(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 239 505 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
13.10.2010 Patentblatt 2010/41

(51) Int Cl.:
F23R 3/00 *(2006.01)* ***F23N 5/24*** *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **09157596.9**

(22) Anmeldetag: **08.04.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR

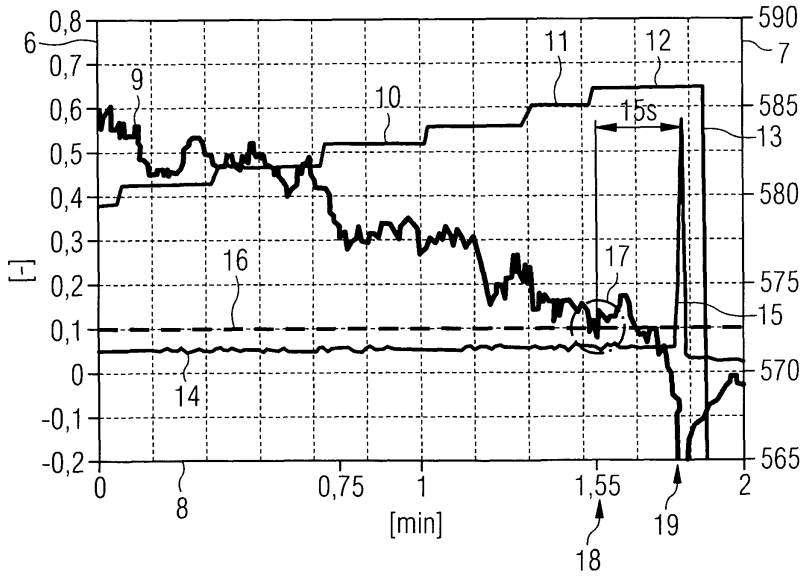
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
- **Blomeyer, Malte**
  45472, Mülheim an der Ruhr (DE)
- **Deuker, Eberhard**
  45481, Mülheim an der Ruhr (DE)

(54) **Verfahren zur Analyse der Brummneigung einer Brennkammer und Verfahren zur Steuerung einer Gasturbine**

(57) Ein Verfahren zur Analyse der Brummneigung einer Brennkammer in einem Betriebszustand weist die Schritte auf: Betreiben der Brennkammer in dem Betriebszustand; Erfassen einer thermoakustischen Größe des Brennkammergasvolumens und/oder einer Schwingungsgröße der Brennkammerstruktur in dem Betriebszustand und Ermitteln einer Kenngröße aus der thermoakustischen Größe und/oder der Schwingungsgröße; Ermitteln des Spektrums (1, 1', 1") der Kenngröße in dem Betriebszustand als den Amplitudenverlauf der Kenngröße über die Zeit; Identifizieren einer ersten Resonanz und einer zweiten Resonanz der Kenngröße mit Hilfe des Spektrums (1, 1', 1"); Ermitteln des Amplitudenwerts (2, 2', 2") der ersten Resonanz und des Amplitudenwerts (3, 3', 3") der zweiten Resonanz; Berechnen eines Stabilitätsparameters (9, 9') als Funktion des Amplitudenwerts (2, 2', 2") der ersten Resonanz und des Amplitudenwerts (3, 3', 3") der zweiten Resonanz; Ermitteln des unteren Abstandswerts und/oder des oberen Abstandswerts, um die der Stabilitätsparameter (9, 9') oberhalb eines unteren vorherbestimmten Schwellenwerts (16) und/oder unterhalb eines oberen vorherbestimmten Schwellenwerts liegt, wobei die Schwellenwerte (16) derart gewählt sind, dass, wenn die Brennkammer in einem Betriebszustand mit gerade noch zulässig hoher Brummneigung betrieben wird, der Stabilitätsparameter (9, 9') in diesem Betriebszustand auf einem der Schwellenwerte (16) liegt; Quantifizieren der Brummneigung mittels des unteren Abstandswerts und/oder des oberen Abstandswerts.

FIG 2



EP 2 239 505 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Analyse der Brummneigung einer Brennkammer und ein Verfahren zur Steuerung des Betriebs einer Gasturbine mit einer Brennkammer unter der Maßgabe, dass Brummen der Brennkammer verhindert wird.

[0002] Bei der Verbrennung eines Verbrennungsluft/Brennstoff-Gemischs in einer Brennkammer, insbesondere in einer Brennkammer einer Gasturbine, kann es zur Ausbildung von Verbrennungsschwingungen kommen. Das Auftreten von Verbrennungsschwingungen ist auch als "Brennkammerbrummen" bekannt. Insbesondere neigt die Brennkammer der Gasturbine zum Brummen, wenn die Gasturbine mit einer hohen Turbineneintrittstemperatur betrieben wird, um einen hohen thermischen Wirkungsgrad der Gasturbine zu erreichen. Die hohe Turbineneintrittstemperatur kann durch eine entsprechend hohe Verbrennungstemperatur in der Brennkammer erzielt werden, wodurch die Brennkammer zum Brummen neigt. Beim Brummen der Brennkammer treten zeitperiodisch korrelierte Fluktuationen des Verbrennungsumsatzes und des statischen Drucks in der Brennkammer auf, wobei die Verbrennungsschwingungen auf einer Wechselwirkung des in der Brennkammer strömenden Verbrennungsluft/Brennstoff-Gemischs mit dem momentanen Verbrennungsumsatz in der Flamme beruhen. Durch eine Änderung des Verbrennungsumsatzes beispielsweise hervorgerufen durch eine Erhöhung der Brennstoffzufuhr in die Brennkammer, kann es zu Druckschwankungen kommen, die ihrerseits zu einer Änderung des Verbrennungsumsatzes und damit zur Ausbildung einer stabilen Druckschwingung führen können. Die Verbrennungsschwingungen verursachen eine verstärkte mechanische und thermische Beanspruchung der Brennkammerstruktur sowie deren Aufhängung. Die Verbrennungsschwingungen können plötzlich in einer derartigen Intensität auftreten, dass die Brennkammerstruktur selbst oder andere Komponenten der Gasturbine beschädigt werden können. Treten derartige Betriebszustände auf wird herkömmlich die Gasturbine mit einem hohen Lastgradienten entlastet, wodurch nachteilig die Gasturbinenabtriebsleistung reduziert wird.

[0003] Abhilfe schafft das Betreiben der Gasturbine mit genügendem Abstand von der Grenze der selbsterregten Verbrennungsschwingungen. Beispielsweise aufgrund sich ändernden Umgebungsbedingungen kann sich jedoch die Grenze der selbsterregten Verbrennungsschwingungen ungünstig verschieben, so dass für möglichst ungünstige Umgebungsbedingungen ein ausreichender Abstand von der Grenze der selbsterregten Verbrennungsschwingungen vorgehalten werden muss. Dabei ist es nachteilig, dass somit der obere Leistungsbereich der Gasturbine ausgegrenzt werden muss und nicht gefahren werden kann.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es ein Verfahren zur Analyse der Brummneigung einer Brennkammer, ein Verfahren zur Steuerung eines Betriebs einer Gasturbine mit einer Brennkammer und eine Steuerungseinrichtung zum Steuern eines Betriebs einer Gasturbine zu schaffen, wobei mit dem Verfahren die Brennkammer mit ausreichend geringer Brummneigung effektiv betreibbar sind.

[0005] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Analyse der Brummneigung einer Brennkammer in einem Betriebszustand weist die Schritte auf: Betreiben der Brennkammer in dem Betriebszustand; Erfassen einer thermoakustischen Größe des Brennkammergasvolumens und/oder einer Schwingungsgröße der Brennkammerstruktur in dem Betriebszustand und Ermitteln einer Kenngröße aus der thermoakustischen Größe und/oder der Schwingungsgröße; Ermitteln des Spektrums der Kenngröße in dem Betriebszustand als den Amplitudenverlauf der Kenngröße über die Zeit; Identifizieren einer ersten Resonanz und einer zweiten Resonanz der Kenngröße mit Hilfe des Spektrums; Ermitteln des Amplitudenwerts der ersten Resonanz und des Amplitudenwerts der zweiten Resonanz; Berechnen des Verhältniswerts aus der Division des Amplitudenwerts der ersten Resonanz und des Amplitudenwerts der zweiten Resonanz als ein Stabilitätsparameter; Ermitteln des unteren Abstandswerts und/oder des oberen Abstandswerts, um die der Stabilitätsparameter oberhalb eines unteren vorherbestimmten Schwellenwerts und/oder unterhalb eines oberen vorherbestimmten Schwellenwerts liegt, wobei die Schwellenwerte derart gewählt sind, dass, wenn die Brennkammer in einem Betriebszustand mit gerade noch zulässig hoher Brummneigung betrieben wird, der Stabilitätsparameter in diesem Betriebszustand auf einem der Schwellenwerte liegt; Quantifizieren der Brummneigung mittels des unteren Abstandswerts und/oder des oberen Abstandswerts.

[0006] Die Schwellenwerte können in Abhängigkeit von vom Betriebs- und Umgebungszustand abhängig gewählt werden. Die Größe der Amplitudenwerte der Kenngröße ändert sich moderat mit der Brennlast der Brennkammer und ist allein nur bedingt aussagefähig zur Analyse der Brummneigung der Brennkammer. Das Erreichen der Brummgrenze ist oft **dadurch gekennzeichnet, dass** die Amplitudenwerte plötzlich sehr stark ansteigen. Man erkennt also an dem zunächst moderaten Verlauf der Amplitudenwerte nicht, dass man sich der Brummgrenze gefährlich annähert. Steigen die Amplituden dann beim Erreichen der Brummgrenze sprunghaft an (in der Regel in Bruchteilen einer Sekunde), so kann die Gasturbine nur noch durch drastische, aus der Sicht des Betreibers nachteilige Maßnahmen, wie z.B. sofortige, deutliche Lastabsenkung, vor mechanischen Schäden geschützt werden. Hier setzt die Erfindung an: Ein Annähern an die Brummgrenze lässt sich in bestimmten Fällen daran erkennen, dass sich die Form des Spektrums der Kenngröße verändert. So könnte z.B. das Verhältnis der Amplituden zweier Frequenzbänder zur Quantifizierung der Brummneigung herangezogen werden. Solange beim Steigern der Brennlast das Amplitudenverhältnis konstant bleibt (trotz Ansteigen der abso-

luten Amplitudenwerte), besteht keine Gefahr. Ändert sich aber das Verhältnis, so nähert man sich der Brummgrenze oder entfernt sich von ihr. Durch die Quantifizierung der Brummneigung kann eine Tendenz zum Annähern an die Brummgrenze erkannt werden und somit können rechtzeitig Gegenmaßnahmen eingeleitet werden, so dass das Erreichen der Brummgrenze mit seinen nachteiligen Folgen für den Betrieb vermieden wird.

[0007] Es ist bevorzugt, dass der Stabilitätsparameter mit dem Verhältniswert aus der Division des Amplitudenwerts der ersten Resonanz und des Amplitudenwerts der zweiten Resonanz berechnet wird. Mit zunehmender Brennlast der Brennkammer verschieben sich die Frequenzlagen der Resonanzen, wobei für eine vorliegende Brennkammer Frequenzbänder, in denen die Resonanzen beim Betrieb der Brennkammer auftreten, beispielsweise experimentell vorherbestimmt werden können. Zum einfachen Identifizieren der Resonanzen können somit insbesondere diese Frequenzbänder untersucht werden, so dass ein Abtasten des gesamten Frequenzbereichs des Spektrums nicht zu erfolgen braucht.

[0008] Bevorzugtermaßen wird der Stabilitätsparameter als der Logarithmus des Verhältniswerts gebildet. Ferner ist es bevorzugt, dass der Stabilitätsparameter über die Zeit mit einer Dämpfungsfunktion gedämpft wird. Damit können vorteilhaft übermäßige instationäre Veränderungen des Stabilitätsparameters eingedämmt werden. Beispielsweise kann eine Dämpfungsfunktion derart gebildet sein, dass zu einem Zeitpunkt n der Stabilitätsparameter gebildet wird aus dem arithmetischen Mittel des Verhältniswerts zum Zeitpunkt n und dem Verhältniswert zum Zeitpunkt n-1.

[0009] Es ist bevorzugt, dass an mehreren Stellen die Kenngröße zeitgleich gemessen und für jede Stelle das lokale Spektrum ermittelt wird, wobei die lokalen Spektren eine Einhüllende haben, die als das Spektrum verwendet wird. Von dem mit der Einhüllenden gebildeten Spektrum ist der gesamte eventuell von räumlichen Inhomogenitäten bestimmte Betriebszustand der Brennkammer repräsentiert. Dadurch kann vorteilhaft die Brummneigung der Brennkammer in einem Betriebszustand abgeschätzt werden, bei dem die Brennkammer räumlich inhomogen beaufschlagt ist. Die Brennkammer ist bevorzugt als eine Ringbrennkammer rotationssymmetrisch um eine Achse ausgebildet und weist mehrere Stellen auf, an denen die Kenngrößen gemessen werden, wobei die Anzahl der Messstellen unter Ausnutzung der Symmetrie von Schwingungsformen reduziert ist. Ferner ist es bevorzugt, dass die Kenngröße der Schalldruck in der Brennkammer und/oder die Beschleunigung der Brennkammerstruktur ist.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Steuerung eines Betriebs einer Gasturbine mit einer Brennkammer weist die Schritte auf: Durchführen des vorherigen Verfahrens zur Analyse der Brummneigung der Brennkammer der Gasturbine während deren Betrieb; sobald das Quantifizieren der Brummneigung ergibt, dass der Stabilitätsparameter mindestens einen der Schwellenwerte erreicht hat, Reduzieren der Abtriebsleistung der Gasturbine.

[0011] Somit kann der Stabilitätsparameter direkt als Regelgröße zum Betrieb der Gasturbine verwendet werden. Die momentane Last der Gasturbine steht in direkter Korrelation zum Stabilitätsparameter, so dass mit dem Stabilitätsparameter eine Leistungsregelung der Gasturbine im Hinblick auf das Abwenden von dem Brummen der Brennkammer bewerkstelligbar ist.

[0012] Das Verfahren zur Steuerung des Betriebs der Gasturbine weist ferner den Schritt auf: sobald das Quantifizieren der Brummneigung ergibt, dass der Stabilitätsparameter einen vorherbestimmten Abstandswert zu mindestens einem der Schwellenwerte erreicht hat, Steuern des Betriebs der Gasturbine derart, dass die Brummneigung herabgesetzt wird. Dadurch kann vorteilhaft im Vorfeld des Eintretens einer unzulässig hohen Brummneigung ein Herunterfahren der Gasturbine verhindert werden, so dass ein möglichst kontinuierlicher Betrieb der Gasturbine ermöglicht ist. Es ist bevorzugt, dass zum Herabsetzen der Brummneigung als Maßnahme die Turbinenaustrittstemperatur durch Veränderung des Verdichter-Luftmassenstroms in die Brennkammer als Stellgröße gegenüber ihrem Sollwert herabgesetzt wird und/oder die Temperatur des Brennstoffs in die Brennkammer als Stellgröße gegenüber ihrem Sollwert verändert wird und/oder die räumliche Verteilung der Brennstoffzufuhr in die Brennkammer als Stellgröße gegenüber ihrem Sollwert verändert wird. Nach der Manipulation der Stellgröße und sobald das Quantifizieren der Brummneigung ergibt, dass die Brummneigung sich weiter verringert hat, wird bevorzugt die Stellgröße auf ihren Sollwert zurückgesetzt.

[0013] Ferner weist das Verfahren zur Steuerung des Betriebs der Gasturbine den Schritt auf: sobald das Quantifizieren der Brummneigung ergibt, dass der Stabilitätsparameter einen vorherbestimmten und eine geringe Brummneigung definierenden Abstandswert zu mindestens einem der Schwellenwerte erreicht hat, Steuern des Betriebs der Gasturbine derart, dass der Betrieb der Gasturbine insbesondere hinsichtlich Abtriebsleistung, Emission und/oder Brennstoffverbrauch optimiert wird.

[0014] Eine erfindungsgemäße Steuerungseinrichtung zum Steuern eines Betriebs einer Gasturbine ist eingerichtet das vorher genannte Verfahren durchzuführen.

[0015] Im Folgenden wird eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Analyse der Brummneigung einer Brennkammer und eines Verfahrens zur Steuerung des Betriebs einer Gasturbine anhand der beigefügten schematischen Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

FIG 1 ein Diagramm eines Spektrums einer Kenngröße der Brennkammer bei unterschiedlichen Betriebszuständen,

FIG 2 ein Diagramm des zeitlichen Verlaufs eines Stabilitätsparameters bei steigender Turbinen-

austrittstemperatur,

FIG 3 ein Diagramm eines Steuerungsverlaufs für die Gasturbine bei sich ungünstig verändernden Umgebungsbedingungen und

FIG 4 ein Diagramm eines Steuerungsverlaufs für die Gasturbine bei Leistungsanhebung.

[0016] In FIG 1 ist ein Koordinatensystem gezeigt, in dem Spektren 1, 1' und 1" aufgetragen sind. Die Abszissenachse 4 des Koordinatensystems zeigt eine Frequenz in [Hz], wobei die Ordinatenachse 5 des Koordinatensystems eine Amplitude als eine dimensionslose Größe zeigt. Die Spektren 1, 1', 1" sind die Amplitudenverläufe einer Kenngröße über die Frequenz. Die Kenngröße ist der Schalldruck in einer Brennkammer, der beim Betrieb der Brennkammer auftritt. Der Schalldruck in der Brennkammer kann beispielsweise mit einem oder mehreren Mikrofonen in der Brennkammer gemessen werden.

[0017] Das Spektrum 1 ergibt sich, wenn die Brummneigung der Brennkammer gering ist. Wird der Betriebszustand der Brennkammer derart geändert, dass sich die Brummneigung erhöht, so verändert sich das Spektrum 1 in das Spektrum 1'. Wird der Betriebszustand der Brennkammer weiter verändert, dass die Brummneigung sich erhöht und in einen gerade noch zulässigen Grenzbereich gelangt, so verändert sich das Spektrum 1' in das Spektrum 1". Als eine erste Resonanz weisen die Spektren 1, 1', 1" ein erstes Amplitudenmaximum 2, 2', 2" und als eine zweite Resonanz ein zweites Amplitudenmaximum 3, 3', 3" auf.

[0018] Als ein Stabilitätsparameter zum Quantifizieren der Brummneigung der Brennkammer wird der natürliche Logarithmus des Verhältnisses gebildet aus dem ersten Amplitudenmaximum 2, 2', 2" und dem zweiten Amplitudenmaximum 3, 3', 3" genommen.

[0019] In FIG 2 ist ein Koordinatensystem gezeigt, über dessen Abszisse 8 die Zeit von 0 bis 2 Minuten aufgetragen ist. Als linke Ordinate 6 ist der Stabilitätsparameter und als rechte Ordinate 7 eine Turbinenaustrittstemperatur aufgetragen. Im Zeitpunkt 0 Minuten liegt der Verlauf 10 der Turbinenaustrittstemperatur bei 579 °C. Daraus ergibt sich der Betriebszustand in der Brennkammer, in der der Schalldruck herrscht, dessen Spektrum 1 in FIG 1 dargestellt ist. Mit dem ersten Amplitudenmaximum 2 und dem zweiten Amplitudenmaximum 3 ergibt sich für das Spektrum 1 der Stabilitätsparameter 6 mit 0,6, wie er in dem in FIG 2 gezeigten Diagramm mit der Verlaufskurve 9 zum Zeitpunkt 0 Minuten gezeigt ist. Wird nun zum Betrieb der Gasturbine die Turbinenaustrittstemperatur erhöht, wie es in der Verlaufskurve 10 in FIG 2 gezeigt ist, so herrscht nach 0,75 Minuten ein Betriebszustand in der Brennkammer, in der der Schalldruck gemäß dem Spektrum 1' in FIG 1 vorherrscht. Aus dem Spektrum 1' ergibt sich mit dem ersten Amplitudenmaximum 1' und dem zweiten Amplitudenmaximum 3' der Stabilitätsparameter 6 mit 0,3, wie er in der Verlaufskurve 9 zum Zeitpunkt 0,75 Minuten in FIG 2 gezeigt ist. Schließlich wird der Verlauf der Turbinenaustrittstemperatur 10 bis auf ein erstes Niveau 11 angehoben. Wie es in FIG 2 gezeigt ist, ist der Verlauf 9 des Stabilitätsparameters 6 über die Zeit abfallend, was ein Indiz für die über die Zeit gesteigerte Brummneigung der Brennkammer ist.

[0020] In FIG 2 ist ferner der Verlauf der Beschleunigung 14 der Brennkammerstruktur gezeigt, die bis zum Anheben der Turbinenaustrittstemperatur 10 auf das erste Niveau 11 im Wesentlichen konstant ist. Wird die Turbinenaustrittstemperatur 10 auf ein zweites Niveau 12 erhöht, so fällt der Verlauf 9 des Stabilitätsparameters 6 weiter ab und in der Brennkammer tritt schließlich Brummen auf. Das Brummen hat zur Folge, dass mit den damit selbsterregten Verbrennungsschwingungen die Brennkammerstruktur stark schwingungsangeregt wird, wodurch die Beschleunigung 14 zu einer Beschleunigungsspitze 15 schlagartig ansteigt. Die Beschleunigungsspitze 15 ist derart hoch, dass mit einer Beschädigung der Brennkammerstruktur zu rechnen ist. Deshalb wird zum Abwenden eines Schadens der Brennkammerstruktur die Gasturbine abgeschaltet, was sich in einem rapiden Abfall des Verlaufs 10 der Turbinenaustrittstemperatur in FIG 2 zeigt.

[0021] In dem in FIG 2 gezeigten Diagramm ist ein Schwellenwert 16 des Stabilitätsparameters 6 bei 0,1 eingezeichnet. Der Verlauf 9 des Stabilitätsparameters 6 unterschreitet (in FIG 2 mit 17 gezeichnet) den Schwellenwert 16 zu einem ersten Zeitpunkt 18, der bei 1,55 Minuten liegt. Der erste Zeitpunkt 18 ist von dem zweiten Zeitpunkt 19, an dem die Beschleunigungsspitze 15 auftritt, 15 Sekunden vorverlegt. Wird beim Betrieb der Gasturbine der Schwellenwert 16 von dem Stabilitätsparameter 6 unterschritten, so bleibt gemäß FIG 2 eine Reaktionszeit von 15 Sekunden, während der der Betrieb der Gasturbine derart im Hinblick auf eine Abschwächung der Brummneigung geändert werden soll, dass das Brummen der Brennkammer und somit die daraus sich ergebende Schnellabschaltung der Gasturbine vermieden werden kann.

[0022] Die Diagramme in FIG 3 und 4 sind ähnlich dem Diagramm in FIG 2 und zeigen einen Betrieb der Gasturbine unter der Maßgabe des Verhinderns von Brummen der Brennkammer. Die Brummneigung der Brennkammer kann sich zum Beispiel dadurch erhöhen, dass in einem Verdichter der Gasturbine aufgrund von Verschleiß oder Verschmutzung das Druckverhältnis abnimmt. Ferner kann sich die Brummneigung der Brennkammer dadurch erhöhen, dass beim Betrieb der Gasturbine die Umgebungstemperatur und somit die Verdichtereintrittstemperatur sich erhöht. Beispielsweise sei die Gasturbine bei einem Niveau der Turbinenaustrittstemperatur betrieben, wie es die Verlaufskurve 10 am Ursprung der Abszisse in FIG 3 zeigt. Hervorgerufen durch beispielsweise einen der vorher genannten Einflüsse erhöht sich die Brummneigung der Brennkammer, so dass der Verlauf 9 des Stabilitätsparameters 6 abfällt. Ohne ein Eingreifen in den Betrieb der Gasturbine würde

sich dieser Prozess fortsetzen, bis schließlich die Brennkammer in das Brummen gelangt. In FIG 3 ist ein zweiter Schwellenwert 16' bei 0,2 eingezeichnet, der oberhalb des ersten Schwellenwerts 16 (Schwellenwert 16 bei 0,1) liegt. Sobald die Verlaufskurve 9 des Stabilitätsparameters 6 den Schwellenwert 16' erreicht hat, wird mit Hilfe einer Regelungseinrichtung für die Gasturbine beispielsweise die Brennstoffzufuhr in die Brennkammer zu einem dritten Zeitpunkt 20 derart reduziert, dass innerhalb von 3 Sekunden zum vierten Zeitpunkt 21 der Verlauf 10 der Turbinenaustrittstemperatur 7 sich um 1 Kelvin absenkt. Dadurch wird das Absenken des Verlaufs 9 des Stabilitätsparameters 6 abgebremst und umgekehrt, so dass schließlich die Verlaufskurve 9 des Stabilitätsparameters 6 den Schwellenwert 16' wieder zum fünften Zeitpunkt 22 überschreitet. Beispielsweise war zum Abfangen des Brummens der Brennkammer die Absenkung der Turbinenaustrittstemperatur 7 um 1 Kelvin nicht ausreichend, um einen hinreichend großen Abstand zum Brummen der Brennkammer zu erzielen, so fällt nach dem fünften Zeitpunkt 22 der Verlauf 9 des Stabilitätsparameters 6 wieder ab und unterschreitet den Schwellenwert 16'. In einer analogen Maßnahme wie zum dritten Zeitpunkt 20 wird nun der Verlauf 10 der Turbinenaustrittstemperatur 7 nochmals um 1 Kelvin abgesenkt, wodurch wiederum der Verlauf 9 des Stabilitätsparameters 6 abgebremst und umgekehrt wird, bis schließlich der Verlauf 9 des Stabilitätsparameters 6 den Schwellenwert 16' überschritten hat.

[0023] Der Verlauf 9 des Stabilitätsparameters 6 steigt nun so weit an, bis ein Schwellenwert 16" bei 0,4 erreicht ist. In diesem Betriebszustand gilt die Brummneigung der Brennkammer als gering, so dass stufenweise das Niveau der Turbinenaustrittstemperatur 7 in ihrem Verlauf 10 wieder auf das ursprüngliche Niveau angehoben werden kann. Durch diese Eingriffe in die Steuerung des Betriebs der Gasturbine ist einerseits das Brummen der Brennkammer unterbunden, wobei dennoch eine hohe Leistungsabgabe der Gasturbine erzielt ist.

[0024] In dem in FIG 4 gezeigten Diagramm ist der Betrieb der Gasturbine gezeigt, bei dem eine Seigerung der Abtriebsleistung der Gasturbine durch Erhöhen der Turbinenaustrittstemperatur 10 erzielt werden soll. Durch das Erhöhen des Verlaufs 10 der Turbinenaustrittstemperatur fällt der Verlauf 9 des Stabilitätsparameters 6 ab, bis dieser den Schwellenwert 16' erreicht hat. Durch ein Zurücksetzen des rampenförmigen Verlaufs 10 der Turbinenaustrittstemperatur 7 um 1 Kelvin wird es unterbunden, dass der Stabilitätsparameter 6 den Schwellenwerts 16 ereicht. Wäre diese Absenkung der Turbinenaustrittstemperatur 7 um 1 Kelvin nicht erfolgt, so wäre der Verlauf 9' des Stabilitätsparameters 6 derart, dass es zu einem Erreichen des Schwellenwerts 16 bei 0,1 kommt, wodurch bei dieser Unterschreitung 17 eine Schnellabschaltung der Gasturbine durchzuführen wäre. Durch das Absenken des Verlaufs 10 der Turbinenaustrittstemperatur 7 um 1 Kelvin wird das Abfallen des Verlaufs 9 des Stabilitätsparameters 6 abgebremst und umgekehrt, so dass schließlich der Verlauf 9 des Stabilitätsparameters 6 den Schwellenwert 16' bei 0,2 überschreitet und danach den Schwellenwert 16" bei 0,4 ebenfalls überschreitet. In diesem Betriebszustand gilt die Brummneigung der Brennkammer als gering, so dass die Turbinenaustrittstemperatur 7 über den in FIG 4 gezeigten Verlauf 10 auf das entsprechend geforderte Niveau 10' nachgefahren werden kann, wobei die Brummneigung der Brennkammer stets derart gering bleibt, dass eine Schnellabschaltung der Gasturbine nicht getätigt zu werden braucht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Analyse der Brummneigung einer Brennkammer in einem Betriebszustand, mit den Schritten:

   Betreiben der Brennkammer in dem Betriebszustand;
   Erfassen einer thermoakustischen Größe des Brennkammergasvolumens und/oder einer Schwingungsgröße der Brennkammerstruktur in dem Betriebszustand und Ermitteln einer Kenngröße aus der thermoakustischen Größe und/oder der Schwingungsgröße; Ermitteln des Spektrums (1, 1', 1") der Kenngröße in dem Betriebszustand als den Amplitudenverlauf der Kenngröße über die Zeit;
   Identifizieren einer ersten Resonanz und einer zweiten Resonanz der Kenngröße mit Hilfe des Spektrums (1, 1', 1"); Ermitteln des Amplitudenwerts (2, 2', 2") der ersten Resonanz und des Amplitudenwerts (3, 3', 3") der zweiten Resonanz;
   Berechnen eines Stabilitätsparameters (9, 9') als Funktion des Amplitudenwerts (2, 2', 2") der ersten Resonanz und des Amplitudenwerts (3, 3', 3") der zweiten Resonanz;
   Ermitteln des unteren Abstandswerts und/oder des oberen Abstandswerts, um die der Stabilitätsparameter (9, 9') oberhalb eines unteren vorherbestimmten Schwellenwerts (16) und/oder unterhalb eines oberen vorherbestimmten Schwellenwerts liegt, wobei die Schwellenwerte (16) derart gewählt sind, dass, wenn die Brennkammer in einem Betriebszustand mit gerade noch zulässig hoher Brummneigung betrieben wird, der Stabilitätsparameter (9, 9') in diesem Betriebszustand auf einem der Schwellenwerte (16) liegt;
   Quantifizieren der Brummneigung mittels des unteren Abstandswerts und/oder des oberen Abstandswerts.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1,
   wobei der Stabilitätsparameter (9, 9') mit dem Ver-

hältniswert aus der Division des Amplitudenwerts (2, 2', 2") der ersten Resonanz und des Amplitudenwerts (3, 3', 3") der zweiten Resonanz berechnet wird.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei der Stabilitätsparameter (9, 9') als der Logarithmus des Verhältniswerts gebildet wird.

4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Stabilitätsparameter (9, 9') über die Zeit mit einer Dämpfungsfunktion gedämpft wird.

5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei an mehren Stellen die Kenngröße zeitgleich gemessen wird und für jede Stelle das lokale Spektrum ermittelt wird, wobei die lokalen Spektren eine Einhüllende haben, die als das Spektrum (1, 1', 1") verwendet wird.

6. Verfahren gemäß Anspruch 5, wobei die Brennkammer als eine Ringbrennkammer rotationssymmetrisch um eine Achse ausgebildet ist und mehrere Stellen aufweist, an denen die Kenngrößen gemessen werden, wobei die Anzahl der Messstellen unter Ausnutzung der Symmetrie von Schwingungsformen reduziert ist.

7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Kenngröße der Schalldruck in der Brennkammer und/oder die Beschleunigung der Brennkammerstruktur ist.

8. Verfahren zur Steuerung eines Betriebs einer Gasturbine mit einer Brennkammer, mit den Schritten:

Durchführen des Verfahrens zur Analyse der Brummneigung der Brennkammer der Gasturbine während deren Betrieb gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7;
sobald das Quantifizieren der Brummneigung ergibt, dass der Stabilitätsparameter (9, 9') mindestens einen der Schwellenwerte (16) erreicht hat, Reduzieren der Abtriebsleistung der Gasturbine.

9. Verfahren gemäß Anspruch 8, mit dem Schritt:

sobald das Quantifizieren der Brummneigung ergibt, dass der Stabilitätsparameter (9, 9') einen vorherbestimmten Abstandswert (16') zu mindestens einem der Schwellenwerte (16) erreicht hat, Steuern des Betriebs der Gasturbine derart, dass die Brummneigung herabgesetzt wird.

10. Verfahren gemäß Anspruch 9, wobei zum Herabsetzen der Brummneigung als Maßnahme die Turbinenaustrittstemperatur (10) durch Veränderung des Verdichter-Luftmassenstroms in die Brennkammer als Stellgröße gegenüber ihrem Sollwert (10') herabgesetzt wird und/oder die Temperatur des Brennstoffs in die Brennkammer als Stellgröße gegenüber ihrem Sollwert verändert wird und/oder die räumliche Verteilung der Brennstoffzufuhr in die Brennkammer als Stellgröße gegenüber ihrem Sollwert verändert wird.

11. Verfahren gemäß Anspruch 10, wobei nach der Manipulation der Stellgröße (10) und sobald das Quantifizieren der Brummneigung ergibt, dass die Brummneigung sich weiter verringert hat, die Stellgröße (10) auf ihren Sollwert (10') zurückgesetzt wird.

12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 8 bis 11, mit dem Schritt:

sobald das Quantifizieren der Brummneigung ergibt, dass der Stabilitätsparameter (9, 9') einen vorherbestimmten und eine geringe Brummneigung definierenden Abstandswert (16") zu mindestens einem der Schwellenwerte (16) erreicht hat, Steuern des Betriebs der Gasturbine derart, dass der Betrieb der Gasturbine insbesondere hinsichtlich Abtriebsleistung, Emission und/oder Brennstoffverbrauch optimiert wird.

13. Steuerungseinrichtung zum Steuern eines Betriebs einer Gasturbine, wobei die Steuerungseinrichtung eingerichtet ist ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 8 bis 12 durchzuführen.

FIG 1

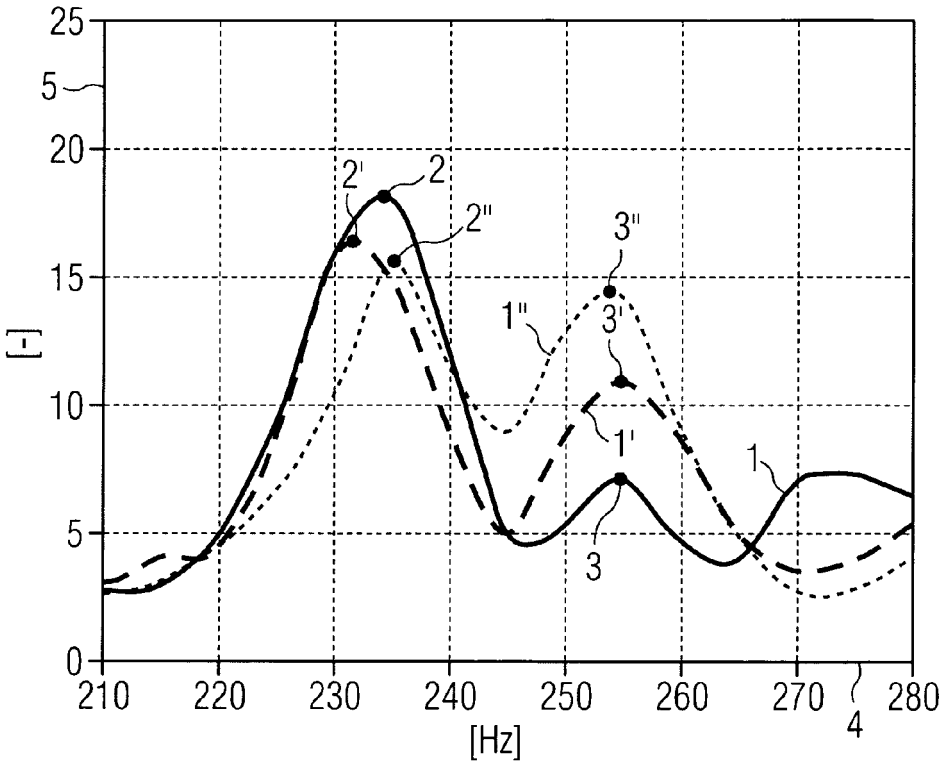

25
5
20
15
10
5
0
[-]
210
220
230
240
250
260
270
280
[Hz]
2'
2
2"
3"
1"
3'
1'
1
3
4

FIG 2

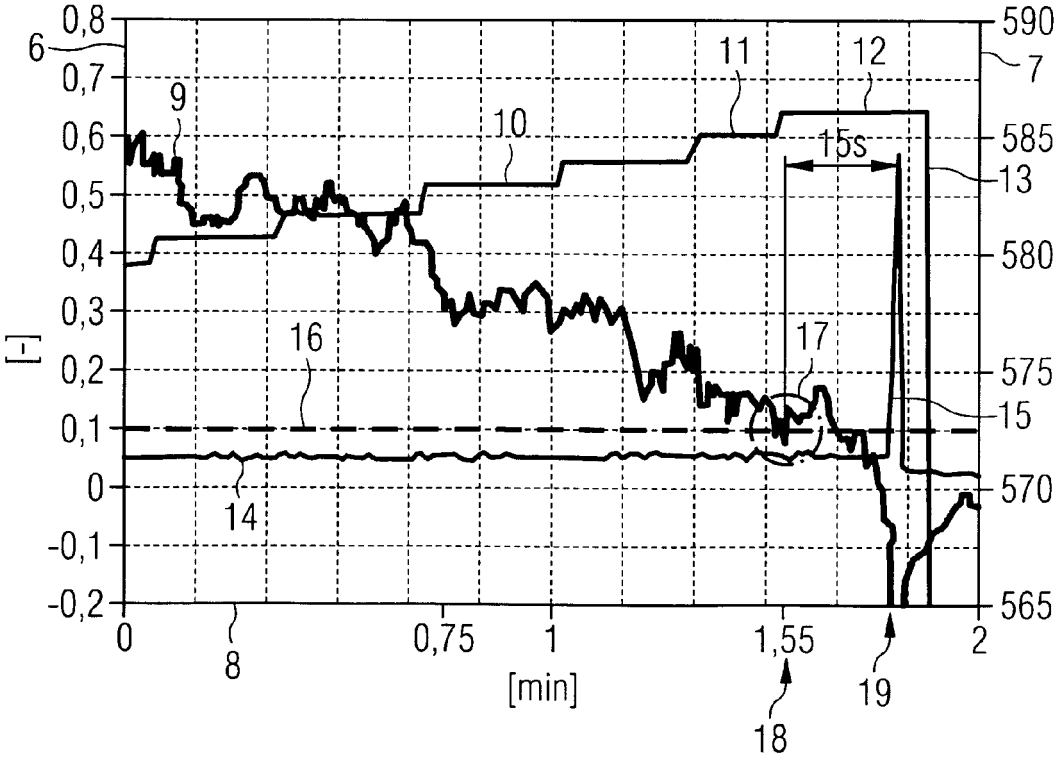

0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
-0,1
-0,2
[-]
6
590
585
580
575
570
565
7
13
15
0
0,75
1
1,55
2
[min]
8
18
19
9
10
11
12
15s
16
17
14

FIG 3

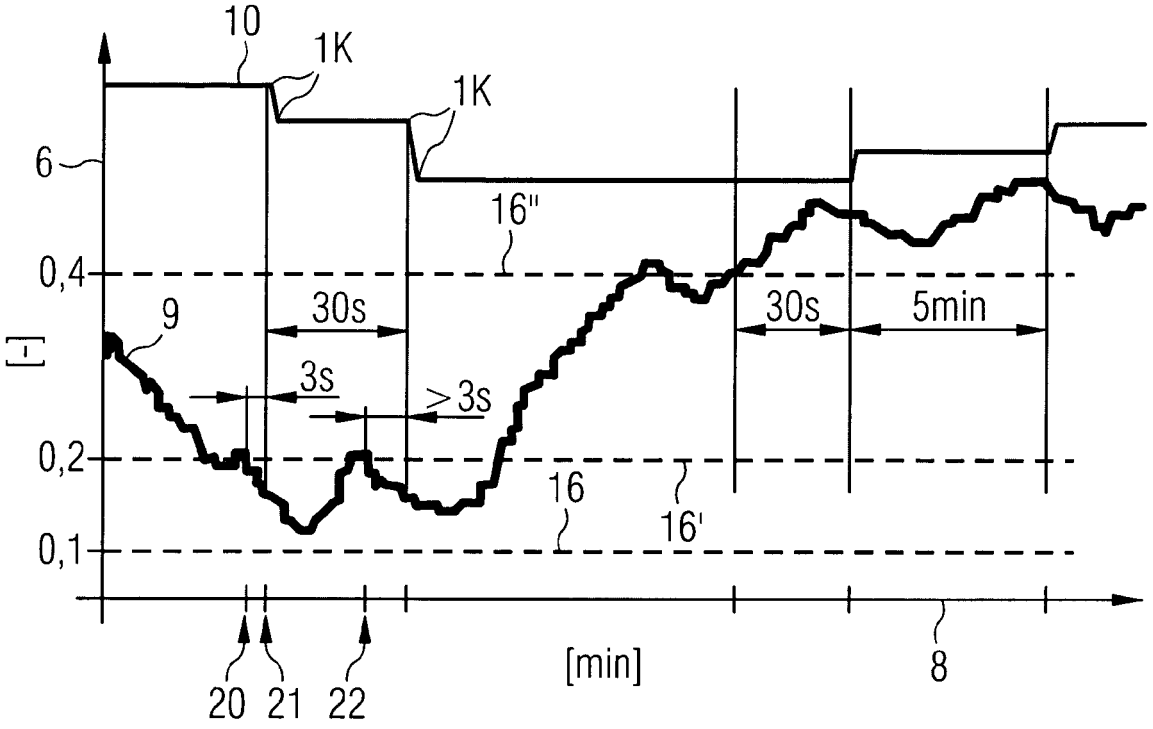
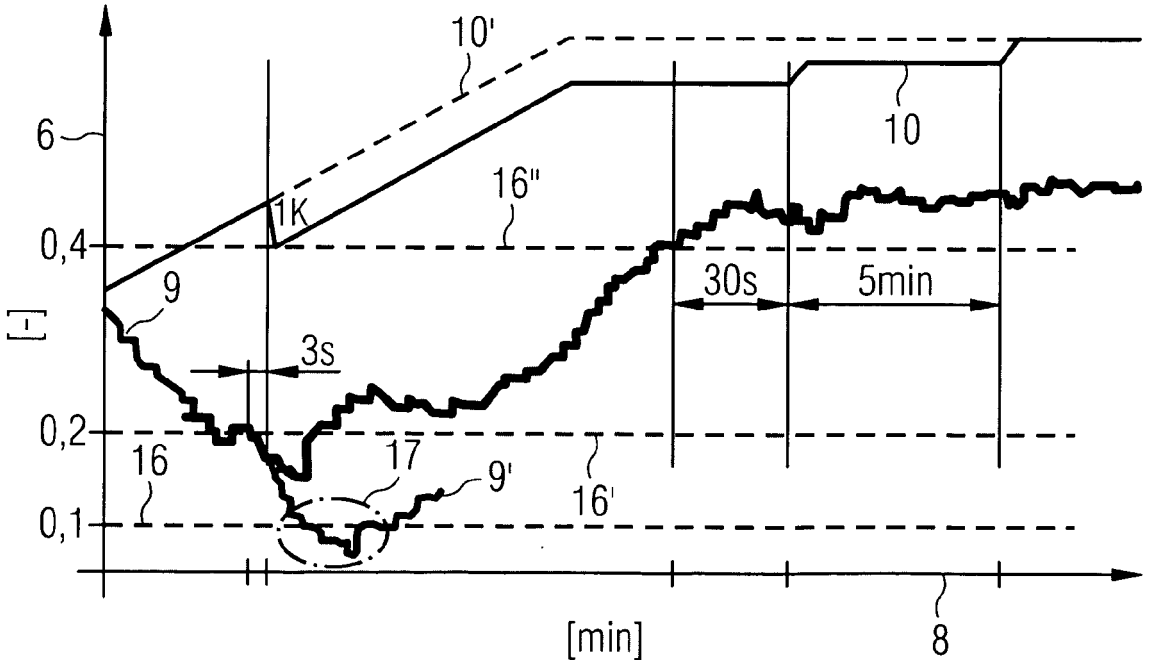

10
1K
1K
6
16"
0,4
9
30s
30s
5min
[-]
3s
>3s
0,2
16
16'
0,1
20
21
22
[min]
8

FIG 4


10'
10
6
16"
1K
0,4
9
30s
5min
[-]
3s
0,2
16
17
9'
16'
0,1
[min]
8

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 09 15 7596

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	EP 1 688 671 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]) 9. August 2006 (2006-08-09) * das ganze Dokument * -----	1-13	INV. F23R3/00 F23N5/24
A	JP 63 041727 A (BABCOCK HITACHI KK) 23. Februar 1988 (1988-02-23) * Zusammenfassung * -----	1-13	
X	EP 1 327 824 A1 (ABB SCHWEIZ AG [CH]) 16. Juli 2003 (2003-07-16) * Absätze [0014], [0016], [0021], [0022], [0026]; Abbildungen 1,3-8 * -----	1-2,7-9, 13	

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)

F23R
F23N

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag	7. September 2009	Coli, Enrico

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 09 15 7596

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

07-09-2009

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1688671 A1	09-08-2006	US 2006266045 A1	30-11-2006
JP 63041727 A	23-02-1988	JP 2056201 C	23-05-1996
		JP 7092225 B	09-10-1995
EP 1327824 A1	16-07-2003	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82