



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2007 059 467 A1 2009.06.25

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2007 059 467.6
(22) Anmeldetag: 11.12.2007
(43) Offenlegungstag: 25.06.2009

(51) Int. Cl. ⁸: **F16C 32/04** (2006.01)
G11B 5/00 (2006.01)
H02K 7/09 (2006.01)

(71) Anmelder:

Minebea Co., Ltd., Nagano, JP

(74) Vertreter:

Riebling, P., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anw., 88131
Lindau

(72) Erfinder:

Popov, Vladimir V., Dr., 78052
Villingen-Schwenningen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 199 55 829 A1
JP 61-85 526 AA
DE 12 91 575 A
DE 25 18 735 C2

JP	58-1 84 319	AA
JP	21-13 118	AA
US	55 41 460	A
US	61 72 847	B1
US	55 61 335	A
US	55 45 937	A
US	2003/0 42 812	A1
US	2003/1 17 031	A1
US	2004/0 46 467	A1

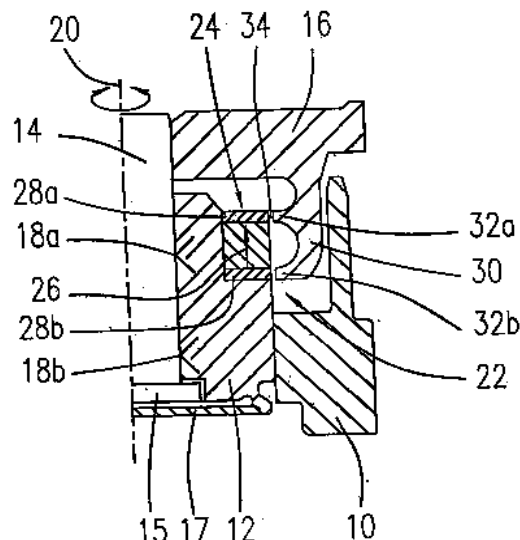
R.F. Post "stability Issues in Ambient-Temperature
Passive Magnetic Bearing Systems" Lawrence
Livermore National Laboratory, UCRL-ID
137632, 17. Februar 2000

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Magnetisches Axiallager**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein magnetisches Axiallager (22) zur Aufnahme von axialen Kräften, die auf ein Rotorbauteil (16) einwirken, das relativ zu einem Statorbauteil (10) um eine Rotationsachse (20) drehgelagert ist. Das Lager umfasst ein erstes Lagerbauteil (24), bestehend aus mindestens einem Permanentmagneten (26) und mindestens zwei diesem zugeordneten Flussleitstücken (28a; 28b), die auf gegenüberliegenden Stirnflächen des Permanentmagneten (26) angeordnet und im Wesentlichen radial und senkrecht zur Rotationsachse (20) ausgerichtet sind, und ein zweites Lagerbauteil (30), bestehend aus mindestens zwei Flussleitstücken (32a, 32b), die in einem gegenseitigen Abstand angeordnet und im Wesentlichen radial und senkrecht zur Rotationsachse (20) ausgerichtet sind, wobei jedes Flussleitstück (32a; 32b) des zweiten Lagerbauteils (30) einem Flussleitstück (28a; 28b) des ersten Lagerbauteils (24) zugeordnet ist und diesem getrennt durch einen Luftspalt (34) in radialer Richtung unmittelbar gegenüberliegt.



Beschreibung**Gebiet der Erfindung**

[0001] Die Erfindung betrifft ein magnetisches Axiallager gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1.

Stand der Technik

[0002] Ein derartiges magnetisches Axiallager ist beispielsweise beschrieben in der US 6,172,847 B1 und kann bevorzugt zur Aufnahme von axialen Kräften bei der Drehlagerung von Spindelmotoren und anderen kleinbauenden Permanentmagnetmotoren verwendet werden, die zum Beispiel in Festplattenlaufwerken mit einem Plattendurchmesser von 3,5 Zoll, 2,5 Zoll oder darunter eingesetzt werden. Vorzugsweise kommen hier bürstenlose, elektronisch kommutierte Gleichstrommotoren zum Einsatz. Bei Spindelmotoren der in Rede stehenden Bauart ist die Motorwelle mit einer Nabe gekoppelt, die zur Aufnahme von einer oder mehreren Festplatten dient. Ein Rotormagnet ist mit der Nabe verbunden und koaxial zu einem Stator angeordnet.

[0003] In der US 6,172,847 B1 wird zum Beispiel ein Festplattenlaufwerk beschrieben, bei dem eine Welle mit einer Rotornabe verbunden ist, welche die Festplatte trägt und mit dem Rotor gekoppelt ist. Die Welle ist in einer Lagerhülse geführt, wobei zwischen der Lagerhülse und der Welle ein hydrodynamisches Radiallager sowie ein axiales Drucklager gebildet sind. Das axiale Drucklager wird über magnetische Elemente vorgespannt, um das Anlaufdrehmoment zu reduzieren.

[0004] Die Anwendung, Theorie und Berechnung von Magnetlagern wurde in der Literatur umfangreich abgehandelt. Es besteht kein Zweifel, dass Magnetlager insbesondere im Hinblick auf die Reduzierung der Lagerreibung nützlich sind. Das Hauptproblem passiver Magnetlager ist die Notwendigkeit von Stabilisierungssystemen für wenigstens einen Freiheitsgrad, weil Magnete alleine nicht in der Lage sind, ein Lager in einem stabilen Gleichgewicht zu halten. Es ist somit nicht möglich, lediglich mit Ferromagneten und Dauermagneten stabile Lager zu erstellen. Für die sogenannte magnetische Levitation (Schwebestand) benötigt man daher zusätzliche Stabilisierungssysteme. Im Stand der Technik wurden hierfür zahlreiche Lösungen vorgeschlagen.

[0005] Beispielsweise beschreibt R. F. Post, "Stability Issues in Ambient-Temperature Passive Magnetic Bearing Systems", Lawrence Livermore National Laboratory, UCRL-ID-137632, 17. Februar 2000, magnetische Lagersysteme, die spezielle Kombinationen von Schweben (Levitation)- und Stabilisierungselementen verwenden. Post nennt drei Hauptkomponenten, die kumulativ notwendig sind, um ein Lager

zu schaffen, welches das Earnshaw-Theorem erfüllt. Die erste Komponente besteht aus einem Ringmagnetpaar zur Erzeugung der Schwebekräfte (Levitation), von dem ein Magnetring stationär und der andere drehend ist. Ein weiteres Element, das der Stabilisierung dient, wird von Post als "Halbach-Stabilisator" bezeichnet. Es verwendet einzelne Permanentmagnete, die gemäß einer Halbach-Magnetfeldverteilung angeordnet sind und zugeordneten Flussleitern gegenüberliegen. Das dritte Element ist ein mechanisches Lagersystem, das bei niedrigen Drehzahlen zum Einsatz kommt, bei hohen Drehzahlen jedoch möglichst ausgekoppelt werden sollte. Post erörtert ferner die Verwendung von Dämpfungssystemen auf der Basis von Wirbelströmen. Das von Post vorgestellte System erscheint relativ aufwendig und eignet sich nicht zur Anwendung in elektrischen Maschinen, welche in die Massenproduktion gehen, insbesondere nicht für Spindelmotoren zur Anwendung beispielsweise in Miniatur-Festplattenlaufwerken (Mini-Disk-Drives) mit einem Formfaktor von 3,5 Zoll, 2,5 Zoll oder kleiner.

[0006] Das US-Patent 5,541,460 beschreibt einen Spindelmotor mit passiven magnetischen Axiallagern sowie einem Spurkuppenlager, das als ein hydraulisches Lager oder Kugellager realisiert sein kann. Das passive magnetische Axiallager erzeugt eine Anziehungskraft in axialer Richtung, und das Spurkuppenlager stabilisiert die Anordnung derart, dass ein auch in radialer Richtung stabiles Lagersystem gebildet wird. Ein ähnlicher Stand der Technik ist auch in dem US-Patent 5,561,335 und in dem US-Patent 5,545,937 beschrieben.

[0007] Die US 2003/0042812 A1 beschreibt ein passives Magnetlager für eine horizontale Welle mit Schweben- und Stabilisierungselementen. Das Schwebelement besteht aus einem Paar stationärer gebogener ferromagnetischer Segmente, die innerhalb einer ringförmigen, radial wirkenden Magnetanordnung liegen. Die Magnetanordnung ist an dem inneren Umfang einer hohlen Welle angeordnet. Die Anziehungskraft zwischen den gebogenen Segmenten und der Magnetanordnung wirkt vertikal, um die Welle anzuheben, sowie horizontal, um die Welle zu zentrieren. Das Stabilisierungselement besteht aus einer ringförmigen magnetischen Halbach-Anordnung und einem stationären ringförmigen Schaltkreis, der innerhalb der Halbach-Anordnung angeordnet ist. Die Halbach-Anordnung ist am Innenumfang der hohlen Welle positioniert. Eine Abstoßungskraft zwischen der Halbach-Anordnung und dem Schaltkreis nimmt umgekehrt proportional zu dem radialen Abstand zwischen diesen zu und wirkt somit als Rückstellkraft, um die Welle in einen Gleichgewichtszustand zu bringen, wenn sie aus diesem herausbewegt wurde. Das Lager ist so konfiguriert, dass zwischen den magnetischen und ferromagnetischen Komponenten Wechselströme erzeugt werden, die

entsprechende Wirbelstromverluste generieren.

[0008] Die US 2003/0117031 A1 beschreibt ein Magnetlager für einen Spindelmotor mit einer Magnetkomponente, die zwischen der Grundplatte und der Motorspindel montiert ist. Die Magnetkomponente umfasst einen inneren und einen äußeren Magnetabschnitt, die coaxial angeordnet sind und einander abstoßen, so dass die Spindel schwebt und mechanische Reibung minimiert wird. Das Magnetlager ist in einer stationären Welle zur Lagerung einer rotierenden Spindel angeordnet, wobei die Spitze der Spindel von einem Gegenstück der Grundplatte unterstützt wird.

[0009] Die US 2004/0046467 A1 beschreibt eine Magnetlageranordnung mit passiven (axialen) magnetischen Drucklagern und mit radialen Gleitlagern oder Kugellagern für einen Läufermotor.

[0010] Zusammengefasst offenbart der Stand der Technik Magnetlager mit Stabilisationssystemen, die umfassen: Stahl- oder Diamant-Drucklager auf der Basis von Kugellagern; magnetische Fluidlager; Wirbelstromelemente; Gleitlager als axiale Drucklager; sowie hybride passive Magnetlager, die kombiniert sind mit hydro- bzw. fluiddynamischen Lagern oder Luftlagern.

Offenbarung der Erfindung

[0011] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein magnetisches Axiallager anzugeben, das sich zur vollständigen und alleinigen Aufnahme der in einer elektrischen Maschine auftretenden axialen Kräfte eignet, und sowohl beim Anlaufen als auch im stabilen Betrieb der Maschine mit minimaler Reibung arbeitet und sich insbesondere zur Verwendung in Spindelmotoren für Mini-Disk-Drives eignet.

[0012] Diese Aufgabe wird durch ein magnetisches Axiallager mit den Merkmalen von Patentanspruch 1 gelöst.

[0013] Erfindungsgemäß ist ein magnetisches Axiallager zur Aufnahme von axialen Kräften beschrieben, die auf ein Rotorbauteil einwirken, das relativ zu einem Statorbauteil um eine Rotationsachse drehgelagert ist, wobei das Lager ein erstes Lagerbauteil umfasst, das aus mindestens einem axial magnetisierten Permanentmagneten und mindestens zwei diesem zugeordneten Flussleitstücken besteht. Die Flussleitstücke sind auf gegenüberliegenden Stirnflächen des Permanentmagneten angeordnet und im Wesentlichen radial und senkrecht zur Rotationsachse ausgerichtet. Das Axiallager umfasst ein zweites Lagerbauteil, bestehend aus mindestens zwei Flussleitstücken, die in einem gegenseitigen axialen Abstand angeordnet und im wesentlichen radial und senkrecht zur Rotationsachse ausgerichtet sind. Je-

des Flussleitstück des zweiten Lagerbauteils ist einem Flussleitstück des ersten Lagerbauteils zugeordnet und liegt diesem getrennt durch einen Luftspalt in radialer Richtung unmittelbar gegenüber.

[0014] Das erfindungsgemäße Axiallager kann ein herkömmliches Axiallager üblicher Bauart, wie z. B. ein axiales fluiddynamisches Drucklager, ein Spurkuppenlager oder ein Kugellager, vollständig ersetzen. Ein magnetisches Lager erzeugt keine Reibung im Vergleich zu anderen Axiallagern üblicher Bauart. Dadurch ist das Lagersystem sehr geeignet für den Einsatz in einer elektrischen Maschine, beispielsweise einem Spindelmotor, wobei sich durch die geringere Reibung des Gesamtlagers auch die Stromaufnahme der elektrischen Maschine reduziert.

[0015] Für den Einsatz in einer elektrischen Maschine ist eines der Lagerbauteile mit dem Statorbauteil und eines das andere Lagerbauteil mit dem Rotorbauteil verbunden.

[0016] In einer ersten Ausführung des magnetischen Axiallagers ist der Permanentmagnet des ersten Lagerbauteils ringförmig ausgebildet und weist erste und zweite Stirnflächen sowie innere und äußere Umfangsflächen auf. Der Permanentmagnet ist ferner in Richtung der Rotationsachse axial magnetisiert und konzentrisch zur Rotationsachse angeordnet. Der Permanentmagnet ist bevorzugt unipolar (einpolar) axial magnetisiert, um Wirbelströme zu vermeiden oder multipolar (mehrpolar) axial magnetisiert. Eines der ringförmigen Flussleitstücke ist auf der ersten Stirnfläche und das andere ringförmige Flussleitstück auf der zweiten Stirnfläche des Permanentmagneten angeordnet. Die mindestens zwei Flussleitstücke weisen innere und äußere Umfangsflächen auf. Vorzugsweise können die inneren und äußeren Umfangsflächen der Flussleitstücke über die innere oder äußere Umfangsfläche des Permanentmagneten hinausragen.

[0017] In der ersten Ausgestaltung der Erfindung ist das zweite Lagerbauteil ringförmig ausgebildet und liegt dem Permanentmagneten des ersten Lagerbauteils in radialer Richtung gegenüber. Das zweite Lagerbauteil kann dabei identisch zum ersten Lagerbauteil ausgebildet sein, also einen ringförmigen und in Richtung der Rotationsachse axial magnetisierten Permanentmagneten umfassen, auf dessen Stirnseiten jeweils Flussleitstücke angeordnet sind. Die Flussleitstücke des zweiten Lagerbauteils können über die radial innere bzw. radial äußere Umfangsfläche des Permanentmagneten hinausragen und liegen den entsprechenden Flussleitstücken des ersten Lagerbauteils unmittelbar radial gegenüber. Die sich gegenüberliegenden Flussleitbleche des ersten und zweiten Lagerbauteils bilden durch ihre Bauart Flusskonzentratoren, die den magnetischen Fluss, der durch den Permanentmagneten erzeugt wird, kon-

zentrieren und bündeln. Dadurch wird die vom Axiallager aufzunehmende axiale Kraft erhöht.

[0018] Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführung der Erfindung kann das zweite Lagerbauteil aus einem ferromagnetischen Werkstoff bestehen, und konzentrisch zur Rotationsachse angeordnet sein. Hierbei wird es bevorzugt, wenn die Flussleitstücke integraler Bestandteil des zweiten Lagerbauteils sind. Vorzugsweise weist das zweite Lagerbauteil im Bereich der Flussleitstücke seinen größten Außen-Durchmesser bzw. kleinsten Innen-Durchmesser auf.

[0019] Sofern die Flussleitstücke des zweiten Lagerbauteils als Einzelelemente ausgebildet sind, können diese vorzugsweise aus einem ferromagnetischen Material bestehen. Jedes Flussleitstück besteht vorzugsweise aus einem ringförmigen Blechteil, wobei dieses Blechteil auch aus einem Stapel von dünnen Blechen bestehen kann, die in axialer Richtung, also in Richtung der Rotationsachse übereinander gestapelt sind. Der Blechstapel des Flussleitstückes ist vorzugsweise aus laminierten Blechen aufgebaut. Durch Verwendung eines unipolar axial magnetisierten Permanentmagneten bzw. eines Blechstapels als Flussleitstück können Wirbelströme weitestgehend vermieden werden, so dass keinerlei nennenswerte Wirbelstromverluste entstehen. Die Dicke der Flussleitstücke ist vorzugsweise wesentlich geringer als die Dicke des Permanentmagneten. Erfindungsgemäß können das erste und/oder das zweite Lagerbauteil auch zwei oder mehrere ringförmige Permanentmagnete umfassen, die in axialer Richtung gegenseitig magnetisiert sind. Zwischen den mehreren Permanentmagneten und auf den Stirnflächen der jeweils äußeren Permanentmagnete sind jeweils Flussleitstücke der oben beschriebenen Art angeordnet.

[0020] Im Sinne der Erfindung spielt es keine Rolle, ob das erste Lagerbauteil am Statorbauteil und das zweite Lagerbauteil am Rotorbauteil einer elektrischen Maschine angeordnet ist, oder der umgekehrte Fall bevorzugt wird, bei dem das erste Lagerbauteil am Rotorbauteil und das zweite Lagerbauteil am Statorbauteil der elektrischen Maschine angeordnet ist.

[0021] Die zwischen dem Rotorbauteil und dem Statorbauteil auftretenden radialen Kräfte können durch Radiallager bekannter Bauart, wie z. B. fluiddynamische Radiallager, Wälzlager etc., aufgenommen werden.

[0022] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die Zeichnungen näher beschrieben.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0023] Fig. 1 zeigt schematisch einen Schnitt durch ein Lagersystem mit einem magnetischen Axiallager in einer ersten Ausführung der Erfindung.

[0024] Fig. 2 zeigt einen Schnitt durch ein Lagersystem mit einem magnetischen Axiallager gemäß einer zweiten Ausführung der Erfindung.

[0025] Fig. 3 zeigt einen Schnitt durch ein magnetisches Axiallager gemäß einer dritten Ausführung der Erfindung.

[0026] Fig. 4 zeigt einen Schnitt durch Flussleitbleche mit gezahnter Umfangsfläche.

[0027] Fig. 5 zeigt schematisch ein Flussleitblech aus mehreren gestapelten Blechen.

[0028] Fig. 6 zeigt schematisch einen Schnitt durch ein Lager mit magnetischem Axiallager gemäß einer vierten Ausgestaltung der Erfindung.

[0029] Fig. 7 zeigt einen Schnitt durch ein Lagersystem mit magnetischem Axiallager gemäß einer fünften Ausgestaltung der Erfindung.

[0030] Fig. 8 zeigt einen Schnitt durch ein Lagersystem mit magnetischem Axiallager gemäß einer sechsten Ausgestaltung der Erfindung.

[0031] Fig. 9 zeigt einen Schnitt durch ein Lagersystem mit magnetischem Axiallager gemäß einer siebten Ausgestaltung der Erfindung.

[0032] Fig. 10 zeigt einen Schnitt durch ein Lagersystem mit magnetischem Axiallager gemäß einer achten Ausgestaltung der Erfindung.

[0033] Fig. 11 zeigt eine Kennlinie der vom magnetischen Axiallager erzeugten axialen Kraft.

Beschreibung von bevorzugten Ausführungsbeispielen der Erfindung

[0034] Fig. 1 zeigt schematisch einen Schnitt durch ein Lagersystem mit einem magnetischen Axiallager gemäß der Erfindung. Das dargestellte Lagersystem kann beispielsweise zur Drehlagerung eines Elektromotors verwendet werden. Das Lagersystem umfasst ein Statorbauteil 10, etwa eine Grundplatte, in welchem eine Lagerbuchse 12 gehalten ist. Die Lagerbuchse 12 nimmt eine Welle 14 drehbar auf, die mit einem Rotorbauteil 16, der Nabe, verbunden ist. Die Welle 14 ist mittels zweier Radiallager 18a und 18b um eine Rotationsachse 20 drehbar in einer Bohrung der Lagerbuchse 12 gelagert. Die Radiallager 18a und 18b sind im dargestellten Beispiel als fluiddynamische Radiallager ausgebildet, wie sie aus

dem Stand der Technik grundsätzlich bekannt sind. Die axialen Kräfte, die auf die Welle 14 wirken, werden durch ein magnetisches Axiallager 22 erfindungsgemäßer Bauart aufgenommen, welches aus einem ersten Lagerbauteil 24 und einem zweiten Lagerbauteil 30 gebildet wird. Das erste Lagerbauteil 24 ist im dargestellten Beispiel radial innenliegend des zweiten Lagerbauteils 30 ausgebildet und ist auf einer Stufe am Außenumfang der Lagerbuchse 12 angeordnet. Das erste Lagerbauteil 24 umfasst einen ringförmigen, und konzentrisch zur Rotationsachse 20 angeordneten Permanentmagneten 26. Auf den Stirnflächen des Permanentmagneten 26 sind zwei ringförmige Flussleitstücke 28a und 28b angeordnet, welche vorzugsweise aus einem ferromagnetischen Material bestehen. Der Permanentmagnet 26 ist vorzugsweise unipolar in axialer Richtung magnetisiert.

[0035] Das zweite Lagerbauteil 30 besteht in diesem Ausführungsbeispiel aus einem ringförmigen, integral mit dem Rotor 16 verbundenen Ansatz, welcher zwei Flussleitstücke 32a und 32b ausbildet, die in radialer Richtung gegenüberliegend den Flussleitstücken 28a und 28b des ersten Lagerbauteils 24 angeordnet sind. Die vom Permanentmagneten 26 des ersten Lagerbauteils 24 ausgehenden magnetischen Feldlinien werden in den Flussleitstücken 28a und 28b konzentriert und über einen Luftspalt 34 und die Flussleitstücke 32a und 32b des zweiten Lagerbauteils 30 zum Permanentmagneten 26 zurückgeführt. Der zum ersten Lagerbauteil 24 hinweisende halb-toroidale Raum zwischen den Flussleitstücken 32a und 32b kann mit einem diamagnetischen Material gefüllt sein.

[0036] Wenn die Welle 14 und das Rotorbauteil 16 relativ zur Lagerbuchse 12 und dem Statorbauteil 10 in axialer Richtung ausgelenkt werden, erzeugt das Zusammenwirken des Permanentmagneten 26, sowie der Flussleitstücke 18a und 18b und 32a und 32b auf der gegenüberliegenden Seite eine Rückstellkraft in axialer Richtung, welche das Rotorbauteil relativ zum Statorbauteil in axialer Richtung in einem stabilen Schwebezustand hält. Der Permanentmagnet 26 zieht ferner das zweite Lagerbauteil 30 in radialer Richtung an, so dass sich außerdem eine Vorspannung des Lagers in radialer Richtung ergibt, was die Wirkung der Radiallager 18a und 18b unterstützt. Das zweite Lagerbauteil 30 bzw. der Rotor 16 besteht vorzugsweise aus einem ferromagnetischen Material. Die Lagerbuchse 12 sowie die Welle 14 bestehen vorzugsweise aus unmagnetischem oder aus schwach-magnetischem Material, wie etwa aus unmagnetischem Stahl.

[0037] Mit der erfindungsgemäßen axialen Magnetlageranordnung ist es möglich, die Lager-Reibung erheblich zu reduzieren, weil auf ein axiales Drucklager herkömmlicher Bauart vollständig verzichtet und damit der axiale Lager spalt entsprechend groß ge-

macht werden kann. Das Magnetlager wirkt auch beim Stillstand des Lagersystems in entsprechender Weise, im Gegensatz zu beispielsweise einem fluid-dynamischen Axiallager.

[0038] Fig. 11 zeigt die Kennlinie 60 der axialen Rückstellkraft des Magnetlagers im Verhältnis zu dessen Auslegung in axialer Richtung gegenüber der stabilen Lage. Der Durchmesser des axialen Magnetlagers beträgt im Beispiel nur einige Millimeter bis wenige Zentimeter, wobei das Axialspiel des Lagers beispielsweise $\pm 100 \mu\text{m}$ betragen kann. Wie in Fig. 11 gezeigt, können bei dieser Ausführung Rückstellkräfte im Bereich von einigen Newton erzielt werden, wobei die Rückstellkräfte abhängig vom Design und den Abmessungen des Lagers variieren können und die Absolutwerte in der Fig. 2 nur als Beispiel zu verstehen sind.

[0039] Wie in der Rückstellkennlinie 60 zu erkennen ist, weist die Kennlinie eine gewisse Unsymmetrie auf, die sich durch den Einfluss der Eigenschaften und Materialien der Bauteile, insbesondere der Lagerbuchse 12 und des Rotors 16 ergeben.

[0040] Fig. 2 zeigt schematisch einen Schnitt durch eine Lageranordnung mit magnetischem Axiallager gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung. Gleiche Bauteile wie in Fig. 1 sind mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet. Die Ausführung der Fig. 2 unterscheidet sich von der ersten Ausführung durch den Aufbau des ersten Lagerbauteils 24 des Axiallagers. Das erste Lagerbauteil 24 umfasst wiederum einen Permanentmagneten 26, an dessen Stirnseiten jeweils ein Flussleitstück 28a und 28b angeordnet ist. Im Gegensatz zur ersten Ausführung gemäß Fig. 1 weisen die Flussleitstücke 28a und 28b gemäß Fig. 2 einen größeren Außendurchmesser auf, als der Permanentmagnet 26, so dass sie über den Rand des Permanentmagneten hinausstehen und sich die magnetischen Feldlinien verstärkt im Luftspalt zwischen den Flussleitstücken 28a und 28b bzw. den Flussleitstücken 32a und 32b des zweiten Lagerbauteils 30 konzentrieren. Durch diese Maßnahme ergeben sich höhere Rückstellkräfte des Axiallagers als im Vergleich zu Fig. 1.

[0041] Fig. 3 zeigt einen schematischen Schnitt durch eine weitere Ausführungsform eines axialen Magnetlagers gemäß der Erfindung. Gleiche Bauteile wie in Fig. 1 sind mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet. Die Ausführung der Fig. 3 unterscheidet sich von den Ausführungen gemäß den Fig. 1 und Fig. 2 durch die Anzahl der Permanentmagnete des ersten Lagerbauteils 24 sowie die Anzahl der Flussleitstücke. Das erste Lagerbauteil 24 umfasst zwei ringförmige Permanentmagnete 36 und 38, wobei zwischen den Magneten und an jeder Stirnfläche der Permanentmagnete 36, 38 jeweils ein Flussleitstück 40a, 40b und 40c angeordnet ist. Die Perma-

nentmagnete 36, 38 sind in axialer Richtung gegen-sinnig magnetisiert. Das zweite Lagerbauteil 30 ist radial gegenüberliegend des ersten Lagerbauteils 24 angeordnet und umfasst ebenfalls drei Flussleitstücke 42a, 42b und 42c, die jeweils radial gegenüberliegend einem Flussleitstück 40a, 40b und 40c des ersten Lagerbauteils 24 angeordnet sind. Durch den Einsatz von zwei Permanentmagneten 36, 38 lässt sich im Vergleich zu den Lagern von Fig. 1 und Fig. 2 eine höhere Rückstellkraft des axialen Magnetlagers erreichen, da sich die magnetische Kraft nahezu verdoppelt.

[0042] Fig. 4 zeigt einen Schnitt durch eine abgewandelte Ausgestaltung der Flussleitstücke der beiden Lagerbauteile. Ein Flussleitstück 44 des ersten Lagerbauteils 24 des Axiallagers 22 weist keinen gleichbleibenden Außendurchmesser auf, sondern besitzt am Außenumfang eine Reihe von Nuten, so dass das Flussleitstück 44 im Querschnitt gezahnt erscheint. Die Anzahl der Zähne ist bedingt durch die Dicke des Flussleitstückes 44 sowie das verwendete Verfahren zum Einbringen der Nuten. Das Flussleitstück 46 des gegenüberliegenden zweiten Lagerbauteils 30 weist ebenfalls eine Zahnung gleicher Anzahl auf, wobei jeder Zahn des Flussleitstückes 44 genau einem Zahn des Flussleitstückes 46 radial gegenüberliegt. Durch die Vielzahl der Zähne können die magnetischen Feldlinien des Magneten 26 besser konzentriert und dadurch ein höherer Anteil des magnetischen Flusses für die Zwecke des Axiallagers genutzt werden. Um die Konzentration der magnetischen Flusslinien weiter zu erhöhen, können zusätzlich die entstehenden Zwischenräume der Zähne der Flussleitstücke mit einem diamagnetischen Material gefüllt werden.

[0043] Fig. 5 zeigt schematisch einen Teilschnitt durch das erste Lagerbauteil 24 des Axiallagers 22 mit einem Flussleitstück 48, das aus einer Anzahl von laminierten Blechen besteht. Die Bleche des Blechstapels des Flussleitstückes 48 sind in radialer Richtung ausgerichtet, so dass die Bildung von Wirbelströmen auch bei Verwendung eines multipolar axial magnetisierten Permanentmagneten 26 vermieden werden kann.

[0044] Fig. 6 zeigt schematisch einen Schnitt durch ein Lagersystem mit magnetischem Axiallager gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung. Fig. 6 entspricht im Wesentlichen der Ausgestaltung von Fig. 1, wobei gleiche Bauteile mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet sind. Die Ausführung der Fig. 6 unterscheidet sich von der Ausführung gemäß Fig. 1 durch den Aufbau des ersten Lagerbauteils 24 des Axiallagers 22. Die Flussleitstücke 28a und 28b, die auf dem Permanentmagneten 26 des ersten Lagerbauteils 24 angeordnet sind, bedecken in dieser Ausgestaltung nicht die gesamte Stirnfläche des ringförmigen Permanentmagneten, sondern der

Permanentmagnet 26 weist einen kleineren Innendurchmesser auf, als die ringförmigen Flussleitstücke 28a und 28b. Hierdurch werden die rückseitigen Streuflüsse verringert, so dass der magnetische Hauptfluss vergrößert wird. Die Außendurchmesser des Permanentmagneten 26 und der Flussleitstücke 28a und 28b hingegen sind gleich.

[0045] Fig. 7 zeigt eine weitere Ausführung des erfindungsgemäßen magnetischen Axiallagers, wobei gleiche Bauteile wie in Fig. 1 und Fig. 2 mit denselben Bezugszeichen versehen sind. Im Unterschied zu den vorhergehenden Ausführungen der Erfindung sind in Fig. 7 die Positionen der ersten und zweiten Lagerbauteile 50 und 52 vertauscht, das heißt das erste Lagerbauteil 50 ist am Rotor 16 angeordnet, während das zweite Lagerbauteil 52 an der Lagerbuchse 12 angeordnet ist. Das erste Lagerbauteil 50 umfasst den Permanentmagneten 51 und jeweils stirnseitig befestigte Flussleitstücke, die mittels eines Verbindungsstücks am Rotor 16 befestigt sind. Radial in Richtung der Rotationsachse 20 gegenüberliegend ist das erste Lagerbauteil 52 angeordnet, das an einer Stufe der Lagerbuchse 12 befestigt ist. Das zweite Lagerbauteil 52 umfasst Flussleitstücke die den Flussleitstücken des ersten Lagerbauteils radial gegenüberliegen.

[0046] Fig. 8 zeigt eine abgewandelte Ausführung der Ausgestaltung gemäß Fig. 7 die sich von Fig. 7 dadurch unterscheidet, dass das zweite Lagerbauteil 54 unmittelbar an den Außenumfang der Welle angrenzt und zusammen mit der Lagerbuchse 12 für die radiale Lagerung der Welle 14 sorgt. Am Lagerbauteil 54 sind gegenüberliegend zum Lagerbauteil 50 Flussleitstücke vorgesehen.

[0047] Fig. 9 zeigt einen Schnitt durch ein Lagersystem mit einem erfindungsgemäßen magnetischen Axiallager gemäß einer weiteren Ausführung. An einem Statorbauteil 110, in welchem eine Welle 114 mittels Radiallagern 118a und 118b drehgelagert ist, ist ein erstes Lagerbauteil 124 befestigt. Das erste Lagerbauteil 124 umfasst einen Permanentmagneten 126, an dessen Stirnflächen jeweils zwei über den Außenumfang des Permanentmagneten 126 hinausragende Flussleitstücke 118a und 118b befestigt sind. Die Welle 114 ist mit einem Rotor 116 verbunden, an dessen Innenumfang ein zweites Lagerbauteil 130 angeordnet ist, radial gegenüberliegend zum ersten Lagerbauteil 124. Das zweite Lagerbauteil 130 umfasst ebenfalls einen Permanentmagneten 156, an dessen Stirnflächen jeweils Flussleitstücke 132a und 132b angeordnet sind. Die Flussleitstücke 132a und 132b stehen über den Innenumfang des Magneten 156 hinaus und liegen unmittelbar gegenüber den Flussleitstücken 128a und 128b. Diese Ausführung zeichnet sich durch die Verwendung von jeweils einem Permanentmagneten in jedem Lagerbauteil 124 und 130 aus. Pro Lagerbauteil können je-

doch auch zwei oder mehr Permanentmagnete verwendet werden.

[0048] **Fig. 10** zeigt einen Schnitt durch ein Lagersystem mit Axiallager gemäß der Erfindung, wobei gleiche Bauteile wie in **Fig. 9** mit denselben Bezugszeichen versehen sind. Im Unterschied zu **Fig. 9** verlaufen die Innen- und Außendurchmesser der Flussleitstücke **128a** und **128b** auf der selben Ebene wie die Innen- und Außendurchmesser des Permanentmagneten **126**. Gleichermaßen verlaufen die Innen- und Außendurchmesser der Flussleitstücke **132a** und **132b** auf der selben Ebene wie die Innen- und Außendurchmesser des Permanentmagneten **156**.

[0049] Die vorgestellten Lagersysteme mit magnetischem Axiallager eignen sich insbesondere zur Drehlagerung von Spindelmotoren für Festplattenspeicherantriebe, mit Speicherplatten mit einem Durchmesser von 3,5 Zoll, 2,5 Zoll und darunter. Bei einem derartigen Spindelmotor hat der Außenumfang der Nabe einen Durchmesser von einigen Millimetern, wobei die Dicke der Permanentmagnete beispielsweise 1 mm und die der Flussleitstücke 0,2 mm betragen kann. Diese Abmessungen sind jedoch nur beispielhaft genannt und die Erfindung ist hierauf nicht beschränkt.

118a, 118b	Radiallager
120	Rotationsachse
124	erstes Lagerbauteil
126	Permanentmagnet
128a, 28b	Flussleitstück
130	Zweites Lagerbauteil
132a, 132b	Flussleitstück
156	Permanentmagnet

Bezugszeichenliste

10	Statorbauteil, Grundplatte
12	Lagerbuchse
14	Welle
15	Stopperring
16	Rotorbauteil, Nabe
17	Abdeckplatte
18a, 18b	Radiallager
20	Rotationsachse
22	Axiallager
24	erstes Lagerbauteil
26	Permanentmagnet
28a, 28b	Flussleitstück
30	Zweites Lagerbauteil
32a, 32b	Flussleitstück
34	Luftspalt
36	Permanentmagnet
38	Permanentmagnet
40a, b, c	Flussleitstück
42a, b, c	Flussleitstück
44	Flussleitstück
46	Flussleitstück
48	Flussleitstück
50	erstes Lagerbauteil
51	Permanentmagnet
52	zweites Lagerbauteil
54	zweites Lagerbauteil
60	Kennlinie
110	Statorbauteil, Grundplatte
114	Welle
116	Rotorbauteil, Nabe

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 6172847 B1 [0002, 0003]
- US 5541460 [0006]
- US 5561335 [0006]
- US 5545937 [0006]
- US 2003/0042812 A1 [0007]
- US 2003/0117031 A1 [0008]
- US 2004/0046467 A1 [0009]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- R. F. Post, "Stability Issues in Ambient-Temperature Passive Magnetic Bearing Systems", Lawrence Livermore National Laboratory, UCRL-ID-137632, 17. Februar 2000 [0005]

Patentansprüche

1. Magnetisches Axiallager (22) zur Aufnahme von axialen Kräften, die auf ein Rotorbauteil einwirken, das relativ zu einem Statorbauteil um eine Rotationsachse (20; 120) drehgelagert ist, wobei das Lager umfasst:

ein erstes Lagerbauteil (24; 50; 124) bestehend aus mindestens einem Permanentmagneten (26; 126) und mindestens zwei diesem zugeordneten Flussleitstücken (28; 128), die auf gegenüberliegenden Stirnflächen des Permanentmagneten angeordnet und im Wesentlichen radial und senkrecht zur Rotationsachse ausgerichtet sind,

ein zweites Lagerbauteil (30) bestehend mit mindestens zwei Flussleitstücken (32; 132), die in einem gegenseitigen Abstand angeordnet und im wesentlichen radial und senkrecht zur Rotationsachse ausgerichtet sind, wobei jedes Flussleitstück (32; 132) des zweiten Lagerbauteils (30) einem Flussleitstück (28; 128) des ersten Lagerbauteils (22) zugeordnet ist und diesem getrennt durch einen Luftspalt (34) in radialer Richtung unmittelbar gegenüberliegt.

2. Magnetisches Axiallager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eines der Lagerbauteile (22; 30) mit dem Statorbauteil und eines der Lagerbauteile (30, 22) mit dem Rotorbauteil verbunden ist.

3. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Permanentmagnet (26; 126) ringförmig ausgebildet ist und erste und zweite Stirnflächen sowie innere und äußere Umfangsflächen aufweist.

4. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Permanentmagnet (26; 126) in Richtung der Rotationsachse (20) axial magnetisiert ist.

5. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Permanentmagnet (26; 126) konzentrisch zur Rotationsachse (20) angeordnet ist.

6. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein ringförmiges Flussleitstück (28a; 128a) auf der ersten Stirnfläche des Permanentmagneten (26; 126) angeordnet ist und innere und äußere Umfangsflächen aufweist.

7. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein ringförmiges Flussleitstück (28b; 128b) auf der zweiten Stirnfläche des Permanentmagneten (26; 126) angeordnet ist und innere und äußere Umfangsflächen aufweist.

8. Magnetisches Axiallager nach einem der An-

sprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die innere oder äußere Umfangsfläche der Flussleitstücke (28; 128) über die innere oder äußere Umfangsfläche des Permanentmagneten (26; 126) hinausragen.

9. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Lagerbauteil (30) ringförmig ausgebildet ist und dem Permanentmagneten (26; 126) des ersten Lagerbauteils (22) in radialer Richtung gegenüberliegt.

10. Magnetisches Lager nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Lagerbauteil (30) aus einem ferromagnetischen Werkstoff besteht und konzentrisch zur Rotationsachse angeordnet ist.

11. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Flussleitstücke (32) integraler Bestandteil des zweiten Lagerbauteils (30) sind.

12. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Lagerbauteil (30) im Bereich der Flussleitstücke (32) seinen größten Außen-Durchmesser oder kleinsten Innen-Durchmesser aufweist.

13. Magnetisches Lager nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Lagerbauteil (130) einen Permanentmagnet (156) umfasst, der erste und zweite Stirnflächen sowie innere und äußere Umfangsflächen aufweist.

14. Magnetisches Axiallager nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Permanentmagnet (156) in Richtung der Rotationsachse (20) axial magnetisiert ist.

15. Magnetisches Axiallager nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Permanentmagnet (156) konzentrisch zur Rotationsachse (20) angeordnet ist.

16. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass ein ringförmiges Flussleitstück (132a) auf der ersten Stirnfläche des Permanentmagneten (156) angeordnet ist und innere und äußere Umfangsflächen aufweist.

17. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass ein ringförmiges Flussleitstück (132b) auf der zweiten Stirnfläche des Permanentmagneten (156) angeordnet ist und radial innere und radial äußere Umfangsflächen aufweist.

18. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die radial innere oder radial äußere Umfangsfläche der Flussleitstücke (132) über die radial innere oder radial äußere Umfangsfläche des Permanentmagneten (156) hinausragen.

19. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Flussleitstücke (28, 128; 32, 132) aus einem ferromagnetischen Material bestehen.

20. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Flussleitstücke (28, 128; 32, 132) aus einem Blechstapel bestehen, dessen Bleche in axialer Richtung übereinander liegen.

21. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Permanentmagnet zwei oder mehrere ringförmige Permanentmagnete (36; 38) umfasst, die in axialer Richtung gegensinnig magnetisiert sind.

22. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Statorbauteil und das Rotorbauteil Teile einer elektrischen Maschine sind.

23. Magnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Maschine ein Spindelmotor ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

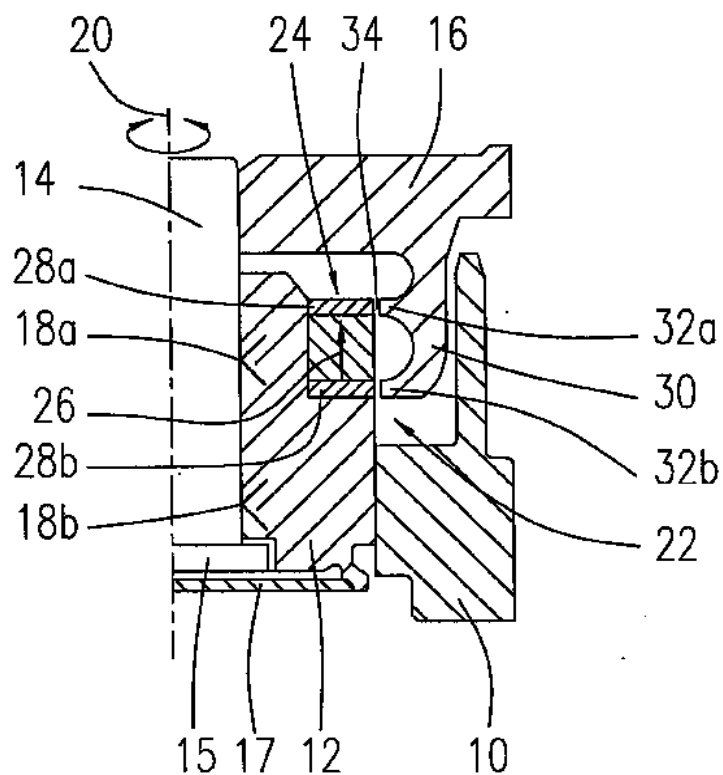


Fig. 2

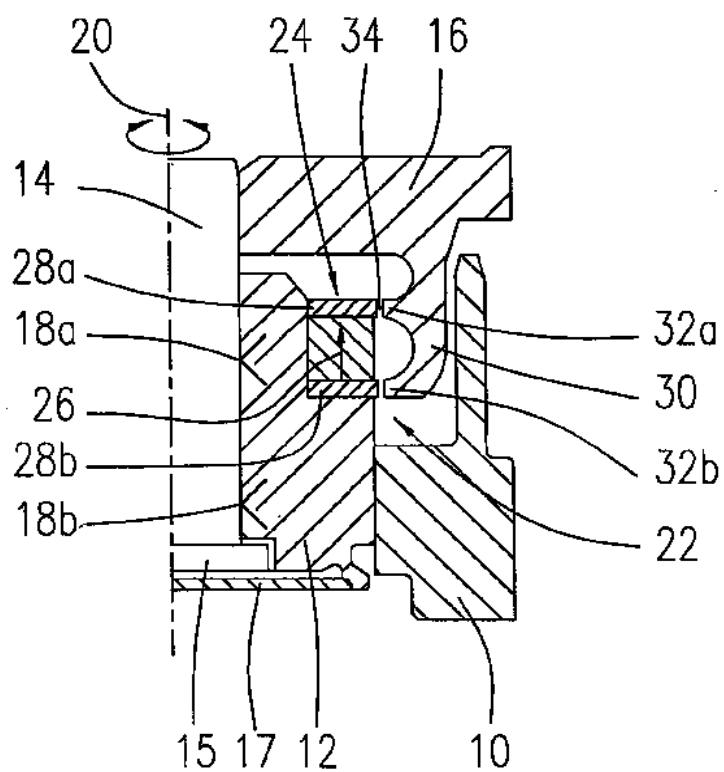


Fig. 3

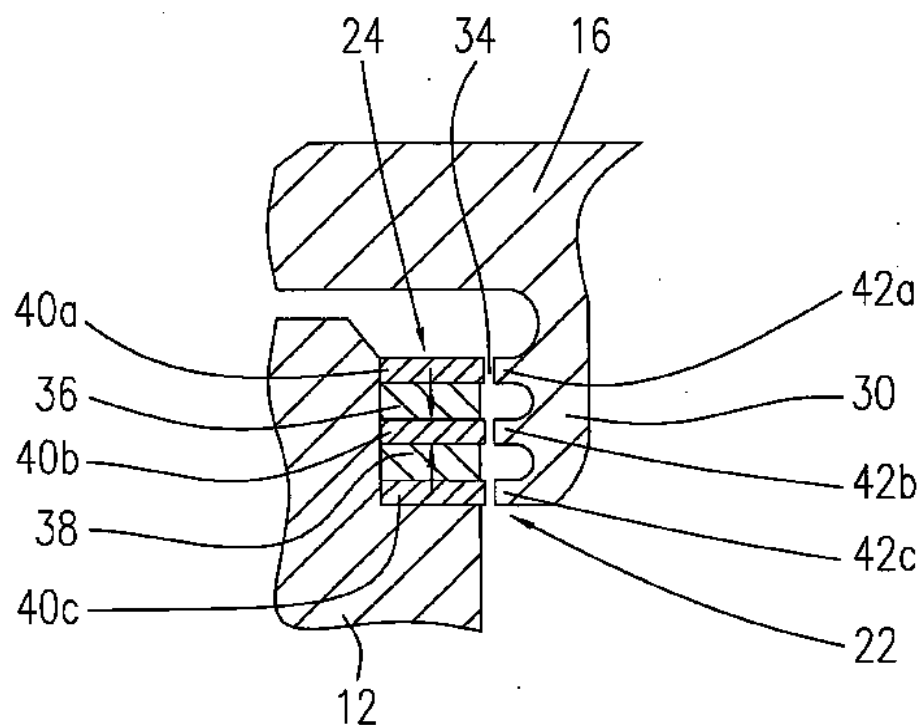


Fig. 4

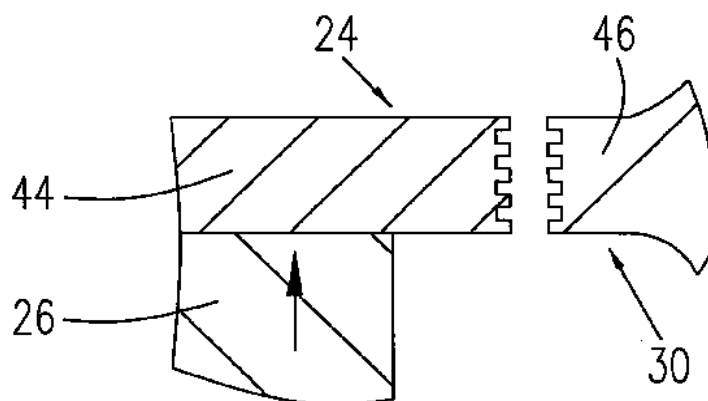


Fig. 5

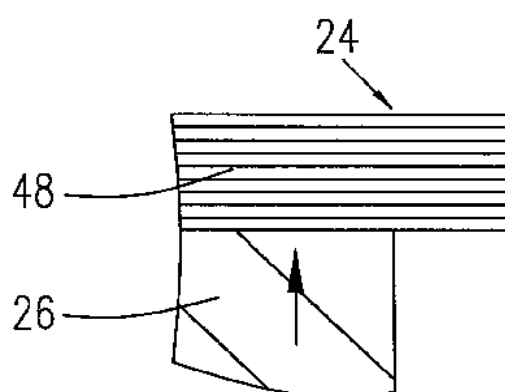


Fig. 6

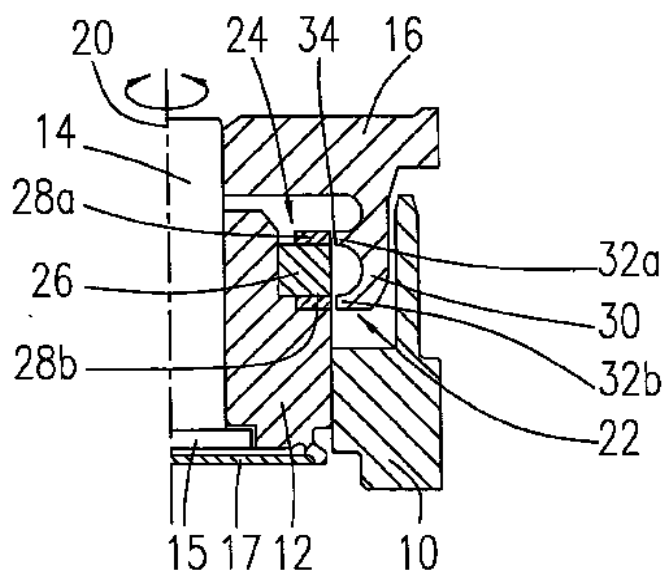


Fig. 7

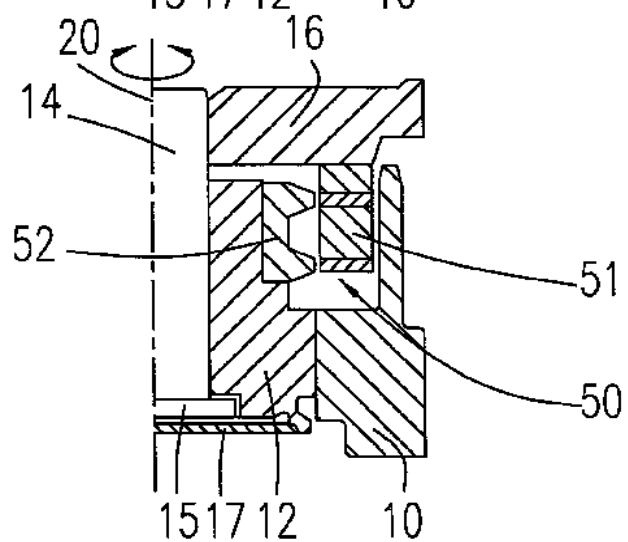


Fig. 8

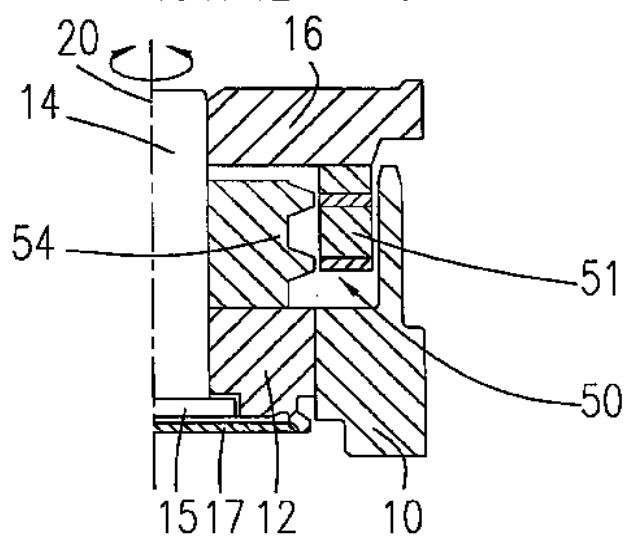


Fig. 9

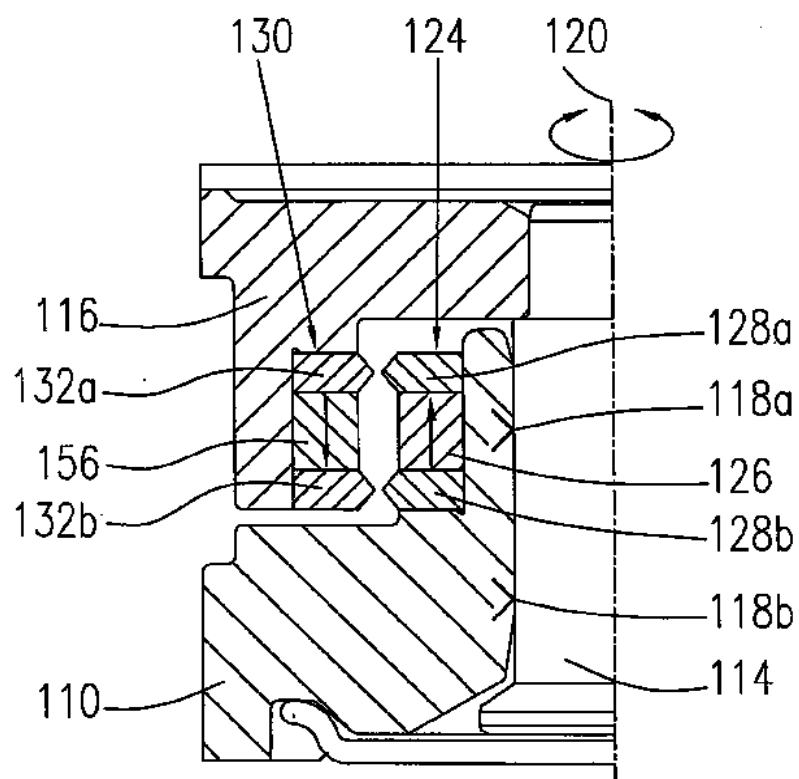
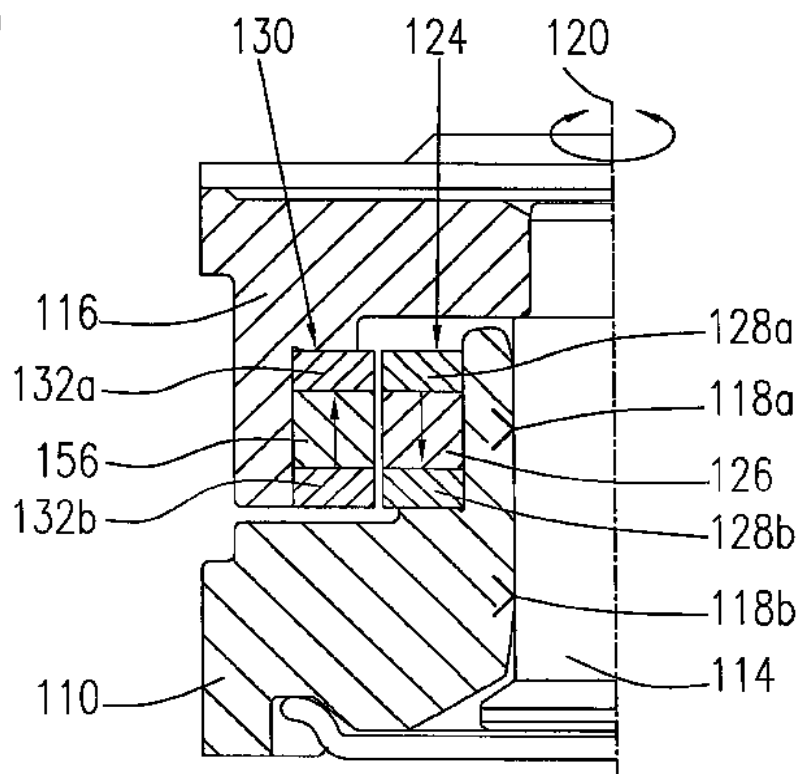


Fig. 10



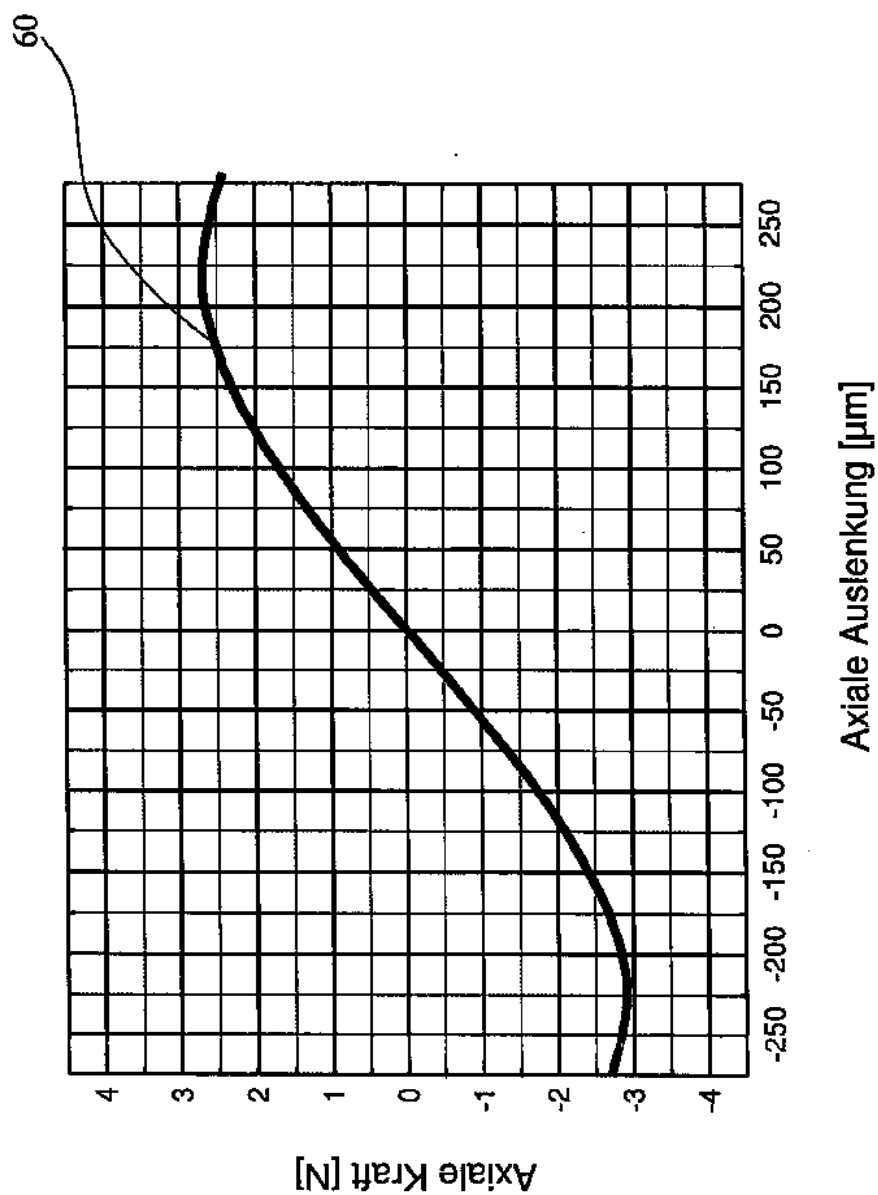


Fig. 11

PM0757/P1228