



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 034 553 A1 2010.02.04**

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 034 553.9**

(22) Anmeldetag: **24.07.2008**

(43) Offenlegungstag: **04.02.2010**

(51) Int Cl.⁸: **F16C 32/04 (2006.01)**
H02K 7/09 (2006.01)

(71) Anmelder:

Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE

(72) Erfinder:

Bachmaier, Georg, 80538 München, DE;
Bergmann, Dominik, 83679 Sachsenkam, DE;
Ebelsberger, Gerit, 81737 München, DE; Gerlich,
Matthias, Dr., 80333 München, DE; Hennig, Oliver,
Dr., 81543 München, DE; Tump, Christian, 80469
München, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

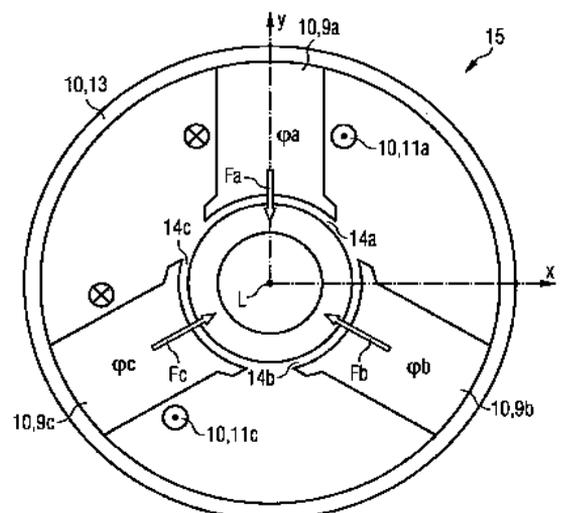
WO	200/1 48 389	A2
JP	61-1 71 918	A
JP	2002-1 61 919	A
JP	2005-0 61 581	A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Unipolares radiales Magnetlager**

(57) Zusammenfassung: Das unipolare radiale Magnetlager ist mit einem Stator mit mindestens drei ($m \geq 3$) Polen und n Magnetspulen ausgestattet, wobei an n Polen jeweils eine Magnetspule angebracht ist, wobei $n < m$ gilt und die Magnetspulen so ansteuerbar sind, dass eine vektorielle Summe der magnetischen Flüsse durch alle Pole im Wesentlichen Null ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein unipolares radiales Magnetlager mit einem Stator mit $m \geq 3$ Polen und n Magnetspulen.

[0002] Aktive magnetische Lagerungen von drehenden Wellen sind üblicherweise nach dem Reluktanzprinzip aufgebaut. Durch das magnetische Feld können nur anziehende Kräfte zwischen dem Magnetpol im Stator und der Welle erzeugt werden. Deshalb sind zu einer Stabilisierung der Position in zwei Raumachsen mindestens 3 unabhängige Magnetpole erforderlich (z. B. 120° versetzt aufgebaut). Übliche Lager weisen sogar vier um 90° versetzte Pole auf, um unabhängige Lageregelungen für die x - und die y -Achse realisieren zu können. Jeder Magnetpol hat bei den typischen Anordnungen auch eine eigene Wicklung, d. h., dass das als das Minimum für eine Lagerung in zwei Achsen drei elektrisch unabhängige Wicklungen angesehen werden, also $m = n$ vorliegt.

[0003] Die einzelnen Magnetpole können im Fall heteropolarer oder homopolarer Anordnungen (je nachdem, ob der Fluss in axialer oder radialer Richtung durch die Welle geht) magnetisch voneinander unabhängig aufgebaut werden, oder sie können im Fall unipolarer Anordnungen zusätzlich magnetisch verkoppelt sein. Letztere haben Vorteile durch einfacheren Aufbau und Blechung des Rotors, sind aber regelungstechnisch durch die magnetische Verkopplung aufwändiger.

[0004] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein einfacheres unipolares radiales Magnetlager bereitzustellen.

[0005] Diese Aufgabe wird mittels eines unipolaren radialen Magnetlagers nach dem unabhängigen Anspruch gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind insbesondere den abhängigen Ansprüchen entnehmbar.

[0006] Das unipolare radiale Magnetlager weist einen Stator mit mindestens drei ($m \geq 3$) Polen und n Magnetspulen auf. Jede der n Magnetspulen ist an einem zugehörigen Pol angebracht. Statt wie bisher das unipolare radiale Magnetlager mit je einer Spule pro Pol auszurüsten ($m = n$), werden nun weniger Spulen als Pole verwendet, entsprechend der Bedingung $n < m$. Die n Magnetspulen werden so angesteuert, dass eine vektorielle Summe der magnetischen Flüsse durch alle Pole im Wesentlichen Null ist.

[0007] Zur einfacheren Ansteuerung weist jede der Magnetspulen vorzugsweise eine einzelne um den jeweiligen Pol gewickelte Wicklung auf.

[0008] Zur einfacheren Ansteuerung sind die Pole winkelsymmetrisch um eine Drehachse des Magnetlagers angeordnet.

[0009] Es wird ferner ein Magnetlager bevorzugt, bei dem $n = m - 1$ gilt, d. h., dass der Stator einen Pol mehr als Magnetspulen aufweist.

[0010] Es wird ein Magnetlager bevorzugt, das mit genau $m = 3$ Polen ausgerüstet ist.

[0011] Zum Ausgleich von Störungen und Streufeldern wird ein Magnetlager bevorzugt, dass ferner eine Sensorvorrichtung, z. B. mit einem Hallsensor, zur Bestimmung einer relativen Position eines Rotors zum Stator aufweist, als auch eine Steuerschaltung zur Einstellung der elektrischen Ströme in den Wicklungen (Stellgröße) auf der Grundlage einer mittels der Sensorvorrichtung ermittelten Position des Rotors (Regelgröße), um die Position des Rotors auf einer Sollposition relativ zu Stator zu halten.

[0012] In den folgenden Figuren wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels schematisch genauer beschrieben. Dabei können zur besseren Übersichtlichkeit gleiche oder gleichwirkende Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen sein.

[0013] **Fig. 1** zeigt in Schrägansicht ein aufgeschnittenes magnetisches Lager mit einem Topfmagneten;

[0014] **Fig. 2** zeigt schematisierend das Radiallager aus **Fig. 1** in Aufsicht entlang der Drehachse bzw. Längsachse;

[0015] **Fig. 3** in einer Darstellung analog zu der Darstellung aus **Fig. 2** ein erfindungsgemäßes Radiallager;

[0016] **Fig. 4** ein magnetisches Ersatzschaltbild des Radiallagers aus **Fig. 3**.

[0017] **Fig. 1** zeigt ein magnetisches Radial-Lager 1 mit einer zu lagernden Welle 2. Die Welle 2 wird axial mittels eines magnetischen Axiallagers 3 gelagert, an das sich zu beiden Seiten beabstandet jeweils ein bekanntes magnetisches Radiallager 4 anschließt.

[0018] Das Axiallager 3 weist zwei benachbarte zylinderförmige Elektromagnete (Topfmagnete) 5 auf, welche die Welle 2 berührungslos umgeben und in deren auch als Magnetkern dienenden Gehäusen 6 jeweils eine die Welle 2 ringförmig umgebende Wicklung 7 eingeschlossen ist. Zur Sicherstellung der axialen Lagerung wird eine in einem Zwischenraum zwischen den Topfmagneten 5 an der Welle 2 senkrecht stehend angebrachte Lagerscheibe 8 aus magnetischem Material verwendet. Das Gehäuse 6 des Topfmagneten 5, das die Wicklung 7 aufnimmt, weist im

Einzelnen seitliche Bodenplatten **13** auf sowie radiale Wandungen **14** auf. Die Welle **2** ragt lose durch eine Aussparung (ohne Bezugszeichen) des Gehäuses **6**.

[0019] Die Lagerscheibe **8** ist von den Topfmagneten **5** durch einen Luftspalt (ohne Bezugszeichen) getrennt. Die Lagerscheibe **8** dreht sich somit mit der Welle **2** gegen die Topfmagnete **5** mit und stellt folglich den Rotor des Axiallagers **3** dar. Die Lagerscheibe **8** wird üblicherweise als ein Teil des Axiallagers **3** angesehen. Die Lagerscheibe **8** müsste nach bisheriger Kenntnis radial geblecht werden (in Form von Kuchenstücken), was fertigungstechnisch nicht sinnvoll ist. Ebenso wenig kommt ein Ferritmaterial oder gepresstes Eisenpulver in Frage. Für einige Magnetanordnungen tritt ein ähnliches Problem auch bei der radialen Lagerung auf. Ist der Rotor **8** nicht geblecht, kann nach bisheriger Kenntnis eine Signalauswertung der positionsabhängigen Induktivität jedoch nur mit relativ geringen Messfrequenzen erfolgen bzw. ist der Signalhub der Induktivität zu Rotorposition relativ gering. Folglich muss ein erheblicher Aufwand in eine Signalauswertung investiert werden. Der hochfrequente Anteil des magnetischen Flusses, der zur Positionsbestimmung des Rotors ausgenutzt wird, weist nur eine relativ geringe Amplitude im Verhältnis zum im Wesentlichen gleichstromartigen Anteil des Feldes für die Krafterzeugung auf. Deshalb würde schon eine kleine Verbesserung der Eindringtiefe eine deutliche Verbesserung der Signalaufnahme bringen.

[0020] Das Radiallager **4** weist hier noch herkömmlicher Weise drei um jeweilige als Magnetkerne wirkende strebenförmige Pole **9** eines statischen Rahmens bzw. Stators **10** gewickelte Wicklungen (Magnetspulen) **11** auf, welche winkelsymmetrisch um die Welle **2** angeordnet sind. Der Stator **10** umgibt ein an der Welle **2** befestigtes magnetisches Element **12** mit ringförmiger Außenkontur ('Rotor'). Der Rotor **12** ist vom Stator **10** durch einen Luftspalt **14** getrennt.

[0021] **Fig. 2** zeigt vereinfachend das Radiallager **4** aus **Fig. 1** in Aufsicht entlang der Drehachse bzw. Längsachse **L**. Der Stator **10** weist einen ringförmigen Rahmen **13** mit winkelsymmetrisch um die Symmetrieachse (Längsachse bzw. Drehachse der Welle) **L** angeordneten, nach Innen gerichteten strebenförmigen Polen **9a**, **9b**, **9c** auf, auf die jeweils eine hier nur schematisch angedeuteten Wicklung (Spule) **11a**, **11b**, **11c** aufgewickelt ist. Bei Stromfluss durch die Wicklungen **11a**, **11b**, **11c** wird in den Polen **9a**, **9b**, **9c** ein magnetischer Fluss ϕ_a , ϕ_b , ϕ_c erzeugt, wodurch anziehende Kräfte F_a , F_b , F_c zwischen den Polen **9a** bis **9c** und dem Rotor **12** erzeugt werden, welche den Rotor **12** durch einen jeweiligen Luftspalt **14a**, **14b**, **14c** vom Stator **10** getrennt halten. Ein solches Radiallager **4** in unipolarer Bauweise weist, wie oben erwähnt, die Eigenschaft auf, dass die (hier) drei Pole **9a**, **9b**, **9c** magnetisch verkoppelt sind, d. h., dass es keinen einfachen direkten Zusammen-

hang zwischen den Strömen in einer Wicklung **11a**, **11b**, **11c** und den magnetischen Flüssen ϕ_a , ϕ_b bzw. ϕ_c und daraus folgend den Kräften F_a , F_b bzw. F_c an diesem Pol **9a**, **9b** bzw. **9c** gibt. Es muss daher immer das gesamte Lager **4** betrachtet werden, da sich die Flüsse ϕ_a , ϕ_b , ϕ_c auch über die jeweils anderen Pole **9a**, **9b**, **9c** schließen und dort zu den Kräften F_a , F_b , F_c beitragen.

[0022] **Fig. 3** zeigt ein erfindungsgemäßes magnetisches Radiallager **15**. Bei diesem Radiallager **15** wird die magnetische Kopplung dazu ausgenutzt, ein dreipoliges unipolares Lager mit nur zwei Wicklungen **11a**, **11c** aufzubauen. Auf die beispielhaft herausgesuchte Wicklung **11b** aus **Fig. 2** wird somit verzichtet.

[0023] **Fig. 4** zeigt zur Beschreibung der Zusammenhänge der Vorrichtung aus **Fig. 3** ein dazu äquivalentes magnetisches Ersatzschaltbild. Die magnetischen Spannungsquellen U_a und U_c entsprechen den Erregerströmen I_a bzw. I_c in den beiden Wicklungen **11a** bzw. **11c** in **Fig. 3** und können auch als magnetische Durchflutung mit dem Formelzeichen Θ bezeichnet werden. Die magnetische Spannung U lässt sich in guter Näherung aus der Wicklungszahl und dem durch die Wicklung geleiteten elektrischen Strom berechnen. Die magnetischen Widerstände R_{Ma} , R_{Mb} , R_{Mc} sind abhängig vom Luftspalt **14a**, **14b** bzw. **14c** am jeweiligen Pol **9a**, **9b** bzw. **9c** und der Durchtrittsfläche für den magnetischen Fluss. Die "magnetischen Ströme" des Ersatzschaltbilds entsprechen den Flüssen ϕ_a , ϕ_b , ϕ_c bzw. beschreiben die Kräfte F_a , F_b bzw. F_c am jeweiligen Pol **9a**, **9b** bzw. **9c**. Der magnetische Fluss ϕ berechnet sich nach dem Reluktanzprinzip aus U/RM .

[0024] Aus dem Ersatzschaltbild wurde gefunden, dass mit nur zwei magnetischen Spannungsquellen U_a und U_c jeder beliebige "magnetische Strom" (magnetischer Fluss) in allen drei Polen und damit beliebige Kräfte F_a , F_b , F_c an allen drei Polen **9a**, **9b**, **9c** unter der Voraussetzung erzeugt werden kann, dass die vektorielle Summe aller Flüsse im Lager **15** gleich 0 ist, also die Bedingung $\phi_a + \phi_b + \phi_c = 0$ von den Sollflüssen erfüllt wird (falls kein wesentlicher Streufluss auftritt). Das bedeutet, dass über nur zwei Steuerströme I_a , I_c die drei Magnetkräfte F_a , F_b , F_c beliebig eingestellt werden können.

[0025] Der große Vorteil einer solchen Anordnung liegt in der Einsparung einer kompletten Wicklung samt Verkabelung, Leistungselektronik und Stromregler.

[0026] Es wird also die magnetische Kopplung der drei Pole eines radialen unipolaren Magnetlagers ausgenutzt, so dass in diesem Ausführungsbeispiel mit nur zwei Wicklungen die Flüsse in drei Polen und damit drei Magnetkräfte unabhängig voneinander eingestellt werden können.

[0027] Selbstverständlich ist die vorliegende Erfindung nicht auf das gezeigte Ausführungsbeispiel beschränkt.

(12) auf einer Sollposition zu halten.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

[0028] So können bei einem Radiallager mit vier Polen die Flüsse in den Polen und damit die Magnetkräfte mit nur drei Wicklungen unabhängig voneinander eingestellt werden können, usw.

[0029] Mögliche geringe Streuflüsse oder Störgrößen (Einfluss des Eisenkreises usw.), so dass die Magnetkräfte F_a , F_b bzw. F_c nicht ganz dem theoretischen Wert entsprechen, können mittels einer Regelung der Position des Rotors relativ zum Stator berücksichtigt werden (Lageregelung). So kann das Radiallager eine Sensorvorrichtung zur Bestimmung einer relativen Position des Rotors zum Stator aufweisen, als auch eine Steuerschaltung zur Einstellung der elektrischen Ströme in den Wicklungen (Stellgröße) auf der Grundlage einer mittels der Sensorvorrichtung ermittelten Position des Rotors (Regelgröße), um die Position des Rotors auf einer Sollposition zu halten.

Patentansprüche

1. Unipolares radiales Magnetlager (15) mit einem Stator (10) mit in ≥ 3 Polen (9; 9a, 9b, 9c) und n Magnetspulen (11a, 11c), wobei an n Polen (9a, 9c) jeweils eine Magnetspule (11a, 11c) angebracht ist, wobei $n < m$ gilt und die Magnetspulen (11a, 11c) so ansteuerbar sind, dass eine vektorielle Summe der magnetischen Flüsse (φ_a , φ_b , φ_c) mindestens durch alle Pole (9; 9a, 9b, 9c) im Wesentlichen Null ist.

2. Magnetlager (15) nach Anspruch 1, bei dem jede der Magnetspulen (11a, 11c) eine einzelne um den jeweiligen Pol (9a, 9c) gewickelte Wicklung aufweist.

3. Magnetlager (15) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Pole (9a, 9b, 9c) winkelsymmetrisch um eine Drehachse (L) des Magnetlagers (15) angeordnet sind.

4. Magnetlager (15) nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit $n = m - 1$ Magnetspulen (11a, 11c).

5. Magnetlager (15) nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit $m = 3$ Polen (9; 9a, 9b, 9c).

6. Magnetlager (15) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner aufweisend eine Sensorvorrichtung zur Bestimmung einer relativen Position eines Rotors (12) zum Stator (10) und aufweisend eine Steuerschaltung zur Einstellung der elektrischen Ströme (I_a , I_c) in den Spulen (9a, 9c) auf der Grundlage einer mittels der Sensorvorrichtung ermittelten Position des Rotors (12), um die Position des Rotors

FIG 3

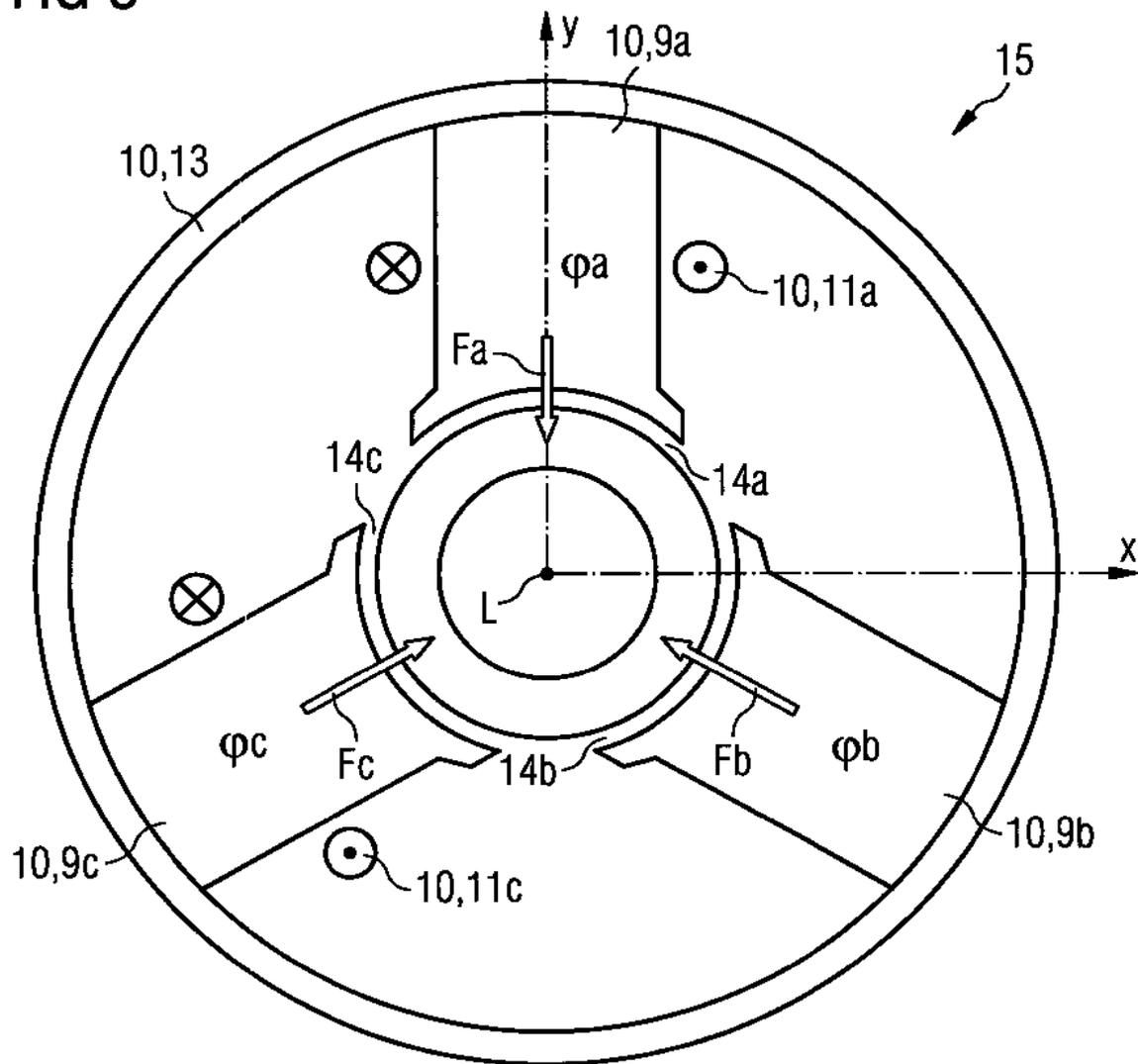


FIG 4

