



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 691 625 A5

⑤ Int. Cl.⁷: G 01 L 019/02
G 01 L 009/08

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

②① Gesuchsnummer: 02171/97

②② Anmeldungsdatum: 15.09.1997

②④ Patent erteilt: 31.08.2001

45 Patentschrift
veröffentlicht: 31.08.2001

73 Inhaber:
K.K. Holding AG, Eulachstrasse 22,
Postfach 304, 8408 Winterthur (CH)

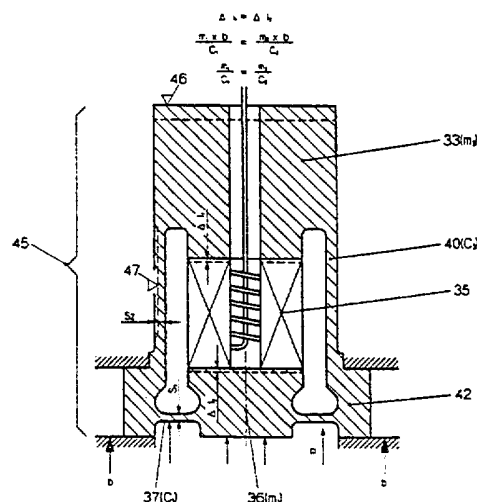
72 Erfinder:
Engeler, Paul, Allmendweg 13,
CH-8500 Frauenfeld (CH)

54) Beschleunigungskompensierter Druckaufnehmer.

57 Zur Messung von dynamischen Vorgängen in gasförmigen und flüssigen Medien, z.B. in Motoren und Turbo-Systemen, sind Druckaufnehmer gefragt, welche in die vibrierenden Gehäusewände solcher Maschinen montiert werden können, ohne dass sie deren Beschleunigungskräfte ins Drucksignal einstreuen. In vielen Fällen können Verbesserungen erzielt werden durch elastische oder dämpfende Einbau-Adapter. Besser ist es jedoch, die Beschleunigungskräfte durch integrierte Gegenmassnahmen, die direkt auf das Messsignal wirken, zu kompensieren. Dem Stand der Technik entsprechend wurde dazu ein zweiter Kristallsatz mit einer Zusatzmasse so ins Messsignal eingeschaltet, dass bei Beschleunigung ein Gegensignal vom Drucksignal subtrahiert wurde.

Erfindungsgemäss kann dieselbe Kompensationswirkung mit nur dem Signalkristallsatz (35) erreicht werden, indem die beiden Massen m1 (36) und m2 (33) zu einem geschlossenen Element verbunden werden und am Einbaueinde, mittels Flansch (42), gehalten sind. Das Einbaueinde des Druckaufnehmers wird an diese Flanschpartie (42) angeschweisst und berührt den Innenteil (45) des Druckaufnehmers an keiner anderen Stelle mehr. Damit ist der Innenteil (45) als frei schwingendes Element ausgebildet, das bei Optimierung der Massen m1 und m2 und der Federsteifigkeiten c1 und c2 nur das Drucksignal

misst. Damit kann ein wesentlich vereinfachtes Messsystem gebaut werden, mit nur einem Messkristallsatz (35).



Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen beschleunigungskompensierten Druckaufnehmer gemäss Oberbegriff von Anspruch 1.

Für die Messung dynamischer Druckvorgänge in gasförmigen oder flüssigen Medien, insbesondere an Motoren und Turbo-Systemen, sind Druckaufnehmer gefragt, welche direkt in die vibrierenden Gehäusewände solcher Maschinen montiert werden können, ohne dass sie deren Beschleunigungskräfte in das zu messende Drucksignal einstreuen. Üblicherweise werden für solche Messungen piezoelektrische Druckaufnehmer verwendet, besonders wenn es sich um hochdynamische Vorgänge oder um Messungen in Temperaturbereichen von über 200°C handelt.

In einzelnen Anwendungsfällen genügt es, wenn die Druckaufnehmer mittels elastisch gelagerten Adaptern in die vibrierenden Maschinenwände eingebaut werden. In höheren Temperaturbereichen ist dies meist nicht möglich, sodass zur separaten Erfassung der Beschleunigungskräfte seit Jahren piezoelektrische Beschleunigungselemente in die Druckaufnehmer integriert werden. Dazu ist ein hoher technischer Aufwand nötig, weil ein zusätzliches Piezoelement, meist in Form von einer oder mehreren Kristallplatten, in Gegenschaltung zum Drucksignal-Kristallsatz, eingebaut werden muss. Dadurch reduziert sich das Nutzdrucksignal um mindestens 1/3 des Maximalwertes, was ein weiterer grosser Nachteil ist, weil in vielen Fällen Amplituden von wenigen Millibar gemessen werden müssen. Zudem hat sich gezeigt, dass die mit den bekannten Gegenmitteln erreichte Beschleunigungskompensation sehr stark beeinflusst werden kann, durch Stecker- oder Metallkabelanschlüsse, d.h. wenn zusätzliche Massen an das Druckaufnehmergehäuse angeschlossen werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, Druckaufnehmer der genannten Art technisch zu vereinfachen und den Einflüssen der verschiedenen Anschlussmethoden zu entziehen. Diese Aufgabe wird mittels der Merkmale im Kennzeichen von Anspruch 1 gelöst. Durch die Aufteilung des Druckaufnehmers in einen messenden Innenteil und einem gehäuseartigen Aussenteil, die beide nur an der Membran-Flanschpartie miteinander verbunden sind, wird ein freischwingendes Mess-System erhalten, das unabhängig vom Einbauehäuse misst, schwingt und Beschleunigungen und Vibrationen kompensiert, wie später noch erläutert wird anhand von Fig. 4.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 State of the Art piezoelektrische Druckaufnehmer, mit zwei in Serie gegeneinander geschalteten Kristallsätzen, schematisch im Schnitt.

Fig. 2 State of the Art piezoelektrische Druckaufnehmer, mit zwei Kristallsätzen, die ebenfalls gegeneinander geschaltet sind, und dessen Masse m2 bearbeitbar ist.

Fig. 3 Erfindungsgemässer piezoelektrischer Druckaufnehmer, schematisch im Schnitt.

Fig. 4 Erfindungsgemässer Innenteil des Druckaufnehmers nach Fig. 3, schematisch im Schnitt.

Fig. 5 Erfindungsgemässer piezoelektrischer Druckaufnehmer, mit Metallkabelanschluss und einer Variante in der Flansch-Schweissung, schematisch im Schnitt.

Fig. 6 Eine Variante eines Innenteils des Druckaufnehmers mit aufschraubbarer Schwermetallmasse, schematisch im Schnitt.

Fig. 7 Erfindungsgemässer piezoelektrischer Druckaufnehmer mit Variante in der Membranschweissung und der Seitenabstützung des Innenteils.

Fig. 8 Erfindungsgemässer piezoelektrischer Druckaufnehmer, eingebaut auf Shakerzange, mit Direktanzeige der Feinkompensation.

Fig. 1 und Fig. 2 zeigen piezoelektrische Druckaufnehmer, wie sie in den letzten 20 Jahren zu Tausenden gebaut wurden und weiter gebaut werden.

Fig. 1 zeigt den Querschnitt eines beschleunigungskompensierten Druckaufnehmers der einfacheren Art, wobei 1 das Druckaufnehmer-Gehäuse ist. Der Kompensations-Kristallsatz 2 ist in Form einer Piezoplatte gezeigt. Die Kompensationsmasse 3 ist als Elektrode ausgebildet und schliesst die Kontaktfeder 4 ein. Der Mess-Kristallsatz 5 ist in Form von drei Piezoplaten gezeigt, entsprechend einem bekannten Handelsmuster.

Die Membranbodenmasse 6 ist die Masse m1, während 3 die Masse m2 darstellt. Diese beiden Massen sind so bemessen, dass eine optimale Beschleunigungskompensation erreicht wird. Die Membrane 7 verbindet das mit Montagegewinde 8 versehene Druckaufnehmergehäuse 1 mit der Masse 6. Üblicherweise wird das Gehäuse 1 mittels Dicht-ring 10 gegen die Maschinenwand 9 abgedichtet. Mit 11 ist ein Steckergewinde für den Anschluss eines Kabelsteckers bezeichnet; 12 ist eine Kontakt-hülse für die Aufnahme des Steckers.

Fig. 2 zeigt eine kompliziertere Form eines piezoelektrischen Druckwandlers, wie er vor allem in Turbinen verwendet wird. Die Kompensationsmasse 23 ist mittels Schraube 28 mit der Membranbodenmasse 26 verbunden, welche über die Membrane 27 mit dem Gehäuse 21 verbunden ist. Der Mess-Kristallsatz 25 besteht aus einer Mehrzahl von Piezoscheiben, deren Signale seitlich mittels Metallelektroden abgenommen werden. Der entgegengeschaltete Kompensations-Kristallsatz 22 ist mit zwei Piezoplaten dargestellt, zwischen denen eine Elektrode mit der Signalleitung, die zum Stecker führt, verbunden ist. Bei geöffnetem Deckel 29 kann die Kompensationsmasse 23 im fertig montierten Zustand angepasst werden, was gegenüber Fig. 1 ein Vorteil ist.

Fig. 3 zeigt schematisch einen erfindungsgemässen Druckaufnehmer mit dynamischer Kompensation, ohne zusätzlich nachgeschalteten Kristallsatz. Der Gehäuseaussenteil 31 umgibt den Innenteil 45, bestehend aus der Auflage-Kompensationsmasse 33, dem Mess-Kristallsatz 35 und der Membranbodenmasse 36, die über die Membrane 37 mit dem Flansch 42 verbunden ist. Die Innenwandhülse 40,

die auch durch einzelne Stege ersetzt sein kann, bindet die Kompensationsmasse 33 ebenfalls an den Flansch 42. So entsteht eine geschlossene Einheit, in der der eingeschlossene Kristallsatz 35 unter mechanischer Vorspannung steht. Der Innenteil 45 wird nach Grob- oder Feinkompensation der Beschleunigungs-Empfindlichkeit in den Gehäuseaussenteil 31 eingesteckt und mittels Schweissung 41 mit diesem über den Flansch 42 verbunden. Damit ist die Membranpartie 37 fest mit dem Gehäuseaussenteil 31 und somit über das Montagegewinde 38 mit der Maschinenwand 39 der Einbaustelle verbunden. Das Mess-System, das im Innenteil 45 untergebracht ist, kann in axialer Richtung frei schwingen, da er nirgends die Gehäusewand 31 berührt. Der Messkristallsatz 35 besteht hier aus transversal geschnittenen Kristallelementen, in deren Mitte die Kontaktfeder 34 elastisch die Signableitung zum Stecker besorgt. Wie in Fig. 6 gezeigt, kann auch ein Kristallsatz, bestehend aus longitudinal geschnittenen oder keramischen Piezoplaten, Verwendung finden.

Membrane 37 und Innenwandhülse 40 sind als Federelemente bestimmter Steifigkeit wirkende Verbindungselemente zwischen den Massen m1 36 und m2 33 sowie dem Flansch 42. Ihre Steifigkeiten c1 bzw. c2 können gegebenenfalls durch Materialabtrag abgestimmt werden, um, wie nachstehend gezeigt, in Verbindung mit einer Abstimmung der Massen m1 und m2 eine Kompensation von Beschleunigungs- und Vibrationskräften zu bewirken. Da jedoch ein Eingriff an der Membrane 37, die darüber hinaus eine gewisse Mindeststeifigkeit haben muss, relativ schwierig ist, erfolgt ein Materialabtrag zur Abstimmung der Steifigkeiten vorzugsweise an der Innenwandhülse 40.

Fig. 4 zeigt das Grundkonzept des neuen erfindungsgemässen dynamisch kompensierten Messteils. Der Innenteil 45 hängt frei an der Einspannstelle des Flansches 42, an welchem das Mess-System auf den Shaker gespannt wird, wie angedeutet. Wirkt nun eine Beschleunigung b von unten auf den Flansch 42, so legt dieser einen gewissen Weg nach oben pro Zeiteinheit zurück. Dabei erfahren die Massen 36 und 33 auf Grund ihrer Trägheit und der «Federung» der Elemente 37 und 40 je eine Mikroverdrängung Δ_2 bzw. Δ_1 relativ zum Flansch 42 und zu dem mit ihm verbundenen Gehäuse-Aussenteil 31 nach unten. Werden nun die Werte der Grössen m1, m2, c1, c2 erfindungsgemäss so aufeinander abgestimmt, dass $\Delta_1 = \Delta_2$ (Fig. 4) ist, dann erzeugt die Beschleunigung b kein Messsignal im Kristallsatz, da dieser nicht belastet wird. Dagegen erzeugt ein Mediumdruck p auf die Membranbodenmasse 36 und die Membrane 37 eine Verdrängung nach oben, die aber durch die Innenwandhülse 40 praktisch nicht weitergeleitet wird, sondern im Flansch 42 gelagert ist. Durch Nichtbewegung der Auflage-Kompensationsmasse 33 entsteht somit durch Kompression des Kristallsatzes 35 ein Messsignal.

Durch geeignete Abstimmung der Steifigkeiten c1 und c2 und/oder der Massen m1 33 bzw. m2 36 kann in einem ausgewählten Frequenzbereich auf diese Weise eine Beschleunigungs-Kompensation, ohne zusätzlichen separaten Kristallsatz, erreicht werden.

Der ausgewählte Frequenzbereich wird zweckmässig so definiert, dass er den Messbereich des Druckaufnehmers 31 weitgehend überdeckt. Damit ist eine wesentliche konstruktive Vereinfachung möglich und somit auch ein wirtschaftlicher Fortschritt erreicht. Ganz besonders ist aber auch jeder Einfluss von äusseren Kräften auf Stecker und Gehäuse 31 minimiert.

Ergänzend sei noch erwähnt, dass der Grund für eine Mindeststeifigkeit c1 der Membrane 37 darin besteht, dass die Auflage-Kompensationsmasse 33 nicht beliebig gross gemacht werden kann, die ja, wie in Fig. 4 gezeigt, zur Masse 36 m1 und den Steifigkeiten c1 und c2 in einer bestimmten Relation stehen muss. Weiterhin sollte die Steifigkeit c2 der Innenwandhülse 40 so gross wie aufgrund der in Fig. 4 gezeigten Beziehung möglich gemacht werden, um eine Weiterleitung einer zu messenden Mediumdruck-Belastung auf die Masse 33 so weit wie möglich zu unterbinden. Dadurch kann die Empfindlichkeit des erfindungsgemässen Druckkraftaufnehmers optimiert werden.

Fig. 5 zeigt einen weiteren erfindungsgemässen Druckaufnehmer 51, mit Ausführungsvarianten. An Stelle einer Steckerverbindung ist ein Metallkabel 52 über den Schweissflansch 53 mit dem Druckaufnehmer 51 integriert. An Stelle der Frontdichtung von Fig. 3 ist die Dichtung 10 unter dem 6-Kant angebracht, dem ein massiver Gewindeteil 48 folgt. Der Innenteil 45 mit dem Flansch 42 ist mit dem Gewindeteil 48, mittels Schweissung 44, frontal verbunden. Diese Bauart wird für Niederdruck-Anwendung bevorzugt.

Fig. 6 zeigt eine Variante eines Innenteils 45. Um Platz zu sparen, ist eine Zusatzmasse 60 auf der Auflage-Kompensationsmasse 33 aufgebracht, z.B. mit einem Gewinde 61, für den Fall eines Materials, das nicht schweisssbar ist, wie z.B. ein Schwermetall auf Wolframbasis. An Stelle des Transversal-Kristallsatzes 35 ist ein Platten-Kristallsatz 62 gezeigt, der aus keramischen Piezoplaten oder Einkristallplatten besteht. Entsprechend muss die Signallabnahme von der obersten Platte aus gestaltet sein.

Fig. 7 zeigt weitere Varianten erfindungsgemässer Ausführungen. Die Membrane 77 ist mittels Frontal-Schweissung 78 mit dem Flansch 42 verbunden. In Einbauten, wo hohe Seitenbeschleunigungen wirken, ist ein seitliches Auslenken der Kompensationsmasse 33 durch eine auf der rechten Seite angedeuteten Querabstützmembrane 76 erschwert, die im Trennteil 75 mittels Schweissung 74 eingeklemmt ist.

Fig. 8 zeigt das Verfahren der Feinabstimmung vor der Abnahmeprüfung. Dazu ist der Druckaufnehmer mit Anschlussleitung am Kompensations-Anzeigergerät 86 angeschlossen und mit seinem Gehäuse-Aussenteil 81 in der Spannhülse 83 des Shakers, mittels Gewindehülse 82, montiert. Schrittweise wird nun mit Fräs- oder Schleifwerkzeug 85 Material aus der Feinkompensationsmulde 84 der Membranbodenmasse 36 abgetragen, bis das Anzeigergerät 86, bei eingeschaltetem Shaker, den Optimalwert ergibt. Damit können alle Druckaufnehmer einer Serie auf spezifizierte Werte der Beschleunigungs-Kompensation gebracht werden.

Die Erfindung ermöglicht somit einen bedeutenden Fortschritt durch eine wesentliche konstruktive Vereinfachung sowie durch völlige Unabhängigkeit des Kompensationsgrads von äusseren Krafteinflüssen auf das Druckaufnehmergehäuse, z.B. durch Kabel verschiedener Längen, die eigene Schwingungen einleiten können.

Fig. 1

- 1 Druckaufnehmer-Gehäuse
- 2 Kompensations-Kristallsatz
- 3 Kompensationsmasse m2
- 4 Kontaktfeder
- 5 Mess-Kristallsatz
- 6 Membranbodenmasse m1
- 7 Membrane
- 8 Montagegewinde
- 9 Maschinenwand
- 10 Dichtring
- 11 Steckergewinde
- 12 Kontakthülse

Fig. 2

- 21 Druckaufnehmer-Gehäuse
- 22 Kompensations-Kristallsatz
- 23 Kompensationsmasse m2
- 25 Mess-Kristallsatz
- 26 Membranbodenmasse m1
- 27 Membrane
- 28 Schraube
- 29 Deckel

Fig. 3

- 31 Druckaufnehmer-Gehäuseaussenteil
- 33 Auflage-Kompensationsmasse m2
- 34 Kontaktfeder
- 35 Mess-Kristallsatz, Transversaltyp
- 36 Membranbodenmasse m1
- 37 Membrane
- 38 Montagegewinde
- 39 Maschinenwand
- 40 Innenwandhülse
- 41 Schweissung, radial
- 42 Flansch
- 43 Dichtring

Fig. 4

- 45 Innenteil bestehend aus:
- 33 Auflage-Kompensationsmasse m2
- 40 Innenwandhülse mit Steifigkeit C2
- 36 Membranbodenmasse m1
- 37 Membrane mit Steifigkeit C1
- 35 Mess-Kristallsatz, transversal
- b Beschleunigungsvektor
- p Mediumdruck
- $\Delta 1_1$ Mikroverdrängung
- $\Delta 1_2$ Mikroverdrängung
- 46 Abtragstelle Masse m2
- 47 Abtragstelle Innenwandhülse zur Veränderung der Steifigkeit C2

Fig. 5

- 51 Druckaufnehmer Gehäuseaussenteil
- 52 Metallkabel
- 53 Schweissflansch
- 45 Druckaufnehmer Innenteil
- 42 Flansch, Verbindung Innenteil-Aussenteil
- 44 Schweissung frontal
- 48 Gewindeteil

Fig. 6

- 45 Innenteil
- 60 Zusatzmasse
- 61 Aufschraubgewinde
- 62 Mess-Kristallsatz, longitudinal Platten

Fig. 7

- 79 Membranträger
- 76 Querabstützmembran
- 75 Deckel
- 74 Schweissung
- 77 Membran
- 78 Frontal-Schweissung
- 43 Dichtring

Fig. 8

- 81 Druckaufnehmer-Gehäuseaussenteil
- 82 Gewindehülse
- 83 Spannhülse des Shakers
- 84 Feinkompensationsmulde in Membranbodenmasse m1
- 85 Fräs- oder Schleifwerkzeug
- 86 Kompensations-Anzeige-Gerät

Patentansprüche

1. Beschleunigungskompensierter Druckaufnehmer, beispielsweise zur Messung von dynamischen Vorgängen in gasförmigen oder flüssigen Medien, bei welchem ein Druckmesselement (5, 25, 35, 62) zwischen zwei Massen (4, 6; 23, 26; 33, 36) unter Vorspannung eingebaut ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Massen (33, 36) und das Druck-Messelement (35, 62) lediglich am Einbauende über einen Flansch (42) mit einem gehäuseartigen Aussenteil (31, 51) verbunden sind, dass ferner die Massen m1 (36) und m2 (33) über Verbindungselemente (40, 37; 77) mit abgestimmten Steifigkeiten c1 bzw. c2 mit dem Flansch (42) zu einem von äusseren mechanischen Einflüssen entkoppelten Innenteil (45) vereinigt sind, und dass schliesslich im vormontierten Innenteil (45) die Massen m1 und m2 und/oder die Steifigkeiten c1 und c2 durch Materialabtrag oder -auftrag so aufeinander abgestimmt sind, dass Beschleunigungs- resp. Vibrations-Einflüsse höchstens ein minimales Störsignal ergeben.
2. Druckaufnehmer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Flansch (42) gleichzeitig als Dichtfläche beim Einbau in eine Maschinenwand (39) dient.
3. Druckaufnehmer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Flansch (42) frontal in einen Gewindeteil (48) des Aussenteils (31, 54) eingebaut, z.B. eingeschweisst, ist.
4. Druckaufnehmer nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass eines (40) der Verbindungselemente (40, 37; 77) aus einem geschlossenen Rohr oder aus käfigartig angeordneten Stegen besteht, während das andere (37; 77) eine Membrane mit einer vorgewählten Mindeststeifigkeit c1 ist.
5. Druckaufnehmer nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Membrane (77) einstückig mit der Membranbodenmasse (36) frontal in den Flansch (42) eingebaut, z.B. eingeschweisst, ist.
6. Druckaufnehmer nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das

Druckmesselement ein unter mechanischer Vorspannung eingebauter Kristallsatz (35) aus piezoelektrischer Keramik oder aus piezoelektrischen Einkristallen ist.

7. Druckaufnehmer nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass ringförmig aufgebaute Kristallsätze (35) oder plattenförmig (62) aufgebaute Kristallsätze eingebaut sind, die bis in die Bereiche von 800°C verwendbar sind. 5

8. Druckaufnehmer nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Druckmesselement nach dem piezoresistiven, kapazitiven oder optischen Prinzip arbeitet. 10

9. Druckaufnehmer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Innenteil (45) über eine Querstabilisierungsmembrane (76) zusätzlich mit dem Aussenteil (51) verbunden ist. 15

10. Verfahren zur Grob- oder Feinabstimmung der Beschleunigungskompensation bei einem Druckaufnehmer nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Druckmesselement mit der Flanschpartie auf einen Shaker gespannt wird und mindestens einer der massgebenden Parameter m1 und m2 und/oder c1 und c2 dem Messresultat entsprechend verändert wird. 20 25

11. Verfahren nach Anspruch 10 zur Feinabstimmung der Beschleunigungskompensation, dadurch gekennzeichnet, dass am fertig montierten Druckaufnehmer einer der Parametermasse m1 oder Steifigkeit c1 durch Materialabtrag oder -auftrag so verändert wird, dass ein Kompensations-Anzeigege- 30

35

40

45

50

55

60

65

5

Fig.1

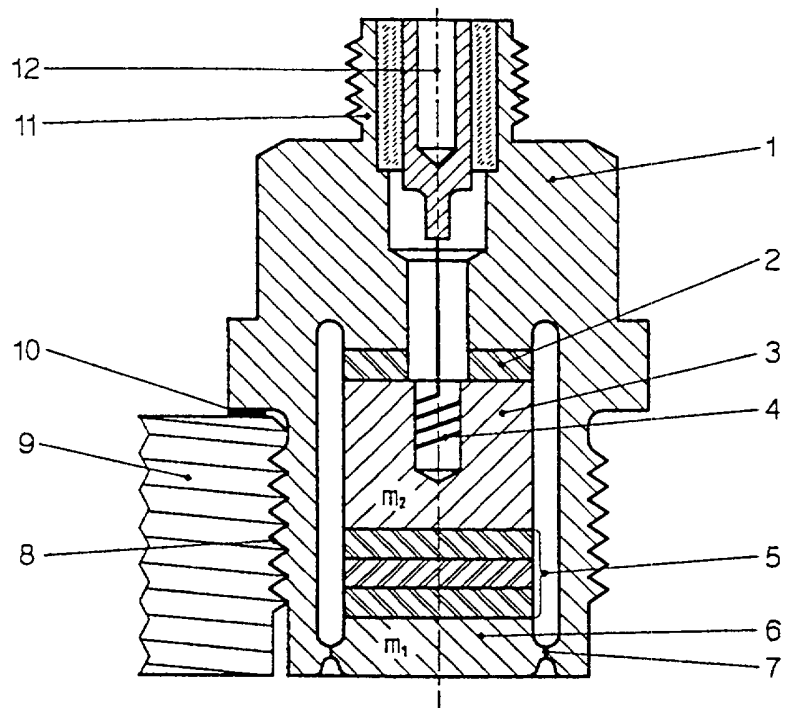


Fig.2

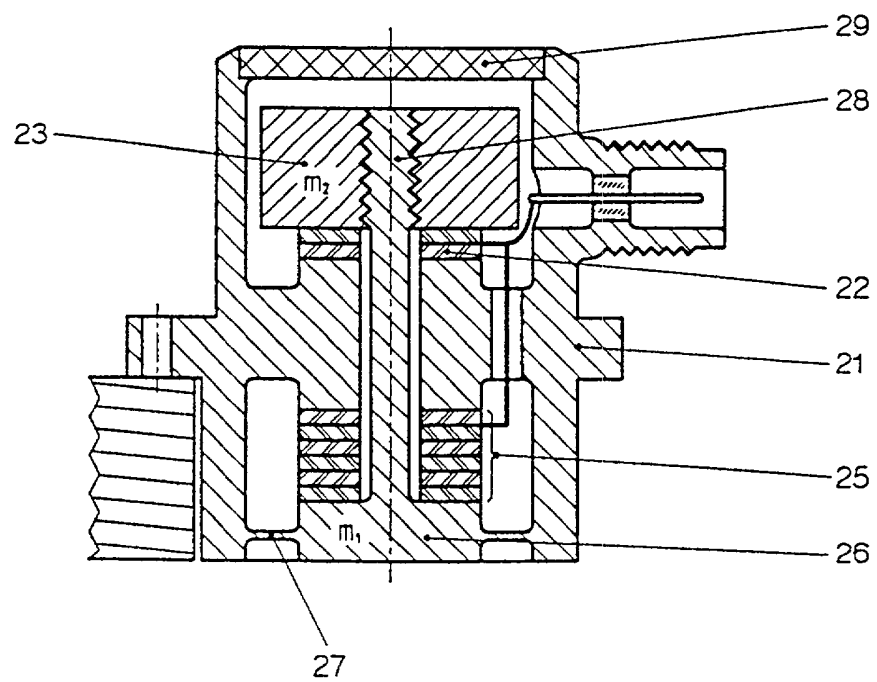


Fig.3

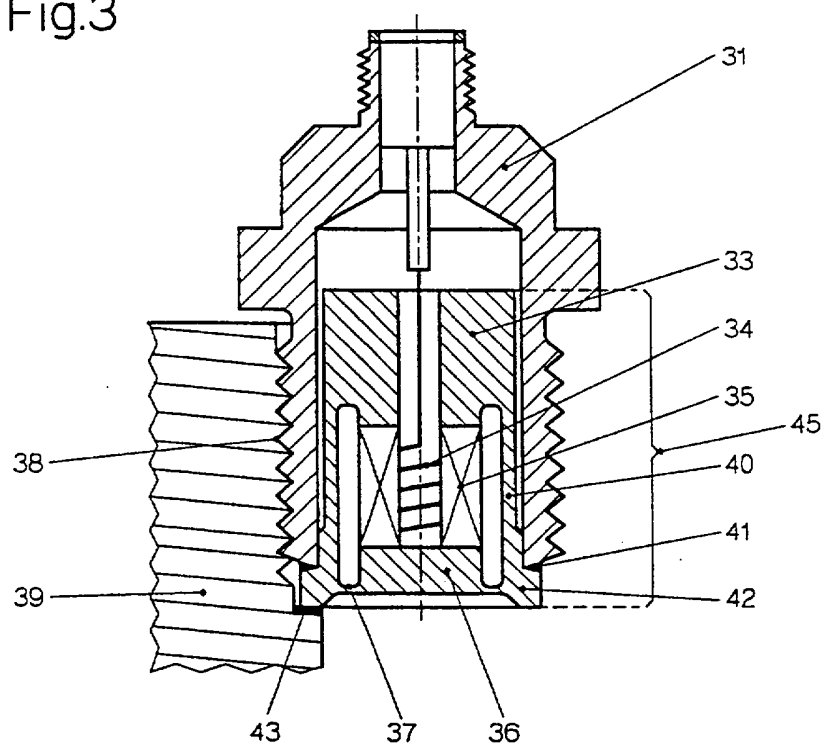


Fig.4

$$\frac{m_1 \times b}{C_1} = \frac{m_2 \times b}{C_2}$$

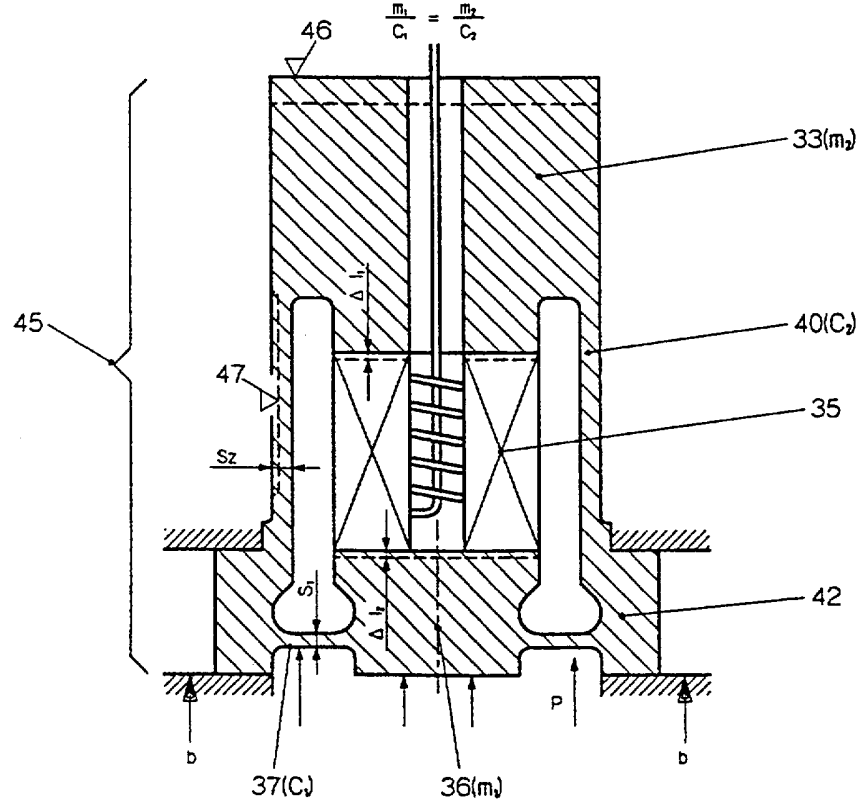


Fig.5

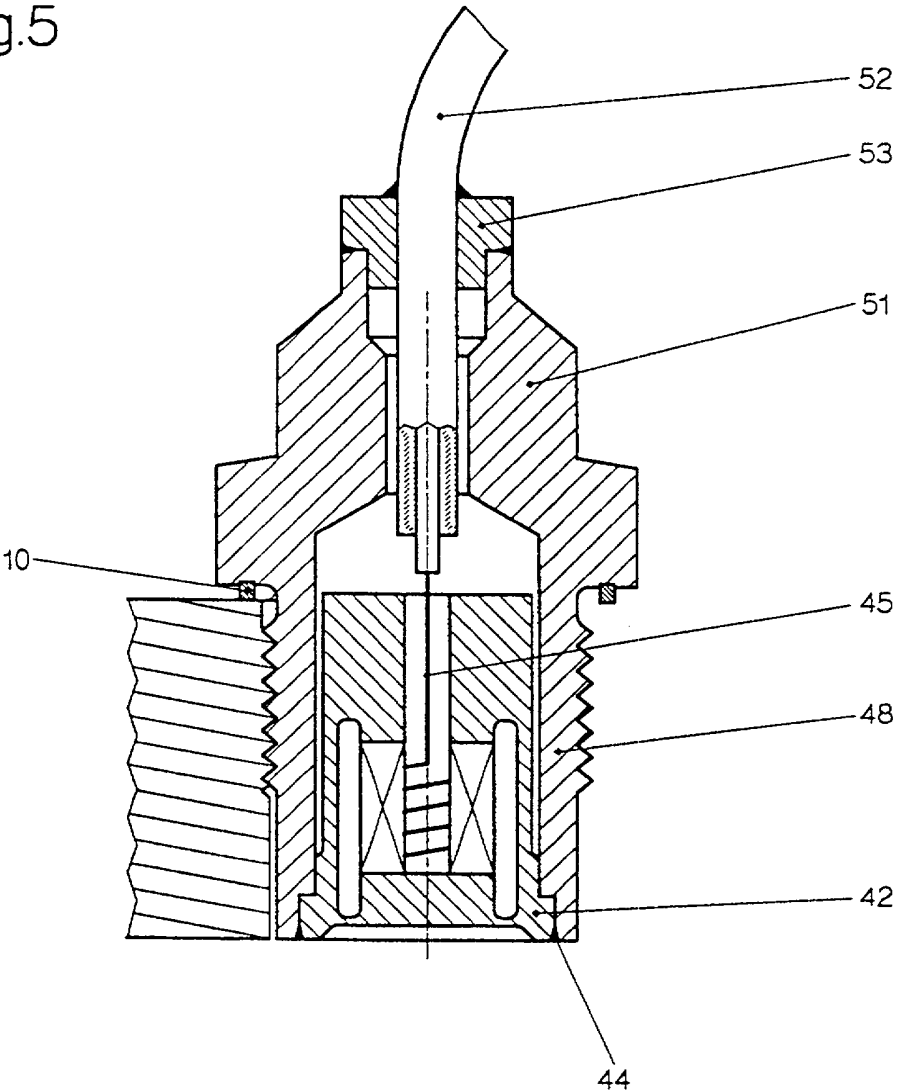


Fig.6

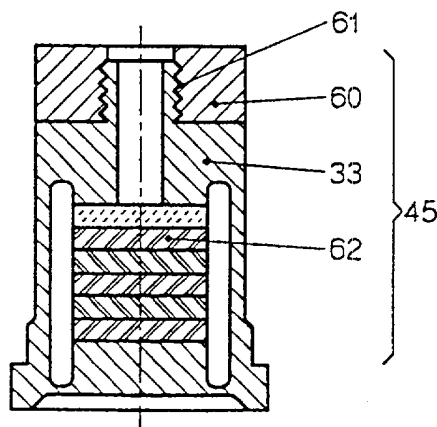


Fig.7

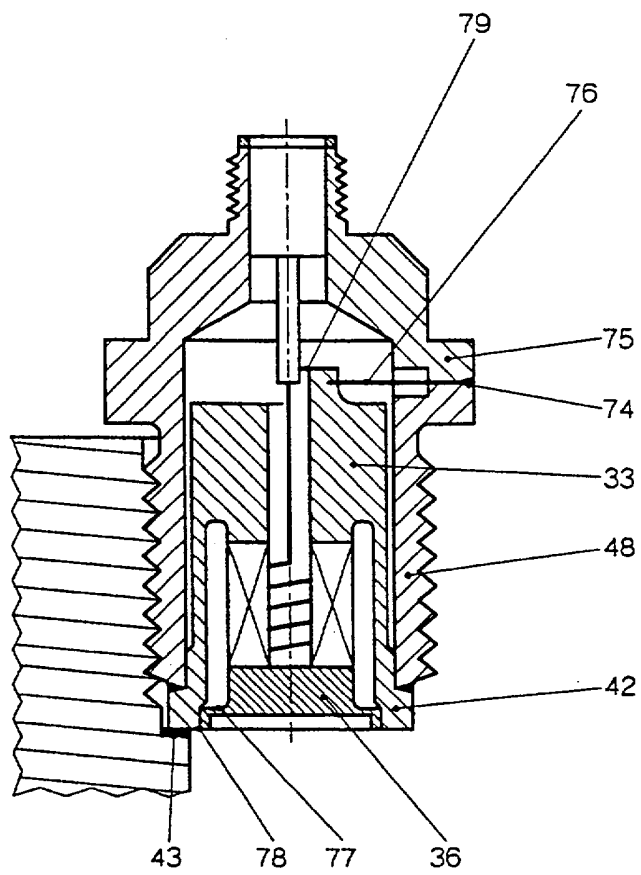


Fig.8

