



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
26.04.2006 Patentblatt 2006/17

(51) Int Cl.:
F04D 29/66^(2006.01) F04D 19/04^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: 05021097.0

(22) Anmeldetag: 28.09.2005

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

- Blecker, Armin
35614 Asslar (DE)
- Reichhart, Heinz
35614 Asslar (DE)
- Stanzel, Jörg
35583 Wetzlar (DE)
- Eberl, Wolfgang
35606 Solms (DE)
- Rippl, Christopher Mark
35578 Wetzlar (DE)
- Willig, Michael
35633 Lahnau (DE)

(30) Priorität: 19.10.2004 DE 102004050743

(71) Anmelder: Pfeiffer Vacuum GmbH
35614 Asslar (DE)

(72) Erfinder:
• Bernhardt, Helmut
35584 Wetzlar (DE)

(54) **Vibrationsarme Vakuumpumpe**

(57) Die Erfindung betrifft eine vibrationsarme Vakuumpumpe mit einem Gehäuse (2), welches mindestens einen Gaseintritt (3) und Gasaustritt (4) besitzt, mit einer Rotorwelle (5), mit einem Antrieb, der die Rotorwelle in Drehung versetzt und einen Motorrotor (6) auf der Rotorwelle und einen Motorstator (7) umfasst, wobei der Motorstator ein elektrisch betriebenes Lager- und Antriebselement ist, mit Lagern (8), die die Rotorwelle drehbar unterstützen, mit rotierenden (9) und stehenden (10) pumpaktiven Bauteilen. Erfindungsgemäß wird mindestens eines der elektrisch betriebenen Lager- und Antriebselemente durch elastische Bauelemente (11) im Gehäuse gehalten.

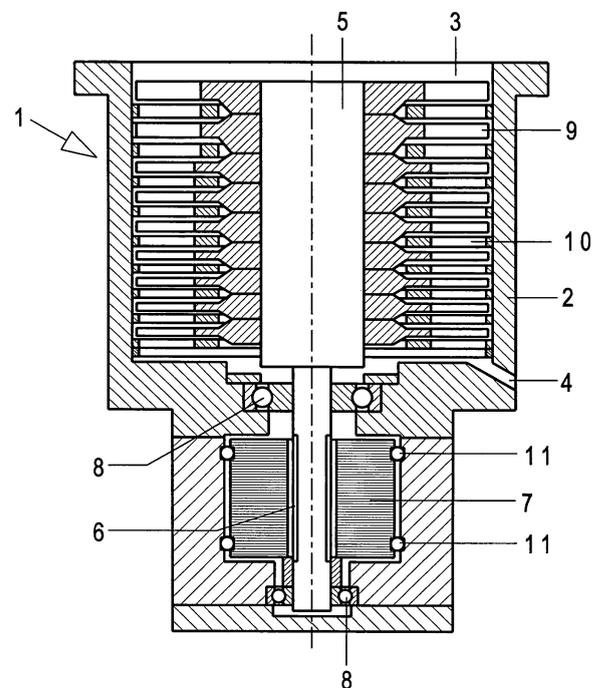


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine vibrationsarme Vakuumpumpe nach dem Oberbegriff des ersten Anspruches.

[0002] Vakuumpumpen besitzen viele Bauteile, die mechanische Schwingungen, bzw. Vibrationen der gesamten Pumpe erzeugen können. Diese Vibrationen können dann über den Flansch auf die Vakuumkammer oder andere angeschlossene Systeme übertragen werden.

[0003] Molekularpumpen und Turbomolekularpumpen dienen der Erzeugung von Hoch- und Ultrahochvakuum. Die Pumpwirkung wird in einer Turbomolekularpumpe durch eine Kombination aus sehr schnell drehenden und mit stehenden abwechselnden Flügelscheiben erzielt. Die schnell drehenden Flügelscheiben sitzen auf einer Welle und bilden mit dieser zusammen den Rotor. Dieser rotiert mit einigen zehntausend Umdrehungen pro Minute um seine Achse. Die Unterstützung der Drehung erfolgt durch axiale und radiale Lager, beispielsweise Wälzlager und/oder Magnetlager. Die Drehung erzeugt überdies Schwingungen, beispielsweise durch geringe Unwuchten des Rotors, die einerseits durch die begrenzte Wuchtgenauigkeit bei der Herstellung und andererseits auch durch Ablagerung von Partikeln auf den Flügelscheiben entstehen können. Diese Schwingungen werden über die Lager an das Pumpengehäuse abgegeben.

[0004] Gerade wenn Turbomolekularpumpen in Analysegeräten zum Einsatz kommen, müssen Schwingungen unterdrückt werden, um Empfindlichkeitsverluste der Analysensysteme zu vermeiden. Der Fortschritt in den elektrischen und elektronischen Komponenten der Analysensysteme hat zu einer deutlichen Steigerung der Nachweisempfindlichkeit geführt. In der Umkehrung bedeutet dies, dass Schwingungen des Vakuumsystems, also beispielsweise der Turbomolekularpumpe, in immer geringerem Maße toleriert werden können.

[0005] Im Stand der Technik werden zwei Wege beschritten, um eine Übertragung der Schwingungen auf das Analysensystem zu vermeiden.

[0006] Der erste Weg, offenbart in DE-OS 101 17 075, versucht, die Vakuumpumpe über eine schwingungsentkoppelnde Komponente mit Flansch und Analysensystem oder Vakuumkammer zu verbinden. Dadurch soll eine Übertragung der Schwingungen vermieden werden. Diese Lösung erfordert allerdings zusätzlichen Bauraum, der in den heute immer kleiner werdenden Systemen nicht zur Verfügung steht. Außerdem führen zusätzliche Komponenten im Vakuumsystem insbesondere vor dem Ansaugflansch zu Leitwertverlusten. Auch diese sind im Zuge der Effizienzsteigerung und angestrebter sinkender Leistungsaufnahme nicht oder schwer tolerierbar.

[0007] In DE 35 37 822 wird daher eine Vakuumpumpe vorgestellt, in der die Lager des schnell drehenden Rotors durch ein System aus Elastomerringen gegen das Pumpengehäuse abgestützt wird. Dadurch wird die Übertra-

gung von Schwingungen über die Lager reduziert. Leider zeigt sich, dass noch immer Schwingungen von der Vakuumpumpe übertragen werden.

[0008] Auch der Antrieb kann Quelle von Schwingungen sein (Journal of Vacuum Science and Technology A, 7 (1989) May/June, Nr. 311, New York, US, pp. 2377-2380). Die Motorgeometrie, also Rundheit und Ausrichtung der Komponenten, ist nach diesem Artikel maßgeblich für die Stärke der Schwingung und ebenso für eine erfolgreiche Unterdrückung.

[0009] Die Aufgabe ist es, eine Vakuumpumpe vorzustellen, bei der die am Gehäuse auftretenden Schwingungen gegenüber dem Stand der Technik reduziert werden.

[0010] Zusätzlicher Platzbedarf außerhalb der Pumpe und eine Vergrößerung des Gehäuses sollen vermieden werden.

[0011] Gelöst wird dieser Aufgabe durch die kennzeichnenden Merkmale des ersten Anspruchs. Die weiteren Ansprüche stellen Ausgestaltungsformen dar.

[0012] Erfindungsgemäß werden die am Gehäuse auftretenden Schwingungen reduziert, indem mindestens ein Teil der elektrisch betriebenen Lager- und Antriebs-elemente schwingungstechnisch vom Gehäuse der Vakuumpumpe entkoppelt wird. Zu diesen elektrisch betriebenen Lager- und Antriebselementen gehört der Motorstator. Die schwingungstechnische Entkopplung wird erreicht, indem der Stator des Antriebs, im Folgenden "Motorstator", elastisch im Gehäuse der Vakuumpumpe aufgehängt wird.

Bei Vakuumpumpen mit konventioneller Lagerung kann die schwingungstechnische Entkopplung der Lager vom Gehäuse der Pumpe verbessert werden, indem zwischen Gehäuse und Lager ein Zwischenglied aus einem Material hoher Dichte in elastischen Material aufgehängt wird.

Bei solchen Vakuumpumpen, die einen Gleichstrommotor als Antrieb haben, der mit Pulsweitenmodulation (PWM) angesteuert wird, wird eine Übertragung der durch die PWM ausgelösten hochfrequenten Schwingungen auf das Gehäuse vermieden.

Bei leistungsstarken Antrieben muss die im Motorstator auftretende Verlustwärme berücksichtigt werden. Daher wird in einer Ausführungsform der Erfindung der Motorstator schwingungstechnisch vom Gehäuse entkoppelt und trotzdem die wärmetechnische Ankopplung beibehalten. Dazu werden Elemente eingebaut, die keine Schwingungen aber Wärme übertragen. Hierdurch wird eine unzulässige Stauung der Wärme im Motorstator vermieden und trotzdem das am Gehäuse der Pumpe auftretende Maß an Schwingungen reduziert.

[0013] Die Erfindung soll am Beispiel einer erfindungsgemäß gestalteten Turbomolekularpumpe an Hand der Figuren dargestellt werden.

[0014] Es zeigen:

Fig. 1: Senkrechter Schnitt durch eine Turbomolekularpumpe mit schwingungstechnischer Ent-

kopplung des Antriebes.

Fig. 2: Schwingungstechnische Entkopplung eines der Rotorlager mit einem Zwischenglied.

Fig. 3: Schwingungstechnische Entkopplung bei wärmetechnischer Kopplung des Motorstators.

Fig. 4.: Eine weitere Maßnahme zur Abführung der Wärme vom Motor.

Fig. 5: Vertikaler Schnitt durch ein aktiv geregeltes Radialmagnetlager.

[0015] Die erste Figur zeigt eine Turbomolekularpumpe 1 mit einem Gehäuse 2, welches einen Gaseintritt 3 und einen Gasaustritt 4 aufweist. Zwischen dem Gaseintritt und -austritt wird das Gas durch eine pumpaktive Struktur gefördert. Diese Struktur weist rotierende pumpaktive Bauteile 9 und stehende pumpaktive Bauteile 10 auf. Die rotierenden Bauteile 9 sind auf einer Rotorwelle 5 befestigt, beide Teile 5 und 9 bilden zusammen den Rotor der Pumpe. Der Rotor ist mit Lagern 8 drehbar unterstützt. Auf der Rotorwelle sitzt der Motorrotor 6, der zusammen mit dem Motorstator 7 den Antrieb bildet. Erfindungsgemäß ist der Motorstator in elastischen Bauteilen 11 im Gehäuse 2 aufgehängt. Diese elastischen Bauteile können Elastomerringe sein. Eine Verschiebung der Ringe in axialer Richtung kann vermieden werden, indem in Gehäuse und Motorstator Nuten vorgesehen sind, in denen die Ringe mit einem Teil ihres Durchmesser eintauchen.

Der Motorrotor kann als eine Anordnung von Permanentmagneten ausgebildet sein, so dass sich insgesamt ein Gleichstrommotor ergibt. Vorzugsweise wird die Bestromung des Motorstators dann mit Pulsweitenmodulation durchgeführt.

[0016] Die durch die Lager übertragenen Schwingungen sind abhängig von der Art der Lager. In Vakuumpumpen, insbesondere Molekularpumpen, kommen verschiedene Lager wie Magnetlager (aktiv und passiv) und Wälzlager zum Einsatz. Letztere erzeugen und übertragen Schwingungen auf das Pumpengehäuse. Eine Ausführungsform der Erfindung reduziert daher die am Lager übertragenen Schwingungen. In Figur 2 ist ein Ausschnitt aus der Vakuumpumpe 1 gezeigt. Die Rotorwelle 5 mit den Permanentmagneten 6 ist durch ein Wälzlager drehbar unterstützt, welches einen auf der Rotorwelle sitzenden inneren Ring 17 und einen äußeren Ring 18 aufweist. Dieser Ring ist in einem Zwischenglied 12 gefasst, welches sich durch elastische Bauteile 11, z.B. Elastomerringe, im Gehäuse 2 abstützt. Dieses Zwischenglied ist aus Material mit hoher Dichte hergestellt, so dass es bei geringer Baugröße eine hohe Masse besitzt und damit schwingungsdämpfend wirkt. Im oberen Teil der Abbildung ist noch der Motorstator 7 zu sehen.

[0017] Figur 3 zeigt eine Ausführungsform der elastischen Aufhängung des Motorstators. Um den Rotor über den Antrieb in Drehung zu versetzen, muss Energie zugeführt werden, beispielsweise durch Bestromung der Spulen des Motorstators. Dabei wird nicht die gesamte

zugeführte elektrische Energie in Rotationsenergie umgesetzt. Ein Teil wird als Verlustwärme frei. Bei Pumpen mit hohem Leistungsbedarf muss eine entsprechend hohe Verlustwärme abgeführt werden. In diesen Fällen ist eine wärmetechnische Ankopplung des Motorstators vorzusehen, bzw. die wärmetechnische Abkopplung zu vermeiden. Die notwendige Maßnahme ist in Figur 3 dargestellt: Zwischen Rotorwelle 5 und Gehäuse 2 der Vakuumpumpe sitzt der Motorstator 7. Die elastischen Bauteile 11 entkoppeln ihn schwingungstechnisch. Es entsteht ein Zwischenraum 15 im Bereich zwischen Motorstator 7, Gehäuse 2 und den elastischen Bauteilen 11. Dieser Bereich wird mit einem gut wärmeleitenden Material 16 gefüllt, das aber keine Schwingungen überträgt. Solche Mittel können beispielsweise hochviskose Flüssigkeiten sein.

[0018] In einer anderen Ausführungsform kann es sich bei diesen Mitteln um Wärmeleitpaste handeln.

[0019] In einer weiteren Ausführungsform handelt es sich bei diesen Mitteln um ein Gewebe oder ein Geflecht aus gut wärmeleitendem Material. Beispielsweise kann dieses Gewebe oder Geflecht aus Material mit hohen Kupfer- oder Aluminiumanteilen bestehen.

[0020] Eine wirksame Kühlung des Motorstators kann auch erreicht werden, indem mindestens ein Kühlkanal im Bereich des Motorstators vorgesehen ist, in dem ein Kühlmittel zirkuliert. Dies ist in Figur 4 dargestellt. Auf dem Motorstator 7 sitzt eine Hülse 19 mit einem gewindeartig um den Motorstator geführten Kühlkanal 20. In diesem Kanal zirkuliert ein Kühlmittel, beispielsweise Wasser, welches durch den Einlass 25 in den Kanal oder die Kanäle ein- und durch den Auslass 26 wieder austritt. Statt dem einfachen Kanal können auch mehrere parallel Kanäle angeordnet sein. Der Motorstator selbst ist mit den elastischen Bauelementen 11 im Gehäuse 2 der Vakuumpumpe aufgehängt.

[0021] Eine weitere Ausführungsform betrifft solche Vakuumpumpen, deren Lager 8 aktive Magnetlager sind, wobei diese sowohl in axialer als auch in radialer Richtung aktiv sein können. Diese Lager gehören ebenfalls zu den elektrisch betriebenen Lager- und Antriebselementen. Gezeigt ist dies beispielhaft an einem aktiven radialen Magnetlager 24 in Figur 5. In aktiven Magnetlagern findet eine Regelung des Stromes in den Steuerwindungen 21 statt, wobei mit diesem Strom magnetische Rückstellkräfte erzeugt werden. Diese Kräfte sollen der durch einen Sensor 23 gemessenen Auslenkung der Rotorwelle 5 entgegenwirken. Ein gängiges Verfahren ist die Stromregelung per Pulsweitenmodulation. Die Frequenz dieser Pulsweitenmodulation ist den Stellkräften aufgeprägt, wodurch mechanische Schwingungen an dem Lagerstator 22 auftreten, die auf das Pumpengehäuse 2 übertragen werden. Erfindungsgemäß können diese Schwingungen vermieden werden, indem der Lagerstator in elastischen Bauteilen 11 gelagert wird. Die Amplituden jener Schwingungen, die durch den Lagerstator erzeugt werden, müssen nicht mit denjenigen des Motorstators vergleichbar sein. Abhängig vom gegeb-

nen Fall kann es daher sinnvoll sein, Motorstator und Lagerstator oder nur einen von beiden in den elastischen Bauelementen (wie bspw. Elastomerring, Vitonringe, etc.) zu lagern.

Patentansprüche

1. Vakuumpumpe (1) mit einem Gehäuse (2), welches mindestens einen Gaseintritt (3) und Gasaustritt (4) besitzt, mit einer Rotorwelle (5), mit einem Antrieb, der die Rotorwelle in Drehung versetzt und einen Motorrotor (6) auf der Rotorwelle und einen Motorstator (7) umfasst, wobei der Motorstator ein elektrisch betriebenes Lager- und Antriebselement ist, mit Lagern (8), die die Rotorwelle drehbar unterstützen, mit rotierenden (9) und stehenden (10) pumppaktiven Bauteilen, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eines der elektrisch betriebenen Lager- und Antriebselemente durch elastische Bauelemente (11) im Gehäuse gehalten wird. 10
2. Vakuumpumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eines der Lager (8) in einem durch elastische Bauelemente gehaltenem Zwischenglied (12) sitzt. 25
3. Vakuumpumpe nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zwischenglied (12) aus einem Material hoher Dichte besteht. 30
4. Vakuumpumpe nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eines der Lager (8) ein Wälzlager ist. 35
5. Vakuumpumpe (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eines der Lager (8) ein aktiv geregeltes Magnetlager ist und zu den elektrisch betriebenen Lager- und Antriebselementen gehört. 40
6. Vakuumpumpe nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die elastischen Bauelemente (11) Elastomerringe sind. 45
7. Vakuumpumpe nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Zwischenraum (15) zwischen Motorstator (7) und Gehäuse (2) Mittel (16) zur thermischen Ankopplung vorgesehen sind. 50
8. Vakuumpumpe nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (16) zur thermischen Ankopplung hochviskose Flüssigkeiten sind. 55
9. Vakuumpumpe nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel Wärmeleitpaste sind.
10. Vakuumpumpe nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel Gewebe oder Geflechte aus gut wärmeleitendem Material sind.
11. Vakuumpumpe nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material Kupfer enthält.
12. Vakuumpumpe nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material Aluminium enthält.
13. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vakuumpumpe (1) eine Turbomolekularpumpe ist.
14. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Motorrotor (6) eine Anordnung von Permanentmagneten ist.
15. Vakuumpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Kühlkanal (20) im Bereich des Motorstators (7) angeordnet ist.

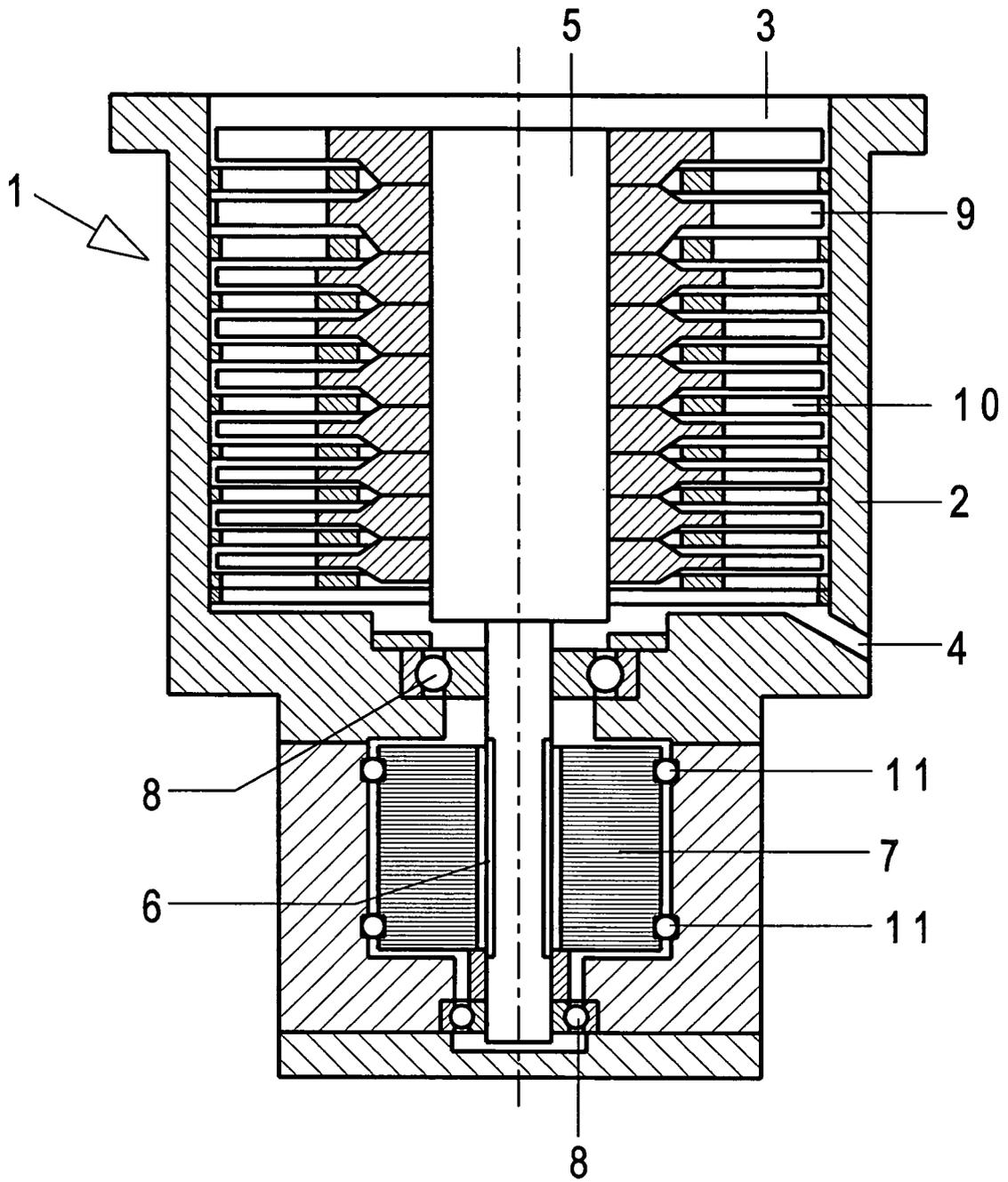


Fig. 1

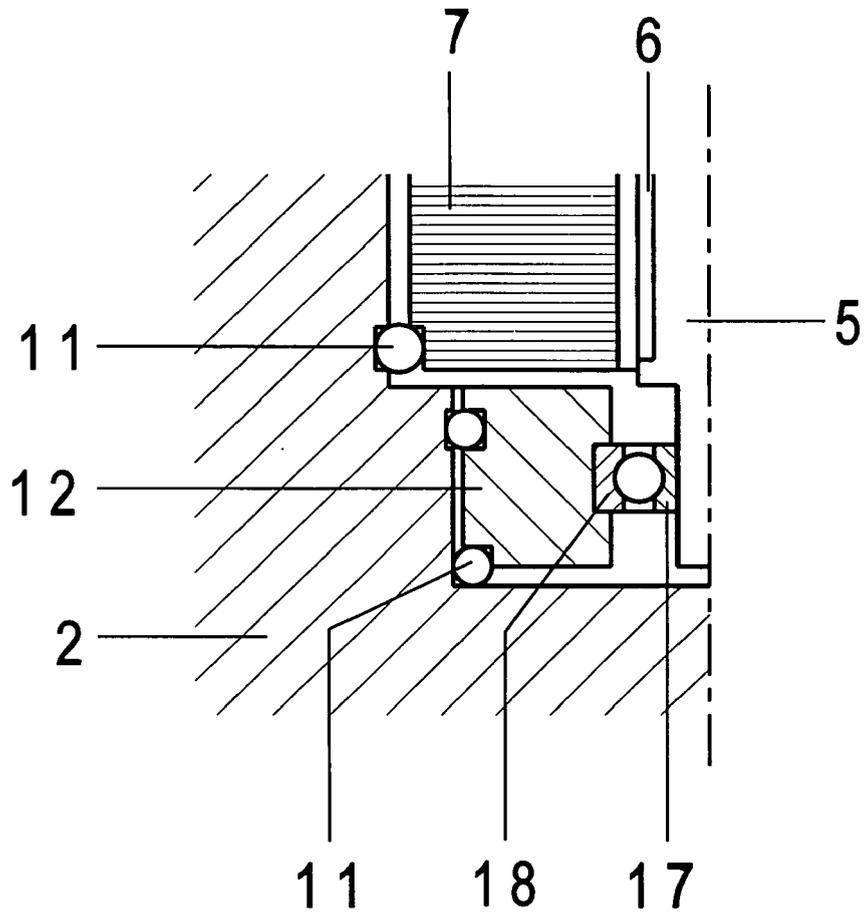


Fig. 2

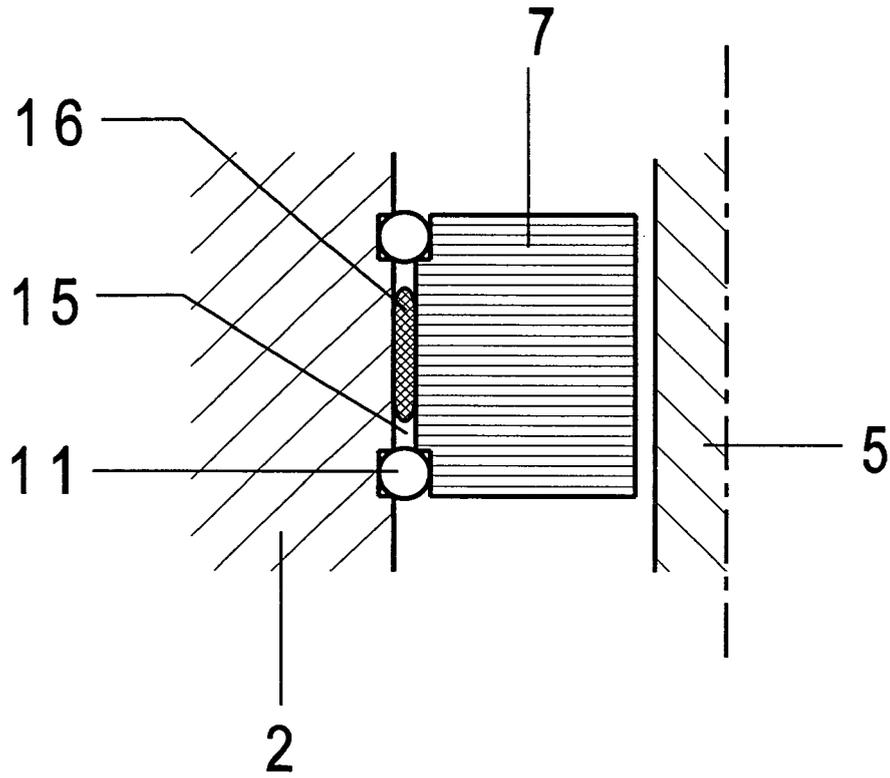


Fig. 3

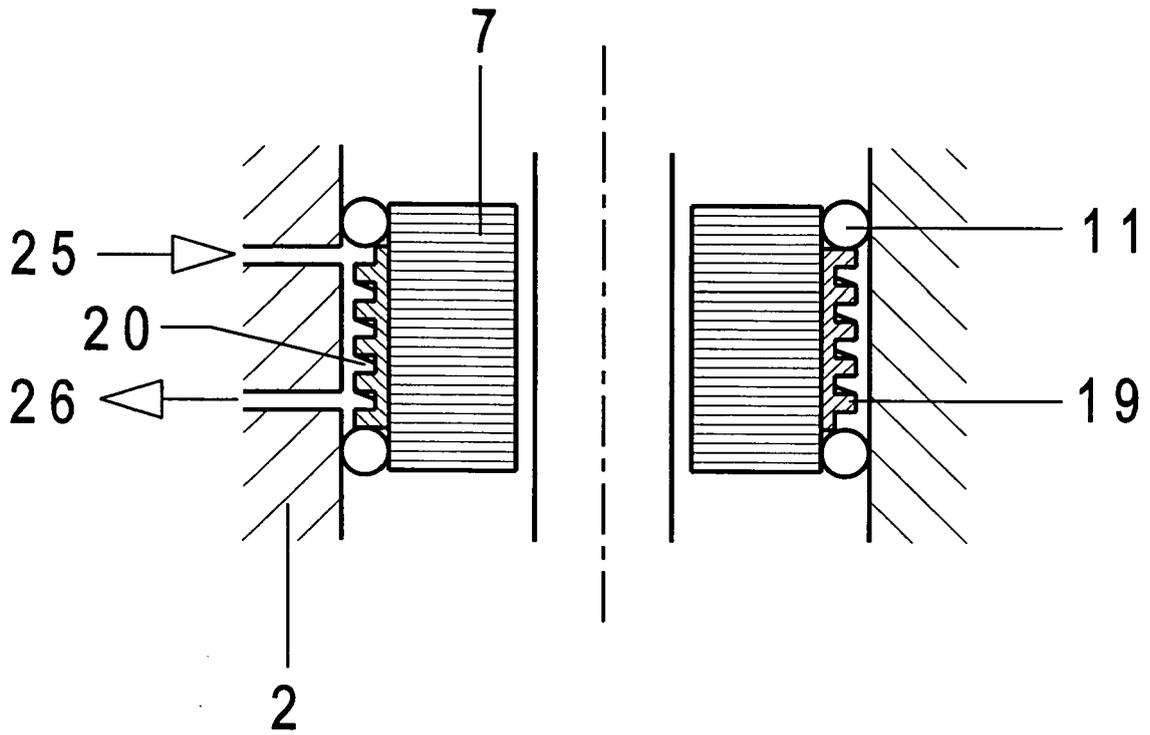


Fig. 4

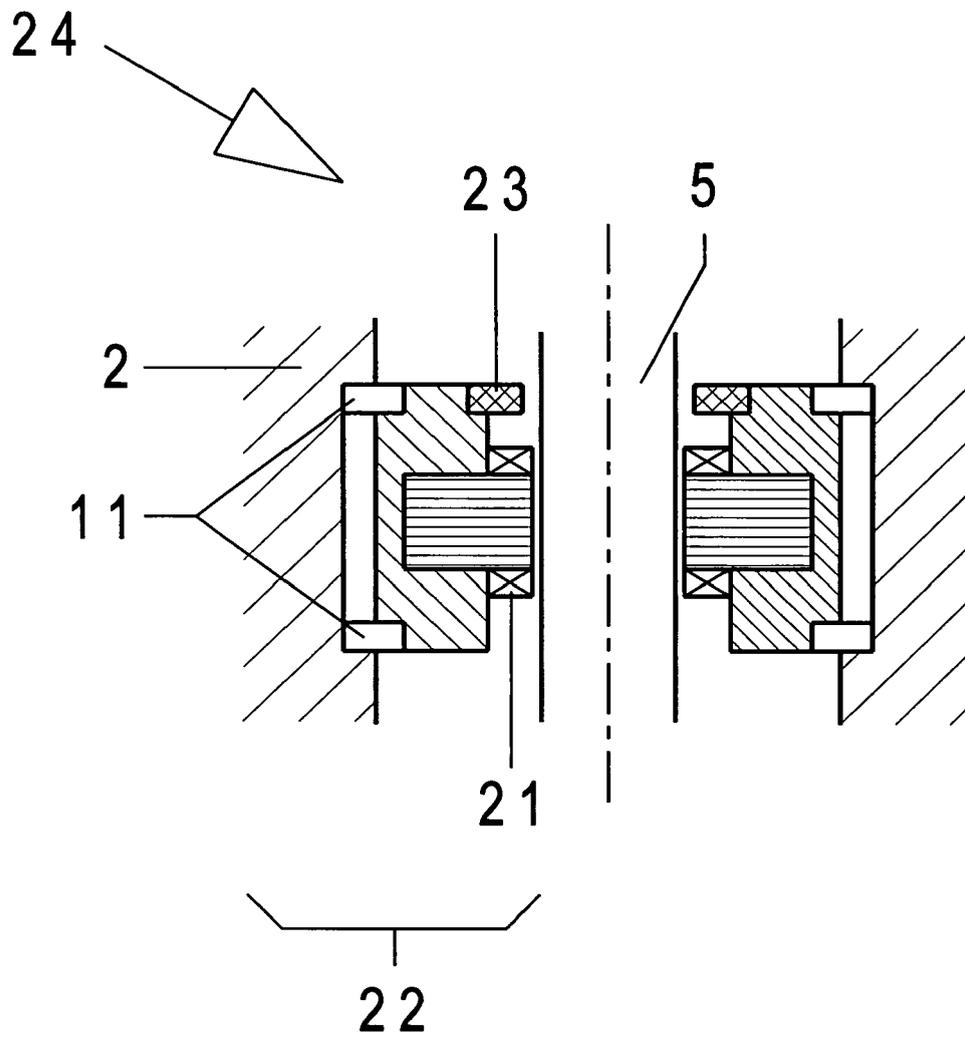


Fig. 5