



(10) **DE 10 2010 003 675 A1** 2011.10.13

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 003 675.7**

(22) Anmeldetag: **07.04.2010**

(43) Offenlegungstag: **13.10.2011**

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

(71) Anmelder:

**Siemens Aktiengesellschaft, 80333, München, DE**

(72) Erfinder:

**Bott, Erich, 97618, Hollstadt, DE; Mader, Daniel,  
97616, Bad Neustadt, DE; Vollmer, Rolf, 36129,  
Gersfeld, DE; Riesen, Dirk van, Dr., 97941,  
Tauberbischofsheim, DE**

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

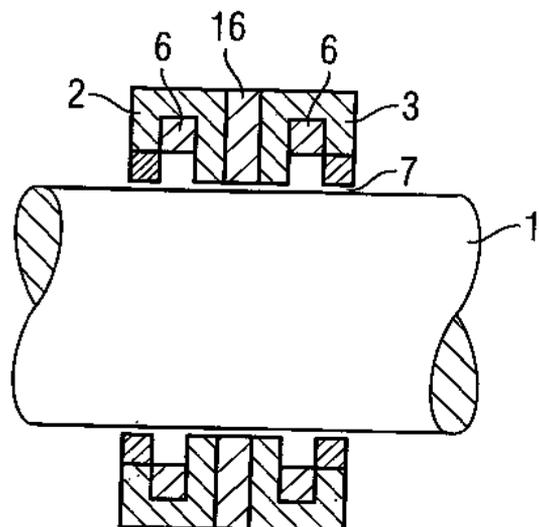
<b>DE</b>	<b>101 64 435</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2008 014 684</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>29 923 199</b>	<b>U1</b>
<b>US</b>	<b>2006 / 0 055 260</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>5 514 924</b>	<b>A</b>
<b>WO</b>	<b>90/ 14 525</b>	<b>A1</b>
<b>CN</b>	<b>201 412 450</b>	<b>Y</b>

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Magnetisches Radiallager**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Magnetlager (13) zur Radiallagerung eines um einen Drehachse rotierenden Elementes (1) mit zumindest einem ersten und einem zweiten Lagerelement (2; 3), von denen jedes – zumindest ein magnetisches Polpaar (4; 5) zur Erzeugung eines magnetischen Feldes, das in einem Luftspalt (7), der das rotierende Element (1) vom Magnetlager beabstandet, radial gerichtet ist, – ein Mittel (6) zur Erzeugung eines homopolaren, radial gerichteten Magnetfeldes im Luftspalt (7), welches dem Magnetfeld des magnetischen Polpaares (4; 5) überlagerbar ist, aufweist, wobei das magnetische Polpaar (4) des ersten Lagerelementes (2) in Drehrichtung betrachtet gegenüber dem magnetischen Polpaar (5) des zweiten Lagerelementes (3) um einen von 180° verschiedenen Verdrehwinkel versetzt angeordnet ist. Das so aufgebaute Magnetlager (13) zeichnet sich durch eine besonders einfache Herstellbarkeit aus.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Magnetlager zur Radiallagerung eines um einen Drehachse rotierenden Elementes. Bei dem rotierenden Element handelt es sich insbesondere um die Welle einer dynamoelektrischen Maschine.

**[0002]** Herkömmliche hydrodynamische Gleitlager und Kugellager sind in vielen Einsatzgebieten nicht oder nur mit Einschränkungen anwendbar. Überall dort, wo Verschleiß- und Schmiermittelfreiheit erforderlich ist bzw. erhebliche Anforderungen an die Sauberkeit eines Systems gestellt werden, sind Magnetlager diesen berührungsbehafteten Lagermethoden deutlich überlegen. Als Anwendungsgebiete sind hier beispielsweise die Vakuumtechnik, Werkzeug- und Turbomaschinen zu nennen.

**[0003]** Ein Magnetlager hat einen komplexen mechatronischen Aufbau und umfasst in der Regel Elektromagnete, die unter Zuhilfenahme von Sensoren, Reglern und Leistungsverstärkern derart ansteuerbar sind, dass eine schwebende Lagerung eines Objektes auch unter Einflussnahme von Störgrößen ermöglicht wird.

**[0004]** **Fig. 7** zeigt ein aus dem Stand der Technik bekanntes Magnetlager. Dargestellt ist die Welle **16** eines Rotors einer elektrischen Maschine, die stirnseitig des Rotorblechpaketes jeweils von einem Magnetlager radial gehalten wird. Das Magnetlager weist Spulen **17** auf, deren Wickelrichtung axial und tangential zur Welle verläuft. Diese Wicklungen werden derart angesteuert, dass die Welle **16** auf Grund der von den Spulen erzeugten Anziehungskräfte stets in der Schwebe bleibt. Dies geschieht durch geeignete Regelung des von den Spulen **17** erzeugten Magnetfeldes bezüglich der zwei senkrecht zur Rotorachse der Welle orientierten Raumkoordinaten.

**[0005]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein einfach herzustellendes Magnetlager zur Radiallagerung eines um eine Drehachse rotierenden Elementes anzugeben.

**[0006]** Diese Aufgabe wird durch ein Magnetlager mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Ein solches Magnetlager zur Radiallagerung eines um eine Drehachse rotierenden Elementes umfasst zumindest ein erstes und ein zweites Lagerelement, von denen jedes

- zumindest ein magnetisches Polpaar zur Erzeugung eines magnetischen Feldes, das in einem Luftspalt, der das rotierende Element vom Magnetlager beabstandet, radial gerichtet ist,

- ein Mittel zur Erzeugung eines homopolaren, radial gerichteten Magnetfeldes im Luftspalt, welches dem Magnetfeld des magnetischen Polpaars überlagerbar ist,

aufweist, wobei das magnetische Polpaar des ersten Lagerelementes in Drehrichtung betrachtet gegenüber dem magnetischen Polpaar des zweiten Lagerelementes um einen von  $180^\circ$  verschiedenen Verdrehwinkel versetzt angeordnet ist.

**[0007]** Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind den abhängigen Patentansprüchen zu entnehmen.

**[0008]** Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass sich der Herstellungsaufwand für ein Magnetradiallager erheblich vereinfachen lässt, wenn für die aus dem Stand der Technik bekannte elektromagnetische Erzeugung des radial gerichteten Luftspaltfeldes, welches zur schwebenden Lagerung des rotierenden Elementes benötigt wird, eine Alternative gefunden wird, die weniger Wicklungsaufwand erzeugt. Die erfindungsgemäße Alternative liegt darin, dass für jeweils eine zur Drehachse senkrecht orientierte Raumkoordinate ein magnetisches Polpaar vorgesehen ist, welches im Luftspalt ein radial gerichtetes Magnetfeld erzeugt. Prinzipiell erzeugt ein solches Magnetfeld wie auch im Stand der Technik eine Anziehungskraft auf das zu lagernde rotierende Element, bei dem es sich insbesondere um eine Welle handeln kann. Die beiden von den magnetischen Polpaaren erzeugten Luftspaltfelder sind nicht parallel oder antiparallel zueinander orientiert sondern um einen Verdrehwinkel versetzt zueinander orientiert, wobei dieser in vorteilhafter Ausgestaltung  $90^\circ$  beträgt. Somit erzeugt das magnetische Polpaar des ersten Lagerelementes eine magnetische Kraftwirkung auf das rotierende Element, welche weder parallel noch antiparallel zu der Kraftwirkung gerichtet ist, die das magnetische Polpaar des zweiten Lagerelementes bewirkt. Durch die von den magnetischen Polpaaren der zwei Lagerelemente erzeugten Kraftvektoren lässt sich mathematisch gesprochen einzweidimensionaler Vektorraum aufspannen. Die diesem Vektorraum entsprechende Ebene ist wiederum senkrecht zur Drehachse des rotierenden Elementes gerichtet.

**[0009]** Den von den magnetischen Polpaaren erzeugten magnetischen Feldern ist ein homopolares, radial gerichtetes Magnetfeld im Luftspalt überlagerbar. Je nach Orientierung dieses homopolaren Feldes verstärkt es das von den magnetischen Polpaaren erzeugte Luftspaltfeld in gewissen Bereichen und schwächt es in anderen Bereichen. Betrag und Polarität des homopolaren Feldes können somit genutzt werden, die im Luftspalt herrschenden Anziehungskräfte zu verändern.

**[0010]** In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung sind die magnetischen Polpaare durch Permanentmagnete ausgebildet. Auf diese Art und Weise wird bereits eine Anziehungskraft im Luftspalt stromlos erzeugt, die dem Betrage nach zur berührungslosen Lagerung des rotierenden Elementes ausreicht. Da jedoch ein stabiler Zustand durch die Permanentmagnete allein prinzipiell nicht hergestellt werden kann, ist eine Regelung des Luftspaltfeldes mit Hilfe der Mittel zur Erzeugung eines homopolaren, radial gerichteten Magnetfeldes vorgesehen.

**[0011]** In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung sind diese Mittel als bestrombare Spulen ausgebildet, die die Drehachse und das rotierende Element konzentrisch umgeben. Eine derartige Spule erzeugt zunächst ein axial gerichtetes Feld, welches sich jedoch im Bereich der Spulenden in radialer Richtung schließt. In diesem Bereich überlagert sich das Spulenfeld mit dem Feld der Permanentmagnete. Das Spulenfeld ist im Luftspalt homopolar, so dass sich die angesprochene Verstärkung bzw. Schwächung des von den Permanentmagneten erzeugten Luftspaltfeldes einstellt.

**[0012]** Im Gegensatz zu Magnetlagern, die ausschließlich mit einem Radialfluss arbeiten, werden bei der erfindungsgemäßen Lagerung geringere Eisenverluste hervorgerufen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Eindringtiefe des magnetischen Feldes in die Welle deutlich geringer ist als bei ausschließlich radialfelderzeugenden Spulen. Weiterhin zeichnet sich das erfindungsgemäße Magnetlager durch eine hohe Kraftdichte aus, da insbesondere die Erzeugung des homopolaren Feldes mit Hilfe einer Ringspule eine kompakte Bauform ermöglicht. Da keine Wickelköpfe vorhanden sind, wie es bei aus dem Stand der Technik bekannten Magnetlagern, deren Wicklungen axial und tangential zur Welle gerichtet sind, unvermeidbar ist, sind auch die Verluste des erfindungsgemäßen Magnetlagers vergleichsweise gering.

**[0013]** Ein guter Wirkungsgrad wird bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung dadurch erreicht, dass die Spulen jeweils in ein ringförmiges, weichmagnetisches U-Profil eingelegt sind, welches ein von den Spulen erzeugtes Axialfeld derartig im Bereich des Luftspaltfeldes umlenkt, dass es dort in besagtes homopolares, radial gerichtetes Luftspaltfeld übergeht.

**[0014]** Vorteilhafter Weise ist das magnetische Polpaar jedes Lagerelementes am jeweiligen U-Profil angeordnet. Somit sind die Magnete direkt am Wirkluftspalte angeordnet, über den auch das von der Spule erzeugte Homopolarfeld in die Radialrichtung umgelenkt wird. Alternativ können die Permanentmagnete aber auch im U-Profil an beliebiger Stelle im Flussleitpfad angeordnet werden.

**[0015]** Jedes Lagerelement stellt funktionell ein Modul dar, mit dem das magnetische Feld in einer senkrecht zur Wellenachse bzw. zur Achse des rotierenden Elementes orientierten Richtung regelbar ist. So umfasst jedes Modul insbesondere ein magnetisches Polpaar mit mindestens einem Permanentmagneten und einer Ringspule. Insbesondere dann, wenn eine hohe magnetische Kraftdichte allein durch Permanenterrregung erwünscht ist, kann eine Ausgestaltung der Erfindung vorteilhaft sein, bei der in axialer Richtung betrachtet an jedem U-Profil jeweils ein weiteres Polpaar angeordnet ist, wobei die Spule zwischen dem jeweiligen Polpaar und dem weiteren Polpaar angeordnet ist und das jeweilige Polpaar gegenüber dem weiteren Polpaar desselben Lagerelementes einen Drehwinkel von 180° aufweist. Mit Hilfe der Spule wird das resultierende Magnetfeld in beiden Wirkluftspalten, die sich durch die beidseitige Anordnung des Polpaares und des weiteren Polpaares ergeben, beeinflusst.

**[0016]** Eine stabile Lagerung des rotierenden Elementes wird in vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung dadurch erreicht, dass das Magnetlager einen Radialsensor zur Erzeugung einer Lageinformation, die die Lage des rotierenden Elementes beschreibt, und eine Reglereinheit zur Bestromung zumindest einer der Spulen in Abhängigkeit der Lageinformation aufweist.

**[0017]** Eine ungewollte Beeinflussung der von den beiden Lagerelementen erzeugten magnetischen Felder wird vorteilhafter Weise dadurch vermieden, dass die Lagerelemente durch ein amagnetisches Distanzstück in axialer Richtung voneinander beabstandet sind. In alternativer Ausgestaltung der Erfindung sind die Lagerelemente durch einen weiteren Luftspalt in axialer Richtung voneinander beabstandet.

**[0018]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher beschrieben und erläutert. Es zeigen:

**[0019]** **Fig. 1** eine Ausführung der erfindungsgemäßen Lagerung in einem axialen Schnitt,

**[0020]** **Fig. 2** die Ausführung gemäß **Fig. 1** in einer ersten Aufsicht,

**[0021]** **Fig. 3** die Ausführung nach **Fig. 2** in einer zweiten Aufsicht,

**[0022]** **Fig. 4** eine dreidimensionale Schnittdarstellung eines Magnetlagers gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung,

**[0023]** **Fig. 5** eine weitere Ausführungsform des Magnetlagers mit jeweils zwei axial benachbarten magnetischen Polpaaren pro Lagerelement,

[0024] **Fig. 6** eine Darstellung einer Magnetlagerung mit Regelung und Sensorik und

[0025] **Fig. 7** ein aus dem Stand der Technik bekanntes Magnetlager.

[0026] **Fig. 1** zeigt eine Ausführung der erfindungsgemäßen Lagerung in einem axialen Schnitt. Bei dem zu lagernden rotierenden Element **1** handelt es sich um eine Welle, auf die ein Blechpaket einer dynamoelektrischen Maschine aufgeschraubt ist. Dieses nicht dargestellte Blechpaket ist in einem ebenfalls nicht dargestellten Statorgehäuse angeordnet. Die erfindungsgemäße Lagerung ist hierbei vollkommen unabhängig von dem Maschinentyp der dynamoelektrischen Maschine.

[0027] Das Magnetlager fixiert die Welle in radialer Richtung. Es umfasst ein erstes Lagerelement **2** und ein zweites Lagerelement **3**. Beide Lagerelemente **2, 3** sind jeweils zur Regelung der Anziehungskraft in einer senkrecht zur Drehachse orientierte Raumkoordinate vorgesehen. Die beiden Lagerelemente **2, 3** sind um  $90^\circ$  verdreht zueinander angeordnet, so dass sich auch die regelbaren Krafrichtungen im Wesentlichen um  $90^\circ$  voneinander unterscheiden. Besagte Richtungen spannen somit einen zweidimensionalen Vektorraum auf, so dass mit Hilfe der Lagerelemente **2, 3** innerhalb einer senkrecht zur Drehachse orientierten Ebene sämtliche Kraftvektoren einstellbar sind.

[0028] **Fig. 1** ist weiterhin zu entnehmen, dass jedes Lagerelement **2, 3** eine Spule **6** umfasst, die im Inneren eines U-Profiles aus weichmagnetischem Material angeordnet ist. Jede dieser Spulen **6** erzeugt zunächst ein axial gerichtetes Magnetfeld, d. h. ein Magnetfeld, welches im Zentrum jeder Spule in Richtung der Wellenachse orientiert ist.

[0029] Dieses Feld schließt sich jedoch jeweils im Bereich des Luftspaltes **7**, in radialer Richtung. Dort ist es homopolar ausgerichtet. D. h., sämtliche Magnetfeldvektoren verlaufen entweder zum Mittelpunkt der Welle gerichtet oder entgegengesetzt hierzu.

[0030] Ferner umfasst jedes Lagerelement **2, 3** Permanentmagnete **4, 5**. Diese sind besonders gut in den in **Fig. 2** und **Fig. 3** dargestellten Aufsichten erkennbar. **Fig. 2** zeigt hierbei eine Aufsicht auf das zweite Lagerelement **3**, während **Fig. 3** eine Aufsicht auf das erste Lagerelement **2** darstellt. In den **Fig. 2** und **Fig. 3** ist ferner sehr gut zu erkennen, dass die Permanentmagnete **4, 5** im Luftspalt **7** ein Magnetfeld mit der Polpaarzahl **1** erzeugen. Diesem Magnetfeld ist jeweils das von der Spule **6** erzeugte Magnetfeld überlagert, welches im Luftspalt **7** unterhalb der ringförmigen Permanentmagnete **4, 5** homopolar verläuft. Das bedeutet, dass das von der Spule **6** erzeugte Magnetfeld das Magnetfeld der Permanentmagne-

te **4, 5** unter einem Pol jeweils verstärkt während es das Magnetfeld unter dem anderen Pol abschwächt. Durch den Betrag und die Orientierung des homopolaren Magnetfeldes lassen sich auf diese Weise das resultierende Magnetfeld regeln und die elektromagnetische Anziehungskraft entsprechend einstellen.

[0031] Somit gehören jeweils eine Spule **6** mit dem U-Profiligen Flussleitkörper und den dargestellten Permanentmagneten **4, 5** zu einer magnetischen Achse. Jedes Lagerelement **2, 3** definiert um  $90^\circ$  mechanisch versetzt zueinander orientierte Achsen, deren Regelbarkeit die stabile Lagerung der Welle ermöglicht.

[0032] Damit sich die von den Lagerelementen **2, 3** erzeugten Magnetfelder nicht gegenseitig beeinflussen und somit die besagte Regelung stören, sind die beiden Lagerelemente **2, 3** durch ein Distanzstück **16** voneinander beabstandet, welches amagnetische Eigenschaften aufweist.

[0033] **Fig. 4** zeigt eine dreidimensionale Schnittdarstellung eines Magnetlagers gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung. Auch hier besteht das Magnetlager aus zwei Lagerelementen, wobei jedes Lagerelement eine Spule **6** und einen ringförmigen Permanentmagneten umfasst. Auch hier ist die ringförmig ausgebildete Spule **6** jeweils in ein U-Profil **8, 9** eingebettet, welches zum Leiten des von der Spule **6** erzeugten magnetischen Flusses vorgesehen ist. Die Wirkungsweise des dargestellten Magnetlagers entspricht der bereits im Zusammenhang mit **Fig. 1** bis **Fig. 3** diskutierten.

[0034] Im Unterschied zu der Ausführungsform gemäß **Fig. 1** sind die Lagerelemente des in **Fig. 4** dargestellten Magnetlagers durch einen weiteren Luftspalt **11** voneinander beabstandet. Aufgrund des hohen magnetischen Leitwertes, welches die U-Profile **8, 9** aufweisen, ist der magnetische Fluss in dem Bereich zwischen den beiden Lagerelementen radial gerichtet, so dass keine ungewünschte Beeinflussung der von den Spulen **6** hervorgerufenen Magnetfelder stattfindet.

[0035] **Fig. 5** zeigt eine weitere Ausführungsform eines Magnetlagers mit jeweils zwei axial benachbarten magnetischen Polpaaren pro Lagerelement. Die Art der Darstellung entspricht der aus **Fig. 1**.

[0036] Das Polpaar **4**, welches wie in den Abbildungen zuvor ringförmig ausgebildet ist, ist von der Polarität entgegengesetzt zu dem weiteren Polpaar **10** orientiert. Aufgrund dieser Anordnung wirkt das von der Spule **6** erzeugte Homopolarfeld im Bereich des Luftspaltes in der oberen Hälfte des Magnetlagers auf beide dort angeordnete Pole gleich. D. h., das Magnetfeld der oberen Magnete wird durch die Spule **6** entweder für beide Magnete wie hier dargestellt ver-

stärkt oder für beide Magnete geschwächt. Entsprechendes gilt für die beiden unteren Magnete der beiden magnetischen Polpaare.

[0037] **Fig. 6** zeigt eine Darstellung einer Magnetlagerung mit Regelung und Sensorik. Ein Magnetlager **13** umfasst wie in den Abbildungen zuvor bereits dargestellt zwei Lagerelemente, die in axialer Richtung betrachtet über einen Luftspalt voneinander beabstandet sind und jeweils ein mit einem Permanentmagnet erzeugtes Polpaar sowie eine Ringspule umfassen. Die Ringspulen des Magnetlagers werden über eine geeignete Stromrichterschaltung bestromt, die wiederum ihren einzuprägenden Strom als Sollwert von einer Reglereinheit **14** bekommt. Diese Reglereinheit **14** erhält eine Lageinformation von einem Radiallagesensor **12**. Die Abweichung eines Istwertes dieser Lage von einem Sollwert, der in der Regel einer konzentrischen Anordnung der Welle in einem Statorgehäuse entspricht, wird von der Regeleinheit **14** in einen Stromsollwert überführt, der einer Spule **6** des Magnetlagers einzuprägen ist.

[0038] Um auch im stromlosen Zustand eine Lagerung der Welle zu ermöglichen, sind Fanglager **15** vorgesehen, die im Normalbetrieb, d. h. während des aktiven Betriebs des Magnetlagers **13**, jedoch entlastet sind.

### Patentansprüche

1. Magnetlager (**13**) zur Radiallagerung eines um eine Drehachse rotierenden Elementes (**1**) mit zumindest einem ersten und einem zweiten Lagerelement (**2; 3**), von denen jedes  
 – zumindest ein magnetisches Polpaar (**4; 5**) zur Erzeugung eines magnetischen Feldes, das in einem Luftspalt (**7**), der das rotierende Element (**1**) vom Magnetlager beabstandet, radial gerichtet ist,  
 – ein Mittel (**6**) zur Erzeugung eines homopolaren, radial gerichteten Magnetfeldes im Luftspalt (**7**), welches dem Magnetfeld des magnetischen Polpaares (**4; 5**) überlagerbar ist,  
 aufweist, wobei das magnetische Polpaar (**4**) des ersten Lagerelementes (**2**) in Drehrichtung betrachtet gegenüber dem magnetischen Polpaar (**5**) des zweiten Lagerelementes (**3**) um einen von  $180^\circ$  verschiedenen Verdrehwinkel versetzt angeordnet ist.

2. Magnetlager (**13**) nach Anspruch 1, wobei die magnetischen Polpaare (**4; 5**) durch Permanentmagnete ausgebildet sind.

3. Magnetlager (**13**) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Mittel (**6**) zur Erzeugung des homopolaren Feldes als bestrombare Spule ausgebildet sind, die die Drehachse und das rotierende Element (**1**) konzentrisch umgeben.

4. Magnetlager (**13**) nach Anspruch 3, wobei die Spulen jeweils in ein ringförmiges, weichmagnetisches U-Profil (**8; 9**) eingelegt sind, welches ein von den Spulen erzeugtes Axialfeld derartig im Bereich des Luftspaltes (**7**) umlenkt, dass es dort in besagtes homopolares, radialgerichtetes Luftspaltfeld übergeht.

5. Magnetlager (**13**) nach Anspruch 3 oder 4, wobei das magnetische Polpaar (**4; 5**) jedes Lagerelementes (**2; 3**) am jeweiligen U-Profil angeordnet ist.

6. Magnetlager (**13**) nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei in axialer Richtung betrachtet an jedem U-Profil (**8; 9**) jeweils ein weiteres Polpaar (**10**) angeordnet ist, wobei die Spule zwischen dem jeweiligen Polpaar (**4; 5**) und dem weiteren Polpaar (**10**) angeordnet ist und das jeweilige Polpaar (**4; 5**) gegenüber dem weiteren Polpaar (**10**) desselben Lagerelementes (**2; 3**) einen Verdrehwinkel von  $180^\circ$  aufweist.

7. Magnetlager (**13**) nach einem der Ansprüche 3 bis 6 mit einem Radialsensor (**12**) zur Erzeugung einer Lageinformation, die die Lage des rotierenden Elementes (**1**) beschreibt, und einer Reglereinheit (**14**) zur Bestromung zumindest einer der Spulen in Abhängigkeit der Lageinformation.

8. Magnetlager (**13**) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Lagerelemente (**2; 3**) durch ein amagnetisches Distanzstück (**16**) in axialer Richtung voneinander beabstandet sind.

9. Magnetlager (**13**) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Lagerelemente (**2; 3**) durch einen weiteren Luftspalt (**11**) in axialer Richtung voneinander beabstandet sind.

10. Magnetlager (**13**) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das magnetische Polpaar (**4**) des ersten Lagerelementes (**2**) in Drehrichtung betrachtet gegenüber dem magnetischen Polpaar (**5**) des zweiten Lagerelementes (**3**) um  $90^\circ$  versetzt angeordnet ist.

11. Dynamoelektrische Maschine mit mindestens einem Magnetlager (**13**) nach einem der vorherigen Ansprüche.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

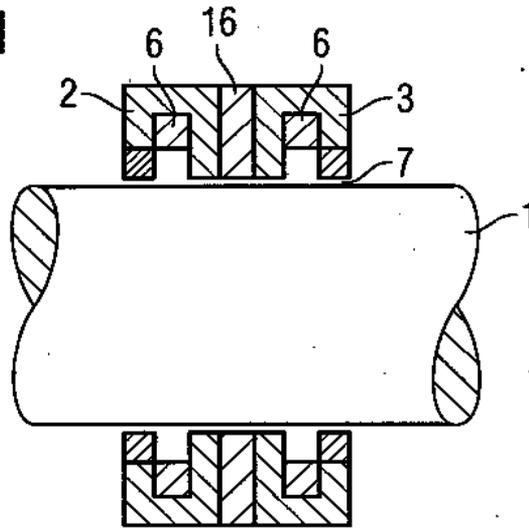


FIG 2

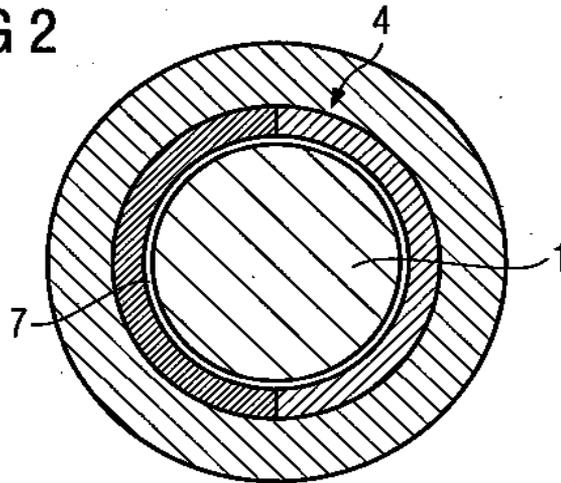


FIG 3

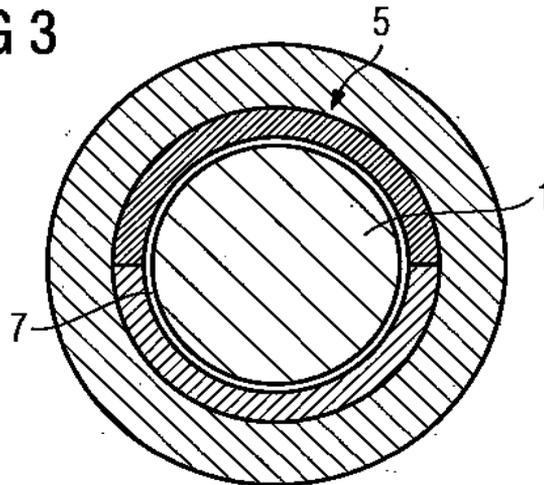


FIG 4

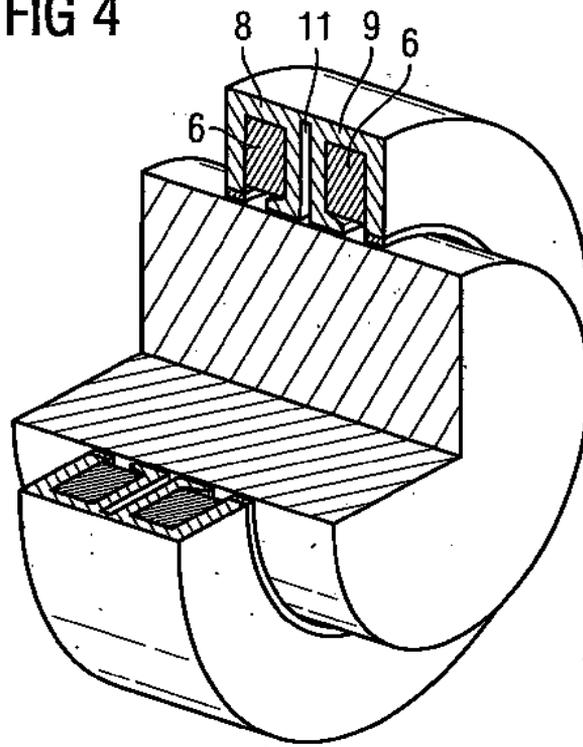


FIG 5

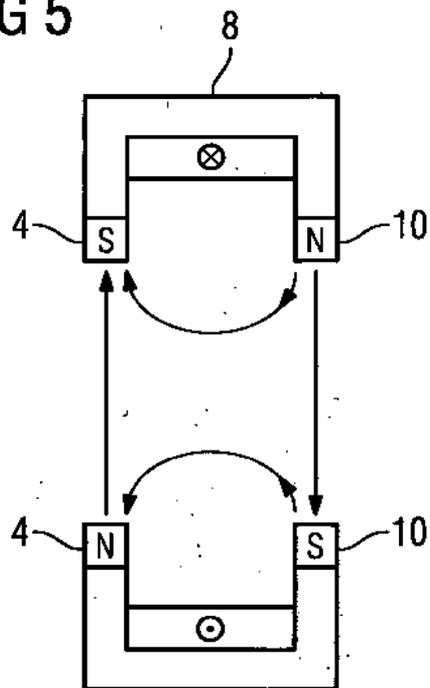


FIG 6

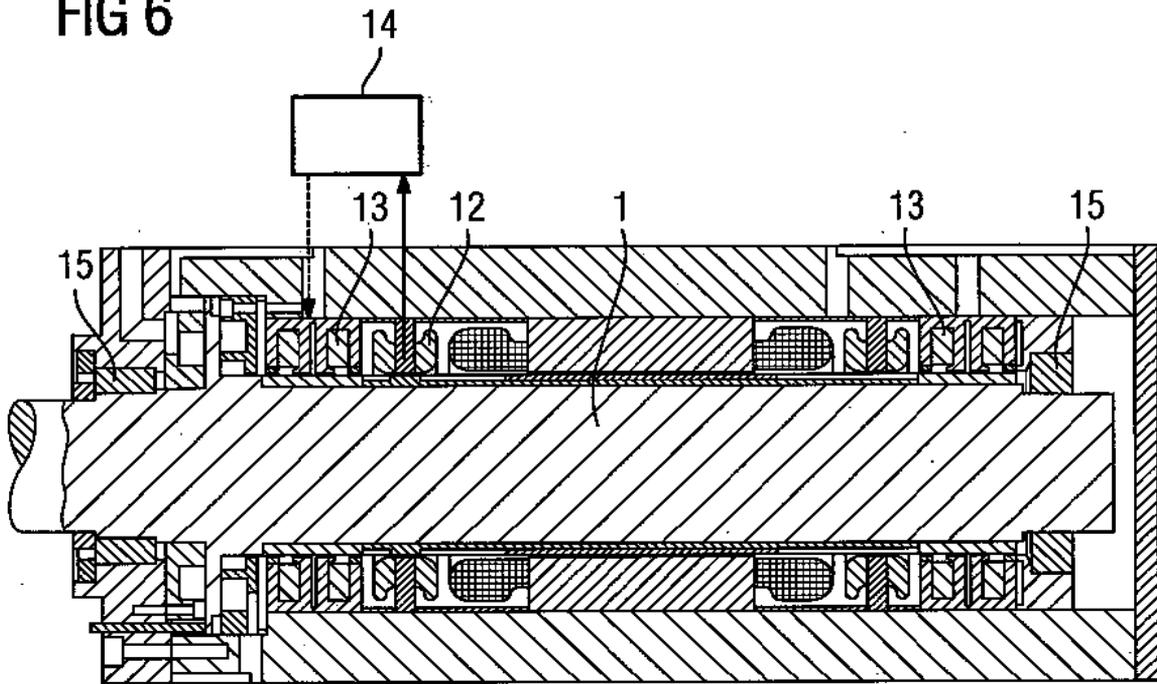


FIG 7

