



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 40 38 382 A 1

⑤1 Int. Cl.⁵:
F 16 C 32/04
H 02 K 7/09

⑳ Aktenzeichen: P 40 38 382.2
㉔ Anmeldetag: 1. 12. 90
㉕ Offenlegungstag: 4. 6. 92

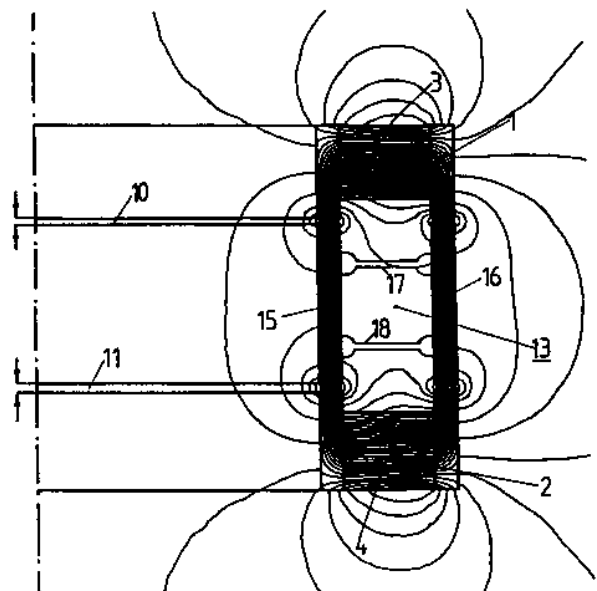
DE 40 38 382 A 1

㉗ Anmelder:
A. van Kaick Neu-Isenburg GmbH & Co. KG, 6078
Neu-Isenburg, DE

㉘ Erfinder:
Marinescu, Marlene, Dr.-Ing.; Marinescu, Nicolae,
Prof. Dr., 6000 Frankfurt, DE

㉙ Passives dauermagnetisches Radiallager

㉙ Ein passives dauermagnetisches Radiallager ist aus drei Ringen (1, 2 und 13) aufgebaut und besitzt Dauermagnetringe (3 und 4) in den äußeren, beispielsweise mit einem Stator verbundenen Ringen (1 und 2). Die Dauermagnetringe (3, 4) sind radial in zueinander entgegengesetzter Richtung magnetisiert, so daß dessen Magnetflüsse über Polringe (15, 16) des mittleren Rings (13) gekoppelt sind. Hierdurch erhält man bei einer axialen Verschiebung des mittleren Rings (13) aus der Mittellage eine wesentlich verminderte resultierende Kraft in axialer Richtung, so daß die Lagerung des Rotors in axialer Richtung schwächer dimensioniert werden kann (Fig. 2).



DE 40 38 382 A 1

Die Erfindung betrifft ein passives dauermagnetisches Radiallager zur drehbeweglichen Verbindung eines Stators mit einem Rotor, das aus mindestens drei konzentrisch zu einer gemeinsamen Achse in axialer Richtung nebeneinander angeordneten, abwechselnd mit dem Stator und dem Rotor mechanisch verbundenen Ringen besteht, die Dauermagnete und weichmagnetisches Material (Polringe, Polschuhe) in solcher Anordnung enthalten, daß jeweils zwischen einem mittleren und den axial angrenzenden Ringen ein Magnetfluß im wesentlichen parallel zur gemeinsamen Achse den Luftspalt durchdringt, so daß die auf den mittleren Ring in den Luftspalten axial wirkenden Anziehungskräfte zueinander entgegengesetzt gerichtet sind.

Ein derartiges Radiallager ist beispielsweise aus DE-OS 27 41 062 bekannt. Die Fig. 2 bis 4 dieser Offenlegungsschrift zeigen passive Radiallager, die aus jeweils drei Ringen bestehen. Jeweils der mittlere Ring ist hier mit einem in radialer Richtung magnetisierten Dauermagnetring versehen, so daß sich der Fluß des Dauermagneten im Idealfall je zur Hälfte über je einen der aus U-förmigen Polschuhringen bestehenden äußeren Ring schließt.

Dieses bekannte Radiallager besitzt eine sehr geringe Streuung des magnetischen Flusses und damit eine hohe Radialsteifigkeit. Sobald jedoch die Aufteilung des Flusses auf die äußeren Polschuhringe nicht vollkommen gleichmäßig ist, wie das in der Praxis durch unvermeidliche Ungenauigkeiten in der axialen Positionierung des mittleren Rings oder durch Wirkung äußerer Axialkräfte auftritt, bewirken schon kleine Abweichungen des mittleren Rings aus seiner Mittellage eine Vergrößerung des einen und eine Verkleinerung des anderen Luftspaltes, was eine dazu im Quadrat steigende bzw. fallende Flußdichte und eine entsprechende unterschiedliche resultierende, in axialer Richtung wirkende Kraft zur Folge hat. Diese Kraft muß durch entsprechend steif dimensionierte Axiallager aufgefangen werden, so daß der Vorteil der hohen Radialsteifigkeit der Anordnung weitgehend kompensiert wird. Das Verhältnis Radialsteifigkeit zu axialer Instabilität ist also bei diesem Lager sehr ungünstig.

Eine ähnliche Anordnung ist weiterhin aus DE-OS 25 00 211 bekannt. In Fig. 22 ist hier ein passives dauermagnetisches Radiallager dargestellt, das ebenfalls drei axial nebeneinander angeordnete Ringe besitzt. Der mittlere Ring besitzt hier zwei radial nach innen (vom Süd- zum Nordpol) aufmagnetisierte Dauermagnete, während die äußeren Ringe radial nach außen aufmagnetisiert sind. Bei einer axialen Verschiebung erhält man wiederum durch die unterschiedlichen Luftspalte und damit durch die unterschiedlichen magnetischen Widerstände der magnetisch weitgehend entkoppelten Kreise unterschiedlich hohe Flüsse zusätzlich zu der sich ergebenden unterschiedlichen Luftspaltbreite und damit ähnlich hohe resultierende Kräfte in axialer Richtung.

Eine bei gegebener Abweichung aus der Mittelstellung des mittleren Rings günstigere, aber hinsichtlich der Radialsteifigkeit etwas ungünstigere Magnetanordnung bei einem dauermagnetischen Radiallager zeigt beispielsweise Fig. 9 von EP 2 84 487 A1. Der mittlere Ring besteht hier aus weichmagnetischem Material mit I-Profil und die äußeren Ringe enthalten zwischen je zwei coaxialen Polringen gleichsinnig radial aufmagnetisierte Polringe.

Der magnetische Widerstand der beiden sich über die Luftspalte zwischen dem mittleren und den benachbarten Ringen schließenden Kreise für die Magnetflüsse hängt — wegen der zusätzlich vorhandenen Streuung der Dauermagnete — nicht allein vom Luftspalt (neben dem sehr kleinen Widerstand des weichmagnetischen mittleren Rings) ab. Er wird sich daher bei gegebener Auslenkung des mittleren Ringes aus seiner Mittellage weniger stark verändern als bei den vorher beschriebenen bekannten Anordnungen, so daß die resultierende axiale Kraft und damit das Verhältnis von Axial- zu Radialsteifigkeit etwas geringer ist.

Zur besseren Erläuterung der Verhältnisse ist die letztgenannte bekannte Anordnung in Fig. 6 mit Flußlinien dargestellt. Die äußeren Ringe 1, 2 bestehen aus Dauermagnetringen 3, 4, die radial nach innen zur Achse 5 aufmagnetisiert sind. Sie sind zwischen coaxialen Polringen 6, 7, 8, 9 aus weichmagnetischem Material angeordnet und grenzen an Luftspalte 10, 11 zum mittleren weichmagnetischen Ring 13 an, der beispielsweise im Gegensatz zu den Ringen 1 und 2 mit einem drehbaren Teil (Rotor) verbunden sein kann.

Die als dünne Linien angedeuteten Flußlinien zeigen Streuflüsse nach außen und beiderseits der Luftspalte und lassen außerdem erkennen, daß zwei voneinander getrennte magnetische Kreise gebildet werden, die unabhängig voneinander die Luftspalte 10 und 11 parallel zur Achse 5 durchdringen. Eine Ermittlung der Axialkräfte dieser Anordnung hat nun bei gegebenen Abmessungen und bei Luftspalten von 0.9 mm für Luftspalt 10 und von 1.1 mm für Luftspalt 11 eine resultierende Kraft $F = 206 \text{ N}$ ergeben. Dieser Kraft lag eine Abweichung des mittleren Ringes um 0.1 mm von der Mittellage zugrunde, so daß sich eine Axialsteifigkeit von $206/0.1 = 2060 \text{ N/mm}$ ergibt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es nun, ein passives dauermagnetisches Radiallager anzugeben, dessen Verhältnis von Radial- zu Axialsteifigkeit durch Verminderung der Axialsteifigkeit verbessert ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Magnetisierungsrichtung in den äußeren von jeweils drei benachbarten Ringen zueinander entgegengesetzt gerichtet ist, so daß mindestens ein Teil der magnetischen Flußlinien sich über beide Luftspalte schließt.

Vorteilhafte Weiterentwicklungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Fig. 1 bis 5 dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 eine Anordnung entsprechend Fig. 6 mit geänderter Magnetisierungsrichtung der Dauermagnete,

Fig. 2 eine weiter verbesserte Anordnung mit weitgehend gekoppelten Magnetkreisen,

Fig. 3 eine Verbindung der mittleren Polringe durch nichtmagnetisches Material,

Fig. 4 eine Ausführung mit mehr als drei Ringen und

Fig. 5 ein Beispiel mit axial magnetisiertem Dauermagnetring.

In Fig. 1 sind die Dauermagnetringe 1, 2 und 13 im Querschnitt mit Flußlinien dargestellt. Während der Dauermagnetring 4 wie in der bekannten Anordnung nach Fig. 6 radial von außen nach innen magnetisiert ist, wurde als Dauermagnetring 3 ein von innen nach außen aufmagnetisierter Dauermagnetring eingesetzt. Hierdurch ergibt sich eine völlig andere Flußverteilung. Während die Magnetisierung der Luftspalte 10 und 11 nahezu unverändert ist — also die Radialsteifigkeit etwa bleibt oder sich nur geringfügig abschwächt — schließt

sich nur noch ein Teil der von den Dauermagnetringen 1 und 2 erzeugten Flüsse im mittleren Ring. Der Rest bildet einen Magnetfluß, der sich über beide Luftspalte 10 und 11 erstreckt.

Dieser Teil des Magnetflusses wird aber bei einer Auslenkung des mittleren Ringes aus der Mittellage nicht mehr nennenswert verändert, da einer Verringerung des Luftspaltes 10 eine Vergrößerung des Luftspaltes 11 gegenübersteht. Der magnetische Widerstand des Magnetkreises wird also nicht beeinflusst, so daß bei einer Auslenkung des mittleren Rings 13 um 0.1 mm aus der Mittellage eine resultierende Axialkraft von nur noch 195 H ermittelt werden konnte. Gegenüber dem Bekannten hat sich also die Axialsteifigkeit von 2060 N/mm auf 1950 N/mm vermindert, ohne daß ein zusätzlicher wirtschaftlicher Aufwand damit verbunden wäre.

Außerdem bleibt der Vorteil, daß keine empfindlichen Dauermagnete auf dem Rotor angeordnet werden müssen, erhalten. Da außerdem bei dieser Anordnung die Magnetflüsse nur teilweise gekoppelt sind, kann durch unterschiedliche Dimensionierung der Dauermagnetringe 3, 4 außerdem — bei untereinander gleicher Luftspaltbreite der Luftspalte 10 und 11 erreicht werden, daß sich die Axialkräfte um einen definierten Betrag unterscheiden. Zusätzlich zur Verringerung der Axialsteifigkeit läßt sich also in der Mittelstellung des mittleren Teils eine Axialkraft einstellen, die zum Beispiel bei senkrechter Achse 5 zum vollständigen oder auch partiellen Ausgleich des Rotorgewichtes eingesetzt werden kann.

Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung zeigt nun Fig. 2. Während die Ringe 1, 2 gegenüber dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 unverändert geblieben sind, besteht der mittlere Ring 13 aus zwei koaxialen Polringen 15, 16 aus weichmagnetischem Material, die über nicht magnetische Verbindungsstücke 17, 18 miteinander und — wie im einzelnen nicht dargestellt — mit einem Rotor verbunden sind.

Die Flußlinien zeigen, daß sich jetzt nahezu der gesamte Magnetfluß über beide Luftspalte 10 und 11 schließt, so daß eine Auslenkung des mittleren Rings 13 aus seiner Mittellage kaum eine Flußänderung in den sozusagen hintereinandergeschalteten Luftspalten zur Folge hat. Bei dieser Anordnung verminderte sich die Axialsteifigkeit bei gleicher Auslenkung von 0.1 mm auf 1336 N/mm.

In Fig. 3 ist vorteilhafterweise ein Tragring 19 aus Kunststoff oder einem anderen magnetisch nicht permeablen Material vorgesehen, um die Polringe 15 und 16 mechanisch miteinander zu verbinden. Die radiale Abmessung des Tragrings 19 entspricht dabei derjenigen der Dauermagnetringe 3 und 4.

Fig. 4 zeigt die erfindungsgemäße Anordnung, wenn aus Dimensionierungsgründen mehr als drei Ringe vorgesehen werden. Zwischen den Ringen 13 und 2 sind hier weitere Ringe 20 und 21 angeordnet. Der Ring 20 entspricht dabei in seiner Funktion dem Ring 13; er ist wie dieser vorteilhafterweise mit dem Rotor verbunden und koppelt die Magnetflüsse der am Stator befestigten Ringe 2 und 21. Der Ring 21 hat hier doppelten Querschnitt, da er die Flüsse beider benachbarter Ringe führen muß. Man könnte diesen mechanisch auch in zwei Ringe teilen, die dann aber beide mit dem Stator zu verbinden wären und damit magnetisch als ein Ring anzusehen sind.

Für den Fall, daß man den mittleren Ring 13 mit dem Stator verbinden will, ohne daß sich Dauermagnetringe auf dem rotierenden Teil befinden, läßt sich entspre-

chend Fig. 5 auch ein axial magnetisierter Dauermagnetring 22 im mittleren Ring 13 anordnen. Dieser ist, wie Fig. 5 zeigt, über einen Kunststoffkörper 19 mit dem inneren weichmagnetischen Polring 15 verbunden. Die über die Luftspalte 10, 11 angekoppelten Ringe bestehen dann nur aus Polschuhringen 23, 24 mit U-förmigem Querschnitt und sind vorteilhafterweise mit dem Rotor verbunden.

Selbstverständlich läßt sich auch (anstatt oder zusätzlich) der innere Polring durch einen Dauermagnetring ersetzen, da die geringere Axialsteifigkeit nicht wesentlich von der Lage der Dauermagnetringe in dem Magnetkreis abhängt.

Patentansprüche

1. Passives dauermagnetisches Radiallager zur drehbeweglichen Verbindung eines Stators mit einem Rotor, das aus mindestens drei konzentrisch zu einer gemeinsamen Achse in axialer Richtung nebeneinander angeordneten, abwechselnd mit dem Stator und dem Rotor mechanisch verbundenen Ringen (1, 2, 13) besteht, die Dauermagnete und weichmagnetisches Material (Polringe, Polschuhe) in solcher Anordnung enthalten, daß jeweils zwischen einem mittleren und den axial angrenzenden Ringen (13 und 1, 2) ein Magnetfluß im wesentlichen parallel zur gemeinsamen Achse (5) den Luftspalt (10 bzw. 11) durchdringt, so daß die auf den mittleren Ring (13) in den Luftspalten (10, 11) axial wirkenden Anziehungskräfte zueinander entgegengesetzt gerichtet sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Magnetisierungsrichtung in den äußeren von jeweils drei benachbarten Ringen (1, 2, 13) zueinander entgegengesetzt gerichtet ist, so daß mindestens ein Teil der magnetischen Flußlinien sich über beide Luftspalte (10, 11) schließt.

2. Passives dauermagnetisches Radiallager nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die äußeren von drei axial benachbarten Ringen (1, 2) radial und zueinander entgegengesetzt magnetisierte Dauermagnetringe (3, 4) enthalten.

3. Passives dauermagnetisches Radiallager nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauermagnetringe (3, 4) zwischen je zwei zueinander koaxialen, weichmagnetischen Polringen (6, 7, 8, 9) angeordnet sind und daß der mittlere Ring (13) nur aus weichmagnetischem Material besteht.

4. Passives dauermagnetisches Radiallager nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der aus weichmagnetischem Material bestehende Ring (13) auf dem Rotor angeordnet ist.

5. Passives dauermagnetisches Radiallager nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der mittlere Ring (13) aus zwei koaxialen, weichmagnetischen Polringen (15, 16) besteht, die nur durch magnetisch nicht oder schlecht leitendes Material verbunden sind.

6. Passives dauermagnetisches Radiallager nach Patentanspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Polringe (15, 16) des mittleren Rings (13) durch einen ebenfalls ringförmigen Kunststoffkörper (19) verbunden sind.

7. Passives dauermagnetisches Radiallager nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mittlere von drei Ringen (13) mindestens einen in Achsrichtung magnetisierten Dauermagnetring (22) enthält.

8. Passives dauermagnetisches Radiallager nach Patentanspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die dem mittleren Ring benachbarten Ringe (23, 24) nur aus weichmagnetischem Material bestehen.

9. Passives dauermagnetisches Radiallager nach Patentanspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die dem mittleren Ring (13) benachbarten Ringe (23, 24) als U-förmige Polschuhringe ausgebildet sind.

10. Passives dauermagnetisches Radiallager nach Patentanspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die dem mittleren Ring (13) benachbarten Ringe (23, 24) auf dem Rotor befestigt sind.

11. Passives dauermagnetisches Radiallager nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es aus einer ungeraden Zahl von Ringen (1, 13, 21, 20, 2) besteht, die größer als drei ist.

12. Passives dauermagnetisches Radiallager nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich nur ein Teil der durch die Dauermagnetringe (3, 4) erzeugte Magnetfluß über beide Luftspalte (10, 11) schließt und daß zur Erzeugung einer Axialkraft bei gleich breiten Luftspalten (10, 11) die Dauermagnetringe (3, 4) unterschiedlich dimensioniert sind, so daß sich die von ihnen erzeugten Magnetflüsse um einen gegebenen Betrag unterscheiden.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

60

65

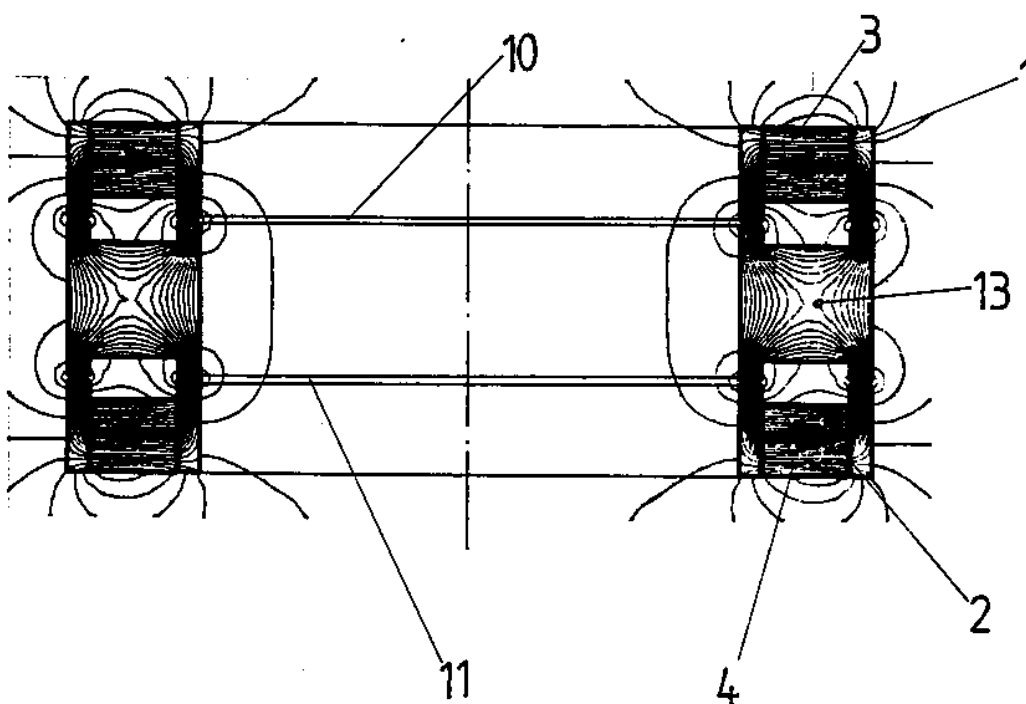
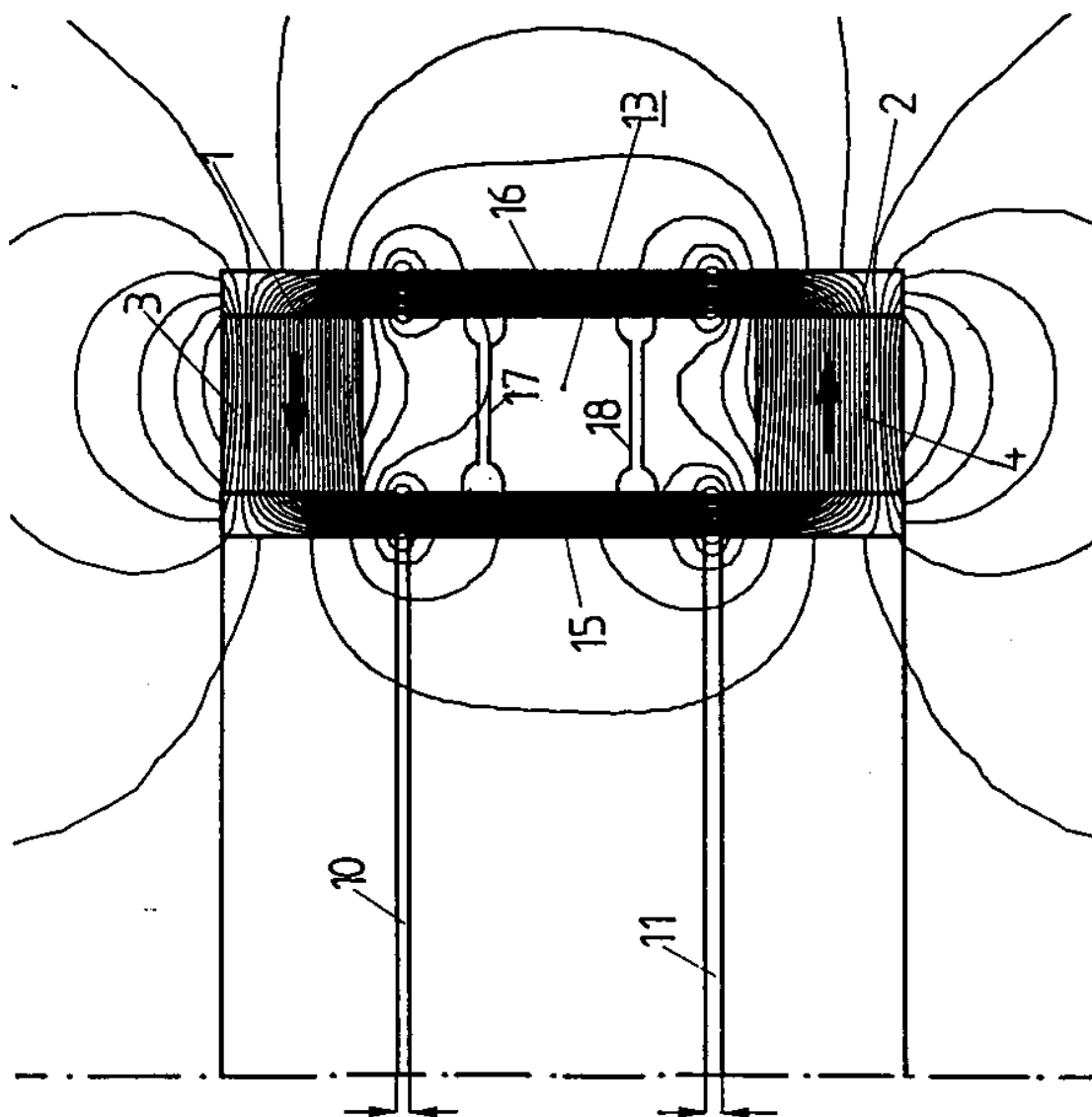


Fig. 1

Fig. 2



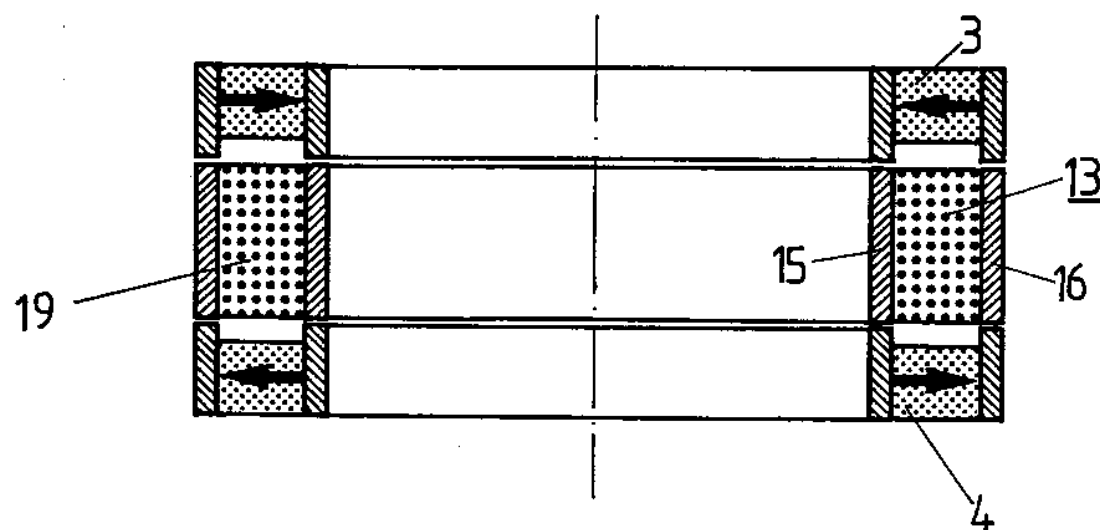


Fig. 3

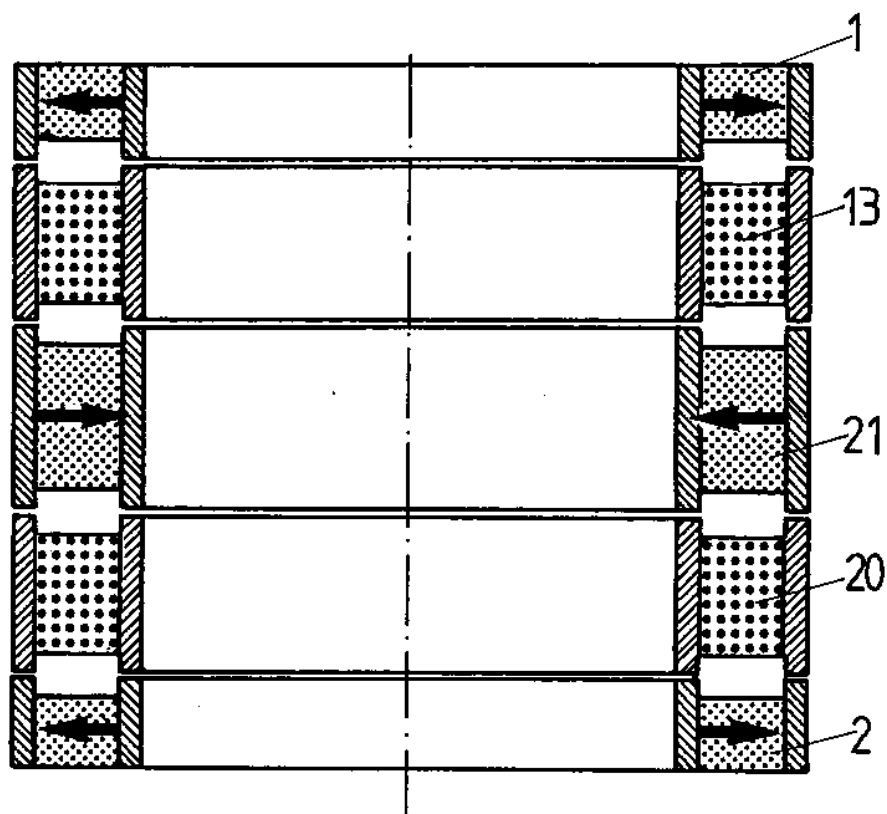


Fig. 4

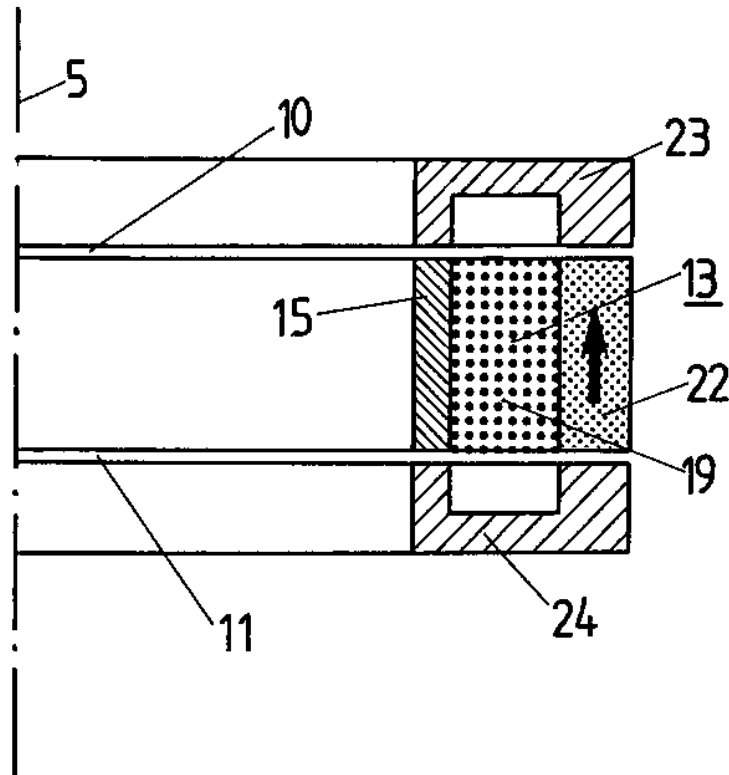


Fig.5

Fig. 6

