

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6132739号
(P6132739)

(45) 発行日 平成29年5月24日(2017.5.24)

(24) 登録日 平成29年4月28日(2017.4.28)

(51) Int.Cl. F I
H02J 3/00 (2006.01) H02J 3/00 170

請求項の数 9 外国語出願 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2013-215472 (P2013-215472)	(73) 特許権者	000006013
(22) 出願日	平成25年10月16日(2013.10.16)		三菱電機株式会社
(65) 公開番号	特開2014-100052 (P2014-100052A)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(43) 公開日	平成26年5月29日(2014.5.29)	(74) 代理人	100110423
審査請求日	平成28年6月17日(2016.6.17)		弁理士 曾我 道治
(31) 優先権主張番号	13/677,752	(74) 代理人	100111648
(32) 優先日	平成24年11月15日(2012.11.15)		弁理士 梶並 順
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100122437
			弁理士 大宅 一宏
		(74) 代理人	100147566
			弁理士 上田 俊一
		(74) 代理人	100161171
			弁理士 吉田 潤一郎
		(74) 代理人	100161115
			弁理士 飯野 智史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 送電網内の状態を検出するための方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

送電網内の状態を検出するための方法であって、

正常状態の仮説を正弦曲線としてモデル化し、過渡事象状態の仮説を減衰する正弦曲線の和としてモデル化するステップと、

前記送電網内の電圧サンプルから確率密度関数 (p d f) を構成するステップと、

前記 p d f および前記仮説に基づく尤度比をしきい値と比較して、状態を判断する、比較するステップと、

を含み、

前記ステップは、プロセッサにおいて実行される、送電網内の状態を検出するための方法。 10

【請求項 2】

前記状態に従って、前記送電網にデバイスを接続するステップをさらに含む

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記電圧は、単相または三相である

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

確率的検出器において前記サンプルを解析して、該サンプルを前記 p d f に当てはめる、解析するステップをさらに含む 20

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記サンプルは、正常サンプルおよび過渡事象サンプルを含み、前記正常状態の仮説は、 $H_0 : y = a_0 e$ であり、前記過渡事象状態の仮説は、 $H_1 : y = C a$ であり、 y は電圧であり、 a は振幅であり、 e は各正常サンプルの周波数であり、 C は前記過渡事象サンプルの場合の前記周波数、減衰係数および正弦曲線の最大階数バンドルモンド行列である
請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

回転不変性技法による信号パラメータ推定 (E S P R I T) を用いて a_0 、 a 、 e および C を推定するステップをさらに含む

10

請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記比較するステップは、
前記正常 p d f および前記過渡事象 p d f の尤度比を求めるステップと、
前記尤度比をしきい値と比較するステップと
をさらに含む

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

最大記述長を用いてモデル次数を推定して、前記正常状態の仮説を得る、推定するステップをさらに含む

20

請求項 5 に記載の方法。

【請求項 9】

前記しきい値と比較するステップは、所望の誤警報確率に基づく

請求項 7 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、包括的には送電網内の状態を検出することに関し、詳細には、過渡事象を検出することに関する。

【背景技術】

30

【0002】

送電網過渡事象

送電網において、過渡事象は、電圧または電流における短時間の擾乱である。通常、過渡事象は、予期せぬ負荷または発電機の不整合に起因する。幾つかの過渡事象は、稲妻のような外部の自然現象に起因する。しかしながら、過渡事象の大部分は、例えば、負荷切替、ブレーカ切替、ヒューズ切断、短絡または単独運転によって内部で引き起こされる。過渡事象発生中に、主電源からの電力がもはや存在しない場合であっても、補助発電機または分散発電機が、送電網の局所に電力を供給し続ける。

【0003】

過渡事象発生中の電圧または電流の変化量は、場合による。例えば、短絡は、大きな電流増加を引き起こす可能性がある。過渡事象の累積的影響は、最新の送電網内に大量に組み込まれている半導体に損傷を与える可能性がある。意図しない過渡事象は、作業員、消費者および装置にとって危険である可能性がある。したがって、過渡事象は、検出されなければならない。

40

【0004】

過渡事象のスペクトル解析が既知である。従来手法は、フーリエ変換およびウェーブレット変換に基づく解析を含む。送電網は、微分方程式によって記述することができる。別の手法は、回転不変性技法による信号パラメータ推定 (E S P R I T) を用いる。

【0005】

図 1 は、従来技術の過渡事象検出を示す。整流器 110 が補助電源 100、例えば、太

50

陽電池パネル、風力タービンまたはバックアップ発電機のような分散電源に、およびインバータ120、例えば、単相または三相インバータに接続される。また、インバータは、回路ブレーカ130を介して主電源140にも接続される。主電源は、1つまたは複数の従来の大規模発電機、または他の送電網とすることができる。予測コントローラ190の出力が、インバータに接続される。コントローラへの入力は、被測定電圧(V)のサンプル180、および周波数(F)の移動平均170を含む。インバータおよび主電源は、負荷150に接続することもできる。

【0006】

特許文献1は、位相同期ループ内で位相誤差応答を変更すること、および過渡事象が変更された位相誤差応答に基づくか否かを判断することによって過渡事象状態を検出する。

10

【0007】

特許文献2は、発電所外部の送電網箇所において、送電線電圧上に検出可能信号を重ね合わせて、発電所において送電線電圧とは異なる検出可能信号を監視することによって過渡事象を検出する。

【0008】

特許文献3は、太陽光発電インバータを用いて過渡事象を検出する。インバータは、送電網AC周波数と、電氣的に最も近いACの周波数との間の相関度を計算する。相関度が所定の値未満に降下するか、または、ある特定のパターンもしくは挙動を示す場合には、これは主電力の損失を示す。

【0009】

20

節電(Brown out)

関連出願の特許文献4は、確率密度関数を用いて送電網内の不平衡状態を検出することを記述している。不平衡状態は、節電中のような電圧の大幅な低下に起因する可能性がある。この状態は、数ミリ秒程度の過渡事象に比べて、相対的に長期に、例えば、数分から数時間に及ぶ可能性がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】米国特許第8,195,414号

【特許文献2】米国特許第7,376,491号

30

【特許文献3】米国特許出願公開第2011/0276192号

【特許文献4】米国特許出願第13/329,720号

【発明の概要】

【0011】

本発明の実施の形態は、送電網内の過渡事象を検出するための方法およびシステムを提供する。その検出は、2値仮説検定および一般尤度比検定(GLRT)を使用する。GLRTは、未知のモデルパラメータの最尤推定(MLE)を伴う。

【0012】

これは、計算に関して複雑な問題であるので、本発明の実施の形態では、回転不変性技法による信号パラメータ推定(ESPRIT)を介して未知の信号パラメータを入手し、パラメータ推定のためのMLEの代わりに使用する。

40

【0013】

本方法は、電圧の基本周波数、初期位相または振幅をあらかじめ知る必要はない。それゆえ、本方法の性能は、送電網の公称周波数からの周波数偏差のような理想的でない状況下でも保持される。

【0014】

本発明の実施の形態は、送電網内の電圧信号の被測定サンプルの確率分布関数(pdf)を構成して、過渡事象サンプルを検出する。正常時のpdfおよび単独運転時のpdfは、異なる平均および共分散を有するので、それらのpdfを用いることができる。

【0015】

50

尤度比検定は、信号サンプルが、正常状態の仮説 (H_0) に対応するか、または過渡事象状態の仮説 (H_1) に対応するかを判断する。

【0016】

1つの実施の形態では、過渡事象の検出が、パラメータ試験として定式化され、その問題は、一般化尤度比検定 (GLRT) を用いることによって解かれる。この実施の形態によって用いられるときに、GLRTは、2つのモデルの適合性を比較するための統計的検定であり、そのモデルのうち的一方は、正常状態のためのモデルであり、他方は、過渡事象状態のためのモデルである。その検定は、これらのモデルの尤度比に基づく。

【0017】

例えば、GLRT比が1に等しくない場合には、過渡事象が検出される。この実施の形態の1つの変形形態では、1とその比との間の差がしきい値よりも大きい場合には、過渡事象が検出される。

【発明の効果】

【0018】

送電網は、非正常ネットワークであり、内部回路および外部回路が頻繁に変化する結果として、電圧および電流に過渡事象が生じる。過渡事象は、電力品質を劣化させ、専用の電気デバイスに損傷を引き起こす可能性があるか、または不可欠な電気装置を動作不能にする可能性がある。

【0019】

本発明は、2値仮説検定を用いて過渡事象を検出するための方法およびシステムを提供する。正常状態の場合の正常状態の仮説 (H_0) が単一の正弦曲線としてモデル化される。代替の過渡事象状態の仮説 (H_1) が減衰する正弦曲線の和としてモデル化される。

【0020】

モデルのパラメータは、未知であるので、送電網の電圧サンプルから構成された確率分布関数に関する一般尤度比検定が用いられる。pdfの尤度比がしきい値と比較され、ネットワークの状態が正常であるか、または異常な過渡事象であるかを判断する。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】従来技術の過渡事象検出器のブロック図である。

【図2】本発明の1つの実施の形態による送電網内の過渡事象を検出するための方法およびシステムのブロック図である。

【図3】本発明の実施の形態による確率的過渡事象検出器およびプロセスのブロック図である。

【図4】本発明の1つの実施の形態による、過渡事象状態下のパラメータ推定のブロック図である。

【図5】本発明の実施の形態によって用いられる信号波形の図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

システム方法概説

図2は、単相または三相送電網の局所内の過渡事象を検出するための方法およびシステムを示す。整流器210が、補助電源200、例えば、太陽電池パネル、風力タービンまたはバックアップ発電機のような分散電源に、およびインバータ220に接続される。インバータは、回路ブレーカ230を介して、主電源240にも接続される。確率的検出器270の出力がインバータに接続される。検出器への入力、後にさらに詳細に説明される、被測定電圧 (V) のサンプル260を含む。これらのサンプルは、正常時のサンプルまたは過渡事象時のサンプルとすることができる。インバータおよび主電源240は、負荷250にも接続することができる。検出器の出力は、過渡事象が検出されたか否かの判定280である。その判定を用いて、検出された状態に従って、送電網内の電源を「接続する」ことができる。本明細書において用いられるときに、「接続する」とは、送電網内の電源のいずれかを接続または切断することを意味することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 3 】

この状態に応答する時間は、相対的に短いので、本方法は、送電網内の電圧信号のサンプル265を測定し(260)、サンプルを入手する。確率的検出器は、それらのサンプルをリアルタイムに解析し、後にさらに詳細に説明されるように、サンプルを確率密度関数に当てはめることによって、過渡事象状態中における過渡事象サンプルを検出するか、または正常状態中における正常サンプルを検出する。

【 0 0 2 4 】

波形241は、典型的な過渡事象発生を示しており、主電源240の出力電圧の平均振幅242が、数ミリ秒足らずで急速に減少する。その波形例は、1秒間にわたる。それゆえ、本発明者は、約8kHzにおいて連続してサンプリングし、スライディング窓を用いて、現在の短期送電網状態を試験する。

10

【 0 0 2 5 】

この状態は、関連出願において記述されている状態とは全く異なる。いつでも回復可能である電圧の長期減少の代わりに、ここでは、例えば、電圧振幅が突然0まで減少する。補助電源を接続することができるように、この状態を迅速に認識することが重要である。これは、電気装置への電力の損失が致命的な可能性がある応用形態の場合に、特に重要である。代替的には、適切な応答は、主電源を切断することである場合がある。

【 0 0 2 6 】

電圧信号表現

正常時

20

正常な送電網状態中に、電圧信号は、下式(1)の正弦曲線として表すことができる。

【 0 0 2 7 】

【数1】

$$y(n) = a_0 e^{j\omega_0 n} + v(n) \quad (1)$$

【 0 0 2 8 】

ただし、 n は、整数のサンプリングインデックスであり、 a_0 は、基本周波数成分の複素振幅、すなわち、振幅および初期位相の積であり、 $v(n)$ は、雑音を表し、 ω_0 は、正規化された基本周波数である。アナログ基板周波数

【数2】

30

$$\tilde{\omega}_0$$

は、下式によって得ることができる。

【 0 0 2 9 】

【数3】

$$\tilde{\omega}_0 = \frac{\omega_0}{\Delta t}$$

【 0 0 3 0 】

ただし、 t は、サンプリング間隔を表す。電圧および電流のための信号モデルは、数学的に同じであることに留意されたい。

40

【 0 0 3 1 】

過渡事象発生時

送電網が、負荷切替および過渡事象のような異常状態による擾乱から損害を受ける場合には、電圧信号または電流信号が短期の過渡事象を受ける。一般的に、過渡事象は、減衰する正弦曲線の和としてモデル化することができる。

【 0 0 3 2 】

【数4】

$$y(n) = \sum_{i=1}^M a_i e^{-\gamma_i n} e^{j\omega_i n} + v(n) \quad (2)$$

【0033】

ただし、 $\gamma_i > 0$ は、特定の正弦曲線の第 i 成分のための正規化された減衰係数である。正弦曲線の数は、 $M > 0$ である。

【0034】

2 値仮説検定

10

上記に基づいて、正常状態の仮説 H_0 は、正弦曲線としてモデル化され、過渡事象状態の仮説 H_1 は、減衰する正弦曲線の和としてモデル化される。

【0035】

それゆえ、正常状態の仮説は、下式となる。

【0036】

【数5】

$$H_0: y(n) = a_0 e^{j\omega_0 n} + v(n)$$

【0037】

また、過渡事象状態の仮説は、下式となる。

20

【0038】

【数6】

$$H_1: y(n) = \sum_{i=1}^M a_i e^{-\gamma_i n} e^{j\omega_i n} + v(n)$$

【0039】

N 個のサンプルの場合、 $y = [y(0), y(1), \dots, y(N-1)]^T$ および $v = [v(0), v(1), \dots, v(N-1)]^T$ を定義する。それゆえ、2 値仮説検定は、以下のように行列形式で簡潔に表すことができる。

30

【0040】

【数7】

$$H_0: y = a_0 e + v \quad \text{および}$$

$$H_1: y = C(N, M)a + v \quad (3)$$

$$e = [1, e^{j\omega_0}, \dots, e^{j\omega_0(N-1)}]^T$$

【0041】

ただし、 $a = [a_1, a_2, \dots, a_M]^T$ であり、 $C(N, M)$ は、各行内に等比数列の項を有する最大階数バンドルモンド行列である。その行列は、過渡事象の場合に周波数 ω_i 、減衰係数 γ_i 、および正弦曲線の数 M の関数である。

40

【0042】

【数8】

$$C(N, M) = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \\ e^{j\omega_1 - \gamma_1} & \dots & e^{j\omega_M - \gamma_M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e^{(j\omega_1 - \gamma_1)(N-1)} & \dots & e^{(j\omega_M - \gamma_M)(N-1)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

50

【 0 0 4 3 】

変数 a 、 w_i 、 θ_i および M は、未知である。

【 0 0 4 4 】

確率的過渡事象検出器

図 3 は、本発明の実施の形態による確率的過渡事象検出器およびプロセスを示す。その検出器は、個別電子回路、または汎用プロセッサもしくはマイクロプロセッサ内で実現することができる。本方法ステップは、回路またはプロセスのモジュールとして実現することができる。本方法ステップは、メモリおよび入力/出力インターフェースに接続されるプロセッサならびに送電網によって実行することができる。

【 0 0 4 5 】

検出器への入力は、正常状態および過渡事象状態下で測定された正常/過渡事象サンプル 260 である。正常状態の仮説 H_0 下の 1 組の電圧サンプルの結合確率密度関数 (pdf) 340 は、 a_0 および w_0 を含む、未知のベクトル θ_0 を含む。過渡事象状態の仮説 H_1 下の 1 組の観測結果の結合確率密度関数 (pdf) 350 は、 a_i および w_i を含む、未知のベクトル θ_1 を含む。

【 0 0 4 6 】

未知のベクトル θ_0 は、最尤推定器を用いて推定される (300)。 H_1 の場合のパラメータ C および a は、図 4 に示されるように、ESPRIIT を用いて推定される (310)。

【数 9】

$$\frac{\max_{\theta_0} f(y|\theta_0, H_0)}{\max_{\theta_1} f(y|\theta_1, H_1)} \quad (5)$$

が求められ (320)、仮説 H_0 または H_1 に対する判定を得るためにしきい値と比較される (330)。

【 0 0 4 7 】

図 4 に示されるように、モデル次数 M は、最大記述長 (MDL) を用いて推定され (410)、それにより、データ内の規則性に最も対応する仮説を選択できるようになる。パラメータ C および a は、ESPRIIT を用いて推定される (420)。

【 0 0 4 8 】

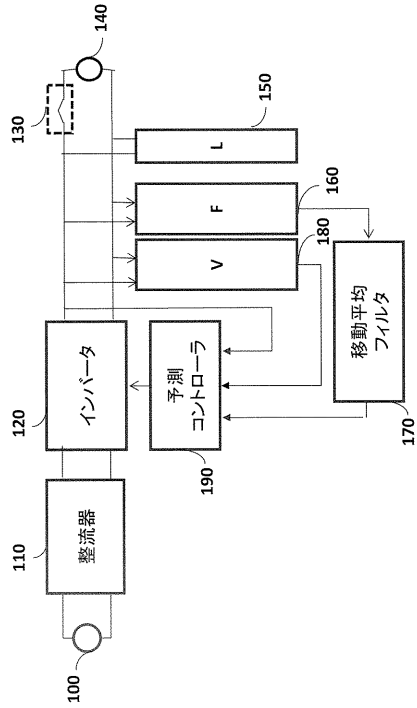
H_0 および H_1 の場合に、全ての未知のパラメータ a_0 、 w_0 、 C 、 a および M が推定された後に、一般化尤度比 320 を用いて過渡事象が検出され (250)、それは、所定のしきい値 T と比較される (330)。そのしきい値は、所望の誤警報確率 (PFA) に基づくことができる。PFA が高いほど、しきい値が小さい。

【 0 0 4 9 】

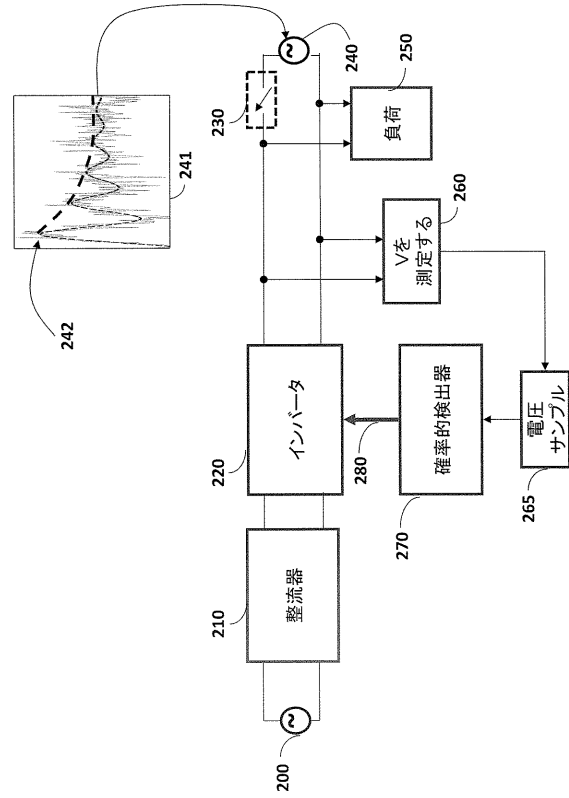
複数の正弦曲線からなる減衰信号

図 5 は、元の信号および 3 つの成分を示す。第 1 の成分は、基本周波数のための役割を担い、例えば、この例の場合、60 Hz である。時間に関しては、基本周波数の 1 サイクル中のサンプルが用いられる。第 1 の成分と雑音との間の信号対雑音比 (SNR) は、約 30 dB である。

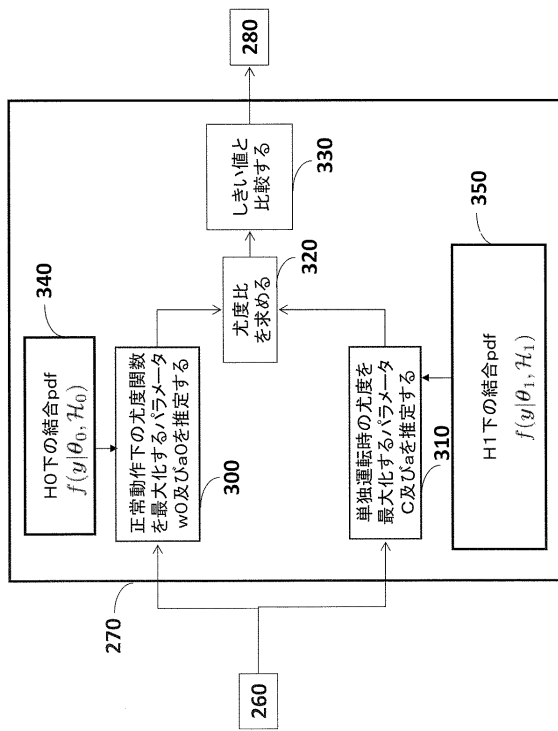
【図1】



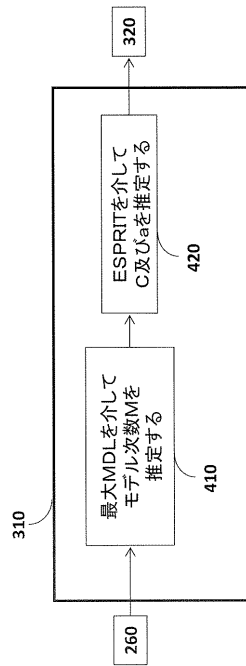
【図2】



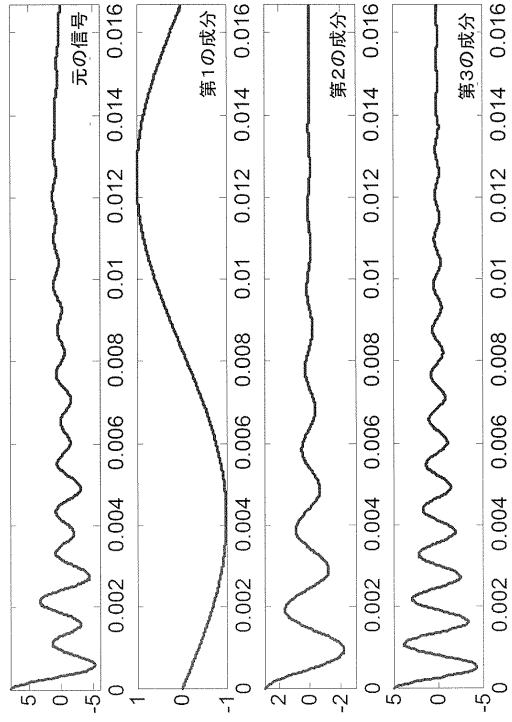
【図3】



【図4】



【 図 5 】



フロントページの続き

- (72)発明者 ザファー・サヒノグル
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ミュージアム・ウェイ 8、アパートメン
ト 1408
- (72)発明者 ジアンリン・グオ
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ニュートン、チェニイ・ストリート 5
- (72)発明者 シュウフェン・ソン
アメリカ合衆国、コネチカット州、ストーズ、フェアフィールド・ウェイ 371、ユニット 4
157

審査官 古河 雅輝

- (56)参考文献 特開2002-281658(JP,A)
特開2012-103132(JP,A)
特開2013-127463(JP,A)
特開昭59-226615(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06F 19/00
G06Q 10/00 - 99/00
H02J 3/00 - 5/00
H02J 13/00