

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-505403

(P2017-505403A)

(43) 公表日 平成29年2月16日 (2017. 2. 16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
F O 2 C 9/28 (2006.01)	F O 2 C 9/28 C	3 G 0 7 1
F O 2 C 9/54 (2006.01)	F O 2 C 9/54	
F O 2 C 7/22 (2006.01)	F O 2 C 7/22 B	
F O 1 D 17/20 (2006.01)	F O 1 D 17/20 A	
F O 1 D 17/24 (2006.01)	F O 1 D 17/24 H	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 17 頁)		

(21) 出願番号 特願2016-549320 (P2016-549320)
(86) (22) 出願日 平成27年1月12日 (2015. 1. 12)
(85) 翻訳文提出日 平成28年9月29日 (2016. 9. 29)
(86) 国際出願番号 PCT/EP2015/050396
(87) 国際公開番号 W02015/113801
(87) 国際公開日 平成27年8月6日 (2015. 8. 6)
(31) 優先権主張番号 14153478.4
(32) 優先日 平成26年1月31日 (2014. 1. 31)
(33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(71) 出願人 515322297
ゼネラル エレクトリック テクノロジー
ゲゼルシャフト ミット ベシュレンク
テル ハフツング
General Electric Te
chnology GmbH
スイス国 バーデン ブラウン ボヴェリ
シュトラッセ 7
Brown Boveri Strass
e 7, CH-5400 Baden,
Switzerland
(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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガスタービンを部分負荷で動作させる方法

(57) 【要約】

本発明は、制御器 (27) を有するガスタービンの部分負荷動作を制御する方法に関しており、制御器 (27) の負荷設定点 (LSP) は、最小負荷設定点 (LSPmin) よりも高いかこれに等しい。最小負荷設定点 (LSPmin) は、高温ガス温度モデル (57) に基づいて計算した高温ガス温度 (THG) に依存する。

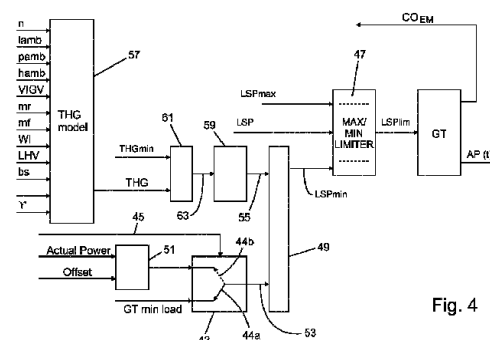


Fig. 4

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

制御器（27）を有するガスタービンの部分負荷動作を制御する方法において、
前記制御器（27）の負荷設定値（LSP）は、最小負荷設定値（LSPmin）よりも高いかこれに等しく、

当該最小負荷設定値（LSPmin）は、高温ガス温度モデル（57）に基づいて計算した高温ガス温度（THG）に依存する、

ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記高温ガス温度（THG）から、最低高温ガス温度（THGmin）を減算し、前記高温ガス温度（THG）と、前記最低高温ガス温度（THGmin）との間の差分（63）を制御器（59）への入力として使用し、

前記差分（63）が負になる場合、当該制御器（59）により、少なくとも1つのバーナをオフにし、および／または、燃料ステージングパラメタを調整し、

前記差分（63）が閾値を上回る場合、前記制御器（59）により、少なくとも1つのバーナをオンにし、および／または、燃料ステージングパラメタを再調整する、

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記高温ガス温度（THG）から、最低高温ガス温度（THGmin）を減算し、前記高温ガス温度（THG）と、前記最低高温ガス温度（THGmin）との間の差分（63）を、制御器（59）への入力として使用し、当該制御器（59）により、前記高温ガス温度（THG）と、前記最低高温ガス温度（THGmin）との間の前記差分（63）に基づいて差分負荷（55）を求める、

請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記方法を動作させる時点（ $t = T_0$ ）における前記ガスタービンの実際電力 AP_0 [MW] に基づいて第 1 目標負荷（53）を形成する、

請求項 1 または 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記最小負荷設定値（LSPmin）は、前記第 1 目標負荷（53）と前記差分負荷（55）との和に等しい、

請求項 3 を引用する請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記第 1 目標負荷（53）は、前記ガスタービンの前記実際電力（ AP_0 ）からオフセットを減算したものに等しい、

請求項 3 を引用する請求項 4 に記載の方法。

【請求項 7】

前記高温ガス温度モデル（57）は、以下の少なくとも1つの入力に依存する、すなわち、

n ロータ速度

T_{amb} 周囲温度

p_{amb} 周囲圧力

h_{amb} 周囲湿度

$VIGV$ 可変入口案内翼位置

m_r （燃焼器への）空気分割比

m_f 燃料質量流

WI 燃料ウォッベ指数

LHV 燃料低発熱量

b_s バナー燃料段比

γ 冷却空気漏れ減少率

10

20

30

40

50

の少なくとも1つに依存する、

請求項1から6までのいずれか1項に記載の方法。

【請求項8】

前記最低高温ガス温度 (THGmin) を、前記ガスタービンの排気ガス (13) のCO放出 (CO_{EM}) と、最大許容CO放出 (CO_{max}) とを比較することによって調整する、

請求項1から7までのいずれか1項に記載の方法。

【請求項9】

前記CO放出 (CO_{EM}) が前記最大許容CO放出 (CO_{max}) よりも多い場合に、前記最低高温ガス温度 (THGmin) を上げる、

請求項8に記載の方法。

【請求項10】

前記CO放出 (CO_{EM}) が前記最大許容CO放出 (CO_{max}) よりも少ない場合に、前記最低高温ガス温度 (THGmin) を下げる、

請求項8または9に記載の方法。

【請求項11】

あらかじめ定めた動作判定基準に到達した場合には、請求項1から10までのいずれか1項に記載の方法を動作させる、方法。

【請求項12】

前記あらかじめ定めた動作判定基準には、実際の前記高温ガス温度THGと、あらかじめ定めた最低高温ガス温度 (THGmin) とを比較することが含まれている、

請求項11に記載の方法。

【請求項13】

請求項1から12までのいずれか1項に記載の方法にしたがって動作することを特徴とする、ガスタービンの制御器。

【請求項14】

制御器を備えたガスタービンであって、前記制御器 (27) は、請求項1から12までのいずれか1項に記載の方法にしたがって動作することを特徴とする、ガスタービン。

【請求項15】

前記ガスタービンは、少なくとも1つの燃焼器 (4、15) と、少なくとも1つの圧縮機 (1) と、少なくとも1つのタービン (7、12) とを有する、

請求項14に記載のガスタービン。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、CO放出を制限値以下に維持しながらガスタービンを部分負荷で動作させる方法に関する。本発明はさらに、このような方法を実行するように構成されたガスタービンに関する。

【0002】

本開示の背景

再生可能エネルギーは、留まることなくますます多くのエネルギー生産の割合を占めるようになっていく。この結果、従来の電力プラントを一層フレキシブルに動作させる必要がある。したがって比率すなわちベースロードの比率を、最小放出に適合する負荷に低下させることは、従来のガス燃焼電力プラントにとって重要な機能なのである。CO放出は、ガスタービンの低負荷動作を制限する判定基準である。なぜならばCO放出は、一般的に電力減少に伴う燃焼温度の低下と共に急速に増大するからである。

【0003】

ガスタービンの動作範囲をより低い負荷範囲に拡張しかつCO放出が適合するように維持するためにはさまざまな手段がある。しかしながらいずれの手段についても低負荷限界があり、これを下回ると、指定されたCO放出全限度を越えてしまう。所定の負荷にお

10

20

30

40

50

るCO放出は、周囲条件、燃料組成、燃料温度およびエンジンの経年変化と共に変化するため一定ではない。

【0004】

従来の動作法において、最小負荷は、CO放出についての諸要件が満たされる箇所に設定されている。（この明細書において以下「CO最小負荷」と称される）エンジン動作コンセプトにおけるこのような最小負荷とは、CO放出が制限を越える負荷に対して所定のマージンを伴った相対的な負荷設定のことをいう。

【0005】

このマージンに起因して、動作範囲は縮小され、これによってガスタービンの収益力が低減してしまう。

【0006】

CO最小負荷を制御するための考えられ得る別のコンセプトは、COフィードバック制御器を使用することである。このコンセプトにより、一層のフレキシビリティが得られるが、約3～5分のCO信号の測定遅延に起因して障害も大きくなる。このCOフィードバック制御器では、高速のレスポンスと安定性との間でトレードオフを行わなければならない。

【0007】

本開示の概要

本発明の目的は、収益力を増大させ、低い部分負荷で、CO放出基準に適合してガスタービンを動作させる方法を提供することである。

【0008】

この目的は、請求項1およびその従属請求項に記載した方法によって達成される。

【0009】

本発明の方法には、代表的な高温ガス温度THGを計算することと、フィードバック制御器を用いて負荷制御の最小負荷設定点を調整することによって最低高温ガス温度THG_{min}を上回るようにこの代表的な高温ガス温度THGを維持することとが含まれている。このフィードバック制御器は、高温ガス温度THGが、最低高温ガス温度THG_{min}よりも低い場合には最小負荷設定点を上げ、逆にこのフィードバック制御器は、高温ガス温度THGが、最低高温ガス温度THG_{min}よりも高い場合には最小負荷設定点を下げる。

【0010】

択一的な実施形態によれば、高温ガス温度と最低高温ガス温度との間の差分が負になる場合、制御器により、少なくとも1つのバーナがオフにされ、および／または、燃料ステージングパラメタが調整される。この制御器は、高温ガス温度と最低高温ガス温度と間の差分が閾値を上回った場合、少なくとも1つのバーナをオンにする、および／または、燃料ステージングパラメタを再調整する。この閾値は、ステージングパラメタを再調整するかまたはバーナをオンにした後、CO放出が依然として最小許容CO放出を下回っていることが保証されるように十分大きく選択することができる。

【0011】

燃料ステージングにおける調整は、異なる複数のバーナへの燃料供給の変更、または1つのバーナ内の異なる複数の燃料噴射位置またはシステムへの燃料供給への移行であってよい。燃料ステージングにおける調整は、例えば、異なる複数のバーナ段間での燃料の分割、異なる複数のバーナ群間での燃料の分割、異なる複数の燃焼器段間での燃料の分割、異なる複数の燃料器間での燃料の分割、または異なる複数のバーナ間での燃料の分割の調整によって実現される。燃料ステージングパラメタを調整することにより、与えられた動作条件におけるCO放出に対してクリティカルなバーナまたはバーナ区画にはより多くの燃料を供給することができ、その一方で、クリティカルでないバーナまたはバーナ区画への燃料供給が低減される。これによって全体的なCO放出を低減することができる。

【0012】

再調整は、高温ガス温度が再び十分に高くなった場合に実行することができる。この関

10

20

30

40

50

連において再調整とは、例えば、上記の調整中に実行された燃料配分の変更の逆であってよい。

【0013】

バーナのオンオフおよび／またはステージングパラメタの変更は、最小負荷の増大もしくは減少とは独立して、または、最小負荷の増大もしくは減少と組み合わせて行うことができる。一実施形態によれば、最小負荷に到達する前に、まず少なくとも1つのバーナがオフにされ、および／または、ステージングパラメタが変更され、つぎに最小負荷が増大または減少される。

【0014】

同時または順次に適応型の制御アルゴリズムが適用されて、単一の制御パラメタである最低高温ガス温度 THG_{min} が調整されるが、この調整は、適切な動作条件（例えば、CO最小負荷動作点における安定状態動作）において、かつ、（冗長な複数のCO測定値および測定値遅延時間についての）有効であることが示された測定入力値においてのみ行われる。冗長なCO測定は、上記の方法およびシステムの信頼性を改善することができ、また測定した複数のCO値による適応型の制御を含み得る。

【0015】

上記の高温ガス温度 THG および最低高温ガス温度 THG_{min} パラメタおよび適応型制御のコンセプトは、CO最小負荷を調整するためだけではなく、個別のバーナのオフまたはバーナ群のオフのような、部分負荷におけるCO放出に影響を及ぼす他の手段を調整するためにも、または、既に実行された別の燃料再配分手段にも使用することができる。（例えば、内部的なバーナ燃料の分配が再調整される「EVステージング」、バーナのグルーピング、または、異なる連続するステージ間での、又は、燃焼器間での燃料の再配分）。

【0016】

別の利点については、図面に関連して詳しく説明する。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】多段燃焼を備えたガスタービンを示す図である。

【図2】多段燃焼を備えたガスタービンの第2燃焼器の断面図である。

【図3】ガスタービンの高温ガス温度 THG に依存してCO放出を示す線図である。

【図4】本発明による方法のブロック図である。

【図5】高温ガス温度 THG の下限を再設定する適応型アルゴリズムを示す図である。

【図6】適応型アルゴリズムが高温ガス温度 THG およびCO放出に与える影響を示す図である。

【0018】

以下では添付の概略図を使用し、本発明、その特質およびその利点を一層詳しく説明する。

【0019】

実施例

図1には、ここで説明している方法を実現するのに有効な、多段燃焼を有するガスタービンの例が示されている。本発明による方法は、このタイプのガスタービンだけに応用されるのではなく、例えば多段型でない燃焼器を備えた別の任意のタイプのガスタービンまたは多段燃焼に応用することが可能である。

【0020】

このガスタービンには圧縮機1と、第1燃焼器4と、第1タービン7と、第2燃焼器15と、第2タービン12とが含まれている。一般的にこのガスタービンには発電機19が含まれており、この発電機は、圧縮機1において、このガスタービンのシャフト18に連結されている。

【0021】

燃料、すなわちガスまたは油は、燃料供給部5を介して第1燃焼器4内に導入され、圧

10

20

30

40

50

縮機 1 内で圧縮された空気と混合され、1 つまたは幾つかの（図 1 に示していない）バーナにおいて燃焼される。バーナおよび第 1 燃焼器 4 を出た高温ガス 6 の一部は、後続の第 1 タービン 7 において膨張されて仕事を行う。

【0022】

負荷の増大によって第 2 燃焼器 15 が動作しはじめると直ちに、燃料供給部 10 を介し、付加的な燃料が、第 2 燃焼器 15 の複数のバーナ 9 内の部分的に膨張したガス 8 に加えられて第 2 燃焼器 15 で燃焼する。高温ガス 11 は、後続の第 2 タービン 12 において膨張されて仕事を行う。排気ガス 13 は有益には、複合サイクル電力プラントの排熱ボイラまたは別の排熱応用に供給することが可能である。

【0023】

吸入質量流を制御するため、圧縮機 1 は、少なくとも 1 列の可変入口案内翼 14 を有する。

【0024】

寒い日に周囲空気の高い相対湿度によって吸入空気 2 の温度を上げられるようにするため、制御弁 25 および氷結防止管路 26 が設けられており、この制御弁および管路を通して圧縮空気 3 の一部を吸入空気 2 に加えることができる。

【0025】

圧縮空気 3 の一部は、高圧冷却空気 22 として取り出されて、高圧冷却空気冷却器 35 を介して再冷却され、冷却空気 22 として第 1 燃焼器 4（冷却空気管路は図示されていない）および第 1 タービンに供給される。高圧タービン 7 に供給される高圧冷却空気 22 の質量流は、この例において、高圧冷却空気制御弁 21 によって制御することが可能である。高圧冷却空気 22 の一部は、いわゆる搬送空気 24 として第 2 燃焼器 15 の複数のバーナ 9 のバーナランスに供給される。搬送空気 24 の質量流は、搬送空気制御弁 17 によって制御することが可能である。

【0026】

一部の空気は、部分的に圧縮されて圧縮機 1 から取り出され、低圧冷却空気冷却器 36 を介して再冷却されて、冷却空気 23 として第 2 燃焼器 15 および第 2 タービン 12 に供給される。冷却空気 23 の質量流は、この例において冷却空気制御弁 16 によって制御可能である。

【0027】

燃焼器 4 および 15 は、例えば図 2 において第 2 燃焼器 15 の例で示したように多くの個別バーナ 9 を備えたアニュラ型燃焼器として構成されている。これらのバーナ 9 のそれぞれには燃料分配システムおよび燃料供給部 10 を介して燃料が供給される。この例において燃料分配システムは、主燃料環 30 と、全体的な燃料質量流を制御する制御弁 28 と、対応する 8 個のバーナ 9 を停止する 8 個のオンオフ弁 37 とを有する。

【0028】

主制御器 27 は、別の複数のコンポーネントの中でもとりわけ、ガスタービンの出力または負荷を制御する可変入口案内翼 14 と、燃料供給部 5 および 10 とに接続されている。主制御器 27 と、可変入口案内翼 14 と、燃料供給部 5 および 10 とを接続する信号線路には参照符号 29 が付されている。

【0029】

個別のオンオフ弁 37 を閉鎖することにより、個別バーナ 9 への燃料供給は停止され、動作している残りのバーナ 9 に配分される。結果として、動作中のバーナ 9 の燃空当量比は減少して高温ガス温度が上昇する。

【0030】

第 1 燃焼器 4 の動作しているバーナおよび第 2 燃焼器 15 の動作しているバーナ 9 のそれぞれにより、明らかに高温排気ガスが形成される。

【0031】

本発明については、第 1 燃焼器 4 のバーナの出口における高温ガス 6、または第 2 燃焼器 15 のバーナの出口における高温ガス 11 のいずれかの温度が、高温ガス温度 THG と

10

20

30

40

50

称される。局所的な高温ガス温度 T_{HG} は、動作している複数のバーナ間で異なり得ることは明らかである。これらの局所的な違いを考慮するように、計算される高温ガス温度 T_{HG} を調整することができる。この調整に対し、計算される高温ガス温度 T_{HG} を以下の少なくとも 1 つのパラメタに依存して調整することができる。すなわち、

- ・ 動作中のバーナの個数
- ・ 異なる複数のバーナ段間での燃料の分割
- ・ 異なる複数のバーナ群間での燃料の分割
- ・ 異なる複数の燃焼器段間での燃料の分割
- ・ 異なる複数の燃焼器間での燃料の分割
- ・ 異なる複数のバーナ間での燃料の分割

10

に依存して調整することができる。

【0032】

上で述べたように本発明による方法は、このタイプのガスタービンだけではなく、例えば多段型でない燃焼器を備えた別の任意のタイプのガスタービンまたは多段型燃焼に応用することが可能である。

【0033】

予混合燃焼に対しては、図 3 に示したように高温ガス温度 T_{HG} が低くなるのにつれてほぼ指数関数的に CO が増大することが知られている。図 3 の Y 軸は、対数目盛を使用しているため、図 3 の線 39 はおおよそ直線的である。

【0034】

20

最大許容 CO 放出 CO_{max} および最低高温ガス温度 T_{HGmin} によって区切られている矩形領域 41 は、ガスタービンの動作範囲である。最大許容 CO 放出 CO_{max} は、超過してはならない限度である。

【0035】

図 3 に示した例示的な関数に基づき、以下の式を使用して CO 放出を近似することができる。すなわち、

$$CO = \eta \cdot e^{-\gamma T_{HG}} \quad (a)$$

であり、ただし γ および η は、特定のガスタービンの CO 放出特性に最善に適合するように経験的に求めることが可能な定数である。

【0036】

30

逆にすると、最大許容 CO 放出値 CO_{max} に対し、高温ガス温度 T_{HGmin} の下限を、

$$T_{HGmin} = \log(CO_{max} / \eta) \cdot (-1/\gamma) \quad (b)$$

によって近似することができる。

【0037】

通常の条件下では、ガスタービンの負荷は主に、少なくとも 1 つの燃焼器 4、15 への燃料質量流および／または可変入口案内翼 14 の位置を制御することによって制御される。

【0038】

ガスタービンの動作についての詳細は、欧州特許出願公開第 2600063 号明細書に記載されており、その内容は引用によってこの明細書に組み込まれるものとする。通常の制御方式は、当業者には公知であるため、詳細には説明しない。

40

【0039】

図 4 には、規制に準拠しかつ有利には低 CO 放出、低負荷でガスタービンを動作させるための、本発明による CO 最小負荷制御の一部が示されている。これは、ガスタービンの通常動作または負荷制御によっては、許容されない高 CO 放出に結び付いてしまい得るケースに起動されるモデルベースの制御である。本発明による CO 最小負荷制御は、主制御器 27 (図 1 を参照されたい) に組み込むことが可能であるかまたは別個の制御器であってよい。

【0040】

50

図4に示した本発明による制御方法は、組成がオンラインで測定されかつこれに対応してモデルの高温ガス温度THG計算式を補正するのに使用されるのであれば、周囲条件の変化、送電網周波数の変動、動作コンセプト（VIGV位置）およびウォッペ指数による燃料ガス組成の変化、または低発熱量変化に対してロバストである。しかしながら、COモデルが真のCO値から偏差し得るケースがあり、これらのケースは、高温ガス温度THGだけでなくCOに関連する燃焼動力学に影響を与える燃料組成の変化（例えば点火遅延時間に与えるC₂ +の作用）、（例えば異なる空気分配に結び付く）ガスタービンハードウェアの経年変化、極端な諸条件または動作モードおよび／または誤った入力信号または入力信号の欠落などであり、高温ガス温度THGの、上記のモデルベースの決定の結果が不正確になってしまう。

10

【0041】

これらのケースは、ガスタービンの排気ガスにおいて測定したCOによるフィードバックループを介して取り扱われる。図5に示したこのコンセプトにより、CO放出をCO_{max}限度値以下に維持しかつヒステリシスを有する範囲に留まるようにするために限界のTHG_{min}を更新しかつ補正する適応型アルゴリズムが導入される。

【0042】

図4に示したモデルベースのCO最小負荷制御および図5に示した適応型アルゴリズムは、同時または順次に行うことが可能である。

【0043】

図4に示した本発明によるCO最小負荷制御にはスイッチ43が含まれている。主制御器27の通常の負荷制御下では（すなわち本発明によるCO最小負荷制御が動作していない）、スイッチ43は、図4に示した位置にある。

20

【0044】

スイッチ43は、ガスタービンが低負荷動作点（CO最小負荷状態とも称される）に達すると、ガスタービン制御の主制御器27からのバイナリ信号45によって起動される。

【0045】

動作する個別バーナの個数を減らした動作に対しては、動作するバーナの最小個数に到達すると、本発明のCO最小負荷制御は、バイナリ信号45によって動作状態に設定され、CO最小負荷制御器に対する基準として、ガスタービンの実際電力出力AP₀を読み出す。

30

【0046】

ガスタービン負荷設定点（LSP；[MW]）は、CO最小負荷制御が動作している場合、計算した高温ガス温度THGに基づき、CO最小負荷制御器によって制御される。

【0047】

図1および2で説明したガスタービンの場合、負荷制御器27は、すべての燃料制御弁28、37と、可変入口案内翼（VIGV）位置とを調整し、つねに有効である通常の運用コンセプトにしたがって負荷設定点（LSP；[MW]）を追従する。本発明によるCO最小負荷制御が動作している場合、CO最小負荷制御器により、負荷設定点（LSP）が調整される。

【0048】

CO最小負荷制御器は、例えば、第2燃焼器15の高温ガス温度THGが、あらかじめ設定した最小レベルTHG_{min}（図3を参照されたい）に到達した場合、起動される。別のタイプのガスタービンに対しては、本発明によるCO最小負荷制御を起動および停止するために異なる判定基準を適用してよい。当業者は、ガスタービンのタイプ毎に適切な判定基準を選択してよい。

40

【0049】

ここで図4の右側に示した負荷制御の終わらないしは結果からはじめると、最大最小制限器47の出力LSP_{min}が示されていることがわかる。

【0050】

最大最小制限器47に入る入力LSPは、主制御器27によって供給される。最大最小

50

制限器 47 は、主制御器 27 の負荷制御の負荷設定点 $L o a d_{s p}$ の上限および下限を設定する。制限器 47 のこれらの設定点限度値を、最大値に対しては $L S P m a x$ 、また最小値に対しては $L S P m i n$ と略記する。

【0051】

最大最小制限器 47 に入りかつガスタービンの負荷制御 27 の一部である負荷設定点 ($L o a d_{s p}$) は、制限器 47 によって設定される限度値 $L S P m a x$ および $L S P m i n$ 内に維持しなければならない。制限器 47 によって保証されるのは、負荷設定点 $L o a d_{s p}$ が最小負荷設定点 $L S P m i n$ を下回らず、かつ、最大負荷設定点 $L S P m a x$ を上回らないことである。

【0052】

制限器 47 の出力は $L S P l i m$ と称され、ガスタービンに供給され、このガスタービンが、時間の関数である、対応する実際電力 $A P(t)$ を形成する。

【0053】

本発明によると、最小負荷設定点 $L S P m i n$ は、ガスタービンの瞬時の状態に適合され、これによってこのガスタービンを低い高温ガス温度 $T H G$ で動作させて、上記の制限 $C O_{m a x}$ (図 3 を参照されたい) に適合した $C O$ 放出を形成することができる。

【0054】

図 4 からわかるように、最小負荷設定点 $L S P m i n$ は、2 つの負荷 53 および 55 [MW] から導出される。ボックス 49 においてこれらの 2 つの負荷 53 および 55 を加算することにより、最小負荷設定点 $L S P m i n$ が形成される。

【0055】

上述したように通常動作条件下では、負荷スイッチ 43 は、第 1 位置 (矢印 44 a を参照されたい) にあり、その結果、ボックス 49 への第 1 入力 53 は、例えば 5 MW の、ガスタービン最小負荷 $G T_{m i n} \quad l o a d$ の「固定の」値になる。

【0056】

時点 ($t = T_0$) にスイッチ 43 は、主制御器 27 からのバイナリ信号 45 によって動かされ、このスイッチ 43 内の矢印 44 は、第 2 位置に達する (点線の矢印 44 b を参照されたい)。この結果、ボックス 49 への第 1 入力 53 は、もはや「固定の」値ではなくなる。

【0057】

時点 ($t = T_0$) には、この時点 ($t = T_0$) におけるガスタービンの実際の負荷に近い実際電力 $A P(t)$ [MW] が取り入れられ、基準負荷値 [MW] として格納され、これがボックス 49 に対する入力として使用される。いかなる状況下においても確実に、制限器 47 の最小負荷設定点 $L S P m i n$ が高くなりすぎることがないようにするため、実際電力 $A P_0$ ($A P(t) | t = T_0$) からオフセット値 [MW] が減算され、結果的に得られる値が基準値として使用される。この減算はボックス 51 で行われる。一般的にこのオフセットは、実際電力の 1 ~ 5 % の範囲内にある。

【0058】

このオフセットは、最小負荷制御器が動作している場合に、負荷設定点の意図しない突然の任意の増大を回避するために使用可能である。

【0059】

ボックス 51 の出力 ($A P_0$ - オフセット [MW]) は、スイッチ 43 への第 1 入力 [MW] であり、つぎにこの第 1 入力が、第 1 入力 53 としてボックス 49 に供給される。

【0060】

一例を挙げる。固定値 $G T_{m i n} \quad l o a d$ を 5 MW とする。信号 45 によってスイッチ 43 が起動された時点 ($t = T_0$) における実際電力 $A P$ を 110 MW とする。上記のオフセットを 3 MW とすると、ボックス 49 への第 1 入力 53 は、スイッチ 43 を起動した後、 $110 \text{ MW} - 3 \text{ MW} = 107 \text{ MW}$ である。

【0061】

ボックス 49 への第 2 入力 55 は、高温ガス温度モデル 57 と、有利には $P I$ 制御器で

10

20

30

40

50

ある制御器 59 とから導出される。制御器 59 は、高温ガス温度 THG を THGmin に等しい状態のままにするため、基準値に関連して最小負荷を調整する。

【0062】

高温ガス温度モデル 57 は、1 つ以上のモデル方程式および複数の入力値に基づいて、ガスタービンの、動作している複数のバーナ 9 の実際の高温ガス温度 THG を計算するかまたはこれを求める。

【0063】

高温ガス温度モデル 57 に対する入力データは図 4 に示されており、符号の説明の欄に簡単に説明されている。

【0064】

本発明の方法によれば、実際の高温ガス温度 THG は、センサによってではなく、高温ガス温度モデル 57 を用いて遅延なく求められる。一実施形態において、モデル 57 の出力は、燃料質量流、燃料組成、ガスタービンの燃焼器への空気質量流および／または冷却空気質量流に依存する。さらに、計算される代表的な高温ガス温度 THG は、複数のバーナまたは複数の燃焼器またはこれらの複数の段または複数の群の間における、変数 b_s によって表される燃料配分に依存する。ガスタービン応用に対するモデルをさらに簡略化するため、空気質量流が、ロータ速度 n と、可変入口案内翼 (VIGV) の位置と、周囲条件とに依存すると仮定する。これらの仮定に基づけば、瞬時の高温ガス温度 $THG(t)$ は以下の変数に依存する、すなわち、

$$THG = f(n, T_{amb}, p_{amb}, h_{amb}, VIGV, m_r, m_f, WI, LHV, b_s, \gamma) \quad (1)$$

とすることが可能である。

【0065】

より詳細またはより簡単な別のモデルも適用可能である。

【0066】

THG モデル 57 の出力 THG は、減算素子 61 において高温ガス温度の最小限度値 THGmin と比較される。

【0067】

高温ガス温度の最小限度値 THGmin と、計算した高温ガス温度 THG との間の差分 63 は、(PI) 制御器 59 に転送される。

【0068】

温度差分 [K] であるこの差分 63 に基づき、制御器 59 は負荷 [MW] を計算し、この負荷がボックス 49 の第 2 入力 55 になる。

【0069】

上述のように入力 55 と 53 とを加算することにより、最小負荷設定点 LSPmin が形成される。この最小負荷設定点は、実際の高温ガス温度 THG に依存する、制限器 47 の下限である。最小負荷設定点 LSPmin は、THG モデル 57 のリアルタイムに利用可能な結果 THG を使用する制御器 59 によって連続的に制御される。このことが意味するのは、いかなる時間遅延もなしに、低い高温ガス温度において CO 放出要求が満たされるように最小負荷設定点 LSPmin が連続して適合されることである。

【0070】

スイッチ 43 がその指示位置 (矢印 44a および 44b を参照されたい) を変更する毎に、第 1 入力 53 は、ほぼ確実に階段状に変化する。なぜならば上に示した例を参照すると、値 $GT_{minload}$ は 5 MW、時点 $t = T_0$ における実際電力 AP は 110 MW、またオフセットは 3 MW とすることができ、この結果、入力 53 は、時点 $t = T_0$ において 5 MW から 107 MW に変化するからである。

【0071】

本発明による CO 最小負荷制御は、とりわけ実際電力 AP ($t = T_0$) と、THG モデル 57 によって求められる実際の高温ガス温度 THG とに従属する。

【0072】

結果的に、制限器 47 の入力である最小負荷設定点 LSPmin は、ガスタービンの動

10

20

30

40

50

作および複数の周囲状況に適合される。これにより、最小負荷設定点 LSP_{min} をさらに下げることができ、結果的に、 CO_{max} 限度値（図3を参照されたい）を上回るCO放出を形成することなく、高温ガス温度 THG をさらに下げることができる。

【0073】

本発明による高温ガス温度モデル57は、燃料の変更、ガスタービンの経年変化などのようなありとあらゆる考えられ得る影響を正確に計算しない幾らか簡略化したモデルを使用している。この結果、（例えば1時間よりも長い）長期間にわたる燃料の変化、ガスタービンの経年変化などに起因して、 THG モデル57のさまざまな結果（ THG ）は、正確さが損なわれ得る。

【0074】

ガスタービンのこれらの長期間の変化を補償し、これらの変化に THG モデル57を適合させるため、高温ガス温度 THG を調整する適応型アルゴリズムが図5に示されている。

【0075】

図5は、図4に基づいており、本発明による方法の適応部分に焦点を絞ったものである。

【0076】

一般的にはガスタービンの負荷が軽減されると、高温ガス温度 THG は下がる。したがってCO放出は、負荷レベル LSP_{min} において、指定されたCO値を上回ることになる。上述のようにこの負荷レベルは、周囲条件、ガス組成、ガス温度の変数であり、また運用コンセプトにも関連している。

【0077】

簡略化されたモデル57を使用したCO最小負荷制御は、長期間にわたって、また複数の条件の変化の下では所要の精度を得ることができない。

【0078】

したがって本発明によるCO最小負荷制御は、最低高温ガス温度 THG_{min} を調整することにより、ガスタービンの排気ガス13において測定されるCO放出 CO_{EM} を最大許容CO放出 CO_{max} 以下に維持するフィードバック制御器67を使用する。

【0079】

図5のボックス65は、例えば減算素子51および61、（PI）制御器59、スイッチ43およびボックス49のような、図4のCO最小負荷制御コンポーネントのうちのいくつかを表している。

【0080】

上で説明したように、CO最小負荷制御の結果、制限器47の限定された負荷設定点 LSP_{lim} が制御される。ガスタービンの実際電力 AP の他にこのガスタービンのCO放出は、1つ以上の適切なセンサ（図示せず）によって測定される。例えばいくつかのセンサの結果を比較することによってこれらのセンサの信号の妥当性が検査されると直ちに、これらのセンサの出力信号 CO_{EM} が、フィードバック制御器67に供給されて最大許容CO放出 CO_{max} と比較される。

【0081】

手短に述べると、フィードバック制御器67は、ガスタービンの最小負荷（スイッチ43の入力 GT_{min_load} ）を参照されたい）におけるCO放出が、最大許容CO放出 CO_{max} （図3を参照されたい）よりも大きい場合、出力を階段状に変化させて準アナログ的な仕方では変化させない離散積分器69を介して、CO最小負荷制御器65の目標高温ガス温度 THG_{min} を増大させる。

【0082】

フィードバック制御器67は、ガスタービンの最小負荷におけるCO放出が、 CO_{max} 限度値（図3を参照されたい）よりも低い場合、CO最小負荷制御器の最低高温ガス温度 THG_{min} を下げる。変化の回数を低減するため、フィードバック制御器67にはヒステリシスが組み込まれている。

10

20

30

40

50

【0083】

CO最小負荷制御が、本発明による適応型アルゴリズムを使用して安定状態に達すると、CO放出は、最大許容CO放出 CO_{max} （図3を参照されたい）を下回る。

【0084】

このことが意味するのは、本発明による方法により、高速のモデルベースのCO最小負荷制御と、モデル57の閉ループ制御とが組み合わされて、複数の条件が変化した場合であってもモデル57の精度が保たれるようにされるということである。

【0085】

図6には、本発明による適応型アルゴリズムが高温ガス温度THGに与える影響が示されており、ここでは図3に基づくCOモデルのCO放出が、最初のものからドリフトしている。最初のモデルは、図6において第1の線71によって表されている。

10

【0086】

例えば、燃料ガスの正味発熱量LHVが未知でありかつそれが時間と共に変化する場合、結果的に得られる高温ガス温度THGはドリフトすることになる。同じ高温ガス温度THGにおいて、COモデルを校正した燃料ガスのLHVよりも現在の燃料ガスのLHVが低いと仮定すると、CO放出は、この低いLHVに起因して、すなわち燃焼器4または15への熱入力が高いことに起因して一層高くなる。

【0087】

このCOモデルは、第1の線71から第2の線73にドリフトする。この結果、一定の最低高温ガス温度THGminにおいて、CO放出は、点AからBに上昇するが、このことは、Bが最大CO放出限度値 CO_{max} を上回っているため、許容することはできない。図5で説明した適応型アルゴリズムは、結果的に得られるCO放出が再度 CO_{max} に（点BからCに）戻るまで、最低高温ガス温度THGminを増大させる。

20

【0088】

CO最小負荷制御器がその安定状態に到達すると直ちに、CO放出は、最大許容CO放出 CO_{max} 付近になり、最低高温ガス温度THGminは、新しい最低高温ガス温度THGmin*に接近する。このことが意味するのは、複数の条件が変化した場合であっても、ガスタービンのCO放出を、最大許容CO放出 CO_{max} を上回ることなく、最低限に可能な高温ガス温度で運転できることである。

【0089】

上述したように応答時間が極めて遅いという特徴を有する簡略化されたCOフィードバックループに関していうと、上記のコンセプトは、CO最小負荷制御が極めて高速になり得るという利点を有する。なぜならば、例えば緩慢なプロセスであるタービンまたは燃料の挙動がドリフトする場合、最低高温ガス温度THGminに対する目標値だけが漸進的に調整されるからである。

30

【符号の説明】

【0090】

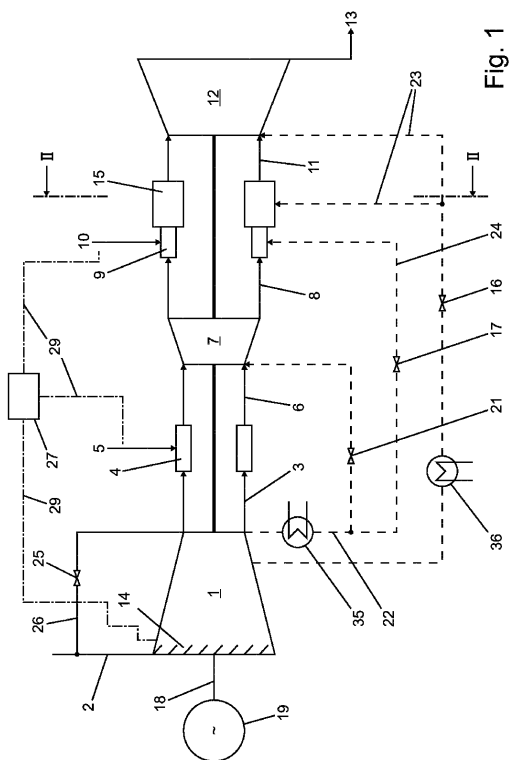
1 圧縮機、 2 吸入空気、 3 圧縮空気、 4 第1燃焼器、 5 燃料供給部、 7 第1タービン、 9 バーナ、 10 燃料供給部、 12 第2タービン、 13 排気ガス、 14 可変入口案内翼、 15 第2燃焼器、 17 搬送空気制御弁、 18 ガスタービンの軸、 19 発電機、 21 冷却空気制御弁、 22、23 冷却空気、 24 搬送空気、 25 制御弁、 26 氷結防止管路、 27 主制御器、 29 信号線路、 30 主燃料環、 35 冷却空気冷却器、 37 個別オン／オフ弁、 43 スイッチ、 44a、b 矢印、 45 バイナリ信号、 47 制限器、 49 ボックス、 51 ボックス、 53、55 負荷[MW]、 AP 実際電力、 57 高温ガス温度モデル、 59 (PI)制御器、 61 減算素子、 63 入力(温度差分[K])、 65 ボックス、 67 フィードバック制御器、 69 離散積分器、 39、71、73 線、 CO_{max} 最大許容CO放出、 COEM 測定したCO放出、 THGmin 最低高温ガス温度、 LSP 負荷設定点、 LSPmin 最小負荷設定点、 LSPmax 最大負荷設定点、 LSPli

40

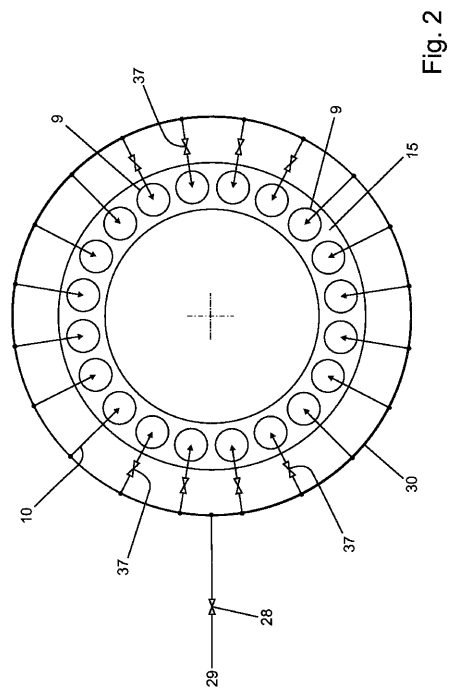
50

m 制限された負荷設定値、 n ロータ速度、 T_{amb} 周囲温度、 p_{amb} 周囲圧力、 h_{amb} 周囲湿度、 $VIGV$ 可変入口案内翼位置、 m_r (燃焼器への) 空気分割比、 m_f 燃料質量流、 WI 燃料ウォッベ指数、 LHV 燃料低発熱量、 b_s バーナ燃料段比、 γ 冷却空気漏れ減少率、 λ 燃空当量比

【図 1】



【図 2】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2015/050396

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F02C7/228 F02C9/28
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F02C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	US 2011/265486 A1 (PLANT ADAM D [US]) 3 November 2011 (2011-11-03) paragraphs [0018], [0019], [0024], [0025], [0031] -----	1,2,7, 13-15 3-6,8-12
Y A	EP 2 423 489 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 29 February 2012 (2012-02-29) paragraphs [0003], [0015], [0017], [0019], [0020], [0022], [0033] -----	1,2,7, 13-15 3-6,8-12
A	US 2004/093147 A1 (KUMAR ADITYA [US] ET AL) 13 May 2004 (2004-05-13) paragraphs [0025], [0064] abstract -----	1,7
A	EP 1 367 328 A2 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD [JP]) 3 December 2003 (2003-12-03) claims 4-7 -----	1,8-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier application or patent but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

G document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 March 2015

Date of mailing of the international search report

08/04/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel: (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Herbiet, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/050396

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2011265486	A1	03-11-2011	NONE
EP 2423489	A2	29-02-2012	CN 102345515 A 08-02-2012
			EP 2423489 A2 29-02-2012
			JP 2012026449 A 09-02-2012
			US 2012023953 A1 02-02-2012
US 2004093147	A1	13-05-2004	NONE
EP 1367328	A2	03-12-2003	EP 1367328 A2 03-12-2003
			JP 3978086 B2 19-09-2007
			JP 2004003752 A 08-01-2004
			US 2004107701 A1 10-06-2004

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(74)代理人 100116403

弁理士 前川 純一

(74)代理人 100135633

弁理士 二宮 浩康

(74)代理人 100162880

弁理士 上島 類

(72)発明者 メンビン ジャン

スイス国 オーテルフィンゲン ダーリエンヴェーク 7

(72)発明者 ディアク テアコアン

ドイツ連邦共和国 ヴァルツフト キアシュバウムヴェーク 8

(72)発明者 ステファノ ベルネーロ

スイス国 オーバーローアドルフ ツェルグリ 36

(72)発明者 ミヒャエル ケニヨン

スイス国 バーデン オイレンヴェーク 49

Fターム(参考) 3G071 AA01 AB01 BA04 BA10 DA01 FA01 FA06 HA02 HA05