

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Patentschrift
11 DE 22 13470 C3

61 Int. Cl. 4:
F 16 C 32/04

21 Aktenzeichen: P 22 13 470.9-51
22 Anmeldetag: 20. 3. 72
43 Offenlegungstag: 4. 10. 73
44 Bekanntmachungstag: 10. 4. 80
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 1. 12. 88

Patentschrift weicht von Auslegeschrift ab

DE 22 13470 C3

73 Patentinhaber:
Padana AG, Zug, CH

74 Vertreter:
Ruff, M., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Beier, J., Dipl.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 7000 Stuttgart

72 Erfinder:
Boden, Karl, 7991 Oberteuringen, DE; Scheffer,
Dietrich, Dipl.-Ing. Dr., 7990 Friedrichshafen, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-AS 22 10 995
DE-OS 19 33 031
US 31 12 962

Investigation of magnetic and electric forces for
rotating shaft suspension, Technical documentary
report ASD-TDR-62-441, (May 1962) University of
Virginia;

54 Magnetisches Lager

DE 22 13470 C3

Patentansprüche:

1. Magnetisches Lager mit einem Lagerteil, das zur magnetischen Lagerung mit einem zu lagernden Körper zusammenwirkt, wobei der Lagerteil von einer Regel- oder Steuereinrichtung gespeiste, ein elektromagnetisches Feld erzeugende elektrische Wicklungen (66, 47, 48) und wenigstens einen eine Vormagnetisierung erzeugenden Permanentmagneten (68, 69) aufweist, wobei ein auf ferromagnetische Teile an dem zu lagernden Körper (13) einwirkender, geregelter Magnetkreis erzeugt wird, und an dem Lagerteil (22, 52) die Permanentmagnete (68, 69) und elektrische Wicklungen (66, 47, 48) zur Erzeugung wenigstens zweier teilweise parallel und gemeinsam verlaufender magnetischer Kreise (57, 67, 70) vorhanden sind, von denen wenigstens einer ein von wenigstens einem Permanentmagneten (68, 69) erzeugter permanentmagnetischer Kreis (70) und ein anderer der von den elektrischen Wicklungen (66, 47, 48) erzeugte elektromagnetische Kreis (57, 67) ist, und wobei der Lagerteil (52) ferromagnetische Bauteile (62, 63) hoher Permeabilität besitzt, die zumindest in einem vom elektromagnetischen Kreis (57, 67) durchsetzten Bereich angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß der permanentmagnetische Kreis (70) über die ferromagnetischen Bauteile (62, 63) rückgeschlossen ist und die ferromagnetischen Bauteile dabei zumindest teilweise bis in den Bereich der magnetischen Sättigung magnetisiert sind und daß das elektromagnetische Feld in den Bauteilen (62, 63) im wesentlichen die gleiche Richtung wie das permanentmagnetische Feld hat, und in wenigstens einem Bauteil (63) auch die gleiche Orientierung aufweist, während es in einem anderen Bauteil (62) entgegengesetzt orientiert ist wie das Magnetfeld des permanentmagnetischen Kreises (70).

2. Lager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der permanentmagnetische Kreis (70) wenigstens zwei nebeneinander angeordnete Permanentmagnete (68, 69) mit einander entgegengesetzter Magnetisierungs-Orientierung aufweist.

3. Lager nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die ferromagnetischen Bauteile (62, 63) zu beiden Seiten der Permanentmagneten (68, 69) angrenzend an deren Pole angeordnete Bleche sind, auf denen die elektrische Wicklung (66) angeordnet ist.

4. Lager nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei Anordnung mehrerer Permanentmagnete (68, 69) mit jeweils entgegengesetzter Magnetisierungs-Orientierung die elektrischen Wicklungen (66) in Abschnitte (47, 48) eingeteilt sind, die jeweils einander entgegengesetzt gewickelt bzw. geschaltet sind, und daß die Abschnitte (47, 48) jeweils zwei Permanentmagnete (68, 69) bis etwa zu deren Mitte überdecken.

5. Lager nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetfeldstärke der Permanentmagnete (68, 69) derart bemessen ist, daß trotz Rückschluß durch die ferromagnetischen Bauteile (62, 63) ein die Luftspalte (25, 26) durchsetzendes Vormagnetisierungsfeld vorhanden ist.

6. Lager nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Permanentmagnete (68, 69) in bezug auf die Bewegungsrichtung des

Körpers (13) gegenüber dem Lagerteil (52) nebeneinander angeordnet sind.

7. Lager nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem zu lagernden Körper (13) und dem Lagerteil (52) zwei Luftspalte (25, 26) vorhanden sind, in denen Magnetfelder erzeugbar sind, die unterschiedlich starke und einander entgegengesetzt gerichtete Anziehungskräfte auf den Körper (13) entstehen lassen.

8. Lager nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Luftspalte (25, 26) in zueinander parallelen Ebenen verlaufen.

Die Erfindung betrifft ein magnetisches Lager nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ein solches Lager ist bereits aus der DE-PS 19 33 031 bekanntgeworden. Bei ihr dient ein dort als Axial-Stabilisierungsmagnet ausgebildeter Permanentmagnet zur Erzeugung einer Vormagnetisierung für die aktiven, elektrisch geregelten Lagerspulen (Radial-Stabilisierungsmagneten). Dabei entsteht folgender Wirkungsmechanismus:

Der permanentmagnetische und der elektromagnetische Kreis verlaufen nun zumindest teilweise getrennt, wobei sie jedoch teilweise parallel bzw. einander entgegengesetzt verlaufen. Im elektromagnetischen Kreis ist das ferromagnetische Material hoher Permeabilität vorhanden, das für einen geringen Feldwiderstand in diesem Kreis sorgt und damit gegenüber der bekannten Anordnung Regelenergie spart. Durch die permanentmagnetische Vormagnetisierung wird im Verhältnis zur aufgewendeten elektrischen Energie eine sehr große mechanische Anziehungskraft auf den Körper ausgeübt. Im Luftspalt überlagert das Regelfeld die Vormagnetisierung. Es wird dabei der Effekt ausgenutzt, daß die Anziehungskraft vom Quadrat der magnetischen Induktion B abhängig ist. Wenn man diese Erscheinung einmal unabhängig von allen Randerscheinungen theoretisch betrachtet, so kann man sich die krafterhöhende Wirkung an folgendem Beispiel klarmachen: Es sei angenommen, daß im Luftspalt ein permanentmagnetisches Feld mit einer Induktion einer Vergleichsgröße 10 herrscht. Diesem Feld wird ein Regelfeld, das elektromagnetisch erzeugt wird, in der Größe 2 überlagert. Wenn beide Felder in der gleichen Richtung verlaufen, so ergibt sich die resultierende Induktion 12, während bei entgegengerichteten Feldern die Induktion 8 im Luftspalt herrscht. Die daraus resultierenden Kräfte entsprechen dem Quadrat der Induktion, d. h. sie betragen 144 bzw. 64, und ihre Differenz beträgt 80. Hätte man dagegen die Regelgröße von ± 2 ohne Vormagnetisierung aufgebracht, so hätte man lediglich eine Kraft in der Größe 4 erhalten. Bei solcher Strombelastung ein und derselben Spule wird folglich die erzeugbare Kraft mit ansteigender Vormagnetisierung größer. Für die Vormagnetisierung muß keine ständige Energie aufgebracht werden, so daß mit im wesentlichen gleichbleibendem Aufwand an elektrischer Energie größere magnetische Feldenergien und damit Anziehungskräfte erreicht werden.

Ferner ist aus der US-Patentschrift 31 12 962 ein magnetisches Lager bekannt geworden, das in einer radialen Lagerebene Lagerteile besitzt. Die Lagerteile bestehen aus nahezu zu einem Ring zusammengebogenen Hufeisenmagneten aus Permanentmagnetmaterial,

die eine elektrische Wicklung tragen, die das Magnetfeld des Permanentmagneten schwächen oder stärken soll. Diese Ringe, deren Achse parallel zur Rotorachse liegt, erzeugen ein den Rotor durchsetzendes Magnetfeld, das sehr starke Polausbildung zeigt und daher hohe Ummagnetisierungsverluste hervorruft.

Bei dem bekannten Lager ist der magnetische Feldwiderstand für das elektromagnetisch erzeugte Feld außerordentlich groß. Es gibt nur einen einzigen magnetischen Kreis, d. h. der Verlauf der magnetischen Feldlinien des Permanentmagneten stimmt mit denen des elektromagnetischen Feldes überein. Daher wird dieses Feld (mit Ausnahme des zu lagernden Körpers) ausschließlich durch Medien mit großem magnetischen Feldwiderstand geleitet, da das permanentmagnetische Material im stabilen Bereich seiner magnetischen Kennlinie geringe Permeabilitätswerte besitzt (μ_R in der Größenordnung von 1). Zur Erzeugung von Regelkräften sind demnach enorm hohe elektromagnetische Durchflutungen (Ampere-Windungszahlen) notwendig. Zu hohe Amplituden des elektromagnetischen Regel-Feldes können zur Entmagnetisierung des Permanentmagneten führen. Aus diesen Gründen ist die bekannte Lagerung für die wirtschaftliche Nutzung sehr nachteilig.

In der DE-PS 22 10 995 ist ein elektromagnetisches Lager der im Oberbegriff des Anspruches 1 genannten Art vorgeschlagen worden, das an einem nicht ferromagnetischen Stator elektrische Lagerspulen besitzt, die mit ferromagnetisch rückgeschlossenen Permanentmagneten am als Außenläufer ausgebildeten Rotor zusammenwirken. Die Permanentmagneten sind mit über den Rotorumfang abwechselnder Polung angeordnet. Nachteil dieser Lagerung ist es, daß der Rotor aufgrund der Notwendigkeit, daran Permanentmagnete anzuordnen, kompliziert aufgebaut ist. Insbesondere bei hohen Drehzahlen und bei einer eventuellen Ausbildung als Innenläufer treten Schwierigkeiten bei der Anbringung der Permanentmagneten auf, damit sie den Fliehkräften standhalten.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein magnetisches Lager mit den eingangs beschriebenen Vorteilen der Vormagnetisierung zu schaffen, das bei einfachem Aufbau eine gute Materialausnutzung ermöglicht.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch das Kennzeichen des Anspruches 1 gelöst.

In den beiden die ungleichnamigen Pole der nebeneinander angeordneten Permanentmagnete rückschließenden Bauteile tritt ein jeweils einander entgegengesetzt orientierter magnetischer Fluß auf, der diese bis zur Sättigung magnetisiert. In dem einen Bauteil addiert sich das permanentmagnetische Feld mit dem magnetischen Regelfeld, das von der Wicklung herrührt, während sich die Felder in dem anderen Bauteil subtrahieren. Das bedeutet, daß das eine Bauteil weiter in den Bereich der Sättigung hinein getrieben wird, während das andere aus diesem Bereich herauskommt. In dem ersten ist der magnetische Leitwert sehr gering (bzw. der magnetische Widerstand sehr hoch), während in dem anderen die entgegengesetzte Erscheinung auftritt. Das letztere bleibt also im Bereich des Ferromagnetismus. Entsprechend verhalten sich die durch den Strom der elektrischen Wicklung erzeugten magnetischen Felder, so daß in den benachbarten Luftspalten entsprechend niedrige bzw. hohe Feldstärken vorhanden sind.

Es ist dadurch möglich, trotz wirksamer Vormagnetisierung das Lager einfach und kompakt zu gestalten.

Insbesondere der Aufwand an ferromagnetischem Material kann gering gehalten werden, weil es magnetisch sehr hoch belastet wird.

Bei der vorteilhaften Ausführungsform nach Anspruch 5, ist es mit einem einzigen Teil, das auch nur eine einzige Wicklung besitzen muß, möglich, Kräfte in zwei Orientierungen zu erzeugen, d. h. einen Freiheitsgrad vollständig aktiv festzulegen.

Merkmale der Erfindung von weiteren bevorzugten Ausführungsformen gehen aus den übrigen Unteransprüchen hervor. Einige Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden im folgenden näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 eine schematische, teilgeschnittene Seitenansicht eines berührungslos magnetisch gelagerten rotierenden Körpers,

Fig. 2 einen schematischen Teilschnitt, der zur Erläuterung des Lagerprinzips dient,

Fig. 3 und 4 schematische perspektivische Teilschnitte von Linearlagern,

Fig. 5 einen Schnitt nach der Linie V-V in Fig. 4,

Fig. 6 einen schematisch perspektivischen Teilschnitt einer Linearlagerung, die gleichzeitig die aktive Stabilisierung in einem rotatorischen Freiheitsgrad erlaubt,

Fig. 7 einen perspektivischen Teil-Längsschnitt eines Axiallagers und

Fig. 8 einen Längsschnitt durch eine andere Ausführungsform eines Axiallagers.

Zu den Zeichnungen ist zu bemerken, daß sie zur Verdeutlichung sehr schematisch gehalten sind. Der Freiheitsgrad bzw. die Freiheitsgrade, die mit dem jeweiligen Lagerteil begrenzt werden, sind durch Pfeile angedeutet. Die nur schematisch dargestellten Wicklungen sind in ihrer Wicklungsrichtung und Stromlaufrichtung durch einen Punkt im Kreis (Pfeilspitze) bzw. Kreuz im Kreis (Pfeilende) gekennzeichnet.

Ferner sind teilweise strichliert die magnetischen Kreise bzw. der magnetische Feldlinienverlauf angedeutet. Die Magnetisierungsrichtung der Permanentmagnete ist durch Angabe ihrer Pole (N, S) angedeutet. In Fig. 1 ist ein Körper 13 in Form eines Rotors dargestellt, der um eine vertikale Drehachse 14 drehbar gelagert ist. Er wird von einer magnetischen Lagerung berührungslos gelagert, die aus zwei am oberen und am unteren Teil des Rotors 13 angreifenden Radiallagern 15 und einem Axial-Stabilisierungsmagneten 16 besteht. Eine derartige Lagerung ist in der deutschen Offenlegungsschrift 17 50 602 beschrieben. Dementsprechend besteht der Axial-Stabilisierungsmagnet aus einem ringförmigen Permanentmagneten, der im Zusammenwirken mit einer Kante 17 des ferromagnetischen Rotors eine axial stabile, jedoch radial destabilisierte Lage des Rotors herbeiführt. Der destabilisierenden Wirkung, sowie allen übrigen Radialkräften und -schwingungen wirken die Radiallager 15 entgegen, die aus elektromagnetischen Mitteln gebildet sind, die in den in der Zeichnung angedeuteten zwei horizontalen Freiheitsgraden aktiv geregelte Kräfte auf den Rotor aufbringen. Dazu werden die elektromagnetischen Mittel mit Ausgangssignalen von Regelgeräten 18 gespeist, die diese Ausgangssignale in Abhängigkeit von Fühlersignalen erzeugen, die von Fühlern 19 erzeugt werden, die auf den jeweiligen Abstand des Rotors zu ihnen ansprechen. Das Regelgerät 18 ist gleichstromgespeist und enthält einen Verstärker und einen Phasenschieber, der die Ausgangssignale gegenüber den Fühlersignalen zeitlich um einen gewissen Betrag vorauseilend phasen-

verschoben abgibt, der normalerweise zwischen Null und einer Viertel Schwingungsperiode der Fuhlersignale (und damit des Rotors) liegt

Die Radiallager 15 und der Axialstabilisierungsmagnet 16 sind an einem allgemein als Stator 20 oder feststehendes Teil bezeichneten Gehäuse angebracht

Am oberen Teil besitzt der Rotor eine umlaufende Ausnehmung 21, in die ein Lagerteil 52 eingreift, das im vorliegenden Falle als Axial-Lagerteil ausgebildet ist und im einzelnen beispielsweise die anhand von Fig 8 beschriebene Ausbildung haben kann Zwischen der Kante 17 und dem Lagerteil 52 bzw zwischen einer oberen, der Ausnehmung 21 zugekehrten Fläche 23 eines oberen Rotorteils 24 und dem Lagerteil 52, bilden sich zwei Luftspalten 25, 26, in denen das Lagerteil 52 ein geregeltes Magnetfeld erzeugt, das den Rotor in einer axial genau positionierten Lage halt Es sei dazu bemerkt, daß der Rotor 13 an sich durch den Axial-Stabilisierungsmagneten 16 in einer axial stabilen Lage gehalten wird, wobei bei der vorliegenden Lagerung mit vertikaler Drehachse die Schwerkraft eine entsprechende Gegenkraft liefert Auch die Dämpfungsenergien in axiale Richtung, die durch Wirbelstrom- und Hystereseverluste im Laufer aufgebracht werden, reichen in den meisten Fällen aus, wenn es auf die axiale Positionierung nicht so genau ankommt und in dieser Richtung keine wesentlich veränderlichen Kräfte wirken Wenn es jedoch auf die genaue Einhaltung einer axialen Position des Laufers ankommt, so ist es angebracht, ein Axial-Lagerteil 52 vorzusehen Dieses bringt, wie bereits gesagt, ein geregeltes Magnetfeld auf Darunter wird in erster Linie ein aktiv geregeltes Magnetfeld verstanden, d h ein automatisch lageabhängig geregeltes Magnetfeld Es ist jedoch auch denkbar, das Lagerteil 52 bei geringeren Anforderungen lediglich nachstellbar zu machen, indem beispielsweise eine Nachregelung der axialen Lage von Hand erfolgt

In Fig 1 ist eine aktive Regelung vorgesehen Dazu ist an das Lagerteil 52 ein Regelgerät 27 angeschlossen, das im wesentlichen den bereits beschriebenen Regelgeräten 18 entsprechen kann Es wird mit Fuhlersignalen von einem Fuhler 28 beaufschlagt, der ein berührungsloser Wegaufnehmer ist und am Stator 20 derart angebracht ist, daß er Abweichungen des Rotors von seiner axialen Sollposition feststellt und in Fuhlersignale umsetzt Es können an sich bekannte induktive, kapazitive oder lichtelektrische Fuhler verwendet werden Auch die Verwendung von galvanomagnetischen Bauelementen ist bei entsprechender Ausbildung möglich

Das Regelgerät 27 wird mit Gleichstrom gespeist und besitzt einen Verstärker und einen Phasenschieber In ihm werden die Fuhlersignale verstärkt und in Ausgangssignale umgesetzt, die den Fuhlersignalen um einen Betrag zwischen Null und einer Viertel Schwingungsperiode der Fuhlersignale vorausseilend phasenverschoben sind Die Ausgangssignale sind Gleichstromsignale, d h die Abweichungen in Strom- bzw Spannungsamplituden sind lediglich von Abweichungen oder Schwingungen des Rotors verursacht, es wird jedoch keine Trägerfrequenz benutzt Diese Art der Regelung, die auch bei den Radiallagern 15 benutzt wird, hat den großen Vorteil erheblich geringerer Ummagnetisierungsverluste im Rotor Es ist daher möglich, daß, wie dargestellt, der Rotor aus beliebigem ferromagnetischem Material, beispielsweise normalem Baustahl, besteht Eine Rotorblechung oder andere Maßnahmen zur Senkung der Ummagnetisierungsverluste

können meist unterbleiben

Die Ausgangssignale des Steuergerätes 27 lassen bei ihrer Umsetzung in den Lagerteilen in magnetische Felder, die auf den Rotor 13 einwirken, auf dem Rotor 5 Krafterwirkungen entstehen, die in zwei Komponenten eingeteilt werden können, nämlich eine Rückstellkraftkomponente, die mit den Fuhlersignalen phasengleich liegt und für eine Rückstellung des Rotors aus einer von der Sollposition abweichenden Lage in die Sollposition sorgt, und eine Dämpfungskraftkomponente, die Schwingungen des Rotors dämpft und gegenüber den Fuhlersignalen um eine Viertel Schwingungsperiode der Fuhlersignale vorausseilend phasenverschoben ist

Die Ausführungsformen nach den Fig 2 bis 8 bauen auf den Grundvoraussetzungen zweier im wesentlichen voneinander getrennter magnetischer Kreise auf Anhand von Fig 2 wird diese in ihren Grundzügen erläutert Von dem ferromagnetischen Körper 13 sind lediglich zwei an das Lagerteil 52 angrenzende Abschnitte dargestellt Diese begrenzen auch die Luftspalte 25, 26 Das Lagerteil 52 besitzt Permanentmagneten 68, 69, von denen in Fig 6 zwei dargestellt sind Sie sind nebeneinander derart angeordnet, daß ihre Polflächen 44 in einer Ebene liegen, jedoch mit jeweils entgegengesetzten Polen Sie sind also mit paralleler Magnetisierungsachse, jedoch unterschiedlicher Orientierung der Magnetisierung nebeneinander angeordnet

Die Polflächen 44 werden von ferromagnetischen Bauteilen 62, 63 überdeckt, die aus einem hoch permeablen Werkstoff bestehen ($\mu_R \geq 1000$) Es kann aus Eisen bzw Stahl entsprechender Eigenschaft, einem hoch permeablen Preßmaterial oder in Sonderfällen auch aus einzelnen, elektrisch voneinander isolierten Blechen (Dynamobleche) bestehen Wichtig ist jedenfalls, daß die Bauteile 62, 63 für ein magnetisches Feld gut leitend sind Alle übrigen Forderungen sind von den jeweiligen Verwendungszwecken abhängig Diese auch als Leitbleche bezeichneten Bauteile 62, 63 sind mit relativ geringen Querschnitten ausgeführt, so daß der permanentmagnetische Kreis 70, der, wie aus Fig 6 zu erkennen ist, über den Permanentmagneten 68, das Bauteil 62, den Permanentmagneten 69 und das Bauteil 63 sich schließt, die Bauteile 62, 63 bis in den Bereich ihrer magnetischen Sättigung magnetisiert Im Bereich der Stoßstellen zwischen beiden Magneten wird diese Sättigung am ehesten erreicht werden Die magnetische Durchflutung sollte so stark sein, daß schon relativ geringe durch Elektromagnetismus aufgebrachte magnetische Felder in den Bauteilen 62, 63 eine Magnetisierung über die Sättigung hinaus bewirken würden Auf dem Lagerteil 52, d h außen auf den Bauteilen 62, 63 angrenzend an die Luftspalte 25, 26, ist eine Wicklung 66 angeordnet Sie kann auf verschiedene Weisen angeordnet sein Wichtig ist lediglich, daß sie in der aus Permanentmagneten und Bauteilen bestehenden Einheit ein elektromagnetisches Feld aufbauen kann, das in den Bauteilen 62, 63 parallel zu dem Feld verläuft, das durch den permanentmagnetischen Kreis 70 erzeugt wird Diese elektromagnetischen Kreise 57, 67 sind wiederum in Fig 2 angedeutet Es ist zu erkennen, daß bei dem angedeuteten Beispiel in dem Bauteil 62 die Feldlinien der Kreise 57, 70 zwar parallel, jedoch gegeneinander verlaufen, während in dem Bauteil 63 die entsprechenden Kreise 67, 70 parallel zueinander verlaufen Dadurch wird das Bauteil 62 wieder in den Bereich unterhalb der Sättigung »zurückgeholt«, während im Bauteil 63 die magnetische Feldstärke über die in ein-

zelen Bereichen dieses Leitblechs bereits durch die permanentmagnetische Magnetisierung erreichte Sättigungsfeldstärke hinaus weiter ansteigt. Der magnetische Leitwert dieses Bauteils 63 ist daher sehr gering (die Permeabilität ist nahezu gleich der des Vakuums — μ_R ca 1). Der durch die Wicklung 66 erzeugte magnetische Fluß ist daher in dem Leitblech 63 sehr gering und dafür in dem Leitblech 62 sehr groß, da dieses wieder im Bereich des Ferromagnetismus mit Permeabilitäten von μ_R etwa 1000 arbeitet. Durch den erheblich kleineren magnetischen Leitwiderstand in dem Leitblech 62 ist dort die aufgrund der elektromagnetischen Erregung der Wicklung 66 entstehende Feldstärke sehr groß und dementsprechend auch die magnetische Feldstärke in dem angrenzenden Luftspalt 25. Der Rückschluß der elektromagnetischen Kreise erfolgt über den Körper 13. Die Anziehungskraft ist daher im Bereich des Luftspaltes 25 wesentlich höher als die im Luftspalt 26. Bei Stromrichtungsumkehr der Wicklung 66 tritt die entgegengesetzte Erscheinung auf.

Es entsteht eine die Kraft erhöhende und Energie sparende Wirkung der Vormagnetisierung. Bei Erhöhung der permanenten Vormagnetisierung über die Sättigung hinaus entsteht nämlich die Luftspalte durchsetzende vormagnetisierende permanentmagnetische Feld, das dann in der bereits vorstehend beschriebenen Weise lediglich von den elektromagnetischen Kreisen überlagert wird. Es ist zu erkennen, daß auch hierbei die Felder in der erwünschten Weise zur gegenseitigen Verstärkung bzw. Abschwächung zusammenwirken. Die Vormagnetisierung durch den gesonderten permanentmagnetischen Kreis 70 hat also zwei Funktionen. Sie dient erstens zur Magnetisierung der Leitbleche in den Bereich der Sättigung hinein, was für die Funktion dieser Ausführung notwendig ist, und ferner zur Schaffung einer permanenten Vormagnetisierung im Luftspalt, die zu den erwähnten Einsparungen an Regelenergie führt.

In Fig 3 ist ein Lagerteil 52 dargestellt, das zur Schaffung eines Linearlagers dient. In der Ausnehmung eines schienenförmigen langgestreckten Körpers 13 mit U-förmigem Querschnitt ist das Lagerteil 52 angeordnet. Die beiden Permanentmagneten 68, 69 mit einander entgegengesetzter Polung sind übereinander angeordnet, d. h. in der durch den strichpunktierten Doppelpfeil angeordneten Bewegungsrichtung 45 des Linearlagers sind jeweils zwei Permanentmagneten 68, 69 parallel angeordnet. Ihre Stoßfuge 46 verläuft im wesentlichen parallel zur Bewegungsrichtung 45. Die Bauteile 62, 63 überdecken die seitlich angeordneten Pole der Permanentmagneten und sind außen mit der Wicklung 66 versehen, die in diesem Falle die ununterbrochene Baulänge des Lagerteils 52 begrenzt. Es ist zu erkennen, daß hier in Bewegungsrichtung 45 keine sich ändernden oder gar abwechselnden magnetischen Felder auftreten. Das Feld ist weitgehend homogen, so daß die Hysterese- und Wirbelstromverluste im Körper 13 sehr gering sind.

Dagegen läßt sich die Ausführungsform nach den Fig 4 und 5 sehr einfach herstellen. Es ist zu erkennen, daß dort die Magneten 68, 69 in Bewegungsrichtung 45 hintereinander angeordnet sind, wobei jedoch bei der dargestellten Lage ihre Magnetisierungsrichtungen horizontal liegen und jeweils entgegengesetzt gepolte Magneten aufeinanderfolgen. Es sind in einem Lagerteil 52 zahlreiche Magneten hintereinander angeordnet. Zwei leistenförmige Bauteile 62, 63 überdecken die Polflächen 44 der Magnete. Die Wicklung 66 ist im Gegensatz zu der Wicklung bei Fig 3 ringförmig um den aus den Permanentmagneten 68 und den Bauteilen 62, 63

bestehenden »Sandwich« derart angeordnet, daß im wesentlichen ein in Bewegungsrichtung 45 verlaufendes Wendel entsteht. Durch entsprechende Bewicklung bzw. Schaltung ist jedoch, wie aus Fig 5 zu erkennen ist, die Wicklung 66 in jeweils langs aufeinanderfolgende Abschnitte 47, 48 unterteilt, die jeweils einander entgegengesetzte Stromlaufrichtungen aufweisen. Die Abschnitte 47, 48 sind jeweils symmetrisch zu den in diesem Falle quer zur Bewegungsrichtung verlaufenden Stoßfugen 46 zwischen den Magneten angeordnet.

Der Grund für die unterschiedlichen Stromlaufrichtungen in der Wicklung ist zu erkennen, wenn man die in Fig 5 eingezeichneten magnetischen Kreise 57, 57', 67, 67' und 70, 70' betrachtet. Durch die wechselnde Richtung der permanentmagnetischen Kreise müssen auch die elektromagnetischen Kreise entsprechend ihre Richtung ändern, damit eine gleiche Wirkung auftritt.

Während in Fig 3 die Feldlinien den Körper 13 im wesentlichen senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung 45 durchstromen, indem sie beispielsweise oben eintreten und im Bereich des U-Schenkels des Körpers 13 wieder in das Lagerteil 52 eintreten, verlaufen die Feldlinien bei der Ausführung nach Fig 4 im wesentlichen längs der Bewegungsrichtung 45. Dabei wechseln jedoch die Richtungen des magnetischen Feldes bei jedem Abschnitt 47, 48 einander ab, so daß bei einer Bewegung Ummagnetisierungsverluste in dem Körper 13 auftreten. Diese Ausführungsform wird daher vorzugsweise dann gewählt werden, wenn es auf derartige Verluste nicht ankommt, beispielsweise bei langsamen Bewegungen oder geringen Kräften.

In Fig 6 ist eine Ausführung dargestellt, die sich von Fig 4 lediglich dadurch unterscheidet, daß in der Ausnehmung des Körpers 13, die entsprechend tiefer ist, zwei im wesentlichen identische Lagerteile 52 angeordnet sind. Durch diese Anordnung ist es möglich, bei Beaufschlagung der beiden Lagerteile von unterschiedlichen Regelgeräten und Fühlern her außer einem horizontal liegenden translatorischen Freiheitsgrad auch noch einen rotatorischen Freiheitsgrad zu lagern, und zwar einen, dessen Achse in Bewegungsrichtung 45 verläuft.

Es sei bemerkt, daß das hier dargestellte Lagerteil die Stabilisierung in einem in der Zeichnung angedeuteten horizontalen Freiheitsgrad, jedoch in seinen beiden Orientierungen (rechts, links) ermöglicht. Dazu mußten Fühler zwischen irgendwelchen festen und beweglichen Teilen in diesen Richtungen angreifen. Wenn der Körper 13 jedoch so lang ist, daß er jeweils mindestens im Bereich von zwei getrennten Lagerteilen sich befindet, dann ist durch unterschiedliche Regelung dieser beiden Lagerteile 22 auch eine Stabilisierung in einem rotativen Freiheitsgrad möglich, dessen Achse im dargestellten Beispiel senkrecht steht.

Es sei außerdem bemerkt, daß gerade bei einem Linearlager, jedoch auch grundsätzlich bei rotativen Lagern die Umkehrung zwischen statorfesten und rotorfesten Teilen möglich ist. So konnte beispielsweise das Lagerteil 22 sich auch am beweglichen Teil befinden, während der Körper 13 feststehend ist.

In den Fig 3 bis 6 sind Linearlager dargestellt worden, die nach dem anhand von Fig 3 veranschaulichten Prinzip arbeiten. In den Fig 7 und 8 ist nunmehr die Anwendung dieses Prinzips auf Axiallager drehbarer Körper dargestellt. Dabei benutzt die Ausführung nach Fig 7 das anhand der Fig 4 und 5 erläuterte System mit in Bewegungsrichtung hintereinander angeordneten Permanentmagneten. In Fig 7 ist das Lager-

teil nach Fig. 4 »zu einem Kreis zusammengebogen«. Diese Ausführung, bei der die Permanentmagneten jeweils aufeinanderfolgend in Art von Kreissegmenten angeordnet sind, wird entsprechend seiner größeren Ummagnetisierungsverluste für langsame Drehungen eingesetzt werden. Das in Fig. 8 dargestellte Axiallager baut dagegen auf dem anhand von Fig. 3 erläuterten Prinzip auf. Die Permanentmagneten bestehen aus zwei ineinander angeordneten konzentrischen Ringen, die jeweils entgegengesetzte, axial gerichtete Magnetisierung aufweisen. Die beiden Stirnseiten der Magneteinheit sind mit den Bauteilen 62, 63 in Form von Scheiben belegt, die im vorliegenden Fall leicht U-förmig ausgebildet sind, so daß sie eine Ausnehmung 49 bilden, in der eine Ring- bzw. Spiral-Wicklung 66 liegt. Die beschriebene Form der Bauteile 62, 63 ermöglicht kleinere wirksame Luftspalte, da die U-Schenkel nach Art von Polschuhen wirken. Bei diesem Axiallager sind die Magnetfelder in den Luftspalten 25, 26 homogen, d. h. es treten bei Drehung des Rotors im wesentlichen nur Magnetfeldänderungen durch Regeleinflüsse auf. Insbesondere das starke Vormagnetisierungsfeld ist vollständig rotationssymmetrisch, so daß es keine Ummagnetisierungsverluste erzeugt. Bei den Fig. 7 und 8 ist die Rotorausbildung im wesentlichen die gleiche, wie sie anhand von Fig. 1 beschrieben wurde.

Es wird also ein Lagerteil für magnetische Lagerungen geschaffen, das einen einfachen Aufbau hat und insbesondere wenig komplizierte elektrische Teile besitzt.

Es besitzt daher eine hohe Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit. Es ist besonders als Axiallager geeignet, wobei es vorteilhaft ist, daß die Axialkräfte in beiden Axialrichtungen bzw. -orientierungen an nur einer Stelle des Rotors aufgenommen werden können. Vor allem ist die Regelung in zwei Richtungen mit nur einem Lagerteil mit einer wirksamen Wicklung möglich. Durch die Möglichkeit, sehr homogene Felder zu schaffen, sind auch am Rotor keine besonderen Maßnahmen bezüglich des Werkstoffes zu treffen, und die Anforderungen an spezielle Formgebungen des Rotors sind gering. Vor allem kann der Rotor frei von Permanentmagneten gehalten werden, die nicht nur zusätzliches Gewicht, sondern auch verringerte Drehzahlfestigkeit bedingen. Sowohl durch die Auslegung und Ausbildung des Regelgerätes als auch durch die Wahl der Vormagnetisierung sind Rückstellkräfte, Dämpfung und Federsteifigkeit weitgehend variierbar. Eine genaue axiale Einstellung ist sowohl mechanisch wie auch elektrisch möglich. Das Verhältnis von Nutzinduktivität zu Streuinduktivität ist sehr groß, was insbesondere für die Linearlager im Verhältnis zu bisher Bekanntem große Vorteile bringt. Wenn vorstehend dieses Lagerteil bei der Anwendung bei völlig berührungsfreien magnetischen Lagerungen beschrieben wurde, so ist dies das bevorzugte Anwendungsgebiet. Es ist jedoch auch eine Anwendung bei Lagerungen möglich, die noch nicht ganz auf mechanische Berührung mit dem Stator verzichten.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

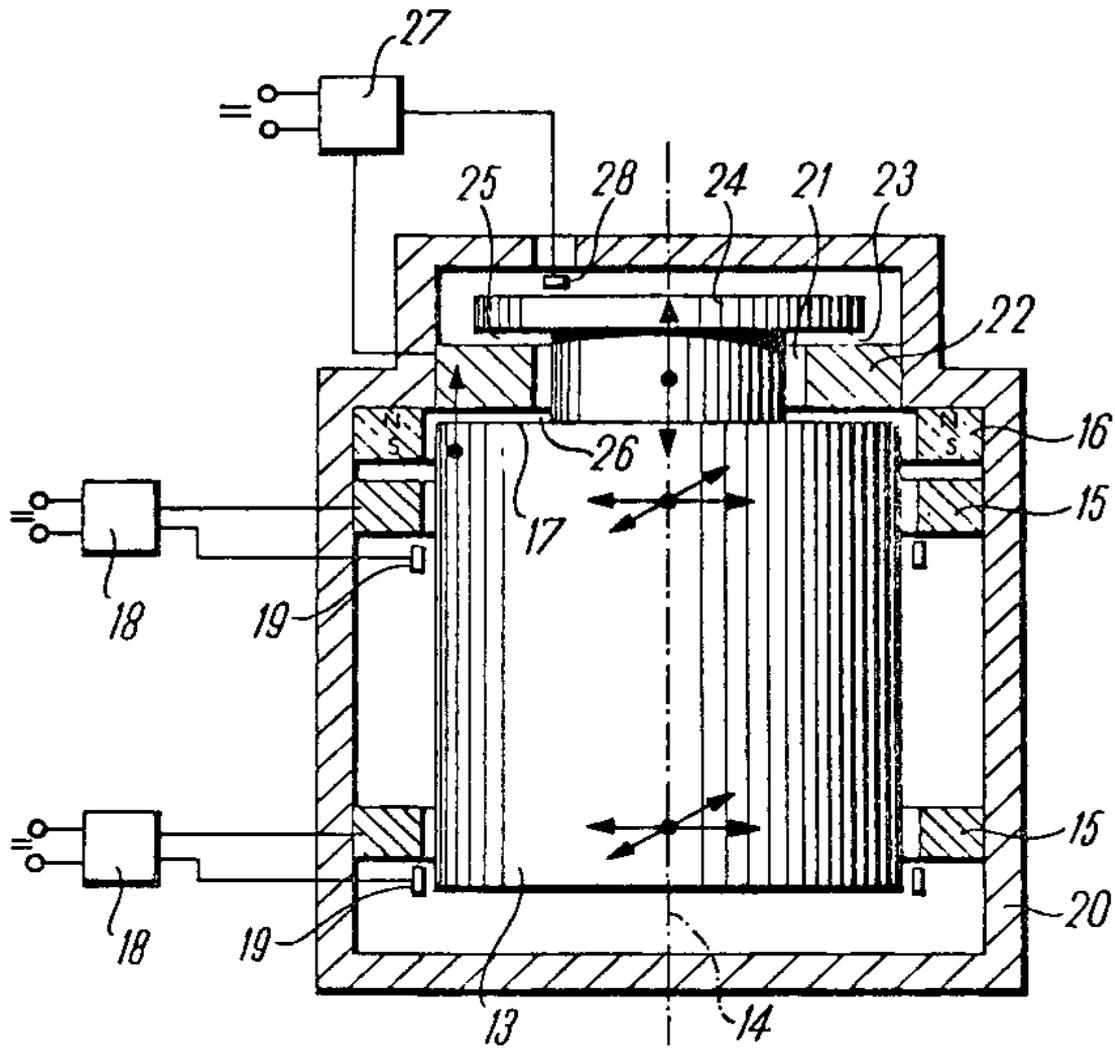


Fig. 1

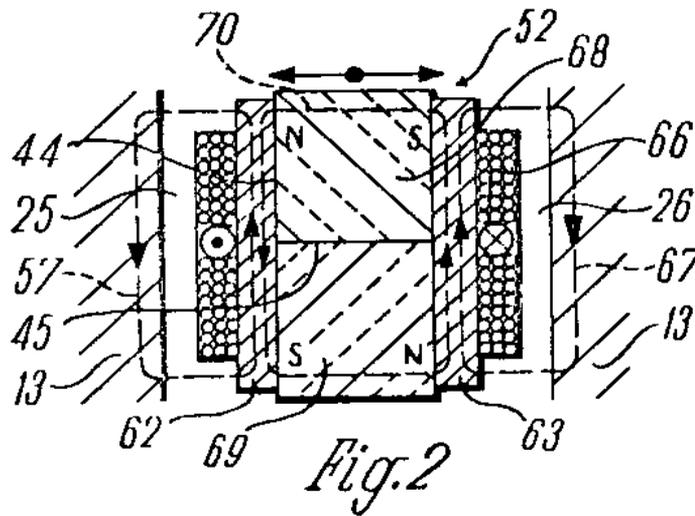


Fig. 2

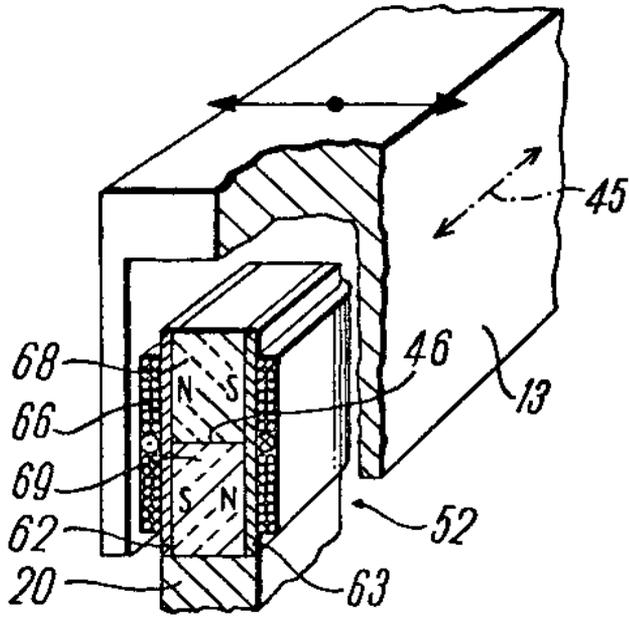


Fig. 3

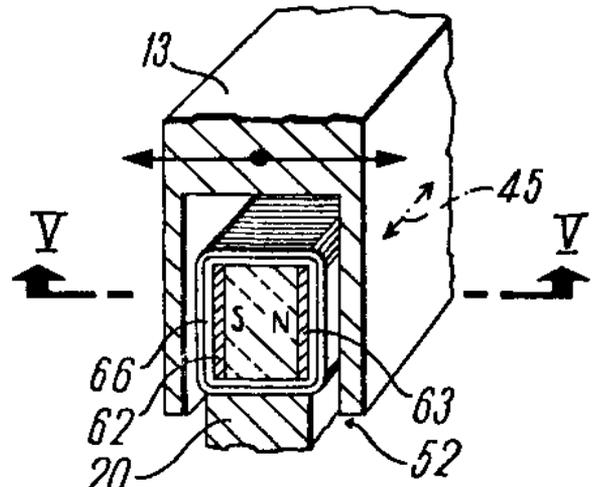


Fig. 4

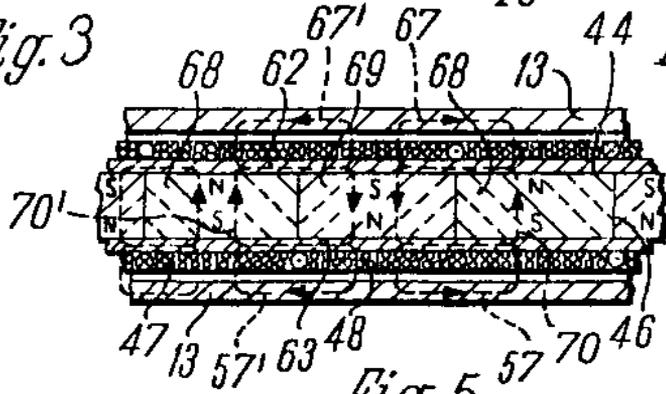


Fig. 5

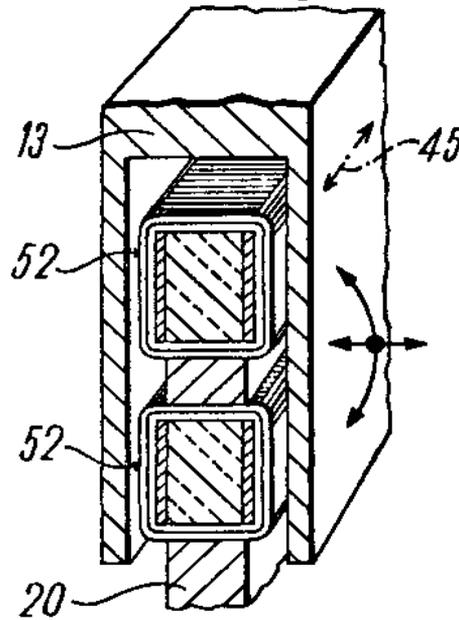


Fig. 6

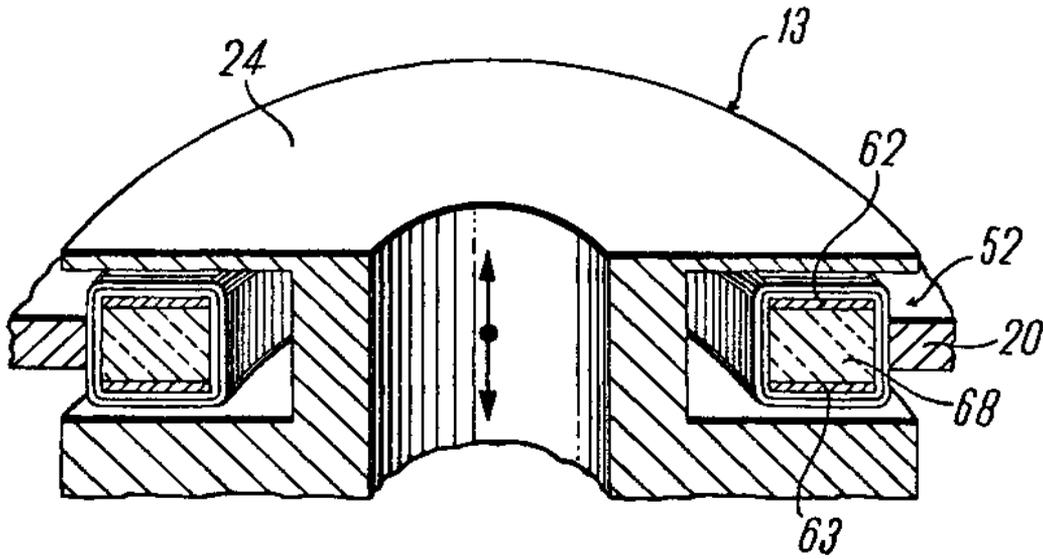


Fig. 7

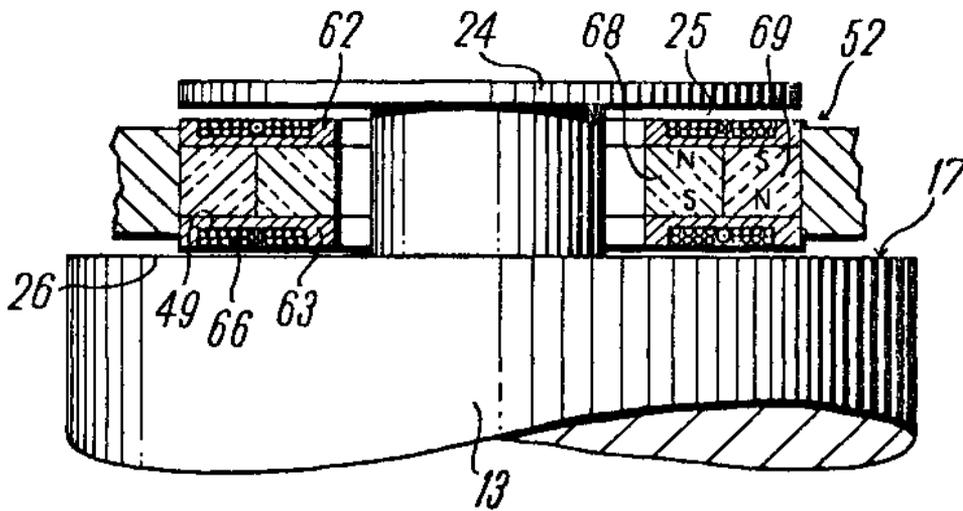


Fig. 8