(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5550645号
(P5550645)

(45)発行日　平成26年7月16日(2014.7.16)　(24)登録日　平成26年5月30日(2014.5.30)

(51)Int.Cl.		F I		
F02C 7/00	(2006.01)	F02C	7/00	A
G05B 23/02	(2006.01)	G05B	23/02	R
F02C 9/00	(2006.01)	F02C	9/00	A
F02C 9/28	(2006.01)	F02C	9/28	C
F01D 25/00	(2006.01)	F01D	25/00	W

請求項の数 35　(全 15 頁)

(21)出願番号	特願2011-515306 (P2011-515306)
(86)(22)出願日	平成21年6月16日 (2009.6.16)
(65)公表番号	特表2011-525590 (P2011-525590A)
(43)公表日	平成23年9月22日 (2011.9.22)
(86)国際出願番号	PCT/EP2009/057444
(87)国際公開番号	WO2009/156299
(87)国際公開日	平成21年12月30日 (2009.12.30)
審査請求日	平成24年4月23日 (2012.4.23)
(31)優先権主張番号	102008002660.3
(32)優先日	平成20年6月26日 (2008.6.26)
(33)優先権主張国	ドイツ(DE)
(31)優先権主張番号	01278/08
(32)優先日	平成20年8月14日 (2008.8.14)
(33)優先権主張国	スイス(CH)

(73)特許権者　503416353
アルストム　テクノロジー　リミテッド
ＡＬＳＴＯＭ　Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ　Ｌｔｄ
スイス国　バーデン　ブラウン　ボヴェリ　シュトラーセ　７
Ｂｒｏｗｎ　Ｂｏｖｅｒｉ　Ｓｔｒａｓｓｅ　７，　ＣＨ－５４００　Ｂａｄｅｎ，　Ｓｗｉｔｚｅｒｌａｎｄ
(74)代理人　100099483
弁理士　久野　琢也
(74)代理人　100061815
弁理士　矢野　敏雄
(74)代理人　100112793
弁理士　高橋　佳大

最終頁に続く

(54)【発明の名称】シングルサイクルまたはコンバインドサイクルガスタービン発電プラントの最大発電容量を推定する方法、指定された予備電力を制御する方法、および同方法とともに使用される発電システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

ガスタービン発電プラントの動作を制御する制御器を備えたガスタービン発電プラントの最大発電容量を推定する方法において、

ａ　前記ガスタービン発電プラントの実際出力電力と最大発電容量を前記ガスタービン発電プラントの数学的モデルに基づいて計算するステップと、

ｂ　前記ガスタービン発電プラントの実際出力電力を測定するステップと、

ｃ　前記計算した実際出力電力と前記測定した出力電力とを比較して、モデル推定誤差を導き出すステップと、

ｄ　前記モデル推定誤差を処理して補正信号を生成するステップと、

ｅ　前記補正信号を前記計算した最大発電容量に適用して、前記ガスタービン発電プラントの最大発電容量の補正された推定値を得るステップ

を有することを特徴とする、ガスタービン発電プラントの最大発電容量を推定する方法。

【請求項２】

前記ガスタービン発電プラントの数学的モデルは制御を目的とした動的モデルである、請求項１記載の方法。

【請求項３】

前記数学的モデルは、前記発電プラントの動作を制御する前記制御器の操作変数のうちの１つまたは複数を含む入力ベクトルに基づいている、請求項１または２記載の方法。

【請求項４】

前記操作変数のベース負荷値を求め、前記ガスタービン発電プラントの最大発電容量の計算に使用する、請求項３記載の方法。
【請求項５】
前記数学的モデルは外乱を表す信号を含んだ入力ベクトルに基づいている、請求項１から４のいずれか１項記載の方法。
【請求項６】
前記数学的モデルは発電プラントプロセス測定値を含んだ入力ベクトルに基づいている、請求項１から５のいずれか１項記載の方法。
【請求項７】
前記発電プラントプロセス測定値の限界値を使用して、前記ガスタービン発電プラントの最大発電容量を計算する、請求項６記載の方法。
【請求項８】
前記数学的モデルは次の信号のうちの１つまたは複数、すなわち、可変入口案内翼の位置を表す信号、可変入口案内翼のベース負荷位置を表す信号、タービン入口温度を表す信号、タービン入口温度のベース負荷値を表す信号、混合タービン入口温度を表す信号、混合タービン入口温度のベース負荷値を表す信号、タービン出口温度を表す信号、タービン出口温度のベース負荷値を表す信号、ガスタービン空気圧縮機入口温度を表す信号、蒸気タービン復水器の冷却材温度を表す信号、使用されている燃料の種類を表す信号、使用されている燃料の品質を表す信号、増出力手段の状態を表す信号、ガスタービン空気圧縮機出口温度を表す信号、およびガスタービン空気圧縮機出口圧力を表す信号のうちの１つまたは複数に基づいている、請求項１または２記載の方法。
【請求項９】
請求項１のステップｃにおいて、前記測定した出力電力と前記計算した実際出力電力との比を評価して、乗法的モデル推定誤差を求め、請求項１のステップｅにおいて、前記計算した最大発電容量に前記補正信号を乗じて、前記ガスタービン発電プラントの最大発電容量の補正された推定値を得る、請求項１から８のいずれか１項記載の方法。
【請求項１０】
請求項１のステップｃにおいて、前記測定した出力電力と前記計算した実際出力電力との差を評価して、加法的モデル推定誤差を求め、請求項１のステップｅにおいて、前記計算した最大発電容量に前記補正信号を加算して、前記ガスタービン発電プラントの最大発電容量の補正された推定値を得る、請求項１から８のいずれか１項記載の方法。
【請求項１１】
請求項１のステップｄにおいて、前記モデル推定誤差をダイナミックフィルタリングにより低周波部分と高周波部分とに分け、低周波部分を後で補正信号として使用する、請求項１から１０のいずれか１項記載の方法。
【請求項１２】
前記ガスタービン発電プラントはシングルサイクル発電プラントである、請求項１から１１のいずれか１項記載の方法。
【請求項１３】
前記ガスタービン発電プラントはコンバインドサイクル発電プラントである、請求項１から１１のいずれか１項記載の方法。
【請求項１４】
ガスタービン発電プラントの負荷目標値信号を生成する入力手段と、前記負荷目標値信号を受信し、前記ガスタービン発電プラントの出力電力を制御する制御器とを備えたガスタービン発電プラントの指定された予備電力を制御する方法において、
前記ガスタービン発電プラントの実際出力電力と最大発電容量を前記ガスタービン発電プラントの数学的モデルに基づいて計算するステップと、
前記ガスタービン発電プラントの実際出力電力を測定するステップと、
前記計算した実際出力電力と前記測定した出力電力とを比較して、モデル推定誤差を導き出すステップと、

前記モデル推定誤差を処理して補正信号を生成するステップと、
前記補正信号を前記計算した最大発電容量に適用して、前記ガスタービン発電プラントの最大発電容量の補正された推定値を得るステップと、
ａ　前記ガスタービン発電プラントの最大発電容量の推定値を連続的に更新するステップと、
ｂ　予備電力を指定し、指定した予備電力から負荷のオフセットを計算するステップと、
ｃ　負荷限界値を最大発電容量の前記推定値と前記負荷のオフセットの差として計算するステップと、
ｄ　前記負荷目標値信号の上限として前記限界値を適用し、制限された負荷目標値信号を得るステップ
を有することを特徴とする、ガスタービン発電プラントの指定された予備電力を制御する方法。
【請求項１５】
最大発電容量の前記推定値を請求項２から１３のいずれか１項記載の方法に従って計算する、請求項１４記載の方法。
【請求項１６】
請求項１４のステップｂにおける前記負荷のオフセットの計算は前記ガスタービン発電プラントの動特性を考慮したモデル仮定に基づいている、請求項１４または１５記載の方法。
【請求項１７】
請求項１４のステップｂにおける前記負荷のオフセットの計算は前記ガスタービン発電プラントを制御する前記制御器の操作変数のうちの１つまたは複数を含む入力ベクトルに基づいている、請求項１４から１６のいずれか１項記載の方法。
【請求項１８】
請求項１４のステップｂにおける前記負荷のオフセットの計算は外乱を表す信号を含む入力ベクトルに基づいている、請求項１４から１７のいずれか１項記載の方法。
【請求項１９】
請求項１４のステップｂにおける前記負荷のオフセットの計算は発電プラントプロセス測定値を含む入力ベクトルに基づいている、請求項１４から１８のいずれか１項記載の方法。
【請求項２０】
請求項１４のステップｂにおける前記負荷のオフセットの計算はガスタービン空気圧縮機入口温度を表す信号と蒸気タービンの冷却材温度を表す信号のうちの１つまたは複数に基づいている、請求項１４から１６のいずれか１項記載の方法。
【請求項２１】
請求項１４のステップｂにおける予備電力の指定は所望の電力容量が提供されるまでの所望の最大時間を表す量の指定を含む、請求項１４から２０のいずれか１項記載の方法。
【請求項２２】
請求項１４のステップｂにおける予備電力の指定は定数値として定義された所望の電力容量の指定を含む、請求項１４から２１のいずれか１項記載の方法。
【請求項２３】
請求項１４のステップｂにおける予備電力の指定は最大発電容量の前記推定値の一定のパーセンテージとして定義された所望の電力容量の指定を含む、請求項１４から２１のいずれか１項記載の方法。
【請求項２４】
さらに、
ａ　周波数維持のための負荷成分を請求項１４のステップｄで求められた前記制限された負荷目標値信号に加算することにより負荷信号を生成するステップと、
ｂ　負荷目標値信号を受信し、前記ガスタービン発電プラントの出力電力を制御する前記制御器の入力として、請求項２４のステップａで得られた信号を使用するステップ

を有する、請求項１４から２３のいずれか１項記載の方法。
【請求項２５】
さらに、
ａ　請求項１４のステップｃで計算された前記負荷限界値と前記所望の電力容量との和として第２の負荷限界値を計算するステップと、
ｂ　周波数維持のための負荷成分を請求項１４のステップｄで求められた前記制限された負荷目標値信号に加算することにより負荷信号を生成するステップと、
ｃ　請求項２５のステップａで得られた前記第２の負荷限界値を請求項２５のステップｂで得られた前記負荷信号の上限として適用するステップと、
ｄ　負荷目標値信号を受信し、前記ガスタービン発電プラントの出力電力を制御する前記制御器の入力として、請求項２５のステップｃで得られた信号を使用するステップ
を有する、請求項２２または２３記載の方法。
【請求項２６】
前記ガスタービン発電プラントはシングルサイクル発電プラントである、請求項１４から２５のいずれか１項記載の方法。
【請求項２７】
前記ガスタービン発電プラントはコンバインドサイクル発電プラントである、請求項１４から２５のいずれか１項記載の方法。
【請求項２８】
ガスタービン発電プラントと、
前記ガスタービン発電プラントの動作を制御する制御器と、
前記ガスタービン発電プラントの最大発電容量の推定値を連続的に供給する、請求項１から１３のいずれか１項記載の方法に従って動作する推定ユニット
を有することを特徴とする発電システム。
【請求項２９】
前記ガスタービン発電プラントの最大発電容量の前記推定値を前記発電プラントのオペレターに表示するための手段をさらに有する、請求項２８記載の発電システム。
【請求項３０】
前記ガスタービン発電プラントはシングルサイクル発電プラントである、請求項２８または２９記載の発電システム。
【請求項３１】
前記ガスタービン発電プラントはコンバインドサイクル発電プラントである、請求項２８または２９記載の発電システム。
【請求項３２】
ガスタービン発電プラントと、
前記ガスタービン発電プラントの負荷目標値信号を生成する入力手段と、
前記負荷目標値信号を受信し、前記ガスタービン発電プラントの出力電力を制御する制御器と、
予備電力の指定を可能にする入力手段を有し、
請求項１４から２７のいずれか１項記載の方法に従って動作する制御装置が、指定された予備電力が維持されるように前記ガスタービン発電プラントを動作させることを特徴とする、発電システム。
【請求項３３】
前記発電プラントのオペレータに請求項１４のステップｃで計算された前記負荷限界値を表示する手段をさらに有する、請求項３２記載の発電システム。
【請求項３４】
前記ガスタービン発電プラントはシングルサイクル発電プラントである、請求項３２または３３記載の発電システム。
【請求項３５】
前記ガスタービン発電プラントはコンバインドサイクル発電プラントである、請求項３

２または３３記載の発電システム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、シングルサイクルまたはコンバインドサイクルガスタービン発電プラントの最大発電容量をリアルタイムに推定する方法と、発電機の指定された予備電力が維持されるようにシングルサイクルまたはコンバインドサイクルガスタービン発電プラントのガスタービンを制御する技術とに関する。
【０００２】
背景情報と先行技術
ガスタービン発電プラントには基本的に、コンバインドサイクルガスタービン発電プラントとシングルサイクルガスタービン発電プラントの２つのタイプが存在する。コンバインドサイクルガスタービン発電プラントは少なくとも以下の主要構成要素から、すなわち、ガスタービン、廃熱回収蒸気発電機、蒸気タービンおよび発電機から構成されている。ガスタービンは原動力として使用される。ガスタービンはガス状または液体状の燃料の化学的エネルギーを機械的エネルギーと排気エンタルピーと廃熱とに変換する。排気エンタルピーは蒸気を発生させるために使用され、発生した蒸気は続いて蒸気タービンにおいて膨張されられる。蒸気タービンは機械的出力を発生させる。ガスタービンと蒸気タービンは１つの発電機に機械的に結合されている。この発電機が機械的出力を電気的出力に変換する。実際には、コンバインドサイクル発電プラントの構成は様々に異なっており、例えば単一シャフト構成または複数シャフト構成が存在している。シングルサイクルガスタービン発電プラントでは、ガスタービンは発電機とだけ結合された形で使用される。ガスタービンの排気エンタルピーを回収するステップは省かれる。
【０００３】
ガスタービン発電プラントの性能を高めるために、多くの増出力手段が開発されてきた。このような増出力手段の１つの例として、ガスタービンの空気圧縮機の空気取入れ口に水を噴射することが挙げられる。
【０００４】
今日の発電プラントでは、出力電力は制御システムにより調節される。コンバインドサイクル発電プラントの場合には、出力電力はガスタービンの寄与分と蒸気タービンの寄与分との合計である。蒸気タービンは高負荷時にはふつう変圧運転で動作する。蒸気タービンが変圧運転で動作している場合には、プラントの出力電力はガスタービンの現在の動作条件により決まる。ガスタービンは好ましくは負荷／温度制御器により制御される。負荷／温度制御器は負荷目標値（例えば、オペレータが手入力した負荷目標値）を受け取り、所望の出力電力が得られるように、ガスタービンに入力変数（例えば、可変入口案内翼の位置、（混合）タービン入口温度、タービン出口温度）を命令する。操作変数はふつう与えられた操作目標に従い、予め決められた範囲内で調節される。さらに、負荷／温度制御器が運転限界値を考慮するようにしてもよい。これら限界値は一般に、選択された発電プラントのプロセス量（例えば、最高／最低温度または圧力）から生じる。最大出力電力（ベース負荷とも呼ばれる）は操作変数がそのベース負荷値をとるときに生じる。
【０００５】
プラントが発電した電力はふつう顧客に売却され、送電網を介して配電される。電気を最適に送ることができるように、プラントのオペレータが最大発電容量を知っていると有利である。しかし、シングサイクルまたはコンバインドサイクルガスタービン発電プラントでは、最大発電容量は一般に未知である。それは、最大発電容量が発電プラントの環境条件（例えば、周囲温度、周囲圧力、周囲湿度）と、他の可変要因、例えば燃料の種類および量（例えばカロリー値）、部材のソーキング、経年劣化、汚れなどに強く依存するためである。
【０００６】
今日、先行技術においてシングルサイクルまたはコンバインドサイクルガスタービン発

電所の最大発電容量をリアルタイムで正確に推定する簡単な方法（すなわち、計算量が少ない方法）は存在していない。

【０００７】

最大発電容量が分かっていれば、電力の供給に役立つだけでなく、発電プラントのオペレータが顧客から指定された電力容量を予備に確保しておくよう依頼されたときに（または送電網の当局との契約上義務づけられている場合に）も同様に役立つ。このような予備電力は例えば周波数の維持に使用される。予備電力の指定には、静的な要件（例えば、所定のＭＷの電力容量を提供すること）と一時的な要件（例えば、最小の平均負荷勾配で電力容量を提供すること）が含まれている。同じことだが、予備電力の指定は所望の電力容量および所望の電力容量が提供されるまでの望ましい最大時間の観点から定式化することもできる。

【０００８】

内部ダイナミクスが原因で、発電プラントは電力需要の増大に即座に従うことができない。変圧運転で動作している蒸気タービンの反応はガスタービンの反応よりも著しく遅い。所望の電力を維持したいのであれば、この時定数の違いは明確に把握されなければならない。通常、要求された負荷勾配にはガスタービンによってしか応えることができない。その結果、制御器は指定された電力容量よりも大きな総電力容量を予備に確保しておかなければならない。

【０００９】

US-A-6,164,057に開示されている制御器は、おそらく所望の発電容量を予備に確保しておくようにガスタービンを動作させるものである。空気圧縮機の入口案内翼の角度はガスタービンの予備容量を示すものとして使用される。提案されているこの制御器は、入口案内翼の実際の角度を、所望の予備容量に対応する入口案内翼の目標角度と連続的に比較する。制御器はガスタービンへの燃料流量を調節してガスタービンの出力電力を調節することで、入口案内翼の実際角度を所望の予備容量に対応する目標値に保つ。

【００１０】

US-A-6,164,057に開示されている制御器には、以下の主要な欠点が見られる。

・　提案されている入口案内翼制御器は周波数維持のために予備容量制御器の応答を漸近的に補正する。それゆえ、この方法が適用される環境は、短期の周波数維持しか必要でない環境に限定される。

・　提案されている入口案内翼制御器の動作が原因で、ガスタービン発電機の出力電力が長期的には手入力負荷目標値と無関係になってしまう。その結果、ガスタービン発電機は予備容量制御器がアクティブである間は設定可能な負荷で動作することができない。

・　空気圧縮機の入口案内翼の角度がガスタービンの予備容量の良好な指標として提案されている。この相関関係は環境条件の変化のような外乱から比較的独立しているものと想定されている。しかし、速度／負荷調整器の制御動作に干渉しないようにするには、入口案内翼制御器の帯域幅を比較的小さくしなければならない。その結果、低周波外乱は排除される。

【００１１】

発明の課題

本発明の課題は、シングルサイクルまたはコンバインドサイクルガスタービン発電プラントの最大発電容量を推定する方法を確立することである。

【００１２】

本発明のもう１つの課題は、シングルサイクルまたはコンバインドサイクル発電プラントとこの発電プラントの最大発電容量をリアルタイムで推定する推定ユニットとを含む発電システムを開示することである。

【００１３】

本発明のまた別の課題は、指定された予備電力を維持する、シングルサイクルまたはコンバインドサイクルガスタービン発電プラント向けの方法を確立することである。

【００１４】

本発明のさらに別の課題は、シングルサイクルまたはコンバインドサイクル発電プラントと、このプラントを指定された予備電力が維持されるように動作させる制御装置とを含んだ発電システムを開示することである。

【００１５】

発明の機能の説明

以下に、本発明の機能を説明する。本発明の主な特徴は図１の概略図に示されている。まず、シングルサイクルまたはコンバインドサイクルガスタービン発電プラントの最大発電容量を推定する方法について説明する。本発明によれば、この方法は実質的に以下のステップから成る。

（１ａ）実際の出力電力（現在の動作点における予想される出力電力）１１３と予想される最大発電容量１１２をシングルサイクルまたはコンバインドサイクルガスタービン発電プラントの数学的モデル１１１に基づいて計算する。この計算は入力ベクトルに基づいている。入力ベクトルには、負荷／温度制御器の命令２１１、測定された外乱信号２０１、および発電プラントのプロセス測定値２０３を含めることができる。

（１ｂ）シングルサイクルまたはコンバインドサイクルガスタービン発電プラントの実際出力電力を測定する。

（１ｃ）計算された実際出力電力１１３と測定された出力電力２０４を比較し、モデル推定誤差１２４を導く。

（１ｄ）前記モデル推定誤差１２４を処理して、補正信号１２５を生成する。

（１ｅ）前記補正信号１２５を計算された最大発電容量１１２に適用して、シングルサイクルまたはコンバインドサイクルガスタービン発電プラントの最大発電容量１２６を得る。

【００１６】

本発明の方法は観測器の構造を特徴としている。つまり、システムの内部特性である最大発電容量を得るために、システム（発電プラント）の入力側と出力側において入手可能な情報が用いられる。数学的モデル１１１は制御を目的とした動的なプロセス表現であることが好ましい。一般的なケースでは、モデルは負荷／温度制御器の命令、測定可能な外乱の影響および運転限界値の存在を考慮する。負荷／温度制御器の入力は実際出力電力を計算するためにモデル内で使用される。測定された外乱信号は様々な外乱が実際出力電力と最大発電容量とに及ぼす影響を考慮するためにモデル内で使用される。発電プラントプロセス測定値は種々の運転限界値が最大発電容量の計算に及ぼす影響を含めるためにモデル内で使用される。測定されない外乱の影響はステップ（１ｃ）、（１ｄ）および（１ｅ）で明らかにされる。これらのステップのうち、ステップ（１ｄ）では低周波効果と高周波効果の分離が可能である。以下に、ステップ（１ａ）～（１ｅ）を参照した実施形態を示す。

【００１７】

１つの実施形態では、数学的モデル１１１への入力ベクトルは以下の信号を含む。

・可変入口案内翼の命令された位置、命令された混合タービン入口温度、

・測定されたガスタービン空気圧縮機入口温度、蒸気タービン復水器の測定された冷却材温度、燃料の種類に関する情報、燃料量に関する情報、増出力手段からのフィードバック信号、

・測定されたガスタービン空気圧縮機出口温度、測定されたガスタービン空気圧縮機出口圧力、測定されたタービン排気温度。

【００１８】

ステップ（１ｃ）と（１ｅ）に関して２つの実施形態を示す。第１の形態では、ステップ（１ｃ）は測定された出力電力２０４と計算された実際出力電力１１３との比を計算し、乗法的モデル推定誤差１２４を得ることで実行される。ステップ（１ｅ）では、計算された最大発電容量１１２に補正信号１２５が乗じられ、シングルサイクルまたはコンバインドサイクルガスタービン発電プラントの最大発電容量１２６の補正された推定値が得られる。第２の形態では、ステップ（１ｃ）は測定された出力電力２０４と計算された実際

出力電力１１３との差を計算し、加法的モデル推定誤差１２４を得ることで実行される。ステップ（１ｅ）では、計算された最大発電容量１１２に補正信号１２５が加算され、シングルサイクルまたはコンバインドサイクルガスタービン発電プラントの最大発電容量１２６の補正された推定値が得られる。

【００１９】

ステップ（１ｄ）の実施形態では、モデル推定誤差１２４はダイナミックフィルタリングにより低周波部分と高周波部分とに分けられ、低周波部分は後で補正信号１２５として使用される。

【００２０】

以下では、指定された予備電力が維持されるようにシングルサイクルまたはコンバインドサイクルガスタービン発電プラントを動作させる方法を説明する。本発明によれば、この方法は基本的に以下のステップから成る。

（２ａ）シングルサイクルまたはコンバインドサイクルガスタービン発電プラントの最大発電容量の推定値１２６を基準として用いる。

（２ｂ）予備電力の指定に基づいて負荷オフセット１３２を計算する。なお、この指定には静的要件２２１ａと一時的要件２２１ｂが含まれている。

（２ｃ）負荷限界値１３５を推定された最大発電容量１２６から負荷オフセット１３２を減じたものとして計算する。

（２ｄ）負荷限界値１３６を限界値１３５と所望の電力容量２２１との和として計算する。

（２ｅ）限界値１３５を手入力負荷目標値２２２の上限として適用し、（制限された）負荷目標値信号１４５を得る。

（２ｆ）選択的に限界値１３６を負荷命令１４６の上限として適用する。なお、負荷命令１４６は（制限された）手入力負荷目標値１４５に周波数維持のための負荷成分２２５を足したものである。

（２ｇ）結果として得られた負荷命令１４７を従来の負荷制御器の入力側に供給する。

【００２１】

指定された予備電力を制御する本発明による方法は負荷命令の制御レベルで予備電力制御動作を実行する。基準負荷は最大発電容量の推定値である。この値は好ましくはシングルサイクルまたはコンバインドサイクル発電プラントの最大発電容量を推定する本発明による上記の方法に従って計算される。予備電力制御器がイネーブル状態であれば、手入力負荷目標値は負荷限界値により制限され、指定された予備電力が維持される。このアプローチによれば、発電プラントは（手入力負荷目標値が計算された負荷限界値よりも低ければ）たとえ予備電力制御器がアクティブでも設定された負荷で動作することができる。さらに、グリッド周波数の時間的変動に関する仮定は不要である。というのも、周波数応答動作は予備電力負荷限界値の計算にバイアスをかけないからである。ステップ（２ｂ）での負荷オフセットの計算は電力応答に存在しうる遅い成分を明らかにするために必要である。予備電力指定の一時的要件を満たさない遅い成分は、指定された予備容量に加えて、予備にとっておかなければならない。

【００２２】

以下に、ステップ（２ｄ）に関する実施形態を示す。この実施形態によれば、負荷オフセット１３２は、所望の電力容量２２１ａ、一時的要件２２１ｂ（すなわち、所望の最小平均予備電力負荷勾配または所望の電力容量が提供されるまでの所望の最大時間）、入力ベクトル、最大発電容量の推定値１２６およびモデルの仮定に基づいて計算される。なお、入力ベクトルには、負荷／温度制御器の命令２１１、測定された外乱信号２０１および発電プラントのプロセス測定値２０３を含めることができる。所望の電力容量２２１ａは絶対値（単位：ＭＷ）としてもよいし、最大発電容量の一定のパーセンテージとして指定してもよい。

【図面の簡単な説明】

【００２３】

【図１】本発明の主要な特長をブロック制御図で示す。
【図２】本発明の１つの実施形態の内部構造をブロック制御図で示す。
【図３】本発明の第１の実施形態による、コンバインドサイクル発電プラントの負荷／温度制御をブロック制御図で示す。
【図４】指令された負荷において蒸気タービンが変圧運転しているコンバインドサイクル発電プラントの応答を概略的に示す。
【００２４】
発明の詳細な説明
以下、図面を参照して本発明の実施例を説明する。参照される実施例は、連続燃焼ガスタービンを備えたコンバインドサイクル発電プラントの実施形態である。以下では、最大発電容量を推定する本発明による方法を指定された電力容量を制御する本発明による方法の一部として説明する。
【００２５】
図２には、予備電力制御器の内部構造と実施例１００のブロック図が示されている。制御器は、モデルに基づいた推定ユニット１１０、測定に基づいた補正ユニット１２０、予備電圧負荷限界値を計算するユニット１３０および負荷限界値を処理するユニット１４０の４つの主要なユニットから成る。ユニット１１０，１２０，１３０および１４０の主要機能は次の通りである。
・モデルに基づいた推定ユニット１１０：プラントの最大発電容量１１２（$P_{CC}^{BL,mbe}$）とプラントの実際出力電力１１３（P_{CC}^{mbe}）を連続的に計算する。
・測定に基づいた補正（適応）ユニット１２０：測定されない外乱とモデリング誤差の影響を明らかにするために、計算された最大発電容量１１２（$P_{CC}^{BL,mbe}$）を補正する。
・予備電力負荷限界値計算ユニット１３０：予備電力負荷限界値１３５および１３６（$P_{PRC}^{CC,Lim}$および$P_{PRC}^{CC,Lim,KDF}$）を計算する。
・負荷限界値処理ユニット１４０：負荷命令１４７（$P_{CC}^{SP,PRC}$）を得るために負荷限界値１３５および１３６を処理する。なお、負荷命令１４７（$P_{CC}^{SP,PRC}$）は後で負荷制御器の入力側に供給される。
【００２６】
ユニット１１０は数学的処理モデル１１１を含んでいる。計算の複雑さを低くするために、この数学的モデルは制御を目的とした、システムの簡潔な記述である。数学的モデル１１１は外乱信号２０１ａ（ＴＫ１）および２０１ｂ（T_{CLT}）、負荷制御器命令２１１ａ（ＶＩＧＶ）および２１１ｂ（ＴＩＴ２）、燃料の種類に関する情報２０１ｃ（ＦＴ）、ならびに発電プラントプロセス測定値２０３ａ、２０３ｂおよび２０３ｃ（ＴＫ２，ｐＫ２，ＴＡＴ２）を用いて、プラントの現在の出力電力１１２（$P_{CC}^{BL,mbe}$）と最大発電容量１１３（P_{CC}^{mbe}）を評価する。実際の（測定された）出力電力２０４（P_{CC}）と現在の出力電力の計算値１１３（P_{CC}^{mbe}）との比較から、ユニット１２０で補正信号γ_{Misc}が求められる。この補正信号は続いて計算値１１２（$P_{CC}^{BL,mbe}$）の更新に使用され、プラントの最大発電容量の適応された推定値１２６（P_{CC}^{BL}）が得られる。推定値１２６（P_{CC}^{BL}）は内部的に使用されるが、予備電力制御器の出力として供給される。負荷オフセット１３２（ΔP_{PRC}^{CC}）は１３１において計算され、続いて推定された最大発電容量１２６（P_{CC}^{BL}）から減じられる１３３。その結果得られた負荷信号１３５（$P_{PRC}^{CC,Lim}$）はユニット１４０において予備電力負荷限界値として使用される。信号１３６（$P_{PRC}^{CC,Lim,KDF}$）は限界値１３３（$P_{PRC}^{CC,Lim}$）と所望の電力容量２２１ａ（ΔP_{PRC}）の和１３４である。信号１３６は最終的な予備電力負荷命令１４７（$P_{CC}^{SP,PRC}$）の上限を定める１４３ために処理される。限界値１３５（$P_{PRC}^{CC,Lim}$）と１３６（$P_{PRC}^{CC,Lim,KDF}$）の間の負荷範囲は周波数維持２２５のために確保される。
【００２７】
図３には、予備電力制御器の第１の実施形態をコンバインドサイクルガスタービン発電プラント２００の制御ロジックに組み込んだものが概略的に示されている。予備電力制御器で使用される信号には、負荷／温度制御器２１０の制御変数２１１ａ（ＶＩＶＧ）およ

び２１１ｂ（ＴＩＴ２）、燃料の種類に関する情報２０１ｃ（ＦＴ）、測定可能な外乱信号２０１ａおよび２０１ｂ（ＴＫ１およびT_{CLT}）、発電プラントプロセス測定値２０３（ＴＫ２，ｐＫ２，ＴＡＴ２）、測定された出力電力２０４（P_{CC}）、ならびに所望の電力容量２２１ａ（ΔP_{PRC}）が含まれている。予備電力制御器は、イネーブル状態にされると、手入力負荷目標値２２２（P_{CC}^{SP}）を予備電力制御負荷マージン１３５（$P_{PRC}^{CC,Lim}$）に制限する。これは最小値セレクタ１４１によって行われる。その結果得られた予備の電力容量は周波数維持のために提供される。周波数維持２２５のための負荷成分は周波数偏差２２３（Δｆ）と電力利得係数（Ｋ）とから求められる。成分２２５は加算ノード１４２において加算される。周波数維持は負荷マージン１３６（$P_{PRC}^{CC,Lim,KDF}$）で制限される１４３。最後に、最終的な負荷命令１４７（$P_{CC}^{SP,PRC}$）が負荷／温度制御器２１０に供給される。

【００２８】

以下の段落では、数学的モデルの構造、補正信号の計算、および必要な負荷オフセットの計算についてさらに詳細に説明する。

【００２９】

数学的モデルの１つの実施例によれば、ガスタービンと蒸気タービンの総出力電力に対するそれぞれの寄与分は別個に評価される。ガスタービンの準静的な出力電力$P_{GT}^{QS,mbe}$は次の式から従う。

【００３０】

（１）
$$P_{GT}^{QS,mbe} = P_{GT}^{Nom} \cdot \gamma_{TK1}(TK1) \cdot \gamma_{VIGV}(VIGV) \cdot \gamma_{TIT2}(TIT2)$$

【００３１】

パラメータP_{GT}^{Nom}は基準的な周辺条件と境界条件の場合について計算した定格ベース負荷出力電力である。３つの関数γ_{TK1}（ＴＫ１）、γ_{VIGV}（ＶＩＧＶ）およびγ_{TIT2}（ＴＩＴ２）は定格出力電力をスケールするために使用される。第１の因数は空気圧縮機入口温度ＴＫ１を変えるために定格出力電力を補正する。因数γ_{VIGV}（ＶＩＧＶ）とγ_{TIT2}（ＴＩＴ２）は可変入口案内翼の位置ＶＩＧＶと低圧タービンの混合入口温度ＴＩＴ２がガスタービン出力電力に及ぼす相対的な影響を近似するものである。さらに、因数γ_{VIGV}（ＶＩＧＶ）とγ_{TIT2}（ＴＩＴ２）は使用される燃料の種類ＦＴの関数である。数学的モデルのこの局面で、準静的な関数（１）に時定数τ_{PWR}^{GT}の１次要素を補うと、実際のガスタービン出力電力の推定値P_{GT}^{mbe}が得られる。

【００３２】

（２）
$$P_{GT}^{mbe} = \Sigma_{PWR}^{GT}(s) \cdot P_{GT}^{QS,mbe}$$

（３）
$$\Sigma_{PWR}^{GT}(s) = \frac{1}{\tau_{PWR}^{GT} \cdot s + 1}$$

【００３３】

コンバインドサイクル発電プラントでは、蒸気タービン出力電力とガスタービン出力電力が結合される。これは蒸気タービンの出力電力がガスタービンの排気エンタルピー流量の関数だからである。モデルのこの実施形態では、蒸気タービンの出力電力P_{ST}^{mbe}は制御変数ＶＩＧＶおよびＴＩＴ２と蒸気タービン復水器入口温度T_{CLT}の動的関数として定義される。コンバインドサイクルシステムの総出力電力P_{CC}^{mbe}は単純に構成要素の出力電力P_{GT}^{mbe}とP_{ST}^{mbe}の和として求まる。

【００３４】

（４）
$$P_{CC}^{mbe} = P_{GT}^{mbe} + P_{ST}^{mbe}$$

【００３５】

最大発電容量を評価するためには、制御信号ＶＩＧＶおよびＴＩＴ２のベース負荷値を知らなければならない。動作中、これらのベース負荷位置は連続的に計算され、負荷／温

度制御器により調整される。ＶＩＧＶのベース負荷値は使用される燃料の種類ＦＴ、復水器入口温度ＴＫ２および復水器出口圧力ｐＫ２の関数であってよい。ＴＩＴ２のベース負荷値は復水器入口温度ＴＫ１、使用される燃料の種類ＦＴ、ＶＩＧＶのベース負荷位置および低圧タービン出口温度の運転限界値ＴＡＴ２に依存していてよい。そして、ＴＫ２、ｐＫ２、ＴＡＴ２およびＶＩＧＶの間の相関と、ＴＡＴ２とＴＩＴ２の間の相関が導かれる。これらの相関はＶＩＧＶおよびＴＩＴ２のベース負荷位置を予測するためにモデルで使用される。これらのベース負荷位置はその後、最大発電容量$P_{CC}^{BL,mbe}$を計算するために、モデル方程式中のＶＩＧＶおよびＴＩＴ２に代入される。

【００３６】

コンバインドサイクル発電プラントの出力電力は、周囲条件の変化、動作条件の変化または一時的なシステム状態のような種々の外乱を受ける。これらの影響のうちには、モデル方程式に入っていないものもある。これらの外乱の影響を評価するために、システムからフィードバック情報が引き出される。入手可能な情報は実際のコンバインドサイクル出力電力P_{CC}の測定に含まれている。外乱が「乗法形式」をとるものと仮定すると、モデル評価誤差は次の比で与えられる。

【００３７】

（５）　$$\hat{\gamma}_{Misc}=\frac{P_{CC}}{P_{CC}^{mbe}}$$

【００３８】

比$\hat{\gamma}_{Misc}$は高周波モデリング誤差と低周波モデリング誤差の両方を含んでいる。高周波部分はモデリングされたガスタービン負荷動特性の偏差から生じたり、測定雑音から生じたりする。低周波外乱は遅い動特性、例えば熱過渡、経年劣化または周囲条件の変化から生じる。外乱は比$\hat{\gamma}_{Misc}$にフィルタ演算を適用することにより低周波寄与分と高周波寄与分とに分離される。低周波外乱は次のように抽出される。

【００３９】

（６）　$$\gamma_{Misc}=\frac{1}{\tau_{ADPT}\cdot s+1}\cdot\hat{\gamma}_{Misc}$$

【００４０】

パラメータτ_{ADPT}はローパスフィルタの時定数である。周波数$(2\pi\cdot\tau_{ADPT})^{-1}$は「速い」外乱から「遅い」外乱を分離する。遅い外乱についてのみ、計算された最大発電容量は補正される。このモデル適応はモデルに基づいた推定値$P_{CC}^{BL,mbe}$に補正信号γ_{Misc}を乗じることで行われる。

【００４１】

（７）　$$P_{CC}^{BL}=\gamma_{Misc}\cdot P_{CC}^{BL,mbe}$$

【００４２】

その結果として得られる量P_{CC}^{BL}がコンバインドサイクル発電プラントの最大発電容量の補正された推定値である。

【００４３】

推定された最大発電容量は予備電力制御器によって基準負荷として使用される。この基準負荷から必要とされる負荷オフセットを減じることで、予備電力負荷限界値が得られる。負荷オフセットの計算は予備電力の指定と関連する構成要素の動特性に関するモデル仮定とに基づいている。予備電力の指定にはふつう静的要件と一時的要件とが含まれている。目下の実施形態では、静的要件は与えられたＭＷの所望の電力容量を提供することとして規定される。一時的要件は所望の最小平均負荷勾配によって規定される。図４には、命令された負荷に対するプラントの出力電力のステップ応答が示されている。内部ダイナミクスが原因で、発電プラントは電力需要の増大に直ちに従うことができない。電力応答は速い部分４０２（ガスタービンの寄与分）と遅い部分４０３（蒸気タービンの寄与分）と

から構成されている。また図４には、予備電力指定４１０、４１１ａおよび４１１ｂも示されている。一時的要件（所望の最大時間４１１または所望の最小平均負荷勾配４１１ｂにより課される）に従い、制御器は指定された電力容量４１０よりも大きな総電力容量４２０を確保しておかなければならない。一時的要件が厳しいと、必要とされる負荷勾配はガスタービンによってしか満たされない。

【００４４】

目下の実施例では、所望の電力容量は専らガスタービンにより提供されると仮定する。したがって、負荷オフセット４２０（ΔP_{PRC}^{CC}）は次のようになる。

【００４５】

（８）
$$\Delta P_{PRC}^{CC} \approx \Delta P_{PRC} \cdot \left(1 + \frac{\Delta P_{ST}^{QS}}{\Delta P_{GT}^{QS}}\right)$$

【００４６】

ここで、ΔP_{PRC}は指定された電力容量４１０であり、ΔP_{GT}^{QS}はガスタービンの寄与分４０２であり、ΔP_{ST}^{QS}は蒸気タービンの寄与分４０３である。

【００４７】

最後に、手入力負荷目標値の上限（予備電力負荷限界値）が次のように計算される。

【００４８】

（９）
$$P_{PRC}^{CC,Lim} = P_{CC}^{BL} - \Delta P_{PRC}^{CC}$$

【００４９】

そして、オプションである負荷命令に対する第２の限界値が次のように計算される。

【００５０】

（１０）
$$P_{PRC}^{CC,Lim,KDF} = P_{PRC}^{CC,Lim.KDF} + \Delta P_{PRC}$$

【００５１】

本発明は上記の実施例に限定されない。特許請求の範囲に示されている発明から離れることなく、開示された実施形態に対して変更を行うことが可能である。

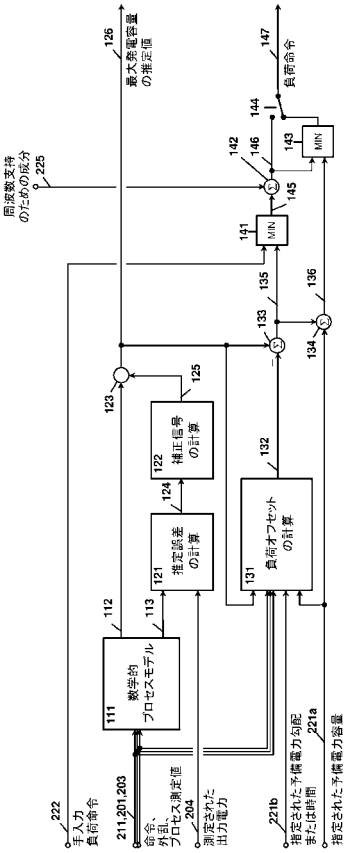
【符号の説明】

【００５２】

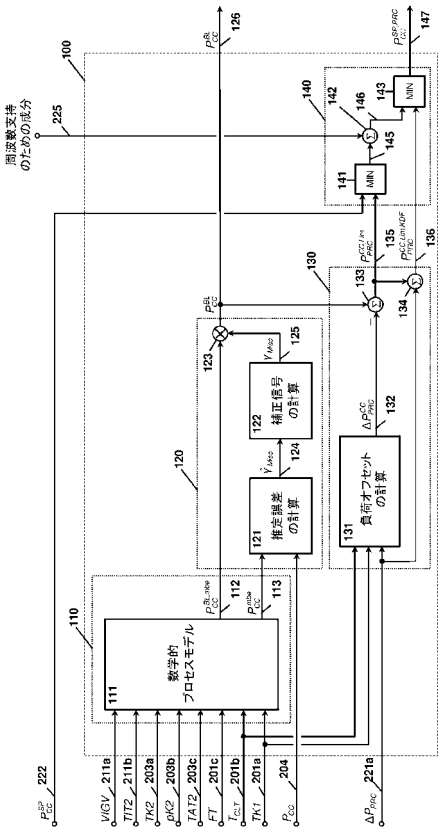
ＦＴ　使用される燃料の種類を表す信号
Δｆ　周波数誤差（Ｈｚ）
γ_{Misc}　補正信号
$\hat{\gamma}_{Misc}$　モデル推定誤差
Ｋ　電力利得係数（ＭＷ／Ｈｚ）
P_{CC}　プラントの測定された出力電力（ＭＷ）
P_{CC}^{BL}　プラントの推定された最大発電容量（ＭＷ）
P_{CC}^{SP}　手入力負荷目標値（ＭＷ）
P_{CC}^{mbe}　モデルに基づいた実際出力電力の推定値（ＭＷ）
$P_{CC}^{BL,mbe}$　モデルに基づいた最大発電容量の推定値（ＭＷ）
$P_{PRC}^{CC,Lim}$　予備電力制御負荷限界値（ＭＷ）
$P_{PRC}^{CC,Lim,KDF}$　予備電力制御負荷限界値（ＭＷ）
$P_{CC}^{SP,PRC}$　負荷制御器に供給される負荷命令（ＭＷ）
ΔP_{PRC}　指定された電力容量（ＭＷ）
ΔP_{PRC}^{CC}　負荷オフセット（ＭＷ）
ｐＫ２　測定されたガスタービン空気圧縮機出口圧力（ｂａｒｇ）
ＴＡＴ２　低圧タービンの測定されたタービン排気温度（°Ｃ）
ＴＩＴ２　低圧タービンの命令された混合タービン入口温度（°Ｃ）
ＴＫ１　測定されたガスタービン空気圧縮機入口温度（°Ｃ）

ＴＫ２　測定されたガスタービン空気圧縮機出口温度（°Ｃ）
T_{CLT}　蒸気タービン復水器の測定された冷却材温度（°Ｃ）
ＶＩＧＶ　可変入口案内翼の命令された位置（°）

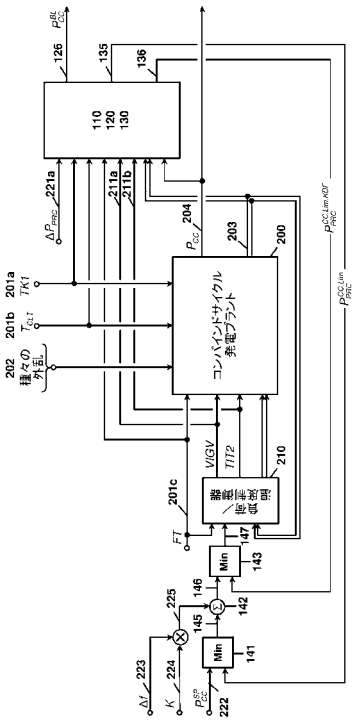
【図１】



【図２】



【図３】


126
135
136
110
120
130
221a
211a
211b
204
203
200
201a
201b
202
コンバインドサイクル
発電プラント
VIGV
T172
210
201c
FT
147
143
Min
146
225
145
142
141
223
224
222

【図４】

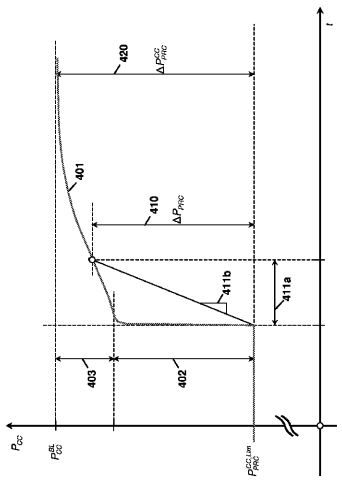

420
401
410
411b
411a
403
402
t

Fig. 4

フロントページの続き

(74)代理人 100128679
弁理士 星 公弘
(74)代理人 100135633
弁理士 二宮 浩康
(74)代理人 100156812
弁理士 篠 良一
(74)代理人 100114890
弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト
(72)発明者 エリック アンドレ ミュラー
スイス国 チューリッヒ レープハルデンシュトラーセ １８

審査官 石黒 雄一

(56)参考文献 欧州特許出願公開第０１７６４４８６（ＥＰ，Ａ１）
米国特許出願公開第２００８／００２１６７５（ＵＳ，Ａ１）
特開２００４－０１９５７６（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－０８８９６１（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－０５７５９５（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－３１３１９５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｆ０２Ｃ 1／００－ 9／５８
Ｆ２３Ｒ 3／００－ 7／００
Ｆ０１Ｄ １３／００－１５／１２
Ｆ０１Ｄ ２３／００－２５／３６
Ｆ０１Ｋ ２３／００－２７／０２
Ｇ０５Ｂ ２３／０２