

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-204367  
(P2005-204367A)

(43) 公開日 平成17年7月28日(2005.7.28)

|                            |                |             |
|----------------------------|----------------|-------------|
| (51) Int. Cl. <sup>7</sup> | F I            | テーマコード (参考) |
| HO2H 3/48                  | HO2H 3/48 D    | 2G030       |
| GO1R 25/00                 | GO1R 25/00     | 5G047       |
| HO2H 3/26                  | HO2H 3/26 3O2S | 5G058       |

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2004-5917(P2004-5917)  
(22) 出願日 平成16年1月13日(2004.1.13)

(71) 出願人 502398403  
ティーエム・ティーアンドディー株式会社  
東京都港区虎ノ門三丁目12番1号  
(74) 代理人 100057874  
弁理士 曾我 道照  
(74) 代理人 100110423  
弁理士 曾我 道治  
(74) 代理人 100084010  
弁理士 古川 秀利  
(74) 代理人 100094695  
弁理士 鈴木 憲七  
(74) 代理人 100111648  
弁理士 梶並 順

最終頁に続く

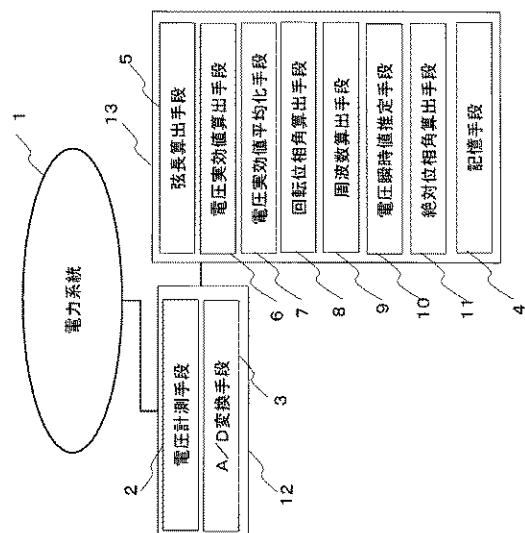
(54) 【発明の名称】 同期フェーザ測定装置

(57) 【要約】

【課題】連続的な数値安定性に優れた同期フェーザの絶対位相角をノイズ等の多い電力系統で高精度・高速に測定できる同期フェーザ測定装置を提供する。

【解決手段】同期フェーザ測定装置は、基準波の1周期の4N(Nは正の整数)分の1の周期で電力系統の電圧を計測する電圧計測手段と、電力系統の電圧を計測した各タイミングにおいて、自らのタイミングを含む、自らのタイミングから過去の4N個のタイミングでの計測された電圧から自らのタイミングの電圧実効値を求める電圧実効値算出手段と、電力系統の電圧を計測した各タイミングにおいて、自らのタイミングでの計測された電圧を電圧実効値と2の平方根との積で除した値の逆余弦を自らのタイミングの同期フェーザの絶対位相角とする絶対位相角算出手段と、を有する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基準波の 1 周期の  $4N$  ( $N$  は正の整数) 分の 1 の周期で電力系統の電圧を計測する電圧計測手段と、

上記電圧を計測した各タイミングにおいて、自らのタイミングを含む過去の  $4N$  個のタイミングにおける計測された上記電圧から自らのタイミングにおける電圧実効値を求める電圧実効値算出手段と、

## 【数 1】

$$\beta = \cos^{-1} \left\{ \frac{v_{re}}{\sqrt{2V}} \right\}$$

(但し、 $\beta$  は絶対位相角、 $v_{re}$  は自らのタイミングにおける計測された電圧、 $V$  は自らのタイミングにおける算出された電圧実効値)

に従って上記各タイミングにおける同期フェーザの絶対位相角を算出する絶対位相角算出手段と、

を有することを特徴とする同期フェーザ測定装置。

## 【請求項 2】

基準波の 1 周期の  $4N$  ( $N$  は正の整数) 分の 1 の周期で電力系統の電圧を計測する電圧計測手段と、

上記電圧を計測した各タイミングにおいて、自らのタイミングを含む過去の  $4N$  個のタイミングにおける計測された上記電圧から自らのタイミングにおける電圧実効値を求める電圧実効値算出手段と、

上記各タイミングにおいて、自らのタイミングにおける算出された上記電圧実効値とこれに先立つ少なくとも 1 つのタイミングにおける算出された上記電圧実効値との平均値を自らのタイミングにおける電圧実効値平均値とする電圧実効値平均化手段と、

## 【数 2】

$$\beta = \cos^{-1} \left\{ \frac{v_{re}}{\sqrt{2V_{ave}}} \right\}$$

(但し、 $\beta$  は絶対位相角、 $v_{re}$  は自らのタイミングにおける計測された電圧、 $V_{ave}$  は自らのタイミングにおける算出された電圧実効値平均値)

に従って上記各タイミングにおける同期フェーザの絶対位相角を算出する絶対位相角算出手段と、

を有することを特徴とする同期フェーザ測定装置。

## 【請求項 3】

基準波の 1 周期の  $4N$  ( $N$  は正の整数) 分の 1 の周期で電力系統の電圧を計測する電圧計測手段と、

上記電圧を計測した各タイミングにおいて、自らのタイミングを含む過去の  $4N$  個のタイミングにおける計測された上記電圧から自らのタイミングにおける電圧実効値を求める電圧実効値算出手段と、

上記各タイミングにおいて、自らのタイミングにおける算出された上記電圧実効値とこれに先立つ少なくとも 1 つのタイミングにおける算出された上記電圧実効値との平均値を自らのタイミングにおける電圧実効値平均値とする電圧実効値平均化手段と、

上記各タイミングにおいて、自らのタイミングにおける計測された上記電圧を複素数平

面上の実数部とし、該自らのタイミングに対し電気角度として90度遅れたタイミングにおける計測された上記電圧を複素数平面上の虚数部とした点に向けた電圧回転ベクトルを求め、自らのタイミングにおける求められた上記電圧回転ベクトルの先端と該自らのタイミングの1つ前のタイミングにおける上記電圧回転ベクトルの先端とを結ぶ弦の弦長を算出する弦長算出手段と、

上記各タイミングにおいて、自らのタイミングを含む過去の4N個のタイミングにおける算出された上記弦長を加算し、上記弦長の加算値と上記電圧実効値平均値とに基づき、自らのタイミングにおける上記電圧回転ベクトルと自らのタイミングより基準波の1周期前のタイミングにおける上記電圧回転ベクトルとの位相角を算出する回転位相角算出手段と、

上記各タイミングにおいて、算出された上記位相角から上記電力系統の周波数を算出する周波数算出手段と、

上記各タイミングにおいて、自らのタイミングにおける算出された上記周波数から電圧回転ベクトルの角速度を求め、自らのタイミングを含む過去の4N個のタイミングにおける計測された上記各電圧を

【数3】

$$v_{re} = P_1 \cos \omega t + P_2 \sin \omega t$$

(但し、 $v_{re}$ は自らのタイミングを含む過去の4N個のタイミングにおける計測された各電圧、 $\omega$ は自らのタイミングにおける求められた角速度、 $P_1$ と $P_2$ は自らのタイミングにおける係数)

に従って展開し、自らのタイミングを含む過去の4N個のタイミングの上記係数から最小自乗法を用いて自らのタイミングにおける係数推定値を求め、上記係数推定値から

【数4】

$$v_{re\_est} = P_{1est} \cos \omega t + P_{2est} \sin \omega t$$

(但し、 $v_{re\_est}$ は自らのタイミングにおける推定された電圧実数瞬時推定値、 $P_{1est}$ と $P_{2est}$ は自らのタイミングにおける推定された係数推定値)

に従って自らのタイミングにおける電圧実数瞬時推定値を推定する電圧瞬時値推定手段と、

【数5】

$$\beta = \cos^{-1} \left\{ \frac{v_{re\_est}}{\sqrt{2}V_{avr}} \right\}$$

(但し、 $\beta$ は絶対位相角、 $v_{re\_est}$ は自らのタイミングにおける推定された電圧実数瞬時推定値、 $V_{avr}$ は自らのタイミングにおける算出された電圧実効値平均値)

に従って上記各タイミングにおける同期フェーズの絶対位相角を算出する絶対位相角算出手段と、

を有することを特徴とする同期フェーズ測定装置。

【請求項4】

電力系統安定化保護装置、電力系統長周期動揺制御装置および電力系統脱調検出継電保護装置のいずれか1つに備えられたことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記

載の同期フェーザ測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、電力系統の同期フェーザを測定する同期フェーザ測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

電力系統からの電気量を高精度、高速に算出する同期フェーザ測定装置は、1周期当たりN回のサンプリングタイミングで計測された電圧瞬時値 $V_k$  ( $k = 1$  から  $N$ ) を用いて電圧フェーザ $V$ を式(1)に基づいて求める。なお、この式(1)において $\theta$ はサンプリング角度である。そして、式(2)から同期フェーザの絶対位相角 $\theta_v$ を求める(例えば、非特許文献1参照。)

10

【0003】

【数1】

$$V = \frac{\sqrt{2}}{N} \left\{ \sum_{k=1}^N V_k \cdot \sin(k\theta) + j \sum_{k=1}^N V_k \cdot \cos(k\theta) \right\} \quad \dots(1)$$

$$\theta_v = \tan^{-1} \left\{ \frac{\text{Im}(V)}{\text{Re}(V)} \right\} \quad \dots(2)$$

【0004】

【非特許文献1】関口、外5名、「ネットワーク形保護制御システムの検討」、電気学会論文誌B、電気学会、2003年9月、Vol.123、No.9、p.1030-1039

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、従来の同期フェーザ測定装置は、絶対位相角 $\theta_v$ が電圧フェーザの実数部と虚数部とから正接関数を用いて求められるので、絶対位相角 $\theta_v$ がマイナス180度から零度、さらに零度からプラス180度へ変化する。そして、さらに絶対位相角 $\theta_v$ がプラス180度からマイナス180度へ不連続に変化するので、連続性がなくなるとともに数値安定性が悪いという問題があった。

また、1サイクルの間の瞬時値を平均化して電圧実効値を求めているが、測定対象の周波数が基準周波数と異なる場合、正しく測定対象の電圧実効値と絶対位相角を測定することができない。特に、電力系統に事故が発生したときには周波数が大きく変動するので、測定精度が悪く、緊急に必要な系統保護制御に同期フェーザをそのまま使用することができないという問題があった。

40

また、高調波成分の重畳や瞬時的な電圧の低下などによる電圧波形ノイズが絶対位相角の測定結果に影響してしまうという問題があった。

【0006】

この発明の目的は、連続的な数値安定性に優れた同期フェーザの絶対位相角をノイズ等の多い電力系統で高精度・高速に測定できる同期フェーザ測定装置を提供することである。

50

【課題を解決するための手段】

【0007】

この発明に係わる同期フェーザ測定装置は、基準波の1周期の4N（Nは正の整数）分の1の周期で電力系統の電圧を計測する電圧計測手段と、上記電圧を計測した各タイミングにおいて、自らのタイミングを含む過去の4N個のタイミングでの計測された上記電圧から自らのタイミングにおける電圧実効値を求める電圧実効値算出手段と、下記式（3）に従って上記各タイミングにおける同期フェーザの絶対位相角を算出する絶対位相角算出手段と、を有する。

【0008】

【数2】

10

$$\beta = \cos^{-1} \left\{ \frac{v_{re}}{\sqrt{2V}} \right\} \quad \dots (3)$$

但し、 $\beta$ は絶対位相角、 $v_{re}$ は自らのタイミングでの計測された電圧、 $V$ は自らのタイミングでの算出された電圧実効値とする。

20

【発明の効果】

【0009】

この発明に係わる同期フェーザ測定装置の効果は、余弦関数を使用して同期フェーザの絶対位相角が求められているので、絶対位相角が零度からプラス180度へ増加し、そこで反転して零度まで減少する。そのため、絶対位相角が常にプラス値であるとともに零度またプラス180度で連続的に変化するので、従来のような不連続な変化が見られないとともに変化量も小さいので、絶対位相角の数値安定性および連続性に優れている。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

実施の形態1。

30

図1は、この発明の実施の形態1に係わる同期フェーザ測定装置のブロック図である。

図2は、図1での同期フェーザ測定のプロローチャートである。

【0011】

同期フェーザ測定装置は、所定のタイミングごとに電力系統1の電圧実数瞬時値を計測する電圧計測手段2と、計測された電圧実数瞬時値をデジタルな電圧実数瞬時値に変換するA/D変換手段3と、デジタルな電圧実数瞬時値を記憶する記憶手段4と、所定のタイミングごとに隣接する電圧回転ベクトルの先端部間で形作る弦の長さを算出する弦長算出手段5と、電圧回転ベクトルから電圧実効値を算出する電圧実効値算出手段6と、算出された電圧実効値を所定の期間で平均化して電圧実効値平均値を算出する電圧実効値平均化手段7と、算出された弦の長さを所定の期間に亘って積分して回転位相角を算出する回転位相角算出手段8と、算出された回転位相角から電力系統の周波数を算出する周波数算出手段9と、デジタルな電圧実数瞬時値から最小自乗法を用いて電圧実数瞬時推定値を算出する電圧瞬時値推定手段10と、同期フェーザの絶対位相角を算出する絶対位相角算出手段11とを有する。

40

【0012】

電圧計測手段2とA/D変換手段3とは、デジタル電圧出力端子を有する電圧計12からなる。さらに、記憶手段4、弦長算出手段5、電圧実効値算出手段6、電圧実効値平均化手段7、回転位相角算出手段8、周波数算出手段9、電圧瞬時値推定手段10および絶対位相角算出手段11は、コンピュータ13によって構成されている。コンピュータ13は、CPU、RAM、ROMおよびインタフェース回路を有している。

50

また、各同期フェーザ測定装置は、GPSを用いてクロックの同期を取っている。

【0013】

以下の説明において、基準波の周波数  $f_0$  (Hz) は、50 Hz および 60 Hz を例にして説明するが、この周波数に限らない。基準波の1周期(秒)は、周波数  $f_0$  の逆数  $1/f_0$  である。

【0014】

さらに、電圧実数瞬時値を計測する時点(以下、タイミングと称す。)は、サンプリング周期を定めることにより決まる。サンプリング周期は基準波の1周期を  $4N$  ( $N$  は正の整数) 等分できる値であればよい。後述するように、電圧回転ベクトルの先端の座標として、90度遅れた時点での電圧実数瞬時値を用いるので、90度遅れた時点がタイミングの1つである必要がある。基準波の1周期は、電気角度で表して  $2\pi$  (ラジアン) である。例えば、基準波の電気角度  $\pi/6$ 、 $\pi/12$ 、 $\pi/24$ 、 $\pi/48$  などをサンプリング周期にあらかじめ設定する。

10

【0015】

次に、電力システムの同期フェーザ測定の手順について図2を参照して説明する。この説明では、基準波の周波数  $f_0$  は、50 Hz とし、基準波の1周期を12等分 ( $N=3$ ) できる  $\pi/6$  をサンプリング周期とする。刻み幅  $\Delta t$  (秒) は  $0.00166667$  秒となる。 $k$  は電圧計測タイミングの順番を表し、基準波の1周期では1から12となる。電圧計測タイミング  $k=1$  と  $k=2$  の間で基準波電気角度30度回転する。

【0016】

ステップ101で、電圧計測タイミング毎に、電圧計測手段2は測定対象の電力システムの電圧を計測する。電圧計測タイミングのうちの任意のタイミングを  $k$  で表す。このタイミングの1回前のタイミングを  $(k-1)$  で、次のタイミングは  $(k+1)$  で表すことができる。次に、A/D変換手段3は、アナログ信号である計測した電圧をデジタル電圧信号にA/D変換を行う。この値を記憶手段4に記憶する。図3に示すように、電力システムの電圧瞬時値  $v(k)$  を複素数平面上の原点0を中心に反時計方向に回転する電圧回転ベクトルで表現したとき、この計測した電圧は、式(4)で表される電圧実数瞬時値  $v_{re}(k)$  である。ここで、 $V$  は電圧実効値(ボルト)、 $\omega$  は電圧回転ベクトルの角速度(ラジアン/秒)、 $\phi_0$  は電圧初期回転位相角(ラジアン)である。 $\omega$  は、測定対象電力システムの周波数  $f$  との間に  $\omega = 2\pi f$  の関係を有する。

20

30

【0017】

【数3】

$$\begin{aligned} v(k) &= \sqrt{2}V e^{j(\omega t_k + \phi_0)} = \sqrt{2}V e^{j\left(\frac{\pi}{6}k + \phi_0\right)} \\ &= v_{re}(k) + jv_{im}(k) \\ &= \sqrt{2}V \cos\left(\frac{\pi}{6}k + \phi_0\right) + \sqrt{2}V \sin\left(\frac{\pi}{6}k + \phi_0\right) \\ &\quad \dots(4) \end{aligned}$$

【0018】

ステップ102で、弦長算出手段5は、電圧計測タイミングのそれぞれのタイミングにおいて、それぞれのタイミングで計測した電圧を複素数平面上の実数部とし、そのそれぞれのタイミングに対して電気角度として90度遅れた関係にあるタイミングで計測した電

50

圧を複素数平面上の虚数部とした点に向いたそれぞれのタイミングの電圧回転ベクトルを求める。次に、電圧計測タイミングのそれぞれのタイミングにおいて、それぞれのタイミングで求めた電圧回転ベクトルの先端とそれぞれのタイミングの1つ前のタイミングで求められた電圧回転ベクトルの先端とを結ぶ弦の長さを算出する。図4に示すように測定対象の電力システムの所定のタイミングの電圧回転ベクトルは、基準波の1周期の間、すなわち  $k = 0$  から  $k = 12$  の間に複素数平面内で反時計方向に位相角 (ラジアン) だけ回転する。次に、式(4)に示すように電圧瞬時値  $v(k)$  は、電圧実数瞬時値  $v_{re}(k)$  と電圧虚数瞬時値  $v_{im}(k)$  とからなる。この電圧虚数瞬時値  $v_{im}(k)$  は、式(5)に示すように電圧実数瞬時値  $v_{re}(k-3)$  に等しい。サンプリング周期を  $T/6$  とした場合は  $(k-3)$  のタイミングで計測した電圧であるが、例えば  $T/12$  とした場合は、 $(k-6)$  のタイミングで計測した電圧に相当する。このようにして、電圧回転ベクトルの先端の座標は、電圧実数瞬時値  $v_{re}(k)$ 、電圧虚数瞬時値  $v_{im}(k)$  で表すことができる。電圧虚数瞬時値  $v_{im}(k)$  は、該当する電圧実数瞬時値  $v_{re}(k-3)$  を記憶手段4から読み出すことにより得られる。このようにして、タイミング  $k$  と  $(k-1)$  でのそれぞれの電圧回転ベクトルの座標を求めることができるので、図5に示す電圧回転ベクトルの先端を結ぶ弦の長さ  $l(k)$  を式(6)によって求めることができる。

10

【0019】

【数4】

$$\begin{aligned} v_{im}(k) &= \sqrt{2V} \sin\left(\frac{\pi}{6}k + \phi_0\right) \\ &= \sqrt{2V} \cos\left(\frac{\pi}{6}k + \phi_0 - \frac{\pi}{2}\right) \quad \dots(5) \\ &= v_{re}(k-3) \end{aligned}$$

【0020】

【数5】

$$\Delta l(k) = \sqrt{\{v_{re}(k) - v_{re}(k-1)\}^2 + \{v_{im}(k) - v_{im}(k-1)\}^2} \quad \dots(6)$$

【0021】

ステップ103で、電圧実効値算出手段6が、電圧計測タイミングのそれぞれのタイミングにおいて、自らのタイミングを含む、自らのタイミングから過去の12個のタイミングで計測された電圧から、基準波の1周期の間の電圧実効値  $V(k)$  を式(7)から電圧実数瞬時値  $v_{re}$  を用いて算出する。

40

【0022】

【数 6】

$$V(k) = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \{v_{re}(k-12+i)\}^2} \quad \dots(7)$$

【0023】

ステップ104で、電圧実効値平均化手段7が、電圧計測タイミングのそれぞれのタイミングにおいて、自らのタイミングで算出された電圧実効値と自らのタイミングに先立つ11個のタイミングで算出した電圧実効値とから基準波の1周期の間の電圧実効値Vの平均値 $V_{ave}(k)$ を式(8)に従って算出する。自らのタイミングkでの電圧実効値の平均値 $V_{ave}(k)$ は、タイミング(k-11)から自らのタイミングkのそれぞれで求めた電圧実効値平均値である。図6に示すように、測定対象の電力系統の周波数が基準波の周波数と異なるとき、電圧実効値は実際の電圧実効値を中心に振動している。この振動の影響を取り除くために、平均化処理を行う。

10

【0024】

【数 7】

$$V_{ave}(k) = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} V(k-12+i) \quad \dots(8)$$

【0025】

平均化処理の時間が長いほど、電圧実効値の精度は向上するが、測定時間の短縮のために、基準波の1周期の間、この場合はサンプリング回数12回において求めた電圧実効値を用いて平均化処理を行う。このように電圧実効値を平均化すると図6に示すように測定対象の電力系統の周波数と基準波の周波数との違いの影響を除外することができる。

【0026】

ステップ105で、回転位相角算出手段8が、電圧計測タイミングのそれぞれのタイミングにおいて、自らのタイミングを含む、自らのタイミングから過去の12個のタイミングで算出した弦長を式(9)を用いて弦長合計 $L_{12}(k)$ を求める。次に、回転位相角算出手段8が、電圧計測タイミングのそれぞれのタイミングにおいて、図7に示すように自らのタイミングkと自らのタイミングより1つ前のタイミング(k-1)との間の回転位相角 $2\theta_k$ を式(10)に従って算出する。次に、電圧計測タイミングのそれぞれのタイミングにおいて、その回転位相角 $2\theta_k$ から自らのタイミングkにおける電圧回転ベクトルと自らのタイミングkより基準波の1周期前のタイミングの電圧回転ベクトルとの間の位相角 $\theta(k)$ を式(11)によって算出する。位相角 $\theta(k)$ は、電圧回転ベクトルが基準波1周期で回転した電気角度である。

30

【0027】

40



【数 8】

$$L_{12}(k) = \sum_{i=1}^{12} (\Delta l(k-12+i))$$

$$= \sum_{i=1}^{12} \sqrt{\{v_{re}(k-12+i) - v_{re}(k-13+i)\}^2 + \{v_{im}(k-12+i) - v_{im}(k-13+i)\}^2}$$

…(9)

$$\alpha_k = \sin^{-1} \left( \frac{\frac{L_{12}(k)}{24}}{\sqrt{2V_{ave}(k)}} \right) \quad \dots(10)$$

【0028】

【数 9】

$$\psi(k) = 24 \times \alpha_k \quad \dots(11)$$

【0029】

ステップ106で、周波数算出手段9は、電圧計測タイミングのそれぞれのタイミングにおいて、基準波の1周期の位相角 $2\pi$ と測定対象の位相角 $\psi(k)$ とから、測定対象の電力システムの周波数 $f(k)$ を式(12)を用いて算出する。 $f_0$ は基準波の周波数である。

【0030】

【数10】

$$f(k) = \frac{f_0}{2\pi} \times \psi(k) \quad \dots(12)$$

【0031】

ステップ107で、電圧瞬時値推定手段10が、電圧計測タイミングのそれぞれのタイミングにおいて、自らのタイミングでの電圧実数瞬時推定値を自らのタイミングを含む、自らのタイミングから過去の12個のタイミングで計測した電圧実数瞬時値 $v_{re}$ から最小自乗法を用いて求める。電圧実数瞬時値 $v_{re}(t)$ は、式(13)に示すように角速度と時間の積の正弦と余弦とで展開し、正弦と余弦のそれぞれの係数を $P_1$ と $P_2$ として書き直すことができる。そして、この係数 $P_1$ と $P_2$ の係数推定値 $P_{1est}$ と $P_{2est}$ を求め、それから電圧実数瞬時推定値を求めることができる。この係数推定値 $P_{1est}$ と $P_{2est}$ の推定に最小自乗法を用いる。角速度 $\omega$ は周波数 $f(k)$ より求められる。

自らのタイミング $k$ を含む、自らのタイミング $k$ から過去12個までのタイミングで計測した電圧を、式(13)に従い行列式表示すると、行列式(14)のように表すことができる。さらに、電圧実数瞬時値行列 $[v]$ 、三角関数行列 $[A]$ はそれぞれ行列式(15)、行列式(16)で表すことができる。また、サンプリングタイミング時刻行列は、行列式(17)で表すことができる。 $t$ は計算刻みであり、基準波が50Hzで、1周

期を12等分するときは0.0016667sであり、基準波が60Hzで、1周期を12等分するときは0.0013889sである。また、任意係数行列[P]は行列式(18)で表すことができる。

このように各行列を表すと、行列式(14)は行列式(19)として表すことができる。最小自乗法を用いて任意係数行列[P]は、行列式(20)により求めることができる。ここで転置行列[A]<sup>T</sup>は、行列式(21)である。この任意係数行列[P]の推定された値が係数推定値P<sub>1est</sub>とP<sub>2est</sub>である。

【0032】

【数11】

$$\begin{aligned} v_{re}(t) &= \sqrt{2V} \cos(\omega t + \phi_0) \\ &= \sqrt{2V} \cos \phi_0 \cos \omega t - \sqrt{2V} \sin \phi_0 \sin \omega t \\ &= P_1 \cos \omega t + P_2 \sin \omega t \end{aligned}$$

…(13)

【0033】

【数12】

$$\begin{bmatrix} v_{re}(k-11) \\ v_{re}(k-10) \\ \vdots \\ v_{re}(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \omega t_{k-11} & \sin \omega t_{k-11} \\ \cos \omega t_{k-10} & \sin \omega t_{k-10} \\ \vdots & \vdots \\ \cos \omega t_k & \sin \omega t_k \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix}$$

…(14)

【0034】

【数13】

$$[v] = \begin{bmatrix} v_{re}(k-11) \\ v_{re}(k-10) \\ \vdots \\ v_{re}(k) \end{bmatrix} \quad \dots(15)$$

【0035】

【数 1 4】

$$[A] = \begin{bmatrix} \cos \omega t_{k-11} & \sin \omega t_{k-11} \\ \cos \omega t_{k-10} & \sin \omega t_{k-10} \\ \vdots & \vdots \\ \cos \omega t_k & \sin \omega t_k \end{bmatrix} \quad \dots(16)$$

$$\begin{bmatrix} t_{k-11} \\ t_{k-10} \\ \vdots \\ t_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_k - 11 \cdot \Delta t \\ t_k - 10 \cdot \Delta t \\ \vdots \\ t_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_k \\ t_k \\ \vdots \\ t_k \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 11 \cdot \Delta t \\ 10 \cdot \Delta t \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots(17)$$

【0 0 3 6】

【数 1 5】

$$[P] = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} \quad \dots(18)$$

$$[v] = [A] \cdot [P] \quad \dots(19)$$

$$[P] = ([A]^T [A])^{-1} [A]^T [v] \quad \dots(20)$$

$$[A]^T = \begin{bmatrix} \cos \omega t_{k-11} & \cos \omega t_{k-10} & \dots & \cos \omega t_k \\ \sin \omega t_{k-11} & \sin \omega t_{k-10} & \dots & \sin \omega t_k \end{bmatrix} \quad \dots(21)$$

【0037】

このようにして任意定数行列 [ P ] を求めることができるので、電圧実数瞬時推定値  $v_{re\_est}(k)$  は式 ( 2 2 ) として求めることができる。図 9 に電圧実数瞬時値の計測値と最小自乗法を用いて推定した電圧実数瞬時推定値を示す。図 9 から分かるように、電圧波形ノイズなどにより、電圧実数瞬時値が変動しても、最小自乗法を用いて推定しているため、電圧波形ノイズの影響がこの電圧実数瞬時推定値に及ぶことが無くなっている。

次に、ステップ 1 0 8 で、絶対位相角算出手段 1 1 が、電圧計測タイミングのそれぞれのタイミングにおいて、式 ( 8 ) で求めた電圧実効値平均値と式 ( 2 2 ) で求められた電圧実数瞬時推定値とを用いて、絶対位相角 ( k ) を式 ( 2 3 ) により求める。なお、電圧実数瞬時推定値の代わりにそれぞれのタイミングで計測した電圧を用いて絶対位相角を求めてもよい。また、電圧実効値平均値の代わりに式 ( 7 ) で求めた電圧実効値を用いて絶対位相角を求めてもよい。

【0038】

【数 16】

$$v_{re\_est}(k) = P_{1est} \cos \omega t_k + P_{2est} \sin \omega t_k$$

…(22)

$$\beta(k) = \cos^{-1} \left\{ \frac{v_{re\_est}(k)}{\sqrt{2V_{ave}(k)}} \right\} \quad \dots(23)$$

【0039】

ステップ109で、電力系統の同期フェーザの絶対位相角の測定を終了するか否かを判定するし、さらに測定を継続するときはステップ101に戻る。

【0040】

次に、基準波50Hzとし、1周期を12等分したときに、電力系統の周波数が50Hz、55Hz、45Hzとしたときの同期フェーザの絶対位相角を算出した。図10に50Hz、図11に55Hz、図12に45Hzのときの結果を示す。これら図からも分かるように電力系統の周波数が変動したときでも同期フェーザの絶対位相角を高精度に測定できている。電力系統の実際の周波数は、基準周波数を中心に最大1~2Hzの変動があるため、この発明の同期フェーザ測定装置は、高い精度かつ安定した同期フェーザを測定することができる。

20

【0041】

なお、計算刻み幅  $t$  を基準波回転電気角度30度としているが、実際測定を行う時、計算刻み幅  $t$  は小さいほど計測精度が高くなる。

【0042】

このような電力系統の同期フェーザ測定装置は、余弦関数を使用して同期フェーザの絶対位相角が求められているので、絶対位相角が零度からプラス180度へ増加し、そこで反転して零度まで減少する。そのため、絶対位相角が常にプラス値であるとともに零度またプラス180度で連続的に変化するので、従来のような不連続な変化が見られないとともに変化量も小さいので、絶対位相角の数値安定性および連続性に優れている。

30

【0043】

また、基準波の1周期を4N分の1の周期で計測した電圧を用いて電圧回転ベクトルを求め、一方で電圧回転ベクトルの回転位相角と基準波の回転位相角との対比から周波数を求め、他方、計測した電圧実数瞬時値から電圧実数瞬時推定値を推定するので、電力系統の1周期という短時間の中で同期フェーザが測定できる。

【0044】

また、電圧実効値の移動平均を求めるので、電圧実効値の誤差が小さくなり、この電圧実効値を用いて求める同期フェーザの絶対位相角の測定誤差も小さくなる。実際の電力系統に事故が発生すると周波数が大きく変化するが、その影響を最小限に抑えることができる。

40

【0045】

また、測定された電圧から最小自乗法を用いて電圧実数瞬時推定値を推定しているので、負荷が変動したとき、または電圧が急峻に変化したとき、これらの影響を抑制し、絶対位相角の演算誤差を小さくすることができる。

【0046】

なお、この発明では、電圧を複素数平面上で回転する電圧ベクトルで表現しているが、従来の交流理論で電圧定常状態を表現するために静止ベクトル(フェーザ)で表現してい

50

ることが異なっている。

【0047】

実施の形態2.

図13は、この発明の実施の形態2に係わる同期フェーザ測定装置を各発電所および変電所に備えた電力系統保護制御システムのブロック図である。

電力系統保護制御システムは、中央給電所15に備えられ、電力系統1全体を監視制御する制御装置16と、電力系統1の各所に配置されている発電所17および変電所18に備えられ、電力系統の同期フェーザを計測し、その値を制御装置16にネットワーク19を介して送信する同期フェーザ測定装置20と、発電所17および変電所18に備えられ、電力系統1を保護制御する保護リレー21とを有している。なお、同期フェーザ測定装置20は実施の形態1と同様であるので、説明は省略する。各同期フェーザ測定装置20は、GPSを用いて同期が取られている。

10

【0048】

各発電所17および変電所18で計測された同期フェーザの絶対位相角及び周波数からなる計測情報を、変電所18および発電所17からネットワーク19を介して制御装置16に一定周期、例えば、1サイクル、50Hzの場合で20ms以内、で転送し、制御装置16が絶対位相角の差分と周波数の変動を総合的に判断し、各発電所17に発電機トリップなどの発電制限命令を、各変電所18に負荷制限あるいは系統分離命令を送信する。これら命令に従い、保護リレー21が作動して電力系統1を保護する。

【0049】

このような電力系統保護制御システムは、電力系統の安定運用が図られ、大規模停電を防止することができる。

20

【0050】

実施の形態3.

図14は、この発明の実施の形態3に係わる同期フェーザ測定装置を備えた電力系統長周期動揺制御装置のブロック図である。

電力系統長周期動揺制御装置は、発電機22の自端の同期フェーザを測定する同期フェーザ測定装置20と、発電機22から遠方に配置されている変電所18の同期フェーザを測定する同期フェーザ測定装置20と、各同期フェーザ測定装置20からの絶対位相角から位相差を算出する位相差算出装置23と、系統の長周期動揺を減衰する安定化制御装置(Power System Stabilizer)24と、変圧器25で計測された発電機22の端子電圧と位相角とを用いて発電機22の励磁回路26を制御する自動電圧調整器(Automatic Voltage Regulator)27とを有している。

30

【0051】

この電力系統長周期動揺制御装置の動作について説明する。発電機22の自端および変電所18に備えられた同期フェーザ測定装置20は、実施の形態1と同様であり、説明は省略する。

発電機22の自端での絶対位相角 $\theta_M$ と遠方に離れた位置に配置されている変電所18での絶対位相角 $\theta_N$ がそれぞれフェーザ測定装置20で測定される。これらの絶対位相角 $\theta_M$ と $\theta_N$ とはGPSで同期が取られているので、位相差算出装置23で同時刻の位相差 $\Delta\theta_{MN}$ が算出される。この位相差 $\Delta\theta_{MN}$ が安定化制御装置24に入力され、この位相差 $\Delta\theta_{MN}$ に基づいて自動電圧調整器27の制御用信号 $V_{ref}$ を算出する。自動電圧調整器27では、送電線の電圧を変圧器25で検出し、その電圧と制御用信号 $V_{ref}$ に基づき励磁回路26の励磁電流を制御する。このようにして、長周期の動揺が発生したときに発電機22の発電電力が制御される。

40

【0052】

このような電力系統長周期動揺制御装置は、電力系統に発生する長周期の動揺を従来の有効電力変化量または周波数変化量を安定化制御装置24での制御に用いたときより長周期動揺を減少することができる。

50

## 【 0 0 5 3 】

実施の形態 4 .

図 1 5 は、この発明の実施の形態 4 に係わる同期フェーザ測定装置を備えた電力系統脱調検出継電保護装置のブロック図である。

## 【 0 0 5 4 】

電力系統脱調検出継電保護装置は、送電線 3 0 の両端に配置された変電所 A 1 8 と変電所 B 1 8 にそれぞれ同期フェーザ測定装置 ( P M U ) 2 0、保護リレー ( R y ) 2 1 および遮断器 ( C B ) 3 1 が備えられている。変電所 A 1 8 と変電所 B 1 8 には、それぞれ発電機 G A 2 2 と発電機 G B 2 2 が接続されている。

次に、電力系統を脱調と判断し、遮断器 3 1 をトリップする手順を説明する。保護リレー 2 1 は、同期フェーザ測定装置 2 0 で測定された絶対位相差  $\theta_A$  と  $\theta_B$  とを P C M 通信チャンネル 3 2 を介して相手端の保護リレー 2 1 に伝送する。保護リレー 2 1 では、相手端との位相差  $\theta_{AB} = \theta_A - \theta_B$  を求め、この位相差  $\theta_{AB}$  があらかじめ定められた閾値  $\theta_{TH}$  を超えたときに脱調と判断する。そして、保護リレー 2 1 が、遮断器 3 1 をトリップする。

10

## 【 0 0 5 5 】

このような電力系統脱調検出継電保護装置は、同期フェーザ絶対位相角が高精度、高速、安定に測定できるので、位相差から脱調を検出するという新しい動作原理を採用して脱調を検出することができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

20

## 【 0 0 5 6 】

【 図 1 】 この発明の実施の形態 1 に係わる同期フェーザ測定装置のブロック図である。

【 図 2 】 図 1 の同期フェーザ測定手順のフローチャートである。

【 図 3 】 複素数平面上に表現した電圧回転ベクトル図である。

【 図 4 】 図 3 の基準波の 1 周期の間に回転した様子を示す図である。

【 図 5 】 電圧回転ベクトルの先端 2 点間の弦長の計算を説明する図である。

【 図 6 】 図 1 で測定した基準波の周波数と異なる周波数の電力系統の電圧実効値とそれを平均化した電圧実効値の測定結果である。

【 図 7 】 電圧回転ベクトルの先端が形作る弦に面した位相角の計算を説明する図である。

【 図 8 】 電圧実効値と電圧実数瞬時値推定値とで絶対位相角を示す直角三角形である。

30

【 図 9 】 電圧実数瞬時値計測値から電圧実数瞬時値推定値を求めた結果を示す。

【 図 1 0 】 周波数 5 0 H z の電力系統の絶対位相角測定結果である。(基準波の周波数は 5 0 H z )

【 図 1 1 】 周波数 5 5 H z の電力系統の絶対位相角測定結果である。(基準波の周波数は 5 0 H z )

【 図 1 2 】 周波数 4 5 H z の電力系統の絶対位相角測定結果である。(基準波の周波数は 5 0 H z )

【 図 1 3 】 この発明の実施の形態 2 の同期フェーザ測定装置を用いた電力系統安定化保護装置のブロック図である。

【 図 1 4 】 この発明の実施の形態 3 の同期フェーザ測定装置を用いた電力系統長周期動揺制御装置のブロック図である。

40

【 図 1 5 】 この発明の実施の形態 4 の同期フェーザ測定装置を用いた電力系統脱調検出継電保護装置のブロック図である。

## 【 符号の説明 】

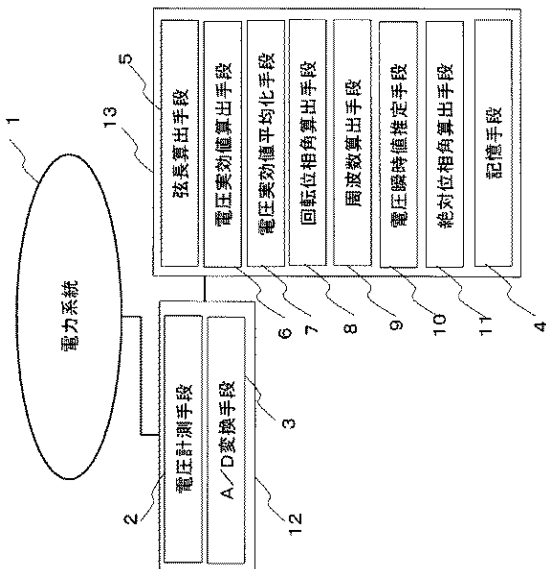
## 【 0 0 5 7 】

1 電力系統、2 電圧計測手段、3 A / D 変換手段、4 記憶手段、5 弦長算出手段、6 電圧実効値算出手段、7 電圧実効値平均化手段、8 回転位相角算出手段、9 周波数算出手段、1 0 電圧瞬時値推定手段、1 1 絶対位相角算出手段、1 2 電圧計、1 3 コンピュータ、1 5 中央給電指令所、1 6 制御装置、1 7 発電所、1 8 変電所、1 9 ネットワーク、2 0 同期フェーザ測定装置、2 1 保護リレー、2

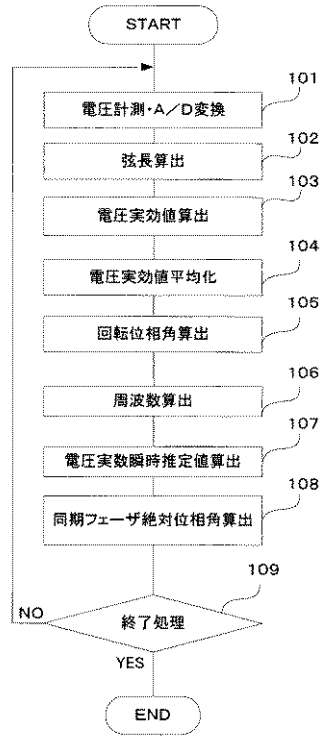
50

2 発電機、23 位相差算出装置、24 安定化制御装置 ( P P S )、25 変圧器、  
 26 励磁回路、27 自動電圧調整器、30 送電線、31 遮断器、32 P C M 通  
 信チャネル。

【 図 1 】

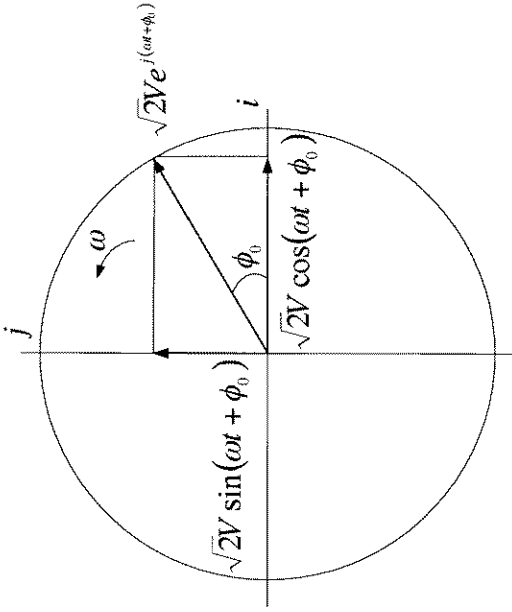


【 図 2 】

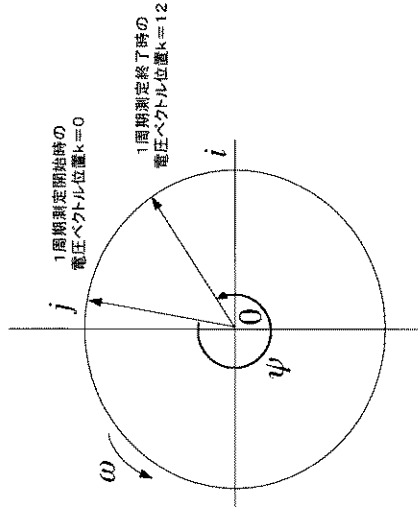




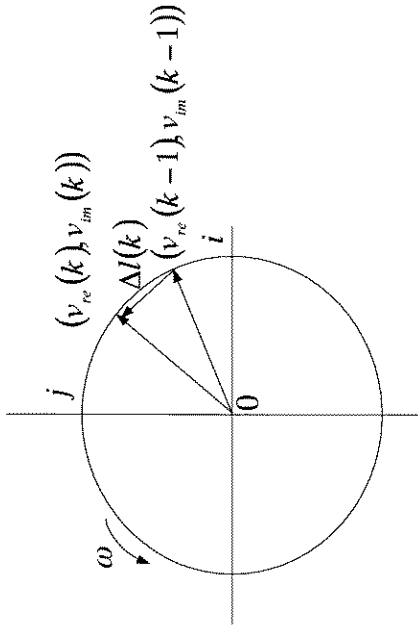
【 図 3 】



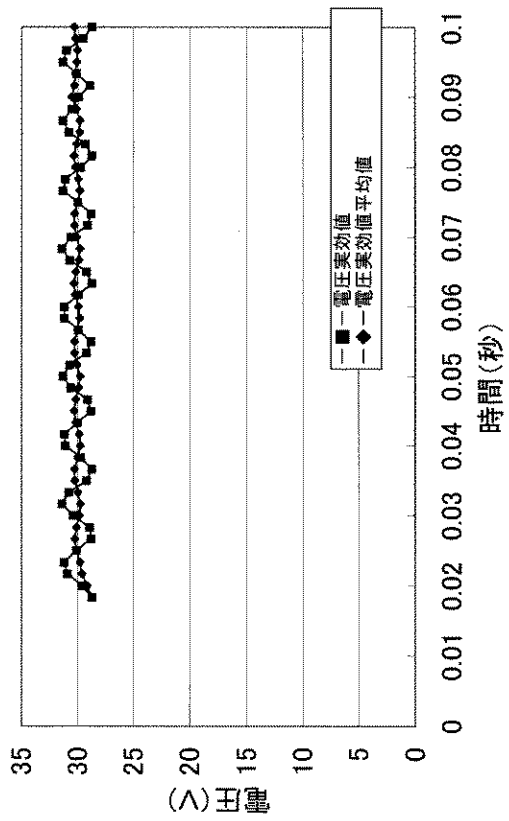
【 図 4 】



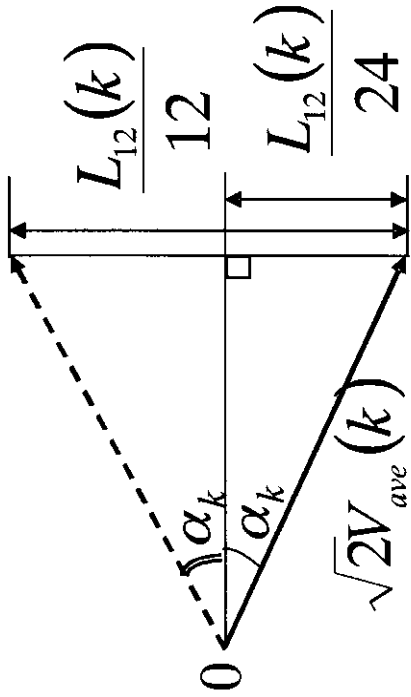
【 図 5 】



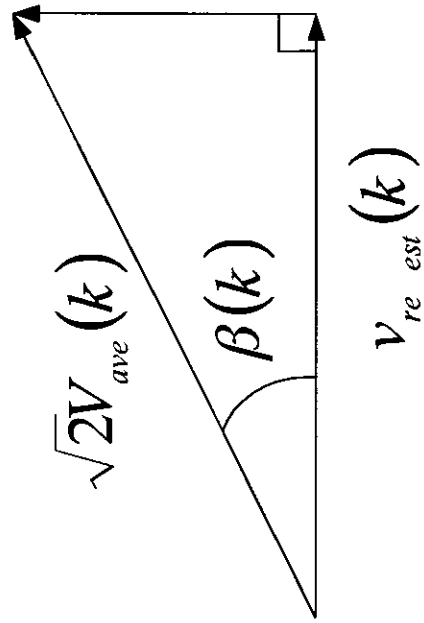
【 図 6 】



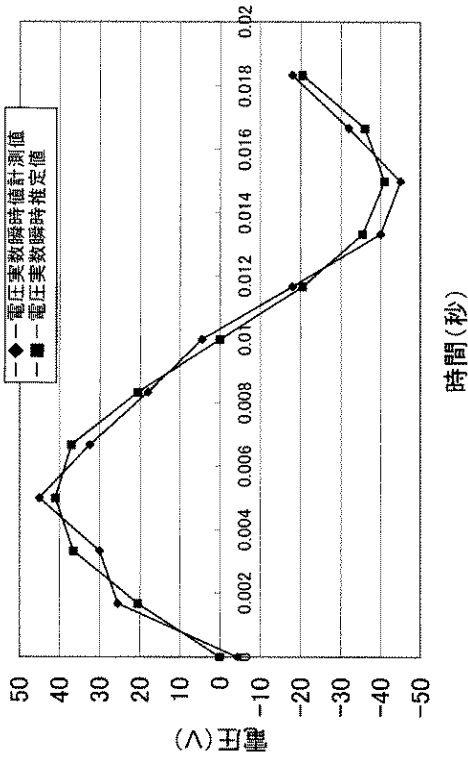
【 図 7 】



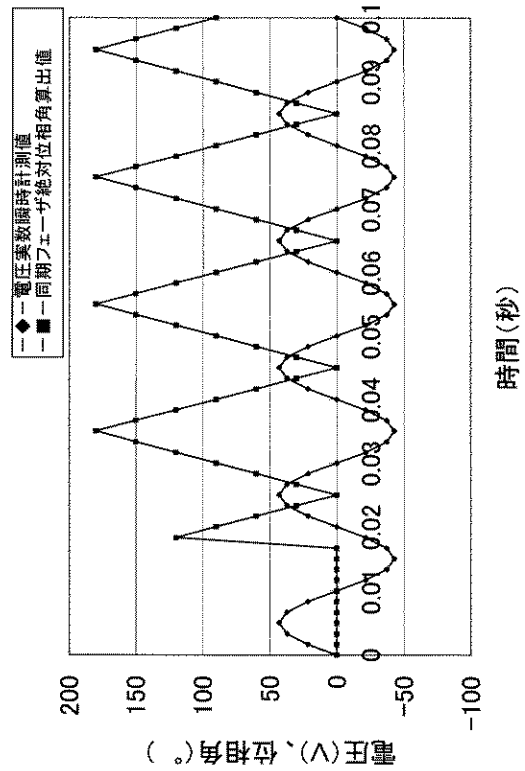
【 図 8 】



【 図 9 】

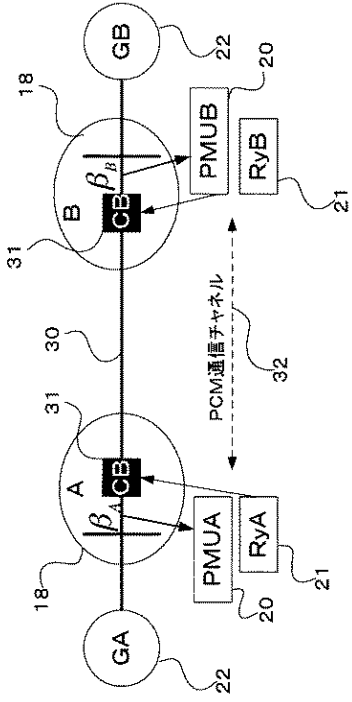


【 図 10 】





【 図 15 】



フロントページの続き

(72)発明者 関 建平

東京都港区虎ノ門三丁目1番1号 ティーエム・ティーアンドティー株式会社内

Fターム(参考) 2G030 AA01 AD09 AF01

5G047 AA01 BB01

5G058 HH01 HH06