

(19)



(11)

EP 3 026 680 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
29.04.2020 Patentblatt 2020/18

(51) Int Cl.:
H01F 1/44 ^(2006.01) **H01L 41/12** ^(2006.01)
H01F 7/16 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15193019.5**

(22) Anmeldetag: **04.11.2015**

(54) LINEARAKTOR UND DESSEN VERWENDUNG

LINEAR ACTUATOR AND USE OF SAME

ACTIONNEUR LINÉAIRE ET SON UTILISATION

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **10.11.2014 DE 102014222832**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
01.06.2016 Patentblatt 2016/22

(73) Patentinhaber: **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.**
80686 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Böse, Holger**
97080 Würzburg (DE)
• **Ehrlich, Johannes**
97355 Wiesenbronn (DE)

• **Darwiche, Rabih**
81925 München (DE)

(74) Vertreter: **Pfenning, Meinig & Partner mbB**
Patent- und Rechtsanwälte
Theresienhöhe 11a
80339 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 2 239 837 DE-A1-102007 028 663
DE-A1-102012 202 418 US-A1- 2009 045 042

• **SHUNTA KASHIMA ET AL: "Novel Soft Actuator Using Magnetorheological Elastomer", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, Bd. 48, Nr. 4, 1. April 2012 (2012-04-01), Seiten 1649-1652, XP011436708, ISSN: 0018-9464, DOI: 10.1109/TMAG.2011.2173669**

EP 3 026 680 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 einen Linearaktor, der mindestens einen magnetischen Elastomer-Komposit aus einem Elastomer und magnetisierbaren Partikeln sowie ein inneres und ein äußeres Magnetjoch sowie mindestens eine Spule und/oder mindestens einen Permanentmagneten oder mindestens einen schaltbaren Hartmagneten zur Erzeugung von mindestens einem Magnetkreis, der eine Unterbrechung aufweist, enthält. Der Linearaktor findet Verwendung zum gesteuerten Bewegen, Verstellen oder Justieren unterschiedlichster Gegenstände sowie zur Erzeugung von Bewegung in Robotern sowie für haptisch fühlbare Elemente.

[0002] In vielen technischen Systemen soll eine Linearbewegung über eine relativ kleine Entfernung elektrisch gesteuert werden. Eine solche Anforderung tritt beispielsweise beim Verstellen von Klappen oder von optischen Elementen wie Spiegeln oder Leuchtelementen auf. Ein weiterer Einsatzfall für solche Linearantriebe für kurze Distanzen betrifft das Verriegeln oder Entriegeln von Türen, Fenstern, etc. Auch in der Robotik treten solche Linearbewegungen auf, wenn etwa ein Objekt gegriffen und anschließend positioniert werden soll (Pick and Place). Schließlich werden vermehrt Aktoren für Mensch-Maschine-Schnittstellen mit haptischer Rückmeldung gewünscht, bei denen mit den Fingern auf einer Bedienoberfläche eine Bewegung erspürt werden kann, die dem Benutzer eine Information z. B. über eine erfolgreiche Eingabe vermittelt.

[0003] Für diese Anwendungsfälle werden Aktoren benötigt, die eine Linearbewegung über einen relativ kurzen Weg von einigen Millimetern oder Zentimetern ausführen. In der Regel soll der zurückzulegende Weg der Bewegung flexibel vorgegeben und präzise ausgeführt werden können. Der Hub eines solchen Linearaktors soll damit elektrisch gesteuert werden.

[0004] Zum Verstellen von Spiegeln oder Klappen werden in der Regel Elektromotoren eingesetzt, die zunächst eine Rotationsbewegung erzeugen, die anschließend über ein Getriebe in eine Linearbewegung übersetzt wird. Dies verlangt einen relativ hohen technischen Aufwand für eine verhältnismäßig einfache Bewegung. Eine Alternative besteht in der Verwendung von elektromagnetischen Aktoren (Voice Coil). Diese sind jedoch schwer steuerbar und damit in ihrer Positioniergenauigkeit begrenzt. Piezoaktoren können zwar sehr präzise positionieren und dabei auch große Kräfte erzeugen, doch sind die Stellwege für die genannten Anwendungsfälle zu klein. Um Piezoaktoren dafür nutzen zu können, müssen Stellwegsvergrößerer integriert werden, was den Aufwand deutlich erhöht. Außerdem sind Piezoaktoren allein schon teuer und benötigen zudem relativ hohe elektrische Ansteuerspannungen.

[0005] Aufgrund dieser Situation besteht ein hoher Bedarf an neuen Aktoren, die die genannte Aufgabe einer präzise gesteuerten Linearbewegung über eine Distanz von einigen Millimetern oder Zentimetern erfüllen können. Die vorliegende Erfindung löst die Aufgabe mit Hilfe von magnetisch steuerbaren Materialien, sogenannten magnetoaktiven Polymeren.

[0006] Magnetoaktive Polymere (MAP) sind Kompositmaterialien aus einer Elastomermatrix, die mit magnetischen oder magnetisierbaren Partikeln gefüllt ist. Aus diesem Grund werden sie im Folgenden magnetische Elastomerkomposite genannt. Beim Anlegen eines Magnetfeldes kommt es einerseits zu einer reversiblen Versteifung des Materials. Andererseits entsteht im Magnetfeld eine Verformung des magnetischen Elastomerkomposits entlang der Feldlinien. Wird im Luftspalt zwischen zwei Magnetjochteilen ein Magnetfeld erzeugt, so zieht sich ein magnetischer Elastomerkomposit, der im unmagnetisierten Zustand den Spalt nicht überbrückt, in die Länge, so dass nun eine Überbrückung erfolgt. Dieser Effekt ist bereits bekannt.

[0007] Für die Realisierung eines Linearaktors ist diese Bewegung infolge der Verformung aber nicht gut geeignet, da durch die Magnetjochteile beide Seiten des magnetischen Elastomerkomposits nicht zugänglich sind und die Bewegung schlecht kontrolliert werden kann. Weiterhin ist bekannt, dass sich ein ringförmiger magnetischer Elastomerkomposit in einem innen oder außen liegenden Ringspalt zwischen einem Innen- und einem Außenjoch eines Magnetkreises radial ausdehnen und damit den Ringspalt verschließen kann. Auf diese Weise lassen sich ringförmige Ventile realisieren. Eine andere Nutzung dieser Radialausdehnung von magnetischen Elastomerkompositen im Magnetfeld besteht in elektrisch steuerbaren Feststell- und Lösevorrichtungen. Eine solche Vorrichtung wird in der Patentschrift DE 2012 202 418 beschrieben.

[0008] Die DE 10 2007 028 663 A1 betrifft Komposite aus einem elastischen und/oder thermoplastisch-elastischen Trägermedium und hartmagnetischen Partikeln, die in einem Magnetfeld polarisiert werden, wobei nach dem Abschalten des Magnetfeldes eine Magnetisierung zurückbleibt.

[0009] In Shunta Kashima et al.: "Novel Soft Actuator Using Magnetorheological Elastomer" (IEEE Transactions on Magnetism, Vol. 48, No. 4, Seiten 1649-1652) werden weiche Aktoren beschrieben, die magnetorheologische Elastomere verwenden. Zunächst werden Materialeigenschaften im Magnetisierungsprozess und zur Magnetisierung des magnetischen Elastomers beitragende Hauptfaktoren gezeigt. Im Weiteren wird ein Aktor vorgeschlagen, welcher ein magnetorheologisches Elastomer kombiniert mit einem eingebetteten Elektromagneten enthält. Der Magnetkreis bei angelegtem Strom sowie sein Funktionsprinzip werden erklärt. Schließlich werden die statischen und dynamischen Bewegungen und die dynamische Belastung des Aktors mit Hilfe eines experimentellen Prototypen und einer Messanordnung bestimmt.

[0010] Die EP 2 239 837 A1 beschreibt einen Aktor, der sich flexibel und weich wie Muskeln bewegen kann, stabil über eine lange Zeitspanne betrieben werden kann, eine starke Antriebskraft generieren kann, eine vorteilhafte Empfindlichkeit und eine hohe Energieumwandlungseffizienz aufweist. Eine Spule ist eingebettet in ein magnetisches Elastomer, welches durch Mischen eines Pulver-artigen ferromagnetischen oder hochmagnetischen permeablen Materials mit einem Elastomer erhalten wird, so dass die Spule elektrisch verbunden werden kann. Durch das elektrische Verbinden der Spule wird ein magnetisches Feld in der Spule und um die Spule herum generiert. Das magnetische Feld dringt in das magnetische Elastomer ein. Wenn das magnetische Feld in dem magnetischen Elastomer generiert wird, wirkt eine Deformationskraft auf das magnetische Elastomer, indem die magnetische Kraft auf jeden Abschnitt des magnetischen Elastomers wirkt. Auf diese Weise kann eine Antriebskraft erhalten werden.

[0011] Mit den aus dem Stand der Technik bekannten Verformungsmechanismen von magnetischen Elastomerkompositen im Magnetfeld lassen sich keine präzise steuerbaren Linearbewegungen erzeugen.

[0012] Ausgehend hiervon war es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Linearaktor bereitzustellen, mit dem eine präzise steuerbare Linearbewegung ausführbar ist, wobei der zurückzulegende Weg flexibel vorgebbbar und präzise ausführbar sein soll, so dass der Hub des Linearaktors elektrisch steuerbar ist.

[0013] Diese Aufgabe wird durch den Linearaktor mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die weiteren abhängigen Ansprüche zeigen vorteilhafte Weiterbildungen auf. Erfindungsgemäße Verwendungen werden in den Ansprüchen 14 und 15 angegeben.

[0014] Erfindungsgemäß wird ein Linearaktor enthaltend mindestens einen magnetischen Elastomer-Komposit, der mindestens ein Elastomer und magnetisierbare Partikel enthält, bereitgestellt. Weiterhin enthält der Linearaktor ein inneres und ein äußeres Magnetjoch sowie mindestens eine Spule und/oder mindestens einen Permanentmagneten oder mindestens einen schaltbaren Hartmagneten zur Erzeugung von mindestens einem Magnetkreis, der eine Unterbrechung aufweist. Der magnetische Elastomer-Komposit ist dabei bei Anlegen oder Ändern des Magnetfeldes derart verformbar, dass eine lineare Aktorbewegung ausgelöst wird und die Distanz der Aktorbewegung durch die Stärke des Magnetfeldes kontinuierlich und/oder reversibel steuerbar ist.

[0015] Die Erfindung stellt daher einen Linearaktor bereit, der eine solche präzise steuerbare Linearbewegung ermöglicht. Hierzu wird ein Linearaktor mit einem speziellen Magnetkreis beschrieben, bei dem ein magnetischer Elastomerkomposit von dem auf einer Seite liegenden Magnetkreis angezogen wird, während die andere Seite des magnetischen Elastomerkomposits frei zugänglich ist. Durch die magnetische Anziehung verformt sich der magnetische Elastomerkomposit, wobei die Verformung und damit auch der Aktorstellweg mit zunehmender Magnetfeldstärke oder magnetischer Flussdichte ansteigen. Beim Abschalten des Magnetfeldes oder bei Reduzierung der Magnetfeldstärke verformt sich der magnetische Elastomerkomposit zurück. Dabei wirkt das Elastomer wie eine inhärente Rückstellfeder.

[0016] Der magnetische Elastomerkomposit kann in dem Linearaktor verschiedene Formen einnehmen.

[0017] Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass der magnetische Elastomer-Komposit scheibenförmig ist und das Magnetfeld im Wesentlichen senkrecht zu dessen Grundfläche ausgerichtet wird und die Verformung des magnetischen Elastomer-Komposits in Form einer Wölbung des magnetischen Elastomer-Komposits die Richtung der Aktorbewegung vorgibt. Der scheibenförmige magnetische Elastomerkomposit ist dabei beispielsweise mit einem weitgehend geschlossenen zylindrischen Magnetkreis aus einer Spule, einem Innen- und einem Außenjoch verbunden. Dabei steht das Außenjoch, auf dem der magnetische Elastomerkomposit aufliegt, hervor. Beim Einschalten des Magnetfeldes wird der Mittelteil des magnetischen Elastomerkomposits vom Innenjoch angezogen, wodurch die Verformung entsteht. Beim Abschalten des Magnetfeldes erfolgt eine Rückverformung des scheibenförmigen magnetischen Elastomerkomposits. Die Stärke des Magnetfeldes bestimmt den Grad der Verformung.

[0018] In einer anderen bevorzugten Ausführungsform steht das Innenjoch hervor und der magnetische Elastomer-Komposit liegt darauf auf. In diesem Fall wird beim Einschalten des Magnetfeldes der Außenteil des magnetischen Elastomerkomposits vom Außenjoch angezogen, wodurch eine entsprechende Verformung entsteht. Beim Abschalten des Magnetfeldes erfolgt auch hier eine Rückverformung des scheibenförmigen magnetischen Elastomerkomposits. Die Stärke des Magnetfeldes bestimmt wiederum den Grad der Verformung.

[0019] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass der magnetische Elastomer-Komposit im Wesentlichen scheibenförmig ist und zum Zentrum der Scheibe hin eine größere oder kleinere Scheibendicke aufweist, insbesondere in Form einer Wölbung nach außen oder innen auf der dem inneren Joch zugewandten Seite, wobei sich die Scheibendicke stetig oder stufenweise ändert. Dabei ist es bevorzugt, dass das innere Joch eine zur Scheibenform im Wesentlichen korrespondierende konkave oder konvexe Wölbung aufweist. Durch die Formanpassung zwischen dem Elastomer-Komposit und dem inneren Joch wird die Aktuationskraft verstärkt.

[0020] Es ist weiter bevorzugt, dass der magnetische Elastomer-Komposit mit mindestens einem mechanischen und/oder hydraulischen Element, insbesondere ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus einer Stange, einem Stempel, einem Faden, einer hydraulischen Flüssigkeit, einem mit Flüssigkeit oder Gas gefüllten Sack sowie Kombinationen hiervon, gekoppelt ist, über die die Verformung in eine lineare Bewegung des Linearaktors übertragbar ist.

[0021] Vorzugsweise weist der Linearaktor eine Spule oder eine Spule und einen Permanentmagneten oder eine Spule und einen schaltbaren Hartmagneten auf.

[0022] Der magnetische Elastomerkomposit enthält vorzugsweise als Matrixmaterial mindestens ein Elastomer, das bevorzugt ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Silicon, Fluorsilicon, Polyurethan (PUR), Polynorbornen, Naturkautschuk (NR), Styrol-Butadien (SBR), Isobutylen-Isopren (IIR), Ethylen-Propylen-Dien-Terpolymer (EPDM/EPM), Poly-Chlorbutadien (CR), Chlorsulfoniertes Polyethylen (CSM), Acrylnitril-Butadien (NBR), Hydriertes Acrylnitril-Butadien (HNBR), einen Fluorkautschuk wie Viton, ein thermoplastisches Elastomer wie thermoplastische Styrol-Copolymere (Styrol-Butadien-Styrol-(SBS-), Styrol-Ethylen-Butadien-Styrol- (SEBS-), Styrol-Ethylen-Propylen-Styrol-(SEPS-), Styrol-Ethylen-Ethylen-Propylen-Styrol- (SEEPS-) oder Styrol-Isopren-Styrol-(SIS-) Copolymer), teilvernetzte Blends auf Polyolefin-Basis (aus Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk und Polypropylen (EPDM/PP), aus Nitril-Butadien-Kautschuk und Polypropylen (NBR/PP) oder aus Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk und Polyethylen(EPDM/PE)) oder thermoplastische Urethan-Copolymere (aromatisches Hartsegment und Ester-Weichsegment (TPU-ARES), aromatisches Hartsegment und Ether-Weichsegment (TPU-ARET) oder aromatisches Hartsegment und Ester/Ether- Weichsegment (TPU-AREE)) sowie Mischungen, Blends oder Legierungen hiervon.

[0023] Als magnetische Partikel werden bevorzugt Partikel ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Eisen, insbesondere Carbonyleisen, Cobalt, Nickel, Eisenlegierungen, insbesondere Eisen-Cobalt-Legierungen oder Eisen-Nickel-Legierungen, Eisenoxiden, insbesondere Magnetit oder Ferrit, bevorzugt Manganzinkferrit, Aluminium-Nickel-Cobalt-Legierungen und Mischungen hiervon ausgewählt. Die mittlere Größe der magnetischen Partikel beträgt vorzugsweise unter 100 μm .

[0024] Bei einer weiteren erfindungsgemäßen Variante enthält der erfindungsgemäße magnetische Elastomer-Komposit vorzugsweise sich von den magnetisierbaren Partikeln unterscheidende magnetisierbare Elemente bzw. Formkörper, wobei die Größe der Elemente bzw. Formkörper die Größe der Partikel bevorzugt um den Faktor 10, besonders bevorzugt um den Faktor 100 übersteigt. Diese magnetisierbaren Elemente verstärken die magnetischen Anziehungskräfte auf den magnetischen Elastomerkomposit. Alternativ können auch mehrere oder viele magnetisierbaren Elemente in oder an dem magnetischen Elastomerkomposit befestigt sein. Der oder die magnetisierbaren Elemente können aus weichmagnetischen Materialien, insbesondere Eisen, bevorzugt Carbonyleisen, Cobalt, Nickel, Eisenlegierungen, bevorzugt Eisen-Cobalt-Legierungen oder Eisen-Nickel-Legierungen, Eisenoxiden, bevorzugt Magnetit oder Ferrit, besonders bevorzugt Manganzinkferrit, oder hartmagnetischen Materialien, insbesondere Aluminium-Nickel-Cobalt, Neodym-Eisen-Bor oder Samarium-Cobalt oder Mischungen hiervon bestehen.

[0025] Der magnetische Elastomerkomposit kann auch aus einem Faltenbalg mit konzentrischen Falten bestehen. Durch die Entfaltung wird die Verformung im Magnetfeld erleichtert. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass der scheibenförmige magnetische Elastomerkomposit auf einer Seite eine Auswölbung aufweist. Auf diese Weise kommt es zu einer stärkeren magnetischen Anziehung im Magnetfeld. Außerdem kann das Innenjoch und/oder die Spule eine komplementäre Einwölbung aufweisen, in die sich die Auswölbung magnetischen Elastomerkomposits hineinbewegt. Auf diese Weise kann eine stärkere Verformungsbewegung des magnetischen Elastomerkomposits stattfinden.

[0026] Die Verformung des magnetischen Elastomerkomposits im Magnetfeld kann direkt als Linearaktuation genutzt werden. In diesem Fall erfolgt die Aktuation beim Einschalten des Magnetfeldes von der Außenseite des magnetischen Elastomerkomposits betrachtet nach innen. Die Verformungsbewegung kann jedoch durch eine mechanische Übertragung auf die andere Seite des Magnetkreises transferiert werden. Zur Übertragung wird beispielsweise eine Stange oder ein Stempel eingesetzt, die durch das Innenjoch hindurchgeführt wird. Alternativ kann hierfür auch ein hydraulisches Medium verwendet werden, das die Bewegung des magnetischen Elastomerkomposits auf die andere Seite des Magnetkreises überträgt. Die mechanische Übertragung kann alternativ auch durch das Außenjoch erfolgen.

[0027] Das Magnetfeld zum Ansteuern des magnetischen Elastomerkomposits wird in der Regel durch eine Spule erzeugt. Der Magnetkreis kann jedoch auch einen Permanentmagneten enthalten, der ohne elektrische Energie ein Magnetfeld erzeugt. Eine zusätzliche Spule kann dann dieses Magnetfeld wahlweise entweder schwächen oder sogar kompensieren oder verstärken. Durch den Permanentmagneten wird auf diese Weise eine Grundeinstellung des Linearaktors mit einer bestimmten Verformung des magnetischen Elastomerkomposits definiert. Durch die Kompensation des Magnetfeldes des Permanentmagneten durch die Spule wird so das Schaltverhalten gegenüber einem Magnetkreis nur mit Spule umgekehrt. Vorzugsweise besteht der Permanentmagnet aus Neodym-Eisen-Bor oder Samarium-Cobalt.

[0028] Außerdem besteht die Möglichkeit, einen schaltbaren Hartmagneten in den Magnetkreis zu integrieren. In diesem Fall wird der Hartmagnet durch ein kurzzeitig durch die Spule erzeugtes Magnetfeld mit einer bleibenden Magnetisierung versehen. Auf diese Weise wird der magnetische Elastomerkomposit verformt und der Linearaktor bewegt sich in eine definierte Position. Bei dieser Anordnung wird elektrische Energie nur für die Veränderung der Aktorposition benötigt, indem der schaltbare Hartmagnet eine andere Magnetisierung erhält. Vorzugsweise besteht der schaltbare Hartmagnet aus Aluminium-Nickel-Cobalt oder aus einem Ferrit. Bevorzugt werden für den schaltbaren Hartmagneten Materialien mit einer Koerzitivfeldstärke von weniger als 100 kA/m und einer Sättigungsmagnetisierung von mehr als 600 mT.

[0029] Schließlich kann der Linearaktor auch zwei Magnetkreise aufweisen, die elektrisch separat angesteuert werden können. In diesem Fall befindet sich der magnetische Elastomerkomposit vorzugsweise zwischen den beiden Magnetkreisen und kann wahlweise von dem einen oder dem anderen Magnetkreis angezogen werden. Da hier keine Zugäng-


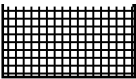

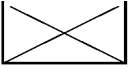

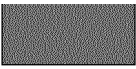
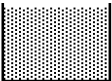
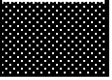

lichkeit von außen vorliegt, wird die Bewegung des magnetischen Elastomerkomposits durch die bereits dargestellte mechanische oder hydraulische Übertragung nach außen transferiert werden.

[0030] In einer weiteren Ausführungsform kann der magnetische Elastomerkomposit dazu verwendet werden, eine Eigenschaftsänderung durch eine lineare Aktorbewegung zu steuern, wobei diese Eigenschaftsänderung beispielsweise eine Änderung einer Oberflächenstruktur zur Folge hat. Die Änderung der Struktur der zumindest einen Oberfläche bewirkt, dass sich die Oberfläche in eine Bedienfläche umwandelt. Durch ein Aktivierungssignal wird über eine Spule ein Magnetfeld erzeugt, wobei infolgedessen der magnetische Elastomerkomposit in seiner Form verändert und eine Bedienfläche sichtbar wird. Durch die Deaktivierung des Magnetfeldes geht der magnetische Elastomerkomposit wieder in seine Ausgangsform zurück, wobei sich die Bedienfläche wieder in die anfängliche Oberfläche umwandelt. Damit sind reversibel formbare Oberflächen zur Abdeckung von zum Beispiel Schaltern, Sensoren, Bedienelementen usw. möglich.

[0031] Die erfindungsgemäßen Linearaktoren finden Verwendung zum gesteuerten Bewegen, Verstellen oder Justieren von Klappen, Türen, Spiegeln, optischen Elementen, insbesondere Strahlungsquellen. Ebenso können die Linearaktoren zur Erzeugung von Bewegungen in Robotern sowie für haptisch fühlbare Elemente dienen.

[0032] Anhand der in den nachfolgenden Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele soll der erfindungsgemäße Gegenstand näher erläutert werden, ohne diesen auf die hier gezeigten spezifischen Ausführungsformen einschränken zu wollen.

[0033] In der folgenden Legende sind die in den einzelnen Figuren dargestellten Komponenten bezeichnet.

Figurenkomponente	Bezeichnung	Bezugszeichen
	Magnetischer Stahl, Jochteil	1
	Hydraulisches Medium	2
	Magnetischer Elastomerkomposit	3
	Spule, Elektromagnet	4
	Magnetfeld	5
	Permanentmagnet	6
	Unmagnetisierter Hartmagnet	7
	Magnetisierter Hartmagnet	8
	Nicht-magnetisches Material	9

[0034] Die Figuren zeigen:

Fig. 1 einen Linearaktor mit Verformung von magnetischem Elastomerkomposit im Magnetfeld

- Fig. 2 einen Linearaktor mit Verformung von magnetischem Elastomerkomposit im Magnetfeld, wobei das Innenjoch länger als das Außenjoch ist und sich der magnetische Elastomerkomposit durch die Anziehung zum Außenjoch verformt
- 5 Fig. 3 einen Linearaktor mit Magnetkreis mit Spule und mit Auswölbung auf magnetischem Elastomer-Komposit
- Fig. 4 einen Linearaktor mit Magnetkreis mit Spule und mit Auswölbung auf magnetischem Elastomer-Komposit sowie Einwölbung in Magnetinnenjoch
- 10 Fig. 5 einen Linearaktor mit Verformung von magnetischem Elastomerkomposit im Magnetfeld und Übertragung der Bewegung auf Membran durch hydraulische Flüssigkeit
- Fig. 6 einen Linearaktor mit Verformung von magnetischem Elastomerkomposit im Magnetfeld und Übertragung der Bewegung durch hydraulische Flüssigkeit und Stempel
- 15 Fig. 7 einen Linearaktor mit Verformung von magnetischem Elastomerkomposit im Magnetfeld und Übertragung der Bewegung auf Membran durch hydraulische Flüssigkeit; magnetischer Elastomerkomposit enthält magnetischen Formkörper
- 20 Fig. 8 einen Linearaktor mit Verformung von magnetischem Elastomerkomposit im Magnetfeld und Übertragung der Bewegung durch hydraulische Flüssigkeit und Stempel; magnetischer Elastomerkomposit enthält magnetischen Formkörper
- Fig. 9 einen Linearaktor mit magnetischem Elastomerkomposit als Faltenbalg, der sich durch das Magnetfeld entfaltet; Übertragung der Bewegung auf Membran durch hydraulische Flüssigkeit
- 25 Fig. 10 einen Linearaktor mit magnetischem Elastomerkomposit als Faltenbalg, der sich durch das Magnetfeld entfaltet; Übertragung der Bewegung durch hydraulische Flüssigkeit und Stempel
- 30 Fig. 11 einen Linearaktor mit Elektromagnet und schaltbarem Hartmagnet in Magnetkreis; Verformung von magnetischem Elastomerkomposit im Magnetfeld und Übertragung der Bewegung auf Membran durch hydraulische Flüssigkeit
- Fig. 12 einen Linearaktor mit Elektromagnet und schaltbarem Hartmagnet in Magnetkreis; Verformung von magnetischem Elastomerkomposit im Magnetfeld und Übertragung der Bewegung durch hydraulische Flüssigkeit und Stempel
- 35 Fig. 13 einen Linearaktor mit Elektromagnet und Permanentmagnet in Magnetkreis; Verformung von magnetischem Elastomerkomposit im Magnetfeld
- 40 Fig. 14 einen Linearaktor mit Auswölbung von magnetischem Elastomerkomposit und Einwölbung von Magnetkreis einschließlich Elektromagnet auf der zum magnetischen Elastomerkomposit hinweisenden Seite; Übertragung der Bewegung durch Stempel
- 45 Fig. 15 einen Linearaktor mit Auswölbung von magnetischem Elastomerkomposit und Einwölbung von Magnetkreis einschließlich Elektromagnet auf der zum magnetischen Elastomerkomposit hinweisenden Seite; magnetischer Elastomerkomposit enthält magnetischen Formkörper; Übertragung der Bewegung durch Stempel.
- 50 Fig. 16 einen Linearaktor, bei dem sich der magnetische Elastomerkomposit zwischen zwei Jochteilen befindet, sich im Magnetfeld ausdehnt und dabei die Bewegung durch einen Stempel durch das Innenjoch nach außen überträgt.

Ausführungsbeispiele

- 55 **[0035]** Das erste Ausführungsbeispiel zeigt einen Linearaktor mit einem Magnetkreis mit einer Spule. Das äußere Joch, auf dem der magnetische Elastomerkomposit aufliegt, ist länger als das innere Joch, wodurch der Magnetkreis zwischen dem inneren Joch und dem scheibenförmigen magnetischen Elastomerkomposit eine Unterbrechung aufweist (Figur 1, links). Beim Anlegen eines Stromes in der Spule wird ein Magnetfeld erzeugt, durch welches der magnetische

Elastomerkomposit vom inneren Joch angezogen wird und sich dabei verformt (Figur 1, rechts). Die Stärke der Verformung ist durch die Stärke des angelegten Magnetfeldes über den Spulenstrom kontinuierlich steuerbar. Beim Abschalten des Magnetfeldes formt sich der magnetische Elastomerkomposit wieder in seine Ausgangsform zurück.

[0036] Im zweiten Ausführungsbeispiel ist das äußere Joch kürzer als das innere Joch. Dadurch liegt der scheibenförmige magnetische Elastomerkomposit auf dem inneren Joch auf (Figur 2, links). Beim Anlegen des Magnetfeldes wird der magnetische Elastomerkomposit vom äußeren Joch angezogen und verformt sich entsprechend (Figur 2, rechts).

[0037] Das dritte Ausführungsbeispiel zeigt wieder einen Linearaktor mit einem kürzeren Innenjoch. Hier weist der magnetische Elastomerkomposit auf der dem Innenjoch zugewandten Seite eine Auswölbung auf (Figur 3, links). Beim Anlegen des Magnetfeldes wird der magnetische Elastomerkomposit vom Innenjoch mit einer stärkeren Kraft angezogen als ohne Auswölbung. Die Stärke der Verformung ist dagegen durch die Auswölbung eingeschränkt (Figur 3, rechts).

[0038] Im vierten Ausführungsbeispiel weist das Innenjoch eine Einwölbung auf, die sich zur Auswölbung auf dem magnetischen Elastomerkomposit komplementär verhält (Figur 4, links). Beim Anlegen des Magnetfeldes kann deshalb die Auswölbung auf dem magnetischen Elastomerkomposit in die Einwölbung in dem Innenjoch eindringen (Figur 4, rechts).

[0039] Das fünfte Ausführungsbeispiel zeigt einen Linearaktor mit einem kürzeren Innenjoch, das von einem Kanal durchzogen wird, der am oberen Ende durch eine Membran abgedichtet wird. Der Zwischenraum zwischen dem magnetischen Elastomerkomposit und dem Innenjoch sowie der Kanal sind mit einer hydraulischen Flüssigkeit gefüllt (Figur 5, links). Beim Anlegen des Magnetfeldes verformt sich der magnetische Elastomerkomposit in Richtung des Innenjoches und verdrängt dabei die hydraulische Flüssigkeit aus dem Zwischenraum. Die hydraulische Flüssigkeit wird durch den Kanal nach oben gedrückt und verformt dabei die oben anliegende Membran (Figur 5, rechts).

[0040] Im sechsten Ausführungsbeispiel ist der Kanal nur teilweise mit einer hydraulischen Flüssigkeit gefüllt. Über der Flüssigkeitsoberfläche befindet sich eine Stange (Figur 6, links). Beim Anlegen des Magnetfeldes drückt die hydraulische Flüssigkeit die Stange nach oben und aus dem Joch hinaus (Figur 6, rechts).

[0041] Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 7 zeigt wie das fünfte Ausführungsbeispiel einen Linearaktor, bei dem die Verformung des magnetischen Elastomerkomposits durch eine hydraulische Flüssigkeit nach oben übertragen wird. Durch einen auf der Unterseite des magnetischen Elastomerkomposits angebrachten magnetischen Formkörper aus magnetischem Stahl wird die Anziehungskraft auf das Innenjoch stark erhöht. Dadurch steigt auch der auf die hydraulische Flüssigkeit ausgeübte Druck und damit die Aktuationskraft entsprechend.

[0042] Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 8 wird ebenfalls ein magnetischer Formkörper am magnetischen Elastomerkomposit zur Verstärkung der Aktuationskraft angebracht. Hier wird die Kraft jedoch wie im sechsten Ausführungsbeispiel zunächst hydraulisch und dann über eine Stange übertragen.

[0043] Im neunten Ausführungsbeispiel hat der magnetische Elastomerkomposit die Form eines Faltenbalgs (Figur 9, links). Beim Anlegen des Magnetfeldes entfaltet sich der Faltenbalg und drückt eine hydraulische Flüssigkeit nach oben, die wiederum eine Membran verformt.

[0044] Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 10 wird die hydraulische Flüssigkeit wieder teilweise durch eine Stange ersetzt.

[0045] Im elften Ausführungsbeispiel enthält der Magnetkreis zusätzlich zum Elektromagneten einen ringförmigen schaltbaren Hartmagneten aus einer Aluminium-Nickel-Cobalt-Legierung, der anfangs nicht magnetisiert ist (Figur 11, links). Beim Erzeugen eines Magnetfeldes durch die Spule wird der Hartmagnet magnetisiert und behält die Magnetisierung auch nach Abschalten des Spulenstromes bei (Figur 11, rechts). Damit bleiben die Verformung des magnetischen Elastomerkomposits, die Verschiebung der hydraulischen Flüssigkeit nach oben und die Verformung der darüber liegenden Membran erhalten, ohne dass weitere elektrische Energie durch die Spule zugeführt werden muss. Nur für eine Veränderung des Aktuationszustandes muss elektrische Energie durch die Spule zugeführt werden, um die Magnetisierung des Hartmagneten zu verändern.

[0046] Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 12 wird die hydraulische Flüssigkeit gegenüber dem elften Ausführungsbeispiel wieder teilweise durch eine Stange ersetzt.

[0047] Im dreizehnten Ausführungsbeispiel enthält der Magnetkreis zusätzlich zum Elektromagneten einen ringförmigen Permanentmagneten aus einer Samarium-Cobalt-Legierung. Das vom Permanentmagneten erzeugte Magnetfeld verformt den magnetischen Elastomerkomposit ohne Zufuhr von elektrischer Energie (Figur 13, links). Ein zusätzlich von der Spule erzeugtes Magnetfeld kann das Feld des Permanentmagneten verstärken und damit die Verformung des magnetischen Elastomerkomposits vergrößern (Figur 13, Mitte). Durch die Umkehrung der Stromrichtung in der Spule kann das zusätzliche Magnetfeld auch das Feld des Permanentmagneten schwächen und damit die Verformung des magnetischen Elastomerkomposits verringern oder sogar aufheben (Figur 13, rechts).

[0048] Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 14 zeigt eine kompakte Form eines Linearaktors mit magnetischem Elastomerkomposit. Hier ist der magnetische Elastomerkomposit kegelförmig mit abgeflachter Spitze ausgeführt (Fig. 14, links). Die Spulenwicklung weist einen dreiecksförmigen Querschnitt auf, der zur Kegelform des magnetischen Elastomerkomposits weitgehend komplementär ist. Beim Anlegen des Magnetfeldes durch die Spule verformt sich der magnetische Elastomerkomposit und drückt eine kurze Stange nach oben (Fig. 14, rechts). Mit einem solchen Linearaktor

können relativ hohe Aktuationskräfte erzeugt werden.

[0049] Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 15 ist der Linearaktor ähnlich aufgebaut wie im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 14. Der magnetische Elastomerkomposit enthält hier jedoch einen magnetischen Formkörper. Dadurch wird die Anziehungskraft auf das Innenjoch und damit die Aktuationskraft noch einmal verstärkt.

[0050] Im sechzehnten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 16 weist der magnetische Elastomerkomposit die Form eines Zylinders auf. Er befindet sich im Linearaktor zwischen einem unteren und einem oberen Jochteil, füllt aber den Zwischenraum zwischen Jochteilen nur teilweise aus (Fig. 16, links). Beim Anlegen des Magnetfeldes wird der magnetische Elastomerkomposit von beiden Jochteilen angezogen und dehnt sich in seiner Länge nach oben aus. Dadurch wird eine Stange durch das Innenjoch nach oben verschoben (Fig. 16, rechts).

Patentansprüche

1. Linearaktor enthaltend mindestens einen magnetischen ElastomerKomposit enthaltend mindestens ein Elastomer und magnetisierbare Partikel, ein inneres und ein äußeres Magnetjoch, wobei der magnetische Elastomer-Komposit auf dem inneren oder äußeren Magnetjoch aufliegt, sowie mindestens eine Spule und/oder mindestens einen Permanentmagneten und/oder mindestens einen schaltbaren Hartmagneten zur Erzeugung von mindestens einem Magnetkreis, der eine Unterbrechung aufweist, wobei der magnetische Elastomer-Komposit bei Anlegen oder Ändern des Magnetfeldes derart verformbar ist, dass eine lineare Aktorbewegung ausgelöst wird und die Distanz der Aktorbewegung durch die Stärke des Magnetfelds kontinuierlich und/oder reversibel steuerbar ist.
2. Linearaktor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das auf den magnetischen Elastomer-Komposit einwirkende Magnetfeld inhomogen ist.
3. Linearaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der magnetische Elastomer-Komposit scheibenförmig ist und das Magnetfeld im Wesentlichen senkrecht zu dessen Grundfläche ausgerichtet wird und die Verformung des magnetischen Elastomer-Komposits in Form einer Wölbung des magnetischen Elastomer-Komposits die Richtung der Aktorbewegung vorgibt.
4. Linearaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der magnetische Elastomer-Komposit im Wesentlichen scheibenförmig ist und zum Zentrum der Scheibe hin eine größere oder kleinere Scheibendicke aufweist, insbesondere in Form einer Auswölbung nach außen oder einer Einwölbung nach innen auf der dem inneren Joch zugewandten Seite, wobei sich die Scheibendicke stetig oder stufenweise ändert.
5. Linearaktor nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** das innere oder das äußere Joch eine zur Scheibenform im Wesentlichen korrespondierende konkave oder konvexe Wölbung aufweist.
6. Linearaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der magnetische Elastomer-Komposit mit mindestens einem mechanischen und/oder hydraulischen Element, insbesondere ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus einer Stange, einem Stempel, einem Faden, einer hydraulischen Flüssigkeit, einem mit Flüssigkeit oder Gas gefüllten Sack sowie Kombinationen hiervon, gekoppelt ist, über die die Verformung in eine lineare Bewegung des Linearaktors übertragbar ist.
7. Linearaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Linearaktor eine Spule und einen Permanentmagneten oder eine Spule und einen schaltbaren Hartmagneten aufweist, der bevorzugt aus einer Aluminium-Nickel-Cobalt-Legierung, aus einem Ferrit oder aus einem anderen Material mit einer Koerzitivfeldstärke von weniger als 100 kA/m und einer Sättigungsmagnetisierung von mehr als 600 mT besteht.
8. Linearaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mindestens eine Elastomer ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Silicon, Fluorsilicon, Polyurethan (PUR), Polynorbornen, Naturkautschuk (NR), Styrol-Butadien (SBR), Isobutylene-Isopren (IIR), Ethylen-Propylen-Dien-Terpolymer (EPDM/EPM), Poly-Chlorbutadien (CR), Chlorsulfoniertes Polyethylen (CSM), Acrylnitril-Butadien (NBR), Hydriertes Acrylnitril-Butadien (HNBR), einen Fluorkautschuk wie Viton, ein thermoplastisches Elastomer wie thermoplastische Styrol-Copolymere (Styrol-Butadien-Styrol- (SBS-), Styrol-

Ethylen-Butadien-Styrol- (SEBS-), Styrol-Ethylen-Propylen-Styrol- (SEPS-), Styrol-Ethylen-Ethylen-Propylen-Styrol-(SEEPS-) oder Styrol-Isopren-Styrol-(SIS-) Copolymer), teilvernetzte Blends auf Polyolefin-Basis (aus Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk und Polypropylen (EPDM/PP), aus Nitril-Butadien-Kautschuk und Polypropylen (NBR/PP) oder aus Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk und Polyethylen(EPDM/PE)) oder thermoplastische Urethan-Copolymere (aromatisches Hartsegment und Ester-Weichsegment (TPU-ARES), aromatisches Hartsegment und Ether-Weichsegment (TPU-ARET) oder aromatisches Hartsegment und Ester/Ether- Weichsegment (TPU-AREE)) sowie Mischungen, Blends oder Legierungen hiervon.

9. Linearaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die magnetisierbaren Partikel ausgewählt sind aus Materialien bestehend aus Eisen, insbesondere Carbonyleisen, Cobalt, Nickel, Eisenlegierungen, insbesondere Eisen-Cobalt-Legierungen oder Eisen-Nickel-Legierungen, Eisenoxiden, insbesondere Magnetit oder Ferrit, bevorzugt Manganzinkferrit, Aluminium-Nickel-Cobalt-Legierungen und Mischungen hiervon, wobei die mittlere Partikelgröße bevorzugt unter 100 μm liegt.
10. Linearaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der magnetische Elastomer-Komposit zusätzlich sich von den magnetisierbaren Partikeln unterscheidende magnetisierbare Elemente bzw. Formkörper aufweist, wobei die Größe der Elemente die Größe der Partikel bevorzugt um den Faktor 10, besonders bevorzugt um den Faktor 100 übersteigt.
11. Linearaktor nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die magnetisierbaren Partikel und die magnetisierbaren Elemente bzw. Formkörper isotrop oder anisotrop im magnetischen Elastomer-Komposit angeordnet sind.
12. Linearaktor nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die magnetisierbaren Elemente bzw. Formkörper aus weichmagnetischen Materialien, insbesondere Eisen, bevorzugt Carbonyleisen, Cobalt, Nickel, Eisenlegierungen, bevorzugt Eisen-Cobalt-Legierungen oder Eisen-Nickel-Legierungen, Eisenoxiden, bevorzugt Magnetit oder Ferrit, besonders bevorzugt Manganzinkferrit, oder hartmagnetischen Materialien, insbesondere Aluminium-Nickel-Cobalt, Neodym-Eisen-Bor oder Samarium-Cobalt oder Mischungen hiervon bestehen.
13. Linearaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der magnetische Elastomer-Komposit die Form eines Faltenbalgs aufweist, der sich bei Anlegen oder Ändern eines Magnetfelds zumindest teilweise entfaltet oder zusammenfaltet.
14. Verwendung des Linearaktors nach einem der vorhergehenden Ansprüche zum gesteuerten Bewegen, Verstellen oder Justieren von Klappen, Türen, Spiegeln, optischen Elementen, insbesondere Strahlungsquellen.
15. Verwendung des Linearaktors nach einem der Ansprüche 1-13 zur Erzeugung von Bewegungen in Robotern sowie für haptisch fühlbare Elemente.

Claims

1. Linear actuator comprising at least one magnetic elastomer composite comprising at least one elastomer and magnetizable particles, an inner and an outer magnet yoke, wherein the magnetic elastomer composite rests on the inner or outer magnet yoke, and at least one coil and/or at least one permanent magnet and/or at least one switchable hard magnet for generating at least one magnetic circuit which has an interruption, wherein the magnetic elastomer composite is deformable upon application or modification of the magnetic field such that a linear actuator movement is triggered and the distance of the actuator movement is continuously and/or reversibly controllable by the strength of the magnetic field.
2. Linear actuator according to claim 1, **characterized in that** the magnetic field acting on the magnetic elastomer composite is inhomogeneous.
3. Linear actuator according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the magnetic elastomer composite is disc-shaped and the magnetic field is oriented substantially perpendicular to the base surface thereof and the deformation of the magnetic elastomer composite in the form of a curvature of the magnetic elastomer composite prescribes the direction of the actuator movement.

4. Linear actuator according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the magnetic elastomer composite is substantially disc-shaped and has a larger or smaller disc thickness towards the centre of the disc, in particular in the form of an outward bulge or an inward indentation on the side facing towards the inner yoke, wherein the disc thickness changes continuously or in steps.
5. Linear actuator according to the preceding claim, **characterized in that** the inner or the outer yoke has a concave or convex curvature which substantially corresponds to the disc shape.
6. Linear actuator according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the magnetic elastomer composite is coupled to at least one mechanical and/or hydraulic element, in particular selected from the group consisting of a rod, a ram, a thread, a hydraulic fluid, a fluid-filled or gas-filled bag, and combinations thereof, via which the deformation can be transformed into a linear movement of the linear actuator.
7. Linear actuator according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the linear actuator has a coil and a permanent magnet or a coil and a switchable hard magnet, which is preferably made of an aluminium-nickel-cobalt alloy, of a ferrite or of another material having a coercive field strength of less than 100 kA/m and a saturation magnetization of more than 600 mT.
8. Linear actuator according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the at least one elastomer is selected from the group consisting of silicone, fluorosilicone, polyurethane (PUR), polynorbornene, natural rubber (NR), styrene-butadiene (SBR), isobutylene-isoprene (IIR), ethylene-propylene-diene terpolymer (EPDM/EPM), polychlorobutadiene (CR), chlorosulphonated polyethylene (CSM), acrylonitrile-butadiene (NBR), hydrogenated acrylonitrile-butadiene (HNBR), a fluororubber such as Viton, a thermoplastic elastomer such as thermoplastic styrene copolymers (styrene-butadiene-styrene (SBS), styrene-ethylene-butadiene-styrene (SEBS), styrene-ethylene-propylene-styrene (SEPS), styrene-ethylene-ethylene-propylene-styrene (SEEPS) or styrene-isoprene-styrene (SIS) copolymer), partially crosslinked, polyolefin-based blends (of ethylene-propylene-diene rubber and polypropylene (EPDM/PP), of nitrile-butadiene rubber and polypropylene (NBR/PP) or of ethylene-propylene-diene rubber and polyethylene (EPDM/PE)) or thermoplastic urethane copolymers (aromatic hard segment and ester soft segment (TPU-ARES), aromatic hard segment and ether soft segment (TPU-ARET) or aromatic hard segment and ester/ether soft segment (TPU-AREE)), and mixtures, blends or alloys thereof.
9. Linear actuator according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the magnetizable particles are selected from materials consisting of iron, in particular carbonyl iron, cobalt, nickel, iron alloys, in particular iron-cobalt alloys or iron-nickel alloys, iron oxides, in particular magnetite or ferrite, preferably manganese zinc ferrite, aluminium-nickel-cobalt alloys, and mixtures thereof, wherein the mean particle size is preferably less than 100 μm .
10. Linear actuator according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the magnetic elastomer composite additionally comprises magnetizable elements or shaped bodies which differ from the magnetizable particles, wherein the size of the elements exceeds the size of the particles preferably by the factor 10, particularly preferably by the factor 100.
11. Linear actuator according to claim 10, **characterized in that** the magnetizable particles and the magnetizable elements or shaped bodies are arranged isotropically or anisotropically in the magnetic elastomer composite.
12. Linear actuator according to claim 10 or 11, **characterized in that** the magnetizable elements or shaped bodies are made of soft-magnetic materials, in particular iron, preferably carbonyl iron, cobalt, nickel, iron alloys, preferably iron-cobalt alloys or iron-nickel alloys, iron oxides, preferably magnetite or ferrite, particularly preferably manganese zinc ferrite, or hard-magnetic materials, in particular aluminium-nickel-cobalt, neodymium-iron-boron or samarium-cobalt, or mixtures thereof.
13. Linear actuator according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the magnetic elastomer composite has the shape of a bellows, which at least partially unfolds or folds together upon application or modification of a magnetic field.
14. Use of the linear actuator according to any one of the preceding claims for the controlled movement, shifting or adjustment of flaps, doors, mirrors, optical elements, in particular radiation sources.
15. Use of the linear actuator according to any one of claims 1 to 13 for generating movements in robots and also for

haptic elements.

Revendications

1. Actionneur linéaire contenant au moins un composite élastomère magnétique contenant au moins un élastomère et des particules aimantables, une culasse intérieure et une culasse extérieure, le composite élastomère magnétique reposant sur la culasse intérieure ou extérieure, ainsi qu'au moins une bobine et/ou au moins un aimant permanent et/ou au moins un aimant dur commutable, pour la production d'au moins un circuit magnétique, qui présente une interruption, le composite élastomère magnétique pouvant, lors de l'application ou d'une modification du champ magnétique, subir une déformation telle qu'il en résulte un mouvement linéaire de l'actionneur, et la distance du mouvement de l'actionneur pouvant être commandée, sous l'effet de l'intensité du champ magnétique, d'une manière continue ou réversible.
2. Actionneur linéaire selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le champ magnétique agissant sur le composite élastomère magnétique est non homogène.
3. Actionneur linéaire selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le composite élastomère magnétique a une forme de disque, et le champ magnétique est orienté pour l'essentiel perpendiculairement à sa surface de base, et la déformation du composite élastomère magnétique, sous forme d'une voûte du composite élastomère magnétique, prédéfinit la direction du mouvement de l'actionneur.
4. Actionneur linéaire selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le composite élastomère magnétique a pour l'essentiel la forme d'un disque, et, en allant vers le centre du disque, présente une épaisseur de disque plus grande ou plus petite, en particulier sous forme d'un renflement vers l'extérieur ou d'une voûte vers l'intérieur sur le côté dirigé vers la culasse intérieure, l'épaisseur du disque variant d'une manière continue ou pas-à-pas.
5. Actionneur linéaire selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la culasse intérieure ou la culasse extérieure présente une voûte concave ou convexe, correspondant pour l'essentiel à la forme du disque.
6. Actionneur linéaire selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le composite élastomère magnétique est couplé à un élément mécanique et/ou hydraulique, choisi en particulier dans le groupe consistant en une tige, un poinçon, un fil, un fluide hydraulique, un sac rempli d'un liquide ou d'un gaz, ainsi que les combinaisons de ceux-ci, par l'intermédiaire duquel la déformation peut être convertie en un mouvement linéaire de l'actionneur linéaire.
7. Actionneur linéaire selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'actionneur linéaire comprend une bobine et un aimant permanent, ou une bobine et un aimant dur commutable, qui de préférence est constitué d'un alliage aluminium-nickel-cobalt, d'une ferrite, ou d'un autre matériau ayant une intensité du champ coercitif inférieure à 100 kA/m et une aimantation à saturation supérieure à 600 mT.
8. Actionneur linéaire selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'au moins un élastomère est choisi dans le groupe comprenant la silicone, une fluorosilicone, le polyuréthane (PUR), le polynorbornène, le caoutchouc naturel (NR), le styrène-butadiène (SBR), l'isobutylène-isoprène (IIR), le terpolymère éthylène-propylène-diène (EPDM/EPM), le poly-chlorobutadiène (CR), le polyéthylène chlorosulfoné (CSM), l'acrylonitrile-butadiène (NBR), l'acrylonitrile-butadiène hydrogéné (HNBR), un caoutchouc fluoré tel que le Viton, un élastomère thermoplastique tel que les copolymères thermoplastiques du styrène (copolymère styrène-butadiène-styrène (SBS), styrène-éthylène-butadiène-styrène (SEBS), styrène-éthylène-propylène-styrène (SEPS), styrène-éthylène-éthylène-propylène-styrène (SEEPS), ou styrène-isoprène-styrène (SIS), les mélanges partiellement réticulés à base de polyoléfine (mélanges de caoutchouc nitrile-butadiène et de polypropylène (NBR/PP), ou caoutchouc éthylène-propylène-diène et polyéthylène (EPDM/PE)), ou les copolymères thermoplastiques de l'uréthane (segment rigide aromatique et segment souple ester (TPU-ARES), segment rigide aromatique et segment souple éther (TPU/ARET) ou segment rigide aromatique et segment souple ester/éther (TPU/AREE)), ainsi que les mélanges, mélanges intimes ou alliages de ceux-ci.
9. Actionneur linéaire selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les particules aimantables sont choisies parmi les matériaux constitués de fer, en particulier de fer-carbonyle, de cobalt, de nickel, d'alliages

du fer, en particulier d'alliages fer-cobalt ou d'alliages fer-nickel, d'oxydes de fer, en particulier de magnétite ou de ferrite, de préférence de ferrite de manganèse-zinc, d'alliages aluminium-nickel-cobalt et de mélanges de ceux-ci, la granulométrie moyenne étant de préférence inférieure à 100 μm .

- 5 **10.** Actionneur linéaire selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le composite élastomère magnétique comprend en outre des éléments ou objets moulés aimantables, qui se distinguent des particules aimantables, la granulométrie des éléments étant de préférence de 10 fois, d'une manière particulièrement préférée de 100 fois supérieure à la granulométrie des particules.
- 10 **11.** Actionneur linéaire selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** les particules aimantables et les éléments ou objets moulés aimantables sont disposés d'une manière isotrope ou anisotrope dans le composite élastomère magnétique.
- 15 **12.** Actionneur linéaire selon la revendication 10 ou 11, **caractérisé en ce que** les éléments ou objets moulés aimantables sont constitués de matériaux magnétiques doux, en particulier le fer, de préférence le fer-carbonyle, le cobalt, le nickel, les alliages de fer, de préférence les alliages fer-cobalt ou les alliages fer-nickel, les oxydes de fer, de préférence la magnétite ou la ferrite, d'une manière particulièrement préférée la ferrite de manganèse et de zinc, ou de matériaux magnétiques durs, en particulier l'aluminium-nickel-cobalt, le néodyme-fer-bore ou le samarium-cobalt ou les mélanges de ceux-ci.
- 20 **13.** Actionneur linéaire selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le composite élastomère magnétique présente la forme d'un soufflet, qui se déploie ou se contracte au moins partiellement sous l'effet de l'application ou d'une modification d'un champ magnétique.
- 25 **14.** Utilisation de l'actionneur linéaire selon l'une des revendications précédentes pour le mouvement, le réglage ou l'ajustement commandés d'abattants, de portes, de miroir, d'éléments optiques, en particulier de sources de rayonnement.
- 30 **15.** Utilisation de l'actionneur linéaire selon la revendication 1-13 pour la production de mouvements dans des robots, ainsi que pour des éléments tactiles haptiques.

Fig. 1

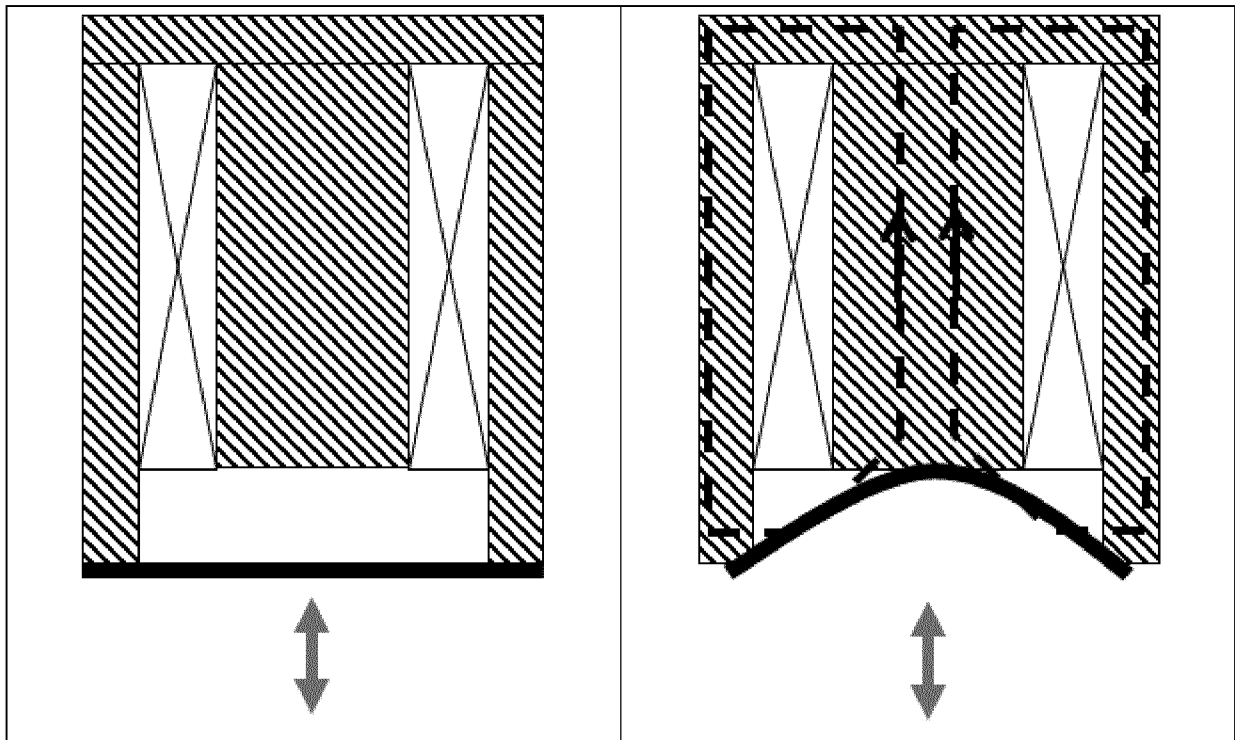


Fig. 2

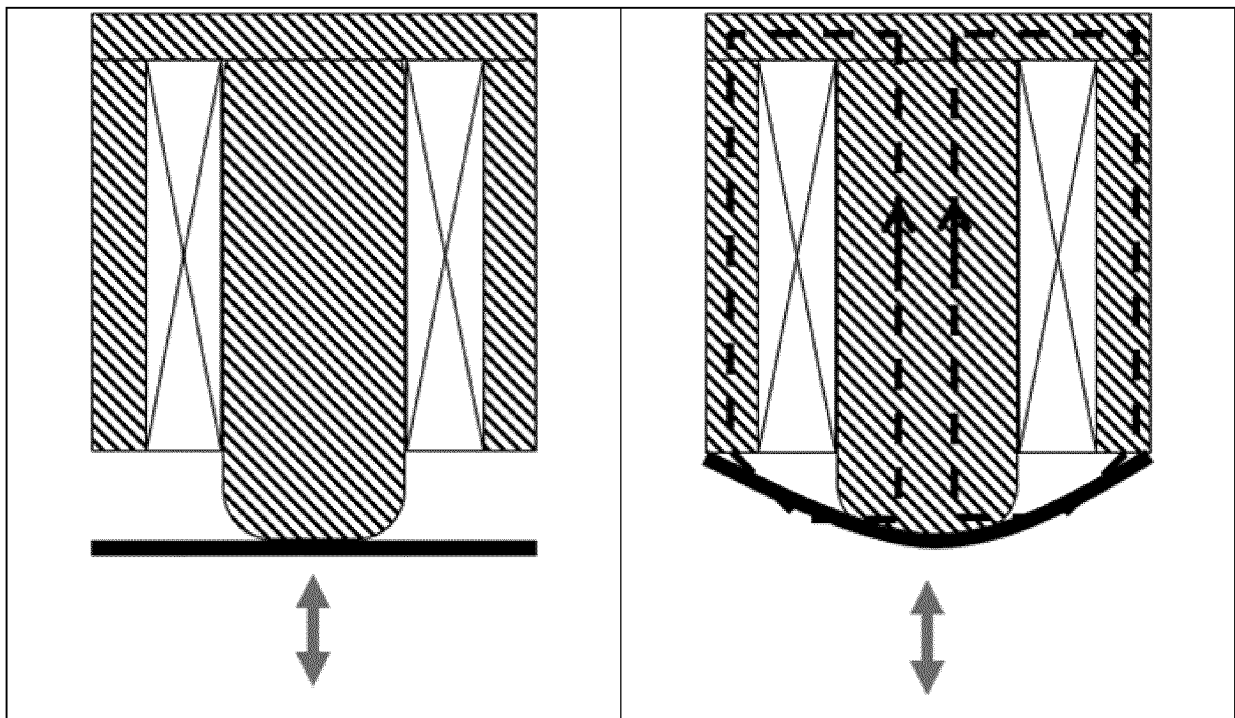


Fig. 3

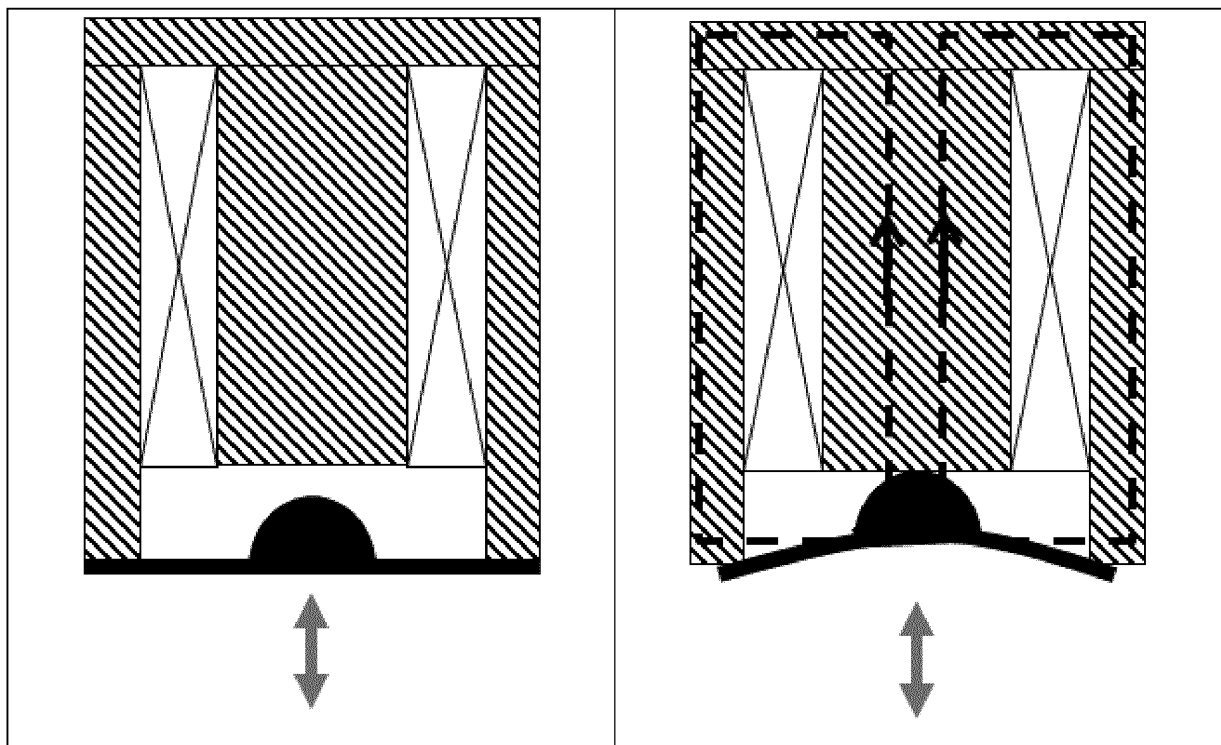


Fig. 4

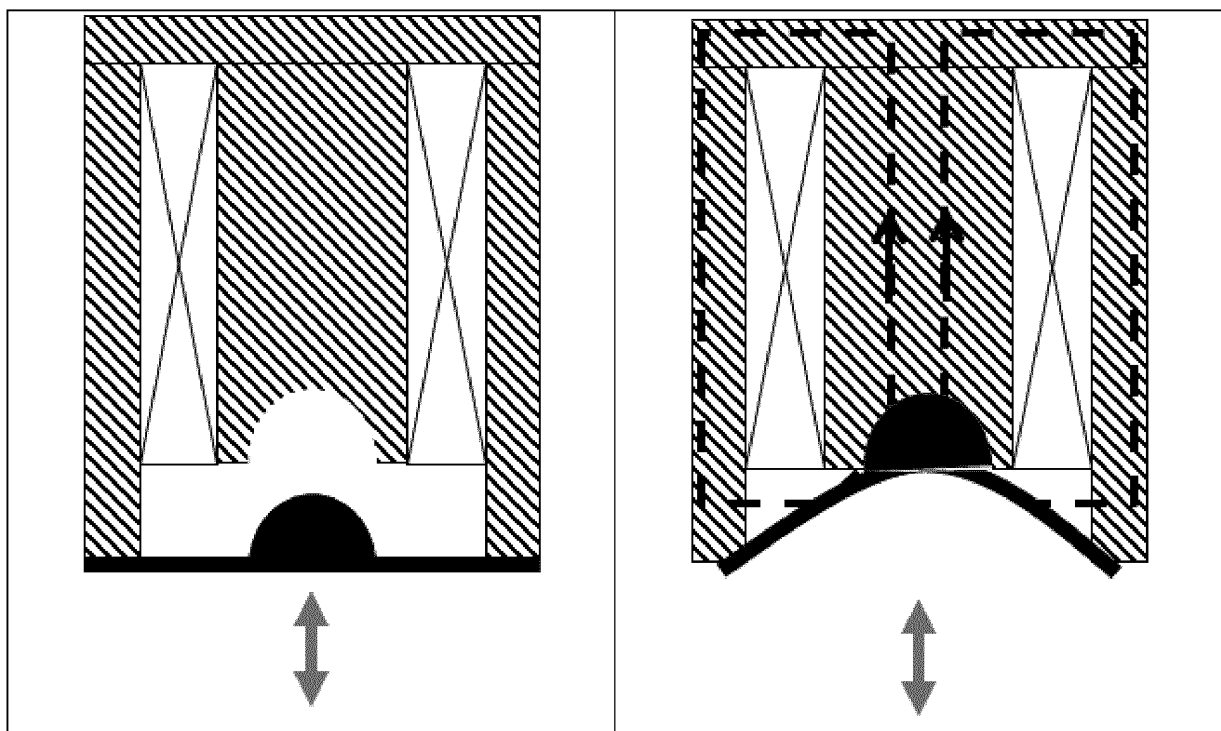


Fig. 5

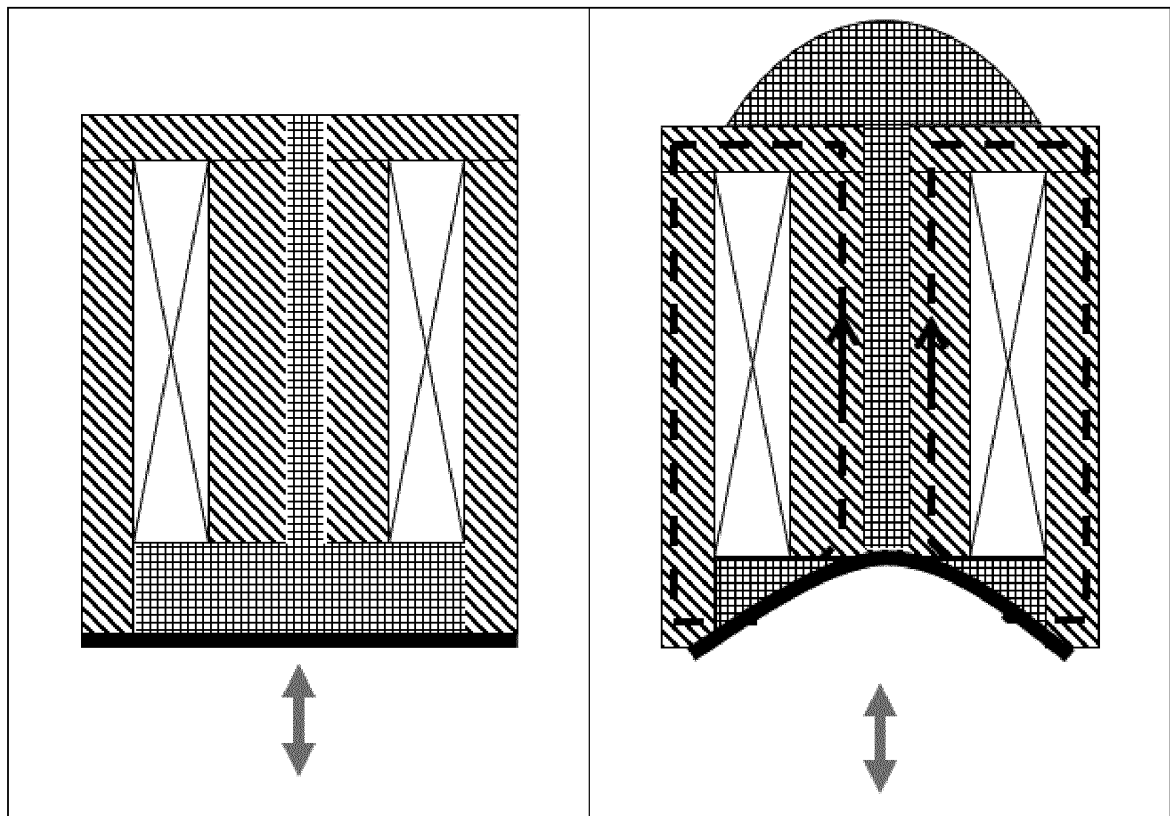


Fig. 6

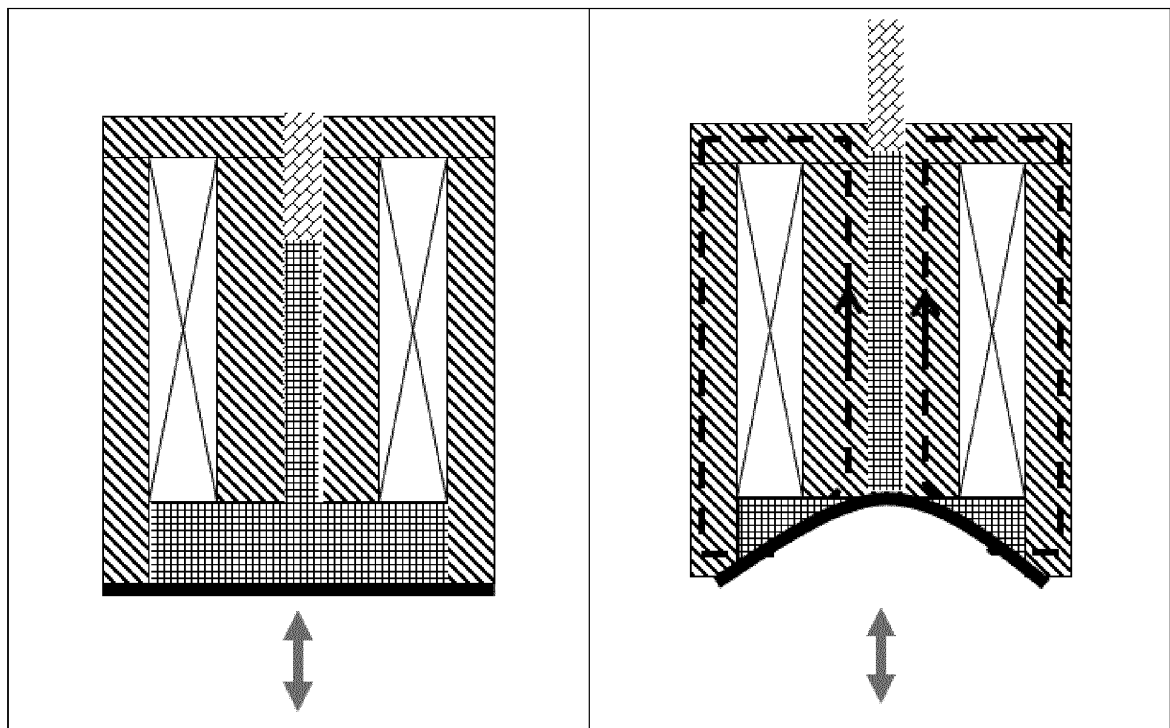


Fig. 7

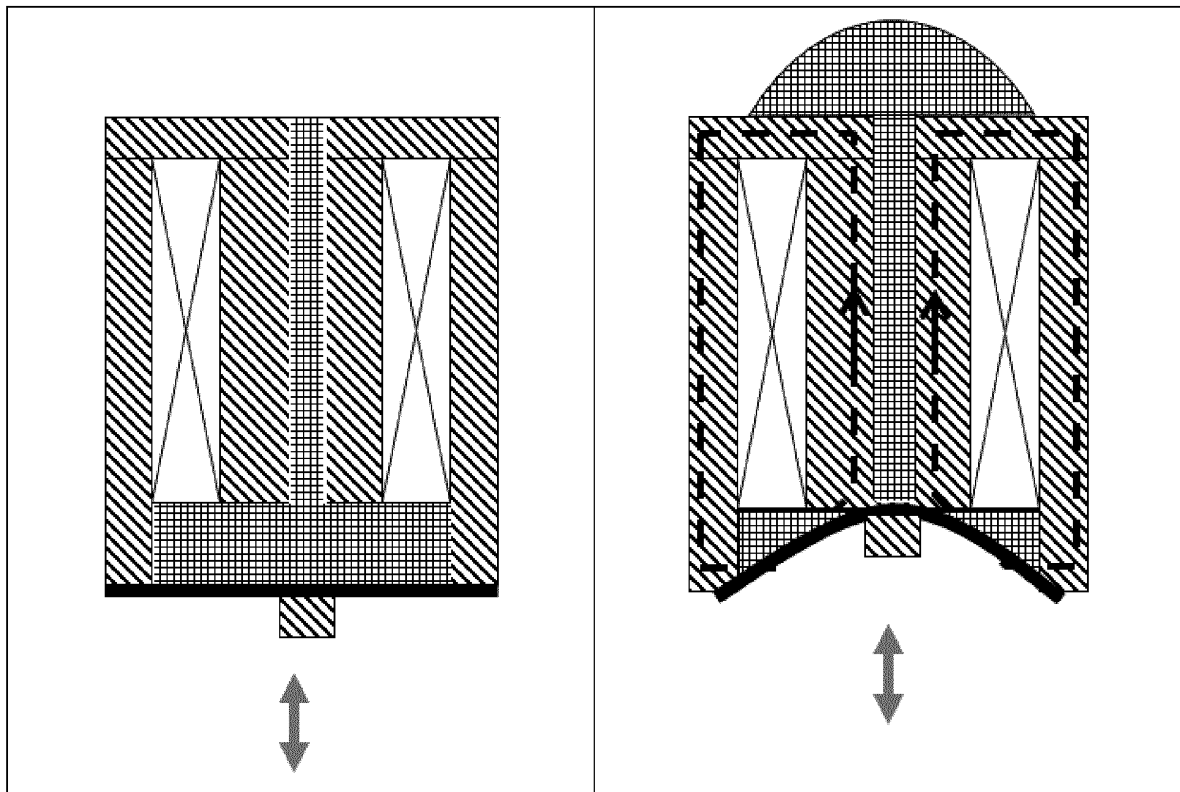


Fig. 8

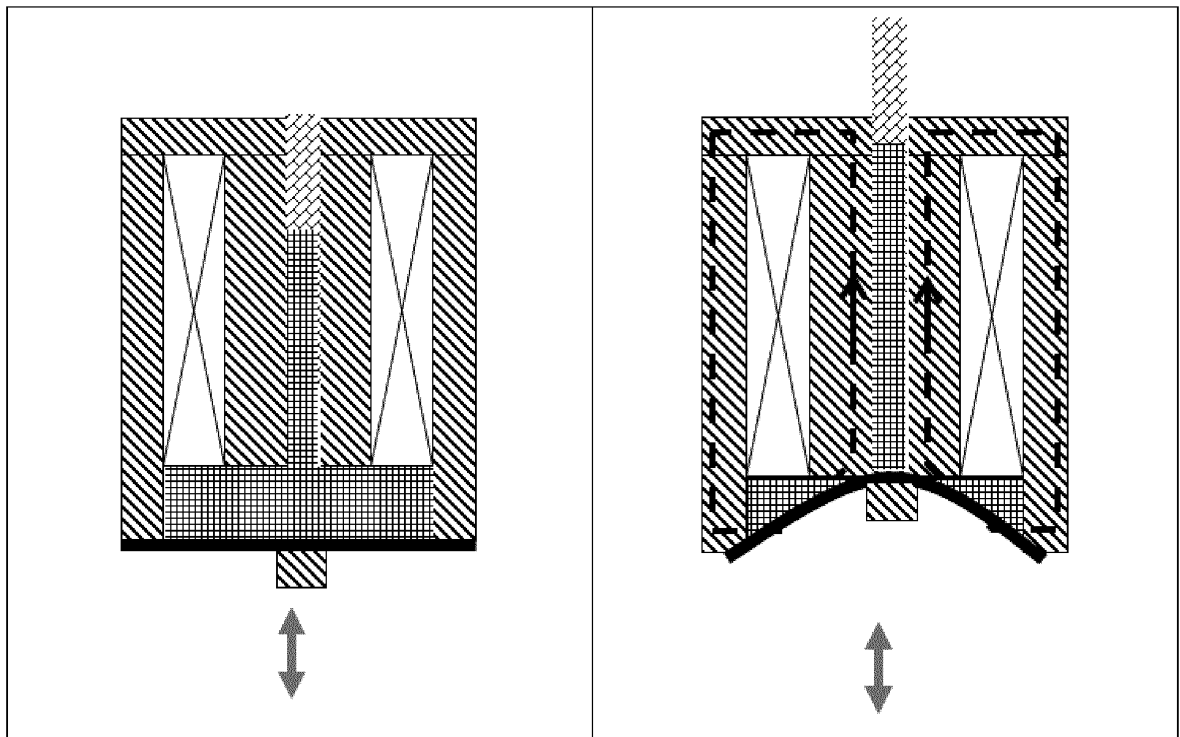


Fig. 9

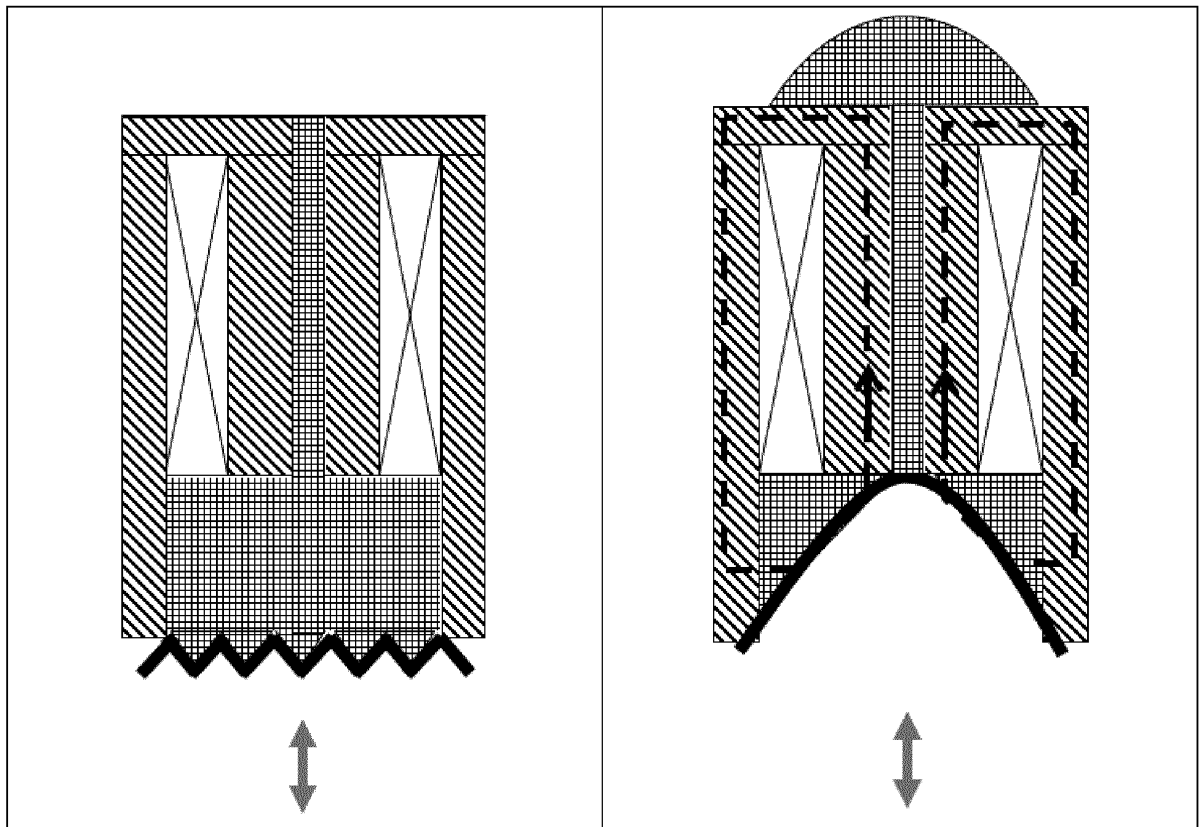


Fig. 10

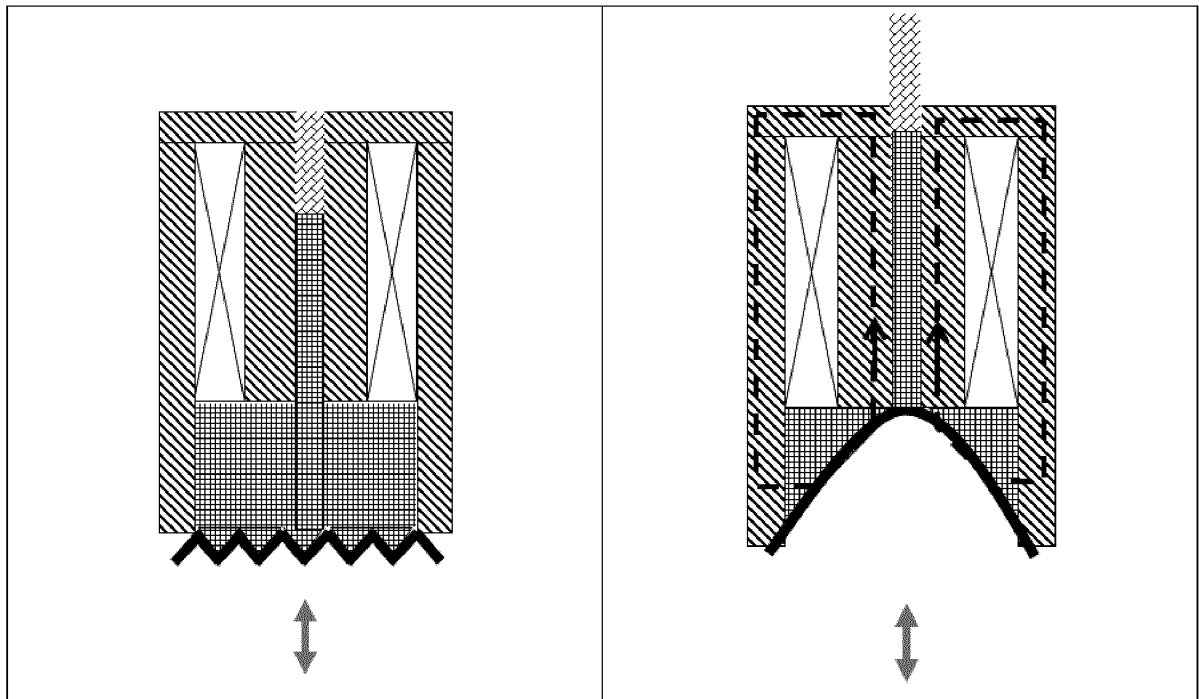


Fig. 11

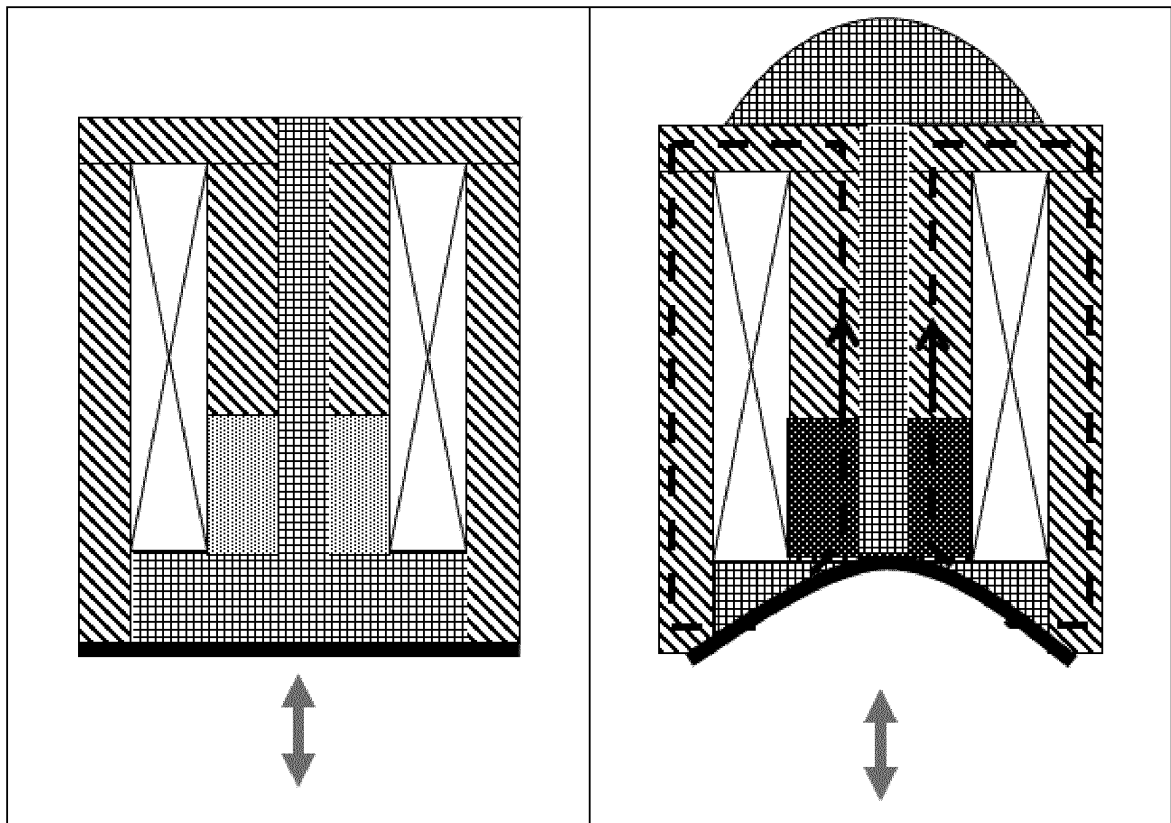


Fig. 12

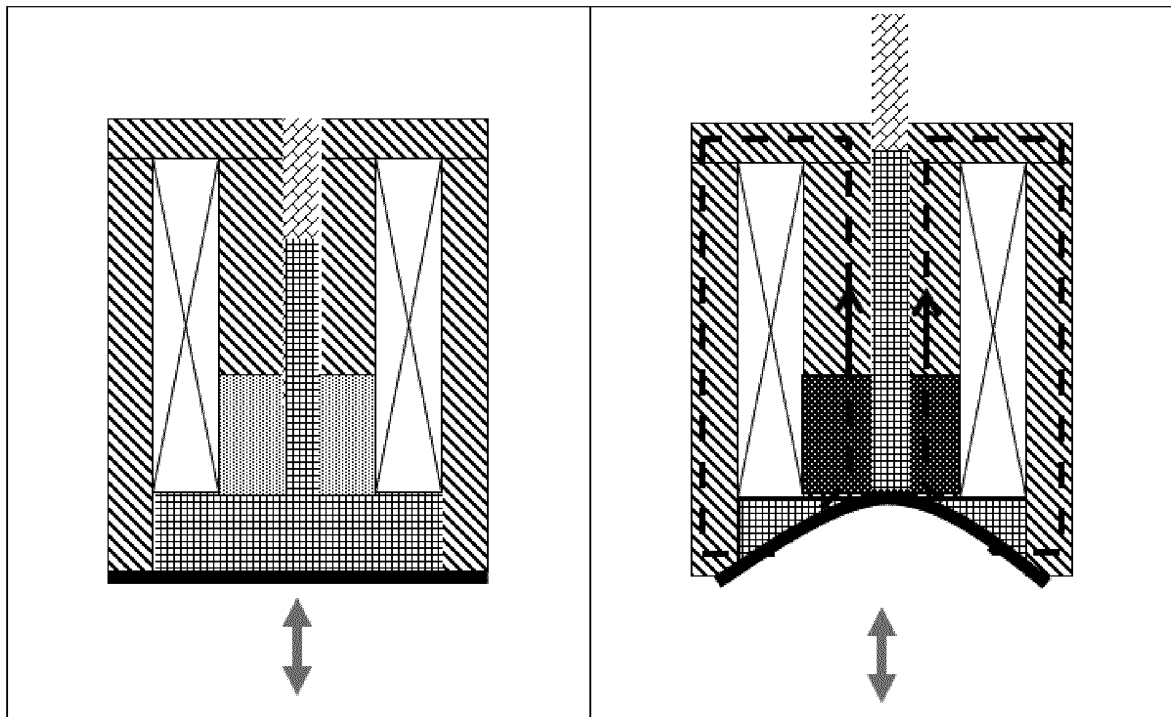


Fig. 13

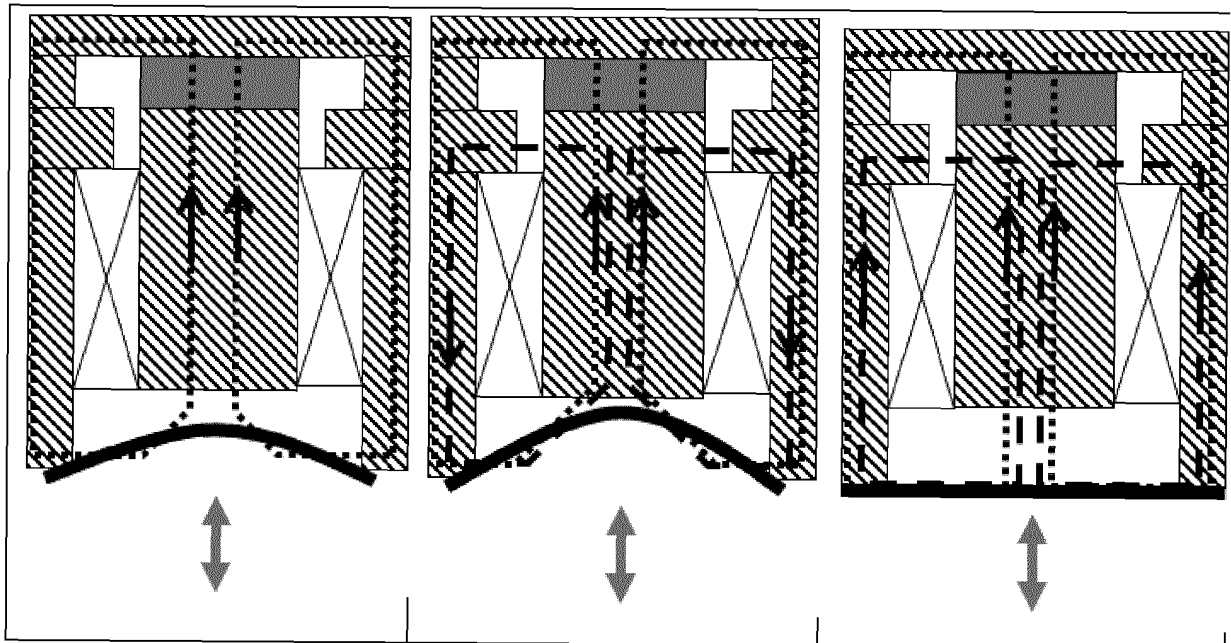


Fig. 14

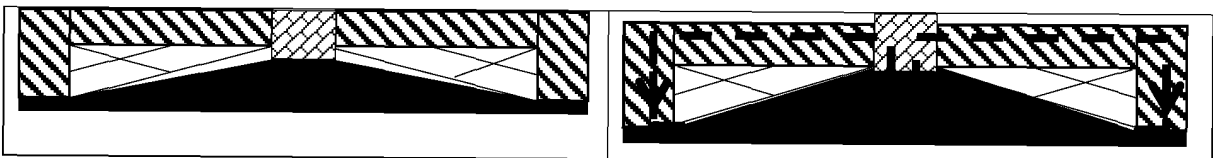


Fig. 15

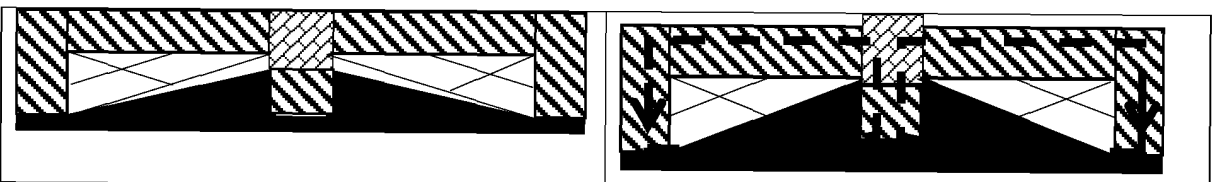
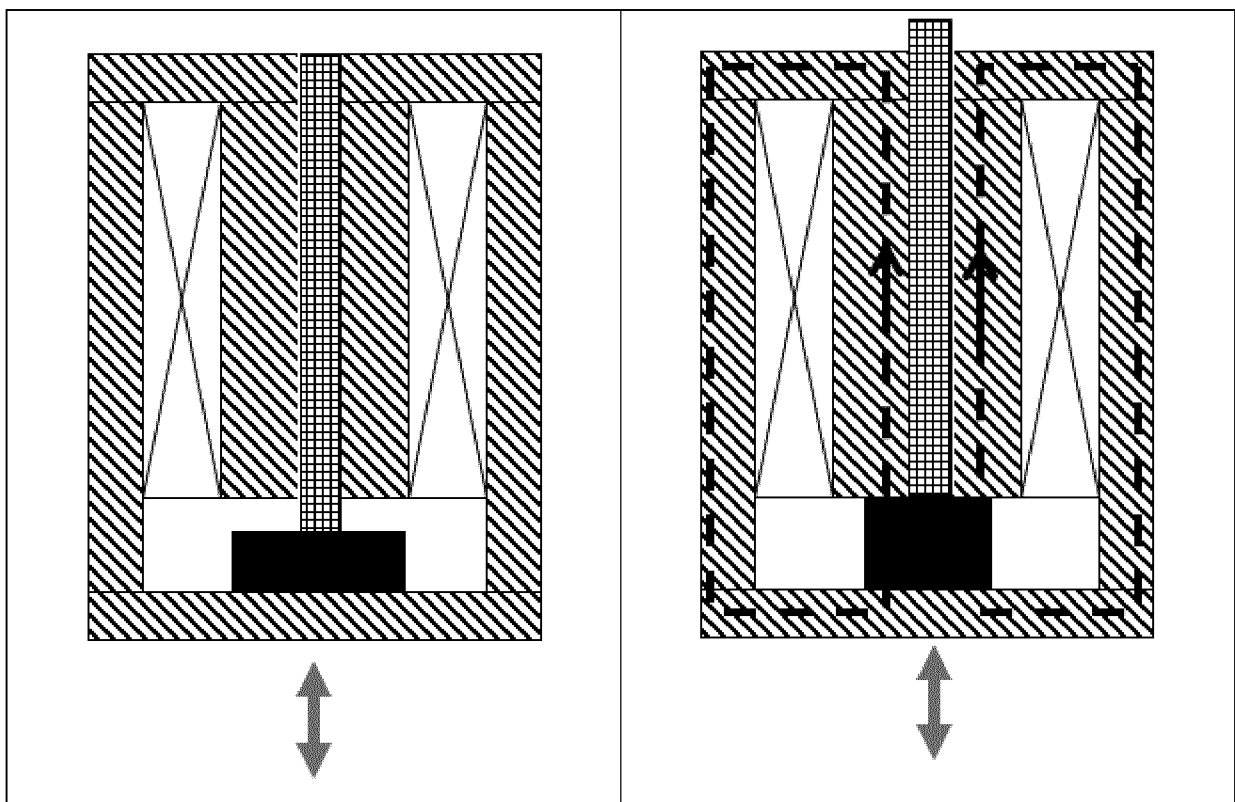


Fig. 16



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 2012202418 [0007]
- DE 102007028663 A1 [0008]
- EP 2239837 A1 [0010]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **SHUNTA KASHIMA et al.** Novel Soft Actuator Using Magnetorheological Elastomer. *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 48 (4), 1649-1652 [0009]