

(19)



(11)

EP 3 704 354 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
08.06.2022 Patentblatt 2022/23

(21) Anmeldenummer: **19714116.1**

(22) Anmeldetag: **11.03.2019**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F01D 11/20^(2006.01) F01D 17/04^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F01D 11/20; F01D 17/04; F05D 2270/335

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2019/055994

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2019/175091 (19.09.2019 Gazette 2019/38)

(54) **VERFAHREN ZUR STEUERUNG EINER SPALTMINIMIERUNG EINER GASTURBINE**

METHOD FOR CONTROLLING A CLEARANCE MINIMISATION OF A GAS TURBINE

PROCÉDÉ DE COMMANDE D'UNE MINIMISATION DE JEU D'UNE TURBINE À GAZ

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL 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 RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **14.03.2018 DE 102018203896**
11.06.2018 EP 18176962

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.09.2020 Patentblatt 2020/37

(73) Patentinhaber: **Siemens Energy Global GmbH & Co. KG**
81739 München (DE)

(72) Erfinder:
• **GAMM, Hans-Georg**
46535 Dinslaken (DE)
• **HÜNING, Marcus**
45478 Mülheim an der Ruhr (DE)
• **KAHLSTORF, Uwe**
45478 Mülheim a.d. Ruhr (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 2 549 065 EP-A1- 2 843 198
EP-A2- 2 236 771 US-A1- 2009 003 991

EP 3 704 354 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung einer Spaltminimierung eines einstellbaren Spalts zwischen einem Rotor und einem Gehäuse einer Gasturbine, wobei die Gasturbine eine, insbesondere hydraulische, Spalteinstellvorrichtung umfasst. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Steuervorrichtung zur Durchführung des Verfahrens sowie eine Gasturbine mit einer solchen Steuervorrichtung.

[0002] Um einen maximalen Gasturbinenwirkungsgrad zu ermöglichen, ist es von entscheidender Bedeutung, die Spalte zwischen den rotierenden und den statischen Bauteilen während des Betriebs möglichst klein zu halten. Bei einem konischen Turbinen-Strömungskanal ist eine Möglichkeit hierzu, nachdem transiente Phasen, in welchen die Spalte an den Schaufelspitzen sich maximal verengen, durchfahren sind, den Rotor im stationären Hochlast-Betrieb z.B. mit einer Hydraulik axial zu verfahren. Wird der Rotor gegen die Strömungsrichtung verfahren, dann reduzieren sich die Spalte.

[0003] Aus der EP 2 843 198 A1 gehen ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Steuern eines Rotorspalts (Tip Clearance) eines Gasturbinentriebwerks eines Flugzeugs hervor. Schritte des Verfahrens umfassen das Messen von mindestens einem Motorparameter; Bestimmen der Motorleistungsanforderung aus dem mindestens einen Motorparameter; und Berechnen des Rotorspaltes angesichts des bestimmten Motorleistungsbedarfs. Die Vorrichtung zum Steuern des Rotorspalts wird gesteuert, um den Rotorspitzenfreiraum, basierend auf der Differenz zwischen dem berechneten Freiraum und einem vordefinierten Zielfreiraum zu erhöhen oder zu verringern.

[0004] In der EP 2 549 065 A1 ist ebenfalls ein System zum Betreiben einer Turbine umfassend eine rotierende Komponente und eine nicht rotierende Komponente, die von der rotierenden Komponente durch einen Spalt getrennt ist, beschrieben. Ein erster Aktuator ist mit der nicht rotierenden Komponente verbunden, und der erste Aktuator umfasst eine Formgedächtnislegierung. Ein Verfahren zum Betreiben der Turbine umfasst das Erfassen eines Parameters, der den Spalt zwischen der nicht rotierenden Komponente und der rotierenden Komponente widerspiegelt, und das Erzeugen eines Parametersignals, das den Spalt reflektiert. Das Verfahren umfasst ferner das Erzeugen eines Steuersignals für mindestens ein Stellglied auf der Grundlage des Parametersignals und das Bewegen mindestens eines Teils der nicht rotierenden Komponente relativ zu der rotierenden Komponente, um den Spalt zu verändern.

[0005] Aus der WO 2014/016153 A1 ist ein Verfahren zur Minimierung eines einstellbaren Spalts zwischen einer Laufschaufel und einem Gehäuse einer Turbine bekannt. Durch Verschiebung von Läufer und Gehäuse gegeneinander, soll der Spalt zwischen Läufer und Gehäuse auf einfache Art und Weise minimiert werden. Dazu wird ein Ausgangssignal eines dem Läufer und/oder dem

Gehäuse zugeordneten Körperschallüberwachungssystems als Maß für die Größe des Spalts und damit zur Einstellung eines minimalen Spalts herangezogen.

[0006] Ein weiteres Verfahren zum Teillast-Betrieb einer Gasturbine bei aktiver hydraulischer Spalteinstellung ist beispielsweise aus der WO 2015/128193 A1 bekannt.

[0007] Um ein marktfähiges Produkt zu erzeugen, muss die Entscheidung über die angefahrne Position des Rotors automatisch gesteuert oder geregelt werden. Da eine dauerhafte Messung der Betriebsspalte technisch schwer umsetzbar bzw. sehr teuer ist, ist eine andere Vorgehensweise nötig. Hier wird in der Steuerung der Gasturbine eine HCO (Hydraulic Clearance Optimization) Logik benötigt, die basierend auf messbaren Größen vorgibt, wie die Spaltoptimierung zu verfahren ist.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte HCO Logik vorzuschlagen, die insbesondere bei einem Lastwechsel während des Betriebs der Gasturbine eine optimale Nutzung der Spalteinstellung ermöglicht.

[0009] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Steuerung einer Spaltminimierung eines einstellbaren Spalts zwischen einem Rotor und einem Gehäuse einer Gasturbine, wobei die Gasturbine eine, insbesondere hydraulische, Spalteinstellvorrichtung umfasst, enthaltend folgende Schritte:

- mit Hilfe eines Simulationsprogramms wird der Betrieb der Gasturbine bei unterschiedlichen Parametereinstellungen abgebildet und ein Simulationsdatensatz wird erstellt, der die Abhängigkeit der Spaltgröße von einem Betriebsparameter enthält,
- anhand vom Simulationsdatensatz werden ein unterer Schwellwert und ein oberer Schwellwert für den Betriebsparameter festgelegt,
- weiterhin wird für einen Übergangsbereich zwischen dem unteren Schwellwert und dem oberen Schwellwert eine Korrelation zwischen dem Betriebsparameter und einem Maximalwert des Betriebsparameters aus dem Simulationsdatensatz extrahiert,
- während des Betriebs der Gasturbine wird laufend ein Istwert des Betriebsparameters ermittelt und mit dem unteren Schwellwert und dem oberen Schwellwert verglichen,
- und über eine vorgegebene Zeitspanne wird der Maximalwert des Istwertes bestimmt,

wobei beim Vergleich des Istwerts mit dem unteren Schwellwert und dem oberen Schwellwert, wenn der Istwert:

- unterhalb des unteren Schwellwerts liegt, die Spaltminimierung deaktiviert wird,
- oberhalb des oberen Schwellwerts liegt, die Spaltminimierung aktiviert wird,
- im Übergangsbereich liegt, mit Hilfe des Maximalwerts aus der vorgegebenen Zeitspanne unter Heranziehung der Korrelation ein Grenzwert für den Be-

triebsparameter ermittelt wird und die Spaltminimierung aktiviert wird, wenn der Istwert oberhalb des Grenzwertes liegt und deaktiviert wird, wenn der Istwert unterhalb des Grenzwertes liegt.

[0010] Die Aufgabe wird weiterhin erfindungsgemäß gelöst durch eine Steuervorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, umfassend eine, insbesondere hydraulische, Spalteinstellvorrichtung sowie Mittel zur Ermittlung des Istwerts des Betriebsparameters. In Abhängigkeit vom Betriebsparameter können die Mittel zur Ermittlung des Istwerts des Betriebsparameters hierbei Sensoren für eine direkte Messung sein oder alternativ kann eine andere, mit dem Betriebsparameter korrelierte Größe direkt gemessen und auf dieser Grundlage der Betriebsparameter rechnerisch indirekt ermittelt werden.

[0011] Die Aufgabe wird schließlich erfindungsgemäß gelöst durch eine Gasturbine mit einer solchen Steuervorrichtung.

[0012] Die in Bezug auf das Verfahren nachstehend angeführten Vorteile und bevorzugten Ausgestaltungen lassen sich sinngemäß auf die Steuervorrichtung und die Gasturbine übertragen.

[0013] Unter Spaltminimierung wird hierbei ein axialer Versatz des Rotors der Gasturbine gegen die Strömungsrichtung verstanden, welcher Versatz mit Hilfe insbesondere der hydraulischen Mittel zum Einstellen des Spaltes zwischen dem Rotor und dem Gehäuse durchgeführt wird. Der Begriff HCO wird im weiteren Text mit dem Begriff Spaltminimierung gleichgesetzt. Die Spaltminimierung bzw. die HCO-Funktion kann dabei aktiviert (der Rotor ist zum Gehäuse hin verschoben) oder deaktiviert werden.

[0014] Unter "aktiviert wird" bzw. "deaktiviert wird" soll nicht alleine das Ein- bzw. Ausschalten der HCO verstanden, sondern im Falle, dass die Spaltminimierung bereits aktiv ist, ist "aktiviert werden" gleichzusetzen mit "aktiviert bleiben". Das Gleiche bezieht sich auf eine bereits ausgeschaltete Spaltminimierung, in diesem Fall bedeutet "deaktiviert werden" auch "deaktiviert bleiben".

[0015] Die Erfindung basiert auf der Überlegung, eine neue HCO Logik bereitzustellen, die vor allem einfach und robust ist, jedoch die Gefahren in den Betriebsphasen mit eingeschalteter Spaltoptimierung minimieren kann. Hierzu wurden zahlreiche Untersuchungen von transienten Manövern mittels Computersimulation durchgeführt, welche die Grundlage für die verbesserte HCO Logik bilden.

[0016] Für die optimierte Spalteinstellung wird ein Betriebsparameter herangezogen, mit dessen Hilfe der Betriebszustand der Gasturbine erfasst wird. Als Betriebsparameter kann z.B. die Leistung der Gasturbine, eine normierte relative Leistung, Temperaturen oder Drücke entlang des Hauptgaskanals oder auch Temperatur- und Druckverhältnisse verwendet werden. Der Betriebsparameter ist dabei so gewählt, dass er auf eine Laständerung reagiert.

[0017] Die Computersimulation mittels des Simulati-

onsprogramms erfolgt insbesondere außerhalb des Betriebs, z.B. im Entwicklungsstadium der Gasturbine. Unter Simulationsprogramm wird hierbei ein sogenannter digitaler Zwilling der Gasturbine verstanden. Das Simulationsprogramm oder Simulationsmodell ermöglicht einen genaueren Überblick über den Status der Turbine bei unterschiedlichsten Parametereinstellungen. Somit lassen sich besser auf das Einsatzszenario abgestimmte Betriebsparameter ermitteln, um die Gasturbine optimal zu betreiben. Im konkreten Fall wird das Verhalten der Gasturbine in Bezug auf den Spalt zwischen dem Rotor und dem Gehäuse bei den laufenden Veränderungen des Betriebsparameters untersucht.

[0018] Der durch das Simulationsprogramm generierte Simulationsdatensatz dient anschließend dazu, den oberen Schwellwert und den unteren Schwellwert derart zu wählen, dass eine optimale Nutzung der HCO möglich ist, bei der die HCO so lange wie möglich aktiviert ist unter akzeptablen Verlusten der Spalte. Das wesentliche Merkmal für die Auswertung der Simulationen ist dabei, dass der engste Spalt der unterschiedlichen Manöver möglichst gleich sein soll, um sicherzustellen, dass nicht ein Manöver die Spalte "zerstört".

[0019] Eine Erkenntnis aus bisherigen Analysen ist, dass es insbesondere große Lastreduzierungen sind, die zu einer transienten Spaltverkleinerung führen und mit denen somit eine HCO Deaktivierung einhergehen muss. Es gilt somit den Maximalwert des Betriebsparameters aus der Zeit vor einem Lastsprung zu berücksichtigen, denn der Maximalwert des Betriebsparameters verschiebt die Grenze für die HCO Aktivierung. Aus diesem Grund wird aus dem Simulationsdatensatz eine Korrelation zwischen der Entwicklung des Maximalwerts des Betriebsparameters gegenüber der Entwicklung des Betriebsparameters extrahiert. Das Ergebnis dieser Analyse kann beispielsweise als Funktion ausgegeben werden, die unter anderem eine gerade, konvexe, oder konkave Abhängigkeit zeigen kann.

[0020] Im Betrieb der Gasturbine wird der Istwert des Betriebsparameters laufend erfasst, wobei "laufend" sowohl der Fall einer kontinuierlichen, ununterbrochenen, direkten Messung oder Berechnung aus Messdaten, als auch der Fall einer direkten Messung oder Berechnung aus Messdaten in kurzen Zeitabständen umfasst. Der aktuell erfasste Istwert wird mit dem unteren und dem oberen Schwellwert verglichen, wobei der Verlauf des Istwerts in mindestens drei Betriebsregime oder Bereiche unterteilt wird: in einen unteren Bereich, einen mittleren Übergangsbereich und einen oberen Bereich.

[0021] Ergänzend dazu wird der Maximalwert des Istwerts über eine Zeitspanne in der unmittelbaren Vergangenheit erfasst. Auf Basis des Maximalwerts wird mit Hilfe der Korrelation aus den Simulationsergebnissen ein Grenzwert bestimmt, der dann herangezogen wird, wenn sich der Istwert im Übergangsbereich zwischen dem unteren und dem oberen Schwellwert befindet.

[0022] Im niedrigen Lastbereich wird die Gasturbine aufgrund der Schadstoffemissionen und des niedrigen

Wirkungsgrades, wenn überhaupt, meistens nur sehr kurze Zeit betrieben. Somit trägt der Wirkungsgrad in diesem Lastbereich nur sehr vernachlässigbar zu dem Gesamtwirkungsgrad über den Betriebszyklus der Maschine bei. Insofern besteht kein Erfordernis zur Aktivierung der HCO in diesem schwierigen Umfeld. Aus diesem Grund wird der untere Schwellwert für den Betriebsparameter definiert. Im unteren Bereich, unterhalb des unteren Schwellwerts, wird daher die Spaltminimierung deaktiviert oder bleibt deaktiviert, falls sie noch nicht eingeschaltet war oder bereits ausgeschaltet wurde.

[0023] Die durchgeführten Analysen zeigen, dass es im Bereich hoher Lasten der Gasturbine, in welchem Bereich die HCO in der Regel eingeschaltet ist, selbst bei Lastschwankungen eine Nachführung bzw. Anpassung der HCO nicht erforderlich ist. Auch ein Anfahren aus einem Niedriglastbereich ist unkritisch für den Einsatz der Spaltminimierung. Hierzu wird der obere Schwellwert für den Betriebsparameter definiert. Im oberen Bereich, oberhalb des oberen Schwellwerts, wird die Spaltminimierung daher aktiviert oder bleibt aktiviert, wenn sie bereits eingeschaltet war.

[0024] Im Übergangsbereich zwischen dem unteren Schwellwert und dem oberen Schwellwert wird die Korrelation zwischen dem Istwert des Betriebsparameters und dem Maximalwert des Betriebsparameters aus der unmittelbaren Vergangenheit berücksichtigt. Dabei wird im Übergangsbereich zwischen dem unteren und dem oberen Schwellwert die HCO-Funktion in Abhängigkeit des Verhaltens der Gasturbine in der vordefinierten Zeitspanne aktiviert oder deaktiviert. Hierzu wird der Grenzwert des Betriebsparameters benötigt, der vom Maximalwert abhängig ist. Wenn der Istwert oberhalb des Grenzwertes liegt, d.h. zwischen dem Grenzwert und dem oberen Schwellwert, wird oder bleibt die Spaltminimierung aktiviert. Wenn der Istwert jedoch unterhalb des Grenzwertes, d.h. zwischen dem unteren Schwellwert und dem Grenzwert liegt, wird oder bleibt die Spaltoptimierung deaktiviert.

[0025] Durch das vorgeschlagene Verfahren erfolgt eine sehr präzise Aktivierung der HCO-Funktion, wodurch im Betrieb der Gasturbine mehrere HCO-Aktivierungsstunden dazu gewonnen werden, was sich positiv auf den Wirkungsgrad der Gasturbine auswirkt. Durch das Verfahren ist die Komplexität der Unterteilung der Betriebsregime der Gasturbine auf nur drei Fälle beschränkt, in denen die HCO-Logik entscheiden muss, ob die HCO eingeschaltet oder ausgeschaltet wird. Die oben beschriebene HCO-Logik bietet zudem eine bessere Übereinstimmung mit dem Maschinenverhalten und ist unabhängig von einer aktiven Spaltmessung.

[0026] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird als Betriebsparameter die relative Leistung verwendet, welche auf die Nennleistung der Gasturbine normiert ist. Die relative Leistung ist direkt an die absolute Leistung gekoppelt, welche in der Steuerung der Gasturbine gut verfügbar ist und keinen zusätzlichen Hardware-Aufwand erfordert, um erfasst zu werden.

[0027] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform beträgt die Zeitspanne zwischen 20 Minuten und 3 Stunden, insbesondere zwischen 30 min und 90 min. Die Zeitspanne ist durch die Reaktionszeit der Turbine bedingt und ist somit maschinenabhängig. Die Zeitspanne ist insbesondere in der Steuerung der Gasturbine vorgegeben.

[0028] Bevorzugt liegt der untere Schwellwert bei einer relativen Leistung zwischen 30 % und 45 %. Dies bedeutet, dass die Spaltminimierung eingeschaltet wird, erst wenn mindestens 30 % der Nennleistung der Gasturbine erreicht sind. Unterhalb dieser relativen Leistung ist es vorgesehen, dass die HCO Funktion dauerhaft inaktiv ist.

[0029] Weiterhin bevorzugt liegt der obere Schwellwert bei einer relativen Leistung zwischen 50 % und 65 %. Spätestens wenn 65 % der Nennleistung der Gasturbine erreicht werden, fallabhängig kann dies auch bereits bei 50 % der Nennleistung der Gasturbine erfolgen, wird die HCO aktiviert und bleibt über dem oberen Schwellwert dauerhaft aktiv.

[0030] Nach einem Abfall der relativen Leistung, der von einem Anstieg der relativen Leistung gefolgt wird, wird die Spaltminimierung vorzugsweise verzögert aktiviert, wenn der Istwert den Grenzwert überschreitet.

Durch eine zeitlich verzögerte Aktivierung der HCO wird verhindert, dass eine beträchtliche Lastdifferenz durch zügige Manöver umgangen wird. Aus diesem Grund wird eine weitere Sperre der HCO definiert, die eine HCO Aktivierung für den Zeitraum von einigen wenigen Minuten bis maximal 30 Minuten blockiert.

[0031] Im Hinblick auf eine besonders einfache Maschinensteuerung werden zwischen dem unteren Schwellwert und dem oberen Schwellwert mehrere Stufen für den Maximalwert definiert, wobei für die Aktivierung oder Deaktivierung der Spaltminimierung lediglich berücksichtigt wird, welche die höchste Stufe ist, die vom Maximalwert in der Zeitspanne überschritten wurde. Auf diese Weise ist keine laufende Speicherung des Maximalwerts bei jeder Änderung des Maximalwerts erforderlich. Lediglich wenn, beispielsweise die Gasturbine in eine höhere Leistungsstufe steigt, wird festgehalten, dass die Gasturbine über diesem Level betrieben wurde. Eine solche Vorgehensweise stellt eine weitere Vereinfachung bei der Bestimmung des Grenzwertes dar, da dadurch der Maximalwert über eine längere Zeit konstant bleibt.

[0032] Bevorzugt ist die Korrelation zwischen dem Grenzwert und dem Maximalwert vordefiniert. Aus praktischen Gründen ist der Zusammenhang Maximalwert und dem Grenzwert insbesondere in Form einer Tabelle vorgegeben. Für die Anwendung ist dies vollkommen ausreichend, und sehr zuverlässig und kontrollierbar. Es ist somit lediglich erforderlich, den Maximalwert des Betriebsparameters zu kennen, um schnell und ohne großen rechnerischen Aufwand den Grenzwert zu bestimmen. Im Falle, dass der Übergangsbereich in mehrere Stufen unterteilt ist, ist vorzugsweise für jede Stufe eine Korrelation zwischen dem Grenzwert und dem Maximal-

wert vordefiniert. Die jeweiligen Korrelationen sind in der Tabelle erfasst.

[0033] Gemäß einer alternativen Ausführung wird die Korrelation zwischen dem Grenzwert und dem Maximalwert rechnerisch bestimmt. Dies erfolgt insbesondere nach einer in der Steuerung hinterlegten Formel.

[0034] Um einen maximalen Wirkungsgrad im Betrieb der Gasturbine mit aktiver Spaltminimierung durch eine maximale zeitliche Ausnutzung der Spaltminimierung zu erreichen, werden die Verfahrensschritte ab dem Ermitteln des Istwerts des Betriebsparameters im Betrieb der Gasturbine vorteilhafterweise kontinuierlich durchgeführt, sobald die Gasturbine in Betrieb genommen wird.

[0035] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand einer Zeichnung näher erläutert. Hierin zeigen:

FIG 1 die Aufteilung der relativen Leistung einer Gasturbine in drei Bereiche bezüglich der HCO-Aktivierung, und

FIG 2 einen Ausschnitt vom Verlauf der relativen Leistung der Gasturbine über die Zeit.

[0036] Gleiche Bezugszeichen haben in den Figuren die gleiche Bedeutung.

[0037] In FIG 1 ist eine graphische Darstellung der drei Leistungsbereiche gezeigt, in welche die Leistung einer nicht näher gezeigten Gasturbine mit einer Spalteinstellvorrichtung gemäß der neuen HCO Logik unterteilt ist und welche durch unterschiedliche Betriebsregime gekennzeichnet ist. Die Spalteinstellvorrichtung, die insbesondere hydraulisch angetrieben wird, ist Teil einer hier nicht näher gezeigten Steuervorrichtung, die mit ebenfalls nicht gezeigten Sensoren, welche den Betrieb der Gasturbine überwachen, datentechnisch kommuniziert. Auf die X-Achse ist die relative Leistung P_{REL} aufgetragen, welche durch die aktuelle Leistung gebildet ist, die durch die Nennleistung der Gasturbine normiert ist. Auf der Y-Achse ist der Maximalwert der relativen Leistung P_{MAX} der Gasturbine aufgetragen. Die drei Bereiche U, M und O auf der X-Achse sind durch einen unteren Schwellwert P_U und einen oberen Schwellwert P_O voneinander getrennt. Zwischen Null und dem unteren Schwellwert P_U ist der Leistungsbereich mit U gekennzeichnet. Oberhalb des oberen Schwellwerts P_O ist der Leistungsbereich mit O gekennzeichnet. Zwischen dem unteren Schwellwert P_U und dem oberen Schwellwert P_O befindet sich der mittlere Übergangsbereich M, in dem ein Grenzwert P_G liegt. Die Schwellwerte P_U und P_O sind maschinenspezifisch und sind in der Steuerung der Gasturbine, die in einer nicht gezeigten Steuervorrichtung enthalten ist, hinterlegt. Beispielsweise beträgt $P_U=40\%$ und $P_O=60\%$. Diese Zahlenwerte können ggf. auch geändert werden.

[0038] Die Linie F, welche sich über dem Übergangsbereich M erstreckt, zeigt die Abhängigkeit des Grenzwerts P_G vom Maximalwert P_{MAX} . Diese Abhängigkeit ist im gezeigten Ausführungsbeispiel in einer Tabelle hinterlegt, auf welche die Steuerung zugreifen kann. Die

Tabelle wiederum basiert auf einem Simulationsdatensatz, der mittels eines Simulationsprogramms oder digitalen Zwillings für diesen Turbinentyp generiert wurde.

[0039] Die Entscheidung, ob die HCO aktiviert oder deaktiviert wird bzw. aktiv oder inaktiv bleibt, basiert auf der Entwicklung eines Istwerts P_I der relativen Leistung P_{REL} . Hierzu wird für eine Zeitspanne, welche z.B. stets der letzten Stunde entspricht, der Maximalwert P_{MAX} des Istwerts P_I (siehe FIG 2) erfasst. Die Zeitspanne ist ebenfalls in der Steuerung hinterlegt und ist maschinenspezifisch. Die Zeitspanne kann auch kürzer als 1 Stunde sein (z.B. werden die Messungen der relativen Leistung P_{REL} aus den letzten 45 min herangezogen) oder auch länger sein (z.B. 90 min).

[0040] Wenn der Istwert P_I im unteren Bereich U unterhalb des unteren Schwellwerts P_U liegt, schaltet die Steuerung die Spaltminimierung aus oder, falls die Spaltminimierung bereits inaktiv ist, bleibt sie ausgeschaltet.

[0041] Wenn der Istwert P_I im oberen Bereich O oberhalb des oberen Schwellwerts P_O liegt, schaltet die Steuerung die Spaltminimierung ein, oder, falls die Spaltminimierung bereits aktiv ist, bleibt sie eingeschaltet.

[0042] Im Übergangsbereich M wird die Spaltminimierung ein- oder ausgeschaltet in Abhängigkeit davon, ob der Istwert P_I der relativen Leistung P_{REL} im Bereich M' unterhalb des Grenzwerts P_G oder im Bereich M'' oberhalb des Grenzwerts P_G liegt. Der Grenzwert P_G , wie bereits erläutert, lässt sich anhand der in der Steuerung hinterlegten Korrelation (F) aus dem Maximalwert P_{MAX} der Maximalleistung P_{MAX} in der letzten Stunde ableiten.

[0043] Zur Vereinfachung der Erfassung des Maximalwerts P_{MAX} können zudem auf der Y-Achse mehrere Stufen für den Maximalwert P_{MAX} definiert werden, wobei für die Aktivierung oder Deaktivierung der Spaltminimierung lediglich berücksichtigt wird, welche die höchste Stufe ist, die vom Maximalwert P_{MAX} in der letzten Stunde überschritten wurde. Beispielsweise können zwischen 3 und 10 solcher Stufen definiert sein, die auch unterschiedlich groß sein können. Insbesondere sieht dabei die Linie F für jede Stufe etwas anders aus, d.h. die vordefinierte oder berechnete Korrelation zwischen dem Grenzwert P_G und dem Maximalwert P_{MAX} kann von Stufe zu Stufe variieren.

[0044] Darüber hinaus kann eine weitere Sperre der HCO eingebaut werden, welche die HCO-Aktivierung für z.B. 15 min blockiert. Die Sperre greift insbesondere nach einem erheblichen Last- bzw. Leistungsanstieg im Übergangsbereich M oder im oberen Bereich O, der auf einen erheblichen Last- bzw. Leistungsabfall in den unteren Bereich U folgt.

[0045] Dieser Fall ist in FIG 2 gezeigt, in welcher die relative Leistung P_{REL} über der Zeit t aufgetragen ist. Bis zum Zeitpunkt t_1 ist der Istwert P_I im Wesentlichen konstant und liegt im oberen Leistungsbereich O, in welchem die HCO aktiv ist. Zwischen t_1 und t_3 fällt P_I rasant ab, bis ein Wert unterhalb des unteren Schwellwerts P_U erreicht ist. Beim Unterschreiten des Grenzwerts P_G im

Übergangsbereich M zum Zeitpunkt t_2 wird dabei die Spaltminimierung abgeschaltet. Zwischen t_3 und t_4 bleibt der Istwert P_I im unteren Bereich U und somit bleibt die HCO inaktiv. Zwischen t_4 und t_7 steigt der P_I stetig an, wobei zum Zeitpunkt t_5 der Grenzwert P_G erneut überschritten wird. Jedoch löst dies noch keine Aktivierung der HCO in t_5 aus, sondern die Spaltminimierung erfolgt erst nach z.B. weiteren 15 min, zum Zeitpunkt t_6 , obwohl der Istwert P_I die ganze Zeit im Bereich M" liegt. Zum Zeitpunkt t_7 befindet sich der Istwert P_I erneut auf dem Niveau des Ausgangszustands der Gasturbine gemäß FIG 2.

[0046] Würde nach t_4 vor dem Aktivieren der HCO der Istwert P_I z.B. erneut abfallen, würde dies unter Umständen P_{MAX} aus der letzten Stunde beeinflussen, was wiederum zu einem neuen Grenzwert P_G führen könnte.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung einer Spaltminimierung eines einstellbaren Spalts zwischen einem Rotor und einem Gehäuse einer Gasturbine, wobei die Gasturbine eine, insbesondere hydraulische, Spalteinstellvorrichtung umfasst, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:

- mit Hilfe eines Simulationsprogramms wird der Betrieb der Gasturbine bei unterschiedlichen Parametereinstellungen abgebildet und ein Simulationsdatensatz wird erstellt, der die Abhängigkeit der Spaltgröße von einem Betriebsparameter enthält,
- anhand vom Simulationsdatensatz werden ein unterer Schwellwert (P_U) und ein oberer Schwellwert (P_O) für den Betriebsparameter festgelegt,
- weiterhin wird für einen Übergangsbereich (M) zwischen dem unteren Schwellwert (P_U) und dem oberen Schwellwert (P_O) eine Korrelation (F) zwischen dem Betriebsparameter und einem Maximalwert (P_{MAX}) des Betriebsparameters aus dem Simulationsdatensatz extrahiert,
- während des Betriebs der Gasturbine wird laufend ein Istwert (P_I) des Betriebsparameters ermittelt und mit dem unteren Schwellwert (P_U) und dem oberen Schwellwert (P_O) verglichen,
- und über eine vorgegebene Zeitspanne wird der Maximalwert (P_{MAX}) des Istwertes (P_I) bestimmt,

wobei beim Vergleich des Istwerts (P_I) mit dem unteren Schwellwert (P_U) und dem oberen Schwellwert (P_O), wenn der Istwert (P_I):

- unterhalb des unteren Schwellwerts (P_U) liegt, die Spaltminimierung deaktiviert wird,
- oberhalb des oberen Schwellwerts (P_O) liegt,

die Spaltminimierung aktiviert wird,

- im Übergangsbereich (M) liegt, mit Hilfe des Maximalwerts (P_{MAX}) aus der vorgegebenen Zeitspanne unter Heranziehung der Korrelation (F) ein Grenzwert (P_G) für den Betriebsparameter ermittelt wird und die Spaltminimierung aktiviert wird, wenn der Istwert (P_I) oberhalb des Grenzwertes (P_G) liegt und deaktiviert wird, wenn der Istwert (P_I) unterhalb des Grenzwerts (P_G) liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei als Betriebsparameter die relative Leistung (PREL) verwendet wird, welche auf die Nennleistung der Gasturbine normiert ist.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Zeitspanne, in welcher der Maximalwert (P_{MAX}) bestimmt wird, zwischen 20 Minuten und 3 Stunden beträgt, insbesondere zwischen 30 min und 90 min.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, wobei der untere Schwellwert (P_U) bei einer relativen Leistung (PREL) zwischen 30 % und 45 % liegt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei der obere Schwellwert (P_O) bei einer relativen Leistung (PREL) zwischen 50 % und 65 % liegt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei nach einem Abfall der relativen Leistung (PREL), der von einem Anstieg der relativen Leistung (PREL) gefolgt wird, die Spaltminimierung verzögert aktiviert wird, wenn der Istwert (P_I) den Grenzwert (P_G) überschreitet.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zwischen dem unteren Schwellwert (P_U) und dem oberen Schwellwert (P_O) mehrere Stufen für den Maximalwert (P_{MAX}) definiert werden, wobei für die Aktivierung oder Deaktivierung der Spaltminimierung lediglich berücksichtigt wird, welche die höchste Stufe ist, die vom Maximalwert (P_{MAX}) in der Zeitspanne überschritten wurde.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei im Betrieb der Gasturbine das Verfahren kontinuierlich durchgeführt wird.
9. Steuervorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend eine, insbesondere hydraulische, Spalteinstellvorrichtung sowie Mittel zur Ermittlung des Istwerts des Betriebsparameters.
10. Gasturbine mit einer Steuervorrichtung nach Anspruch 9.

Claims

1. Method for controlling a gap minimization of an adjustable gap between a rotor and a housing of a gas turbine, wherein the gas turbine comprises a gap-adjusting device, in particular a hydraulic gap-adjusting device,

characterized by

the following steps:

- with the aid of a simulation program, the operation of the gas turbine with different parameter settings is modeled and a simulation data set is prepared which contains the dependence of the gap size on an operating parameter,
- on the basis of the simulation data set, a lower threshold (P_U) and an upper threshold (P_O) for the operating parameter are specified,
- furthermore, for a transition region (M) between the lower threshold (P_U) and the upper threshold (P_O), a correlation (F) between the operating parameter and a maximum value (P_{MAX}) of the operating parameter is extracted from the simulation data set,
- during operation of the gas turbine, an actual value (P_I) of the operating parameter is continuously determined and compared with the lower threshold (P_U) and the upper threshold (P_O),
- and the maximum value (P_{MAX}) of the actual value (P_I) is determined over a specified time period,

wherein, in the comparison of the actual value (P_I) with the lower threshold (P_U) and the upper threshold (P_O), if the actual value (P_I):

- lies below the lower threshold (P_U), the gap minimization is deactivated,
- lies above the upper threshold (P_O), the gap minimization is activated,
- lies in the transition region (M), a limit value (P_G) for the operating parameter is determined with the aid of the maximum value (P_{MAX}) from the specified time period using the correlation (F) and the gap minimization is activated if the actual value (P_I) lies above the limit value (P_G) and is deactivated if the actual value (P_I) lies below the limit value (P_G).

2. Method according to Claim 1, wherein there is used as the operating parameter the relative power (PREL), which is normalized to the nominal power of the gas turbine.
3. Method according to one of the preceding claims, wherein the time period in which the maximum value (PMAX) is determined is between 20 minutes and 3 hours, in particular between 30 min and 90 min.

4. Method according to one of Claims 2 or 3, wherein the lower threshold (P_U) lies at a relative power (PREL) between 30% and 45%.

5. Method according to one of Claims 2 to 4, wherein the upper threshold (P_O) lies at a relative power (PREL) between 50% and 65%.

6. Method according to one of Claims 2 to 5, wherein, after a fall in the relative power (PREL) which is followed by a rise in the relative power (PREL), the gap minimization is activated with a time delay if the actual value (P_I) exceeds the limit value (PG).

7. Method according to one of the preceding claims, wherein multiple stages for the maximum value (PMAX) are defined between the lower threshold (P_U) and the upper threshold (P_O), wherein only the highest stage exceeded by the maximum value (PMAX) in the time period is taken into consideration for the activation or deactivation of the gap minimization.

8. Method according to one of the preceding claims, wherein the method is carried out continuously during operation of the gas turbine.

9. Control device for carrying out the method according to one of the preceding claims, comprising a gap-adjusting device, in particular a hydraulic gap-adjusting device, as well as means for determining the actual value of the operating parameter.

10. Gas turbine having a control device according to Claim 9.

Revendications

1. Procédé de commande d'une minimisation d'un jeu réglable entre un rotor et une enveloppe d'une turbine à gaz, dans lequel la turbine à gaz comprend un système, notamment hydraulique, de réglage du jeu,

caractérisé par les stades suivants :

- à l'aide d'un programme de simulation, on reproduit le fonctionnement de la turbine à des réglages de paramètre différents et on établit un ensemble de données de simulation, qui contient la variation de la dimension du jeu en fonction d'un paramètre de fonctionnement,
- à l'aide de l'ensemble de données de simulation, on fixe une valeur (P_U) inférieure de seuil et une valeur (P_O) supérieure de seuil du paramètre de fonctionnement,
- on extrait en outre de l'ensemble de données

de simulation, pour une plage (M) de transition entre la valeur (P_U) inférieure de seuil et la valeur (P_O) supérieure de seuil, une corrélation (F) entre le paramètre de fonctionnement et une valeur (P_{MAX}) maximum du paramètre de fonctionnement,

- pendant le fonctionnement de la turbine à gaz, on détermine en continu une valeur (P_I) du paramètre de fonctionnement et on la compare à la valeur (P_U) inférieure de seuil et à la valeur (P_O) supérieure de seuil,

- et, sur un laps de temps donné à l'avance, on détermine la valeur (P_{MAX}) maximum de la valeur (P_I) réelle,

dans lequel, lors de la comparaison de la valeur (P_I) réelle à la valeur (P_U) inférieure de seuil et à la valeur (P_O) supérieure de seuil, si la valeur (P_I) réelle :

- est inférieure à la valeur (P_U) inférieure de seuil, on désactive la minimisation du jeu,

- est supérieure à la valeur (P_O) supérieure de seuil, on active la minimisation de jeu,

- est dans la plage (M) de transition, à l'aide de la valeur (P_{MAX}) maximum, à partir du laps de temps donné à l'avance, on détermine, en tirant parti de la corrélation (F), une valeur (P_G) limite du paramètre de fonctionnement et on active la minimisation du jeu, si la valeur (P_I) réelle est au-dessus de la valeur (P_G) limite et on la désactive, si la valeur (P_I) réelle est en-dessous de la valeur (P_G) limite.

2. Procédé suivant la revendication 1, dans lequel on utilise comme paramètre de fonctionnement la puissance (PREL) relative, qui est normée sur la puissance nominale de la turbine à gaz.

3. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel le laps de temps pendant lequel on détermine la valeur (PMAX) maximum est compris entre 20 minutes et 3 heures, notamment entre 30 minutes et 90 minutes.

4. Procédé suivant l'une des revendications 2 ou 3, dans lequel la valeur (PU) inférieure de seuil est à une puissance (PREL) relative comprise entre 30% et 45%.

5. Procédé suivant l'une des revendications 2 à 4, dans lequel la valeur (PO) supérieure de seuil est à une puissance (PREL) relative comprise entre 50% et 65%.

6. Procédé suivant l'une des revendications 2 à 5, dans lequel, après une diminution de la puissance (PREL) relative, qui est suivie d'une augmentation

de la puissance (PREL) relative, on active de manière retardée la minimisation de jeu, si la valeur (PI) réelle dépasse la valeur (PG) limite.

7. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel on définit plusieurs paliers de la valeur (PMAX) maximum entre la valeur (PU) inférieure de seuil et la valeur (PO) supérieure de seuil, dans lequel on tient compte, pour l'activation et la désactivation de la minimisation du jeu, seulement du palier le plus haut, qui a été dépassé par la valeur (PMAX) maximum dans le laps de temps.

8. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel on effectue en continu le procédé alors que la turbine à gaz est en fonctionnement.

9. Système de commande pour effectuer le procédé suivant l'une des revendications précédentes, comprenant un système, notamment hydraulique, de réglage du jeu ainsi que des moyens de détermination de la valeur réelle du paramètre de fonctionnement.

10. Turbine à gaz ayant un système de commande suivant la revendication 9.

FIG 1

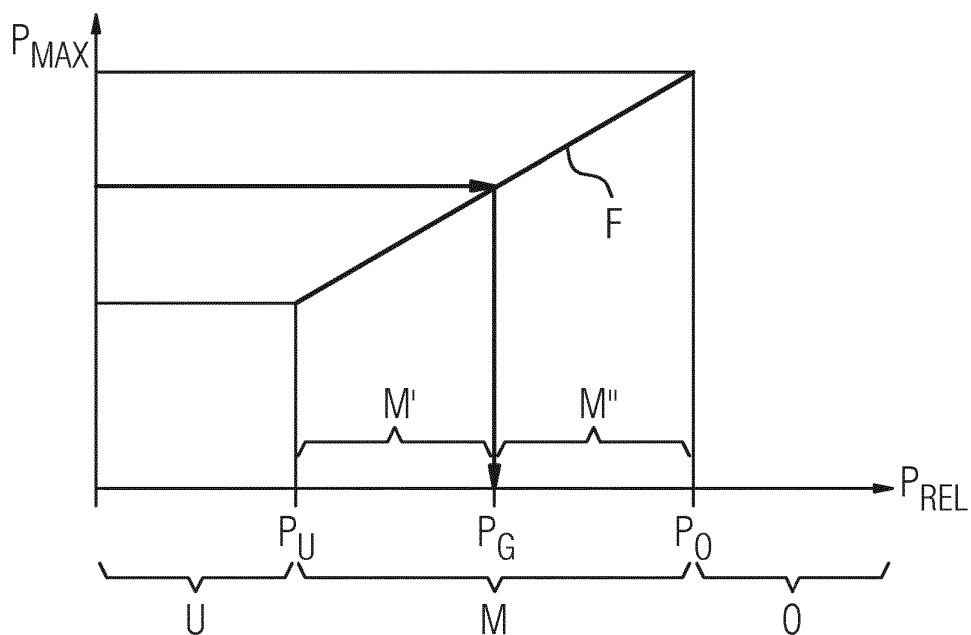
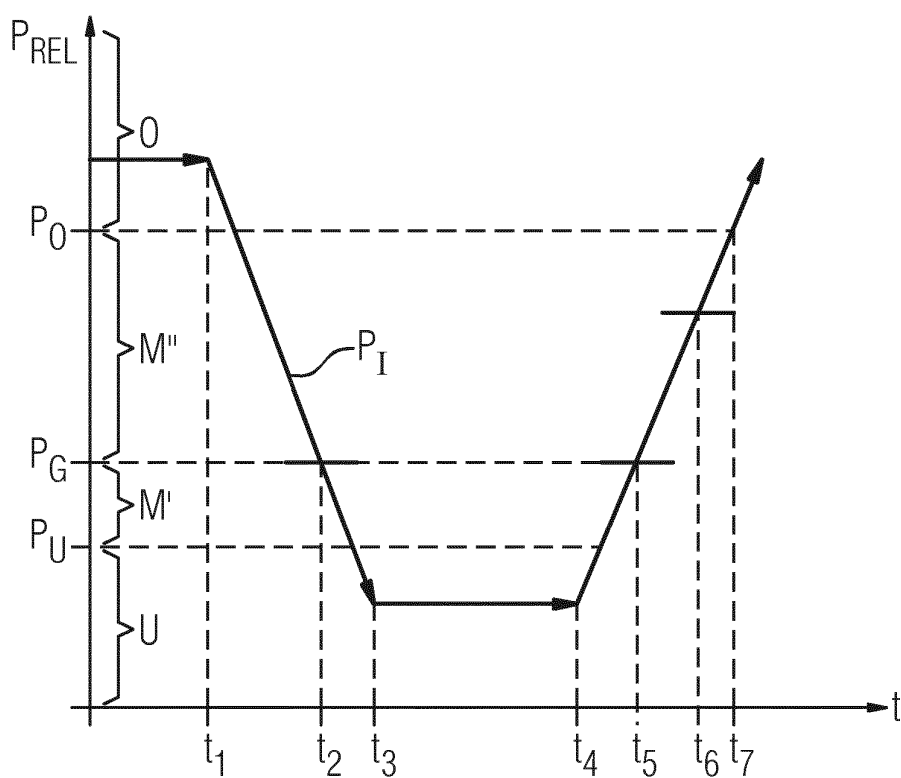


FIG 2



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 2843198 A1 [0003]
- EP 2549065 A1 [0004]
- WO 2014016153 A1 [0005]
- WO 2015128193 A1 [0006]