



19 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

12 **Übersetzung der
europäischen Patentschrift**

51 Int. Cl.⁷:
F 16 C 32/04

97 **EP 0 839 291 B 1**

10 **DE 696 02 755 T 2**

- 21 Deutsches Aktenzeichen: 696 02 755.0
- 86 PCT-Aktenzeichen: PCT/GB96/01581
- 96 Europäisches Aktenzeichen: 96 922 133.2
- 87 PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 97/04243
- 85 PCT-Anmeldetag: 2. 7. 1996
- 87 Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: 6. 2. 1997
- 97 Erstveröffentlichung durch das EPA: 6. 5. 1998
- 97 Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: 2. 6. 1999
- 87 Veröffentlichungstag im Patentblatt: 10. 2. 2000

DE 696 02 755 T 2

- 30 Unionspriorität:
9514420 14. 07. 1995 GB
- 73 Patentinhaber:
Federal-Mogul Engineering Ltd., Manchester, GB
- 74 Vertreter:
Müller-Bore & Partner, Patentanwälte, European
Patent Attorneys, 81671 München
- 84 Benannte Vertragsstaaten:
CH, DE, FR, GB, IT, LI, NL, SE

- 72 Erfinder:
JAYAWANT, Richard, Anthony, Chandar, Lewes
East Sussex BN7 1JZ, GB

54 **ELEKTROMAGNETISCHES LAGER**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 696 02 755 T 2



02. SEP. 1999

ELEKTROMAGNETISCHES LAGER

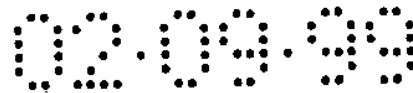
Diese Erfindung bezieht sich auf elektromagnetische Lager und insbesondere auf Lager zum Lagern bzw. Abstützen einer rotierenden Welle oder eines rotierenden Körpers, welche(r) um eine
5 Längsachse derselben (desselben) rotiert.

Elektromagnetische Lager können Radiallager zum Positionieren der Welle in bezug auf Richtungen normal auf die Längsachse oder Axiallager zum Positionieren der Welle in bezug auf Richtungen entlang der Längsachse umfassen.
10

Derartige Radiallager und Axiallager weisen viele Unterschiede in der Struktur, jedoch viele Ähnlichkeiten in bezug auf das elektromagnetische Bereitstellen von Lager- bzw. Abstützkräften und die Steuerung bzw. Regelung derartiger Kräfte auf. Der Einfachheit halber ist es zulässig, sich nur auf einen Typ im Detail zu beziehen und dann einen Vergleich mit dem anderen Typ zu machen und die für diesen einzigartigen Merkmale zu beschreiben.
15
20

Es ist für ein derartiges Radiallager gut bekannt, eine Welle an einem oder mehreren Abschnitten bzw. Bereichen entlang ihrer Länge abzustützen, wobei bei jedem Aufhängungs- bzw. Lagerbereich das Lager einen Rotor, oftmals einen speziell vorbereiteten Teil der Welle, umfaßt, welcher von einem Stator umgeben ist, von welchem dieser radial um einen kleinen Aufhängungsspalt beabstandet ist, wenn Magnetkräfte, welche durch elektromagnetische Spulen des Stators erzeugt werden, auf den Rotor wirken. Um den Rotor in einer gewünschten Position zentral innerhalb des Stators aufgehängt bzw. gelagert zu halten, kann es erforderlich sein, daß die Magnetkräfte in unterschiedlichen radialen Richtungen als Antwort auf auf den Rotor wirkende, äußere Kräfte variiert werden.
25
30

35 Regel- bzw. Steuereinrichtungen, umfassend Verschiebungs- oder ähnliche Bewegungs-Sensoreinrichtungen, welche einer oder meh-



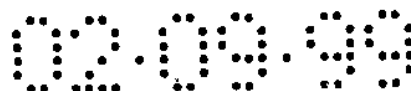
rerer der radialen Richtungen zugeordnet sind, ändern die Kraft in der entsprechenden radialen Richtung durch Änderung des hiezu zugeführten Stroms.

5 Es wird jedoch geschätzt werden, daß es zur raschen Verfolgung von auftretenden Änderungen in Störungskräften, d.h., um eine nutzbare, hohe Antwortbandbreite zu erhalten, notwendig ist, die Flußdichte rasch zu ändern. Es ist üblich, mit einem hohen Ausgangs- oder Bias- bzw. Vormagnetisierungsfluß zu arbeiten,
10 welchem Änderungen überlagert werden, um diese Änderungen der Kraft zu bewirken, sodaß eine Leistungszufuhr für die elektromagnetische Spule die Fähigkeit erfordert, einen beträchtlichen Bias- bzw. Vorspannungsstrom zu allen Zeiten zuzuführen und rasche Änderungen desselben, wenn erforderlich, zu bewir-
15 ken. Unter Berücksichtigung der beträchtlichen Induktion bzw. Induktanz der mit einem ferromagnetischen Kern ausgebildeten, elektromagnetischen Spule bedeutet eine derartige Fähigkeit für eine rasche Stromänderung auch, daß die Versorgung eine Hochspannungsversorgung ist.

20

Eine derartige bekannte elektromagnetische Lageranordnung der radialen Form ist schematisch mit 10 in Fig. 1(a) illustriert, welche einen Querschnitt durch eine Welle 11 zeigt, welche um eine Längsachse 12 rotierbar ist. Der Umfang der Welle trägt
25 einen Stapel von ringförmigen Schichten 13, welche einen Rotor des Lagers definieren, und ist durch einen allgemein mit 15 bezeichneten Stator umgeben.

Der Stator 15 umfaßt eine Vielzahl von Statorpolanordnungen
30 15₁ - 15₄. Jede Polanordnung ist einer Achse zugeordnet, welche sich radial von der in Längsrichtung verlaufenden Rotationsachse des Rotors erstreckt; in dem Beispiel sind die Polanordnungen um die Achse in diametral gegenüberliegenden Paaren angeordnet, wobei Polanordnungen 15₁ und 15₃ der
35 Radialachse 16 zugeordnet sind und Polanordnungen 15₂ und 15₄ der Radialachse 17 zugeordnet sind.

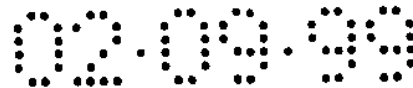


Die Polanordnungen sind im wesentlichen ident; die Polanordnung 15₁ umfaßt beispielsweise einen scheibenförmigen Kern 18₁ mit drei Schenkeln bzw. Teilkreisen 19_{1A}, 19_{1B} und 19_{1C}, welche sich zu dem Rotor erstrecken und voneinander in einer Umfangsrichtung getrennt sind.

Jeder Schenkel bzw. Teilkreis stützt eine elektromagnetische Spule 20_{1A}, 20_{1B}, 20_{1C} ab, welche jeweils um den Schenkel gewickelt ist, wobei die Spulen in Serie miteinander verbunden sind und mit Gleichstrom von einem Versorgungsverstärker 21₁ versorgt werden. Die Spulen sind miteinander derart verbunden bzw. gekoppelt, daß der Strom durch benachbarte Spulen in entgegengesetzten Richtungen strömt, wodurch im Effekt abwechselnd magnetische Nord- und Südpole für die Umfangserstreckung der Polanordnung ausgebildet werden. Diese Pole bilden mit der scheibenförmigen bzw. laminierten Oberfläche des Rotors magnetische Flußwege, welche den Rotor zu der Polanordnung anziehen, und obwohl nur ein Schenkel 19₂ auf der radialen Achse zentriert ist, bewirken die Schenkel aus praktischen Gründen eine Kraft entlang der Radialachse 16. Wie oben angedeutet, sind die anderen Polanordnungen ident, wobei die Anordnungen 15₂ - 15₄ jeweils durch einzelne Verstärker 21₂ bzw. 21₄ gespeist bzw. versorgt werden.

Jede der radialen Achsen 16, 17 weist zugeordnet einen Verschiebungs- oder ähnlichen Bewegungssensor 22₁₆ bzw. 22₁₇ auf, welcher eine Bewegung der Rotationsachse 12 von einer gewünschten, zentralen Position innerhalb des Rotors detektiert und bewirkt, daß die den zugehörigen Polanordnungen zugeführten Ströme in einem derartigen Sinn variiert werden, um diesen Bewegungen entgegenzuwirken. Die radialen Achsen, welche derartige Polanordnungen und diesen zugeordnete Verschiebungssensoren aufweisen, können derart auch Verschiebungsachsen genannt werden.

Günstigerweise bewirkt für eine maximale Änderung in der Aufhängungs- bzw. Zugkraft für eine minimale Änderung im Strom in

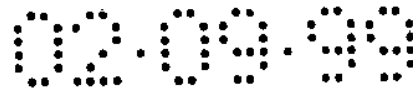


jeder Polanordnung die Sensoreinrichtung eine Stromerhöhung in einer Polanordnung und eine korrespondierende Abnahme in der diametral gegenüberliegenden. Die Stromzufuhrquellen können Verstärker und Controller bzw. Regler beinhalten, welche Übertragungsfunktionen, umfassend proportionale, Integral- und Ableitungs-Terme, beinhalten, wie dies im Stand der Technik gut bekannt ist, oder sie können mit den Sensoreinrichtungen mit Hilfe von Regel- bzw. Steuereinrichtungen, wie beispielsweise programmierbaren Computern, verbunden bzw. gekoppelt werden, in welchen eine Übertragungsfunktion eingestellt bzw. gesetzt oder willkürlich geändert werden kann und welche Regel- bzw. Steuersignale erzeugen, um direkt die Versorgungsquellen anzutreiben.

Es wird ersichtlich werden, daß ein getrennter Versorgungsverstärker für jede Polanordnung erforderlich ist und daß, wie oben ausgeführt, der Verstärker ein Hochleistungs-Hochspannungs-Verstärker sein muß, um sowohl einen beträchtlichen Bias- bzw. Vormagnetisierungsstrom als auch diesem überlagert die hohen Frequenzänderungen zur Verfügung zu stellen, welche die dynamische Aufhängungssteuerung bzw. -regelung des Lagers bewirkt.

Im Stand der Technik wird der Ausdruck "Hochspannung" in einem Zusammenhang mit jener verwendet, welche leicht von lokalen Netzwerken verfügbar ist, und es wird typischerweise ein Gleichstrom mit einer Spannung in der Größenordnung von 300 V erhalten und verwendet, obwohl geschätzt werden wird, daß Versorgungsungen mit ähnlichen Spannungsniveaus von anderen Einrichtungen bzw. Mitteln abgeleitet werden können.

Jeder Versorgungsverstärker ist komplex aufgebaut und erzeugt eine beträchtliche Wärme im Betrieb, welche seine Zuverlässigkeit beeinflusst, sofern er nicht mit unterstützenden Temperaturkonditionier- bzw. -klimatisiereinrichtungen versehen ist, während das Erfordernis von jeweils einem derartigen Versorgungsverstärker für jede Spulenordnung weiters die gesamte



statistische Zuverlässigkeit oder die Halbwertszeit zwischen Fehlern der Lageranordnung beeinträchtigt. Die gesamte Bereitstellung einer zufriedenstellenden Temperatorkonditionier- bzw. -klimatisier-Hardware in Form von Kühlkörpern bzw. Kühlblechen, Kühlventilatoren, Abstützstrukturen, etc., welche aus diesen Überlegungen resultiert, ist ein beträchtlicher Anteil der Komplexität und der Kosten an der gesamten Anordnung.

Eine bekannte Anordnung für ein axiales oder Drucklager ist schematisch mit 23 in Fig. 1(b) illustriert, welche in einem Aufriß die Welle 11 (welche um eine Längsachse 12 rotierbar ist) zeigt, an welcher ein sich radial erstreckender Kragen 24 für eine Rotation damit festgelegt ist und welcher den Rotor des Lagers umfaßt. Der Kragen bzw. Bund ist aus ferromagnetischem Material gebildet und weist eine im wesentlichen einheitliche Dicke auf, wobei er sich radial erstreckende Oberflächen 24₁ und 24₂ aufweist, welche in entgegengesetzte, axiale Richtungen gerichtet sind.

Ein Stator 25 umgibt die Welle 11 und umfaßt eine ringförmige Polanordnung 26₁, welche axial beabstandet von der Kragen- bzw. Schulteroberfläche 24₁ angeordnet ist, und eine ringförmige Polanordnung 26₂, welche axial beabstandet von der Kragenoberfläche 24₂ angeordnet ist. Die Polanordnung 26₁ umfaßt einen ferromagnetischen Kern 26_{1c} mit einer ringförmigen Ausnehmung bzw. Vertiefung 26_{1R}, welche zu der Kragenoberfläche gewandt ist, und eine elektromagnetische Spule 27₁ beinhaltet, welche koaxial mit der Wellenachse 12 gewickelt ist, wobei die radial nach einwärts und auswärts gerichteten, ringförmigen Bereiche bzw. Abschnitte des Kerns ringförmige "Schenkel" bzw. "Teilkreise" 26₁, 26₁₀ umfassen, welche sich zu der Kragenoberfläche erstrecken.

Die Spule 27₁ ist mit Gleichstrom von einem Versorgungsverstärker 28₁ versorgt und erzeugt einen magnetischen Fluß in dem Kern und dem Kragen, um den Kragen in Richtung zu der Polanordnung anzuziehen. Ein Verschiebungs- oder Bewegungssensor



29₁, ähnlich zu 22₁₆, bestimmt die axiale Position des Kragens oder seine Bewegung in einer axialen Richtung und steuert bzw. regelt den durch die Quelle 28₁ zugeführten Strom. Die ringförmige Polanordnung 26₂ ist ident, wobei sie eine kreisförmige Spule 27₂ und einen Stromversorgungsverstärker 28₂ aufweist, welcher durch einen zugeordneten Sensor 29₂ oder möglicherweise den beiden Verstärkern gemeinsamen Sensor 29₁ gesteuert bzw. geregelt ist.

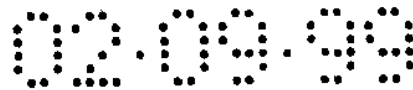
10 Jeder Leistungsverstärker antwortet unabhängig auf eine axiale Verschiebung, welche von einer auf die Welle wirkenden, äußeren Kraft resultiert, und ändert den Strom in der entsprechenden Spule, um die Anziehungskraft zu variieren, welche auf den Kragen wirkt, um einer derartigen Verschiebung entgegenzuwirken. Verschiedene Strukturen für derartige Polanordnungen existieren neben der illustrierten Kernstruktur mit zwei Schenkeln bzw. Teilkreisen, welche im Querschnitt c-förmig ist. Oftmals weisen derartige Axiallager-Polanordnungen einen Kern mit drei Schenkeln oder mit E-Querschnitt auf, welcher 20 zwei elektromagnetische Spulen in den radial beabstandeten, ringförmigen Ausnehmungen bzw. Vertiefungen umfaßt, oder einen c-Querschnitts-Kern, wie dargestellt, wobei sich jedoch eine zweite Haltespule um die radial äußeren Schenkel bzw. Teilkreise erstreckt.

25 Unabhängig von der präzisen Struktur derartiger Polanordnungen sind diese ähnlich zu den oben beschriebenen Radiallager-Polanordnungen dahingehend, daß die Stromversorgungsquellen Hochspannungs-Hochstrom-Quellen sein müssen, um sowohl ein 30 hohes Niveau an magnetischem Fluß (welcher rasch änderbar mit einer Stromänderung ausgebildet sein kann) zur Verfügung zu stellen und auf den Sensor mit einer raschen Stromänderung innerhalb der induktiven Polanordnung zu reagieren bzw. zu antworten.

35 Obwohl derart derartige radiale und axiale Lageranordnungen in der Struktur unterschiedlich sind, sind beiden die oben



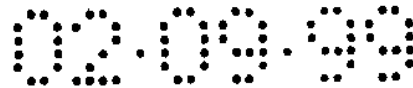
erwähnten Betriebsbeschränkungen, welche durch das Erfordernis einer Hochspannungsleistung, welche den elektromagnetischen Spulen zugeführt wird, gemeinsam. Es ist aus der veröffentlichten Patentanmeldung JP 62-56618 bekannt, ein Werkzeug zur Verfügung zu stellen, welches axiale und radiale, elektromagnetische Lager aufweist, wobei jedes radiale, elektromagnetische Lager einen Rotor, welcher um eine Drehachse rotierbar ist, und Statormittel bzw. -einrichtungen, umfassend eine Mehrzahl von Statorpolanordnungen mit Schenkeln bzw. Teilkreisen aus ferromagnetischem Material, welche zu unterschiedlich gewandten Oberflächen des Rotors gerichtet sind, um mit diesem einen magnetischen Flußweg durch den Rotor auszubilden, elektromagnetische Spulen, welche den Schenkeln zugeordnet sind, elektrische Versorgungsmittel, welche betreibbar sind, um einen Strom den Spulenmitteln zur Verfügung zu stellen, um einen Bias- bzw. Vormagnetisierungsfluß innerhalb der Statoranordnung zu bewirken und den Rotor zu den Polanordnungen anzuziehen, Steuer- bzw. Regelmittel, beinhaltend Sensormittel, welche auf eine Verschiebung des Rotors von einer gewünschten Position relativ zu dem Stator ansprechen, welche betreibbar sind, um die Stromzufuhr zu den elektromagnetischen Spulenmitteln zu verändern, um den Fluß zu verändern und den Rotor in die gewünschte Position zurückzuführen, wobei der Stator eine gerade Anzahl von derartigen Polanordnungen aufweist, welche in Paaren angeordnet sind, wobei jedes Paar gegenüberliegend entlang einer Verschiebeachse ausgerichtet ist, wobei die elektromagnetischen Spulenmittel für jede Statorpolanordnung getrennte Vormagnetisierungsspulen, welche betreibbar sind, um einen Vormagnetisierungsfluß zur Verfügung zu stellen, und Steuer- bzw. Regelspulen, welche betreibbar sind, um dynamisch den gesamten Fluß und dadurch die durch die Polanordnung aufgebrachte Zug- bzw. Aufhängungskraft zu variieren, wobei die Vormagnetisierungsspulen für alle Polanordnungen in Serie verbunden sind, sodaß die Spulen von jedem Paar von gegenüberliegend angeordneten Polanordnungen gekoppelt sind, um Flüsse innerhalb der Polanordnungen zur Verfügung zu stellen, welche Kräfte auf den Rotor entlang der



Verschiebeachse in entgegengesetzten Richtungen bewirken, und wobei die Regelpulen von jedem Paar der gegenüberliegend angeordneten Polanordnungen in Serie verbunden sind, um für eine bestimmte Stromrichtung Flüsse innerhalb der Polanordnungen zur Verfügung zu stellen, welche die Vormagnetisierungsspulenflüsse in der entsprechenden Polanordnung unterstützen und diesen entgegenwirken, und wobei die elektrischen Versorgungsmittel eine Vormagnetisierungsstromquelle umfassen, welche angeordnet ist, um einen im wesentlichen konstanten Vormagnetisierungsstrom den in Serie miteinander verbundenen Vormagnetisierungsspulen zur Verfügung zu stellen, und für jedes Paar von gegenüberliegend angeordneten Polanordnungen, welche einer Verschiebeachse zugeordnet sind, eine gemeinsame Steuer- bzw. Regelstromquelle umfaßt, welche auf eine Anzeige von den Sensormitteln einer Verschiebung des Rotors entlang dieser Verschiebeachse anspricht, um einen Steuer- bzw. Regelstrom den Steuer- bzw. Regelpulen des Paares in einem derartigen Sinn zuzuführen, um die entlang der Achse durch die Vormagnetisierungsspule erzeugten Kräfte, zu variieren, um der Verschiebung entgegenzuwirken.

Wenn jedoch den obengenannten Lösungswegen zur Erzeugung derartiger Ströme gefolgt wird, werden die Stromversorgungskomponenten sich unverändert als teure, speziell konstruierte Komponenten erweisen, welche nicht notwendigerweise mit optimaler Effizienz laufen.

Die vorliegende Erfindung zielt darauf ab, ein elektromagnetisches Lager gemäß der obengenannten, veröffentlichten Patentanmeldung zur Verfügung zu stellen, welches dadurch gekennzeichnet ist, daß jede Steuer- bzw. Regelstromquelle einen umschaltbaren Servomotor-Leistungsverstärker mit Bidirektionalstrom umfaßt, welcher angeordnet ist, um einen Steuer- bzw. Regelstrom zu den zugehörigen Steuer- bzw. Regelpulen mit einer relativ hohen Spannung, welche von einer lokalen Netzversorgung ableitbar ist, zuzuführen, und daß die Vormagnetisierungsstromquelle angeordnet ist, um den Vormagnetisierungs-



strom zu den Vormagnetisierungsspulen mit einer im Vergleich zu der Spannung des Regelstroms niedrigen Spannung zuzuführen.

Falls Platz ein wesentliches Anliegen innerhalb einer Lageranordnung ist, können im Vergleich zu einer bestehenden, oben beschriebenen Anordnung die getrennten Vormagnetisierungs- und Steuer- bzw. Regelspulen vorgesehen sein, indem bestehende Spulen in zwei Spulen unterteilt werden, welche die gleiche Anzahl von Wicklungen aufweisen. Unter der Voraussetzung, daß eine konstante Kraft entlang einer Verschiebungsachse vorliegt, welcher durch ungleiche Kräfte, welche in der Vormagnetisierungsspule beispielsweise durch Schwerkraft erzeugt werden, begegnet werden soll, können die Vormagnetisierungs- und Steuer- bzw. Regelspulen von jeder Polanordnung ungefähr dieselbe Anzahl von Wicklungen aufweisen. Die Fähigkeit, die Vormagnetisierungsspulen von einer vorbestimmten Niederspannungsquelle anzutreiben, bedeutet, daß der Vormagnetisierungsstrom einfach zur Kompensation verdoppelt werden kann; in ähnlicher Weise bedeutet die Tatsache, daß die Hochspannungs-Steuer- spulen nur mit einem niedrigen Steuer- bzw. Regelstrom unter normalen Betriebsbedingungen angetrieben werden, daß der Steuer- bzw. Regelstrom vergrößert werden kann, um die reduzierte Anzahl von Spulenwicklungen zu ersetzen, wodurch eine dynamische Steuerung bzw. Regelung ohne eine übermäßige Anforderung an den Regelstromquellenverstärker bewirkt wird.

Es wird unmittelbar einsichtig sein, daß die Anzahl von Versorgungsquellen von einer Hochspannungs-Stromquelle pro Polanordnung auf eine Vormagnetisierungsstromquelle für die gesamte Lageranordnung plus eine Hochspannungs-Regelquelle pro Paar der Polanordnungen reduziert wird. Weiters ist es, obwohl die Steuerquellen nominell einen Nullstrom erzeugen, für diese erforderlich, daß diese Strom bidirektionell zur Durchführung einer Steuerung bzw. Regelung erzeugen, wobei derartige Quellen einfach von dem Stand der Technik von Servomechanismen zur Verfügung gestellt werden können, wo derartige Vorrichtungen zum Antreiben von Servomotoren verwendet werden.



Die magnetische Lageranordnung gemäß der Erfindung kann als ein Radiallager, ein Axiallager oder eine Kombination von beiden eingebaut werden. Wo ein derartiges Lager ein kombiniertes
5 Radial- und Axiallager ist, werden die Vormagnetisierungsspulen der Radial- und Axiallager miteinander in Serie verbunden und alle von der Vormagnetisierungsstromquelle gespeist.

Zusätzlich zu der mit den einzelnen Stromquellen verbundenen
10 Kostenersparnis sind die Steuerstromquellen, welche im Normalfall lediglich geringe Regelströme und nur ausnahmsweise große Ströme erzeugen, fähig, ohne aufwendige Temperaturkonditionierung bzw. -klimatisierung zu laufen, und sie sind daher, sowohl einzeln als auch in ihrer Gesamtheit, zuverlässiger bei
15 geringeren Kosten.

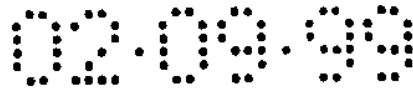
Diese und andere Vorzüge und Vorteile werden aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsformen der Erfindung, welche unter Bezugnahme auf die beigeschlossenen Zeichnungen
20 beschrieben werden, ersichtlich werden, in welchen:

Fig. 1(a) ein Querschnitt durch ein elektromagnetisches Radiallager von bekannter Form ist, welcher schematisch elektromagnetische Spulenmittel und elektrische Hochspannungs-Versorgungsmittel dafür illustriert, wie dies oben beschrieben
25 wurde;

Fig. 1(b) ein Aufriß durch ein elektromagnetisches Axiallager bekannter Form ist, welcher schematisch elektromagnetische Spulenmittel und elektrische Hochspannungs-Versorgungsmittel dafür illustriert, wie dies oben beschrieben wurde;

30 Fig. 2 eine Querschnittsansicht ähnlich zu Fig. 1(a) durch ein elektromagnetisches Radiallager in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung ist, welcher schematisch neuartige elektromagnetische Spulenmittel und elektrische Hochspannungs-Versorgungsmittel hierfür zeigt;

35 Fig. 3 ein Aufriß eines Rotors in Form einer Welle ist, welche an gegenüberliegenden Enden derselben durch elektromagnetische Radiallager des in Fig. 2 gezeigten Typs aufgehängt ist, wel-



che jedoch eine gemeinsame Vormagnetisierungsstromquelle beinhalten;

Fig. 4 eine Schnittansicht ähnlich zu Fig. 1(b) durch ein elektromagnetisches Axiallager gemäß der vorliegenden Erfindung ist, welche schematisch neuartige elektromagnetische Spulenmittel und elektrische Hochspannungs-Versorgungsmittel hiefür zeigt; und

Fig. 5 ein Aufriß ähnlich zu Fig. 3 ist, welcher jedoch auch ein elektromagnetisches Axiallager, welches einem Kragen auf der Welle zugeordnet ist, und die gemeinsame Vormagnetisierungsstromquelle für die Vormagnetisierungsspulen der Axial- und Radiallager zeigt.

Unter Bezugnahme auf Fig. 2 weist ein elektromagnetisches Radiallager 30 eine physikalische Struktur mit Ausnahme der Spulenmittel und Versorgungsmittel auf, welche im wesentlichen wie oben unter Bezugnahme auf Fig. 1(a) beschrieben ist und entsprechende Teile wurden mit denselben Bezugszeichen bezeichnet.

Während in der bekannten Anordnung gemäß Fig. 1(a) die Anzahl und Anordnung der Polanordnungen 15₁ - 15₄ des Stators 15 eine Frage der Auswahl ist, weist in einer Lageranordnung gemäß der vorliegenden Erfindung der Stator 15' Polanordnungen 15'₁ - 15'₄ auf, welche in gegenüberliegend angeordneten Paaren relativ zu einer beliebigen, radialen Achse, wie beispielsweise 16 oder 17, liegen müssen. Jede dieser Achsen, welche zugeordnet ein derartiges Paar von Polanordnungen aufweist, umfaßt eine Verschiebeachse.

Die elektromagnetischen Spulenmittel 31 umfassen für jede Statorpolanordnung des Lagers (für welche die Polanordnung 15'₁ beispielhaft ist), getrennte Vormagnetisierungsspulen 31_{1A} - 31_{1C} zur Bereitstellung von hohen und im wesentlichen konstanten Niveaus eines Vormagnetisierungsflusses in und zwischen der Polanordnung und dem Rotor und Steuer- bzw. Regelspulen 33_{1A} - 33_{1C} für ein dynamisches Variieren des



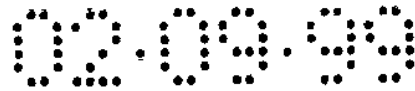
gesamten Flußniveaus in der Polanordnung und der durch die Polanordnung entlang der jeweiligen, radialen Verschiebeachse 16 aufgebrauchten Aufhängungs- bzw. Zugkraft.

5 Die Vormagnetisierungsspulen für alle diese Polanordnungen sind in Serie miteinander und mit einer einzigen Vormagnetisierungsstromquelle 34 verbunden, welche angeordnet ist, um einen im wesentlichen konstanten Vormagnetisierungsstrom zu allen von diesen mit einer relativ geringen Spannung in der
10 Größenordnung von 5 V zuzuführen. Die Vormagnetisierungsspulen sind miteinander derart verbunden bzw. gekoppelt, daß für jedes Paar von einander gegenüberliegend entlang einer radialen Verschiebeachse angeordneten Polanordnungen die Spulen (wie beispielsweise die Spulen 31_{1A} - 31_{1C} und 31_{3A} - 31_{3C}
15 entlang der Achse 16) gekoppelt sind, um Kräfte auf den Rotor entlang der Verschiebeachse in entgegengesetzten Richtungen zur Verfügung zu stellen.

Die Steuer- bzw. Regelspulen von jedem derartigen Paar von
20 Polanordnungen, die Spulen 33_{1A} - 33_{1C} und 33_{3A} - 33_{3C} für die Achse 16 sind in Serie miteinander gekoppelt, um für eine gewisse Stromrichtung magnetische Flüsse innerhalb der Polanordnungen zur Verfügung zu stellen, welche den Vormagnetisierungsspulenfluß von einer Polanordnung unterstützen, während
25 sie dem Vormagnetisierungsspulenfluß der anderen Polanordnung entgegenwirken und entgegenwirkende Flüsse erzeugen.

Die Regelspulen 33_{1A} - 33_{1C} und 33_{3A} - 33_{3C} sind mit einer Steuer- bzw. Regelstromquelle 35 verbunden und Regelspulen
30 33_{2A} - 33_{2C} und 33_{4A} - 33_{4C} sind mit einer Steuer- bzw. Regelstromquelle 36 verbunden.

Verschiebungs- (oder andere zugehörige Bewegungsparameter-) Sensormittel 22₁₆ und 22₁₇, welche jeweils den radialen Ver-
35 schiebeachsen 16 bzw. 17 zugeordnet sind, stellen jeweils Signale direkt oder indirekt über eine separate Steuereinrichtung den Regelstromquellen 35 bzw. 36 zur Verfügung. Die Regel-



stromquellen sind fähig, einen Gleichstrom in jedem Richtungs-
sinn bzw. in jeder Richtung durch die zugehörigen Spulen zur
Verfügung zu stellen und diese Spulen bei relativ hoher Span-
nung anzutreiben, welche einfach bzw. günstigerweise durch
5 Gleichrichten der lokalen Netzzufuhr abgeleitet wird und
typischerweise in der Größenordnung von 300 V liegt.

Betreffend den Betrieb der Lageranordnung für eine beliebige,
spezielle, radiale Achse ist der Rotor zwischen den gegenüber-
10 liegenden Polanordnungen im Prinzip durch den in den Vormagne-
tisierungsspulen strömenden Vormagnetisierungsstrom aufgehängt
bzw. gelagert, welche eine voneinander unterschiedliche Anzahl
von Wicklungen haben können, falls einer statischen, äußeren
Kraft, wie beispielsweise der Schwerkraft, begegnet werden
15 soll. Unter hypothetisch stabilen Bedingungen, d.h., wenn
keine Störung des Rotors durch die Verschiebungssensormittel
registriert wird, tritt kein Strom durch die Steuer- bzw.
Regel­spulen hindurch. In der Praxis bestehen jedoch immer
Störungen, denen zu begegnen ist, und wenn die Drehachse des
20 Rotors entlang der radialen Achse gestört ist, bewirken die
Verschiebungssensormittel, daß die Regel- bzw. Steuerstrom-
mittel einen Strom durch die zugehörigen Regel- bzw. Steuer-
spulen in einem derartigen Richtungssinn zur Verfügung stel-
len, daß Magnetflüsse in den Spule in Richtungen erzeugt wer-
25 den, um die gesamten Flußniveaus innerhalb der Polanordnungen
und damit die auf den Rotor wirkenden Kräfte zu ändern, um der
Störung entgegenzuwirken, wobei die Hochspannungs-Regelstrom-
quelle eine hohe Stromänderungsrate durch die induktive Schal-
tung der Regel­spulen erlaubt.

30

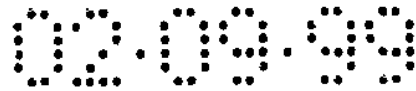
Es wird verstanden werden, daß, obwohl in jeder beliebigen
Polanordnung des Pairs eine induktive Kopplung zwischen den
Regel- und den Vormagnetisierungsspulen besteht, woraus resul-
tiert, daß der Änderungsregelstrom eine Spannung über die Vor-
35 magnetisierungsspulen und eine Spannung in dem Vormagnetisie-
rungsschaltkreis induziert, welche dazu tendieren können, den
Vormagnetisierungsstrom in einer Richtung zu ändern, welche



die angestrebte Änderung im Magnetfluß aufhebt, der Effekt der
Kopplung zwischen den Regel- und Vormagnetisierungsspulen in
der gegenüberliegenden Polanordnung einen derartigen Vormagne-
tisierungsschaltungsstrom in entgegengesetzter Richtung indu-
5 ziert, wodurch im wesentlichen keine Gesamtänderung in dem
Vormagnetisierungsspulenstrom und nur eine Änderung in einer
radial gerichteten Kraft durch das Paar der Polanordnungen
existiert, wobei dies eine Vergrößerung in der radialen Kraft
auf den Rotor von einer Polanordnung und eine entsprechende
10 Verringerung in der radialen Kraft von der anderen Polan-
ordnung ist.

Es wird geschätzt werden, daß in normalem Betrieb nur geringe
Korrekturen der radialen Positionen gewöhnlicherweise auf
15 einer kontinuierlichen Basis erforderlich sind und daß die
Regelstromquellenverstärker, obwohl potentiell wärmeerzeugend,
in bekannter Art betrieben werden. Selbst in dem Fall einer
ungewöhnlich großen Radialverschiebung, wie sie beispielsweise
auf einer externen Kraft mit einer außergewöhnlich großen
20 Amplitude beruht, welche auf den Rotor wirkt, oder auf einem
Fehler in der Vormagnetisierungsschaltung beruht, sind die
Regelversorgungsmittel fähig, relativ hohe Niveaus von Regel-
strömen für eine begrenzte Zeitdauer eines derartigen äußeren
Vorfalles zur Verfügung zu stellen und/oder zu ermöglichen, daß
25 der unverändert gelagerte bzw. aufgehängte Rotor zu einem
Stillstand abgebremst wird oder daß eine Sicherungs- bzw.
Back-up-Vormagnetisierungsquelle in die Schaltung geschaltet
wird, wie dies nachfolgend beschrieben werden wird.

30 Zusätzlich zu der konservativeren bzw. vorsichtigeren Ausbil-
dung der Hochspannungs-Regelstromquellenverstärker wird ge-
schätzt werden, daß ein derartiger Verstärker nun zwei Polan-
ordnungen anstelle einer einzigen dient, woraus eine Ersparnis
in der Anzahl von erforderlichen Hochspannungs-Regelstromquel-
35 lenverstärkern resultiert. Darüberhinaus kann, obwohl von
jeder Regelstromquelle gefördert wird, daß sie sowohl bei
hoher Spannung arbeitet und auch einen Strom in entgegenge-



setzten Richtungen zur Verfügung stellt, d.h. bidirektionell ist, eine derartige Quelle leicht durch umschaltbare Verstärker implementiert werden, welche üblicherweise mit Servomotoren verwendet werden.

5

Wie oben angedeutet, kann die Vormagnetisierungsstromversorgung, da von ihr nicht gefordert wird, daß sie auf rasche Stromänderungen anspricht oder diese bewirkt, ein einfaches Niederspannungsdesign aufweisen und Strom zu einer Vielzahl von Vormagnetisierungsspulen liefern. Wenn, wie dies üblich ist, derartige Radiallageranordnungen paarweise voneinander beabstandet entlang der Rotationsachse des Rotors angeordnet sind, kann eine einzige Vormagnetisierungsstromquelle Vormagnetisierungsstrom zu allen Vormagnetisierungsspulen liefern.

15

Bezugnehmend auf Fig. 3 zeigt diese einen Aufriß einer Welle 11', welche dieser zugeordnet und voneinander beabstandet entlang ihrer Länge komponentenweise elektromagnetische Radiallageranordnungen 30' und 30" aufweist, welche im wesentlichen ähnlich zu der Anordnung 30 der Fig. 2 dahingehend sind, daß sie jeweils Paare von diametral gegenüberliegend angeordneten Polanordnungen und jedem Paar von Polanordnungen zugeordnet einen radialen Verschiebungssensor, wie beispielsweise 22'16 und 22"16, eine Regelstromquelle, wie beispielsweise 35' und 35", und Regelstromspulen, wie beispielsweise 33'1, 33'3 und 33"1, 33"3, aufweisen. In dieser Lageranordnung versorgt eine einzige Vormagnetisierungsstromquelle 34' die Vormagnetisierungsspulen der Komponenten anordnungen 30' und 30", welche alle in Serie miteinander verbunden sind.

30

Es wird verstanden werden, daß, obwohl die Erfindung mit zwei Paaren von gegenüberliegend angeordneten Polanordnungen illustriert ist, keine Begrenzung betreffend die Anzahl von derartigen Paaren besteht. In ähnlicher Weise besteht, obwohl jede Polanordnung als drei Schenkel bzw. Teilkreise aufweisend gezeigt ist, keine obere Grenze betreffend die Anzahl der Schenkel bzw. Teilkreise in jeder Polanordnung unter der Vor-

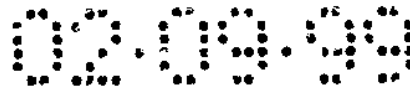
35

aussetzung, daß die Aufhängungs- und Korrekturkräfte in der ermittelten bzw. angezeigten, radialen Richtung wirken.

Nunmehr bezugnehmend auf Fig. 4 weist ein elektromagnetisches Axiallager 40 eine physikalische Struktur auf, welche mit Ausnahme der Spulenmittel und der Versorgungsmittel im wesentlichen wie oben unter Bezugnahme auf Fig. 1(b) beschrieben ist, wobei entsprechenden Teilen dieselben Bezugszeichen gegeben wurden. Während in der bekannten Anordnung gemäß Fig. 1(b) die Polanordnungen vollkommen unabhängig sind und der Stator nur eine derartige Polanordnung aufweisen kann, wenn dies die externen, axialen Kräfte erfordern, müssen in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung Polanordnungen 26'1 und 26'2 des Stators 25' in einem entgegengesetzt angeordneten und ausgerichteten Paar vorliegen.

Elektromagnetische Spulenmittel, welche allgemein mit 41 bezeichnet sind, umfassen für jede Statorpolanordnung (von welchen die Polanordnung 26'1 beispielhaft ist) getrennte Vormagnetisierungsspulen 42₁, um hohe und im wesentlichen konstante Niveaus eines Vormagnetisierungsflusses in und zwischen der Polanordnung und dem Rotor zur Verfügung zu stellen, und eine Steuer- bzw. Regelspule 43 für ein dynamisches Variieren des gesamten Flußniveaus in der Polanordnung und derart der durch die Polanordnung entlang der Achse 12, welche die Verschiebeachse umfaßt, aufgebrauchten Aufhängungs- bzw. Lagerkraft.

Wie bei dem oben beschriebenen Radiallager 30 sind die Vormagnetisierungsspulen für beide Polanordnungen 26'1 und 26'2 miteinander in Serie verbunden und es ist eine einzige Vormagnetisierungsstromquelle 44 angeordnet, um einen im wesentlichen konstanten Vormagnetisierungsstrom zu diesen beiden bei relativ geringer Spannung in der Größenordnung von 5 V zuzuführen.



Die Vormagnetisierungsspulen sind jeweils derart miteinander verbunden, daß die Spulen 42_1 und 42_2 gekoppelt sind, um Kräfte auf den Rotor entlang der Verschiebeachse entlang der entgegengesetzten Richtungen zur Verfügung zu stellen, und die Regelspulen 43_1 und 43_2 sind in Serie mit einer Regelstromquelle 45 verbunden, um für eine spezielle Stromrichtung Flüsse in den entsprechenden Polanordnungen zur Verfügung zu stellen, welche die durch die Vormagnetisierungsspulen erzeugten Flüsse unterstützen und diesen entgegenwirken.

10

Verschiebungs- (oder andere entsprechende Bewegungsparameter-) Sensormittel 29_1 und gegebenenfalls 29_2 , welche der Rotorachse 12 zugeordnet sind, stellen Signale direkt oder indirekt über eine getrennte Steuereinrichtung der Regelstromquelle 45 zur Verfügung, welche fähig ist, einen Gleichstrom in jedem Richtungssinn durch die zugehörigen Spulen zur Verfügung zu stellen und diese Spulen bei relativ hoher Spannung anzutreiben, welche günstigerweise durch Gleichrichtung der lokalen Netzzufuhr abgeleitet ist und typischerweise in der Größenordnung von 300 V liegt.

20

Der Betrieb unter Bezugnahme auf die Steuerung bzw. Regelung der Position des Rotors entlang einer Achse, welche sich zwischen den Statorpolanordnungen erstreckt, ist im wesentlichen wie oben für das Radiallager entlang einer einzelnen Achse beschrieben und erfordert daher keine weitere detaillierte Beschreibung.

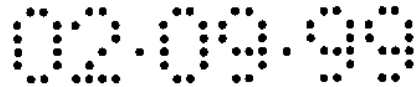
25

Es wird geschätzt werden, daß, obwohl die axiale Lageranordnung unverändert zwei Stromquellen erfordert, die Trennung der Vormagnetisierungsstrom- und Regelstromquellen ermöglicht, daß jede optimal und derart zuverlässiger betrieben werden kann.

30

Darüberhinaus wird, wie dies in Fig. 5 dargestellt ist, ein derartiges elektromagnetisches Axiallager oftmals in Kombination mit einer oder mehreren Radiallageranordnungen ähnlich zu

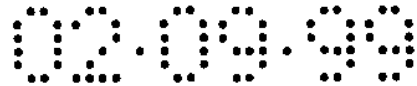
35



den in Fig. 3 beschriebenen verwendet. Es wird geschätzt werden, daß in derartigen Kombinationen eine einzige Vormagnetisierungsstromquelle 50 mit sämtlichen, in Serie miteinander verbundenen Vormagnetisierungsspulen der Anordnung verwendet werden kann und daß getrennte Regelstromquellen für unterschiedliche radiale Achsen der Längsachse verwendet werden.

Nachdem die elektromagnetischen Zusammenhänge und der Betrieb beschrieben wurde, wird aus den Fig. 1(a) und 2 erkannt werden, daß in vielen Fällen die physikalische Anordnung des Kerns und der Spulen von jeder beliebigen Polanordnung durch die Abmessung der rotierenden Maschine, von welcher das Lager ein Teil ist, beschränkt wird, d.h. daß das für die Bereitstellung der Spulen zur Verfügung stehende Volumen im wesentlichen fixiert ist. Derart kann es bei einem Wechsel von der bekannten Anordnung der Fig. 1(a) oder 1(b) durchführbar sein, die Dimension des Spulendrahtes und die Anzahl der Wicklungen, welche in der Polanordnung aufgenommen werden können, zu ändern.

20 Unabhängig von der Trennung der Vormagnetisierungs- und Regelspulen innerhalb jeder Polanordnung kann die Erfindung verwirklicht werden, indem die Vormagnetisierungs- und Regelspulen aus Draht derselben Abmessung und derselben Gesamtanzahl von Wicklungen wie in der bekannten Anordnung ausgebildet werden, wobei der Unterschied darin liegt, daß jede vormalige einzelne Wicklung an einem gewissen Punkt entlang ihrer Länge, günstigerweise nahe dem Zentrum, unterteilt ist, sodaß die Vormagnetisierungs- und Steuerspulen im wesentlichen dieselbe Anzahl von Wicklungen aufweisen. Die Vormagnetisierungsstromquellenmittel können leicht veranlaßt werden, eine einer beliebigen Polanordnung zugeordnete Vormagnetisierungsspule anzutreiben, welche die Hälfte der Anzahl der Wicklungen der bekannten Anordnung bei zweifachem Vormagnetisierungsstrom bei der genannten, geringeren Spannung aufweist, ohne Quellentemperaturen zu erzeugen, welche die Zuverlässigkeit beeinträchtigen könnten. Unter Bezugnahme auf die in Serie mit-



einander verbundenen Regelpulen, welche jeder Regelpulen-
quelle zugeordnet sind, zeigen, wenn sie die Hälfte der Anzahl
der Wicklungen und somit ein Viertel der Induktanz aufweisen,
die Regelpulen der zwei in Serie miteinander verbundenen Pol-
5 anordnungen, ohne miteinander induktiv gekoppelt zu sein, die
Hälfte der Induktanz der bekannten Spule zu der Regelstrom-
quelle und erlauben daher eine größere Stromanstiegsrate für
dieselbe angelegte Spannung oder möglicherweise eine gleiche
Stromanstiegsrate bei einer reduzierten Versorgungsspannung.

10

Derart ist die Regelstromquelle fähig, noch konservativer bzw.
vorsichtiger als in der bekannten Anordnung bei vergrößerter
Zuverlässigkeit für jede derartige Quelle bemessen zu werden;
und mit weniger derartigen Hochspannungs-Stromquellen die ge-
15 samte Zuverlässigkeit bzw. Betriebssicherheit der Lageranord-
nung zu erhöhen. Da darüberhinaus die Vormagnetisierungs- und
die dynamischen Steuer- bzw. Regelströme von getrennten Quel-
len abgeleitet sind, ist es einfacher möglich, eine Redundanz
für jede beliebige Regelstromquelle und/oder die Vormagneti-
20 sierungsstromquelle zur Verfügung zu stellen.

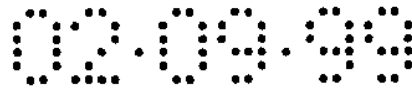
20

Falls ein Fehler der Vormagnetisierungsstromquelle detektiert
wird (durch konventionelle, nicht dargestellte Überwachungs-
mittel), können die Regelstromquellen einfach einen zusätz-
25 lichen Abstütz- bzw. Haltestrom zur Verfügung stellen, bis
eine Reserve- bzw. Back-up-Vormagnetisierungsstromquelle in
die Schaltung zugeschaltet wird, und stellen einen ausreichenden
Vormagnetisierungsstrom in den Spulen sicher, um die Ver-
antwortung für die Rotoraufhängung bzw. -lagerung zu überneh-
30 men. In ähnlicher Weise können, wenn die Vormagnetisierungs-
spulen ausfallen, die Regelstromquellen die Aufhängung bzw.
Lagerung des Rotors bewirken, bis dieser zu einem Stillstand
abgebremst wird.

30

Wenn dementsprechend ein Fehler von jeder beliebigen Regel-
stromquelle detektiert wird, kann eine Back-up-Quelle einfach
in die Schaltung bei einem Nullregelstrom zugeschaltet werden,

35



ohne den Vormagnetisierungsstrom zu unterbrechen, welcher in erster Linie für das Halten des Rotors in aufgehängtem Zustand verantwortlich ist.

- 5 Es wird erkannt werden, daß jede Regelstromquelle eine dieser zugeordnete Back-up-Quelle aufweisen kann, wodurch eine komplette Redundanz gegeben ist, oder daß eine einzige derartige Back-up-Quelle einer Vielzahl von derartigen Regelstromquellen in der Annahme zugeordnet sein kann, daß lediglich eine derartige Quelle zu einem beliebigen Zeitpunkt ausfallen wird und
10 eine automatische Substitution erfordern wird, während Reparaturen oder ein Ersatz durchgeführt werden.

Es wird auch geschätzt werden, daß, wenn der Raum innerhalb
15 der Polanordnung dies erlaubt und/oder Stromquellen normal angeordnet werden, um den Spulen größere Ströme mit einer kleineren Anzahl von Wicklungen zur Verfügung zu stellen, redundante Vormagnetisierungsspulen und/oder Regelspulen in den Polanordnungen gewickelt werden können und, falls notwendig,
20 für ausfallende bzw. fehlerhafte substituiert werden können, ohne die Fähigkeit des Lagers, den Rotor abzustützen, zu beeinträchtigen.

Amtl. Aktenzeichen: 696 02 755.0-08
 Anmelder: The Glacier Metal Company Limited
 "Elektromagnetisches Lager"
 Unser Zeichen: EU 2920 - hl / ph

Ansprüche

1. Elektromagnetisches Lager (30; 30' 30"; 40), umfassend einen Rotor (11; 11; 24), welcher um eine Drehachse (12) rotierbar ist, und Statormittel (15'; 25'), umfassend eine gerade Anzahl von Statorpolanordnungen (15'₁ - 15'₄; 26'₁, 26'₂), mit Schenkeln bzw. Teilkreisen aus ferromagnetischem Material (19_{1A}---; 26_{1i}, 26₁₀), welche zu unterschiedlich gewandten Oberflächen (24₁, 24₂) des Rotors gerichtet sind, um mit diesem einen magnetischen Flußweg durch den Rotor auszubilden, welche in Paaren (15₁15₃; 15₂15₄; 26'₁; 26'₂) angeordnet sind, wobei jedes Paar entgegengesetzt bzw. gegenüberliegend entlang einer Verschiebeachse (16, 17; 12) ausgerichtet ist,

elektromagnetische Spulenmittel (31; 31', 31"; 41), welche den Schenkeln zugeordnet sind, umfassend für jede Statorpolanordnung (15'₁; 26'₁, 26'₂) getrennte Vorspann bzw. Vormagnetisierungsspulen (31_{1A} - 31_{1C}; 42₁, 42₂), welche betreibbar sind, um einen Bias- bzw. Vormagnetisierungsfluß zur Verfügung zu stellen, und Steuer- bzw. Regelspulen (33_{1A} - 33_{1C}; 43₁, 43₂), welche betreibbar sind, um dynamisch den gesamten Fluß und dadurch die durch die Polanordnung aufgebrachte Zug- bzw. Aufhängungskraft zu variieren, wobei die Vormagnetisierungsspulen (31_{1A} - 31_{4C}; 42₁, 42₂) für alle Polanordnungen in Serie verbunden sind, sodaß die Spulen von jedem Paar von gegenüberliegend angeordneten Polanordnungen gekoppelt sind, um Flüsse innerhalb der Polanordnungen zur Verfügung zu stellen, welche Kräfte auf den Rotor entlang der Verschiebeachse in entgegengesetzten Richtungen bewirken, und wobei die Regelspulen von jedem Paar der gegenüberliegend angeordneten Polanordnungen in Serie verbunden sind, um für eine bestimmte Stromrichtung Flüsse innerhalb der Polanord-

nungen zur Verfügung zu stellen, welche die Vormagnetisierungsspulenflüsse in den entsprechenden Polanordnungen unterstützen und diesen entgegenwirken, und

elektrische Versorgungsmittel (34, 35, 36; 35', 45", 34'; 44, 45), welche betreibbar sind, um einen Strom zu den Spulenmitteln zur Verfügung zu stellen, um einen Vormagnetisierungsfluß innerhalb der Statoranordnung zu bewirken und den Rotor zu den Polanordnungen anzuziehen, und

Steuer- bzw. Regelmittel (35, 36; 35', 35"; 35, 45; 45), beinhaltend Sensormittel (22₁₆, 22₁₇; 22'₁₆, 22'₁₇; 22"₁₆, 22"₁₇; 29₁, 29₂), welche

auf eine Verschiebung des Rotors aus einer gewünschten Position relativ zu dem Stator ansprechen, eine Vormagnetisierungs-Stromquelle (34, 34'; 50; 44), welche angeordnet ist, um einen im wesentlichen konstanten Vormagnetisierungsstrom den seriell verbundenen Vormagnetisierungsspulen zuzuführen und für jedes Paar der entgegengesetzt angeordneten Polanordnungen, welche einer Verschiebeachse zugeordnet sind, eine gemeinsame Steuer- bzw. Regelstromquelle (35, 36; 35', 35"; 45), welche auf eine Anzeige von den Sensormitteln einer Verschiebung des Rotors entlang der Verschiebeachse anspricht, um einen Steuer- bzw. Regelstrom zu den Steuer- bzw. Regelspulen des Paares in einem derartigen Sinn zuzuführen, um die Kräfte entlang der Achse, welche durch die Vormagnetisierungsspule erzeugt werden, zu variieren, um der Verschiebung entgegenzuwirken, wobei die Steuer- bzw. Regelmittel betätigbar sind, um die Stromzufuhr zu den elektromagnetischen Spulenmitteln zu variieren, um den Fluß zu variieren und den Rotor in die gewünschte Position rückzustellen, dadurch gekennzeichnet, daß jede Steuer- bzw. Regelstromquelle (35, 36; 35', 35"; 45) einen umschaltbaren Servomotor-Leistungsverstärker mit Bidirektionalstrom umfaßt, welcher angeordnet ist, um den Steuer- bzw. Regelstrom zu den zugehörigen Steuer- bzw. Regelspulen (33_{1A} - 33_{4C}; 33'₁ - 33"₄; 43₁, 43₂) bei einer relativ hohen Spannung, welche von einer lokalen Netzversorgung ableitbar ist, zuzuführen, und daß die Vormagnetisierungsstromquelle (34; 34'; 50; 44) angeordnet ist, um den Vormagnetisierungsstrom zu den Vormagnetisierungsspulen (31_{1A} - 31_{4C}; 31'₁ - 31"₄, 42₁, 42₂) bei einer im Vergleich zu der Spannung des Regelstromes

niedrigen Spannung zuzuführen.

2. Elektromagnetisches Lager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Vormagnetisierungs- und Steuer- bzw. Regelspulen ($31_{1A} - 31_{1C}$; $33_{1A} - 33_{1C}$; $42_1, 43_1$) von jeder Polanordnung ($15'_1; 26_1$) im wesentlichen dieselbe Anzahl von Wicklungen aufweisen.
3. Elektromagnetisches Lager nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vormagnetisierungs- und Steuer- bzw. Regelspulen ($31_{1A} - 31_{1C}$; $33_{1A} - 33_{1C}$; $42_1, 43_1$) von jeder Polanordnung ($15'_1; 26'_1$) aus einem Draht derselben Abmessung ausgebildet sind.
4. Elektromagnetisches Lager nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch wenigstens eine Reserveregelstromquelle, welche den Paaren der Statorpolanordnungen zugeordnet ist, und Mitteln, welche betätigbar sind, um einen Fehler bzw. das Versagen der einer Verschiebeachse zugeordneten Steuer- bzw. Regelstromquelle zu detektieren, um die Reservequelle mit den der Achse zugeordneten Regel- bzw. Steuer- spulen zu verbinden.
5. Elektromagnetische Lageranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, umfassend ein Axiallager (40), in welchem der Rotor (24) ein Paar von sich radial erstreckenden, axial gerichteten Oberflächen ($24_1, 24_2$) aufweist und wobei der Stator (25') die Rotationsachse umgebend und axial beabstandet von den Rotoroberflächen angeordnet ist, wobei die Polanordnungen ($26'_1, 26'_2$) des Statorpaars angeordnet sind, um Kräfte auf den Rotor in entgegengesetzten, axialen Richtungen (12) auszuüben.
6. Elektromagnetische Lageranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, umfassend ein Radiallager ($30; 30', 30''$), in welchem der Rotor einen Oberflächenbereich desselben aufweist, welcher einen Stapel von ringförmigen, ferromagnetischen Lamellen bzw. Blechen bzw. Schichten (13) umfaßt, welche sich jeweils um die Rotationsachse (12) erstrecken und elek-



trisch voneinander isoliert sind, und wobei der Stator (15') den Rotor umgibt, wobei dieser die Vielzahl von Statorpolanordnungen (15'₁ - 15'₄) aufweist, welche um die Rotationsachse in den Paaren zu dem Oberflächenbereich gerichtet aufgereiht bzw. angeordnet sind, wobei jede Statorpolanordnung um eine radiale Polachse (16, 17) zentriert ist und wenigstens zwei Polglieder (19₁A - 19₁C) aufweist, welche in Umfangsrichtung voneinander getrennt sind und zu der Rotationsachse gerichtet sind, um mit dem aus Schichten ausgebildeten Rotorbereich einen Flußweg auszubilden, welcher sich in Umfangsrichtung in dem Rotor erstreckt.

10

7. Elektromagnetisches Lager nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch eine Vielzahl von Radiallagern (30', 30"), welche entlang der Rotationsachse (12) getrennt sind und wobei die Vormagnetisierungsspulen von allen der Lager (31'₁ - 31'₄; 31"₁ - 31"₄) in Serie miteinander verbunden sind und mit Strom durch die Vormagnetisierungsstromquelle (34') gespeist sind.

15

8. Elektromagnetische Lageranordnung nach Anspruch 6 oder 7, gekennzeichnet durch eine Kombination mit einem Axiallager nach Anspruch 5, in welchem die Vormagnetisierungsspulen (42₁, 42₂, 31₁) der Axial- und Radiallager in Serie verbunden sind und mit diesem Strom durch eine gemeinsame Vormagnetisierungsstromquelle (50) gespeist sind.

20

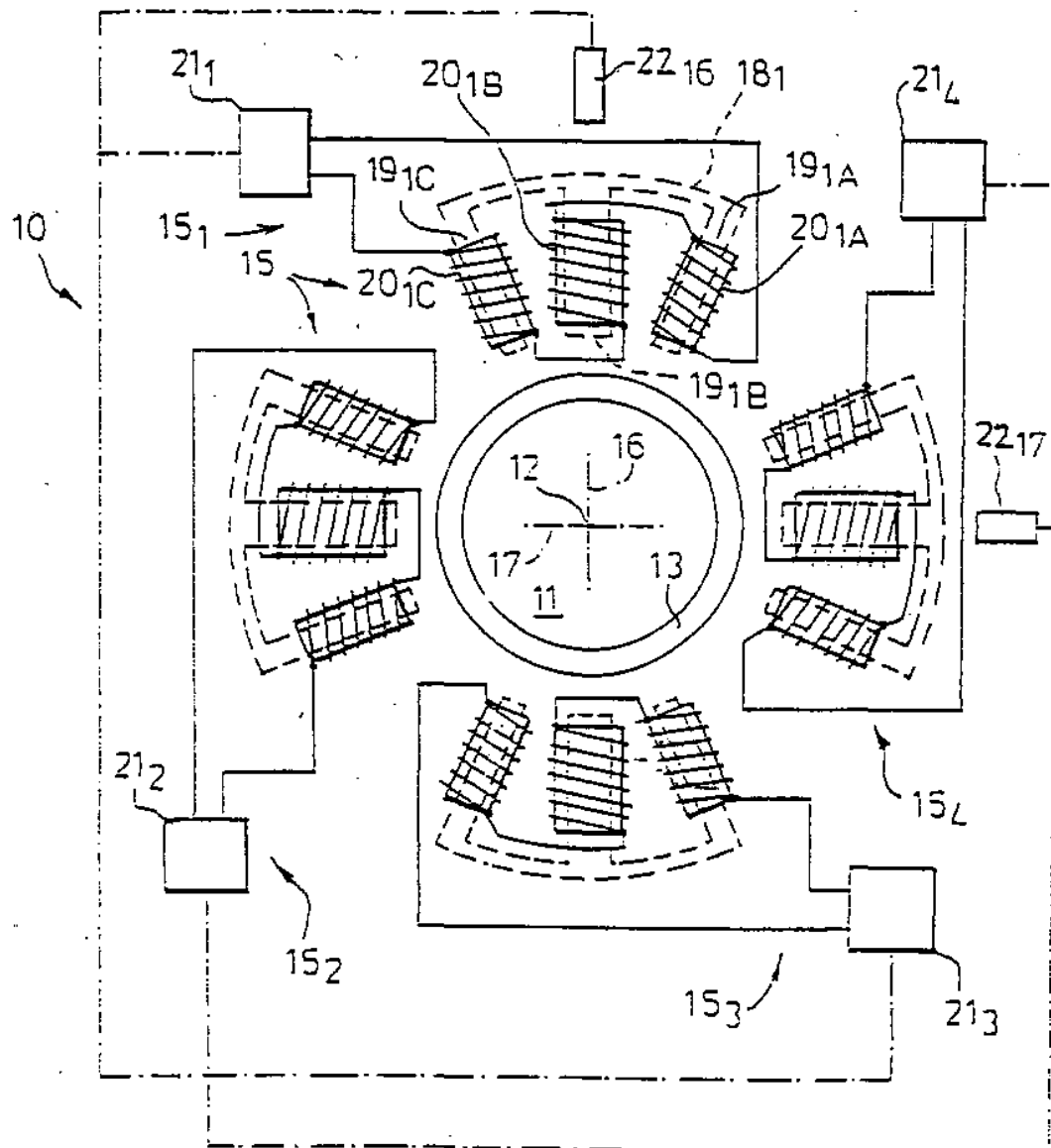
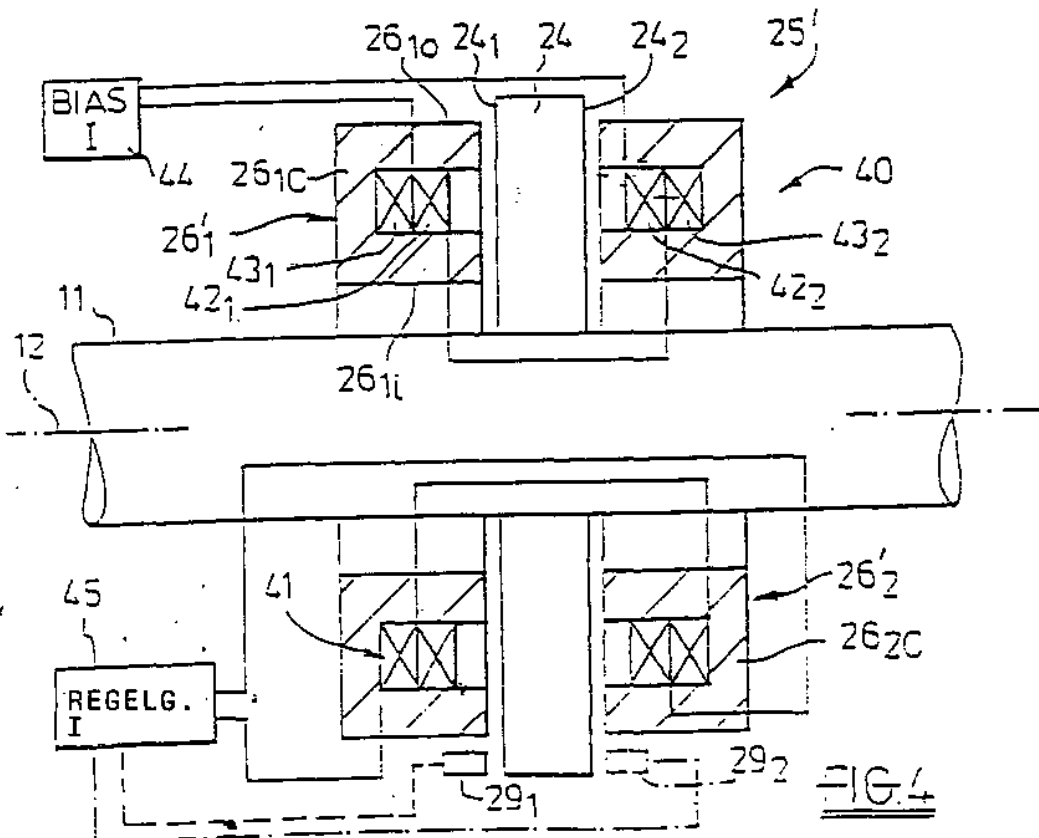
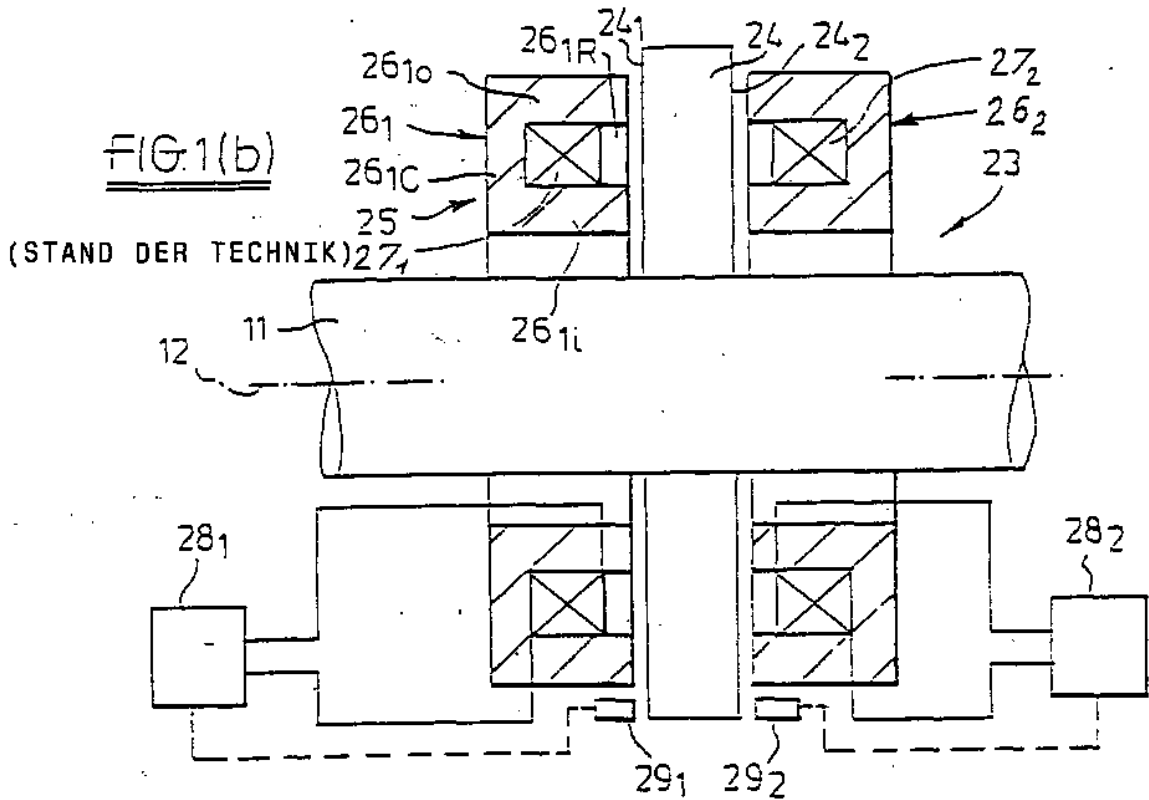


FIG. 1(a) (STAND DER TECHNIK)



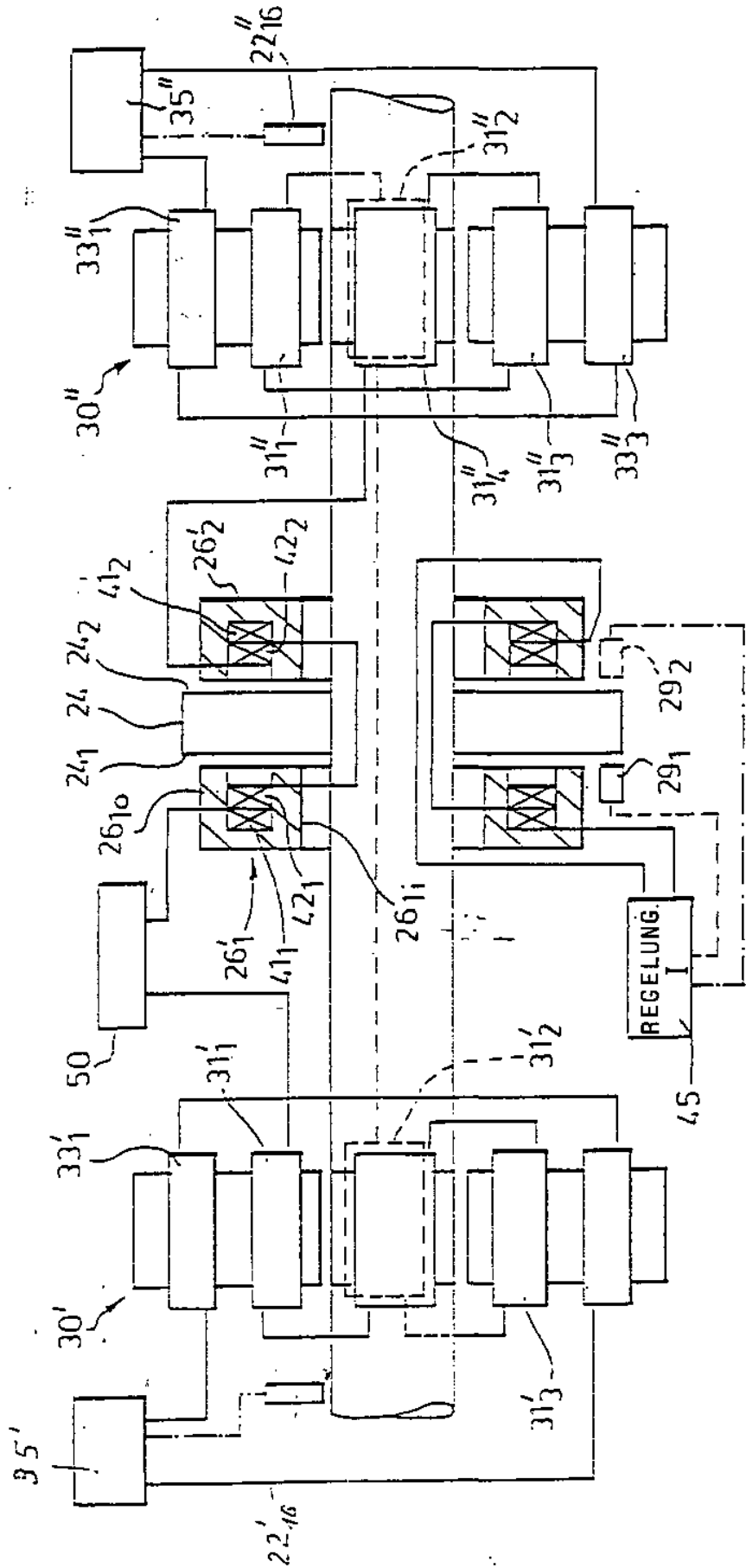


FIG. 5