

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4987068号
(P4987068)

(45) 発行日 平成24年7月25日(2012.7.25)

(24) 登録日 平成24年5月11日(2012.5.11)

(51) Int.Cl.		F I		
GO 1 R 21/133	(2006.01)	GO 1 R 21/133	A	
GO 1 R 19/00	(2006.01)	GO 1 R 21/133	E	
		GO 1 R 19/00	A	

請求項の数 11 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2009-507276 (P2009-507276)	(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
(86) (22) 出願日	平成19年2月27日(2007.2.27)	(74) 代理人	100073759 弁理士 大岩 増雄
(86) 国際出願番号	PCT/JP2007/053594	(74) 代理人	100093562 弁理士 児玉 俊英
(87) 国際公開番号	W02008/120282	(74) 代理人	100088199 弁理士 竹中 考生
(87) 国際公開日	平成20年10月9日(2008.10.9)	(74) 代理人	100094916 弁理士 村上 啓吾
審査請求日	平成21年6月18日(2009.6.18)	(72) 発明者	関 建平 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 交流電氣量測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基準波の1周期を4N(Nは正の整数)等分するタイミングで電力系統の電圧/電流に関する時系列データを測定する電圧/電流測定手段と、上記電圧/電流測定手段により得られた時系列データから電圧回転ベクトルの振幅、弦長及び回転位相角を求め、下式

$$f(t) = f(t-T) + \Delta f(t) = f(t-T) + \frac{\delta(t) - \delta(t-T)}{2\pi T}$$

ここで、f(t)は現時点の周波数、F(t-T)は1ステップ前に測定した周波数、(t)は現時点で計算された回転位相角、(t-T)は1ステップ前に計算された回転位相角である。によりリアルタイム周波数を算出する周波数算出手段と、上記リアルタイム周波数と各相成分の電圧/電流瞬時値時系列データとを用いて、最小二乗法で正弦波の各相成分電圧/電流瞬時値時系列推定データを算出する各相成分電圧/電流瞬時値時系列推定データ算出手段とを備え、上記各相成分の電圧/電流瞬時値時系列データのサンプリング刻み幅は固定周波数を用いて設定され、各相成分電圧/電流瞬時値時系列推定データのサンプリング刻み幅は上記リアルタイム周波数を用いて設定されることを特徴とする交流電氣量測定装置。

【請求項2】

上記算出された各相成分電圧/電流瞬時値時系列推定データを用いて、対称座標法により

対称成分(零相、正相、逆相)の電圧/電流瞬時値時系列推定データを算出する対称成分電圧/電流瞬時値時系列推定データ算出手段を備えたことを特徴とする請求項1に記載の交流電気量測定装置。

【請求項3】

上記算出された各相成分電圧/電流瞬時値時系列推定データを用いて、現時点の各相成分の電圧/電流実効値を移動平均により算出する各相成分電圧/電流実効値算出手段を備えたことを特徴とする請求項1に記載の交流電気量測定装置。

【請求項4】

上記算出された対称成分電圧/電流瞬時値時系列推定データを用いて、現時点の対称成分の電圧/電流実効値を移動平均により算出する対称成分電圧/電流実効値算出手段を備えたことを特徴とする請求項2に記載の交流電気量測定装置。

10

【請求項5】

上記算出された各相成分電圧瞬時値時系列推定データと各相成分電流瞬時値時系列推定データとを用いて、各相成分有効電力/無効電力瞬時値時系列推定データを算出する各相成分有効電力/無効電力瞬時値時系列推定データ算出手段を備えたことを特徴とする請求項1に記載の交流電気量測定装置。

【請求項6】

上記算出された対称成分電圧瞬時値時系列推定データと対称成分電流瞬時値時系列推定データとを用いて、対称成分有効電力/無効電力瞬時値時系列推定データを算出する対称成分有効電力/無効電力瞬時値時系列推定データ算出手段を備えたことを特徴とする請求項2に記載の交流電気量測定装置。

20

【請求項7】

前記算出された各相成分有効電力/無効電力瞬時値時系列推定データを用いて、積分演算で現時点の各相成分有効電力/無効電力の実効値を移動平均により算出する現時点各相成分有効電力/無効電力実効値算出手段を備えたことを特徴とする請求項5に記載の交流電気量測定装置。

【請求項8】

前記算出された対称成分有効電力/無効電力瞬時値時系列推定データを用いて、積分演算で現時点の対称成分有効電力/無効電力の実効値を移動平均により算出する現時点对称成分有効電力/無効電力実効値算出手段を備えたことを特徴とする請求項6に記載の交流電気量測定装置。

30

【請求項9】

上記算出した現時点の各相成分有効電力/無効電力実効値あるいは現時点の各相成分電圧/電流実効値を用いて、現時点の各相成分電圧電流間位相角を算出する現時点各相成分電圧電流間位相角算出手段を備えたことを特徴とする請求項7に記載の交流電気量測定装置。

【請求項10】

上記算出した現時点の対称成分有効電力/無効電力実効値あるいは現時点の対称成分電圧/電流実効値を用いて、現時点の対称成分電圧電流間位相角を算出する現時点对称成分電圧電流間位相角算出手段を備えたことを特徴とする請求項7に記載の交流電気量測定装置。

【請求項11】

上記算出した現時点の各相成分有効電力/無効電力の実効値を用いて、現時点の対称成分力率を算出する手段を備えたことを特徴とする請求項7に記載の交流電気量測定装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は動的周波数測定手法により得られるリアルタイム周波数と最小二乗法を用いた交流電気量測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、電力系統内の潮流が複雑化するにつれ、信頼性および品質の高い電力の供給が要

50

求されるようになっており、特に、電力系統の制御保護装置に必須な三相回路、単相回路、任意の多相回路における交流電気量測定装置の性能向上の必要性は、ますます高くなっている。

【 0 0 0 3 】

本発明者は既に電力系統の制御及び保護性能を向上するために、複素平面上の回転ベクトルによる対処法が有用であることを提案している。これは、交流電圧及び交流電流を複素平面上において反時計方向に回転するベクトルとして表現する基本的手法に基くものである。例えば、特許文献 1 に記載されているように、基準波の 1 周期を $4N$ (N は正の整数) 等分するタイミングで電力系統の電圧を計測し、この計測した電圧を実数部座標とし、 90 度先に計測した電圧を虚数部座標とした先端を有する電圧回転ベクトルを求め、その電圧回転ベクトルの先端と 1 つ前の電圧回転ベクトルの先端とを結ぶ弦の弦長を算出し、1 のタイミングと基準波の 1 周期前との間で計測した電圧から電圧実効値を求め、前記弦長の加算値と上記電圧実効値とに基づいて算出した電圧回転ベクトルの位相角から電力系統の周波数を算出する。非特許文献 1 は各種交流電気量の計算式を提示しているが、各交流電気量を計算するとき系統定格周波数 (50Hz か 60Hz) を用いることになっている。現状では系統周波数が定格周波数からずれた場合、周波数 ゲイン特性曲線で補正するかフーリエ変換で基本波を抽出するなどに対処している。いずれの場合も長い計算時間を要し、或いは大きな誤差を生じることとなる。

【 0 0 0 4 】

図 3 は複素平面上に表された電圧回転ベクトル図であり、電力系統の電圧瞬時値 v 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ものとして表している。基準波 1 サイクル時間を $4N$ (N は整数) に分割し、1 ステップの刻み幅時間 T は (例えば、 60Hz 系統、電気角度 30 度 サンプリング (1 サイクル 12 点 サンプリング)、 $T=1/60/12=0.00138889$ 秒) である。1 ステップの回転位相角は次のように計算できる。

【 数 1 】

$$\delta(t) = 2 \sin^{-1} \left\{ \frac{V_2(t)}{2V(t)} \right\} \quad (1)$$

ここに、 $V(t)$ は電圧振幅、 $V_2(t)$ は回転位相角に面した弦長である。

1 サイクル瞬時値データを用いて、積分演算でそれぞれ振幅と弦長は得られているものとし、更に、次式で周波数を計算する。

$$f(t) = \frac{\psi(t)}{2\pi} f_0 = \frac{4N \cdot \delta(t)}{2\pi} f_0 \quad (2)$$

ここに、 $\psi(t)$ は 1 サイクル時間の電圧回転ベクトルの回転位相角であり、

f_0 は基準波周波数 (50Hz か 60Hz) である。

【 0 0 0 5 】

しかし、電圧フリッカなど位相変動により、電圧振幅と弦長に誤差を生じるため、式 (2) の周波数計測結果においても一定の誤差を含むこととなる。上記のように、式 (2) はいわゆる静的周波数測定手法であり、定常状態 (正弦波) においては測定精度がよいが、電圧フリッカなどにより位相変動した場合、誤差の発生は避けられない。これの対処方法として現在一般的に行われているのは、長い時間の周波数計測結果の平均値を取ること (平均化処理) により、電圧フリッカの影響を取り除くことである。そのため、このような周波数計測装置ではリアルタイムの周波数測定は不可能となっており、高速・高精度な交流電気量の測定に支障を生じている。

【 0 0 0 6 】

【特許文献1】特開2004-361124号公報

【特許文献2】国際出願番号 WO - PCT/JP2007/052967

【非特許文献1】"Development of Integral Method for Measuring RMS Active and Reactive Power in Single-and Multiphase Networks" pages 250-255,CE PSI 2002,Fukuoka,Japan.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述した従来の交流電流量測定技術は、静的交流電流量測定手法であって、従って、測定対象となる電力系統の波形は正弦波であり、周波数変動及び位相変動(電圧フリッカ)などにより生じる誤差を平均化処理などで対応しているため、高速かつ高精度に交流電流量を測定することはできなかった。

10

本発明者はこの問題に対処するために、すでに次式を用いた実測リアルタイム周波数測定手法を提案した(特許文献2参照)。

【数2】

$$f(t) = f(t-T) + \Delta f(t) = f(t-T) + \frac{\delta(t) - \delta(t-T)}{2\pi T} \quad (3)$$

20

ここに、 $f(t)$ は現時点の周波数(リアルタイム周波数)、 $f(t-T)$ は1ステップ

前に測定した周波数、 $\delta(t)$ は現時点で計算された回転位相角、 $\delta(t-T)$ は

1ステップ前に計算された回転位相角である。

更に、式(3)の周波数変化分の前に可変加速係数 N_f をつけて、次の動的周波数計算式を提案した。

$$f(t) = f(t-T) + N_f \cdot \frac{\delta(t) - \delta(t-T)}{2\pi T} \quad (4)$$

30

なお、上記可変加速係数 N_f は 0 ~ 1 の間の数である。

本発明の目的は、上記動的周波数測定手法で測定したリアルタイム周波数を用いて、高調波及びフリッカ(位相変動)の影響を受けることなく、周波数以外の交流電流量を高精度に算出することができる交流電流量測定装置を得るものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

この発明の交流電流量測定装置は、基準波の1周期を4N(Nは正の整数)等分するタイミングで電力系統の電圧/電流に関する時系列データを測定する電圧/電流測定手段と、上記電圧/電流測定手段により得られた時系列データから電圧回転ベクトルの振幅、弦長及び回転位相角を求め、下式

40

$$f(t) = f(t-T) + \Delta f(t) = f(t-T) + \frac{\delta(t) - \delta(t-T)}{2\pi T}$$

ここで、 $f(t)$ は現時点の周波数、 $F(t-T)$ は1ステップ前に測定した周波数、 $\delta(t)$ は現時点で計算された回転位相角、 $\delta(t-T)$ は1ステップ前に計算された回転位相角である。

によりリアルタイム周波数を算出する周波数算出手段と、上記リアルタイム周波数と各相成分の電圧/電流瞬時値時系列データとを用いて、最小二乗法で正弦波の各相成分電圧/電

50

流瞬時値時系列推定データを算出する各相成分電圧/電流瞬時値時系列推定データ算出手段とを備え、上記各相成分の電圧/電流瞬時値時系列データのサンプリング刻み幅は固定周波数を用いて設定され、各相成分電圧/電流瞬時値時系列推定データのサンプリング刻み幅は上記リアルタイム周波数を用いて設定されることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0009】

上記各相成分電圧/電流瞬時値時系列推定データを用いて、周波数以外の各種交流電気量、例えば各相成分電圧実効値、対称成分電圧実効値、各相成分電流実効値、対称成分電流実効値、各相成分有効電力瞬時値、対称成分有効電力瞬時値、各相成分無効電力瞬時値、対称成分無効電力瞬時値、各相成分有効電力実効値、各相成分無効電力実効値、対称成分有効電力実効値、対称成分無効電力実効値を算出することができ、ノイズや電圧フリッカが存在する電力系統の交流電気量を高速/高精度に測定することにより、電力系統制御保護装置の性能向上に寄与することができる。また、電圧/電流瞬時値時系列推定データは実測値ではなく、最小二乗法により計算された正弦波のデータであり、且つ実測周波数で算出したサンプリング刻み幅であるため測定した交流電気量は高精度なものとなる。また、低精度の実測瞬時値データにより高精度な交流電気量が得られるため、低精度の安価なA/D変換装置などを利用することにより、電力系統制御保護装置のコストダウンが図れる等の付随的效果も有する。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】この発明になる交流電気量測定装置の構成を示す図である。

【図2】この発明の交流電気量測定装置の動作を説明するフローチャート図である。

【図3】複数平面上の電圧回転ベクトルの回転位相角を説明する図である。

【図4】この発明の実施形態1のモデル系統図を示す図である。

【図5】この発明の実施形態1におけるA相、B相電圧瞬時値と実効値波形の関係を示す図である。

【図6】この発明の実施形態1におけるA相、B相電流瞬時値と実効値波形の関係を示す図である。

【図7】この発明の実施形態1におけるA相有効電力瞬時値と有効電力実効値波形の関係を示す図である。

【図8】この発明の実施形態1におけるA相無効電力瞬時値と無効電力実効値波形の関係を示す図である。

【図9】この発明の実施形態1における正相逆相電圧瞬時値と実効値波形の関係を示す図である。

【図10】この発明の実施形態1における正相逆相電流瞬時値と実効値波形の関係を示す図である。

【図11】この発明の実施形態1における零相電圧瞬時値と実効値波形の関係を示す図である。

【図12】この発明の実施形態1における零相電流瞬時値と実効値波形の関係を示す図である。

【図13】この発明の実施形態1における正相有効電力瞬時値と有効電力実効値波形の関係を示す図である。

【図14】この発明の実施形態1における正相無効電力瞬時値と無効電力実効値波形の関係を示す図である。

【図15】この発明の実施形態1における逆相有効電力瞬時値と有効電力実効値波形の関係を示す図である。

【図16】この発明の実施形態1における逆相無効電力瞬時値と無効電力実効値波形の関係を示す図である。

【図17】この発明の実施形態1における零相有効電力瞬時値と有効電力実効値波形の関係を示す図である。

【図18】この発明の実施形態1における零相無効電力瞬時値と無効電力実効値波形の関係を示す図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

実施の形態1.

図1にこの発明の電力系統における交流電気量測定装置の構成図を示す。図において、PTは計器用変圧器、CTは変流器、 v は電圧、 i は電流である。簡単のため、1相分のみを記載している。

1はこの発明の対象となる交流電気量測定装置で、以下の各種機能手段を有する計算機から構成されている。すなわち、2は上記PT及びCTの実測時系列データを入力する電圧・電流測定手段、3は上記時系列のアナログデータを時系列のデジタルデータに変更するA/D変換手段、4は本発明者が既に提案した動的周波数測定手法により系統のリアルタイム周波数を測定する周波数算出手段であり、系統の電圧/電流に関する時系列データから電圧回転ベクトルの振幅、弦長及び回転位相角を積分手法で求め、1ステップずつの周波数変化率を判別することによりリアルタイム周波数を算出するものである。なお、詳細は本願の先願である国際公開公報WO2008/114328A1(PCT/JP2007/052967)を参照されたい。

【0012】

5は上記リアルタイム周波数と各相成分電圧/電流瞬時値時系列データとを用いて、最小二乗法で各相成分電圧/電流瞬時値時系列推定データを算出する各相成分電圧/電流瞬時値時系列推定データ算出手段である。ここでは、最小二乗法で各相成分電圧/電流の正弦波係数パラメータを推定し(計算の時間刻みは基準周波数の $1/4N$ である)、それから、推定した正弦波係数パラメータを用いて、1サイクル分の正弦波データを算出する(計算の時間刻みは実測周波数の $1/4N$ である)ものである。詳細は追って図2のフローチャートと共に説明する。6は対称成分電圧/電流瞬時値時系列推定データ算出手段であり、対称座標法で対称成分電圧/電流瞬時値時系列推定データを求めるものである。

【0013】

7は現時点各相成分電圧/電流実効値算出手段であり、上記各相成分電圧/電流瞬時値時系列推定データ算出手段5により算出された各相成分電圧/電流瞬時値時系列推定データを用いて、現時点の各相成分電圧/電流実効値を求めるものである。8は現時点对称成分電圧/電流実効値算出手段であり、上記対称成分電圧/電流瞬時値時系列推定データ算出手段6により算出された対称成分電圧/電流瞬時値時系列推定データを用いて、現時点の対称成分電圧/電流実効値を求めるものである。9は各相成分有効電力/無効電力瞬時値時系列推定データ算出手段であり、上記各相成分電圧/電流瞬時値時系列推定データ算出手段5により算出された各相成分電圧/電流瞬時値時系列推定データを用いて、各相成分有効電力瞬時値/無効電力瞬時値時系列推定データを求めるものである。

【0014】

10は対称成分有効電力/無効電力瞬時値時系列推定データ算出手段であり、上記対称成分電圧/電流瞬時値時系列推定データ算出手段6により算出された対称成分電圧/電流瞬時値時系列推定データを用いて、対称成分有効電力瞬時値/無効電力瞬時値時系列推定データを求めるものである。11は現時点各相成分有効電力/無効電力実効値算出手段であり、上記各相成分有効電力/無効電力瞬時値時系列推定データ算出手段9により算出された各相成分有効電力/無効電力瞬時値時系列推定データを用いて、現時点の各相成分有効電力実効値/無効電力実効値を求めるものである。

【0015】

12は現時点对称成分有効電力/無効電力実効値算出手段であり、上記対称成分有効電力/無効電力瞬時値時系列推定データ算出手段10により算出された対称成分有効電力瞬時値/無効電力瞬時値時系列推定データを用いて、現時点の対称成分有効電力実効値/無効電力実効値を求めるものである。13は現時点各相成分電流と電圧との間の位相角算出手段であり、上記現時点各相成分有効電力実効値、無効電力実効値を用いて、現時点各相成

10

20

30

40

50

分電流と電圧との間の位相角を求めるものである。14は現時点对称成分電流と電圧との間の位相角算出手段であり、現時点对称成分有効電力実効値、無効電力実効値を用いて、現時点对称成分電流と電圧との間の位相角を求める。15は上記計算した結果を表示するインターフェース、16は上記測定した値をセーブする記憶手段である。17は交流電氣量出力手段で、測定結果を系統制御保護装置に出力する。

【0016】

以下、図2に示す交流電氣量測定フローチャートに従って上記交流電氣量測定装置の詳細機能を各ステップの計算式を含めて説明する。以下の測定において、基準波を4N(Nは正の整数である)分割とし、以下の展開ではN=3、12分割とし、電氣角度30度、T=0.001388889秒(60Hz系統)、T=0.001666667秒(50Hz系統)である。Nが大きくなると、測定精度は高くなるが、計算機負担が大きくなる(高性能高コストのCPUが必要となる)ため、CPUの性能により適切なサンプリング時間刻み幅(4N)を選択する。

10

なお、下記の計算において、電圧電流瞬時値のサンプリング期間は2サイクル間(サンプリングデータは24点である)のデータを用いて行われるが、データの用途により、別のサンプリングデータを使用することもできる。例えば、故障電流実効値を早く求めるニーズがある装置では、サンプリングデータ期間は1/4サイクルとなる。

【0017】

先ず、ステップ101は上記電圧電流計測手段2により電圧・電流の瞬時値をサンプリングにより計測すると共に、A/D変換手段3によりA/D変換を行うステップである。フーリエ変換によれば、回路の電圧瞬時値は以下のように表わすことができる。

20

【数3】

$$v_A(t) = \sqrt{2}V_A e^{j(\omega t + \varphi_A)} + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M V_{Ak} e^{j(\omega_k t + \varphi_{Ak})} \quad (5)$$

ここに、 V_A は基本波電圧実効値、 ω は基本波角速度、

φ_A は基本波電圧初期位相、 V_{Ak} はk次高調波電圧実効値、

ω_k はk次高調波電圧角速度、 φ_{Ak} はk次高調波電圧初期位相、

30

Mは任意大きさの正の整数である。

即ち、電圧瞬時値は電圧基本波成分と複数の電圧高調波成分より構成される。

A相電圧回転ベクトルは次の実数部と虚数部に分けることができる。

【0018】

【数4】

$$\left. \begin{aligned} v_{Are}(t) &= \sqrt{2}V_A \cos(\omega t + \varphi_A) + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M V_{Ak} \cos(\omega_k t + \varphi_{Ak}) \\ v_{Aim}(t) &= \sqrt{2}V_A \sin(\omega t + \varphi_A) + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M V_{Ak} \sin(\omega_k t + \varphi_{Ak}) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

同じように、B相電圧回転ベクトルとその実数部と虚数部は次の通りである。

$$v_B(t) = \sqrt{2}V_B e^{j(\omega t + \varphi_B)} + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M V_{Bk} e^{j(\omega_k t + \varphi_{Bk})} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} v_{Bre}(t) &= \sqrt{2}V_B \cos(\omega t + \varphi_B) + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M V_{Bk} \cos(\omega_k t + \varphi_{Bk}) \\ v_{Bim}(t) &= \sqrt{2}V_B \sin(\omega t + \varphi_B) + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M V_{Bk} \sin(\omega_k t + \varphi_{Bk}) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

10

20

【数5】

C相電圧回転ベクトルとその実数部と虚数部は次の通りである。

$$v_C(t) = \sqrt{2}V_C e^{j(\omega t + \varphi_C)} + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M V_{Ck} e^{j(\omega_k t + \varphi_{Ck})} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} v_{Cre}(t) &= \sqrt{2}V_C \cos(\omega t + \varphi_C) + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M V_{Ck} \cos(\omega_k t + \varphi_{Ck}) \\ v_{Cim}(t) &= \sqrt{2}V_C \sin(\omega t + \varphi_C) + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M V_{Ck} \sin(\omega_k t + \varphi_{Ck}) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

30

【0019】

更に、A相電流回転ベクトルとその実数部と虚数部はそれぞれ次の通りである。

【数6】

$$i_A(t) = \sqrt{2}I_A e^{j(\omega t + \theta_A)} + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M I_{Ak} e^{j(\omega_k t + \theta_{Ak})} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{Are}(t) &= \sqrt{2}I_A \cos(\omega t + \theta_A) + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M I_{Ak} \cos(\omega_k t + \theta_{Ak}) \\ i_{Aim}(t) &= \sqrt{2}I_A \sin(\omega t + \theta_A) + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M I_{Ak} \sin(\omega_k t + \theta_{Ak}) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

10

ここに、 I_A は基本波電圧実効値、 ω は基本波角速度、

θ_A は基本波電圧初期位相、 I_{Ak} はk次高調波電流実効値、

ω_k はk次高調波電流角速度、 θ_{Ak} はk次高調波電流初期位相、

Mは任意大きさの正の整数である。即ち、電流瞬時値は電流基本波成分と複数の電流高調波成分より構成される。

20

【0020】

同じように、B相電流回転ベクトルとその実数部と虚数部はそれぞれ次の通りである。

【数7】

$$i_B(t) = \sqrt{2}I_B e^{j(\omega t + \theta_B)} + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M I_{Bk} e^{j(\omega_k t + \theta_{Bk})} \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{Bre}(t) &= \sqrt{2}I_B \cos(\omega t + \theta_B) + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M I_{Bk} \cos(\omega_k t + \theta_{Bk}) \\ i_{Bim}(t) &= \sqrt{2}I_B \sin(\omega t + \theta_B) + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M I_{Bk} \sin(\omega_k t + \theta_{Bk}) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

30

【0021】

C相電流回転ベクトルとその実数部と虚数部はそれぞれ次の通りである。

【数 8】

$$i_C(t) = \sqrt{2}I_C e^{j(\omega t + \theta_C)} + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M I_{Ck} e^{j(\omega_k t + \theta_{Ck})} \quad (15)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{Cre}(t) &= \sqrt{2}I_C \cos(\omega t + \theta_C) + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M I_{Ck} \cos(\omega_k t + \theta_{Ck}) \\ i_{Cim}(t) &= \sqrt{2}I_C \sin(\omega t + \theta_C) + \sqrt{2} \sum_{k=1}^M I_{Ck} \sin(\omega_k t + \theta_{Ck}) \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

10

なお、以下の式展開において、簡単のため、 i_A, i_B, i_C は $i_{Are}, i_{Bre}, i_{Cre}$ を指す。

v_A, v_B, v_C は $v_{Are}, v_{Bre}, v_{Cre}$ を指す。なお、対称成分の式展開において、

i_0, i_1, i_2 は $i_{0re}, i_{1re}, i_{2re}$ を指す。 v_0, v_1, v_2 は $v_{0re}, v_{1re}, v_{2re}$ を指す。

【0022】

20

次に、ステップ102はリアルタイム周波数を測定するステップであり、本発明者が先に提案した動的周波数測定手法（本願の先願である国際公開公報WO2008/114328A1(PCT/JP2007/052967を参照)で、上記式(3)に基づいて算出されるものである。ステップ103は各相成分電圧/電流瞬時値時系列推定データを算出するステップであり、最小二乗法により各相の電圧/電流瞬時値時系列推定データを算出する。その具体的計算例を以下説明する。

【0023】

まず、A相電圧瞬時値の基本波成分は以下の式で表現することができる。

【数 9】

$$v_A(t) = \sqrt{2}V_A \cos(\omega t + \varphi_A) = P_{vA1} \cos \omega t + P_{vA2} \sin \omega t \quad (17)$$

30

ここに、 ω は角回転速度で、次のように計算される。

$$\omega = 2\pi f \quad (18)$$

ここに、 f は実測リアルタイム周波数であり、毎ステップで更新される。上記基本式(17)を用いて、次のマトリックスデータを構築する。

$$[v_A] = [A][P_{vA}] \quad (19)$$

ここに、A相実測電圧瞬時値時系列データは次の通りである。

40

最後のデータ v_{A24} は現時点の実測データである。

【数 1 0】

$$[v_A] = \begin{bmatrix} v_{A1} \\ v_{A2} \\ M \\ v_{A24} \end{bmatrix} \quad (20)$$

推定計算の係数行列は次の通りである。

$$[A] = \begin{bmatrix} \cos \omega t_1 & \sin \omega t_1 \\ \cos \omega t_2 & \sin \omega t_2 \\ M & M \\ \cos \omega t_{24} & \sin \omega t_{24} \end{bmatrix} \quad (21)$$

時間は次式で計算される。

$$t_{k+1} = t_k + T, \quad k = 0, 2, K, 23, \quad t_0 = 0 \quad (22)$$

【0 0 2 4】

20

【数 1 1】

固定の時間刻みは次のように計算される。

$$T = \frac{1}{4N} \frac{1}{f_0} = \frac{1}{12} \frac{1}{60} = 0.00138889 \text{ (秒)} \quad (23)$$

係数行列は次の通りである。

$$[P_{vA}] = \begin{bmatrix} P_{vA1} \\ P_{vA2} \end{bmatrix} \quad (24)$$

30

最小二乗法で、係数は次のように計算される。

$$[P_{vA}] = ([A]^T [A])^{-1} [A]^T [v_A] \quad (25)$$

【0 0 2 5】

そこで、A相電圧瞬時値時系列推定データは次のように計算される。

【数 1 2】

$$v_{Aek} = P_{vA1} \cos \omega t_k + P_{vA2} \sin \omega t_k, \quad k = 1, 2, \Lambda, 24 \quad (26)$$

40

ここに、時間は次のようになる。

$$t_{k+1} = t_k + T, \quad k = 0, 2, K, 23, \quad t_0 = 0 \quad (27)$$

この刻み幅はオンラインで変換するものとし、実測周波数 f_1 により下記のように計算される。

$$T_1 = \frac{1}{4N} \frac{1}{f_1} = \frac{1}{12f_1} \text{ (秒)} \quad (28)$$

50

なお、式(26)の時系列データは各実効値を計算するために生成した推定データである。以下の式展開においても同じである。

【 0 0 2 6 】

同様の計算手法で、B相実測電圧値は次の通りである。

【 数 1 3 】

$$[v_B] = \begin{bmatrix} v_{B1} \\ v_{B2} \\ \vdots \\ v_{B24} \end{bmatrix} \quad (29)$$

10

B相電圧瞬時値時系列推定データは次のように計算される。

$$v_{Bek} = P_{vB1} \cos \omega t_k + P_{vB2} \sin \omega t_k, \quad k = 1, 2, \dots, 24 \quad (30)$$

【 0 0 2 7 】

同様計算手法で、C相実測電圧値は次の通りである。

【 数 1 4 】

$$[v_C] = \begin{bmatrix} v_{C1} \\ v_{C2} \\ \vdots \\ v_{C24} \end{bmatrix} \quad (31)$$

20

C相電圧瞬時値時系列推定データは次のように計算される。

$$v_{Cek} = P_{vC1} \cos \omega t_k + P_{vC2} \sin \omega t_k, \quad k = 1, 2, \dots, 24 \quad (32)$$

30

【 0 0 2 8 】

次にA相電流瞬時値時系列推定データを求める。

A相電流は次式で求める。

【 数 1 5 】

$$i_A = \sqrt{2} I_A \cos(\omega t + \theta_A) = P_{iA1} \cos \omega t + P_{iA2} \sin \omega t \quad (33)$$

次のマトリックスが成立する。

$$[i_A] = [A][P_{iA}] \quad (34)$$

40

A相実測時系列データを次の通りである。現時点の電流実測データは

i_{A12} である。

$$[i_A] = \begin{bmatrix} i_{A1} \\ i_{A2} \\ \vdots \\ i_{A24} \end{bmatrix} \quad (35)$$

50

【 0 0 2 9 】

係数行列は次の通りである。

【数 1 6】

$$[P_{iA}] = \begin{bmatrix} P_{iA1} \\ P_{iA2} \end{bmatrix} \quad (36)$$

最小二乗法で A 相電流係数を求める。

$$[P_{iA}] = ([A]^T [A])^{-1} [A]^T [i_A] \quad (37) \quad 10$$

A 相電流瞬時値時系列データは次のように計算される。

$$i_{Aek} = P_{iA1} \cos \omega t_k + P_{iA2} \sin \omega t_k, \quad k = 1, 2, \dots, 24 \quad (38)$$

【 0 0 3 0 】

B相電流瞬時値時系列実測データは次の通りである。

【数 1 7】

$$[i_B] = \begin{bmatrix} i_{B1} \\ i_{B2} \\ \vdots \\ i_{B24} \end{bmatrix} \quad (39) \quad 20$$

B 相電流瞬時値時系列推定データは次のように計算される。

$$i_{Bek} = P_{iB1} \cos \omega t_k + P_{iB2} \sin \omega t_k, \quad k = 1, 2, \dots, 24 \quad (40)$$

C 相電流瞬時値時系列実測データは次の通りである。

$$[i_C] = \begin{bmatrix} i_{C1} \\ i_{C2} \\ \vdots \\ i_{C24} \end{bmatrix} \quad (41) \quad 30$$

C 相電流瞬時値時系列推定データは次のように計算される。

$$i_{Cek} = P_{iC1} \cos \omega t_k + P_{iC2} \sin \omega t_k, \quad k = 1, 2, \dots, 24 \quad (42)$$

上述した各相の電圧/電流瞬時値時系列推定データは、いずれも完全な正弦波データである。

【 0 0 3 1 】

ステップ 1 0 4 はステップ 1 0 3 にて算出された各相の電圧/電流瞬時値時系列推定データを用いて対称成分電圧/電流瞬時値時系列推定データを算出するステップである。ここに対称座標法の考え方をを用いて、それぞれの対称成分(零相、正相、逆相)を求める。用いられている各相の電圧/電流瞬時値時系列推定データが完全な正弦波データ(瞬時値時系列推定データ)であるため、以下のように正しく対称成分を求めることができる。 40

【 0 0 3 2 】

零相電圧瞬時値は下式で計算する。

【数 18】

$$v_{0ej} = \frac{1}{3}(v_{Aek} + v_{Bek} + v_{Cek}), \quad j = 1, 2, \dots, 16, \quad k = 9, 10, \dots, 24 \quad (43)$$

正相電圧瞬時値は下式で計算する。

$$v_{1ej} = \frac{1}{3}\{v_{Aek} + v_{Be(k-8)} + v_{Ce(k-4)}\}, \quad j = 1, 2, \dots, 16, \quad k = 9, 10, \dots, 24 \quad (44)$$

逆相電圧瞬時値は下式で計算する。

$$v_{2ej} = \frac{1}{3}\{v_{Aek} + v_{Be(k-4)} + v_{Ce(k-8)}\}, \quad j = 1, 2, \dots, 16, \quad k = 9, 10, \dots, 24 \quad (45)$$

【0033】

零相電流瞬時値は下式で計算する。

【数 19】

$$i_{0ej} = \frac{1}{3}(i_{Aek} + i_{Bek} + i_{Cek}), \quad j = 1, 2, \dots, 16, \quad k = 9, 10, \dots, 24 \quad (46)$$

正相電流瞬時値は下式で計算する。

$$i_{1ej} = \frac{1}{3}\{i_{Aek} + i_{Be(k-8)} + i_{Ce(k-4)}\}, \quad j = 1, 2, \dots, 16, \quad k = 9, 10, \dots, 24 \quad (47)$$

逆相電流瞬時値は下式で計算する。

$$i_{2ej} = \frac{1}{3}\{i_{Aek} + i_{Be(k-4)} + i_{Ce(k-8)}\}, \quad j = 1, 2, \dots, 16, \quad k = 9, 10, \dots, 24 \quad (48)$$

従来の瞬時値対称座標法と異なり、正相電圧と逆相電圧とは共役の関係がない、正相電流と逆相電流とも共役の関係がない。

【0034】

ステップ105は現時点各相成分の電圧/電流実効値を算出するステップである。

A相電圧実効値は下式で計算する。

【数 20】

$$V_A(t) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_{T_0}^0 v_{Ae}^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{k=13}^{24} v_{Aek}^2} \quad (49)$$

移動平均値を算出する。本発明は1サイクルのサンプリング期間で移動平均値を取るが、長いサンプリング時間の方がデータの安定性がよい。

$$V_{Aave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} V_A(t - kT) \quad (50)$$

【0035】

B相電圧実効値は下式で計算する。

10

20

30

40

【数 2 1】

$$V_B(t) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 v_{Be}^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{k=13}^{24} v_{Bek}^2} \quad (51)$$

移動平均値を算出する。

$$V_{Bave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} V_B(t - kT) \quad (52)$$

10

【0 0 3 6】

C相電圧実効値は下式で計算する。

【数 2 2】

$$V_C(t) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 v_{Ce}^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{k=13}^{24} v_{Cek}^2} \quad (53)$$

移動平均値を算出する。

$$V_{Cave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} V_C(t - kT) \quad (54) \quad 20$$

【0 0 3 7】

A相電流実効値は下式で計算する。

【数 2 3】

$$I_A(t) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 i_{Ae}^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{k=13}^{24} i_{Aek}^2} \quad (55)$$

移動平均値を算出する。

30

$$I_{Aave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} I_A(t - kT) \quad (56)$$

【0 0 3 8】

B相電流実効値は下式で計算する。

【数 2 4】

$$I_B(t) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 i_{Be}^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{k=13}^{24} i_{Bek}^2} \quad (57)$$

移動平均値を算出する。

40

$$I_{Bave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} I_B(t - kT) \quad (58)$$

【0 0 3 9】

C相電流実効値は下式で計算する。

【数 2 5】

$$I_C(t) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 i^2_{Ce} dt} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{k=13}^{24} i^2_{Cek}} \quad (59)$$

移動平均値を算出する。

$$I_{Cave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} I_C(t - kT) \quad (60)$$

【0 0 4 0】

10

ステップ 1 0 6 は現時点对称成分の電圧/電流実効値を算出するステップである。
零相電圧実効値は下式で計算する。

【数 2 6】

$$V_0(t) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 v^2_{0e} dt} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{k=5}^{16} v^2_{0ek}} \quad (61)$$

移動平均値を算出する。

$$V_{0ave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} V_0(t - kT) \quad (62) \quad 20$$

【0 0 4 1】

正相電圧実効値は下式で計算する。

【数 2 7】

$$V_1(t) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 v^2_{1e} dt} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{k=5}^{16} v^2_{1ek}} \quad (63)$$

移動平均値を算出する。

$$V_{1ave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} V_1(t - kT) \quad (64) \quad 30$$

【0 0 4 2】

逆相電圧実効値は下式で計算する。

【数 2 8】

$$V_2(t) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 v^2_{2e} dt} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{k=5}^{16} v^2_{2ek}} \quad (65)$$

移動平均値を算出する。

40

$$V_{2ave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} V_2(t - kT) \quad (66)$$

【0 0 4 3】

零相電流実効値は下式で計算する。

【数 2 9】

$$I_0(t) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 i^2_{0e} dt} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{k=5}^{16} i^2_{0ek}} \quad (67)$$

移動平均値を算出する。

$$I_{0ave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} I_0(t - kT) \quad (68)$$

【0 0 4 4】

正相電流実効値は下式で計算する。

【数 3 0】

$$I_1(t) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 i^2_{1e} dt} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{k=5}^{16} i^2_{1ek}} \quad (69)$$

移動平均値を算出する。

$$I_{1ave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} I_1(t - kT) \quad (70)$$

【0 0 4 5】

逆相電流実効値は下式で計算する。

【数 3 1】

$$I_2(t) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 i^2_{2e} dt} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{k=5}^{16} i^2_{2ek}} \quad (71)$$

移動平均値を算出する。

$$I_{2ave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} I_2(t - kT) \quad (72)$$

【0 0 4 6】

ステップ 1 0 7 は各相成分の有効電力/無効電力瞬時値時系列推定データを算出するステップである。

A相有効電力瞬時値時系列推定データは下式で計算する。

【数 3 2】

$$p_{Ai} = v_{Aej} \cdot i_{Aej}, \quad i = 1, 2, \dots, 12, j = 13, 14, \dots, 24 \quad (73)$$

B相有効電力瞬時値時系列推定データは下式で計算する。

$$p_{Bi} = v_{Bej} \cdot i_{Bej}, \quad i = 1, 2, \dots, 12, j = 13, 14, \dots, 24 \quad (74)$$

C相有効電力瞬時値時系列推定データは下式で計算する。

$$p_{Ci} = v_{Cej} \cdot i_{Cej}, \quad i = 1, 2, \dots, 12, j = 13, 14, \dots, 24 \quad (75)$$

【0 0 4 7】

A相無効電力瞬時値時系列推定データは下式で計算する。

10

20

30

40

【数 3 3】

$$q_{Ai} = v_{Ae(j-3)} \cdot i_{Aej}, \quad i = 1, 2, \dots, 12, j = 13, 14, \dots, 24 \quad (76)$$

B相無効電力瞬時値時系列推定データは下式で計算する。

$$q_{Bi} = v_{Be(j-3)} \cdot i_{Bej}, \quad i = 1, 2, \dots, 12, j = 13, 14, \dots, 24 \quad (77)$$

C相無効電力瞬時値時系列推定データは下式で計算する。

$$q_{Ci} = v_{Ce(j-3)} \cdot i_{Cej}, \quad i = 1, 2, \dots, 12, j = 13, 14, \dots, 24 \quad (78)$$

10

【0048】

ステップ108は対称成分の有効電力/無効電力瞬時値時系列推定データを算出するステップである。

零相有効電力瞬時値時系列推定データは下式で計算する。

【数 3 4】

$$p_{0i} = v_{0ej} \cdot i_{0ej}, \quad i = 1, 2, \dots, 12, j = 5, 6, \dots, 16 \quad (79)$$

正相有効電力瞬時値時系列推定データは下式で計算する。

$$p_{1i} = v_{1ej} \cdot i_{1ej}, \quad i = 1, 2, \dots, 12, j = 5, 6, \dots, 16 \quad (80)$$

20

逆相有効電力瞬時値時系列推定データは下式で計算する。

$$p_{2i} = v_{2ej} \cdot i_{2ej}, \quad i = 1, 2, \dots, 12, j = 5, 6, \dots, 16 \quad (81)$$

【0049】

零相無効電力瞬時値時系列推定データは下式で計算する。

【数 3 5】

$$q_{0i} = v_{0e(j-3)} \cdot i_{0ej}, \quad i = 1, 2, \dots, 12, j = 5, 6, \dots, 16 \quad (82)$$

30

正相無効電力瞬時値時系列推定データは下式で計算する。

$$q_{1i} = v_{1e(j-3)} \cdot i_{1ej}, \quad i = 1, 2, \dots, 12, j = 5, 6, \dots, 16 \quad (83)$$

逆相無効電力瞬時値時系列推定データは下式で計算する。

$$q_{2i} = v_{2e(j-3)} \cdot i_{2ej}, \quad i = 1, 2, \dots, 12, j = 5, 6, \dots, 16 \quad (84)$$

【0050】

ステップ109は現時点の各相成分有効電力/無効電力実効値を算出するステップである。

40

A相有効電力実効値は下式で計算する。

【数 3 6】

$$P_A(t) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 p_A dt = \frac{1}{12} \cdot \sum_{k=1}^{12} p_{Ak} \quad (85)$$

移動平均値を算出する。

$$P_{Aave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} P_A(t - kT) \quad (86)$$

10

【0 0 5 1】

B相有効電力実効値は下式で計算する。

【数 3 7】

$$P_B(t) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 p_B dt = \frac{1}{12} \cdot \sum_{k=1}^{12} p_{Bk} \quad (87)$$

移動平均値を算出する。

$$P_{Bave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} P_B(t - kT) \quad (88) \quad 20$$

【0 0 5 2】

C相有効電力実効値は下式で計算する。

【数 3 8】

$$P_C(t) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 p_C dt = \frac{1}{12} \cdot \sum_{k=1}^{12} p_{Ck} \quad (89)$$

移動平均値を算出する。

30

$$P_{Cave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} P_C(t - kT) \quad (90)$$

三相有効電力実効値は下式で計算する。

$$P_3(t) = P_A(t) + P_B(t) + P_C(t) \quad (91)$$

【0 0 5 3】

A相無効電力実効値は下式で計算する。

【数 3 9】

$$Q_A(t) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 q_A dt = \frac{1}{12} \cdot \sum_{k=1}^{12} q_{Ak} \quad (92)$$

移動平均値を算出する。

$$Q_{Aave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} Q_A(t - kT) \quad (93)$$

【0 0 5 4】

B相無効電力実効値は下式で計算する。

50

【数 4 0】

$$Q_B(t) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 q_B dt = \frac{1}{12} \cdot \sum_{k=1}^{12} q_{Bk} \quad (94)$$

移動平均値を算出する。

$$Q_{Bave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} Q_B(t - kT) \quad (95)$$

【0 0 5 5】

C相無効電力実効値は下式で計算する。

【数 4 1】

$$Q_C(t) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 q_C dt = \frac{1}{12} \cdot \sum_{k=1}^{12} q_{Ck} \quad (96)$$

移動平均値を算出する。

$$Q_{Cave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} Q_C(t - kT) \quad (97)$$

三相無効電力実効値は下式で計算する。

$$Q_3(t) = Q_A(t) + Q_B(t) + Q_C(t) \quad (98)$$

【0 0 5 6】

ステップ 1 1 0 は現時点の対称成分有効電力/無効電力実効値を算出するステップである。

零相有効電力実効値は下式で計算する。

【数 4 2】

$$P_0(t) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 p_0 dt = \frac{1}{12} \cdot \sum_{k=1}^{12} p_{0k} \quad (99)$$

移動平均値を算出する。

$$P_{0ave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} P_0(t - kT) \quad (100)$$

【0 0 5 7】

正相有効電力実効値は下式で計算する。

【数 4 3】

$$P_1(t) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 p_1 dt = \frac{1}{12} \cdot \sum_{k=1}^{12} p_{1k} \quad (101)$$

移動平均値を算出する。

$$P_{1ave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} P_1(t - kT) \quad (102)$$

【0 0 5 8】

10

20

30

40

50

逆相有効電力実効値は下式で計算する。

【数 4 4】

$$P_2(t) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 p_2 dt = \frac{1}{12} \cdot \sum_{k=1}^{12} p_{2k} \quad (103)$$

移動平均値を算出する。

$$P_{2ave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} P_2(t - kT) \quad (104)$$

10

【0059】

零相無効電力実効値は下式で計算する。

【数 4 5】

$$Q_0(t) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 q_0 dt = \frac{1}{12} \cdot \sum_{k=1}^{12} q_{0k} \quad (105)$$

移動平均値を算出する。

$$Q_{0ave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} Q_0(t - kT) \quad (106)$$

20

【0060】

正相無効電力実効値は下式で計算する。

【数 4 6】

$$Q_1(t) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 q_1 dt = \frac{1}{12} \cdot \sum_{k=1}^{12} q_{1k} \quad (107)$$

移動平均値を算出する。

$$Q_{1ave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} Q_1(t - kT) \quad (108)$$

30

【0061】

逆相無効電力実効値は下式で計算する。

【数 4 7】

$$Q_2(t) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0}^0 q_2 dt = \frac{1}{12} \cdot \sum_{k=1}^{12} q_{2k} \quad (109)$$

移動平均値を算出する。

$$Q_{2ave}(t) = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{11} Q_2(t - kT) \quad (110)$$

40

【0062】

ステップ 1 1 1 は現時点各相成分電圧と電流との間の位相角を算出するステップである。

A相電圧と電流との間の位相角は下式で計算する。

【数 4 8】

$$\beta_A(t) = \tan^{-1}\left(\frac{Q_A}{P_A}\right) \quad (111)$$

次の計算式も同じ計算結果が得られる。

$$\beta_A(t) = \cos^{-1}\left(\frac{P_A}{I_A V_A}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{P_A}{\sqrt{P_A^2 + Q_A^2}}\right) \quad (112)$$

【0063】

10

B相電圧と電流との間の位相角は下式で計算する。

【数 4 9】

$$\beta_B(t) = \tan^{-1}\left(\frac{Q_B}{P_B}\right) \quad (113)$$

次の計算式も同じ計算結果が得られる。

$$\beta_B(t) = \cos^{-1}\left(\frac{P_B}{I_B V_B}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{P_B}{\sqrt{P_B^2 + Q_B^2}}\right) \quad (114)$$

20

【0064】

C相電圧と電流との間の位相角は下式で計算する。

【数 5 0】

$$\beta_C(t) = \tan^{-1}\left(\frac{Q_C}{P_C}\right) \quad (115)$$

次の計算式も同じ計算結果が得られる。

$$\beta_C(t) = \cos^{-1}\left(\frac{P_C}{I_C V_C}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{P_C}{\sqrt{P_C^2 + Q_C^2}}\right) \quad (116)$$

30

【0065】

ステップ 1 1 2 は現時点对称成分電圧と電流との間の位相角を算出するステップである。

。

零相電圧と電流との間の位相角は下式で計算する。

【数 5 1】

$$\alpha_0(t) = \tan^{-1}\left(\frac{Q_0}{P_0}\right) \quad (117)$$

次の計算式も同じ計算結果が得られる。

$$\beta_0(t) = \cos^{-1}\left(\frac{P_0}{I_0 V_0}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}}\right) \quad (118)$$

40

【0066】

正相電圧と電流との間の位相角は下式で計算する。

【数 5 2】

$$\alpha_1(t) = \tan^{-1}\left(\frac{Q_1}{P_1}\right) \quad (119)$$

次の計算式も同じ計算結果が得られる。

$$\beta_1(t) = \cos^{-1}\left(\frac{P_1}{I_1 V_1}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}}\right) \quad (120)$$

【0067】

10

逆相電圧と電流との間の位相角は下式で計算する。

【数 5 3】

$$\alpha_2(t) = \tan^{-1}\left(\frac{Q_2}{P_2}\right) \quad (121)$$

次の計算式も同じ計算結果が得られる。

$$\beta_2(t) = \cos^{-1}\left(\frac{P_2}{I_2 V_2}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}}\right) \quad (122)$$

20

最後に、ステップ 1 1 3 によって終了かどうかを判別する。終了しない場合、ステップ 1 0 1 へ戻る。

【0068】

図 4 は三相電力系統のモデル系統図を示しており、交流電気量測定装置のモデル回路パラメータは表 1 に示すとおりである。すなわち、設計周波数を 60 Hz、サンプリング刻み幅を電気角度 30 度で $T = 0.001388888$ 秒、入力インピーダンス Z_1 を $1 + j10$ 、入力周波数を 63 Hz、A 相電圧実効値を 110 V、初期位相角を 0 度、B 相電圧実効値を 55 V、初期位相角を -120 度、C 相電圧実効値を 110 V、初期位相角を 120 度とする。このようなモデル系統図においては、三相不平衡回路で、入力周波数

30

【0069】

定常状態交流理論によれば、電流フェーザは次の計算式により求めることができる。

【数 5 4】

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_A \\ \dot{I}_B \\ \dot{I}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \dot{V}_A \\ \dot{V}_B \\ \dot{V}_C \end{bmatrix} \quad (123)$$

40

ここに、 $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ はそれぞれ A 相、B 相、C 相の電流フェーザ、

$\dot{V}_A, \dot{V}_B, \dot{V}_C$ はそれぞれ A 相、B 相、C 相の電圧フェーザである。

各相成分電流フェーザの絶対値は各相成分電流実効値、各相成分電圧フェーザの絶対値は各相成分電圧実効値である。

【0070】

従って、A 相有効電力実効値及び無効電力実効値は次の通り計算できる。

【数 5 5】

$$P_A + jQ_A = \dot{V}_A \dot{I}_A^* \quad (124)$$

ここに、 P_A, Q_A はそれぞれ A 相の有効電力実効値、無効電力実効値、

\dot{V}_A は A 相電圧フェーザ、 \dot{I}_A^* は A 相電流フェーザの共役である。

B 相と C 相電圧も同じように計算できる。

対称座標法により、対称成分電圧は次のように算出される。

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_A \\ \dot{V}_B \\ \dot{V}_C \end{bmatrix} \quad (125)$$

ここに、 $\dot{V}_0, \dot{V}_1, \dot{V}_2$ はそれぞれ零相、正相、逆相の電圧フェーザである。

対称成分電圧フェーザの絶対値は対称成分電圧実効値である。

【0 0 7 1】

対称座標法により、対称成分電流は次のように算出される。

【数 5 6】

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_A \\ \dot{I}_B \\ \dot{I}_C \end{bmatrix} \quad (126)$$

ここに、 $\dot{I}_0, \dot{I}_1, \dot{I}_2$ はそれぞれ零相、正相、逆相の電流フェーザである。

対称成分電流フェーザの絶対値は対称成分電流実効値である。

なお、対称座標法の変換係数は以下のように定義されている。

$$\alpha = e^{j2\pi/3}, \quad \alpha^2 = e^{-j2\pi/3} \quad (127)$$

【0 0 7 2】

次に、正相有効電力実効値及び無効電力実効値は次の通り計算される。

【数 5 7】

$$P_1 + jQ_1 = \dot{V}_1 \dot{I}_1^* \quad (128) \quad 40$$

ここに、 P_1, Q_1 はそれぞれ正相の有効電力実効値、無効電力実効値である。

\dot{V}_1 は正相電圧フェーザ、 \dot{I}_1^* は正相電流フェーザの共役である。

【0 0 7 3】

逆相有効電力実効値及び無効電力実効値は次の通りで計算される。

【数 5 8】

$$P_2 + jQ_2 = \dot{V}_2 \dot{I}_2^* \quad (129)$$

ここに、 P_2, Q_2 はそれぞれ逆相の有効電力実効値、無効電力実効値である。

\dot{V}_2 は逆相電圧フェーザ、 \dot{I}_2^* は逆相電流フェーザの共役である。

【0074】

零相有効電力実効値及び無効電力実効値は次の通りで計算される。

10

【数 5 9】

$$P_0 + jQ_0 = \dot{V}_0 \dot{I}_0^* \quad (130)$$

ここに、 P_0, Q_0 はそれぞれ零相の有効電力実効値、無効電力実効値である。

\dot{V}_0 は零相電圧フェーザ、 \dot{I}_0^* は零相電流フェーザの共役である。

【0075】

次に、本発明のシミュレーション結果について考察する。

20

図 5、図 6 は位相変動（電圧フリッカ）がある場合における A 相、B 相の電圧/電流瞬時値と実効値波形の測定結果を示すもので、入力周波数(63Hz)は設計周波数(60Hz)と異なるにも係わらず、平常状態での上記フェーザ演算式(123)による計算結果と照合した結果、完全に一致しており、誤差なく各相成分電圧/電流実効値は正しく測定されていることを確認した。

【0076】

次に、図 7、図 8 は位相変動（電圧フリッカ）がある場合における A 相有効電力/無効電力瞬時値と有効電力/無効電力実効値波形の測定結果を示すもので、入力周波数は設計周波数と異なるにも係わらず、平常状態での上記フェーザ演算式(124)による計算結果と照合した結果、完全に一致しており、誤差なくそれぞれの各相成分有効電力/無効電力実効値は正しく測定されていることを確認した。

30

【0077】

次に、図 9 及び図 10 は位相変動（電圧フリッカ）がある場合における正相逆相電圧/電流瞬時値と実効値波形の測定結果を示すもので、入力周波数は設計周波数と異なるにも係わらず、平常状態での上記フェーザ演算式(125)による計算結果と照合した結果、完全に一致しており、誤差なくそれぞれの対称成分電圧/電流実効値については正しく測定されていることを確認した。

更に、図 11、図 12 は位相変動（電圧フリッカ）がある場合における零相電圧/電流瞬時値と実効値波形の測定結果を示すもので、入力周波数は設計周波数と異なるにも係わらず、平常状態での上記フェーザ演算式(126)による計算結果と照合した結果、完全に一致しており、誤差なくそれぞれの対称成分電圧/電流実効値については正しく測定されていることを確認した。

40

【0078】

最後に、図 13 乃至図 18 は位相変動（電圧フリッカ）がある場合における各対称成分有効電力/無効電力瞬時値と有効電力/無効電力実効値波形の測定結果を示すもので、入力周波数は設計周波数と異なるにも係わらず、平常状態での上記フェーザ演算式(128)(129)(130)による計算結果と照合した結果、完全に一致しており、誤差なくそれぞれの対称成分有効電力/無効電力実効値については正しく測定されていることを確認した。

【0079】

表 1 モデル回路パラメータ

50

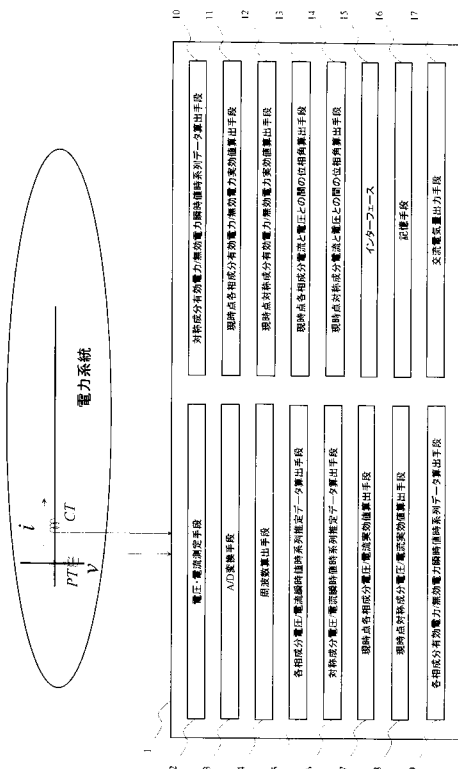
【数60】

設計周波数	60Hz
サンプリング刻み幅	電気角度 30 度、T=0.001388888 秒
インピーダンス Z_I	$1+j10(\Omega)$
入力周波数	63Hz
A 相電圧実効値、初期位相角	110V、0 度
B 相電圧実効値、初期位相角	55V、-120 度
C 相電圧実効値、初期位相角	110V、120 度

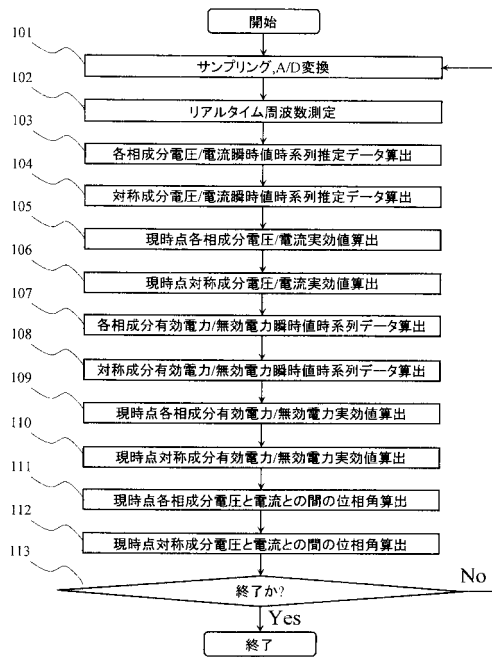
10

なお、上記交流電流量測定装置の他の例として、上記算出した現時点の各相成分有効電力/無効電力の実効値を用いて、計算式(有効電力実効値/SQRT(有効電力実効値**2+無効電力実効値**2))により、現時点の対称成分力率を算出することができる。

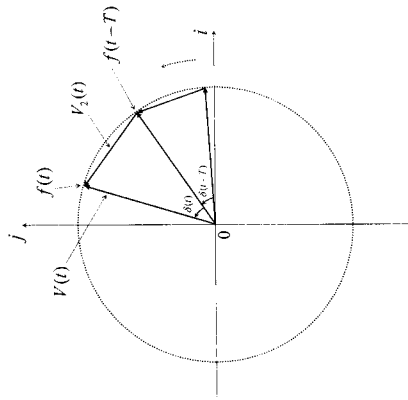
【図1】



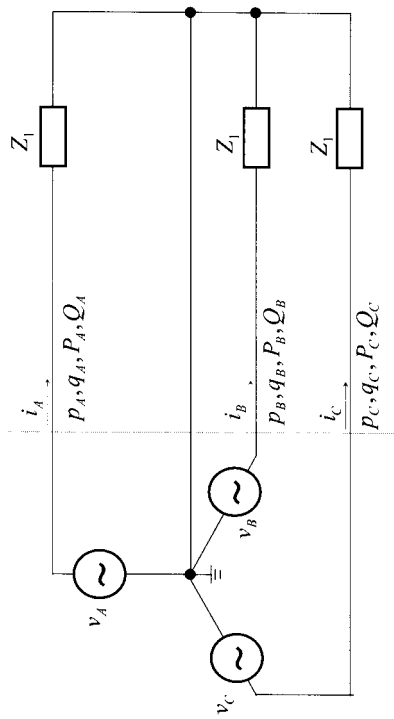
【図2】



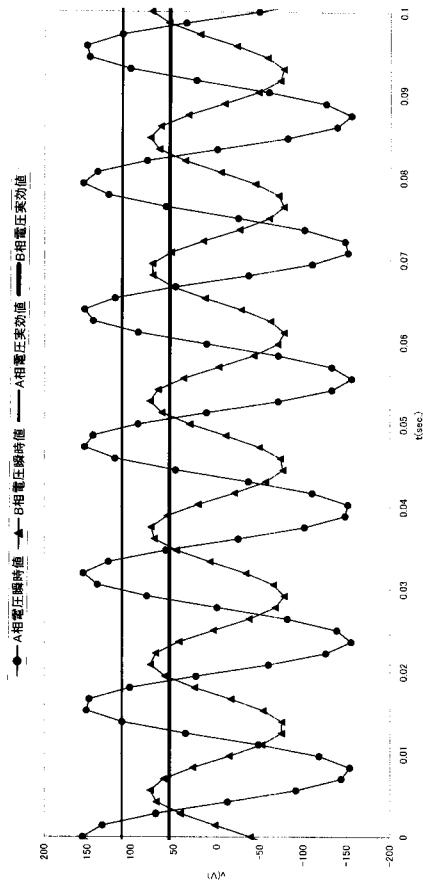
【 図 3 】



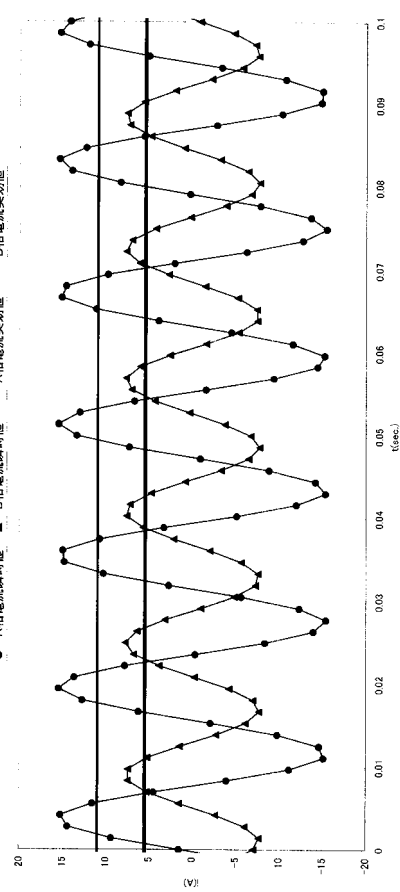
【 図 4 】



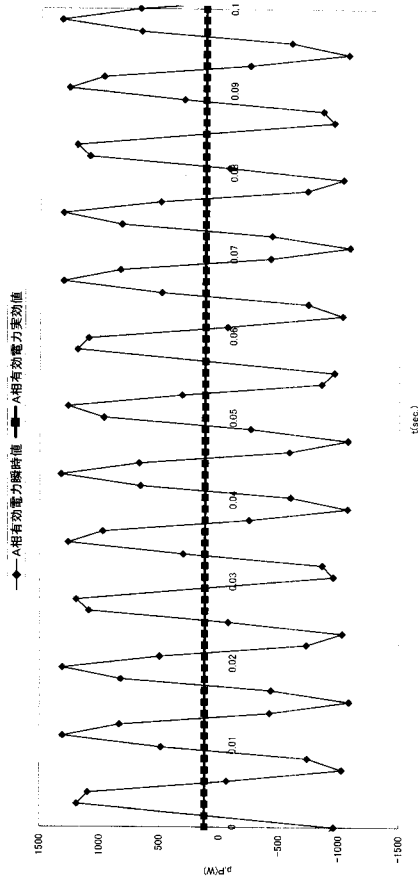
【 図 5 】



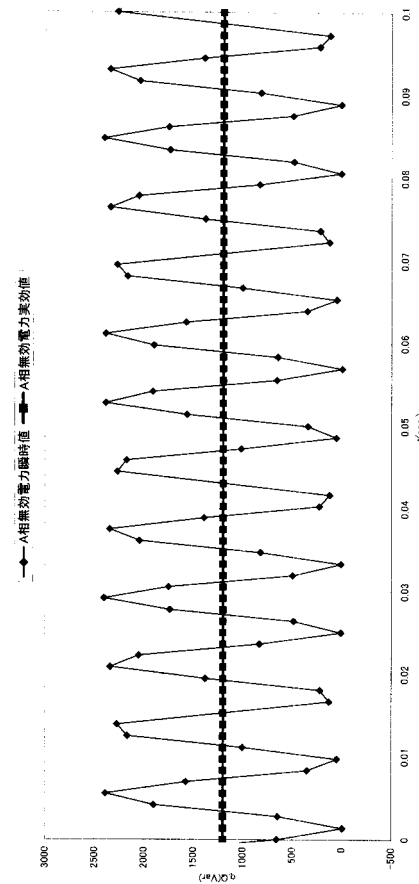
【 図 6 】



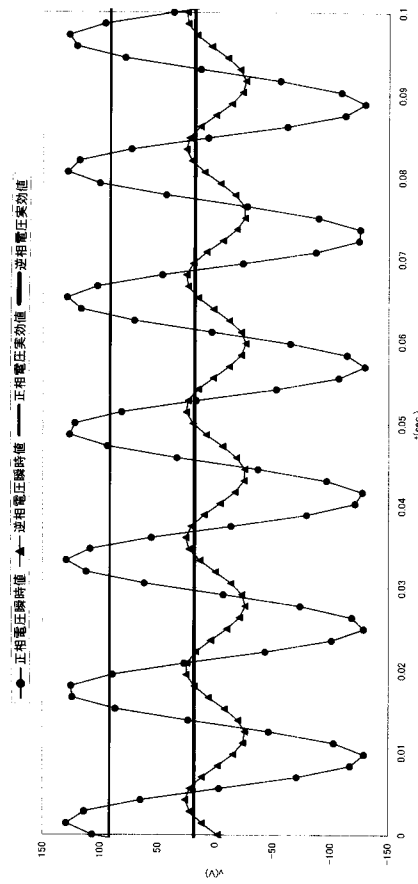
【図 7】



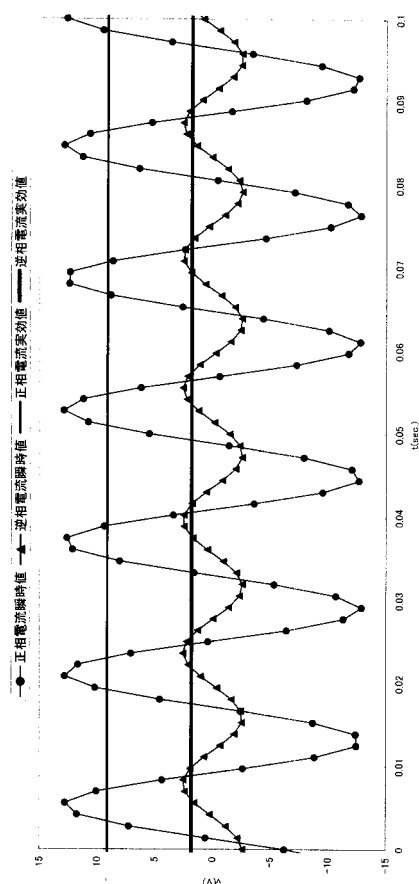
【図 8】



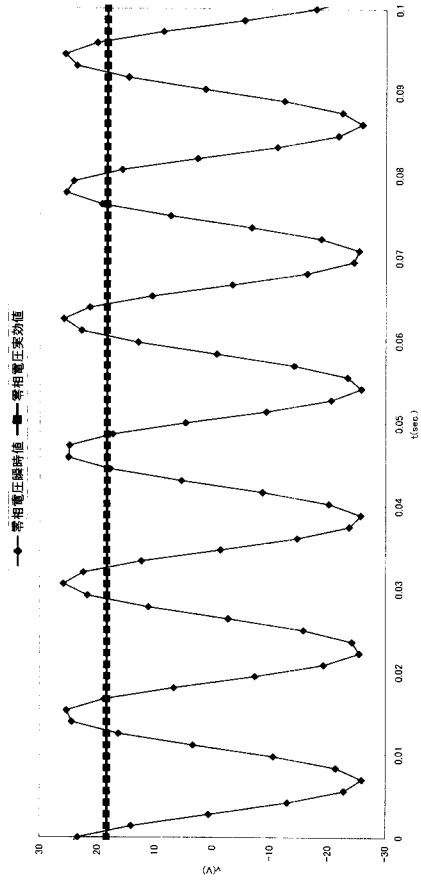
【図 9】



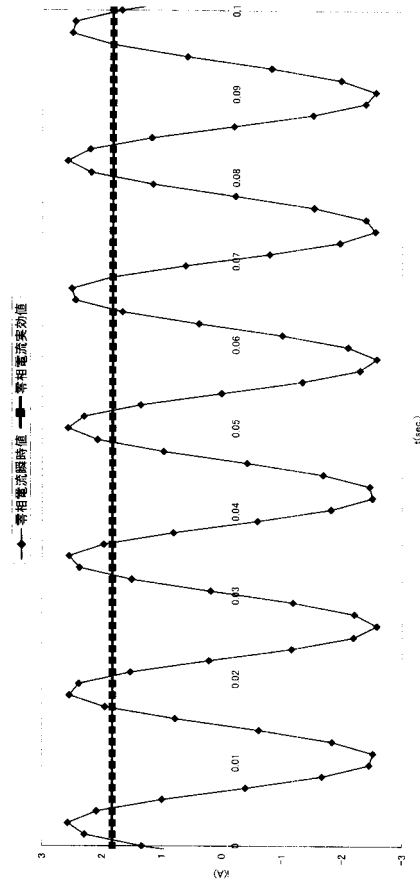
【図 10】



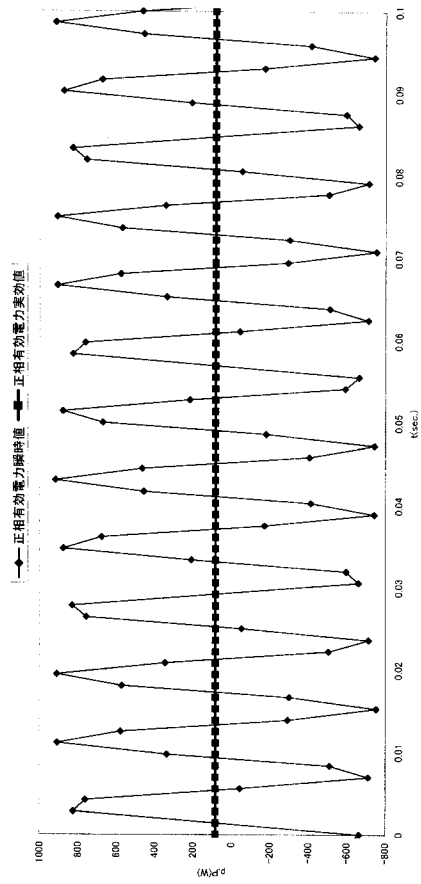
【図 1 1】



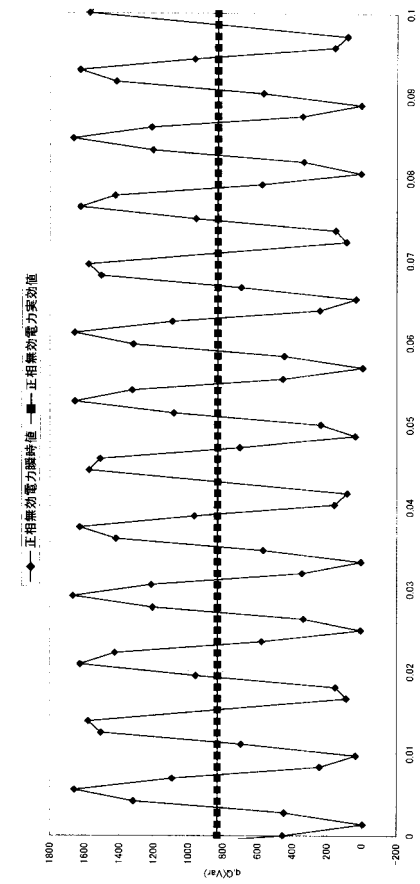
【図 1 2】




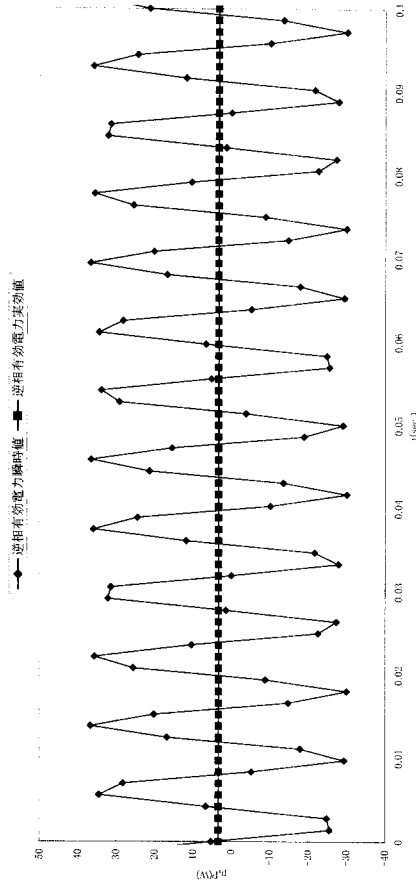
【図 1 3】




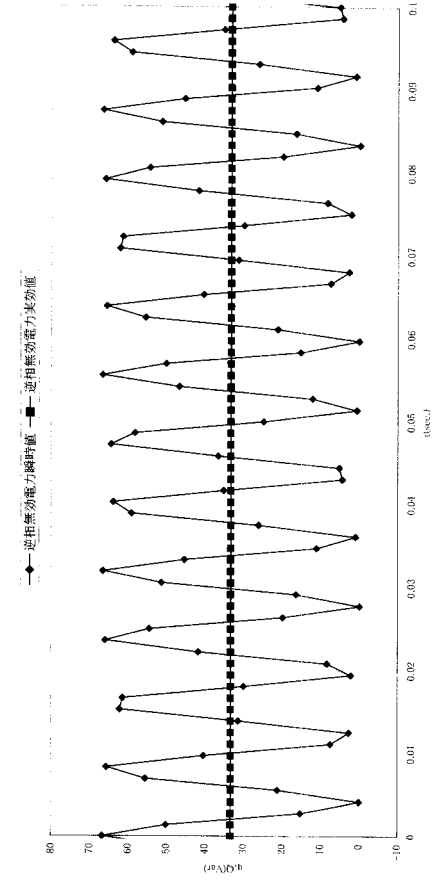
【図 1 4】




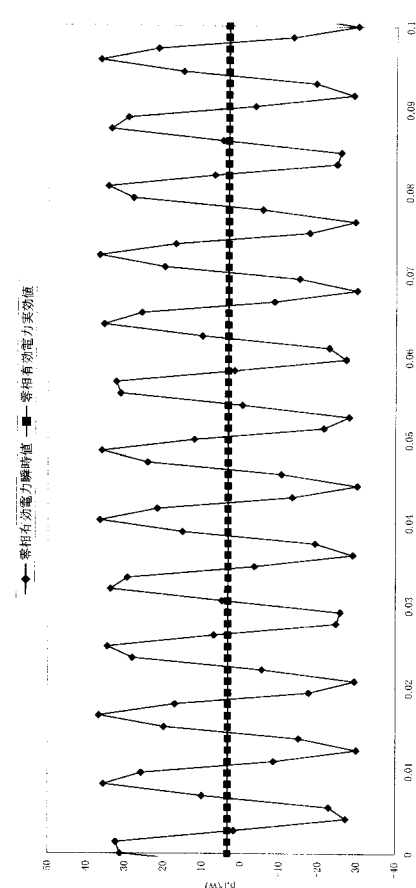
【 15】




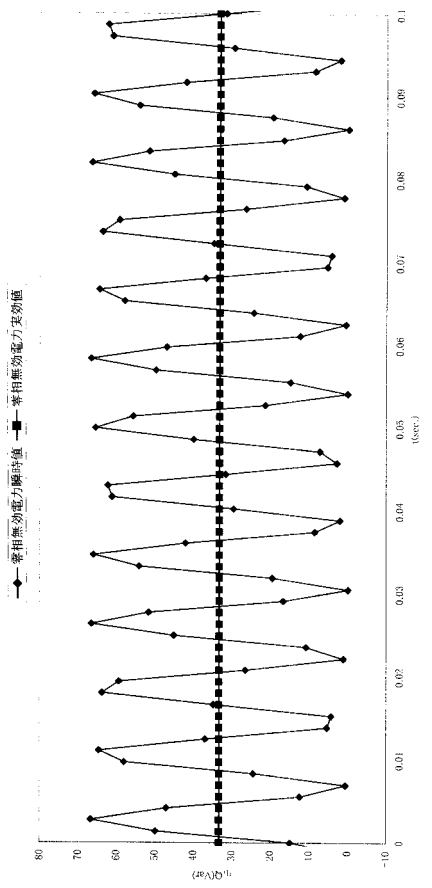
【 16】



【 17】



【 18】



フロントページの続き

審査官 関根 洋之

(56)参考文献 国際公開第2008/114328(WO, A1)

特開2006-179323(JP, A)

特開2005-204367(JP, A)

特開2004-361124(JP, A)

特表2002-500496(JP, A)

特開平10-336883(JP, A)

特開平09-171038(JP, A)

特開平07-325636(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 19/00-21/14

G01R 23/00-25/08

H02H 1/00- 3/07