(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT

(12) **Offenlegungsschrift**

(11) **DE 3409047 A1**

(51) Int. Cl. 4:
F16C 32/04

(21) Aktenzeichen: P 34 09 047.9
(22) Anmeldetag: 13. 3. 84
(43) Offenlegungstag: 19. 9. 85

Behördeneigentum

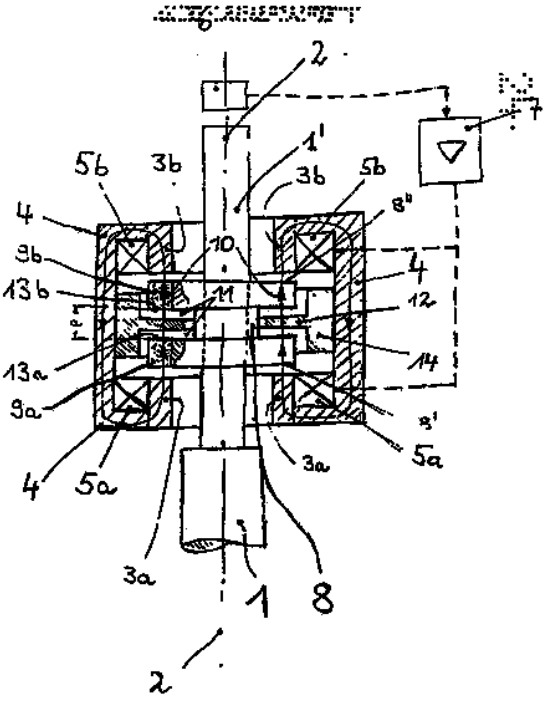
(71) Anmelder:
Kernforschungsanlage Jülich GmbH, 5170 Jülich, DE

(72) Erfinder:
Fremerey, Johan K., Dipl.-Phys. Dr., 5300 Bonn, DE;
Weller, Albrecht, Dip.-Phys., 5170 Jülich, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Magnetlager zur dreiachsigen Lagerstabilisierung von Körpern

Bei einem Magnetlager mit dreiachsiger berührungsloser Lagestabilisierung der gelagerten Körper wird zwischen ortsfesten Lagerteilen (in Fig. 1 Bezugszeichen 3a, 3b) ein permanentmagnetischer Fluß aufrechterhalten, der ein bewegliches Lagerteil (8), das zwischen den ortsfesten Lagerteilen angeordnet ist, in einer Richtung durchdringt. Zur Erzeugung von Rückstellkräften parallel zur Flußrichtung sind an den ortsfesten Lagerteilen elektrische Spulen (5a, 5b) angebracht, die von einem die Lage des beweglichen Lagerteils berührungslos abtastenden Sensorsystem (6) und einem Regler (7) angesteuert werden.
Es wird eine Vereinfachung des Aufbaus des Magnetlagers sowie eine wirkungsvolle Wirbelstromdämpfung angestrebt. Hierzu wird das bewegliche Lagerteil (8) durch einen senkrecht zur Flußrichtung (10) orientierten Spalt (11) in zwei permanentmagnetische Bereiche (9a, 9b) aufgespalten und in den Spalt (11) eine ortsfeste Platte (12) aus nichtmagnetisierbarem Material hoher elektrischer Leitfähigkeit berührungslos zum beweglichen Lagerteil (8) eingesetzt.



DE 3409047 A1

DE 3409047 A1

3409047

Kernforschungsanlage Jülich
Gesellschaft mit beschränkter Haftung

P a t e n t a n s p r ü c h e

Magnetlager zur dreiachsigen berührungslosen Lagestabilisierung von Körpern, das auf gegenüberliegenden Seiten eines beweglichen Lagerteils ortsfeste Lagerteile aufweist, wobei zwischen den ortsfesten Lagerteilen ein das bewegliche Lagerteil in einer Richtung durchdringender permanentmagnetischer Fluß aufrechterhalten wird, und wobei zur Erzeugung von Rückstellkräften parallel zur Flußrichtung an den ortsfesten Lagerteilen elektrische Spulen angebracht sind, die von einem die Lage des beweglichen Lagerteils berührungslos abtastenden Sensorsystem und einem Regler angesteuert werden, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das bewegliche Lagerteil (8) mindestens zwei durch einen senkrecht zur Flußrichtung (10) orientierten Spalt (11) getrennte permanentmagnetische Bereiche (9a, 9b) aufweist, und daß in den Spalt (11) eine ortsfeste Platte (12) aus nicht magnetisierbarem Material hoher elektrischer Leitfähigkeit hineinragt, ohne das bewegliche Lagerteil (8) zu berühren.

2. Magnetlager nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Platte (12) außerhalb des Spaltes (11) eine Materialverstärkung (14) aufweist.

1.721
mz/ha

3. Magnetlager nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Lagerteile (3a, 3b, 8) rotationssymmetrisch ausgebildet sind, wobei die ortsfesten Lagerteile (3a, 3b) über einen Hohlzylinder (4), der aus einem Material mit hoher magnetischer Leitfähigkeit besteht, miteinander verbunden sind.

4. Magnetlager nach einem der vorhergehenden Anprüche, g e k e n n z e i c h n e t d u r c h Verwendung zur Stabilisierung eines passiven permanentmagnetischen Lagersystems.

3409047

Kernforschungsanlage Jülich
Gesellschaft mit beschränkter Haftung

Magnetlager zur dreiachsigen Lagerstabilisierung von Körpern

Die Erfindung bezieht sich auf ein Magnetlager zur dreiachsigen Lagestabilisierung von Körpern. Das Magnetlager weist auf gegenüberliegenden Seiten eines beweglichen Lagerteils ortsfeste Lagerteile auf. Zwischen den ortsfesten Lagerteilen wird ein das bewegliche Lagerteil in einer Richtung durchdringender magnetischer Fluß aufrechterhalten. Zur Erzeugung von Rückstellkräften parallel zur magnetischen Flußrichtung sind an den ortsfesten Lagerteilen elektrische Spulen angebracht, die von einem die Lage des beweglichen Lagerteils berührungslos abtastenden Sensorsystem und einem Regler angesteuert werden.

Magnetlager dieser Art sind beispielsweise aus US-PS 3,860,300 und DT-PS 24 44 099 bekannt. Sie werden insbesondere zur axialen Stabilisierung von magnetisch gelagerten

Rotoren verwendet, vgl. beispielsweise Voss/Cohem, "UHV compatible chopper system" in J. Vac. Sci. Technol., 1980, Vol. 17, Nr. 1, S. 303 ff., und Fremerey/Boden "Active permanent magnet suspensions for scientific instruments" in J. Phys. E.: Sci. Instrum., 1978, Vol. 11, S. 106 ff. Der Vorteil dieser bekannten permanentmagnetischen Rotorlager besteht darin, daß sie zum Zwecke der allseitig berührungslosen Lagerung nur eine Stabilisierung in Richtung der Rotorachse erforderlich machen. Dieser Vorteil wird allerdings durch den ebenso bekannten Nachteil erkauft, daß solche Lagerungen in den radialen Richtungen praktisch keine Dämpfung aufweisen. Den daraus resultierenden Problemen beim Durchfahren von kritischen Rotordrehzahlen kann in begrenztem Maße mit erhöhtem Aufwand beim Auswuchten des Rotorsystems begegnet werden, wie das von Voss/Cohem in ihrer oben angegebenen Veröffentlichung beschrieben wird. Bekannt ist es auch, zusätzliche elektronische oder mechanische Dämpfeinrichtungen zu verwenden, um den störenden Einfluß von Erschütterungen auf die Rotorlagerung zu mindern, vgl. Fremerey "Spinnung rotor vacuum gauges" in Vacuum, 1982, Vol. 32, Nr. 10/11, S. 685 ff.

Zur Stabilisierung von Magnetlagern werden auch Wirbelstrom-Dämpfvorrichtungen verwendet. So wird in US-PS 3,929,350 das Anbringen von ortsfesten Kupferscheiben an den Stirnflächen von an rotierenden Teilen befestigten Permanentmagneten vorgeschlagen, um ein Lagersystem zu stabilisieren.

Eine solche Dämpfvorrichtung hat einen in Bezug auf das eingesetzte permamentmagnetische Material geringen Wirkungsgrad, weil an den freien Enden der Permanentmagnete das von diesen erzeugte Magnetfeld stark divergiert, und somit die für die angestrebte radiale Wirbelstromdämpfung erforderlichen Feldkomponenten in axialer Richtung nur eine geringe Reichweite in die Kupferscheibe hinein haben.

Wesentlich höhere Wirkungsgrade werden erzielt durch Anbringen von ortsfesten Kupferscheiben im Feld zwischen zwei hintereinander geschalteten Permanentmagneten, vgl. Report ESA-CR (P)-696 MU/EX No.47.055/15, Seite 12. Bei dieser Vorrichtung verlaufen die Magnetfelder innerhalb des Kupfers im wesentlichen in axialer Richtung, so daß eine optimale Feldausnutzung zur Wirbelstromdämpfung von radialen Rotorbewegungen gewährleistet ist. Der konstruktive Aufwand ist allerdings erheblich. Es werden insgesamt 6 ringförmige permanentmagnete benötigt, von denen 2 auch noch die herstellungstechnisch ungünstige radiale Magnetisierungsrichtung aufweisen müssen. Wesentlich einfacher in ihrer konstruktiven Gestaltung des magnetischen Kreises hinsichtlich des erzielten Wirkungsgrades ist die von Fremerey in "High vacuum gas friction manometer" in J. Vac.Sci. Technol., 1972, Vol. 9, Nr. 1, S. 108ff, beschriebene radiale Wirbelstromdämpfung eines an Fäden aufgehängten Magnetsystems. Hier wird eine ortsfeste Kupferscheibe von einem axial verlaufenden Magnetfeld zwischen der Stirnfläche eines Permanentmagneten und einer flachen Eisen-

scheibe durchdrungen. Bei dieser Vorrichtung ist allerdings die Ankopplung der Wirbelstrom-Dämpfvorrichtung an den berührungslos gelagerten Körper sehr aufwendig. Es sind hierzu elektronische Verstärker mit mehrgliedrigen Abtastspulen und elektromagnetischen Ablenkspulen in jeweils zwei voneinander unabhängigen Richtungen erforderlich.

Die beiden zuletzt angegebenen Vorrichtungen haben neben dem beschriebenen Aufwand den Nachteil, daß sie allein zur radialen Dämpfung benutzt werden können. Magnetische Lager stellen sie nicht dar.

Lediglich die bereits weiter oben erwähnte Wirbelstrom-Dämpfvorrichtung nach US-PS 3,929,350 benutzt für die Dämpfung die Permanentmagnete des Radiallagers, sie hat aber aus den oben genannten Gründen nur einen geringen Wirkungsgrad. Das zur magnetischen Lagerung erforderliche Axiallager ist an anderem Ort angeordnet.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein im Aufbau möglichst einfaches Magnetlager zur dreiachsigen berührungslosen Lagestabilisierung von Körpern mit wirkungsvoller Wirbelstromdämpfung zu schaffen, in welchem der Fluß eines einzigen permanentmagnetischen Kreises für die axiale Stabilisierung und gleichzeitig für die radiale Zentrierung und Dämpfung genutzt wird.

Diese Aufgabe wird bei einem Magnetlager der eingangs angegebenen Art gemäß der Erfindung durch die in Patentanspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst. Danach weist das bewegliche Lagerteil mindestens zwei permantentmagnetische Bereiche auf, die durch einen senkrecht zur Flußrichtung orientierten Spalt voneinander getrennt sind. In den Spalt ragt eine Platte aus nichtmagnetisierbarem Material hoher elektrischer Leitfähigkeit hinein. Die Platte ist ortsfest angeordnet und berührt das bewegliche Lagerteil nicht.

Dadurch, daß die permanentmagnetischen Bereiche am Spalt angeordnet sind, wird im Spalt parallel zur Achse des rotierenden Körpers ein hoher magnetischer Fluß mit geringen Streuflußanteilen erzeugt.

Der durch die Polflächen austretende magnetische Fluß durchdringt die im Spalt angeordnete Platte aus nichtmagnetisierbarem Material hoher elektrischer Leitfähigkeit. Als Plattenmaterial wird bevorzugt Kupfer verwendet. Wenn sich nun das bewegliche Lagerteil mit seinen parallel zur Plattenoberfläche angeordneten Polflächen parallel zur Platte bewegt, so werden in der Platte elektrische Spannungen mit einer Orientierung senkrecht zur Bewegungsrichtung des beweglichen Lagerteils induziert. Der Teil der

Platte, der sich innerhalb des Spalts befindet, wird somit zur Spannungsquelle, wobei die Höhe der induzierten Spannung der Bewegungsgeschwindigkeit des beweglichen Lagerteils proportional ist. Der Innenwiderstand dieser Spannungsquelle ergibt sich aus dem Querschnitt und der Länge des vom permanentmagnetischen Fluß durchsetzten Plattenmaterials und ist abhängig von dessen elektrischer Leitfähigkeit.

Die Dämpfung des beweglichen Lagerteils wird dadurch erzielt, daß der nicht magnetisch durchflutete Bereich des Plattenmaterials der elektrisch hochleitfähigen Platte die im Spaltbereich erzeugte Spannungsquelle kurzschließt, und so ein Kurzschlußstrom fließt. Die dabei verbrauchte Verlustenenergie wird aus der Bewegungsenergie des sich bewegenden Lagerteils gewonnen. Dabei erwärmt sich die Platte, und die Bewegung des beweglichen Lagerteils schwächt sich ab.

Um den elektrischen Widerstand der Platte außerhalb des magnetisch durchfluteten Bereiches des Plattenmaterials zu verringern, ist es in weiterer Ausbildung der Erfindung nach Patentanspruch 2 vorgesehen, das Plattenmaterial außerhalb des Spaltes zu verstärken.

Zur Lagerung rotierender Körper ist in Patentanspruch 3 eine bevorzugte Ausbildung des Magnetlagers angegeben. Die ortsfesten Lagerteile sind an einem Hohlzylinder aus magnetisch gut leitendem Material befestigt, der zur Flußleitung und zur magnetischen Abschirmung des Magnetlagers dient. Der Hohlzylinder schirmt das Magnetlager einerseits gegenüber äußeren Störfeldern ab, so daß ein einwandfreier Betrieb des Magnetlagers auch in der Nachbarschaft von anderen elektromagnetischen Einrichtungen, beispielsweise Antriebsmotoren, gesichert ist. Andererseits verhindert die Abschirmung auch vom Magnetlager selbst ausgehende magnetische Störungen auf benachbarte Vorrichtungen. Darüberhinaus bildet das Magnetlager mit Hohlzylinder eine quasi geschlossene Einheit, die mechanisch robust und leicht zu handhaben ist.

Die Eigenschaften des Magnetlagers kommen in besonders günstiger Weise zur Wirkung bei dessen Verwendung zur Stabilisierung von passiven permanentmagnetischen Lagersystemen, Patentanspruch 4. Solche Lager weisen bei rotationssymmetrischer Ausbildung in Richtung der Lagerachse eine erhebliche Kraftinstabilität auf, die den gelagerten Rotationskörper nach der einen oder anderen Seite aus seiner magnetischen Neutralstellung

heraus an den nächstmöglichen axialen mechanischen Anschlag treiben. Diese Instabilität wird durch Anbringen des erfindungsgemäßen Magnetlagers beseitigt. Das radial passive permanentmagnetische Lagersystem kann so auch im Bereich von kritischen Drehzahlen betrieben werden, ohne daß dynamische Instabilitäten, wie beispielsweise Nutationen, störend in Erscheinung treten. Die Dämpfwirkung des Magnetlagers auf Drehschwingungen der Rotationsachse des gelagerten Körpers um eine Querachse ist um so günstiger, je weiter das Magnetlager vom Schwerpunkt des rotierenden Körper entfernt angebracht ist. Bevorzugt eignet sich das Magnetlager zur Stabilisierung von Lagersystemen für Schwungräder. Von besonderem Vorteil ist ferner seine Verwendung als Trag- oder Stützlager für Ultrazentrifugen mit vertikaler Rotationsachse sowie für Turbomolekularpumpen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert, die in der Zeichnung schematisch wiedergegeben sind. Die Zeichnung zeigt im einzelnen:

Figur 1 Magnetlager für rotierende Körper,

Figur 2 Lagersystem mit passiver permanentmagnetischer Radiallagerung, das durch ein Magnetlager nach Figur 1 stabilisiert ist.

In Figur 1 ist ein rotationssymmetrisches Magnetlager dargestellt. Das Magnetlager dient als Trag- oder Stützlager für eine Welle 1 eines um eine vertikale Achse 2 rotierenden Körpers. Das Magnetlager weist ortsfeste Lagerteile 3a, 3b auf, die Bestandteil eines aus magnetisch gut leitendem Material, vorzugsweise aus Eisen gefertigten Hohlzylinders 4 sind. Die ortsfesten Lagerteile 3a, 3b bilden mit dem Hohlzylinder 4 verbundene Ringe, die im Ausführungsbeispiel an beiden Enden des Hohlzylinders 4 angeordnet sind. Zwischen den ringförmigen ortsfesten Lagerteilen 3a, 3b und dem Hohlzylinder 4 befinden sich zur Steuerung des Magnetlagers elektrische Spulen 5a, 5b, deren Stromdurchgang über ein Sensorsystem 6 und einen elektronischen Regler 7 gesteuert wird. Die elektrischen Verbindungsleitungen sind in der Zeichnung strichliniert dargestellt. Das Sensorsystem tastet die Lage der Welle 1 des rotierenden Körpers ab. Ein Wellenteil 1' durchdringt den Hohlzylinder 4 axial. Auf dem Wellenteil 1' sitzt ein Lagerteil 8, das mit der Welle rotiert und somit das bewegliche Lagerteil des Magnetlagers bildet. Das bewegliche Lagerteil 8 ist zwischen den ortsfesten Lagerteilen 3a, 3b angeordnet, wobei gegenüberliegende Seiten 8', 8" des beweglichen Lagerteils 8 den ortsfesten Lagerteilen 3a, 3b unter Ausbildung eines geringen Zwischenraums eng gegenüberstehen. Zwischen beweglichen und ortsfesten Lagerteilen

verläuft der magnetische Fluß parallel zur Achse 2. Der die Achse 2 torroidal umgebende magnetische Fluß ist in Figur 1 durch einen die im Schnitt dargestellten Lagerteile durchdringenden, jeweils geschlossenen Linienzug markiert.

Das bewegliche Lagerteil 8 weist zwei permanentmagnetische Bereiche 9a, 9b auf, die mit axialem Abstand a zueinander angeordnet sind und zwischen sich einen senkrecht zum erzeugten magnetischen Fluß mit Flußrichtung 10 orientierten Spalt 11 bilden, der die Lagerbereiche 9a, 9b voneinander trennt. In den Spalt 11 ragt eine ringförmige Platte 12 hinein, die ortsfest angeordnet und im Ausführungsbeispiel am Hohlzylinder 4 befestigt ist. Die Platte 12 ragt in den Spalt 11 so weit hinein, daß sie vom magnetischen Fluß durchsetzt wird. Die Platte 12 besteht aus nichtmagnetisierbarem Material hoher elektrischer Leitfähigkeit, vorzugsweise aus Kupfer.

Zur Ausbildung der permanentmagnetischen Bereiche 9a, 9b wird an deren Polflächen 13a, 13b am Spalt 11 als permanentmagnetisches Material bevorzugt eine Seltenerde-Kobalt-Legierung verwendet. Dieses hochkoerzitive Material ist parallel zur Achse 2 magnetisiert und so angeordnet, daß die

Bereiche 9a, 9b hintereinandergeschaltete Permanentmagnete bilden. Zusammen mit den ortsfesten Lagerteilen 3a, 3b, die magnetisch entgegengesetzt polarisiert sind, ergibt sich somit über den magnetisch gut leitenden Hohlzylinder 4 ein permanentmagnetischer Fluß in einer vorgegebenen Richtung. In Figur 1 ist die sich im Ausführungsbeispiel ergebende Flußrichtung durch Pfeile kenntlich gemacht. Das ortsfeste Lagerteil 3a stellt somit einen magnetischen Nordpol, das Lagerteil 3b einen magnetischen Südpol dar.

Die von den ringförmigen elektrischen Spulen 5a, 5b bei Stromfluß erzeugten magnetischen Felder bewirken bei einer gegensinnigen Stromführung in den Spulen eine Axialkraft, die je nach Stromrichtung in den Spulen in der einen oder anderen Richtung axial auf das bewegliche Lagerteil 8 und damit auf die Welle 1 einwirkt. Das Sensorsystem 6 erzeugt elektrische Signale, die den Abweichungen der Welle aus ihrer vorgegebenen axialen Sollage proportional sind. Die Signale des Sensorsystems 6 werden durch den Regler 7 verstärkt und bestimmen Stromrichtung und Stromstärke in den Spulen 5a, 5b. Die hierdurch mittels der Spulen hervorgerufene axiale Kraft auf das bewegliche Lagerteil 8 wirkt der vom Sensorsystem 6 gemessenen axialen Abweichung der Welle 1 aus der Sollage entgegen. Bei Erreichen der Sollage fließt

kein Strom mehr.

Zwischen den Polflächen 13a, 13b der permanentmagnetischen Bereiche 9a, 9b wird ein hoher magnetischer Fluß erzeugt. Der durch die Polflächen 13a, 13b austretende magnetische Fluß durchdringt in Flußrichtung 10 die in den Spalt 11 hineinragende Platte 12, so daß bei radialen Bewegungen der Welle 1 in der Platte 12 eine Spannung induziert wird. Der innerhalb des Spalts 11 sich befindende Bereich der Platte 12 stellt somit eine Spannungsquelle dar, wobei die Höhe der induzierten Spannung der radialen Bewegungsgeschwindigkeit des beweglichen Lagerteil proportional ist.

Der aus dem Spalt 11 herausragende Teil der Platte 12 wird vom magnetischen Fluß nicht durchflutet. In diesem magnetfeldfreien Raum wird keine elektrische Spannung induziert. Durch diesen äußeren Bereich der Platte 12 wird die im Bereich der Platte innerhalb des Spaltes erzeugte Spannungsquelle kurzgeschlossen. Die mit dem dabei fließenden Kurzschlußstrom verbundene Verlustenergie wird aus der Bewegungsenergie des rotierenden Körpers gewonnen und schwächt diese ab, wobei sich die Platte 12 erwärmt. Um im äußeren

Bereich der Platte 12 im magnetfeldfreien Raum einen möglichst geringen elektrischen Widerstand zu schaffen, weist die Platte 12 in ihrem Bereich außerhalb des Spaltes 11 eine Materialverstärkung 14 auf, die im Ausführungsbeispiel als symmetrisch zur Spaltebene geformter ringförmiger Kragen ausgebildet ist, der breiter als der Spalt 11 bemessen ist. Durch diese Materialverstärkung 14 lassen sich in der Platte 12 hohe Kurzschlußströme erzielen, die im Vergleich mit nicht verstärkten Platten bei gleich hoch induzierter Spannung zu wesentlich höherer Dämpfleistung führen.

Das bewegliche Lagerteil 8 kann auch mehrere mit Abstand zueinander angeordnete, permanentmagnetische Bereiche mit je einer in die entstandenen Spalte zwischen den Bereichen hineinragenden Platte aufweisen. Die Spalte verlaufen jeweils senkrecht zum magnetischen Fluß, sind somit in Richtung von Achse 2 hintereinander und parallel zueinander angeordnet. Eine solche Ausbildung des Magnetlagers erhöht die Dämpfleistung.

Im Ausführungsbeispiel bilden die permanentmagnetischen Bereiche 9a, 9b des beweglichen Lagerteils 8 ringförmige Permanentmagnete, wobei ein sehr hohes gewichtsspezifisches

magnetisches Moment für das bewegliche Lagerteil erzielt wird. Die Gewichtsbelastung des mit der Welle 1 rotierenden Körpers bzw. des Rotorsystems ist somit gering. Die Anordnung der ringförmigen Permanentmagnete in Hintereinanderschaltung führt zu einem optimalen Wirkungsgrad für die Spulen 5a, 5b, die die axialen Abweichungen der Welle korrigieren. Das magnetische Moment des hochkoerzitiven permanentmagnetischen Materials ist derart, daß es weder durch die magnetischen Felder der Spulen 5a, 5b, noch durch ein von außen in das Lagerelement eindringendes Magnetfeld beeinträchtigt wird. Gleichzeitig gewährleistet die geringe magnetische Leitfähigkeit, die hochkoerzitive magnetische Materialien auszeichnet, in Richtung von Achse 2 des rotierenden Körpers eine relativ geringe magnetische Grund-Instabilität des beweglichen Lagerteils 8 in axialer Richtung gegenüber den ortsfesten Lagerteilen3a, 3b.

Der Hohlzylinder 4 aus magnetisch gut leitendem Material bildet eine magnetische Abschirmung des Lagerelements, die einerseits vor äußeren magnetischen Störfeldern schützt, andererseits aber auch magnetische Störeinflüsse auf benachbarte Einrichtungen in der Umgebung des Magnetlagers infolge der starken Magnetfelder des Magnetlagers selbst verhindert.

Eine spezielle Anwendung des Magnetlagers nach Figur 1 ist in Figur 2 dargestellt. Figur 2 zeigt ein passives, permanentmagnetisches Lagersystem für ein Schwungrad 15 mit zwei passiven, permanentmagnetischen Radiallagern 16a, 16b, die in bekannter Weise Permanentmagnete 17a, 17b mit radial abstoßender (Radiallager 16a) oder axial anziehender Wirkung (Radiallager 16b) aufweisen. Im Ausführungsbeispiel sind die Permanentmagnete 17a ortsfest angeordnet, die Permanentmagnete 17b bilden mit Welle 18 und Schwungrad 15 als Rotorsystem sich bewegende Lagerteile. Eine solche magnetische Lagerung für das Rotorsystem weist in ihrer Neutralstellung, d.h. dann, wenn die beweglichen Permanentmagnete 17b in Achsrichtung der Welle 18 eine bezüglich der ortsfesten Permanentmagnete 17a symmetrische Position einnehmen, eine erhebliche axiale Kraft-Instabilität auf, die das Rotorsystem nach der einen oder anderen Seite aus der Neutralstellung heraustreibt. Diese Instabilität wird durch ein Magnetlager 19 beseitigt, das einen in Figur 1 dargestellten Aufbau zeigt. Das Magnetlager 19 wird von einem Positions-Sensorsystem 20 mit Verstärker 21 in gleicher Weise gesteuert, wie das vorbeschriebene, in Figur 1 wiedergegebene Magnetlager. Mit dem Magnetlager 19 läßt

sich das Rotorsystem mit Welle 18 und Schwungrad 15 nun auch im Bereich von kritischen Drehzahlen betreiben, ohne daß dynamische Instabilitäten, wie beispielsweise die Nutation störend in Erscheinung treten. Die Dämpfwirkung des Magnetlagers 19 auf Drehschwingungen der Welle 18 um eine Querachse ist um so günstiger, je weiter das Magnetlagerelement 19 vom Schwerpunkt des Rotorsystems entfernt angebracht ist. Selbstverständlich können zur Verstärkung der Dämpfwirkung mehrere Magnetlager 19 eingesetzt werden.

Das erfindungsgemäße Magnetlager zeichnet sich somit durch folgende Merkmale aus:

Das Magnetlager enthält einen einzigen, torroidal geschlossenen permanentmagnetischen Kreis. Der Flußverlauf ist in Fig. 1 durch die mit Flußrichtung 10 markierten geschlossenen Linien angedeutet.

Die axiale berührungslose Stabilisierung des beweglichen Lagerteils 8 zwischen den ortsfesten Lagerteilen 3a und 3b wird mittels der Spulen 5a, 5b erzielt, die vom Sensorsystem 6 und elektronischem Regler 7 mit Strömen in jeweils gegensinnigem Umlaufsinn beaufschlagt werden, wie dies in DE-PS 2 444 099 beschrieben ist. Richtung und Betrag dieser Ströme werden durch das Ausgangssignal des Sensorsystems

bestimmt, das die axiale Lage der Welle 1 und damit die Lage des beweglichen Lagerteils 8 berührungslos abtastet. Der Regler 7 erzeugt Ströme, die mittels der Spulen 5a, 5b in Verbindung mit den permanentmagnetischen Bereichen 9a, 9b in parallel zur Flußrichtung 10 wirkende Rückstellkräfte umgewandelt werden, sobald sich das bewegliche Lagerteil 8 von derjenigen axialen Position entfernt, bei welcher der Ausgangsstrom des Reglers verschwindet. Der Regler erzeugt gleichzeitig Dämpfkräfte, die unabhängig von der jeweiligen axialen Position allen axialen Bewegungen, insbesondere axialen Schwingungen des beweglichen Lagerteils 8 entgegenwirken.

Die radiale Zentrierung des beweglichen Lagerteils 8 gegenüber den ortsfesten Lagerteilen 3a, 3b ergibt sich durch enge Gegenüberstellung formgleicher Polflächen von permanentmagnetischen Bereichen 9a, 9b und von magnetisierbaren ringförmigen ortsfesten Lagerteilen 3a, 3b, die vorzugsweise aus Eisen bestehen.

Die radiale Dämpfung schließlich wird durch die zwischen den permanentmagnetischen Bereichen 9a, 9b des beweglichen Lagerteils 8 ortsfest angebrachte Platte 12 aus nichtmagnetisierbarem Material hoher elektrischer Leitfähigkeit, vorzugsweise Kupfer,

bewirkt. Bei radialen Bewegungen des Lagerteils 8 werden in den vom magnetischen Fluß durchdrungenen Bereichen der Platte 12 elektrische Spannungen induziert.

Das erfindungsgemäße Magnetlager stellt somit berührungslose Rückstell- bzw. Zentrier- und Dämpfkräfte in drei voneinander unabhängigen Achsrichtungen (eine axiale, zwei radiale) bereit. Es besteht aus nur sieben wesentlichen Bauteilen, nämlich aus zwei Eisenringen, die die ortsfesten Lagerteile 3a,3b bilden, aus zwei ringförmigen permanentmagnetischen Bereichen 9a,9b für das bewegliche Lagerteil 8 aus zwei elektrischen Spulen 5a,5b und einer ringförmigen Platte 12 aus Kupfer. Alle Teile sind in einfacher Weise herzustellen und ohne Aufwand zu montieren.

– Leerseite –

Nummer: 34 09 047
Int. Cl.³: F 16 C 32/04
Anmeldetag: 13. März 1984
Offenlegungstag: 19. September 1985

3409047

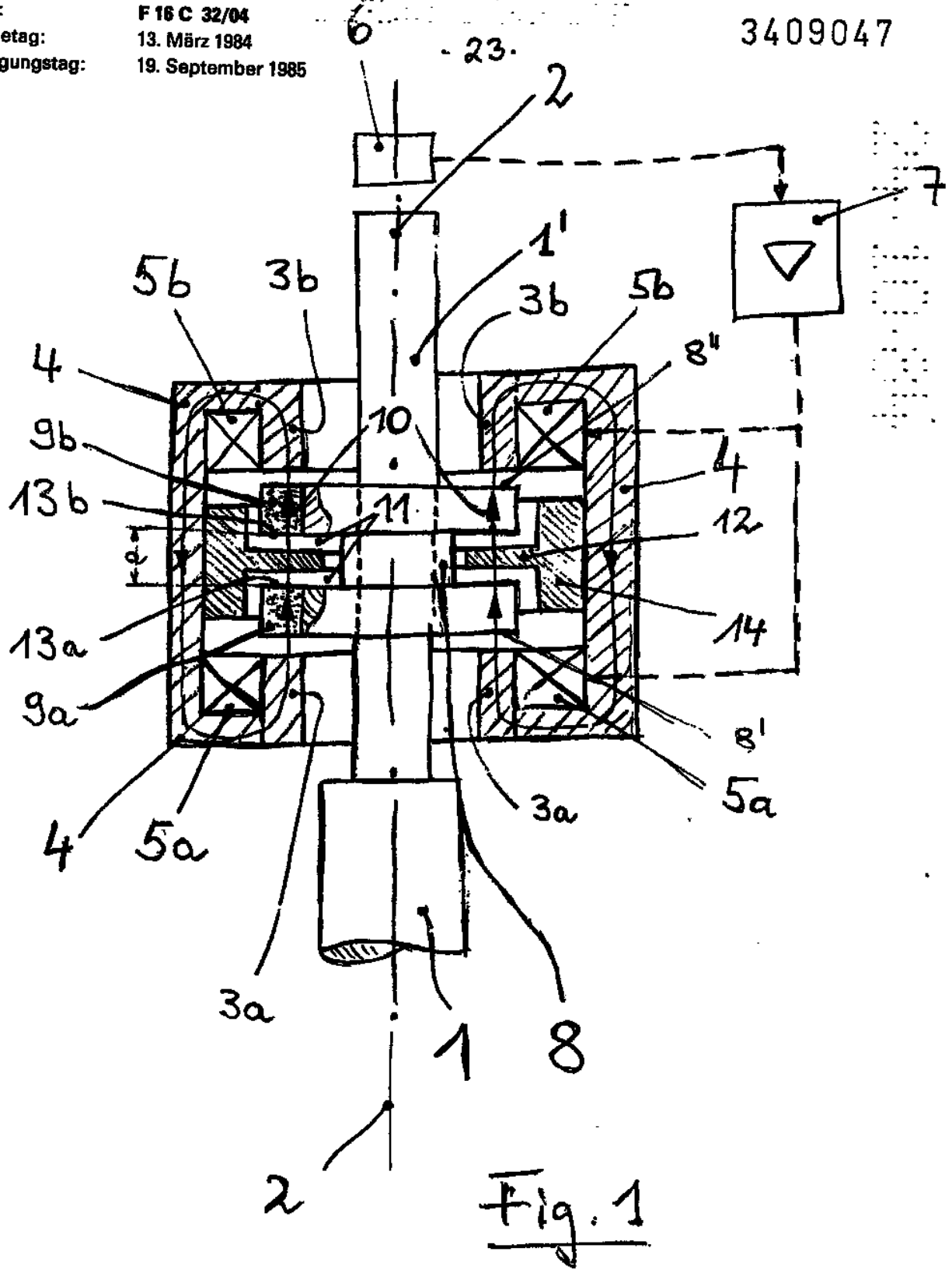


Fig. 1

NACHGEREICHT

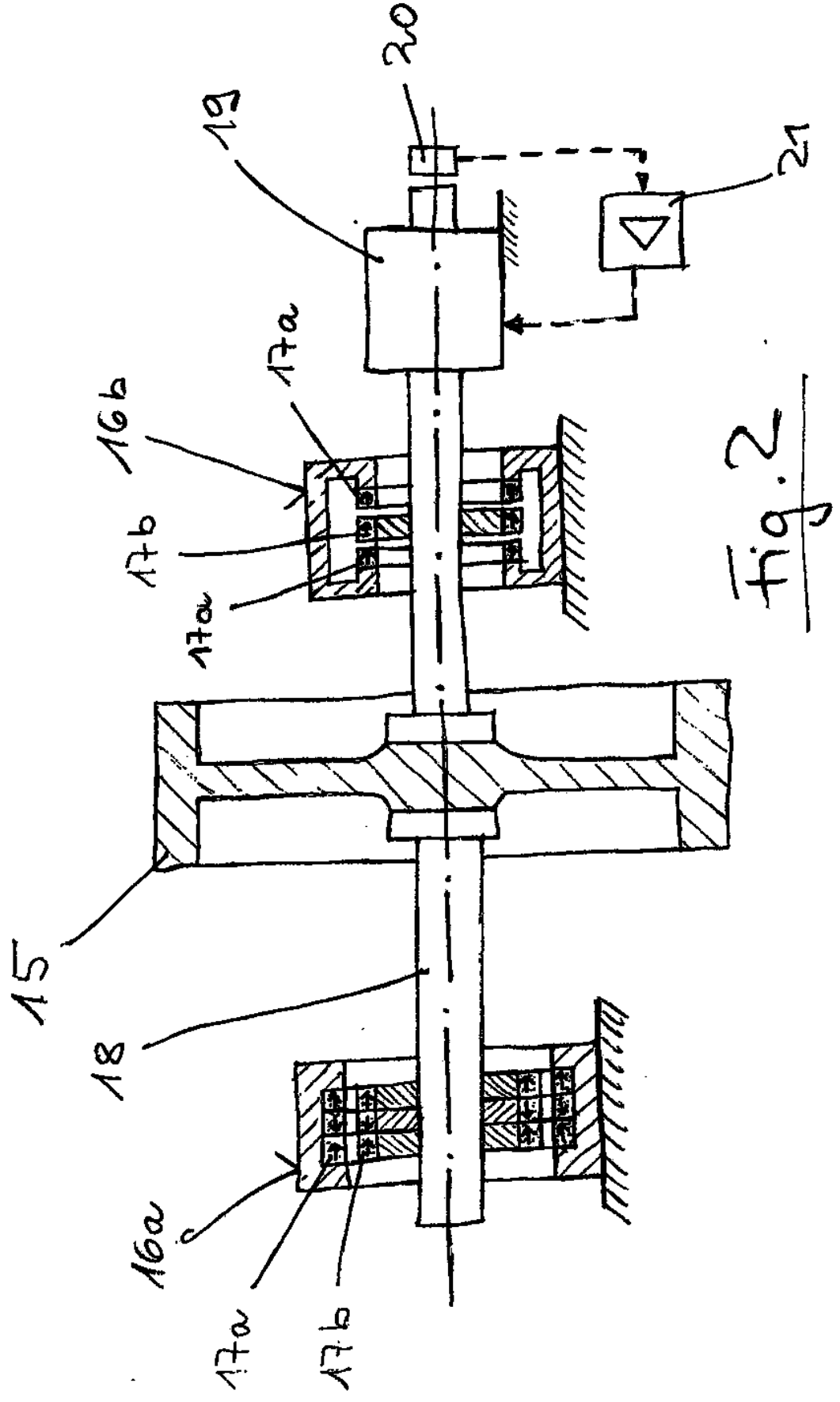


Fig. 2