

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 701 015 A2

(51) Int. Cl.: F02C 7/00 (2006.01)
F01D 25/00 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 00719/10

(22) Anmeldedatum: 10.05.2010

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.11.2010

(30) Priorität: 14.05.2009 US 12/466,184

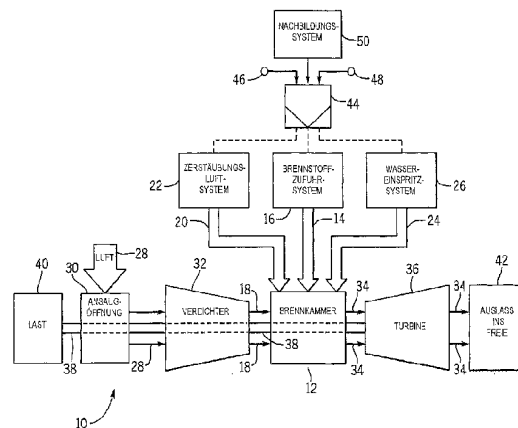
(71) Anmelder:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:
Kevin Weston McMahan,
Greer, South Carolina 29650 (US)
Mark Allan Hadley, Greenville, South Carolina 29650 (US)
Geoffrey David Myers,
Simpsonville, South Carolina 29681 (US)
Sam D. Draper, Simpsonville, South Carolina 29681 (US)

(74) Vertreter:
R. A. Egli & Co. Patentanwälte, Horneggstrasse 4
8008 Zürich (CH)

(54) Verfahren und Systeme zur Erzeugung von dynamischen Verbrennungsvorgängen um Ablagerungen in einem Gasturbinentriebwerk zu entfernen.

(57) Geschaffen sind Verfahren (84) und Systeme zum Induzieren von Verbrennungsdynamik in Turbinentriebwerken, um Verbrennungsablagerungen (78) in dem Turbinentriebwerk (10) während des Betriebes des Turbinentriebwerks (10) zu entfernen.



Beschreibung

Hintergrund zu der Erfindung

[0001] Die im Vorliegenden offenbarte Erfindung betrifft ein Induzieren von Verbrennungsdynamik; und speziell ein Induzieren von Verbrennungsdynamik, um Asche in Gasturbinentriebwerken zu entfernen.

[0002] Im Allgemeinen verbrennen Gasturbinentriebwerke ein Gemisch verdichteter Luft und Brennstoff, um heisse Verbrennungsgase hervorzubringen. Die Verbrennungsgase können durch ein oder mehrere Turbinenstufen strömen, um Leistung -für eine Last und/oder einen Verdichter zu erzeugen. Nachdem die Nachfrage nach Energie gestiegen ist, haben Betreiber und Hersteller von Gasturbinen zunehmend die Verwendung von Schwerölen in Gasturbinen erforscht. Allerdings kann die Verbrennung von Schweröl Asche hervorbringen, die sich auf Komponenten der Gasturbinen ablagern kann.

Kurzbeschreibung der Erfindung

[0003] Im Folgenden sind spezielle Ausführungsbeispiele gemäss dem Gegenstand der ursprünglich vorliegenden Erfindung zusammenfassend beschrieben. Diese Ausführungsbeispiele sollen den Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung nicht begrenzen, vielmehr sollen diese Ausführungsbeispiele lediglich eine Kurzbeschreibung möglicher Ausprägungen der Erfindung unterbreiten. In der Tat kann die Erfindung vielfältige Ausprägungen abdecken, die den nachstehend dargestellten Ausführungsbeispielen ähneln oder sich von diesen unterscheiden können.

[0004] In einem ersten Ausführungsbeispiel gehören zu einem Verfahren die Schritte: Messen eines ersten Parameters eines Turbinentriebwerks, Regulieren eines zweiten Parameters des Turbinentriebwerks, um eine Verbrennungsdynamik zu steigern, um Ablagerungen in dem Turbinentriebwerk in Reaktion auf die Messung des ersten Parameters wenigstens teilweise zu entfernen, und Regulieren des zweiten Parameters des Turbinentriebwerks, um die Verbrennungsdynamik nach der Entfernung der Ablagerungen zu verringern.

[0005] In einem zweiten Ausführungsbeispiel gehören zu einem System: eine Turbinentriebwerkssteuereinrichtung, die dazu eingerichtet ist, Verbrennungsinstabilitäten vorübergehend zu steigern, um während des Betriebes Verbrennungslagerungen in dem Turbinentriebwerk des Turbinentriebwerks zu entfernen.

[0006] In einem dritten Ausführungsbeispiel gehören zu einem System: ein Turbinentriebwerk, eine Brennkammer und eine Brennstoffdüse. Die Brennstoffdüse ist dazu eingerichtet, mehrere Fluide in die Brennkammer einzubringen. Die Fluide beinhalten Brennstoff, Zerstäubungsluft, Wasser, oder eine Kombination davon. Das Turbinentriebwerk ist dazu eingerichtet, die Ströme der Fluide einzustellen, um die Verbrennungsdynamik vorübergehend zu steigern, um während des Betriebes Ablagerungen in dem Turbinentriebwerk des Turbinentriebwerks zu entfernen.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0007] Diese und weitere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden nach dem Lesen der nachfolgenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen verständlicher, in denen ähnliche Teile durchgängig mit ähnlichen Bezugszeichen versehen sind:

- Fig. 1 zeigt ein schematisches Flussdiagramm eines Ausführungsbeispiels einer Gasturbine mit einer Steuereinrichtung, die dazu dient, eine Verbrennungsdynamik zu induzieren, um Asche zu entfernen;
- Fig. 2 zeigt in einem Längsschnitt ein Ausführungsbeispiel der Gasturbine von Fig. 1, geschnitten durch die Längsachse;
- Fig. 3 zeigt eine partielle Schnittansicht eines Ausführungsbeispiels der in Fig. 2 gezeigten Brennkammer;
- Fig. 4 zeigt eine detaillierte Ansicht eines Abschnitts eines Ausführungsbeispiels des in Fig. 3 gezeigten Leitapparats der Stufe Eins; und
- Fig. 5 veranschaulicht in einem Flussdiagramm ein Verfahren zum Induzieren von Verbrennungsdynamik, um Asche zu entfernen.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0008] Nachfolgend werden ein oder mehrere spezielle Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung beschrieben. In dem Bemühen, eine kurzgefasste Beschreibung dieser Ausführungsbeispiele vorzulegen, sind möglicherweise nicht sämtliche Ausstattungsmerkmale einer tatsächlichen Verwirklichung in der Beschreibung aufgeführt. Es sollte aber klar sein, dass bei der Entwicklung einer jeden solchen Verwirklichung, wie in jedem technischen oder konstruktiven Projekt, zahlreiche für eine Verwirklichung spezifische Entscheidungen zu treffen sind, um spezielle Ziele der Entwickler zu erreichen, z.B. Konformität mit systembezogenen und wirtschaftlichen Beschränkungen, die von einer Verwirklichung zur anderen unterschiedlich sein können. Darüber hinaus sollte es klar sein, dass eine solche Entwicklungsbemühung kom-

plex und zeitraubend sein könnte, jedoch nichtsdestoweniger für den Fachmann, der über den Vorteil dieser Offenbarung verfügt, eine Routinemassnahme der Entwicklung, Fertigung und Herstellung bedeuten würde.

[0009] Wenn Elemente vielfältiger Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung eingeführt werden, sollen die unbestimmten und bestimmten Artikel «ein» «eine», bzw. «der, die, das» usw. das Vorhandensein von mehr als einem Element einschliessen. Die Begriffe «umfassen», «enthalten» und «aufweisen» sind als einschliessend zu verstehen und bedeuten, dass möglicherweise zusätzliche Elemente vorhanden sind, die sich von den aufgelisteten Elementen unterscheiden.

[0010] Die vorliegende Offenbarung betrifft Gasturbinentriebwerke, die dazu eingerichtet sind, eine Verbrennungsdynamik zu induzieren, um Ablagerungen, z.B. Asche, zu entfernen. Im Allgemeinen können sich insbesondere während der Verbrennung schwerer Dieselöle Aschepartikel auf Gasturbinenkomponenten, z.B. Leitschaufeln und Turbinenschaufeln des Leitapparats der ersten Stufe ablagern. Eine Ansammlung von Asche in der Gasturbine kann den Strömungspfad für die Verbrennungsgase verändern, was wiederum die Leistung und/oder den Wirkungsgrad der Gasturbine beeinträchtigen kann. Wie nachstehend erläutert, können spezielle Ausführungsbeispiele der im Vorliegenden offenbarten Gasturbinentriebwerke Steuereinrichtungen zum Induzieren von Verbrennungsdynamik einsetzen, um Asche zu entfernen, anstatt eine Turbinenspülung durchzuführen, die im Ergebnis eine Leistungsminderung oder ein Herunterfahren des Triebwerks bedeuten und ausserdem den Einsatz zusätzlicher Hardwarekomponenten erfordern könnte.

[0011] Dementsprechend sind Gasturbinentriebwerke in vorliegenden Ausführungsbeispielen dazu eingerichtet, eine Verbrennungsdynamik zu induzieren, um Asche mittels Schall zu entfernen. Die induzierte Verbrennungsdynamik kann im Allgemeinen ein Induzieren und/oder ein Steigern von Druckschwingungen in den Gasturbinen beinhalten. Die Verbrennungsdynamik kann es ermöglichen, Asche zu entfernen, während das Gasturbinentriebwerk im Wesentlichen mit voller Leistung arbeitet. Gemäss Ausführungsbeispielen kann die Verbrennungsdynamik auf der Grundlage von Zeit, gemessenen Parametern, Modellparametern oder Kombinationen davon induziert und/oder gesteuert/geregt werden. In speziellen Ausführungsbeispielen kann ein Gasturbinentriebwerk eine Steuereinrichtung enthalten, die eine Ascheansammlung auf der Grundlage von Parametern erfasst, die von Sensoren und/oder von Nachbildungssystemen des Gasturbinentriebwerks her aufgenommen wurden. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung Druckwerte von Staudrucksensoren empfangen, die darauf eingerichtet sind, Drücke in der Brennkammer oder stromabwärts davon zu erfassen. Die Druckwerte können eine auf Ascheansammlung zurückzuführende Verringerung der Turbinenleistung kennzeichnen. In speziellen Ausführungsbeispielen kann das Gasturbinentriebwerk ein Echtzeitchbildungssystem umfassen, das Parameter von den Sensoren entgegennimmt. Das Nachbildungssystem kann die erfassten Parameter nutzen, um Systemnachbildungsparameter zu berechnen, z.B. Modellkomponentenmultiplikatoren, die die Leistung der Gasturbine vorherberechnen. Zusätzlich zu oder anstelle der erfassten Parameter kann die Steuereinrichtung die Nachbildungsparameter nutzen, um zu ermitteln, wenn sich Asche in der Gasturbine angesammelt hat.

[0012] Die Steuereinrichtung kann in diesem Fall Betriebsparameter der Gasturbine einstellen, um Verbrennungsdynamik zu induzieren, um Asche zu entfernen. Beispielsweise können die Verbrennungsinstabilitäten dynamische Druckschwingungen in der Brennkammer beinhalten, die Ascheablagerungen von Turbinentriebwerkskomponenten durch Erschütterung lockern. Gemäss Ausführungsbeispielen kann die Steuereinrichtung einen Strom von Fluiden, die in die Brennkammer eintreten, einstellen, um eine Verbrennungsdynamik zu induzieren. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung eine Strömungsrate, einen Druck, eine Temperatur oder Pulsfrequenz eines oder mehrerer in die Brennkammer eintretender Fluide, z.B. Luft, Brennstoff, Wasser, Verdünnungsmittel, oder dgl., steigern oder verringern. In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann die Steuereinrichtung ein Verhältnis der in die Brennkammer eintretenden Fluide vergrössern oder verkleinern. In einem speziellen Beispiel kann die Steuereinrichtung die von einem Wassereinspritzsystem ausgegebene Wasserstromrate erhöhen, um das in die Brennkammer eingebrachte Verhältnis von Wasser zu Brennstoff zu vergrössern. In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann die Steuereinrichtung den Druck von Zerstäubungsluft einstellen, um den Brennstoffeinspritzsprühwinkel zu verändern. In noch einem Ausführungsbeispiel kann die Steuereinrichtung dem Brennstoff mit einer Frequenz pulsen, die geeignet ist, eine Verbrennungsdynamik zu induzieren.

[0013] Indem nun auf die Zeichnungen eingegangen und zunächst auf Fig. 1 Bezug genommen wird, ist ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer Gasturbine 10 veranschaulicht. Das Gasturbinentriebwerk 10 kann Teil eines einfachen Gasturbinensystems oder eines kombinierten Zyklen verwendenden Systems sein. Das Gasturbinentriebwerk 10 enthält eine Brennkammeranordnung 12, die Brennstoff 14 von einem Brennstoffzufuhrsystem 16 aufnimmt. Das Brennstoffzufuhrsystem 16 kann der Gasturbine 10 einen flüssigen oder gasförmigen Brennstoff 14 zuführen, z.B. Erdgas, leichtes oder schweres Distillatöl, Schwerbenzin, Rohöl, Altöl oder Syngas. In speziellen Ausführungsbeispielen kann das Brennstoffzufuhrsystem 16 für Zwei-brennstoffbetrieb eingerichtet sein, um wahlweise zwischen einem flüssigen und einem gasförmigen Brennstoff umzuschalten, während das Gasturbinentriebwerk 10 mit einer Last betrieben wird. Der gasförmige Brennstoff und der Flüssigbrennstoff können (z.B. über die Brennstoffdüse) zu zwei gesonderten Flüssigkeits- und Gaskanälen in der Brennkammeranordnung 12 gelenkt werden. Das Induzieren von Verbrennungsdynamik kann besonders geeignet sein, wenn die Gasturbine mit Flüssigbrennstoff oder auf Kombinationen von flüssigem und gasförmigem Brennstoff betrieben wird.

[0014] In der Brennkammer 12 kann sich der Brennstoff 14 mit verdichteter Luft, gezeigt durch Pfeil 18, vermischen, und es kann eine Zündung erfolgen, wobei heisse Verbrennungsgase entstehen, die das Gasturbinentriebwerk 10 antreiben. Zusätzlich zu der Aufnahme verdichteter Luft 18 kann die Brennkammeranordnung 12 von einem Zerstäubungsluftsystem 22 Zerstäubungsluft 20 aufnehmen. Das Zerstäubungsluftsystem 22 kann einen Teil der verdichteten Luft 18 und/oder Luft

aus einem gesonderten Luftvorrat verarbeiten. Beispielsweise kann das Zerstäubungsluftsystem 22 einen kleinen Teil der verdichteten Luft 18 verdichten und kühlen, um die Zerstäubungsluft 20 hervorzubringen. Das Zerstäubungsluftsystem 22 kann die Zerstäubungsluft 20 anschliessend zu der Brennkammeranordnung 12 lenken, wo die Zerstäubungsluft 20 den in die Brennkammer 12 eintretenden Brennstoff 14 zerstäuben kann. In speziellen Ausführungsbeispielen kann die Zerstäubungsluft 20 dazu eingerichtet sein, einen feinen Sprühstrahl von Flüssigbrennstoff 14 hervorzubringen, der in die Brennkammer 12 eintritt.

[0015] Die Brennkammeranordnung 12 kann auch Wasser 24 (oder Dampf) von einem Wassereinspritzsystem 26 aufnehmen. In dem hier verwendeten Sinne kann der Begriff «Wassereinspritzsystem» allgemein ein Wasser- oder Dampfeinspritzsystem beinhalten, das dazu eingerichtet ist, der Brennkammer 12 Wasser, Dampf oder Kombinationen davon zu liefern. Das Wassereinspritzsystem 26 kann den Wasserstrom 24 von einer Wasservorratsquelle zu der Brennkammer 12 regeln/steuern. Das Wassereinspritzsystem 26 kann eine integral aufgebaute Einheit, z.B. eine Ausrüstungsschiene beinhalten, auf der die Ausrüstung, z.B. Pumpen, Strömungsmesseinrichtungen, Ventile, Verrohrung, Druckschalter, Antrieb/Motoren, und dergleichen angeordnet sind, die dazu dienen, den Wasserstrom 24 zu der Brennkammer 12 zu regeln/steuern. In speziellen Ausführungsbeispielen kann das Wassereinspritzsystem 22 das Wasser 24 zu der Brennkammer 12 liefern, um Emissionen von Verbindungen, beispielsweise Stickoxiden (NO_x) oder Kohlendioxid usw., zu verringern. Das Wassereinspritzsystem 22 kann der Brennkammer 12 in weiteren Ausführungsbeispielen Wasser und/oder Verdünnungsmittel, beispielsweise Dampf, Wasser oder Kohlendioxid usw., zuführen, um Emissionen zu verringern, und/oder um die Turbinenleistung zu verbessern.

[0016] In der Brennkammer 12 kann die verdichtete Luft 18 mit dem Brennstoff 14 verbrennen, um heisse Verbrennungsgase 40 hervorzubringen. Die verdichtete Luft 18 kann Ansaugluft 28 beinhalten, die durch einen Luftansaugabschnitt 30 in das Gasturbinensystem 10 eintritt. Die Ansaugluft 28 kann durch einen Verdichter 32 verdichtet werden, um die verdichtete Luft 18 hervorzubringen, die in die Brennkammer 12 eintritt. In speziellen Ausführungsbeispielen können eine oder mehrere Brennstoffdüsen den Brennstoff 14, die Zerstäubungsluft 20 und das Wasser 24 in die Verbrennungszone der Brennkammer 12 lenken. In der Verbrennungszone kann die verdichtete Luft 18 mit dem Brennstoff 14 verbrennen, um die heissen Verbrennungsgase 34 hervorzubringen. Von der Brennkammer 12 ausgehend können die heissen Verbrennungsgase 34 durch eine Turbine 36 strömen, die den Verdichter 32 über eine Welle 38 antreibt. Beispielsweise können die Verbrennungsgase 34 auf in der Turbine 36 angeordnete Turbinenlaufschaufeln Antriebskräfte ausüben, um die Welle 38 drehend anzutreiben. Die Welle 28 kann ferner mit einer Last 40, beispielsweise einem Generator, einer Schiffsschraube, einem Getriebe oder einem Antriebssystem, verbunden sein. Die heissen Verbrennungsgase 34 können, nachdem sie die Turbine 36 durchströmt haben, das Gasturbinensystem 10 durch einen Auslassabschnitt 42 ins Freie verlassen.

[0017] Während der Verbrennung kann die Brennkammeranordnung 12 zu Verbrennungsinstabilitäten oder zu Verbrennungsdynamik, z.B. Druckschwingungen, neigen. Während eines Dauerbetrieb kann die Verbrennungsdynamik normalerweise gering gehalten werden, um Metallteile während einer Langzeitbelastung vor zyklischer Spannung zu bewahren, die durch die Dynamik hervorgerufen wird. Während der Verbrennung gewisser Brennstoffe, z.B. schwerer Diesellole, können Verbrennungsinstabilitäten jedoch für verhältnismässig kurze Zeitspannen gesteigert und/oder induziert werden, um Asche von Komponenten der Gasturbine 10 mittels Schall zu entfernen. Beispielsweise kann Verbrennungsdynamik genutzt werden, um Druckänderungen zu steigern, so dass Ablagerungen in der Brennkammeranordnung 12 oder in Komponenten der Turbine 36, beispielsweise an einem Turbinenleitapparat, einer Turbinenschaufel oder einer Turbinenhaube, durch Erschütterung gelockert werden.

[0018] Das Gasturbinenriebwerk 10 enthält eine Steuereinrichtung 44, die dazu eingerichtet sein kann, auf der Grundlage von Zeit, gemessenen Parametern, modellierten Parametern oder Kombinationen davon eine Verbrennungsdynamik zu induzieren oder zu steigern. Die Steuereinrichtung 44 kann geeignet mit Fluidzufuhrleitungen oder Systemen, z.B. dem Brennstoffzufuhrsystem 16, dem Zerstäubungsluftsystem 22 und/oder dem Wassereinspritzsystem 26, verbunden sein, um Parameter von Fluiden, z.B. Brennstoff 14, Luft 20 und/oder Wasser 24, zu variieren, die in die Brennkammer 12 eintreten. Insbesondere kann die Steuereinrichtung 44 Fluidparameter, z.B. Strömungsrate, Pulsfrequenz, Verhältnis, Druck, Temperatur, oder dgl., variieren, um eine Verbrennungsdynamik zu induzieren. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 44 den in die Brennkammer 12 eintretenden Brennstoff 14 pulsen, um eine Verbrennungsdynamik zu induzieren. In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann die Steuereinrichtung 44 den Druck der Zerstäubungsluft 20 verändern, um eine Verbrennungsdynamik zu induzieren. In noch einem Ausführungsbeispiel kann die Steuereinrichtung 44 die in die Brennkammer 12 eintretende Menge von Wasser 24 steigern, um eine Verbrennungsdynamik zu induzieren. Darüber hinaus kann die Steuereinrichtung 44 in speziellen Ausführungsbeispielen Parameter für ein Fluid oder für Kombinationen von zwei oder mehr Fluiden variieren. Die Steuereinrichtung 44 kann den Betrieb von Ventilen oder sonstigen Steuervorrichtungen innerhalb, stromaufwärts oder stromabwärts des Brennstoffzufuhrsystems 16, des Zerstäubungsluft-Systems 22 und/oder des Wassereinspritzsystems 26 steuern. Beispielsweise können die Ventile innerhalb der Systeme 16, 22 und 26 angeordnet sein, oder die Ventile können beispielsweise als Teil einer Brennstoffdüse in der Brennkammeranordnung 12 angeordnet sein.

[0019] Die Steuereinrichtung 44 kann Parameter des Brennstoffs 14, der Luft 20 und/oder des Wassers 24 basierend auf Eingangssignalen, die von Sensoren 46 und 48 und/oder von einem Nachbildungssystem 50 her aufgenommen werden, variieren. Insbesondere können ein oder mehrere Sensoren 46 Parameter der Gasturbine 10 erfassen, um zu bestimmen, wann Verbrennungsdynamik induziert werden sollte, um Asche zu entfernen. Beispielsweise kann der Sensor 46 einen

Drucksensor beinhalten, der in der Brennkammeranordnung 12 oder stromabwärts der Brennkammer 12 angeordnet ist. Auf die Aufnahme eines Druckwerts von dem Sensor 46 hin kann die Steuereinrichtung 44 ermitteln, ob der Druckwert in einen Bereich fällt oder einen Schwellwert überschreitet, der anzeigt, dass eine Entfernung von Asche durchgeführt werden sollte. Falls der Druckwert innerhalb des Bereichs fällt, kann die Steuereinrichtung 44 Verbrennungsdynamik induzieren. In weiteren Ausführungsbeispielen kann der Sensor 46 dazu eingerichtet sein, einen oder mehrere beliebige Parameter der Gasturbine 10 zu messen, die Ascheansammlung anzeigen können. Beispielsweise kann der Sensor 46 unter anderem einen Strömungssensor, Flammendetektor-sensor, Feuchtigkeitssensor, Emissionsdetektor, Leistungsabgabesensor, Leitschaufelwinkelsensor, Ventilstellungssensor, Temperatursensor oder Kombinationen davon beinhalten. Darüber hinaus kann in anderen Ausführungsbeispielen auf einen Sensor 46 verzichtet werden, und die Steuereinrichtung 44 kann den Betrieb betreffende Eingabesignale, z.B. Betriebsstunden, Leistungsanforderung, Wirkungsgrad oder dgl., von einem mit der Gasturbine 10 verbundenen Computer und/oder Steuerungssystem aufnehmen. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 44 nach dem Ablauf einer gewissen Anzahl von Betriebsstunden Verbrennungsdynamik induzieren.

[0020] Die Steuereinrichtung 44 kann ausserdem gemessene Parameter von einem oder mehreren Sensoren 48 aufnehmen, um die Art und Weise der Induzierung von Verbrennungsdynamik zu bestimmen. Beispielsweise kann der Sensor 48 Druckschwingungen in der Brennkammeranordnung 12 erfassen. Insbesondere kann der Sensor 48 beispielsweise Parameter wie Schwingungen, Flammentemperatur, Brennkammerdrücke oder stromabwärts herrschende Drücke erfassen. Auf der Grundlage der von dem Sensor 48 ausgegebenen Messwerte kann die Steuereinrichtung einen Betrag bestimmen, um den ein Parameter (d.h. die Strömungsrate, die Pulsfrequenz oder der Druck) der in die Brennkammer 12 eintretenden Fluide 14, 20 und 24 zu ändern ist. Der Sensor 48 kann dazu eingerichtet sein, einen oder mehrere beliebige geeignete Parameter der Gasturbine 10 zu messen, die mit der Verbrennungsdynamik in Beziehung stehen. Beispielsweise kann der Sensor 48 unter anderem einen Drucksensor, einen Beschleunigungsmesser, einen Lichtverstärker, eine Fotodiode, einen Druckmesswandler, ein Mikrofon, einen Flammendetektor, einen Temperatursensor oder Kombinationen davon beinhalten.

[0021] In speziellen Ausführungsbeispielen wird ausser dem Sensor 46 möglicherweise kein gesonderter Sensor 48 verwendet.

[0022] Beispielsweise können in speziellen Ausführungsbeispielen ein oder mehrere Sensoren 46 Parameter erfassen, um sowohl die Art und Weise als auch den Zeitpunkt der Induzierung von Verbrennungsdynamik zu bestimmen. In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann die Steuereinrichtung 44 Modelle, Tabellen, oder dgl. verwenden, um die Art und Weise der Induzierung der Verbrennungsdynamik zu ermitteln. In diesen Ausführungsbeispielen ist der Sensor 48 möglicherweise nicht enthalten.

[0023] Die Steuereinrichtung 44 kann ausserdem von dem Sensor 46 erfasste Parameter verwenden, um zu bestimmen, wann das Induzieren von Verbrennungsdynamik zu beenden ist. Wenn der Sensor 46 beispielsweise einen Wert des Drucks, Schwingungspegels, einer Flammentemperatur oder sonstiger Parameter an die Steuereinrichtung 44 ausgibt, der ausserhalb eines Wertebereichs oder Schwellwerts für die Entfernung von Asche fällt, kann die Steuereinrichtung 44 die Parameter der Fluide 14, 20 und 24 wieder auf Werte zurücksetzen, die geeignet bemessen sind, um die Verbrennungsdynamik zu reduzieren. In speziellen Ausführungsbeispielen können die von dem Sensor 46 gelieferten Messwerte anzeigen, wenn von Komponenten der Gasturbine 10 ausreichend Asche entfernt wurde, um den Betrieb der Gasturbine bei einem bestimmten Leistungspegel wiederherzustellen. D.h., unter anderem durch den Sensor 46 gemessenen Parameter, z.B. Druckwerte, Temperaturen oder Kombinationen davon, können anzeigen, dass das Gasturbinentriebwerk 10 wieder zu einem Leistungspegel oder Wirkungsgrad zurückgekehrt ist, der einen geringen Aschepegel kennzeichnet.

[0024] Die Steuereinrichtung 44 kann das Induzieren von Verbrennungsdynamik auch nach einer vorgegebenen Zeitspanne beenden. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 44 das Induzieren von Verbrennungsdynamik nach eine Zeitspanne von weniger als etwa 1 bis 10 Minuten, einschliesslich sämtlicher dazwischen liegender Unterbereiche, beenden. Speziell kann die Steuereinrichtung 44 das Induzieren von Verbrennungsdynamik nach eine Zeitspanne von etwa 4 bis 6 Minuten beenden. Allerdings kann in anderen Ausführungsbeispielen eine beliebige geeignete Zeitspanne verwendet werden. Darüber hinaus kann die Zeitspanne unter anderem von Faktoren wie des erfassten Grades einer Ascheansammlung, der Motorbelastung, dem erreichten Wirkungsgrad oder dem verwendeten Brennstoff abhängen.

[0025] In speziellen Ausführungsbeispielen kann die Steuereinrichtung 44 anstelle oder neben der Verwendung von Parametern, die durch den Sensor 46 erfasst wurden, um den Zeitpunkt der Induzierung von Verbrennungsdynamik anzuzeigen, Verbrennungsdynamik auf der Grundlage von Eingangssignalen induzieren, die von einem Nachbildungssystem 50 her aufgenommen sind. Beispielsweise kann das Gasturbinenriebwerk 10 ein Echtzeitmodell verwenden, um die Leistung für das Gasturbinenriebwerk 10 vorherzuberechnen. Das Modell kann auf einer Leistung basieren, die für ein neues und/oder sauberes Gasturbinenriebwerk vorherberechnet ist. Das Nachbildungssystem 50 kann unter anderem Eingabeparameter, z.B. Umgebungstemperatur, Umgebungsdruck, umgebende Luftfeuchtigkeit und Brennstoff Zustrom, für das betriebsbereite Gasturbinenriebwerk 10 erfassen. In speziellen Ausführungsbeispielen kann das Nachbildungssystem 50 die gemessenen Parameter von dem Sensor 46 und/oder von dem Sensor 48 her aufnehmen. Das Nachbildungssystem 50 kann die gemessenen Eingabeparameter anschliessend mit den Werten vergleichen, die auf der Grundlage des Modells berechnet wurden. Auf der Grundlage der Differenz zwischen den gemessenen Parametern und den durch das Modell vorherberechneten Werten kann das Nachbildungssystem 50 Modellkomponentenmultiplikatoren berechnen. Das Nachbildungssystem 50 kann die Modellkomponentenmultiplikatoren nutzen, um das Modell gezielt zu ändern, um die gemessenen Eingabeparameter an die Werte anzugleichen, die durch das Modell vorherberechnet wurden. Beispielswei-

se können die Modellkomponentenmultiplikatoren unter anderem einen Verdichterwirkungsgradmultiplikator, einen Verdichterstromkapazitätsmultiplikator, einen Turbinenwirkungsgradmultiplikator, einen Turbinedurchflusskapazitätsmultiplikator und einen Brennkammerwirkungsgradmultiplikator beinhalten.

[0026] Die Steuereinrichtung 44 kann die Modellkomponentenmultiplikatoren von dem Nachbildungssystem 50 aufnehmen und die Modellkomponentenmultiplikatoren benutzen, um zu bestimmen, wann Verbrennungsdynamik zu induzieren ist. Beispielsweise können die Modellkomponentenmultiplikatoren den Grad einer Ascheablagerung oder Verschmutzung in der Gasturbine 10 anzeigen. In speziellen Ausführungsbeispielen kann die Steuereinrichtung 44 ermitteln, ob die Modellkomponentenmultiplikatoren in einen Bereich fallen oder einen Schwellwert überschreiten, der anzeigt, dass Asche entfernt werden sollte. Wenn erfasst ist, dass Asche zu entfernen ist, kann die Steuereinrichtung 44 eine Verbrennungsdynamik, wie oben beschrieben, durch Variieren eines Parameters der Fluide 14, 20 und 24 induzieren.

[0027] Gemäss Ausführungsbeispielen kann die Steuereinrichtung 44 Steuerschaltkreise und Komponenten enthalten, z.B. einen A/D-Konverter, einen Mikroprozessor, einen nicht flüchtigen Speicher und eine Schnittstellenplatine. Selbstverständlich können andere Einrichtungen in dem System enthalten sein, z.B. zusätzliche Schalter, Wandler oder Sensoren, die unter anderem Druck, Temperatur, Strömungsrate, Schwingung oder Luftfeuchtigkeit messen. In speziellen Ausführungsbeispielen kann die Steuereinrichtung 44 die Verbrennungsdynamik auf der Grundlage einer Kombination der Sensoren 46 und 48 und des Nachbildungssystems 50 regeln/steuern. Darüber hinaus kann die Steuereinrichtung 44 auch Eingaben von einem gesonderten Steuerungssystem entgegennehmen, das Betriebsparameter, z.B. die Brennstoffzusammensetzung, beispielsweise über eine Anwendereingabe, spezifiziert.

[0028] Fig. 2 zeigt eine geschnittene Seitenansicht eines Ausführungsbeispiels der Gasturbine 10 von Fig. 1. Das Gasturbinentriebwerk 10 enthält eine oder mehrere Brennstoffdüsen 52 in einem Kopfende 54 der Brennkammer 12. In speziellen Ausführungsbeispielen kann das Gasturbinentriebwerk 10 mehrere Brennkammern 12 enthalten, die in einer ringförmigen Anordnung positioniert sind. Die Brennstoffdüsen 52 können den Brennstoff 14 (Fig. 1), die Zerstäubungsluft 20 (Fig. 1) und das Wasser 24 (Fig. 1) über Anschlüsse 56 aufnehmen, die an dem Kopfende 52 angebracht sind.

[0029] Wie oben mit Bezug auf Fig. 1 beschrieben, kann Luft durch den Luftansaugabschnitt 30 in das Gasturbinentriebwerk 10 eintreten und durch den Verdichter 32 verdichtet werden. Die aus dem Verdichter 32 stammende verdichtete Luft kann anschliessend in die Brennkammer 12 gelenkt werden, wo die verdichtete Luft 18 (Fig. 1) mit dem Brennstoff 14 (Fig. 1) gemischt werden kann. Beispielsweise können die Brennstoffdüsen 52 ein Brennstoffgemisch in einem Verhältnis in die Brennkammer 12 injizieren, das geeignet ist, die Verbrennung, die Emissionen, den Brennstoffverbrauch und die Leistungsabgabe zu optimieren. Die durch die Verbrennung erzeugten heissen Abgase 38 (Fig. 1) können die Brennkammer 12 in Richtung eines Übergangsabschnitts 58 verlassen und durch den Übergangsabschnitt 58 zu der ersten Stufe 60 der Turbine 36 strömen. In speziellen Ausführungsbeispielen kann es zu Ascheablagerungen auf Komponenten der ersten Stufe 60 kommen, während die heissen Abgase 38 zu der Turbine 36 strömen. Ausserdem kann sich Asche stromabwärts der ersten Stufe 60 ansammeln. Wie oben mit Bezug auf Fig. 1 beschrieben, kann die Asche durch Induzieren von Verbrennungsdynamik entfernt werden. In der Turbine 36 können die Verbrennungsgase sich radial in der Turbine 36 erstreckende Laufschaufeln 62 drehend antreiben, um die Welle 38 (Fig. 1) in Drehung zu versetzen, bevor sie durch den Auslassabschnitt 42 ins Freie austreten.

[0030] Eine detaillierte Ansicht eines Ausführungsbeispiels der Brennkammer 12 ist in Fig. 3 dargestellt. Die Anschlüsse 56 für Zerstäubungsluft, Brennstoff und Wasser sind in der Nähe des Kopfendes 54 der Brennkammer 12 an einer Endabdeckung 64 angebracht. Die Brennstoffdüsen 50 verteilen den Brennstoff 14 (Fig. 1), die Zerstäubungsluft 20 (Fig. 1) und das Wasser 24 (Fig. 1) aus den Anschlüssen 56 zu einer Brennkammer 66 in der Brennkammeranordnung 12. In speziellen Ausführungsbeispielen kann die Brennkammer 66 dazu eingerichtet sein, das Induzieren von Verbrennungsdynamik zu erleichtern. Beispielsweise kann die Länge der Brennkammer 66 optimiert sein, um eine Frequenz zu erzeugen, die zur Entfernung von Asche genutzt werden kann. In speziellen Ausführungsbeispielen können die Brennstoffdüsen 50 konzentrische Durchlasskanäle aufweisen, die dazu dienen, den Brennstoff 14, die Zerstäubungsluft 20 und das Wasser 24 zu der Brennkammer 66 zu lenken. In speziellen Ausführungsbeispielen kann die Zerstäubungsluft 20 Flüssigbrennstoff aus den Brennstoffdüsen 50 in Form eines Kreistrahls in den Verbrennungsabschnitt 66 lenken. Der Druck der Zerstäubungsluft 20 kann eingestellt werden, um die Form und/oder den Winkel des in den Verbrennungsabschnitt 66 eintretenden Flüssigbrennstoffsprühstrahls zu ändern.

[0031] Darüber hinaus können in speziellen Ausführungsbeispielen Steuervorrichtungen, z.B. Ventile, Druckregler, oder dgl., beispielsweise im Innern der Anschlüsse 56 oder der Brennstoffdüsen 50, in der Brennkammeranordnung 12 enthalten sein, um unter anderem Parameter, z.B. Strömungsrate, Druck, Fluidverhältnisse und Pulsfrequenz, von in die Brennkammer 12 eintretenden Fluiden zu variieren. Beispielsweise können Steuervorrichtungen genutzt werden, um Parameter des Brennstoffs 14, der Zerstäubungsluft 20 und/oder des Wassers 24 in Antwort auf Signale von der Steuereinrichtung 44 (Fig. 1) zu variieren. Beispielsweise kann der Druck der Zerstäubungsluft 20 durch die Steuereinrichtung 44 reguliert werden, um den Sprühwinkel des Flüssigbrennstoffs einzustellen und Verbrennungsdynamik zu induzieren. In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann die Strömung des Brennstoffs 14 durch die Brennstoffdüsen 50 mit einer Frequenz gepulst werden, die geeignet ist, Verbrennungsdynamik zu induzieren. In noch einem Ausführungsbeispiel kann der Strom des Wassers 24 gesteigert werden, um Verbrennungsdynamik zu induzieren. Selbstverständlich können in anderen Ausführungsbeispielen die Steuervorrichtungen auch stromaufwärts der Brennkammer 12 angeordnet sein.

[0032] Die Brennkammer 66 ist im Wesentlichen durch ein Gehäuse 68, eine Brennkammerwand 70 und eine Strömungshülse 72 gebildet. Die Strömungshülse 72 kann coaxial um die Brennkammerwand 70 angeordnet sein, um verdichtete Luft 18 (Fig. 1) aus dem Verdichter 32 (Fig. 1) durch Perforationen oder sonstige Öffnungen in der Brennkammerwand 70 und/oder durch in dem Kopfende 54 angeordnete Durchlasskanäle in die Brennkammer 66 zu lenken. In der Brennkammer 66 kann der Brennstoff 14 und verdichtete Luft 18 verbrennen, um Verbrennungsgase 34 zu bilden, die stromabwärts in Richtung 74 des Übergangsabschnitts 58 und der ersten Stufe 60 der Turbine 36 strömen können. Die Verbrennungsgase 34 können durch einen Leitapparat 76 der ersten Stufe hindurch in die erste Stufe 60 eintreten. Während die Verbrennungsgase 34 durch den Leitapparat 76 der ersten Stufe strömen, kann sich in dem Leitapparat 76 der ersten Stufe Asche ansammeln.

[0033] Fig. 4 zeigt eine aufgebrochene Ansicht eines Abschnitts des Leitapparats 76 der in Fig. 3 gezeigte ersten Stufe. Asche 78 kann auf Komponenten des Leitapparats 76 der ersten Stufe abgelagert sein. Beispielsweise hat sich Asche 78, wie gezeigt, auf einer Leitschaufel 80 und auf einem inneren Band 82 des Leitapparats 76 der ersten Stufe abgelagert. Allerdings kann sich in anderen Ausführungsbeispielen Asche 78 auf vielfältigen Komponenten des Leitapparats 76 der ersten Stufe und/oder den Turbinenschaufeln und anderen Komponenten ansammeln, die stromabwärts des Leitapparats 76 der ersten Stufe angeordnet sind. In speziellen Ausführungsbeispielen verändert die Asche 78 möglicherweise die Form des Verbrennungsgasströmungspaths, und vermindert dadurch die Turbinenleistung. Wie oben erwähnt, kann Verbrennungsdynamik induziert werden, um die Asche 78 mittels Schall zu beseitigen.

[0034] Fig. 5 veranschaulicht in einem Flussdiagramm ein Ausführungsbeispiel eines durch einen Computer und/oder eine Steuereinrichtung verwirklichten Verfahrens 84 zum Induzieren von Verbrennungsdynamik, um Asche aus einem Gasturbinentriebwerk zu entfernen. Beispielsweise kann das Verfahren 84 mittels Hardware und/oder Software (beispielsweise durch in einem Arbeitsspeicher gespeicherten Programmcode oder durch ein sonstiges von einem Rechner auslesbares Medium) durchgeführt werden. Das Verfahren 84 kann mit dem Schritt des Messens (Block 86) eines Parameters der Gasturbine beginnen. Beispielsweise kann der Sensor 46, wie in Fig. 1 gezeigt, einen Parameter erfassen, z.B. unter anderem einen Druck, eine Temperatur, eine Strömungsrate, einen Luftfeuchtigkeitspegel, einen Emissionswert, einen Leistungsabgabepegel, einen Leitschaufelwinkel, eine Ventilstellung oder Kombinationen davon. Es können beliebige geeignete Parameter oder Kombinationen von Parametern verwendet werden, die im Allgemeinen eine Ascheansammlung in der Gasturbine anzeigen. Der Sensor 46 kann den gemessenen Parameter an die Steuereinrichtung 44 oder an das Nachbildungssystem 50 ausgeben, das seinerseits einen berechneten Parameter, beispielsweise einen Modellkomponentenmultiplikator, an die Steuereinrichtung 44 ausgeben kann.

[0035] Die Steuereinrichtung 44 kann anschliessend bestimmen (Block 88), ob der Parameter in einen Wertebereich fällt oder Schwellwerte überschreitet, wo eine Ascheentfernung durchgeführt werden sollte. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 44 die Parameter mit einer Bereichs- oder Wertetabelle vergleichen. In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann die Steuereinrichtung 44 mehrere Parameter in Verbindung mit Algorithmen verwenden, um zu ermitteln, ob eine Ascheentfernung durchgeführt werden sollte. Falls der Parameter ausserhalb des Wertebereichs für Ascheentfernung liegt, kann das Gasturbinentriebwerk 10 im Normalbetrieb weiter arbeiten, bis die Steuereinrichtung 44 einen Parameter entgegennimmt, der in den Wertebereich für Ascheentfernung fällt.

[0036] Wenn ein Parameter erfasst ist, der in den Wertebereich für Ascheentfernung fällt, kann die Steuereinrichtung 44 Verbrennungsdynamik induzieren (Block 90). In speziellen Ausführungsbeispielen kann die Steuereinrichtung 44 in Reaktion auf das Erfassen eines Parameter automatisch Verbrennungsdynamik induzieren, während die Steuereinrichtung 44 in anderen Ausführungsbeispielen auf eine Bestätigung, beispielsweise seitens einer Anwendereingabe, warten kann. Insbesondere kann die Steuereinrichtung 44 Verbrennungsdynamik durch Einstellen eines Betriebsparameters der Gasturbine 10 induzieren. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 44, wie in Fig. 1 gezeigt, eine in die Brennkammer 12 eintretende Strömung eines Fluid, z.B. von Brennstoff 14, von Zerstäubungsluft 20 oder von Wasser 24, variieren. Selbstverständlich kann das Wasser 24 Wasser in flüssiger Form oder in dampfförmiger Form oder Kombinationen davon beinhalten. Somit können die im Vorliegenden beschriebenen Techniken mit Blick auf das Wasser 24 sowohl Wassereinspritzung als auch Dampfnebelinjektion beinhalten.

[0037] Insbesondere kann die Steuereinrichtung 44 eine Strömungsrate des Wassers 24 (oder Dampfs) steigern, um das Wasser/Brennstoff-Einspritzverhältnis um mindestens etwa 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 oder 100 Prozent zu erhöhen. Spezieller kann die Steuereinrichtung 44 die Wasserstromrate steigern, um das Wasser/Brennstoff-Einspritzverhältnis um etwa 20-35 Prozent, oder noch spezieller, um etwa 25-30 Prozent, einschliesslich sämtlicher dazwischen liegender Unterbereiche, zu erhöhen. In speziellen Ausführungsbeispielen kann die Steuereinrichtung 44 zur Steigerung der Wasserstromrate eine Steuervorrichtung, beispielsweise ein Ventil regeln/steuern, das in dem Wassereinspritzsystem 26 (Fig. 1) oder in der Brennstoffdüse 50 (Fig. 2) enthalten ist. Allerdings kann die Wasserstromrate in anderen Ausführungsbeispielen durch andere Steuervorrichtungen reguliert werden, z.B. durch Ventile oder Druckregler, die stromaufwärts oder stromabwärts des Wassereinspritzsystems 26 (Fig. 1) angeordnet sind.

[0038] Die Steuereinrichtung 44 kann Verbrennungsdynamik auch durch ein Steigern oder Verringern des Drucks der in die Brennkammer 12 eintretenden Zerstäubungsluft 20 (Fig. 1) induzieren. In speziellen Ausführungsbeispielen kann die Steuereinrichtung 44 den Druck der Zerstäubungsluft um mindestens etwa 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 oder 100 Prozent steigern oder verringern. Insbesondere kann die Steuereinrichtung 44 den Druck der Zerstäubungsluft um etwa 5-

20 Prozent, einschliesslich sämtlicher dazwischen liegender Unterbereiche, anpassen. In speziellen Ausführungsbeispielen kann die Anpassung des Drucks den Einspritzwinkel des aus der Brennstoffdüse 50 austretenden Flüssigbrennstoffs 14 verändern, um eine Verbrennungsdynamik zu induzieren. Beispielsweise kann der Einspritzwinkel um mindestens etwa 1, 5, 10, 15, 20, 25 oder 30 Prozent verändert werden. Die Steuereinrichtung 44 kann den Betrieb einer Steuervorrichtung steuern, beispielsweise eines Ventils oder eines Druckreglers, um den Druck der Zerstäubungsluft einzustellen.

[0039] Die Steuereinrichtung 44 kann Verbrennungsdynamik auch durch Pulsation der in die Brennkammer 12 eintretenden Strömung des Brennstoffs 14 induzieren. Beispielsweise kann in dem Brennstoffzufuhrsystem 16, in der Brennstoffdüse 50, oder stromaufwärts oder stromabwärts des Brennstoffzufuhrsystem 16 ein Ventil enthalten sein, um die Pulsfrequenzen für den in die Brennkammer 12 eintretenden Brennstoffstrom zu regulieren. In speziellen Ausführungsbeispielen kann die Steuereinrichtung 44 einen gemessenen Parameter von einem Sensor, z.B. dem Sensor 48 (Fig. 1), aufnehmen, um eine in der Brennkammeranordnung 12 vorliegende Frequenz zu ermitteln. Die Steuereinrichtung 44 kann anschliessend den Strom mit einer Rate pulsieren, die im Wesentlichen mit der erfassten Frequenz oder einem Vielfachen von dieser übereinstimmt.

[0040] Im Allgemeinen kann die Steuereinrichtung 44 die Verbrennungsdynamik während des Betriebs der Gasturbine 10 induzieren. Während die Verbrennungsdynamik induziert wird, um Asche zu entfernen, kann das Gasturbinenriebwerk 10 seine vorherige Leistungsabgabe weiter aufrechterhalten, auch wenn es mit voller Leistung arbeitet. Beispielsweise kann in speziellen Ausführungsbeispielen Verbrennungsdynamik induziert werden, während das Gasturbinenriebwerk 10 mindestens etwa 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 oder 100 Prozent seiner Leistungsabgabe beibehält. Insbesondere kann Verbrennungsdynamik induziert werden, während das Gasturbinenriebwerk 10 mindestens etwa 90-100 Prozent seiner Leistungsabgabe, einschliesslich sämtlicher dazwischen liegender Unterbereiche, beibehält.

[0041] Das Induzieren von Verbrennungsdynamik kann die Frequenz und/oder die Druckamplitude der Druckschwingungen in der Brennkammer 12 verändern, um Ablagerungen auf Komponenten der Gasturbine 10 durch Erschütterung zu lockern. Während des Induzierens von Verbrennungsdynamik kann die Frequenz um 100, 200, 300, 400, 500, 600 oder 700 Prozent ansteigen. In speziellen Ausführungsbeispielen kann die Frequenz um etwa 200-500 Prozent, einschliesslich sämtlicher dazwischen liegender Unterbereiche, ansteigen. Beispielsweise können die Druckschwingungen in speziellen Ausführungsbeispielen während des Dauerbetriebs eine Frequenz von etwa 80 Hz aufweisen, wohingegen die Frequenz während des Induzierens von Verbrennungsdynamik in einem Bereich von etwa 180-1000 Hz liegen kann. Während des Induzierens von Verbrennungsdynamik kann die Amplitude auf das 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 oder 70 fache ihres normalen Betrages wachsen. In speziellen Ausführungsbeispielen kann die Amplitude während des Dauerbetriebs auf das etwa 2-50 fache ihres normalen Betrages, einschliesslich sämtlicher dazwischen liegender Unterbereiche, wachsen. Beispielsweise kann eine Amplitude von Scheitelpunkt zu Scheitelpunkt bei Dauerbetrieb einen Wert von etwa 2,5 psi aufweisen. Allerdings kann die Amplitude von Scheitelpunkt zu Scheitelpunkt während der Induzierung von Verbrennungsdynamik auf mindestens 6-10 psi ansteigen. In speziellen Ausführungsbeispielen kann die Amplitude von Scheitelpunkt zu Scheitelpunkt um wenigstens etwa 100, 200, 300, 400, 500, 600 oder 700 Prozent ansteigen.

[0042] Nach dem Induzieren der Verbrennungsdynamik kann die Steuereinrichtung 44 anschliessend einen weiteren Parameter der Gasturbine 10 erfassen (Block 92). Der Parameter kann derselbe Parameter sein, der zuvor durch den Sensor 46 (Fig. 1) gemessen wurde, um zu ermitteln, ob das Gasturbinenriebwerk innerhalb des Wertebereichs für Ascheentfernung arbeitete. Beispielsweise kann der Sensor 46 einen Brennkammerdruck entweder fortlaufend oder periodisch erfassen und die Messwerte an die Steuereinrichtung 44 ausgeben. Die Steuereinrichtung 44 kann anschliessend die Messwerte nutzen, um zu bestimmen, ob die Gasturbine in dem Wertebereich für Ascheentfernung betrieben wird, um in diesem Fall eine Verbrennungsdynamik zu induzieren, oder ob die Gasturbine ausserhalb des Wertebereichs für Ascheentfernung betrieben wird, um in diesem Fall die Verbrennungsdynamik zu beenden. In weiteren Ausführungsbeispielen kann der Parameter ein anderer Parameter sein als derjenige, der zuvor durch den Sensor 46 gemessen wurde. Unabhängig davon, ob derselbe oder ein anderer Parameter gemessen wird, können beliebige geeignete Arten von Parametern verwendet werden, z.B. unter anderem die seit dem Induzieren der Verbrennungsdynamik verstrichene Zeit, der Druck, die Temperatur oder Kombinationen davon. Darüber hinaus kann der Sensor 46 in speziellen Ausführungsbeispielen den gemessenen Parameter an das Nachbildungssystem 50 (Fig. 1) ausgeben, das seinerseits einen berechneten Parameter, beispielsweise einen Modellkomponentenmultiplikator, an die Steuereinrichtung 44 ausgeben kann. Somit kann die Steuereinrichtung 44 gemessene Parameter (d.h. Druckwerte, Temperaturen, Zeit), Modellparameter oder Kombinationen davon verwenden, um zu bestimmen, wann ein Induzieren von Verbrennungsdynamik zu beenden ist.

[0043] Die Steuereinrichtung 44 kann anschliessend den Parameter nutzen, um zu ermitteln (Block 94), ob das Gasturbinenriebwerk 10 ausserhalb des Wertebereichs für Ascheentfernung arbeitet. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 44 die Parameter mit einer Bereichs- oder Wertetabelle vergleichen. In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann die Steuereinrichtung mehrere Parameter in Verbindung mit Algorithmen verwenden, um zu ermitteln, ob die Verbrennungsdynamik enden sollte. Falls der Parameter in den Wertebereich für Ascheentfernung fällt, kann die Steuereinrichtung 44 damit fortfahren, Verbrennungsdynamik zu induzieren, bis ein Parameter aufgenommen wird, der ausserhalb des Wertebereichs für Ascheentfernung liegt.

[0044] Wenn erfasst ist, dass ein Parameter aus dem Wertebereich für Ascheentfernung herausfällt, kann die Steuereinrichtung 44 das Induzieren der Verbrennungsdynamik beenden (Block 96). Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 44 die Werte der Wasserstromrate, des Drucks der Zerstäubungsluft oder der Brennstoffpulsfrequenz auf deren frühere Werte

oder auf Werte zurücksetzen, die geeignet gewählt sind, um die Verbrennungsdynamik zu reduzieren. Die Steuereinrichtung 44 kann dem Gasturbinentriebwerk 10 anschliessend erlauben, unter normalen Betriebsbedingungen zu arbeiten, bis ein Parameter erfasst ist, der in dem Wertebereich für Ascheentfernung liegt.

[0045] Die vorliegende Beschreibung verwendet Beispiele, um die Erfindung, einschliesslich des besten Modus zu offenbaren, und um ausserdem jedem Fachmann zu ermöglichen, die Erfindung in der Praxis einzusetzen, beispielsweise beliebige Einrichtungen und Systeme herzustellen und zu nutzen, und beliebige damit verbundene Verfahren durchzuführen. Der patentfähige Schutzzumfang der Erfindung ist durch die Ansprüche definiert und kann andere dem Fachmann in den Sinn kommende Beispiele umfassen. Solche anderen Beispiele sollen in den Schutzzumfang der Ansprüche fallen, falls sie strukturelle Elemente aufweisen, die sich von dem wörtlichen Inhalt der Ansprüche nicht unterscheiden, oder falls sie äquivalente strukturelle Elemente mit unwesentlichen Unterschieden gegenüber dem wörtlichen Inhalt der Ansprüche enthalten.

[0046] Geschaffen sind Verfahren 84 und Systeme zum Induzieren von Verbrennungsdynamik in Turbinentriebwerken, um Verbrennungsablagerungen 78 in dem Turbinentriebwerk 10 während des Betriebes des Turbinentriebwerks 10 zu entfernen.

Bezugszeichenliste

[0047]

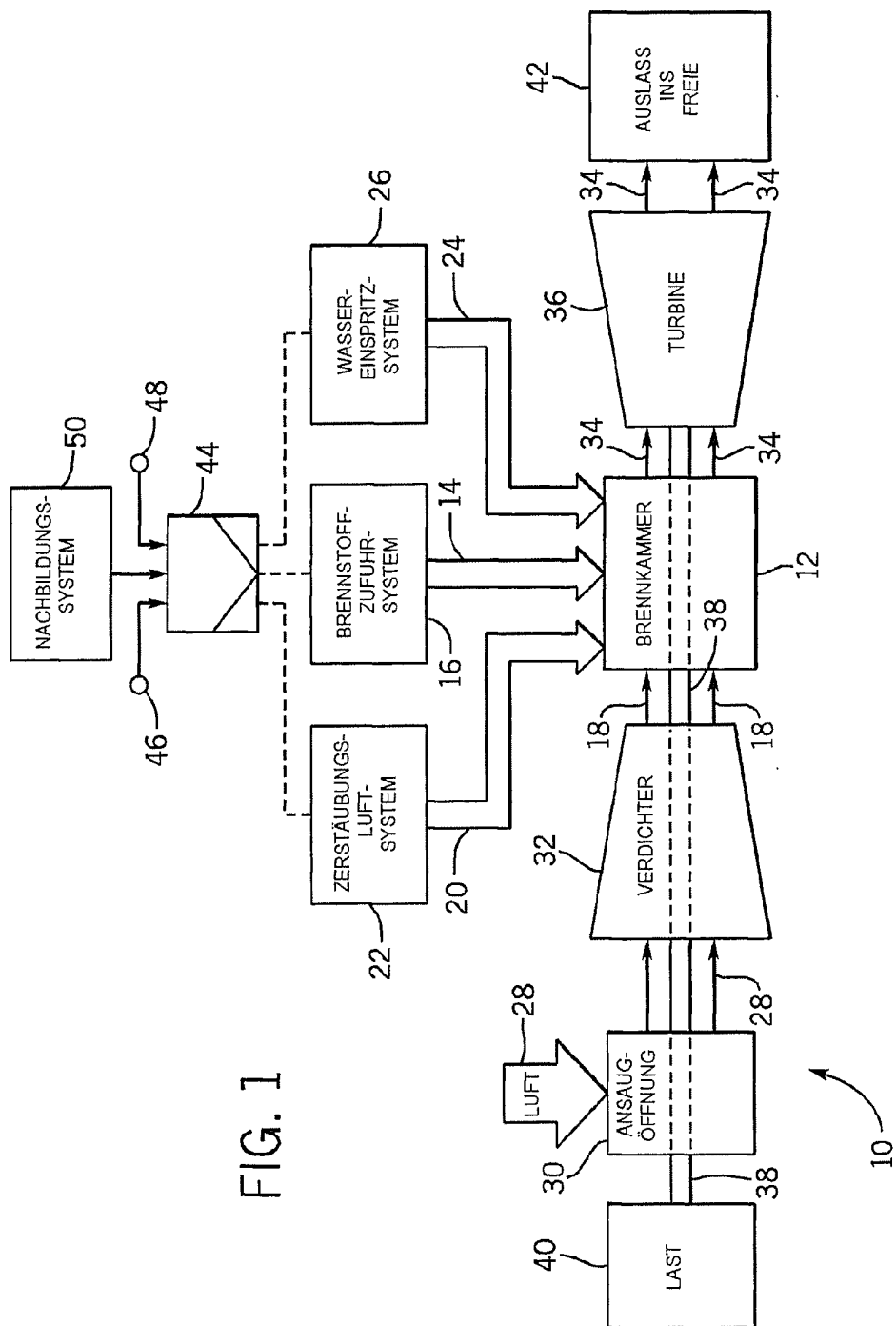
- 10 Gasturbinentriebwerk
- 12 Brennkammer
- 14 Brennstoff
- 16 Brennstoffzufuhrsystem
- 18 verdichtete Luft
- 20 Zerstäubungsluft
- 22 Zerstäubungsluftsystem
- 24 Wasser
- 26 Wassereinspritzsystem
- 28 Ansaugluft
- 30 Luftansaugabschnitt
- 32 Verdichter
- 34 Verbrennungsgase
- 36 Turbine
- 38 Welle
- 40 Last
- 42 Auslassabschnitt
- 44 Steuereinrichtung
- 46 Sensor
- 48 Sensor
- 50 Modellsystem
- 52 Brennstoffdüsen
- 54 Kopfende
- 56 Anschlüsse
- 58 Übergangsabschnitt

- 60 erste Stufe
- 62 Laufschaufeln
- 64 Endabdeckung
- 66 Brennkammer
- 68 Gehäuse
- 70 Brennkammerwand
- 72 Strömungshülse
- 74 Richtung
- 76 Leitapparat der ersten Stufe
- 78 Asche
- 80 Schaufel
- 82 inneres Band
- 84 Verfahren
- 86 Schritt
- 88 Schritt
- 90 Schritt
- 92 Schritt
- 94 Schritt
- 96 Schritt

Patentansprüche

1. Verfahren (84), mit den Schritten:
Messen (86) eines ersten Parameters eines Turbinentriebwerks (10);
Beeinflussen (90) eines zweiten Parameters des Turbinentriebwerks (10), um eine Verbrennungsdynamik zu steigern, um Ablagerungen (78) in dem Turbinentriebwerk wenigstens teilweise in Reaktion auf die Messung des ersten Parameters zu entfernen; und
Beeinflussen (96) des zweiten Parameters des Turbinentriebwerks, um die Verbrennungsdynamik nach Entfernung der Ablagerungen zu reduzieren.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Messen des ersten Parameters ein Messen von Druck, Temperatur, Leistung, Wirkungsgrad, Zeit, oder einer Kombination davon beinhaltet.
3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Steuern des zweiten Parameters ein Steigern eines Wasser/Brennstoff-Einspritzverhältnisses um mindestens etwa 20 Prozent beinhaltet.
4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Steuern des zweiten Parameters eine Pulsation eines Brennstoffzustroms, ein Einstellen eines Drucks von Zerstäubungsluft, ein Einstellen einer Wasserstromrate, ein Einstellen einer Dampfstromrate, oder eine Kombination davon beinhaltet.
5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Steuern des zweiten Parameters ein Steigern einer Druckamplitude oder einer Druckfrequenz der Verbrennungsdynamik, oder eine Kombination davon beinhaltet.
6. System, umfassend:
ein Turbinentriebwerk (10), zu dem gehören: eine Brennkammer (12); und
eine Brennstoffdüse (52), die dazu eingerichtet ist, mehrere Fluide in die Brennkammer einzubringen, wobei die Fluide Brennstoff (14), Zerstäubungsluft (20), Wasser (24), oder eine Kombination davon beinhalten, und wobei das Turbinentriebwerk (10) dazu eingerichtet ist, Strömungen der Fluide (14, 20, 24) einzustellen, um die Verbrennungsdynamik vorübergehend zu steigern, um während des Betriebes des Turbinentriebwerks (10) Ablagerungen (78) in dem Turbinentriebwerk (10) zu entfernen.

7. System nach Anspruch 6, wobei das Turbinentriebwerk (10) dazu eingerichtet ist, ein Einspritzverhältnis von Wasser (24) zu Brennstoff (14) der Brennstoffdüse (52) zu steigern, um die Verbrennungsdynamik vorübergehend zu steigern, um die Ablagerungen (78) zu entfernen.
8. System nach Anspruch 6, wobei das Turbinentriebwerk (10) dazu eingerichtet ist, einen Einspritzwinkel der Brennstoffdüse (52) zu ändern, um die Verbrennungsdynamik vorübergehend zu steigern, um die Ablagerungen (78) zu entfernen.
9. System nach Anspruch 6, mit einem Echtzeitanalysesystem (50), das dazu eingerichtet ist, auf der Grundlage von gemessenen Parametern des Turbinentriebwerks Modellkomponentenmultiplikatoren zu erzeugen, wobei die Modellkomponentenmultiplikatoren dazu eingerichtet sind, das Modell anzupassen, um die gemessenen Parameter vorherzuberechnen, und wobei das Turbinentriebwerk (10) dazu eingerichtet ist, die Ströme der Fluide (14, 20, 24) auf der Grundlage der Modellkomponentenmultiplikatoren einzustellen.
10. System nach Anspruch 6, wobei das Turbinentriebwerk (10) dazu eingerichtet ist, einen oder mehrere Parameter zu erfassen, die den Wirkungsgrad oder die Leistung kennzeichnen, und wobei das Turbinentriebwerk (10) dazu eingerichtet ist, die Ströme der Fluide (14, 20, 24) automatisch einzustellen, um die Verbrennungsdynamik vorübergehend zu steigern, um die Ablagerungen (78) in Abhängigkeit von den gemessenen Parametern zu entfernen.



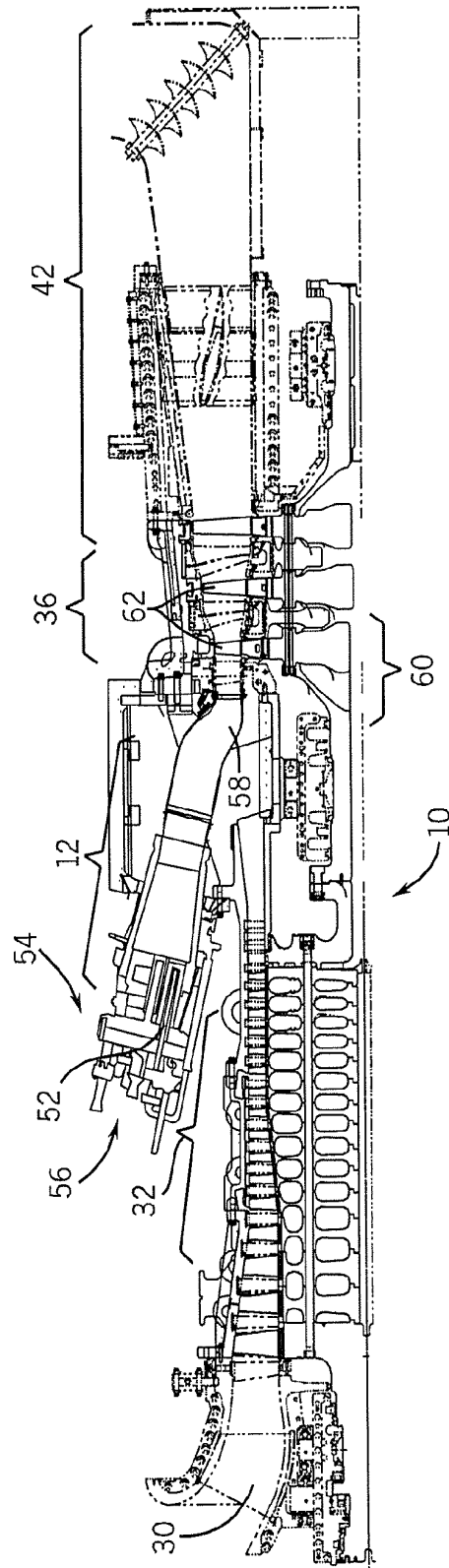
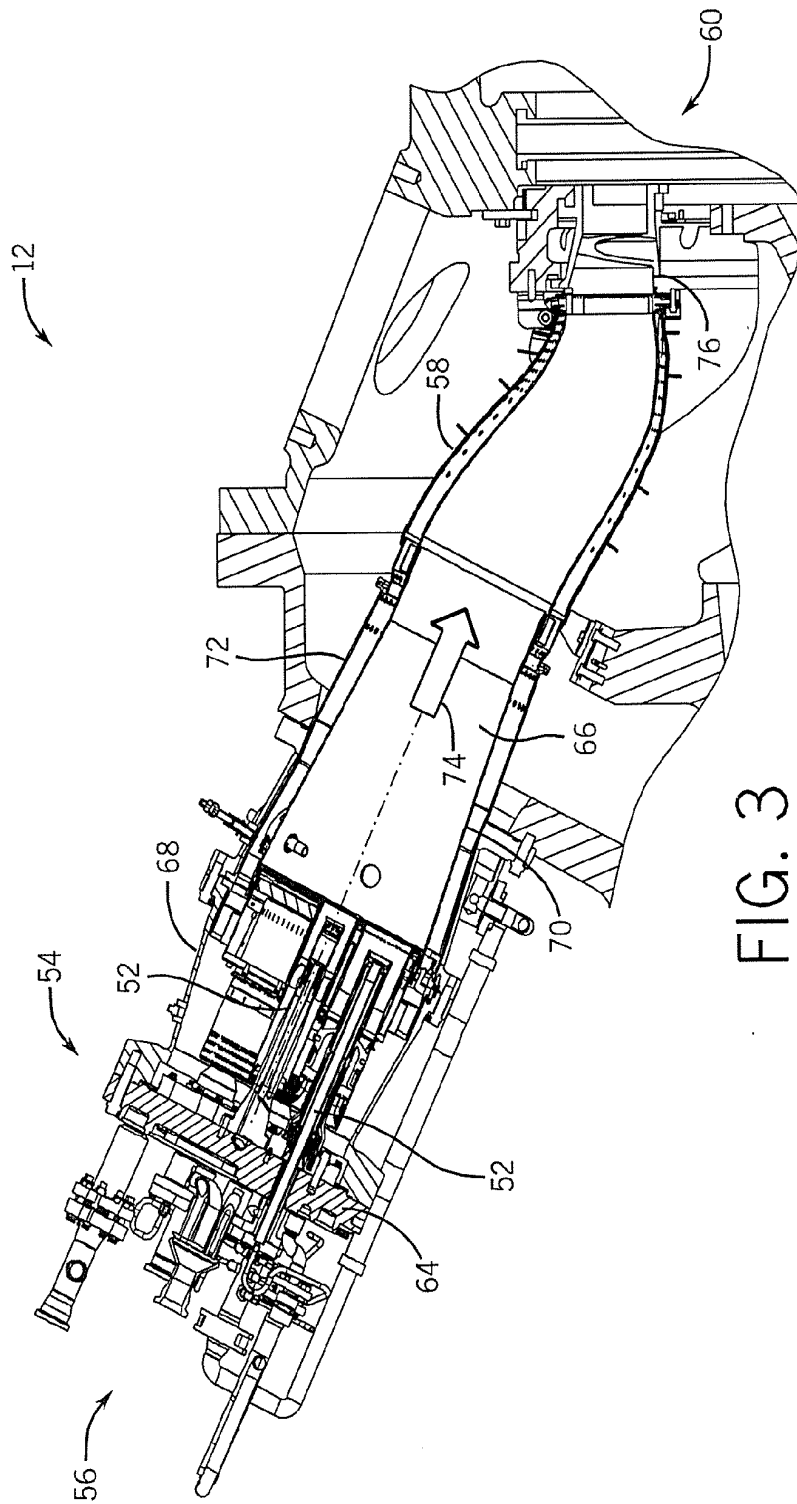


FIG. 2



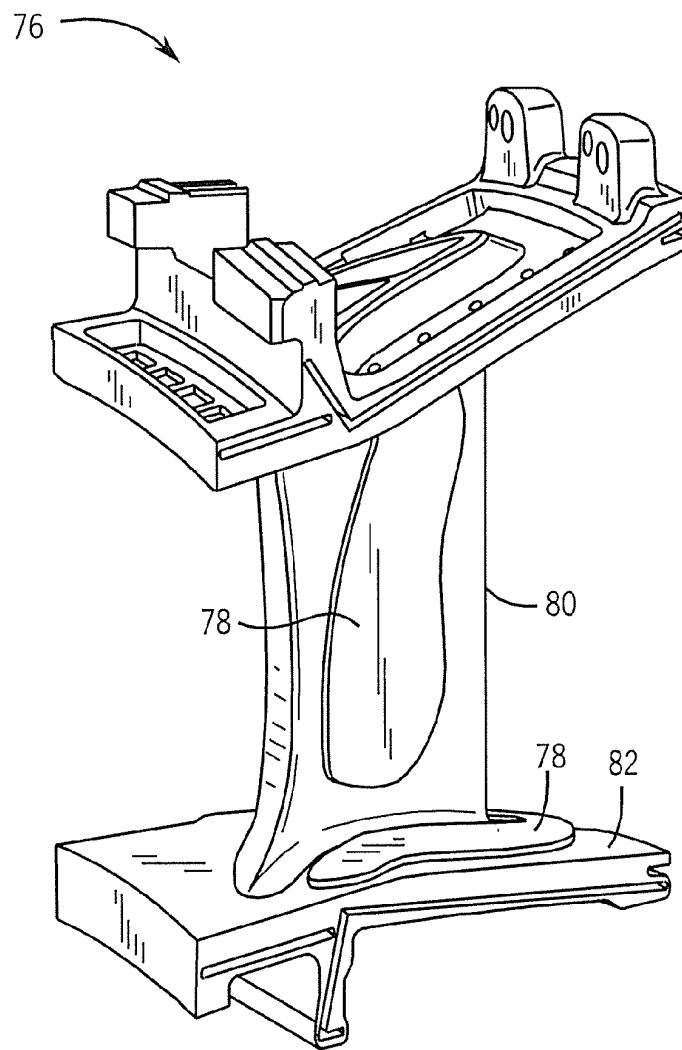


FIG. 4

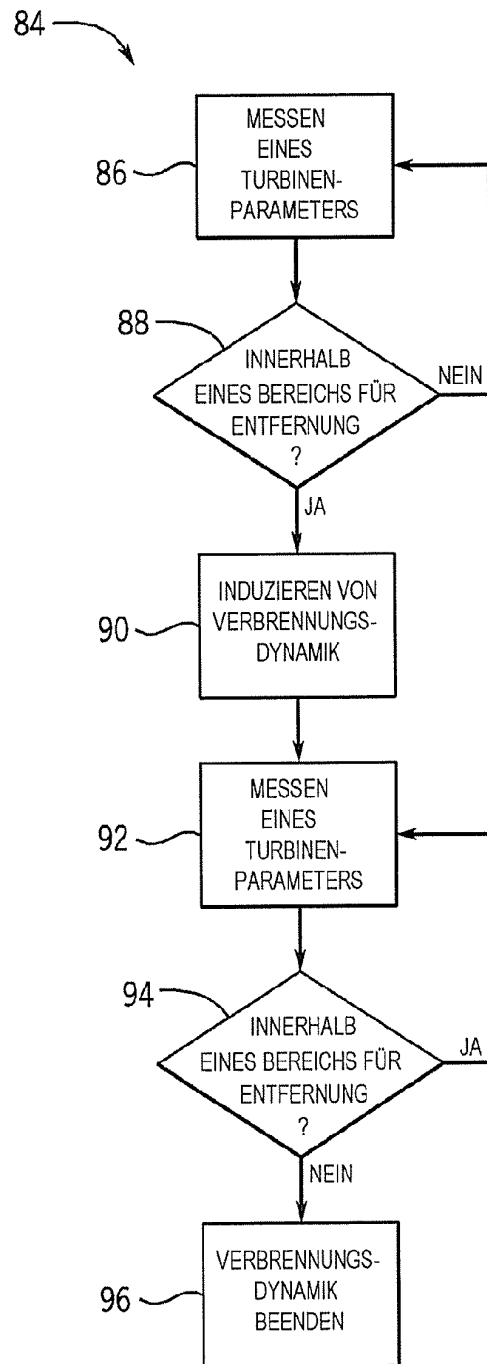


FIG. 5