



(10) **DE 10 2010 038 791 A1** 2011.11.10

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 038 791.6**

(22) Anmeldetag: **02.08.2010**

(43) Offenlegungstag: **10.11.2011**

(66) Innere Priorität:

**10 2010 028 604.4 05.05.2010**

(71) Anmelder:

**Mecatronic GmbH, 64293, Darmstadt, DE**

(74) Vertreter:

**Patentanwälte Lippert, Stachow & Partner, 01309,  
Dresden, DE**

(51) Int Cl: **F16C 32/04 (2006.01)**

(72) Erfinder:

**Aenis, Martin, Dr.-Ing., 64287, Darmstadt, DE;  
Klesen, Christof, Dipl.-Ing., 64397, Modautal, DE;  
Ehmann, Christian Wolfgang, Dr.-Ing., 64295,  
Darmstadt, DE; Oldendorf, Ulrich, Dr.-Ing., 64372,  
Ober-Ramstadt, DE**

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

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

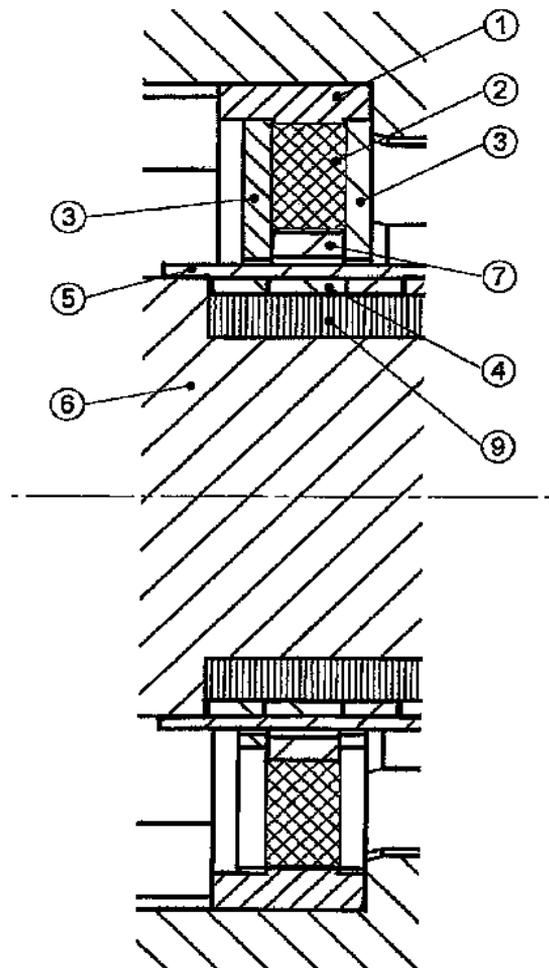
**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Elektromagnetisches Axiallager**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein elektromagnetisches Axiallager für eine Welle nach der Art eines Lorentzkraft-Lagers mit Permanentmagneten und einer diese umgebende Spule, die mit einer Energieversorgung verbunden ist, wobei im Lagerbereich in den Umfang der Welle eine Vielzahl einzelner Permanentmagnete nebeneinander bündig eingelassen ist.

Durch die Erfindung soll ein elektromagnetisches Axiallager von der Art eines Lorentzkraft-Lagers derart weiter gebildet werden, dass es bei einfacher Herstellung eine deutlich höhere Kraftdicht und Tragkraft aufweist.

Erreicht wird das dadurch, die Spule (2) die Permanentmagnete (4) mit einem vorgegebenen Luftspalt fest stehend umgibt, und dass die Spule (2) und die Permanentmagnete (4) von einem ferromagnetischen Joch (1, 3) ringförmig umgeben sind, wobei die Permanentmagnete (4) als Ringe radial magnetisiert, mit wechselnder Polung als Ringsegmente mit paralleler oder axialer Magnetisierung oder in Form einer Halbach-Anordnung ausgeführt sind.



(19)



Deutsches  
Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2010 038 791 A1 2011.11.10**

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

DE	2337696	A1
DE	31 30 974	A1
DE	695 05 526	T2
US	2008 / 0 122 308	A1
KR10	2003 0 076 802	A
KR10	2005 0 056 753	A

**G. Schweizer et al. "Magnetlager", Springer-Verlag 1993, S. 84-87**

**J. Delamare et al. "A Compact Magnetic Suspension With Only One Axis Control" IN IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 30, No 6, November 1994**

**J.-P. Yonnet "Permanent Magnet Bearings and Couplings" IN IEEE Transactions on Magnetics Vol. MAG-17, No 1, January 1981**

**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein elektromagnetisches Axiallager für eine Welle nach der Art eines Lorentzkraft-Lagers mit Permanentmagneten und einer diese umgebende Spule, die mit einer Energieversorgung verbunden ist, wobei im Lagerbereich am Umfang der Welle eine Vielzahl einzelner Permanentmagnete nebeneinander angeordnet sind.

**[0002]** Elektromagnetische Axiallager für drehbar gelagerte Wellen dienen dazu, die Welle axial zu fixieren bzw. in gewissen Grenzen in axialer Richtung zu positionieren. An der Welle können dann zu tragende Lasten, z. B. Greifeinrichtungen, weitere Lager, o. dgl. befestigt werden, oder Prozesskräfte abgestützt werden.

**[0003]** Im Stand der Technik ist eine Vielzahl von praktischen Ausführungsformen solcher elektromagnetischer Lager bekannt geworden. So ist die Welle bei einer Standard-Ausführung an der Lagerstelle mit einer radial hervor stehenden Scheibe ausgestattet, die beidseitig, d. h. am Umfang, durch fest stehende Elektromagnete zwischen diesen schwebend fixiert wird. Zur Ausbildung des benötigten Magnetfeldes mit einer ausreichenden Feldstärke ist jeder Elektromagnet mit einem Joch versehen. Ein Beispiel für ein solches Axiallager geht aus der DE 695 05 526 T2 hervor.

**[0004]** Der Nachteil eines solchen Axiallagers ist darin zu sehen, dass es prinzipbedingt instabil ist, einer Positionsregelung zur Kompensation dieser Instabilität bedarf und ständig mit Energie versorgt werden muss. Weitere Nachteile sind, dass die Demontage sich als äußerst schwierig gestaltet und die radial hervor stehende Scheibe aufgrund ihrer maximal zulässigen Festigkeit, die maximale Drehzahl der Welle begrenzt. Allerdings weist ein solches Axiallager bei kleinen Luftspalten, wenige 1/10 mm, eine hohe Tragkraft auf.

**[0005]** Bei einer Variante eines solchen Axiallagers werden ein Permanentmagnet und ein Elektromagnet in Form eines Hybridlagers miteinander kombiniert. Ein gemeinsames Joch umschließt dabei die radial hervor stehende Scheibe, so dass diese infolge der sich ausbildenden Magnetkräfte axial und radial fixiert wird.

**[0006]** Ein solches Axiallager zeigt die gleichen Vor- und Nachteile wie das vorstehend beschriebene Axiallager.

**[0007]** Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, in die Welle an deren Umfang Permanentmagnete einzulassen, die von fest stehenden Permanentmagneten umgeben werden. Ein solches Axiallager lässt sich einfach demontieren, jedoch ist es radial instabil,

hat ein schlechtes Dämpfungsverhalten und weist eine geringe Drehzahlgrenze sowie Tragkraft auf. Die axiale Stabilität ist jedoch prinzipbedingt auch ohne Elektronik, Positionsregelung und Energiezufuhr gegeben.

**[0008]** Aus der KR 102003076802 A geht ein magnetisches Radiallager mit verstärkter axialer Führungskraft hervor. Es handelt sich hier um ein so genanntes Kombilager zur Übertragung axialer und radialer Kräfte. Dazu ist auf der zu lagernden Welle ein geblechter Eisenkern montiert, der die Welle ringförmig umgibt. Für den Stator ist ebenfalls ein geblechter Eisenkern vorgesehen, der anderen Eisenkern umgibt und mit einer Wicklung versehen ist. Es handelt sich hier um eine sehr aufwändige Konstruktion, die radial instabil ist und nur eine passive axiale Lagerung mit geringer Steifigkeit und Dämpfung ermöglicht.

**[0009]** Schließlich sind auch so genannte Lorentzkraft-Lager bekannt, mit denen jedoch nur eine geringe bis mittlere Tragkraft bei höherer Drehzahlgrenze realisierbar ist. Grundsätzlich besteht ein solches Lager aus Permanentmagneten, die in den Umfang einer Welle eingelassen sind, die von einer fest stehenden Spule umgeben werden. Ein Beispiel hierfür zeigt die KR 102005056753 A.

**[0010]** Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein elektromagnetisches Axiallager von der Art eines Lorentzkraft-Lagers derart weiter zu bilden, dass es bei einfacher Herstellung eine deutlich höhere Kraftdichte und Tragkraft aufweist.

**[0011]** Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird bei einem elektromagnetischen Axiallager der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass eine Spule die am Umfang der Welle angeordneten in einem vorgegebenen Luftspalt fest stehend umgibt, und dass die Spule und die Permanentmagnete von einem ferromagnetischen Joch ringförmig umgeben sind.

**[0012]** Die besonderen Vorteile des erfindungsgemäßen Axiallagers sind darin zu sehen, dass dieses sehr einfach montiert und demontiert werden kann und dass die Drehzahlgrenze sich nach oben verschiebt, da eine die Festigkeit begrenzende Scheibe am Umfang der Welle nicht mehr benötigt wird. Außerdem lässt sich die als Rotor dienende Welle ohne Demontage des Rotors oder des Stators ziehen, d. h. sehr leicht demontieren.

**[0013]** Insbesondere hat sich gezeigt, dass eine deutlich höhere Tragkraft und Kraftdichte sowie bessere axiale Stabilität gegenüber einem Lorentzkraft-Lager in Standardausführung erreicht wird.

**[0014]** Durch die gute axiale Stabilität ohne negative Steifigkeit ergibt sich eine einfache Positionsregelung.

**[0015]** Weiterhin gestatten die über einen weiten axialen Bereich des Luftspaltes konstanten Lagereigenschaften wesentlich gröbere Montagetoleranzen und somit eine kostengünstigere Fertigung.

**[0016]** In Fortführung der Erfindung können die Permanentmagnete als Ringe radial magnetisiert, mit wechselnder Polung angeordnet sein, oder als Ringssegmente mit paralleler oder axialer Magnetisierung gestaltet sind.

**[0017]** Besonders hohe Magnetkräfte werden erreicht, wenn die Permanentmagnete in Form einer Halbach-Magnet-Anordnung mit zirkumpolar umlaufender Polarisierung ausgeführt sind.

**[0018]** In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung besteht das ferromagnetische Joch aus einem Ringteil und sich daran seitlich anschließende Jochbeine, welche die Spule umschließen.

**[0019]** Das Joch und die Jochbeine können geblecht ausgeführt sein, wobei die Bleche vorzugsweise aus den Materialien SiFe, SiFeCo oder SiFeP bestehen. Selbstverständlich können auch grundsätzlich auch andere ferromagnetische Materialien eingesetzt werden.

**[0020]** In einer Fortführung der Erfindung sind die Permanentmagnete bündig in den Umfang der Welle eingelassen.

**[0021]** Weiterhin können die Permanentmagnete zu deren mechanischen Fixierung mit einer diese umgebenden Bandage versehen sein, wodurch auch höhere Drehzahlen völlig problemlos realisiert werden können. Die Bandage kann aus einem kohlenstofffaserverstärkten Kunststoff (CFK) bestehen.

**[0022]** In einer weiteren Fortführung der Erfindung ist die Spule direkt in einen Spulenwickelkörper gewickelt, der die Permanentmagnete in einem vorgegebenen Abstand, einen Luftspalt frei haltend, umgibt.

**[0023]** Die Spule kann auch wild gewickelt sein, was den Fertigungsaufwand reduziert.

**[0024]** In das Axiallager kann weiterhin ein axialer Positionssensor integriert sein, der zusätzlich mit einer Positionsregelung für das Axiallager gekoppelt werden kann.

**[0025]** In einer weiteren Ausgestaltung ist die Positionsregelung mit einer elektronischen Schwingungsdämpfung gekoppelt.

**[0026]** In einer alternativen Ausführungsform sind die nebeneinander in den Umfang der Welle eingelassenen Permanentmagnete über einem Eisenrückschluss in der Welle angeordnet. Diese Ausführungsform kommt insbesondere dann zum Einsatz, wenn die Welle aus einem nichtmagnetischen Material besteht.

**[0027]** Zur Aufnahme und Kompensation einer statischen Last, wie einer Gewichtskraft, ist es zusätzlich möglich, seitlich am Joch zusätzliche Permanentmagnete vorzusehen, die gegenüber einem an der Welle ausgebildeten Wellenansatz angeordnet sind.

**[0028]** Nachfolgend soll die Erfindung an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

**[0029]** **Fig. 1:** ein schematisch im Schnitt dargestelltes erfindungsgemäßes elektromagnetisches Axiallager;

**[0030]** **Fig. 2:** eine Variante des Axiallagers nach **Fig. 1** mit einem zusätzlichen Positionssensor;

**[0031]** **Fig. 3:** eine vereinfachte Ausführung ohne Bandage und ohne Eisenrückschluss; und

**[0032]** **Fig. 4:** eine Variante des elektromagnetischen Axiallagers nach **Fig. 1**, bei der zusätzliche Permanentmagnete zur Aufnahme einer statischen Last, z. B. einer Gewichtskraft vorgesehen sind.

**[0033]** Das Axiallager befindet sich in einem Bauteil und umschließt eine drehbar zu fixierende Welle **6**. Entsprechend der durch das Axiallager realisierten Tragkraft kann die Welle **6** mit beliebigen Baugruppen, wie einem Greifer, einem weiteren Lager, usw. verbunden sein (**Fig. 1**). Die Welle **6** kann aus einem nichtmagnetischen oder magnetischen Material bestehen.

**[0034]** Das Axiallager enthält eine Vielzahl einzelner Permanentmagnete **4**, die nebeneinander in den Umfang der Welle **6** bündig über einem Eisenrückschluss **9** eingelassen sind. Der Eisenrückschluss bildet dabei die untere Lage in einer Nut im Umfang der Welle **6**, über der dann die Permanentmagnete **4** nebeneinander eingesetzt sind. Dieser Eisenrückschluss **9** ist insbesondere dann erforderliche, wenn die Welle **6** aus einem nicht magnetischem Material besteht.

**[0035]** Um ein unbeabsichtigtes Lösen der Permanentmagnete **4** von der Welle **6** bei höheren Drehzahlen oder Beschleunigungen zu verhindern, kann optional eine Bandage **5** vorgesehen sein, welche die Permanentmagnete **4** fest umschließt und in den Luftspalt hineinragt. Die Bandage **5** kann aus CFK, also einem kohlenstofffaserverstärkten Kunststoff, gefertigt werden, wodurch die Permanentmagnete auch

bei höheren Drehzahlen der Welle sicher in dieser fixiert werden.

[0036] Die Permanentmagnete 4 können als Ringe radial magnetisiert, mit wechselnder Polung ausgeführt sein, oder als Ringsegmente mit paralleler oder axialer Magnetisierung gestaltet sein.

[0037] Besonders hohe Magnetkräfte werden erreicht, wenn die Permanentmagnete 4 in Form einer Halbach-Magnet-Anordnung mit zirkumpolar umlaufender Polarisierung ausgeführt sind.

[0038] Die Permanentmagnete 4 werden von einer Spule 2 umschlossen, wobei zwischen dieser und den Permanentmagneten 4 ein Luftspalt frei gehalten wird. Da die Spule 2 allein kein ausreichendes Magnetfeld ausbilden würde, ist ein ferromagnetisches Joch 1 vorgesehen, welches sowohl die Spule 2, als auch die Permanentmagnete 4 ringförmig umgibt, derart, dass die Spule 2 in das Joch 1 eingebettet ist.

[0039] Das ferromagnetische Joch 1 besitzt sich seitlich anschließende Jochbeine 3, die ferromagnetisch oder geblecht ausgeführt sein können, wobei für die Bleche besonders die Materialien SiFe, SiFe-Co oder SiFeP in Frage kommen. In einer alternativen Ausführung können die Bleche durch Pulververbundwerkstoffe (z. B. Eisen- bzw. Eisenpulverlegierungen) ersetzt werden. Die Spule 2 wird ferner zwischen den Jochbeinen 3 durch einen Spulenwickelkörper 7 umgeben, der einen sicheren Sitz der Spule 2 gewährleistet.

[0040] Die über einen Anschluss mit einer Energiequelle zu verbindende Spule 2 ist auf den Spulenwickelkörper 7 gewickelt, der die Permanentmagnete 4 in dem vorgegebenen Abstand umgibt (Fig. 2). Es ist nicht erforderlich, die Spule 2 lagenweise zu wickeln, sondern diese kann wild in den Spulenwickelkörper 7 gewickelt werden, wodurch sich der Fertigungsaufwand verringert.

[0041] Durch eine Ansteuerung der Spule 2 mit positiven bzw. negativen Strömen lassen sich entsprechende positive bzw. negative Lagerkräfte in axialer Koordinatenrichtung erzielen.

[0042] In das Axiallager kann weiterhin ein Sensor 8 integriert sein, der zusätzlich mit einer Positionsregelung sowie einer elektronischen Schwingungsdämpfung gekoppelt sein kann (Fig. 2).

[0043] Das erfindungsgemäße Axiallager gestattet eine vergleichsweise einfache Montage und Demontage und erreicht eine deutlich höhere Tragkraft und Kraftdichte gegenüber einem Lorentzkraft-Lager in Standardausführung.

[0044] In Fig. 3 ist eine vereinfachte Variante der Ausführung des Axiallagers nach Fig. 1 ohne Bandage 5 und ohne Eisenrückschluss 9 sowie ohne Sensor 8 dargestellt. Sämtliche anderen Bauteile sind wie in Fig. 1 dargestellt, angeordnet. Damit erübrigt sich eine weitergehende Beschreibung dieser Ausführung.

[0045] Fig. 4 zeigt schließlich eine Variante des elektromagnetischen Axiallagers nach Fig. 1, bei der zusätzliche Permanentmagnete 10 am Joch 3 zur Aufnahme und Kompensation einer statischen Last, z. B. einer Gewichtskraft, vorgesehen sind.

[0046] Bei dieser ergänzenden Ausführung mit den zusätzlichen Permanentmagneten 10 ist zur Ausbildung eines permanentmagnetischen Flusses ein Wellenabsatz 12 gegenüber den Permanentmagneten 10 erforderlich. Der permanentmagnetische Pfad 11 der magnetischen Flussdichte verläuft hier von dem (zeichnungsgemäß) oberen Permanentmagneten 10 in den Wellenabsatz 12 der Welle 6 und von dort durch den (zeichnungsgemäß) unteren Permanentmagneten 10 in das Jochbein 3 und schließt sich schließlich wieder im oberen Magneten 10.

[0047] Der besondere Vorteil dieser Ausführung ist darin zu sehen, dass das Axiallager nur noch die Gleichgewichtslage stabilisieren und die zentrische Position halten muss, weil die Gewichtskraft durch die Permanentmagnete 10 aufgefangen wird. Außerdem werden nahezu keine Ströme zum Halten der statischen Kraft benötigt, wodurch diese Ausführung besonders effizient ist.

[0048] Es versteht sich, dass diese Alternative mit den zusätzlichen Permanentmagneten 10 selbstverständlich auch bei den Ausführungen nach Fig. 2 und Fig. 3 sinngemäß eingesetzt werden kann.

#### Bezugszeichenliste

1	Joch
2	Spule
3	Jochbeine
4	Permanentmagnete
5	Bandage
6	Welle
7	Spulenwickelkörper
8	Sensor
9	Eisenrückschluss
10	Permanentmagnete
11	Pfad der magnetischen Flussdichte
12	Wellenabsatz

**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**

- DE 69505526 T2 [0003]
- KR 102003076802 A [0008]
- KR 102005056753 A [0009]

**Patentansprüche**

1. Elektromagnetisches Axiallager für eine Welle nach der Art eines Lorentzkraft-Lagers mit Permanentmagneten und einer diese umgebende Spule, die mit einer Energieversorgung verbunden ist, wobei im Lagerbereich am Umfang der Welle eine Vielzahl einzelner Permanentmagnete nebeneinander angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**,

– dass die Spule (2) die Permanentmagnete (4) mit einem vorgegebenen Luftspalt fest stehend umgibt, und

– dass die Spule (2) und die Permanentmagnete (4) von einem ferromagnetischen Joch (1, 3) umgeben sind.

2. Elektromagnetisches Axiallager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Permanentmagnete (4) als Ringe radial magnetisiert, mit wechselnder Polung angeordnet sind.

3. Elektromagnetisches Axiallager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Permanentmagnete (4) als Ringsegmente mit paralleler oder axialer Magnetisierung ausgeführt sind.

4. Elektromagnetisches Axiallager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Permanentmagnete (4) in Form einer Halbach-Magnet-Anordnung mit zirkumpolar umlaufender Polarisierung ausgeführt sind.

5. Elektromagnetisches Axiallager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das ferromagnetische Joch (1) aus einem Ringteil und sich daran seitlich anschließenden Jochbeinen (3) besteht, welche die Spule (2) umschließen.

6. Elektromagnetisches Axiallager nach Anspruch 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Joch (1) und die Jochbeine (3) geblecht bzw. aus Pulver-Verbundwerkstoffen ausgeführt sind.

7. Elektromagnetisches Axiallager nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Joch (1) und die Jochbeine (3) aus Blechen aus den Materialien SiFe, SiFeCo oder SiFeP bzw. aus Pulver-Verbundwerkstoffen bestehen.

8. Elektromagnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Permanentmagnete (4) in den Umfang der Welle (6) bündig eingelassen sind.

9. Elektromagnetisches Axiallager nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Permanentmagnete (4) mit einer diese umgebenden Bandage (5) versehen sind.

10. Elektromagnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Spule (2) direkt in einen Spulenwickelkörper (7) gewickelt ist, der die Permanentmagnete (4) in einem vorgegebenen Abstand umgibt.

11. Elektromagnetisches Axiallager nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Spule (2) wild gewickelt ist.

12. Elektromagnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein axialer Sensor (8) integriert ist.

13. Elektromagnetisches Axiallager nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor (8) mit einer Positionsregelung für das Axiallager gekoppelt ist.

14. Elektromagnetisches Axiallager nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Positionsregelung mit einer elektronischen Schwingungsdämpfung gekoppelt ist.

15. Elektromagnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die nebeneinander in den Umfang der Welle (6) bündig eingelassenen Permanentmagnete (4) über einem Eisenrückschluss (9) in der Welle (6) eingelassen sind.

16. Elektromagnetisches Axiallager nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass seitlich am Joch (3) zusätzliche Permanentmagnete (10) zur Aufnahme und Kompensation einer statischen Last vorgesehen sind, die gegenüber eines Wellenabsatzes (12) der Welle (6) angeordnet sind.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

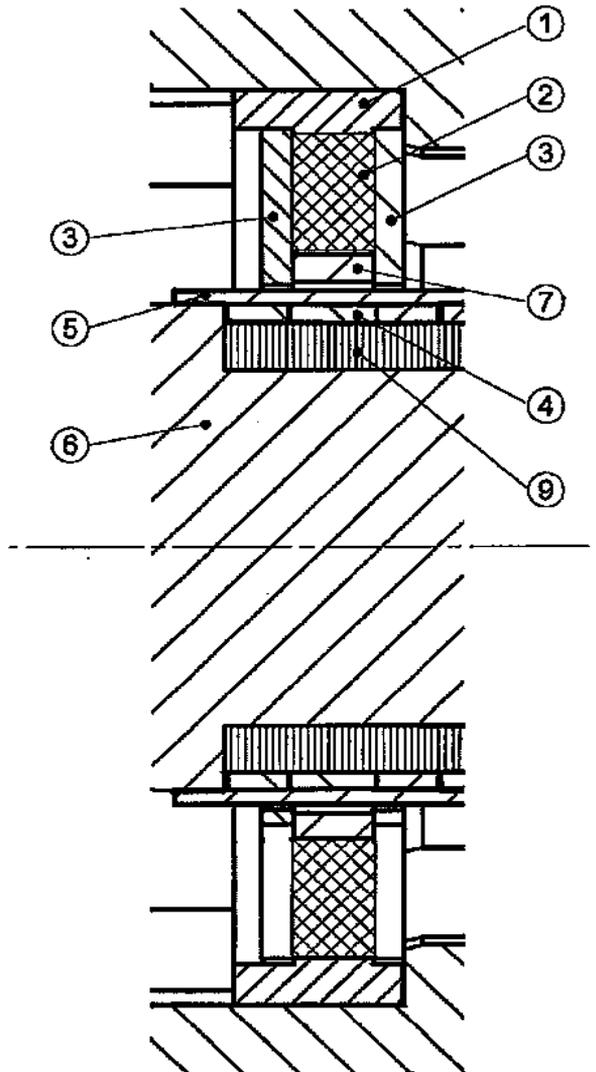


Fig. 1

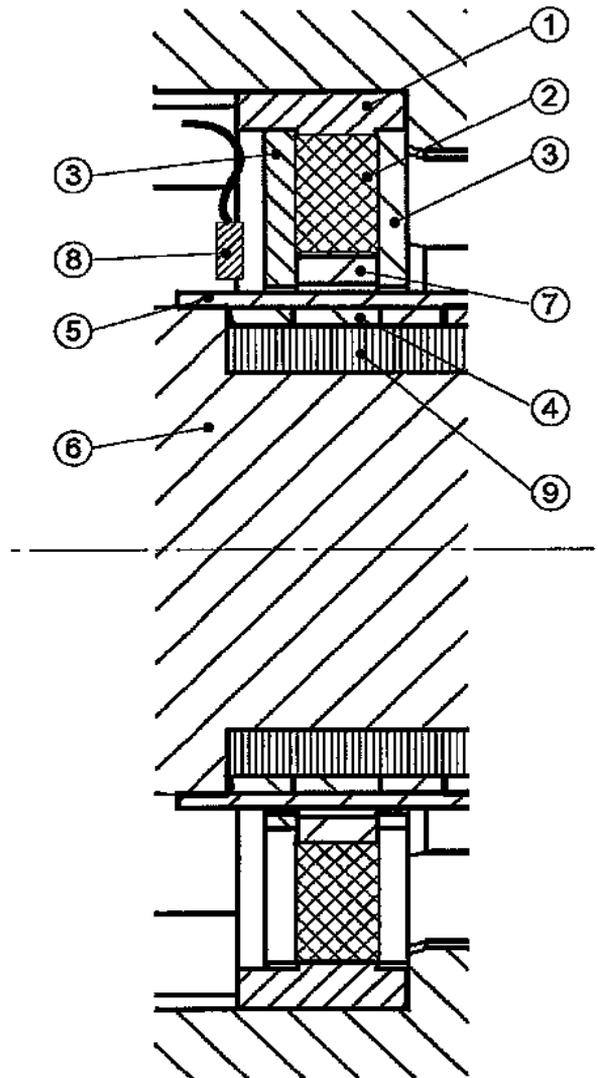


Fig. 2

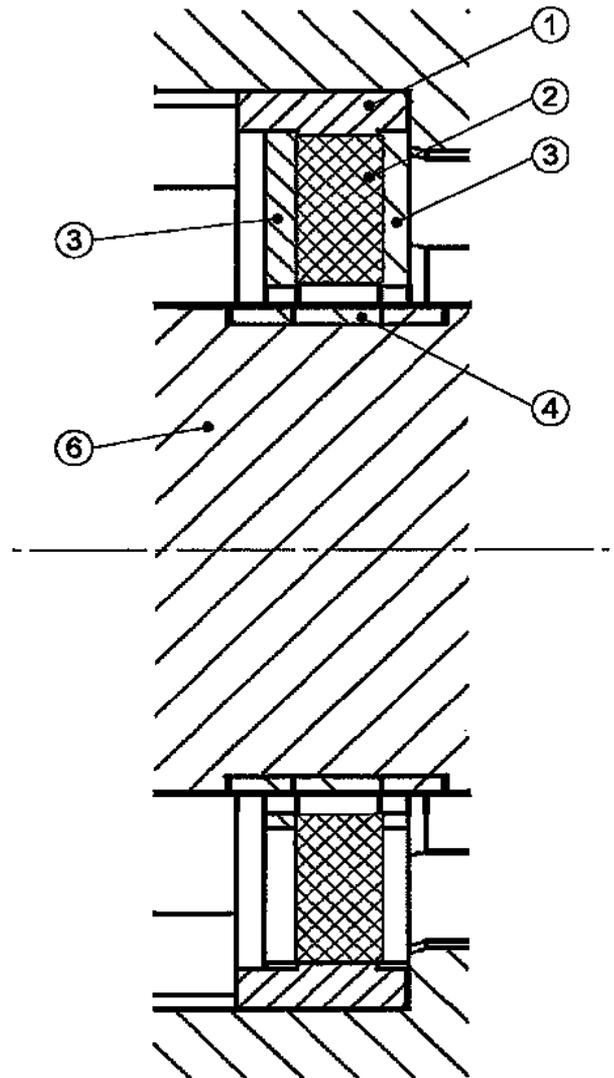


Fig. 3

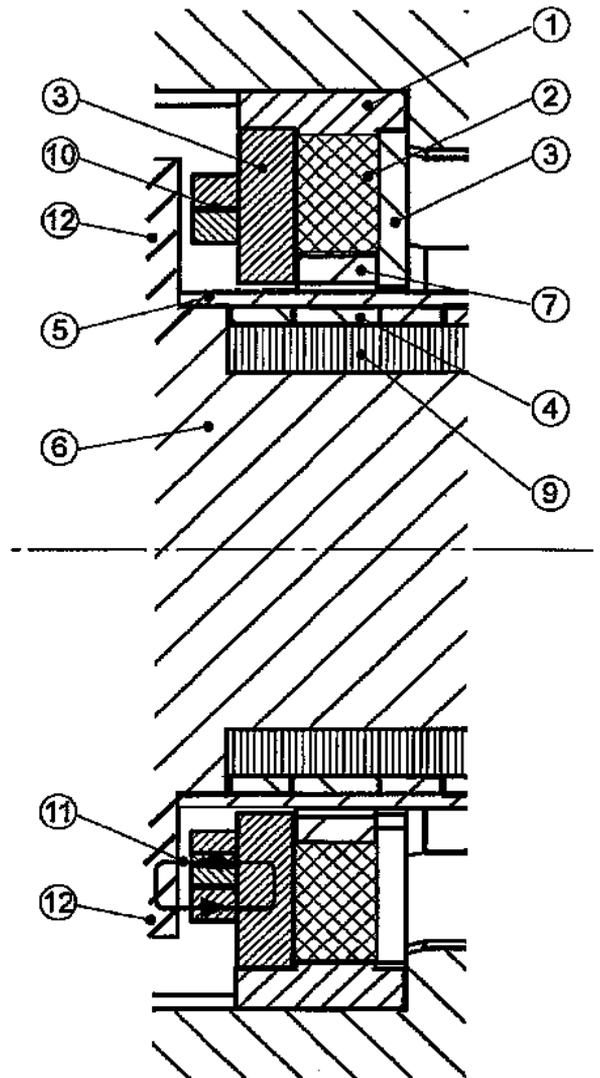


Fig. 4