \sum_{k=p\cdot P-P+1}^{p\cdot P} \cos\left(\frac{2\cdot\pi}{N}\cdot\left(k-\frac{1}{2}\right)\right)\cdot Imimic_k$$

$$(26)\quad PhaseletImaginary_p = \sum_{k=p\cdot P-P+1}^{p\cdot P} -\sin\left(\frac{2\cdot\pi}{N}\cdot\left(k-\frac{1}{2}\right)\right)\cdot Imimic_k$$

ここで、$Imimic_m$＝模擬アルゴリズムの出力のｍ番目のサンプルである。
統計パラメータを計算する為に、個々のサンプルの自乗の和を計算する。

$$(27)\quad PartialSumOfSquares_p = \sum_{k=p\cdot P-P+1}^{p\cdot P} Imimic_k^2.$$

前に述べたように、擾乱が検出されるまで、フェーズレットを組み合せて滑り窓ＤＦＴを形成し、擾乱が検出された後、現在の窓から前に計算されたフェーズレットを取除くと共に、その後、新しいデータを集める時に現在の窓を拡張して滑り窓ＤＦＴを再び形成することにより、窓を初期設定し直す。
滑り窓ＤＦＴは、前に述べたように半サイクルであっても良いし、あるいは１サイクル滑り窓についてここで説明するように、半サイクルの倍数であっても良い。半サイクル窓は、過渡的な応答が速くなるが、１サイクル窓ほどの高い精度を持っていない。
１サイクルＤＦＴでは、下記の式に示すように、フェーズレットからフェーザを、そして部分和から自乗の和を計算するプロセスは簡単である。

$$(28)\quad PhasorReal_n = \frac{2}{N}\cdot\left(\sum_{p=n-\frac{N}{P}+1}^{n} PhaseletReal_p\right)$$

$$(29)\quad PhasorImaginary_n = \frac{2}{N}\cdot\left(\sum_{p=n-\frac{N}{P}+1}^{n} PhaseletImaginary_p\right)$$

ここで、
$PhasorReal_n$＝ｎ番目のフェーザの実数部、
$PhasorImaginary_n$＝ｎ番目のフェーザの虚数部、
ｎ＝フェーザ指数；１サイクル当りＮ／Ｐ個のフェーザがある。

統計パラメータを計算する為、個々のサンプルの自乗の和も計算する。

(30)
$$SumOfSquares_n = \sum_{p=n-\frac{N}{P}+1}^{n} PartialSumOfSquares_p$$

ここで、$SumOfSquares_n$＝自乗のｎ番目の和である。

上に示した式が定義になる。関係する和は、実際にはここで示した順序で計算されないが、再帰的に計算される。初期設定の後、ｎの１つの値に於ける和が、新しい和の一番新しい項を加算すると共に、現在の窓の外に出る前の和の一番古い項を減算することにより、前の和から計算される。

前に述べたように、他の窓の寸法に対して、フェーズレットをフェーザに変換することは、フェーズレットを加算し、その後正規化マトリクスを乗ずることによって行うこともできる。最初に、式（１８）及び（１９）を使って所望の窓に亘ってフェーズレットを加算することによって、$PhaseletSumReal_n$及び$PhaseletSumImaginary_n$を求める。次に、下に示すように、自乗の和を計算する。

(31)
$$SumOfSquares_n = \sum_{p=n-\frac{W}{P}+1}^{n} PartialSumOfSquares_p$$

フェーズレットの和は、式（２０）乃至（２３）について述べた予め計算されたマトリクスを乗ずることによって、フェーザに変換される。

<u>測定されたデータ・サンプルと当てはめた正弦波との間の誤差の自乗の和</u>

誤差の自乗の和をここでは多端子送電線路の場合について説明しているが、本発明が役立つこの他の用途としては、例えば電動機の保護、転倒故障検出器のような制御及び診断装置、距離、変圧器、母線及び発電機継電器のような電力系統の継電器、工業用保護装置及び駆動装置がある。

測定されたデータ・サンプルと当てはめた正弦波との間の誤差の自乗の和は、下に示すように、自乗の和、フェーズレット及びフェーザから計算することができる。

(32)
$$E_n^2 = SumOfSquares_n - \begin{pmatrix} PhaseletSumReal_n \cdot PhasorReal_n + \\ PhaseletSumImaginary_n \cdot PhasorImaginary_n \end{pmatrix}$$

誤差の自乗の和を計算するこの方法は、任意の寸法のデータ窓に対して有効である。従来使われていた方法は、より多くの計算を必要とするか、又は半サイクルの整数倍のデータ窓に対してしか有効ではない。

自乗した誤差E_n^2の式は、２つの乗算及び３つの加算しか必要としないので、特に効率が良い。データ・コンソリデーションの為にフェーズレットが既に計算されている時、余分の計算は自乗の和だけである。（フェーズレットの実数部、フェーズレットの虚数部及び自乗の）３つの和全部は、窓が寸法を変えても、滑り窓に対して再帰的に計算することができる。ｎの１つの値に対する和が一旦計算されれば、ｎの次の値に対する和の値は、一番新しい項を加算し、一番古い項を減算することによって計算することができる。固定小数点算術でこの式が正しく適用される為には、自乗した値を保持する十分なビットを使わなければならないし、倍率（スケーリング）に注意を払わなければならない。自乗の和及びフェーズレットの和の両方が、窓の中にあるサンプルの数に比例する。

第４図は、時間に対し、フェーザを表す当てはめた正弦波及び誤差の自乗の和（E_n^2）を示すグラフである。T_a、T_b及びT_cにより、異なる時点に於ける１サイクル滑り窓が示されている。その後、T_s^1で、擾乱が検出され、誤差の自乗の和の中のスパイクとして反映する。このような擾乱状態が検出された時、滑り窓の初期設定をやり直す。新しい窓T_s^1（１つのフェーズレットだけを含む）が始まり、それまでのフェーズレット情報を全く含まない。新しいサンプル及びフェーズレットが計算されるに連れて、新しい窓が拡大する。例えば、次のフェーズレットが計算された後、新しい窓T_s^2は２つのフェーズレットを含む。１サイクル窓が形成されるまで、新しく計算されるフェーズレットと共に窓が拡

大し続ける。１サイクル窓が形成された時点で、新しい項を加算し、一番古い項を抜取ることにより、窓が再び滑り始める。
誤差の自乗の和は敏感な擾乱検出表示子である。正相電流、逆相電流又は接地電流の閾値より高い大きさ、或いは正相電流、逆相電流、零相電流又は負荷電流の変化のようなこの他の起り得る擾乱状態を監視し、それぞれの閾値に対して比較して、希望する場合、誤差の自乗の和の計算の他に、擾乱を検出することができる。
それ自体では、ノルム２の式（３２）はサンプル誤差の自乗の和を表すに過ぎない。更に役に立つ量は、サンプルの標準偏差の推定値である。

(33) $$\sigma_n = \sqrt{\frac{E_n^2}{W}}$$

ここでＷはサンプル数で表した窓の寸法である。可変の窓に対する分散マトリクスは次の式で表される。

(34)
$$\begin{bmatrix} C_{RR(n,W)} & C_{RI(n,W)} \\ C_{IR(n,W)} & C_{II(n,W)} \end{bmatrix} = \sigma_n^2 \cdot \left(\begin{bmatrix} T_{RR(n,W)} & T_{RI(n,W)} \\ T_{IR(n,W)} & T_{II(n,W)} \end{bmatrix} \right) = \frac{E_n^2}{W} \cdot \left(\begin{bmatrix} T_{RR(n,W)} & T_{RI(n,W)} \\ T_{IR(n,W)} & T_{II(n,W)} \end{bmatrix} \right)$$

ここで、T_{RR}（ｎ，Ｗ）、T_{RI}（ｎ，Ｗ）、T_{IR}（ｎ，Ｗ）、及びT_{II}（ｎ，Ｗ）は式（２１）－（２３）によって定義されており、C_{RR}＝フェーザの実数部の誤差の自乗の予想値、C_{RI}＝C_{IR}＝実数部及び虚数部の誤差の積の予想値、C_{II}＝フェーザの虚数部分の誤差の自乗の予想値である。フェーザ測定に於ける分散マトリクスは、サンプルの偏差の自乗と前に示した変換マトリクスとを乗じたものである。このマトリクスは一般的に楕円不確実さ領域を記述するが、半サイクルの整数倍の窓では、対角線から外れた項はゼロであり、実数及び虚数要素は同じである。厳密に言うと、フェーザ測定の不確実さは、完全なマトリクスで評価すべきである。しかし、最悪の場合の状態を考えれば、計算を簡単にすることができる。フェーザが特定の位相角を持った場合、それは不確実さの大きさを最大にする。
上に述べたことは、３相データの通信及び解析に関係する。例えば、９６００ボー・システムの場合のように、利用し得るボーが少ない時、３相全部の１サイクル毎に１回だけ、各々の端子の正相電流フェーザ及び分散マトリクス情報を伝送することができる。正相電流を計算する時に各相電流に乗ずる係数の大きさは１／３であり、従って、正相電流の正味の分散は、各相に対する分散パラメータの和の１／９倍である。
正相電流は伝送する為に好ましいパラメータであるが、この代りに零相電流又は逆相電流の何れかを使っても良い。零相（I_0）、正相（I_+）及び逆相（I_-）電流は次のように計算することができる。

(34a) $$I_O = (1/3)*(I_A + I_B + I_C)$$

(34b) $$I_+ = (1/3)*(I_A + e^{j2\ /3} I_B + e^{j4\ /3} I_C)$$

(34c) $$I_- = (1/3)*(I_A + e^{j4\ /3} I_B + e^{j2\ /3} I_C)$$

ここでI_A、I_B及びI_Cは、測定された各相電流から得られる電流フェーザを表す。
自乗の正相の和E_+は、各相の自乗の和（E_A、E_B、E_C）から次のように計算することができる。

(34d) $$E_+ = 1/9\ (E_A^2 + E_B^2 + E_C^2).$$

従って、分散マトリクスの各項（C_{RR+}、C_{RI+}、C_{IR+}、C_{II+}）は、個別の相Ａ、Ｂ、Ｃに対する分散マトリクスの項から計算することができる。

(34e) $$C_{RR+} = 1/9(C_{RR}(n,W,A) + C_{RR}(n,W,A) + C_{RR}(n,W,A))$$

(34f) $$C_{RI+} = C_{IR+} = 1/9(C_{RI}(n,W,A)+C_{RI}(n,W,A)+C_{RI}(n,W,A))$$

(34g) $$C_{II+} = 1/9(C_{II}(n,W,A) + C_{II}(n,W,A)_{B} + C_{II}(n,W,A))$$

解析の為、各々の端子から正相電流及び３つの分散パラメータを伝送することができる。

距離継電器の到達範囲（ｒｅａｃｈ）

第５図は、端子７６及び８２、電流センサ７４及び８４、電圧センサ７８及び８６、及びプロセッサ８０及び８８を含む距離継電器の回路図である。従来の距離継電器は、線路の１端の電圧及び電流を測定して、線路の長さに比例する実効インピーダンスを計算することによって動作する。従来の距離継電器の使い方及び方式が、例えば、ファドキ及びソープの著書「電力系統の計算機継電器作用（Ｃｏｍｐｕｔｅｒ Ｒｅｌａｙｉｎｇ ｆｏｒ Ｐｏｗｅｒ Ｓｙｓｔｅｍｓ）」（リサーチ・スタディズ・プレス・リミテッド及びジョン・ワィリー・アンドサンズ・インコーポレーテッド、１９８８年）に記載されている。

線路長インピーダンスは短絡状態で決定することができる。実効インピーダンスを使って故障地点を決定する為に、到達範囲（線路長インピーダンスの百分率）を設定し、実効インピーダンスを到達範囲と比較し、実効インピーダンスが到達範囲より小さい場合、故障状態を宣言する。従来の電力系統インピーダンス継電器は、第１区間継電器に対する到達範囲が、典型的には、電力系統の各量の基本となる測定値の不確実さを見込んで、線路全長インピーダンスの８０－９０％未満に設定されている。

しかし、実際の不確実さは時間と共に変化する。従来のインピーダンス継電器が、基本となる測定値が時間と共に変化する性質を持つことを認識していないので、感度及び保安性がそれほどでないことがある。例えば、継電器の過渡的な始動期間の間、到達範囲を小さくするのが適切であり、不確実さが小さい期間の間、到達範囲を９０％より大きくするが望ましいことがある。

本発明では、式（３３）によって決定される特定の標準偏差σ_nに対し、公称到達範囲内の偏差Δ_n（不確実さ）は次の式で表される。

(35) $$\Delta_n = \sigma_n \cdot \sqrt{\frac{2}{W - \dfrac{\sin\left(\dfrac{2\cdot\pi\cdot W}{N}\right)}{\sin\left(\dfrac{2\cdot\pi}{N}\right)}}}$$

この偏差は次の式によって正規化することができる。

(35a) $$\Delta_{normalized} = \sqrt{\frac{\sigma_V^2}{V^2} + \frac{\sigma_I^2}{I^2}} \cdot \sqrt{\frac{2}{W - \dfrac{\sin\left(\dfrac{2\cdot\pi\cdot W}{N}\right)}{\sin\left(\dfrac{2\cdot\pi}{N}\right)}}}$$

$$= \sqrt{\frac{E_V^2}{W\cdot V^2} + \frac{E_I^2}{W\cdot I^2}} \cdot \sqrt{\frac{2}{W - \dfrac{\sin\left(\dfrac{2\cdot\pi\cdot W}{N}\right)}{\sin\left(\dfrac{2\cdot\pi}{N}\right)}}}$$

ここで、$\Delta_{normalized}$は正規化した偏差であり、σ_Vは、電圧Ｖの標準偏差であり、σ_Iは電流Ｉの標準偏差であり、E_Vは対応する実数及び虚数フェーザを表す相電圧サンプルと当てはめた正弦波との間の誤差の自乗の和であり、E_Iは対応する実数及び虚数フェーザを表す相電流サンプルと当てはめた正弦波との間の誤差の自乗の和である。

正規化した偏差に（標準偏差の数のような）信頼区間に関係する係数及び想定した誤差の分布を乗じて、不確実さの百分率を求めることができる。係数は、１例として４である。不確実さの百分率を１から差引いて、その結果に公称到達範囲を乗ずれば、調節された到達範囲が得られる。調節された到達範囲に予定の線路インピーダンスを乗じて、実効インピーダンスと比較する為の調節されたインピーダンスの値が得られる。

<u>差分システムの故障の重大さ</u>

通常、全ての端子からの電流フェーザの和は各相に対してゼロである。その相に対する各々の端子からの電流フェーザの和が、統計的な解析に基づいて、その相に対するダイナミックな楕円拘束境界の外側になる時、この相に対する故障が検出される。故障の重大さ（Ｓｅｖｅｒｉｔｙ）は、下に示すように、共分散パラメータ及び各相に対する電流フェーザの和から計算される。

$$Severity = PhasorReal^2 \cdot \sqrt{\frac{C_{II}}{C_{RR}}} - PhasorReal \cdot PhasorImaginary \cdot 2 \cdot \frac{C_{RI}}{\sqrt{C_{RR} \cdot C_{II}}} + PhasorImaginary^2 \cdot \sqrt{\frac{C_{RR}}{C_{II}}} - 18 \cdot Restraint^2 \cdot \sqrt{C_{RR} \cdot C_{II}} \cdot \left(1 - \frac{C_{RI}^2}{C_{RR} \cdot C_{II}}\right) \quad (36)$$

ここで、Restraintは、継電器の感度を調節する従来の差分方式の勾配の設定と似た拘束乗数である。大抵の用途では、このパラメータに１の値が推奨される。拘束乗数を大きくすることは、一層大きな信頼区間を要求することと統計的に対応しており、感度を低下させる効果がある。拘束乗数を小さくすることは、信頼区間を緩和することに相当し、感度を高くする。従って、拘束乗数は用途によって調節されるものであり、これを使って感度と保安性の間の所望の釣合いを取る。

式（３６）は共分散マトリクスに基づいており、楕円拘束特性を定める。電流測定値の共分散が小さい時、拘束領域が収縮する。共分散が増加すると、測定の不確実さを反映して、拘束領域が大きくなる。計算された重大さは、測定された電流の和が故障を示す確率と共に増加する。

重大さの式の第２項は楕円の向きから生ずる。この式は、電力系統の状態に対して、楕円の寸法、形及び向きと共に適応する楕円拘束特性を定める。作動フェーザが楕円境界上にある時、計算された重大さはゼロであり、境界の内側では負であり、境界の外側では正である。拘束境界の外側では、計算された重大さは故障電流の自乗と共に大きくなる。拘束区域は、測定値の誤差の自乗と共に大きくなる。

随意選択により、重大さの式は、例えば、数サイクルの時定数を持つ単極低減フィルタを使って、フィルタリングすることができる。このようなフィルタは、高インピーダンス故障に対して精度を改善することができる。

<u>電力系統測定値のオンライン誤差推定</u>

オンライン誤差推定をここでは多端子伝送線路に関連して説明しているが、本発明が役立つこの他の用途としては、例えば、電動機の保護、転倒故障検出器のような制御及び診断装置、距離、変圧器、母線及び発電機継電器のような電力系統継電器、工業用保護装置及び駆動装置がある。

基本電力系統周波数の電圧及び電流の測定値の不確実さを決定する為、誤差が時間と共に

変化する性質であることを追跡するような形で、利用し得る情報からオンラインで誤差を推定する。更に、ディジタル・サンプリング回路で時たま故障が起る場合、悪いサンプルは排除する。この方式は広く用いることができ、例えば、継電器、計器、駆動装置及び遮断器のような制御、保護及び監視装置を含めて、電力系統の基本的な測定値を求める任意の場合に使うことができる。

この方法は、基本周波数の電圧又は電流のフェーザ推定値の不確実さを、時間的に変化する共分散マトリクスと共に２変数ガウス形確率分布を用いて特徴づける。これは、個々の原因が、厳密に言うと、ガウス型でなくても、誤差の種々の原因の正味の影響に対する良い近似である。共分散マトリクスが誤差の各々の原因に対して計算される。次に、全ての原因に対するマトリクスを加算することにより、正味の共分散マトリクスが計算される。正味の共分散マトリクスを使って、電圧又は電流から導き出された任意のパラメータの計算の不確実さを特徴づけることができる。

誤差の典型的な原因は、電力系統の雑音、過渡状態、線路充電電流、電流センサの利得、位相及び飽和誤差、クロック誤差及び非同期的なサンプリングがある。場合によっては、センサの位相角応答の誤差並びに非同期的なサンプリングによる誤差のようなある種の誤差は、他の手段によってゼロにすることができる。制御することができない誤差に対しては、各相に対し、誤差の各々の原因に対し、共分散マトリクスを計算する。各々の原因からのマトリクスを加算することにより、各相に対する全体の共分散マトリクスを計算する。本発明は種々の誤差の原因を次のように取扱う。

システムは、電力系統の雑音、高調波及び過渡状態が原因で起る誤差の共分散マトリクスを計算する。これらの誤差が起るのは、電力系統の電流が必ずしも正確に正弦状でないからである。こういう誤差の強さは時間と共に変化し、例えば故障状態、切換え動作又は負荷の変動の間大きくなる。システムは、こういう誤差を各々のフェーザの実数及び虚数部のガウス分布として取扱い、標準偏差は、データ・サンプルと、それに当てはめる為に使われる正弦関数との間の差の自乗の和から推定される。この誤差は周波数スペクトルを有する。変流器の飽和が雑音及び過渡的な誤差と共に含まれる。

電流差分の解析にとって、雑音、高調波、過渡状態及び変流器の飽和に対する共分散マトリクスを計算する好ましい方法は、フェーズレットから計算するものである。データ・サンプルの誤差の自乗の和が、式（３２）を使って、各々の時間ステップｎに於ける各々の端子に対する各相の自乗の和情報、フェーズレット及びフェーザから計算される。次に共分散マトリクスが、式（３４）を使って、時間インデックス及び窓の寸法の関数として計算される。

この共分散マトリクスは、各々の端子の各相に対して別々に計算される。この誤差の原因によるある相に対する合計の共分散は、その相に対する各端子からの共分散マトリクスの和である。

誤差の別の原因は、線路の充電に関連する誤差電流の６０Ｈｚ成分である。この誤差電流は、送電線路の静電容量に対して供給しなければならない電荷から生ずる。充電電流Ichargeの大きさは、送電経路の長さと共に増加する。予じめ充電電流が考慮されていなかった場合、この誤差の原因を評価すべきである。線路の充電に対する一定の共分散マトリクスは次の通りである。

$$(37)\quad \begin{bmatrix} C_{RR(n)} & C_{RI(n)} \\ C_{IR(n)} & C_{II(n)} \end{bmatrix} = \frac{Icharge^2}{9} \cdot \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right)$$

誤差の別の原因は、電流センサ自体である。こういう誤差は、利得及び位相角誤差が、測定された電流の関数であるのが特徴である。位相角誤差による共分散マトリクスは次のように計算される。

(38)

$$\begin{bmatrix} C_{RR(n)} & C_{RI(n)} \\ C_{IR(n)} & C_{II(n)} \end{bmatrix} = \frac{\Delta\phi^2}{9} \cdot \left(\begin{bmatrix} PhasorImaginary_n^2 & -PhasorReal_n \cdot PhasorImaginary_n \\ -PhasorReal_n \cdot PhasorImaginary_n & PhasorReal_n^2 \end{bmatrix} \right)$$

ここで、Δφは最大残留位相誤差（それぞれの電流センサの設計定数）である。各相に対するこの誤差原因に対する合計の共分散マトリクスは、その相に対する各端子の共分散マトリクスの和である。電流フェーザの虚数成分が、共分散マトリクスの実数成分に寄与し、その逆にもなるが、これは位相角誤差が、そのフェーザに対して垂直なフェーザに誤差を生ずるからである。

センサの利得誤差による共分散マトリクスは次のように計算することができる。

(39)

$$\begin{bmatrix} C_{RR(n)} & C_{RI(n)} \\ C_{IR(n)} & C_{II(n)} \end{bmatrix} = \frac{\Delta g^2}{9} \cdot \left(\begin{bmatrix} PhasorImaginary_n^2 & PhasorReal_n \cdot PhasorImaginary_n \\ PhasorReal_n \cdot PhasorImaginary_n & PhasorReal_n^2 \end{bmatrix} \right)$$

ここで、Δｇは最大残留利得誤差（それぞれの電流センサの設計上の定数）である。

最大残留位相及び利得誤差が大体等しければ、位相及び利得誤差に対する正味の共分散マトリクスは次のように書くことができる。

(39a)

$$\begin{bmatrix} C_{RR(n)} & C_{RI(n)} \\ C_{IR(n)} & C_{II(n)} \end{bmatrix} = \frac{\Delta^2}{9} \cdot \left(\begin{bmatrix} PhasorReal_n^2 + PhasorImaginary_n^2 & 0 \\ 0 & PhasorReal_n^2 + PhasorImaginary_n^2 \end{bmatrix} \right)$$

ここで、Δは最大残留誤差である。

単一勾配百分率拘束特性のように、位相及び利得誤差に関係する従来の特性に相当する拘束境界を定めるには、各々の端子に対する共分散パラメータを計算する時、端子の数を考慮に入れなければならない。マトリクスは次のように書くことができる。

(39b)

$$\begin{bmatrix} C_{RR(n)} & C_{RI(n)} \\ C_{IR(n)} & C_{II(n)} \end{bmatrix} = \frac{slope^2}{18 \cdot terminals} \cdot \left(\begin{bmatrix} PhasorReal_n^2 + PhasorImaginary_n^2 & 0 \\ 0 & PhasorReal_n^2 + PhasorImaginary_n^2 \end{bmatrix} \right)$$

ここで、slopeは従来の百分率勾配の設定値を表し、terminalsはシステム内の端子の数を表す。

２重勾配拘束を使う場合、位相及び利得誤差による共分散パラメータは次の方式を使って計算することができる。最初に、フェーザの絶対値（PhasorAbs）を計算する。

(39c)

$$PhasorAbs = \sqrt{PhasorReal^2 + PhasorImaginary^2}$$

PhasorAbsが、勾配が変化する電流（Currentl）より小さい場合、マトリクスは次のように計算される。

(39d)
$$\begin{bmatrix} C_{RR(n)} & C_{RI(n)} \\ C_{IR(n)} & C_{II(n)} \end{bmatrix} = \frac{slope1^2}{18 \cdot terminals} \cdot \left(\begin{bmatrix} PhasorAbs^2 & 0 \\ 0 & PhasorAbs^2 \end{bmatrix} \right)$$

ここで、slope1は、Current1より小さい電流に対する２重勾配拘束の勾配である。

PhasorAbsがCurrent1より大きいか又はそれに等しい場合、マトリクスは次のように計算される。

(39e)
$$C_{RI(n)} = C_{IR(n)} = 0$$
$$C_{RR(n)} = C_{II(n)} = \frac{\left(slope1 \cdot Current1 + slope2 \cdot (PhasorAbs - Current1)\right)^2}{18 \cdot terminals}$$

ここで、slope2は、Current1より大きいか又はそれに等しい電流に対する２重勾配拘束の勾配である。

誤差の考えられる別の原因は、非同期的なサンプリングである。これは小さな誤差であって、電力系統の周波数に於ける１サイクル当りのデータ・サンプルの数が正確に整数でない場合にフェーザの計算に生ずる。前に述べたように、サンプリングを電力系統の周波数の同期させることにより、この誤差を避けることができる。

各々の共分散マトリクスを加算した時、合計の共分散マトリクスが楕円拘束領域を限定し、故障の重大さの式（３６）に使うことができる。

変圧器の保護

第６図は巻線９０及び９２を持つ変圧器の回路図で、それぞれの電流センサ９４及び９６がプロセッサ９８に電流データを供給する。結合領域９３に向う向きの１次巻線の電流を$Ｉ_1$で表し、結合領域に向う向きの２次巻線の電流を$Ｉ_2^A$で表す。結合領域から遠ざかる向きの２次巻線の電流は$Ｉ_2^B$で表す。この場合、$Ｉ_2^A＝－Ｉ_2^B$である。

単なる例として、単相の実施例を示してある。典型的には３相変圧器が使われる。更に、巻線２つの変圧器を示してあるが、この他の種類の多重巻線変圧器も使うことができる。

差動変圧器保護方式は、正常な状態では、各々の巻線に対するアンペア・ターンの全部の巻線に亘る和が変圧器の磁化電流に等しい（小さい量であるのが普通である）ことに頼っている。和がゼロに等しくないので、拘束信号が必要である。

差動保護方式は、作動信号を拘束信号と比較することによって作用する。本発明の方法では、作動信号が、保護される変圧器の１次巻線及び２次巻線の逆相電流の差から取出される。拘束信号は、測定誤差の原因のオンラインでの計算に基づいている。前に述べた適応形の手順では、拘束領域は楕円であって、可変の長軸、短軸及び向きを持っている。楕円のパラメータが、電流測定の精度を最も良く利用する為に、時間と共に変化する。

送電線路について前に述べたように、各々の巻線の各相電流を測定し、式（２４）について述べた方式により減衰するオフセットを除くことができる。次に、式（２５）－（２７）について述べたようにフェーズレットを計算することができ、式（２８）－（２９）又は（２０）－（２３）について述べたように、フェーザを計算することができる。

１実施例では学習段階が、１９９６年４月１日にプリマーラニ他によって出願され、出願人に譲渡された米国特許出願番号第０８／６１７，７１８号に記載されている方法を用いる。この方法では、基本フェーザの対称分変換を使って対称分電流及び電圧フェーザを求めることにより、正相電圧フェーザ及び正相電流フェーザに関係する残留注入逆相電流の関数を決定する。学習残留電流は、例えば、１次巻線の逆相電流フェーザを２次巻線の逆相電流から減算することによって測定することができ、正相電圧及び電流の対応する値を監視して、関数を決定することができる。２つの巻線のどちらの正相電圧及び電流を監視しても良い。

保護段階の動作の間、保護残留電流は、結合領域９３から遠ざかる向きの一方の巻線の逆相電流フェーザを計算すると共に、それを結合領域に向う向きの他方の巻線の逆相電流フェーザから減算する（又は同じことであるが、結合領域に向う向きの２つの逆相電流フェーザを加算する）ことによって決定することができる。対応する学習残留電流フェーザを

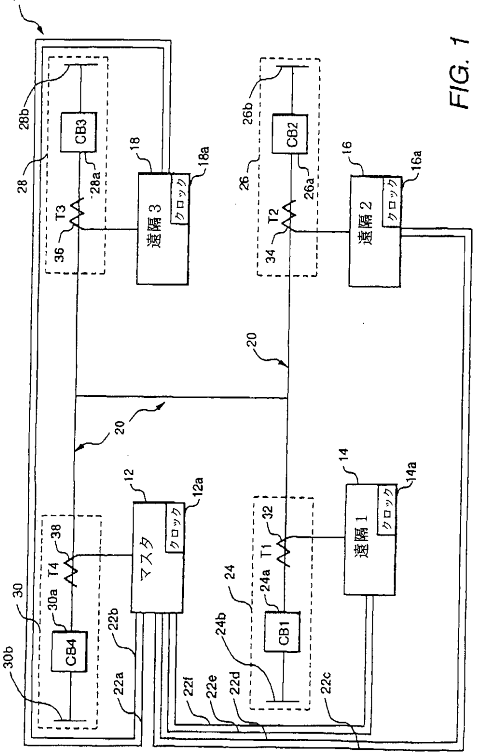
保護残留電流フェーザから減算し、その結果得られたフェーザは、楕円拘束領域との比較に使う。

２つより多くの巻線を持つ変圧器を使う時、結合領域９３に向う向きの全ての逆相電流フェーザを加算することにより、保護残留電流を決定することができる。

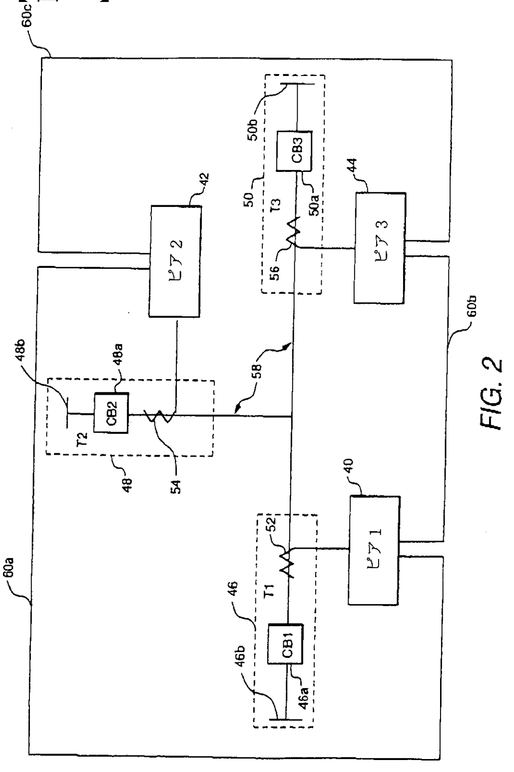
動作の間、各々の巻線の電流サンプルからフェーズレットの和を決定することができ、共分散マトリクスに関係する前掲の式（３４）及び（３７）－（３９）を使って測定誤差の原因からの楕円拘束領域を計算し、こうして変圧器を保護する為に、突入電流及び過励時に対して有効に全体的な高調波の拘束を適用することができる。その結果得られたフェーザが拘束領域内に入れば、故障が存在しない。この結果得られたフェーザが拘束領域の外に出れば、故障が存在する。あまり考えられないが、この結果得られたフェーザが正に拘束領域の薄い境界上に来れば、故障が存在するかどうかは不確かである。この場合、任意に故障を宣言することができる。故障が存在するか宣言された場合、フィルタ・プロセスを使って、回路を引き外すかどうかを決定することができる。

本発明のある好ましい特徴だけを図面に示して説明したが、当業者には色々な変更が考えられよう。従って、請求の範囲は、本発明の範囲内に属するこのような全ての変更を包括するものであることを承知されたい。

【図１】



【図２】



【図３ａ】

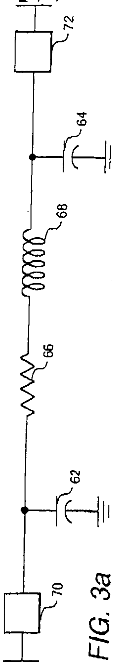


FIG. 3a

【図３ｂ】

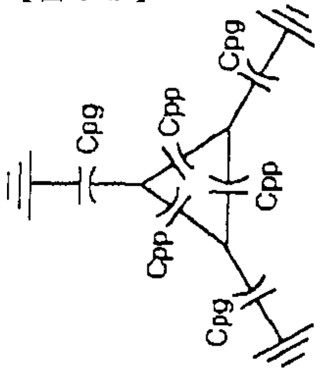


FIG. 3b

【図５】

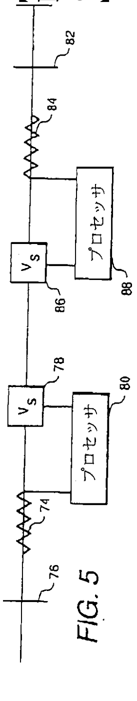


FIG. 5

【図６】

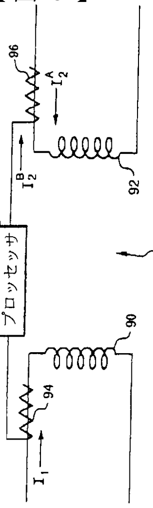


FIG. 6

【図４】

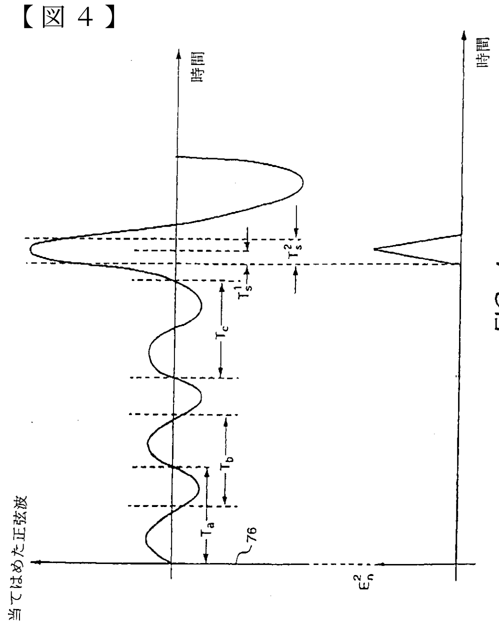


FIG. 4

フロントページの続き

(72)発明者　プレマーラニ，ウィリアム・ジェイムズ
アメリカ合衆国、１２３０２、ニューヨーク州、スコティア、ウッドヘイヴァン・ドライブ、１３３番
(72)発明者　ソールニアー，エミリー・ソーブジョーグ
アメリカ合衆国、１２１４８、ニューヨーク州、レックスフォード、シュガーヒル・ロード、ディー１９９
(72)発明者　ヤージシ，バーセン
アメリカ合衆国、１２０６５、ニューヨーク州、クリフトン・パーク、イーストウッド・ドライブ、１７２シー

審査官　杉田　恵一

(56)参考文献　特開昭５８－１８６３２６（ＪＰ，Ａ）
特開昭６２－１６００２９（ＪＰ，Ａ）
特開平８－１１０８３８（ＪＰ，Ａ）
米国特許第４３２９７２７（ＵＳ，Ａ）
米国特許第４３９８２５５（ＵＳ，Ａ）
米国特許第４７１５０００（ＵＳ，Ａ）
米国特許第５４４６３８７（ＵＳ，Ａ）
米国特許第５５１４９７８（ＵＳ，Ａ）
米国特許第５５３７３２７（ＵＳ，Ａ）
米国特許第５７８６７０８（ＵＳ，Ａ）
国際公開第９６／１２９６９（WO，Ａ１）
David L. Mills, Internet Time Synchronization: The Network Time Protocol, IEEE Transactions on Communications, 米国, IEEE, １９９１年１０月, Vol.39, No.10, p.1482-1493
J. M. Kennedy, G. E. Alexander, J. S. Thorp, Variable Digital Filter Response Time in a Digital Distance Relay, 20th Annual Western Protective Relaying Conference, 米国, １９９３年１０月
M. G. Adamiak, G. E. Alexander, W. Premerlani, Advancements in Adaptive Algorithms for Secure High Speed Distance Protection, 23rd Annual Western Protective Relaying Conference, 米国, １９９６年１０月

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
G01R 19/25
G06F 1/12
H02H 3/28
H02H 7/045
H02H 7/26