



(11) **EP 3 130 762 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
15.02.2017 Patentblatt 2017/07

(51) Int Cl.:
F01D 11/24 (2006.01) **F01D 11/20** (2006.01)
F01D 11/14 (2006.01) **F02C 6/08** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16183854.5**

(22) Anmeldetag: **11.08.2016**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD

(71) Anmelder: **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)

(72) Erfinder: **DR. SZARVASY, Ivo**
12623 Berlin (DE)

(74) Vertreter: **Maikowski & Ninnemann**
Patentanwälte Partnerschaft mbB
Postfach 15 09 20
10671 Berlin (DE)

(30) Priorität: **13.08.2015 DE 102015215479**

(54) **SYSTEM ZUR AKTIVEN EINSTELLUNG EINER RADIALEN SPALTGRÖSSE UND ZUGEHÖRIGES FLUGZEUGTRIEBWERK**

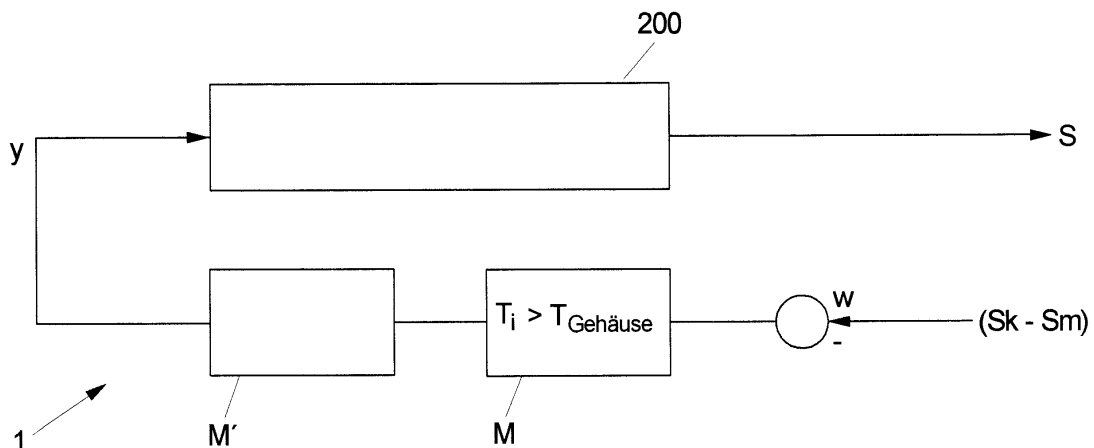
(57) Die Erfindung betrifft ein System für die aktive Einstellung einer radialen Spaltgröße (S) zwischen einer Schaufelspitze (13) mindestens einer Kompressorstufe (11) und / oder mindestens einer Turbinenstufe (12) eines Flugzeugtriebwerks (100) und einem Gehäuse (10), das die mindestens eine Kompressorstufe (11) und / oder mindestens eine Turbinenstufe (12) umgibt, gekennzeichnet durch

a) eine modellbasierte Stellvorrichtung (M), wobei die zeitabhängige Spaltgröße (S) durch die modellbasierten Stellvorrichtung (M) approximierbar ist und bei dem nur Einflussgrößen berücksichtigt werden, deren zeitabhän-

giges, Verformungsverhalten gleich oder langsamer sind als das zeitabhängige Verformungsverhalten des Gehäuses (10), wobei

b) als Sollwert (w) die Spaltgröße im kalten Zustand (Sk) dient, diese verringert um mindestens einen vorabgespeicherten Wert eines Spaltanteils (Sm) bestimmt bei maximalem Schub des Flugzeugtriebwerkes (100), und c) durch die modellbasierte Stellvorrichtung (M) eine Stellgröße (y) für ein Kühlungssystem (200) des Gehäuses (10) ermittelbar ist. Die Erfindung betrifft ferner ein Flugzeugtriebwerk mit einem solchen System (1).

FIG 3



EP 3 130 762 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein System für die aktive Einstellung einer radialen Spaltgröße mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein Flugzeugtriebwerk mit den Merkmalen des Anspruchs 10.

[0002] Für den effizienten Betrieb eines Flugzeugtriebwerks ist es sinnvoll, den Spalt zwischen den Spitzen der rotierenden Turbinen- oder Kompressorschaukeln und dem umgebenden Gehäuse möglichst klein zu halten. So ist zum Beispiel aus der GB 2417762 A ein Verfahren zur aktiven Spaltkontrolle (Tip Clearance Control, TCC) bekannt. Dabei wird das Gehäuse mittels Kühlluft einstellbar so gekühlt, dass sich zwischen den rotierenden Laufschaufelspitzen und dem Gehäuse (oder den daran angeordneten Deckbändern oder Linern) ein definierter Spalt einstellt.

[0003] Die Einstellung, d.h. die Regelung oder Steuerung der Kühlung wird dabei vom Triebwerkscomputer (EEC) übernommen, der ein entsprechendes Ventil ansteuert. Ziel ist dabei die Einstellung eines möglichst kleinen Spaltes, wobei jedoch ein Anstreifverschleiß, d.h. ein Anlaufen der Schaufelspitze in das Gehäuse oder das Deckband vermieden werden muss.

[0004] Vollmodular modulierbare Systeme arbeiten mit einem Verfahren, bei dem der Ist-Spalt entweder gemessen oder durch den Triebwerkscomputer berechnet wird. Der so bestimmte Ist-Spalt wird dann mit einem Soll-Spalt verglichen und die Gehäusekühlung wird durch das Regelungssystem entsprechend angepasst.

[0005] Üblicherweise wird der Soll-Spalt auf Null gesetzt, wenn das Flugzeugtriebwerk den maximalen Schub liefert. Der Wert für den Soll-Spalt kann größer Null sein, wenn das Flugzeugtriebwerk im Teillastbereich läuft. In diesem Fall führt eine plötzliche Schuberrhöhung zu einer Spaltschließung, welche nicht schnell genug durch eine verringerte Gehäusekühlung - und damit ein Konstanthalten des Spaltes - kompensiert werden kann. Ein zu kleiner Soll-Spalt würde in diesem Fall zu einem Anlaufen führen.

[0006] Es besteht daher die Aufgabe, effiziente Systeme für die Einstellung des radialen Spaltes für den Betrieb von Flugzeugtriebwerken und entsprechende Flugzeugtriebwerke zu schaffen.

[0007] Die Aufgabe wird durch das Regelungssystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0008] Dazu weist das System eine modellbasierte Stellvorrichtung auf, wobei die zeitabhängige Spaltgröße durch die modellbasierte Stellvorrichtung approximierbar ist und bei der nur Einflussgrößen berücksichtigt werden, deren zeitabhängiges Verformungsverhalten (z.B. Dehnungsverhalten) gleich oder langsamer ist als das zeitabhängige Verformungsverhalten des Gehäuses (z. B. Dehnungsverhalten), wobei als Sollwert die Spaltgröße im kalten Zustand dient, diese verringert um mindestens einen vorabgespeicherten Wert eines Spaltanteils bestimmt bei maximalem Schub des Flugzeugtriebwerkes, und durch die modellbasierte Stellvorrichtung eine

Stellgröße für ein Kühlungssystem des Gehäuses ermittelbar ist.

[0009] Durch die Modellierung allein der langsameren Anteile in der modellbasierten Stellvorrichtung kann eine der Gesamtdynamik angemessene, effiziente Einstellung der Spaltgröße erhalten werden.

[0010] In einer vorteilhaften Ausgestaltung weist die modellbasierte Stellvorrichtung für die Einflussgrößen eine Beziehung für das thermische Verhalten mindestens einer Rotorscheibe einer Kompressorstufe und / oder Turbinenstufe und eine Beziehung für das thermische Verhalten des Gehäuses auf. Insbesondere umfasst die modellbasierte Stellvorrichtung für die Einflussgrößen nur Beziehungen für das thermische Verhalten mindestens einer Rotorscheibe einer Kompressorstufe und / oder Turbinenstufe und das thermische Verhalten des Gehäuses.

[0011] Eine effiziente Ausführungsform für die modellbasierte Stellvorrichtung bildet das dynamische Verformungsverhalten von Bauteilen durch Sprungantworten erster Ordnung ab.

[0012] Ferner ist es vorteilhaft, wenn der Sollwert der Spaltgröße ausschließlich aus Werten ermittelbar ist, die unabhängig vom aktuellen Schubzustand des Flugzeugtriebwerks sind. Diese Unabhängigkeit kann insbesondere dadurch erreicht werden, dass die Spaltanteile hervorgerufen durch das mechanische und thermische Verformungsverhalten einer Schaufel, das mechanische Verformungsverhalten einer Rotorscheibe, das thermische Verformungsverhalten einer Einlaufvorrichtung (z. B. einem Liner oder einem Segment mit einem Liner) und / oder das mechanische Verformungsverhalten eines Gehäuses jeweils bei maximalem Schub ermittelt werden.

[0013] In einer Ausführungsform weist das Gehäuse mindestens eine Einlaufvorrichtung, insbesondere einen Liner oder ein Segment mit einem Liner auf.

[0014] In einer weiteren Ausführungsform werden berechnete und / oder gemessene Werte für die Temperatur, den Druck, die Geschwindigkeit und / oder die Drehzahl bei der Bestimmung der Stellgröße verwendet. Damit stehen weitere Werte für die Bestimmung der Stellgröße bereit.

[0015] Wenn die Spaltgröße bei den Eingangsgrößen der modellbasierten Stellvorrichtung berücksichtigt wird, liegt eine Regelung mit Rückkopplung vor. Anderenfalls kann das System auch ohne Rückkopplung arbeiten.

[0016] Die Aufgabe wird auch durch ein Flugzeugtriebwerk mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst.

[0017] In Zusammenhang mit den in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen wird die Erfindung erläutert. Dabei zeigt

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Flugzeugtriebwerkes;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Spaltes und der Einstellung der Spaltgröße;

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des Systems zur Einstellung der Spaltgröße;

Fig. 4 eine schematische Darstellung möglicher oder tatsächlicher radialer Positionen der rotor- und gehäuseseitigen Spaltänderungen:

Fig. 5 eine schematische Darstellung unterschiedlicher Betriebszustände.

[0018] In Fig. 1 ist in schematischer Weise ein an sich bekanntes Flugzeugtriebwerk 100 dargestellt, bei dem Luft L von vorne in das Flugzeugtriebwerk 100 einströmt. Der größere Teil der einströmenden Luft L wird durch einen Nebenstromkanal 101 geführt und beschleunigt am hinteren Ende des Flugzeugtriebwerks 100 ausgestoßen.

[0019] Ein kleinerer Anteil der einströmende Luft L gelangt in das Kerntriebwerk 102 und wird dort in einem Kompressor mit mehreren Kompressorstufen 11 komprimiert. Die komprimierte Luft wird Brennkammern 103 zugeführt, wobei die komprimierte und erhitzte Luft dann einer Turbine mit Turbinenstufen 12 zugeführt wird, wobei die Luft dann am hinteren Ende des Flugzeugtriebwerks 100 beschleunigt ausströmt.

[0020] Die rotierenden Laufschaufeln 13 der Kompressorstufen 11 und der Turbinenstufen 12 werden von einem Gehäuse 10 umgeben, wobei die Details in Fig. 2 näher dargestellt sind. Die Darstellung der Fig. 1 ist lediglich beispielhaft zu verstehen. Die im Folgenden beschriebenen Ausführungsformen sind auch im Zusammenhang mit anderen Triebwerkbauformen anwendbar.

[0021] In Fig. 2 ist ein Ausschnitt des Gehäuses 10 dargestellt. Innerhalb des Gehäuses 10 ist eine Laufschaufel 15 auf einer Rotorscheibe angeordnet, wobei die Laufschaufelspitze 13 radial zum Gehäuse 10 orientiert ist. Gegenüber der Laufschaufelspitze 13 ist im Gehäuse 10 ein Liner 14 angeordnet. Bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in einer Turbinenstufe 12 wird der Liner 14 in einem Segment angeordnet, dass dann mit dem Gehäuse verbunden wird.

[0022] Zwischen der Laufschaufelspitze 13 und dem Gehäuse 10, und hier insbesondere dem Liner 14, befindet sich der radiale Spalt mit der Spaltgröße S.

[0023] Zur Einstellung der Spaltgröße S wird in an sich bekannter Weise ein Kühlsystem 200 verwendet mit dem Kühlluft K auf die Außenseite des Gehäuses 10 aufgebracht werden kann. Ein System 1 zur aktiven Einstellung der radialen Spaltgröße stellt ein Ventil 201 des Kühlsystems 200 so ein, dass die Spaltgröße S den jeweiligen Erfordernissen angepasst wird. Wichtig ist dabei, dass die Laufschaufelspitze 13 nicht in Kontakt mit dem Gehäuse 10 oder dem Liner 14 gerät. Im kalten Zustand kann eine radiale relative Spalthöhe (Spalt / Länge der Laufschaufel) von 3 bis 4 % angestrebt werden. Im warmen Zustand ist eine relative Spalthöhe von 1% oder weniger erstrebenswert.

[0024] In Fig. 3 ist ein Schema mit einer beispielhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems 1 zur aktiven Einstellung der radialen Spaltgröße S dargestellt, mit dem das Kühlsystem 200 einstellbar ist. Zur Vereinfachung wurden Störgrößen hier weggelassen.

[0025] Das System 1 weist eine modellbasierte Stellvorrichtung M auf, die als Eingangsgröße den Sollwert w erhält. Der Sollwert w ist hier die Spaltgröße S_k im kalten Zustand verringert um mindestens einen vorabgespeicherten Wert eines Spaltanteils S_m bestimmt bei maximalem Schub des Flugzeugtriebwerks 100. Dies bedeutet, dass der Sollwert w sich in einfacher Weise aus einmal ermittelten und dann fest gespeicherten Werten bestimmen lässt.

[0026] In einer Ausführungsform wird der Spaltanteil S_m bei maximalen Schub in Abhängigkeit des thermischen Verhaltens einer Laufschaufel 15, des Verformungsverhaltens eines Rotors (z.B. dem Dehnungsverhalten), des thermischen Verhaltens des Liners 14 und / oder des druckabhängigen Verhaltens des Gehäuses 10 ermittelt. Diese Einflussgrößen reagieren dynamisch schneller als andere Bauteile, was im Folgenden noch näher erläutert wird. Durch die Bestimmung (und Festsetzung) der Werte bei maximalem Schub können diese Einflüsse unabhängig vom jeweiligen Schub gemacht werden. Somit wirkt sich eine Änderung des Schubes nicht auf die Sollwerte w aus.

[0027] Die Bauteile im Kerntriebwerk 102 weisen dabei unterschiedliche Zeitkonstanten T in ihrem Verformungsverhalten (z.B. Ausdehnung in radialer Richtung) auf. Beanspruchungen auf Grund der Drehzahl wirken schneller auf die Bauteile als thermische Einflüsse, da der Wärmetransport langsamer ist. Bei einer Beschleunigung nehmen dünne Gehäuse 10 die thermischen Dehnungen schneller an als massive Rotorscheiben. In einigen Ausführungsformen kann eine schnelle Reaktion Zeitkonstanten von deutlich unterhalb von 60 Sekunden, insbesondere unterhalb von 30 Sekunden aufweisen.

[0028] Bei einem Verzögerungsvorgang unterliegen die Bauteile unterschiedlicher thermischer Trägheit, was zu einer schnellen Verkleinerung der Spaltgröße S führen kann. Dabei besteht dann die Gefahr des Anlaufens der Laufschaufelspitzen 13 an die Wandung des Gehäuses 10 oder des Liners 14, z.B. bei einer Wiederbeschleunigung bei noch heißen Rotorscheiben (hot re-slam). Somit liegt eine Überlagerung von unterschiedlichen mechanischen (z.B. drehzahlabhängigen) oder thermischen Dynamikeffekten vor; d.h. es gibt schnellere und langsamere Einflussgrößen.

[0029] Für eine effiziente Einstellung weist das System 1 die modellbasierte Stellvorrichtung M auf, deren Modell nur Einflussgrößen berücksichtigt, deren zeitabhängiges, Verformungsverhalten (z.B. mit Zeitkonstanten T_i) langsamer sind als das zeitabhängige Verformungsverhalten des Gehäuses 10 (z.B. mit der Zeitkonstanten $T_{\text{Gehäuse}}$) ist. Das Verformungsverhalten bezeichnet hier insbesondere das Dehnungsverhalten der Bauteile unter Belastung.

[0030] Damit dient das zeitabhängige, Verformungsverhalten des Gehäuses 10 als Referenz für die dynamischen Vorgänge, die im Modell M berücksichtigt oder eben auch nicht berücksichtigt werden.

[0031] In einer bestimmten Ausführungsform des Systems 1 mit der modellbasierten Stellvorrichtung M werden z.B. das thermale Verhalten der Turbinen-Rotorscheiben (d.h. das Material von der Welle bis zum Fuß der Laufschaufeln 15) und das thermale Verhalten des Gehäuses 10 berücksichtigt. Diese dynamischen Einflussgrößen sind vergleichsweise langsam. Schnellere Einflüsse, wie z.B. das thermale Verhalten der Laufschaufeln 15, der Einfluss der Zentrifugalkraft auf die Laufschaufeln 15 oder der Einfluss des Drucks auf das Gehäuse 10 werden von der modellbasierten Stellvorrichtung M nicht berücksichtigt.

[0032] Die in der modellbasierten Stellvorrichtung M wesentlichen thermalen Einflussgrößen für die Turbinen-Rotorscheiben und das Gehäuse 10 werden in geeigneter Form mathematischer Beziehungen (z.B. Differentialgleichung, Differenzgleichung, Übertragungsfunktion) in der modellbasierten Stellvorrichtung M gespeichert. Dabei ist es das Ziel, mit der Stellgröße y für das Kühlsystem 200 den besten Wert für die Spaltgröße S einzustellen.

[0033] Eine Möglichkeit für die Modellierung besteht darin, das zeitliche Verformungsverhalten, wie z.B. das dynamische Dehnungsverhalten $x_i(t)$ für ein Bauteil i durch Sprungfunktionen erster Ordnung zu approximieren:

$$x_i(t) = x_{i,\infty} + (x_i(0) - x_{i,\infty}) \left(e^{-\frac{t}{T_i}} \right)$$

[0034] Dabei können Klassen von Sprungantworten $x_i(t)$ für Bauteile mit schnellen und langsamen Dehnungsverhalten gebildet werden, wobei die Klasseneinteilung anhand der Zeitkonstanten T_i geschehen kann. Außerdem wird in dem Modell für die Sprungantwort noch eine Konstante $x_{i,\infty}$ für den stationären Wert des Dehnungsverhaltens verwendet.

[0035] Die Sprungfunktionen für alle Bauteile i (z.B. Laufschaufel 15, Segment mit Liner, Gehäuse 10, Rotorscheibe), deren Zeitkonstanten T_i oberhalb einer bestimmten Grenze liegen, werden für die modellbasierte Stellvorrichtung M verwendet.

[0036] Zusätzlich zu diesen langsamen Einflussgrößen können noch Werte (berechnet und / oder gemessen) für die Temperatur, den Druck, die Geschwindigkeit und / oder der Drehzahl bei der Bestimmung der Stellgröße y verwendet werden. In Fig. 3 wird dies durch eine zweite Modellkomponente M' dargestellt.

[0037] Eine modellbasierte Stellvorrichtung M, die sich auf die langsameren Einflussgrößen stützt, ist effizienter als ein Modell, das schnelle und langsame Einflussgrößen gemeinsam berücksichtigt. Die schnellen Änderungen in den Einflussgrößen können durch das Kühlsystem

200 in der Regel nicht schnell genug kompensiert werden, so dass die ausschließliche Berücksichtigung der langsameren Einflussgrößen zu einer ruhigeren Einstellung der Spaltgrößen führt. Die Stellgröße y wird nicht so starken Schwankungen unterworfen.

[0038] In Fig. 3 ist eine Steuerung ohne Rückkopplung dargestellt, d.h. die Werte für die Spaltgröße S (d.h. der Regelgröße) fließen nicht in die Bestimmung der Stellgröße y ein. Es ist aber durchaus auch möglich die Spaltgröße S direkt oder über davon abhängige Größen in die Bestimmung der Stellgröße y einzubeziehen, so dass ein Regelkreis mit Rückkopplung vorliegt. Die Spaltgröße S würde dann mit dem Sollwert w verknüpft werden.

[0039] In Fig. 4 ist das zeitabhängige Verhalten der unterschiedlichen Bauteile bei variierender Belastung in schematischer Weise dargestellt. Im oberen Teil ist das Band 20 dargestellt, in dem sich die innere Wandung des Gehäuses 10 bewegen kann. Im unteren Teil ist das Band 21 dargestellt, in dem sich die Rotorscheibe bewegen kann.

[0040] Die dicke durchgezogene Linie 22 stellt die radialen Änderungen an Laufschaufelspitze 13 dar, die relativ hochfrequent sind. Die tatsächliche Position der inneren Gehäusewandung 23 ist in Fig. 4 durch eine durchgezogene Linie dargestellt.

[0041] Bei minimaler Kühlung (Min TCC) nimmt die Wandung 23 des Gehäuses 10 radial eine weit außenstehende Position ein. Bei maximaler Kühlung (Max TCC) zieht sich das Gehäuse 10 relativ weit zusammen, so dass der Radius kleiner geworden ist. In diesem Fall würde der Rotor bei hoher Drehzahl in das Gehäuse eindringen und dieses beschädigen.

[0042] Damit es nicht zum Anlaufen der Laufschaufelspitze 13 in das Gehäuse 10 kommt, muss die Wandung des Gehäuses 10 so positioniert sein, dass die maximal mögliche Position der Laufschaufel 14 radial kleiner ist, als die Position des Gehäuses 10, in Fig. 4 die durchgezogene Linie 23.

[0043] Durch die in Zusammenhang mit Fig. 3 beschriebene modellbasierte Stellvorrichtung M werden die thermischen Ausdehnungen der Rotorscheibe und des Gehäuses 10 gemeinsam berücksichtigt; in einer Ausführungsform auch genau nur diese.

[0044] In Fig. 5 sind die Ausdehnungen der unterschiedlichen Bauteile für zwei unterschiedliche Lastfälle in schematischer Weise dargestellt. Es geht dabei jeweils um die Ausfüllung der Spaltgröße im kalten Zustand Sk .

[0045] Im linken Teil der Fig. 5 sind in zwei Balken die Dehnungsanteile der Bauteile dargestellt, die bei maximaler Leistung, aber jeweils unterschiedlicher Kühlung auftreten.

[0046] Das linke Balkendiagramm zeigt den thermischen Dehnungsanteil der Rotorscheibe D und den Anteil der Zentrifugalkraft CF bei abgeschalteter Kühlung (0%). Dies bedeutet, dass das Gehäuse 10 keinen nennenswerten Anteil an der Spaltschließung hat.

[0047] Wird die Kühlung von 0% auf 40% erhöht, was im mittleren Balkendiagramm dargestellt ist, so wirkt sich

die Verformung C des Gehäuses 10 auf die Spaltschließung aus. Somit setzt sich die Schließung aus drei Anteilen zusammen, nämlich den beiden relativ langsamen thermische Anteilen der Rotorscheibe D, des Gehäuses C und dem schnellen Anteil CF. Die langsamen Anteile finden Eingang in den modellbasierten Regler M.

[0048] Der Rest der Spaltschließung bei maximaler Leistung und 40% Kühlung fast dann die schnellen Anteile Sm zusammen. Dieser Betrag kann einmal ermittelt werden und kann dann immer wieder verwendet werden, wie dies im Rahmen der Sollwertvorgabe in der oben beschriebenen (siehe Fig. 3) Ausführungsform der Fall ist.

[0049] Das rechte Balkendiagramm zeigt den Fall mittlerer Leistungsaufnahme, aber höherer Kühlung (60%). Die langsameren Anteile der Spaltschließung, d.h. der Anteil D der Rotorscheibe und der Anteil C der Gehäusedehnung entsprechen in der Summe den beiden Anteilen bei maximaler Leistung, aber geringerer Kühlung im mittleren Balkendiagramm.

[0050] Der Anteil CF der zentrifugalen Dehnung ist kleiner, da die Drehzahlen bei mittlerer Leistung geringer ist. Wenn die Sollwertberechnung mittels der schnellen Dehnungsanteile bei maximalem Schub erfolgt (mittleres Balkendiagramm), so bleibt im rechten Balkendiagramm eine kleine Lücke, die als Sicherheitsabstand notwendig ist, wenn von mittlerer Leistung auf maximale Leistung umgeschaltet wird. Dies zeigt, dass die Sollwertbestimmung im Sinne der Fig. 3 sinnvoll ist.

Bezugszeichenliste

[0051]

1	System für die aktive Einstellung einer radialen Spaltgröße	
10	Gehäuse	
11	Kompressorstufe	
12	Turbinenstufe	
13	Schaufelspitzen	
14	Einlaufvorrichtung, Liner	
15	Laufschaufel	
20	Band der Gehäusepositionen	
21	Band der Schaufelspitzenposition	
22	Tatsächliche Schaufelspitzenposition	
23	Tatsächliche Gehäuseposition	
100	Flugzeugtriebwerk	
101	Nebenstromkanal	
102	Kerntriebwerk	
103	Brennkammer	
200	Kühlsystem	
201	Ventil	
C	thermischer Dehnungsanteil Gehäuse auf Grund	

von Kühlung

CF	Dehnungsanteil auf Grund von Zentrifugalkräften
D	thermischer Dehnungsanteil der Rotorscheibe
L	einströmende Luft
5 K	einströmende Kühlluft
M	modellbasierte Stellvorrichtung
S	Spaltgröße, radial (Einstellgröße, Regelgröße)
Sk	Spaltgröße im kalten Zustand
Sm	Spaltanteil bei maximalem Schub
10 T	Zeitkonstante
w	Sollwert
y	Stellgröße

15 Patentansprüche

1. System für die aktive Einstellung einer radialen Spaltgröße (S) zwischen einer Schaufelspitze (13) mindestens einer Kompressorstufe (11) und / oder mindestens einer Turbinenstufe (12) eines Flugzeugtriebwerks (100) und einem Gehäuse (10), das die mindestens eine Kompressorstufe (11) und / oder mindestens eine Turbinenstufe (12) umgibt, **gekennzeichnet durch**

a) eine modellbasierte Stellvorrichtung (M), wobei die zeitabhängige Spaltgröße (S) **durch** die modellbasierte Stellvorrichtung (M) approximierbar ist und bei der nur Einflussgrößen berücksichtigt werden, deren zeitabhängiges Verformungsverhalten gleich oder langsamer ist als das zeitabhängige Verformungsverhalten des Gehäuses (10), wobei

b) als Sollwert (w) die Spaltgröße im kalten Zustand (Sk) dient, diese verringert um mindestens einen vorabgespeicherten Wert eines Spaltanteils (Sm) bestimmt bei maximalem Schub des Flugzeugtriebwerks (100), und

c) **durch** die modellbasierte Stellvorrichtung (M) eine Stellgröße (y) für ein Kühlungssystem (200) des Gehäuses (10) ermittelbar ist.

2. System nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die modellbasierte Stellvorrichtung (M) für die Einflussgrößen eine Beziehung für das thermische Verhalten mindestens einer Rotorscheibe einer Kompressorstufe (11) und / oder Turbinenstufe (12) und eine Beziehung für das thermische Verhalten des Gehäuses (10) umfasst.

3. System nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die modellbasierte Stellvorrichtung (M) für die Einflussgrößen nur Beziehungen für das thermische Verhalten mindestens einer Rotorscheibe einer Kompressorstufe (11) und / oder Turbinenstufe (12) und das thermische Verhalten des Gehäuses (10) umfasst.

4. System nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die modellbasierte Stellvorrichtung (M) das dynamische Verformungsverhalten von Bauteilen durch Sprungantworten erster Ordnung abbildet. 5
5. System nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sollwert (w) der Spaltgröße (S) ausschließlich aus Werten ermittelbar ist, die unabhängig vom aktuellen Schubzustand des Flugzeugtriebwerks (100) sind. 10
6. System nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Spaltanteil (Sm) bestimmt bei maximalen Schub in Abhängigkeit des thermischen Verhaltens einer Schaufel, des Verformungsverhaltens eines Rotors, des thermischen Verhaltens einer Einlaufvorrichtung und / oder des druckabhängigen Verhaltens des Gehäuses (10) ermittelt wird. 15
20
7. System nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gehäuse (10) mindestens eine Einlaufvorrichtung, insbesondere einen Liner (14) oder ein Segment mit einem Liner aufweist. 25
8. System nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** berechnete und / oder gemessene Werte für die Temperatur, den Druck, die Geschwindigkeit und / oder die Drehzahl bei der Bestimmung der Spaltgröße (y) verwendet werden. 30
35
9. System nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spaltgröße (S) bei den Eingangsgrößen der modellbasierten Stellvorrichtung (M) berücksichtigt wird. 40
10. Flugzeugtriebwerk mit mindestens einem System nach den Ansprüchen 1 bis 9. 45

45

50

55

FIG 1

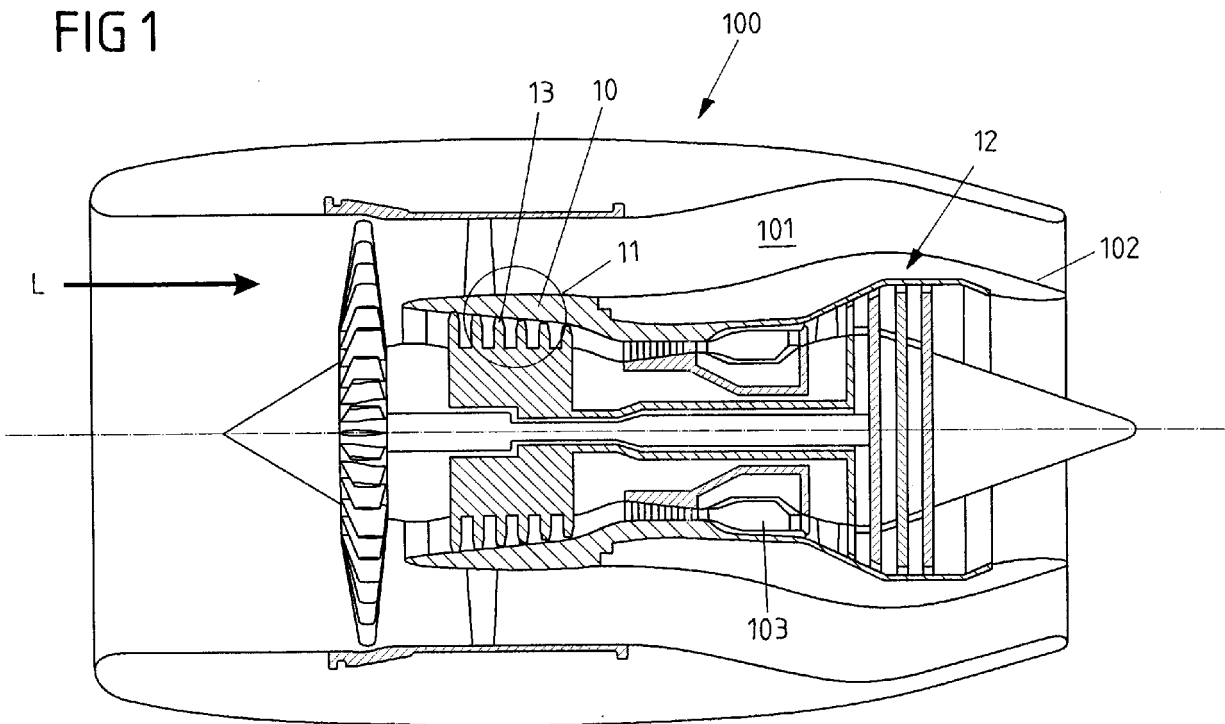


FIG 2

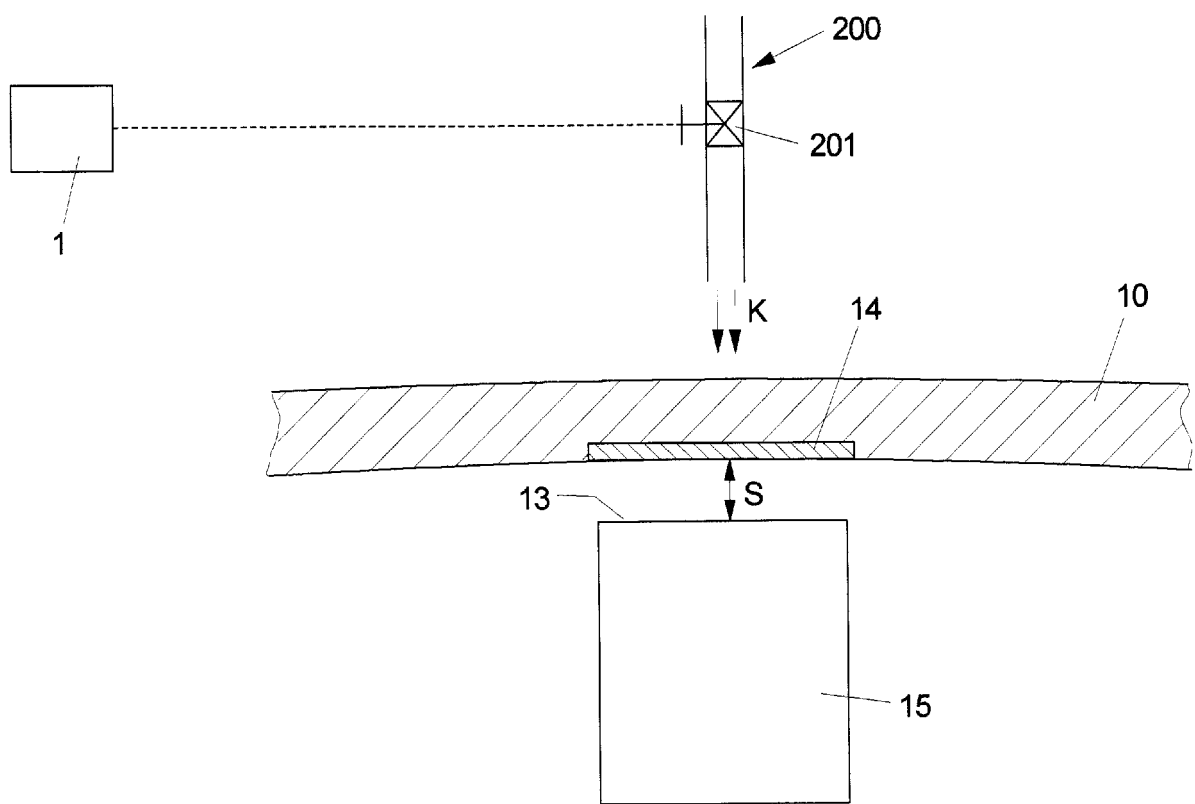


FIG 3

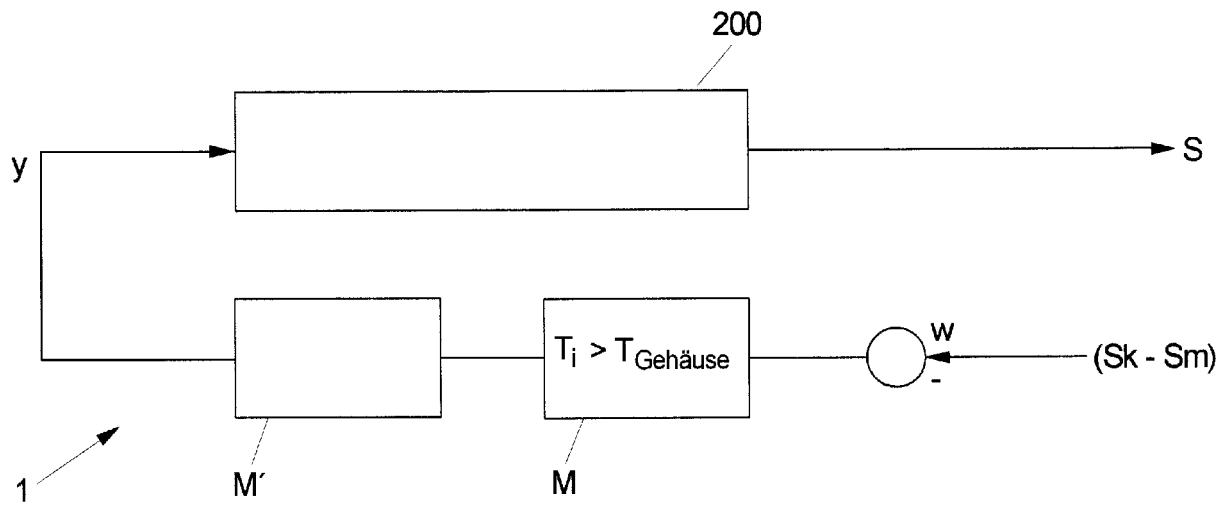


FIG 4

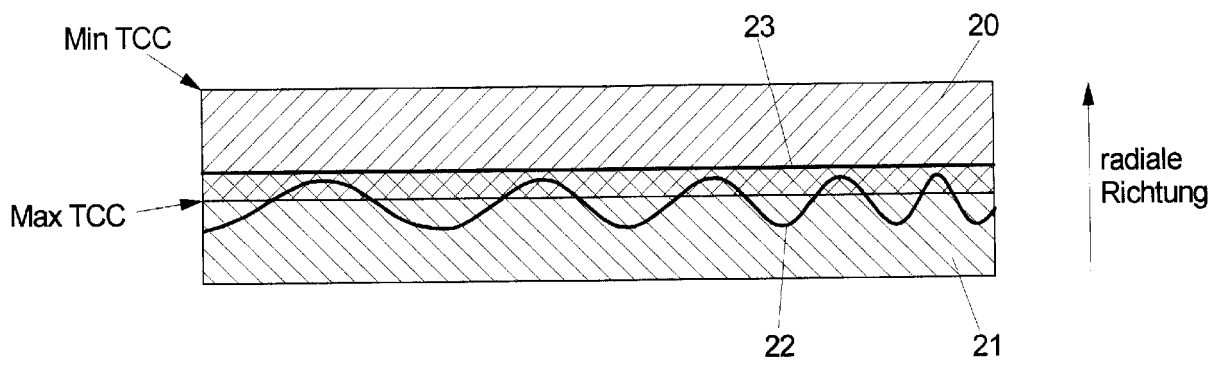
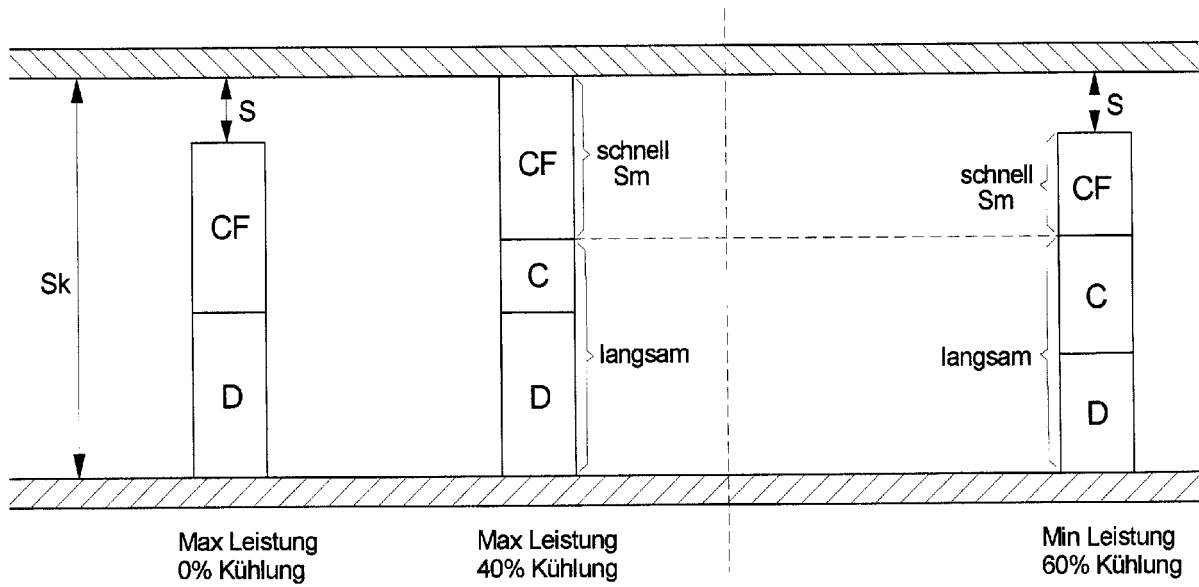


FIG 5





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 16 18 3854

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A,D	GB 2 417 762 A (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 8. März 2006 (2006-03-08) * Seite 1, Zeile 31 - Seite 2, Zeile 9 * * Seite 3, Zeile 12 - Seite 4, Zeile 11 * * Abbildungen 1,2 * * Ansprüche 1,9 *	1-10	INV. F01D11/24 F01D11/20 F01D11/14 F02C6/08
A	EP 2 824 283 A2 (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 14. Januar 2015 (2015-01-14) * Zusammenfassung * * Absätze [0001], [0002]; Ansprüche 1,3 *	1-10	
A	EP 2 604 806 A2 (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 19. Juni 2013 (2013-06-19) * Absatz [0016] - Absatz [0022] *	1-10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D F02C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 13. Dezember 2016	Prüfer Klados, Iason
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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 16 18 3854

5 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.

13-12-2016

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 2417762 A	08-03-2006	GB 2417762 A US 2006051197 A1	08-03-2006 09-03-2006
EP 2824283 A2	14-01-2015	EP 2824283 A2 GB 2516048 A US 2015016949 A1	14-01-2015 14-01-2015 15-01-2015
EP 2604806 A2	19-06-2013	EP 2604806 A2 US 2013152601 A1	19-06-2013 20-06-2013

EPO FORM P0461

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

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

- GB 2417762 A [0002]