(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT

(12) **Offenlegungsschrift**

(10) **DE 40 20 726 A 1**

(51) Int. Cl.[5]:
F 16 C 32/04
H 02 K 7/09

(21) Aktenzeichen: P 40 20 726.9
(22) Anmeldetag: 29. 6. 90
(43) Offenlegungstag: 2. 1. 92

DE 40 20 726 A 1

(71) Anmelder:

Marinescu, geb. Bikales, Marlene, Dr.-Ing.;
Marinescu, Nicolae, Prof. Dr., 6000 Frankfurt, DE

(74) Vertreter:

Leineweber, J., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 5000 Köln

(72) Erfinder:

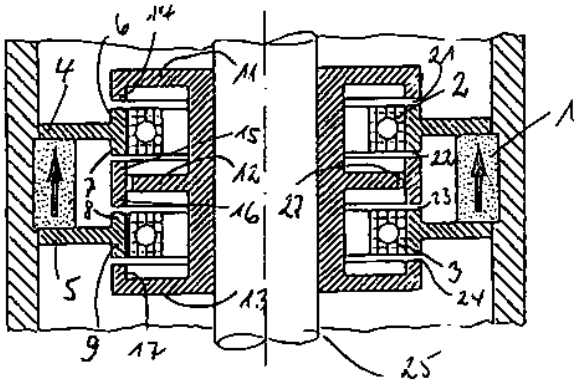
Marinescu, Marlene, Dr.-Ing.; Marinescu, Nicolae, Prof. Dr., 6000 Frankfurt, DE

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

DE	23 58 527 B2
DE	38 44 563 A1
DE	34 09 047 A1
DE	25 01 218 A1
DE-OS	14 50 023

(54) Magnetlager

(57) Die Erfindung betrifft ein Magnetlager mit einem axial magnetisierten Ringmagneten (1) und mit zwei axial nebeneinander angeordneten Ringspulen; dem Ringmagneten (1) und den Spulen (2, 3) sind im wesentlichen ringscheibenförmige Polelemente (4, 5, 11, 12, 13) mit ringförmigen Polen (6 bis 9 bzw. 14 bis 17) zugeordnet, die sich zwischen dem Ringmagneten (1) und den Ringspulen (2, 3) befinden und axiale Ringspalte (21 bis 24) bilden; zur Reduzierung der Abreißkräfte wird vorgeschlagen, daß das den beiden Ringspulen (2, 3) gemeinsame Polelement (12) mit einem Magnetfluß-Widerstand (27) ausgerüstet ist.



DE 40 20 726 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Magnetlager mit einem axial magnetisierten Ringmagneten, dessen von seinen Stirnflächen gebildeten Polen im wesentlichen ringscheibenförmige Polelemente zugeordnet sind, mit zwei axial nebeneinander angeordneten Ringspulen, deren einander zugewandten Stirnflächen ein gemeinsames, im wesentlichen ringscheibenförmiges Polelement und deren äußeren Stirnflächen zwei weitere, im wesentlichen ringscheibenförmige Polelemente zugeordnet sind, wobei die Polelemente mit ringförmigen Polen ausgerüstet sind, die sich zwischen dem Ringmagneten und den Ringspulen befinden und axiale Ringspalte bilden.

Magnetlager dieser Art, wie sie z. B. aus der US-PS 39 76 339 bekannt sind, haben den Vorteil einer hohen radialen Steifigkeit, deren Ursache die Konzentration des sich durch die weichmagnetischen Pole und durch die axialen Ringspalte erstreckenden Magnetflusses des Permanentmagneten ist. Die Sättigungsflußdichte der weichmagnetischen Pole ist dabei höher als die Remanenz des Dauermagnetmaterials. In axialer Richtung sind diese Magnetlager instabil, so daß eine aktive Regelung mit Hilfe der Ringspulen erforderlich ist. Kennzeichnend für die Güte von Magnetlagern dieser Art ist bei vielen Anwendungen das Verhältnis von Radialsteifigkeit zu axialer Instabilität.

Bei Stillstand und ohne aktive Axial-Regelung liegt das Rotorsystem dem Statorsystem auf, wobei Mittel (Abdeckschichten aus Kunststoff o. dgl.) vorgesehen sind, die einen unmittelbaren Kontakt der Pole verhindern. Um die Magnetlagerung in Betrieb zu nehmen, ist es erforderlich, relativ hohe Abreißströme in den Spulen zu erzeugen, damit sich das Rotorsystem vom Statorsystem abhebt. Diesen hohen Strömen entsprechend müssen sowohl die Ringspulen als auch die Versorgungseinrichtungen dimensioniert sein, d. h. der technische Aufwand für die Spulen und deren Stromversorgung ist relativ hoch. Weiterhin kann im normalen Betrieb des Lagers eine hohe axiale Instabilität Regelungsprobleme verursachen.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das Verhältnis von radialer Steifigkeit zu axialer Instabilität zu vergrößern und den für die Ringspulen und deren Versorgungseinrichtungen erforderlichen Aufwand zu reduzieren.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe bei einem Magnetlager der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß das den einander zugewandten Stirnflächen der Ringspulen zugeordnete, beiden Ringspulen gemeinsame Polelement mit einem Magnetfluß-Widerstand ausgerüstet ist.

Diese Erfindung beruht auf folgender Erkenntnis: Befindet sich die Magnetlagerung nach dem Stand der Technik in einem Zustand, bei dem das Rotorsystem dem Statorsystem aufliegt, dann ist der Spalt zwischen zwei der vier Polpaare sehr klein, während sich im Bereich der anderen Polpaare ein maximaler Abstand ausbildet. Im Bereich der eng benachbarten Polflächen kommt es zu einer unerwartet hohen Flußverstärkung. Diese beruht nicht nur auf der sehr kleinen Spaltbreite; zusätzlich tritt eine Art Kurzschluß eines Teils des Magnetflusses über einander berührende Polflächen auf, welcher — bei schwebendem Rotor — sich über einen anderen Polspalt erstreckt. Dieser Kurzschluß findet über das zwischen den Ringspulen befindliche, beiden Spulen gemeinsame Polelement statt. Dadurch, daß dieses Polelement entsprechend dem erfindungsgemäßen Vorschlag mit einem Widerstand ausgerüstet ist, kann ein Kurzschluß mit einem maßgeblichen Anteil des Magnetflußes vermieden werden, d. h. die unerwartet hohe Flußverstärkung im Bereich von einander eng benachbarten Polflächen findet nicht mehr statt, so daß auch die für das Lösen von Stator und Rotor erforderliche Axialkraft wesentlich kleiner ist. Der für die Spulen und deren Versorgung erforderliche Aufwand kann deshalb niedriger gehalten werden.

Weitere Erläuterungen, Vorteile und Einzelheiten der Erfindung sollen anhand von in den **Fig.** 1 bis 8 dargestellten Ausführungsbeispielen erläutert werden.

Die verschiedenen Versionen der dargestellten Ausführungsbeispiele für eine Magnetlagerung nach der Erfindung umfassen jeweils den axial magnetisierten Permanentmagnetring **1** sowie die beiden Ringspulen **2** und **3**. Den von den Stirnseiten des Permanentmagnetringes **1** gebildeten Magnetpolen liegen im wesentlichen ringscheibenförmige Polelemente **4, 5** an. Bestandteil dieser Polelemente **4, 5** sind die Pole **6, 7** bzw. **8, 9**. Die Spulen dienen der aktiven axialen Regelung. Die dazu erforderlichen Einrichtungen (Stromversorgung, Axialsensor usw.) sind nicht dargestellt.

Den Spulen **2, 3** sind im wesentlichen ringscheibenförmig gestaltete Polelemente **11, 12, 13** zugeordnet. Sie dienen der Aufnahme des von den Spulen erzeugten Magnetflusses und können den ruhenden Spulen **2, 3** ummittelbar (ebenfalls ruhend, **Fig.** 2, 3, 5) oder mittelbar (rotierend, **Fig.** 1, 4) zugeordnet sein. Die Polelemente **11** und **13** befinden sich im Bereich der äußeren Stirnflächen der Spulen **2, 3**. Das Polelement **12** befindet sich zwischen den einander zugewandten Stirnflächen der Spulen **2, 3** und ist beiden Spulen gemeinsam. Bestandteil der Polelemente **11, 12, 13** sind die Pole **14** bzw. **15, 16** bzw. **17**. Die Pole **6** bis **9** und **14** bis **17** sind derart an ihren Polelementen **4, 5** bzw. **11** bis **13** angeordnet, daß sie sich zwischen dem Permanentmagnetring **1** und den Spulen **2, 3** befinden. Sie bilden insgesamt vier Polpaare mit den Ringspalten **21** bis **24**.

Die **Fig.** 1 und 2 zeigen Innenläufer, d. h. der Rotor befindet sich im Zentrum des Systems. Beim Ausführungsbeispiel nach **Fig.** 1 trägt die rotierende Welle **25** lediglich die Polelemente **11** bis **13**. Der Permanentmagnetring **1** und die Spulen **2, 3** sind am Stator beefestigt. Beim Ausführungsbeispiel nach **Fig.** 2 trägt die Welle **25** den Permanentmagnetring **1** sowie die zugehörigen Polelemente **4, 5**.

Die Ausführungsbeispiele nach den **Fig.** 3, 4 und 5 zeigen Außenläufer. Der zentrale, jeweils ruhende Dorn ist mit **26** bezeichnet. Auch bei diesen Ausführungsbeispielen sind die Spulen **2, 3** jeweils an dem ruhenden Bauteil befestigt. Der Permanentmagnetring **1** kann ebenfalls am zentralen, ruhenden Bauteil **26** angeordnet (**Fig.** 4) oder Bestandteil des rotierenden Systems sein (**Fig.** 3 und 5).

Bei allen Ausführungsbeispielen nach den **Fig.** 1 bis 5 ist das zwischen den Spulen **2, 3** befindliche Polelement **12** mit einem Magnetflußwiderstand **27** ausgerüstet. Dieser Widerstand soll den Kurzschluß eines Teiles des vom Permanentmagneten **1** erzeugten Magnetflusses verhindern, was anhand der **Fig.** 6 bis 8 nochmals genauer erläutert wird. Sofern es technisch möglich ist, kann der Flußwiderstand **27** ein Luftspalt oder zumindest eine starke Verjüngung des Polelement-Materials sein. Zweckmäßig ist es jedoch, einen Ring **27** vorzusehen, der — im Gegensatz zum Werkstoff der Polelemente — aus einem nicht-ferromagnetischen Material besteht.

Besonders zweckmäßig ist es, einen Edelstahlring 27 vorzusehen. Dieser kann durch Schrumpfen aufgebracht werden und ist in Bezug auf einen Glühvorgang unempfindlich.

Die Fig. 6 bis 8 zeigen nochmals Ausführungsbeispiele nach Art der Fig. 5. Eingezeichnet sind Feldlinien der Flußdichte, die den Verlauf des vom Permanentmagneten 1 erzeugten Magnetfluß kennzeichnen. Bei den Lagern nach den Fig. 6 und 7 ist der erfindungsgemäße Flußwiderstand nicht vorhanden.

Fig. 6 zeigt die Magnetlagerung bei schwebendem Rotorsystem, die Ringspalte 21 bis 24 sind vorhanden und haben etwa die gleiche Breite. Der vom Permanentmagneten 1 erzeugte Magnetfluß verteilt sich etwa gleichmäßig auf die Polflächen, d. h. ein Teil des Magnetflusses erstreckt sich über das äußere Spaltpaar 21, 24, während sich der andere Teil des Magnetflusses über das innere Spaltpaar 22, 23 erstreckt. Die beiden Flußanteile verlaufen praktisch voneinander getrennt.

Fig. 7 zeigt einen Zustand, bei dem das Rotorsystem dem Statorsystem nahezu aufliegt. Die Ringspalte 22 und 24 sind sehr klein. Die Ringspalte 21, 23 sind entsprechend vergrößert. Wünschenswert wäre es, wenn sich auch in diesem Falle der vom Permanentmagneten 1 erzeugte Magnetfluß gleichmäßig auf die inneren bzw. äußeren Spaltpaare 22, 23 bzw. 21, 24 verteilen würde. Dieses ist jedoch in der Praxis nicht der Fall. Der sich über den sehr kleinen Ringspalt 24 erstreckende Teil des Magnetflusses verstärkt sich nicht nur wegen der Annäherung der Pole; es tritt darüber hinaus ein Magnetfluß-Kurzschluß über das mittlere Polelement 12 ein, so daß im Bereich des ebenfalls sehr kleinen Spaltes 22 eine zusätzliche Flußverstärkung auftritt. Der durch die Ringspalte 21 und 23 hindurchtretende Magnetfluß ist entsprechend reduziert, d. h. zum Ablösen des rotierenden Systems vom Statorsystem sind hohe Abreißkräfte erforderlich.

Fig. 8 zeigt das Ausführungsbeispiel nach Fig. 5, bei dem die Erfindung realisiert ist, d. h. bei dem das Polelement 12 mit einem Flußwiderstand 27 ausgerüstet ist. Der Flußwiderstand 27 verhindert weitgehend einen Kurzschluß des Magnetflusses über das Polelement 12. Beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 8 liegt — wie beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 7 — das Rotorsystem dem Statorsystem ebenfalls nahezu auf. Die Anzahl der das Polelement 12 durchsetzenden Feldlinien ist maßgeblich reduziert. Die Verteilung der Feldlinien auf die Ringspaltpaare 21, 24 und 22, 23 ist etwa gleichmäßig. Die zur Ablösung des Rotorsystems vom Stator erforderlich Kraft ist deshalb erheblich kleiner. Die Anordnung und Ausbildung des Widerstandes 27 innerhalb des Polelementes 12 hängt von den technologischen Gegebenheiten ab. Eine Reduzierung der Ablösekräfte um mehr als 50% — verglichen mit den Kräften bei bishei bekannten Lösungen — ist ohne weiteres möglich.

Mit der Erfindung ist zwar der Nachteil verbunden, daß der die aktive Regelung bewirkende Magnetfluß ebenfalls den Widerstand 27 überwinden muß. Da die Regelströme jedoch kleinere axiale, destabilisierende Kräfte ausgleichen müssen, kann dieser Nachteil ohne weiteres in Kauf genommen werden.

Patentansprüche

1. Magnetlager mit einem axial magnetisierten Ringmagneten (1), dessen von seinen Stirnflächen gebildeten Pole im wesentlichen ringscheibenförmige Polelemente (4, 5) zugeordnet sind, mit zwei axial nebeneinander angeordneten Ringspulen (2, 3), deren einander zugewandten Stirnflächen ein gemeinsames im wesentlichen ringscheibenförmiges Polelement (12) und deren äußeren Stirnflächen zwei weitere, im wesentlichen ringscheibenförmige Polelemente (11, 13) zugeordnet sind, wobei die Polelemente (4, 5 und 11 bis 13) mit ringförmigen Polen (6 bis 9 bzw. 14 bis 17) ausgerüstet sind, die sich zwischen dem Ringmagneten (1) und den Ringspulen (2, 3) befinden und axiale Ringspalte (21 bis 24) bilden, **dadurch gekennzeichnet**, daß das den beiden Ringspulen (2, 3) gemeinsame Polelement (12) mit einem Magnetfluß-Widerstand (27) ausgerüstet ist.

2. Magnetlager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Magnetfluß-Widerstand (27) als Luftspalt oder als starke Verjüngung des Polelement-Materials ausgebildet ist.

3. Magnetlager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Magnetfluß-Widerstand (27) von einem Ring aus Edelstahl gebildet wird.

4. Magnetlager nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Edelstahlring (27) und den übrigen Polelement-Bauteilen Schrumpfverbindungen vorgesehen sind.

5. Magnetlager nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es als Außenläufer ausgebildet ist.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

Nummer: DE 40 20 726 A1
Int. Cl.[5]: F 16 C 32/04
Offenlegungstag: 2. Januar 1992

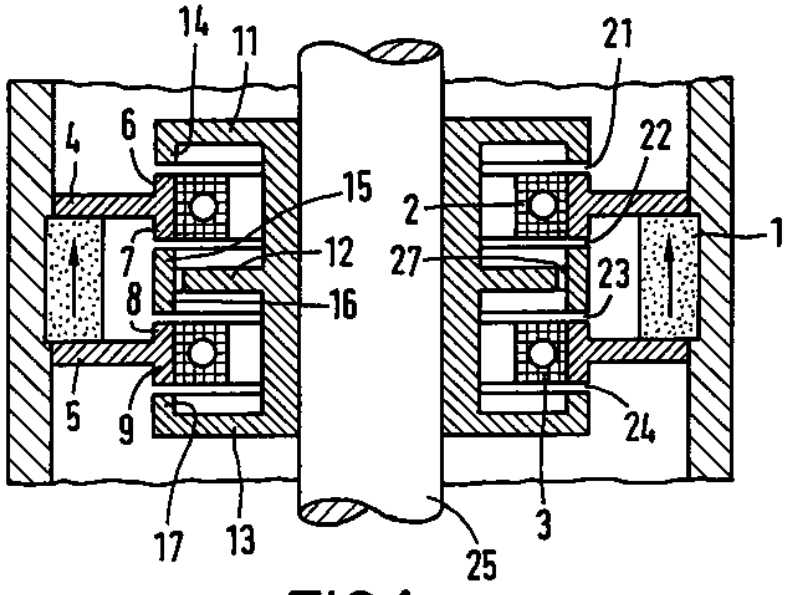


FIG.1

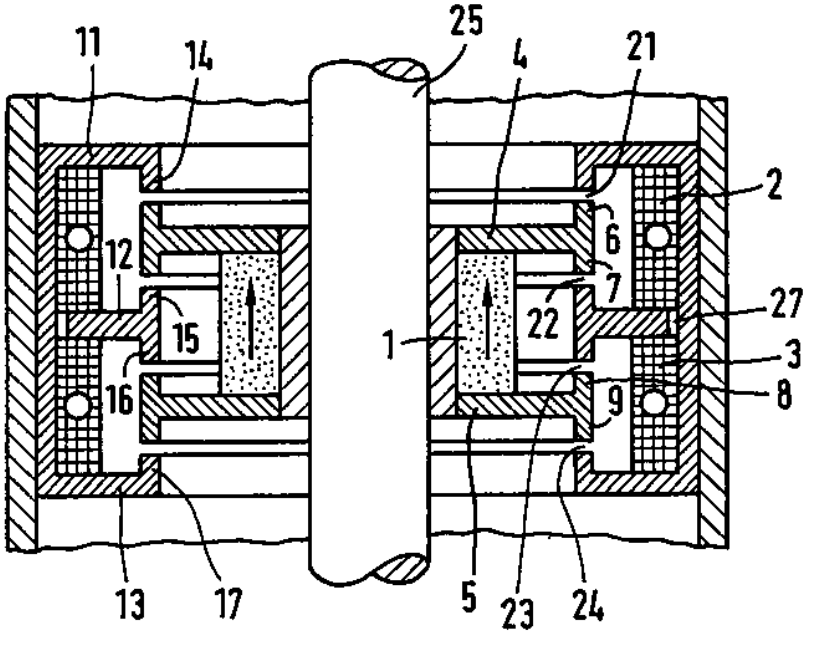


FIG.2

Nummer: DE 40 20 726 A1
Int. Cl.[5]: F 16 C 32/04
Offenlegungstag: 2. Januar 1992

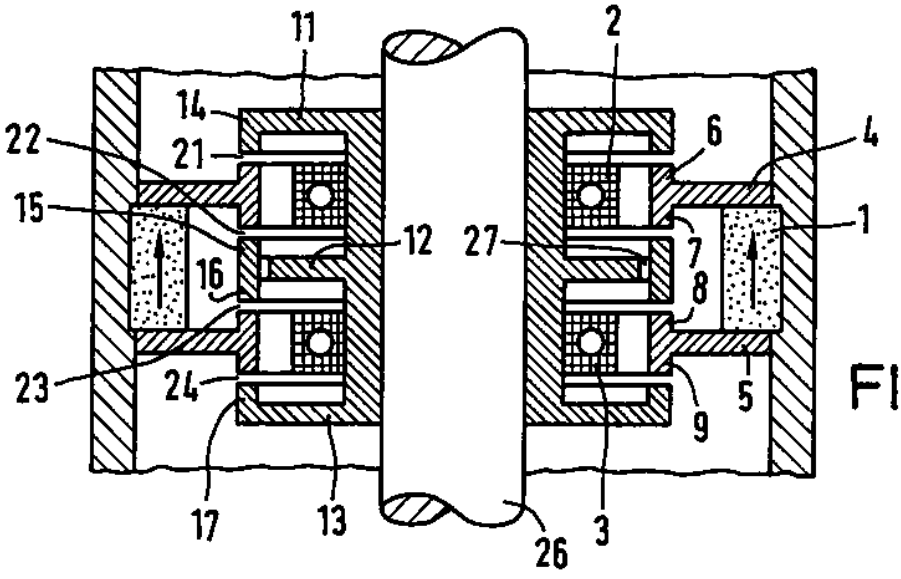


FIG.3

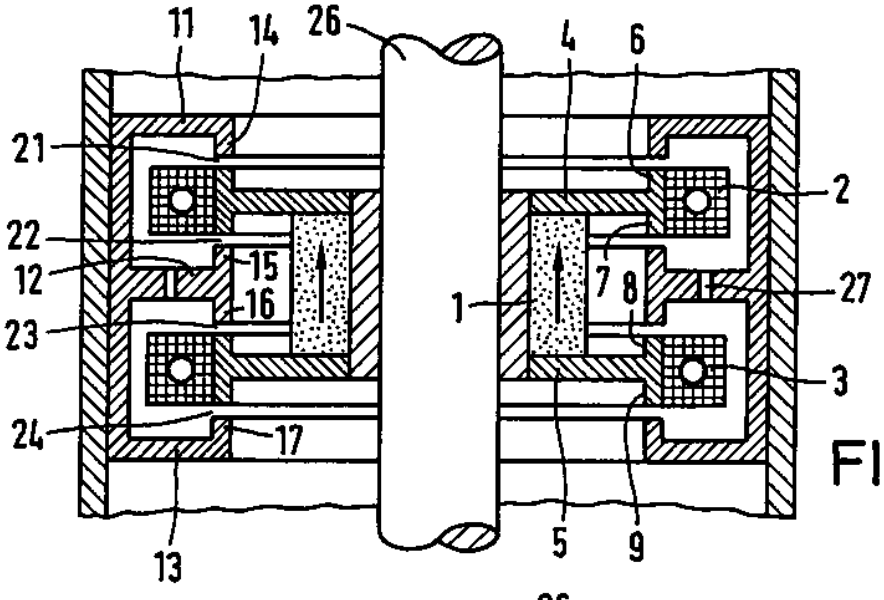


FIG.4

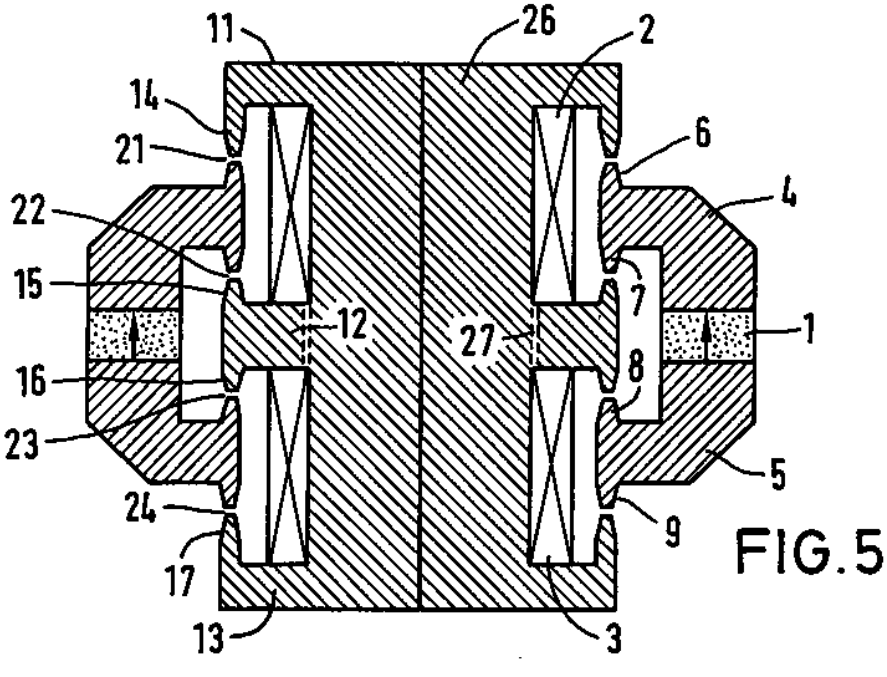


FIG.5

Nummer: DE 40 20 726 A1
Int. Cl.[5]: F 16 C 32/04
Offenlegungstag: 2. Januar 1992

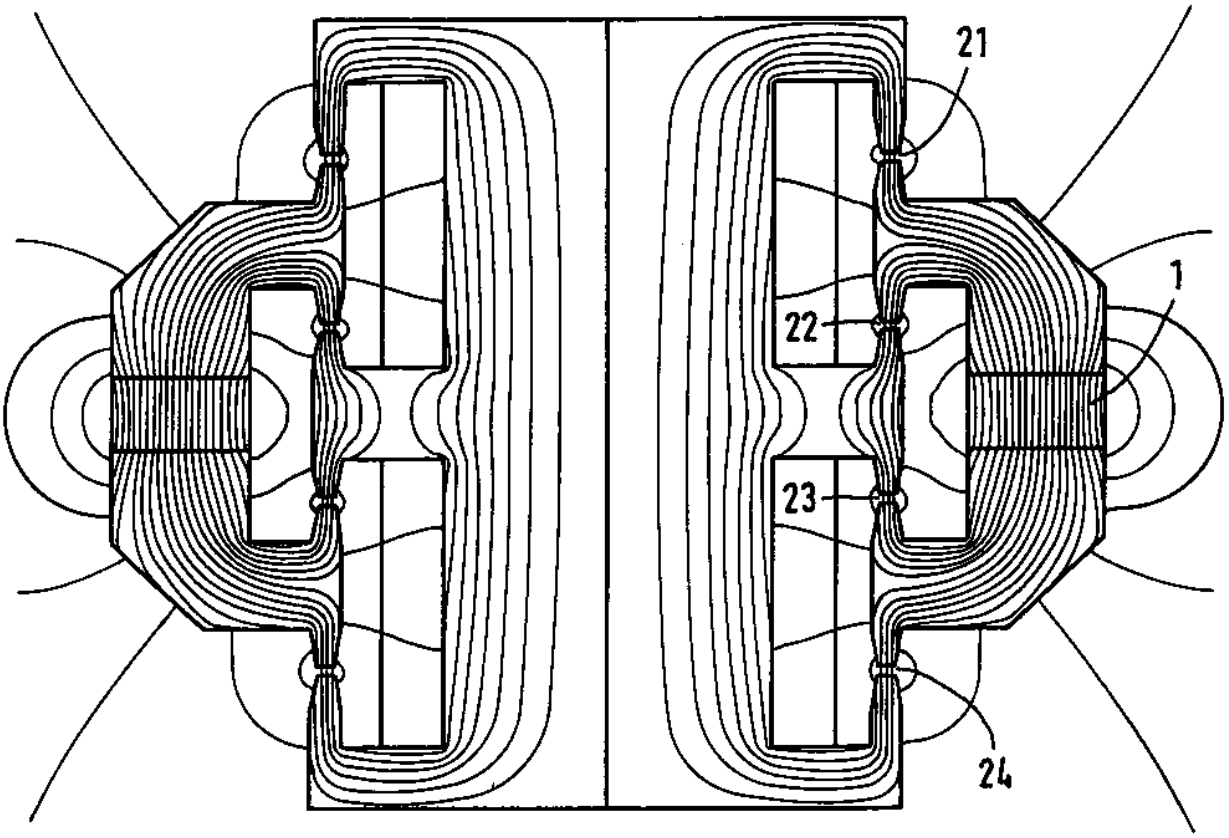
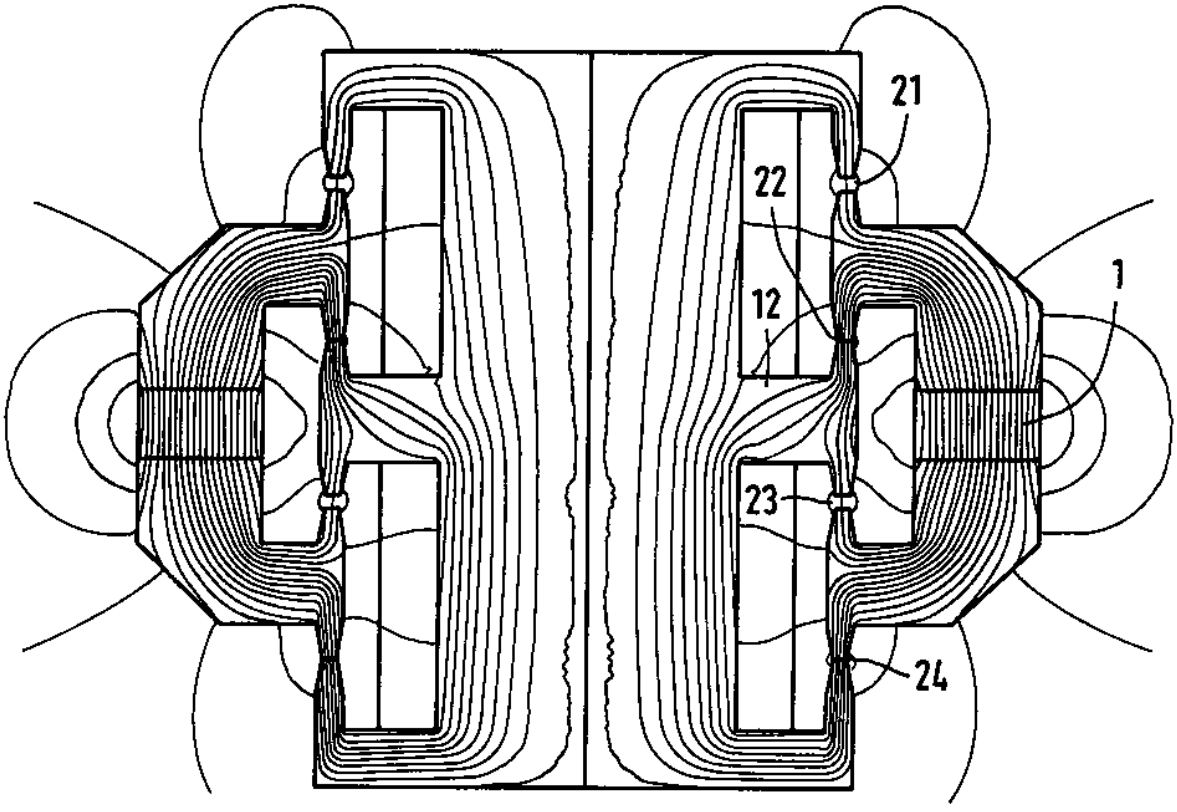


FIG. 6

Nummer: DE 40 20 726 A1
Int. Cl.[5]: F 16 C 32/04
Offenlegungstag: 2. Januar 1992

FIG.7



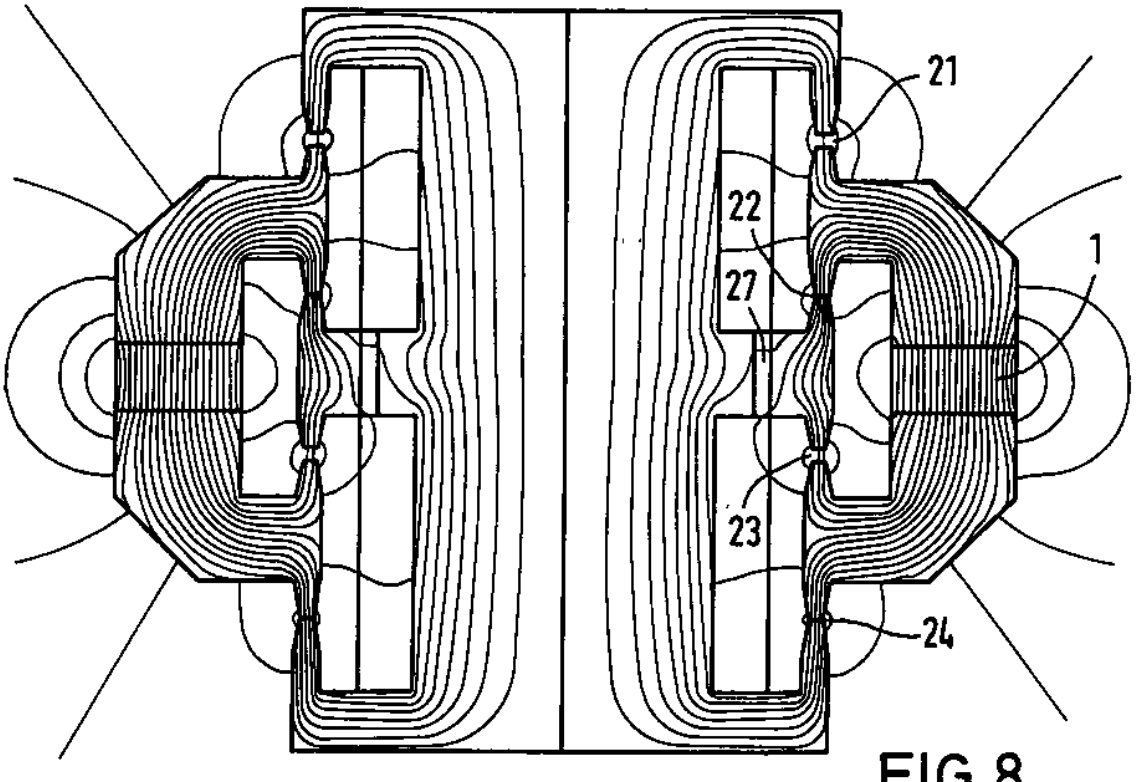


FIG.8