



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 100 19 761 A 1**

61 Int. Cl. 7:
F 16 C 32/04
H 02 K 1/12
H 02 K 3/28

21 Aktenzeichen: 100 19 761.2
22 Anmeldetag: 20. 4. 2000
43 Offenlegungstag: 7. 12. 2000

DE 100 19 761 A 1

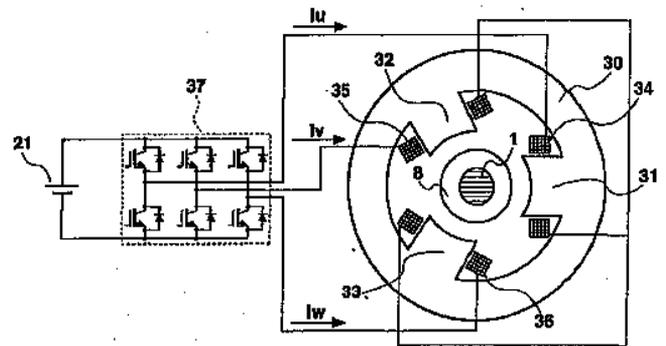
30 Unionspriorität:
11-121310 28. 04. 1999 JP
11-157203 04. 06. 1999 JP
71 Anmelder:
Okuma Corp., Nagoya, Aichi, JP
74 Vertreter:
TER MEER STEINMEISTER & Partner GbR
Patentanwälte, 81679 München

72 Erfinder:
Hayashi, Yasukazu, Aichi, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Magnetisches Radiallager

57 Bei einem magnetischen Radiallager ist ein Stator (30) durch Auflaminieren eines magnetischen Materials, wie einer Siliciumstahlplatte, in der Längsrichtung aufgebaut, und er ist mit drei gleich beabstandeten Polzähnen (31, 32 und 33) in seinem Inneren versehen. Auf die Polzähne sind Wicklungen (34, 35 und 36) aufgewickelt. Die Wicklungen sind in Y-Schaltung verbunden, und sie sind mit einem Leistungstransistormodul 37 mit sechs Leistungs-transistoren verbunden. Im Leistungstransistormodul (37) werden dreiphasige elektrische Ströme der Phase U, der Phase V und der Phase W, die durch die Wicklungen fließen, durch Schaltungssteuerung der sechs Leistungs-transistoren im Leistungstransistormodul durch Impuls-breitenmodulation oder dergleichen gesteuert. Dieses magnetische Radiallager verfügt über einfache Struktur und wenige Leistungstransistoren zum Steuern des elektrischen Stroms.



DE 100 19 761 A 1

Die Erfindung betrifft ein magnetisches Radiallager, das die Position einer Rotationsachse usw. in radialer Richtung magnetisch kontrollieren kann, ohne mit dem Kontrollobjekt in Berührung zu stehen.

Fig. 6 ist eine perspektivische Ansicht eines typischen herkömmlichen Magnetlageraufbaus. Ein Rotationsmotor 4 sorgt für schnelle Drehung einer Achse 1. Magnetische Längslager 2 und 6 halten die Position der Achse 1 in der Längsrichtung, und magnetische Radiallager 3 und 5 halten die Position der Achse 1 in der radialen Richtung.

Fig. 7 zeigt einen Querschnitt durch das herkömmliche magnetische Radiallager aus der Längsrichtung sowie den Anschlusszustand eines Leistungstransistors zum Liefern von elektrischem Strom an das Radiallager. In der Figur sind keine Schaltungen zum Ansteuern der Basisanschlüsse der Leistungstransistoren dargestellt. Ein Rotor 8 verfügt über Zylinderform, er ist durch Auflaminieren kreisförmiger Siliciumstahlplatten mit einem Loch in der Mitte in der Längsrichtung aufgebaut und er ist durch Aufschumpfen auf der Achse 1 befestigt. Ein Stator 7 ist durch Auflaminieren von Siliciumstahlplatten in der Längsrichtung aufgebaut, und er ist in seinem Inneren mit acht Polzähnen 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 und 16 mit gleichen gegenseitigen Abständen versehen. Auf vier Polzahnpaare 9 und 10, 11 und 12, 13 und 14 sowie 15 und 16, die jeweils in den vier Richtungen des Stators 7 liegen, sind Wicklungen 17, 18, 19 bzw. 20 aufgewickelt, um vier Elektromagnete in den vier Richtungen zu bilden.

Die Wicklungen 17, 18, 19 und 20 sind mit Leistungstransistormodulen 22, 23, 24 und 25 verbunden. Jedes Leistungstransistormodul beinhaltet, wie es für das Leistungstransistormodul 22 dargestellt ist, vier Leistungstransistoren 26, 27, 28 und 29 in Brückenschaltung. Jedes Leistungstransistormodul führt eine Schaltsteuerung für vier Transistoren, die in diesem Modul enthalten sind, durch Impulsbreitenmodulation aus, um die Menge des durch die Wicklungen 17, 18, 19 und 20 fließenden elektrischen Stroms zu steuern, um das Paar von Polzähnen zu erregen, auf das die Wicklung aufgewickelt ist. Wenn die Polzähne erregt sind, wird zwischen den Polzähnen und dem Rotor 8 eine anziehende magnetische Kraft erzeugt, und diese Kraft wird am Rotor 8 zum Paar Polzähne gerichtet, durch die der elektrische Strom fließt. So kann durch Steuern des durch jeden der in den vier Richtungen positionierten vier Elektromagnete fließenden Stroms die Auslenkung der Achse 1 des Rotors 8 gesteuert werden, und durch Erfassen der Auslenkung der Achse 1 in der radialen Richtung durch einen kontaktfreien Auslenkungssensor (nicht dargestellt) und durch Steuern des durch die Wicklungen 17, 18, 19 und 20 fließenden elektrischen Stroms zum Aufrechterhalten der erfassten Auslenkung auf einem konstanten Wert kann die Bewegung der Achse 1 in der radialen Richtung durch das Radiallager kontrolliert und eingegrenzt werden.

Theoretisch kann jedes Leistungstransistormodul 22, 23, 24 oder 25 den elektrischen Strom für eine Wicklung durch nur einen Transistor steuern. Jedoch muss bei einem Lager, das eine unmittelbare Kraft erfordert, um eine Außenkraft auf eine vorübergehende Außenkraft hin aufzuheben, an die Wicklungen ein elektrisches Umkehrpotenzial gelegt werden, um den elektrischen Strom schnell abzusenken, der einmal durch den Elektromagnet geflossen ist, und demgemäß sind für jede der Wicklungen vier Transistoren erforderlich.

Ein herkömmliches magnetisches Radiallager, wie es oben beschrieben ist, benötigt sechzehn relativ teure Leistungstransistoren zum unabhängigen Steuern der durch vier Elektromagnete fließenden elektrischen Ströme. Darüber

hinaus kann, da eine derartige Vorrichtung zum Steuern eines achtphasigen elektrischen Stroms für vier Wicklungen selten außer bei einem magnetischen Radiallager verwendet wird, das nur für sich schnell drehende Vakuumpumpen und spezielle Spindeln von Werkzeugmaschinen oder dergleichen verwendet wird, keine Kostensenkung bei Massenherstellung erzielt werden, und im Ergebnis war die Steuerungsvorrichtung für den elektrischen Strom sehr teuer. Obwohl ein Magnetlagersystem extrem gutes Funktionsvermögen als sich schnell drehendes Lager zeigt, leidet es darunter, dass die Kosten im Vergleich mit einem normalen Lagersystem unter Verwendung eines Rotationslagers extrem hoch sind. Ferner benötigt das herkömmliche Radiallager vier Arten von Windungen für jeden der acht Polzähne, was den Herstellprozess verkompliziert.

Die Erfindung soll das oben genannte Problem überwinden, und zu den Aufgaben der Erfindung gehören die folgenden: Verringern der Anzahl der Phasen des gesteuerten elektrischen Stroms; Verringern der Anzahl der Leistungstransistoren, die zum Steuern des elektrischen Stroms erforderlich sind; und Schaffen eines magnetischen Radiallagers, das eine billige Steuerungsvorrichtung für den elektrischen Strom verwendet.

Um zumindest einige der oben aufgelisteten Probleme zu überwinden, ist ein magnetisches Radiallager geschaffen, das einen Rotor aus magnetischem Material aufweist, um die Bewegung des Rotors in radialer Richtung durch eine magnetische Kraft zu kontrollieren, wobei das Lager Folgendes aufweist: einen Stator mit mehreren Polzähnen aus einem magnetischen Material, die am Umfang des Rotors mit einem gegenseitigen Abstand angeordnet sind; drei Wicklungen, die in Sternschaltung oder Dreiecksschaltung verbunden sind, um die mehreren Polzähne zu erregen; und eine dreiphasige Elektrostrom-Steuerungseinrichtung zum Steuern eines dreiphasigen elektrischen Stroms, der durch die drei Wicklungen fließt; wobei die Bewegung des Rotors in radialer Richtung durch Steuern des dreiphasigen elektrischen Stroms kontrolliert wird.

Das erfindungsgemäße magnetische Radiallager kann die Bewegung einer Achse in radialer Richtung dadurch kontrollieren, dass die Wicklungen zum Erzeugen eines Magnetflusses für die drei Polzähne in Sternschaltung oder Dreiecksschaltung verbunden werden und der dreiphasige elektrische Strom gesteuert wird.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von durch Figuren veranschaulichten Ausführungsbeispielen näher beschrieben.

Fig. 1 ist eine Figur, die einen Querschnitt eines magnetischen Radiallagers und einen Anschlusszustand gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

Fig. 2 ist ein Kurvenbild zum Erläutern des Betriebs des Lagers gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel.

Fig. 3 ist ein Schnittdiagramm eines magnetischen Radiallagers gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 4 ist ein Schnittdiagramm eines magnetischen Radiallagers gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel.

Fig. 5 ist eine Seitenansicht eines der Elektromagnete beim dritten Ausführungsbeispiel.

Fig. 6 ist eine perspektivische Ansicht einer herkömmlichen Magnetlagerstruktur.

Fig. 7 ist eine Figur, die einen Schnitt eines herkömmlichen magnetischen Radiallagers und einen Anschlusszustand zeigt.

Die bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die Diagramme beschrieben. Fig. 1 ist ein Schnittdiagramm, das ein erstes Ausführungsbeispiel in der Längsrichtung sowie den An-

schlusszustand von Leistungstransistoren zum Liefern von elektrischem Strom an das magnetische Radiallager zeigt. Komponenten, die mit solchen der Fig. 7 identisch sind, sind mit denselben Bezugszahlen angegeben und werden nicht weiter beschrieben. Fig. 2 ist ein Diagramm zum Erläutern des Betriebs der Vorrichtung des ersten Ausführungsbeispiels. Ein Stator 30 ist durch Auflaminieren magnetischen Materials wie Siliciumstahlplatten in der Längsrichtung aufgebaut, und im Inneren des Stators 30 sind mit gleichem gegenseitigem Abstand drei Polzähne 31, 32 und 33 vorhanden. Auf die Polzähne 31, 32 und 33 sind Wicklungen 34, 35 bzw. 36 aufgewickelt. Die Wicklungen 34, 35 und 36 sind mit Y-Schaltungen miteinander verbunden, und sie sind mit einem Leistungstransistormodul 37 mit sechs Leistungstransistoren verbunden. Im Leistungstransistormodul 37 werden die sechs Leistungstransistoren durch Impulsbreitenmodulation usw. einschaltgesteuert, um die dreiphasigen elektrischen Ströme I_u , I_v und I_w der Phase U, der Phase V bzw. der Phase W zu steuern, die durch die Wicklungen 34, 35 und 36 fließen. So werden von den Polzähnen 31, 32 und 33 Magnetflüsse proportional zur Stärke des elektrischen Stroms der Phase U, der Phase V bzw. der Phase W erzeugt.

Wenn der Abstand zwischen dem Rotor 8 und den Polzähnen 31, 32 und 33 konstant ist, können die magnetischen anziehenden Kräfte F_u , F_v und F_w , die auf den Rotor 8 wirken und von den Magnetflüssen an den Polzähnen 31, 32 und 33 erzeugt werden, durch die folgenden Gleichungen 1, 2 und 3 repräsentiert werden, da die magnetische anziehende Kraft proportional zum Quadrat der Magnetflussdichte ist:

$$F_u = K \cdot I_u^2 \quad (\text{Gleichung 1})$$

$$F_v = K \cdot I_v^2 \quad (\text{Gleichung 2})$$

$$F_w = K \cdot I_w^2 \quad (\text{Gleichung 3})$$

wobei K eine Proportionalitätskonstante ist.

Wenn der Ursprung in das Zentrum des Rotors 8 gesetzt wird und die Richtung der Polzähne 31 die x-Achse ist und den Winkel 0 bildet, können die x-Komponente F_x und die y-Komponente F_y der auf den Rotor 8 wirkenden Kraft durch die folgenden Gleichungen 4 und 5 repräsentiert werden:

$$F_x = F_u - \cos(\pi/3) \cdot (F_v + F_w) = K \cdot (I_u^2 - (I_v^2 + I_w^2)/2) \quad (\text{Gleichung 4})$$

$$F_y = \sin(\pi/3) \cdot (F_v - F_w) \sqrt{3} = 3 \cdot K \cdot (I_v^2 - I_w^2)/2 \quad (\text{Gleichung 5})$$

Wenn die Ströme I_u , I_v und I_w die Amplitude I aufweisen und sie sich so ändern, dass sich jeder Strom vom andern um die Phase $2\pi/3$ unterscheidet, können I_u , I_v und I_w durch die folgenden Gleichungen 6, 7 und 8 repräsentiert werden:

$$I_u = I \cdot \cos(A) \quad (\text{Gleichung 6})$$

$$I_v = I \cdot \cos(A - 2\pi/3) \quad (\text{Gleichung 7})$$

$$I_w = I \cdot \cos(A + 2\pi/3) \quad (\text{Gleichung 8})$$

Hierbei ist A der Phasenwinkel für den dreiphasigen elektrischen Strom in Bezug auf die Phase U.

Unter Verwendung der Beziehungen in den Gleichungen 6, 7 und 8 werden die Gleichungen 4 und 5 zu den folgenden

Gleichungen 9 und 10:

$$F_x = (3/4) \cdot K \cdot I^2 \cdot \cos(2A) \quad (\text{Gleichung 9})$$

$$F_y = (3/4) \cdot K \cdot I^2 \cdot \sin(2A) \quad (\text{Gleichung 10})$$

Die Stärke der Kraft F, die dadurch bestimmt wird, dass das mittlere Quadrat von F_x und F_y gebildet wird, ist durch die Gleichung 11 beschrieben:

$$F = (3/4) \cdot K \cdot I^2 \quad (\text{Gleichung 11})$$

Wie es erkennbar ist, weist die auf den Rotor 8 wirkende Kraft F einen konstanten Wert proportional zum Quadrat der Amplitude I des elektrischen Stroms unabhängig vom Winkel A des dreiphasigen elektrischen Stroms auf. Darüber hinaus wird, wenn die Richtung der auf den Rotor wirkenden Kraft durch Arcustangensberechnung der Gleichungen 9 und 10 als Winkel Θ berechnet wird, die Richtung der wirkenden Kraft das Doppelte des Phasenwinkels A des dreiphasigen elektrischen Stroms, wie es in Fig. 2 dargestellt ist. Daraus ist erkennbar, dass das in Fig. 1 dargestellte magnetische Radiallager eine Radialkraft in beliebiger Richtung dadurch erzeugen kann, dass der dreiphasige elektrische Strom gesteuert wird, was die Erzeugung einer beliebigen Kraft in beliebiger radialer Richtung in Bezug auf den Rotor 8 ermöglicht.

Wenn die Verbindung zwischen den drei Wicklungen 34, 35 und 36 des in Fig. 1 dargestellten magnetischen Radiallagers von Sternschaltung auf Dreiecksschaltung geändert wird, ist es immer noch möglich, entsprechende elektrische Ströme wie im Fall der Sternschaltung dadurch durch die drei Wicklungen zu schicken, dass die Stärke I des elektrischen Stroms des dreiphasigen elektrischen Stroms I_u , I_v und I_w sowie die Phase des Winkels A geändert werden. So kann ähnlich wie im Fall der Sternschaltung eine beliebige Kraft in einer beliebigen radialen Richtung für den Rotor 8 erzeugt werden.

Fig. 3 ist ein Schnittdiagramm eines Radiallagers in der Längsrichtung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel, bei dem das Wicklungsverfahren modifiziert ist. Im Gegensatz zum ersten Ausführungsbeispiel, bei dem die Wicklungen unmittelbar auf die Polzähne gewickelt sind, sind die Wicklungen 44, 45 und 46 beim zweiten Ausführungsbeispiel auf drei Magnetpfade gewickelt, die die drei Polzähne 31, 32 und 33 verbinden. Ähnlich wie beim in Fig. 1 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel kann das Anschlussverfahren für die Wicklungen 44, 45 und 46 die Sternschaltung oder alternativ die Dreiecksschaltung sein, wobei elektrische Ströme I_u , I_v und I_w durch die Verbindung zwischen den Wicklungen 46 und 44, 44 und 45 bzw. 45 und 46 fließen, was dem in Fig. 1 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel entspricht.

Im ersten Ausführungsbeispiel weisen die Polzähne zum Aufwickeln der Wicklung offene Struktur auf, was zu einem Vorteil dahingehend führt, dass die Wicklungen auf die drei Polzähne gewickelt werden können, nachdem sie um einen Spulenhalter usw. gewickelt wurden, und der Spulenhalter positioniert wird, wodurch der Herstellprozess vereinfacht wird. Dagegen sind beim zweiten Ausführungsbeispiel die Positionen, an denen die Wicklungen aufgewickelt werden, geschlossen, was ein unmittelbares Aufwickeln der Wicklungen auf den Stator erfordert und zu einem komplizierteren Herstellprozess führt. Jedoch zeigt das zweite Ausführungsbeispiel den Vorteil, dass das Innere des Stators belegende Wicklungsvolumen kleiner als das beim ersten Ausführungsbeispiel ist. So kann beim zweiten Ausführungsbeispiel die Magnetpfadlänge für den durch den Stator laufen-

den magnetischen Fluss verkürzt werden und die magnetischen Eigenschaften können verbessert werden.

Fig. 4 ist ein Schnittdiagramm eines magnetischen Radiallagers in der Längsrichtung, das ein drittes Ausführungsbeispiel zeigt, und Fig. 5 ist eine Seitenansicht eines der Elektromagnete beim dritten Ausführungsbeispiel. Beim dritten Ausführungsbeispiel sind zwei Polzähne 41 und 51 vorhanden, um ein Paar in der Längsrichtung zu bilden und drei Paare von Elektromagneten, die durch Aufwickeln einer Wicklung 54 auf den diese zwei Polzähne verbindenden magnetischen Pfad aufgebaut sind, sind am Umfang des Rotors 8 mit gleichem gegenseitigem Abstand positioniert, um so einen Stator zu bilden. Beim magnetischen Radiallager des dritten Ausführungsbeispiels ist zwar die Struktur des magnetischen Pfads verschieden vom ersten Ausführungsbeispiel, jedoch entspricht der Betrieb demjenigen beim ersten Ausführungsbeispiel, wenn die Wicklungen 54, 55 und 56 in Sternschaltung verbunden werden, da die durch jeden der Elektromagnete auf den Rotor 8 wirkende Kraft proportional zum Quadrat der Stärke des durch jede der Wicklungen fließenden Stroms ist.

Beim dritten Ausführungsbeispiel ist das erfindungsgemäße Radiallager durch sechs Polzähne realisiert. So ist es möglich, die Erfindung bei Lagern anzuwenden, die eine von drei verschiedene Anzahl von Polzähnen aufweisen. Beim Ausführungsbeispiel ist als Beispiel ein Rotor aus auf-laminierten Siliciumstahlplatten, die an der Achse befestigt sind, verwendet, jedoch können der Rotor und die Achse alternativ als integrierte Struktur durch ein magnetisches Material aufgebaut sein, das gute magnetische Eigenschaften aufweist, wie Permalloy.

Wie erläutert, kann beim erfindungsgemäßen magnetischen Radiallager die Anzahl von Leistungstransistoren deutlich verringert werden, und zwar von sechzehn auf sechs im Vergleich mit einem herkömmlichen Lager. Darüber hinaus werden dreiphasige Elektrostrom-Steuerungs-vorrichtungen unter Verwendung von sechs Leistungstransistoren in weitem Umfang hergestellt und zur dreiphasigen Motorsteuerung verwendet, und so können die Kosten für die Elektrostrom-Steuvorrichtung für das Magnetlager unter Verwendung dieser Vorrichtungen deutlich gesenkt werden. Ferner kann die Anzahl der Orte zum Aufwickeln der Wicklungen von acht auf drei gesenkt werden, was zu einer einfacheren Struktur und einer Senkung der Herstellkosten führt.

Patentansprüche

1. Magnetisches Radiallager zum Kontrollieren der Bewegung eines aus magnetischem Material bestehenden Rotors in radialer Richtung, das Folgendes aufweist:

- einen Stator (30) aus einem magnetischen Material mit mehreren Polzähnen (31, 32, 33), die am Umfang des Rotors mit einem gegenseitigen Abstand angeordnet sind;
- drei Wicklungen (34, 35, 36), die zum Erregen der mehreren Polzähne in Sternschaltung oder Dreiecksschaltung verbunden sind; und
- eine dreiphasige Elektrostrom-Steuer-einrichtung (37) zum Steuern eines durch die drei Wicklungen fließenden dreiphasigen elektrischen Stroms.

2. Magnetisches Radiallager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Stator (30) drei Polzähne (31, 32, 33) an seinem Umfang mit gleichem gegenseitigem Abstand aufweist und

– die drei Wicklungen (34, 35, 36) auf die drei Polzähne gewickelt sind.

3. Magnetisches Radiallager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Stator (30) drei Polzähne (31, 32, 33) an seinem Umfang mit gleichem gegenseitigem Abstand aufweist und
- die drei Wicklungen (34, 35, 36) um drei Magnetpfade, die die drei Polzähne verbinden, gewickelt sind.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

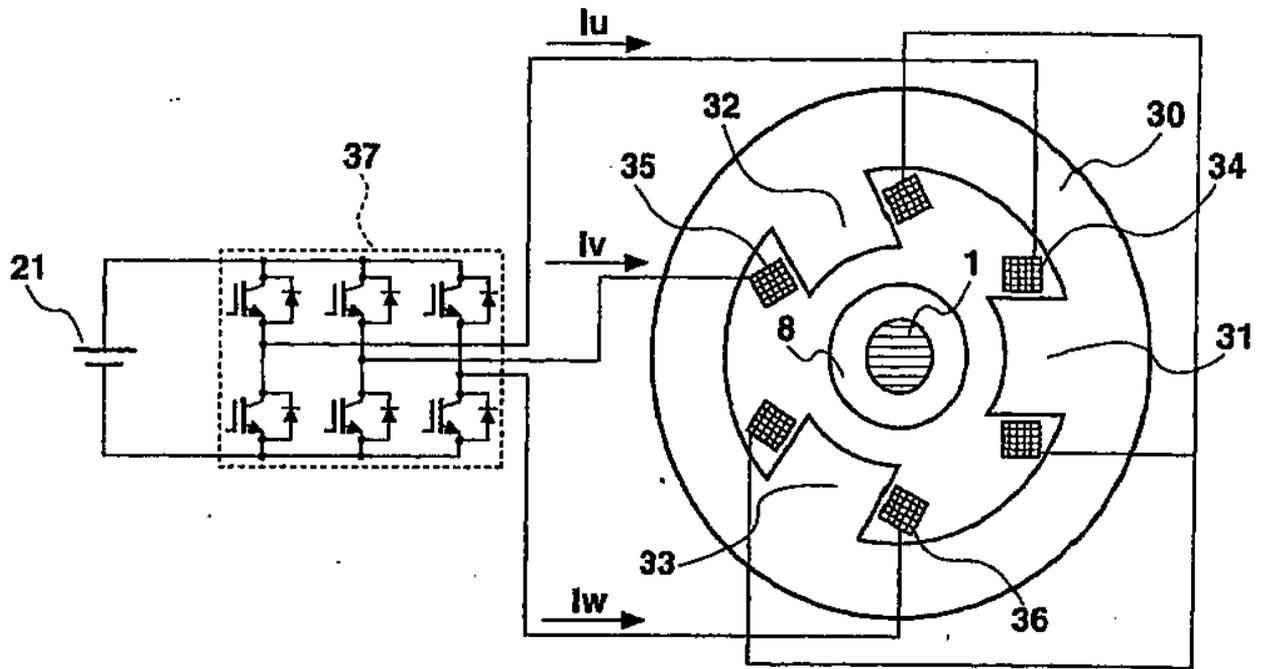


Fig. 1

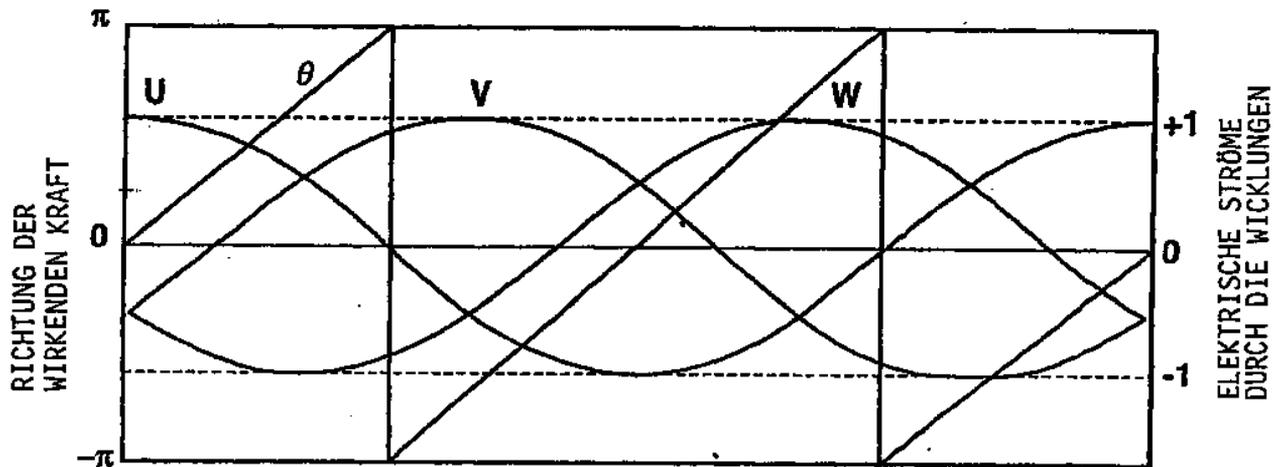


Fig. 2

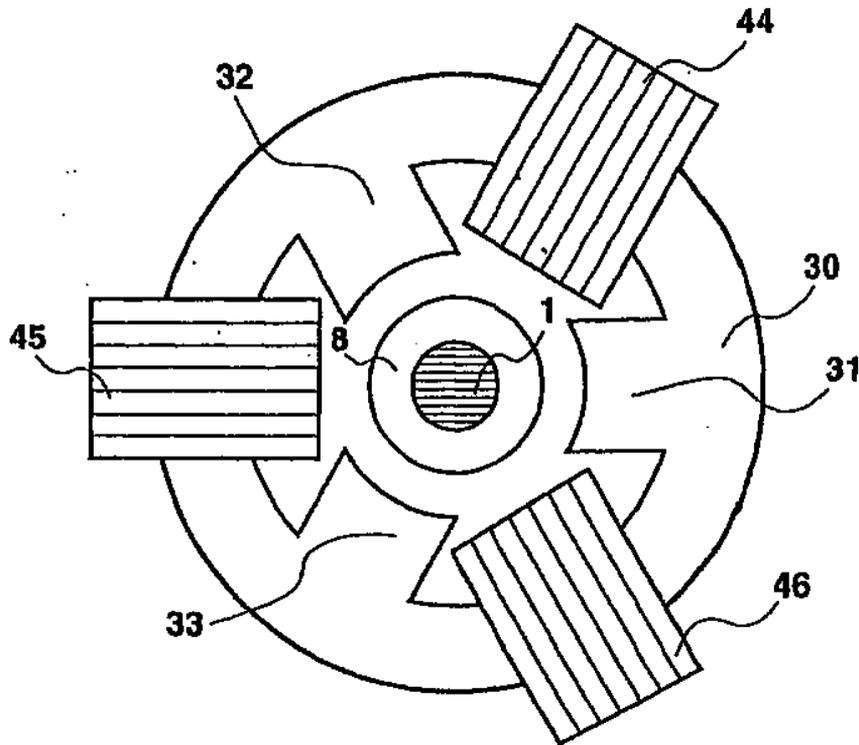


Fig. 3

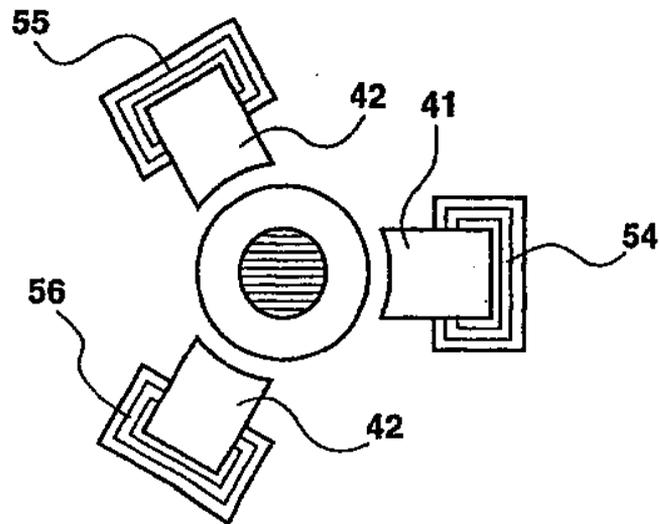


Fig. 4

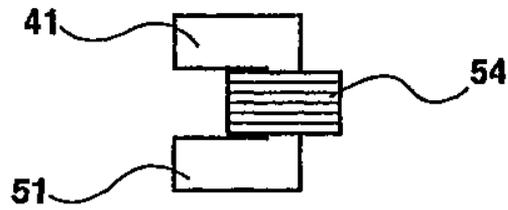


Fig. 5

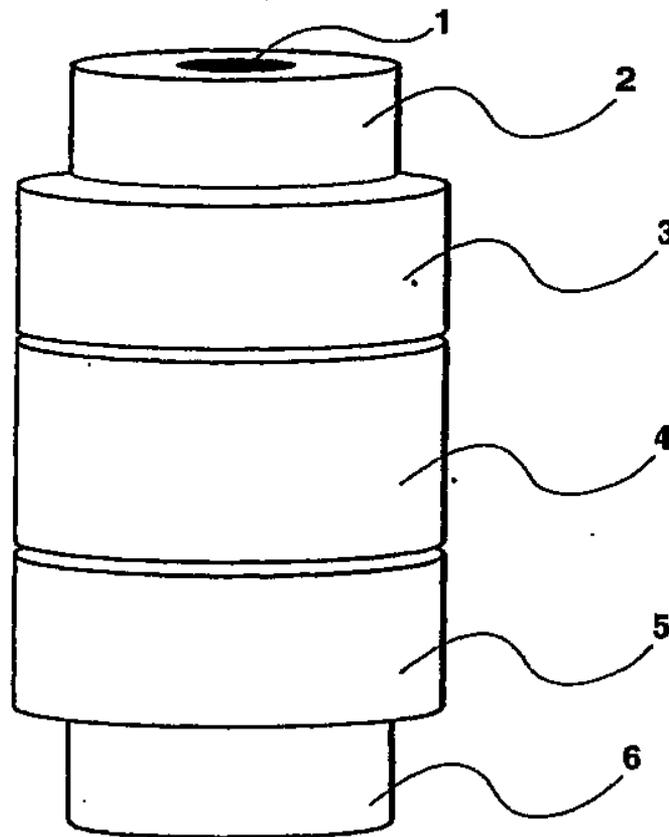


Fig. 6

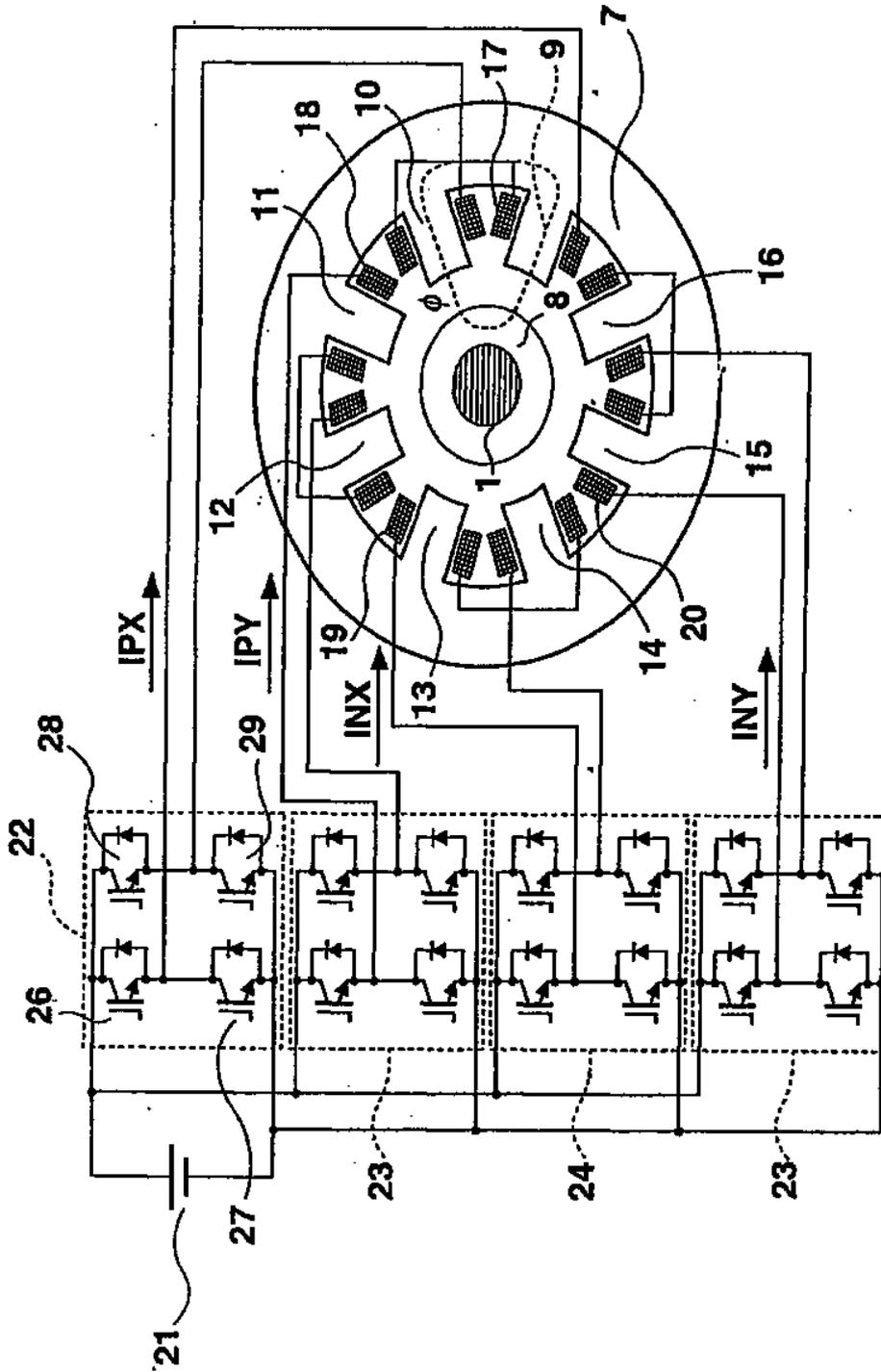


Fig. 7