



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 010 939 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
11.02.2004 Patentblatt 2004/07

(51) Int Cl.7: **F23D 11/36, F23D 14/46**

(21) Anmeldenummer: **98811230.6**

(22) Anmeldetag: **15.12.1998**

(54) **Brennkammer mit akustisch gedämpftem Brennstoffversorgungssystem**

Combustion chamber with acoustic damped fuel supply system

Chambre de combustion avec système d'alimentation en carburant amorti acoustiquement

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(72) Erfinder: **Keller, Jakob Prof. Dr.**
5610 Wohlen (CH)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
21.06.2000 Patentblatt 2000/25

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-93/10401

(73) Patentinhaber: **ALSTOM (Switzerland) Ltd**
5401 Baden (CH)

EP 1 010 939 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung**TECHNISCHES GEBIET**

5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Brenner, insbesondere der Brenner zur Verwendung in Gasturbinen. Sie betrifft einen Brenner mit Brennstoffversorgungssystem, bei welchem das Brennstoffversorgungssystem Brennstoff zum Brenner transportiert, der Brennstoff im Brenner in eine Brennkammer eingedüst wird, wo der Brennstoff verbrannt wird.

10 STAND DER TECHNIK

[0002] Brenner von Gasturbinen dienen dazu, den Brennstoff und die Verbrennungsluft in kontrollierter Weise und regelbar in eine Brennkammer einzudüsen und dort den Brennstoff zu verbrennen. Die Brenner können dazu in unterschiedlichster Anordnung in der Wandung der Brennkammer eingelassen sein, und werden mittels eines Brennstoffversorgungssystems mit Brennstoff beschickt. Die Eindüsung des Brennstoffs im Brenner muss, um eine optimale Kontrolle des Verbrennungsvorganges in den verschiedenen Betriebszuständen der Turbine zu gewährleisten, regelbar und in möglichst optimaler Weise geschehen. Gerade die in neuerer Zeit immer strenger zu beachtenden Vorschriften bezüglich des Ausstosses von Verbrennungsprozessen machen dabei eine hochspezialisierte und komplizierte Eindüsung und Vermischung von Verbrennungsluft und Brennstoff im Brenner unabdingbar.

20 **[0003]** Aus der EP-B1-0 321 809 ist beispielsweise ein sogenannter Doppelkegelbrenner für flüssige und gasförmige Brennstoffe ohne Vormischstrecke bekannt geworden, bei welchem von aussen zugeführte Verbrennungsluft durch wenigstens zwei Eintrittsschlitze tangential zwischen verschoben angeordnete, hohle Halbkonusse eintritt und dort in Richtung der Brennkammer strömt, und bei welchem auf der der Brennkammer abgewandten, verjüngten Seite der Halbkonusse Brennstoff zentral oder aus Verteilkanälen, die den Lufteintrittsschlitzen entlang verlaufen, durch Bohrungsreihen quer in die eintretende Luft eingedüst.

25 **[0004]** Problematisch bei der Eindüsung des Brennstoffes und dessen anschliessender Verbrennung sind u.a. akustische Oszillationen, welche auch unter dem Begriff "singende Flamme" bekannt sind. Es handelt sich dabei meist um Oszillationen, welche aus dem Zusammenspiel von Einströmen des Verbrennungsgemisches und dem eigentlichen Verbrennungsprozess in der Brennkammer zustande kommen. Diese weitgehend kohärent periodischen Druckschwankungen können beispielsweise bei einem Brenner der obengenannten Art bei typischen Betriebsbedingungen zu akustischen Schwingungen mit Frequenzen von etwa 80 bis 100 Hz führen. Da diese Frequenzen mit typischen fundamentalen Eigenmoden von Brennkammern von Gasturbinen zusammenfallen können, stellen diese thermoakustischen Oszillationen ein Problem dar.

30 **[0005]** Aus der Schrift WO93/10401 ist eine Einrichtung zur Unterdrückung von Verbrennungsschwingungen in einer Brennkammer einer Gasturbinenanlage bekannt. Dabei sind in den Brennstoffversorgungsleitungen des Brenners akustisch wirksame Elemente wie Helmholtzresonatoren oder Resonanzrohre angeordnet.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

40 **[0006]** Der Erfindung liegt demnach die Aufgabe zugrunde, einen Brenner mit wenigstens einem Brennstoffversorgungssystem, durch welches dem Brenner ein Brennstoffstrom zugeführt wird, der zugeführte Brennstoff über Brennstoffdüsen eingedüst, und anschliessend in einer Brennkammer verbrannt wird, zur Verfügung zu stellen, welcher in der Lage ist, die Ausbildung und Verstärkung von periodischen Druckschwankungen in der Brennkammer wenigstens teilweise zu verhindern.

45 **[0007]** Diese Aufgabe wird bei einem Brenner der eingangs genannten Art gelöst, indem Mittel vorgesehen sind, welche verhindern, dass in der Brennkammer auftretende periodische Druckschwankungen zu Schwankungen des Brennstoffstroms im Brennstoffversorgungssystem führen. Die weitgehende Verhinderung der Ankopplung der periodischen Druckschwankungen an Schwankungen des Brennstoffstroms kann die unerwünschte, aufschaukelnde Verstärkung der Druckschwankungen durch den Brennstoffstrom in der Brennkammer verhindern. Insbesondere, wenn die in der Brennkammer auftretenden periodischen Druckschwankungen akustische Schwingungen sind, und ganz besonders, wenn diese im Bereich der akustischen Eigenschwingungen der Brennkammer liegen, sind solche Mittel von grossem Vorteil. Sind die Schwankungen des Brennstoffstroms im Brennstoffversorgungssystem periodisch, und liegt insbesondere die Frequenz dieser periodischen Schwankungen des Brennstoffstroms im Bereich der akustischen Eigenschwingungen der Brennkammer, dann kann diese aufschaukelnde Wirkung äusserst ausgeprägt und eine Verhinderung derselben besonders angezeigt sein.

55 **[0008]** Eine erste bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel wenigstens ein erstes, unmittelbar stromaufwärts der Brennstoffdüsen angeordnetes Volumen umfassen, durch welches Volumen der Brennstoffstrom fliesst, und dass dieses erste Volumen stromaufwärts über eine erste Verengung mit dem weiter

stromaufwärts angeordneten Brennstoffzufuhrsystem in Verbindung steht. Bevorzugt wird dabei dieses erste Volumen im wesentlichen kleiner als ein bestimmtes kritisches Volumen gewählt, und insbesondere weiterhin die Querschnittsfläche der ersten Verengung kleiner als eine bestimmte kritische Querschnittsfläche ausgebildet. Jede dieser Massnahmen reduziert das Mass der Ankopplung der Druckschwankungen an die Schwankungen des Brennstoffstroms und die Massnahmen sind ausserdem ohne grossen konstruktionstechnischen Aufwand in gängigen Brennern einbau- oder sogar nachrüstbar.

[0009] Eine andere Ausführungsform der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass stromaufwärts der ersten Verengung ein zweites Volumen angeordnet ist, durch welches der Brennstoffstrom fliesst, und dass dieses zweite Volumen stromaufwärts über eine zweite Verengung mit dem weiter stromaufwärts angeordneten Brennstoffversorgungssystem in Verbindung steht. Diese Anordnung erlaubt die effektive Verhinderung der Ankopplung unter speziellen, im wesentlichen unveränderlichen Konstruktionsvorgaben des Brenners und des Brennstoffversorgungssystems.

[0010] Weitere Ausführungsformen des Brenners mit Brennstoffversorgungssystem ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

[0011] Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Drossel zwecks Einführung der im weiteren verwendeten Terminologie;

Fig. 2 zeigt schematisch in a) eine Drossel mit vorgeschalteter Verengung und in b) eine Drossel vorgeschaltetem Volumen;

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Brenners des Typs EV17i der Anmelderin mit akustischen Dämpfungsmitteln im Brennstoffversorgungssystem;

Fig. 4 zeigt das Ankopplungsverhalten zwischen Druckschwankungen und Brennstoffstromschwankungen für einen Brenner des Typs EV17i der Anmelderin ohne akustische Dämpfungsmittel im Brennstoffversorgungssystem;

Fig. 5 und 6 zeigen das Ankopplungsverhalten zwischen Druckschwankungen und Brennstoffstromschwankungen für einen Brenner des Typs EV17i der Anmelderin mit verschiedenen akustischen Dämpfungsmitteln im Brennstoffversorgungssystem,

Fig. 7 zeigt schematisch eine Drossel mit zwei vorgeschalteten Volumina;

Fig. 8 zeigt schematisch einen Brenner des Typs EV18 der Anmelderin, wie er in einer Turbine des Typs GT26 der Anmelderin eingebaut ist, mit akustischen Dämpfungsmitteln im Brennstoffversorgungssystem; und

Fig. 9 zeigt das Ankopplungsverhalten zwischen Druckschwankungen und Brennstoffstromschwankungen für einen Brenner des Typs EV18 der Anmelderin, wie er in einer Turbine des Typs GT26 der Anmelderin eingebaut ist, mit akustischen Dämpfungsmitteln im Brennstoffversorgungssystem.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0012] Es zeigt sich, dass insbesondere beim Umschalten zwischen verschiedenen Betriebsmodi einer Gasturbine, wie zum Beispiel beim Umschalten zwischen Vormisch- und Pilotmodus, das Brennstoffversorgungssystem akustisch "weich" werden kann, d.h. dass sich Druckschwankungen in der Brennkammer auf den Fluss des Brennstoffs auswirken und damit eine wechselseitig aufschaukelnde Ankopplung stattfinden kann. Beim Umschalten kann das zu Druckschwankungen grosser Amplitude und damit zu lauten akustischen Schwingungen führen. Dies geschieht ganz besonders dann, wenn Injektoren beinahe geschlossen sind oder ein Leck aufweisen. Ohne Massnahmen zur akustischen Härtung des Brennstoffversorgungssystems kann es aber auch durchaus vorkommen, dass die Instabilitäten beinahe im ganzen Umschaltbereich kritisch sind. Fallen die Instabilitäten in ihrer Frequenz auch noch mit Eigenmoden von Brennkammern zusammen, so können diese akustischen Schwingungen zu einem ernsthaften Problem werden.

[0013] Die Möglichkeiten zur akustischen Härtung eines Brennstoffversorgungssystems sollen zunächst aufgrund

einiger theoretischer Überlegungen rationalisiert und erläutert werden, anschliessend werden die technischen Ausführungsbeispiele anhand der Brenner EV17i und EV18 der Anmelderin geschildert.

5 **[0014]** Im einfachsten Fall kann das Brennstoffversorgungssystem in akustischer Hinsicht wie in Figur 1 dargestellt als Drossel, d.h. als Öffnung 10 mit vernachlässigbarer Länge und Querschnittsfläche A_F angesehen werden, durch
 10 welche Brennstoff der Dichte ρ_F aus einem grossen Volumen beim Druck p_F in ein anderes grosses Volumen, die Brennkammer 11, beim Druck p_I strömt. Dabei wird angenommen, dass gilt: $p_F > p_I$. Ausserdem wird angenommen, dass das Brennstoffversorgungsvolumen einen konstanten Druck p_F aufweist, während der Druck im Injektionsraum p_I Schwankungen unterworfen sein kann. Aus den Gesetzen der Strömungslehre resultiert unter diesen Bedingungen folgende Beziehung zwischen Schwankungen des Druckes im Injektionsraum, Δp_I , und Schwankungen der Brennstoffinjektionsgeschwindigkeit Δu_F :

$$\Delta p_I = -\rho_F u_F \Delta u_F.$$

15 **[0015]** Die Druckschwankungen im Injektionsraum wirken sich also in direkt linearer Weise auf Schwankungen der Brennstoffinjektionsgeschwindigkeit 12 aus und umgekehrt, d.h. es gibt eine direkte Ankopplung der beiden Grössen. Tatsächlich verhalten sich die Brennstoffversorgungssysteme der Gasturbinen der Typen GT24 und GT26 der Anmelderin im Bereich der Eigenmoden der Brennkammern, d.h. um Oszillationsfrequenzen von 100Hz herum entsprechend der obigen Gleichung.

20 **[0016]** Als Folge stellen sich Instabilitäten im System bestehend aus Brennstoffversorgungssystem, Brenner und Brennkammer ein, sobald die Brennstoffinjektionsgeschwindigkeit 12 unter einen Wert von ungefähr 125 m/s fällt.

[0017] Kompliziertere Brennstoffversorgungssysteme lassen sich durch folgende Formel beschreiben:

25
$$a(\omega)\Delta p_I = -\rho_F u_F \Delta u_F,$$

wobei ω die Kreisfrequenz der periodischen Druckoszillationen und $a = a(\omega)$ eine komplexwertige Funktion der Kreisfrequenz ist, für deren Betrag gilt: $|a(\omega)| \leq 1$. Folglich kann hier im Vergleich zu einfachen Injektionssystemen die kritische Brennstoffinjektionsgeschwindigkeit u_{FC} wenigstens auf den Wert $|a(\omega)|u_{FC}$ reduziert werden. Eine Möglichkeit, beliebig kleine Werte für a bei jeder Oszillationsfrequenz zu erreichen, ist beispielsweise die Verwendung von Rückschlagventilen mit einer zweiten, stromaufwärts angeordneten Öffnung variabler Querschnittsfläche. In diesem Fall kann auch für sehr kleine Brennstoffinjektionsgeschwindigkeiten der Druckabfall über dem Brennstoffversorgungssystem minimal gehalten werden.

30 **[0018]** Es lässt sich nun zeigen, dass sich eine Brennstoffdüse der Querschnittsfläche A_F mit einer stromaufwärts angeordneten Brennstoffversorgungsleitung der Länge L und der Querschnittsfläche A_T , wie sie schematisch in Figur 2 a) dargestellt ist, zu einer akustischen Kopplung der Form

40
$$\Delta u_F = \frac{-\Delta p_I}{\rho_F u_F \left\{ 1 + \frac{A_F c_F^2}{A_T u_F} i \tan(\omega L / c_F) \right\}}$$

45 führt, wobei c_F die Schallgeschwindigkeit im Brennstoffgas darstellt. Die komplexwertige Responsefunktion $a(\omega)$ ist somit gegeben durch

50
$$a(\omega) = \frac{1}{\left\{ 1 + \frac{A_F c_F^2}{A_T u_F} i \tan(\omega L / c_F) \right\}},$$

55 und es ist leicht ersichtlich, dass eine solche Leitung zu einer perfekten akustischen Härtung des Brennstoffversorgungssystems führt, dies aber nur bei im Bereich der diskreten Frequenzwerte

$$\omega = (2N + 1) \frac{\pi \tau c_f}{2L},$$

5 für ganzzahlige Werte von N

[0019] Eine akustische Härtung in einem ganzen Frequenzbereich kann indes nur erreicht werden, wenn der Quotient

$$\frac{A_F c_F}{A_T u_F}$$

10

grössenordnungsmässig grösser oder gleich 1 ist. Folglich sollte in Anbetracht der Tatsache, dass die Machzahl $M = u_F/c_F$ für kritische Brennstoffeinspritzung typischerweise im Bereich von 0.25 bis 0.3 ist, die Querschnittsfläche A_T der Brennstoffleitung nicht mehr als 3 bis 4 Mal so gross wie die Querschnittsfläche A_F der Brennstoffdüse sein. Mit anderen Worten sollte die Brennstoffflussgeschwindigkeit in der Leitung wenigstens einen viertel bis einen drittel der Brennstoffinjektionsgeschwindigkeit u_{FC} in der Brennstoffdüse 10 ausmachen. Diese Forderung lässt sich aber leider in der Praxis meist nicht ohne gravierende Nachteile realisieren.

15

[0020] Ausserdem muss beachtet werden, dass jedes Volumen zwischen der Brennstoffleitung 15 und der Brennstoffdüse 10 klein sein muss im Vergleich zu einem kritischen Volumen V_{CRIT} , welches gegeben ist durch:

20

$$V_{CRIT} = \frac{A_F c_F^2}{\omega u_F}.$$

25

[0021] Normalerweise ist keine dieser Bedingungen erfüllt, wie folgendes Beispiel belegen soll: In Figur 3 ist ein Brenner des Typs EV17i der Anmelderin schematisch dargestellt, wie er z.B. in einer Gasturbine des Typs GT26 der Anmelderin eingebaut ist. Der Brennstoff wird über eine Brennstoffzufuhrleitung 15 dem Brenner 14 zugeführt. Die Leitung 15 mündet dabei zunächst in einen ringförmigen Verteilraum 16, von welchem aus Brennstoffverteilkanaäle der kegelförmigen Aussenfläche des Doppelkegelbrenners entlang verlaufen. Diese Verteilkanaäle weisen auf der dem Brenner zugewandten Seite eine Mehrzahl von Brennstoffdüsen 10 auf, durch welche der Brennstoff in den Brenner und damit in die Brennkammer 11 einströmen kann. Nimmt man für einen solchen Brenner typische Umschaltbedingungen an, so sieht man, dass das Volumen zwischen Brennstoffzufuhrleitung 15 und den Brennstoffdüsen 10, welches durch den ringförmigen Verteilraum 16 und die Verteilkanaäle gebildet wird und ca. 650 cm³ beträgt, das bei diesen Bedingungen kritische Volumen V_{CRIT} von 271 cm³ um mehr als einen Faktor 2 übertrifft. Ebenso ist der Durchmesser der Brennstoffzufuhrleitung 15 ca. 38mm, obwohl er nach obigem Kriterium nicht mehr als 21mm sein dürfte.

30

35

[0022] Eine einfache und mit kleinem konstruktionstechnischem Aufwand verbundene Möglichkeit der akustischen Härtung des vorgegebenen Aufbaus ist die Einführung eines Helmholtz-Volumens mit passender Querschnittsfläche A und Länge l zwischen die Brennstoffzufuhrleitung 15 und die Brennstoffdüsen 10, wie es in Figur 2b) schematisch dargestellt ist. Es ist dabei von grossem Vorteil, die Dimensionierung des Volumens und der Verengung derart einzustellen, dass wenigstens eine Resonanz des Brennstoffversorgungssystems mit der wichtigsten fundamentalen akustischen Eigenfrequenz der Brennkammer zusammenfällt.

40

[0023] Nimmt man für einen EV17i Brenner typische Umschaltbedingungen, wie sie in Tabelle 1 aufgelistet sind, und wie sie in einer Gasturbine des Typs GT26B auftreten, so lässt sich die Antwortfunktion $a(\omega)$ berechnen.

45

Tabelle 1

Grösse	Einheit	Wert
Druck	bar	18
Düsenquerschnittsfläche	m ²	0.000111
Temperatur von Methan	K	323
Massenfluss von Methan	kg/s	0.167
Länge der Leitung	m	2
Durchmesser der Leitung	m	0.038
Länge des ersten Volumens	m	0.1
Querschnittsfläche des ersten Volumens	m ²	6.5e-3

55

[0024] Der Dämpfungsfaktor $a(\omega)$ (attenuation factor) als Funktion der Frequenz (frequency) der betrachteten Druckschwankungen für die in Tabelle 1 aufgelisteten Bedingungen ist in Figur 4 dargestellt. Ein Wert von $a(\omega)=1$ als obere Grenze entspricht dabei einer normalen Drossel nach der schematischen Darstellung in Figur 1, und damit eine maximale Ankopplung der Druckschwankungen in der Brennkammer 11 an den Brennstofffluss, ein Wert von $a(\omega)=0$ bedeutet, dass eine Druckschwankung Δp_i in der Brennkammer 11 nicht in der Lage ist, eine Änderung in der Brennstoffinjektionsgeschwindigkeit, Δu_F , zu bewirken. Man sieht in Figur 4, dass die Dämpfung nur in schmalen Bereichen um die Resonanzfrequenzen des Brennstoffzufuhrsystems auftritt. Aus Figur 4 wird ausserdem klar ersichtlich, dass insbesondere im Bereich der Eigenmoden der betrachteten Brennkammer, d.h. bei ca. 90 Hz, sich das Brennstoffzufuhrsystem wie eine einfache und beinahe völlig ungedämpfte Drossel verhält, und damit das Resonanzverhalten des Brennstoffversorgungssystems überhaupt nicht auf dasjenige der Brennkammer abgestimmt ist.

[0025] Führt man nun in die Brennstoffzufuhrleitung 15 eine Leitungsverengung 17, wie sie in Figur 3 ebenfalls dargestellt ist, ein, so verschiebt und verbreitert sich die Resonanzfrequenz des Brennstoffversorgungssystems in den Bereich von 90 bis 100Hz und der minimale Wert von a bei dieser Frequenz auf ca. 0.35-0.4. Dies bei einfacher Verwendung eines Einschubs 17 (oder einer andersartig bewirkten Verengung in der Leitung) von 300mm Länge und einem Innendurchmesser von 21mm. Eine weitere Verbesserung lässt sich mit den in Tabelle 2 gegebenen Werten erzielen, indem man die Länge des Einschubs 17 von 300mm auf 500mm erhöht und zusätzlich das erste Volumen von 650cm³ auf 400cm³ reduziert.

Tabelle 2

Grösse	Einheit	Wert
Druck	bar	18
Düsenquerschnittsfläche	m ²	0.000111
Temperatur von Methan	K	323
Massenfluss von Methan	kg/s	0.167
Länge der Leitung	m	0.5
Durchmesser der Leitung	m	0.021
Länge des ersten Volumens	m	0.1
Querschnittsfläche des ersten Volumens	m ²	4.0e-3

[0026] Das Absorptionsprofil für die Werte aus Tabelle 2 ist Figur 5 dargestellt. Im wesentlichen verändert sich durch diese weiteren Massnahmen der minimale Wert von a bei der Frequenz von 90 bis 100Hz auf einen Wert von 0.2, was einer Verdoppelung der Absorptionseffizienz im Vergleich zum ersten Beispiel entspricht.

[0027] Eine weitere Verbesserung lässt sich mit den Werten aus Tabelle 3 erzielen, indem nämlich die Länge der Verengung 17 nochmals verdoppelt und das Volumen nochmals halbiert wird.

Tabelle 3

Grösse	Einheit	Wert
Druck	bar	18
Düsenquerschnittsfläche	m ²	0.000111
Temperatur von Methan	K	323
Massenfluss von Methan	kg/s	0.167
Länge der Leitung	m	1
Durchmesser der Leitung	m	0.021
Länge des ersten Volumens	m	0.05
Querschnittsfläche des ersten Volumens	m ²	2.0e-3

[0028] Das resultierende Absorptionsprofil ist in Figur 6 dargestellt, es weist im Resonanzbereich von 90 bis 100Hz eine Absorption von bemerkenswerten 90% im Vergleich zur einfachen Drossel auf.

[0029] Als weiteres Ausführungsbeispiel soll die akustische Härtung eines Brenners des Typs EV18 der Anmelderin, wie er in einer Gasturbine des Typs GT26 eingebaut ist, dienen. In einer solchen Gasturbine wird, wie in Figur 8 bereits

mit akustischer Härtung dargestellt, der Brennstoff über ringförmige Brennstoffverteilungen 18, welche die ringförmig in der Ringbrennkammer der Turbine angeordneten Brenner gemeinsam versorgen, dem Brenner 14 zugeführt. Von der ringförmigen Brennstoffverteilung 18 zweigt über eine zweite Verengung 19 der Brennstoff ab und tritt in ein Volumen, welches normalerweise von den Volumina 20 und 22 ohne die in der Figur 8 angegebene Trennwand 23 und die erste Verengung 21 gebildet wird. Der Brennstoff wird durch die Brennstoffverteilkänaäle 22 entlang des Kegels des Brenners 14 geführt und tritt durch die Brennstoffdüsen 10 in die Brennkammer 11, wo er mit Verbrennungsluft vermischt wird. Hier muss nun aus praktischen Gründen eine Lösung zur akustischen Härtung gefunden werden, bei welcher das Brennstoffverteilsystem so wenig wie möglich verändert werden muss. Dies geschieht am einfachsten durch die Anordnung von zwei, der Brennstoffdüse 10 vorgeschaltete und über zwei Verengungen mit der Brennstoffzufuhrleitung in Verbindung stehende Volumina, wie es schematisch in Figur 7 dargestellt ist. Eine mögliche technische Realisierung ist in Figur 8 dargestellt. Eine Trennwand 23 trennt das grosse Volumen in die Brennstoffverteilkänaäle 22 und ein zweites Volumen 20 auf, und eine um den Brenner herumgewickelte, als Leitung ausgebildete Verengung 21 verbindet die beiden Volumina. Wählt man als erste Verengung 21 eine Leitung von 1.2m Länge und 20mm Innendurchmesser und typische Umschaltbedingungen in einer solchen Gasturbine, wie sie in Tabelle 4 dargestellt sind, so erhält man die Absorptionscharakteristik in Figur 9.

Tabelle 4

Grösse	Einheit	Wert
Druck	bar	18
Düsenquerschnittsfläche	m ²	9.08e-5
Temperatur von Methan	K	323
Massenfluss von Methan	kg/s	0.133
Länge der zweiten Verengung	m	0.04
Querschnittsfläche der zweiten Verengung	m ²	0.000314
Zweites Volumen	m ³	0.0015
Länge der ersten Verengung	m	1.2
Querschnittsfläche der ersten Verengung	m ²	0.000314
Erstes Volumen	m ³	0.00015

[0030] Wie aus Figur 9 ersichtlich, erreicht man mit dieser Anordnung und Dimensionierung von zwei hintereinandergeschalteten Volumina eine perfekte Dämpfung der akustischen Kopplung bei der Eigenfrequenz der Brennkammer von ca. 90Hz mit einer beachtlichen Breite der Resonanzbedingung, bei ca. ± 30Hz Abweichung von der Resonanzbedingung werden nämlich immer noch 2/3 absorbiert.

BEZEICHNUNGSLISTE

[0031]

- 10 Brennstoffdüse
- 11 Brennkammer
- 12 Brennstoffinjektionsgeschwindigkeit, Brennstoffstrom
- 13 erstes Volumen
- 14 Brenner
- 15 Brennstoffzufuhrleitung
- 16 ringförmiger Verteilraum
- 17 Leitungsverengung
- 18 ringförmige Brennstoffverteilung
- 19 zweite Verengung
- 20 zweites Volumen
- 21 erste Verengung
- 22 Brennstoffverteilkanaal, erstes Volumen
- 23 Trennwand

Patentansprüche

- 5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
1. Brenner (14) einer Brennkammer mit wenigstens einem Brennstoffversorgungssystem (15, 16, 18, 20, 22), durch welches dem Brenner (14) ein Brennstoffstrom (12) zuführbar ist und welches mit im Brenner (14) angeordneten Brennstoffdüsen (10) verbunden ist, wobei wenigstens ein erstes, unmittelbar stromaufwärts der Brennstoffdüsen (10) angeordnetes Helmholtz-Volumen (16, 22) umfassen, durch welches Volumen (16, 22) der Brennstoffstrom fließt, vorgesehen ist, welches verhindert, dass in der Brennkammer auftretende periodische Druckschwankungen zu Schwankungen des Brennstoffstroms (12) im Brennstoffversorgungssystem (15, 16, 18, 20, 22) führen, und dass dieses erste Helmholtz-Volumen (16, 22) stromaufwärts über eine erste Verengung (17, 21) mit dem weiter stromaufwärts angeordneten Brennstoffzufuhrsystem (15, 18, 20) in Verbindung steht, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Verengung (17) durch einen röhrenförmigen Einschub in eine stromaufwärts des ersten Helmholtz-Volumens (16) angeordnete Brennstoffzufuhrleitung (15) oder durch einen verjüngten Leitungsabschnitt zwischen der Brennstoffzufuhrleitung (15) und dem ersten Helmholtz-Volumen (16) gebildet ist.
 2. Brenner (14) mit Brennstoffversorgungssystem (15,16,18,20,22) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die in der Brennkammer (11) auftretenden periodischen Druckschwankungen akustische Schwingungen sind, und dass diese im Bereich der akustischen Eigenschwingungen der Brennkammer (11) liegen.
 3. Brenner (14) mit Brennstoffversorgungssystem (15,16,18,20,22) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schwankungen des Brennstoffstroms (12) im Brennstoffversorgungssystem (15,16,18,20,22) periodisch sind, und dass insbesondere die Frequenz dieser periodischen Schwankungen des Brennstoffstroms (12) im Bereich der akustischen Eigenschwingungen der Brennkammer (11) liegt.
 4. Brenner (14) mit Brennstoffversorgungssystem (15,16,18,20,22) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste Helmholtz-Volumen (16,22) kleiner ist als ein kritisches Volumen (V_{crit}), und dass das kritische Volumen (V_{crit}) näherungsweise gegeben ist als der Quotient aus dem Produkt der Querschnittfläche (A_F) der Öffnung der Brennstoffdüse (10) und dem Quadrat der Schallgeschwindigkeit (c_F) im ersten Volumen (16,22), und dem Produkt der Kreisfrequenz (ω) der akustischen Schwingung und der Strömungsgeschwindigkeit (u_F) des Brennstoffstroms (12).
 5. Brenner (14) mit Brennstoffversorgungssystem (15,16,18,20,22) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Verengung (17,21) eine Querschnittfläche (A_T) aufweist, welche im wesentlichen kleiner oder gleich dem Produkt aus der Querschnittsfläche (A_F) der Brennstoffdüse (10) und inverser Machzahl ($1/M=c_F/u_F$) ist.
 6. Brenner (14) mit Brennstoffversorgungssystem (15,16,18,20,22) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dimensionierungen von erstem Helmholtz-Volumen (16,22) und erster Verengung (17,21) derart gewählt sind, dass eine Resonanz der Absorption des Brennstoffversorgungssystems im wesentlichen im Bereich der Eigenmoden der Brennkammer (11) liegt.
 7. Brenner (14) mit Brennstoffversorgungssystem (15,16,18,20,22) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste Helmholtz-Volumen (16) durch einen ringförmigen Verteilraum und durch stromabwärts davon angeordnete, wenigstens teilweise ausserhalb des Brenners (14) verlaufende Verteilkanäle gebildet wird, und dass der Brennstoff aus den Verteilkanälen durch die Brennstoffdüsen (10) in die Brennkammer (11) strömt.
 8. Brenner (14) mit Brennstoffversorgungssystem (18,20,22) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** stromaufwärts der ersten Verengung (21) ein zweites Helmholtz-Volumen (20) angeordnet ist, durch welches der Brennstoffstrom (12) fließt, und dass dieses zweite Helmholtz-Volumen (20) stromaufwärts über eine zweite Verengung (19) mit dem weiter stromaufwärts angeordneten Brennstoffzufuhrsystem (18) in Verbindung steht.
 9. Brenner (14) mit Brennstoffversorgungssystem (15,16,18,20,22) nach Anspruch 8,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Dimensionierungen von erstem Helmholz-Volumen (22) und zweitem Helmholz-Volumen (20) und erster Verengung (21) und zweiter Verengung (19) derart gewählt sind, dass eine Resonanz der Absorption des Brennstoffversorgungssystems im wesentlichen im Bereich der Eigenmoden der Brennkammer (11) liegt.

- 5
10. Brenner (14) mit Brennstoffversorgungssystem (18,20,22) nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass**
die erste Verengung (21) als Leitung geringen Querschnitts ausgebildet ist, welche das erste Helmholz-Volumen (22) mit dem vom ersten Helmholz-Volumen (22) mit einer Trennwand (23) abgetrennten zweiten Helmholz-Volumen (20) verbindet.

Claims

- 15
1. Burner (14) of a combustion chamber with at least one fuel supply system (15, 16, 18, 20, 22) through which the burner (14) can be fed a fuel flow (12) and which is connected to fuel nozzles (10) arranged in the burner (14), at least a first Helmholz [sic] volume (16, 22) arranged directly upstream of the fuel nozzles (10) comprise [sic], through which volume (16, 22) the fuel flow flows, being provided and preventing periodic pressure fluctuations occurring in the combustion chamber, leading to fluctuations of the fuel flow (12) in the fuel supply system (15, 16, 18, 20, 22), and in that [sic] this first Helmholz [sic] volume (16, 22) is connected upstream via a first construction (17, 21) to the fuel supply system (15, 18, 20) arranged further upstream, **characterized in that** the first construction (17) is formed by a tubular insertion into a fuel supply line (15) arranged upstream of the first Helmholz [sic] volume (16), or by a narrowed line section between the fuel supply line (15) and the first Helmholz [sic] volume (16).
- 20
25
2. Burner (14) with fuel supply system (15, 16, 18, 20, 22) according to Claim 1, **characterized in that** the periodic pressure fluctuations which occur in the combustion chamber (11) are acoustic oscillations, and the latter are situated in the range of the acoustic natural oscillations of the combustion chamber (11).
- 30
3. Burner (14) with fuel supply system (15, 16, 18, 20, 22) according to Claim 2, **characterized in that** the fluctuations in the fuel flow (12) in the fuel supply system (15, 16, 18, 20, 22) are periodic, and, in particular, the frequency of these periodic fluctuations in the fuel flow (12) is situated in the range of the acoustic natural oscillations of the combustion chamber (11).
- 35
4. Burner (14) with fuel supply system (15, 16, 18, 20, 22) according to any of Claims 1 to 3, **characterized in that** the first Helmholz [sic] volume (16, 22) is smaller than a critical volume (V_{crit}), and the critical volume (V_{crit}) is given approximately as the quotient of the product of the cross-sectional area (A_F) of the opening of the fuel nozzle (10) and the square of the speed of sound (C_F) in the first volume (16, 22), and the product of the angular frequency (ω) of the acoustic oscillation and the flow rate (U_F) of the fuel flow (12).
- 40
5. Burner (14) with fuel supply system (15, 16, 18, 20, 22) according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the first constriction (17, 21) has a cross-sectional area (A_T) which is essentially smaller or equal to the product of the cross-sectional area (A_F) of the fuel nozzle (10) and the inverse Mach number ($1/M=C_F/U_F$).
- 45
6. Burner (14) with fuel supply system (15, 16, 18, 20, 22) according to one of Claims 1 to 5, **characterized in that** the dimensions of the first Helmholz [sic] volume (16, 22) and first constriction (17, 21) are selected in such a way that a resonance of the absorption of the fuel supply system is situated essentially in the range of the natural modes of the combustion chamber (11).
- 50
7. Burner (14) with fuel supply system (15, 16, 18, 20, 22) according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the first Helmholz [sic] volume (16) is formed by an annular distribution chamber and by distribution channels which are arranged downstream thereof and run at least partially outside the burner (14), and **in that** the fuel flows from the distribution channels through the fuel nozzles (10) into the combustion chamber (11).
- 55
8. Burner (14) with fuel supply system (18, 20, 22) according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** arranged upstream of the first constriction (21) is a second Helmholz [sic] volume (20), through which the fuel flow (12) flows, and this second Helmholz [sic] volume (20) is connected upstream via a second constriction (19) to the fuel supply system (18), which is arranged further upstream.

9. Burner (14) with fuel supply system (15, 16, 18, 20, 22) according to Claim 8, **characterized in that** the dimensions of the first Helmholtz [sic] volume (22) and second Helmholtz [sic] volume (20), and of the first constriction (21) and second constriction (19) are selected such that a resonance of the absorption of the fuel supply system is situated essentially in the range of the natural modes of the combustion chamber (11).

10. Burner (14) with fuel supply system (18, 20, 22) according to one of Claims 8 or 9, **characterized in that** the first constriction (21) is constructed as a line of small cross section which connects the first Helmholtz [sic] volume (22) to the second Helmholtz [sic] volume (20), which is separated from the first Helmholtz [sic] volume (22) by a partition (23).

Revendications

1. Brûleur (14) d'une chambre de combustion avec au moins un système d'alimentation en combustible (15, 16, 18, 20, 22) par lequel un flux de combustible (12) peut être introduit dans le brûleur (14) et qui est relié avec des buses d'injection de combustible (10) disposées dans le brûleur (14), au moins un volume de Helmholtz (16, 22) disposé juste en amont des buses d'injection de combustible (10) étant prévu, volume (16, 22) à travers lequel le combustible s'écoule, ce qui empêche que des fluctuations de pression périodiques apparaissant dans la chambre de combustion n'entraînent des fluctuations du flux de combustible (12) dans le système d'alimentation en combustible (15, 16, 18, 20, 22) et que ce premier volume de Helmholtz (16, 22) ne se trouve en connexion en amont, via un premier étranglement (17, 21), avec le système d'alimentation en combustible (15, 18, 20) disposé plus loin en amont, **caractérisé en ce que** le premier étranglement (17) est constitué d'un insert de forme tubulaire dans une conduite d'amenée de combustible (15) disposée en amont du premier volume de Helmholtz (16) ou d'un tronçon de conduite rétrécie entre la conduite d'amenée de combustible (15) et le premier volume de Helmholtz (16).

2. Brûleur (14) avec un système d'alimentation en combustible (15, 16, 18, 20, 22) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les fluctuations de pression périodiques apparaissant dans la chambre de combustion (11) sont des oscillations acoustiques et **en ce que** celles-ci se situent dans la plage des oscillations propres acoustiques de la chambre de combustion (11).

3. Brûleur (14) avec un système d'alimentation en combustible (15, 16, 18, 20, 22) selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** les fluctuations du flux de combustible (12) dans le système d'alimentation en combustible (15, 16, 18, 20, 22) sont périodiques et **en ce que** en particulier, la fréquence de ces fluctuations périodiques du flux de combustible (12) se situe dans la plage des oscillations propres acoustiques de la chambre de combustion (11).

4. Brûleur (14) avec un système d'alimentation en combustible (15, 16, 18, 20, 22) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le premier volume de Helmholtz (16, 22) est inférieur à un volume critique (V_{crit}) et **en ce que** le volume critique (V_{crit}) est donné approximativement par le quotient du produit de la surface de la section transversale (A_F) de l'ouverture de la buse d'injection de combustible (10) et du carré de la vitesse du son (c_F) dans le premier volume (16, 22) par le produit de la fréquence angulaire (ω) de l'oscillation acoustique et de la vitesse d'écoulement (u_F) du flux de combustible (12).

5. Brûleur (14) avec un système d'alimentation en combustible (15, 16, 18, 20, 22) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le premier étranglement (17, 21) présente une surface de section transversale (A_T), laquelle est essentiellement inférieure ou égale au produit de la surface de la section transversale (A_F) de la buse d'injection de combustible (10) et de l'inverse du nombre de Mach ($1/M = c_F/u_F$).

6. Brûleur (14) avec un système d'alimentation en combustible (15, 16, 18, 20, 22) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** les dimensionnements du premier volume de Helmholtz (16, 22) et du premier étranglement (17, 21) sont choisis de telle manière qu'une résonance de l'absorption du système d'alimentation en combustible se situe essentiellement dans la plage des modes propres de la chambre de combustion (11).

7. Brûleur (14) avec un système d'alimentation en combustible (15, 16, 18, 20, 22) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le premier volume de Helmholtz (16) est formé par un espace de distribution annulaire et par des canaux de distribution situés en aval de celui-ci et s'étendant au moins partiellement à l'extérieur du brûleur (14) et **en ce que** le combustible s'écoule dans la chambre de combustion (11) via les buses d'injection de combustible (10) à partir des canaux de distribution.

EP 1 010 939 B1

5 8. Brûleur (14) avec un système d'alimentation en combustible (18,20,22) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce qu'**en amont du premier étranglement (21), on a disposé un deuxième volume de Helmholtz (20) à travers lequel le flux de combustible (12) s'écoule et **en ce que** ce deuxième volume (20) est en connexion en amont via un deuxième étranglement (19) avec le système d'alimentation en combustible (18) situé plus loin en amont.

10 9. Brûleur (14) avec un système d'alimentation en combustible (15,16,18,20,22) selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** les dimensionnements du premier volume de Helmholtz (22) et du deuxième volume de Helmholtz (20) ainsi que ceux du premier étranglement (21) et du deuxième étranglement (19) sont choisis de telle manière qu'une résonance de l'absorption du système d'alimentation en combustible se situe essentiellement dans la plage des modes propres de la chambre de combustion (11).

15 10. Brûleur (14) avec un système d'alimentation en combustible (18,20,22) selon l'une quelconque des revendications 8 ou 9, **caractérisé en ce que** le premier étranglement (21) est constitué en tant que conduite de section transversale réduite, laquelle relie le premier volume de Helmholtz (22) au deuxième volume de Helmholtz (20) séparé du premier volume de Helmholtz (22) par une paroi de séparation (23).

20

25

30

35

40

45

50

55

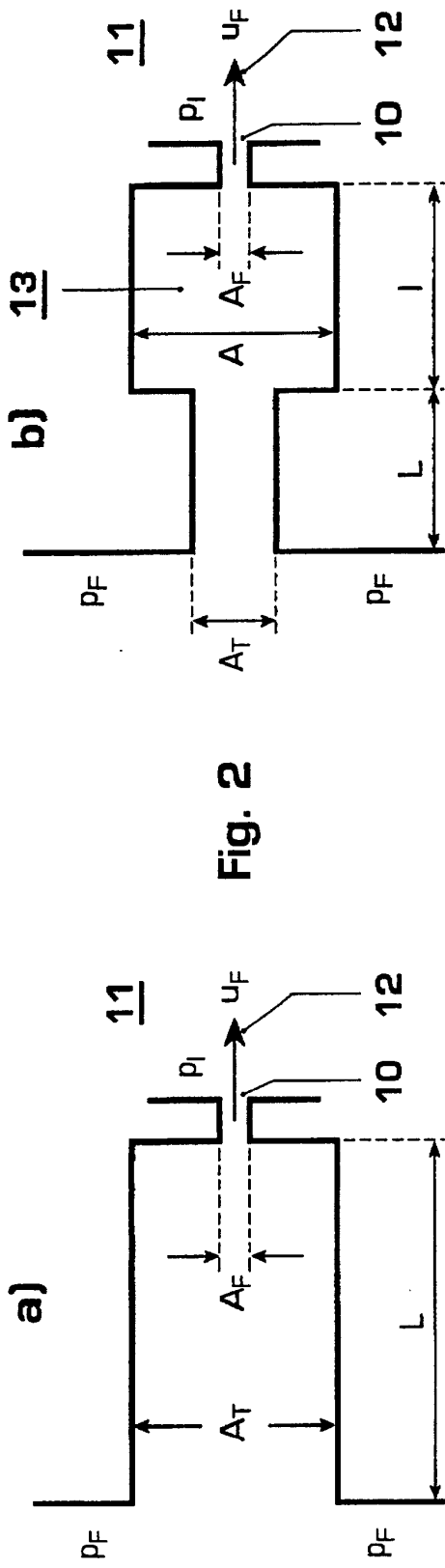


Fig. 2

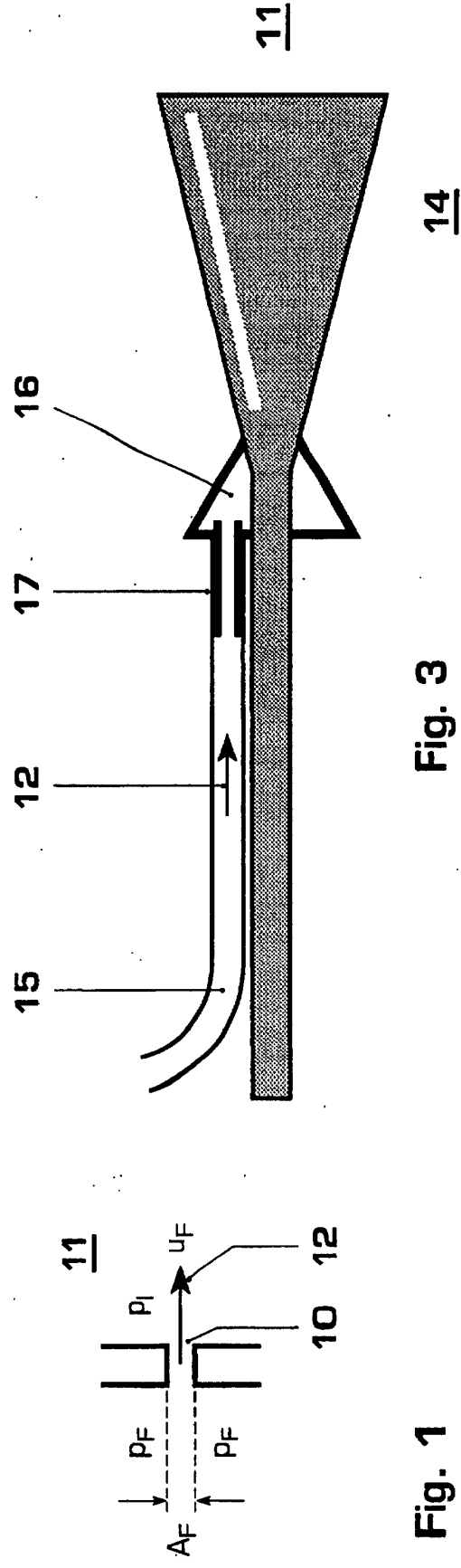
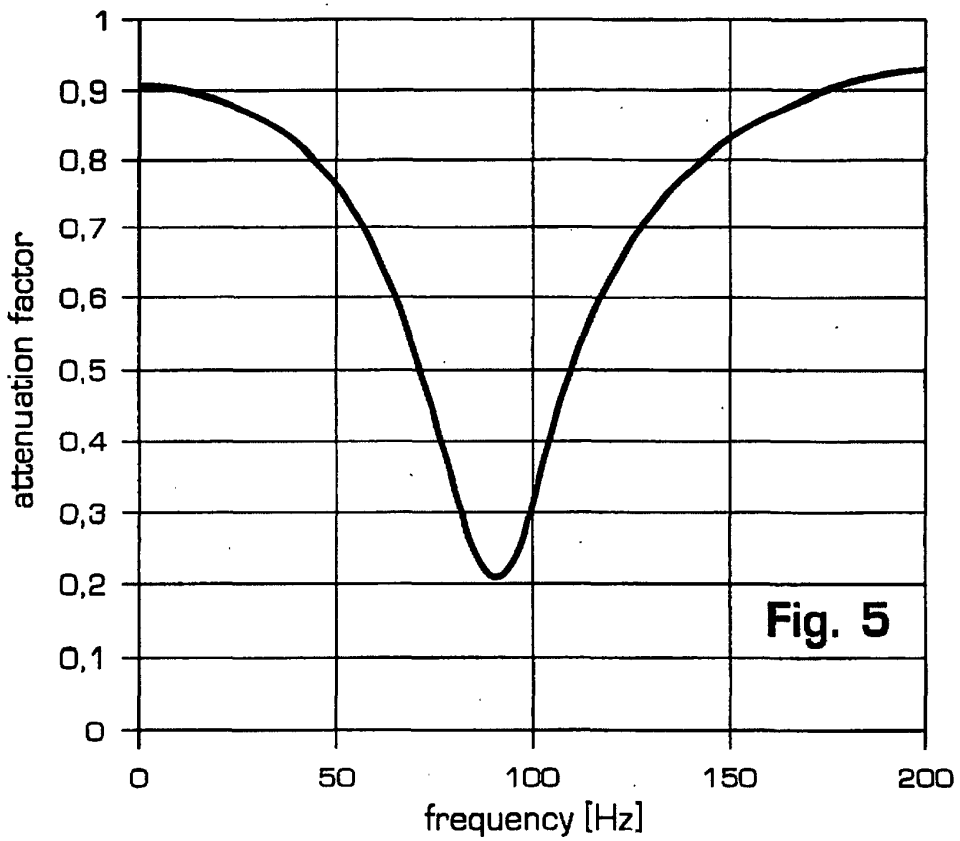
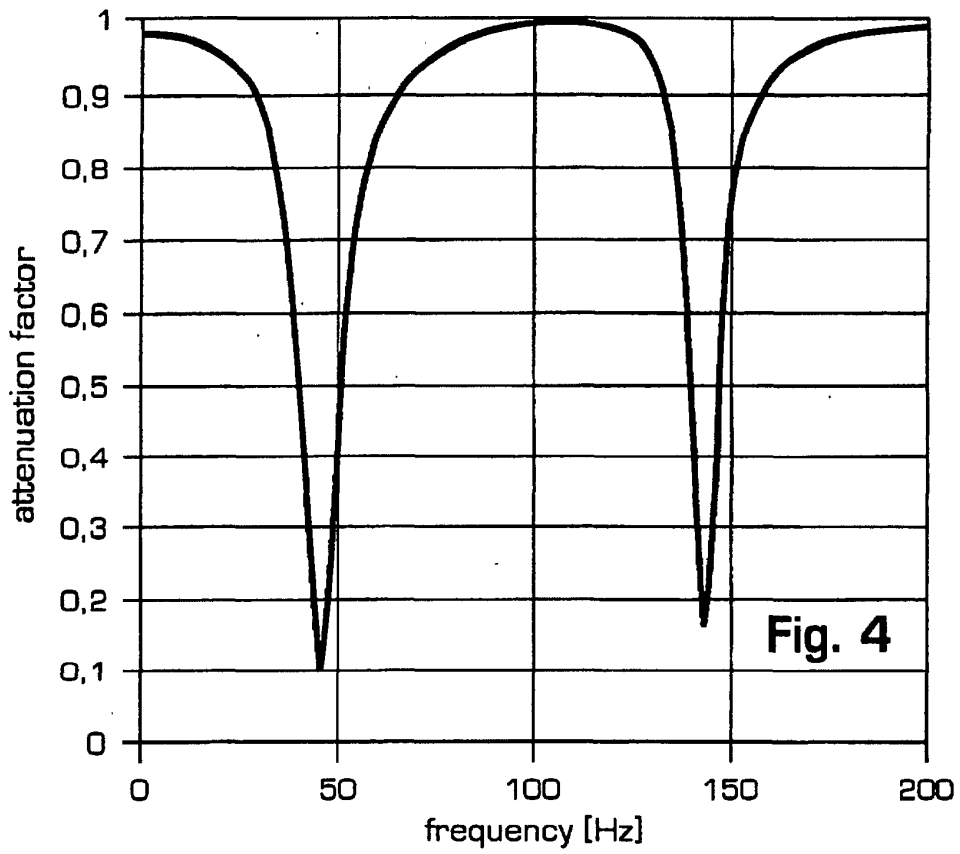


Fig. 1

Fig. 3



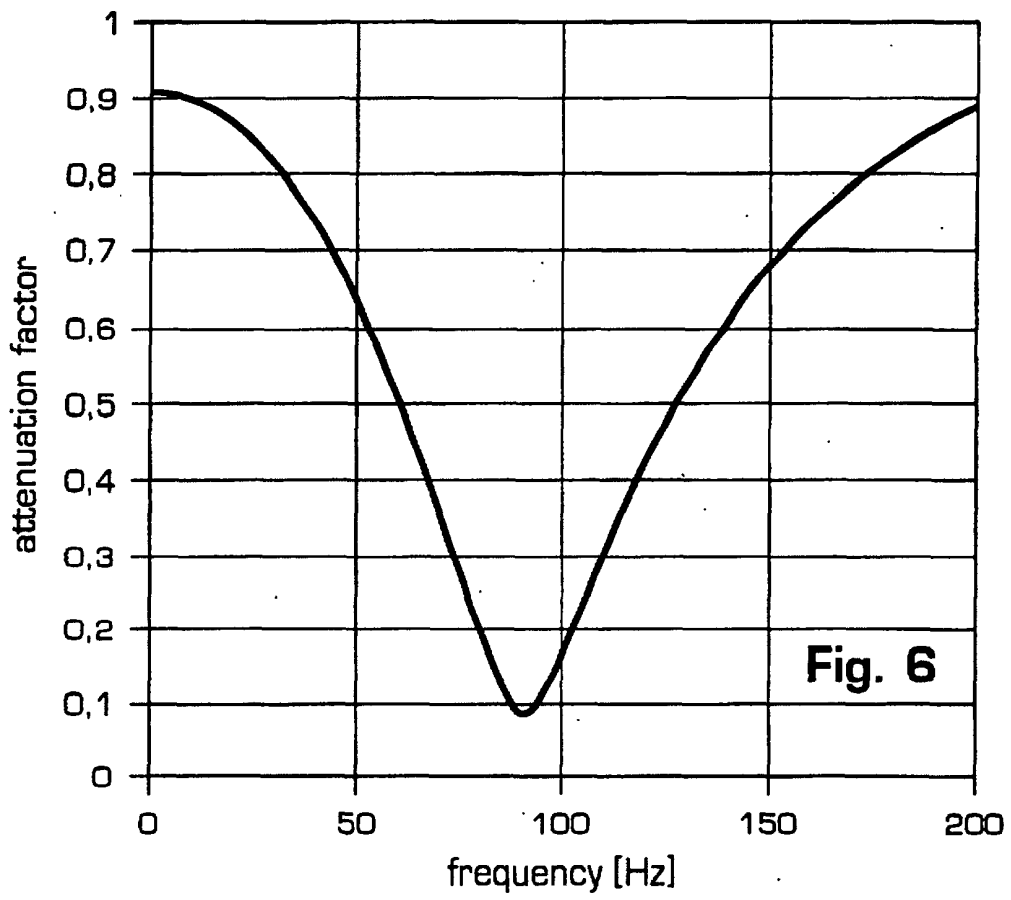


Fig. 6

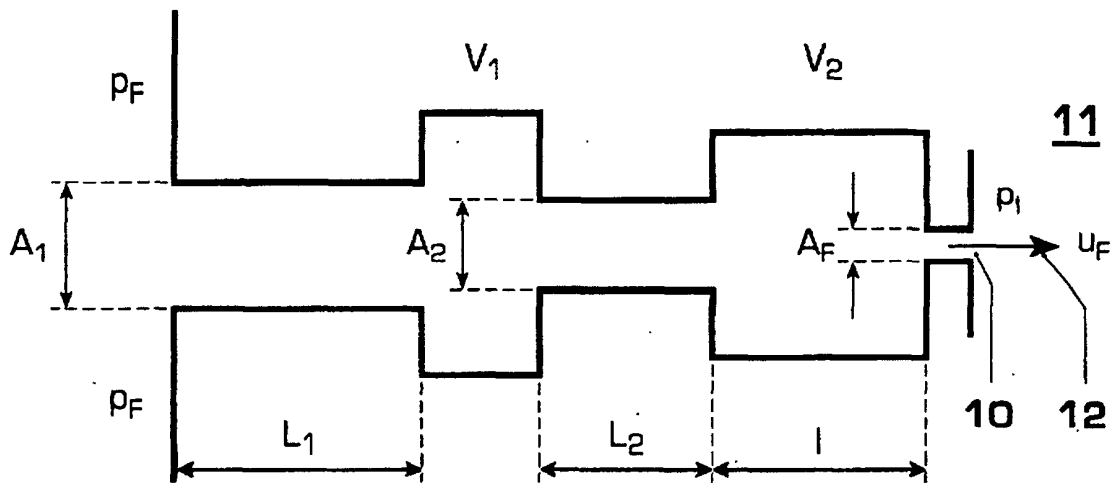


Fig. 7

