



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 44 23 492 A 1**

51 Int. Cl.⁶:
F 16 C 32/04

21 Aktenzeichen: P 44 23 492.9
22 Anmeldetag: 5. 7. 94
43 Offenlegungstag: 11. 1. 96

DE 44 23 492 A 1

71 Anmelder:
Elektrische Automatisierungs- und Antriebstechnik
EAAT GmbH Chemnitz, 09120 Chemnitz, DE

72 Erfinder:
Budig, P.-K., Prof. Dr.sc.techn. Dr.h.c., 09122
Chemnitz, DE; Böhmer, Wolfgang, Dr.-Ing., 09358
Wüstenbrand, DE; Werner, Ralf, Dr.-Ing., 09117
Chemnitz, DE

54 **Permanentmagnetisches Radiallager für Rotoren**

57 Die Anordnung eines permanentmagnetischen Lagers weist eine höhere Lagersteifigkeit und geringere Axialkräfte als bekannte Konstruktionsprinzipien auf. Es sind auf dem Rotor keine Permanentmagneten erforderlich. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß für die permanentmagnetischen Radiallager eisengeschlossene Magnetkreise mit Statorpolschuhen sowie ein ferromagnetischer Rotor verwendet werden. In die Statorpolschuhe und den Rotor sind konzentrische Ringnuten eingearbeitet, welche sich bei Rotorsollage genau gegenüberstehen. Lagerkraft und Lagersteifigkeit lassen sich durch die Wahl geeigneter Abmessungen der Ringnuten sowie der Luftspatillänge optimieren. Elektrisch leitfähige Zentrierringe verbessern die Dämpfungseigenschaften des Lagers.

DE 44 23 492 A 1

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zum berührungslosen Lagern von Rotoren in radialer Richtung mit Hilfe von permanentmagnetisch erzeugten Kräften.

Stand der Technik

Permanentmagnetische Lager dienen zur berührungslosen Lagerung von Körpern. Dazu werden die Kraftwirkungen im Magnetfeld von Permanentmagneten ausgenutzt. Permanentmagnetische Lager lassen sich der Gruppe der passiven Magnetlager zuordnen. Für ihren Betrieb wird im allgemeinen keine Hilfsenergie benötigt. Der zu lagernde Körper wird durch eine geeignete Polung der Permanentmagnete an den Bewegungsträgern in einem stabilen Gleichgewicht geführt, ohne daß es dazu weiterer Regeleinrichtung bedarf.

Daher zeichnen sich die passiven permanentmagnetischen Lager durch einen einfachen und kompakten Aufbau, eine sehr gute Störsicherheit und geringste Betriebskosten infolge der nicht benötigten Hilfsenergie aus. Die Anwendung derartiger Lagerungen erstreckt sich vor allem auf Rotoren mit geringen Massen und kleinen Störkräften, sehr hohen Drehzahlen, großen Luftspalten und Rotoren im Vakuum, bei denen nur äußerst geringe Lagerverluste zulässig sind.

Konstruktionen für permanentmagnetische Lager sind u. a. in der Literatur/Schweitzer: "Magnetlager" beschrieben.

Nachteilig wirkt sich bei allen bisher bekanntgewordenen Konstruktionen die geringere Lagersteifigkeit aus, die nur mit großem Aufwand durch überdimensionierte Permanentmagnete erhöht werden kann und auch dann für viele Anwendungsfälle, bei denen ein exakt zentrischer Lauf gefordert wird, nicht ausreicht.

Außerdem werden bei den meisten permanentmagnetischen Lagerungen Magnete auf dem bewegten Lagerteil (Rotor) benötigt. Dadurch ergeben sich vor allem bei hohen Drehzahlen Festigkeitsprobleme bei den meist spröden Magnetwerkstoffen, so daß besondere Maßnahmen wie Bandagen erforderlich werden. Zudem ist die Befestigung der Magnete auf der Welle schwierig, da im wesentlichen nur Verklebungen in Frage kommen.

Ein weiterer schwerwiegender Nachteil der bekannten permanentmagnetischen Lager sind die starken Magnetkräfte in der nicht gelagerten Achse. So erzeugen permanentmagnetische Radiallager sehr starke Axialkräfte, die ein Mehrfaches der maximalen Radiallagerlast betragen, die Axiallagerung des Rotors belasten und dort den Verschleiß und die Energieverluste erhöhen.

Ziel der Erfindung:

Ziel der Erfindung ist es, ein permanentmagnetisches Radiallager zu schaffen, welches

1. bei gleichem Magnetvolumen eine höhere Lagersteifigkeit aufweist als bekannte Konstruktionsprinzipien,
2. auf dem bewegten Lagerteil keine Permanentmagnete benötigt und
3. nur geringe Axialkräfte erzeugt.

Diese Ziele werden mit den Mitteln der beschriebenen Erfindung erreicht.

Der Magnetkreis der beschriebenen Radiallager besteht im wesentlichen aus einem magnetischen Rückschlußrohr (1), zwei Abdeckscheiben (2a, 2b), zwei Permanentmagneten (3a, 3b), zwei Statorpolschuhen (4a, 4b) und dem Rotorteil (5). Das Rotorteil (5) ist auf der Welle (6) befestigt (siehe Fig. 1). Die Permanentmagnete (3a, 3b) haben einen kreisringförmigen Querschnitt und sind in axialer Richtung magnetisiert. Sie sind gleichsinnig gepolt, so daß sich ihre Durchflutungen addieren. Um die Montage des Magnetsystems zu erleichtern, werden die Ringmagnete (3a, 3b) und die Statorpolschuhe (4a, 4b) von zwei Zentrierringen (7a, 7b) umfaßt. Diese Zentrierringe bestehen aus einem nicht magnetisierbaren Material.

In die Statorpolschuhe und in das auf der Welle befestigte Rotorteil sind Nuten in Form von konzentrischen Ringen eingebracht. Dabei stehen sich jeweils die entstehenden Zähne und Nuten in der Sollage des Rotors genau gegenüber. Der prinzipielle Aufbau eines ausgeführten Funktionsmusters ist aus Fig. 1 ersichtlich.

Der magnetische Fluß, der von den im Stator befindlichen Permanentmagneten angetrieben wird, verläuft in axialer Richtung durch die Ringmagnete (3a, 3b), die Statorpolschuhe (4a, 4b), die Luftspalte und das Rotorteil (5). Der magnetische Rückschluß erfolgt über die beiden Abdeckscheiben (2a, 2b) und das Rückschlußrohr (1). Im Luftspalt konzentriert sich der magnetische Fluß bei zentrischer Rotorlage (Sollage) zwischen den ringförmigen Zähnen von Statorpolschuhen und Rotorteil. In diesen Bereichen herrschen daher wesentlich höhere magnetische Flußdichten als zwischen den Nutbereichen. Damit konzentriert sich die magnetische Energie vor allem zwischen den ringförmigen Zähnen.

Je stärker die Änderung der magnetischen Energie des Luftspaltes bei Verschiebung des Rotors aus seiner Sollage ist, desto größer werden die Lagerkraft und die Lagersteifigkeit bei konstantem Magnetvolumen. Es ist ersichtlich, daß mit kleiner werdender Zahnbreite b die Änderung der magnetischen Energie des Luftspaltes bei Verschiebung des Rotors aus seiner Sollage zunimmt. Auf diese Weise gelingt es, Lagersteifigkeit und Lagerkraft wesentlich zu erhöhen.

Um die konstruktiven Voraussetzungen für maximale Lagerkraft einerseits und geringe Lagerabmessungen andererseits zu schaffen, ist es zweckmäßig, den Quotienten aus Nutbreite b und Nuttiefe t in der Nähe von 1 zu wählen. Des weiteren sollte das Verhältnis zwischen Nutbreite b und den Luftspaltlängen δ_1 bzw. δ_2 zwischen 3...5 liegen. Eine weitere Verbesserung ist durch eine Schrägung der Zahnflanken von ca. 15 Grad möglich.

Da das beschriebene permanentmagnetische Radiallager ausschließlich auf der Wirkung von Reluktanzkräften beruht und der Magnetfluß von den im Stator befindlichen Magneten erzeugt wird, sind auf dem Rotor keine weiteren Magnete erforderlich. Das vereinfacht die Rotorkonstruktion erheblich und trägt entscheidend zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit bei. Das Auswuchten des Rotors wird einfacher. Das ist vor allem bei hochtourigen Anwendungen interessant.

Dadurch, daß beide Luftspalte von annähernd dem gleichen Magnetfluß durchsetzt werden, sind die Anziehungskräfte zwischen den Statorpolschuhen und dem Rotorteil in beiden Lagerhälften gleich groß. Diese Anziehungskräfte wirken in axialer Richtung. Die Summe der beiden Luftspaltlängen und damit der gesamte ma-

gnetische Widerstand des Magnetkreises sind unabhängig von einer etwaigen axialen Rotorverschiebung. Unterschiede zwischen den Magnetflüssen in den beiden Luftspalten können nur durch Streuflüsse zum Rückschlußrohr oder zur eventuell ferromagnetischen Welle entstehen. Durch ausreichend große Abstände und die Optimierung der Magnetkreisgeometrie lassen sich diese Streuflüsse reduzieren. Auf diese Weise erreicht man, daß sich die Anziehungskräfte in beiden Lagerhälften zumindest teilweise kompensieren, da sie einander entgegengerichtet sind. Im Ergebnis dessen entsteht ein permanentmagnetisches Radiallager, welches nur geringe Axialkräfte erzeugt. Vorteilhaft ist dabei die Tatsache, daß die Welle und die Axiallagerung nur mit geringen Axialkräften belastet werden, wodurch Verschleiß und Lagerverluste verringert werden.

Eine Dämpfung von radialen Schwingungen des Rotors ist mittels elektrisch gut leitfähiger Zentrierringe (7a, 7b) (z. B. aus Kupfer) möglich. Diese bilden dann eine Kurzschlußwindung und werden vom gesamten magnetischen Hauptfluß durchsetzt. Bei Änderung des Magnetflusses wird in den Ringen eine Spannung induziert. Der dann fließende Induktionsstrom wirkt entsprechend der Lenz'schen Regel seiner Ursache entgegen und dämpft die radialen Schwingungen.

axialen Rotorlage ist.

7. Permanentmagnetisches Radiallager gemäß Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Zentrierringe (7a, 7b), welche aus elektrisch leitendem und nicht ferromagnetischem Material bestehen die Ringmagnete (3a, 3b) und die Statorpolschuhe (4a, 4b) umfassen und somit zur Dämpfung der radialen Rotorschwingungen beitragen.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

Patentansprüche

1. Permanentmagnetisches Radiallager für Rotoren bestehend aus einem Stator mit Ringmagneten und mindestens einem Rotorteil, dadurch gekennzeichnet, daß

- das gesamte Lager aus einem eisengeschlossenen magnetischen Kreis mit mindestens zwei Luftspalten besteht,
- die Ringmagnete (3a, 3b) in axialer Richtung gleichsinnig magnetisiert sind,
- die Ringmagnete mit Polschuhen (4a, 4b) abgedeckt sind,
- die Polschuhe mit konzentrischen Ringnuten versehen sind,
- der Rotor (5) aus einem weichmagnetischen, ferromagnetischen Material besteht,
- der Rotor mit konzentrischen Ringnuten versehen ist, welche bei Rotormittellage den Ringnuten der Polschuhe im Stator gegenüberstehen;

2. Permanentmagnetisches Radiallager gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl und die Abmessungen der Ringnuten entsprechend der geforderten Lagerkraft und Lagersteifigkeit gewählt sind.

3. Permanentmagnetisches Radiallager gemäß Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzielung einer maximalen Lagerkraft das Verhältnis von Nutbreite und Nuttiefe etwa 1 beträgt.

4. Permanentmagnetisches Radiallager gemäß Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzielung einer maximalen Lagerkraft das Verhältnis von Nutbreite zu Luftspaltlänge etwa 3 bis 5 beträgt.

5. Permanentmagnetisches Radiallager gemäß Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Flanken der Ringnuten geschrägt sind.

6. Permanentmagnetisches Radiallager gemäß Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß beide Luftspalte vom gleichen Magnetfluß durchsetzt werden, welcher weitgehend unabhängig von der

- Leerseite -

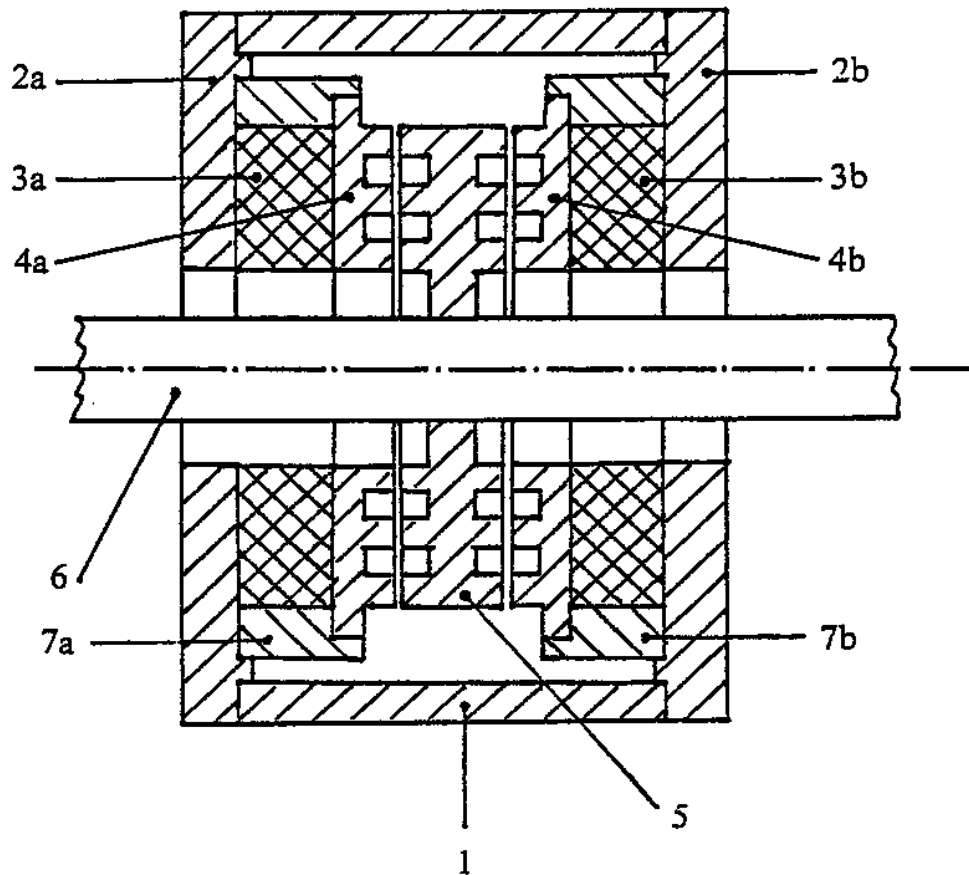


Fig. 1: Prinzipieller Aufbau eines Ausführungsbeispiels des permanentmagnetischen Radiallagers

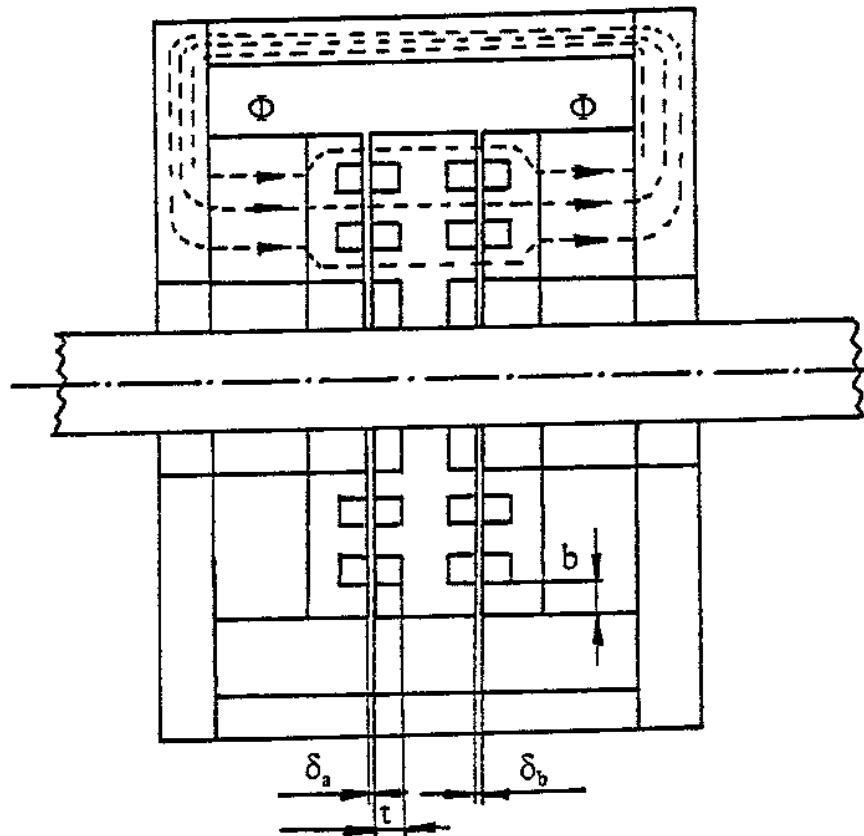


Fig. 2: Verlauf des magnetischen Flusses und wichtige Abmessungen des permanentmagnetischen Radiallagers