



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Patentschrift
10 DE 32 40 809 C 2

61 Int. Cl.⁵:
F 16 C 32/04

- 21 Aktenzeichen: P 32 40 809.9-51
- 22 Anmeldetag: 5. 11. 82
- 43 Offenlegungstag: 10. 5. 84
- 45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 3. 2. 94

DE 32 40 809 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Teldix GmbH, 69123 Heidelberg, DE

74 Vertreter:
Kammer, A., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 68766 Hockenheim

72 Erfinder:
Auer, Werner, Dr.-Ing., 69257 Wiesenbach, DE;
Sindlinger, Rainer, Dipl.-Ing., 69493 Hirschberg, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

- DE-AS 22 63 096
- DE 28 00 960 A1
- DE 27 41 062 A1
- DE 25 01 218 A1
- EP 00 49 300 A1

54 Magnetlager

DE 32 40 809 C 2

Aus der europäischen Patentanmeldung 49 300 ist ein Magnetlager bekannt, bei dem der Durchmesser eines ringförmigen Luftspaltes, in welchem die Feldlinien in Radialrichtung verlaufen, groß gegenüber der axialen Länge des Lagers ist, bei dem der Rotor durch Permanentmagnete, die auf der Rotor- oder Statorseite angeordnet sind, radial passiv gelagert ist, bei dem weiterhin durch Regeleinrichtungen die axiale und radiale Lage des Rotors geregelt ist und bei dem mehrere Sensoranordnungen zur Bestimmung der axialen Lage sowie Regelverstärker und Wicklungen zur Ausübung von Kräften auf den Rotor verwendet sind. Mit diesem Magnetlager ist ein Schwungring gelagert. Gemäß einem Ausführungsbeispiel enthält der Schwungring an seinen beiden Stirnseiten je einen Permanentmagnetring. Mit diesen Ringen und mit Hilfe von Jochringen auf dem Stator sind Magnetkreise gebildet, die zwischen Rotor und Stator Luftspalte mit axial gerichteten Feldlinien aufweisen. Hierdurch wird der Rotor radial stabilisiert. Der Rotor trägt drei segmentförmige Wicklungen. Die hierdurch erzeugten Magnetflüsse werden ebenfalls über die Luftspalte geleitet; damit sind sektorweise die auf den Rotor einwirkenden axialen Kräfte variierbar. Jeder der Wicklungen ist ein die axiale Lage des Rotors überwachender Sensor und ein nachgeschalteter Regelverstärker zugeordnet. Hiermit wird der Rotor in eine vorgegebene axiale Stellung gezwungen.

Aus der DE-OS 28 00 960 ist ein elektromagnetisch wirkendes Axiallager für flache Rotoren von großem Durchmesser und geringer Länge bekannt. Es weist ein festes Induktionsteil von Ringform und eine Steuervorrichtung in Form einer mit dem Rotor fest verbundenen Scheibe auf, die dem Induktionsteil gegenüberliegt. Außerdem ist ein Fühler für die axiale Lage des Rotors vorgesehen. Das Induktionsteil des Axiallagers ist aus vier unabhängigen Sektoren zusammengesetzt, welche jeweils einen ferromagnetischen Kern und eine Spule haben und von mindestens einem eigenen Fühler für die axiale Lage des Rotors in Bezug auf diesen Sektor überwacht werden.

Aus der DE-OS 27 41 062 ist ebenfalls eine Anordnung zur magnetischen Lagerung eines Rotors bekannt mit zwei auf dem Stator angeordneten Magnetsystemen, welche mit ferromagnetischen Rotorteilen zusammenwirken und zur aktiven Stabilisierung in axialer Richtung steuerbare Zugkräfte auf den Rotor ausüben, wobei aufgrund der koaxialen Ausbildung der Magnetsysteme und Rotorteile eine passive Stabilisierung in radialer Richtung erfolgt. Eines der Magnetsysteme weist einen Permanentmagnetring auf, während das zweite Magnetsystem bzw. der Rotor zwei Teile enthält, zwischen welchen ein ferromagnetisches Teil des Rotors bzw. des Stators mit Polringen angeordnet ist. In wenigstens einem der genannten Teile des Magnetsystems bzw. des Stators ist eine Ringspule angeordnet.

Aus der DE-OS 25 01 218 ist eine magnetische Lagervorrichtung bekannt, bei der es möglich ist, den Nullpunkt für ein axiales Positioniersystem durch ein veränderbares Vorspannungs- oder Zentriersignal einzustellen.

Aus der DE-AS 22 63 096 ist schließlich eine Regelschaltung einer magnetischen Lagerung eines Motors bekannt, die zusätzlich eine Kreuzschaltung zum Dämpfen der Nutationsbewegung enthält. Der Eingang dieser Kreuzschaltung ist einer Subtraktionsschaltung nachgeschaltet und Detektoren zugeordnet, die Signale liefern,

welche diejenigen Ablenkungen angeben, die in den beiden magnetischen Lagern der Lagerung in einer der beiden Richtungen eingetreten sind, welche zur Lagerachse senkrecht stehen. Dabei ist der Ausgang der Kreuzschaltung mit den Magnetisierungsvorrichtungen geschaltet, die in den beiden anderen zur Lagerachse senkrechten Richtungen in beiden Lagern wirksam sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Magnetlager für einen Rotor anzugeben, der im Vergleich zur radialen Ausdehnung eine geringe axiale Ausdehnung aufweist und der eine Kippregelung zuläßt.

Dies wird erfindungsgemäß mit dem Magnetlager mit den Merkmalen, die im Patentanspruch 1 genannt sind.

Bei der erfindungsgemäßen Lösung wird somit nicht nur in axialer Richtung aktiv geregelt, sondern es sind zusätzlich Regelverstärker zum Kippen des Rotors um zwei zueinander und zur Drehachse senkrechte Achsen vorgesehen. Ausgehend von vier Sensoranordnungen wird durch Schaltungsmaßnahmen auf einen dreikanaligen Regler übergegangen, der dann wieder fünf Wicklungen bedient.

Es genügt an sich, vier um jeweils 90° versetzte Sensoren zu verwenden. Günstiger ist es jedoch, jede Sensoranordnung aus einem Paar von axial gegeneinander versetzten und auf axiale Rotorbewegungen entgegengesetzt reagierenden Sensoren zu bilden, und deren Differenzsignal als Sensorausgangssignal zu verwenden.

Es sind verschiedene Anordnungen und Ansteuerungen der Wicklungen zur Erzeugung der geforderten Stellmomente und Kräfte möglich. Hierauf wird anhand der Ausführungsbeispiele näher eingegangen.

Bei dem erfindungsgemäßen Lager ist es durch Einkoppeln von Signalen in den ersten und zweiten Regelverstärker möglich, den Null-Punkt der Regelcharakteristik zu verschieben, d. h., in einem gewissen Rahmen die Drehachse bewußt schief zu stellen, was z. B. bei Lagerung eines Schwungrads für Raumfahrzeuge von Interesse ist.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung werden die Eingangssignale des ersten und zweiten Regelverstärkers kreuzgekoppelt, d. h., ein Anteil des Eingangssignals eines der Regelverstärker wird dem Eingangssignal des anderen Regelverstärkers überlagert. Dies hat den Vorteil, daß ausreichende Stabilität bereits mit einfachen Reglern erreicht wird, da die um eine Achse erzeugten Momente eine Präzessions-Winkelgeschwindigkeit um die dazu senkrechte radiale Achse erzeugen. Allerdings verschwindet dieser Effekt bei Stillstand.

Vorzugsweise wird diese Kreuzkopplung dazu drehzahlabhängig ausgebildet, d. h., mit steigender Drehzahl wird der kreuzgekoppelte Anteil erhöht.

Anhand der Zeichnungen wird die Erfindung näher erläutert.

Es zeigen

Fig. 1 eine Steuerschaltung für ein Magnetlager,

Fig. 2 ein möglicher Aufbau eines Magnetlagers, das wie in Fig. 1 gezeigt geregelt wird,

Fig. 3 andere Ausführungsformen für das radiale passive Lager,

Fig. 4 andere Ausführungsformen für die Aufbringung von Momenten und Kräften,

Fig. 5 eine andere Möglichkeit der Ansteuerung,

Fig. 6 eine Ausführungsform für den Aufbau des Lagers, das gemäß Fig. 5 angesteuert werden kann.

In Fig. 1 sind vier Sensoranordnungen 1-4 vorgesehen, von denen die Sensoranordnungen 1 und 2 auf einer Achse (x-Achse) senkrecht zur Drehachse (z-Achse) und diametral zur Drehachse liegen und auf axiale Bewe-

gungen in ihren Ausgangssignalen in gleicher Weise reagieren. Entsprechend sind die Sensoranordnungen 3 und 4 auf der zur x- und z-Achse senkrechten y-Achse angeordnet. In Differenzverstärkern 5 und 6 werden aus den Ausgangssignalen der Sensoranordnungen 1 und 2 bzw. 3 und 4 Differenzsignale gebildet, wobei eine Differenz auftritt, wenn der von den Sensoranordnungen abgetastete Rotor eine Kippbewegung um eine Achse durchführt, die jeweils senkrecht zur Rotationsachse und zur Achse, auf der die zusammengeschalteten Sensoranordnungen liegen, steht. Über Regelverstärker 7 und 8, Inverter 9 und 10, Summierglieder 11 bis 14 und Leistungsverstärker 15 gelangen dann die Signale zu Sektorenschleifen 16 bis 19; jede dieser Sektorenschleifen 16 bis 19 ist einem der Sensoranordnungen 1 bis 4 räumlich zugeordnet und erzeugt bei Ansteuerung eine axiale Kraft auf den Rotor.

Alle vier Sensoranordnungen 1 bis 4 sind auch an einen Summierverstärker 20 angeschlossen, dessen Ausgangssignal über einen Regelverstärker 21 und die Summierglieder 11 bis 14 sowie die Leistungsverstärker 15 ebenfalls zu den Sektorenschleifen 16 bis 19 gelangen.

Werden an den Klemmen 22 und 23 Gleichspannungen eingekoppelt, so läßt sich der Null-Punkt der Regelverstärker 7 und 8 einstellen, so daß es zu einer definierten Schiefstellung der Rotorachse kommt.

Mit der in Fig. 1 dargestellten Steuerschaltung läßt sich ein entsprechendes Fig. 2 aufgebautes Magnetlager regeln. Fig. 2a zeigt eine perspektivische Ansicht und Fig. 2b einen Schnitt.

Ein mit 31 bezeichneter Rotor des Lagers besteht aus einem radial magnetisierten Permanentmagnetring 32, an dessen Polen sich zwei Polblechringe 33 und 34 anschließen. Diesem Rotor stehen axial versetzt zu beiden Seiten u-förmige Statorringsegmente 35 bis 38 bzw. 35' bis 38' aus magnetisch gut leitendem Material gegenüber; dabei ist die Ausbildung so getroffen, daß die freien Schenkel des U gerade den Polblechringen 33 und 34 gegenüberstehen. Um diese Ringsegmente sind in Umfangsrichtung Sektorenschleifen 39 bis 42 bzw. 39' bis 42' gewickelt. Die beiden Sektorenschleifengruppen werden von der in Fig. 1 dargestellten Steuereinrichtung, in Abhängigkeit von Abstandssignalen gesteuert, die von Sensoranordnungen 43, 45 und zwei weiteren bzw. 43', 45' erzeugt werden. Dabei wird aus den Signalen je eines Sensorpaares, z. B. 45 und 45', jeweils die Differenz gebildet; dieses Differenzsignal stellt das Ausgangssignal einer der Sensoranordnungen 1 bis 4 der Fig. 1 dar.

Die Luftspalte zwischen Rotor 31 und Stator sind mit 47 und 47' bezeichnet.

Aus den Fig. 1 und 2 ergibt sich folgende Wirkungsweise.

Bei einer Kippung um die y-Achse erzeugen die Sensorpaare 45 und 45' sowie 43 und 43' und die diesen entsprechenden Sensoranordnungen 1 und 2 der Fig. 1 Ausgangssignale. Hierdurch werden die Sektorenschleifen 16 und 17 entgegengesetzt angesteuert und erzeugen ein Gegenkippmoment. In Fig. 2 entsprechen der Sektorenschleife 16 die hintereinander geschalteten Teilschleifen 41 und 41', die entgegengesetzt gewickelt sind und sich in der Wirkung unterstützen. Entsprechendes gilt für die Sektorenschleife 17 und die Teilschleifen 39 und 39'. Hier werden in den Luftspalten 47 und 47' die Flüsse des Permanentmagnetings und der Elektromagnete überlagert.

Entsprechend wird von dem anderen Regelverstärker 8 eine Kippung um die x-Achse ausgeregelt.

Erfolgt dagegen eine axiale Verschiebung des Rotors 31, so geben alle Sensoranordnungen 1 bis 4 gleiche Signale ab. Die Regelverstärker 7 und 8 erhalten kein Signal, dagegen der Regelverstärker 21, der alle Sektorenschleifen 16 bis 19 (und entsprechend 39 bis 42 bzw. 39' bis 42') ansteuert und eine Rückstellkraft erzeugt.

Zu erwähnen sind noch die Kreuzkoppelleitungen 24 und 25, über die ein Anteil der Eingangssignale der Regelverstärker 7 bzw. 8 in den jeweils anderen Regelverstärker gekoppelt werden kann. Vorzugsweise steigen die gekreuzkoppelten Anteile mit der Drehzahl an, was durch einen Verstärker mit verstellbarem Verstärkungsfaktor in jeder Kreuzkoppelleitung realisiert werden kann.

In den Fig. 3a bis 3c sind andere Ausführungsbeispiele für eine mögliche passive Radiallagerung gezeigt, wobei hier jeweils ein Statorring 50 koaxial zu einem Rotorring 51 angeordnet ist und die radiale Lagerung durch einander abstoßende Magnetpole von Permanentmagneten erzielt wird.

Entsprechend zeigt Fig. 4a und 4b andere Ausführungsformen für das Aufbringen von Kräften auf den hier aus Weicheisen bestehenden Rotorring 60, an dem noch das rotorseitige Teil 61 des Radiallagers angedeutet ist. Die Elektromagnete 62 und 62' müssen hier allerdings alternativ angesteuert werden. Beide Lösungen erlauben eine relativ große Schrägstellung des Rotors.

In der Fig. 5 entspricht der Schaltungsaufbau bis zum Ausgang der Regelverstärker 7, 8 und 21 der Fig. 1, weshalb gleiche Bezugszeichen benutzt sind. Die für die Kippregelung zuständigen Regelverstärker 7 und 8 sind über Leistungsverstärker 70 mit hintereinander geschalteten aber entgegengesetzt gewickelten Sektorenschleifen 72 und 73 bzw. 74 und 75 verbunden. Die Paare 72 und 73 bzw. 74 und 75 sind wieder diametral zur Drehachse angeordnet.

Mit dem Ausgang des Reglers 21 ist eine gesonderte Ringschleife 76 verbunden, die eine Axialkraft erzeugt, während die Sektorenschleifenpaare 72 und 73 bzw. 74 und 75 Kippmomente erzeugen. Diese Schaltung kann z. B. bei einem Magnetlager gemäß Fig. 6 verwendet werden.

In Fig. 6a ist mit 80 ein Rotorring bezeichnet, mit 81 ein Statorring und mit 82 ein passives Radiallager, das aus Permanentmagneten 82a, 82b gebildet ist. In einem Luftspalt 83 des Rotorrings 80 wird mit Hilfe der Permanentmagnete 82a und 84 ein radiales Magnetfeld erzeugt, in dem eine statorseitig befestigte Ringschleife 85 liegt und eine ebenfalls statorseitig befestigte Sektorenschleife 86 teilweise eintaucht.

Die Fig. 6b zeigt, daß vier Sektorenschleifen 86 und eine Ringschleife 85 vorgesehen sind.

Wird die Ringschleife 85, die der Ringschleife 76 der Fig. 5 entsprechen kann, angesteuert, so wird eine axiale Kraft auf den Rotor 80 ausgeübt, deren Richtung von der Stromrichtung abhängt. Bei Ansteuerung der Sektorenschleife 86 und entgegengesetzter Ansteuerung der diametral gegenüberliegenden Sektorenschleife wird dagegen ein Moment um eine zur Zeichenebene senkrechte Achse erzeugt, dessen Drehrichtung von der Stromrichtung abhängig ist.

In Fig. 5 erfolgt schließlich noch je eine Rückkoppelleitung 77 bis 79 auf die Regelverstärker 7, 8 und 21. Dadurch wird unabhängig von den Spuleninduktivitäten ein "stromsteuerndes" Verhalten erzielt, d. h. die Regler-Ausgangsspannungen werden in proportionale Kräfte bzw. Kippmomente umgewandelt.

Lagerung zugleich an der Bildung des Magnetfeldes beteiligt ist, das im Luftspalt (83), in den die Ringspalte (85) eintaucht, erzeugt ist.

1. Magnetlager mit Rotor und Stator mit folgenden Merkmalen:

- a) Der Rotor ist gegenüber dem Stator durch Permanentmagnete (82a, 82b), die ringförmig um die Rotationsachse zumindest auf der Rotorseite angeordnet sind, radial magnetisch passiv gelagert;
 - b) die axiale Länge des Magnetlagers ist klein gegenüber dessen Durchmesser;
 - c) mit dem Rotor sind Permanentmagnete (82a, 84) verbunden, die einander radial benachbart sind und zwischen denen sich ein Luftspalt (83) befindet;
 - d) zur axialen aktiven Lagerung des Rotors gegenüber dem Stator ist eine statorseitig befestigte Ringspule (85) um die Rotationsachse angeordnet und taucht ganz in den Luftspalt (83) zwischen den Permanentmagneten (82a, 84) ein;
 - e) zur Erzeugung eines Kippmoments tauchen statorseitig befestigte Sektorenspuln (86) teilweise in den Luftspalt (83) zwischen den Permanentmagneten (82a, 84) ein;
 - f) vier Sensoranordnungen für die Lage des Rotors in Bezug auf den Stator sind paarweise diametral zur Rotationsachse gegenüberliegend in gleichen Abständen am Stator und am Rotor angeordnet;
 - g) eine Regeleinrichtung führt einem ersten (7) und einem zweiten Regelverstärker (8) jeweils die Differenz der Steuersignale einander diametral gegenüberliegender Sensoranordnungen (1-4) zu, führt einem dritten Regelverstärker (21) die Summe aller Sensorsignale zu, steuert entsprechend den Signalen des ersten und des zweiten Regelverstärkers diametral gegenüberliegende Sektorenspuln (72-75, 86) entgegengesetzt an zur Erzeugung eines Drehmoments um eine Achse senkrecht entsprechend dem Signal des dritten Regelverstärkers die Ringspule (76, 85) an zur Erzeugung einer axialen Kraft.
2. Magnetlager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jede der vier Sensoranordnungen (1-4) aus einem Paar von axial gegeneinander versetzten, auf axiale Rotorbewegungen entgegengesetzt reagierende Sensoren besteht und daß die Differenz der Ausgangssignale jedes Sensorpaares (43, 45 und 43', 45') als Ausgangssignal der Sensoranordnung dient.
3. Magnetlager nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangssignale des ersten und zweiten Regelverstärkers (7 oder 8) jeweils auch dem anderen Regelverstärker (8 oder 7) zugeführt werden (Kreuzkopplung).
4. Magnetlager nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Kreuzkopplung mit zunehmender Drehzahl des Rotors erhöht wird.
5. Magnetlager nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dem ersten und dem zweiten Regelverstärker (7, 8) Gleichspannungen zuführbar sind, um eine definierte Schiefstellung des Rotors zu erzielen.
6. Magnetlager nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Permanentmagnet (82a) der radial magnetisch passiven

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

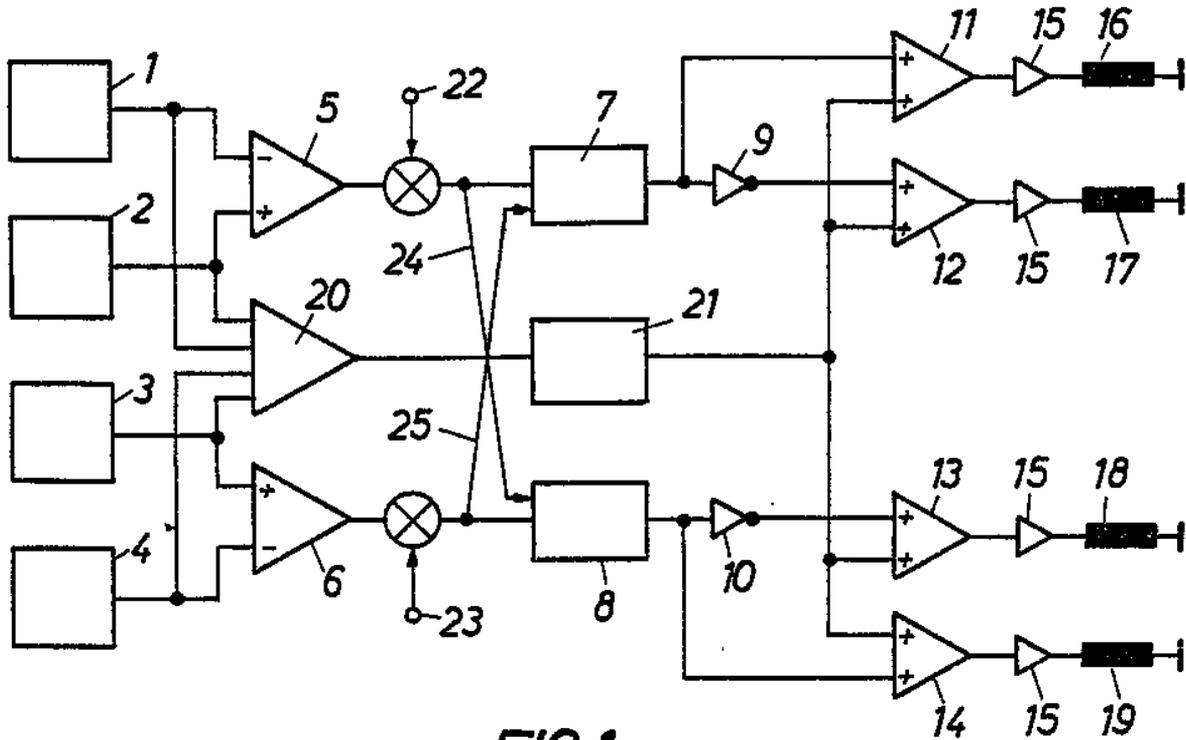


FIG.1

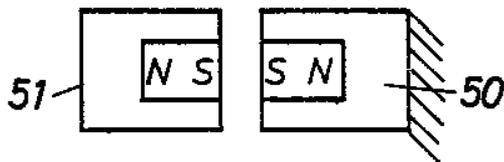


FIG. 3a

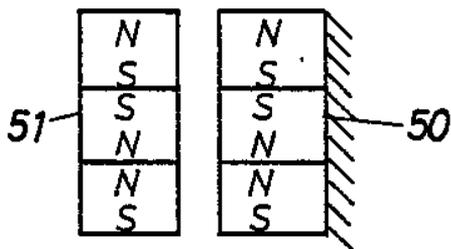


FIG. 3b

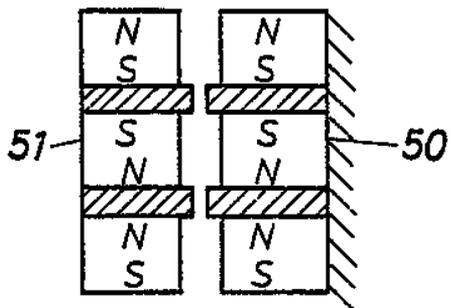


FIG. 3c

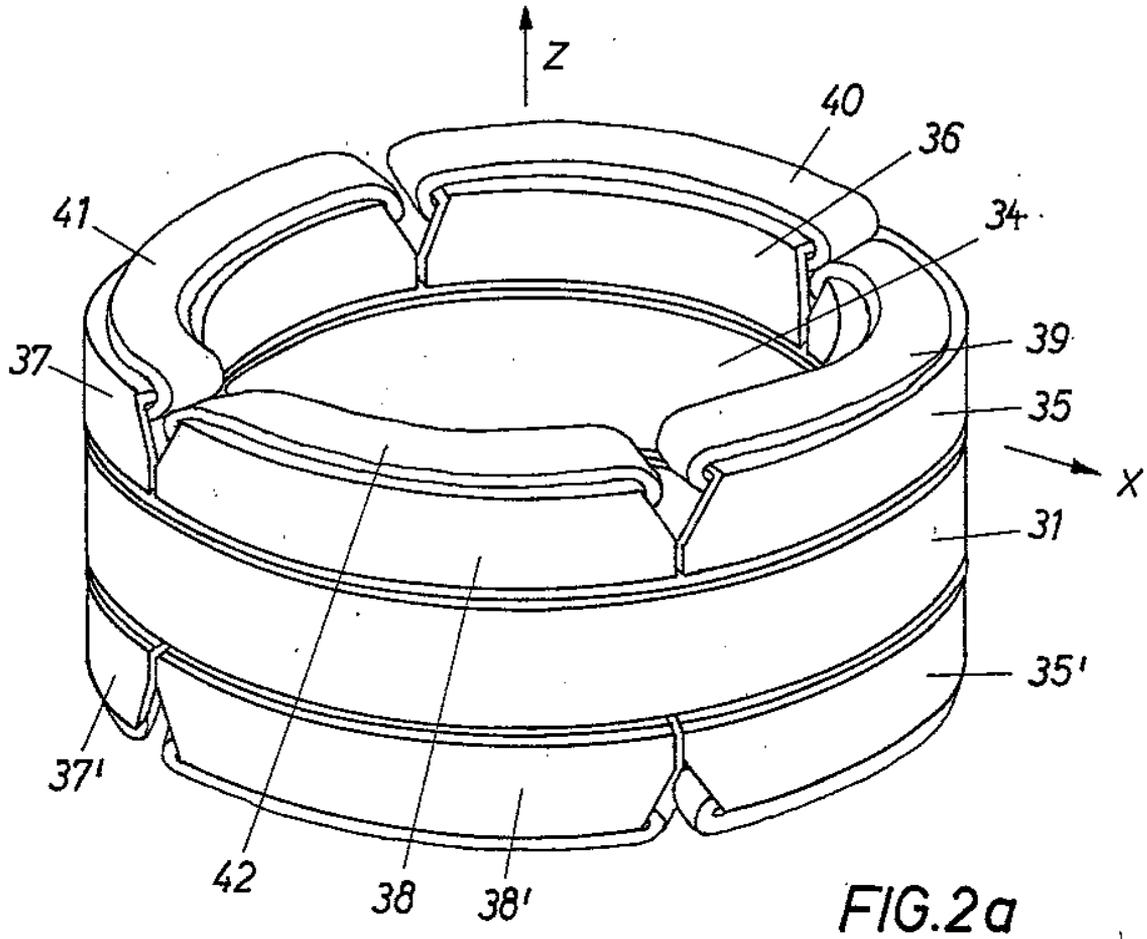


FIG. 2a

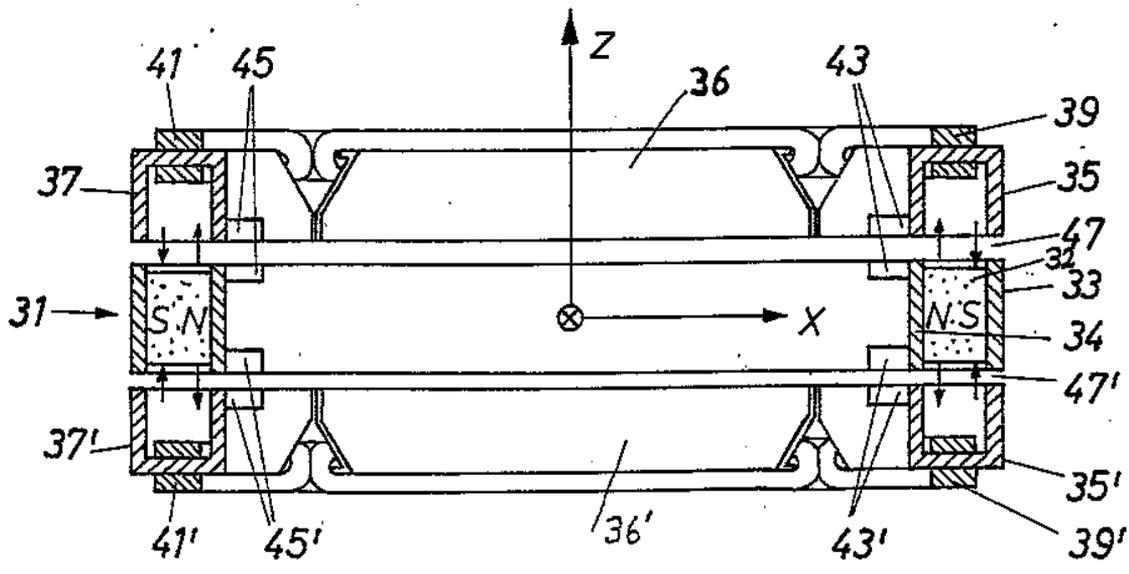


FIG. 2b

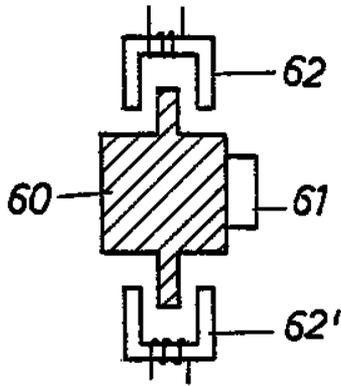


FIG. 4a

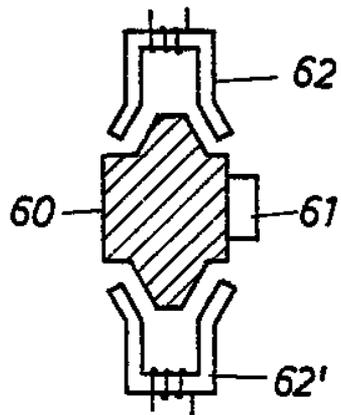


FIG. 4b

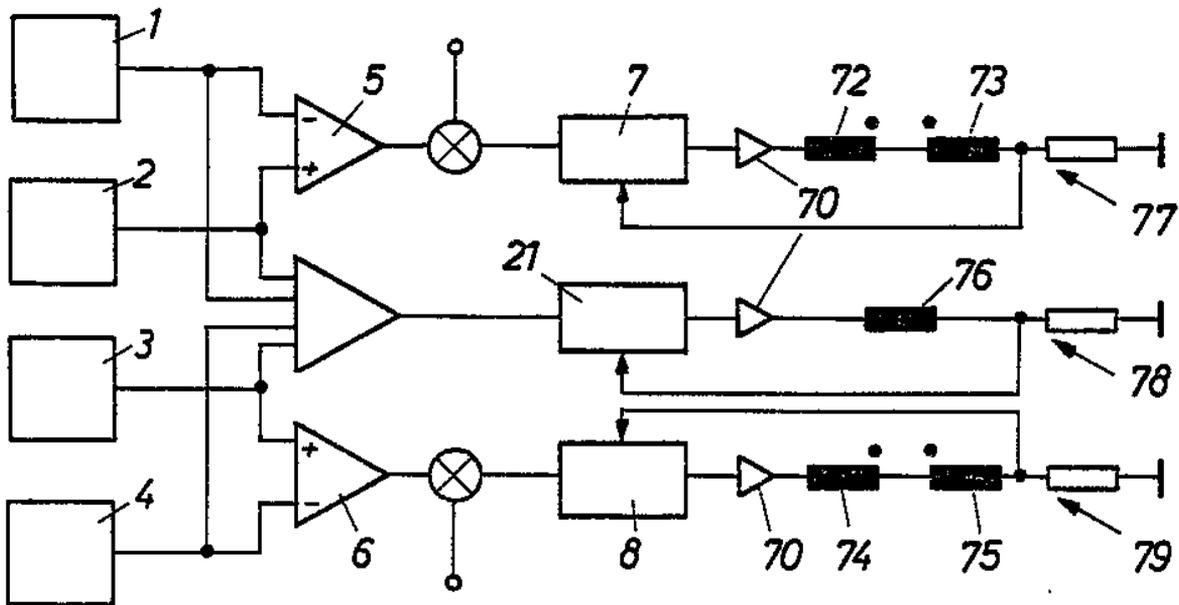


FIG. 5

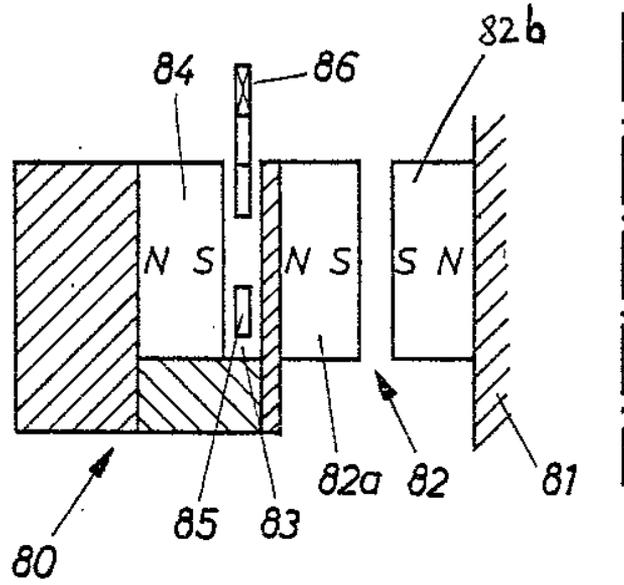


FIG. 6a

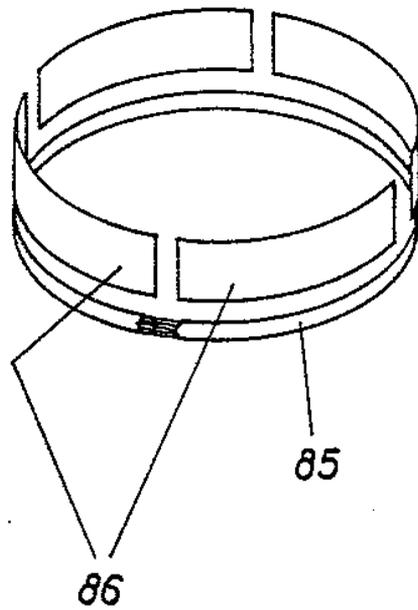


FIG. 6b