



(10) **DE 10 2013 108 725 B4** 2025.01.23

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 108 725.6**

(22) Anmeldetag: **12.08.2013**

(43) Offenlegungstag: **27.02.2014**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **23.01.2025**

(51) Int Cl.: **F23R 3/46 (2006.01)**
F23R 3/18 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
13/590,309 **21.08.2012** **US**

(73) Patentinhaber:
General Electric Technology GmbH, Baden, CH

(74) Vertreter:
**Rüger Abel Patent- und Rechtsanwälte, 73728
Esslingen, DE**

(72) Erfinder:
Crothers, Sarah Lori, Greenville, S.C., US;
Kraemer, Gilbert O., Greenville, S.C., US

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2007 042 059	A1
DE	10 2009 003 639	A1
DE	10 2011 055 472	A1
US	5 943 866	A

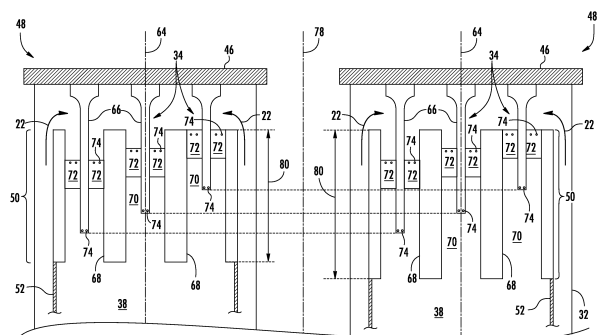
(54) Bezeichnung: **System und Verfahren zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik**

(57) Hauptanspruch: System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik in einer Gasturbine (10), wobei zu dem System gehören:

eine erste und eine zweite Brennkammeranordnung (14), die um eine Achse (78) eines Rotors (18) der Gasturbine (10) angeordnet sind, wobei jede Brennkammeranordnung (14) eine Kappenanordnung (50), die sich radial über die Brennkammeranordnung (14) erstreckt, und eine Brennkammer (38) aufweist, die stromabwärts der Kappenanordnung (50) angeordnet ist, wobei die Kappenanordnung (50) eine stromaufwärtige Fläche (82) und eine von der stromaufwärtigen Fläche (82) axial getrennte stromabwärtige Fläche (84) aufweist, die ein stromaufwärtiges Ende der Brennkammer (38) der jeweiligen Brennkammeranordnung (14) definiert;

wobei jede Kappenanordnung (50) mehrere Rohre (36) enthält, die sich axial durch die Kappenanordnung (50) erstrecken, um eine strömungsmäßige Verbindung durch die Kappenanordnung (50) zu der Brennkammer (38) bereitzustellen, wobei jedes Rohr (36) einen Brennstoffinjektor (94) aufweist, der sich durch jedes Rohr (36) erstreckt, um eine strömungsmäßige Verbindung in jedes Rohr (36) hinein bereitzustellen; und

wobei jede Kappenanordnung (50) eine axiale Länge (80) aufweist, die zwischen der stromaufwärtigen Fläche (82) und der stromabwärtigen Fläche (84) der jeweiligen Kappenanordnung (50) definiert ist, wobei sich die axiale Länge (80) der Kappenanordnung (50) in der ersten Brennkammeranordnung (14) von der axialen Länge (80) der Kappenanordnung (50) in der zweiten Brennkammeranordnung (14) unterscheidet.



Beschreibung**GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein ein System und ein Verfahren zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik. In speziellen Ausführungsbeispielen kann die Erfindung in einer Gasturbine oder in einem sonstigen Turbotriebwerk verwendet sein.

HINTERGRUND ZU DER ERFINDUNG

[0002] Brennkammeranordnungen werden im Allgemeinen in industriellen und kommerziellen Anwendungen verwendet, um Brennstoff zu entzünden, so dass Verbrennungsgase mit hoher Temperatur und hohem Druck entstehen. Beispielsweise enthalten Gasturbinen und sonstige Turbotriebwerke gewöhnlich eine oder mehrere Brennkammeranordnungen, um Leistung oder Schub zu erzeugen. Eine typische Gasturbine, die zur Erzeugung elektrischen Stroms genutzt wird, enthält einen Axialverdichter an dem vorderen Ende, mehrere Brennkammeranordnungen rund um die Mitte, und eine Turbine an dem hinteren Ende. In den Verdichter tritt Umgebungsluft als ein Arbeitsfluid ein, und der Verdichter verleiht dem Arbeitsfluid in fortschreitendem Maße kinetische Energie, um ein verdichtetes Arbeitsfluid hervorzu- bringen, das einen hochenergetischen Zustand aufweist. Das verdichtete Arbeitsfluid verlässt den Verdichter und strömt in den Brennkammeranordnungen durch eine oder mehrere Brennstoffdüsen und/oder Rohre, wobei sich das verdichtete Arbeitsfluid mit Brennstoff vermischt, bevor es gezündet wird, um Verbrennungsgase mit hoher Temperatur und hohem Druck zu erzeugen. Die Verbrennungsgase strömen zu der Turbine, wo sie expandieren, um Arbeit zu verrichten. Beispielsweise kann die Expansion der Verbrennungsgase in der Turbine eine Welle drehend antreiben, die mit einem Generator verbunden ist, um Strom zu erzeugen.

[0003] Vielfältige Faktoren beeinflussen die Konstruktion und den Betrieb der Brennkammeranordnungen. Beispielsweise steigern höhere Verbrennungsgastemperaturen allgemein den thermodynamischen Wirkungsgrad der Brennkammeranordnungen. Allerdings fördern höhere Verbrennungsgastemperaturen auch Flammhaltungsbedingungen, unter denen die Verbrennungsflamme in Richtung des Brennstoff wandert, der mittels der Brennstoffdüsen zugeführt wird, was möglicherweise in verhältnismäßig kurzer Zeit zu einem beschleunigten Verschleiß der Brennstoffdüsen führt. Darüber hinaus steigern höhere Verbrennungsgastemperaturen allgemein die Trennungsrate zweiatomigen Stickstoffs, was die Entstehung von Stickstoffoxiden (NOX) fördert. Im Gegensatz dazu reduziert eine geringere Verbrennungsgastemperatur, die einem

reduzierten Brennstoffzustrom und/oder einer Teil- lastbetriebsbedingung (Drosselung) zugeordnet ist, allgemein die chemischen Reaktionsgeschwindig- keiten der Verbrennungsgase, was die Entstehung von Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwas- serstoffen fördert.

[0004] Obwohl einige Brennkammeranordnungen wirkungsvoll höhere Betriebstemperaturen erlauben, während sie gegen Flammhaltung vorbeugen und unerwünschte Emissionen kontrollieren, können sie unter speziellen Betriebsbedingungen Verbren- nungsinstabilitäten hervorbringen, die auf eine Wechselwirkung oder Kopplung des Verbrennungs- prozesses oder der Flammendynamik mit einer oder mehreren akustischen Resonanzfrequenzen der Brennkammeranordnung zurückzuführen sind. Bei- spielsweise kann ein Mechanismus von Verbren- nungsinstabilitäten auftreten, wenn die akustischen Druckpulse an einer Brennstoffzufuhröffnung eine Massendurchsatzschwankung verursachen, was zu einer Schwankung des Brennstoff/Luft-Verhältnisse in der Flammenzone führt. Wenn die sich ergebende Schwankung des Brennstoff/Luft-Verhältnisses und die akustischen Druckpulse ein gewisses Phasen- verhalten aufweisen (z.B. nahezu phasengleich sind), kommt es zu einer selbsterregten Rückkop- plungsschleife. Dieser Mechanismus und das sich ergebende Maß der Verbrennungsdynamik hängt von der aus dem Stand der Technik als konvektive Zeit (τ) bekannten Verzögerungszeit ab, die zwi- schen der Injektion des Brennstoffs und dem Zeit- punkt besteht, in dem der Brennstoff die Flammen- zone erreicht. Mit einem Anstieg der konvektiven Zeit nimmt die Frequenz der Verbrennungsinstabi- litäten ab, und mit einem Abnehmen der konvektiven Zeit, steigt die Frequenz der Verbrennungsinstabi- litäten. Das Ergebnis ist eine Verbrennungsdynamik, die die Nutzungsdauer einzelner oder mehrerer Brennkammeranordnungskomponenten und/oder stromabwärts angeordneter Komponenten verrin- gern kann. Beispielsweise kann die Verbrennungs- dynamik Druckpulse im Inneren der Brennstoffdüsen und/oder der Brennkammern hervorbringen, die die Dauerschwingfestigkeitszeit dieser Komponenten, die Stabilität der Verbrennungsflamme, die Konstruk- tionsgrenzen für Flammhaltung und/oder uner- wünschte Emissionen nachteilig beeinflussen kann. Alternativ oder zusätzlich können Verbrennungsdy- namiken, die phasengleich und kohärent sind, bei speziellen Frequenzen und mit ausreichenden Amp- lituden unerwünschte Resonanzschwingungen in der Turbine und/oder sonstigen stromabwärts angeord- neten Komponenten erzeugen. Indem die Frequenz der Verbrennungsinstabilität in einer oder mehreren Brennkammeranordnungen gegenüber den übrigen verschoben wird, wird die Kohärenz des Brennkam- mersystems insgesamt reduziert und die Kopplung von Brennkammer zu Brennkammer vermindert. Dies verringert die Fähigkeit des Brennkammera-

nordnungstons, eine Resonanzschwingung in stromabwärts gelegenen Komponenten hervorzurufen, und fördert darüber hinaus eine destruktive Interferenz von Brennkammeranordnung zu Brennkammeranordnung, so dass die Amplituden der Verbrennungsdynamik reduziert werden. Folglich würde ein System, das die Phase und/oder Kohärenz der Verbrennungsdynamik anpasst, die durch jede Brennkammeranordnung hervorgerufen wird, vorteilhaft den thermodynamischen Wirkungsgrads der Brennkammeranordnungen verbessern, gegen beschleunigten Verschleiß schützen, die Flammenstabilität fördern und/oder unerwünschte Emissionen über einen großen Bereich von Betriebspegeln verringern.

[0005] DE 10 2007 042 059 A1 offenbart ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik in einer Gasturbine mit mehreren Brennkammeranordnungen, die um eine Achse eines Rotors der Gasturbine gruppiert sind, wobei jede Brennkammeranordnung eine Kappenanordnung, die sich radial über die Brennkammeranordnung erstreckt, und eine Brennkammer enthält, die stromabwärts der Kappenanordnung angeordnet ist. Die Kappenanordnung weist eine stromaufwärtige Fläche und eine von der stromaufwärtigen Fläche axial getrennte stromabwärtige Fläche auf, die ein stromaufwärtiges Ende der Brennkammer der jeweiligen Brennkammeranordnung definiert. Mehrere Vormischrohre erstrecken sich axial durch die Kappenanordnung und weisen jeweils eine Austrittsöffnung an der stromabwärtigen Fläche der Kappenanordnung auf, um eine strömungsmäßige Verbindung durch die Kappenanordnung zu der Brennkammer bereitzustellen. In jedem Vormischrohr sind Brennstoffinjektoren angeordnet, um Brennstoff in einen in dem jeweiligen Rohr ausgebildeten Vormischkanal einzuspritzen. In einer Ausführungsform ist die stromabwärtige Fläche der Kappenanordnung in Bezug auf eine Mittelachse der Brennkammeranordnung geneigt orientiert, so dass sie eine schräge Austrittsebene definiert, an der die Austrittsöffnungen der jeweiligen Vormischrohre an unterschiedlichen axialen Positionen positioniert sind.

[0006] DE 10 2011 055 472 A1 offenbart eine Brennkammeranordnung einer Gasturbine mit einer Kappenanordnung, die mehrere Brennstoffdüsen aufnimmt, die jeweils eine Vielzahl von Vormischrohren umfassen, die sich durch die Kappenanordnung hindurch und in die Brennkammer der Brennkammeranordnung hinein erstrecken. In Ausführungsformen ragen die Austrittsenden der Vormischrohre unterschiedlich weit über eine stromabwärtige Stirnfläche der Kappenanordnung hinaus in die Brennkammer hinein.

[0007] DE 10 2009 003 639 A1 offenbart eine Brennkammeranordnung einer Gasturbine, die mehrere Brennstoffdüsen mit Vormischrohren enthält, die

Brennstoffinjektoren und Verwirblerschaufeln umfassen, die zur Verminderung der Verbrennungsdynamik an unterschiedlichen axialen Positionen angeordnet sind, so dass sie unterschiedliche axiale Abstände der Brennstoffinjektoröffnungen und/oder der Verwirblerschaufeln zu der Brennkammer definieren.

[0008] US 5 943 866 A beschreibt unterschiedliche Systeme zur Reduktion von Verbrennungsdynamik in einer Gasturbine mit einer Brennkammeranordnung, die mehrere Brennstoffdüsen enthält, die Brennstoffinjektoren oder Brennstoffinjektionsöffnungen aufweisen, die an unterschiedlichen axialen Positionen angeordnet sind und somit unterschiedliche axiale Abstände zu der Brennkammer haben.

KURZBESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0009] Eigenschaften und Vorteile der Erfindung sind nachstehend in der folgenden Beschreibung unterbreitet oder können sich offensichtlich aus der Beschreibung ergeben oder können durch die Praxis der Erfindung erfahren werden.

[0010] Gemäß einem Aspekt der Erfindung enthält ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik in einer Gasturbine:

eine erste und eine zweite Brennkammeranordnung, die um eine Achse eines Rotors der Gasturbine gruppiert sind, wobei jede Brennkammeranordnung eine Kappenanordnung, die sich radial über die Brennkammeranordnung erstreckt, und eine Brennkammer aufweist, die stromabwärts der Kappenanordnung angeordnet ist, wobei die Kappenanordnung eine stromaufwärtige Fläche und eine von der stromaufwärtigen Fläche axial getrennte stromabwärtige Fläche aufweist, die ein stromaufwärtiges Ende der Brennkammer der jeweiligen Brennkammeranordnung definiert;

wobei jede Kappenanordnung mehrere Rohre enthält, die sich axial durch die Kappenanordnung erstrecken, um eine strömungsmäßige Verbindung durch die Kappenanordnung zu der Brennkammer bereitzustellen, wobei jedes Rohr einen Brennstoffinjektor aufweist, der sich durch jedes Rohr erstreckt, um eine strömungsmäßige Verbindung in jedes Rohr hinein bereitzustellen; und

wobei jede Kappenanordnung eine axiale Länge aufweist, die zwischen der stromaufwärtigen Fläche und der stromabwärtigen Fläche der jeweiligen Kappenanordnung definiert ist, wobei sich die axiale Länge der Kappenanordnung in der ersten Brennkammeranordnung von der axialen Länge der Kappenanordnung in der zweiten Brennkammeranordnung unterscheidet.

[0011] Die mehreren Rohre in jeder Kappenanordnung können in mehreren Rohrbündeln gruppiert sein, die radial über die Kappenanordnung hinweg angeordnet sind, wobei der Brennstoffinjektor durch jedes Rohr in einem vierten axialen Abstand von der Brennkammer angeordnet ist, und wobei sich der vierte axiale Abstand für mindestens zwei Rohrbündel in der ersten Brennkammeranordnung unterscheidet.

[0012] Darüber hinaus oder alternativ weist jede Kappenanordnung zusätzlich eine Brennstoffdüse auf, die sich axial durch die Kappenanordnung erstreckt, um eine strömungsmäßige Verbindung durch die Kappenanordnung zu der Brennkammer bereitzustellen, wobei zu jeder Brennstoffdüse gehören: ein sich axial erstreckender zentraler Grundkörper, ein Mantel, der wenigstens einen Abschnitt des sich axial erstreckenden zentralen Grundkörpers umgibt, mehrere Leitschaufeln, die sich radial zwischen dem zentralen Grundkörper und dem Mantel erstrecken, eine erste Brennstoffzufuhröffnung durch mindestens einen der mehreren Leitschaufeln in einem ersten axialen Abstand von der Brennkammer, eine zweite Brennstoffzufuhröffnung durch den zentralen Grundkörper in einem zweiten axialen Abstand von der Brennkammer, wobei die mehreren Leitschaufeln in einem dritten axialen Abstand von der Brennkammer angeordnet sind.

[0013] Darüber hinaus oder alternativ unterscheidet sich wenigstens einer der axialen Abstände, sei dies der erste axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem ersten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, oder der dritte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung.

[0014] Darüber hinaus oder alternativ unterscheiden sich wenigstens zwei der axialen Abstände, seien dies der erste axiale Abstand von dem ersten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, oder der dritte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung.

[0015] Darüber hinaus oder alternativ unterscheidet sich der erste axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem ersten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, und der dritte axiale

Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung.

[0016] Darüber hinaus oder alternativ weist jede Brennkammeranordnung mehrere Brennstoffdüsen auf, und mindestens einer der axialen Abstände, sei dies der erste, der zweite und/oder der dritte axiale Abstand, ist für mindestens zwei Brennstoffdüsen in der ersten Brennkammeranordnung unterschiedlich.

[0017] Darüber hinaus oder alternativ weist jede Brennkammeranordnung mehrere Brennstoffdüsen auf, und mindestens zwei der axialen Abstände, seien dies der erste, der zweite, oder der dritte axiale Abstand, unterscheiden sich für mindestens zwei Brennstoffdüsen in der ersten Brennkammeranordnung.

[0018] Darüber hinaus oder alternativ weist jede Brennkammeranordnung mehrere Brennstoffdüsen auf, und es unterscheiden sich die ersten, die zweiten oder die dritten axialen Abstände für mindestens zwei Brennstoffdüsen in der ersten Brennkammeranordnung.

[0019] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung enthält ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik in einer Gasturbine:

eine erste und eine zweite Brennkammeranordnung, die um eine Achse eines Rotors der Gasturbine gruppiert sind, wobei jede Brennkammeranordnung eine Kappenanordnung, die sich radial über die Brennkammeranordnung erstreckt, und eine Brennkammer aufweist, die stromabwärts der Kappenanordnung angeordnet ist, wobei die Kappenanordnung eine stromaufwärtige Fläche und eine von der stromaufwärtigen Fläche axial getrennte stromabwärtige Fläche aufweist, die ein stromaufwärtiges Ende der Brennkammer der jeweiligen Brennkammeranordnung definiert;

wobei jede Kappenanordnung eine Brennstoffdüse aufweist, die sich axial durch die Kappenanordnung erstreckt, um eine strömungsmäßige Verbindung durch die Kappenanordnung zu der Brennkammer bereitzustellen, wobei zu jeder Brennstoffdüse gehören: ein sich axial erstreckender zentraler Grundkörper, ein Mantel, der wenigstens einen Abschnitt des sich axial erstreckenden zentralen Grundkörpers umgibt, mehrere Leitschaufeln, die sich radial zwischen dem zentralen Grundkörper und dem Mantel erstrecken, eine erste Brennstoffzufuhröffnung durch mindestens einen der mehreren Leitschaufeln in einem ersten axialen Abstand von der Brennkammer, eine zweite Brennstoffzufuhröffnung durch den zentralen Grundkörper in einem zweiten axialen Abstand von der

Brennkammer, wobei die mehreren Leitschaukeln in einem dritten axialen Abstand von der Brennkammer angeordnet sind, wobei sich der erste, der zweite und der dritte Abstand voneinander unterscheiden; und

wobei jede Kappenanordnung eine axiale Länge aufweist, die zwischen der stromaufwärtigen Fläche und der stromabwärtigen Fläche der jeweiligen Kappenanordnung definiert ist, wobei sich die axiale Länge der Kappenanordnung in der ersten Brennkammeranordnung von der axialen Länge der Kappenanordnung in der zweiten Brennkammeranordnung unterscheidet.

[0020] In dem System gemäß dem weiteren Aspekt kann sich mindestens einer der axialen Abstände unterscheiden, sei dies der erste axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem ersten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, oder der dritte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung.

[0021] In dem System kann sich mindestens einer der axialen Abstände unterscheiden, sei dies der erste axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem ersten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, oder der dritte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung.

[0022] In dem System kann sich der erste axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem ersten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung unterscheiden, der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung unterscheidet sich von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, und der dritte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung unterscheidet sich von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung.

[0023] In dem System kann jede Brennkammeranordnung mehrere Brennstoffdüsen aufweisen, wobei mindestens einer der axialen Abstände, sei dies der erste, der zweite und/oder der dritte axiale Abstand, für mindestens zwei Brennstoffdüsen in der ersten Brennkammeranordnung unterschiedlich sind/ist.

[0024] In dem System kann jede Brennkammeranordnung mehrere Brennstoffdüsen aufweisen,

wobei sich mindestens zwei der axialen Abstände, seien dies der erste, der zweite oder der dritte axiale Abstand, für mindestens zwei Brennstoffdüsen in der ersten Brennkammeranordnung unterscheiden. Weiter kann jede Brennkammeranordnung mehrere Brennstoffdüsen aufweisen, wobei die ersten, die zweiten, und die dritten axialen Abstände sich für mindestens zwei Brennstoffdüsen in der ersten Brennkammeranordnung unterscheiden.

[0025] Dem Fachmann werden die Merkmale und Aspekte solcher und weiterer Ausführungsbeispiele nach dem Lesen der Beschreibung verständlicher.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0026] Eine vollständige und in die Praxis umsetzbare Beschreibung der vorliegenden Erfindung, die den für den Fachmann besten Modus der Erfindung beinhaltet, ist in der folgenden Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Figuren mehr im Einzelnen beschrieben:

Fig. 1 zeigt in einer vereinfachten seitlichen Schnittansicht eine exemplarische Gasturbine gemäß unterschiedlichen Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 zeigt in einer vereinfachten seitlichen Schnittansicht eine exemplarische Brennkammeranordnung gemäß unterschiedlichen Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3 zeigt eine stromaufwärts gelegene Draufsicht der in **Fig. 2** gezeigten Kappenanordnung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 zeigt eine stromaufwärts gelegene Draufsicht der in **Fig. 2** gezeigten Kappenanordnung gemäß einem veränderten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 zeigt eine stromaufwärts gelegene Draufsicht der in **Fig. 2** gezeigten Kappenanordnung gemäß einem veränderten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6 zeigt in einer seitlichen Schnittansicht das Kopfende der in **Fig. 3** gezeigten Brennkammeranordnung längs der Schnittlinie A-A gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 7 zeigt ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 8 zeigt ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 9 zeigt in einer seitlichen Schnittansicht das Kopfende der in **Fig. 5** gezeigten Brennkammeranordnung längs der Schnittrlinie B-B gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 10 zeigt ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 11 zeigt ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 12 veranschaulicht einen exemplarischen Graphen der Dynamik einer Brennkammeranordnung gemäß unterschiedlichen Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0027] Es wird nun im Einzelnen auf vorliegende Ausführungsbeispiele der Erfindung eingegangen, wobei ein oder mehrere der Beispiele in den beige-fügten Zeichnungen veranschaulicht sind. Die detail-lierte Beschreibung verwendet alphanumerische Bezeichnungen, um auf Merkmale in den Figuren Bezug zu nehmen. In den Figuren und in der Beschreibung wurden übereinstimmende oder ähn-liche Bezeichnungen verwendet, um auf übereins-timmende oder ähnliche Elemente der Erfindung Bezug zu nehmen. In dem hier verwendeten Sinne können die Begriffe „erster“, „zweiter“ und „dritter“ untereinander austauschbar verwendet werden, um eine Komponente von einer weiteren zu unterschei-den, und sollen nicht den Ort oder die Bedeutung der einzelnen Komponenten bezeichnen. Darüber hinaus beziehen sich die Begriffe „stromaufwärts“ und „stromabwärts“ auf die relative Anordnung der Komponenten in einem Strömungspfad. Beispiels-weise befindet sich eine Komponente A stromauf-wärts einer Komponente B, falls ein Fluid von Kom-ponente A zu Komponente B strömt. Im Gegensatz dazu ist eine Komponente B stromabwärts von Kom-ponente A angeordnet, falls die Komponente B einen Fluidstrom von Komponente A her aufnimmt.

[0028] Sämtliche Beispiele dienen der Erläuterung der Erfindung und sollen diese nicht beschränken. Der Fachmann wird ohne weiteres erkennen, dass Modifikationen und Änderungen an der vorliegenden Erfindung vorgenommen werden können, ohne von dem Schutzzumfang oder dem Gegenstand der Erfin-dung abzuweichen. Beispielsweise können Merk-male, die als Teil eines Ausführungsbeispiels veran-schaulicht oder beschrieben sind, auf ein anderes Ausführungsbeispiel angewendet werden, um noch ein weiteres Ausführungsbeispiel hervorzubringen. Die vorliegende Erfindung soll daher solche Modifi-

kationen und Abweichungen abdecken, soweit diese in den Schutzzumfang der beigefügten Ansprü-che und deren äquivalenten Formen fallen.

[0029] Vielfältige Ausführungsbeispiele der vorlie-genden Erfindung beinhalten ein System und ein Verfahren zur Reduzierung von Verbrennungsdyna-mik, um den thermodynamischen Wirkungsgrad zu verbessern, die Flammenstabilität zu fördern und/o-der unerwünschte Emissionen über einen großen Bereich von Betriebspegeln zu reduzieren. Das Sys-tem und das Verfahren weisen allgemein mehrere Brennkammeranordnungen auf, und jede Brennkam-meranordnung enthält eine oder mehrere Brennstoff-düsen und/oder Rohre sowie eine Brennkammer, die stromabwärts der Brennstoffdüse(n) und/oder der Rohre angeordnet ist. Jede Brennstoffdüse enthält eine oder mehrere Brennstoffzufuhröffnungen und/o-der sich radial erstreckende Leitschaufeln, und jedes Rohr enthält einen oder mehrere Brennstoffinjekto-ren. Das System und das Verfahren weisen vielfäl-tige Mittel auf, um in der ersten Brennkammeran-ordnung eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabili-tätsfrequenz in der zweiten Brennkammeranordnung unterscheidet. Somit können vielfältige Ausführungs-beispiele der vorliegenden Erfindung einen längeren Betrieb, eine verlängerte Lebensdauer und/oder grö-ßere Wartungsintervalle, verbesserte Konstruktions-grenzen der Flammhaltung und/oder eine Reduzie-rung unerwünschter Emissionen ermöglichen. Obwohl Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung für Zwecke der Veranschaulichung allge-mein in Zusammenhang mit der Verbrennungsdyna-mik in einer Gasturbine beschrieben sind, wird dem Fachmann ohne weiteres einleuchten, dass Ausfüh-rungsbeispiele der vorliegenden Erfindung auf eine beliebige Verbrennungsdynamik angewendet wer-den können und nicht auf eine Gasturbine beschränkt sind, es sei denn, dies ist in den Ansprü-chen speziell erwähnt.

[0030] **Fig. 1** zeigt in einer vereinfachten Schnittan-sicht eine exemplarische Gasturbine 10, die unter-schiedliche Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung verwenden kann. Wie gezeigt, kann die Gasturbine 10 allgemein aufweisen: an der Vorder-seite einen Verdichterabschnitt 12, mehrere Brenn-kammern 14, die in einem Verbrennungsabschnitt um die Mitte radial angeordnet sind, und an der Rückseite einen Turbinenabschnitt 16. Der Verdich-terabschnitt 12 und der Turbinenabschnitt 16 können ein gemeinsames Laufrad 18 nutzen, das mit einem Generator 20 verbunden ist, um Strom zu erzeugen. Ein Arbeitsfluid 22, z.B. Umgebungsluft, kann in den Verdichterabschnitt 12 eintreten und abwechselnde Stufen von stationären Leitschaufeln 24 und rotieren-den Schaufeln 26 durchqueren. Ein Verdichterge-häuse 28 enthält das Arbeitsfluid 22, während die stationären Leitschaufeln 24 und die rotierenden

Laufschaufeln 26 das Arbeitsfluid 22 beschleunigen und umlenken, um einen fortlaufenden Strom von verdichtetem Arbeitsfluid 22 hervorzubringen. Der Hauptanteil des verdichteten Arbeitsfluids 22 strömt durch einen Verdichterauslasssammelraum 30 zu den Brennkammern 14. Ein Brennkammergehäuse 32 kann jede Brennkammeranordnung 14 entlang des Umfangs teilweise oder ganz umgeben, um das verdichtete Arbeitsfluid 22 aufzunehmen, das aus dem Verdichterabschnitt 12 strömt. In einer oder mehreren Brennstoffdüsen 34 und/oder Rohren 36 kann Brennstoff mit dem verdichteten Arbeitsfluid 22 vermischt werden. Als Brennstoff eignen sich beispielsweise Hochofengas, Koksgas, Erdgas, verdampftes verflüssigtes Erdgas (LNG), Wasserstoff und/oder Propan. Das Gemisch aus Brennstoff und verdichtetem Arbeitsfluid 22 kann anschließend in eine Brennkammer 38 strömen, wo es sich entzündet, um Verbrennungsgase mit hoher Temperatur und hohem Druck zu erzeugen. Ein Übergangskanal 40 umgibt wenigstens einen Abschnitt der Brennkammer 38, und die Verbrennungsgase strömen durch den Übergangskanal 40 zu dem Turbinenabschnitt 16.

[0031] Der Turbinenabschnitt 16 kann abwechselnde Stufen stationärer Leitapparate 42 und rotierender Schaufeln 44 enthalten. Die stationären Leitapparate 42 lenken die Verbrennungsgase auf die nächste Stufe rotierender Schaufeln 44, und die Verbrennungsgase expandieren, während sie die rotierenden Schaufeln 44 überstreichen, so dass die rotierenden Schaufeln 44 und das Laufrad 18 drehend angetrieben werden. Die Verbrennungsgase strömen anschließend zu der nächsten Stufe stationärer Leitapparate 42, die die Verbrennungsgase zu der nächsten Stufe rotierender Schaufeln 44 umlenken, und der Vorgang wiederholt sich für die folgenden Stufen.

[0032] Die Brennkammeranordnungen 14 können beliebige aus dem Stand der Technik bekannte Brennkammeranordnungen sein, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Brennkammerkonstruktion beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt. **Fig. 2** zeigt in einer vereinfachten seitlichen Schnittansicht eine exemplarische Brennkammeranordnung 14 gemäß unterschiedlichen Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung. Das Brennkammergehäuse 32 umgibt wenigstens einen Abschnitt der Brennkammeranordnung 14, um das verdichtete Arbeitsfluid 22 aufzunehmen, das aus dem Verdichter 12 strömt. Wie in **Fig. 2** gezeigt, kann das Brennkammergehäuse 32 mit einer Endabdeckung 46 verbunden sein oder eine solche enthalten, die sich radial über wenigstens einen Abschnitt jeder Brennkammer 14 erstreckt, um ein Zwischenglied vorzusehen, das dazu dient, jeder Brennkammeranordnung 14 Brennstoff, Verdünnungsmittel und/oder sonstige

Zusatzstoffe zuzuführen. Darüber hinaus können das Brennkammergehäuse 32 und die Endabdeckung 46 zusammenwirken, um wenigstens einen Abschnitt eines Kopfendes 48 innerhalb jeder Brennkammeranordnung 14 zu bilden. Die Brennstoffdüsen 34 und/oder Rohre 36 sind radial in einer Kappenanordnung 50 angeordnet, die sich radial über die Brennkammer 14 stromabwärts des Kopfendes 48 erstreckt. Eine Brennkammerwand 52 kann mit der Kappenanordnung 50 verbunden sein, um wenigstens einen Abschnitt der Brennkammer 38 stromabwärts der Kappenanordnung 50 zu bilden. Auf diese Weise kann das Arbeitsfluid 22 beispielsweise durch in einer Prallhülse 56 ausgebildete Strömungslöcher 54 und entlang der Außenseite des Übergangskanals 40 und der Brennkammerwand 52 strömen, um den Übergangskanal 40 und die Brennkammerwand 52 konvektiv zu kühlen. Wenn das Arbeitsfluid 22 das Kopfende 48 erreicht, kehrt das Arbeitsfluid 22 die Richtung um, und die Brennstoffdüsen 34 und/oder die Rohre 36 stellen eine strömungsmäßige Verbindung für das Arbeitsfluid 22 bereit, um durch die Kappenanordnung 50 und in die Brennkammer 38 zu strömen.

[0033] Obwohl allgemein als zylindrisch dargestellt, kann der radiale Querschnitt der Brennstoffdüsen 34 und/oder der Rohre 36 eine beliebige geometrische Form aufweisen, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeinen speziellen radialen Querschnitt beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt. Darüber hinaus können unterschiedliche Ausführungsbeispiele der Brennkammeranordnung 14 andere Anzahlen und Gruppierungen von Brennstoffdüsen 34 und/oder Rohre 36 in der Kappenanordnung 50 enthalten, und **Fig. 3-5** zeigen stromaufwärts gelegene Draufsichten exemplarischer Gruppierungen der Brennstoffdüsen 34 und/oder Rohre 36 in der Kappenanordnung 50 innerhalb des Schutzbereichs der vorliegenden Erfindung. Wie in **Fig. 3** gezeigt, können beispielsweise mehrere Brennstoffdüsen 34 radial um eine einzelne Brennstoffdüse 34 gruppiert sein. In einer Abwandlung können die Rohre 36, wie in **Fig. 4** gezeigt, radial über die gesamte Kappenanordnung 50 angeordnet sein, und die Rohre 36 können auf mehrere Gruppen verteilt sein, um über den Betriebsbereich der Brennkammer 14 hinweg mehrere Brennstoffzufuhrbetriebsarten durchzuführen. Beispielsweise können die Rohre 36 in mehreren kreisförmigen Rohrbündeln 58 gruppiert sein, die, wie in **Fig. 4** gezeigt, um den Umfang eines zentralen Rohrbündels 60 angeordnet sind. In einer Abwandlung können, wie in **Fig. 5** gezeigt, mehrere tortenstückförmige Rohrbündel 62 eine einzelne Brennstoffdüse 34 entlang des Umfangs umgeben. Während Grundlastbetriebsbedingungen kann jeder Brennstoffdüse 34 und jedem in **Fig. 3-5** gezeigten Rohrbündel 58, 60, 62 Brennstoff zugeführt werden, wohingegen der Brennstoffzustrom aus der zentra-

len Brennstoffdüse 34 oder aus dem zentralen Rohrbündel 60 und/oder aus einer oder mehreren kreisförmig angeordneten Brennstoffdüsen 34 oder kreisförmigen oder tortenstückförmigen Rohrbündeln 58, 62 bei reduzierten oder gedrosselten Betriebszuständen vermindert oder vollständig eliminiert werden kann. Einem Fachmann werden anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres mehrere andere Formen und Gruppierungen für die Brennstoffdüsen 34, Rohre 36 und Rohrbündel 58, 60, 62 einfallen, und die spezielle Form und Gruppierung der Brennstoffdüsen 34, der Rohre 36 und der Rohrbündel 58, 60, 62 beinhalten keine Beschränkungen der vorliegenden Erfindung, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt.

[0034] Fig. 6 zeigt in einer seitlichen Querschnittansicht das Kopfende 48 der in Fig. 3 gezeigten Brennkammeranordnung 14 längs der Schnittlinie A-A gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 3 und 6 gezeigt, kann die Brennkammeranordnung 14 mehrere Brennstoffdüsen 34 enthalten, die radial um eine zentrale Brennstoffdüse 34 gruppiert sind, die im Wesentlichen fluchtend ausgerichtet ist mit einer axialen Mittellinie 64 der Brennkammeranordnung 14. Jede Brennstoffdüse 34 kann einen zentralen Grundkörper 66, der sich axial stromabwärts der Endabdeckung 46 erstreckt, und einen Mantel 68 enthalten, der wenigstens einen Abschnitt des zentralen Grundkörpers 66 umgibt, um einen ringförmigen Durchlasskanal 70 zwischen dem zentralen Grundkörper 66 und dem Mantel 68 zu bilden. Eine oder mehrere Schaufeln 72 können sich radial zwischen dem zentralen Grundkörper 66 und dem Mantel 68 erstrecken, und die Schaufeln 72 können abgewinkelt oder gekrümmt sein, um dem zwischen dem zentralen Grundkörper 66 und dem Mantel 68 durch den ringförmigen Durchlasskanal 70 strömenden Arbeitsfluid 22 einen Drall zu verleihen. Die Schaufeln 72 und/oder der zentrale Grundkörper 66 können eine oder mehrere Brennstoffzufuhröffnungen 74 enthalten. Auf diese Weise kann Brennstoff durch den zentralen Grundkörper 66 und/oder durch die Schaufeln 72 zugeführt werden, und die Brennstoffzufuhröffnungen 74 stellen eine strömungsmäßige Verbindung für den Brennstoff bereit, so dass dieser in den ringförmigen Durchlasskanal 70 strömt und sich mit dem Arbeitsfluid 22 mischt, bevor das Gemisch die Brennkammer 38 erreicht.

[0035] Wenn die Brennstoffdüsen 34 in die Brennkammer 14, z.B. in die in Fig. 2 gezeigte exemplarische Brennkammeranordnung 14, eingebaut sind, kann der in der Brennkammer 38 erfolgende Verbrennungsprozess Wärmefreisetzungsschwankungen hervorbringen, die ihrerseits mit einer oder mehreren Schallschwingungsmoden der Brennkammeranordnung 14 gekoppelt sind, so dass es zu Verbrennungsinstabilitäten kommt. Ein

spezieller Mechanismus, der Verbrennungsinstabilitäten hervorbringen kann, tritt auf, wenn die Schallpulsationen, die durch die Wärmefreisetzungsschwankungen angeregt werden, Schwankungen des Massendurchsatzes durch die Brennstoffzufuhröffnungen 74 hervorrufen. Beispielsweise können sich die Druckpulse, die den Verbrennungsflammen zugeordnet sind, stromaufwärts ausgehend von der Brennkammer 38 in jeden Ringkanal 70 hinein ausbreiten. Wenn die Druckpulse die Brennstoffzufuhröffnungen 74 und/oder Schaufeln 72 erreichen, können sie den durch die Brennstoffzufuhröffnungen 74 und/oder über die Schaufeln 72 strömenden Brennstoffzustrom beeinträchtigen, so dass es zu Schwankungen der Konzentration des Brennstoff-Luft-Gemisches kommt, das stromabwärts in Richtung der Verbrennungsflamme strömt. Diese Schwankung des Brennstoff/Luft-Verhältnisses bewegt sich anschließend stromabwärts zu dem Flammenbereich, wo sie eine Wärmefreisetzungsschwankung verursacht. Unter der Voraussetzung, dass sich die resultierende Wärmefreisetzungsschwankung in etwa in Phase mit den Druckschwankungen befindet, wird sie Wärmefreisetzungsschwankungen zusätzlich fördern, so dass eine ununterbrochene Rückkopplungsschleife entsteht. Falls die sich ergebende Wärmefreisetzungsschwankung und die Druckschwankungen hingegen phasenverschoben sind, wird das Maß der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz, die der speziellen Brennstoffdüse 34 zugeordnet ist, durch destruktive Überlagerung vermindert. Die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen, die den Brennstoffdüsen 34 zugeordnet sind, können ihrerseits entweder konstruktiv oder destruktiv miteinander in Wechselwirkung treten, um die Amplitude der Verbrennungsdynamik, die der speziellen Brennkammeranordnung 14 zugeordnet ist, zu vergrößern bzw. zu verkleinern.

[0036] Die sich ergebenden Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen werden eine Funktion der Zeitdauer sein, die der akustische Druckpuls braucht, um die Brennstoffzufuhröffnung zu erreichen, und die anschließend die sich ergebende Störung des Brennstoff/Luft-Verhältnisses braucht, um die Flammenzone zu erreichen. Diese Zeit ist aus dem Stand der Technik als konvektive Zeit τ bekannt. Die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen, die durch die Wechselwirkung zwischen den Schwankungen des Brennstoff/Luft-Verhältnisses und der akustischen Druckschwankung entstehen, sind daher umgekehrt proportional zu dem axialen Abstand zwischen den Brennstoffzufuhröffnungen 74 und/oder den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 (d.h. dem Ende der Brennstoffdüsen 34 oder dem Ende der Mäntel 68). In speziellen Ausführungsbeispielen können diese Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen in einer oder mehreren Brennstoffdüsen 34 eingestellt und/oder abgestimmt werden, um die Verbrennungsdyna-

mik, die der einzelnen Brennkammeranordnung 14 zugeordnet ist, zu beeinflussen. In dem in **Fig. 3** und **6** gezeigten speziellen Ausführungsbeispiel kann die Brennkammeranordnung 14 beispielsweise mehrere Brennstoffdüsen 34 enthalten, wobei ein axialer Abstand 76 zwischen den Brennstoffzufuhröffnungen 74 und/oder den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 für jede Brennstoffdüse 34 unterschiedlich ist. Dementsprechend wird sich die Verbrennungsinstabilitätsfrequenz, die für jede Brennstoffdüse 34 erzeugt wird, geringfügig unterscheiden, so dass eine konstruktive Interferenz zwischen den Brennstoffdüsen 34 gemildert oder daran gehindert wird, die Amplitude der Verbrennungsdynamik, die der speziellen Brennkammeranordnung 14 zugeordnet ist, zu steigern. Einem Fachmann wird anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres einleuchten, dass mehrere Kombinationen von Änderungen der axialen Abstände 76 zwischen den Brennstoffzufuhröffnungen 74 und/oder den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 möglich sind, um eine gewünschte Verbrennungsinstabilitätsfrequenz für jede Brennstoffdüse 34 und/oder eine gewünschte Verbrennungsdynamik für die spezielle Brennkammeranordnung 14 zu erreichen. Beispielsweise können die axialen Abstände 76 zwischen den Brennstoffzufuhröffnungen 74 und/oder den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 in speziellen Ausführungsformen für einige oder sämtliche Brennstoffdüsen 34 in einer speziellen Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder verschieden sein, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Kombination axialer Abstände 76 beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt.

[0037] Die Verbrennungsdynamiken, die mehreren Brennkammern 14 zugeordnet sind, die in der Gasturbine 10 eingebaut sind, können ihrerseits miteinander entweder aufbauend oder abbauend in Wechselwirkung treten, um die Amplitude und/oder Kohärenz der Verbrennungsdynamik, die der Gasturbine 10 zugeordnet ist, zu steigern oder zu vermindern. In speziellen Ausführungsbeispielen können die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen und/oder Verbrennungsdynamiken, die einer oder mehreren Brennkammeranordnungen 14 zugeordnet sind, eingestellt werden und/oder abgestimmt werden, um die Wechselwirkung mit der Verbrennungsdynamik einer weiteren Brennkammeranordnung 14 und somit die Verbrennungsdynamik, die der Gasturbine 10 zugeordnet ist, zu beeinflussen. Beispielsweise zeigt **Fig. 7** ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik und/oder der Kohärenz der Verbrennungsdynamik gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. In dem in **Fig. 7** gezeigten speziellen Ausführungsbeispiel sind mehrere Brennkammern 14, wie in **Fig. 3** und **6** gezeigt, um eine Achse 78 angeordnet. Die Achse 78 kann beispielsweise mit derjenigen des Rotors

18 in der Gasturbine 10, die den Verdichterabschnitt 12 mit dem Turbinenabschnitt 16 verbindet, zusammenfallen, wobei die vorliegende Erfindung jedoch nicht auf die spezielle Ausrichtung der Achse 78 oder die spezielle Gruppierung der Brennkammeranordnungen 14 um die Achse 78 beschränkt ist.

[0038] Wie in **Fig. 7** gezeigt, enthält jede Brennkammeranordnung 14 mehrere Brennstoffdüsen 34, wobei die Brennkammer 38, wie zuvor gemäß **Fig. 2, 3** und **6** beschrieben, stromabwärts der Brennstoffdüsen 34 angeordnet ist. Darüber hinaus enthält das System außerdem Mittel, um in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. Dadurch dass in der einen Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz erzeugt wird, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet, wird eine kohärente oder konstruktive Interferenz, die die Amplitude der Verbrennungsdynamik erhöhen oder die Kohärenz der Verbrennungsdynamik von zwei oder mehr Brennkammeranordnungen 14 steigern könnte, zwischen den Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen reduziert oder verhindert. Die Konstruktion für das Mittel kann eine Differenz unter den beiden Brennkammeranordnungen 14 zwischen einem oder mehreren der axialen Abstände 76 zwischen den Brennstoffzufuhröffnungen 74 und der Brennkammer 38 und/oder den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 beinhalten. In dem in **Fig. 7** gezeigten speziellen Ausführungsbeispiel unterscheidet sich unter den beiden Brennkammeranordnungen 14 beispielsweise jeder axiale Abstand 76 zwischen den Brennstoffzufuhröffnungen 74 und der Brennkammer 38 und zwischen den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38. Im Ergebnis erzeugt das Mittel verschiedene Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen in den beiden Brennkammeranordnungen 14. Einem Fachmann wird anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres einleuchten, dass mehrere Kombinationen von Änderungen der axialen Abstände 76 zwischen den Brennstoffzufuhröffnungen 74 und der Brennkammer 38 und/oder zwischen den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 möglich sind, um in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz hervorzubringen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen eine oder mehrere axiale Abstände 76 zwischen den Brennstoffzufuhröffnungen 74 und der Brennkammer 38 und/oder zwischen den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 für eine oder mehrere der Brennstoffdüsen 34 in einer speziellen Brennkammeranordnung 14 im Vergleich zu der anderen Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder ver-

schieden sein, vorausgesetzt, die axialen Abstände 76 zwischen beiden Brennkammeranordnungen 14 stimmen nicht sämtliche überein; und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Kombination axialer Abstände 76 beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt.

[0039] Fig. 8 veranschaulicht ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 8 gezeigt, weist auch hier jede Brennkammeranordnung 14 mehrere Brennstoffdüsen 34 auf, wobei die Brennkammer 38, wie zuvor gemäß Fig. 2, 3, 6 und 7 beschrieben, stromabwärts der Brennstoffdüsen 34 angeordnet ist. Weiter können die axialen Positionen der Brennstoffkanäle 74 und/oder der Schaufeln 72 in jeder Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder verschieden sein. Beispielsweise unterscheiden sich die axialen Positionen der Brennstoffkanäle 74 und der Schaufeln 72 in dem in Fig. 8 gezeigten speziellen Ausführungsbeispiel innerhalb derselben Brennkammeranordnung 14, jedoch wiederholen sich die axialen Positionen der Brennstoffkanäle 74 und der Schaufeln 72 in beiden Brennkammeranordnungen 14.

[0040] Das in Fig. 8 gezeigte Ausführungsbeispiel weist auch hier Mittel auf, um in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz oder Resonanzfrequenz zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz oder Resonanzfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. In diesem speziellen Ausführungsbeispiel kann die Konstruktion für die Mittel eine Differenz einer axialen Länge 80 der Kappenanordnung 50 in einer Brennkammeranordnung 14 im Vergleich zu der axialen Länge 80 der Kappenanordnung in der anderen Brennkammeranordnung 14 beinhalten. Dadurch dass sich die axialen Positionen der Brennstoffkanäle 74 und der Schaufeln 72 in beiden Brennkammeranordnungen 14 wiederholen, erzeugt die Differenz der axialen Längen 80 unter den beiden Brennkammeranordnungen 14 eine entsprechende Differenz der axialen Abstände 76 zwischen den Brennstoffzufuhröffnungen 74 und der Brennkammer 38 und zwischen den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 unter den beiden Brennkammeranordnungen 14. Die Differenz axialer Abstände 76 unter den beiden Brennkammeranordnungen 14 erzeugt eine entsprechende Differenz der Verbrennungsinstabilität oder der Resonanzfrequenzen unter den beiden Brennkammeranordnungen 14. Einem Fachmann wird anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres einleuchten, dass mehrere Kombinationen von Änderungen der axialen Abstände 76 zwischen den Brennstoffzufuhröffnungen 74 und der Brennkammer 38 und/oder den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 möglich sind, um in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilität oder Resonanzfrequenz

hervorzubringen, die sich von der Verbrennungsinstabilität oder Resonanzfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen eine oder mehrere axiale Abstände 76 zwischen den Brennstoffzufuhröffnungen 74 und der Brennkammer 38 und/oder zwischen den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 für eine oder mehrere der Brennstoffdüsen 34 in einer speziellen Brennkammeranordnung 14 im Vergleich zu der anderen Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder verschieden sein, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Kombination axialer Abstände 76 beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt.

[0041] Fig. 9 veranschaulicht eine seitliche Schnittansicht des Kopfendes 48 der in Fig. 5 gezeigten Brennkammeranordnung 14 längs der Schnittrlinie B-B gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Wie gezeigt, erstreckt sich die Kappenanordnung 50 radial über die Brennkammeranordnung 14 und weist eine stromaufwärts gelegene Fläche 82 auf, die axial von einer stromabwärts gelegenen Fläche 84 getrennt ist. Die stromaufwärtigen und stromabwärtigen Flächen 82, 84 können im Wesentlichen eben oder geradlinig und gegenüber dem allgemeinen Strom des Arbeitsfluids 22 durch die Kappenanordnung 50 senkrecht ausgerichtet sein. Auch in dem in Fig. 9 gezeigten speziellen Ausführungsbeispiel ist die Brennstoffdüse 34 im Wesentlichen mit der axialen Mittellinie 64 der Kappenanordnung 50 fluchtend ausgerichtet und erstreckt sich durch die Kappenanordnung 50, um eine strömungsmäßige Verbindung durch die Kappenanordnung 50 zu der Brennkammer 38 bereitzustellen. Die Brennstoffdüse 34 kann eine dem Fachmann bekannte beliebige geeignete Konstruktion enthalten, die dazu dient, Brennstoff mit dem Arbeitsfluid 22 vor dem Eintritt in die Brennkammer 38 zu mischen, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Struktur oder Konstruktion beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt. Beispielsweise kann die Brennstoffdüse 34, wie in Fig. 9 gezeigt, den zentralen Grundkörper 66, den Mantel 68, den Ringkanal 70, die Schaufeln 72 und die Brennstoffzufuhröffnungen 74 aufweisen, wie es zuvor mit Bezug auf das in Fig. 6 gezeigte Ausführungsbeispiel beschrieben ist.

[0042] Wie in Fig. 5 und 9 gezeigt, können die Rohre 36 in tortenstückförmigen Rohrbündeln 62 kreisförmig um die Brennstoffdüse 34 angeordnet sein, und sie können sich von der stromaufwärts gelegenen Fläche 82 durch die stromabwärts gelegene Fläche 84 der Kappenanordnung 50 erstrecken. Jedes Rohr 36 weist allgemein in der Nähe der stromaufwärts gelegenen Fläche 82 einen Einlass 86 und in der Nähe der stromabwärtigen Fläche 84 einen Auslass 88 auf, um eine strömungsmäßige Verbindung durch

die Kappenanordnung 50 und in die stromabwärts der Rohre 36 angeordnete Brennkammer 38 bereitzustellen.

[0043] Wie in **Fig. 9** gezeigt, können die stromaufwärtige und die stromabwärtige Fläche 82, 84 zumindest teilweise einen Brennstoffsammelraum 90 innerhalb der Kappenanordnung 50 bilden. Ein Brennstoffkanal 92 kann sich von dem Gehäuse 32 und/oder der Endabdeckung 46 durch die stromaufwärts gelegene Fläche 82 erstrecken, um eine strömungsmäßige Verbindung für Brennstoff bereitzustellen, der in den Brennstoffsammelraum 90 strömt. Ein oder mehrere Rohre 36 können einen Brennstoffinjektor 94 enthalten, der sich durch die Rohre 36 erstreckt, um eine strömungsmäßige Verbindung von dem Brennstoffsammelraum 90 in die Rohre 36 bereitzustellen. Die Brennstoffinjektoren 94 können abgewinkelt radial, axial und/oder azimuthal gestaltet sein, um den durch die Brennstoffinjektoren 94 und in die Rohre 36 strömenden Brennstoff voranzutreiben und/oder zu verwirbeln. Das Arbeitsfluid 22 kann somit in die Rohreinlässe 86 strömen, und Brennstoff aus dem Brennstoffkanal 92 kann um die in dem Brennstoffsammelraum 90 angeordneten Rohre 36 strömen, um die Rohre 36 konvektiv zu kühlen, bevor er durch die Brennstoffinjektoren 94 und in die Rohre 36 strömt, um sich mit dem Arbeitsfluid 22 zu vermischen. Das Gemisch aus Brennstoff und Arbeitsfluid kann anschließend durch die Rohre 36 und in die Brennkammer 38 strömen.

[0044] Wie zuvor mit Bezug auf das in **Fig. 6** gezeigte Ausführungsbeispiel beschrieben, kann der in der Brennkammer 38 erfolgende Verbrennungsprozess, wenn die Rohre 36 in der Brennkammer 14, z.B. in der in **Fig. 2** gezeigten exemplarischen Brennkammeranordnung 14, eingebaut sind, Wärmefreisetzungs-schwankungen hervorbringen, die ihrerseits mit einer oder mehreren Schallschwingungsmoden der Brennkammeranordnung 14 gekoppelt sind, so dass Verbrennungsinstabilitäten hervorgerufen werden. Ein spezieller Mechanismus, durch den Verbrennungsinstabilitäten erzeugt werden können, tritt auf, wenn die durch die Wärmefreisetzungs-schwankungen angeregten akustischen Pulsationen sich stromaufwärts zu den Brennstoffinjektoren 94 bewegen, wo sie den durch die Brennstoffinjektoren 94 strömenden Brennstoffzustrom beeinträchtigen und Schwankungen der Konzentration in dem stromabwärts in Richtung der Verbrennungsflamme strömenden Brennstoff/Luftgemisch erzeugen können. Diese Schwankung des Brennstoff/Luft-Verhältnisses bewegt sich anschließend stromabwärts zu dem Flammenbereich, wo sie eine Wärmefreisetzungs-schwankung hervorrufen kann. Unter der Voraussetzung, dass die sich ergebende Wärmefreisetzungs-schwankung in etwa phasengleich mit den Druckschwankungen ist, wird sie Wärmefreisetzungs-schwankungen zusätzlich fördern, so

dass eine ununterbrochenen Rückkopplungsschleife geschlossen ist. Falls die sich ergebende Wärmefreisetzungs-schwankung und die Druckschwankungen hingegen außerphasig sind, wird eine destruktive Interferenz die Größe der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz, die den Rohren 36, den Rohrbündeln 62 und/oder der Kappenanordnung 50 zugeordnet ist, verringern. Die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen, die den Rohren 36 und/oder den Rohrbündeln 62 zugeordnet sind, können ihrerseits entweder konstruktiv oder destruktiv miteinander in Wechselwirkung treten, um die Amplitude der Verbrennungsdynamik, die der speziellen Brennkammeranordnung 14 zugeordnet ist, zu vergrößern oder zu verkleinern.

[0045] Die sich ergebenden Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen werden eine Funktion der Zeit sein, die der akustische Druckpuls erfordert, um den Brennstoffinjektor 94 zu erreichen, und die anschließend die sich ergebende Störung des Brennstoff/Luft-Verhältnisses erfordert, um die Flammenzone zu erreichen. Diese Zeit ist aus dem Stand der Technik als konvektive Zeit τ bekannt. Die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen, die durch die Wechselwirkung zwischen den Schwankungen des Brennstoff/Luft-Verhältnisses und der akustischen Druckschwankung erzeugt werden, sind daher umgekehrt proportional zu dem axialen Abstand zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 (d.h. den Rohrauslässen 88). In speziellen Ausführungsbeispielen können diese Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen in einem oder mehreren Rohren 36 und/oder Rohrbündeln 62 eingestellt und/oder abgestimmt werden, um die Verbrennungsdynamik, die der einzelnen Brennkammeranordnung 14 zugeordnet ist, zu beeinflussen. In dem in **Fig. 5** und **9** gezeigten speziellen Ausführungsbeispiel können die Rohre 36 beispielsweise für jedes Rohrbündel 62 einen unterschiedlichen axialen Abstand 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 aufweisen. Dementsprechend wird sich die Verbrennungsinstabilitätsfrequenz für jedes Rohr 62 geringfügig unterscheiden, so dass eine konstruktive Interferenz zwischen den Rohrbündeln 62 gemildert oder daran gehindert wird, die Amplitude der Verbrennungsdynamik, die der speziellen Brennkammeranordnung 14 zugeordnet ist, zu erhöhen. Einem Fachmann wird anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres einleuchten, dass mehrere Kombinationen von Änderungen der axialen Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 möglich sind, um für jedes Rohr 36 und/oder Rohrbündel 62 eine gewünschte Verbrennungsinstabilitätsfrequenz, und/oder für die spezielle Brennkammeranordnung 14 eine gewünschte Verbrennungsdynamik zu erreichen. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen die axialen Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 für einige oder sämtliche Rohre 36 und/oder Rohrbündel

62 in einer speziellen Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder verschieden sein, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Kombination axialer Abstände 96 beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt.

[0046] Die Verbrennungsdynamiken, die mehreren Brennkammern 14 zugeordnet sind, die in der Gasturbine 10 eingebaut sind, können ihrerseits entweder aufbauend oder abbauend miteinander in Wechselwirkung treten, um die Amplitude und/oder Kohärenz der Verbrennungsdynamik, die der Gasturbine 10 zugeordnet ist, zu steigern oder zu vermindern. In speziellen Ausführungsbeispielen können die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen und/oder Verbrennungsdynamiken, die einer oder mehrere Brennkammeranordnungen 14 zugeordnet sind, eingestellt und/oder abgestimmt werden, um die Wechselwirkung mit der Verbrennungsdynamik einer weiteren Brennkammeranordnung 14, und auf diese Weise die Verbrennungsdynamik, die der Gasturbine 10 zugeordnet ist, zu stören. Beispielsweise zeigt **Fig. 10** ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. In dem in **Fig. 10** dargestellten speziellen Ausführungsbeispiel sind, mehrere Brennkammern 14, wie in **Fig. 5** und **9** gezeigt, um eine Achse 100 angeordnet. Die Achse 100 kann beispielsweise mit dem Rotor 18 in der Gasturbine 10 übereinstimmen, der den Verdichterabschnitt 12 mit dem Turbinenabschnitt 16 verbindet, jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht auf die spezielle Ausrichtung der Achse 100 oder die spezielle Gruppierung der Brennkammeranordnungen 14 um die Achse 100 beschränkt.

[0047] Wie in **Fig. 10** dargestellt, enthält jede Brennkammeranordnung 14 mehrere Rohre 36, die in tortenstückförmigen Rohrbündeln 62 angeordnet sind, die die Brennstoffdüse 34 um den Umfang umgeben, und die Brennkammer 38 befindet sich, wie zuvor gemäß **Fig. 2**, **5** und **9** beschrieben, bezüglich der Rohre 36, Rohrbündel 62 und Brennstoffdüse 34 stromabwärts. Weiter weist das System außerdem Mittel auf, um in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. Die Konstruktion für das Mittel kann eine Differenz unter den beiden Brennkammeranordnungen 14 zwischen einem oder mehreren der axialen Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 beinhalten. In dem in **Fig. 10** dargestellten speziellen Ausführungsbeispiel unterscheidet sich unter den beiden Brennkammeranordnungen 14 beispielsweise der axiale Abstand 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 für jedes Rohrbündel 62. Im Ergebnis erzeugt das Mittel unterschiedliche Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen in den beiden Brennkammeranordnungen 14.

Einem Fachmann wird anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres einleuchten, dass mehrere Kombinationen von Änderungen der axialen Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 möglich sind, um eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in einer Brennkammeranordnung 14 hervorzubringen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen ein oder mehrere axiale Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 für ein oder mehrere Rohre 36 und/oder Rohrbündel 62 in einer speziellen Brennkammeranordnung 14 im Vergleich zu der anderen Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder verschieden sein, solange die axialen Abstände 96 zwischen beiden Brennkammeranordnungen 14 nicht sämtliche gleich sind, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Kombination axialer Abstände 96 beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt.

[0048] **Fig. 11** veranschaulicht ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Wie in **Fig. 11** gezeigt, weist auch hier jede Brennkammeranordnung 14 mehrere Rohre 36 auf, die in tortenstückförmigen Rohrbündeln 62 angeordnet sind, die die Brennstoffdüse 34 um den Umfang umgeben, und die Brennkammer 38 befindet sich stromabwärts der Rohre 36, Rohrbündel 62 und Brennstoffdüse 34, wie zuvor gemäß **Fig. 2**, **5**, **9** und **10** beschrieben. Darüber hinaus können die axialen Positionen der Brennstoffinjektoren 94 in jeder Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder verschieden sein. In dem in **Fig. 11** dargestellten speziellen Ausführungsbeispiel sind die axialen Positionen der Brennstoffinjektoren 94 beispielsweise für jedes Rohrbündel 62 innerhalb derselben Brennkammeranordnung 14 verschieden, während sich die axialen Positionen der Brennstoffinjektoren 94 für jedes Rohrbündel 62 in beiden Brennkammeranordnungen 14 hingegen wiederholen.

[0049] Das in **Fig. 11** dargestellte Ausführungsbeispiel weist auch hier Mittel auf, um in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilität oder Resonanzfrequenz zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilität oder Resonanzfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. Wie im Falle des vorangehenden und in **Fig. 8** veranschaulichten Ausführungsbeispiels beschrieben, kann die Konstruktion für die Mittel eine Differenz der axialen Länge 80 der Kappenanordnung 50 in einer Brennkammeranordnung 14 im Vergleich zu der axialen Länge 80 der Kappenanordnung in der anderen Brennkammeranordnung 14 beinhalten. Dadurch dass sich die axialen Positionen der Brennstoffinjektoren 94 in beiden Brennkammeranordnungen 14 unterscheiden, wird eine Differenz der axialen Länge 80 der Kappenanordnung 50 in einer Brennkammeranordnung 14 im Vergleich zu der axialen Länge 80 der Kappenanordnung in der anderen Brennkammeranordnung 14 beinhalten. Dadurch dass sich die axialen Positionen der Brennstoffinjektoren 94 in beiden Brennkammeranordnungen 14 unterscheiden, wird eine Differenz der axialen Länge 80 der Kappenanordnung 50 in einer Brennkammeranordnung 14 im Vergleich zu der axialen Länge 80 der Kappenanordnung in der anderen Brennkammeranordnung 14 beinhalten.

ranordnungen 14 wiederholen, erzeugt die Differenz der axialen Längen 80 zwischen den beiden Brennkammeranordnungen 14 unter den beiden Brennkammeranordnungen 14 eine entsprechende Differenz der axialen Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38. Die Differenz der axialen Abstände 96 zwischen den beiden Brennkammeranordnungen 14 erzeugt eine entsprechende Differenz der Verbrennungsinstabilitäts- oder Resonanzfrequenzen unter den beiden Brennkammeranordnungen 14. Einem Fachmann wird anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres einleuchten, dass mehrere Kombinationen von Änderungen der axialen Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 möglich sind, um in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitäts- oder Resonanzfrequenz hervorzubringen, die sich von der Verbrennungsinstabilitäts- oder Resonanzfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen eine oder mehrere axiale Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 für ein oder mehrere Rohre 36 und/oder Rohrbündel 62 in einer speziellen Brennkammeranordnung 14 im Vergleich zu der anderen Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder verschieden sein, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Kombination axialer Abstände 96 beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt.

[0050] Fig. 12 zeigt eine exemplarische grafische Darstellung von Brennkammeranordnungsdynamiken gemäß unterschiedlichen Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung. Die horizontale Achse repräsentiert einen Bereich von Verbrennungsinstabilitäts- oder Resonanzfrequenzen, und die vertikale Achse repräsentiert einen Bereich von Amplituden. Das in Fig. 12 dargestellte System kann drei oder mehr Brennkammeranordnungen 14 enthalten, die in der Gasturbine 10 oder in einem sonstigen Turbotriebwerk eingebaut sind. Durch den Einsatz der Mittel, die dazu dienen, in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet, kann jede Brennkammeranordnung 14 eingestellt oder abgestimmt sein, um eine gewünschte Verbrennungsinstabilitätsfrequenz oder Verbrennungsdynamik zu erreichen. Wie in Fig. 12 gezeigt, kann beispielsweise eine erste Gruppe der Brennkammeranordnungen 14 eingestellt und/oder abgestimmt sein, um eine erste Verbrennungsinstabilitätsfrequenz 102 zu erreichen, eine zweite Gruppe der Brennkammeranordnungen 14 kann eingestellt und/oder abgestimmt sein, um eine zweite Verbrennungsinstabilitätsfrequenz 104 zu erreichen, und eine dritte Gruppe der Brennkammeranordnungen

14 kann eingestellt und/oder abgestimmt sein, um eine dritte Verbrennungsinstabilitätsfrequenz 106 zu erreichen. Die erste, zweite und dritte Verbrennungsinstabilitätsfrequenz 102, 104, 106 unterscheiden sich geringfügig voneinander und sind daher geringfügig gegeneinander phasenverschoben. Folglich sind die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen 102, 104, 106, die den Brennkammern 14 zugeordnet sind, nicht in der Lage, kohärent oder konstruktiv miteinander in Wechselwirkung zu treten, was eine Steigerung der Verbrennungsdynamik dämpft oder verhindert, und/oder die Fähigkeit des Brennkammersystems reduziert, Resonanzschwingungen in dem stromabwärts angeordneten Turbinenabschnitt 16 anzuregen.

[0051] Einem Fachmann wird anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres einleuchten, dass die mit Bezug auf Fig. 1-11 beschriebenen und veranschaulichten vielfältigen Konstruktionen ein oder mehrere Verfahren zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik und/oder zur Reduzierung der Kohärenz der Verbrennungsdynamiken im Falle von zwei oder mehr Brennkammeranordnungen 14 schaffen können. Die Verfahren können beispielsweise den Schritt des Leitens des Arbeitsfluids 22 und des Brennstoffs durch eine oder mehrere Brennstoffdüsen 34, durch Rohre 36 und/oder durch Rohrbündel 62 in die Brennkammern 38 mehrerer Brennkammeranordnungen 14 beinhalten. In speziellen Ausführungsbeispielen kann das Verfahren den Schritt des Variierens eines oder mehrerer axialer Abstände 76 zwischen den Brennstoffzufuhröffnungen 74 und der Brennkammer 38 und/oder zwischen den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 beinhalten, vorausgesetzt, die axialen Abstände 76 sind nicht alle zwischen sämtlichen Brennkammeranordnungen 14 gleich, so dass in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz hervorgebracht wird, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. In weiteren speziellen Ausführungsbeispielen kann das Verfahren den Schritt des Variierens eines oder mehrerer axialer Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 beinhalten, vorausgesetzt, die axialen Abstände 96 sind nicht alle zwischen sämtlichen der Brennkammeranordnungen 14 gleich, so dass in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz hervorgebracht wird, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. In noch weiteren speziellen Ausführungsbeispielen kann das Verfahren den Schritt des Variierens einer oder mehrerer axialer Längen 80 der Kappenanordnung 50 beinhalten, vorausgesetzt, die axialen Längen 80 stimmen nicht sämtliche zwischen allen Brennkammeranordnungen 14 überein, so dass in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz

hervorgebracht wird, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet.

[0052] Die mit Bezug auf **Fig. 1-12** beschriebenen und veranschaulichten unterschiedlichen Ausführungsbeispiele können einen oder mehrere der folgenden Vorteile gegenüber bestehenden Brennkammeranordnungen 14 bieten. Insbesondere können die unterschiedlichen axialen Abstände 76, 96 und/oder axialen Längen 80 für sich allein oder in vielfältigen Kombinationen die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen von den Verbrennungsdynamiken abkoppeln. Infolgedessen können die vielfältigen hierin beschriebenen Ausführungsbeispiele den thermodynamischen Wirkungsgrad erhöhen, die Flammenstabilität fördern und/oder unerwünschte Emissionen über einen großen Bereich von Betriebspegeln vermindern.

[0053] Die vorliegende Beschreibung verwendet Beispiele, um die Erfindung einschließlich des besten Modus zu beschreiben, 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 Schutzbereich der Erfindung ist durch die Ansprüche definiert und kann andere dem Fachmann in den Sinn kommende Beispiele umfassen. Solche anderen Beispiele sollen in den Schutzbereich der Ansprüche fallen, falls sie strukturelle Elemente enthalten, die sich von dem Wortlaut der Ansprüche nicht unterscheiden, oder falls sie äquivalente strukturelle Elemente enthalten, die nur unwesentlich von dem wörtlichen Inhalt der Ansprüche abweichen.

[0054] Ein System und Verfahren zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik enthält erste und zweite Brennkammeranordnungen, die um eine Achse gruppiert sind, und jede Brennkammeranordnung enthält eine Kappenanordnung, die sich radial über die Brennkammeranordnung erstreckt, und eine Brennkammer, die stromabwärts der Kappenanordnung angeordnet ist. Jede Kappenanordnung enthält mehrere Rohre, die sich axial durch die Kappenanordnung erstrecken, um eine strömungsmäßige Verbindung durch die Kappenanordnung zu der Brennkammer bereitzustellen, und einen Brennstoffinjektor, der sich durch jedes Rohr erstreckt, um eine strömungsmäßige Verbindung in jedes Rohr hinein bereitzustellen. Jede Kappenanordnung weist eine axiale Länge auf, wobei sich die axiale Länge der Kappenanordnung in der ersten Brennkammeranordnung von der axialen Länge der Kappenanordnung in der zweiten Brennkammeranordnung unterscheidet.

Bezugszeichenliste:

10	Gasturbine
12	Verdichterabschnitt
14	Brennkammeranordnungen
16	Turbinenabschnitt
18	Laufgrad
20	Generator
22	Arbeitsfluid
24	stationäre Leitschaufeln
26	rotierende Schaufeln
28	Verdichtergehäuse
30	Verdichterauslasssammelraum
32	Brennkammergehäuse
34	Brennstoffdüsen
36	Rohre
38	Brennkammer
40	Übergangskanal
42	rotierende Schaufeln
44	stationäre Leitapparate
46	Endabdeckung
48	Kopfende
50	Kappenanordnung
52	Brennkammerwand
54	Strömungslöcher
56	Prallhülse
58	kreisförmige Rohrbündel
60	zentrales Rohrbündel
62	tortenstückförmige Rohrbündel
64	axiale Mittellinie
66	zentraler Grundkörper
68	Mantel
70	Ringkanal
72	Leitschaufeln
74	Brennstoffzufuhröffnungen
76	axiale Abstände
78	Achse
80	axiale Länge der Kappenanordnung
82	stromaufwärts gelegene Fläche
84	stromabwärts gelegene Fläche
86	Rohreinlass

88	Rohrauslass
90	Brennstoffsammelraum
92	Brennstoffkanal
94	Brennstoffinjektor
96	axialer Abstand
100	Achse
102	erste Resonanzfrequenz
104	zweite Resonanzfrequenz
106	dritte Resonanzfrequenz

Patentansprüche

1. System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik in einer Gasturbine (10), wobei zu dem System gehören:

eine erste und eine zweite Brennkammeranordnung (14), die um eine Achse (78) eines Rotors (18) der Gasturbine (10) angeordnet sind, wobei jede Brennkammeranordnung (14) eine Kappenanordnung (50), die sich radial über die Brennkammeranordnung (14) erstreckt, und eine Brennkammer (38) aufweist, die stromabwärts der Kappenanordnung (50) angeordnet ist, wobei die Kappenanordnung (50) eine stromaufwärtige Fläche (82) und eine von der stromaufwärtigen Fläche (82) axial getrennte stromabwärtige Fläche (84) aufweist, die ein stromaufwärtiges Ende der Brennkammer (38) der jeweiligen Brennkammeranordnung (14) definiert; wobei jede Kappenanordnung (50) mehrere Rohre (36) enthält, die sich axial durch die Kappenanordnung (50) erstrecken, um eine strömungsmäßige Verbindung durch die Kappenanordnung (50) zu der Brennkammer (38) bereitzustellen, wobei jedes Rohr (36) einen Brennstoffinjektor (94) aufweist, der sich durch jedes Rohr (36) erstreckt, um eine strömungsmäßige Verbindung in jedes Rohr (36) hinein bereitzustellen; und

wobei jede Kappenanordnung (50) eine axiale Länge (80) aufweist, die zwischen der stromaufwärtigen Fläche (82) und der stromabwärtigen Fläche (84) der jeweiligen Kappenanordnung (50) definiert ist, wobei sich die axiale Länge (80) der Kappenanordnung (50) in der ersten Brennkammeranordnung (14) von der axialen Länge (80) der Kappenanordnung (50) in der zweiten Brennkammeranordnung (14) unterscheidet.

2. System nach Anspruch 1, wobei die mehreren Rohre (36) in jeder Kappenanordnung (50) in mehreren Rohrbündeln (58, 62) gruppiert sind, die radial über die Kappenanordnung (50) angeordnet sind, wobei der Brennstoffinjektor (94) durch jedes Rohr (36) in einem axialen Abstand (96) von der Brennkammer (38) angeordnet ist, und wobei sich der axiale Abstand (96) für mindestens zwei Rohrbündel (58, 62) in der ersten Brennkammeranordnung (14)

unterscheidet, und/oder wobei jede Kappenanordnung (50) zusätzlich eine Brennstoffdüse (34) aufweist, die sich axial durch die Kappenanordnung (50) erstreckt, um eine strömungsmäßige Verbindung durch die Kappenanordnung (50) zu der Brennkammer (38) bereitzustellen, wobei zu jeder Brennstoffdüse (34) gehören: ein sich axial erstreckender zentraler Grundkörper (66), ein Mantel (68), der wenigstens einen Abschnitt des sich axial erstreckenden zentralen Grundkörpers (66) umgibt, mehrere Leitschaufeln (72), die sich radial zwischen dem zentralen Grundkörper (66) und dem Mantel (68) erstrecken, eine erste Brennstoffzufuhröffnung (74) durch mindestens eine der mehreren Leitschaufeln (72) in einem ersten axialen Abstand (76) von der Brennkammer (38), eine zweite Brennstoffzufuhröffnung (74) durch den zentralen Grundkörper (66) in einem zweiten axialen Abstand (76) von der Brennkammer (38), und wobei die mehreren Leitschaufeln (72) in einem dritten axialen Abstand (76) von der Brennkammer (38) angeordnet sind.

3. System nach Anspruch 2, wobei sich wenigstens einer der axialen Abstände unterscheidet, sei dies der erste axiale Abstand (76) in der ersten Brennkammeranordnung (50) von dem ersten axialen Abstand (76) in der zweiten Brennkammeranordnung (50), der zweite axiale Abstand (76) in der ersten Brennkammeranordnung (50) von dem zweiten axialen Abstand (76) in der zweiten Brennkammeranordnung (50) oder der dritte axiale Abstand (76) in der ersten Brennkammeranordnung (50) von dem dritten axialen Abstand (76) in der zweiten Brennkammeranordnung (50).

4. System nach Anspruch 2, wobei sich wenigstens zwei der axialen Abstände unterscheiden, sei dies der erste axiale Abstand (76) in der ersten Brennkammeranordnung (14) von dem ersten axialen Abstand (76) in der zweiten Brennkammeranordnung (14), der zweite axiale Abstand (76) in der ersten Brennkammeranordnung (14) von dem zweiten axialen Abstand (76) in der zweiten Brennkammeranordnung (14) oder der dritte axiale Abstand (76) in der ersten Brennkammeranordnung (14) von dem dritten axialen Abstand (76) in der zweiten Brennkammeranordnung (14).

5. System nach Anspruch 2, wobei der erste axiale Abstand (76) in der ersten Brennkammeranordnung (14) sich von dem ersten axialen Abstand (76) in der zweiten Brennkammeranordnung (14) unterscheidet, der zweite axiale Abstand (76) in der ersten Brennkammeranordnung (14) sich von dem zweiten axialen Abstand (76) in der zweiten Brennkammeranordnung (14) unterscheidet und der dritte axiale Abstand (76) in der ersten Brennkammeranordnung (14) sich von dem dritten axialen Abstand (76) in der zweiten Brennkammeranordnung (14) unterscheidet.

6. System nach Anspruch 2, wobei jede Brennkammeranordnung (14) mehrere Brennstoffdüsen (34) aufweist und wobei mindestens einer der axialen Abstände, sei dies der erste, der zweite oder der dritte axiale Abstand (76), für mindestens zwei Brennstoffdüsen (34) in der ersten Brennkammeranordnung (14) unterschiedlich ist.

7. System nach Anspruch 2, wobei jede Brennkammeranordnung mehrere Brennstoffdüsen (34) aufweist und sich mindestens zwei der axialen Abstände, seien dies die ersten, die zweiten oder die dritten axialen Abstände (76), für mindestens zwei Brennstoffdüsen (34) in der ersten Brennkammeranordnung (14) unterscheiden.

8. System nach Anspruch 2, wobei jede Brennkammeranordnung (14) mehrere Brennstoffdüsen (34) aufweist und wobei die ersten, die zweiten und die dritten axialen Abstände (76) sich für mindestens zwei Brennstoffdüsen (34) in der ersten Brennkammeranordnung (14) unterscheiden.

9. System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik in einer Gasturbine (10), wobei zu dem System gehören:

eine erste und eine zweite Brennkammeranordnung (14), die um eine Achse (78) eines Rotors (18) der Gasturbine (10) gruppiert sind, wobei jede Brennkammeranordnung (14) eine Kappenanordnung (50), die sich radial über die Brennkammeranordnung (14) erstreckt, und eine Brennkammer aufweist, die stromabwärts der Kappenanordnung angeordnet ist, wobei die Kappenanordnung (50) eine stromaufwärtige Fläche (82) und eine von der stromaufwärtigen Fläche (82) axial getrennte stromabwärtige Fläche (84) aufweist, die ein stromaufwärtiges Ende der Brennkammer (38) der jeweiligen Brennkammeranordnung (14) definiert;

wobei jede Kappenanordnung (50) eine Brennstoffdüse (34) aufweist, die sich axial durch die Kappenanordnung (50) erstreckt, um eine strömungsmäßige Verbindung durch die Kappenanordnung (50) zu der Brennkammer (38) bereitzustellen, wobei zu jeder Brennstoffdüse (34) gehören: ein sich axial erstreckender zentraler Grundkörper (66), ein Mantel (68), der wenigstens einen Abschnitt des sich axial erstreckenden zentralen Grundkörpers (66) umgibt, mehrere Leitschaufeln (72), die sich radial zwischen dem zentralen Grundkörper (66) und dem Mantel (68) erstrecken, eine erste Brennstoffzufuhröffnung (74) durch mindestens einen der mehreren Leitschaufeln (72) in einem ersten axialen Abstand (76) von der Brennkammer (38), eine zweite Brennstoffzufuhröffnung (74) durch den zentralen Grundkörper (66) in einem zweiten axialen Abstand (76) von der Brennkammer (38) und wobei die mehreren Leitschaufeln (72) in einem dritten axialen Abstand (76) von der Brennkammer (38) angeordnet sind, wobei sich der erste, der zweite

und der dritte Abstand (76) voneinander unterscheiden; und

wobei jede Kappenanordnung (50) eine axiale Länge (80) aufweist, die zwischen der stromaufwärtigen Fläche (82) und der stromabwärtigen Fläche (84) der jeweiligen Kappenanordnung (50) definiert ist, wobei sich die axiale Länge (80) der Kappenanordnung (50) in der ersten Brennkammeranordnung (14) von der axialen Länge (80) der Kappenanordnung (50) in der zweiten Brennkammeranordnung (14) unterscheidet.

Es folgen 12 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

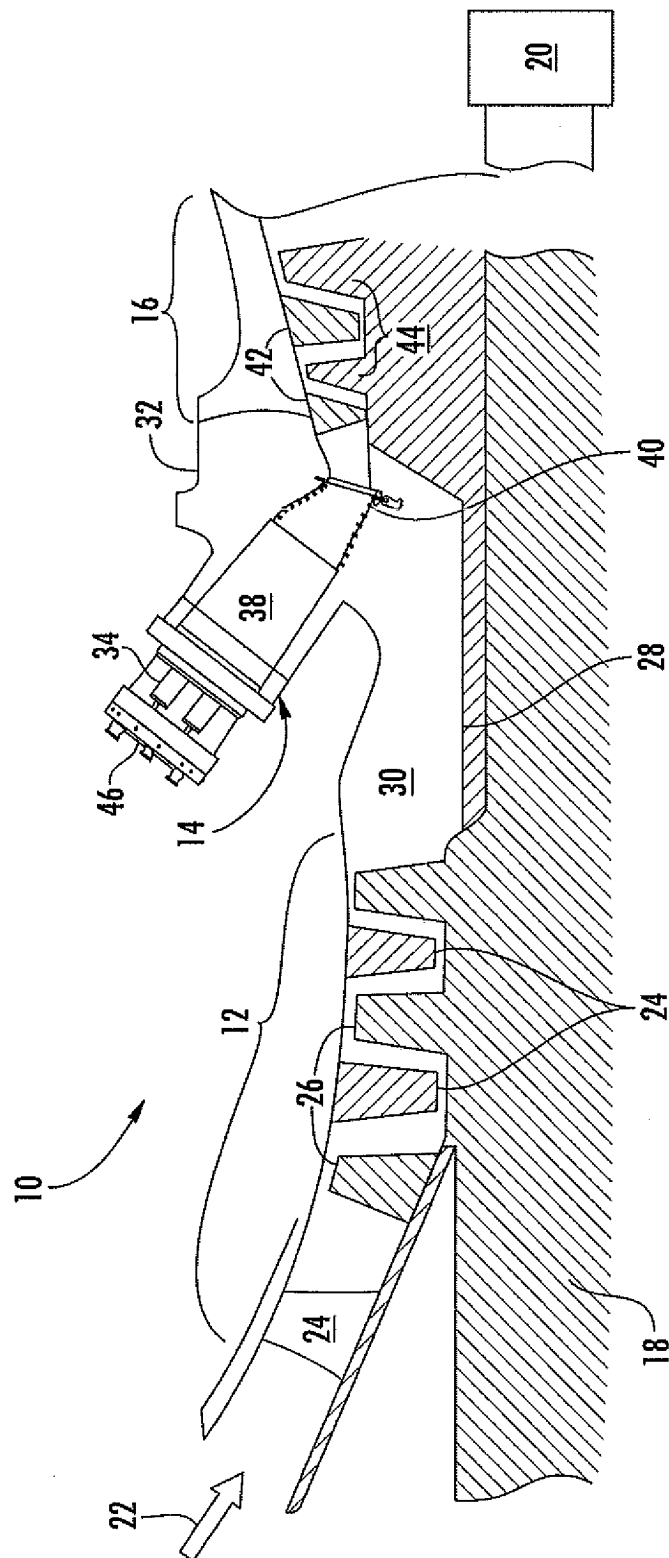


FIG. 1
(Stand der Technik)

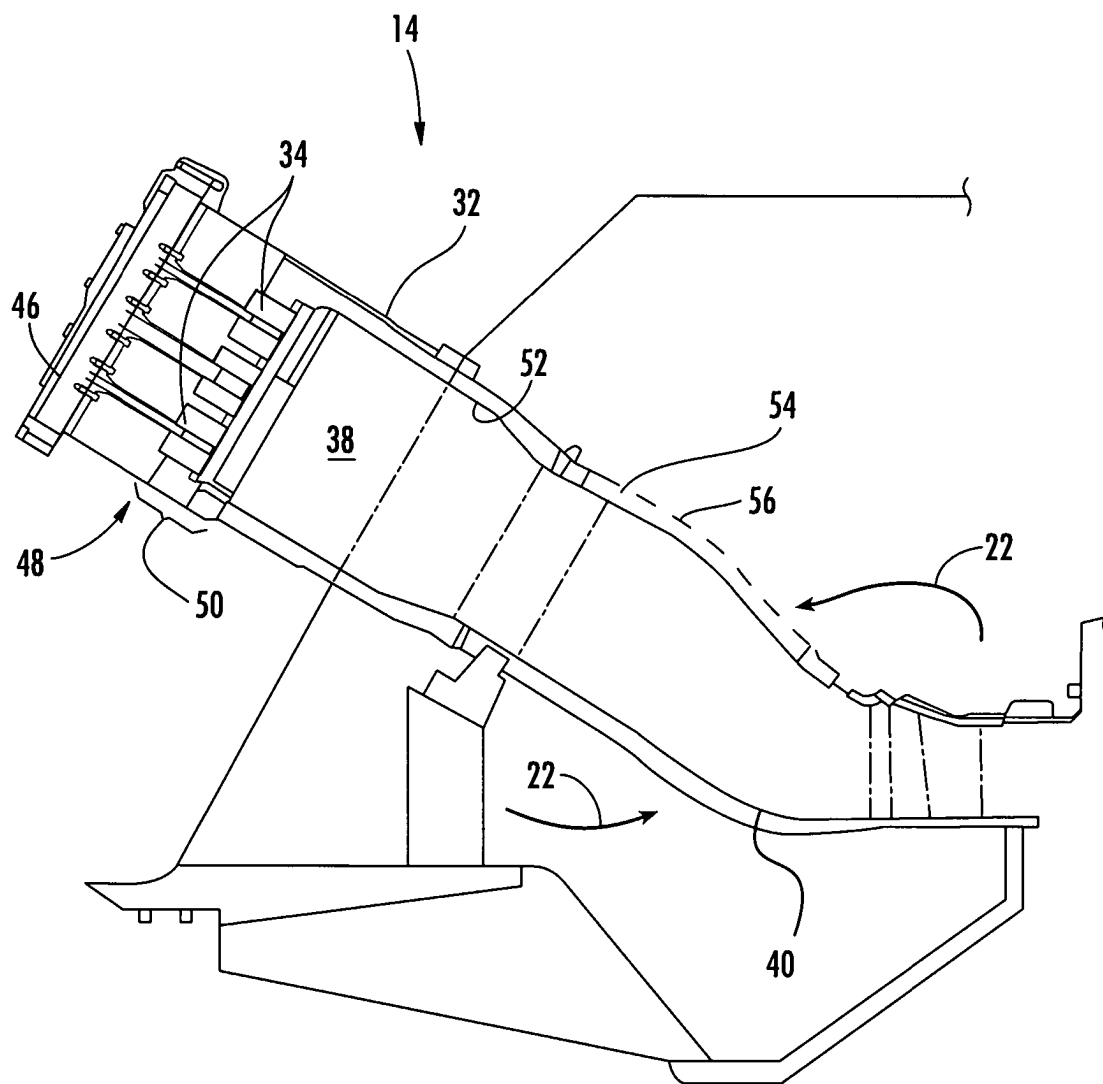


FIG. 2

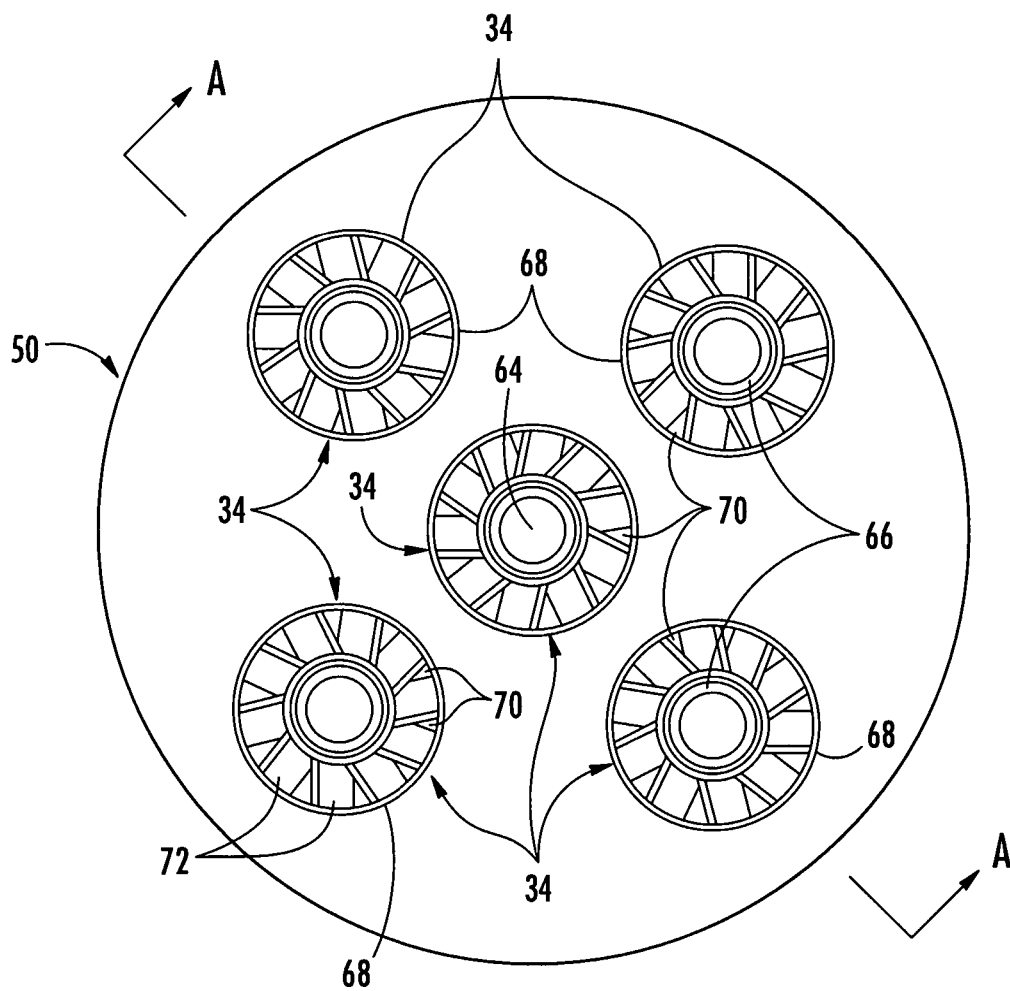


FIG. 3

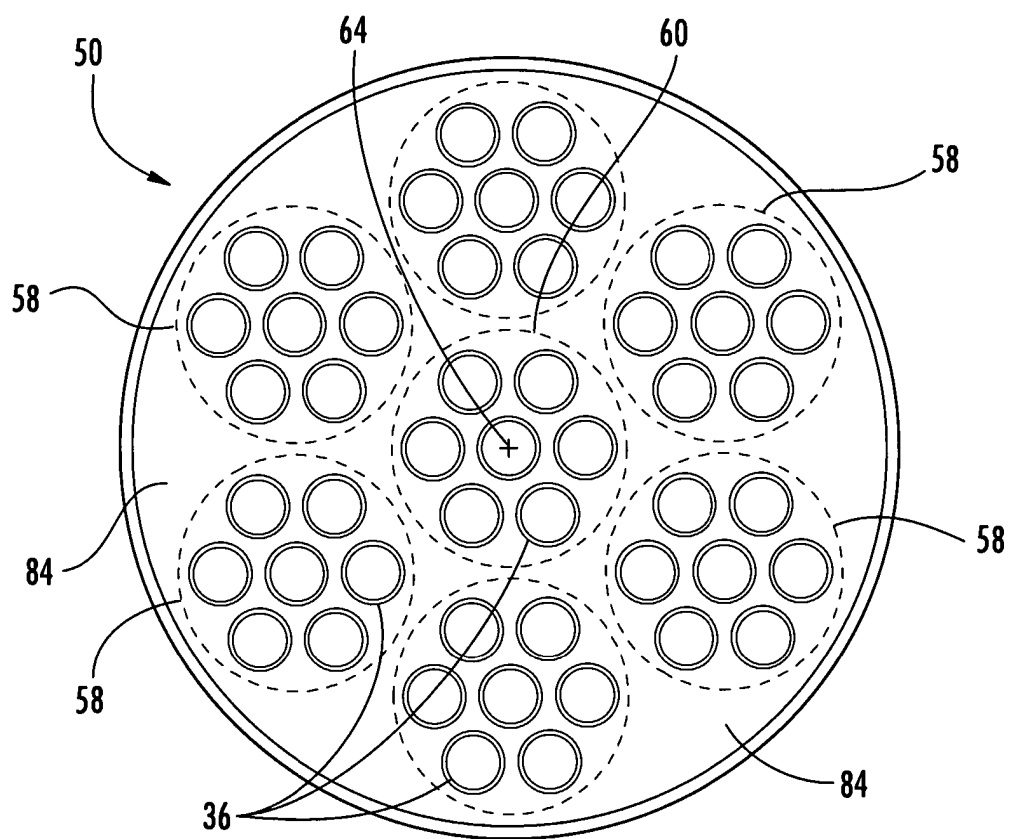


FIG. 4

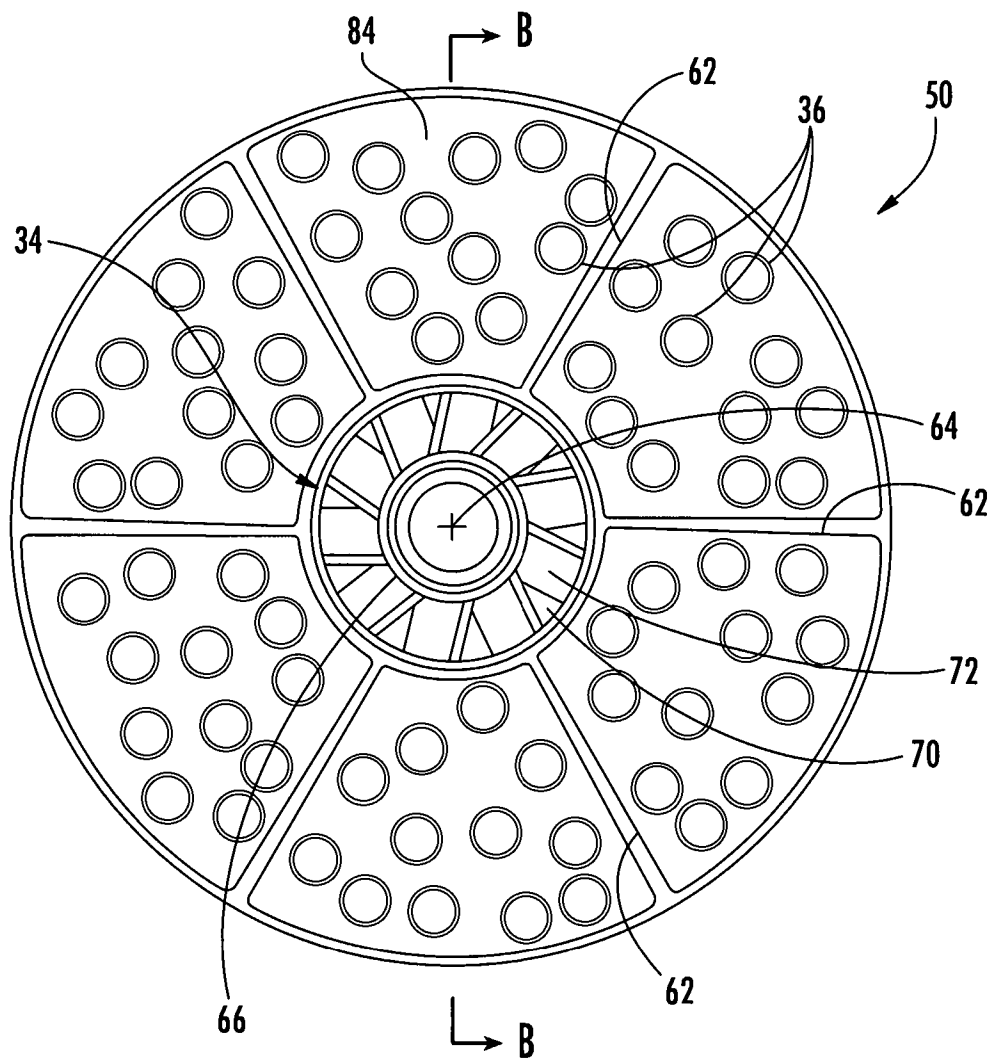


FIG. 5

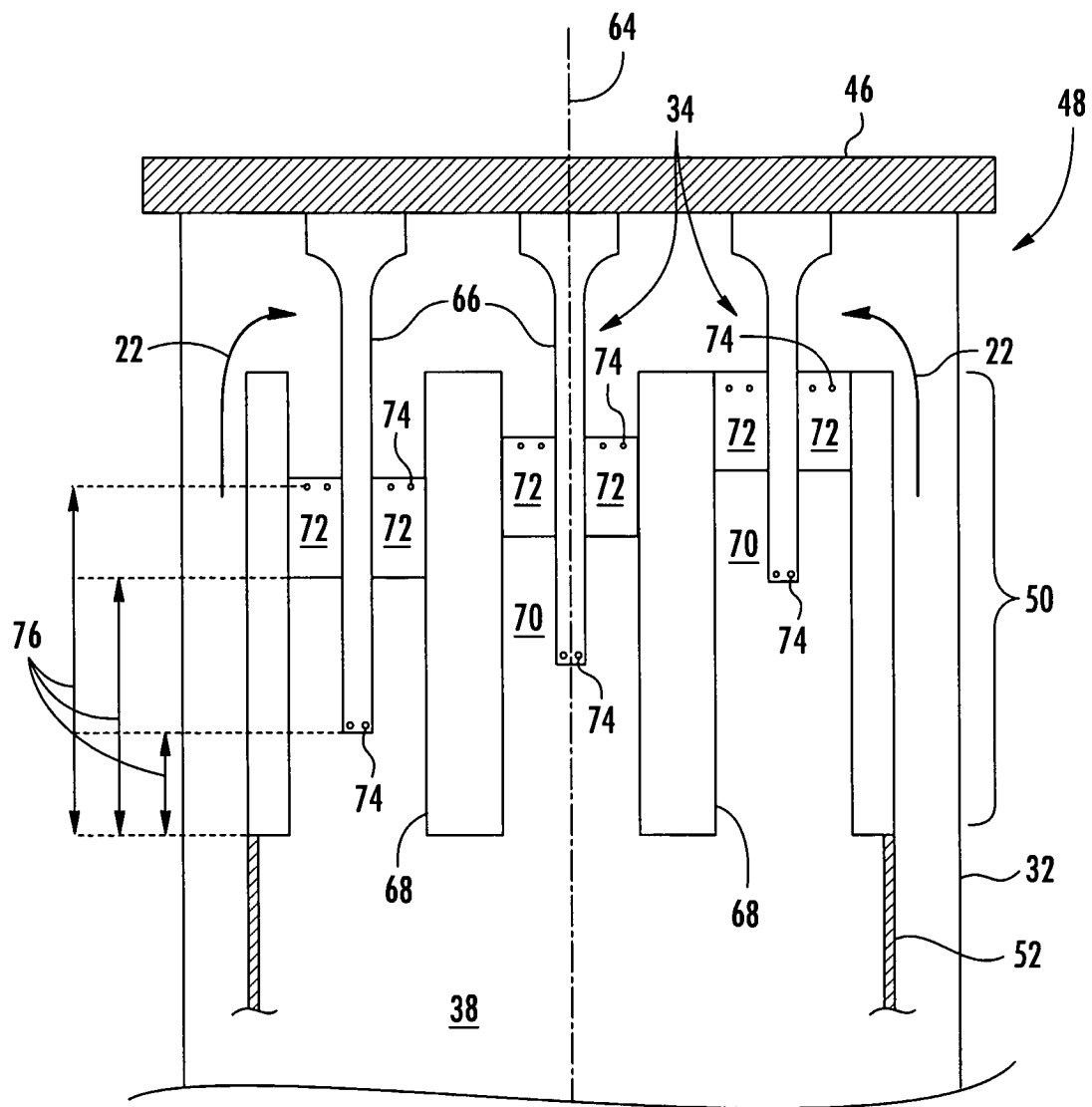


FIG. 6

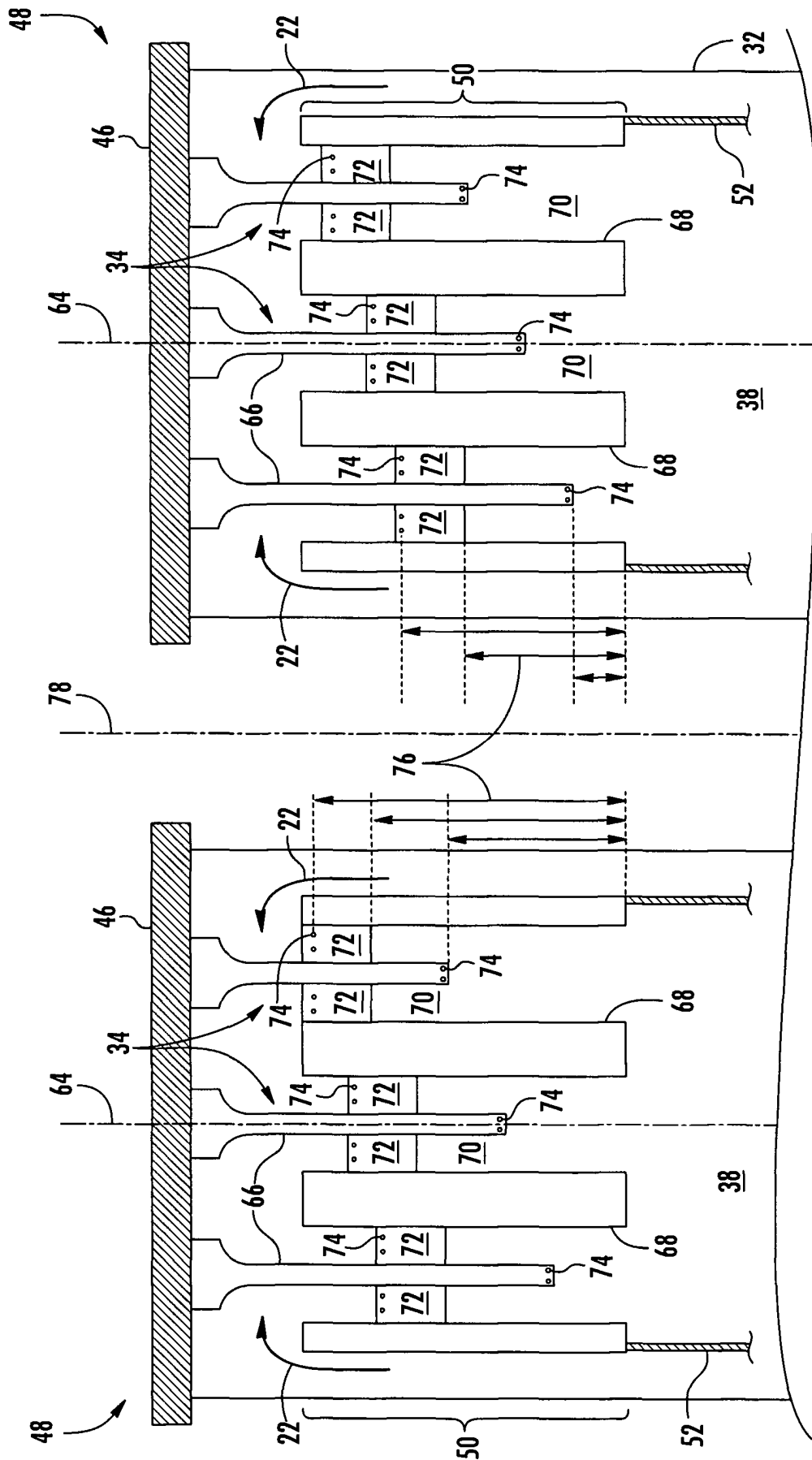


FIG. 7

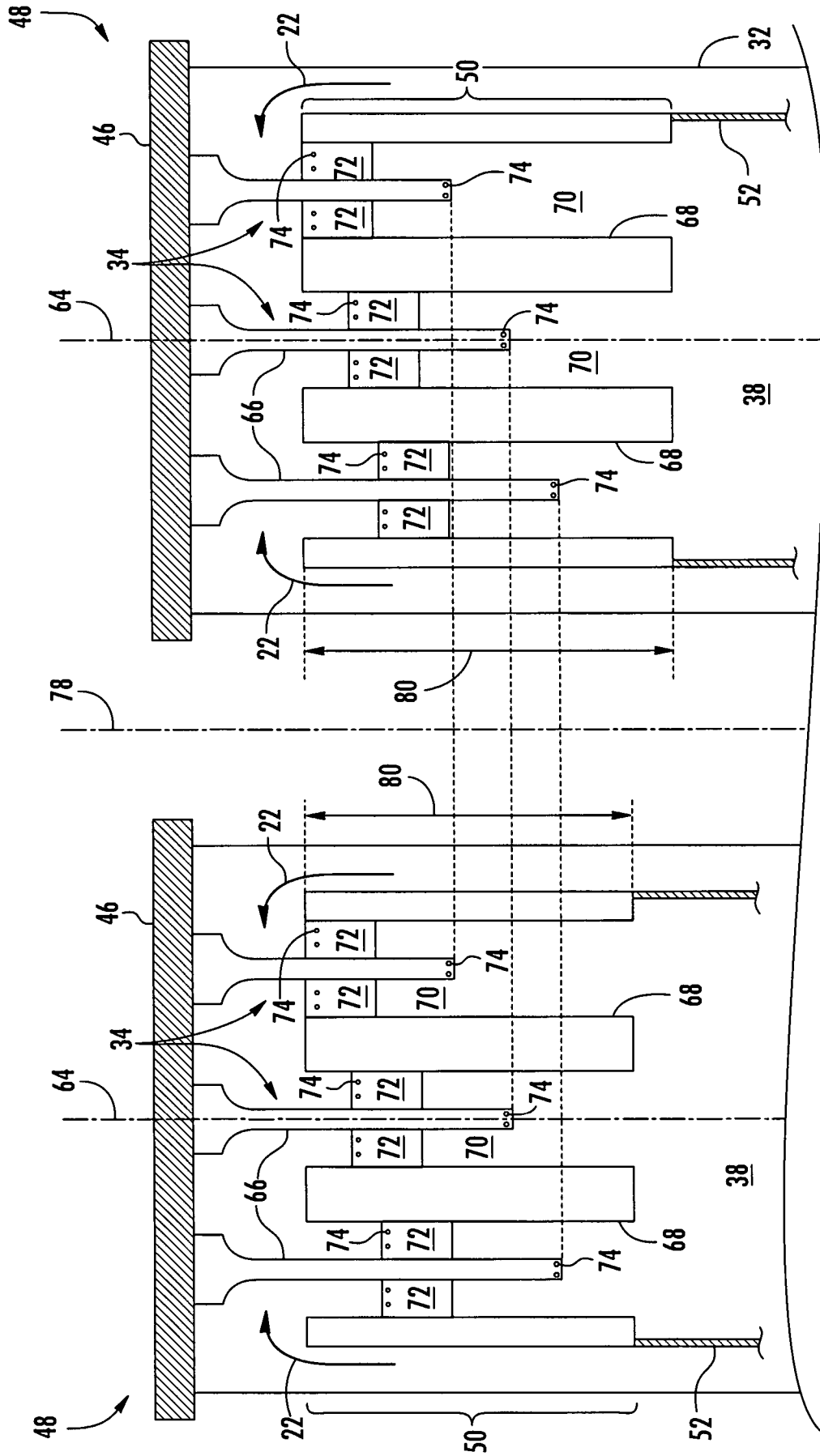


FIG. 8

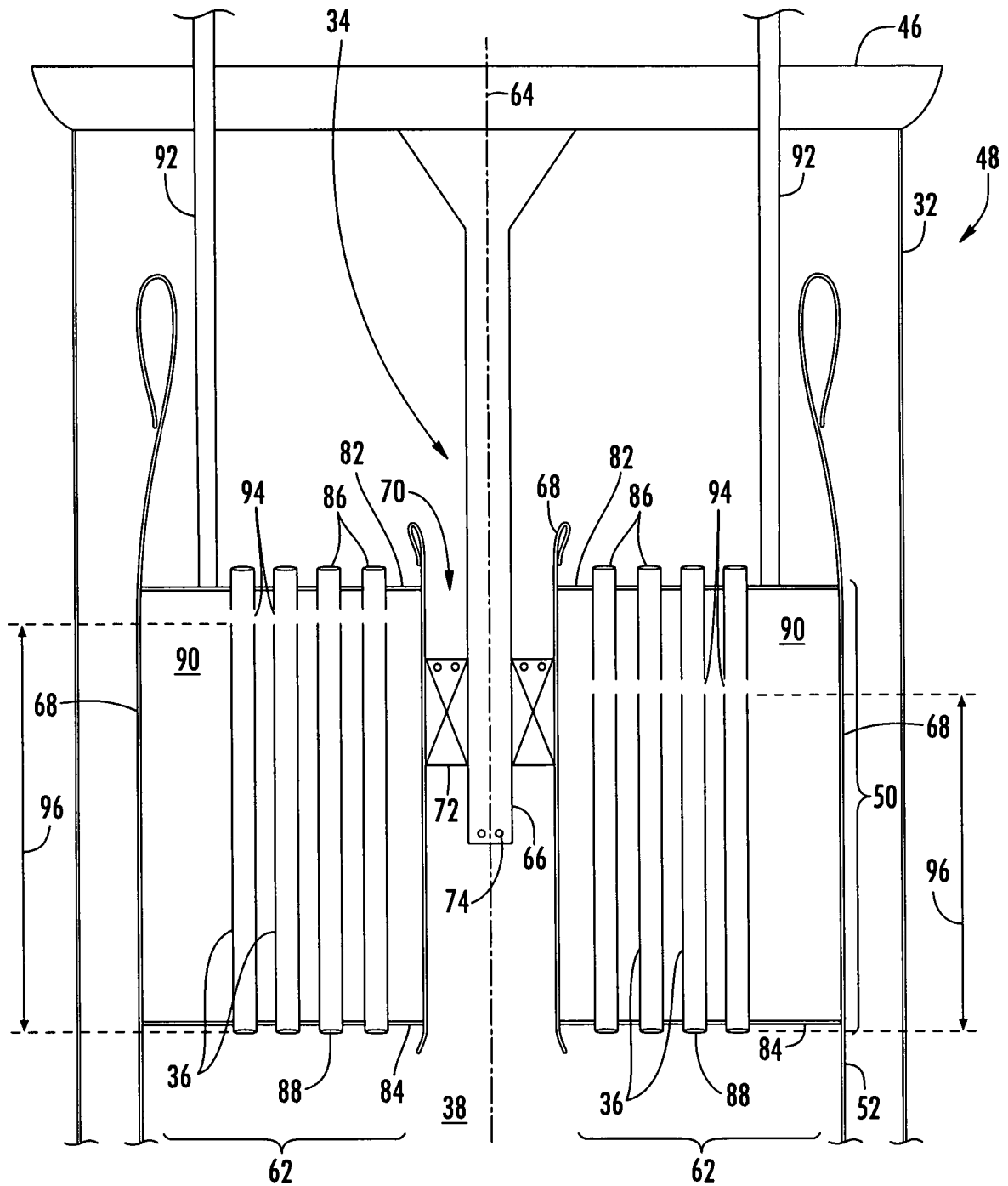


FIG. 9

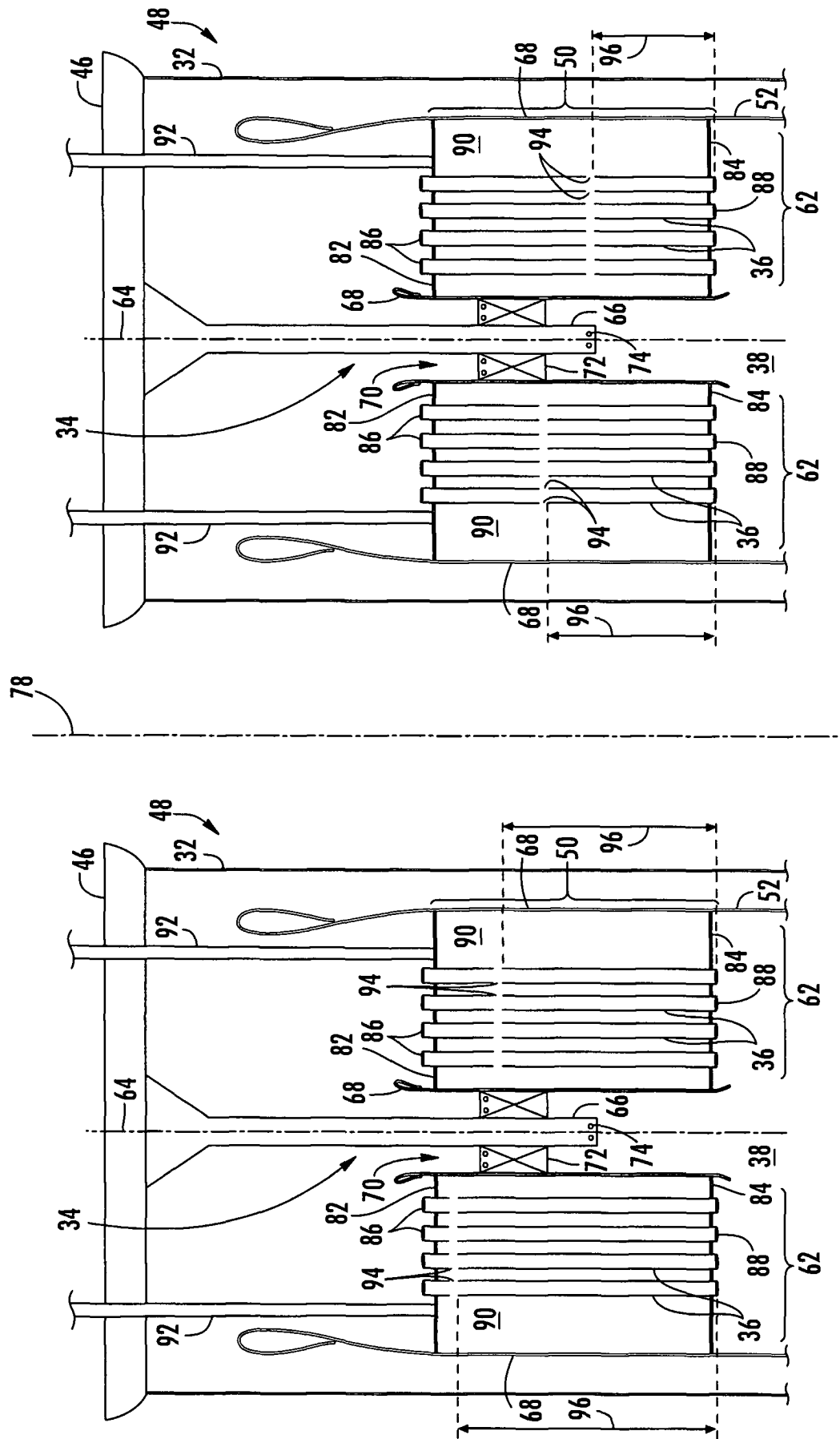


FIG. 10

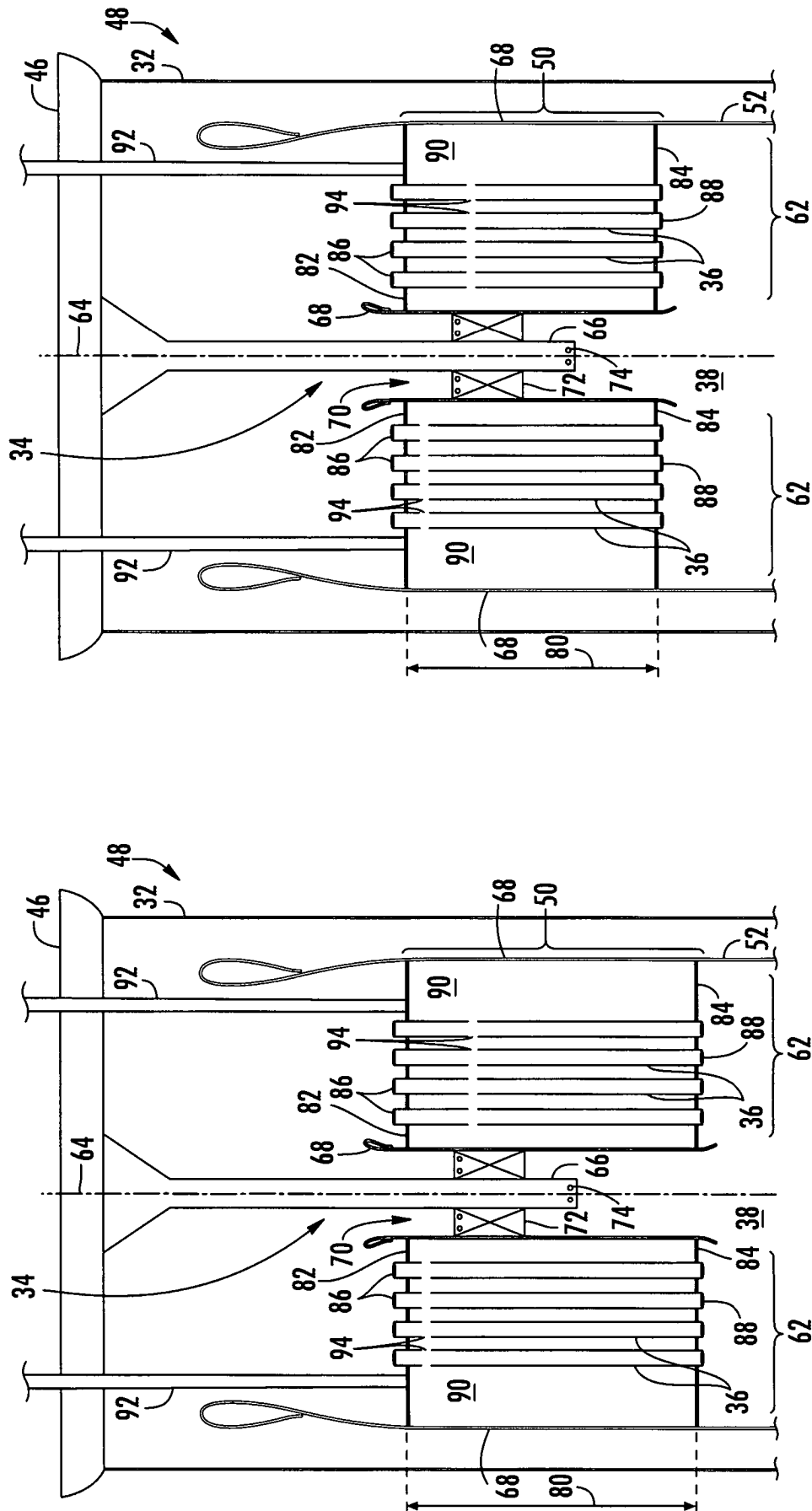


FIG. 11

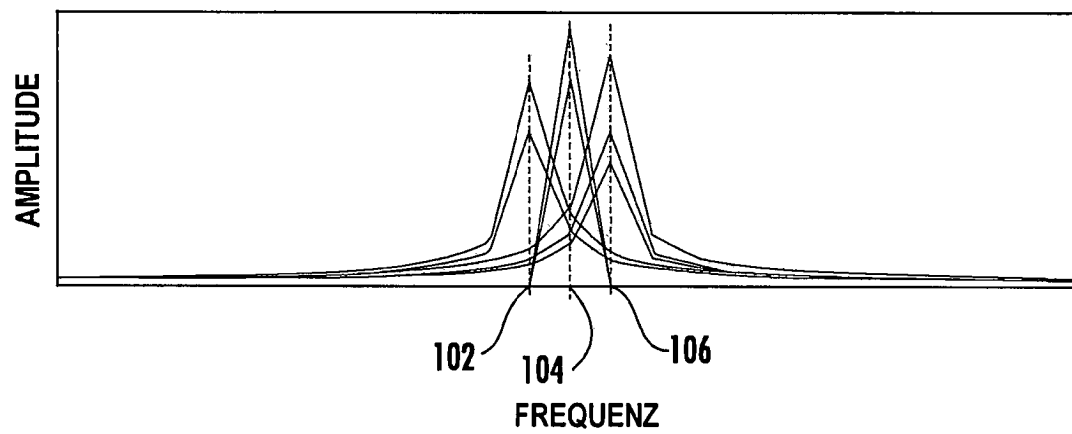


FIG. 12