

(19)



(11)

EP 1 898 087 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
12.03.2008 Patentblatt 2008/11

(51) Int Cl.:
F04B 17/03 (2006.01) F04B 43/04 (2006.01)
F04B 43/09 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07014364.9**

(22) Anmeldetag: **21.07.2007**

(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 MT NL PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(71) Anmelder: **Richter, Siegfried**
88605 Sauldorf-Rast (DE)

(72) Erfinder: **Richter, Siegfried**
88605 Sauldorf-Rast (DE)

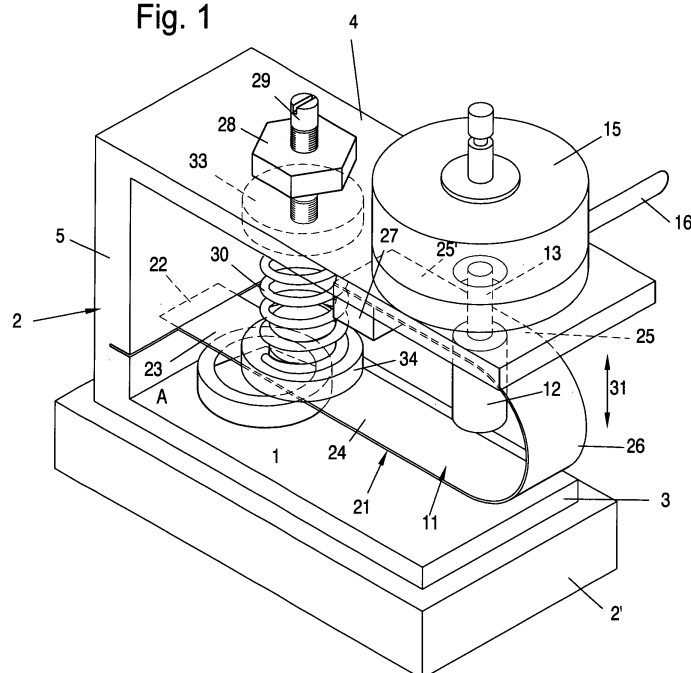
(74) Vertreter: **Neymeyer, Franz**
Neymeyer & Partner GbR,
Haselweg 20
78052 Villingen-Schwenningen (DE)

(30) Priorität: **11.09.2006 DE 102006043219**

(54) Piezoelektrischer Pumpenantrieb

(57) Der insbesondere für Luftpumpen mit einer Membran als Pumporgan vorgesehene piezoelektrische Pumpenantrieb, weist ein Resonanzschwingensystem auf, das mit wenigstens einer mittels einer Resonanzfeder (11) federelastisch gelagerten Resonanzmasse (12) versehen ist und dessen Schwingungen von wenigstens einem elektrisch aktivierten Piezoelement (1) erzeugt werden. Von diesem Schwingensystem wird das Pumporgan oszillierend angetrieben. Das Piezoelement (1) steht über die mit der Resonanzmasse (12) versehene Resonanzfeder (11) mit dem Pumporgan in kraft- und bewe-

gungsübertragender Antriebsverbindung. Dabei ist als Resonanzfeder (11) und Träger der Resonanzmasse (12) wenigstens eine solche stab-, blatt- oder bandförmige Feder (21) vorgesehen, auf welche das Piezoelement (1) an einem kurzen Hebelarm (23) einwirkt, und die an einem längeren Hebelarm (24) die Resonanzmasse (12) trägt, so dass zwischen den antreibenden Bewegungsamplituden des Piezoelements (1) und den resultierenden Bewegungsamplituden der Resonanzmasse (12) eine positive mechanische Wegübersetzung besteht.

Fig. 1**EP 1 898 087 A2**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Pumpenantrieb, insbesondere für Luftpumpen mit einer Membran als Pumporgan, bei dem ein Resonanzschwingsystem, das wenigstens eine mittels einer Resonanzfeder federelastisch gelagerte Resonanzmasse aufweist und dessen Schwingungen von wenigstens einem elektrisch aktivierten Piezoelement erzeugt werden, das Pumporgan oszillierend antreibt, wobei das Piezoelement über die mit der Resonanzmasse versehene Resonanzfeder mit dem Pumporgan in kraft- und bewegungsübertragender Antriebsverbindung steht.

[0002] Aus DE 102 34 584 B3 ist eine piezoelektrisch betätigbare Pumpe bekannt, die einen Piezo-Aktuator, ein Pumporgan und ein dazwischen angeordnetes, zur Übertragung und Verstärkung der Schwingungen des Piezo-Aktuators geeignetes Feder-Masse-System aufweist. Das Feder-Masse-System besteht aus zwei vorgespannten koaxial zueinander in Reihe geschalteten Federn und einer zwischen den Federn angeordneten und an den Federn aufgehängten Schwingmasse.

[0003] Durch eine starre Kopplung zwischen der Schwingmasse und dem beispielsweise aus einer Membran bestehenden Pumporgan werden die vom Piezo-Aktuator über eine der Federn angeregten Längsschwingungen der Schwingmasse auf das Pumporgan übertragen, damit das Pumporgan seine Pumphübe ausführt. Dabei ist auch die Möglichkeit vorgesehen, dass das Pumporgan selbst als Schwingmasse ausgebildet ist, was allerdings mit einer Membran als Pumporgan nicht möglich sein dürfte.

[0004] Bei dieser piezoelektrisch angetriebenen Pumpe wird der sich μm -Bereich liegende Arbeitshub des Piezo-Aktuators genutzt, um das Feder-Masse-System zum Schwingen in Resonanz anzuregen. Es soll damit nicht nur ein verbesserter Wirkungsgrad bei der Umwandlung von elektrischer in mechanische Energie, sondern auch eine erhebliche Vergrößerung des Arbeitshubs erzielt werden.

[0005] Aufgrund der linearen Anordnung der beiden bei den offenbarten Ausführungsbeispielen angegebenen Schraubenfedern, welche in zueinander koaxialer Lage gemeinsam die Schwingmasse tragen, bedarf die Schwingmasse einer ihr Gewicht aufnehmenden Führung oder Lagerung, die nicht ohne Lagerreibung zu realisieren ist. Eine Lagerreibung hemmt ein freies Schwingen, so dass ein solches Feder-Masse-Schwingsystem nicht frei schwingen und leicht außer Tritt fallen kann. Der Resonanzeffekt, der die genannten Verbesserungen erbringen soll, ist somit bei diesem System nicht ohne weiteres zu gewährleisten.

[0006] Aus EP 1 593 847 A2 ist ein Resonanzpumpensystem bekannt, bei dem ein Resonanzschwingsystem zur Ausführung oszillierender Bewegungen vorgesehen ist, das aus einer Schwingfeder besteht, die mit der Resonanzmasse verbunden ist.

[0007] Zur Aufrechterhaltung der oszillierenden Bewegungen des Resonanzschwingsystems ist eine Energiequelle in Form eines Piezoelementes vorgesehen, das über einen Übertragungsarm mit dem Pumporgan einer Fluid-Pumpe verbunden ist. Dabei besteht das Piezoelement aus einem Flachstab der als Bieger arbeitet und mit seinem einen schmalen Ende ortsfest eingespannt ist und an seinem anderen Ende die Resonanzmasse bzw. Schwingmasse trägt. Als Rückstellkraft dient dabei die dem flachstabförmigen Piezoelement innewohnende Elastizität. Als Pumporgan ist dort ein Kolben vorgesehen, der oszillierend in einem Pumpzylinder zu bewegen ist.

[0008] Mit Hilfe der sog. Resonanz- bzw. Schwingmasse soll bei diesem System durch das in der Eigenfrequenz schwingende Piezoelement bei Schwingungsfrequenzen zwischen 200 Hz und 2 KHz ein Pumpkolben bestätigt werden, der einen Durchmesser von 0,1 mm bis 1 mm aufweist.

[0009] Dass dabei keine großen Pumpleistungen erzielt werden können, liegt auf der Hand, zumal sog. piezoelektrische Biegeschwinger bei Schwingfrequenzen über 100 Hz nur sehr kleine Biegeamplituden ausführen können und die Resonanzmasse bzw. Schwingmasse mit zunehmender Schwingfrequenz potentiell abnimmt.

[0010] Außerdem besteht bei diesen bekannten Schwingsystemen die Gefahr, dass sie schon bei geringen Kraftwiderständen außer Tritt fallen und stehen bleiben. Ein wesentlicher Grund für diese Gefahr des außer Tritt Fallens besteht darin, dass zwischen dem Pumporgan und dem Piezoelement eine direkte starre Gelenkverbindung besteht, die im mittleren Bereich des Piezoelementes an das Piezoelement angekuppelt ist. An diesem Punkt sind die Auslenkamplituden weniger als halb so groß wie an dem freischwingenden, mit der Resonanzmasse bzw. Schwingmasse versehenen Endabschnitt.

[0011] In der Fachliteratur werden solche Piezoelemente häufig auch Piezoaktoren genannt, die um möglichst große Auslenkungen zu erzielen, häufig als Vielschichtaktoren aufgebaut sind (Piezokeramik, Karl Ruschmeier, ISBN 3-8169-1152-8).

[0012] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen piezoelektrischen Pumpenantrieb, insbesondere für Luftpumpen mit einer Membran, der eingangs genannten Art zu schaffen, der bei einfachem und funktionssicherem Aufbau eine gegenüber dem Bekannten wesentlich bessere Arbeitsleistung zu erbringen in der Lage und in unterschiedlichen, den jeweiligen Anwendungsbedürfnissen optimal anpassbaren baulichen Ausführungsformen realisierbar ist.

[0013] Gelöst wird diese Aufgabe erfindungsgemäß dadurch, dass als Resonanzfeder und Träger der Resonanzmasse wenigstens eine solche stab-, blatt- oder bandförmige Feder vorgesehen ist, auf welche das Piezoelement an einem kurzen Hebelarm einwirkt, und die an einem längeren Hebelarm die Resonanzmasse trägt, so dass zwischen den an-

treibenden Bewegungsamplituden des Piezoelements und den resultierenden Bewegungsamplituden der Resonanzmasse eine positive mechanische Wegübersetzung besteht.

[0014] Durch das erfindungsgemäße Prinzip der wenigstens eine Hebelübersetzung aufweisenden Kraft- und Bewegungsübertragung vom Piezoelement auf das Pumporgan über die mit der Resonanzmasse versehene Resonanzfeder, wird zwangsläufig in der Weise eine höhere Leistungsabgabe erreicht, dass durch die Hebelübersetzung die relativ kleinen Bewegungsamplituden des an einem kurzen Hebelarm auf die Resonanzfeder einwirkenden Piezoelements zwangsläufig wesentlich größere Bewegungsamplituden der am längeren Hebelarm der Resonanzfeder sitzenden Resonanzmasse erzeugen.

[0015] Außerdem wird nicht nur die Gefahr des Außertrittfallens bei Auftreten einer Arbeitslast vermindert sondern es wird auch erreicht, dass die im Rhythmus des Piezoelementes schwingende Schwingmasse ihre kinetische Energie weitgehend als Arbeitsenergie an das Pumporgan weitergibt, so dass eine wesentlich höhere Pumpleistung und Funktionssicherheit erzielt werden kann, als dies bei den bekannten piezoelektrischen Antriebssystemen der Fall ist. Dabei kann die Resonanzfeder die Form eines geraden oder gebogenen Stabes oder die Form einer bandförmigen Feder haben. Dabei kann die Querschnittsform des Federstabes prinzipiell beliebig gewählt werden. Möglicherweise haben aber rechteckige, und elliptische Querschnittsformen gegenüber rotationssymmetrischen, d.h. runden oder quadratischen, Querschnittsformen gewisse Vorteile bezüglich ihre Schwingungseigenschaften.

Unter bandförmigen Federn sind im Allgemeinen schmale, dünne Blattfedern zu verstehen.

[0016] Selbstverständlich ist Voraussetzung für diese effektive Arbeitsweise, dass Synchronizität zwischen dem Arbeitsrhythmus des beispielsweise mit der Netzfrequenz von 50 Hz arbeitenden Piezoelementes und der Eigenschwingung des Schwingensystems herrscht.

[0017] Für die Realisierung, d.h. die praktische Umsetzung des Erfindungsprinzips, stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, die in den Ansprüchen 2 bis 20 als vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung definiert sind.

[0018] Gegenüber einer Schraubendruckfeder als Resonanzfeder hat die Verwendung einer stab-, blatt- oder bandförmigen Feder den Vorteil, dass diese nahezu lageunabhängig, d.h. in annähernd jeder beliebigen Lage, frei schwingen kann. Bei einer Schraubendruckfeder hingegen ist es erforderlich, dass diese zumindest annähernd in vertikaler Lage mit der Resonanzmasse schwingt und diese trägt. Eine das Gewicht der Resonanzmasse aufnehmende Lagerung oder Führung, die mit Lagerreibung behaftet ist, wird nicht benötigt. Die Resonanzschwingung kann somit allenfalls von den aufzubringenden Pumpkräften beeinflusst werden.

[0019] Erst durch die Verwendung einer Stabfeder, einer Blattfeder oder einer bandförmigen Feder ist auch die erfindungsgemäß genutzte Möglichkeit gegeben, Hebelübersetzungen und damit Bewegungsübersetzungen vorzusehen und sinnvoll zu nutzen. Gerade durch die Hebelübersetzungen lassen sich wesentlich höhere Arbeitsleistungen bei besseren Wirkungsgraden erzielen und die Gefahr des Außertrittfallens erheblich vermindern. Das ganze System ist auch bei hoher Arbeitsleistung weniger störanfällig.

[0020] Eine Blattfeder mit ausreichender Breite kann das Schwingen der Resonanzfeder in einer Ebene gewährleisten, so dass keine zusätzlichen seitlichen Führungen erforderlich sind.

[0021] Dieses Schwingen in einer Ebene kann auch mit Stabfedern und mit bandförmigen Federn erreicht werden, wenn man diese in zumindest zweifacher Parallelanordnung als die Resonanzmasse tragende Resonanzfedern vorsieht.

[0022] Durch die besonders vorteilhafte Ausgestaltung nach Anspruch 9, nach der eine Regulierfeder vorgesehen ist, besteht die Möglichkeit, die Resonanzfrequenz des Schwingensystems auf die Arbeitsfrequenz des Piezoelements einzustellen, um optimale Arbeitsverhältnisse zu erhalten.

[0023] Anhand der Zeichnungen wird die Erfindung in mehreren Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 den prinzipiellen Aufbau eines piezoelektrischen Pumpantriebs mit einer als Blattfeder ausgebildeten Resonanzfeder in isometrischer Darstellung;

Fig. 1a eine besondere Ausführungsform der Resonanzfeder aus Fig. 1;

Fig. 1/1 eine Ausführungsform gemäß Fig. 1, jedoch mit einer Stabfeder als Resonanzfeder;

Fig. 1/1a einen Teil der stabförmigen Resonanzfeder aus Fig. 1/1 mit daran befestigter Resonanzmasse;

Fig. 1/1b in isometrischer Darstellung ein Schwingensystem mit zwei gleichen bandförmigen Federn in Parallelanordnung als Resonanzfeder mit daran befestigter Resonanzmasse;

Fig. 1/1c in isometrischer Darstellung ein Schwingensystem mit zwei gleichen stabförmigen Federn in Parallelanordnung als Resonanzfeder ohne die Resonanzmasse;

Fig. 2 die Prinzipdarstellung der Ausführungsform der Fig. 1 in vereinfachter Seitenansicht;

- Fig. 2a und Fig. 2b den piezoelektrischen Pumpenantrieb der Fig. 2 in zwei anderen Arbeitspositionen;
- Fig. 2c eine Stirnansicht IIc aus Fig. 2;
- 5 Fig. 2d die Ausführungsform der Fig. 2 in Stirnansicht gemäß Fig. IIc, jedoch in Seitenlage;
- Fig. 3 eine andere Ausführungsform des piezoelektrischen Pumpenantriebes in Seitenansicht;
- Fig. 3a und 3b den piezoelektrischen Pumpenantrieb der Fig. 3 in zwei anderen Arbeitspositionen;
- 10 Fig. 3c eine Stirnansicht IIIc aus Fig. 3;
- Fig. 3d die Ausführungsform der Fig. 3 in Stirnansicht gemäß Fig. IIIc, jedoch in Seitenlage;
- 15 Fig. 4 eine weitere Ausführungsform in schematischer Seitenansicht;
- Fig. 4a und 4b den piezoelektrischen Pumpenantrieb der Fig. 4 in zwei anderen Arbeitspositionen;
- Fig. 4c eine Stirnansicht IVc aus Fig. 4;
- 20 Fig. 4d die Ausführungsform der Fig. 4 in Stirnansicht gemäß Fig. 4c, jedoch in Seitenlage;
- Fig. 5 eine Variante der Fig. 5 in schematischer Seitenansicht;
- 25 Fig. 5a und Fig. 5b den piezoelektrischen Pumpenantrieb der Fig. 5 in zwei anderen Arbeitspositionen;
- Fig. 5c ein Funktionsschema der unterschiedlichen Hebelarme;
- 30 Fig. 6 in schematischer Stirnansicht ein Doppelpumpensystem mit einer zwei Resonanzmassen tragenden Blattfeder als Resonanzfeder;
- Fig. 7 ein Doppelpumpensystem bestehend aus zwei in Parallelanordnung zusammengeführten piezoelektrischen Pumpenantrieben gemäß Fig. 1 und 2;
- 35 Fig. 8 in einem gemeinsamen Gestell zwei Antriebs-systeme gemäß den Fig. 1 und 2, die auf eine Doppelpumpe arbeiten, in schematischer Draufsicht IX aus Fig. 9;
- Fig. 9 die Stirnansicht X aus Fig. 8;
- 40 Fig. 10 ein weiteres Doppelpumpensystem in schematischer Draufsicht und
- Fig. 11 ein weiteres Doppelpumpensystem in schematischer Draufsicht.

45 **[0024]** Bei allen nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispielen bestehen die verwendeten Piezoelemente 1 bevorzugt aus Vielschichtaktoren, die als Stapelaktoren ausgebildet sind.

[0025] In den Fig. 1 und 2 ist ein piezoelektrischer Pumpenantrieb schematisch vereinfacht dargestellt, bei dem das aus einem unteren horizontalen Schenkel 3, einem oberen horizontalen Schenkel 4 und dem vertikalen Verbindungsstück 5 bestehende Gestell 2 auf einem massiven Sockel 2' angeordnet ist, der dem Gestell 2 die nötige Stabilität und Trägheitsmasse verleiht um Eigenschwingungen des Gestells zu vermeiden.

50 **[0026]** Als Resonanzfeder 11 ist bei diesem Ausführungsbeispiel eine Blattfeder 21 vorgesehen, die mit einem Ende 22 im vertikalen Verbindungsstück 5 des Gestells 2 festsitzend befestigt ist. Dabei ist diese Resonanzfeder 11 bzw. Blattfeder 21 so angeordnet, dass sie mit einem kurzen Hebelarm 23 federnd auf dem Piezoelement 1 aufliegt. Dieses ist seinerseits in geringem Abstand vom vertikalen Verbindungsstück 5 des Gestells 2 auf dem unteren Horizontalschenkel 3 angeordnet, so dass zwischen dem Auflagepunkt A und dem eingespannten Ende 22 der Blattfeder 21 ein kurzer Hebelarm 23 besteht. Diese Blattfeder 21 ist bei dieser Ausführungsform auf der anderen Seite des Auflagepunktes A mit einem längeren Hebelarm 24 versehen, der den kurzen Hebelarm 23 mit umfasst und der einen rückwärts gebogenen Endabschnitt 25 aufweist, an dem eine Resonanzmasse 12 unterseitig befestigt ist. Dieser durch den Bogen 26 einstückig mit dem längeren Hebelarm 24 verbundene Endabschnitt 25 ist mit einer parallel zum Hebelarm 24 verlaufenden Ver-

55

längerung 25' versehen, an welcher eine Balancemasse 27 befestigt ist, die eine zumindest annähernde Parallelschwingung des Endabschnitts 25 bzw. 25' zu seiner Erstreckungsrichtung in Richtung des Doppelpfeils 31 bewirkt.

[0027] Das Funktionsprinzip der unterschiedlich langen Hebelarme 23 und 24 ist aus Fig. 5c erkennbar. Die Schwingungsamplitude a_2 am Ende des längeren Hebelarms s_2 , der dem Hebelarm 24 entspricht, ist größer als die Schwingungsamplitude a_1 am Ende des kurzen Hebelarms s_1 , der dem Hebelarm 23 entspricht. Dabei gilt:

$$a_2 = \frac{s_2 \cdot a_1}{s_1}$$

[0028] Diese Formel gilt auch für die nachfolgend beschriebenen Hebelverhältnisse der weiteren Ausführungsformen.

[0029] Durch einen Stößel 13 ist der Endabschnitt 25 direkt mit einem Pumporgan 14 einer auf dem Horizontalschenkel 4 des Gestells angeordneten Fluidpumpe 15 verbunden. Diese Fluidpumpe 15 hat einen horizontalen Auslass 16, durch den das gepumpte Fluid nach außen strömt.

[0030] Bei dieser Anordnung und dieser aus einer gebogenen Blattfeder 21 bestehenden Resonanzfeder 11 steht das Piezoelement 1 über die Resonanzfeder 11 und den Verbindungsstößel 13 unmittelbar mit dem Pumporgan 14 der Fluidpumpe 15 in kraft- und bewegungsübertragender Verbindung.

[0031] Diese Kraftflußbedingung ist auch bei den übrigen Ausführungsbeispielen, die nachfolgend noch näher beschrieben werden, erfüllt.

[0032] Um eine Möglichkeit zu haben, die Eigenfrequenz des aus der Resonanzfeder 11 und der Resonanzmasse 12 sowie der Balancemasse 27 bestehenden Schwingensystems auf den Arbeitsrhythmus des Piezoelementes 1 einjustieren zu können, ist eine Regulierfeder 30 vorgesehen, die in geringem Abstand von dem Auflagepunkt A, an dem die Blattfeder 21 auf dem Piezoelement 1 aufliegt, auf den längeren Hebelarm 24 der Blattfeder 21 einwirkt. Die Druckkraft dieser Regulierfeder 30 ist mittels einer im oberen Horizontalschenkel 4 sitzenden Stellschraube 29 mit Kontermutter 28 justierbar und fixierbar. Diese Stellschraube 29 ist an ihrem unteren Ende mit einer zylindrischen Aufnahmhülse 33 versehen, in der das obere Ende der Regulierfeder 30 geführt ist. Das untere Ende dieser Regulierfeder 30 stützt sich über ein Druckstück 34 auf dem längeren Hebelarm 24 der Blattfeder 21 ab, so dass die Blattfeder 21 insgesamt dauernd unter einer gewissen Vorspannung, also federnd, auf dem Piezoelement 1 aufliegt.

[0033] Diese Ausführungsform des erfindungsgemäßen piezoelektrischen Pumpenantriebs kann sowohl in der in den Fig. 1 und 2 dargestellten Arbeitslage betrieben werden. Es besteht aber auch die Möglichkeit, die in den Fig. 2a bzw. 2b bzw. 2d dargestellten Arbeitslagen zu wählen. In Fig. 2a ist die Arbeitslage derart, dass die Blattfeder 21 eine stehende vertikale Lage einnimmt, während sie in Fig. 2b eine hängende vertikale Lage einnimmt. In diesen Positionen liegt das Gewicht der Resonanzmasse 12 bzw. Balancemasse 27 nicht auf dem Piezoelement 1 auf.

[0034] Dasselbe kann auch erreicht werden, indem das Gestell 2, gemäß Fig. 2d, seitlich gelagert wird, so dass der Hebelarm 24 der Blattfeder 21 mit seiner Flachseite eine vertikale Lage einnimmt, seine Längsseiten jedoch horizontal verlaufen.

[0035] Die Abbildungen 2a und 2b stellen in diesem Falle jeweils eine Draufsicht von oben dar.

[0036] Beim Ausführungsbeispiel der Fig. 1/1 ist an Stelle der Blattfeder 21, jedoch in gleicher Anordnung, als Resonanzfeder 11 eine gebogene Stabfeder 21/4 aus rundem Federdraht vorgesehen. Diese Stabfeder 21/4 ist mit einem Ende 22/4 im vertikalen Verbindungsstück 5 des Gestells festsitzend befestigt. Mit einem kurzen Hebelarm 23/4 liegt sie federnd auf dem Piezoelement 1 auf. Der längere Hebelarm 24/4, der auch hier den kurzen Hebelarm 23/4 mit umfasst, weist einen rückwärts gebogenen Endabschnitt 25/4 auf, an dem die Resonanzmasse 12 unterseitig befestigt ist. Auch hier ist der durch den Bogen 26/4 mit dem längeren Hebelarm 24/4 verbundene Endabschnitt 25/4 mit einer parallel zum Hebelarm 24/4 verlaufenden Verlängerung versehen, an welcher eine Balancemasse 27 befestigt ist. Durch den Stößel 13 ist auch der Endabschnitt 25/4 mit der Fluidpumpe 15 verbunden.

[0037] Bei dem in Fig. 1/1b dargestellten Schwingensystem ist die Blattfeder 21 der Fig. 1 und 2 ersetzt durch zwei in Parallelanordnung angebrachte, bandförmige Federn 21/5.

[0038] Diese beiden Federn 21/5 sind durch einen Verbindungssteg 120 miteinander verbunden. Dieser Verbindungssteg 120 ist so angeordnet, dass die beiden gemeinsam die Resonanzfeder 11 bildenden Federn 21/5 über kurze Hebelarme 23/5 auf dem Piezoelement 1 aufliegen und die jeweils längeren Hebelarme 24/5 an den oberen Enden der Bogen 26/5 mittels zweier Trägerplatten 121 die Resonanzmasse 12 tragen. Auch hierbei sind Verlängerungen 25' vorgesehen, an denen eine Balancemasse 27 befestigt ist.

[0039] In Fig. 1/1c ist beispielhaft eine Ausführungsform dargestellt, bei der als Resonanzfeder 11 zwei gebogene Stabfedern 21/4 in Parallellage vorgesehen sind, die gemeinsam an den längeren Hebelarmen 24/4 die Resonanzmasse 12 tragen und deren kurze Hebelarme 23/4 durch einen auf dem Piezoelement 1 aufliegenden Quersteg 122 miteinander verbunden sind. Wie bei der Ausführung der Fig. 1/1 sind auch die beiden Stabfedern 21/4 mit Verlängerungen 25/4

versehen, die gemeinsam die Balancemasse 27 tragen. Gegenüber der Ausführungsform gemäß Fig. 1/1, bei der nur eine Stabfeder 21/4 vorgesehen ist, hat diese Verwendung zweier Stabfedern 21/4 den Vorteil, dass das Schwingssystem in seiner Schwingenebene stabiler ist und erheblich weniger zu seitlichen Schwingungsausschlägen neigt. Dasselbe gilt auch für die Ausführungsform der Fig. 1/1b.

Es ist hier anzumerken, dass ohne Weiteres auch mehr als zwei Stabfedern 21/4 oder bandförmige Federn 21/6 in Parallellage zur Anwendung kommen können.

[0040] Es versteht sich, dass bei den nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen die dort vorgesehenen Blattfedern ohne Weiteres durch entsprechend geformte Stabfedern oder bandförmige Federn einzeln oder in mehrfacher Parallelanordnung ersetzt werden können, ohne dass sich am Funktionsprinzip etwas ändert.

[0041] Beim Ausführungsbeispiel der Fig. 3 sind zwei gleiche Blattfedern 21/1 und 21/2 in geringem Abstand übereinander angeordnet, deren Enden 22 jeweils im vertikalen Verbindungsstück 5 des Gestells 2 starr befestigt sind. Dabei liegt die untere Blattfeder 21/1 in der gleichen Weise wie der Hebelarm 24 der Blattfeder 21 auf dem Piezoelement 1 auf, das auch die gleiche Lage einnimmt wie in Fig. 2.

[0042] Die freien Enden dieser Blattfedern 21/1 und 21/2 sind gelenkig durch einen Verbindungssteg 36 miteinander verbunden. Dieser Verbindungssteg 36 ist einerseits durch ein Winkelstück 37 und den Stößel 13 mit dem Pumporgan 14 der Fluidpumpe 15 verbunden.

[0043] Auch bei dieser Ausführungsform ist eine Regulierfeder 30 vorgesehen, die in analoger Weise auf die obere Blattfeder 21/2 einwirkt und deren Vorspannung mittels einer Stellschraube 29 zur Einjustierung der Eigenfrequenz des Schwingensystems einstellbar ist. Wie beim Ausführungsbeispiel der Fig. 1 und 2 ist zur Fixierung der Einstellschraube 29 eine Kontermutter 28 vorgesehen. Im übrigen ist der Aufbau gleich wie beim Ausführungsbeispiel der Fig. 2.

[0044] Die Schwingungen des Schwingensystems erfolgen, wie bei allen anderen Ausführungsbeispielen, jeweils in Richtung des Doppelpfeils 31.

[0045] Auch bei dieser Ausführungsform sind verschiedene Arbeitspositionen möglich. Außer der in Fig. 3 dargestellten Arbeitsposition, bei der das Verbindungsstück 5 des Gestells 2 vertikal verläuft, sind auch die in Fig. 3a und 3b dargestellten Arbeitsstellungen möglich, in denen dieses Verbindungsstück 5 jeweils eine horizontale Lage einnimmt und die Schenkel 3 und 4 zusammen mit dem Sockel 2' jeweils vertikal verlaufen. In diesen Arbeitsstellungen verlaufen auch die Blattfedern 21/1 und 21/2 vertikal, wobei sie in der Arbeitsstellung der Fig. 3a eine stehende und in der Arbeitsstellung der Fig. 3b eine hängende Lage einnehmen.

[0046] Eine weitere, in Fig. 3d dargestellte Arbeitsposition ist dadurch möglich, dass das Gestell 2 mit der Sockelplatte 2' auf der Seite liegend positioniert wird, so dass die Fig. 3 eine Draufsicht darstellt.

[0047] In Fig. 4 ist eine weitere sehr einfache Ausführungsform schematisch vereinfacht dargestellt, diese unterscheidet sich von der Ausführungsform der Fig. 1 und 2 lediglich dadurch, dass die Resonanzmasse 12 auf einer völlig flachen ebenen Resonanzfeder 11 in Form einer Blattfeder 21/3 vorgesehen ist. Das Gestell 2 ist in diesem Fall etwas niedriger ausgebildet, was bedeutet, dass der obere Horizontalschenkel 4 einen geringeren vertikalen Abstand vom unteren Horizontalschenkel 3 aufweist und dementsprechend das vertikale Verbindungsstück 5 kürzer ausgestaltet ist. Bei dieser Ausführungsform der Blattfeder 21/3 ist die Resonanzmasse über einen Stößel 13 wiederum mit dem Pumporgan 14 der Fluidpumpe 15 kraft- und bewegungsübertragend verbunden und auf einem längeren Hebelarm 24 der Blattfeder 21/3 angeordnet. Außerdem besitzt diese Blattfeder eine die Resonanzmasse 12 nach außen überragende Verlängerung 25', die mit einer Balancemasse 27 versehen ist.

[0048] Auch hier finden die Schwingungen in Richtung des Doppelpfeiles 31 statt und zwar im Arbeitsrhythmus des Piezoelements 1, die der Eigenfrequenz dieses Schwingungssystems entspricht.

[0049] Auch zu diesem Ausführungsbeispiel der Fig. 4 zeigen die Fig. 4a und 4b, dass außer der in Fig. 4 dargestellten vertikalen Arbeitslage, wenigstens zwei weitere Arbeitslagen möglich sind, in denen die Blattfeder 21 eine vertikale Lage einnimmt, wobei das Gestell 2 jeweils um 90° in der einen oder anderen Richtung verdreht ist. Auch die in Fig. 4d dargestellte Seitenlage ist hier möglich.

[0050] Wie Versuche gezeigt haben, kann es von Vorteil sein, wenn der auf dem Piezoelement 1 aufliegende Abschnitt der Blattfeder 21 über einen Bereich, der einen Teil des kurzen Hebelarms 23 und wenigstens einen Teil des längeren Hebelarms 24 umfasst, als in sich starres Teil ausgebildet bzw. durch ein- oder beidseitig aufgelegte starre Plattenkörper oder durch Längssicken versteift ist, so dass zwar die Schwingfähigkeit der Blattfeder 21 insgesamt erhalten bleibt, aber in diesem versteiften Bereich keine Durchbiegung der Blattfeder 21 erfolgen kann.

[0051] Diese Ausführungsform kann bei allen mit Blattfedern 21 ausgerüsteten Ausführungsbeispielen angewandt werden.

[0052] Bei der Ausführungsform in Fig. 5 ist eine dreischenklig Blattfeder 21/3 mit ihrem unteren zum vertikalen Verbindungsstück 5 des Gestells 2 hin verlängert und mit ihrem Ende 22 festsitzend auf die gleiche Weise befestigt, wie die Blattfeder 21 beim Ausführungsbeispiel der Fig. 2. Diese Blattfeder 21/3 weist somit drei in Parallellage übereinander angeordnete Schenkel 41, 42 und 43 auf. Dabei sind an den Schenkeln 42 und 43 jeweils Resonanzmassen 12/1 und 12' angeordnet. Der verlängerte Schenkel 43 trägt zudem die Balancemasse 27.

[0053] Bei diesem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5 steht der untere horizontale Schenkel 41 der Blattfeder 21/3

unter dem Einfluss eines Zugstiftes 44', dem eine Regulierfeder 30' zugeordnet ist. Diese Regulierfeder 30' sitzt in einer zylindrischen unterseitigen Ausnehmung 48' des unteren Horizontalschenkels 3 des Gestells 2 und kann mit einer Stellmutter 52 bezüglich ihrer Vorspannung eingestellt werden. Mit Hilfe dieser Reguliereinrichtung kann die Eigenfrequenz des Schwingensystems beeinflusst und auf die Arbeitsfrequenz bzw. auf den Arbeitszyklus des Piezoelements 1 einjustiert werden.

[0054] Der Vollständigkeit halber sei auch hier erwähnt, dass die Ausführungsform gemäß der Fig. 5 jeweils unterschiedliche Arbeitspositionen einnehmen kann und zwar, wie die Fig. 5a, 5b zeigen, im Wesentlichen die gleichen wie die Ausführungsformen der Fig. 2 bis 4.

[0055] In Fig. 6 ist eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen piezoelektrischen Pumpenantriebs in schematischer Vereinfachung dargestellt, bei der die Resonanzfeder 11 als ebene Blattfeder 21/5 ausgebildet ist. Diese Blattfeder 21/5 ist in einem Gestell 2/1 gelagert, das aus einem horizontalen massiven Unterteil 60 besteht, auf welches ein brückenartiges Oberteil 61 mittels zweier vertikaler Stützen 62 und 63 aufgesetzt ist. An der planebenen Unterseite 64 ist das Piezoelement 1 zentrisch angeordnet und zwar so, dass es sich federnd auf der Längsmittle **M** der Blattfeder 21/5 abstützt. Diese Blattfeder 21/5 liegt dabei auf den Schneiden zweier prismaartiger Stützlager 65 und 66 auf, die symmetrisch zur Längsmittle **M** in einem seitlichen Abstand von dieser angeordnet sind, der dem kurzen Hebelarm 23 der Blattfeder 21/5 entspricht. Die jeweils längeren Hebelarme 24 durchragen fensterartige Ausnehmungen 67 und 68 der vertikalen Stützen 62 und 63 und sind an ihren jeweils außerhalb des Gestells 2/1 liegenden Enden mit den Resonanzmassen 12 versehen. Zugleich sind diese äußeren Enden jeweils über die Stößel 13 mit dem Pumporgan 14 einer Fluidpumpe 15 kraft- und bewegungsübertragend verbunden. Auch hier finden die Schwingungen der längeren Hebelarme 24 der Blattfeder 21/5 jeweils in Richtung der Doppelpfeile 31 statt und zwar wiederum synchron zu den Arbeitszyklen bzw. der Arbeitsfrequenz des Piezoelements 1.

[0056] Bei diesem Ausführungsbeispiel der Fig. 6 sind die beiden Fluidpumpen 15 durch Verbindungsleitungen 17 und 18 an einen gemeinsamen Ausgang 19 angeschlossen.

[0057] In Fig. 7 ist ein Ausführungsbeispiel dargestellt, bei dem zwei piezoelektrische Pumpenantriebe gemäß Fig. 1 und 2 in Parallelage zu einem gemeinsamen Doppelpumpensystem zusammengefügt sind. Dabei sind jeweils die beiden unteren Schenkel 3 der Gestelle 2 unterseitig bündig aneinandergefügt und die beiden Fluidpumpen 15 sind ähnlich wie beim Ausführungsbeispiel der Fig. 6 durch Verbindungsleitungen 17 und 18 auf einen gemeinsamen Ausgang 19 geschaltet.

[0058] Ob dabei die beiden Schwingensysteme exakt synchron schwingen, spielt für die erzielte doppelte Pumpleistung, die am gemeinsamen Ausgang 19 zur Verfügung steht, keine wesentliche Rolle.

[0059] Wie die Fig. 8 und 9 zeigen, besteht auch die Möglichkeit, zwei Pumpsysteme der in Fig. 1 und 2 dargestellten Art so anzuordnen, dass ihre Resonanzfedern 11 auf eine gemeinsame Fluidpumpe 15/1 arbeiten und an deren Ausgang 16 die doppelte Pumpleistung zur Verfügung stellen. Dabei sind die jeweils oberen und unteren Schenkel 3 und 4 durch einen gemeinsamen rückseitigen Verbindungssteg 5/2 zu einem gemeinsamen Gestell 2/2 zusammengefügt. Die Fluidpumpe 15/1 ist zwischen den Schenkeln 4 des Gestells 2/2 angeordnet. Die Schwingungen der beiden Resonanzfedern 11 erfolgen in Richtung der Doppelpfeile 31.

[0060] Während Fig. 8 diese Anordnung in Draufsicht zeigt, gibt die Fig. 9 eine Stirnansicht X aus Fig. 8 wieder.

[0061] Beim Ausführungsbeispiel der Fig. 10 sind ebenfalls zwei jeweils auf eine Fluidpumpe 15 wirkende Resonanzschwingensysteme vorgesehen, deren prinzipieller Grundaufbau demjenigen der Fig. 8 bzw. den Fig. 1 und 2 entspricht. Aufbaumäßig ist jedoch dadurch eine Vereinfachung erzielt, dass das Gestell 2 lediglich einen linken und einen rechten Schenkel 73 und 74 aufweist, die vertikal erstreckend an einem unteren horizontalen Verbindungsstück 5' befestigt sind. An den oberen Enden dieser Schenkel 73 und 74 sind außenseitig jeweils die Fluidpumpen 15 angebracht, deren Pumporgane 14 über die Stößel 13 mit den Endabschnitten 25 der jeweils einen Bogen 26 aufweisenden Resonanzfedern 11 verbunden sind. Wie beim Ausführungsbeispiel der Fig. 1 und 2 tragen diese Endabschnitte 25 jeweils die Resonanzmasse 12 und an den, in diesem Falle nach unten gerichteten Verlängerungen 25', die Balancemassen 27.

[0062] Zur wesentlichen baulichen Vereinfachung trägt auch die Tatsache bei, dass die beiden sich in diesem Falle vertikal erstreckenden Schenkel 21' der Blattfedern 21 durch einen Verbindungsbogen 75 einstückig miteinander verbunden sind. Dieser Verbindungsbogen 75 ist mittels eines halbrunden Spannstückes 76 und einer Spannschraube 77 in einem kalottenartigen Lagerteil 78 eingespannt. Mittels dieser Schraube 77 ist das Lagerteil 78 zugleich auch an der Innenseite des Verbindungsstücks 5' fixiert. Über eine Brücke 79 ist ein vertikaler, schenkelartiger Träger 80 mittig zwischen den beiden Schenkeln 21' der Resonanzfedern 11 angeordnet, an dem beidseitig die Piezoelemente 1 befestigt sind, an welchen die Federschenkel 21' federnd anliegen. Auch hier bilden die Federschenkel 21' wieder einen kurzen Hebelarm 23 zwischen dem Lagerteil 78 und der Auflagestelle **A**, an dem sie an den Piezoelementen 1 federnd anliegen sowie längere Hebelarme 24, die über die Bogenabschnitte 26 mit den Endabschnitten 25 verbunden sind.

[0063] Wie beim Ausführungsbeispiel der Fig. 1 und 2 sind auch hier Justiereinrichtungen mit je einer Regulierfeder 30 und Stellschrauben 29 sowie Kontermuttern 28 vorgesehen, die in analoger Weise wie die Ausführungsform der Fig. 2 angeordnet sind und funktionieren.

[0064] Wie beim Ausführungsbeispiel der Fig. 7 sind auch hier die beiden Fluidpumpen 15 über Verbindungsleitungen

17 und 18 auf einen gemeinsamen Ausgang 19 geschaltet.

[0065] Bei allen Ausführungsbeispielen, bei denen die Resonanzfeder als Blattfeder 21 ausgebildet ist und das Aufbauprinzip der Fig. 1 und 2 verwirklicht ist, d. h. bei den Ausführungsbeispielen der Fig. 2 bis 4 sowie 5 bis 10, wird in vorteilhafter Weise zur Erhöhung der Arbeitsleistung die Hebelübersetzung ausgenutzt, die zwischen dem kurzen Hebel 23 und dem längeren Hebel 24 der Blattfeder besteht und die dazu führt, dass das Schwingssystem, das die Fluidpumpe 15 zu betätigen hat, auch bei minimalen Auslenkungen des Piezoelements 1 wesentlich größere Schwingungsamplituden ausführt, die zur Betätigung des Pumporgans 14 genutzt werden.

[0066] Auch bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 11 wird eine solche Hebelübersetzung ausgenutzt. Dabei sind zwei in einem horizontalen unteren Schenkel 81 festsitzend befestigte, als Blattfedern 21/6 ausgebildete Resonanzfedern 11/2 vorgesehen. Zwischen diesen vertikalen Blattfedern 21/6 ist auf dem Schenkel 81 mittig ein Piezoelement 1 angeordnet, das seine Auslenkungen in vertikaler Richtung, also parallel zu den Blattfedern 21/6 ausführt.

[0067] Zur Übertragung der vertikalen Auslenkungen des Piezoelements 1 auf die beiden Blattfedern 21/6 sind zwei zueinander rautenartig angeordnete gleichschenklige Kniegelenke vorgesehen, die jeweils aus einem unteren Hebel 85 und einem oberen Hebel 86 sowie einem diese beiden Hebel 85 und 86 miteinander verbindenden Gelenk 87 bestehen, wobei das Gelenk 87 durch einen Verbindungsstab 88 jeweils mit einer Blattfeder 21/6 verbunden ist. Durch diese Kniegelenke werden die vertikalen Auslenkungen des Piezoelements 1 in horizontale Bewegungen umgesetzt, so dass die beiden Blattfedern 21/6 jeweils eine nach außen gerichtete Auslenkung erfahren.

[0068] Um eine federnde Belastung des Piezoelements 1 durch die beiden sich darauf abstützenden Hebel 85 zu erhalten, sind beide Gelenke 87 durch eine Zugfeder 91, die justierbar sein sollte, miteinander verbunden. Die beiden oberen Hebel 86 der beiden Kniegelenke stützen sich an der Unterseite des Schenkels 4 ab.

[0069] Oberhalb des oberen Schenkels 4 sind die Enden der jeweils längeren Hebelarme 24 der Blattfedern 21/6 mit außenseitig angebrachten Resonanzmassen 12 versehen und zugleich über Stößel 13 mit den Pumporganen 14 einer Doppelfluidpumpe 15/1 kraft- und bewegungsübertragend verbunden, so dass ihre Schwingbewegungen die Pumporgane 14 betätigen.

[0070] Dabei durchragen die Blattfedern 21/6 jeweils Ausnehmungen 89 und 90 des oberen Schenkels 4, auf dem die Doppelfluidpumpe 15/1 mittig angeordnet ist.

[0071] Mit Hilfe von auch bei diesem Ausführungsbeispiel vorgesehener Regulierfedern 30 und Stellschrauben 29, lässt sich die Eigenfrequenz der beiden Blattfedern 21/6 jeweils in gewissem Umfang justieren, so dass auch hierbei in einfacher Weise Synchronismus zwischen der Eigenfrequenz der beiden Schwingssysteme und dem Arbeitszyklus bzw. der Arbeitsfrequenz des Piezoelements 1 erreicht werden kann.

[0072] Bei der in Fig. 11 dargestellten Anordnung ist die Auslenkamplitude der oberen Blattfederenden etwa sechsmal größer als die vertikale Auslenkung des Piezoelementes 1.

[0073] Zu erwähnen ist noch, dass als Pumporgane statt der in den Ausführungsbeispielen erwähnten Pumpmembranen auch Pumpkolben verwendet werden können.

Patentansprüche

1. Piezoelektrischer Pumpenantrieb, insbesondere für Luftpumpen mit einer Membran als Pumporgan, bei dem ein Resonanzschwingssystem, das wenigstens eine mittels einer Resonanzfeder (11) federelastisch gelagerte Resonanzmasse (12) aufweist und dessen Schwingungen von wenigstens einem elektrisch aktivierten Piezoelement (1) erzeugt werden, das Pumporgan (14) oszillierend antreibt, wobei das Piezoelement (1) über die mit der Resonanzmasse (12) versehene Resonanzfeder (11) mit dem Pumporgan (14) in kraft- und bewegungsübertragender Antriebsverbindung steht,

dadurch gekennzeichnet,

dass als Resonanzfeder (11/1) und Träger der Resonanzmasse (12) wenigstens eine solche stab-, blatt- oder bandförmige Feder (21, 21/1 bis 21/6) vorgesehen ist, auf welche das Piezoelement (1) an einem kurzen Hebelarm (23, 23/4, 23/6) einwirkt, und die an einem längeren Hebelarm (24, 24/4, 24/6) die Resonanzmasse (12) trägt, so dass zwischen den antreibenden Bewegungsamplituden des Piezoelements (1) und den resultierenden Bewegungsamplituden der Resonanzmasse (12) eine positive mechanische Wegübersetzung besteht.

2. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Resonanzfeder (11) aus einer Blattfeder (21, 21/1 bis 21/3) besteht.

3. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Resonanzfeder (11) aus einem wenigstens einen geraden Abschnitt aufweisenden Federdraht besteht.

4. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aus wenigstens

einer Blattfeder (21) oder aus wenigstens einem Federdraht bestehende Resonanzfeder (11) mit ihrem einen Ende (22) ortsfest an einem das Piezoelement (1) und die Pumpe (15) tragenden starren Gestell (2) so eingespannt ist, dass sie mit einem kurzen Hebelarm (23) in geringer Entfernung vom eingespannten Ende (22) auf dem Piezoelement (1) federnd aufliegt und dass der längere, die Resonanzmasse (12) tragende Hebelarm (24) mit dem Pumporgan (14) verbundenen ist.

5 5. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der auf dem Piezoelement (1) federnd aufliegende Abschnitt der Resonanzfeder (21) über einen Bereich, der einen Teil des kurzen Hebelarms (23) und wenigstens einen Teil des längeren Hebelarms (24) umfaßt, als in sich starres Teil ausgebildet ist.

10 6. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Resonanzfeder (21) an einem ihren längeren Hebelarm (24) verlängernden Abschnitt (25') eine Balancemasse (27) trägt, die kleiner ist als die Resonanzmasse (12).

15 7. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der längere Hebelarm (24) der Resonanzfeder (11) einen rückwärts gebogenen Endabschnitt (25) aufweist, an dem die Resonanzmasse (12) befestigt ist.

20 8. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** am freien Ende des rückwärts gebogenen Endabschnitts (25) der Resonanzfeder (11) in einem Abstand von der Resonanzmasse (12) zusätzlich eine kleinere Balancemasse (27) angeordnet ist, die eine zumindest annähernde Parallelschwingung des Endabschnitts (25, 25') zu seiner Erstreckungsrichtung bewirkt.

25 9. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** einer am Gestell (2) eingespannten ersten Resonanzfeder (21/1) auf der vom Piezoelement (1) abgewandten Seite eine zweite ebenfalls am Gestell (2) eingespannte Resonanzfeder (21/2) in Parallellage zugeordnet ist, deren bzw. dessen freies Ende nach Art eines Parallelogramms über einen Verbindungssteg (36) gelenkig mit dem freien Ende der ersten Resonanzfeder (21/1) verbunden ist.

30 10. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden Resonanzfedern (21/1, 21/2) über den Verbindungssteg (36) mit dem Pumporgan (14) in kraftübertragender Verbindung stehen.

35 11. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach einem der Ansprüche 4 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf den längeren Hebelarm (24) der Resonanzfeder (11) eine Regulierfeder (30) einwirkt, deren auf die Resonanzfeder (21) wirksame Vorspannung mittels einer Stellschraube (29) einstellbar ist.

40 12. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abstand des Angriffspunktes der Regulierfeder (30) auf der Resonanzfeder (11) von dem Angriffspunkt (A) des Piezoelements (1) annähernd der Länge des zwischen dem eingespannten Ende (22) der Resonanzfeder (21) und dem Angriffspunkt (A) des Piezoelements (1) liegenden kurzen Hebelarms (23) entspricht.

45 13. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Resonanzfeder (21/3) drei zueinander parallele Schenkelabschnitte (41, 42, 43) aufweist, die jeweils paarweise durch Bogenabschnitte (26, 26') miteinander verbunden sind.

14. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die drei parallelen Schenkelabschnitte (41, 42, 43) unter sich zumindest annähernd gleich lang sind.

50 15. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein erster das eine Ende der Resonanzfeder (21/3) bildender Schenkelabschnitt (41) unter dem Einfluß einer Andruckkraft mit dem Piezoelement (1) in kraft- und bewegungsübertragender Verbindung steht und ein dritter, das zweite Ende der Resonanzfeder bildender Schenkelabschnitt (43) mit dem Pumporgan (14) einer Pumpe (15) in kraft- und bewegungsübertragender Verbindung steht.

55 16. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mit dem Pumporgan (14) in Verbindung stehende Schenkelabschnitt (43) mit einer Resonanzmasse (12') und einer Balancemasse (27) versehen ist.

17. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** auch der mittlere Schenkelabschnitt (42) mit einer Resonanzmasse (12/1) versehen ist.
- 5 18. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Piezoelement (1) zwischen zwei in Parallellage in einem Gestell (2/4) eingespannten Resonanzfedern (21/6) angeordnet ist und über zwei sich gegenüberliegende gleichschenklige Kniegelenke mit den Resonanzfedern (21/6) in kraft- und bewegungsübertragender Verbindung steht.
- 10 19. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die jeweils mit Resonanzmassen (12/1) versehenen Enden der beiden Resonanzfedern (21/6) jeweils kraft- und bewegungsübertragend mit einem Pumporgan (14) einer Pumpe (15/1) verbunden sind.
- 15 20. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine ebene, an ihren beiden Enden mit Resonanzmassen (12/1) versehene und mit jeweils einem Pumporgan (14) kraft- und bewegungsübertragend verbundene Resonanzfeder (21/5) auf zwei zwischen den Resonanzmassen (12/1) symmetrisch zu ihrer Längsmittle angeordneten Stützlagern aufliegt und auf der den Stützlagern (65) gegenüberliegenden Seite in der Längsmittle kraftübertragend mit dem Piezoelement (1) in Verbindung steht.
- 20 21. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei gleiche Resonanzschwingsysteme mit jeweils einem Piezoelement (1) in räumlicher Parallelanordnung jeweils eine Pumpe (15, 15/1) betreiben und dass die beiden Pumpen (15) auf einen gemeinsamen Ausgang (16) geschaltet sind.
- 25 22. Piezoelektrischer Pumpenantrieb nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pumpe (15/1) zwei Pumporgane (14) aufweist, die jeweils mit der Resonanzfeder (21) eines Schwingsystems in kraft- und bewegungsübertragender Verbindung stehen.

Fig. 1

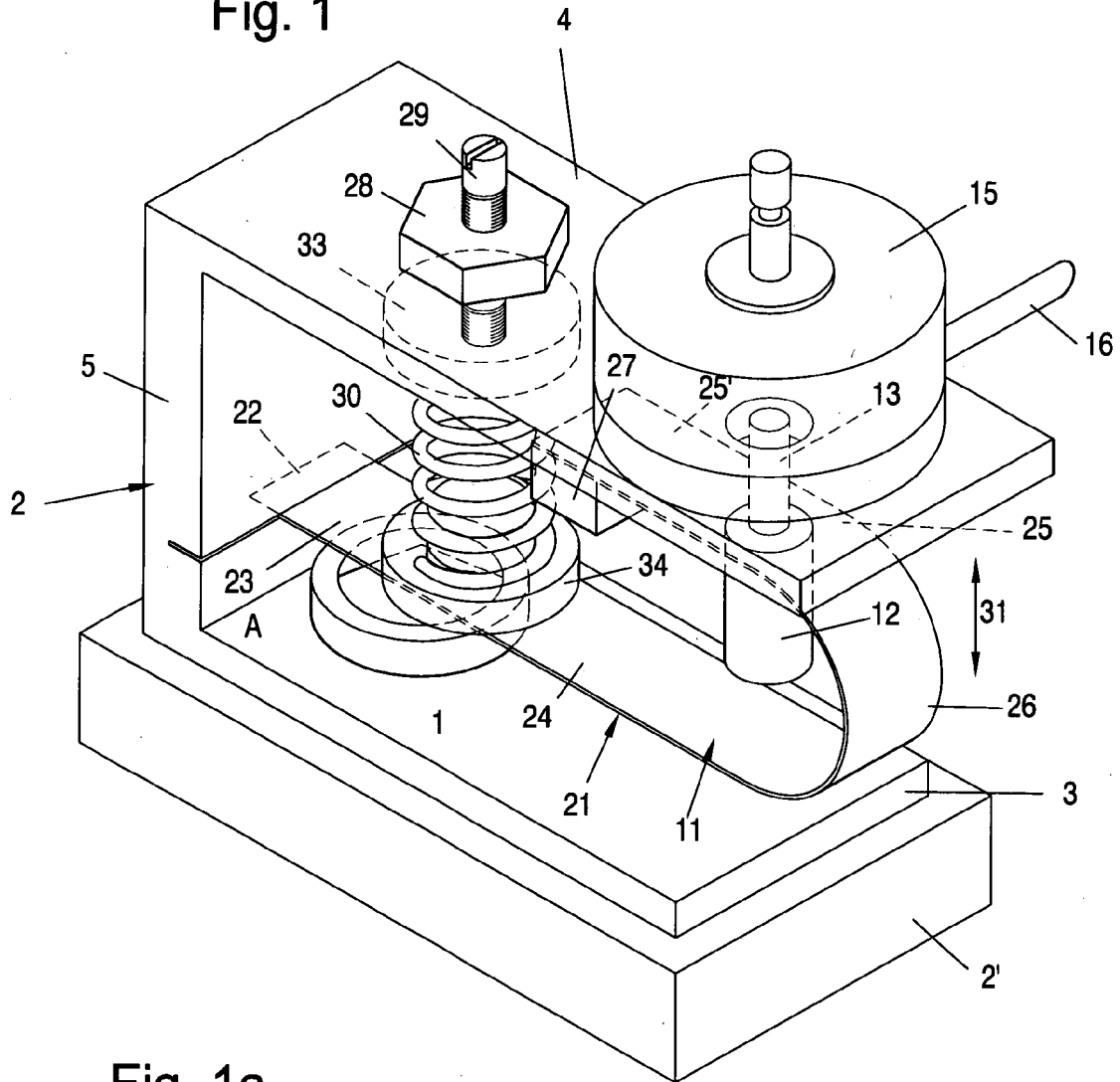


Fig. 1a

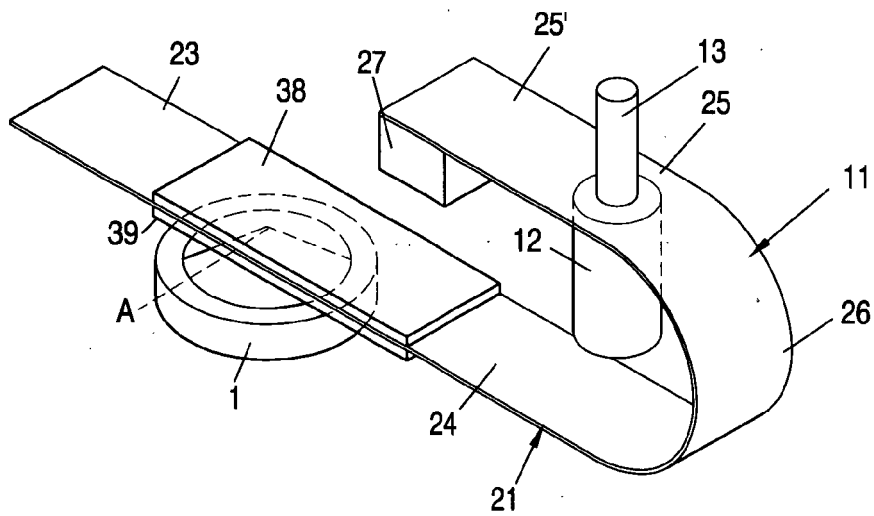


Fig. 1/1

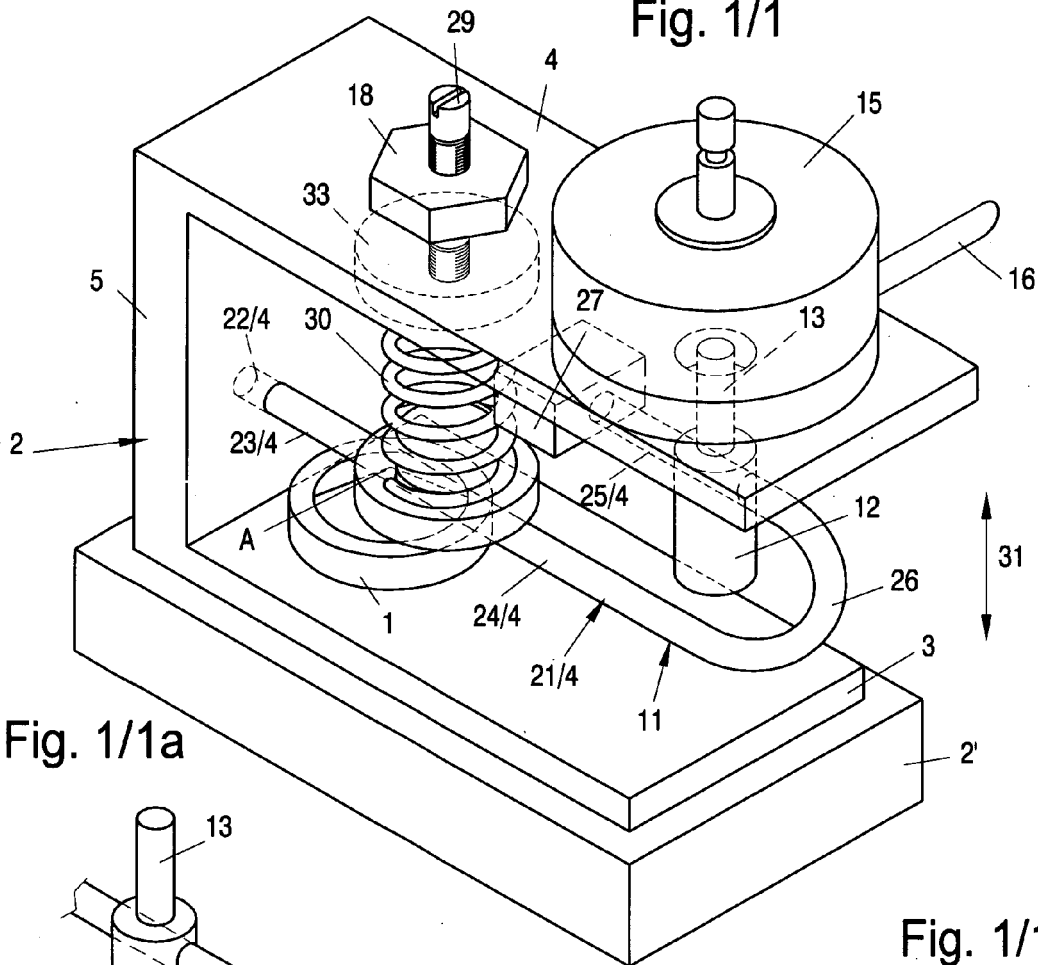


Fig. 1/1a

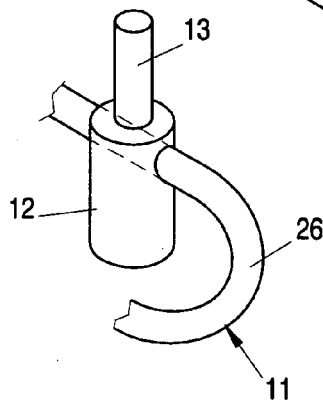


Fig. 1/1b

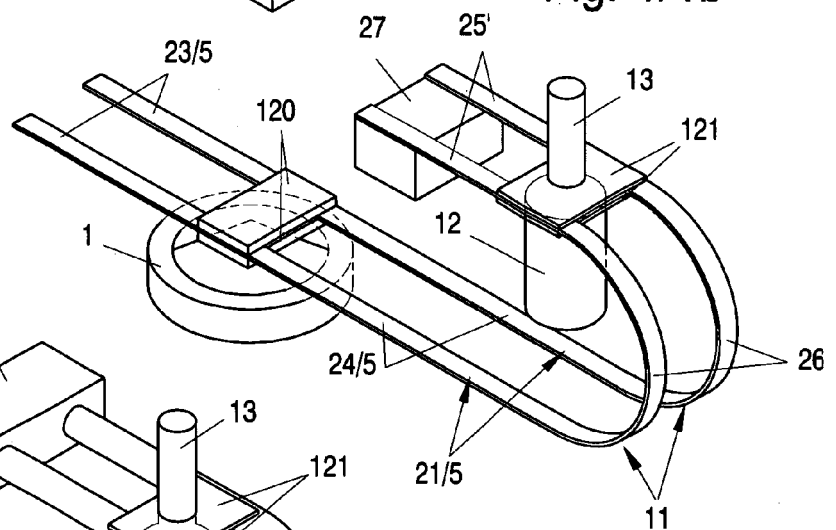


Fig. 1/1c

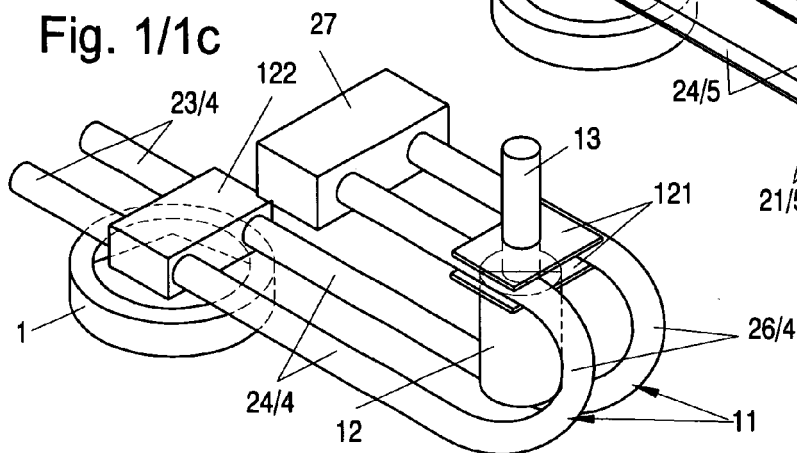


Fig. 2

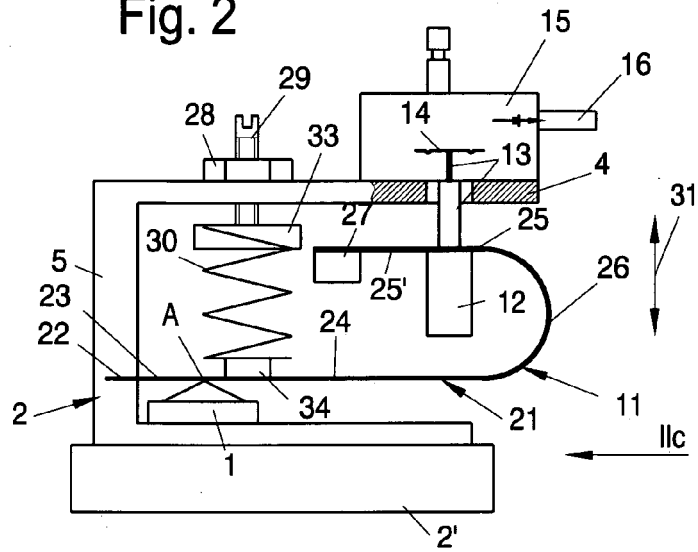


Fig. 3

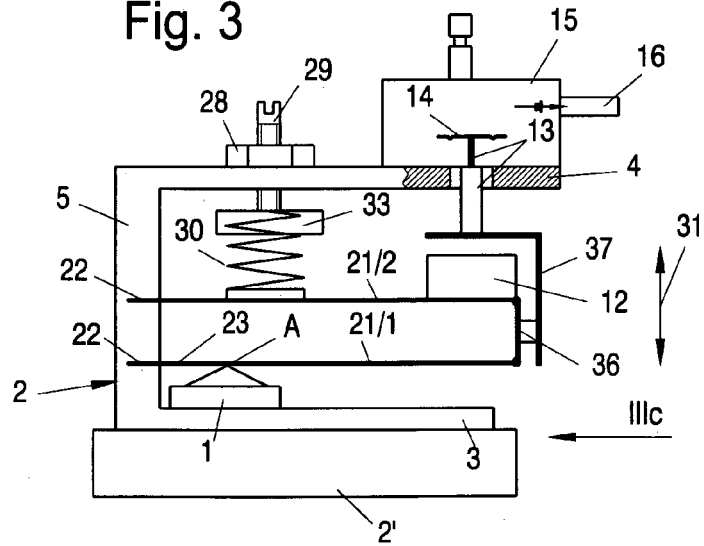


Fig. 4

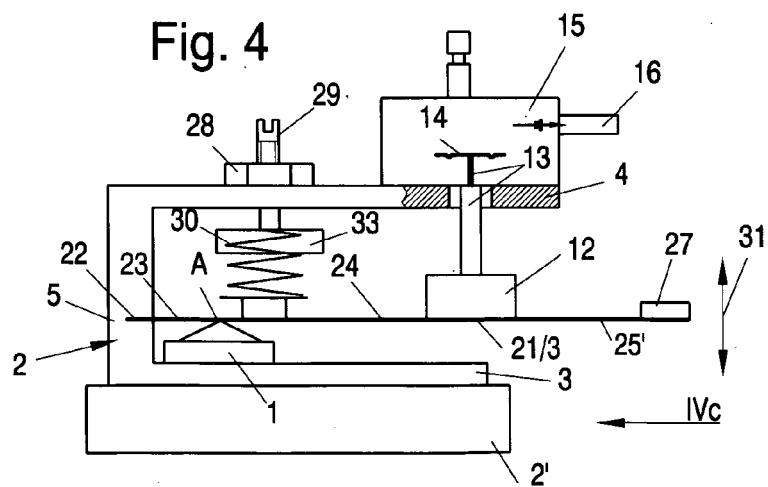


Fig. 2a

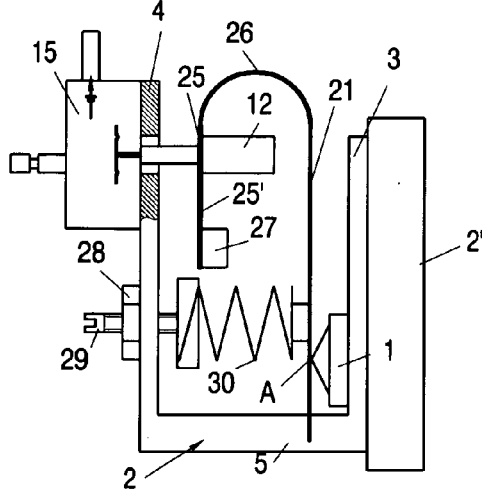


Fig. 2b

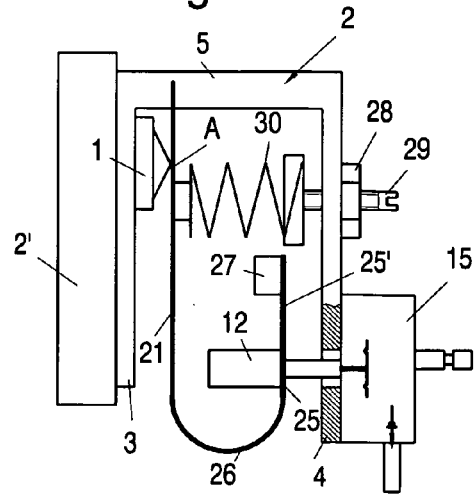


Fig. 3a

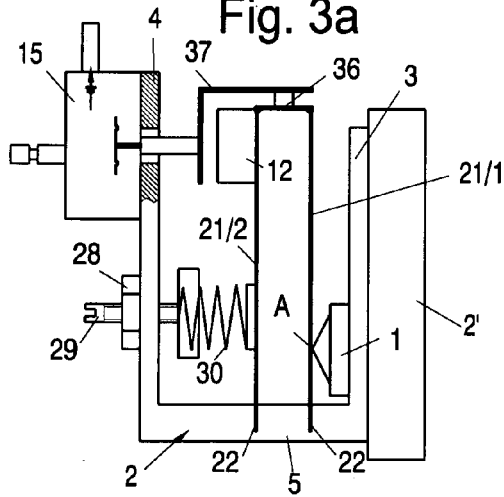


Fig. 3b

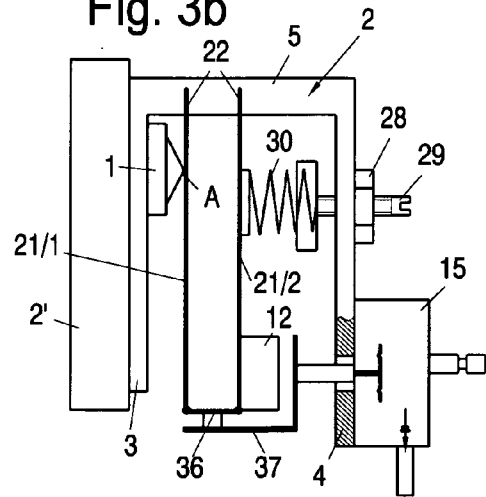


Fig. 4a

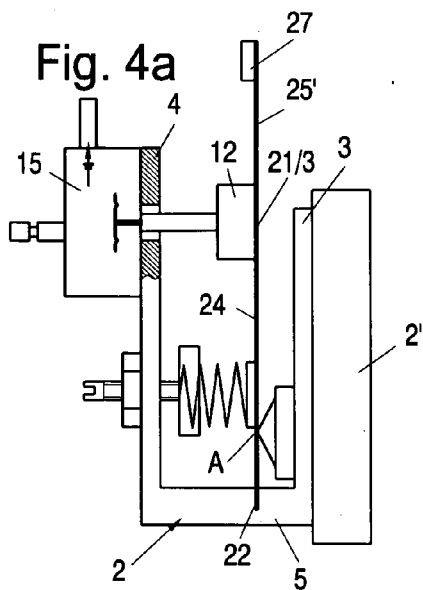


Fig. 4b

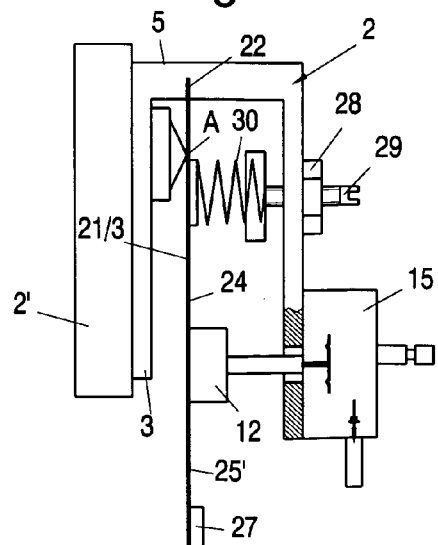


Fig. 2c

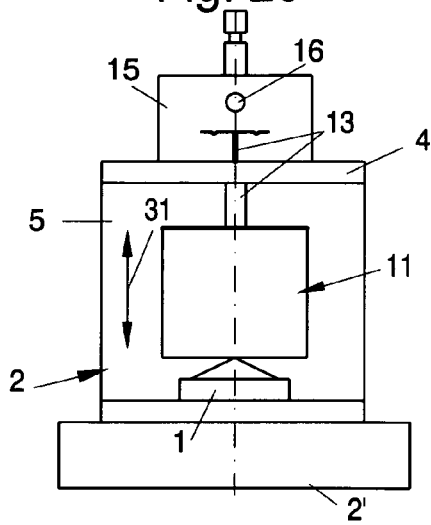


Fig. 2d

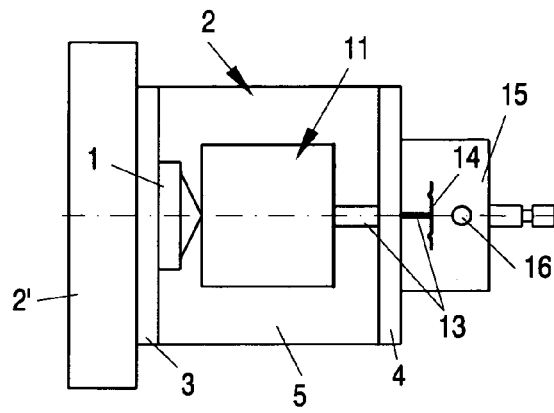


Fig. 3c

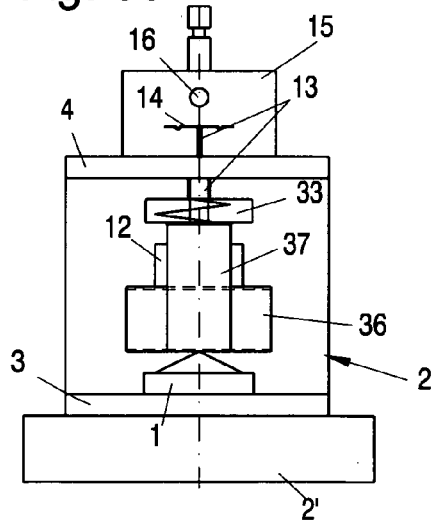


Fig. 3d

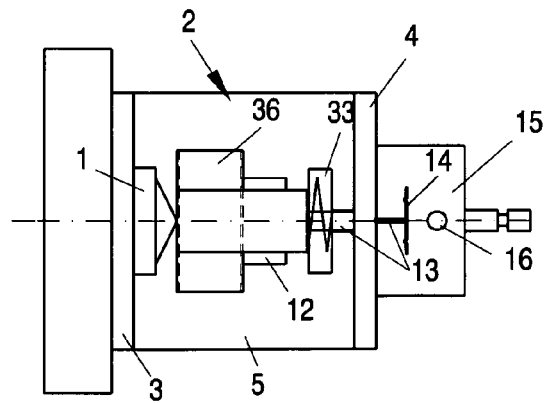


Fig. 4c

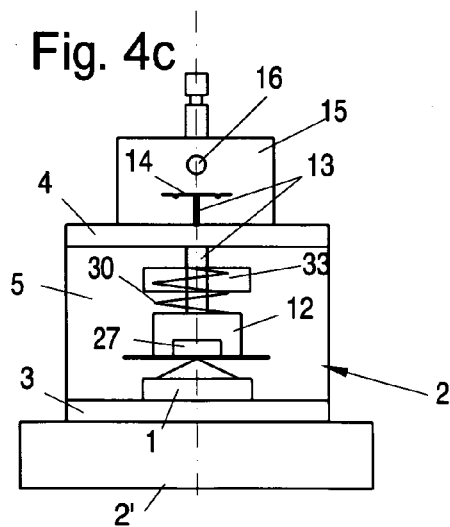


Fig. 4d

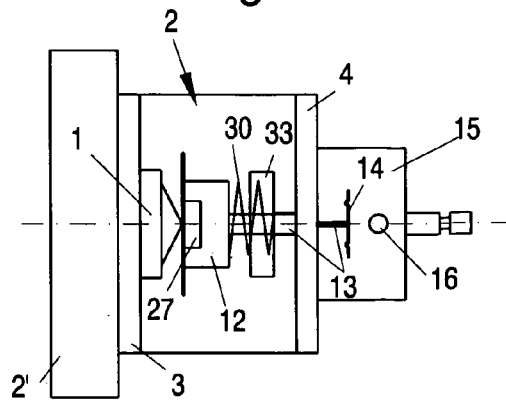


Fig. 5

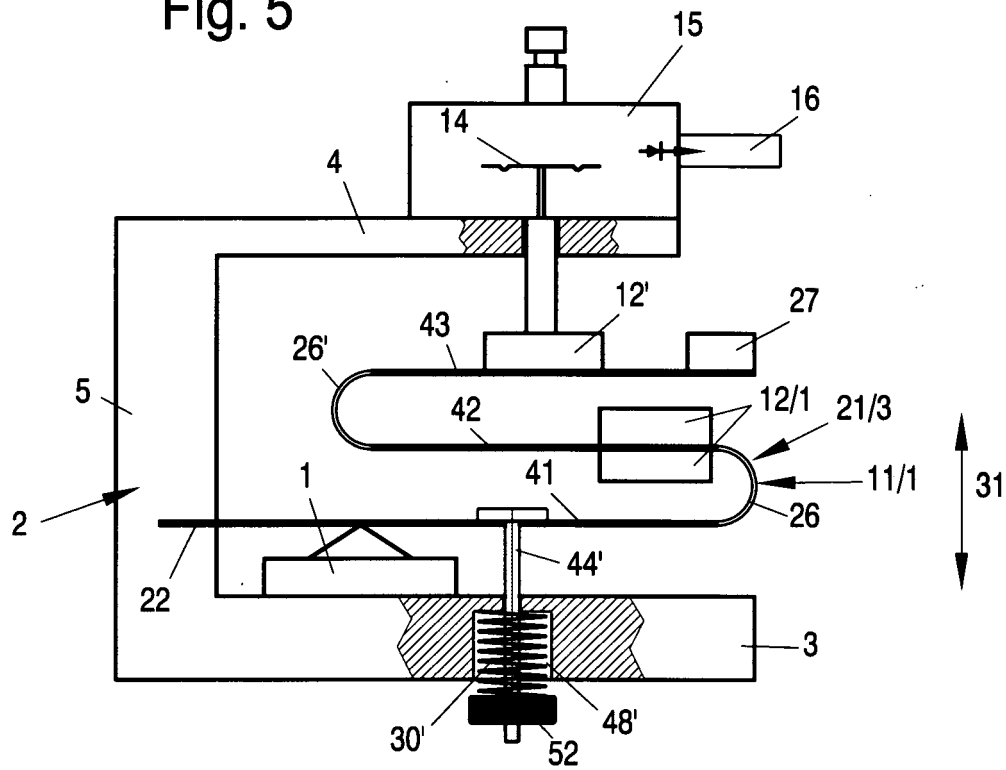
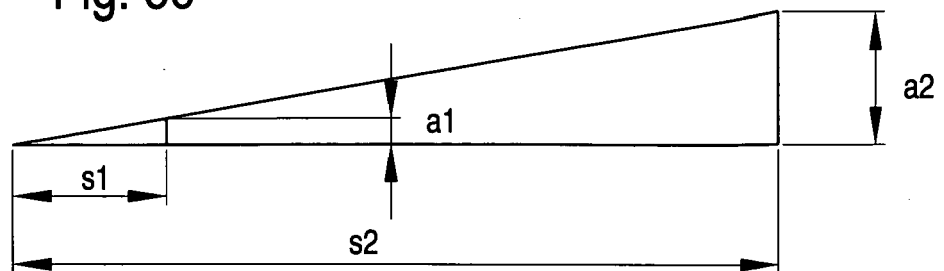


Fig. 5c



$$a2 = \frac{s2 \cdot a1}{s1}$$

Fig. 5a

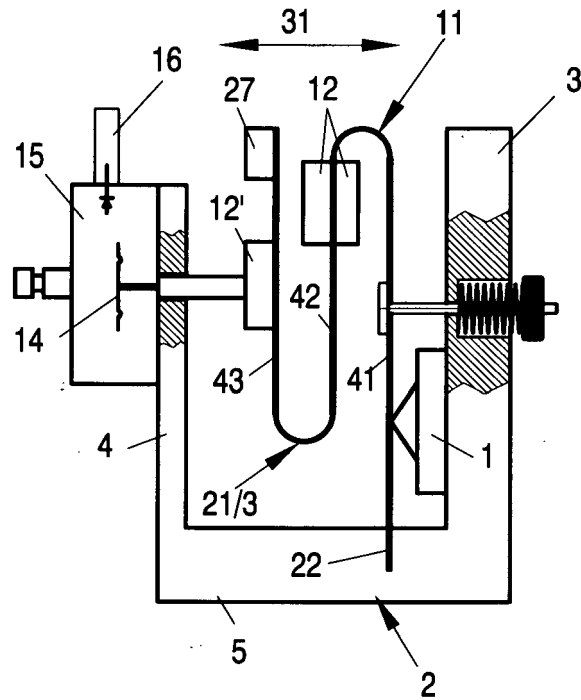


Fig. 5b

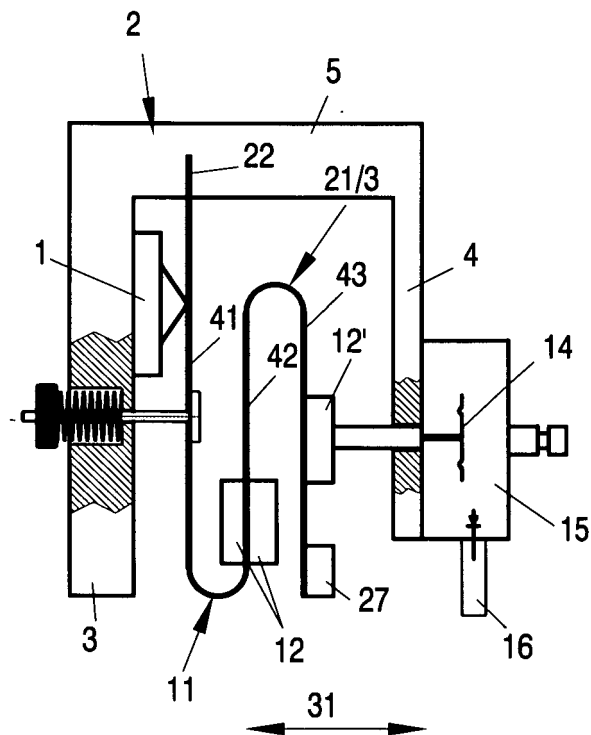


Fig. 6

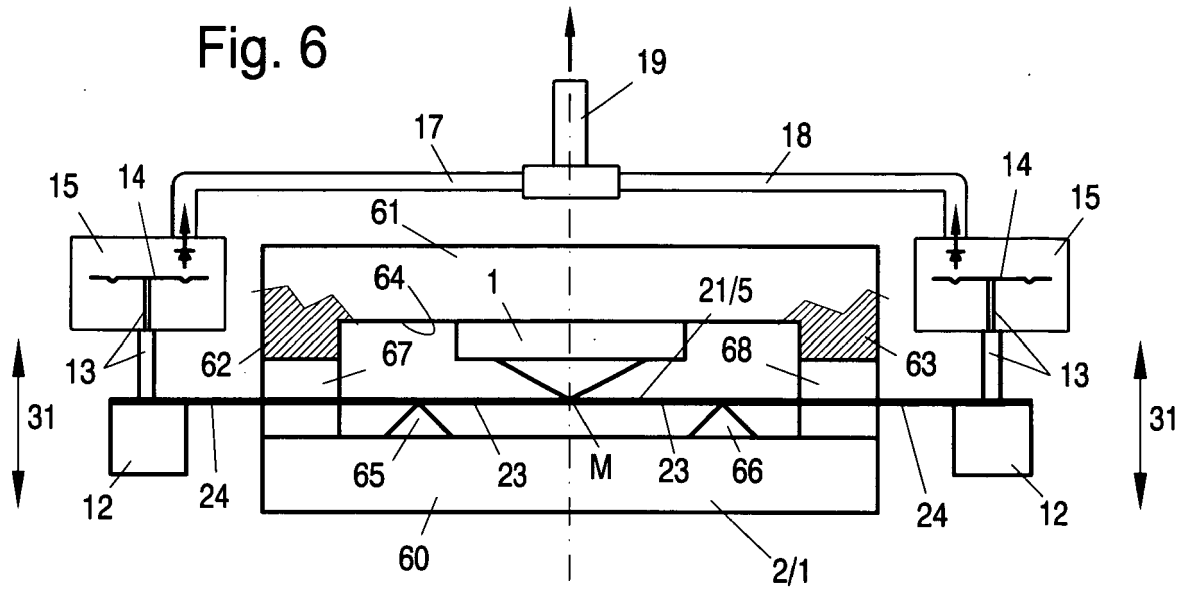


Fig. 7

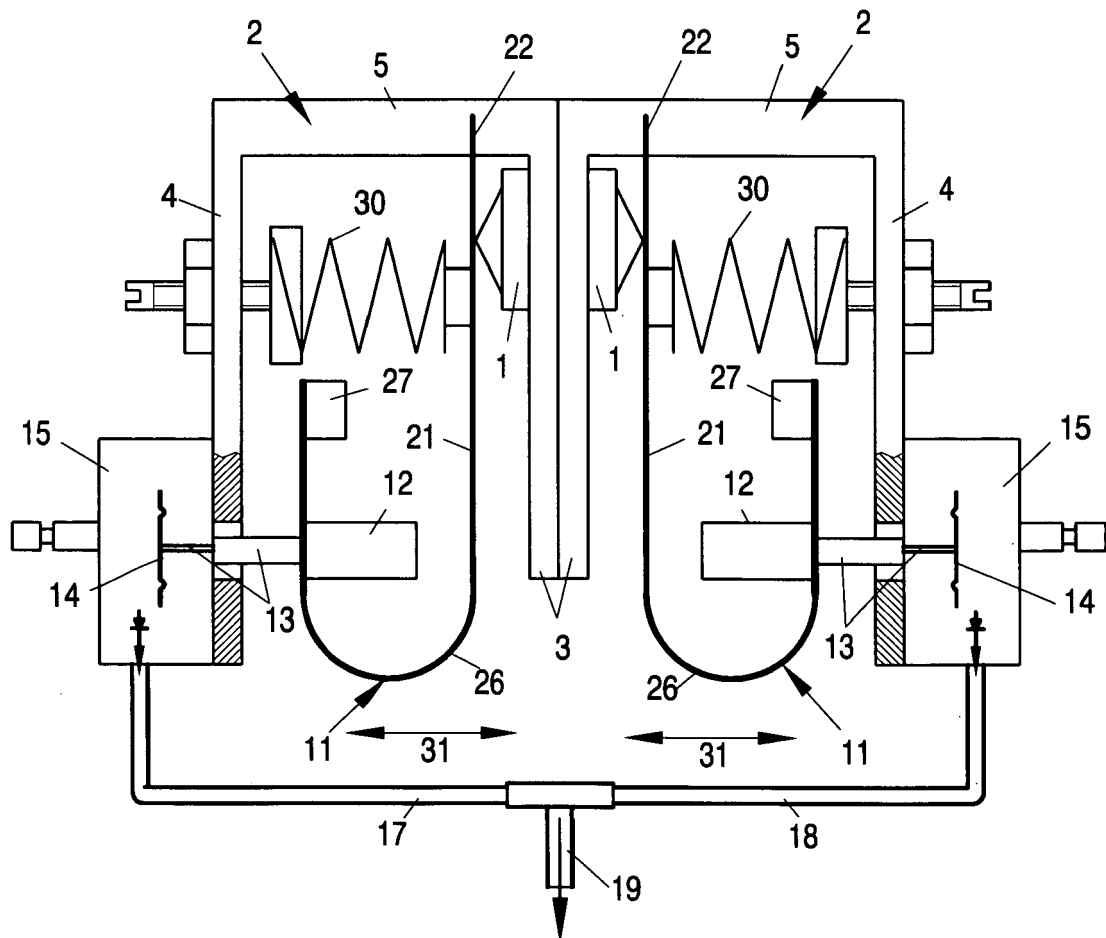


Fig. 9

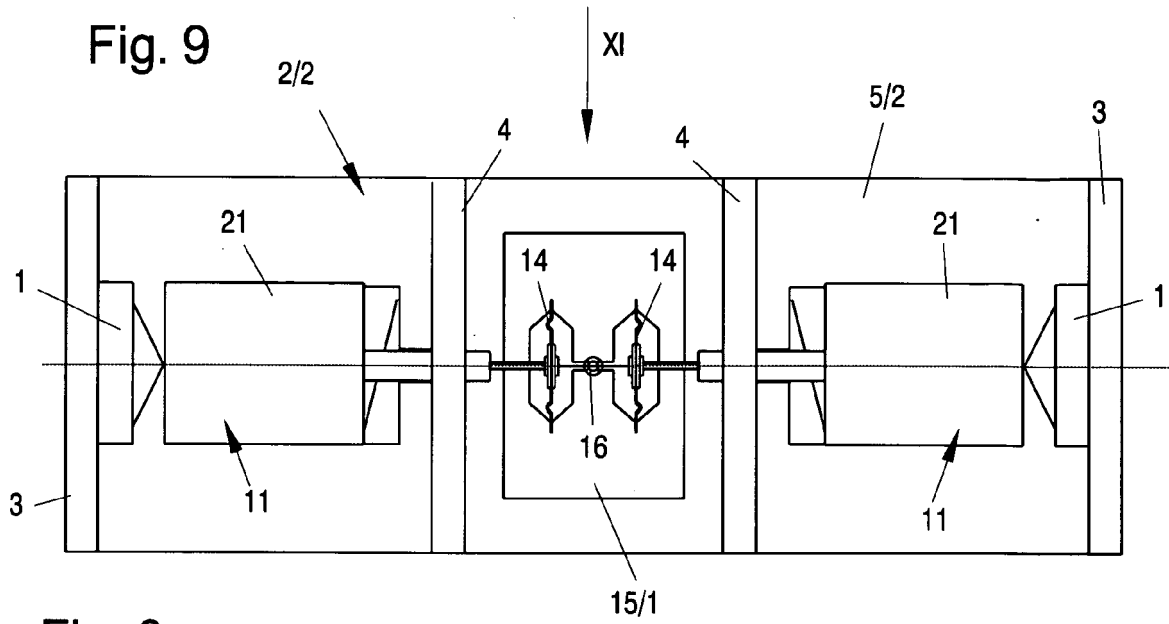


Fig. 8

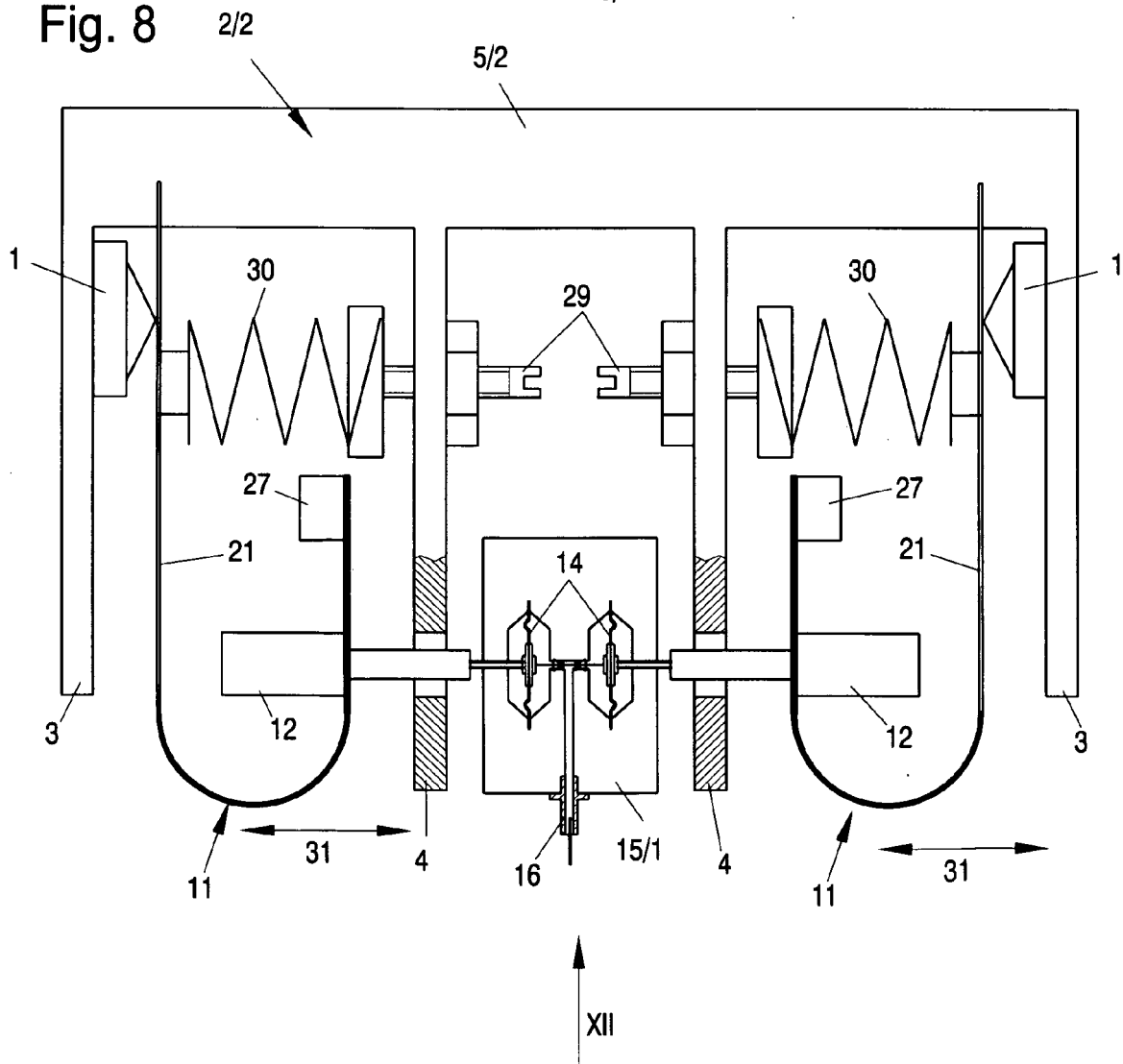


Fig. 10

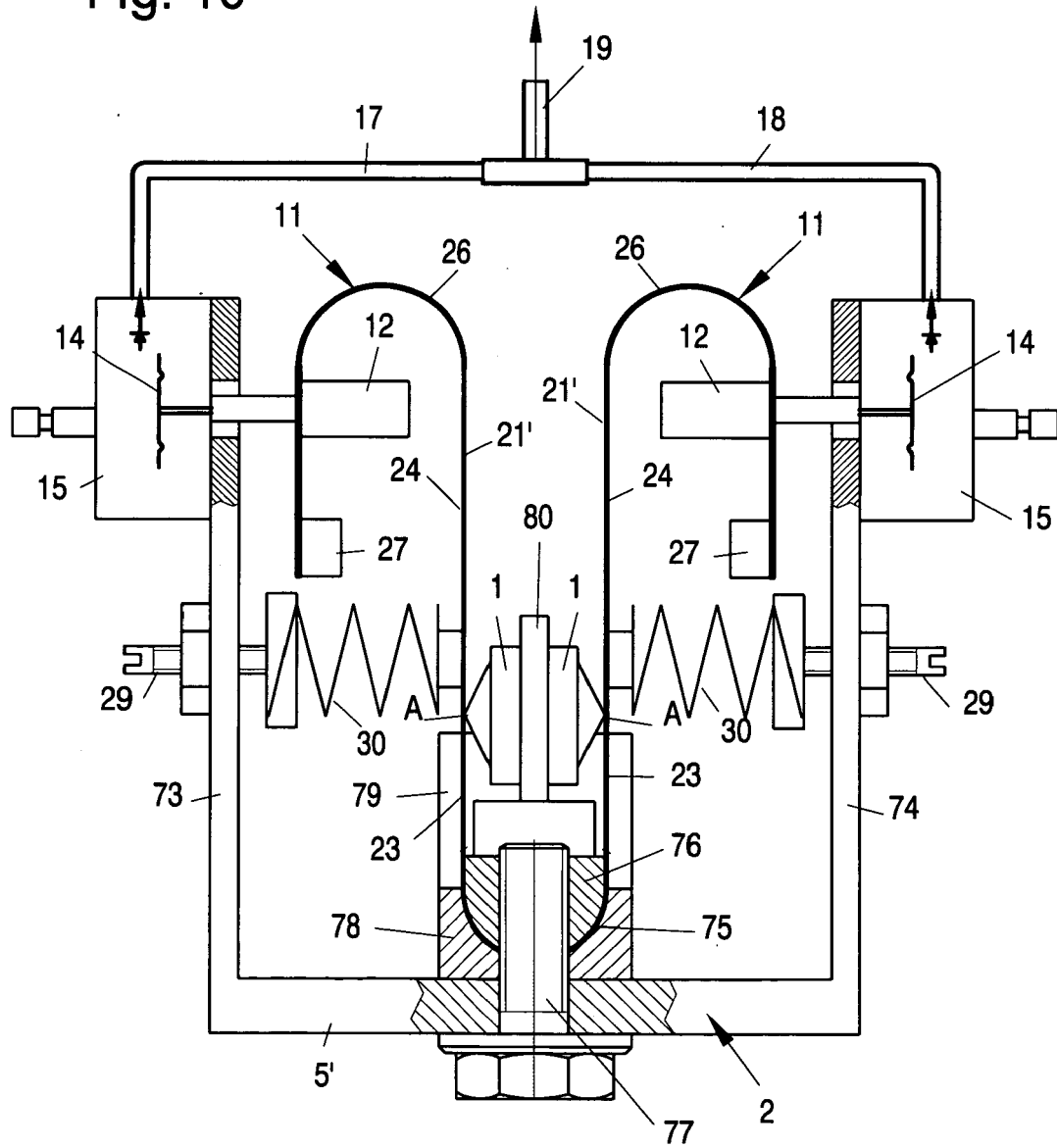
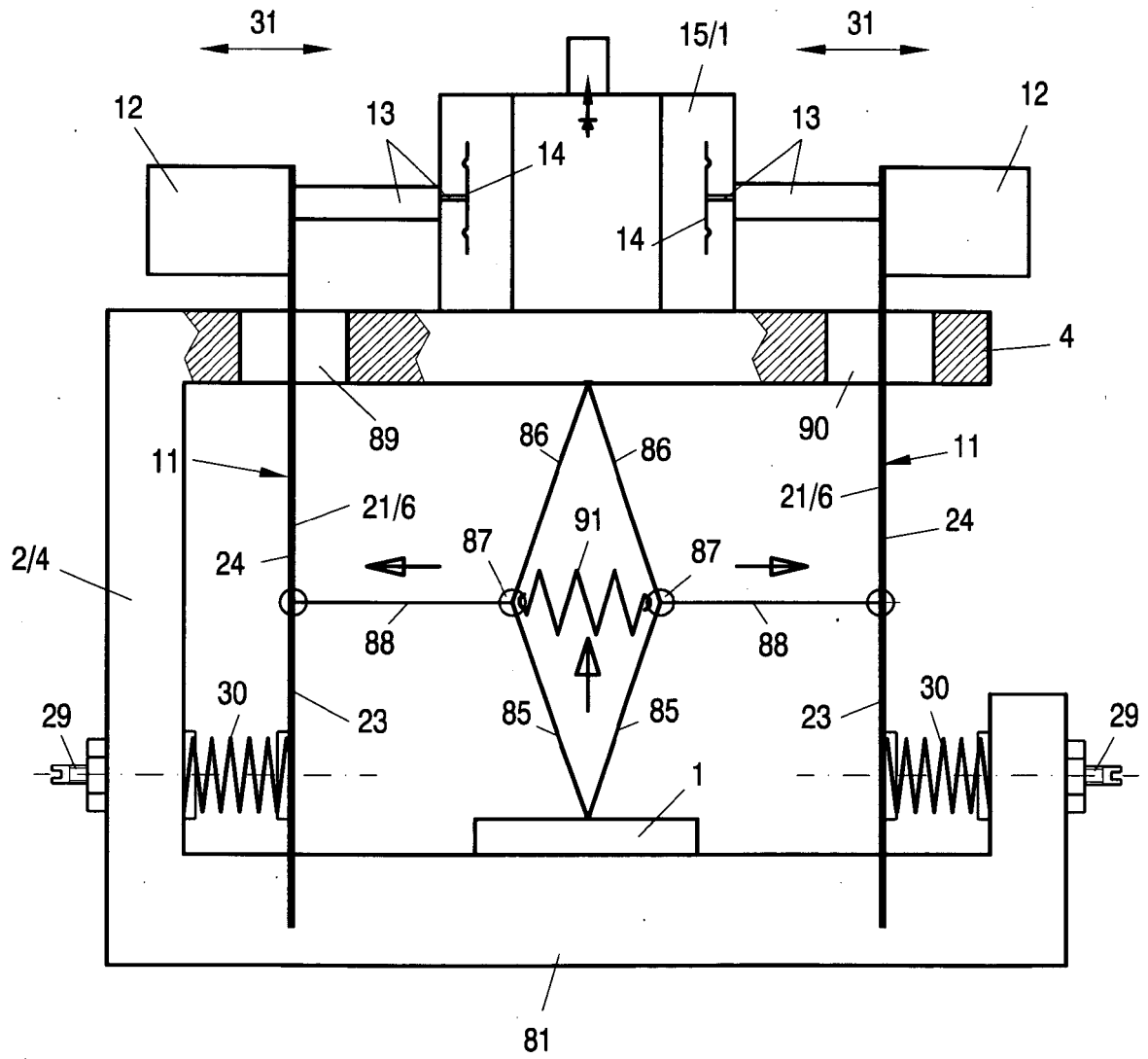


Fig. 11



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

- DE 10234584 B3 [0002]
- EP 1593847 A2 [0006]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- KARL RUSCHMEIER. Piezokeramik [0011]