

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7681475号  
(P7681475)

(45)発行日 令和7年5月22日(2025.5.22)

(24)登録日 令和7年5月14日(2025.5.14)

(51)国際特許分類	F I
H 0 2 J 3/24 (2006.01)	H 0 2 J 3/24
H 0 2 J 3/38 (2006.01)	H 0 2 J 3/38 1 6 0
H 0 2 J 13/00 (2006.01)	H 0 2 J 3/38 1 2 0
	H 0 2 J 13/00 3 0 1 A

請求項の数 12 外国語出願 (全19頁)

(21)出願番号	特願2021-145034(P2021-145034)	(73)特許権者	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(22)出願日	令和3年9月6日(2021.9.6)	(74)代理人	110002365 弁理士法人サンネクスト国際特許事務所
(65)公開番号	特開2023-38109(P2023-38109A)	(72)発明者	バンディ ラビカント 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
(43)公開日	令和5年3月16日(2023.3.16)	(72)発明者	加藤 大地 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
審査請求日	令和6年2月15日(2024.2.15)	(72)発明者	吉原 徹 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
		(72)発明者	大原 伸也

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 送電網監視システム及び送電網監視方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の動作点でのPCSベースのエネルギー源のインピーダンスであるPCSインピーダンスを示すPCSインピーダンスデータを記憶し、前記PCSベースのエネルギー源は、電力系統に接続されるとともに、電圧源と、前記電圧源によって生成された電力を前記電力系統に供給するために当該電力を調節するPCSとを含む、記憶部と、

前記PCSベースのエネルギー源と前記電力系統とが互いに接続される接続点において測定された電力潮流に基づいて、前記電力系統のインピーダンスである送電網インピーダンスを計算するリアルタイム計算部と、

前記PCSインピーダンスデータ及び前記送電網インピーダンスに基づいて、前記接続点におけるLFOを検出するための安定性チェックを行う安定性チェック部と、  
を備える、送電網監視システム。

10

【請求項2】

前記記憶部は、前記PCSインピーダンスを示す前記PCSインピーダンスデータを周波数領域で記憶し、

前記リアルタイム計算部は、前記送電網インピーダンスを周波数領域で計算する、  
請求項1に記載の送電網監視システム。

【請求項3】

前記安定性チェック部は、前記複数の動作点のそれぞれについて、周波数領域での前記PCSインピーダンスデータ及び前記送電網インピーダンスを利用して、前記接続点にお

20

ける前記 P C S ベースのエネルギー源と前記電力系統との間の伝達関数のゲイン及び位相角を含むボード線図を作成し、

前記安定性チェック部は、前記ボード線図に基づいて前記 L F O が検出されるか否かを判断する、

請求項 2 に記載の送電網監視システム。

【請求項 4】

前記 P C S ベースのエネルギー源の前記インピーダンスを計算するオフライン計算部をさらに備え、

前記記憶部は、前記オフライン計算部によって計算された前記 P C S ベースのエネルギー源の前記インピーダンスに基づいて生成される前記 P C S インピーダンスデータを記憶する、

10

請求項 1 に記載の送電網監視システム。

【請求項 5】

前記 L F O が現在の動作点について検出された場合、前記安定性チェック部は、前記 P C S ベースのエネルギー源の動作状態を前記現在の動作点から前記複数の動作点のうち別の動作点へと変更するためのコマンドを出力する、

請求項 1 に記載の送電網監視システム。

【請求項 6】

前記電力系統は、複数の発電機がそれぞれのインピーダンス素子を介して前記 P C S ベースのエネルギー源に並列接続されている並列構成を有する、

20

請求項 1 に記載の送電網監視システム。

【請求項 7】

前記電力系統は、複数の発電機がインピーダンス素子を介して前記 P C S ベースのエネルギー源にメッシュ接続されているメッシュタイプ構成を有する、

請求項 1 に記載の送電網監視システム。

【請求項 8】

前記インピーダンス素子は、コンデンサを含み、

前記発電機は、前記コンデンサを介して接続された第 1 の発電機と、前記コンデンサを介さずに接続された第 2 の発電機とを含む、

請求項 6 又は 7 に記載の送電網監視システム。

30

【請求項 9】

前記コンデンサは、それぞれが直列及び / 又は並列接続された複数のコンデンサ素子から成る、

請求項 8 に記載の送電網監視システム。

【請求項 10】

前記 P C S ベースのエネルギー源は、1 つ以上の風力タービンを含むウィンドファームである、

請求項 1 に記載の送電網監視システム。

【請求項 11】

前記風力タービンのそれぞれは、インバータ、変圧器及びフィルタを含む前記 P C S を介して、前記接続点で前記電力系統に接続される、

40

請求項 10 に記載の送電網監視システム。

【請求項 12】

複数の動作点での P C S ベースのエネルギー源のインピーダンスである P C S インピーダンスを示す P C S インピーダンスデータを記憶装置に記憶することであって、前記 P C S ベースのエネルギー源は、電力系統に接続されるとともに、電圧源と、前記電圧源によって生成された電力を前記電力系統に供給するために当該電力を調節する P C S とを含むことと、

前記 P C S ベースのエネルギー源と前記電力系統とが互いに接続される接続点において測定された電力潮流に基づいて、前記電力系統のインピーダンスである送電網インピーダ

50

ンスを計算することと、

前記PCSインピーダンスデータ及び前記送電網インピーダンスに基づいて、前記接続点におけるLFOを検出するための安定性チェックを行うことと、

を含む、送電網監視方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電力システムを監視するためのシステム及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年では、クリーンな再生可能エネルギーによる発電への需要の高まりにより、電力システムにおいて電力調節システム（PCS）が深く浸透することが必要となった。ある種の再生可能エネルギー源及びPCSを用いた発電機を含むPCSベースのエネルギー源は、接続点（POC）にて電力システムに接続される。電力システムの実時間動作において、POCでのPCSインピーダンス及び送電網インピーダンスは、電力システムの安定性をチェックするための十分なパラメータである。

【0003】

電力システムのいずれかのポイントで送電線の開放をもたらす障害などの何らかの異常が発生した場合、結果として、電力システムの送電網インピーダンスが変化する。この送電網インピーダンスの変化により、POCの電圧及び電流に低周波発振（LFO）が生じる。電力システムにおけるLFOを監視及び制御するために、送電網インピーダンス及びPCSインピーダンスのリアルタイム計算が必要となる。しかしながら、PCSインピーダンスの計算は一般的に多大な時間を消費する。従って、LFOをリアルタイムで監視することは難しい。

【0004】

電力システムにおいて何らかの異常が発生した場合、PCSベースのエネルギー源は電力システムに対して脆弱性がある。PCSベースのエネルギー源において生じ得る問題の一つは、電力システムの短絡比（SCR）が低くなった場合のLFOである。SCRは、電力システムにおける送電線の容量に対するPCSベースのエネルギー源からの出力電力の比率として定義することができる。従って、PCSベースのエネルギー源の出力電力が高く、かつ送電線の送電容量が低い場合、LFOのリスクが高まる。

【0005】

風力エネルギーは、最もクリーンなエネルギー源の一つと見なされている。風力エネルギーを用いて発電する風力タービンは、PCSベースのエネルギー源として使用されるために、PCSを介して電力システムと一体化されてもよい。PCSの機能は、電力の可変特性を調整し、かつこれを電力システムに供給することである。

【0006】

ウィンドファームとは、多くの風力タービンから成る風力発電所である。ウィンドファームは、主要な電力システムやロードセンターから離れた遠隔地に位置することができる。一般的に、ウィンドファームは、電力システムへの長い送電線と1つのPOCを必要とする。長い送電線では、直列コンデンサは、送電網の安定性、送電容量及び電圧の安定性の問題に対処するための経済的解決策として見なされている。

【0007】

いくつかの例では、風力タービンが準同期相互作用の問題に対して脆弱であるため、ウィンドファームが送電線の直列コンデンサに放射状に接続されている場合、POCにおいて電圧及び電流にLFOが誘発される。具体的には、PCSが、直列コンデンサによって発生された電気共振と相互作用し、風力タービンの損傷又は動作不良をもたらし得る。最悪の場合、PCSの相互作用は停電をもたらし得る。さらに、電気共振によってもたらされた電流のLFOに反応した際、当該反応は、電力システムにおける共振の減衰に影響を与え得る。この現象は、準同期制御作用（SSCI）と称されている。SSCIは、電流及び

10

20

30

40

50

電圧の L F O につながり、電力系統に不安定さを引き起こす。

【 0 0 0 8 】

一般的に用いられる S S C I の調査方法の一つに、周波数走査分析がある。以下の特許文献 1 は、S S C I の調査のために風力タービン及び電力系統の P C S インピーダンスを計算する周波数走査方法を開示している。特許文献 1 では、P C S インピーダンス及び送電網インピーダンスは、システムの L F O の周波数である共振周波数を見出すために計算される。共振周波数でのシステムの抵抗を測定することによって、S S C I によってもたらされる L F O のリスク評価を行うことができる。このインピーダンス測定方法は、風力タービンの P C S コントローラを改良するために使用される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 9 】

【文献】米国特許第 9,941,828 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 0 】

特許文献 1 によって開示された方法では、P C S インピーダンスは、電磁過渡現象 ( E M T ) モデルで計算される。このような計算は多大な時間を消費し、従って、L F O をリアルタイムで監視することは未だに難しい。

【 0 0 1 1 】

従って、本発明の目的は、電力系統に接続された P C S ベースのエネルギー源についての L F O をリアルタイムで監視することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

本発明に係る送電網監視システムは、複数の動作点での P C S ベースのエネルギー源のインピーダンスである P C S インピーダンスを示す P C S インピーダンスデータを記憶し、前記 P C S ベースのエネルギー源は、電力系統に接続されるとともに、電圧源と、前記電圧源によって生成された電力を前記電力系統に供給するために当該電力を調節する P C S とを含む、記憶部と、前記 P C S ベースのエネルギー源と前記電力系統とが互いに接続される接続点において測定された電力潮流に基づいて、前記電力系統のインピーダンスである送電網インピーダンスを計算するリアルタイム計算部と、前記 P C S インピーダンスデータ及び前記送電網インピーダンスに基づいて、前記接続点における L F O を検出するための安定性チェックを行う安定性チェック部と、を備える。

本発明に係る送電網監視方法は、複数の動作点での P C S ベースのエネルギー源のインピーダンスである P C S インピーダンスを示す P C S インピーダンスデータを記憶装置に記憶することであって、前記 P C S ベースのエネルギー源は、電力系統に接続されるとともに、電圧源と、前記電圧源によって生成された電力を前記電力系統に供給するために当該電力を調節する P C S とを含むことと、前記 P C S ベースのエネルギー源と前記電力系統とが互いに接続される接続点において測定された電力潮流に基づいて、前記電力系統のインピーダンスである送電網インピーダンスを計算することと、前記 P C S インピーダンスデータ及び前記送電網インピーダンスに基づいて、前記接続点における L F O を検出するための安定性チェックを行うことと、を含む。

【発明の効果】

【 0 0 1 3 】

本発明によれば、電力系統に接続された P C S ベースのエネルギー源についての L F O をリアルタイムで監視することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 4 】

【図 1】図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係る送電網監視システムの概略ブロック図を示す。

10

20

30

40

50

【図 2】図 2 は、本発明の第 1 の実施形態に係る送電網監視システムの詳細な構成を示す。

【図 3】図 3 は、いくつかの動作点での周波数領域内の P C S インピーダンスデータ式の一例を示す。

【図 4】図 4 は、周波数領域送電網インピーダンスの例を示す。

【図 5】図 5 は、安定性チェックプロセスの概要を示す。

【図 6】図 6 は、安定性チェックプロセスのフローチャートを示す。

【図 7】図 7 は、図 6 のステップ S 1 3 0 で行われる安定性チェック及び L F O 制御のフローチャートを示す。

【図 8】図 8 は、L F O 制御が適用されない場合の、P O C における時系列での電圧挙動の一例である。

【図 9】図 9 は、図 8 の例で示される P O C での電圧に従った伝達関数のボード線図の例を示す。

【図 1 0】図 1 0 は、本発明に係る L F O 制御が適用された場合の、P O C における時系列での電圧挙動の一例である。

【図 1 1】図 1 1 は、図 1 0 の例で示される P O C での電圧に従った伝達関数のボード線図の例を示す。

【図 1 2】図 1 2 は、表示部に表示される画面の一例を示す。

【図 1 3】図 1 3 は、本発明の第 2 の実施形態に係る送電網監視システムの概略ブロック図を示す。

【図 1 4】図 1 4 は、本発明の第 3 の実施形態に係る送電網監視システムの概略ブロック図を示す。

【図 1 5】図 1 5 は、本発明の第 4 の実施形態に係る送電網監視システムの概略ブロック図を示す。

【図 1 6】図 1 6 は、本発明の第 5 の実施形態に係る送電網監視システムの概略ブロック図を示す。

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 5】

[ 第 1 の実施形態 ]

図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係る送電網監視システム 1 0 の概略ブロック図を示す。図 1 に示される通り、送電網監視システム 1 0 は、P O C 4 0 において、測定システム 5 0 を介して電力系統 2 0 及び P C S ベースのエネルギー源 3 0 に接続される。

【0 0 1 6】

電力系統 2 0 は、発電機 2 1 及び送電網インピーダンス 2 2 を含む。発電機 2 1 は、電力を生成し、その電力を送電線（図示なし）を介して消費者に供給する。送電網インピーダンス 2 2 は、例えば、送電線のインダクタンス、抵抗及び静電容量を含む電力系統 2 0 のインピーダンスである。

【0 0 1 7】

P C S ベースのエネルギー源 3 0 は、P C S 電圧源 3 1 及び P C S 3 2 を含む。P C S 電圧源 3 1 は、例えば風力や太陽電力等の再生可能エネルギー源を用いた発電機である。P C S 3 2 は、P C S 電圧源 3 1 によって生成された電力を調整し、この電力を送電線を介して消費者に供給する。

【0 0 1 8】

電力系統 2 0 と P C S ベースのエネルギー源 3 0 は、P O C 4 0 において互いに接続される。測定システム 5 0 は、P O C 4 0 に接続され、所定の周期で繰り返し電流及び電圧を検出することによって P O C 4 0 での電力潮流を測定し、電力潮流の測定結果を送電網監視システム 1 0 へ出力する。

【0 0 1 9】

送電網監視システム 1 0 は、オフライン計算部 1 0 1、リアルタイム計算部 1 0 2、安定性チェック部 1 0 3、記憶部 1 1 0、インターフェース部 1 2 0、及び表示部 1 3 0 を備える。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 0 】

オフライン計算部 1 0 1 は、PCS 3 2 のインピーダンス値である PCS インピーダンスを、いくつかの動作点において周波数領域で事前に計算する。ここで、動作点とは、PCS ベースのエネルギー源 3 0 の出力電力を意味し、これは POC 4 0 における有効電力、無効電力、及び電圧に応じて変動する。換言すると、オフライン計算部 1 0 1 は、PCS ベースのエネルギー源 3 0 の様々な出力電力に対する PCS インピーダンスを事前に計算する。オフライン計算部 1 0 1 によって計算された PCS インピーダンスデータは、記憶部 1 0 1 に格納される。

## 【 0 0 2 1 】

リアルタイム計算部 1 0 2 は、送電網インピーダンス 2 2 のインピーダンス値である送電網インピーダンスを、周波数領域で計算する。リアルタイム計算部 1 0 2 は、測定システム 5 0 から出力された POC 4 0 における電力潮流の測定結果に基づく送電網インピーダンスをリアルタイムで計算する。リアルタイム計算部 1 0 2 によって計算された送電網インピーダンスデータは、安定性チェック部 1 0 3 に出力される。

10

## 【 0 0 2 2 】

安定性チェック部 1 0 3 は、事前に記憶部 1 1 0 に格納された PCS インピーダンスデータ及びリアルタイム計算部 1 0 2 によってリアルタイムで計算された送電網インピーダンスデータを取得し、これらのデータに基づいて、POC 4 0 における電圧及び電流の安定性チェックを行い、LFO の発生を監視する。その結果、POC 4 0 における電力潮流が不安定になりそうで LFO が発生するかもしれない場合、安定性チェック部 1 0 3 は、PCS ベースのエネルギー源 3 0 から電力系統 2 0 への出力電力の安定化を促すために、インターフェース部 1 2 0 を介して給電指令所 6 0 に所定のコマンドを出力する。

20

## 【 0 0 2 3 】

記憶部 1 1 0 は、送電網監視システム 1 0 で使用される様々なデータ、例えば、オフライン計算部 1 0 1 によって計算された PCS インピーダンスデータ等を格納する。HDD (ハードディスクドライブ)、SSD (ソリッドステートドライブ) 等の不揮発性記録媒体を記憶部 1 1 0 として使用してよい。

## 【 0 0 2 4 】

インターフェース部 1 2 0 は、送電網監視システム 1 0 の信号を入出力するための所定のインターフェース処理を行う。安定性チェック部 1 0 3 からの上述のコマンドは、インターフェース部 1 2 0 の処理によって給電指令所 6 0 に出力することができる。

30

## 【 0 0 2 5 】

表示部 1 3 0 は、測定システム 5 0 によって検出された POC 4 0 における電流及び電圧と、安定性チェック部 1 0 3 による安定性チェックの結果とを入力する。これらの入力データに基づき、表示部 1 3 0 は、システム管理者等の送電網監視システム 1 0 のユーザに対して、電力系統 2 0 及び PCS ベースのエネルギー源 3 0 の動作状態を監視するための様々な情報を表示する。表示部 1 3 0 で表示される画像の例については後述する。

## 【 0 0 2 6 】

給電指令所 6 0 は、安定性チェック部 1 0 3 からの出力コマンドにตอบสนองして、PCS ベースのエネルギー源 3 0 から電力系統 2 0 への出力電力の安定化を促すために、PCS ベースのエネルギー源 3 0 の動作状態を変更する。これにより、POC 4 0 における LFO の発生を回避することができる。

40

## 【 0 0 2 7 】

なお、第 1 の実施形態に記載の送電網監視システム 1 0 は、電力系統 2 0 の電圧安定性、周波数安定性及び電力潮流の制御など、他の電力系統の安定化機能を含んでもよい。さらに、電力系統 2 0 に関して、発電機 2 1 は多数の発電機を表すものでもよいし、送電網インピーダンス 2 2 は、相互に接続された直列、並列及びメッシュタイプの送電線の組合せであってもよい。図 1 に示される電力系統 2 0 は、単なる例示である。

## 【 0 0 2 8 】

図 2 は、本発明の第 1 の実施形態に係る送電網監視システム 1 0 の詳細な構成を示す。

50

送電網監視システム 10 は、CPU 100 及び記憶部 110 を含む。CPU 100 は、記憶部 110 等に記録されたプログラムを実行して所定の処理を行い、オフライン計算部 101、リアルタイム計算部 102、及び安定性チェック部 103 として機能する。

【0029】

オフライン計算部 101 は、PCS ベースのエネルギー源 30 の電磁過渡現象モデルである、PCS の EMT モデル 1101 を、記憶部 110 から読み込む。オフライン計算部 101 は、PCS の EMT モデル 1101 を用いて EMT シミュレーションソフトウェア 1011 を実行して時系列シミュレーションを行い、いくつかの動作点 1, 2...N における PCS インピーダンスデータ式  $Z_{PCS1}(f)$ ,  $Z_{PCS2}(f)$ , ...  $Z_{PCSN}(f)$  を周波数領域で用意する。オフライン計算部 101 によって計算された PCS インピーダンスデータ式  $Z_{PCS1}(f)$ ,  $Z_{PCS2}(f)$ , ...  $Z_{PCSN}(f)$  は、PCS インピーダンスデータ 1102 として記憶部 110 に格納される。

10

【0030】

リアルタイム計算部 102 は、POC 40 で流れる電圧及び電流の測定結果を測定システム 50 から受信し、受信した電圧及び電流に基づき、送電網インピーダンス  $Z_g(f)$  を周波数領域で計算する。計算された送電網インピーダンス  $Z_g(f)$  のリアルタイムデータ 1021 は、リアルタイム計算部 102 から安定性チェック部 103 へ出力される。

【0031】

安定性チェック部 103 は、記憶部 110 から PCS インピーダンスデータ 1102 を読み込み、リアルタイム計算部 102 からリアルタイム送電網インピーダンスデータ 1021 を受信する。これらのデータに基づいて、安定性チェック部 103 は、POC 40 における LFO の監視及び制御のための安定性チェックを行う。安定性チェック部 103 が行う安定性チェックの具体的な処理については後述する。そして、安定性チェック部 103 は、必要に応じて、所定の信号をインターフェース部 120 へ出力する。安定性チェック部 103 から受信した信号にตอบสนองして、インターフェース部 120 は、PCS ベースのエネルギー源 30 から電力系統 20 への出力電力の安定化のためのコマンドを、給電指令所 60 へ出力する。

20

【0032】

図 3 は、0 ~ 60 Hz 等の周波数範囲を調査するためにオフライン計算部 101 によって計算された、いくつかの動作点における周波数領域での PCS インピーダンスデータ式  $Z_{PCS1}(f)$ ,  $Z_{PCS2}(f)$ , ...  $Z_{PCSN}(f)$  の例を示す。LFO が発生した場合の電力系統 20 の安定した動作点を探すためには、PCS ベースのエネルギー源 30 のインピーダンスをいくつかの動作点において計算する必要がある。本実施形態では、図 3 に示される通り、異なる動作点について N 個の PCS インピーダンスデータ  $Z_{PCS1}(f)$ ,  $Z_{PCS2}(f)$ , ...  $Z_{PCSN}(f)$  が周波数領域で計算され、LFO の監視及び制御に使用するために記憶部 110 に格納される。図 3 において、例えば PCS インピーダンスデータ  $Z_{PCS1}(f)$  に関して、グラフ 401 及び 402 はそれぞれ、第 1 の動作点での PCS ベースのエネルギー源 30 の抵抗及びリアクタンスを示す。

30

【0033】

図 4 は、リアルタイム計算部 102 によって計算された周波数領域での送電網インピーダンス  $Z_g(f)$  の例を示す。図 4 (a) は、障害前の電力系統 20 の送電網インピーダンス  $Z_{g1}(f)$  の例を示しており、これは異常の無い電力系統 20 の抵抗及びリアクタンスをそれぞれ示すグラフ 501 及び 502 によって表される。図 4 (b) は、障害後の電力系統 20 の送電網インピーダンス  $Z_{g2}(f)$  の例を示しており、これは送電線に異常が有る電力系統 20 の抵抗及びリアクタンスをそれぞれ示すグラフ 503 及び 504 によって表される。

40

【0034】

図 5 は、安定性チェック部 103 が行う安定性チェックプロセスの概要を示す。リアルタイム計算部 102 によって計算される送電網インピーダンス  $Z_g(f)$  は、安定性チェック部 103 へ送信される。安定性チェック部 103 は、送電網インピーダンス  $Z_g(f)$  と PCS インピーダンスデータ  $Z_{PCS1}(f)$ ,  $Z_{PCS2}(f)$ , ...  $Z_{PCSN}(f)$  のそれぞれとを組み合わせ、伝達関

50

数 $Z_g(f)/Z_{PCS1}(f)$ ,  $Z_g(f)/Z_{PCS2}(f)$ , ... $Z_g(f)/Z_{PCSN}(f)$ を作成する。電力系統 20 に異常が発生した場合、リアルタイム計算部 102 によって計算された送電網インピーダンス $Z_g(f)$ は、電力系統 20 における送電網構成の変更により、図 4 に示される通り $Z_{g1}(f)$ から $Z_{g2}(f)$ へと変化する傾向がある。この場合、安定性チェック部 103 は、伝達関数 $Z_g(f)/Z_{PCS1}(f)$ ,  $Z_g(f)/Z_{PCS2}(f)$ , ... $Z_g(f)/Z_{PCSN}(f)$ のいずれかの変化を検出することによって、異常を検出できる。上述の安定性チェックプロセスは、安定性チェック部 103 によって行われる。

【0035】

図 5 に示される通り、電力系統 20 の送電網電流 $I(f)$ 及び送電網電圧 $V_g(f)$ は、POC 40 における電力潮流を測定して数式 1 に示される閉ループ伝達関数を導出することによって取得できる。

10

【数 1】

$$I(f) = \frac{V_g(f)}{Z_g(f)+Z_{PCS}(f)} = \frac{V_g(f)}{Z_{PCS}(f)} \cdot \frac{1}{1+Z_g(f)/Z_{PCS}(f)} \quad (1)$$

【0036】

伝達関数 $Z_g(f)/Z_{PCS}(f)$ のボード線図を作成することによって、システムの安定性を判定できる。換言すると、LFOの検出及び制御を行うことが出来る。安定性チェック部 103 によって実行される安定性チェックプロセスのフローチャートについては、次のセクションで説明する。

20

【0037】

図 6 は、安定性チェック部 103 による安定性チェックプロセスのフローチャートを示す。図 6 のフローチャートに示される処理は、例えば、図 2 に示される送電網監視システム 10 の安定性チェック部 103 として機能する CPU 100 によって、所定の周期で実行される。

【0038】

ステップ S 110 において、安定性チェック部 103 は、記憶部 110 からの周波数領域での PCS インピーダンスデータ $Z_{PCS1}(f)$ ,  $Z_{PCS2}(f)$ , ... $Z_{PCSN}(f)$ にアクセスする。ここで N は、オフライン計算部 101 によって事前に PCS インピーダンスデータが計算される動作点の数である。

30

【0039】

ステップ S 120 において、安定性チェック部 103 は、リアルタイム計算部 102 からの周波数領域での送電網インピーダンス $Z_g(f)$ にアクセスする。送電網インピーダンス $Z_g(f)$ は、測定システム 50 によって測定された POC 40 における電力潮流に基づいて、リアルタイム計算部 102 によってリアルタイムで計算される。

【0040】

ステップ S 130 において、安定性チェック部 103 は、ステップ S 110 で取得された PCS インピーダンスデータ $Z_{PCS1}(f)$ ,  $Z_{PCS2}(f)$ , ... $Z_{PCSN}(f)$ と、ステップ S 120 で取得された送電網インピーダンス $Z_g(f)$ とに基づいて、安定性チェック及び LFO 制御を行う。ステップ S 130 の詳細な処理については、図 7 を参照して以下のセクションで説明する。

40

【0041】

ステップ S 140 において、安定性チェック部 103 は、ステップ S 130 で行われた安定性チェックの結果を表示部 130 へ出力する。安定性チェック部 103 からの安定性チェックの結果に基づき、表示部 130 は、電力系統 20 及び PCS ベースのエネルギー源 30 の現在の状態を表示する。ステップ S 140 で表示される画面の例については後述する。

【0042】

ステップ S 140 の処理が行われた後、安定性チェック部 103 は、図 6 に示される安

50

定性チェックプロセスを終了する。

【 0 0 4 3 】

図 7 は、図 6 のステップ S 1 3 0 で行われる安定性チェック及び L F O 制御のフローチャートを示す。

【 0 0 4 4 】

ステップ S 1 3 1 において、安定性チェック部 1 0 3 は、変数  $k$  を  $k = 1$  として設定する。

【 0 0 4 5 】

ステップ S 1 3 2 において、安定性チェック部 1 0 3 は、図 6 のステップ S 1 1 0 及び S 1 2 0 で取得された周波数領域での P C S インピーダンスデータ  $Z_{PCSk}(f)$  及び周波数領域での送電網インピーダンス  $Z_g(f)$  に基づき、 $k$  の現在値について伝達関数  $Z_g(f)/Z_{PCSk}(f)$  を計算する。なお、 $k$  の値は、ステップ S 1 3 2 からステップ S 1 3 5 までのループ処理の間に、初期値 1 から最終値  $N$  まで 1 つずつカウントアップされる。数式 1 の伝達関数で説明した通り、伝達関数  $Z_g(f)/Z_{PCSk}(f)$  は、動作点  $k = 1, 2, 3 \dots N$  について順番に、ステップ S 1 3 2 で計算される。動作点  $k = 1, 2, 3 \dots N$  は、P C S ベースのエネルギー源 3 0 の出力電力  $P_1, P_2, P_3, \dots P_n$ 、P C S ベースのエネルギー源 3 0 の無効電力  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots Q_n$ 、及び P O C 4 0 での電圧振幅  $V_1, V_2, V_3, \dots V_N$  に、それぞれ対応する。

【 0 0 4 6 】

ステップ S 1 3 3 において、安定性チェック部 1 0 3 は、ステップ S 1 3 2 で計算された伝達関数  $Z_g(f)/Z_{PCSk}(f)$  のボード線図を作成する。ここで  $k = 1$  は、P C S ベースのエネルギー源 3 0 の現在の動作点に対応する。ステップ S 1 3 3 で作成されるボード線図の一例については後述する。

【 0 0 4 7 】

ステップ S 1 3 4 において、安定性チェック部 1 0 3 は、ステップ S 1 3 3 で作成されたボード線図にゲイン交点周波数が存在するか否かを判断する。ゲイン交点周波数とは、伝達関数  $Z_g(f)/Z_{PCSk}(f)$  のゲインが 0 d B になる周波数を意味する。ボード線図にゲイン交点周波数が存在すると判断された場合、ステップ S 1 3 4 からステップ S 1 3 5 へと処理が進み、一方、存在しないと判断された場合には、処理はステップ S 1 3 6 に進む。

【 0 0 4 8 】

ステップ S 1 3 5 において、安定性チェック部 1 0 3 は、ステップ S 1 3 4 でボード線図において検出されたゲイン交点周波数での伝達関数  $Z_g(f)/Z_{PCSk}(f)$  の位相角が  $-180$  度未満であるか否かを判断する。位相角が  $-180$  度未満であると判断された場合、換言すると、 $k$  の現在値について L F O が発生したと判断された場合、 $k$  の値はカウントアップされて、次の動作点  $k = k + 1$  での伝達関数をチェックするために、処理はステップ S 1 3 2 に戻る。一方、位相角が  $-180$  度未満でないとは判断された場合、処理はステップ S 1 3 6 に進む。

【 0 0 4 9 】

ステップ S 1 3 2 からステップ S 1 3 5 までのループ処理は、ステップ S 1 3 4 においてゲイン交点周波数が存在しないと判断されるか、又はステップ S 1 3 5 においてゲイン交点周波数が  $-180$  度以上であると判断されるまで、繰り返し実行される。その結果として、L F O が発生しない動作点  $k$  を特定することができる。

【 0 0 5 0 】

ステップ S 1 3 6 において、安定性チェック部 1 0 3 は、ゲイン交点周波数が存在していないと判断されるか、又はゲイン交点周波数が  $-180$  度以上であると判断された動作点  $k$  に対応するコマンドを出力する。安定性チェック部 1 0 3 から出力されたコマンドは、インターフェース部 1 0 3 を介して給電指令所 6 0 に転送される。このコマンドにตอบสนองして、給電指令所 6 0 は、P C S ベースのエネルギー源 3 0 を制御して出力電力を安定化する。

【 0 0 5 1 】

ステップ S 1 3 6 の処理が行われた後、安定性チェック部 1 0 3 は、図 7 に示される安

10

20

30

40

50

定性チェック及びLFO制御を終了し、図6に戻って次のステップS140に進む。

【0052】

ステップS130で安定性チェック部103によって上述の処理が行われることにより、安定性チェック及びLFO制御を達成できる。

【0053】

なお、上述の実施の形態では、ボード線図を用いた安定性チェックプロセスの方法を説明したが、送電網監視システム10は、LFOを監視するいくつかの動作点における周波数領域での送電網インピーダンス $Z_g(f)$ 及び周波数領域PCSインピーダンス $Z_{PCS}(f)$ に基づき、数式1を用いてLFOを監視するその他の制御理論や方法を利用してもよい。

【0054】

図8は、LFO制御が適用されない場合の、POC40での時系列の電圧挙動の例である。図8では、グラフ1001は、測定システム50によって測定されたPOC40での電圧を示す。グラフ1001で示される通り、POC40での電圧は、 $t = 0$ から $t = 0.2$ 秒の間は安定しており、ある有効電力出力 $P_1$ 、無効電力出力 $Q_1$ 及び電圧振幅 $V_1$ に対応する動作点 $k = 1$ によって、PCSベースのエネルギー源30において安定した動作が行われる。この時間の間、障害になる前の周波数領域でのPCSインピーダンス $Z_{PCS}(f)$ は $Z_{PCS1}(f)$ によって与えられ、周波数領域での送電網インピーダンス $Z_g(f)$ は $Z_{g1}(f)$ によって与えられる。

【0055】

そして、 $t = 0.2$ 秒では、電力系統20においてライン開放障害が発生し、周波数領域での送電網インピーダンス $Z_g(f)$ が $Z_{g1}(f)$ から $Z_{g2}(f)$ へと変化すると想定する。この障害の後、POC40での電圧振幅は、グラフ1001によって示される通り変動し、これはPOC40において電圧にLFOが発生したことを示す。

【0056】

図9は、図8の例に示されるPOC40での電圧による伝達関数 $Z_g(f)/Z_{PCS}(f)$ のボード線図の例を示す。図9では、グラフ1101及び1103はそれぞれ、障害の前の伝達関数 $Z_{g1}(f)/Z_{PCS1}(f)$ のゲイン及び位相角を示し、グラフ1102及び1104はそれぞれ、障害の後の伝達関数 $Z_{g2}(f)/Z_{PCS2}(f)$ のゲイン及び位相角を示す。

【0057】

図9に示される通り、グラフ1101ではゲインが0dBになるゲイン交点周波数が無く、グラフ1103では位相角が $-180$ 度未満になる部分はない。従って、LFOは発生せず、動作点 $k = 1$ での障害の前の伝達関数 $Z_{g1}(f)/Z_{PCS1}(f)$ は安定している。しかしながら、LFOの発生により、グラフ1102ではゲインが0dBになるゲイン交点周波数が存在し、グラフ1104ではゲイン交点周波数での位相角が $-180$ 度未満である。

【0058】

図10は、本発明に係るLFO制御が適用された場合の、POC40における時系列での電圧挙動の一例を示す。図10では、グラフ1201は、測定システム50によって測定されたPOC40での電圧を示す。グラフ1201によって示される通り、動作点を $k = 1$ から、障害後に安定した動作を行うことが出来る別の $k$ の値へと変更することによって、 $t = 0.2$ 秒の後に、POC40での電圧を安定した状態に維持することが可能である。

【0059】

図11は、図10の例で示されるPOC40での電圧による伝達関数 $Z_g(f)/Z_{PCS}(f)$ のボード線図の例を示す。図11では、グラフ1302及び1303はそれぞれ、LFO制御が適用された場合の障害の後の伝達関数 $Z_{g2}(f)/Z_{PCS2}(f)$ のゲイン及び位相角を示す。なお、グラフ1102及び1104はそれぞれ、図9で示されるものと同じである。

【0060】

図11で示される通り、グラフ1102のゲイン交点周波数及びグラフ1302のゲイン交点周波数は互いに異なっていることは明確であり、また、グラフ1104の位相角が不安定な動作点を表す $-180$ 度未満であり、一方、グラフ1303の位相角は $-180$

10

20

30

40

50

度よりも大きいことも明確である。よって、本発明に従って動作点を変更した後の伝達関数 $Z_{g2}(f)/Z_{PCS2}(f)$ は安定しているということが理解される。

【0061】

上述の通り、本発明を送電網監視システム10に適用することによって、LFOが現在の動作点 $k = 1$ で検出された場合に、PCSベースのエネルギー源30を制御して、その動作点を現在の動作点から、LFOが検出されない別の安定した動作点へと変更することができる。変更後の動作点は、有効電力出力 $P_2$ 、無効電力出力 $Q_2$ 及び電圧振幅 $V_2$ に対応する。従って、障害の後の伝達関数 $Z_{g2}(f)/Z_{PCS2}(f)$ が安定するように、周波数領域でのPCSインピーダンス $Z_{PCS2}(f)$ を変更できる。

【0062】

図12は、ステップS140で表示部130に表示される画面の例を示す。この画面は、複数の表示枠131~136を含む。表示枠131は、電力系統20及びPCSベースのエネルギー源30の構成を示す。表示枠132は、表示枠131で使用されるシンボルの注記を示す。表示枠133及び134は、日時を示す。表示枠135は、PCS電圧源31としてPCSベースのエネルギー源30にそれぞれ含まれる再生可能エネルギー源についての出力電力及び安定性チェック結果を示す。表示枠136は、POC40での電圧の波形を示す。

【0063】

上述の本発明の第1の実施形態によれば、以下の作用効果が得られる。

【0064】

(1)送電網監視システム10は、記憶部110と、リアルタイム計算部102と、安定性チェック部103とを備える。記憶部110は、複数の動作点 $k = 1, 2, 3 \dots N$ におけるPCSベースのエネルギー源30のインピーダンスであるPCSインピーダンス $Z_{PCS1}(f), Z_{PCS2}(f), \dots Z_{PCSN}(f)$ を示すPCSインピーダンスデータ1102を記憶する。PCSベースのエネルギー源30は、電力系統20に接続され、PCS電圧源31と、PCS電圧源31によって生成された電力を調整して電力系統20に供給するPCS32とを含む。リアルタイム計算部21は、PCSベースのエネルギー源30と電力系統20とが互いに接続される接続点(POC)40で測定された電力潮流に基づいて、電力系統20のインピーダンスである送電網インピーダンス $Z_g(f)$ を計算する。安定性チェック部103は、PCSインピーダンスデータ1102及び送電網インピーダンス $Z_g(f)$ に基づいて、POC40でのLFOを検出するための安定性チェックを行う。この構成により、電力系統20に接続されたPCSベースのエネルギー源30についてのLFOをリアルタイムで監視できる。

【0065】

(2)記憶部110は、周波数領域でのPCSインピーダンス $Z_{PCS1}(f), Z_{PCS2}(f), \dots Z_{PCSN}(f)$ を示すPCSインピーダンスデータ1102を記憶し、リアルタイム計算部102は、周波数領域での送電網インピーダンス $Z_g(f)$ を計算する。こうすることによって、周波数領域におけるLFOを正確に監視することができる。

【0066】

(3)安定性チェック部103は、周波数領域でのPCSインピーダンスデータ1102及び送電網インピーダンス $Z_g(f)$ を利用して、ボード線図を作成する(ステップS132、S133)。ボード線図は、図9及び図11に示される通り、複数の動作点 $k = 1, 2, 3 \dots N$ のそれぞれについて、POC40におけるPCSベースのエネルギー源30と電力系統20との間の伝達関数 $Z_g(f)/Z_{PCSk}(f)$ のゲイン及び位相角を含む。安定性チェック部103は、ボード線図に基づいてLFOが検出されたか否かを判断する(ステップS134、S135)。こうすることによって、POC40でLFOが発生せずに安定した動作を行うことが出来る、PCSベースのエネルギー源30の動作点を検出することができる。

【0067】

(4)送電網監視システム10は、PCSベースのエネルギー源30のインピーダンス

10

20

30

40

50

を計算するオフライン計算部 101 をさらに備える。記憶部 110 は、オフライン計算部 101 によって計算された P C S ベースのエネルギー源 30 のインピーダンスに基づいて生成された P C S インピーダンスデータ  $Z_{PCS1}(f)$ ,  $Z_{PCS2}(f)$ , ...  $Z_{PCSN}(f)$  を記憶する。この構成により、P C S インピーダンスデータ  $Z_{PCS1}(f)$ ,  $Z_{PCS2}(f)$ , ...  $Z_{PCSN}(f)$  をオフライン計算部 101 で事前に計算して、これらを記憶部 110 に記憶できる。

【0068】

(5) L F O が現在の動作点  $k = 1$  について検出された場合、安定性チェック部 103 は、P C S ベースのエネルギー源 30 の動作状態を現在の動作点から複数の動作点  $k = 1, 2, 3 \dots N$  のうちの別の動作点へと変更させるためのコマンドを出力する (ステップ S 136)。このようにすることによって、障害の後の伝達関数  $Z_{g2}(f)/Z_{PCS2}(f)$  が安定するよう P C S インピーダンスを変更できる。

10

【0069】

[第2の実施形態]

図 13 は、本発明の第 2 の実施形態に係る送電網監視システム 10A の概略ブロック図を示す。図 1 に示される第 1 の実施形態に係る送電網監視システム 10 と比べると、送電網監視システム 10A は、インターフェース部 120 を有しておらず、給電指令所 60 が接続されていないという点で異なる。

【0070】

送電網監視システム 10A では、安定性チェック部 103 は、第 1 の実施形態で説明したように安定性チェックを行うことによって、P O C 40 での L F O の発生を監視し、L F O が検出された場合は、表示部 130 を制御して安定性チェックの結果を表示させる。

20

【0071】

上述の本発明の第 2 の実施形態によれば、第 1 の実施形態と同様に、電力系統 20 に接続された P C S ベースのエネルギー源 30 について L F O をリアルタイムで監視することが可能である。

【0072】

[第3の実施形態]

図 14 は、本発明の第 3 の実施形態に係る送電網監視システム 10B の概略ブロック図を示す。図 1 に示される第 1 の実施形態に係る送電網監視システム 10 と比べると、送電網監視システム 10B は、オフライン計算部 101 を有しないという点で異なる。

30

【0073】

送電網監視システム 10B では、P C S インピーダンスデータ 1102 は、事前にコンピュータ (図示せず) によって計算されて記憶部 110 に記憶される。

【0074】

上述の本発明の第 3 の実施形態によれば、第 1 の実施形態と同様に、電力系統 20 に接続された P C S ベースのエネルギー源 30 について L F O をリアルタイムで監視することが可能である。さらに、オフライン計算部 101 を省略することによって、送電網監視システム 10B の構成を簡略化できる。

【0075】

[第4の実施形態]

図 15 は、本発明の第 4 の実施形態に係る送電網監視システム 10 の概略ブロック図を示す。本実施形態では、電力系統 20 は、2 つのライン (以下、「ライン 1」及び「ライン 2」という) が P O C 40 に並列接続された並列構成を有する。ライン 1 は、発電機 211 と、直列接続されたインダクタ  $L_1$  及び抵抗器  $R_1$  から成る送電網インピーダンス 221 と、スイッチ  $S_1$  とを含む。ライン 2 は、発電機 212 と、インダクタ  $L_2$ 、抵抗器  $R_2$  及びコンデンサ  $C_2$  から成る送電網インピーダンス 222 と、スイッチ  $S_2$  とを含む。換言すると、発電機 212 はコンデンサ  $C_2$  を介して P O C 40 に接続され、一方、発電機 211 はコンデンサを介さずに P O C 40 に接続される。

40

【0076】

なお、電力系統 20 は、3 つまたはそれ以上の発電機が、P O C 40 においてそれぞれ

50

の送電網インピーダンスを介してPCSベースのエネルギー源30に並列接続されている、別の並列構成を有してよい。送電網インピーダンスは、任意数のインダクタ、抵抗器及び/又はコンデンサから成るインピーダンス素子を含んでよい。また、コンデンサ $C_2$ は、それぞれが直列及び/又は並列接続されている多数のコンデンサ素子から構成されてよい。

【0077】

さらに本実施形態では、PCSベースのエネルギー源30は、PCS電圧源31を構成するブレード311及び永久磁石同期発電機(PMSG)312と、PCS32を構成する変圧器321、フィルタ322、インバータ323、整流器324及びコントローラ325とを含む風力タービンとして構成される。なお、送電網監視システム10の構成は、図1に示される第1の実施形態の構成と同一である。また、1つまたはそれ以上の風力タービンはそれぞれPCSベースのエネルギー源30として動作し、風力タービンを含むウィンドファームとしてPOC40に接続されてよい。

10

【0078】

第4の実施形態では、測定システム50は、POC40における電力潮流データに加えて、電力系統20のネットワークトポロジーの情報を送電網監視システム10に提供できる。安定性チェック部103は、第1の実施形態で説明された安定性チェックを行い、LFOが検出された場合は、給電指令所60を介してコントローラ325にコマンドを出力する。このコマンドに応じて、コントローラ325は、インバータ323を制御し、PCSベースのエネルギー源30からの出力電力を調整する。

【0079】

障害が発生して電力系統20のライン1でスイッチ $S_1$ が開くと、風力タービン(PCSベースのエネルギー源30)は、スイッチ $S_2$ を介してコンデンサ $C_2$ と放射状に接続されるようになり、コンデンサ $C_2$ と相互作用してライン2で直列共振を発生し、これによって送電網インピーダンス $Z_g(f)$ が変化する。その結果、SSCIが発生し、POC40において電流及び電圧のLFOが誘発される。このような場合でも、安定性チェック部103は、コマンドを出力することによってPCSベースのエネルギー源30の出力電力を制御することができ、よって、伝達関数 $Z_g(f)/Z_{PCS}(f)$ は、スイッチ $S_1$ が開く前と同じ状態に維持される。その結果、風力タービンからの出力電力の安定化を促すことが可能となる。

20

【0080】

[第5の実施形態]

図16は、本発明の第5の実施形態に係る送電網監視システム10の概略ブロック図を示す。本実施形態では、電力系統20は、発電機211及び発電機212が、POC40にそれぞれ接続された平行な2つのラインであるライン1及びライン2に、それぞれスイッチ $S_3$ 及び $S_4$ を介して選択可能に接続される、メッシュタイプ構成を有する。前のセクションで説明した第4の実施形態と同様に、ライン1は、直列接続されたインダクタ $L_1$ 及び抵抗器 $R_1$ から成る送電網インピーダンス221と、スイッチ $S_1$ とを含む。ライン2は、インダクタ $L_2$ 、抵抗器 $R_2$ 及びコンデンサ $C_2$ から成る送電網インピーダンス222と、スイッチ $S_2$ とを含む。換言すると、発電機211及び212はそれぞれ、コンデンサ $C_2$ を介して又はコンデンサ $C_2$ を介さずに、POC40に接続される。

30

【0081】

なお、電力系統20は、3つまたはそれ以上の発電機が、POC40において送電網インピーダンスを介してPCSベースのエネルギー源30にメッシュ接続される、別のメッシュタイプ構成を有してよい。送電網インピーダンスは、任意数のインダクタ、抵抗器及び/又はコンデンサから成るインピーダンス素子を含んでよい。また、コンデンサ $C_2$ は、それぞれが直列及び/又は並列接続された複数のコンデンサ素子から構成されてよい。

40

【0082】

なお、第4の実施形態と同様に、PCSベースのエネルギー源30は風力タービンとして構成され、1つ以上の風力タービンはそれぞれ、PCSベースのエネルギー源30として動作し、風力タービンを含むウィンドファームとしてPOC40に接続され得る。送電網監視システム10の構成は、図1に示す第1の実施形態の構成と同一である。

50

## 【 0 0 8 3 】

上述の本発明の第 4 及び第 5 の実施形態によれば、第 1 の実施形態と同様に、電力系統 2 0 に接続された P C S ベースのエネルギー源 3 0 についての L F O をリアルタイムで監視することが可能である。

## 【 0 0 8 4 】

上述の実施形態及び変形例は、単なる例であり、本発明は、これらの詳細によって限定されるものと見なされるべきではない。本発明の本質的特徴が保持されるものであれば、その他の実施も本発明の範囲内に含まれる。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 8 5 】

1 0、1 0 A、1 0 B：送電網監視システム

2 0：電力系統

2 1：発電機

2 2：送電網インピーダンス

3 0：P C S ベースのエネルギー源

3 1：P C S 電圧源

3 2：P C S（電力調節システム）

4 0：P O C（接続点）

5 0：測定システム

6 0：給電指令所

1 0 0：C P U

1 0 1：オフライン計算部

1 0 2：リアルタイム計算部

1 0 3：安定性チェック部

1 1 0：記憶部

1 2 0：インターフェース部

1 3 0：表示部

10

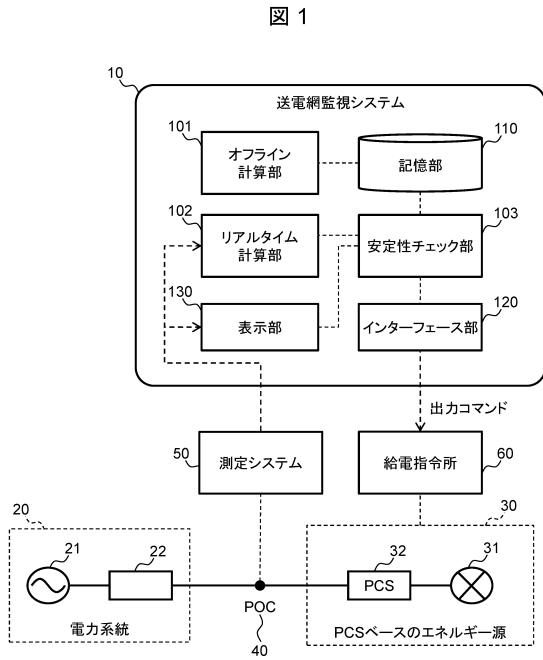
20

30

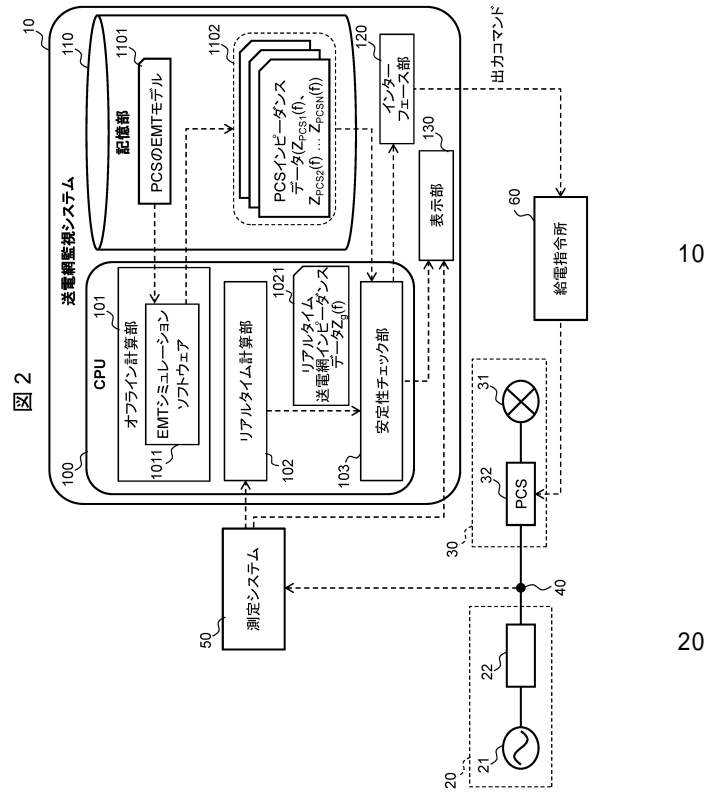
40

50

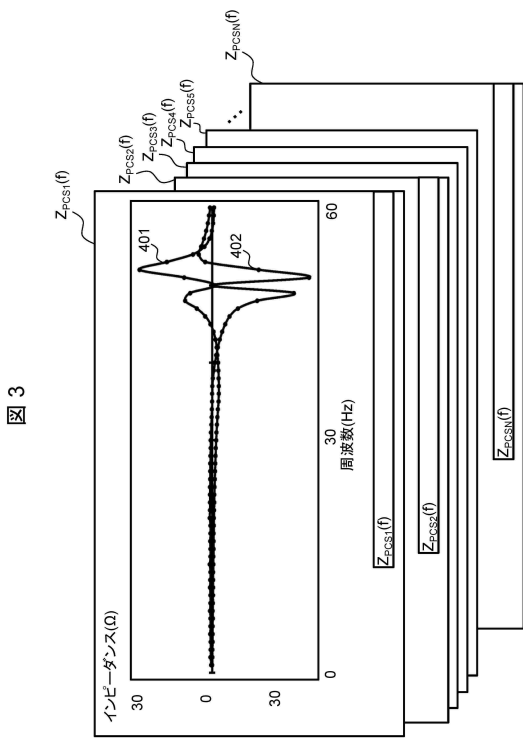
【図面】  
【図 1】



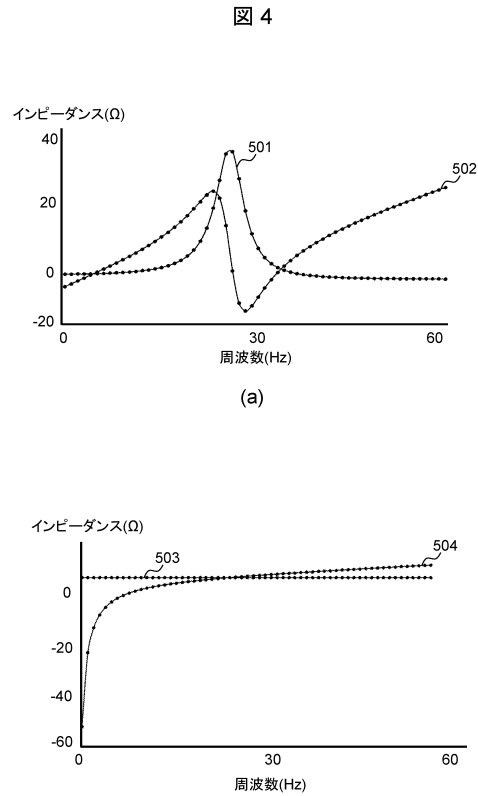
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

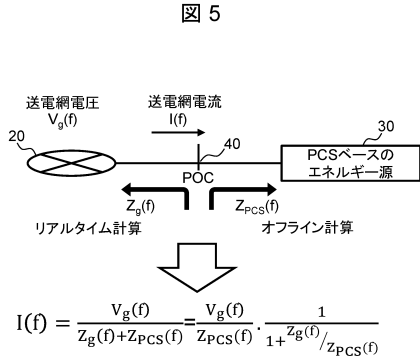
20

30

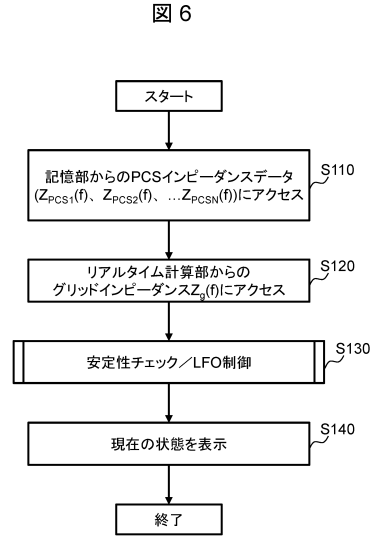
40

50

【 図 5 】



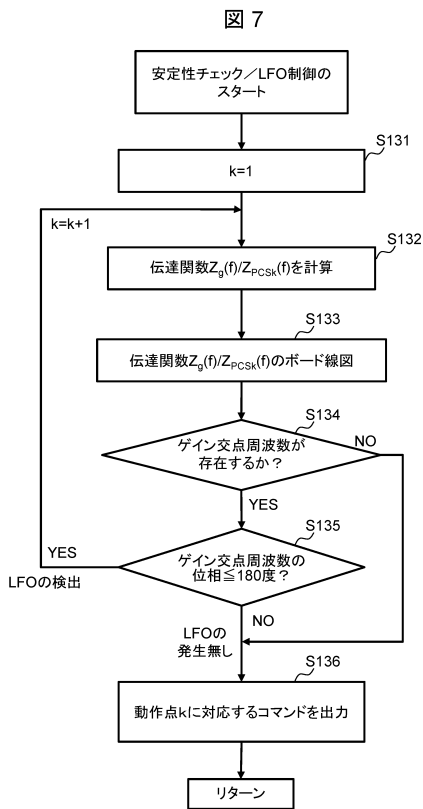
【 図 6 】



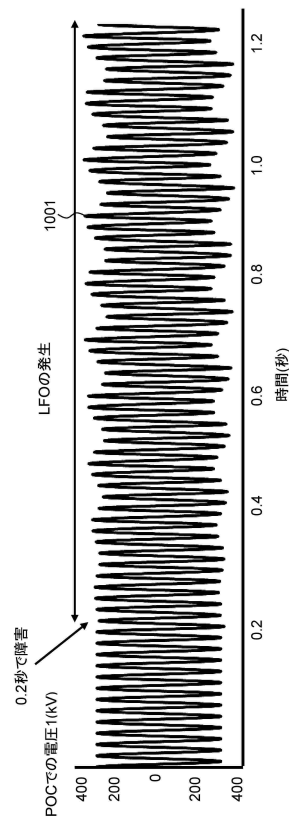
10

20

【 図 7 】



【 図 8 】



30

40

50

【 図 9 】

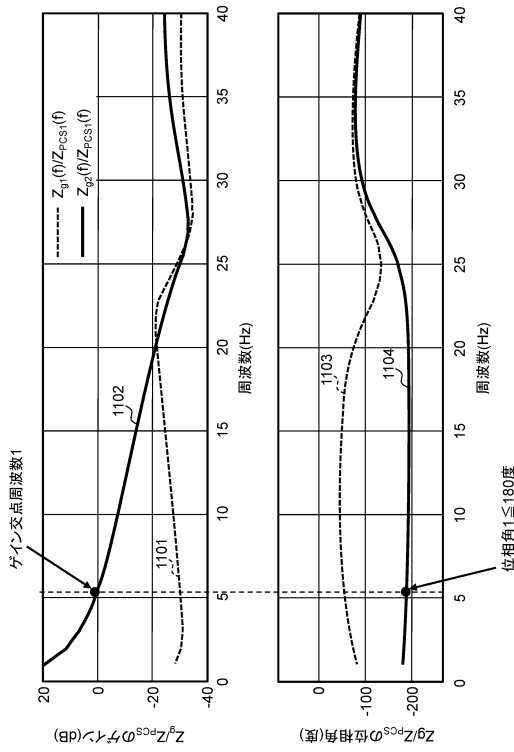


図 9

【 図 10 】

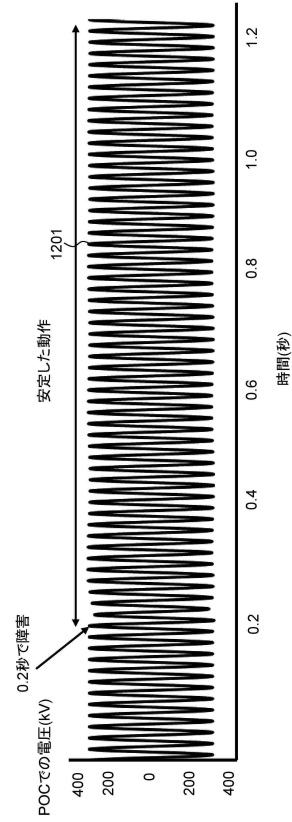


図 10

【 図 11 】

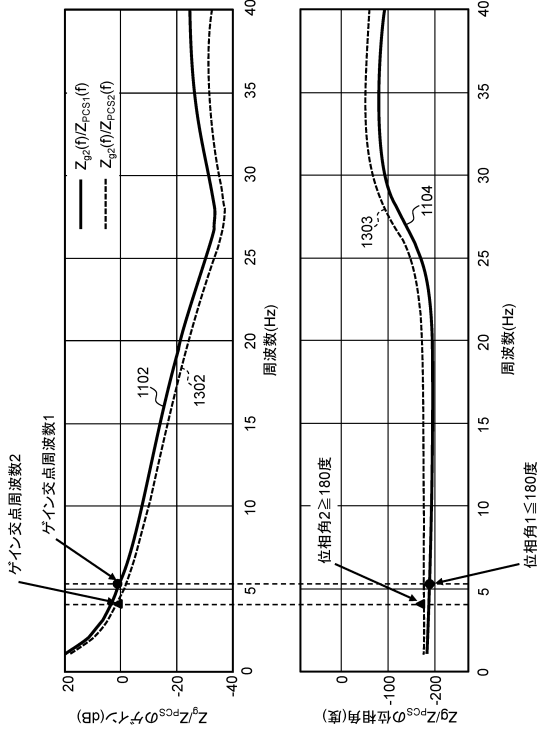


図 11

【 図 12 】

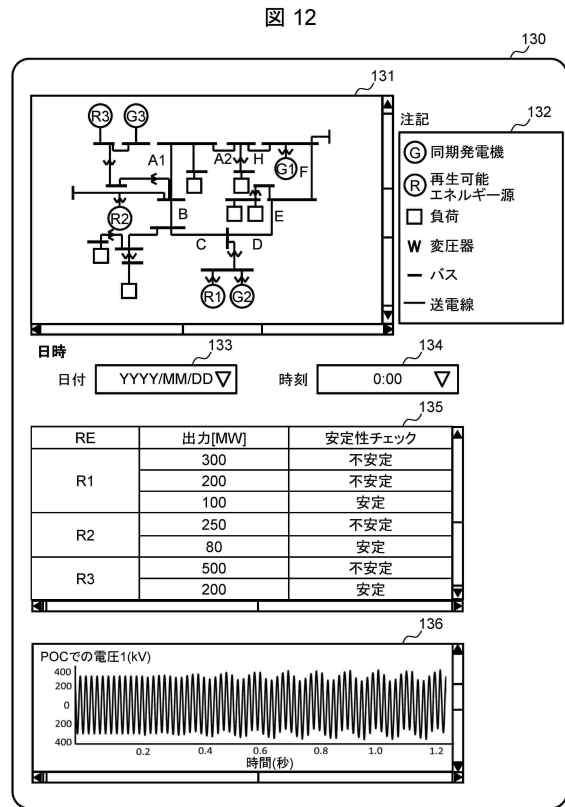


図 12

10

20

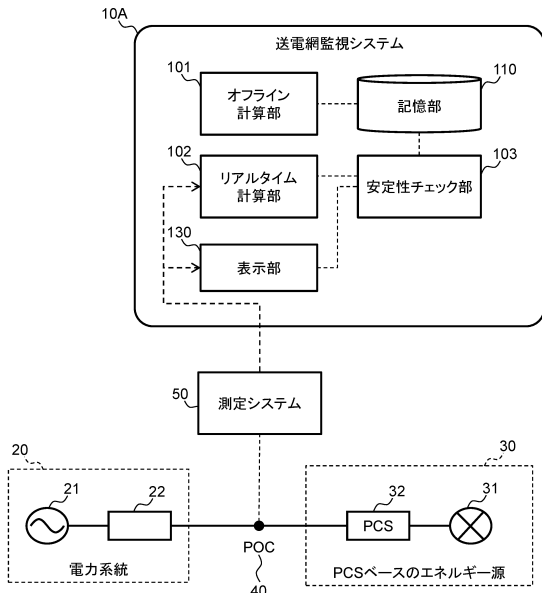
30

40

50

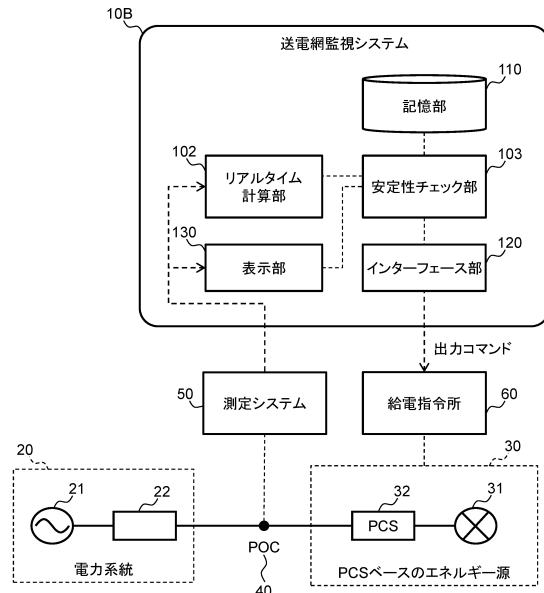
【 図 1 3 】

図 13



【 図 1 4 】

図 14

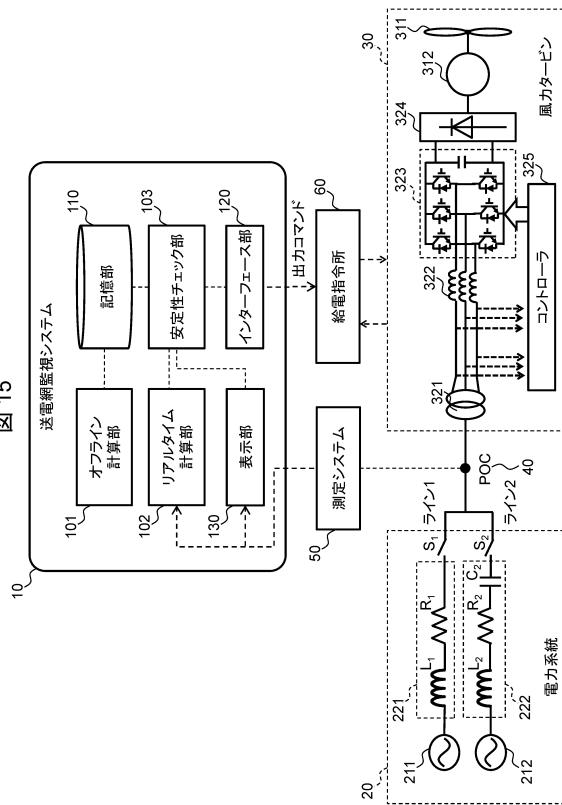


10

20

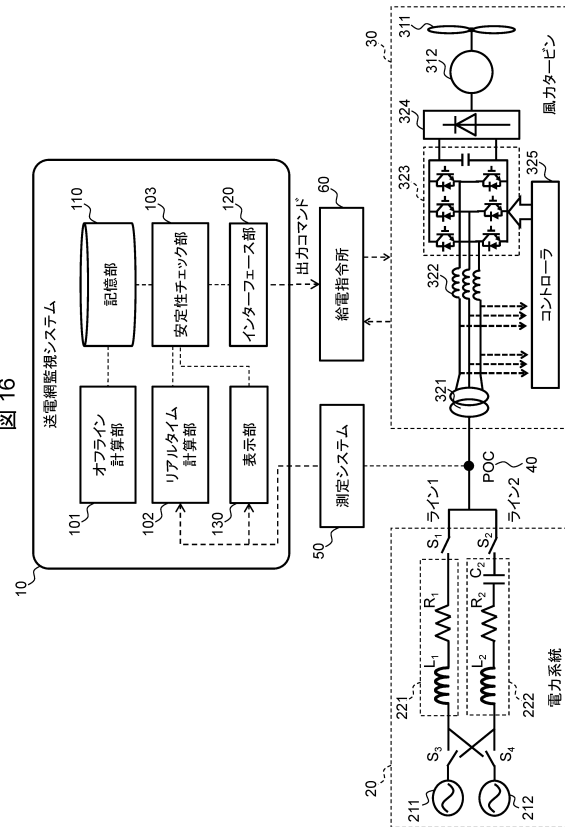
【 図 1 5 】

図 15



【 図 1 6 】

図 16



30

40

50

## フロントページの続き

- 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内  
(72)発明者 小海 裕  
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内  
審査官 滝谷 亮一  
(56)参考文献 中国特許出願公開第110867889(CN, A)  
米国特許出願公開第2014/0152331(US, A1)  
特表2003-502986(JP, A)  
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H02J 3/24  
H02J 3/38  
H02J 13/00