

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2013-142402
(P2013-142402A)

(43) 公開日 平成25年7月22日(2013.7.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
FO2C 9/40 (2006.01)	FO2C 9/40 A	
FO2C 7/22 (2006.01)	FO2C 7/22 A	
FO2C 3/22 (2006.01)	FO2C 3/22	
FO2C 3/24 (2006.01)	FO2C 3/24	
FO2C 9/00 (2006.01)	FO2C 9/00 A	

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L 外国語出願 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2013-880 (P2013-880)	(71) 出願人 503416353
(22) 出願日 平成25年1月8日(2013.1.8)	アルストム テクノロジー リミテッド
(31) 優先権主張番号 00027/12	ALSTOM Technology Ltd
(32) 優先日 平成24年1月9日(2012.1.9)	スイス国 バーデン ブラウン ボヴェリ
(33) 優先権主張国 スイス(CH)	シュトラッセ 7
	Brown Boveri Strasse 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
	(74) 代理人 100099483
	弁理士 久野 琢也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガスタービンを運転する方法

(57) 【要約】

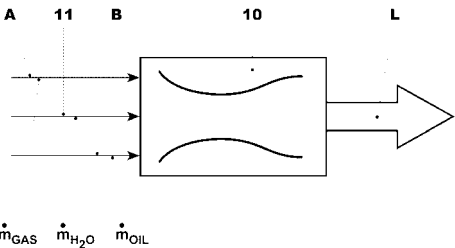
【課題】液体燃料から気体燃料への変更及び気体燃料から液体燃料の変更の間の改良された運転であって、この運転は、高い連続性によって特徴付けられかつ関連する運転パラメータの突然の変化のない、運転を提供する。

【解決手段】ガスタービン（10）を運転する方法であって、前記ガスタービンは、気体質量流量から成る気体燃料（A）及び／又は油質量流量から成る油燃料（B）で選択的に運転され、前記ガスタービン（10）の負荷運転中に前記気体燃料（A）を用いる運転モードと前記油燃料（B）を用いる運転との変更が行われ、少なくとも前記油燃料（B）を用いる運転モードにおいて水質量流量の水付加（11）が提供される方法において、

前記運転モードの変更中の燃料質量流量に対する付加される水質量流量の比（ Ω_{norm} ）が、

$$\Omega_{norm} = \frac{\dot{m}_{H_2O} \cdot LHV_{norm}}{\dot{m}_{gas} \cdot LHV_{gas} + \dot{m}_{oil} \cdot LHV_{oil}}$$

に従って決定される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガスタービン（１０）を運転する方法であって、前記ガスタービンは、気体質量流量

$$(\dot{m}_{\text{gas}})$$

から成る気体燃料（Ａ）及び／又は油質量流量

$$(\dot{m}_{\text{oil}})$$

から成る油燃料（Ｂ）で選択的に運転され、前記ガスタービン（１０）の負荷運転中に前記気体燃料（Ａ）を用いる運転モードと前記油燃料（Ｂ）を用いる運転モードとの変更が行われ、少なくとも前記油燃料（Ｂ）を用いる運転モードにおいて水質量流量

$$(\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}})$$

の水付加（１１）が提供される方法において、
前記運転モードの変更中の燃料質量流量に対する付加される水質量流量

$$(\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}})$$

の比（ Ω_{norm} ）が、

【数 １】

$$\Omega_{\text{norm}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{LHV}_{\text{norm}}}{\dot{m}_{\text{gas}} \cdot \text{LHV}_{\text{gas}} + \dot{m}_{\text{oil}} \cdot \text{LHV}_{\text{oil}}}$$

に従って決定されることを特徴とする、ガスタービン（１０）を運転する方法。

【請求項 2】

前記気体燃料（Ａ）を用いる運転モードから前記油燃料（Ｂ）を用いる運転モードへの変更中に、前記水質量流量比（ Ω_{norm} ）が提供される、請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記油燃料（Ｂ）を用いる運転モードから前記気体燃料（Ａ）を用いる運転モードへの変更中に、前記水質量流量比（ Ω_{norm} ）が提供される、請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】

前記気体燃料（Ａ）を用いる運転モードから前記油燃料（Ｂ）を用いる運転モードへの変更中、油質量流量

$$(\dot{m}_{\text{oil}})$$

を供給する前に水質量流量

$$(\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}})$$

の供給が開始される、請求項 2 記載の方法。

【請求項 5】

前記油燃料（Ｂ）を用いる運転モードから前記気体燃料（Ａ）を用いる運転モードへの変更中、前記気体質量流量

$$(\dot{m}_{\text{gas}})$$

を供給する前に水質量流量

$$(\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}})$$

の供給が開始される、請求項 3 記載の方法。

【請求項 6】

前記ガスタービン（１０）は、ガイドベーン配列を有し、ガイドベーンの位置は、前記気体燃料（Ａ）を用いる運転モードと前記油燃料（Ｂ）を用いる運転モードとの変更中、変化させられない、請求項 1 から 5 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 7】

前記油燃料（Ｂ）を用いる運転モードにおける前記ガスタービン（１０）を、水質量流量

$$(\dot{m}_{H_2O})$$

の付加なしで運転することができ、水質量流量

10

$$(\dot{m}_{H_2O})$$

の付加は、前記気体燃料（Ａ）を用いる運転モードと前記油燃料（Ｂ）を用いる運転モードとの変更のために開始される、請求項 1 から 6 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 8】

前記気体燃料（Ａ）を用いる運転モードから前記油燃料（Ｂ）を用いる運転モードへの移行中の水質量流量比（ Ω_{norm} ）は、最大で 1、特に最大で 0.7、好適には最大で 0.6 の値を有する、請求項 1 から 7 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 9】

ガスタービン（１０）であって、気体質量流量

20

$$(\dot{m}_{gas})$$

から成る気体燃料（Ａ）及び／又は油質量流量

$$(\dot{m}_{oil})$$

から成る油燃料（Ｂ）を用いて選択的に運転させることができ、前記気体燃料（Ａ）を用いる運転モードと前記油燃料（Ｂ）を用いる運転モードとの変更を、前記ガスタービン（１０）の負荷運転中に行うことができ、少なくとも前記油燃料（Ｂ）を用いる運転モードにおいて水質量流量

30

$$(\dot{m}_{H_2O})$$

の水付加（１１）が提供されるガスタービン（１０）において、
運転モードの変更中の前記燃料質量流量に対する付加される水質量流量

$$(\dot{m}_{H_2O})$$

の比（ Ω_{norm} ）は、

【数 2】

$$\Omega_{norm} = \frac{\dot{m}_{H_2O} \cdot LHV_{norm}}{\dot{m}_{gas} \cdot LHV_{gas} + \dot{m}_{oil} \cdot LHV_{oil}}$$

40

に従って決定されることを特徴とする、ガスタービン（１０）。

【請求項 10】

前記ガスタービン（１０）を請求項 2 から 8 までのいずれか 1 項記載の方法により運転することができる、請求項 9 記載のガスタービン（１０）。

【請求項 11】

ガスタービン（１０）の運転を制御するための制御装置であって、該制御装置は、特に、前記ガスタービン（１０）の運転のための水付加（１１）を制御するように設計されており、前記ガスタービン（１０）を、気体質量流量

50

$(\dot{m}_{\text{gas}})$

から成る気体燃料（Ａ）及び／又は油質量流量

$(\dot{m}_{\text{oil}})$

から成る油燃料（Ｂ）を用いて選択的に運転することができ、前記ガスタービン（１０）の負荷運転中、前記気体燃料（Ａ）を用いる運転モードと前記油燃料（Ｂ）を用いる運転モードとの変更が行われ、少なくとも前記油燃料（Ｂ）を用いる運転モードにおいて、水質量流量

10

$(\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}})$

の水付加（１１）が提供される、制御装置において、
該制御装置によって、運転モード間の変更中の前記燃料質量流量

$(\dot{m}_{\text{oil}})$

に対する付加される水の質量流量

$(\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}})$

の比（ Ω_{norm} ）が、

20

【数３】

$$\Omega_{\text{norm}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{LHV}_{\text{norm}}}{\dot{m}_{\text{gas}} \cdot \text{LHV}_{\text{gas}} + \dot{m}_{\text{oil}} \cdot \text{LHV}_{\text{oil}}}$$

に従って決定されることを特徴とする、ガスタービン（１０）の運転を制御するための制御装置。

【請求項１２】

請求項１１記載の制御装置を作動させるためのコンピュータプログラム製品。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【０００１】

本発明は、天然ガスのような気体燃料及び／又は油のような液体燃料を用いて選択的に運転させられるガスタービンを運転する方法であって、気体燃料を用いる運転と液体燃料を用いる運転との変更がガスタービンの負荷運転中に行われ、少なくとも液体燃料を用いる運転が水を加えながら行われる、方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

ガスタービンのバーナを気体燃料及び／又は液体燃料で運転することは、現代のガスタービン技術の分野における十分に公知の手段である。さらに、液体燃料を用いるガスタービンの運転中の燃焼不安定を低減するために及び NO_x 排出を低減するために燃料流に水を加えることが知られている。負荷運転が１つの燃料から他の燃料へ変更される時には、特定の困難が課せられる。第１の燃料、第２の燃料及び水の質量流量の適切な制御は、この段階の間のガスタービンの運転を維持するための基本的な前提条件である。

40

【０００３】

液体燃料から気体燃料への変更の場合に、第１の燃料の質量流量は、移行段階の間に連続的に減じられ、それと同時に、気体燃料の供給が増大される。これに並行して、水供給の減少が要求される。

【０００４】

従来技術の解決手段によれば、水供給は、比 Ω に基づいて、油質量流量に基づき制御さ

50

れる。

【 0 0 0 5 】

この場合、 Ω は、関係式

【 数 1 】

$$\Omega = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} / \dot{m}_{\text{oil}} \quad \text{式 1}$$

に従って水と液体燃料の質量流量の比として定義される。

【 0 0 0 6 】

さらに、正規化された比 Ω を決定するために、特に、一定の係数を有するガスタービンの設計形式に依存して、この基本関係式の被除数及び除数を拡張することが知られている。

このことから、関係式

【 数 2 】

$$\Omega_{\text{norm}} = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} * \text{LHV}_{\text{norm}} / \dot{m}_{\text{oil}} * \text{LHV}_{\text{oil}} \quad \text{式 2}$$

が得られる。

【 0 0 0 7 】

式 1 及び 2 に基づく水供給の制御は、油質量流量が減少しながら限界まで拡張させられることは容易に明らかである。除数

$$\dot{m}_{\text{oil}}$$

がゼロへ次第に近づくと、関係式は不定となる。したがって、液体燃料から気体燃料へ切り換えるために、前記関係式は、少なくとも最終段階の間は、水供給のための計算基準として使用することはできない。なぜならば、段階ごとの望ましくない運転パラメータが続くからである。この相互関係は明白である。

【 0 0 0 8 】

逆の場合、すなわち気体燃料から液体燃料へ切り換える間、この問題は同様に存在するが、その場合は、初期の油供給による開始段階においてである。

【 0 0 0 9 】

公知のように、この現象は、図 2 から明らかな運転原理によって対抗される。この運転原理において、 Ω ベースの運転原理は、位相段階全体にわたって維持されるのではなく、十分に大きな油質量流量が供給される限り維持されるだけである。この後、水付加の段階的な減少の形式で、別の運転制御への切り換えが行われる。1つの運転制御から別の運転制御への切換えが行われる限界値は、習慣的に、気体燃料と液体燃料との質量流量比が約 0.8 である時に存在する。この限界値よりも高い値では、水付加の段階的な減少は、伝達関数に従って、ゼロまで又はプラント特定の最小流量まで行われる。

【 0 0 1 0 】

従来技術によるこの運転形態においては、あるパラメータが、移行中に連続的に動くのではなく、ある不連続性を生ずるということが不利である。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 1 】

したがって、本発明の課題は、前記従来技術の欠点を克服するガスタービンを運転する方法を提供し、かつ液体燃料から気体燃料への変更及び気体燃料から液体燃料の変更の間の改良された運転であって、この運転は、高い連続性によって特徴付けられかつ関連する運転パラメータの突然の変化のない、運転を提供することである。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 2 】

この課題は、独立請求項に記載のガスタービンを運転する方法によって解決される。発

10

20

30

40

50

明の別の実施の形態及び有利な発展形は、従属請求項及び発明の詳細な説明から得られる。

【 0 0 1 3 】

本発明は、移行段階の間の燃料質量流量に対する加えられる水の質量流量の比が以下の関係

【 数 3 】

$$\Omega_{\text{norm}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{LHV}_{\text{norm}}}{\dot{m}_{\text{gas}} \cdot \text{LHV}_{\text{gas}} + \dot{m}_{\text{oil}} \cdot \text{LHV}_{\text{oil}}} \quad \text{式3}$$

10

に従って決定されるという技術的な原則を有する。

【 0 0 1 4 】

本発明は、供給される油質量流量からの等価出力

$$(\dot{m}_{\text{oil}} \cdot \text{LHV}_{\text{oil}} [\text{MJ/s}])$$

のみに基づいて、供給される水質量流量をもはや規定するのではなく、2つの燃料によって全体で導入される熱出力に基づいて、関係式2の除数に付加的に組み込まれた別のパラメータによって、特に、気体燃料によって導入される熱出力

20

$$(\dot{m}_{\text{gas}} \cdot \text{LHV}_{\text{gas}} [\text{MJ/s}])$$

によって規定するという考えに基づく。この手段により、ゼロに近づく関係式の除数と、これによる不定の比とが、表面的に回避される。

【 0 0 1 5 】

多くの利点は、驚くべきことに、式3に基づいて水付加を制御することに関連している。1つには、移行段階の最後に向かって続く過剰な水質量流量の効果が回避される。さらに、これによれば、式2に基づく公知の方法の場合には絶対的に必要であるような別の伝達関数への移行は、もはや不要であり、第2の伝達関数への移行のための燃料質量流量比の限界値の規定は省略される。これら全ては、燃料変更の運転領域のための制御コストを減じる。さらに、方法の連続性が高められる。

30

【 0 0 1 6 】

本発明は、気体燃料又は液体燃料によって選択的に運転することができるガスタービンにも関し、ガスタービンの負荷運転中に複数の異なる燃料タイプ間で変更を行うことができ、燃料への水付加は、少なくとも、液体燃料を用いる運転モードにおいて提供され、本発明によれば、運転モード間の変更中の燃料質量流量に対する付加される水質量流量の比は、

【 数 4 】

$$\Omega_{\text{norm}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{LHV}_{\text{norm}}}{\dot{m}_{\text{gas}} \cdot \text{LHV}_{\text{gas}} + \dot{m}_{\text{oil}} \cdot \text{LHV}_{\text{oil}}} \quad (\text{式3})$$

40

に従って規定される。

【 0 0 1 7 】

特に、本発明は、ガスタービンの運転を制御するための制御装置に関し、制御装置は、特に、ガスタービンの運転のための水付加を制御するために設計されており、ガスタービンは、気体質量流量から成る気体燃料及び/又は油質量流量から成る油燃料を用いて選択的に運転することができ、気体燃料を用いる運転モードと油燃料を用いる運転モードとの間の変更は、ガスタービンの負荷運転中に行われ、水質量流量の供給は、少なくとも、油燃料を用いる運転モードの間に提供される。本発明によれば、制御装置によって、運転モ

50

ード間の変更の間の燃料質量流量に対する加えられる水質量流量の比 (Ω_{norm}) は、
【数 5】

$$\Omega_{\text{norm}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{LHV}_{\text{norm}}}{\dot{m}_{\text{gas}} \cdot \text{LHV}_{\text{gas}} + \dot{m}_{\text{oil}} \cdot \text{LHV}_{\text{oil}}} \quad (\text{式 3})$$

に従って決定される。

【0018】

本発明は、前記形式の制御装置を作動させるためのコンピュータプログラム製品にも関する。

10

【0019】

引き続き、本発明の他の実施の形態及び利点が、図面に関連した典型的な実施の形態に基づきより詳細に説明される。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図 1】ガスタービンの運転のための気体燃料供給、油燃料供給及び水供給を備えたガスタービンの概略図である。

【図 2】従来技術において決定される水質量流量比を示すグラフである。

【図 3】本発明において決定される水質量流量比を示すグラフである。

【図 4】ガスタービンの 2 つの運転モードの変更中の質量流量及び質量流量比を示す図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0021】

図 1 は、ガスタービン 10 を概略的に示している。ガスタービン 10 は、気体質量流量から成る気体燃料 A 及び / 又は油質量流量から成る油燃料 B によって選択的に運転することができる。気体燃料 A 及び油燃料 B の供給は概略的に示されている。定常運転中、ガスタービン 10 は、好適には、気体燃料 A のみ又は油燃料 B のみで運転される。

【0022】

タービンの負荷運転中、ガスタービン 10 のタービン出力 L を著しく変化させることなく運転モードの変更を行うことができる。この場合、例えば、気体燃料 A を用いるガスタービン 10 の運転から油燃料 B を用いるガスタービン 10 の運転への移行を行うことができる。

30

【0023】

少なくとも燃料 A から燃料 B への段階の間、しかしながら油燃料 B を用いるガスタービン 10 の定常運転に関連しても、油燃料 B の供給に加えて水質量流量がガスタービン 10 に付加されるようにガスタービン 10 の運転のために水付加 11 を提供することができる。

【0024】

この場合、気体燃料 A の質量流量は

$$\dot{m}_{\text{gas}}$$

40

によって示されており、油燃料の質量流量は

$$\dot{m}_{\text{oil}}$$

によって示されている。水付加は、水質量流量

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$$

と称される。

【0025】

図 2 は、付加される水質量流量

50

$$\dot{m}_{H_2O}$$

の水質量流量比 Ω でガスタービン 10 を運転する方法を示しており、水質量流量比 Ω_{norm} は、従来技術を再現する式 2 によって決定される。

【 0 0 2 6 】

図 2 には、油燃料 B を用いるガスタービン 10 の運転モードから気体燃料 A を用いるガスタービン 10 の運転モードへの変更が示されている。燃料質量比

$$\dot{m}_{gas} / \dot{m}_{oil}$$

10

は横座標にプロットされており、縦座標は、式 2 から決定される水質量流量比 Ω を示している。

【 0 0 2 7 】

$$0 \leq \dot{m}_{gas} / \dot{m}_{oil} \leq 0.8$$

の燃料質量比の場合、水の付加は、オメガ制御される運転モード (Ω) の間、公知の形式で行われる。式 2 の分母における油質量流量

$$\dot{m}_{oil}$$

20

が減少する結果、水質量流量

$$\dot{m}_{H_2O}$$

は次第に増大し、例えば燃料質量比

$$\dot{m}_{gas} / \dot{m}_{oil}$$

が 0 . 8 の場合に、2 . 5 を超える水質量流量比 Ω が達成される。燃料質量比

$$\dot{m}_{gas} / \dot{m}_{oil}$$

が 0 . 8 よりもさらに増大すると、式 2 に従えば、公知のステップ制御される運転モード (S) の形式の運転モードが行われるように、噴射される水の体積は急速に増加し、水質量流量はゆっくりと調整される。その結果、特に油燃料 B を用いる運転モードから気体燃料 A を用いる運転モードへの変更中に水質量流量が急激に増大する恐れがあるので、水質量流量比 Ω の望ましくない特性曲線が続く。

30

【 0 0 2 8 】

図 3 は、燃料質量比

$$\dot{m}_{gas} / \dot{m}_{oil}$$

に関する水質量流量比 Ω の特性曲線を示しており、水質量流量比 Ω は本発明に従って式 3 によって決定される。

40

【 0 0 2 9 】

水質量流量比 Ω は、1 の値よりも高くない。好適には、水質量流量比 Ω は、0 . 7 の値、特に 0 . 6 の値よりも高くない。ガスタービン 10 が気体燃料 A のみ又は油燃料 B のみによって運転される示された運転モードにおいて、従来技術による、図 2 にも示されたような水付加 11 は行われない。これに関して、水付加 11 を行わないガスタービン 10 の運転モードも知られていることに注意すべきである。しかしながら、気体燃料 A を用いる運転モードと油燃料 B を用いる運転モードとの間で変更が行われる場合、水付加 11 が提供される。その結果、水質量流量比 Ω は、気体燃料 A のみに基づく運転中にゼロの値になるように示されており、水質量流量比 Ω は、ガスタービン 10 が油燃料 B のみで

50

運転される場合にもゼロの値を有する。

【 0 0 3 0 】

図 4 は、最後に、油質量流量

$$\dot{m}_{oil}$$

及び気体質量流量

$$\dot{m}_{gas}$$

に関する水質量流量比 Ω の特性曲線を示している。移行の開始の時点 t_0 において、油質量流量

10

$$\dot{m}_{oil}$$

は減じられ、気体質量流量

$$\dot{m}_{gas}$$

の供給が開始される。その結果、時点 t_0 において、油質量流量

$$\dot{m}_{oil}$$

は減少し、気体質量流量

$$\dot{m}_{gas}$$

20

は増大する。油燃料 B を用いる運転モードには水付加 1 1 が提供され、ガスタービン 1 0 が油燃料 B で運転される、時点 t_0 の前の期間において、水質量流量

$$\dot{m}_{H2O}$$

はほぼ一定である。

【 0 0 3 1 】

その結果、油燃料 B を用いる運転モードから気体燃料 A を用いる運転モードへの変更が行われる時点 t_0 まで一定の値を有する、水質量流量比 Ω の示された特性曲線が続く。したがって、水質量流量比 Ω は連続的に減少し、ガスタービン 1 0 が気体燃料 A のみで運転されるならば、水付加 1 1 がゼロになることができる。

30

【 0 0 3 2 】

この実施の形態における発明は、前に開示された好適な典型的な実施の形態に限定されない。それに対して、基本的に異なる実施の形態を備えるとしても、前述の解決手段を利用する多数の態様が考えられる。請求項、詳細な説明又は図面から発生する構成の詳細、空間的配置及び方法ステップを含む全ての特徴及び / 又は利点は、別々に及びほとんどの多様な組合せにおいて発明のために本質的であってよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 3 3 】

1 0 ガスタービン

40

1 1 水付加

A 気体燃料

B 油燃料

L タービン出力

t_0 移行の開始の時点

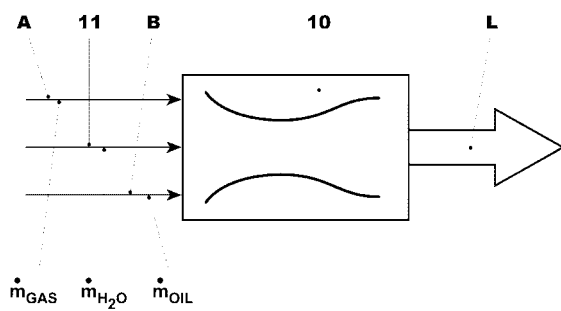
Ω , Ω_{norm} 水質量流量比

$\dot{m}_{H_2O}$ 水質量流
 $\dot{m}_{oil}$ 油質量流
 $\dot{m}_{gas}$ 気体質量流

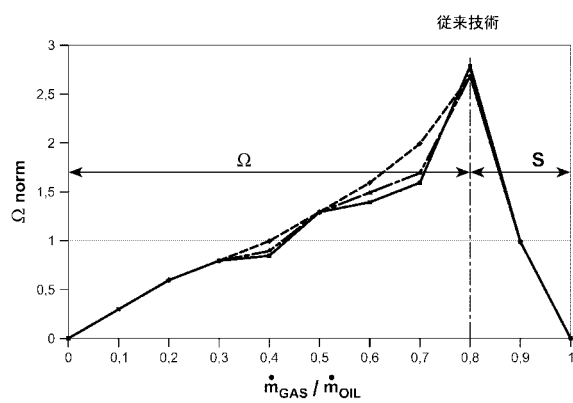
LHV_{oil} 油の低位発熱量
 LHV_{gas} 気体の低位発熱量
 LHV_{norm} 正規化された発熱量
 Ω Ω 制御される運転モード
 S ステップ制御される運転モード

10

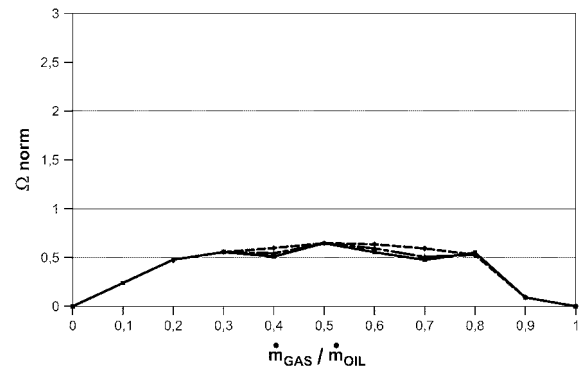
【図 1】



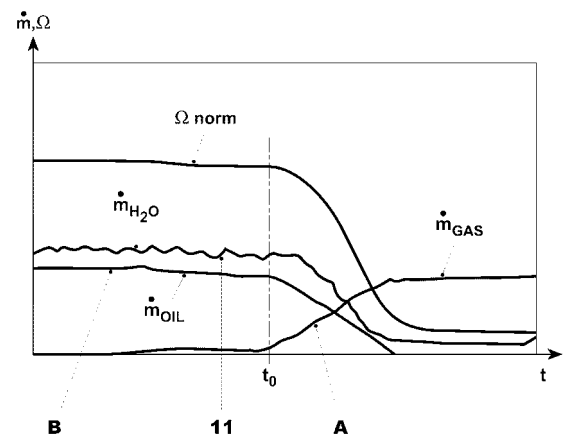
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 ズザンネ レナーテ シェル
 スイス国 バーデン シュタットバッハシュトラーク 1 8
(72)発明者 ティーモ メーウヴィッセン
 スイス国 エネトバーデン トロッテンシュトラーク 3 9 エフ

【要約の続き】

【選択図】図 1

【 外国語明細書 】

Title of Invention

Method for operating a gas turbine

Detailed Explanation of the Invention

FIELD OF APPLICATION OF THE INVENTION

The present invention relates to a method for operating a gas turbine which is optionally operated with a gaseous fuel, such as natural gas, and/or with a liquid fuel, such as oil, wherein a change between an operation with the gaseous fuel and an operation with the liquid fuel is undertaken during load operation of the gas turbine, and wherein at least the operation with the liquid fuel is carried out with water addition.

BACKGROUND OF THE INVENTION

It is a sufficiently known measure in the field of modern gas turbine technology to operate the burners of the gas turbine with a gaseous fuel and/or with a liquid fuel. Furthermore, it is known to add water to the fuel flow in the interests of reducing combustion instabilities and for reducing NOx emissions during operation of the gas turbine with liquid fuel. Particular challenges are presented when the operation under load is to be changed over from the one fuel to the other fuel. A qualified controlling of the mass flows of the first fuel, of the second fuel and of the water is an essential precondition for maintaining the operation of the gas turbine during this phase.

In the case of a changeover from liquid fuel to gaseous fuel, the mass flow of the first fuel is continuously reduced during a transition phase with simultaneous continuous increase of the feed of gaseous fuel. A reduction of the water feed is required in parallel with this.

According to the solutions of the prior art, the water feed is controlled on the basis of the oil mass flow based on the ratio Ω .

In this case, Ω is defined as the quotient of the mass flows of the water and of the liquid fuel according to the equation

$$\Omega = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} / \dot{m}_{\text{oil}} \quad \text{equation 1.}$$

Furthermore, it is known to expand dividend and divisor of this basic equation, especially in dependence upon the design form of the gas turbine with fixed factors for the purpose of determining a normalized ratio Ω . From this follows the equation

$$\Omega_{\text{norm}} = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} * \text{LHV}_{\text{norm}} / \dot{m}_{\text{oil}} * \text{LHV}_{\text{oil}} \quad \text{equation 2.}$$

It is readily obvious that controlling of the water feed on the basis of equations 1 and 2 is stretched to its limits as oil mass flow decreases. With increasing approximation of the divisor $\dot{m}_{\text{oil}}$ to zero, the equations are undefined. For switching from liquid fuel to gaseous fuel, the aforesaid equations cannot therefore be used as a calculation basis for the water feed, at least during the final phase, since phasewise unfavorable operating parameters would ensue. This interrelationship is obvious.

In the opposite case, that is to say during switching from gaseous fuel to liquid fuel, this problem similarly exists, but in that case in the starting phase with incipient oil feed.

As is known, this phenomenon is countered by means of an operating principle which is apparent from Fig. 2, in which the Ω -based operating principle is not maintained during the entire transition phase but only as long as a sufficiently large oil mass flow is fed. After this, a switch is made to another operating control in the form of a step-by-step reduction of the water addition. The limit value, at which a switch is made from the one operating control to the other, customarily lies at a mass flow ratio of about 0.8 between gaseous fuel and liquid fuel. Above this limit value, a step-by-step reduction of the water addition is carried out according to a transfer function up to zero or up to a plant-specific minimum flow.

In this operating regime according to the prior art, it is disadvantageous that certain parameters do not behave continuously during the transition but are subjected to certain discontinuities.

ESSENCE OF THE INVENTION

It is therefore the object of the present invention to create a method for operating a gas turbine, which overcomes the disadvantages of the previously referred to prior art and to create an improved operation during the changeover from a liquid fuel to a gaseous fuel and vice versa, which operation is distinguished by a high continuity and without abrupt change of the relevant operating parameters.

This object is achieved by means of a method for operating a gas turbine according to the way referred to the independent claim. Further embodiments and advantageous developments of the invention are to be gathered from the dependent claims and from the description.

The invention includes the technical doctrine that the ratio of the added water mass flow to the fuel mass flow during the transition phase is determined according to the following relationship:

$$\Omega_{\text{norm}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{LHV}_{\text{norm}}}{\dot{m}_{\text{gas}} \cdot \text{LHV}_{\text{gas}} + \dot{m}_{\text{oil}} \cdot \text{LHV}_{\text{oil}}} \quad \text{equation 3.}$$

The invention is based in this case on the idea of no longer defining the water mass flow which is to be fed solely on the basis of the equivalent output ($\dot{m}_{\text{oil}} \cdot \text{LHV}_{\text{oil}}$ [MJ/s]) from the supplied oil mass flow but on the basis of the thermal output which is introduced overall by the two fuels, by a further parameter being additionally incorporated into the divisor of equation 2, specifically the thermal output ($\dot{m}_{\text{gas}} \cdot \text{LHV}_{\text{gas}}$ [MJ/s]) which is introduced by the gaseous fuel.

By means of this measure, the divisor of the equation going to zero and the quotient being therefore undefined is superficially avoided.

A number of advantages are surprisingly associated with controlling the water addition on the basis of equation 3. For one thing, the effect of an excessive water mass flow ensuing towards the end of the transition phase is avoided. For another thing, according to this a changeover to another transfer function is no longer necessary, as is absolutely necessary in the case of the known method on the basis of equation 2, and the definition of a limit value of the fuel mass flow ratio for the transition to the second transfer function is dispensed with.

All this significantly reduces the controlling cost for the operating regime of the fuel change.

Furthermore, the continuity of the method is increased.

The present invention is also directed towards a gas turbine which can be optionally operated with gaseous fuels or with liquid fuels, and wherein a change between different fuel types during load operation of the gas turbine can be carried out, wherein an addition of water to the fuel is provided at least in the operating mode with liquid fuel, and wherein according to the invention the ratio of the added water mass flow to the fuel mass flow during the change between operating modes is defined according to

$$\Omega_{\text{norm}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{LHV}_{\text{norm}}}{\dot{m}_{\text{gas}} \cdot \text{LHV}_{\text{gas}} + \dot{m}_{\text{oil}} \cdot \text{LHV}_{\text{oil}}} \quad (\text{equation 3}).$$

In particular, the invention is directed towards a control device for controlling the operation of a gas turbine, wherein the control device is designed especially for controlling a water addition for the operation of the gas turbine, wherein the gas turbine can be optionally operated with a gaseous fuel consisting of a gaseous mass flow and/or with an oil fuel consisting of an oil mass flow, wherein a change between an operating mode with gaseous fuel and an operating mode with oil fuel is undertaken during load operation of the gas turbine, and wherein the feed of a water mass flow is provided at least during the operating mode with oil fuel. According to the invention, by means of the control device the ratio (Ω_{norm}) of the added water mass flow to the fuel mass flow during the change between the operating modes is determined according to

$$\Omega_{\text{norm}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{LHV}_{\text{norm}}}{\dot{m}_{\text{gas}} \cdot \text{LHV}_{\text{gas}} + \dot{m}_{\text{oil}} \cdot \text{LHV}_{\text{oil}}} \quad (\text{equation 3}).$$

The invention is also directed towards a computer program product for operating a control device of the previously referred to type.

Further embodiments and advantages of the invention are subsequently explained in more detail based on an exemplary embodiment in conjunction with the figures.

Brief Explanation of the Drawings

Figure 1 shows a schematic view of a gas turbine with a gaseous fuel feed, an oil fuel feed and a water feed for operation of said gas turbine,

Figure 2 shows a graphical representation with a water mass flow ratio which is determined according to the prior art,

Figure 3 shows a graphical representation with a water mass flow ratio which is determined according to the present invention, and

Figure 4 shows a view of the mass flows and of the mass flow ratio during the change between two operating modes of the gas turbine.

Figure 1 shows in a schematic view a gas turbine 10 which can be optionally operated with a gaseous fuel A consisting of a gaseous mass flow and/or with an oil fuel B consisting of an oil mass flow. The feed of the gaseous fuel A and of the oil fuel B is indicated schematically. During steady-state operation, the gas turbine 10 is operated preferably either only with gaseous fuel A or only with oil fuel B.

Without significantly altering the turbine output power L of the gas turbine 10, a change of the operating mode can be undertaken during load operation of the turbine. In this case, for example a changeover can be made from operation of the gas turbine 10 with gaseous fuel A to operation of the gas turbine 10 with oil fuel B.

At least during the phase of the change from fuel A to fuel B, but also in conjunction with the steady-state operation of the gas turbine 10 with oil fuel B, a water addition 11 can be provided for operation of the gas turbine 10 so that in addition to the feed of oil fuel B a water mass flow is added to the gas turbine 10.

The mass flow of gaseous fuel A is indicated by $\dot{m}_{\text{gas}}$ in this case, and the mass flow of oil fuel is indicated by $\dot{m}_{\text{oil}}$. The water addition is referred to as water mass flow $\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$.

Figure 2 shows a method for operating a gas turbine 10 with a water mass flow ratio Ω of the added water mass flow $\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$, wherein the water mass flow ratio Ω_{norm} is determined by equation 2, which reproduces the prior art.

Shown in Figure 2 is the change from an operating mode of the gas turbine 10 with an oil fuel B to an operating mode of the gas turbine 10 with a gaseous fuel A. The fuel mass ratio $\dot{m}_{\text{gas}} / \dot{m}_{\text{oil}}$ is plotted on the abscissa, and the ordinate shows the water mass flow ratio Ω , as is determined from equation 2.

With a fuel mass ratio of $0 \leq \dot{m}_{\text{gas}} / \dot{m}_{\text{oil}} \leq 0.8$, the addition of the water is carried out in a known manner during an Omega-controlled operating mode (Ω). As a result of the diminishing oil mass flow $\dot{m}_{\text{oil}}$, which is in the denominator of equation 2, the water mass flow $\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$ steadily increases, and water mass flow ratios Ω of over 2.5 are achieved, as in the case of a fuel mass ratio $\dot{m}_{\text{gas}} / \dot{m}_{\text{oil}}$ of 0.8, for example. With a further increase of the fuel mass ratio $\dot{m}_{\text{gas}} / \dot{m}_{\text{oil}}$ above 0.8, the volume of injected water would sharply increase according to equation 2 so that the operating mode in the form of the known step-controlled operating mode (S) is undertaken, and the water mass flow is slowly regulated down. As a result, an unfavorable characteristic curve of the water mass flow ratio Ω ensues, especially since the water mass flow can rise sharply during the change from the operating mode with oil fuel B to the operating mode with gaseous fuel A.

Figure 3 shows the characteristic curve of the water mass flow ratio Ω against the fuel mass ratio $\dot{m}_{\text{gas}} / \dot{m}_{\text{oil}}$, and the water mass flow ratio Ω is determined according to the invention by means of equation 3.

The water mass flow ratio Ω does not rise above the value of 1. Preferably, the water mass flow ratio Ω does not rise above the value of 0.7 and especially not above the value of 0.6. In the depicted operating modes, in which the gas turbine 10 is operated either only with gaseous fuel A or only with oil fuel B, no water

addition 11 is carried out, as also shown in Figure 2 according to the prior art. In this respect, it should be noted that operating modes of gas turbines 10 without water addition 11 are also known. However, water addition 11 is provided if a change between operating modes with gaseous fuel A and oil fuel B is carried out. Consequently, the water mass flow ratio Ω is shown with the value of zero both during an operation which is based only on gaseous fuel A, and the water mass flow ratio Ω has the value of zero if the gas turbine 10 is operated only with oil fuel B.

Figure 4 finally shows the characteristic curve of the water mass flow ratio Ω as a function of the oil mass flow $\dot{m}_{oil}$ and of the gaseous mass flow $\dot{m}_{gas}$. At the time point t_0 of commencement of the changeover, the oil mass flow $\dot{m}_{oil}$ is reduced and the gaseous mass flow $\dot{m}_{gas}$ is activated. Consequently, at the time point t_0 the oil mass flow $\dot{m}_{oil}$ decreases and the gaseous mass flow $\dot{m}_{gas}$ increases. The operating mode with oil fuel B is provided with water addition 11, and in the field before the time point t_0 , in which the gas turbine 10 is operated with oil fuel B, the water mass flow $\dot{m}_{H_2O}$ is approximately constant.

Consequently, a depicted characteristic curve of the water mass flow ratio Ω ensues, having a constant value up to the time point t_0 at which the change of the operating mode from oil fuel B to the operating mode with gaseous fuel A is carried out. The water mass flow ratio Ω therefore continuously decreases so that the water addition 11 can be zero if the gas turbine 10 is operated only with gaseous fuel A.

The invention in its embodiment is not limited to the previously disclosed preferred exemplary embodiment. On the contrary, a number of variants, which make use of the described solution, even with basically different embodiments, are conceivable. All features and/or advantages, including constructional details, spatial arrangements and method steps, which originate from the claims, from the description or from the drawings, may be essential for the invention both separately and in the most diverse combinations.

List of designations

10	Gas turbine
11	Water addition
A	Gaseous fuel
B	Oil fuel
L	Turbine output power
t_0	Time point of commencement of changeover
$\Omega, \Omega_{\text{norm}}$	Water mass flow ratio
$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$	Water mass flow
$\dot{m}_{\text{oil}}$	Oil mass flow
$\dot{m}_{\text{gas}}$	Gaseous mass flow
LHV_{oil}	Lower calorific value of oil
LHV_{gas}	Lower calorific value of gas
LHV_{norm}	Normalized calorific value
Ω	Omega-controlled operating mode
S	Step-controlled operating mode

Claims

1. A method for operating a gas turbine (10), which is optionally operated with a gaseous fuel (A) consisting of a gaseous mass flow ($\dot{m}_{\text{gas}}$) and/or with an oil fuel (B) consisting of an oil mass flow ($\dot{m}_{\text{oil}}$), wherein a change between an operating mode with gaseous fuel (A) and an operating mode with oil fuel (B) is undertaken during load operation of the gas turbine (10), and wherein a water addition (11) of a water mass flow ($\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$) is provided at least in the operating mode with oil fuel (B),
characterized in that the ratio (Ω_{norm}) of the added water mass flow ($\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$) to the fuel mass flow during the change between operating modes is determined according to

$$\Omega_{\text{norm}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{LHV}_{\text{norm}}}{\dot{m}_{\text{gas}} \cdot \text{LHV}_{\text{gas}} + \dot{m}_{\text{oil}} \cdot \text{LHV}_{\text{oil}}} .$$

2. The method as claimed in claim 1, **characterized in that** the water mass flow ratio (Ω_{norm}) is provided during the change from the operating mode with gaseous fuel (A) to the operating mode with oil fuel (B).
3. The method as claimed in claim 1, **characterized in that** the water mass flow ratio (Ω_{norm}) is provided during the change from the operating mode with oil fuel (B) to the operating mode with gaseous fuel (A).
4. The method as claimed in claim 2, **characterized in that** during the change from the operating mode with gaseous fuel (A) to the operating mode with oil fuel (B) the water mass flow ($\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$) is activated before feeding the oil mass flow ($\dot{m}_{\text{oil}}$).

5. The method as claimed in claim 3, **characterized in that** during a change from the operating mode with oil fuel (B) to the operating mode with gaseous fuel (A), the water mass flow ($\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$) is activated before feeding the gaseous mass flow ($\dot{m}_{\text{gas}}$).
6. The method as claimed in one of the aforesaid claims, **characterized in that** the gas turbine (10) has a guide vane arrangement, wherein the position of the guide vanes remains unchanged during the change between the operating mode with gaseous fuel (A) and the operating mode with oil fuel (B).
7. The method as claimed in one of the aforesaid claims, **characterized in that** the gas turbine (10) in the operating mode with oil fuel (B) can be operated without addition of a water mass flow ($\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$), wherein the addition of a water mass flow ($\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$) is activated for changing between the operating mode with gaseous fuel (A) and the operating mode with oil fuel (B).
8. The method as claimed in one of the aforesaid claims, **characterized in that** the water mass flow ratio (Ω_{norm}) during the changeover from the operating mode with gaseous fuel (A) to the operating mode with oil fuel (B) has a value of 1 maximum, especially of 0.7 maximum and preferably of 0.6 maximum.
9. A gas turbine (10), which can be optionally operated with a gaseous fuel (A) consisting of a gaseous mass flow ($\dot{m}_{\text{gas}}$) and/or with an oil fuel (B) consisting of an oil mass flow ($\dot{m}_{\text{oil}}$), and wherein a change between an operating mode with gaseous fuel (A) and an operating mode with oil fuel (B) can be carried out during load operation of the gas turbine (10), wherein a water addition (11) of a water mass flow ($\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$) is provided at least in the operating mode with oil fuel (B), **characterized in that** the ratio (Ω_{norm}) of the added water mass flow

($\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$) to the fuel mass flow during the change between operating modes is determined according to

$$\Omega_{\text{norm}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{LHV}_{\text{norm}}}{\dot{m}_{\text{gas}} \cdot \text{LHV}_{\text{gas}} + \dot{m}_{\text{oil}} \cdot \text{LHV}_{\text{oil}}} .$$

10. The gas turbine (10) as claimed in claim 9, **characterized in that** the gas turbine (10) can be operated with a method as claimed in one of claims 2 to 8.
11. A control device for controlling the operation of a gas turbine (10), wherein the control device is designed especially for controlling a water addition (11) for the operation of the gas turbine (10), wherein the gas turbine (10) can be optionally operated with a gaseous fuel (A) consisting of a gaseous mass flow ($\dot{m}_{\text{gas}}$) and/or with an oil fuel (B) consisting of an oil mass flow ($\dot{m}_{\text{oil}}$), wherein a change between an operating mode with gaseous fuel (A) and an operating mode with oil fuel (B) is undertaken during load operation of the gas turbine (10), and wherein the water addition (11) of a water mass flow ($\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$) is provided at least in the operating mode with oil fuel (B), **characterized in that** by means of the control device the ratio (Ω_{norm}) of the added water mass flow ($\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$) to the fuel mass flow ($\dot{m}_{\text{oil}}$) during the change between operating modes is determined according to

$$\Omega_{\text{norm}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{LHV}_{\text{norm}}}{\dot{m}_{\text{gas}} \cdot \text{LHV}_{\text{gas}} + \dot{m}_{\text{oil}} \cdot \text{LHV}_{\text{oil}}} .$$

12. A computer program product for operating a control device as claimed in claim 11.

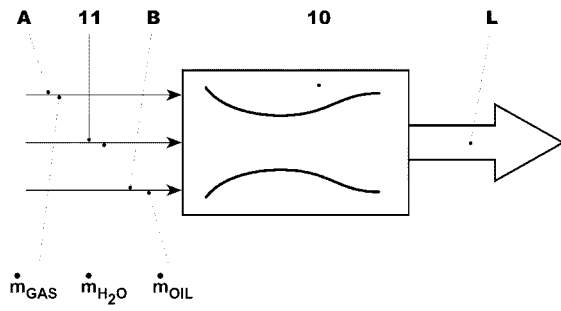
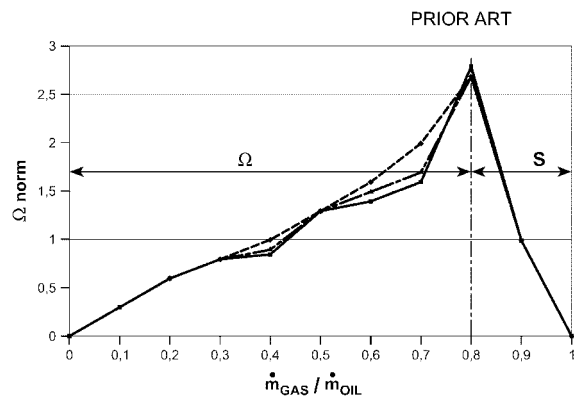
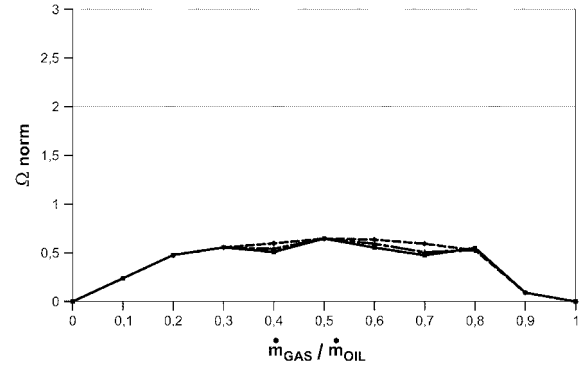
ABSTRACT

The present invention relates to a method for operating a gas turbine (10), which is optionally operated with a gaseous fuel (A) consisting of a gaseous mass flow ($\dot{m}_{\text{gas}}$) and/or with an oil fuel (B) consisting of an oil mass flow ($\dot{m}_{\text{oil}}$), wherein a change between an operating mode with gaseous fuel (A) and an operating mode with oil fuel (B) is undertaken during load operation of the gas turbine (10), and wherein a water addition (11) of a water mass flow ($\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$) is provided at least in the operating mode with oil fuel (B).

According to the invention, it is provided that the ratio (Ω_{norm}) of the added water mass flow ($\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$) to the fuel mass flow during the change between operating modes is determined according to

$$\Omega_{\text{norm}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{LHV}_{\text{norm}}}{\dot{m}_{\text{gas}} \cdot \text{LHV}_{\text{gas}} + \dot{m}_{\text{oil}} \cdot \text{LHV}_{\text{oil}}} \quad .$$

[Fig.1]

FIG. 1**FIG. 2****FIG. 3****FIG. 4**