

51

Int. Cl. 2:

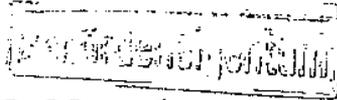
F 16 C 32/04

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



DT 24 51 972 A1



11

Offenlegungsschrift 24 51 972

21

Aktenzeichen: P 24 51 972.0-51

22

Anmeldetag: 31. 10. 74

43

Offenlegungstag: 13. 5. 76

30

Unionspriorität:

32 33 31 —

54

Bezeichnung: Aktives magnetisches Lager

71

Anmelder: Licentia Patent-Verwaltungs-GmbH, 6000 Frankfurt

72

Erfinder: Hermann, Peter Konrad, Prof. Dr.-Ing., 1000 Berlin

Prüfungsantrag gem. § 28 b PatG ist gestellt

DT 24 51 972 A1

Licentia Patent-Verwaltungs GmbH
6 Frankfurt a.M., Theodor Stern Kai 1

Lehmann/li

B I 74/24

Aktives magnetisches Lager.

Die Erfindung bezieht sich auf ein aktives magnetisches Lager mit Vormagnetisierung, bei dem ringförmige permanent magnetisch wirksame/konzentrische Pole am Ständer in einzelnen Segmenten vorgesehen sind, die je für sich von vom Steuerstrom durchflossenen Wicklungen in ihrer Polstärke entsprechend den Ausgangsgrößen von Sensoren verstärkt oder geschwächt werden und bei dem der Läufer mit konzentrisch ungeteilten Ringpolen ausgestattet ist.

Magnetische Lager für rotierende Körper sind bekannt, bei denen der mechanische Kraftschluss zwischen Ständerlager und rotierendem Körper durch magnetische Kräfte zwischen mechanisch berührungsfreien im Ständerlager ruhenden ferromagnetischen Polen und bewegten Polen am rotierenden Körper ersetzt ist.

Es sind passive magnetische Lager, bekannt, bei denen permanent magnetische Kräfte den rotierenden Körper elastisch in die zentrale Symmetrielage stellen sowie aktive magnetische Lager, bei denen der Steuerstrom in festen Elektromagneten, die auf den rotierenden Körper magnetische Kräfte ausüben, von die Symmetrielage überwachenden Sensoren so gesteuert werden, dass die Symmetrielage eingeregelt wird. (OS 1 750 602 und Zusatz 1 933 031).

Aktive magnetische Lager haben vor passiven den Vorteil, dass sie ausser elastischen auch dämpfende Rückstellkräfte bewirken können, jedoch den Nachteil, dass beim Versagen des Regelkreises unter Umständen negative elastische Kräfte auftreten, das sind solche, die eine eventuelle Abweichung von der Symmetrielage nicht zu reduzieren sondern zu vergrössern suchen. Jedenfalls aber setzt die Regelung der Symmetrielage aus, so dass mechanische Berührung des rotierenden Körpers mit dem Ständerlager eintritt, was zur Zerstörung Anlass geben kann.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein aktives magnetisches Lager mit Vormagnetisierung zu schaffen, bei dem beim Ausfall des Regelkreises für die Steuerströme die Wirkung eines passiven magnetischen Lagers, also eine positive elastische Rückstellkraft auf den rotierenden Körper, verbleibt.

Bei einer eingangs beschriebenen Anordnung wird eine Erfindung darin gesehen, dass die wirksamen magnetischen Kraftlinien in den Luftspalten zwischen Ständer und Läufer achsial angeordnet sind.

Diese Wirkung lässt sich zwar durch einfache Kombination eines aktiven und eines passiven magnetischen Lagers ebenfalls erreichen, jedoch erstens nur mit dem doppelten Aufwand von magnetischen Lagern und zweitens nur bei nicht vormagnetisiertem aktiven magnetischen Lager.

Aktive magnetische Lager mit Vormagnetisierung haben vor solchen ohne Vormagnetisierung erstens den Vorteil einer linearen Regelkennlinie zwischen Steuerstrom und Stellkraft, die beim Lager ohne Vormagnetisierung eine quadratische Funktion ist. Zweitens ist die erforderliche Leistungsfähigkeit des Verstärkers für den Steuerstrom bei gleicher Stellkraft und Stellfrequenz kleiner und dieser daher weniger aufwendig.

Die Erfindung hat somit den Vorteil, in einem einzigen magnetischen Lager die Eigenschaften eines vormagnetisierten aktiven magnetischen Lagers bei betriebsfähiger Regelung mit denen eines passiven magnetischen Lagers im Störfall bei ausfallendem Regelkreis zu verbinden.

Die Erfindung weist also ringförmige permanentmagnetisch wirksame konzentrische Pole an Ständer und Läufer auf, wobei der Ständer in drei oder mehr Segmente geteilt ist, die je für sich von vom Steuerstrom durchflossenen Wicklungen in ihrer Polstärke verstärkt oder geschwächt werden können. Diese Wicklungen können mit den Polschenkeln der Ständersegmentpole verkettet sein oder - oder und - mit Streuflüssen der Ständermagnete, die parallel zu dem magnetischen Nutzfluss verlaufen, der über die Segmentpole zu dem Läuferferringpol führt. Diese mit den Streuflussnebenwegen verketteten Wicklungen können auch mit weichmagnetischen Kernen versehen sein und können dazu

dienen, den Ständermagneten von den schnellen Flussänderungen des Steuerstromkreises zu entlasten.

Die Segmentpole können auch über ein Ringpolrückschlussjoch miteinander verbunden sein, das mit zwischen den Segmentpolschenkeln liegenden Steuerwicklungen verkettet ist. Insbesondere können auch zwei Ständersegmentpolringe oberhalb und unterhalb eines ringförmigen weichmagnetischen Läuferpolringes angeordnet werden, deren Polsegmente über Polschenkel mit einem oberen und einem unteren Rückschlussjochring verbunden sind, wobei zwischen den Polschenkeln die Steuerwicklungen mit den Rückschlussjochen verkettet sind und die Ständermagnete zwischen oberem und unterem Rückschlussjochring an den wicklungsfreien Abschnitten angreifen.

Zum Zwecke der Montage eines den Läuferingpol aussen, oben oben und unten umschliessenden Ständers wird dieser vorteilhafterweise in drei oder mehr Segmente voll durchteilt, die radial verstellbar oder nach Art von Irisblenden um exzentrische Achsen schwenkbar angeordnet sind. Besonders vorteilhaft ist eine Anordnung, bei der die radiale Positionierung der Ständersegmente durch barometerdosenartige elastische luftdichte Behälter bewirkt wird. Dient das magnetische Lager zur Lagerung eines rasch laufenden Rotors, der zur Verminderung der Luftreibung in einem Rezipienten mit gegen den Normalluftdruck vermindertem Gasdruck umläuft, so bewirken die elastischen luftdichten Behälter bei Normaldruck im Rezipienten, dass die Ständersegmente nach aussen geschwenkt sind, so dass der Rotor eingesetzt und achsial positioniert werden kann. Wird zur Betriebsnahme der Rezipient evakuiert, so dehnen sich

die elastischen Behälter aus und bewirken dadurch das Einschwenken der Ständersegmente in ihre Arbeitsstellung mit ringförmig geschlossenen Polringsegmenten.

Einem weiteren Erfindungsgedanken entsprechend kann auch auf eine ober- und unterhalb des Läuferingpoles umgreifende Ständersegmentpolform verzichtet werden, indem die Polringe scharfkantig bzw. mit so kleinem Krümmungsradius ausgeführt werden, dass nach Massgabe des axialen Luftspaltes die magnetischen Kräfte zwischen Ständer- und Läuferpolkante auch dann noch nahezu axial gerichtet sind, wenn der Läuferingaussendurchmesser zwecks Montagemöglichkeit ein wenig kleiner als der Ständer-Polring-Innendurchmesser gemacht wird. Diese Wirkung ist in praktisch ausreichendem Masse, d.h. ohne erhebliche Minderung der radialen Lagersteifigkeit erreicht, wenn der Innendurchmesser des Ständerpolringes sich von dem Aussendurchmesser des Läuferpolringes um weniger als dem doppelten Wert des kleinsten vorkommenden axialen Luftspaltes zwischen Ständer- und Läuferpolring unterscheidet.

Die Regelung der Steuerströme bei der Kombination von passivem magnetischem Lager mit den magnetischen Fluss variiierenden Steuerwicklungen ist eine grundsätzlich andere als bei bekannten aktiven magnetischen Lagern. Während nämlich bei diesen dem Steuerstrom eine Stellkraft in einer bestimmten Richtung zugeordnet ist, wird beim Erfindungsgegenstand durch Steuerstrom die Lagersteifigkeit in einer bestimmten Richtung variiert. Die durch diesen Steuerstrom ausgelöste Stellkraft bzw. Stellkraftänderung ändert also mit dem Vorzeichen der auszuregelnden

Exzentrizität ebenfalls ihr Vorzeichen.

Soll bei einem Lager mit vier Segmenten die Lagersteifigkeit der dauermagnetischen passiven Lagerung durch die Steuerwindungen in Abhängigkeit vom Messwert der Exzentrizität erhöht werden, so wird diese in Abhängigkeit vom Betrag des Messwertes, also unabhängig von seinem Vorzeichen, z.B. von seiner gleichgerichteten oder von seiner quadrierten Grösse, gesteuert. Legt man der Messung der Exzentrizität ein XY-Koordinatensystem zugrunde, dann wird die in X-Richtung gemessene Komponente der Exzentrizität unabhängig von ihrem Vorzeichen die Vormagnetisierung des Ringluftspaltes in der X-Koordinatenrichtung verstärken und in der Y-Koordinatenrichtung schwächen.

Offensichtlich ist dann bei Exzentrizität in der Richtung der Winkelhalbierenden zwischen der X- und Y-Richtung keine Steigerung der passiven Lagersteifigkeit durch Steuerströme möglich, da durch die gleichen Beträge der Komponenten der in X- und Y-Richtung gemessenen Exzentrizitäten entgegengesetzt gleiche Steuerströme ausgelöst werden, die sich zu Null ergänzen.

Andererseits kann man Schwingungen der Exzentrizitäten in X- oder Y-Richtung auch dämpfen, indem man die Steuerströme dem Produkt von dem Exzentrizitätsmesswert in der betreffenden Richtung und der zeitlichen Ableitung dieses Messwertes proportional macht. Diese Dämpfung ist auch für umlaufende Exzentrizitäten, Präzessionsbewegung der Rotationsachse, wirksam, jedoch versagt auch sie bei nur 4 Segmentlagern, wenn die Schwingungsebene unter 45° zur X- und Y-Richtung liegt.

Für eine generelle Steuerungsmöglichkeit von Lagersteifigkeit und Dämpfung von Schwingungen in jeder Richtung ist deshalb eine Unterteilung in sechs oder acht Segmente erforderlich. Bei Ausführung mit acht Segmenten sind die acht Steuerwindungen zu je vier zu einer Steuerwicklung zusammengefasst, die für um 45° unterschiedliche Richtungen die Steifigkeit erhöhen und Lagerschwingungen dämpfen können. Dabei sind allerdings unterschiedliche Schaltungen für den einen und den anderen Zweck erforderlich, nämlich Steuerströme proportional dem Gleichrichtwert der Exzentrizität zur Regelung der Steifigkeitssteigerung und proportional dem Produkt von Messwert und seiner zeitlichen Ableitung zum Zwecke der Dämpfung.

Beide Wirkungen lassen sich jedoch auch vereinen, wenn man die Steuerströme den Gleichrichtwerten der Summe von Messwert und zeitlicher Ableitung des Messwertes proportional macht.

Handelt es sich um die Ausregelung von in bekanntem festem Drehsinn umlaufenden Exzentrizitäten, so kann man auch die Steuerung aus dem Gleichrichtmesswert der Exzentrizitäten zur Steigerung der Lagersteifigkeit dadurch für die Dämpfung mit verwenden, dass man die betreffenden Steuerströme jeweils auf die im Umlaufsinn der Exzentrizität benachbarten Steuerwicklungen schaltet, statt auf die Steuerwicklung, die in der Messrichtung die Steifigkeit erhöht.

Anhand einer Zeichnung sei ein schematisches Ausführungsbeispiel der Erfindung erläutert.

Fig. 1 zeigt eine Anordnung, bei der nur im Ständer ein Dauermagnet 1 von zylindrischer Form vorgesehen ist, während der

Läufer 2 als aktiven Teil nur einen weichmagnetischen Ring 3 aufweist, der zwischen den in je vier Segmente unterteilten oberen Ständerpolring 4 und unteren Polring 5 mit Axialluftspalt frei beweglich spielt. Die Ständersegmentpole setzen sich nach aussen mit Schenkeln 6 und 7 fort, mit denen die Wicklungen 8 und 9 verkettet sind. Je nach der Stromrichtung des Steuerstromes in diesen Wicklungen wird das durch den Dauermagneten 1 in dem Luftspalt^{en} erzeugte Feld in den einzelnen Sektoren verstärkt oder geschwächt. In jedem der Sektoren ist noch ein ferromagnetischer Nebengeweg 10 vorgesehen, der über weitere Luftspalte mit Hilfe der Steuerwicklungen^{fl} den Streuflussanteil des Magneten, der an den aktiven Luftspalten vorbeiführt, verstärken oder schwächen kann. Werden die Wicklungen 8,9 und die Steuerwicklung 11 jedes Sektors gleichsinnig bezüglich des Einflusses auf die Feldstärke in den Luftspalten zwischen Ständer und Läufer in Reihe geschaltet, so kann der Steuerfluss am Dauermagneten 1 vorbeigeführt werden. Das hat Vorteile bei der Verwendung von metallischem Dauermagnetmaterial. Die weichmagnetischen Teile 4,5, 6,7 und 10 können auch aus lamellierten Blechpaketen oder aus Ferriten gebildet werden.

Fig. 2, als Schnitt in Fig. 2a und als Draufsicht in Fig. 2b dargestellt, zeigt ein in seinen ferromagnetischen Teilen ähnliches Ausführungsbeispiel, das jedoch geschlossene Rückschlussjochringe 26 oberhalb und 27 unterhalb der vier einzelnen Magnete 21 besitzt, mit denen je vier Steuerwicklungen 28

oben und desgleichen - nicht dargestellt - unten zwischen den Segmentpolstücken verkettet sind. Diese Steuerwicklungen sind nur in der Drauf-sicht 2b von Fig. 2 erkennbar. Das Schnittbild 2a lässt die Anordnung der Magnete 21 und des Läuferpolringes 23 erkennen.

Fig. 3 zeigt eine ähnliche Anordnung wie Fig. 2 bei der jedoch die vier Sektoren voll durchgeteilt sind und mit Fortsätzen 30 versehen sind, die diese Sektoren um eine Achse 31 herausschwenkbar machen. Barometerdosen 32 sind des weiteren vorgesehen, die bei Überdruck oder bei normalem Luftdruck in dem Rezipienten, in dem das Lager und der Rotor untergebracht sind, sich zusammenziehen und daher die Sektoren radial nach aussen stellen, während sie bei dem niedrigeren Betriebsdruck grössere Länge annehmen und so die Sektoren selbsttätig in die gezeichnete Betriebsstellung bringen, bei der die Ständer- und Läuferpolringe achsial übereinander stehen.

Für verschiedene Anwendungen magnetischer Lager ist es erforderlich, dass bei jeder beliebigen Exzentrizität des Läufers die zur Wiederherstellung der Symmetrielage auszulösende Stellkraft einen bestimmten Winkel gegen die Richtung der Exzentrizität bildet. Die Zahl der Segmente muss dann grösser als vier, beispielsweise sechs oder acht sein. Im übrigen bleibt die Ausführung die gleiche wie in den Figuren dargestellt.

In Fig. 4 ist ein Ausführungsbeispiel dargestellt, das sich von dem nach Fig. 1 nur durch die Form der Polringe unterscheidet. Diese sind am aktiven Luftspalt scharfkantig oder

mit sehr kleinem Krümmungsradius ausgeführt. Ausserdem ist der Aussendurchmesser des Läuferpolringes 43 etwas kleiner als der Innendurchmesser der Ständerpolringsegmente 44 und 45. Auf diese Weise kann der Läufer, auch wenn er mit einem Rotor 46 von grösserem Durchmesser als dem des Läuferpolringes 43 verbunden ist, in den geschlossenen Ständer eingesetzt werden. Es kann die Durchteilung der Segmente und die radiale Zustellung, wie zu Fig. 3 beschrieben, entfallen.

10 S. Beschreibung

12 Patentansprüche

2 Bl. Zeichng. mit 4 Fig.

11

Licentia Patent-Verwaltungs GmbH
6 Frankfurt a.M., Theodor Stern Kai 1

Lehmann/li

B I 74/24

P a t e n t a n s p r ü c h e

- 1.) Aktives magnetisches Lager mit Vormagnetisierung, bei dem ringförmige permanent magnetisch wirksame konzentrische Pole am Ständer in einzelnen Segmenten vorgesehen sind, die je für sich von vom Steuerstrom durchflossenen Wicklungen in ihrer Polstärke entsprechend den Ausgangsgrößen von Sensoren verstärkt oder geschwächt werden und bei dem der Läufer mit konzentrisch ungeteilten Ringpolen ausgestattet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die wirksamen magnetischen Kraftlinien in den Luftspalten zwischen Ständer und Läufer achsial angeordnet sind ist.
- 2.) Aktives magnetisches Lager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerwicklungen mit Schenkeln der Segmentpole des Ständers oder mit Streuflüssen der Ständermagnete verkettet sind, die parallel zu dem magnetischen Nutzfluss verlaufen oder mit beiden verkettet sind, wobei sich dann kein Streufluss über den Permanentmagneten schliesst.

- 3.) Aktives magnetisches Lager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den einzelnen Polsegmenten des Ständers weichmagnetische Rückschlussjochringe bzw. Jochringteile angeordnet sind, die die Steuerwicklungen tragen.
- 4.) Aktives magnetisches Lager nach Anspruch 1 - 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Aussendurchmesser des Läuferpolringes kleiner ist als der Innendurchmesser der Ständerringpole.
- 5.) Aktives magnetisches Lager nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Differenz des Ständerpolring-Innendurchmessers und des Läuferpolring-Aussendurchmessers kleiner ist als der doppelte kleinste achsiale Luftspalt zwischen Ständer- und Läuferpolring.
- 6.) Aktives magnetisches Lager nach Anspruch 1 - 3, dadurch gekennzeichnet, dass bei Anordnungen mit grösserem Läuferaussendurchmesser als Ständerinnendurchmesser der Ständer in einzelne Segmente geteilt ist, die je um zur Drehachse des Läufers parallele exzentrische weitere Achsen schwenkbar sind.
- 7.) Aktives magnetisches Lager nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwenkung der Ständersegmente abhängig vom Gasdruck erfolgt, in dem das magnetische Lager arbeitet.

- 8.) Aktives magnetisches Lager nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwenkung durch luftdicht abgeschlossene elastische Körper erfolgt.
- 9.) Aktives magnetisches Lager nach Anspruch 1 - 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerströme dem gleichgerichteten Messwert der Sensorspannungen proportional gemacht werden, wobei die Messrichtung der Sensoren übereinstimmt mit der die Steifigkeit erhöhenden Wirkrichtung der Steuerspule.
- 10.) Aktives magnetisches Lager nach Anspruch 1 - 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerströme dem Produkt der Messwertspannungen der Sensoren und der zeitlichen Ableitung dieser Messwertspannungen proportional gemacht werden, wobei die Messrichtung der Sensoren übereinstimmt mit der die Steifigkeit erhöhenden Wirkrichtung der Steuerspule.
- 11.) Aktives magnetisches Lager nach Anspruch 1 - 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerströme den gleichgerichteten Werten der aus der Summe von Messwertspannung der Sensoren und ihrer zeitlichen Ableitung gebildeten Spannung proportional gemacht werden, wobei die Messrichtung der Sensoren übereinstimmt mit der die Steifigkeit erhöhenden Wirkrichtung der Steuerspule.
- 12.) Aktives magnetisches Lager nach Anspruch 1 - 8 zur Erhöhung der Lagersteifigkeit und Dämpfung einer in bestimmtem Drehsinn umlaufenden Exzentrizität, dadurch ge-

kennzeichnet, dass die Steuerströme auf Steuerwicklungen geschaltet werden, deren die Steifigkeit erhöhende Wirkrichtung gegen die Messrichtung der die Steuerströme auslösenden Sensoren um eine Segmentteilung versetzt sind.

Leerseite

-A-

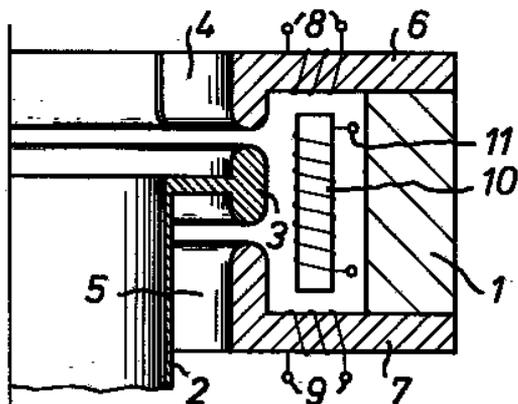


FIG. 1

X

FIG. 2a

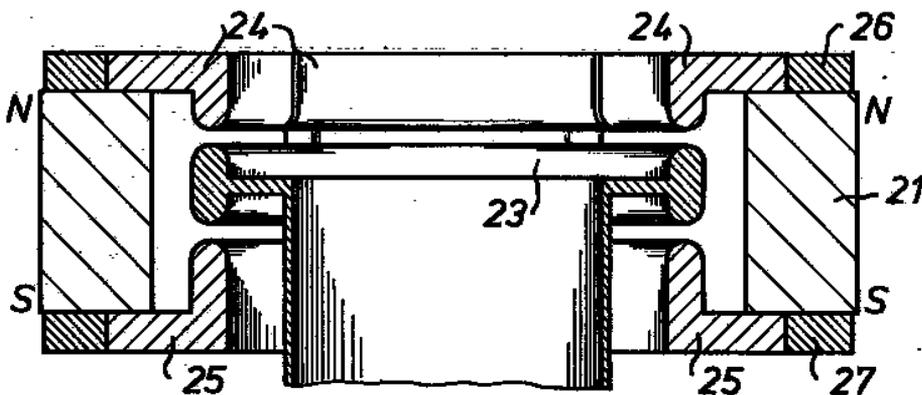
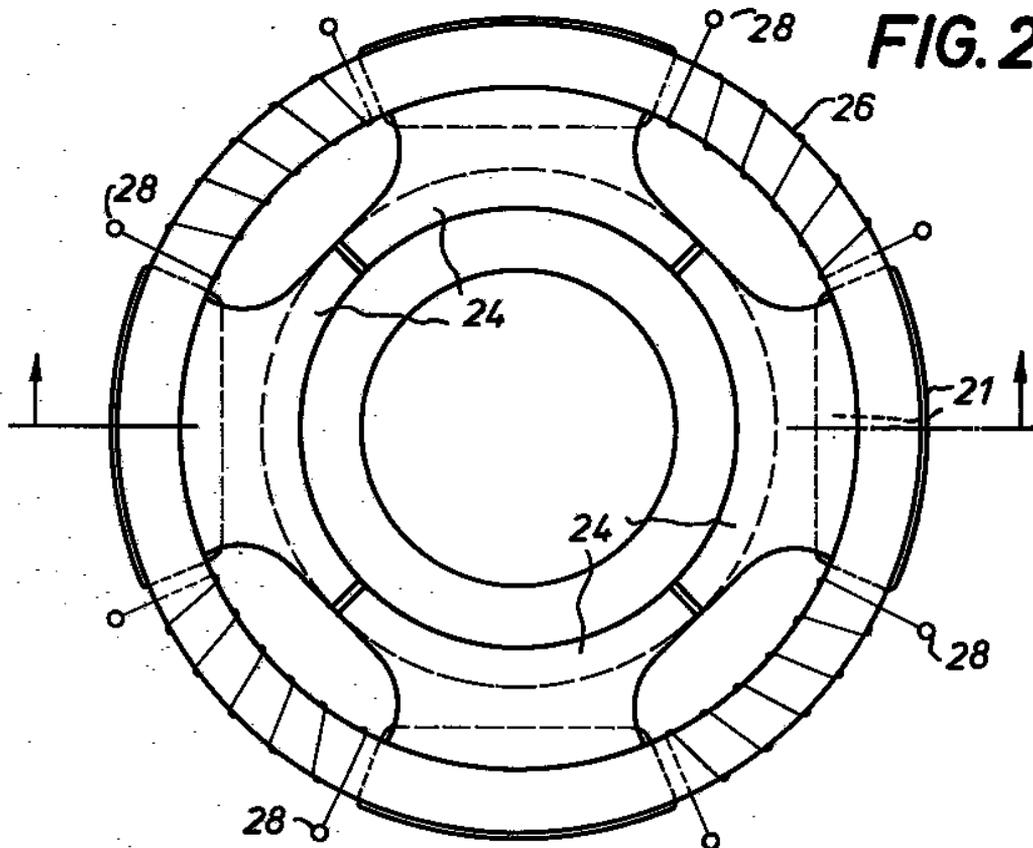


FIG. 2b



-16-

FIG. 3

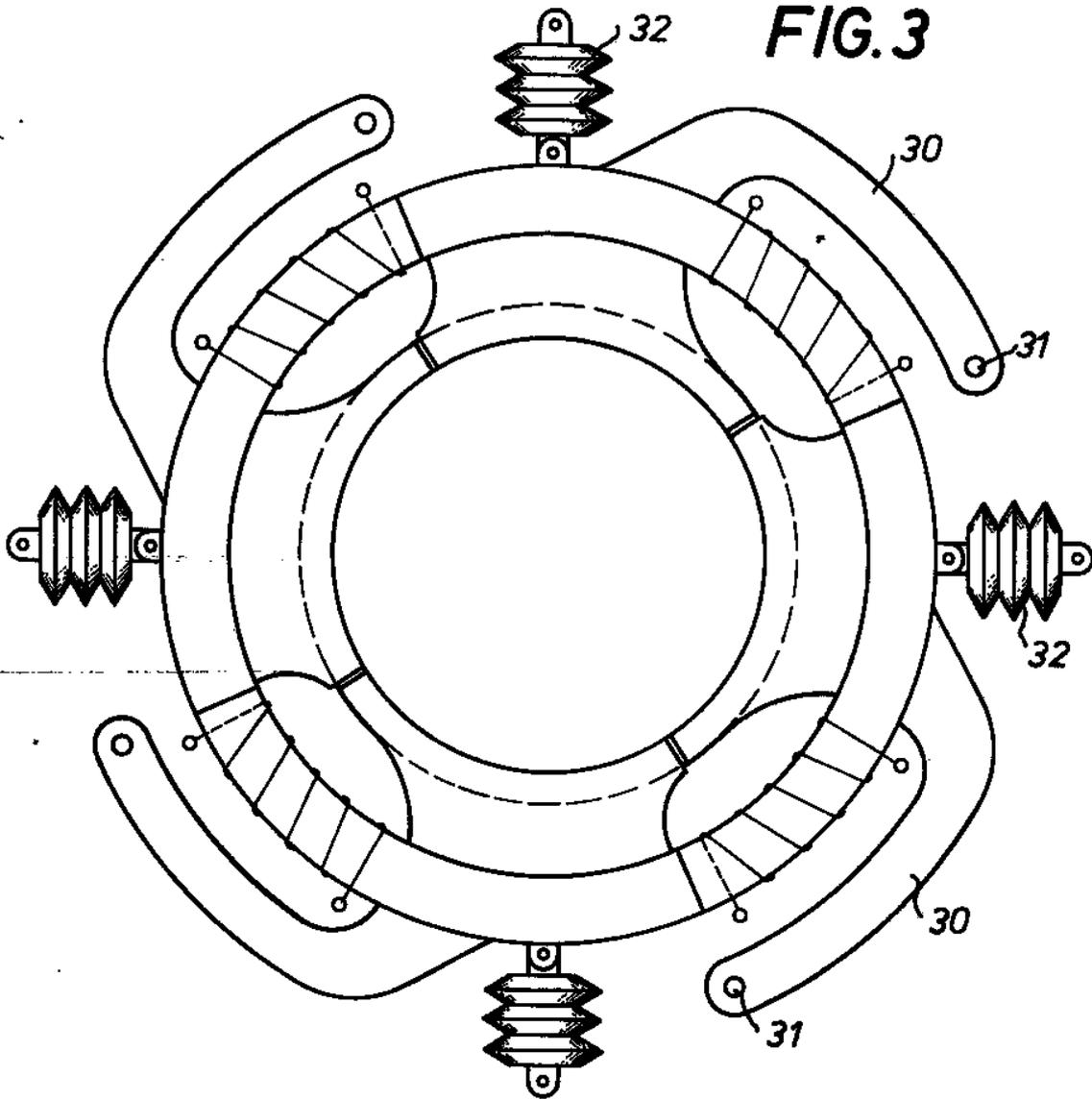
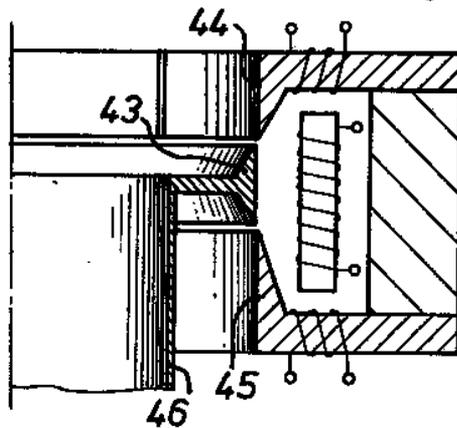


FIG. 4



609820/0449

B74/24 Lm. 2 Bl