



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 21 925 B4** 2008.10.02

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 21 925.0**
(22) Anmeldetag: **15.05.2003**
(43) Offenlegungstag: **09.12.2004**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **02.10.2008**

(51) Int Cl.⁸: **F16C 32/04** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Vacuumschmelze GmbH & Co. KG, 63450 Hanau, DE

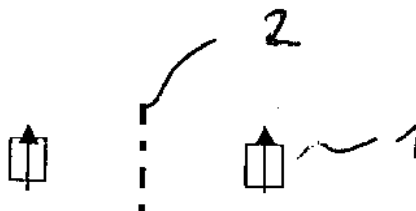
(74) Vertreter:
Westphal, Mussnug & Partner, 80331 München

(72) Erfinder:
Katter, Matthias, Dr., 63755 Alzenau, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 196 07 841 A1
GB 23 35 242 A
EP 04 70 637 A1
**T.Ohji et al.: "Performance of Repulsive Type
Magnetic Bearing System Under Nonuniform
Magnetization of Permanent Magnet" IN: IEEE
Transactions on Magnetics Vol. 36, No. 5
Sept. 2000;**

(54) Bezeichnung: **Radiales Magnetlager, Verfahren zum Zusammenbau eines Magnetlagers sowie Rotationsmaschine mit einem radialen Magnetlager**

(57) Hauptanspruch: Radiales Magnetlager mit einem Statorteil (3) und einem Rotorteil (4) mit jeweils wenigstens zwei permanentmagnetischen Ringmagneten (1, 5, 6, 7, 8, 9, 10) im Statorteil und im Rotorteil, wobei die Ringmagnete (1, 5, 6, 7, 8, 9, 10) coaxial zueinander angeordnet und jeder der Ringmagnete (1, 5, 6, 7, 8, 9, 10) im wesentlichen in Richtung seiner Zylindersymmetrieachse magnetisiert ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Ringmagnete (1, 5, 6, 7, 8, 9, 10) derart zueinander angeordnet sind, dass die Summe der Nord/Süd-Asymmetrievektoren (11, 12a, 12b) aller Ringmagnete (1, 5, 6, 7, 8, 9, 10) vom Betrag kleiner ist als der maximal mögliche Wert, indem wenigstens die Nord/Süd-Asymmetrievektoren zweier Ringmagnete antiparallel zueinander in Richtung der Zylindersymmetrieachse angeordnet sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung liegt auf dem Gebiet der Magnetlager, die zur radialen aber auch axialen Lagerung von schnelldrehenden Rotationsmaschinen mit sehr geringer Reibung und extrem hoher Lebensdauer eingesetzt werden. Zu diesem Zweck werden Lager auf der Stator- und Rotorseite aus jeweils einem oder mehreren Ringmagneten aufgebaut wobei die Ringmagnete permanentmagnetisiert sind und die entsprechenden Magnetkräfte zwischen den Ringmagneten den Rotor jeweils in seiner Sollposition halten.

[0002] Im wesentlichen werden zum Aufbau derartiger radialer Magnetlager Ringmagnete eingesetzt, deren Magnetisierungsrichtung zu ihrer Zylindersymmetrieachse im wesentlichen parallel ist. Dabei ist bei idealen Gegebenheiten, das heißt wenn die Magnetisierungsachse genau mit der Symmetrieachse des Ringmagneten übereinstimmt und auch die Homogenität des magnetischen Materials absolut gegeben ist, ein Idealverhalten des Radiallagers zu erwarten. Es stellt sich jedoch heraus, dass einerseits ein Winkelfehler (Abweichung der magnetischen Vorzugsrichtung von der Zylindersymmetrieachse) und andererseits eine Inhomogenität des magnetischen Materials typischerweise auftreten. Sowohl Winkelfehler als auch die Inhomogenitäten lassen sich bei einem Aufbau eines Magnetlagers aus mehreren Ringmagneten durch entsprechende Verdrehung der Ringmagneten gegeneinander in gewissem Grad ausgleichen.

[0003] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein radiales Magnetlager mit einem Statorteil und einem Rotorteil mit jeweils wenigstens einem permanentmagnetischen Ringmagneten im Statorteil und im Rotorteil, wobei die Ringmagnete coaxial zueinander angeordnet und jeder der Ringmagnete im wesentlichen in Richtung seiner Zylindersymmetrieachse magnetisiert ist.

[0004] Ein derartiges radiales Magnetlager ist beispielsweise aus der Europäischen Patentanmeldung EP 470637 A1 bekannt. Dort ist es als Radiallager für eine Turbomolekularpumpe eingesetzt. Turbomolekularpumpen weisen typischerweise extrem hohe Drehzahlen im Betrieb auf, so dass dort sehr reibungsarme Lager mit guten mechanischen Eigenschaften extrem wichtig sind. Außerdem können wegen des Betriebs im Hoch- und Ultrahochvakuumbereich keine Schmiermittel eingesetzt werden.

[0005] Bei dem dort beschriebenen System sind zwei radiale Magnetlager vorgesehen, wobei jedes der Lager jeweils vier Magnete auf der Statorseite und vier zu diesen coaxial angeordnete Ringmagnete auf der Rotorseite aufweist.

[0006] Aus der DE 19607841 A1 ist eine Anordnung

zur Vermessung und Kennzeichnung von Ringmagneten bekannt, mit der sowohl die Inhomogenität als auch der Winkelfehler bei der Magnetisierung eines Ringmagneten erfassbar ist. Hierzu wird ein Ringmagnet mittels eines Schrittmotors angetrieben und mittels zweier Hallsensoren wird laufend die Magnetfeldstärke aufgenommen.

[0007] Da bei den gängigen Qualitäten von Ringmagneten die vorhandene Inhomogenität und der Winkelfehler durchaus zu unerwünschten Drehmomenten (Winkelfehler) und direkten radialen Kraftwirkungen (Inhomogenitäten) führen, soll durch eine Vermessung und Kennzeichnung dieser Größen an den Ringmagneten eine Aussortierung der Teile ermöglicht werden, die eine zu große Abweichung von der Idealform aufweisen. Die Kennzeichnungen der Ringmagnete sollen auch dafür genutzt werden können, dass Teile so zu einem Magnetsystem zusammengesetzt werden können, dass sich die Winkelfehler beziehungsweise die Inhomogenitäten weitgehend gegenseitig aufheben.

[0008] Der Einfluss von Ungleichmäßigkeiten bei der Magnetisierung eines permanentmagnetischen Ringmagneten als Bestandteil eines radialen Magnetlagers auf die magnetischen Eigenschaften dieses Lagers sind beispielsweise auch in der Veröffentlichung IEEE Transactions on Magnetics, Volume 36, No. 5, September 2000 beschrieben.

[0009] Aus der Britischen Patentanmeldung GB 2335242 A ist eine Lageranordnung mit magnetischen Ringen bekannt, wobei jeweils ein Ringmagnet auf der Stator- und der Rotorseite einander coaxial, in Axialrichtung beabstandet, gegenüberstehen.

[0010] Es ist somit aus dem Stand der Technik bekannt, Magnetlager aus mehreren Ringmagneten zusammenzusetzen und bei der Zusammensetzung auch Winkelfehler und Inhomogenitäten zu berücksichtigen beziehungsweise durch entsprechende Anordnung einzelner Ringmagnete eine Kompensation von Winkelfehlern und Inhomogenitäten möglichst weitgehend zu erreichen.

[0011] Außerdem ist bekannt, dass solche passive radiale Magnetlager in axialer Richtung prinzipiell instabil sind. In axialer Richtung auftretende Kräfte müssen entweder durch ein aufwendiges aktives axiales Magnetlager oder durch ein mechanisches Hilfslager aufgefangen werden.

[0012] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Qualität von passiven radialen Magnetlagern im Hinblick auf die Reduzierung von unerwünschten Axialkräften weiter zu verbessern.

[0013] Bei einem radialen Magnetlager der eingangs genannten Art wird die Aufgabe erfindungsge-

maß dadurch gelöst, dass die Ringmagnete derart zueinander angeordnet sind, dass die Summe der Nord/Süd-Asymmetrievektoren aller Ringmagnete vom Betrag kleiner ist als der maximal mögliche Wert, indem wenigstens die Nord/Süd-Asymmetrievektoren zweier Ringmagnete antiparallel zueinander angeordnet sind.

[0014] Es hat sich gezeigt, dass Ringmagnete neben Homogenitäts- und Winkelfehlern auch einen sogenannten Nord/Südeffekt aufweisen, der im folgenden durch einen Nord/Süd-Asymmetrievektor beschrieben wird. Bei dem Effekt handelt es sich um eine kegelförmige, radialsymmetrische Abweichung der Magnetisierungsrichtung entlang des Umfangs des Ringmagneten von der magnetischen Vorzugsrichtung parallel zur Zylindersymmetrieachse des Ringmagneten. Dieser Fehler kommt insbesondere bei unter großtechnischen Bedingungen hergestellten Magnetringen vor. Das Vorhandensein einer Nord/Süd-Asymmetrie, die sich in einer unterschiedlichen Feldstärke auf der Nord- und der Südseite des Ringmagneten äußert, führt zu dem Entstehen von parasitären axialen Kräften in dem radialen Magnetlager.

[0015] Ziel der Erfindung ist es, die Orientierung und gegebenenfalls auch die Stärke des Nord/Süd-Asymmetrievektors für jeden einzelnen Ringmagneten zu messen und zu kennzeichnen, und die Ringe derart zu radialen Magnetlagern zusammenzubauen, dass die Beiträge der einzelnen Ringe zur Axialkraft möglichst weit kompensiert werden. Der Betrag des Nord/Süd-Asymmetrievektors ist dabei durch die Formel $(N - S)/(N + S)$ gegeben, wobei N eine auf der Nordseite des Ringmagneten gemessene Feldstärke und S eine in einer bezüglich der auf der Zylindersymmetrieachse senkrecht stehenden Symmetrieebene symmetrischen Position gemessene Feldstärke ist. Die Richtung des Nord/Süd-Asymmetrievektors kann so definiert werden, daß der Vektor zu der Seite des Ringmagneten gerichtet ist, zu der die Feldlinien konisch zusammenlaufen. Bei der Festlegung des Schwellwertes kann man sich auch daran orientieren, wie weit in einer Rotationsmaschine der Rotorteil axial gegenüber dem Statorteil verschoben werden kann, um die Axialkräfte durch Justage auszugleichen.

[0016] Dabei reicht es normalerweise aus, wenn ein gewisser Gesamtwert der Nord/Süd-Asymmetrie im Lager nicht überschritten wird, so dass ein üblicherweise in einer drehenden Maschine zusätzlich zu dem radialen Magnetlager vorhandenes axiales Lager nicht überbeansprucht wird. Für ein herzustellendes radiales Magnetlager ist somit ein Schwellwert bekannt, den das vorgesehene axiale Lager noch zulässt.

[0017] Die Größe des Nord/Süd-Asymmetrievektors

hängt außer von den übrigen Eigenschaften des Ringmagneten insbesondere von der Neigung der lokal am Umfang des Ringmagneten gemessenen Magnetfeldstärke gegenüber der magnetischen Vorzugsrichtung ab.

[0018] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Ringmagnete derart zueinander angeordnet sind, dass die Summe der Nord/Süd-Asymmetrievektoren aller Ringmagnete minimiert ist.

[0019] Da in diesem Fall die Axialkräfte auf ein Axiallager minimiert sind, resultiert diese Anordnung in einer optimierten Lebensdauer und minimierten Beanspruchung des Axiallagers. Außerdem lässt sich der Arbeitspunkt des Axiallagers (das heißt der Punkt, an dem der Rotor aufgrund der axialen Kraftwirkung des Axiallagers anschlägt) am zuverlässigsten bestimmen und muss daher im Normalfall nicht oder nur wenig nachjustiert werden.

[0020] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass der Statorteil zwei oder mehr Ringmagnete aufweist, deren Asymmetrievektoren untereinander denselben ersten Richtungssinn aufweisen und dass der Rotorteil aus ebenso vielen Ringmagneten wie der Statorteil besteht, deren Asymmetrievektoren untereinander denselben jeweils dem ersten Richtungssinn entgegengesetzten zweiten Richtungssinn aufweisen.

[0021] Auf diese Weise können Statorteile und Rotorteile vorgefertigt werden und es muss lediglich beim Zusammenbau des Magnetlagers vor Ort darauf geachtet werden, dass die Nord/Süd-Asymmetrievektoren des Statorteils und die Asymmetrievektoren des Rotorteils unterschiedlichen Richtungssinn aufweisen. In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass die Summe der Asymmetrievektoren des Rotorteils einerseits und die Summe der Asymmetrievektoren des Statorteils andererseits einander größtenteils kompensieren. Der Richtungssinn der jeweiligen Asymmetrievektoren kann zu diesem Zweck auf dem Ringmagneten oder auch auf dem Statorteil und dem Rotorteil als ganzem markiert werden.

[0022] Die Erfindung kann außerdem vorteilhaft dadurch ausgestaltet sein, dass der Statorteil und/oder der Rotorteil zwei oder mehr Ringmagneten aufweist, die zueinander so angeordnet sind, dass innerhalb des Statorteils und/oder des Rotorteils die Summe der Asymmetrievektoren der Ringmagnete minimiert ist.

[0023] In diesem Fall ist beim Zusammenbau von Statorteil und Rotorteil möglicherweise keine weitere Abstimmung mehr notwendig, soweit die Asymmetrievektoren im Statorteil einander schon gegenseitig

kompensieren beziehungsweise dieselbe Kompensation im Rotorteil für sich allein stattfindet. Bleibt im Statorteil und im Rotorteil jeweils für sich ein resultierender Nord/Süd-Asymmetrievektor übrig, so können Statorteil und Rotorteil noch derart gegeneinander angeordnet werden, dass sich ihre resultierenden Asymmetrievektoren möglichst weitgehend aufheben.

[0024] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass der Statorteil zwei oder mehr Ringmagnete aufweist, deren Asymmetrievektoren alle jeweils zum Nordpol des jeweiligen Ringmagneten zeigen und dass der Rotorteil ebensoviele Ringmagnete aufweist, deren Asymmetrievektoren alle zum Südpol des jeweiligen Ringmagneten zeigen oder umgekehrt.

[0025] Dadurch wird beim Zusammenbau von Statorteil und Rotorteil eine weitgehende Kompensation der Nord/Süd-Asymmetrievektoren erreicht, wobei zusätzlich gewährleistet ist, dass bei jeweils einander zugeordneten Ringmagneten des Stator- und Rotorteils, die gleiche Nord-Süd-Ausrichtung aufweisen, die Nord/Süd-Asymmetrievektoren entgegengesetzt gerichtet sind, so dass parasitäre Kraftwirkungen sich innerhalb eines Paares von Ringmagneten kompensieren.

[0026] Diese Ausführungsform hat den Vorteil, dass jeweils die Radialkomponenten des magnetischen Feldes von zwei einander zugeordneten Ringmagneten im Stator- und Rotorteil entgegengesetzt gerichtet sind, was sich günstig auf die radiale Steifigkeit auswirkt.

[0027] Die Erfindung bezieht sich außerdem auf ein Verfahren zur Bearbeitung eines Ringmagneten mit Axialmagnetisierung.

[0028] Um den Nord/Süd-Asymmetrieeffekt beim Zusammenbau von magnetischen Lagern aus derartigen Ringmagneten minimieren zu können, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass der Nord/Süd-Asymmetrievektor des Ringmagneten gemessen und darauf wenigstens der Richtungssinn (=Orientierung) des Nord/Süd-Asymmetrievektors insbesondere auch sein Betrag auf dem Ringmagneten markiert wird.

[0029] Die Markierung erlaubt beim Zusammensetzen eines Magnetlagers eine Anordnung einzelner permanentmagnetischer Ringmagnete zueinander derart, dass einander die Nord/Süd-Asymmetrievektoren kompensieren beziehungsweise, dass die Summe der Nord/Süd-Asymmetrievektoren minimiert wird.

[0030] Es kann dabei vorteilhaft vorgesehen sein, dass der Nord/Süd-Asymmetrievektor durch Mes-

sung der Magnetfeldstärke auf der Nordseite und auf der Südseite der zu der Zylinderachse des Ringmagneten senkrecht stehenden Symmetrieebene und Vergleich der Messwerte sowie deren in Beziehung setzen zueinander durch Summen- oder Differenzbildung bestimmt wird.

[0031] Das beschriebene Verfahren stellt eine zuverlässige Methode zur Ermittlung des Richtungssinns und des Betrages des Nord/Süd-Asymmetrievektors dar. Die Messung kann beispielsweise mit mehreren Hallsensoren vorgenommen werden, die beiderseits der auf der Zylindersymmetrieachse senkrecht stehenden Symmetrieebene eines Ringmagneten angeordnet werden, wobei der Ringmagnet bewegt, insbesondere um die Zylinderachse gedreht wird und derweil die durch die Hallsensoren aufgenommenen Messwerte registriert werden. Aus dem Vergleich der auf der Nord- und der Südseite des Ringmagneten erfassten Messwerte ergibt sich der Nord/Süd-Asymmetrievektor.

[0032] Außerdem bezieht sich die Erfindung auf die Verwendung von gemäß einem der Ansprüche 6 oder 7 bearbeiteten Ringmagneten zur Herstellung eines radialen Magnetlagers, bei dem die Ringmagnete derart zueinander coaxial angeordnet werden, dass die Summe ihrer Asymmetrievektoren möglichst minimiert wird.

[0033] Letztlich bezieht sich die Erfindung auch auf eine Rotationsmaschine mit einem Stator und einem Rotor sowie mit wenigstens einem radialen Magnetlager das gemäß einem der Patentansprüche 1 bis 4 ausgebildet ist, wobei der Stator der Rotationsmaschine mit dem Statorteil und der Rotor der Rotationsmaschine mit dem Rotorteil verbunden und zusätzlich in der Rotationsmaschine ein axiales Lager vorgesehen ist.

[0034] Die beschriebene Rotationsmaschine stellt einen typischen Anwendungsfall dar, bei dem die erfindungsgemäßen radialen Lager vorteilhaft und zur Schonung von axialen Lagern eingesetzt werden können.

[0035] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in den Figuren der Zeichnung gezeigten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigt:

[0036] Fig. 1a bis Fig. 1d verschiedene Abweichungen der Magnetisierung eines Ringmagneten von der Idealform,

[0037] Fig. 2 genauer die Nord/Süd-Asymmetrie eines Ringmagneten,

[0038] Fig. 3 und Fig. 4 ein radiales Magnetlager mit sechs Ringmagneten, wobei die Asymmetrievektoren innerhalb des Statorteils und innerhalb des

Rotorteils jeweils einheitlich parallel oder antiparallel zur Magnetisierungsrichtung der Ringmagnete ausgerichtet sind,

[0039] Fig. 5 ein radiales Magnetlager, bei dem Ringmagnete mit wechselnder Orientierung der Nord/Süd-Asymmetrie gemischt sind, und

[0040] Fig. 6 eine Messung der unerwünschten Axialkraft, die durch das radiale Magnetlager erzeugt wird, in Abhängigkeit von der geschätzten Summe der Nord/Süd-Asymmetrien der in dem Magnetlager enthaltenen Ringmagnete.

[0041] In den Fig. 1a–Fig. 1d ist schematisch in einem Querschnitt ein Ringmagnet **1** dargestellt mit einer Zylindersymmetrieachse **2**, wobei die eingezeichneten Pfeile die lokale Magnetisierung repräsentieren sollen. In der Fig. 1a soll lediglich gezeigt werden, dass ein idealer Ringmagnet einfach, wenn er in Axialrichtung, das heißt in Richtung seiner Zylindersymmetrieachse **2** magnetisiert ist, durch eine einheitliche, homogene Magnetisierung vollständig beschrieben werden kann.

[0042] In der Fig. 1b ist der Effekt der Inhomogenität gezeigt, nämlich dass entlang des Umfangs des Ringmagneten unterschiedliche Magnetisierungsstärken auftreten können. Dies kann durch Unregelmäßigkeiten beim Herstellungsprozeß geschehen.

[0043] Aus der Fig. 1c geht der bei vielen Ringmagneten vorhandene Winkelfehler hervor, der darin besteht, dass der Vektor der Gesamtmagnetisierung gegenüber der Zylindersymmetrieachse **2** geneigt ist. Dies erzeugt bei Verwendung des Ringmagneten in einem magnetischen Radiallager ungewollte Drehmomente.

[0044] In der Fig. 1d ist der Effekt der Nord/Süd-Asymmetrie dargestellt, der dadurch entsteht, dass entlang des Umfangs des Ringmagneten die lokale Magnetisierungsrichtung derart gegenüber der Zylindersymmetrieachse **2** geneigt ist, dass insgesamt eine kegelförmige Ausrichtung der Magnetisierungsvektoren entsteht. Es entsteht dabei ein sogenannter heißer Pol, das ist die Seite des Ringmagneten, an der die Magnetfeldlinien sich verdichten und ein kalter Pol, die Seite des Ringmagneten, an der sich die Magnetfeldlinien voneinander entfernen.

[0045] Dies ist deutlicher noch in der Fig. 2 dargestellt, bei der der heiße Pol mit dem Nordpol identisch ist und der kalte Pol mit dem Südpol. In diesem Fall spricht man von einer positiven Polarität der Nord/Süd-Asymmetrie, während man im Fall eines heißen Südpols von einer negativen Polarität der Nord/Süd-Asymmetrie spricht. Der Nord/Süd-Asymmetrievektor ist mit **11** bezeichnet.

[0046] In der Fig. 2 ist auch dargestellt, dass jeweils zwei symmetrisch angeordnete Messpunkte, z. B. **N1** und **S1** sowie **N2** und **S2**, vorgesehen sind, an denen die Magnetfeldstärke mittels beispielsweise zweier Hallsonden gemessen werden kann, um die Nord/Süd-Asymmetrie zu bestimmen. Die Asymmetrie der Feldstärke macht für großtechnisch hergestellte Ringmagnete je nach Herstellungsverfahren einen Unterschied zwischen 5 und 15% der Feldstärke am heißen und am kalten Pol aus.

[0047] Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass der Nord/Süd-Asymmetrieeffekt durch die radialsymmetrische Neigung der Magnetisierung des Ringmagneten gegenüber der Zylindersymmetrieachse gebildet ist.

[0048] Größenmäßig kann die Nord/Süd-Asymmetrie durch den Quotienten aus der Differenz der Feldstärke auf der Nordseite und der Feldstärke auf der Südseite einerseits und der Summe dieser beiden Feldstärken andererseits beschrieben werden:

$$\text{NS-Asymmetrie} = (N - S)/(N + S).$$

[0049] **N** und **S** sind dabei Streufeldstärken, die an symmetrischen Positionen bezüglich der auf der Zylindersymmetrieachse **2** senkrecht stehenden Symmetrieebene eines Ringmagneten gemessen werden. Der Betrag der Nord/Süd-Asymmetrievektoren kann nach der angegebenen Formel berechnet werden. Dabei kommt es lediglich darauf an, dass für alle in einem Lager verwendete Ringmagnete dieselbe Maß- und Berechnungsmethode verwendet wird, da innerhalb eines Lagers eine Kompensation angestrebt wird. Da bei einheitlicher Herstellungsmethode die Eigenschaften der Ringmagnete sehr ähnlich sind, kann in erster Näherung auch von einer Einheitslänge (in Fig. 6 Längenmass = 5) der Nord/Süd-Asymmetrievektoren ausgegangen und lediglich deren Orientierung für eine Kompensation berücksichtigt werden.

[0050] In der Fig. 5 ist ein radiales Magnetlager dargestellt mit einem Statorteil **3** und einem Rotorteil **4**. Die Nord- und Südpole sind eingezeichnet. Die einzelnen Pfeile in den Querschnittsflächen der Ringsegmente bezeichnen die jeweiligen Nordpole der einzelnen Ringmagnete. Die Polarität der Nord/Süd-Asymmetrie für die einzelnen Ringe ist: Ring 5: (+), Ring 6: (–), Ring 7: (–), Ring 8: (–), Ring 9: (+), Ring 10: (–). Die Nord/Süd-Asymmetrievektoren sind jeweils neben den Ringmagneten durch Pfeile bezüglich ihrer Orientierung gekennzeichnet. Die Stärke der Nord/Süd-Asymmetrie eines einzelnen Ringmagneten soll zunächst außer acht gelassen werden, da sie für die meisten Ringmagnete in einem mittleren Bereich von 10% liegt. Der Betrag der Nord/Süd-Asymmetrie wird für die Zwecke dieser Erfindung in nächster Näherung als gleich für verschie-

dene Ringmagnete angenommen.

[0051] Das in **Fig. 5** dargestellte Lager ist mit seiner Anordnung von Ringmagneten **5** bis **10** in bezug auf die Nord/Süd-Asymmetrie nicht vollständig kompensiert. Es sind vier Ringe mit negativer Nord/Süd-Asymmetrie und nur zwei Ringe mit positiver Nord/Süd-Asymmetrie vorhanden. Gemäss der Figur sind auch die Orientierungen der Nord/Süd-Asymmetrien nicht optimal kompensiert. Es sind bei den Ringmagneten **5** und **6** die Nord/Süd-Asymmetrievektoren nach oben, bei den übrigen vier Ringmagneten nach unten gerichtet. Insbesondere sieht man, dass die radialen Magnetisierungskomponenten der benachbarten Ringe **7** und **10** in die gleiche Richtung weisen, wodurch die radiale Steifigkeit des Lagers beeinträchtigt wird. Besser könnte eine Ausgestaltung mit jeweils drei Ringen mit positiver Nord/Süd-Asymmetrie und drei Ringen mit negativer Nord/Süd-Asymmetrie sein, gleich ob diese im Statorteil oder im Rotorteil angeordnet sind, wobei drei der jeweiligen Asymmetrievektoren nach oben und drei nach unten gerichtet sind.

[0052] Eine verbesserte Ausführung zeigt **Fig. 3**: Dort sind im Stator drei Ringmagnete mit negativer Nord/Süd-Asymmetrie, im Rotor drei Ringmagneten mit positiver Nord/Süd-Asymmetrie angeordnet. Die Orientierung der Asymmetrievektoren **12a**, **12b** von jeweils einander zugeordneten Ringmagneten des Statorteils und des Rotorteils sind jeweils entgegengesetzt. Dies ist ebenso bei der Konfiguration gemäß **Fig. 4**.

[0053] Auf diese Weise ist es möglich, Statoren und Rotoren jeweils für sich vorzufertigen und einen Ausgleich bezüglich der Nord/Süd-Asymmetrie erst beim Zusammenbau der Lager zu schaffen.

Patentansprüche

1. Radiales Magnetlager mit einem Statorteil (**3**) und einem Rotorteil (**4**) mit jeweils wenigstens zwei permanentmagnetischen Ringmagneten (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) im Statorteil und im Rotorteil, wobei die Ringmagnete (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) koaxial zueinander angeordnet und jeder der Ringmagnete (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) im wesentlichen in Richtung seiner Zylindersymmetrieachse magnetisiert ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ringmagnete (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) derart zueinander angeordnet sind, dass die Summe der Nord/Süd-Asymmetrievektoren (**11**, **12a**, **12b**) aller Ringmagnete (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) vom Betrag kleiner ist als der maximal mögliche Wert, indem wenigstens die Nord/Süd-Asymmetrievektoren zweier Ringmagnete antiparallel zueinander in Richtung der Zylindersymmetrieachse angeordnet sind.

2. Radiales Magnetlager nach Anspruch 1, bei dem die Ringmagnete (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) derart zu-

einander angeordnet sind, dass die Summe der Nord/Süd-Asymmetrievektoren (**11**, **12a**, **12b**) aller Ringmagnete (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) betragsmäßig minimiert ist.

3. Radiales Magnetlager nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Statorteil (**3**) zwei oder mehr Ringmagnete (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) aufweist, deren Nord/Süd-Asymmetrievektoren untereinander denselben ersten Richtungssinn aufweisen und dass der Rotorteil (**4**) aus ebenso vielen Ringmagneten wie der Statorteil (**3**) besteht, deren Nord/Süd-Asymmetrievektoren (**11**, **12a**, **12b**) untereinander denselben, jeweils dem ersten Richtungssinn entgegengesetzten zweiten Richtungssinn aufweisen.

4. Radiales Magnetlager nach Anspruch 1 oder 2, bei dem das Statorteil (**3**) und/oder das Rotorteil (**4**) zwei oder mehr Ringmagneten (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) aufweist, die zueinander so angeordnet sind, dass innerhalb des Statorteils und/oder des Rotorteils die Summe der Nord/Süd-Asymmetrievektoren (**11**, **12a**, **12b**) der Ringmagneten (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) minimiert ist.

5. Radiales Magnetlager nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Statorteil zwei oder mehr Ringmagnete (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) aufweist, deren Nord/Süd-Asymmetrievektoren alle jeweils zum Nordpol des jeweiligen Ringmagneten (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) zeigen und dass der Rotorteil ebensoviele Ringmagnete (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) aufweist, deren Nord/Süd-Asymmetrievektoren (**11**, **12a**, **12b**) alle zum Südpol des jeweiligen Ringmagneten (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) zeigen oder umgekehrt.

6. Verfahren zum Zusammenbau eines Magnetlagers aus Ringmagneten mit Axialmagnetisierung, bei dem der Nord/Süd-Asymmetrievektor (**11**, **12a**, **12b**) des Ringmagneten (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) gemessen und darauf wenigstens der Richtungssinn des Nord/Süd-Asymmetrievektors (**11**, **12a**, **12b**) auf dem Ringmagneten (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) markiert wird, und der Nord/Süd-Asymmetrievektor (**11**, **12a**, **12b**) durch Messung der Magnetfeldstärke auf der Nordseite und auf der Südseite der zu der Zylinderachse des Ringmagneten (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) senkrecht stehenden Symmetrieebene und Vergleich der Messwerte sowie deren in Beziehung setzen zueinander durch Summen- oder Differenzbildung bestimmt wird, und die einzelnen Ringmagnete (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) zueinander derart angeordnet werden, dass einander die Nord/Süd-Asymmetrievektoren (**11**, **12a**, **12b**) kompensieren oder dass die Summe der Nord/Süd-Asymmetrievektoren (**11**, **12a**, **12b**) minimiert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem auch der Betrag des Nord/Süd-Asymmetrievektors (**11**, **12a**, **12b**) auf dem Ringmagneten (**1**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9**, **10**) mar-

kiert wird.

8. Rotationsmaschine mit einem Stator und einem Rotor, sowie mit wenigstens einem radialen Magnetlager mit einem Statorteil (3) und einem Rotorteil (4) mit jeweils wenigstens zwei permanentmagnetischen Ringmagneten (1, 5, 6, 7, 8, 9, 10) im Statorteil und im Rotorteil, wobei die Ringmagnete (1, 5, 6, 7, 8, 9, 10) koaxial zueinander angeordnet und jeder der Ringmagnete (1, 5, 6, 7, 8, 9, 10) im wesentlichen in Richtung seiner Zylindersymmetrieachse magnetisiert ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Ringmagnete (1, 5, 6, 7, 8, 9, 10) derart zueinander angeordnet sind, dass die Summe der Nord/Süd-Asymmetrievektoren (11, 12a, 12b) aller Ringmagnete (1, 5, 6, 7, 8, 9, 10) vom Betrag kleiner ist als der maximal mögliche Wert, indem wenigstens die Nord/Süd-Asymmetrievektoren zweier Ringmagnete antiparallel zueinander in Richtung der Zylindersymmetrieachse angeordnet sind, wobei der Stator mit dem Statorteil (3) und der Rotor mit dem Rotorteil (4) verbunden und zusätzlich ein axiales Lager bei der Rotationsmaschine vorgesehen ist.

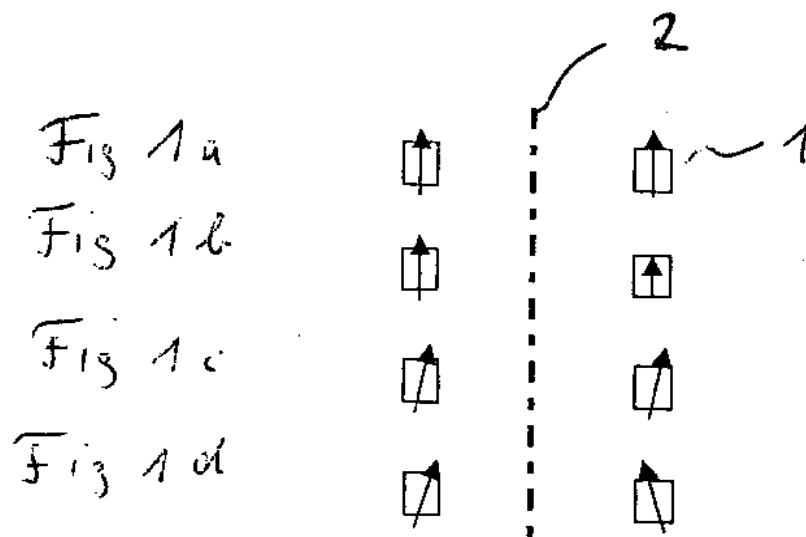
9. Rotationsmaschine nach Anspruch 8, bei der die Ringmagnete (1, 5, 6, 7, 8, 9, 10) derart zueinander angeordnet sind, dass die Summe der Nord/Süd-Asymmetrievektoren (11, 12a, 12b) aller Ringmagnete (1, 5, 6, 7, 8, 9, 10) betragsmäßig minimiert ist.

10. Rotationsmaschine nach Anspruch 8 oder 9, bei der der Statorteil (3) zwei oder mehr Ringmagnete (1, 5, 6, 7, 8, 9, 10) aufweist, deren Nord/Süd-Asymmetrievektoren untereinander denselben ersten Richtungssinn aufweisen und dass der Rotorteil (4) aus ebenso vielen Ringmagneten wie der Statorteil (3) besteht, deren Nord/Süd-Asymmetrievektoren (11, 12a, 12b) untereinander denselben, jeweils dem ersten Richtungssinn entgegengesetzten zweiten Richtungssinn aufweisen.

11. Rotationsmaschine nach Anspruch 8 oder 9, bei der das Statorteil (3) und/oder das Rotorteil (4) zwei oder mehr Ringmagneten (1, 5, 6, 7, 8, 9, 10) aufweist, die zueinander so angeordnet sind, dass innerhalb des Statorteils und/oder des Rotorteils die Summe der Nord/Süd-Asymmetrievektoren (11, 12a, 12b) der Ringmagneten (1, 5, 6, 7, 8, 9, 10) minimiert ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



$$\text{NS-effect} = (N - S)/(N + S),$$

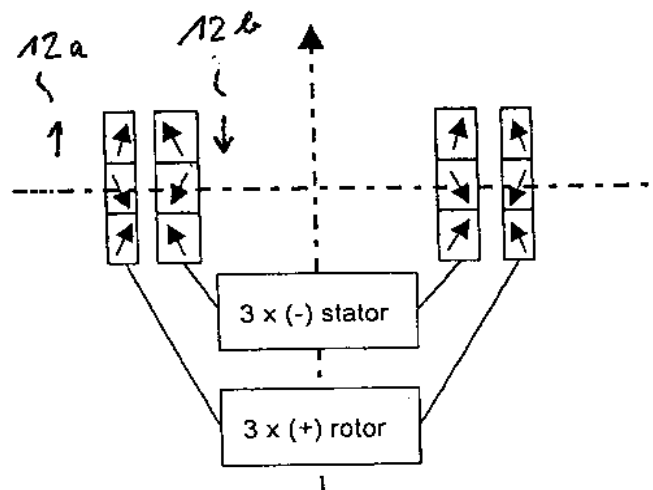
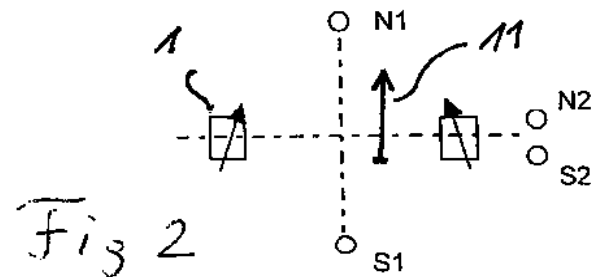


Fig 3

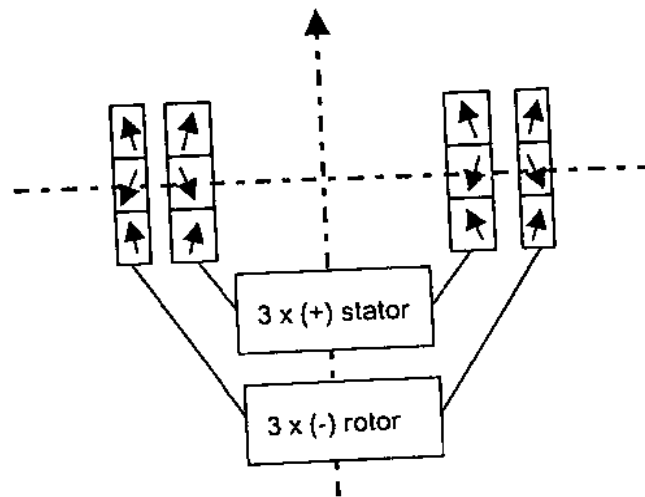


Fig 4

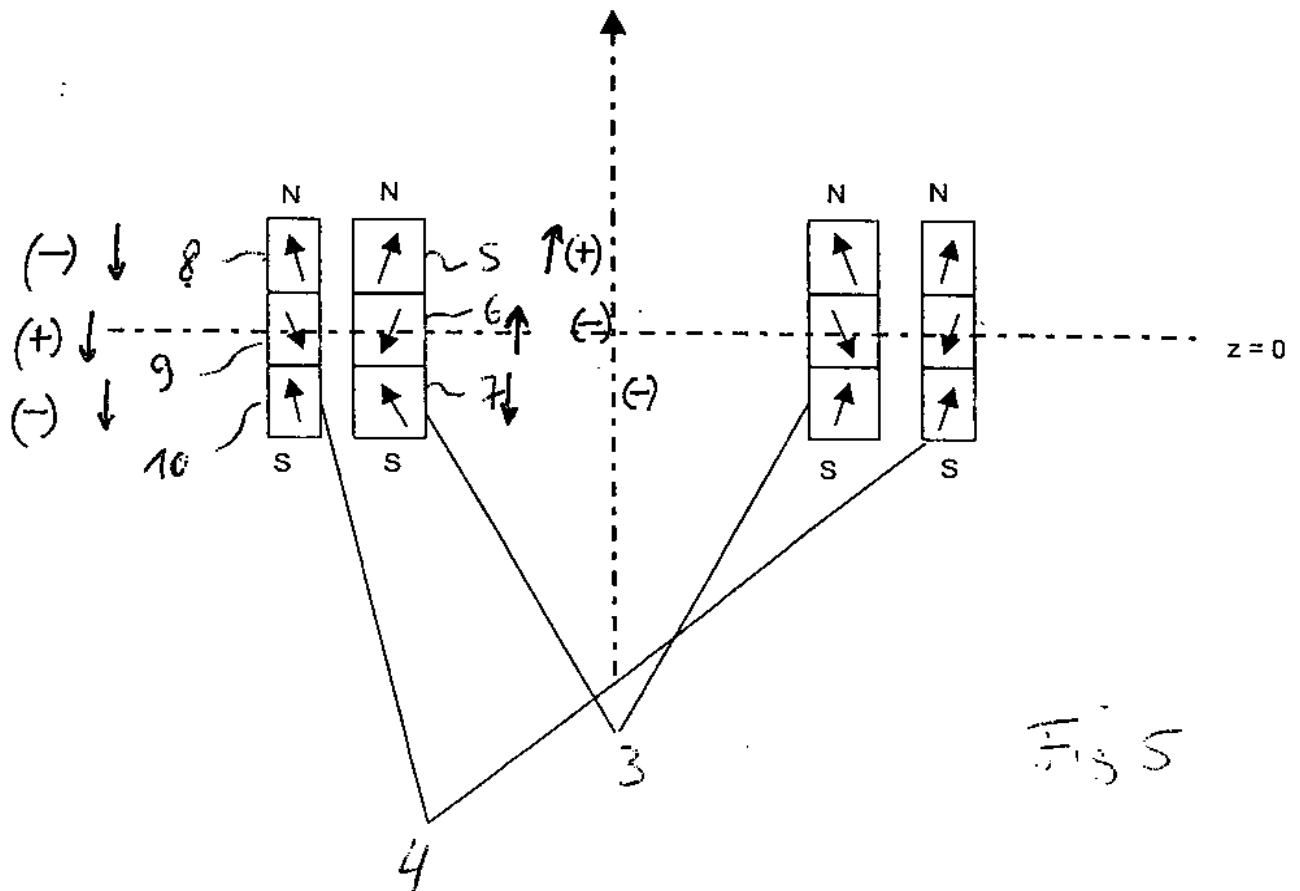
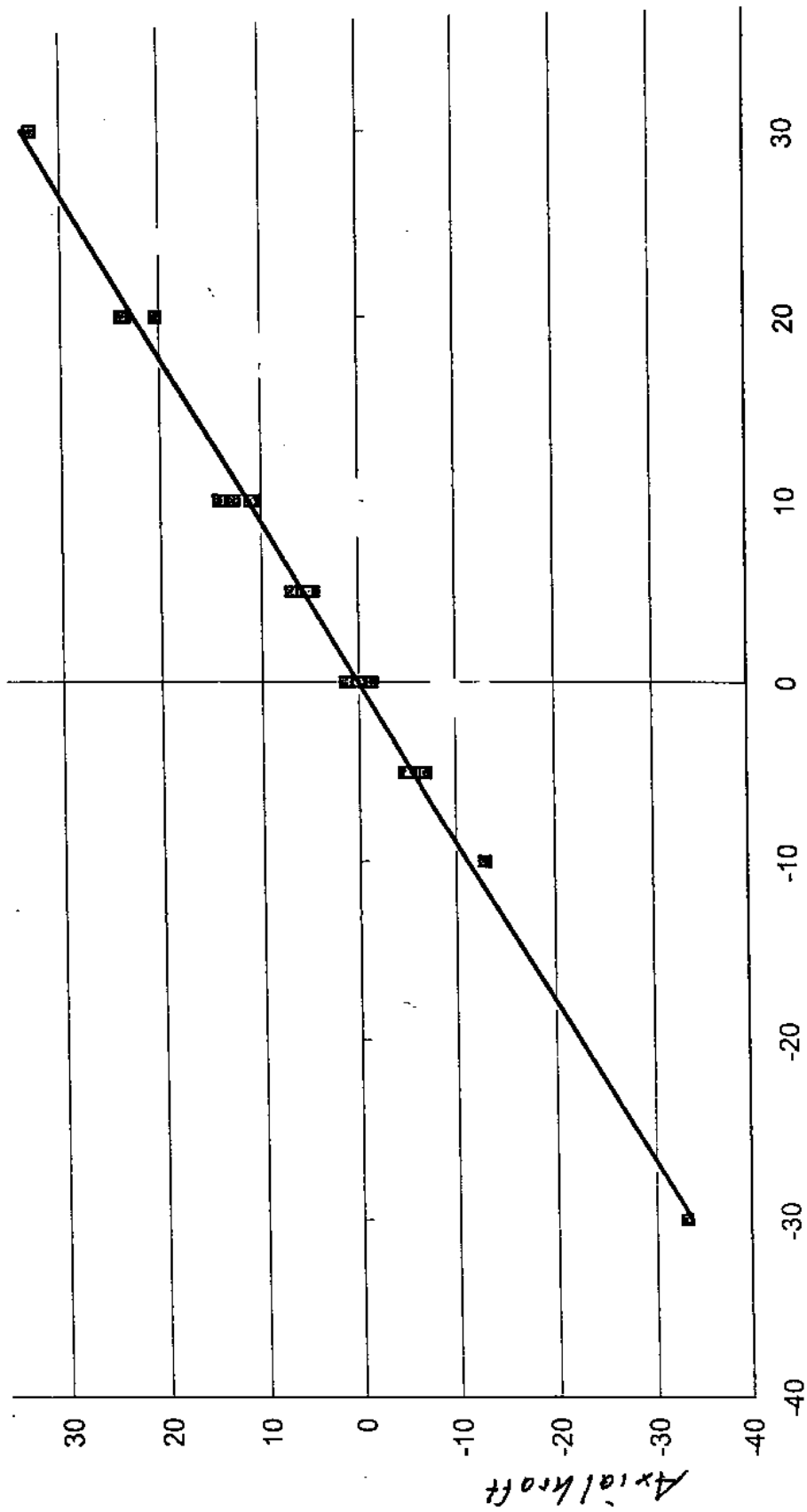


Fig 5



→ $\sum n/s$ Asymmetrie-
vektoren Fig 6