



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① CH 693 648 A5

⑤ Int. Cl.⁷: F 16 C 032/04

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑰ Gesuchsnummer: 02201/02

⑳ Anmeldungsdatum: 23.12.2002

㉔ Patent erteilt: 28.11.2003

㉕ Patentschrift veröffentlicht: 28.11.2003

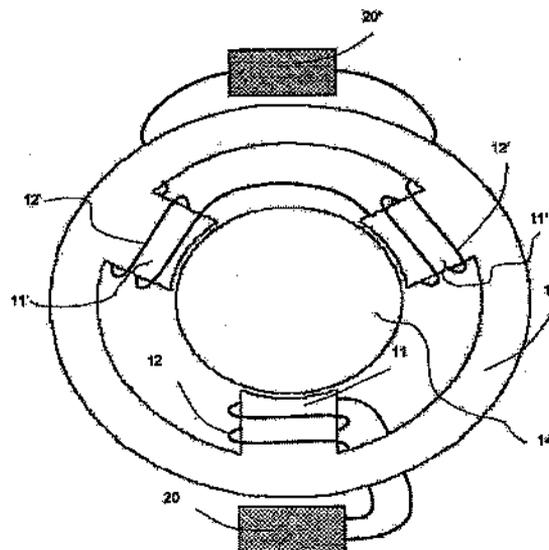
㉗ Inhaber:
National Chung Cheng University
160 San-Hsing Min-Hsiung
Chia-Yi 621 (TW)

㉘ Erfinder:
Shyh-Leh Chen, 2F 162 Yong-Fu Rd.,
Chi-Tu, Keelung 206 (TW)
Chan-Tang Hsu
1-30, 518 Lane 3rd Sec. Chung Shan Rd.
Changhua 500 (TW)

㉙ Vertreter:
Patentanwaltsbüro Dr. Urs Falk, Eichholzweg 9A
6312 Steinhausen (CH)

⑤④ Aktives magnetisches Lager.

⑤⑦ Ein aktives magnetisches Lager, mit einem Stator (10) mit drei in radialer Richtung im gleichmässigen Winkelabstand am Inneren des Stators (10) angeordneten magnetischen Polzähnen (11, 11'), wobei jeder Polzahn (11, 11') mit einer Wicklung (12, 12') umwickelt ist, mit einem Rotor (14), und mit Leistungstransistormodulen (20, 20') für die Beaufschlagung der Wicklungen (12, 12') mit Strömen zeichnet sich dadurch aus, dass zwei der drei Wicklungen (12') gegensinnig gewickelt und in Reihe geschaltet sind und dass ein erstes Leistungstransistormodul (20') für die Beaufschlagung der beiden in Reihe geschalteten Wicklungen (12') mit einem ersten Strom und ein zweites Leistungstransistormodul (20) für die Beaufschlagung der dritten Wicklung (12) mit einem zweiten Strom vorhanden ist.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein aktives magnetisches Lager der im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Art.

Ein typisches herkömmliches Kugellager, dessen Drehgeschwindigkeit auf Grund der Reibung zwischen den Komponenten beschränkt ist, ist nicht geeignet für mit Hochdrehgeschwindigkeit zu drehende Maschinenteile. Das weiterentwickelte Hydrolager erlaubt zwar eine höhere Drehgeschwindigkeit, erfüllt jedoch die Erfordernisse der Industrie auch nicht. Das später entwickelte 8-polige aktive magnetische Lager ist mit acht in radialer Richtung gleich beabstandeten Polzähnen in seinem Inneren aufgebaut. Ein Steuergerät steuert die durch die Wicklungen fliessenden elektrischen Ströme und kontrolliert die magnetische Kraft der Pole, die den in der Mitte in der Längsrichtung angeordneten Rotor zum Drehen antreibt. Das 8-polige aktive magnetische Lager ermöglicht eine sehr hohe Drehgeschwindigkeit, wird jedoch auf Grund der extrem hohen Kosten in der Industrie kaum verwendet.

Die oben genannten hohen Vorrichtungskosten lassen sich wie folgt begründen: Ein 8-poliges aktives magnetisches Lager benötigt vier Leistungstransistormodule zum Steuern der durch die Wicklungen fliessenden elektrischen Ströme. Zwei benachbarte magnetische Polzähne bilden ein Polzahnpaar. Vier unabhängige magnetische Polzahnpaare sind auf den vier Richtungen eines kartesischen Koordinatensystems angeordnet, um so in vier Richtungen gerichtete magnetische Kräfte zu erzeugen, die unabhängig voneinander wirken. Diese Geometrie erleichtert die Konstruktion des Steuergerätes, das die Leistungstransistormodule steuert. Jedoch benötigt jedes Polzahnpaar jeweils ein Leistungstransistormodul, welches als der wesentliche Kostenfaktor des magnetischen Lagers gilt.

Die Anzahl der Leistungstransistormodule kann verringert sowie die dadurch verursachten Herstellungskosten können gesenkt werden, wenn jeweils die beiden einander gegenüberliegend angeordneten Polzahnpaare gemäss der differentiellen Windungsmethode (in der Fachwelt bekannt als «differential winding») verdrahtet werden, sodass sie von einem gemeinsamen Leistungstransistormodul gesteuert werden können. Bei der Verwendung dieser differentiellen Windungsmethode müssen aber zusätzliche Vorspannungswicklungen auf die Polzahnpaare aufgewickelt werden, die sich unabhängig von den an die Leistungstransistormodule angeschlossenen Wicklungen mit einem Strom beaufschlagen lassen. Diese Konstruktion mit zwei voneinander unabhängigen Wicklungen bewirkt aber eine drastische Erhöhung der durch den elektrischen Widerstand erzeugten Wärme. Die Erwärmung wiederum bewirkt eine Verminderung der Permeabilität. Um eine Verminderung der Permeabilität zu vermeiden, ist zusätzlich ein Kühlsystem nötig. In der Praxis führt deshalb die Anwendung der differentiellen Windungsmethode beim 8-poligen magnetischen Lager nicht zu einer Kostensenkung.

Aus der DE 10 019 761 ist ein aktives magnetisches Radiallager mit drei magnetischen Polzähnen

bekannt. Jeder Polzahn ist mit einer elektrischen Wicklung umwickelt, die von einem zugeordneten Leistungstransistormodul mit Strom beaufschlagt wird.

Das herkömmliche 3-polige aktive magnetische Lager basiert auf der Annahme, dass die Luftspalte zwischen dem Rotor und den drei Polzähnen gleichförmig sind. Infolgedessen werden die drei Wicklungen mittels einer Dreiphasen-Stromregelschaltung betrieben. Die Annahme, dass die Luftspalte gleich gross sind, ist nur gültig, wenn die Lageabweichungen des Rotors klein sind. Infolgedessen ist der steuerbare Bereich der Lageabweichungen des Rotors klein. In der Praxis können die Lageabweichungen des Rotors während des Betriebs aber gross sein. Das konventionelle 3-polige aktive magnetische Lager ist deshalb in der Praxis ohne grossen Nutzen. Das 3-polige aktive magnetische Lager leidet unter dem Problem magnetischer Kopplung, weshalb die Dynamik des Systems stark nicht-linear ist. Im Besonderen hängen die magnetischen Kräfte nicht-linear von den Lageabweichungen des Rotors und den Steuerströmen ab. Des Weiteren beeinflusst die Orientierung der drei Polzähne die Steuerströme, die durch die Wicklungen der drei Polzähne fliessen, und beeinflusst auch die Anzahl der benötigten Leistungstransistormodule. Zu beachten ist, dass auch die Wärmeerzeugung von den Steuerströmen abhängt. Wenn die Schwerkraft in vertikaler Richtung wirkt, muss das magnetische Lager auch das Gewicht des Rotors tragen. In diesem Fall resultiert beim konventionellen 3-poligen aktiven magnetischen Lager mit einem in horizontaler Richtung gerichteten Polzahn und mit einer Dreiphasen-Stromsteuerung keine minimale Wärmeerzeugung. Ohne Verwendung der Dreiphasen-Stromsteuerung ist die Anzahl der erforderlichen Leistungstransistormodule jedoch drei.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, die oben beschriebenen Nachteile zu beheben und ein aktives magnetisches Lager zu entwickeln, das weitere Kosteneinsparungen ermöglicht.

Ein erfindungsgemässes aktives magnetisches Lager mit einem Stator mit drei in radialer Richtung in gleichmässigem Winkelabstand am Inneren des Stators angeordneten magnetischen Polzähnen, wobei jeder Polzahn mit einer Wicklung umwickelt ist, mit einem Rotor, und mit Leistungstransistormodulen für die Beaufschlagung der Wicklungen mit Strömen zeichnet sich dadurch aus, dass zwei der drei Wicklungen gegensinnig gewickelt und in Reihe geschaltet sind und dass ein erstes Leistungstransistormodul für die Beaufschlagung der beiden in Reihe geschalteten Wicklungen mit einem ersten Strom und ein zweites Leistungstransistormodul für die Beaufschlagung der dritten Wicklung mit einem zweiten Strom vorhanden ist.

Die Struktur, Eigenschaften sowie die Zwecke der Erfindung werden nachfolgend anhand eines durch Figuren veranschaulichten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht eines aktiven magnetischen Lagers mit drei Polzähnen, und

Fig. 2 das aktive magnetische Lager in geschnittener Darstellung und in Aufsicht.

Die Fig. 1 zeigt eine perspektivische Ansicht eines aktiven magnetischen Lagers mit einem Stator 10 aus magnetischem Material und mit drei magnetischen Polzähnen 11. Die drei magnetischen Polzähne 11 sind auf der Innenfläche des Stators 10 aufgebaut und verteilen sich in radialer Richtung in gleichem Abstand über den Vollkreis. Die drei magnetischen Polzähne 11 sind somit nicht auf einem Halbkreis auf der Innenfläche des Stators 10 angeordnet. Auf jeden magnetischen Polzahn 11 ist jeweils eine Wicklung 12 aufgewickelt. Die Wicklungen 12 sind wie in der Fig. 2 gezeigt mit zwei Leistungsstanzistormodulen 20, 20' verbunden. Für die Steuerung der Leistungsstanzistormodule 20, 20' ist eine Steuereinheit mit einer nichtlinearen Kennlinie vorgesehen.

Die Fig. 2 zeigt schematisch und in Aufsicht das aktive magnetische Lager und die Verdrahtung der drei Wicklungen 12, 12'. Die drei magnetischen Polzähne 11, 11' sind in radialer Richtung und jeweils in gleichmässigem Winkelabstand von 120° auf der Innenseite des kreisförmigen Stators 10 aufgebaut. Die Wicklungen 12' von zwei magnetischen Polzähnen 11' sind gegensinnig gewickelt, in Reihe geschaltet und mit einem einzigen Leistungsstanzistormodul 20' verbunden. Die dritte Wicklung 12 ist mit einem zweiten Leistungsstanzistormodul 20 verbunden. Daher werden insgesamt nur zwei Leistungsstanzistormodule 20 und 20' benötigt, um die magnetische Kraft zum Kontrollieren der Position des Rotors zu steuern. Für die Steuerung der Leistungsstanzistormodule 20 und 20' müssen demnach nur zwei Steuersignale gebildet werden. Muss auch das Gewicht des Rotors 14 beim Betrieb des aktiven magnetischen Lagers abgestützt werden, muss das aktive magnetische Lager nur in diejenige Richtung gedreht werden, in der der separat mit dem Leistungsstanzistormodul 20 gesteuerte Polzahn 11 unterhalb der beiden anderen, elektrisch verbundenen Polzähne 11' angeordnet und senkrecht zur Horizontalen aufgestellt ist, d.h. der einzeln erregte Polzahn 11 und die beiden anderen, durch die elektrisch in Reihe geschalteten Wicklungen 12' erregten Polzähne 11' werden in einer Y-Form aufgestellt. So lässt sich die durch den elektrischen Widerstand erzeugte Wärme nochmals drastisch reduzieren.

Eine Zusatzwicklung für die Einspeisung eines Vorspannungsstroms ist nicht nötig, weshalb keinerlei durch elektrischen Widerstand verursachte Wärmeleitungsprobleme entstehen. Da der vergleichsweise niedrige Pegel der Ströme zu geringen Kupferverlusten führt, können die Herstellungskosten des aktiven magnetischen Radiallagers gesenkt werden.

Im Vergleich mit dem 8-poligen oder dem konventionellen 3-poligen aktiven magnetischen Lager des Standes der Technik ergibt diese Konstruktion die folgenden Vorteile:

1. Die Remagnetisierungsfrequenz ist niedriger: Die durch die Variation des magnetischen Feldes induzierte Frequenz, die jede Umdrehung des Rotors in dieser 3-poligen Konstruktion des aktiven magnetischen Lagers erfährt, beträgt nur die Hälfte der eines 8-poligen magnetischen Lagers. Deshalb ist der damit verbundene Verlust im Eisen niedriger als bei der 8-poligen Konstruktion. Ferner wird wegen des

geringeren Verlusts im Eisen auch weniger Wärme erzeugt, und der Einfluss auf die Permeabilität wird reduziert.

2. Der Verlust im Kupfer der Wicklungen ist niedriger: Ein nicht-lineares Steuergerät ermöglicht kleine Vorspannungsströme, während das im Stand der Technik bekannte 3-polige Lager vergleichsweise hohe Vorspannungsströme benötigt.

3. Durch die Verringerung der Anzahl der Polzähne wird weniger Platz im Inneren des Stators des aktiven magnetischen Lagers benötigt. Der frei werdende Platz kann in verschiedener Hinsicht genutzt werden:

(1) Weitere Sensoren können installiert werden, um so genannte Nicht-Kollokationsphänomene (non-collocation) zu vermeiden.

(2) Der eingesparte Platz erleichtert die Wärmeableitung, sodass die Temperatur des aktiven magnetischen Lagers deutlich reduziert wird.

(3) Die Anzahl der Windungen der Wicklungen auf den Polzähnen kann erhöht und/oder die Querschnittsfläche des für die Wicklungen verwendeten Drahts oder die Querschnittsfläche des magnetischen Polzahns kann vergrößert werden, um die erzeugte Wärme zu vermindern oder die erzeugte Wärme besser abzuleiten.

(4) Zeit und Kosten für die Herstellung des aktiven magnetischen Lagers werden auf Grund der geringeren Anzahl der Polzähne und der geringeren Anzahl der Wicklungen reduziert.

Patentanspruch

1. Aktives magnetisches Lager, mit einem Stator (10) mit drei in radialer Richtung in gleichmässigem Winkelabstand am Inneren des Stators (10) angeordneten magnetischen Polzähnen (11, 11'), wobei jeder Polzahn (11, 11') mit einer Wicklung (12, 12') umwickelt ist, mit einem Rotor (14), und mit Leistungsstanzistormodulen (20, 20') für die Beaufschlagung der drei Wicklungen (12, 12') mit Strömen, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Wicklung (12') gegensinnig gewickelt und in Reihe geschaltet sind und dass ein erstes Leistungsstanzistormodul (20') für die Beaufschlagung der beiden in Reihe geschalteten Wicklungen (12') mit einem ersten Strom und ein zweites Leistungsstanzistormodul (20) für die Beaufschlagung der dritten Wicklung (12) mit einem zweiten Strom vorhanden ist.

Fig. 1

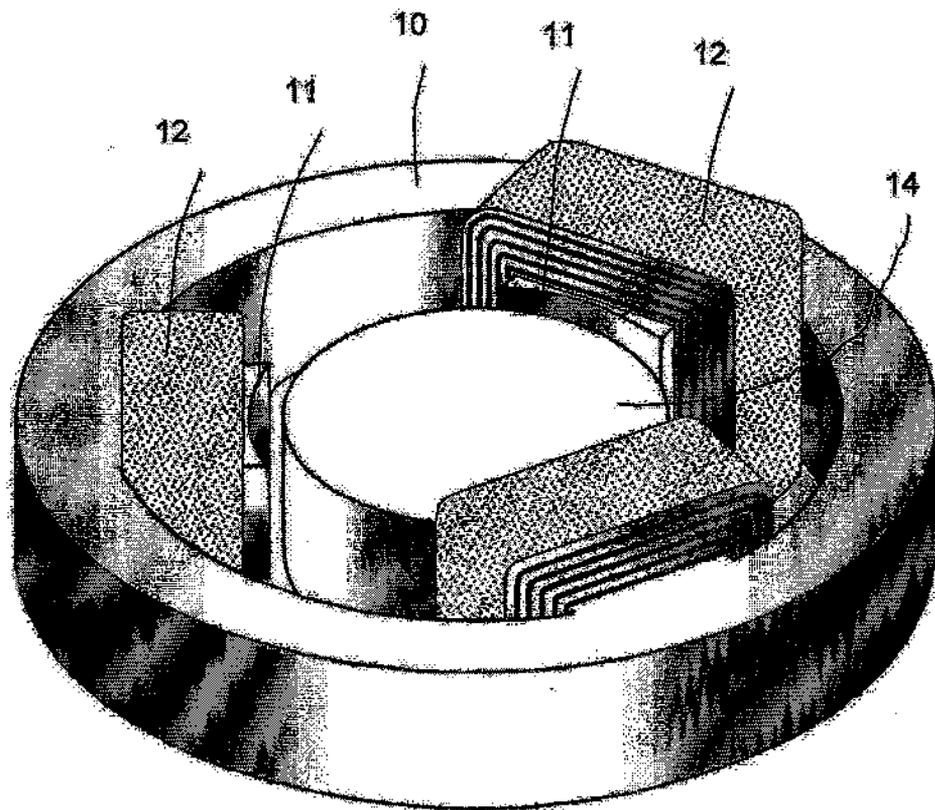


Fig. 2

