(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. Mai 2010 (27.05.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/057460 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02K 33/18 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2009/001554

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. November 2009 (04.11.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 057 954.8
18. November 2008 (18.11.2008) DE
10 2008 061 205.7
9. Dezember 2008 (09.12.2008) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **INSTITUT FÜR LUFT- UND KÄLTETECHNIK GEMEINNÜTZIGE GMBH** [DE/DE]; Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **KAISER, Gunter** [DE/DE]; Winterbergstr. 95 B, 01237 Dresden (DE). **KLIER, Jürgen** [DE/DE]; Händelallee 2, 01309 Dresden (DE).

(74) Anwalt: **KAUFMANN, Sigfrid**; Loschwitzer Str. 42, 01309 Dresden (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: ELECTRODYNAMIC LINEAR OSCILLATING MOTOR

(54) **Bezeichnung** : ELEKTRODYNAMISCHER LINEARSCHWINGMOTOR

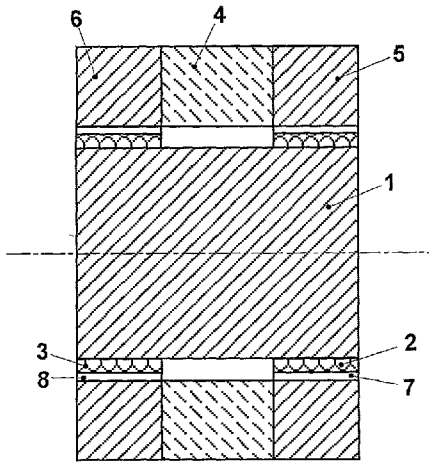


Fig. 1

(57) **Abstract**: The invention relates to an electrodynamic linear oscillating motor, which is characterized by high power densities in the magnet gap, high efficiency, magnetic restoring of the oscillating system into the center position, and a comparatively low weight of the oscillating system. The linear oscillating motor is composed of a stator system, which is equipped with at least one magnet (4), and an oscillating system, which is mounted movably in the magnetic field of the stator. The oscillating system comprises at least one core (1) made of a soft magnetic material, preferably soft iron, dynamo iron, or soft magnetic construction steel, and at least one driving coil (2; 3). The electrodynamic linear motor according to the invention combines the advantages of the known MC and MM linear motor, thereby allowing electrodynamic conversion levels of up to 99% to be achieved. The linear oscillating motor is suited as a drive for refrigerating and air conditioning systems having low power and also for pumping and injection systems, and, reversing the electrodynamic principle, as a generator, such as for shock absorber systems in vehicle construction.

(57) **Zusammenfassung**: Die Erfindung betrifft einen elektrodynamischen Linearschwingmotor, der sich durch hohe Kraftdichten im Magnetspalt, einen hohen Wirkungsgrad, magnetische Rückstellung des Schwingsystems in die Mittellage und ein vergleichsweise geringes Gewicht des Schwingsystems auszeichnet. Der Linearschwingmotor besteht aus einem Statorsystem, das mit mindestens einem Magneten (4) ausgestattet

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/057460 A2

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

ist und einem Schwingsystem, das beweglich im Magnetfeld des Stators gelagert ist. Das Schwingsystem umfasst dabei mindestens einen Kern (1) aus einem weichmagnetischen Material, vorzugsweise Weicheisen, Dynamoeisen oder weichmagnetisches Baustahl, und mindestens einer Antriebsspule (2; 3). Der erfindungsgemäße elektrodynamische Linearmotor vereinigt weitgehend die Vorteile der bekannten MC- und MM-Linearmotoren, sodass elektrodynamische Wandlungsgrade bis zu 99% erreicht werden können. Der Linearschwingmotor ist als Antrieb für Kälte- und Klimaanlagen mit kleiner Leistung sowie für Pumpen-, Einspritz- und auch in der Umkehrung des elektro-dynamischen Prinzips als Generator, z.B. für Stoßdämpfersysteme im Fahrzeugbau geeignet.

Elektrodynamischer Linearschwingmotor

Die Erfindung betrifft einen elektrodynamischen Linearschwingmotor, der sich durch hohe Kraftdichten im Magnetspalt, magnetische Rückstellung des Schwingsystems in die Mittellage und ein vergleichsweise geringes Gewicht des Schwingsystems auszeichnet. Mit dem Motor können elektrodynamische Wandlungsgrade bis zu 99% erreicht werden. Der Linearschwingmotor ist besonders als Antrieb für Kälte- und Klimaanlagen mit kleiner Leistung sowie für Pumpen-, Einspritz- und Stoßdämpfersysteme im Fahrzeugbau geeignet.

Als Verdichter für Kälte- und Klimaanlagen mit kleiner Leistung, wie sie insbesondere im Haushaltsbereich eingesetzt werden, werden vorwiegend Kolbenverdichter verwendet. Rotationsverdichter, wie z.B. Scrollkompressoren, kommen aus ökonomischen Gründen erst bei Geräten mit Antriebsleistungen von mehreren Kilowatt zur Anwendung.

Die Kolbenverdichter werden durch Elektromotoren, die üblicherweise eine rotierende Bewegung erzeugen, angetrieben. Zur Umsetzung der rotierenden in die für den Betrieb von Kolbenverdichtern erforderliche translatorische Bewegung sind Kurbelmechanismen erforderlich. Hierfür werden Kurbelschleifen eingesetzt, bei denen die Reibungskräfte des Kolbens auf die Laufbuchse eliminiert werden, ohne dass, wie bei den sonstigen Kurbelmechanismen, technisch aufwendige Kreuzkopfmechanismen erforderlich sind. Hierdurch wird zwar eine hohe Verschleißfestigkeit und Lebensdauer der Antriebe erreicht, allerdings erzielen solche Systeme nur geringe Wirkungsgrade von unter 50%, da ca. 80% der Gesamtreibung im Kurbelmechanismus (in der Kurbelschleife) anfällt.

Seit einigen Jahren sind aber auch Lineardirektantriebe für Kolbenverdichter verfügbar. Aus Kostengründen kommen bei Kältegeräten im Haushaltsbereich vor allem elektromagnetische Linearmotoren (Maxwell-Motoren) zum Einsatz. Zudem sind aus dem Gebiet der Linear-Antriebstechnik für Gaskältemaschinen zur Erzeugung sehr tiefer Temperaturen elektrodynamische Linearmotoren bekannt, die entweder mit bewegtem Permanentmagneten (MM: Moving Magnet) oder mit bewegter Spule (MC: Moving coil) ausgestattet sind.

Bei Maxwell-Linearmotoren wird, basierend auf dem Prinzip der Minimierung der magnetischen Feldenergie, ein weichmagnetischer Kern in eine Spule gezogen, wenn diese von einem elektrischen Strom durchflossen wird. Für die Rückstellung nach Verringern der Spannung sind prinzipbedingt Kraftelemente, vorzugsweise Federn, erforderlich. Da der Kern unabhängig von der Polarität der angelegten Spannung in die Spule gezogen wird, schwingt der Kern des Motors bei einer Betriebsspannung von 50 Hz mit 100 Hz. Folglich müssen zur Anpassung an die Schwingungskinetik Federn mit hohen Federhärten eingesetzt werden. Wird der Linearmotor zum Antrieb von Kolbenverdichtern verwendet, führt dies dazu, dass die in der Feder gespeicherte Energie nicht vollständig für den Ansaugvorgang des Verdichters verbraucht wird und ein hoher Anteil der in der Feder gespeicherten Energie beim Anschlagen am unteren Totpunkt verloren geht.

Mit elektrodynamischen Linearmotoren können deutlich höhere Wandlerwirkungsgrade (von 60 bis 99%, abhängig von der Leistungsklasse) erreicht werden. Die Motoren werden durch die Lorenzkraft angetrieben, deren Betrag und Richtung abhängig von der Richtung und Stärke des fließenden Stroms ist; sie können also direkt durch Wechselspannungen angesteuert werden.

MC-Motoren haben den Vorteil, dass im Statorkreis ein großer Permanentmagnet eingesetzt werden kann, womit sich hohe magnetische Flussdichten im Magnetspalt und hohe Antriebskräfte realisieren lassen. MC-Motoren sind folglich gut für den Betrieb von Kolbenkompressoren geeignet, wo kleine Geschwindigkeiten (bei hoher Kraft) benötigt werden. Allerdings fehlt eine magnetische Lagerückstellung. Außerdem sind bewegte Stromzuführungen erforderlich, wobei dieser Nachteil jedoch durch eine ermüdungsarme Konstruktion weitgehend behoben werden kann.

Aus DE 10 2004 010 403 A1, WO 2008/046849 A1 und JP 2002031054 A sind MM-Linearmotoren, die als Antriebe für Kolbenverdichter eingesetzt werden, bekannt. MM-Linearmotoren haben den Vorteil, dass aufgrund der Reluktanzkraft (Prinzip der Minimierung der magnetischen Feldenergie) eine systemimmanente Rückstellung des Schwingers in die Mittellage erfolgt, sodass auf mechanische Rückstellsysteme, wie z. B. Federn, verzichtet werden kann. Außerdem sind keine bewegten

Stromzuführungen erforderlich. Allerdings haben MM-Linearmotoren den Nachteil, dass die magnetische Flussdichte im Magnetspalt des Motors verhältnismäßig klein ist, da, um die Kinetik des schwingenden Systems nicht zu beeinträchtigen, der Permanentmagnet möglichst klein und leicht ausgeführt sein muss. Dadurch sind nur geringe Antriebskräfte möglich. Diese können zwar durch größere Geschwindigkeiten des Schwingsystems ausgeglichen werden, für die Verwendung als Antrieb von Kolbenverdichtern ist dies jedoch ungünstig.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Nachteile des Standes der Technik zu beseitigen. Insbesondere soll ein Linearschwingmotor gefunden werden, der sich durch hohe Kraftdichten im Magnetspalt, eine magnetische Rückstellung des Schwingsystems in die Mittellage und ein vergleichsweise geringes Gewicht des Schwingsystems auszeichnet. Der Linearschwingmotor soll große Antriebskräfte bei kleinen Geschwindigkeiten des Schwingsystems erreichen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungen und Anwendungen ergeben sich aus den Ansprüchen 2 bis 12.

Ausgegangen wird von einem elektrodynamischen Linearschwingmotor, dessen Statorsystem mit mindestens einem Magneten ausgestattet und dessen Schwingsystem beweglich im Magnetfeld des Stators gelagert ist.

Nach Maßgabe der Erfindung umfasst das Schwingsystem des Motors mindestens einen Kern aus einem weichmagnetischen Material, z. B. aus einem Weicheisen, Dynamoeisen oder weichmagnetischem Baustahl, und mindestens eine Spule.

Es ist vorgesehen, bei dem erfindungsgemäßen elektrodynamischen Linearschwingmotor den Magneten des Statorsystems, wie auch bei den bekannten MC-Motoren, geometrisch groß und mit hoher Remanenz und Koerzitivfeldstärke auszuführen, sodass eine hohe magnetische Flussdichte im Magnetspalt des Motors erreicht wird. Der Motor kann folglich mit großen Antriebskräften und mit kleinen Geschwindigkeiten des Schwingsystems betrieben werden.

Da das Schwingsystem des erfindungsgemäßen Linearmotors einen Kern aus einem weichmagnetischen Material umfasst, erfolgt aufgrund der Reluktanzkraft eine systemimmanente Rückstellung des Schwingers in die Mittellage; es kann also, wie auch bei MC-Linearmotoren, auf mechanische Rückstellsysteme (Federn) verzichtet werden.

Der Kern des Schwingsystems des Linearmotors kann prinzipbedingt mit wesentlich geringerer Masse konzipiert werden, als die entsprechenden Permanentmagneten von MM-Motoren; allerdings ist das aus dem Kern und mindestens einer Spule bestehende Schwingsystem schwerer als die Tauchspulen von MC-Motoren.

Somit vereinigt der erfindungsgemäße elektrodynamische Linearmotor weitgehend die Vorteile der bekannten MC- und MM-Linearmotoren.

In einer bevorzugten Variante ist das Statorsystem als ein in axialer Richtung magnetisierter ringscheibenförmiger Magnet ausgeführt, an dessen beiden Stirnseiten sich jeweils eine ringförmige Polscheibe aus einem weichmagnetischen Material befindet. Die Innen- und Außendurchmesser der Polscheiben und des ringscheibenförmigen Magneten sind entweder gleich groß oder der Innendurchmesser der Polscheiben ist kleiner als der es Permanentmagneten (z. B. um den Magnetspalt an den Kerndurchmesser anzupassen oder den magnetischen Fluss zu konzentrieren oder eine der Spulen einzusparen). Das Schwingsystem ist konzentrisch und in axialer Richtung beweglich im Innern des Statorsystems gelagert. Es ist aus einem weichmagnetischen Kern aufgebaut, auf den zwei separate Antriebsspulen derart aufgewickelt sind, dass die Spulen, wenn sich das Schwingsystem in seiner Mittellage befindet, in jeweils einer der durch die Polscheiben in Verbindung mit dem scheibenförmigem Magneten gebildeten Magnetspalten angeordnet sind. Dabei sind die beiden Antriebsspulen entgegengesetzt gerichtet gewickelt, damit sich unter Berücksichtigung der Richtung des magnetischen Flusses in den Spalten beim Betrieb des Motors die auf die Spulen wirkenden Lorentzkräfte addieren.

Der Kern des Schwingsystems ist bevorzugt zylindrisch ausgeformt, wobei der

Außendurchmesser des Schwingsystems, das aus dem Kern und den zwei auf diesen aufgewickelten Spulen besteht, kleiner ist als der Innendurchmesser der Polscheiben.

Abhängig von der Größe/Leistung des erfindungsgemäßen Linearmotors können Wirkungsgrade von über 90% erreicht werden.

Der erfindungsgemäße Linearschwingmotor ist als Antriebsmotor sowohl von Kolbenverdichtern für Kälte- und Klimaanlagen als auch von Einzel- oder Doppelkolben-Linearverdichtern in Gaskältemaschinen zur Erzeugung sehr tiefer Temperaturen sehr gut geeignet.

Des Weiteren kann der Motor auch vorteilhaft als Antriebsmotor von Pumpen im Fahrzeugbau, die Kraftstoff, Motoröl, Kühlwasser oder Hydraulikfluide fördern, eingesetzt werden. Da es möglich ist, den Linearschwingmotor sehr schnell anzusteuern, kann er auch zur Steuerung der Einspritzung von Kraftstoff in Verbrennungsmotoren verwendet werden. Hierzu könnte jedes mechanische Ventil durch ein Ventil, das mittels eines Linearschwingmotors gesteuert wird, und die Nockenwellensteuerung durch eine vollelektronische ersetzt werden.

Da das elektrodynamische Antriebsprinzip umkehrbar ist, kann der erfindungsgemäße Linearschwingmotor auch als Lineargenerator betrieben werden, der besonders zur Elektroenergieerzeugung aus Antriebssystemen mit hoher Kraft und kleinen Hub, wie z. B. Freikolben-Stirlingmotoren, geeignet ist.

Eine weitere Anwendung, bei der der Linearschwingmotor als Generator wirkt, besteht darin, den Motor zur Dämpfung der Einzelradaufhängungen in Kraftfahrzeugen einzusetzen. Die Stärke der Dämpfung kann durch die elektrische Last geregelt werden, mit denen die Spulen des Schwingsystems beaufschlagt werden.

Das Statorsystem kann sowohl im Motor- als auch im Generatorfall vorteilhafterweise mit einem Elektromagneten ausgestattet sein, wodurch sich im Falle der Dämpfung eine zusätzliche Regelmöglichkeit für die Dämpfung der Einzelradaufhängungen mittels der Stärke des Magnetfelds des Stators ergibt. Die erzeugte elektrische Energie,

die pulsartig mit stark schwankenden Spannungswerten ausgegeben wird, kann mittels eines Gleichrichters mit nachgeschaltetem Transverter modifiziert dem elektrischen Bordnetz des Kraftfahrzeugs zugeführt werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels, dargestellt für einen typischen Kleinkälte-Verdichter, näher erläutert; hierzu zeigen im Querschnitt:

Fig. 1: einen Linearschwingmotor mit Schwingsystem in der Mittellage;

Fig. 2: einen Linearschwingmotor mit ausgelenktem Schwingsystem.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich, besteht das Statorsystem des Linearschwingmotors aus dem in axialer Richtung magnetisierten ringscheibenförmigen Permanentmagneten 4, an dessen beiden Stirnseiten sich jeweils die erste und die zweite ringförmige Polscheibe 5; 6 befinden. Die Innen- und Außendurchmesser der Polscheiben 5; 6 stimmen mit denen des Magneten 4 überein.

Das Schwingsystem ist konzentrisch und in axialer Richtung beweglich im Innern des Statorsystems gelagert und besteht aus dem Ferrit-Kern 1, auf den jeweils die erste und die zweite Antriebsspule 2; 3 aufgewickelt sind. Solange sich das Schwingsystem in seiner Mittellage befindet, befindet sich die erste Spule 2 mittig im ersten Magnetspalt 7 und entsprechend die zweite Spule 3 im zweiten Magnetspalt 8. Die bewegten Stromzuführungen für die Spulen 2; 3 sind so verlegt, dass sie nur geringfügigen Verbiegungen ausgesetzt sind.

Zum Betrieb des Linearschwingmotors wird eine Wechselspannung an die Antriebsspulen 2; 3 angelegt, die einen elektrischen Wechselstrom durch die Spulen 2; 3 bewirkt. Da die Spulen im Statormagnetfeld angeordnet sind, wirken auf die stromdurchflossenen Spulen Lorentzkräfte, deren Betrag und Richtung abhängig von der Höhe und Polarität der angelegten Betriebsspannung ist. Da die beiden Antriebsspulen 2; 3 so gewickelt sind, dass sich beim Betrieb des Motors die auf die Spulen 2; 3 wirkenden Lorentzkräfte addieren, bewirkt die angelegte Wechselspannung eine Oszillation des Schwingsystems, die dieselbe Frequenz wie die Wechselspannung hat.

Der Linearschwingmotor arbeitet mit einer Frequenz von 50 Hz, hat einen Hub von 10 mm und erbringt eine mechanische Leistung von 100 W bei einem Wirkungsgrad von ca. 87%.

Liste der verwendeten Bezugszeichen

1	Kern des Schwingsystems
2	erste Antriebsspule
3	zweite Antriebsspule
4	Magnet des Statorsystems
5	erste Polscheiben
6	zweite Polscheiben
7	erster Magnetspalt
8	zweiter Magnetspalt

Patentansprüche

1. Elektrodynamischer Linearschwingmotor mit mindestens einem Magneten (4) im Statorsystem und einem Schwingsystem, das beweglich im Magnetfeld des Stators gelagert ist, dadurch gekennzeichnet, dass das Schwingsystem des Motors mindestens einen Kern (1) aus einem weichmagnetischen Material und mindestens eine Antriebsspule (2; 3) umfasst.

2. Linearschwingmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Magnet (4) des Statorsystems ein Permanentmagnet ist.

3. Linearschwingmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Magnet (4) des Statorsystems ein Elektromagnet ist.

4. Linearschwingmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kern (1) des Schwingsystems aus Weicheisen, Dynamoeisen oder weichmagnetischem Baustahl besteht.

5. Linearschwingmotor nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Statorsystem aus einem in axialer Richtung magnetisierten ringscheibenförmigen Magneten (4) besteht, an dessen beiden Stirnseiten sich jeweils eine ringförmige Polscheibe (5; 6) aus einem weichmagnetischen Material befindet, und das konzentrisch im Innern des Statorsystems in axialer Richtung beweglich gelagerte Schwingsystem aus einem weichmagnetischen Kern (1) aufgebaut ist, auf den zwei separate Antriebsspulen (2; 3) gewickelt sind, wobei die beiden Antriebsspulen(2; 3), wenn sich das Schwingsystem in seiner Mittellage befindet, in jeweils einer der durch die Polscheiben (5; 6) in Verbindung mit dem scheibenförmigem Magneten (4) gebildeten Magnetspalten (7; 8) angeordnet sind, und die beiden Antriebsspulen (2; 3) entgegengesetzt gerichtet gewickelt sind, sodass sich beim Betrieb des Motors die auf die Spulen (2; 3) wirkenden Lorentzkräfte addieren.

6. Linearschwingmotor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Kern (1) des Schwingsystem zylindrisch ausgeformt und der Außendurchmes-

ser des aus Kern (1) und aufgewickelten Spulen (2; 3) gebildeten Schwingsystems kleiner als der Innendurchmesser des Magneten (4) des Statorsystems ist.

7. Verwendung des Linearschwingmotors nach Anspruch 1 als Antriebsmotor eines Kolbenverdichters für Kälte- und Klimaanlagen.

8. Verwendung des Linearschwingmotors nach Anspruch 1 als Antriebsmotor einer Pumpe für Kraftstoff, Motoröl, Kühlwasser oder Hydraulikfluid.

9. Verwendung des Linearschwingmotors nach Anspruch 1 für die Einspritzung von Kraftstoff in Verbrennungsmotoren.

10. Verwendung des Linearschwingmotors nach Anspruch 1 als Antriebsmotor von Einzel- oder Doppelkolben-Linearverdichtern in Gaskältemaschinen zur Erzeugung sehr tiefer Temperaturen.

11. Verwendung des Linearschwingmotors nach Anspruch 1 als Generator zur Erzeugung von elektrischer Energie aus Antriebssystemen, die große Kräfte erzeugen und mit kleinem Hub arbeiten.

12. Verwendung des Linearschwingmotors nach Anspruch 1 als Stromgenerator, ausgeführt als elektrodynamisches Dämpfungssystem für Einzelradaufhängungen in Kraftfahrzeugen.

1/1

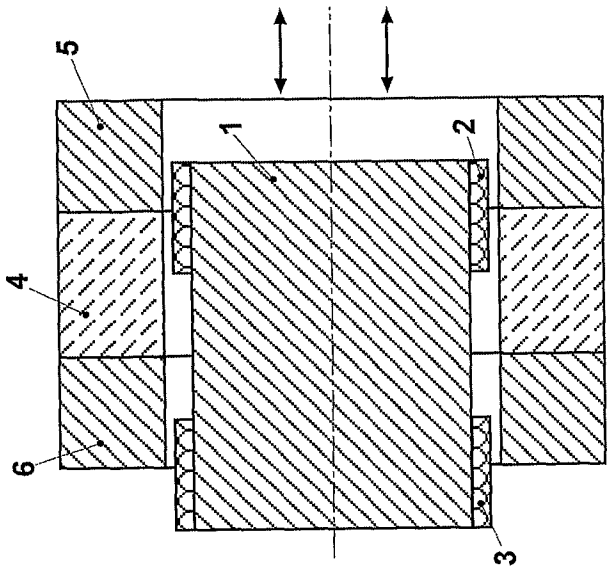


Fig. 2

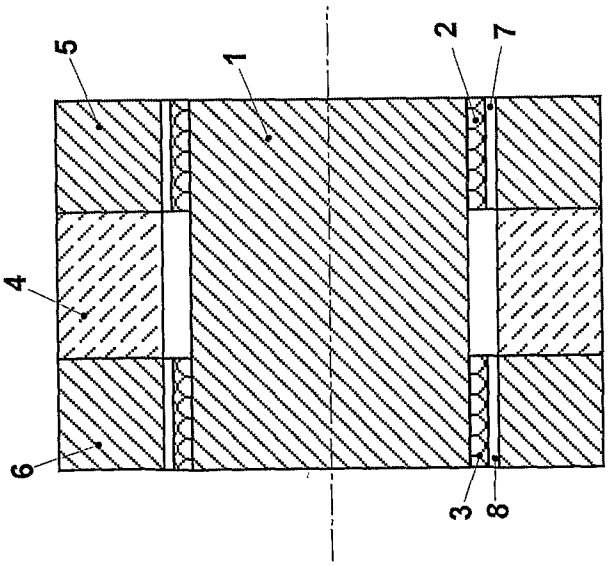


Fig. 1