



(11) **EP 1 571 650 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
13.05.2009 Patentblatt 2009/20

(51) Int Cl.:
G10K 11/178 (2006.01) G10K 15/04 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **04090083.9**

(22) Anmeldetag: **03.03.2004**

(54) **Anordnung zur Erzeugung von Schallfeldern mit bestimmter modaler Zusammensetzung**

Device for producing acoustic fields with a defined modal composition

Dispositif pour la production de champs sonores avec une composition modale définie

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.09.2005 Patentblatt 2005/36

(73) Patentinhaber:
• **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**
15827 Dahlewitz (DE)
• **ROLLS-ROYCE PLC**
London, SW1E 6AT (GB)

(72) Erfinder:
• **Rose, Marco Dr.**
09599 Freiberg (DE)
• **Holste, Fredi Dr.**
12247 Berlin (DE)

• **Arnold, Frank Dr.**
15838 Am Mellensee / OT Saalow (DE)
• **Moore, Alastair David**
Oakwood,
Derby DE21 2JJ (GB)

(74) Vertreter: **Wablat, Wolfgang**
Patentanwalt
Dr. Dr. W. Wablat
Potsdamer Chaussee 48
14129 Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-C- 10 103 942 US-A- 2 514 129
US-A- 2 987 033 US-A- 3 292 727

EP 1 571 650 B1

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Erzeugung von Schallfeldern bestimmter modaler Zusammensetzung als simulierte Schallquelle für akustische Untersuchungen, insbesondere zur Simulation des von Rotor-Stator-Anordnungen von Turbomaschinen erzeugten Schalls oder als Gegenschallfeld zur aktiven Schallminderung.

[0002] In vielen technischen Bereichen ist die Anwendung und der Betrieb bestimmter Vorrichtungen, wie beispielsweise Flugzeugantriebe, Fahrzeugantriebe, Verdichter, Gasturbinen, Lüftungsanlagen, Ventilatoren und dgl., mit einem unerwünschten, aero-akustisch bedingten Geräuschpegel verbunden. In solchen Anlagen, beispielsweise bei den Rotor-Stator-Systemen von Verdichtern und Gasturbinen, ist die Untersuchung der Ursachen für die Entstehung und Ausbreitung des Luftschalls oder von zur Geräuschdämpfung getroffenen Maßnahmen mit einer realitätsnahen Versuchsanlage mit einem erheblichen technischen Aufwand verbunden. Bei Turbomaschinen sind derartige Untersuchungen mit Rotor-Stator -Anordnungen möglich, die wegen der erforderlichen Antriebseinheiten, der beweglichen Teile, des hohen Gewichts und der notwendigen Steuermechanismen aufwendig und teuer sind. Außerdem ist auch die Erzeugung eines simulierten Schallfeldes zu Testzwecken oder als Gegenschallfeld zur aktiven Schallminderung, wie beispielsweise in der US 5 702 230 oder der US 5 590 849 beschrieben, mit einem beträchtlichen apparativen, steuerungstechnischen und energetischen Aufwand für die Anordnung und den Betrieb von aktiven Elementen, wie beispielsweise Lautsprecher oder piezoelektrische Geräuschquellen, verbunden. Zusätzliche Schwierigkeiten bereiten insbesondere die Bereitstellung leistungsfähiger Aktuatoren, deren hohes Gewicht, deren Energiebedarf und deren Betrieb bei hohen Temperaturen, Drücken und Strömungsgeschwindigkeiten.

[0003] US 2 987 033 beschreibt auch eine Anordnung zur Erzeugung simulierter Schallquellen für akustische Untersuchungen.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zur Erzeugung von Schallfeldern bestimmten modalen Inhalts, im folgenden auch als Modengenerator bezeichnet, zur Anwendung als simulierte Schallquelle für wissenschaftlich-technische Untersuchungen oder als Gegenschallfeld zur aktiven Schallminderung anzugeben, die einfach ausgebildet ist und mit geringem Kostenaufwand hergestellt und betrieben werden kann.

[0005] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit einer gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 ausgebildeten Vorrichtung gelöst. Weitere Merkmale und vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0006] Der Grundgedanke der Erfindung besteht mit anderen Worten in der Bereitstellung eines Modengenerators, der einen von einem fließfähigen Medium, insbesondere einem Gas, durchströmten Strömungskanal mit

in diesem ausgebildeten Strömungshindernissen umfasst. Die Strömungshindernisse sind so geformt, dass von diesen Wirbel aus dem strömenden Medium abgelöst werden. Die Form und Größe der Strömungshindernisse und die Strömungsgeschwindigkeit in dem Strömungskanal sind so gewählt, dass eine bestimmte Ablösefrequenz der Wirbel nicht unterschritten wird. Die Anzahl und räumliche Anordnung der Strömungshindernisse ist so eingestellt, dass ein durch die Gesamtheit der abgelösten Wirbel bedingtes, sich periodisch zeitlich und räumlich veränderndes Druckfeld erzeugt wird. Dieses Druckfeld regt ein Schallfeld von bestimmter modaler Zusammensetzung an, das auf die Wirbelablösung synchronisierend zurückwirkt. Der so durch Rückkopplung gebildete Resonanzkreis, bei dem die Wirbelablösefrequenz im Bereich der Resonanzfrequenz des anzuregenden Schallfeldes ist, stellt eine Schallwelle dar. Mit einfachsten Mitteln kann damit eine Schallquelle für bestimmte akustische Untersuchungen, zum Beispiel unter Fortfall der Stator-Rotor-Anordnung bei Triebwerksuntersuchungen, simuliert werden. Gleichermaßen können mit einer derart einfachen und kostengünstigen Anordnung Gegenschallfelder zur aktiven Schallminderung erzeugt werden. Der Apparate-, Gewichts- und Kostenaufwand kann erheblich reduziert werden.

[0007] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Erzeugung modaler Schallfelder (aero-akustischer Modengenerator);

Fig. 2 die Vorrichtung nach Fig. 1 in einem Längsschnitt;

Fig. 3 eine perspektivische Darstellung der Vorrichtung nach Fig. 1;

Fig. 4 eine Seitenansicht einer anderen Ausführungsform einer Vorrichtung zur Erzeugung modaler Schallfelder;

Fig. 5 die Vorrichtung nach Fig. 4 in einem Längsschnitt;

Fig. 6 eine perspektivische Darstellung eines Strömungshindernisses gemäß der Ausführungsform nach Fig. 4;

Fig. 7 eine Schnittansicht der Stützstange des Strömungshindernisses nach Fig. 6;

Fig. 8 eine Schnittansicht des eine Wirbelablösung bewirkenden Strömungshindernisses nach Fig. 6; und

Fig. 9 eine Darstellung des Wirkprinzips der Vorrichtung zur Erzeugung modaler Schallfelder.

[0008] Gemäß der Zeichnung sind in einem Strömungskanal 1 an dessen Innenumfang in regelmäßigem Abstand verteilt angeordnete Strömungshindernisse, gemäß den Figuren 1 bis 3 in Form von nur in einer Querschnittsebene angeordneten, senkrecht von der Kanalinnenwand abstrebenden, durchgehend rechteckigen Stegen 10 von gleicher Länge mit abgerundeten Kanten, vorgesehen. Das heißt, die Strömungshindernisse 2 können zur Erzeugung unterschiedlicher modaler Schallfelder auch andere Querschnittsformen aufweisen, weiter in den Kanalinnenraum hineinreichen oder näher an der Kanalwand liegen oder, wie in den Figuren 4 bis 8 dargestellt, auf Stützen im Kanal angeordnet sein oder auch als in die Kanalwand eingeformte Vertiefungen (nicht dargestellt) ausgebildet sein. Insbesondere ist die Querschnittsform der Strömungshindernisse 2 für die Ausbildung des Schallfeldes in dem Strömungskanal 1 von Bedeutung. Des Weiteren können die Strömungshindernisse 2 in ein und demselben Strömungskanal 1 auch unterschiedlich ausgebildet sein. Schließlich ist die Anordnung und Anzahl der Strömungshindernisse 2 variabel. Das heißt, die Strömungshindernisse können einzeln oder in einer größeren Anzahl auch in zwei oder mehreren Querschnittsebenen des Strömungskanals 1, und zwar auch versetzt zueinander angeordnet sein (jeweils nicht dargestellt). Der Strömungskanal 1 wird in Richtung des Pfeils 3 von einem fließfähigen Medium, hier einem Gas, durchströmt. In dem vorliegenden Fall der Simulation des Schallfeldes einer Rotor-Stator-Anordnung für eine Gasturbine, Verdichter oder dgl. handelt es sich um ein Heißgas oder ein Kaltgas. Die Ausbreitung des Schalls erfolgt gemäß dem Pfeil 4 in Strömungsrichtung 3 und entgegen der Strömungsrichtung 3. Bei der in den Figuren 4 bis 8 gezeigten Ausführungsvariante sind zur Ausbildung der Strömungshindernisse 2 Stege 11 vorgesehen, bei denen auf einer Stützstange 11a im Abstand von der Kanalinnenwand jeweils zwei Wirbelablöseabschnitte 11b im Abstand voneinander angeformt sind. Das Profil der Stützstange 11a ist, wie Fig. 7 zeigt, so geformt, das von diesem im Wesentlichen keine Wirbel abgelöst werden können.

[0009] Der Wirkungsmechanismus des oben beschriebenen Schallfeldgenerators (aero-akustischer Modengenerator) zur Umwandlung der Strömungsenergie des Mediums in akustische Energie eines sich in Strömungsrichtung und entgegen der Strömungsrichtung fortpflanzenden Schallfeldes wird anhand der Fig. 9 wie folgt beschrieben: Aufgrund der Strömung lösen sich am Strömungshindernis 2 periodisch Wirbel 5 und 6 ab, die in Strömungsrichtung hinter dem Strömungshindernis 2 eine Wirbelstraße 7 bilden. Die Ablösefrequenz der Wirbel 5, 6 hängt von der Strömungsgeschwindigkeit und der Form und Größe des jeweiligen Strömungshindernisses 2 ab. Infolge der durch die periodische Wirbelablösung erzeugten Wechseldrucke entstehen Töne, die sich bei und oberhalb einer bestimmten Frequenz (cut-on-Frequenz, Resonanzfrequenz) im Strömungskanal 1 ausbreiten können. Diese Frequenz hängt von der Ka-

nalgeometrie (Querschnittsform, Abmessungen), von der Strömungsgeschwindigkeit und der Gastemperatur ab. Die durch die periodische Wirbelablösung erzeugten Töne bilden in dem Strömungskanal 1 ein akustisches Druckfeld 8, das heißt, ein modales Schallfeld oder mindestens eine akustische Mode mit in Umfangsrichtung und/oder radialer Richtung, variabler Amplitude, die synchron auf das Strömungshindernis 2 und die von diesem ausgehende periodische Ablösung der Wirbel zurückwirkt (feedback loop gemäß Pfeil 9). Es entsteht ein geschlossener Resonanzkreis zwischen der Wirbelablösung und der akustischen Mode 8 sowie der akustischen Mode 8 und der Wirbelablösung, das heißt, die akustische Mode prägt der Wirbelablösung ihre Frequenz und Phase auf und durch die synchrone Rückkopplung der Moden auf die Wirbelbildung bildet sich ein hoher Schalldruckpegel aus, der in der Lage ist, bestimmte Lärmverhältnisse in technischen Anlagen, zum Beispiel in einer Rotor-Stator-Anordnung, zu simulieren oder auch - phasenverschoben - zur aktiven Schallminderung eines vorhandenen Schalldruckpegels benutzt werden kann. Die für die Schallerzeugung erforderliche Energie wird der Energie des strömenden Mediums entzogen, jedoch ist der Energieentzug vernachlässigbar klein und ohne Einfluss auf die Wirkung der zu untersuchenden technischen Vorrichtung, z.B. einer Rotor-Stator-Anordnung einer Turbomaschine.

Bezugszeichenliste

[0010]

- | | |
|-----|--|
| 1 | Strömungskanal |
| 2 | Strömungshindernis |
| 3 | Strömungsrichtung, Strömungsenergiefluss |
| 4 | Schallausbreitungsrichtung, akustischer Energiefluss |
| 5 | abgelöste Wirbel |
| 6 | abgelöste Wirbel |
| 7 | Wirbelstraße, aerodynamische Schallquelle |
| 8 | Akust. Mode, modales Schallfeld, Druckfeld |
| 9 | Feedback Loop, Rückkopplung zw. 8 und 2 |
| 10 | Stege mit gleichbleibendem Profil |
| 11 | Stege mit mehreren Ablöseabschnitten |
| 11a | Stützstange |
| 11b | Wirbelablöseabschnitt |

Patentansprüche

1. Anordnung zur Erzeugung von Schallfeldern bestimmter modaler Zusammensetzung als simulierte Schallquelle für akustische Untersuchungen, insbesondere zur Simulation des von Rotor-Stator-Anordnungen von Turbomaschinen erzeugten Schalls, oder als Gegenschallfeld zur aktiven Schallminderung, **gekennzeichnet durch** einen von einem fließfähigen Medium durchströmten Strömungskanal

- nal (1) mit mindestens einem in diesem vorgesehenen Strömungshindernis (2) zur periodischen Ablösung von Wirbeln (5, 6) mit einer bestimmten Ablösefrequenz in Abhängigkeit von der Form und Größe des mindestens einen Strömungshindernisses (2) und von der Strömungsgeschwindigkeit, wobei die Anzahl und räumliche Anordnung der Strömungshindernisse (2) so gewählt ist, dass ein **durch** die Gesamtheit der abgelösten Wirbel bedingtes sich periodisch räumlich und zeitlich veränderndes Druckfeld zur Anregung eines Schallfeldes (8) bestimmten modalen Inhalts erzeugt wird, das auf die Wirbelablösung synchronisierend zurückwirkt, und ein so gebildeter Resonanzkreis, bei dem die Wirbelablösefrequenz im Bereich der Resonanzfrequenz des anzuregenden Schallfeldes ist, die Schallquelle darstellt.
2. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere Strömungshindernisse (2) in einer oder mehreren Querschnittsebene(n) des Strömungskanals (1) sowohl in Umfangsrichtung als auch in Strömungsrichtung in regelmäßigem oder unregelmäßigem Abstand angeordnet sind.
3. Anordnung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strömungshindernisse (2) von der Innenwand des Strömungskanals abstrebende Stege (10, 11) mit einer Profilierung sind, die eine periodische Ablösung von Wirbeln (5 und 6) zur Ausbildung einer Wirbelstraße (7) und von Tönen sowie der entsprechenden akustischen Moden (8) gewährleistet.
4. Anordnung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stege (11) aus einer Stützstange (11a) mit einem oder mehreren Wirbelablöseabschnitt(en) (11b), die im Abstand von der Innenwand des Strömungskanals (1) und/oder im Abstand voneinander angeordnet sind, bestehen, wobei die Stützstange so profiliert ist, dass an dieser keine oder eine vernachlässigbare Wirbelablösung erfolgt.
5. Anordnung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strömungshindernisse (2) in die Innenwand des Strömungskanals (1) eingeformte Kavitäten sind.
6. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Strömungsmedium ein kaltes oder ein heißes Gas ist.
7. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Steuerung der Phasenlage der Wirbelablösung an den Strömungshindernissen Mittel zur Schwingungsanregung vorgesehen sind.
8. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4 und

7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strömungshindernisse (2) in mehreren Achsen verstellbar ausgebildet sind.

Claims

- Arrangement for the generation of sonic fields of a specific modal composition as simulated sound source for acoustic investigations, in particular for the simulation of the sound produced by rotor-stator arrangements of turbomachines, or as opposing sonic field for active sound reduction, **characterized by** a flow duct (1) flown by a fluid with at least one flow obstacle (2) provided in this flow duct (1) for the periodic shedding of vortexes (5, 6) at a certain shedding frequency depending on the shape and size of the at least one flow obstacle (2) and the velocity of flow, with the number and spatial arrangement of the flow obstacles (2) being selected such that a periodically spatially and temporally changing pressure field for the excitation of a sonic field (8) of a certain modal composition is produced by the entirety of the shed vortexes which reacts synchronizingly on the vortex shedding, with a resultant resonant circuit, whose vortex shedding frequency is in the range of the resonant frequency of the sonic field to be excited, being the sound source.
- Arrangement in accordance with Claim 1, **characterized in that** several flow obstacles (2) are arranged at regular or irregular intervals in one or several cross-sectional plane(s) of the flow duct (1) both circumferentially and in the direction of flow.
- Arrangement in accordance with Claim 2, **characterized in that** the flow obstacles (2) are projections (10, 11) sticking out from the inner wall of the flow duct which are profiled such that periodic shedding of vortexes (5 and 6) for creating a vortex path (7) and sounds as well as the respective acoustic modes (8) is ensured.
- Arrangement in accordance with Claim 3, **characterized in that** the projections (11) include a stay (11 a) with one or several vortex shedding portion(s) (11 b) which are remote of the inner wall of the flow duct (1) and/or spaced from each other, with the stay being profiled such that it produces no, or only negligible, vortex shedding.
- Arrangement in accordance with Claim 2, **characterized in that** the flow obstacles (2) are cavities formed into the inner wall of the flow duct (1).
- Arrangement in accordance with Claim 1, **characterized in that** the fluid is a cold gas or a hot gas.

7. Arrangement in accordance with Claim 1, **characterized in that** means for vibration excitation are provided to control the phase relation of vortex shedding at the flow obstacles.
8. Arrangement in accordance with one of the Claims 1 to 4 and 7, **characterized in that** the flow obstacles (2) are adjustable in several axes.

Revendications

1. Dispositif pour générer des champs sonores d'une certaine composition modale comme source sonore simulée pour des analyses acoustiques, en particulier pour simuler le son émis par des systèmes rotor-stator de turbomachines, ou comme contrechamp sonore pour un affaiblissement acoustique actif, **caractérisé par** un canal d'écoulement (1) traversé par un agent fluide, avec au moins un obstacle à l'écoulement (2) prévu dans celui-ci pour le décollement périodique de tourbillons (5, 6) avec une certaine fréquence de décollement en fonction de la forme et de la taille de l'au moins un obstacle à l'écoulement (2) ainsi que de la vitesse d'écoulement, sachant que le nombre et l'arrangement dans l'espace des obstacles à l'écoulement (2) sont choisis de telle manière qu'est généré un champ de pression se modifiant périodiquement dans l'espace et dans le temps en fonction de l'ensemble des tourbillons décollés afin d'exciter un champ sonore (8) ayant un certain contenu modal et qui réagit de manière synchronisée sur le décollement des tourbillons, et qu'un circuit résonant ainsi formé, dans lequel la fréquence de décollement des tourbillons se situe dans la plage de la fréquence de résonance du champ sonore à exciter, constitue la source sonore.
2. Dispositif selon la revendication n° 1, **caractérisé en ce que** plusieurs obstacles à l'écoulement (2) sont disposés dans un ou plusieurs plan(s) de section du canal d'écoulement (1) à des intervalles réguliers ou irréguliers tant dans le sens circonférentiel que dans le sens d'écoulement.
3. Dispositif selon la revendication n° 2, **caractérisé en ce que** les obstacles à l'écoulement (2) sont des nervures (10, 11) faisant saillie sur la paroi intérieure du canal d'écoulement avec un profilage qui garantit un décollement périodique de tourbillons (5 et 6) afin de former une allée de tourbillons (7), et de sons ainsi que des modes acoustiques (8) correspondants.
4. Dispositif selon la revendication n° 3, **caractérisé en ce que** les nervures (11) sont constituées d'une barre d'appui (11 a) avec une ou plusieurs section (s) de décollement de tourbillons (11 b) disposée(s)

à distance de la paroi intérieure du canal d'écoulement (1) et/ou à distance l'une de l'autre, sachant que la barre d'appui est profilée de telle manière que sur elle, le décollement de tourbillons n'a pas lieu ou est négligeable.

5. Dispositif selon la revendication n° 2, **caractérisé en ce que** les obstacles à l'écoulement (2) sont des cavités pratiquées dans la paroi intérieure du canal d'écoulement (1).
6. Dispositif selon la revendication n° 1, **caractérisé en ce que** l'agent d'écoulement est un gaz froid ou chaud.
7. Dispositif selon la revendication n° 1, **caractérisé en ce que** sont prévus des moyens d'excitation oscillatoire pour régler la position de phase du décollement de tourbillons sur les obstacles à l'écoulement.
8. Dispositif selon une des revendications n° 1 à n° 4 et n° 7, **caractérisé en ce que** les obstacles à l'écoulement (2) sont réglables selon plusieurs axes.

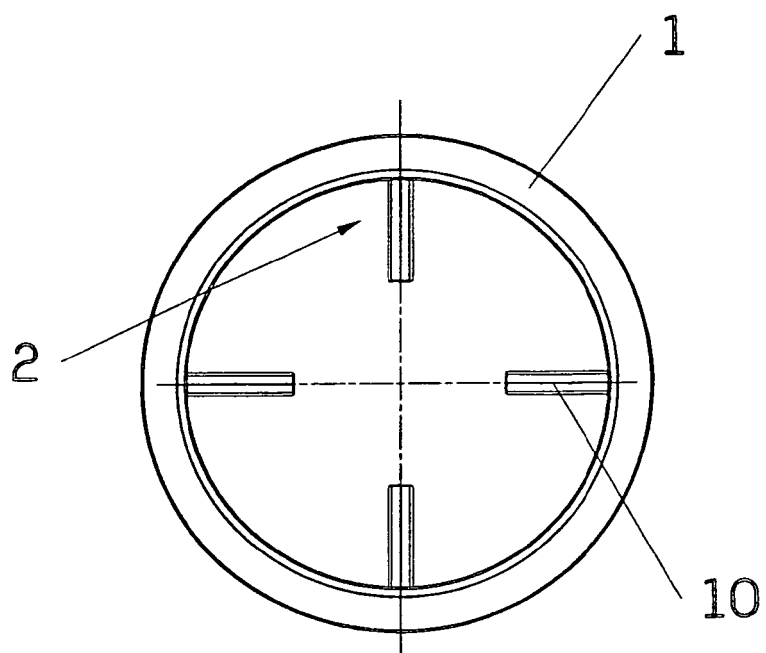


FIG. 1

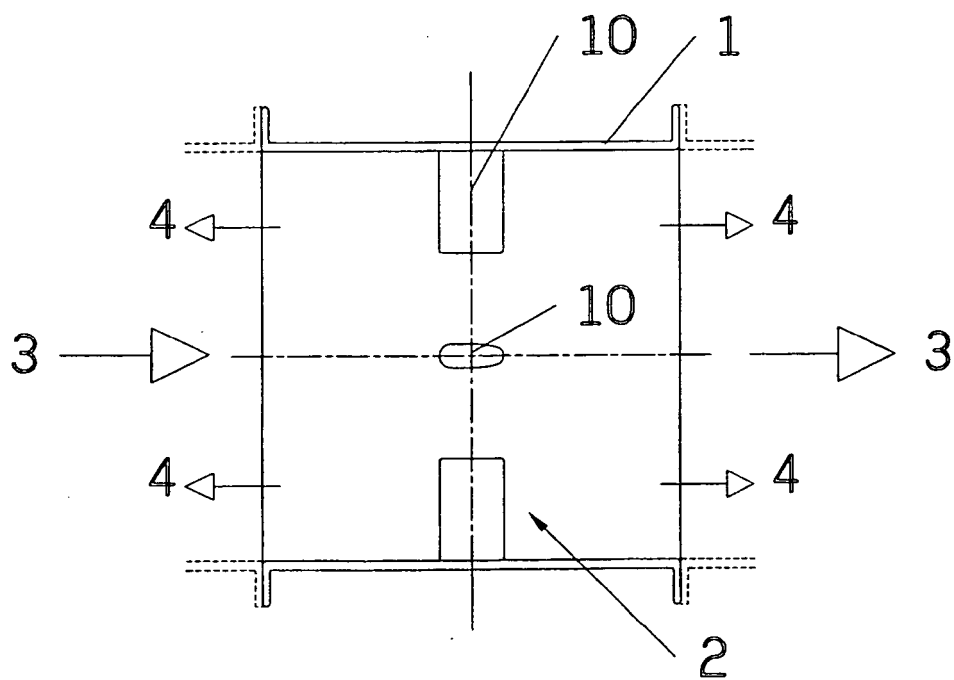


FIG. 2

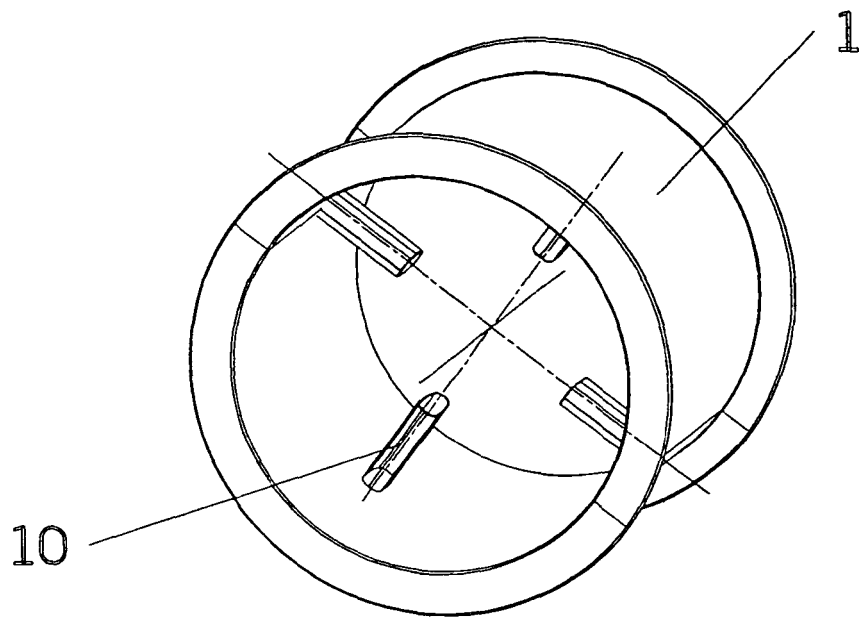


FIG. 3

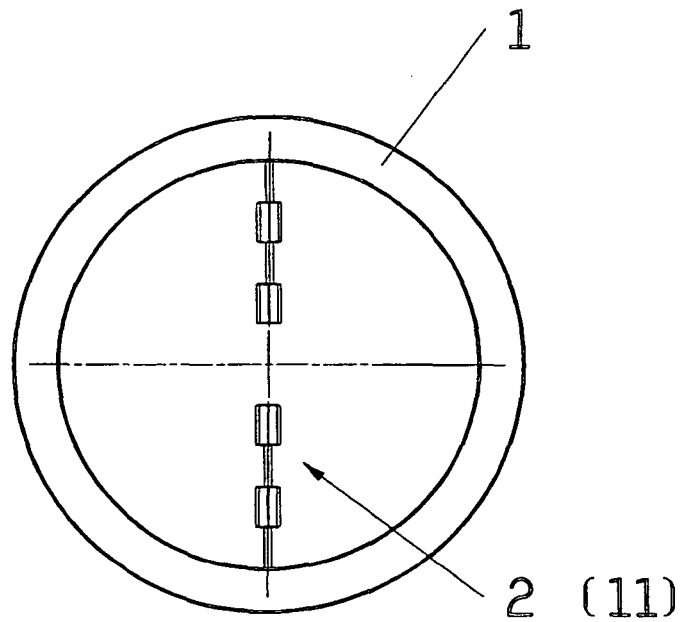


FIG. 4

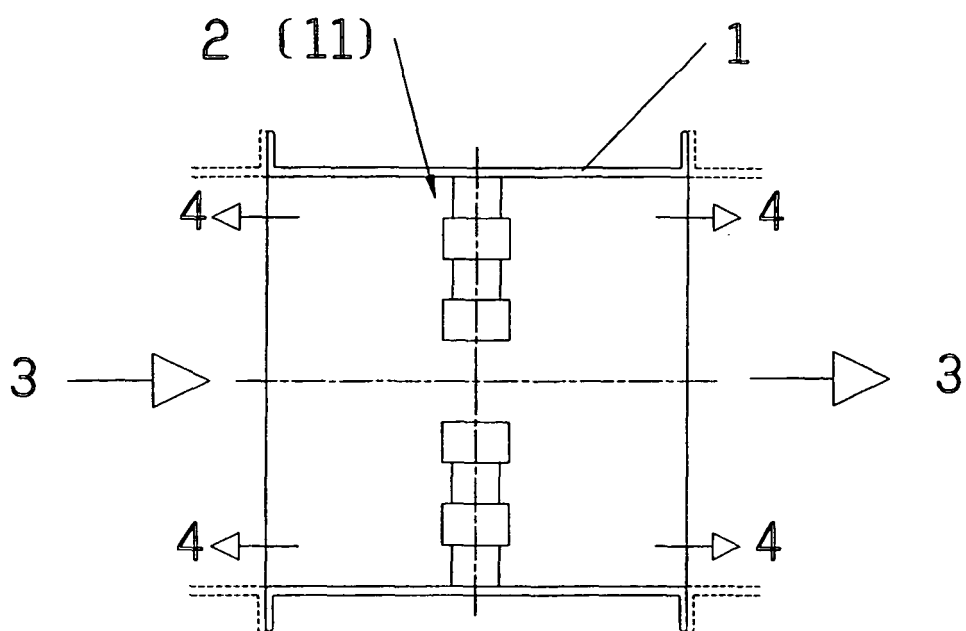


FIG. 5

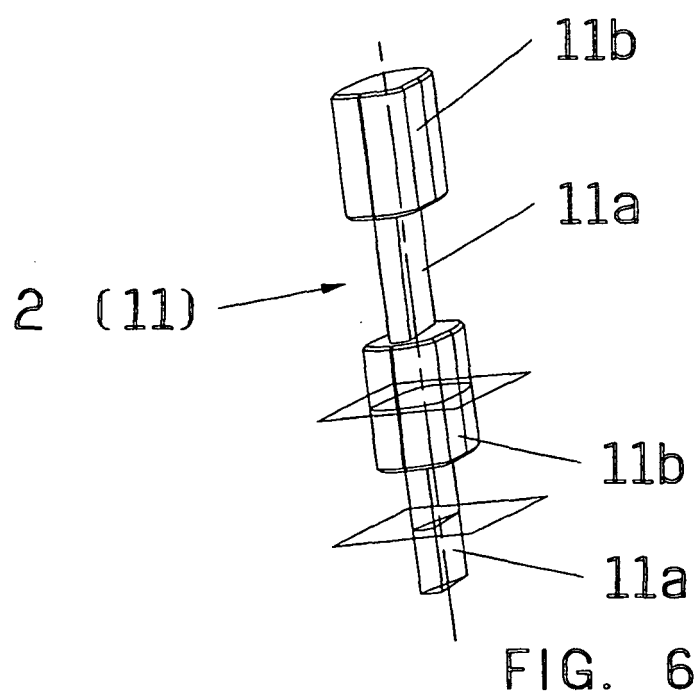


FIG. 6

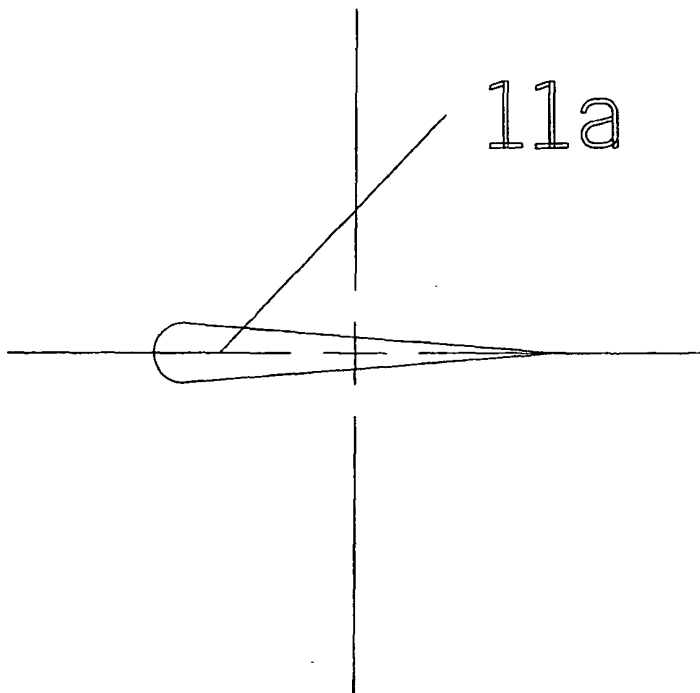


FIG. 7

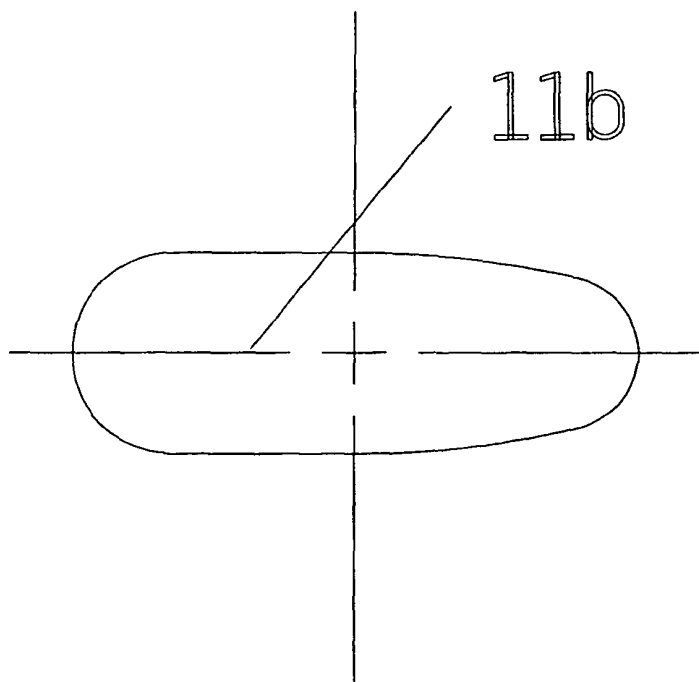


FIG. 8

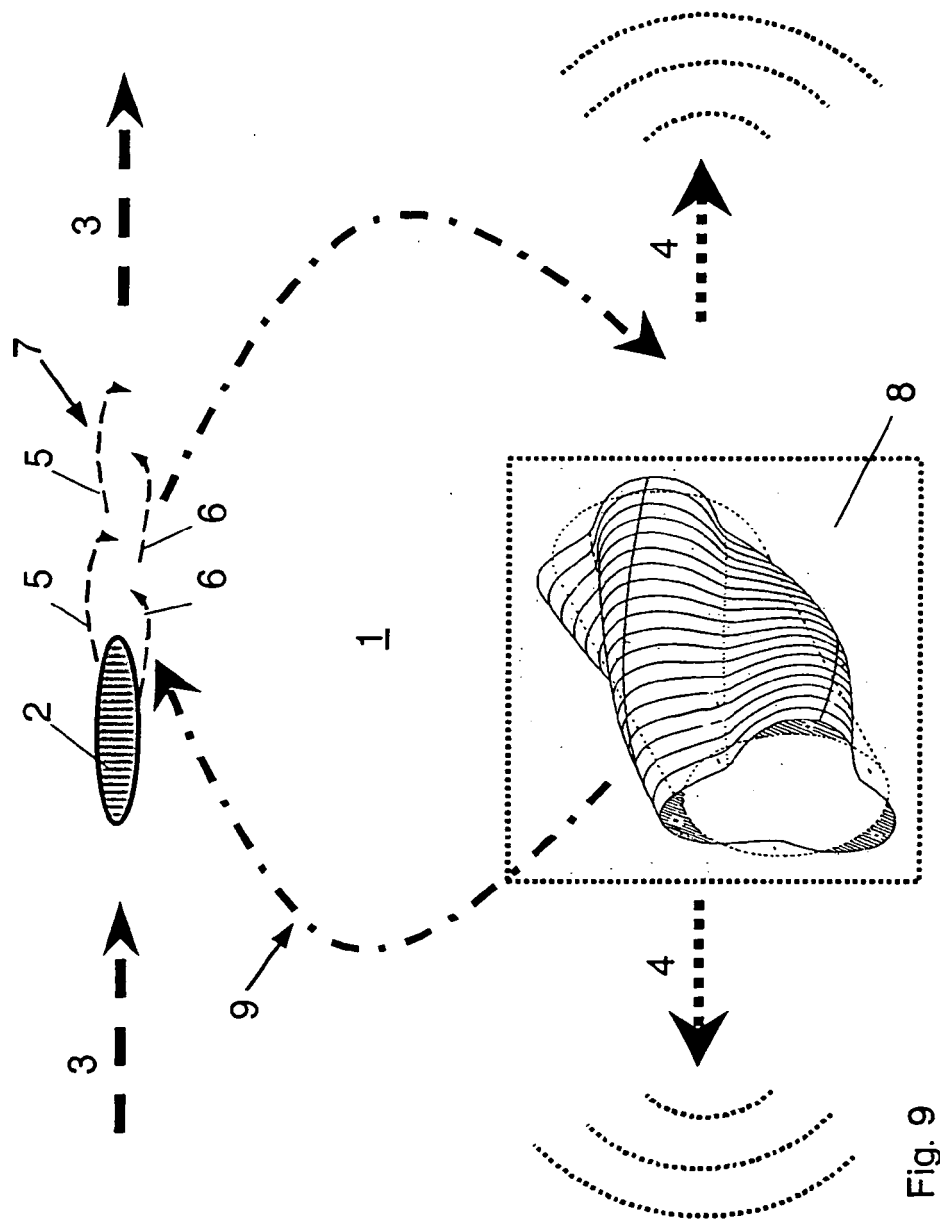


Fig. 9

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 5702230 A [0002]
- US 5590849 A [0002]
- US 2987033 A [0003]