PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6 :		(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: **WO 98/59407**
H02K 7/09, 21/02	**A1**	(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 30. Dezember 1998 (30.12.98)

(21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/CH98/00268

(22) **Internationales Anmeldedatum:** 19. Juni 1998 (19.06.98)

(30) **Prioritätsdaten:**
197 26 352.6 21. Juni 1997 (21.06.97) DE

(71) **Anmelder** *(für alle Bestimmungsstaaten ausser US)*: SULZER ELECTRONICS AG [CH/CH]; Hegifeldstrasse 30, Postfach 56, CH–8409 Winterthur (CH). LUST ANTRIEBSTECHNIK GMBH [DE/DE]; Gewerbestrasse 5–9, Postfach 44, D–35633 Lahnau (DE).

(72) **Erfinder; und**
(75) **Erfinder/Anmelder** *(nur für US)*: AMRHEIN, Wolfgang [DE/AT]; Am Hochgatter 3, A–4100 Ottensheim (AT).

(74) **Anwalt:** SULZER MANAGEMENT AG; KS/Patente/0007, Zürcherstrasse 14, CH–8401 Winterthur (CH).

(81) **Bestimmungsstaaten:** JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

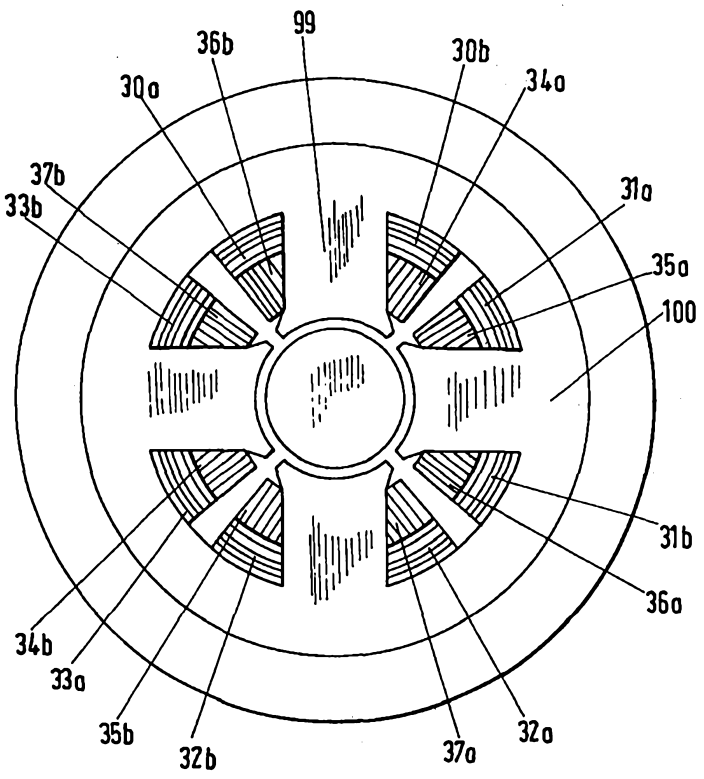
Veröffentlicht
Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) **Title:** ELECTRIC DRIVE MECHANISM WITH A MAGNETIC BEARING

(54) **Bezeichnung:** MAGNETGELAGERTER ELEKTRISCHER ANTRIEB

(57) **Abstract**

The invention relates to a electric drive mechanism with a magnetic bearing. The inventive electric drive mechanism comprises an electric machine with a magnetic bearing, mechanical and magnetic bearing windings being provided in the stator or rotor of said machine for producing torques and carrying force, and an analog or digital electronics unit for controlling, regulating, monitoring and supplying the magnetic bearing machine. Said magnetic bearing machine is equipped with separate single or multiple strand windings in the stator or rotor for producing torques (30, 31, 32, 33) and carrying force (34, 35, 36, 37), at least one of said windings being configured as a concentrated winding with salient winding poles.



(57) **Zusammenfassung**

Ein magnetgelagerter elektrischer Antrieb umfasst eine magnetgelagerte elektrische Maschine mit im Stator oder Rotor eingebrachten Maschinen– und Magnetlagerwicklungen für die Momenten– und Tragkraftbildung und eine analoge oder digitale Elektronik zur Steuerung, Regelung, Überwachung und Speisung der magnetgelagerten Maschine. Die magnetgelagerte Maschine ist im Stator oder Rotor mit getrennten ein– oder mehrsträngigen Wicklungen für die Momentenbildung (30, 31, 32, 33) und für die Tragkraftbildung (34, 35, 36, 37) ausgestattet, wobei mindestens eine der Wicklungen als konzentrierte Wicklung mit ausgeprägten Wicklungspolen ausgebildet ist.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	**ES**	Spanien	**LS**	Lesotho	**SI**	Slowenien
AM	Armenien	**FI**	Finnland	**LT**	Litauen	**SK**	Slowakei
AT	Österreich	**FR**	Frankreich	**LU**	Luxemburg	**SN**	Senegal
AU	Australien	**GA**	Gabun	**LV**	Lettland	**SZ**	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	**GB**	Vereinigtes Königreich	**MC**	Monaco	**TD**	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	**GE**	Georgien	**MD**	Republik Moldau	**TG**	Togo
BB	Barbados	**GH**	Ghana	**MG**	Madagaskar	**TJ**	Tadschikistan
BE	Belgien	**GN**	Guinea	**MK**	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	**TM**	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	**GR**	Griechenland			**TR**	Türkei
BG	Bulgarien	**HU**	Ungarn	**ML**	Mali	**TT**	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	**IE**	Irland	**MN**	Mongolei	**UA**	Ukraine
BR	Brasilien	**IL**	Israel	**MR**	Mauretanien	**UG**	Uganda
BY	Belarus	**IS**	Island	**MW**	Malawi	**US**	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	**IT**	Italien	**MX**	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	**JP**	Japan	**NE**	Niger	**UZ**	Usbekistan
CG	Kongo	**KE**	Kenia	**NL**	Niederlande	**VN**	Vietnam
CH	Schweiz	**KG**	Kirgisistan	**NO**	Norwegen	**YU**	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	**KP**	Demokratische Volksrepublik Korea	**NZ**	Neuseeland	**ZW**	Zimbabwe
CM	Kamerun			**PL**	Polen		
CN	China	**KR**	Republik Korea	**PT**	Portugal		
CU	Kuba	**KZ**	Kasachstan	**RO**	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	**LC**	St. Lucia	**RU**	Russische Föderation		
DE	Deutschland	**LI**	Liechtenstein	**SD**	Sudan		
DK	Dänemark	**LK**	Sri Lanka	**SE**	Schweden		
EE	Estland	**LR**	Liberia	**SG**	Singapur		

Magnetgelagerter elektrischer Antrieb

Die Erfindung betrifft einen magnetgelagerten elektrischen Antrieb gemäss Oberbegriff des unabhängigen Patentanspruchs.

Die Magnetlagertechnik erschliesst Applikationsfelder des Maschinen- und Gerätebaus mit äusserst hohen Anforderungen an den Drehzahlbereich, die Lebensdauer, die Reinheit und die Dichtheit des Antriebssystems - also im wesentlichen Anwendungsgebiete, die unter Verwendung konventioneller Lagertechniken nicht oder nur schwer realisierbar sind. Verschiedene Ausführungen, wie beispielsweise Hochgeschwindigkeitsfräs- und Schleifspindeln, Turbokompressoren, Vakuumpumpen, oder Pumpen für hochreine chemische oder medizinische Erzeugnisse werden bereits mit Magnetlagern ausgerüstet.

Eine konventionelle magnetgelagerte elektrische Maschine (Fig. 1) benötigt neben einer Maschineneinheit 1 zwei Radial-Magnetlager 2 bzw. 3, ein Axial-Magnetlager 4, zwei mechanische Auffanglager 5 bzw. 6 sowie für die Ansteuerung der Motor- und Magnetlagerstränge insgesamt dreizehn Leistungssteller 7,8,9 und 10.

In der Literatur gibt es Vorschläge (Fig. 2), Maschine und Radialmagnetlager in einer magnetischen Statoreinheit zu integrieren. In einem Stator sind zwei getrennte Wicklungssysteme 11 und 12 für die Drehmoment- und

Bestätigungskopie

Tragkraftwicklung mehrlagig in Nuten eingebracht. Beide Wicklungssysteme sind dreisträngig und unterscheiden sich in der Polpaarzahl um eins. Die Spulen sind über mehrere Nuten verteilt. Das Beispiel aus Fig. 2 zeigt:

- eine vierpolige Maschinenwicklung 11 (aussen): erster Strang 13, zweiter Strang 14, dritter Strang 15
- eine zweipolige Tragwicklung 12 (innen): erster Strang 16, zweiter Strang 17, dritter Strang 18.

Die Pfeile (ohne Bezugszeichen) vom Rotor in Richtung zum Stator hin bzw. vom Stator in Richtung zum Rotor hin stehen für die Richtung der Magnetisierung der vier magnetischen Rotorsegmente (z.B. radiale oder diametrale Magnetisierung).

In Applikationen, die keine achsenstarre Rotorführung erfordern, wie beispielsweise in Ventilatoren, Lüftern, Pumpen oder Mischern kann in der integrierten Maschinen-Magnetlagerausführung das Axial-Magnetlager sowie das zweite Radial-Magnetlager entfallen. Voraussetzung hierfür ist eine scheibenförmige Ausführung des Rotors mit einer gegenüber dem Rotordurchmesser kleinen Längenabmessung (Fig. 3). Über den magnetischen Zug 41 zwischen Stator 39 und Rotor 40 lässt sich somit eine passive Stabilisierung der Rotorlage in axialer Richtung und den Kipprichtungen erzielen.

In vielen Fällen stehen jedoch dem technischen Einsatz der Magnetlagerung der aufwendige Systemaufbau und damit die hohen Herstellkosten im Wege. Die durch die Erfindung zu lösende Aufgabe besteht daher in der Vereinfachung des mechanischen Aufbaus der Maschinen- und Magnetlagereinheit unter Berücksichtigung der hierfür geeigneten elektronischen Ansteuerung.

Die erfindungsgemässe Lösung dieser Aufgabe geht aus den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs hervor. Bevorzugte Ausführungsvarianten sind durch die Merkmale der abhängigen Ansprüche definiert. Von besonderem Vorteil bei der erfindungsgemässen Lösung des Problems ist der wesentlich vereinfachte Stator- bzw. Rotor- und Wicklungsaufbau der magnetgelagerten Maschine gegenüber bisher bekannten Lösungen, sowie die Einsparung von Leistungsstellern. So werden beispielsweise für einen magnetgelagerten Einphasen-Motor lediglich drei Stränge und sechs Spulen benötigt.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind nachstehend anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigen in schematischer Darstellung:

Fig.1 ein Ausführungsbeispiel einer konventionellen magnetgelagerten elektrischen Maschine,

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel einer konventionellen magnetgelagerten elektrischen Maschine, bei der Maschine und Radialmagnetlager in einer magnetischen Statoreinheit integriert sind,

Fig. 3 eine Möglichkeit der passiven Stabilisierung des Rotors in axialer Richtung sowie in den Kipprichtungen,

Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel eines Stators des erfindungsgemässen magnetgelagerten elektrischen Antriebs,

Fig. 5 ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen elektrischen Antriebs mit einer wicklungstechnischen Variante für einen Aussenläufer,

Fig. 6 ein Ausführungsbeispiel eines elektrischen Antriebs mit mehreren verteilten Spulen,

Fig. 7 ein Ausführungsbeispiel einer möglichen Brückenschaltung zur Ansteuerung des elektrischen Antriebs,

Fig. 8 ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen magnetgelagerten Antriebs mit gesehnten konzentrierten Wicklungen sowie mit ausgeprägten Polen und Hilfspolen,

Fig. 9 eine Darstellung der winkelabhängigen Kraftschwankungen bei nichtsinusförmigen Statorstrombelagsverteilungen und nichtsinusförmiger Erregerfeldverteilung im Luftspalt,

Fig. 10 ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Antriebs mit unsymmetrischem Blechschnitt im Bereich der Wicklungspole,

Fig. 11 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemässen Antriebs mit einem Hilfsmagneten zur Sicherstellung des Anlaufs bei einem Motorbetrieb mit Wechselfeld,

Fig. 12 eine Möglichkeit des gesteuerten Abwälzens des Rotors an den Statorpolen,

Fig.13 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemässen Antriebs mit einseitig auf den Statorpolen angebrachten Kurzschlussringen,

Fig.14 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemässen Antriebs mit einer speziellen Formgebung der Magnetsegmente zur Erzielung einer sinusförmigen Erregerfeldverteilung im Luftspalt

und

Fig. 15 ein Ausführungsbeispiel eines Stators des erfindungsgemässen magnetgelagerten Antriebs mit der Möglichkeit einer Drehfelderzeugung sowohl bei Maschine als auch beim Radiallager.

Die Maschinen können abhängig von der Applikation als Motor oder als Generator betrieben werden. Fig. 4 zeigt eine Ausführungsform einer Maschinen-Magnetlager-Einheit (der Stator ist z.B. zur besseren Kühlung in einem Aluminiumring bzw. einem Aluminiumzylinder eingefasst) mit konzentrierten Durchmesserwicklungen und ausgeprägten Polen. Unter konzentrierten Wicklungen sollen hierbei Wicklungen verstanden werden, deren Spulen über eine Polteilung nicht verteilt und gleichzeitig zueinander (magnetisch wirksam) versetzt sind. So werden beispielsweise die Spulen 34 bzw. 35 als konzentriert betrachtet. Unter ausgeprägten Polen werden ferromagnetische Pole oder Luftspulenpole verstanden, die von einer konzentrierten Wicklung umschlossen werden. Hierunter fallen beispielsweise Schenkelpole 99, die von der konzentrierten Wicklung umschlossen werden, oder einfach oder mehrfach geteilte Pole wie 99 und 100, die von der konzentrierten Spule 36 magnetisch eingeschlossen werden. Die Wicklungen können auch gesehnt, d.h. mit einer Wicklungsweite kleiner oder grösser einer Polteilung ausgeführt sein. Ein Ausführungsbeispiel hierzu ist in Fig. 8 dargestellt. Bei starker Sehnung ist es unter Umständen günstig, die durch Verkürzen der Polweite entstehende Pollücke mit einem ferromagnetischen Hilfspol 86 zu schliessen. Die Funktionen der Drehmoment- und Tragkraftbildung sind in den Anordnungen aus Fig. 4 und Fig. 8 durch zwei Wicklungssysteme realisiert: Eine

einsträngige, vierpolige Maschinenwicklung sowie eine zweisträngige, zweipolige Magnetlagerwicklung.

Der Maschinenstrang wird aus den Spulen 30, 31, 32 und 33, der erste Magnetlagerstrang aus den Spulen 34 sowie 35 und der zweite Magnetlagerstrang aus den Spulen 36 sowie 37 gebildet. Die konzentrierten Spulen des Maschinenstrangs bilden mit dem ferromagnetischen Werkstoff ausgeprägte Pole (hier: Schenkelpole). Sie können je nach Bedarf seriell oder parallel miteinander verschaltet werden und bilden bei Speisung mit einem Wechselstrom ein vierpoliges Drehfeld aus, das genügt, um beispielsweise an einem vierpoligen Permanentmagnetrotor ein Drehmoment zu erzeugen. Der erste und der zweite Magnetlagerstrang sind im Winkel von neunzig Grad zueinander angeordnet. Über eine entsprechende Bestromung der Magnetlagerstränge wird ein zweipoliges Drehfeld zur Einstellung der radialen Tragkraft in Amplitude und Phase aufgebaut. Die Spulen eines Maschinen- oder Magnetlagerstranges aus der Fig. 4 sind seriell oder parallel verschaltet. Die Magnetlagerspulen 34 und 35 bzw. die Spulen 36 und 37 können bei Bedarf jeweils zu einer Einzelspule zusammengefasst werden und bilden konzentrierte Wicklungen.

In Fig. 5 ist eine wicklungstechnische Variante für einen Aussenläuferantrieb mit ebenfalls einer einsträngigen, vierpoligen Maschinenwicklung 67,68,69,70 und einer zweisträngigen, zweipoligen Magnetlagerwicklung mit dem ersten Strang 71,72 und dem senkrecht hierzu angeordneten zweiten Strang 73,74 dargestellt. Die beiden Stränge der Magnetlagerwicklung können auch um 45° gedreht und in Nuten der Maschinenwicklung gelegt werden, sodass sich ein Aufbau ähnlich wie in Fig. 4 ergibt. Weiterhin lassen sich die Spulen 71,72 und 73,74 zu jeweils einer Spule zusammenfassen. Den Maschinenstrang betreffend könnte auch auf zwei einander gegenüberliegende Spulen, z.B. 68,70 verzichtet werden. Der Aussenläufer

der Anordnung aus Fig. 5 wird vorzugsweise als vierpoliger Ring oder Glocke ausgeführt.

Alternativ zu den Anordnungen aus Fig. 4 und 5 kann die Maschinenwicklung oder die Magnetlagerwicklung auch aus mehreren (dargestellt: zwei) verteilten Spulen 75,76 aufgebaut werden (Fig. 6). In Fig. 6 erkennt man entsprechend einen ersten Stranganschluss 77 und einen zweiten Stranganschluss 78 bzw. die Weiterleitung zu dem nächsten benachbarten Wicklungspol mit umgekehrtem Wicklungssinn.

Die Bestimmung der einzelnen Strangströme erfolgt unter Beachtung der Sollgrössenvorgabe und der Ist-Werte beispielsweise der Rotorlage und Drehzahl, Rotordrehwinkel oder Drehmoment nach Auswertung der Sensorsignale für Rotorlage und Rotordrehwinkel mittels einer Analogschaltung oder einer schnellen Rechnereinheit. Die ermittelten Signale werden von einer Leistungselektronik verstärkt und den drei Strängen über getaktete Schalter oder analoge Leistungsverstärker zugeführt. Eine mögliche Brückenschaltung ist in Fig. 7 angegeben. Mit 24 ist der Maschinenstrang, mit 25 und 26 die beiden Magnetlagerstränge bezeichnet. Anstelle einer Stromeinprägung kann auch unter Berücksichtigung der Charakteristik der Regelstrecke eine Spannungseinprägung erfolgen.

Die Rotorart der Maschine kann frei gewählt werden, insbesondere dann, wenn der Maschinenbetrieb über ein Drehfeld anstelle eines Wechselfeldes erfolgt. Verwendbar sind beispielsweise Permanentmagnetrotoren, Kurzschlusskäfigrotoren, Rotoren mit einer elektrisch hochleitfähigen Metallummantelung anstelle des Kurzschlusskäfigs oder Reluktanzrotoren mit winkelabhängigen Luftspaltänderungen.

Bei nicht ausreichender Sehnung bzw. Verteilung der Wicklungen und bei nichtsinuförmigen Erregerfeldverteilungen entstehen durch den Oberwellengehalt der Luftspaltfelder bei Bestromung eines Strangs der Radiallagerwicklung gemäss Fig. 4, Fig. 5 oder Fig. 8 mit einer konstanten Stromamplitude bei Drehung des Rotors winkelabhängige radiale Kraftschwankungen 42, wie sie beispielsweise in Fig. 9 dargestellt sind. Diesem Effekt sollte, um ein gutes Betriebsverhalten zu erzielen, bei der Bestromung der Wicklungen Rechnung getragen werden.

Eine annähernd sinusförmige Erregerfeldverteilung lässt sich bei Verwendung von Permanentmagnetrotoren 85 beispielsweise durch eine Formgebung 82 mit einem winkelabhängigen Luftspalt zwischen dem Rotor und dem Stator 84 gemäss Fig. 14 erzielen. Günstig wirkt sich hinsichtlich einer sinusförmigen Feldverteilung auch eine diametrale Magnetisierung der Permanentmagnete aus. Mit 83 ist der ferromagnetische Rückschluss des Rotors bezeichnet. Aus Kostengründen kann es jedoch von Vorteil sein, konzentrierte Wicklungen und radial oder diametral magnetisierte Magnete ohne besondere Formgebung einzusetzen.

Da in der magnetgelagerten Maschine aus Fig. 4 bzw. Fig. 5 für den Maschinenbetrieb nur ein Wechselfeld zur Verfügung steht, ist zum Zeitpunkt des Anlaufes gegebenenfalls ein Hilfsmoment zur Überwindung der Totzone bereitzustellen. Dies kann beispielsweise durch einen unsymmetrischen Blechschnitt 38 im Bereich der Wicklungspole erfolgen (Fig. 10). Eine weiterer Lösungsvorschlag (Fig. 11) sieht einen oder mehrere axial oder radial zum Rotor angebrachte Hilfsmagnete 43 vor, die beispielsweise den vierpoligen Permanentmagnetrotor 50 aufgrund ihrer Zugkraft beim Starten in eine günstige Ausgangsposition 44 mit dem Winkel φ bringen. In der Stellung 45 der Magnetpolgrenze wäre das Startmoment bei beliebig hohem Strom null. Mit 46,47,48 und 49 sind die Wicklungspole angedeutet. Um die

Zugkraft zu unterstützen, können die Hilfsmagnete zusätzlich mit einem Eisenrückschluss versehen werden.

Eine Veränderung der Magnetpollage könnte auch durch ein vom Magnetlagerteil gesteuertes Abwälzen (Fig. 12) des Rotors 66 an der Luftspaltstirnseite der Statorpole 65 bewirkt werden. Infolge der unterschiedlichen Durchmesser ergibt sich beim Abwälzen eine wachsende Winkelverschiebung zwischen Magnet- und Statorpolen, sodass der Rotor aus der Totzone, in der eine Drehmomententwicklung nicht möglich ist, herausgedreht werden kann. Mit 67 ist die Mittelpunktsbewegung des Rotors während des Abwälzens dargestellt. Es kann erforderlich sein, am Umfang des Rotors und/oder Stators Mittel zur Verhinderung eines Gleitens zwischen Rotor und Stator während der Abwälzbewegung vorzusehen (z. B. Verwendung von Werkstoffen mit hohen Reibwerten, Aufrauhen der Oberflächen, Verzahnung, etc.).

Eine weiterer Lösungsvorschlag ist in Fig 13 dargestellt. Die Statorpole sind einseitig mit einem Kurzschlussring 52 versehen, sodass sich aufgrund der Kurzschlussströme anstelle des Wechselfeldes ein stark elliptisches Drehfeld im Luftspalt ergibt.

Die Figuren 4, 5, 8 und 10 sind auch bezüglich der Polpaarzahl für die Drehmoment- und Tragkraftbildung sowie bezüglich der Strangzahl der beiden Wicklungen als beispielhaft zu sehen. Es lassen sich auch veränderte Polpaarzahlen realisieren, wobei zwischen der Polpaarzahl p_M für den Maschinenbetrieb und der Polpaarzahl p_{ML} für den Magnetlagerbetrieb die Beziehung $p_M = p_{ML} \pm 1$ erfüllt sein muss. Durch Erweiterung der Strangzahl sowie der Anzahl Brückenzweige in der Leistungselektronik lässt sich auch erfindungsgemäss anstelle der Wechselfeldmaschine eine Drehfeldmaschine in den magnetgelagerten Antrieb integrieren.

Ein mögliches Ausführungsbeispiel hierzu ist in Fig. 15 dargestellt. Der Stator enthält zwei vierpolige Maschinenstränge bestehend aus den seriell oder parallel verschalteten Spulen 87,89,91,93 und 88,90,92,94. Die Maschinenstränge sind zueinander elektrisch um 90° versetzt, sodass ein Ankerdrehfeld zur Drehmomentbildung mit einem vierpoligen Rotor ohne Momentenlücke aufgebaut werden kann. Diese Anordnung benötigt daher im Unterschied zu vorangegangenen Beispielen keine Anlaufhilfe.

Die Durchmesserspulen 95 und 97 bilden die beiden geometrisch um 90° versetzten Stränge des Radialmagnetlagers. Auch hier ist eine Drehfeldbildung möglich. Zur besseren Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Wickelraums können zwei weitere Spulen 96 und 98 eingebracht und beispielsweise die Spule 96 mit der Spule 95 und die Spule 98 mit der Spule 97 zu je einem Strang verschaltet werden.

Eine andere Konstruktionsvariante ebenfalls mit den Polpaarzahlen zwei und eins in den Statorwicklungen könnte auch mit einem zweipoligen Rotor realisiert werden. Hierzu wäre die ein- oder mehrsträngige Maschinenwicklung zweipolig und die mehrsträngige Magnetlagerwicklung vierpolig zu wählen.

Ein weiterer wesentlicher, von den zuvor erläuterten Aspekten vollständig unabhängiger Aspekt der Erfindung beruht schliesslich auf der Erkenntnis, dass es möglich ist, die magnetgelagerte Maschine des erfindungsgemässen elektrischen Antriebs im Stator oder Rotor mit getrennten Wicklungen für die Momenten- und die Tragkraftbildung auszustatten und dabei die Maschinenwicklung einsträngig auszubilden.

Patentansprüche

1. Magnetgelagerter elektrischer Antrieb, umfassend eine magnetgelagerte elektrische Maschine mit im Stator oder Rotor eingebrachten Maschinen- und Magnetlagerwicklungen für die Momenten- und Tragkraftbildung und eine analoge oder digitale Elektronik zur Steuerung, Regelung, Überwachung und Speisung der magnetgelagerten Maschine, **dadurch gekennzeichnet**, dass die magnetgelagerte Maschine im Stator oder Rotor mit getrennten ein- oder mehrsträngigen Wicklungen für die Momentenbildung (30,31,32,33) und für die Tragkraftbildung (34,35,36,37) ausgestattet ist, wobei mindestens eine der Wicklungen als konzentrierte Wicklung mit ausgeprägten Wicklungspolen ausgebildet ist.

2. Elektrischer Antrieb nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Magnetlagerwicklung zur Tragkraftbildung (34,35,36,37) mit der Polpaarzahl p_{ML} zur Ausbildung eines Drehfeldes mehrsträngig ausgebildet ist.

3. Elektrischer Antrieb nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Maschinenwicklung zur Momentenbildung (30,31,32,33) mit der Polpaarzahl $p_M = p_{ML} \pm 1$ zur Ausbildung eines Drehfeldes mehrsträngig oder zur Ausbildung eines Wechselfeldes einsträngig ausgebildet ist.

4. Elektrischer Antrieb nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die konzentrierte Wicklung als Durchmesserwicklung (30,31,32,33) ausgebildet ist.

5. Elektrischer Antrieb nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die konzentrierte Wicklung gesehnt und damit mit einer Spulenweite kleiner oder grösser als eine Polteilung versehen ist.

6. Elektrischer Antrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Magnetlagerwicklung zweisträngig (34,35;36,37) und die Motorwicklung einsträngig (30,31,32,33) ausgebildet ist, und dass die Polpaarzahlen der Magnetlagerwicklung (34,35;36,37) und der Motorwicklung (30,31,32,33) ohne Wertung der Reihenfolge eins und zwei betragen.

7. Elektrischer Antrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rotor oder Stator des elektrischen Antriebes mit Permanentmagneten, mit einem Kurzschlusskäfig, einer elektrisch hochleitfähigen Metallummanterlung oder einem Reluktanzschnitt bestückt ist.

8. Elektrischer Antrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Falle einer einsträngigen Maschinenwicklung eine Anlaufhilfe für den sicheren Anlauf vorgesehen ist, insbesondere in der Gestalt eines unsymmetrischen Statorblechschnittes (38), eines oder mehrerer Hilfsmagnete (43) oder eines oder mehrerer Kurzschlussringe (13), oder dass eine günstige Anlaufposition des Rotors über eine entsprechende Ansteuerung der Magnetlagerwicklungen durch Abrollen (67) des Rotors auf der dem Rotor zugewandten Statorfläche eingestellt wird.

9. Elektrischer Antrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der magnetisch wirksame Teil des Rotors (40) und vorzugsweise auch des Stators (39) scheiben-, ring- oder glockenförmig mit gegenüber den radialen Abmessungen kleinen axialen Abmessungen ausgeführt ist, sodass aufgrund der Kraftwirkung (41) der magnetischen Luftspaltfelder eine für den Betrieb ausreichende stabile passive magnetische Lagerung des Rotors in axialer Richtung und den beiden Kipprichtungen erfolgt.

10. Elektrischer Antrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sämtliche Wicklungen, also sowohl die Maschinen- als auch die Magnetlagerwicklungen, als konzentrierte Wicklungen ausgebildet sind.

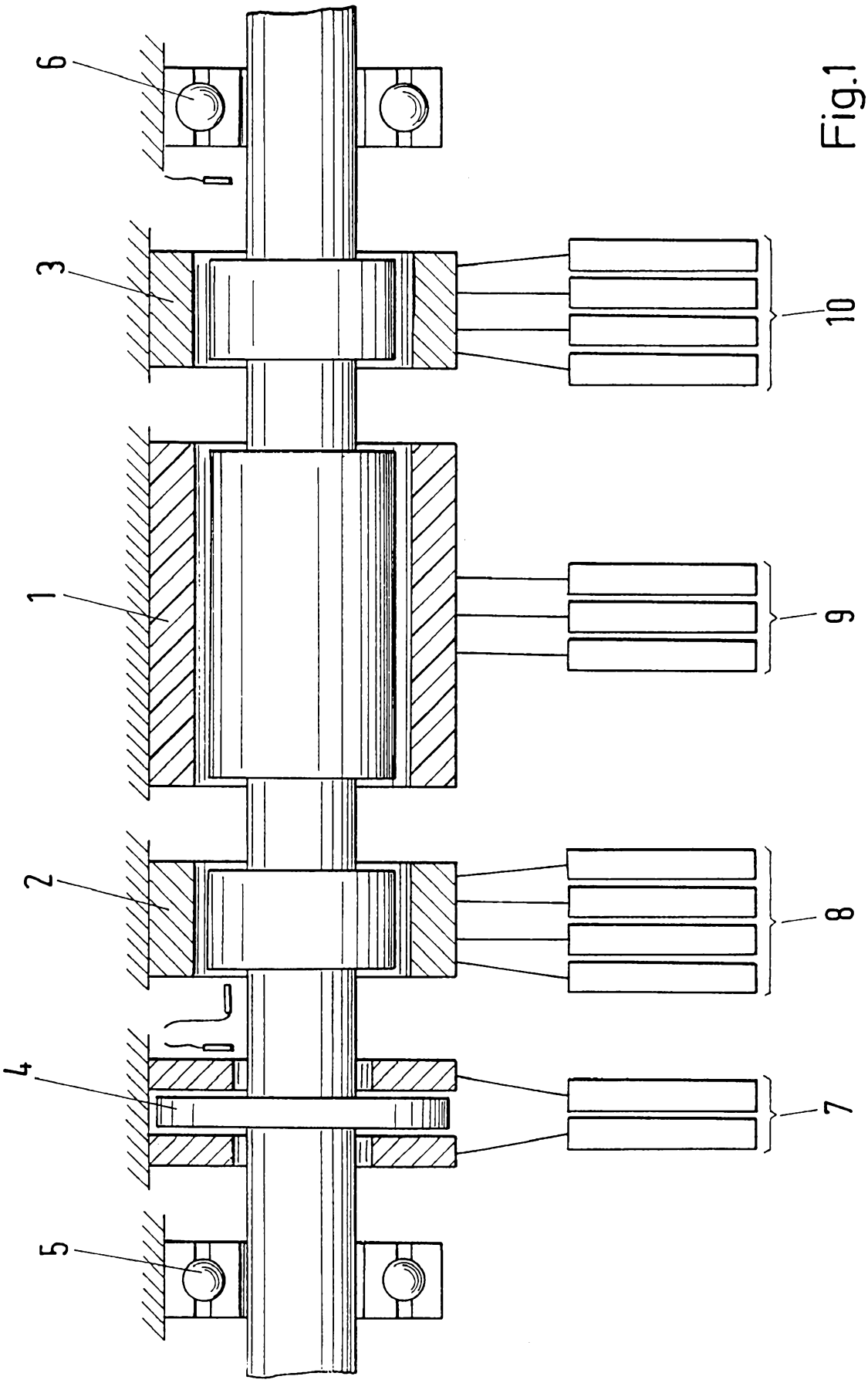


Fig.1

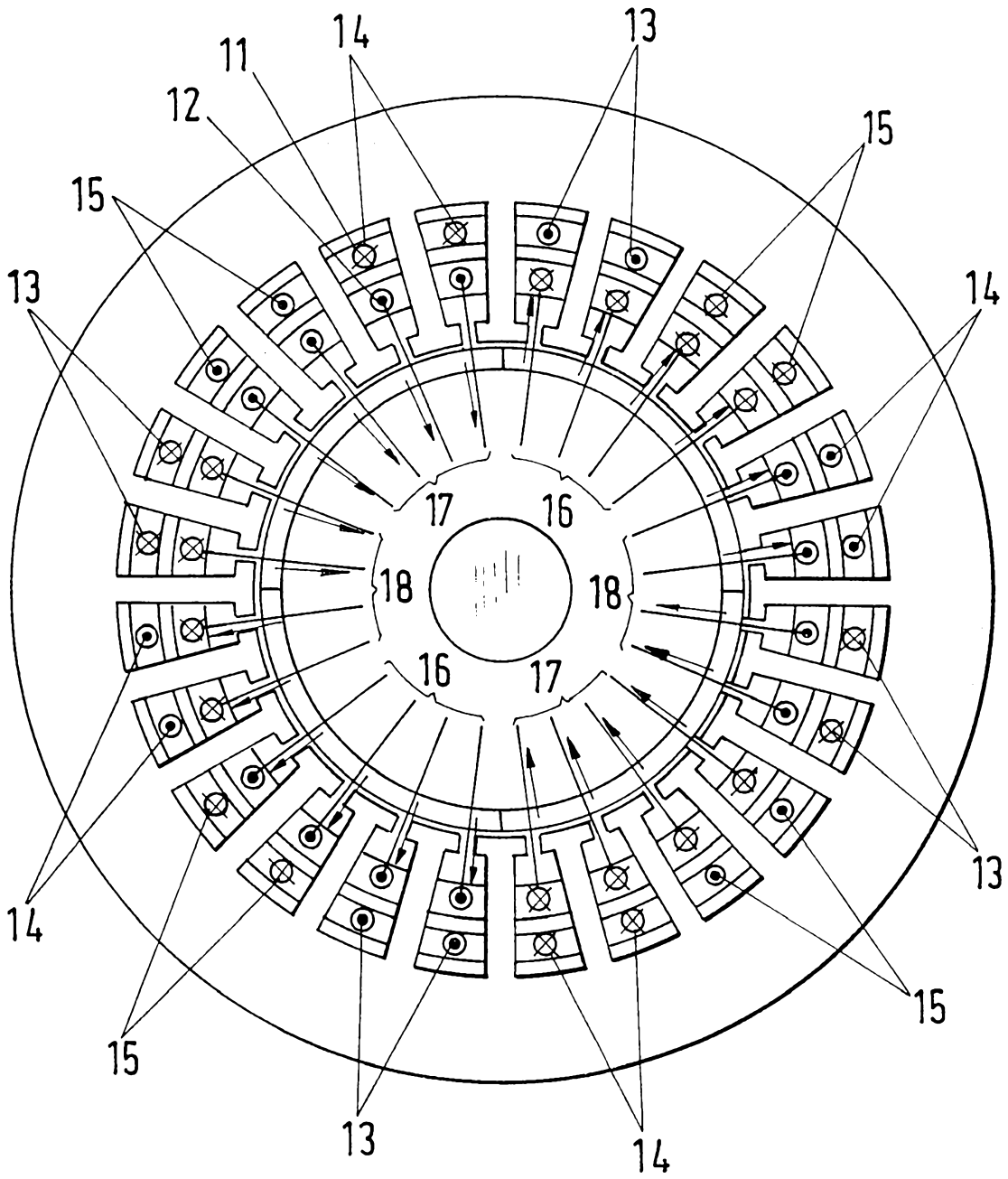


Fig.2

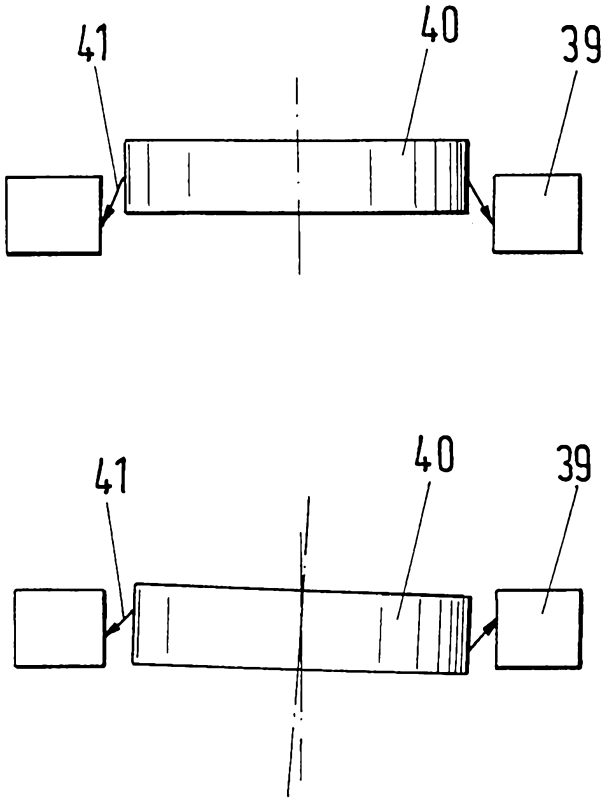


Fig.3

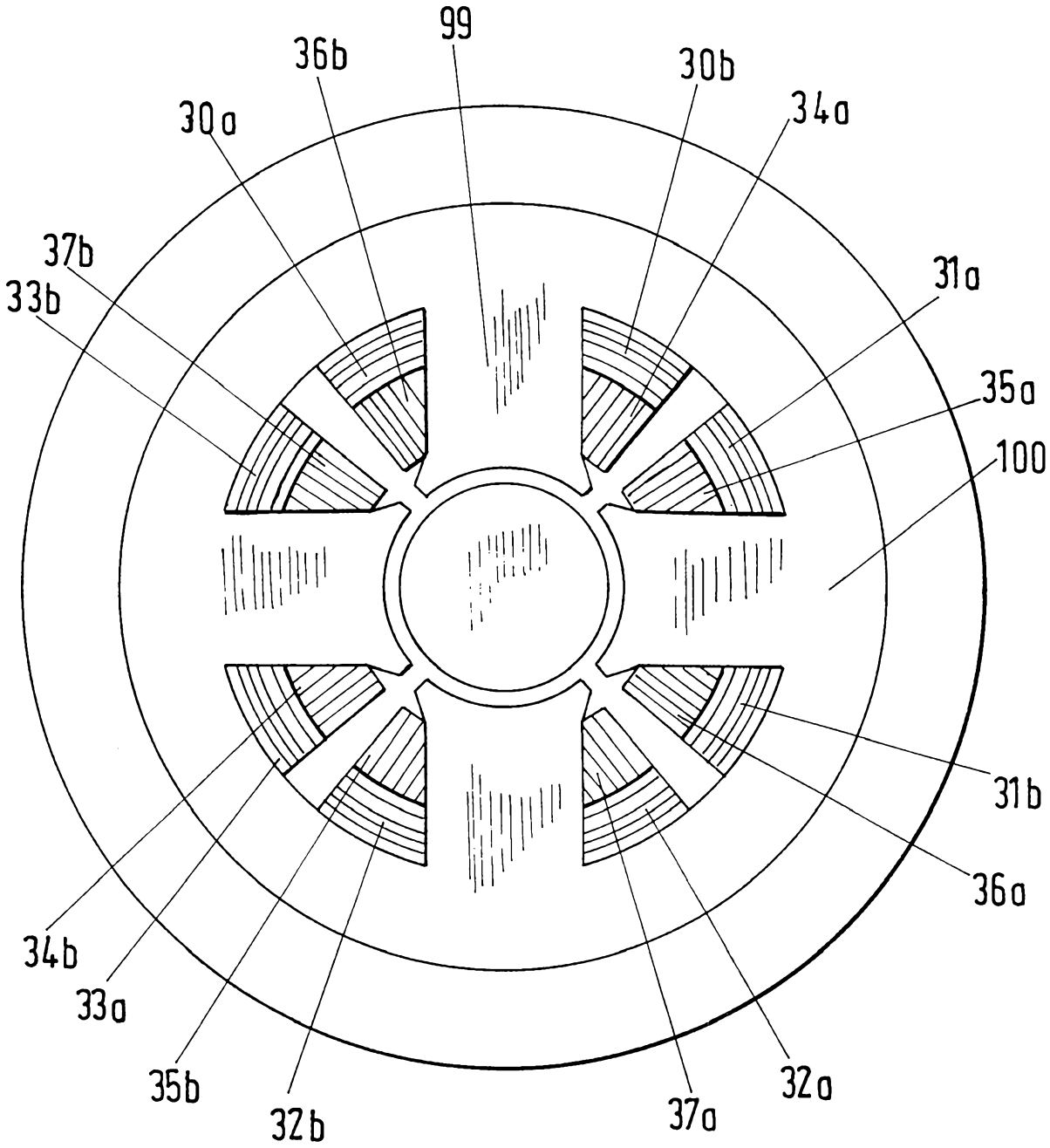

99
36b
30b
30a
34a
37b
33b
31a
35a
100
31b
36a
34b
33a
35b
32b
37a
32a

Fig.4

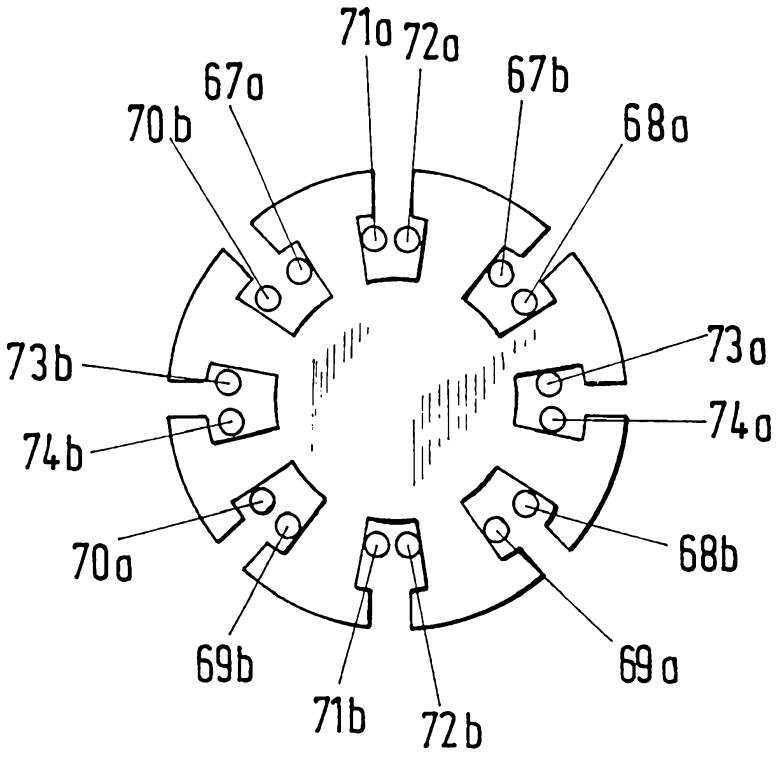


Fig.5

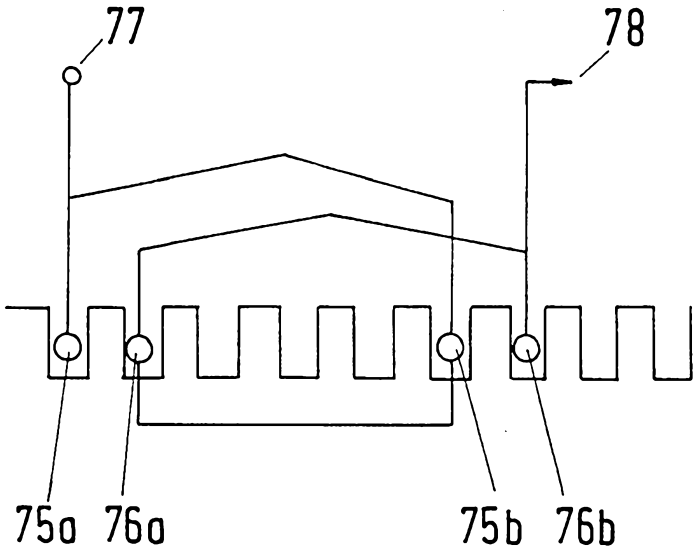


Fig.6

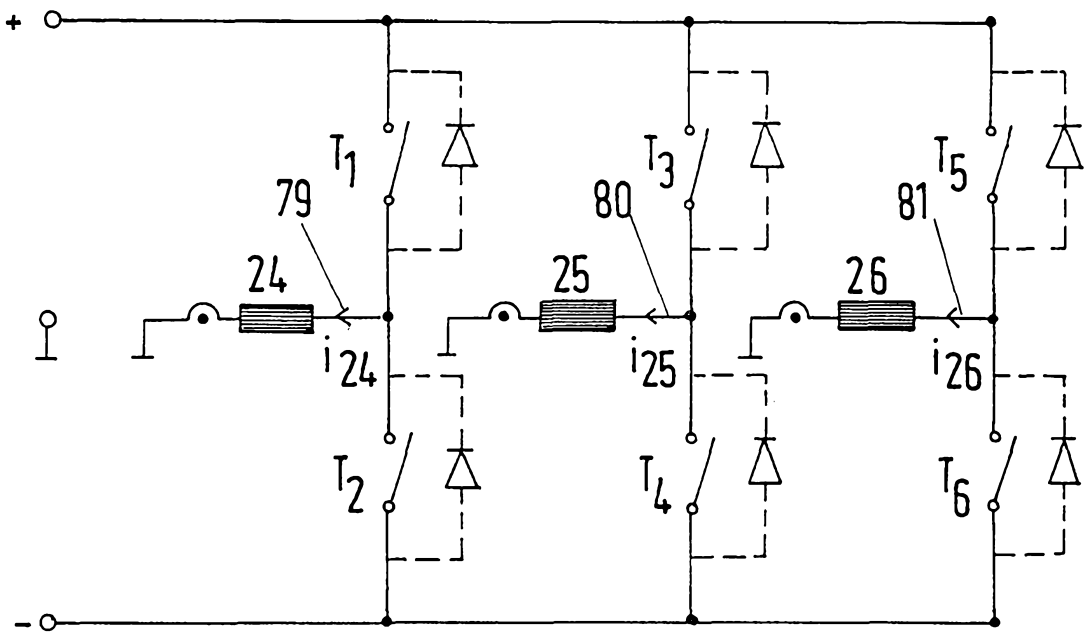


Fig.7

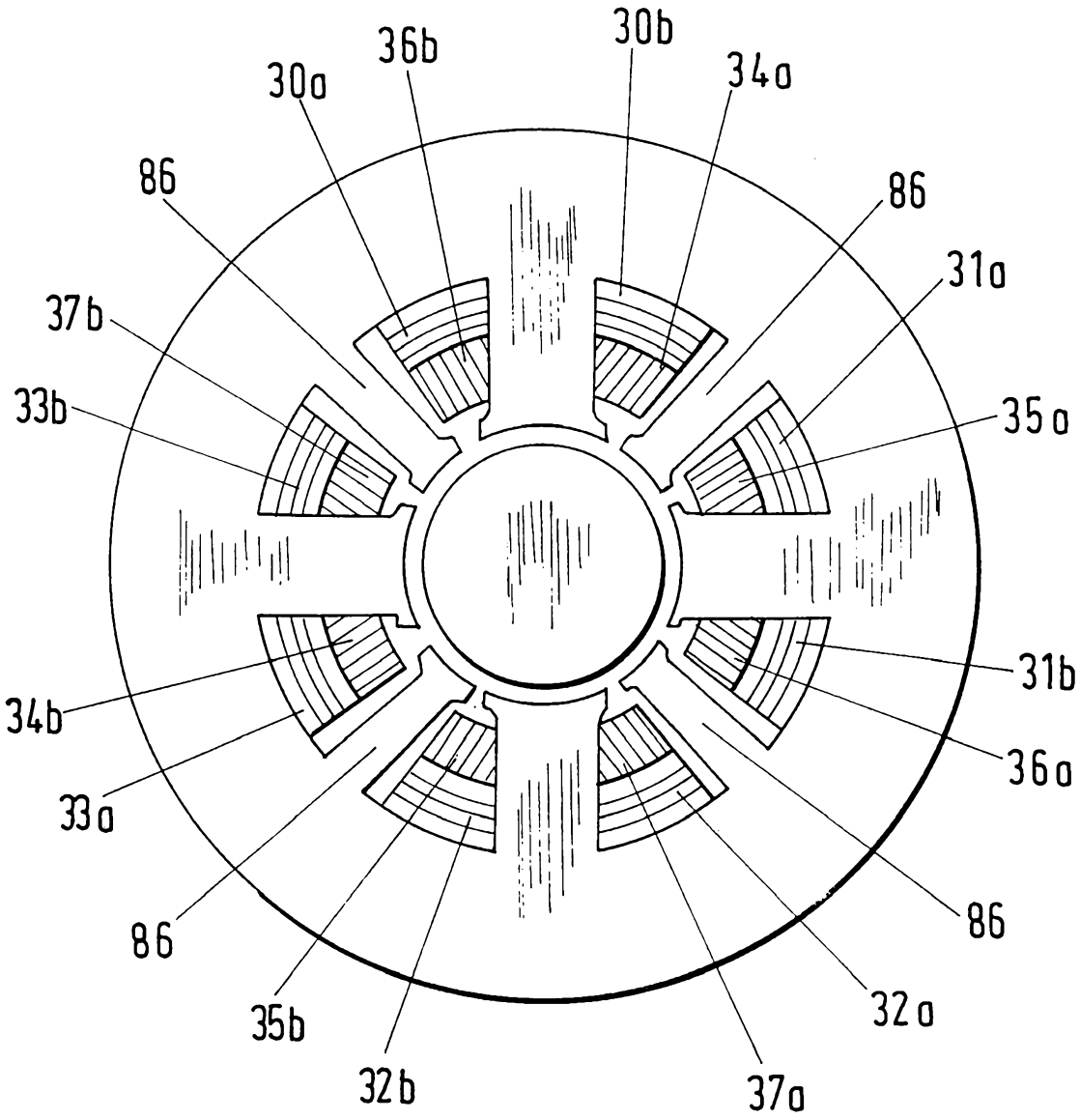

30b
36b
30a
34a
86
86
31a
37b
33b
35a
31b
34b
36a
33a
86
86
35b
32a
32b
37a

Fig.8

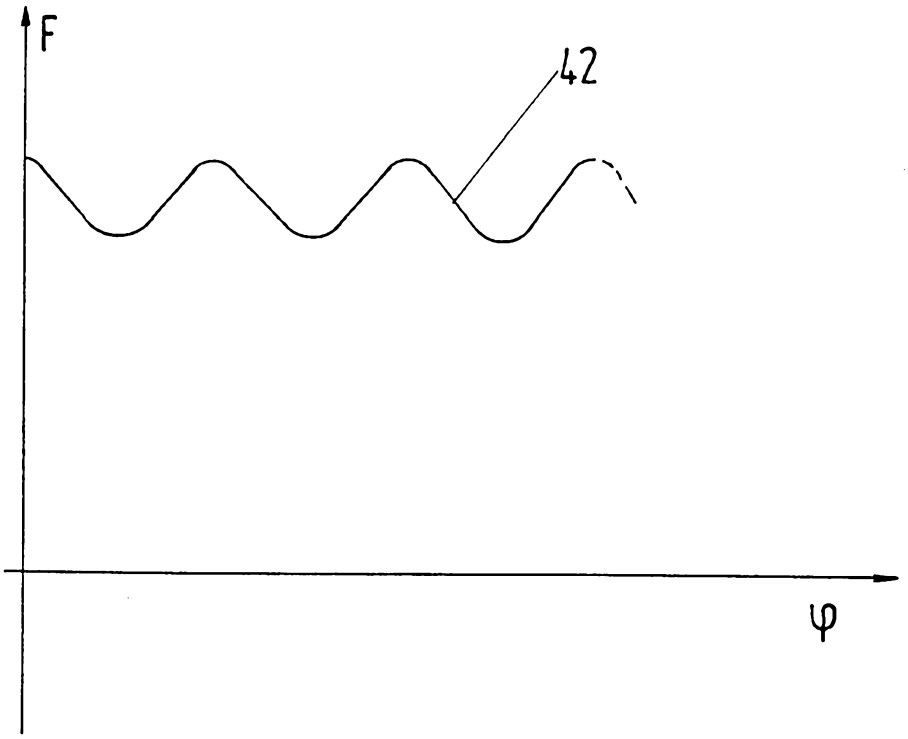


Fig.9

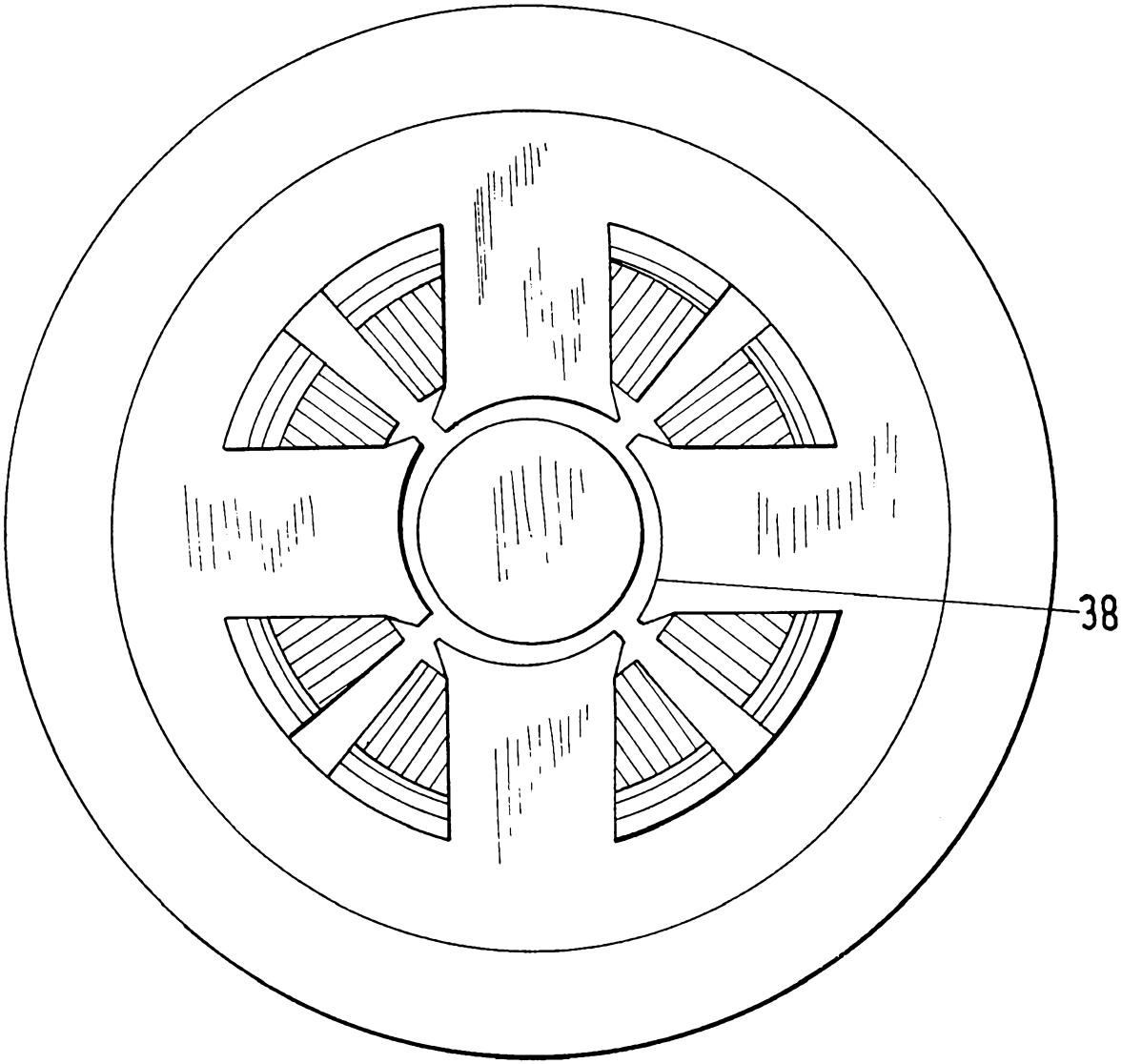


Fig.10

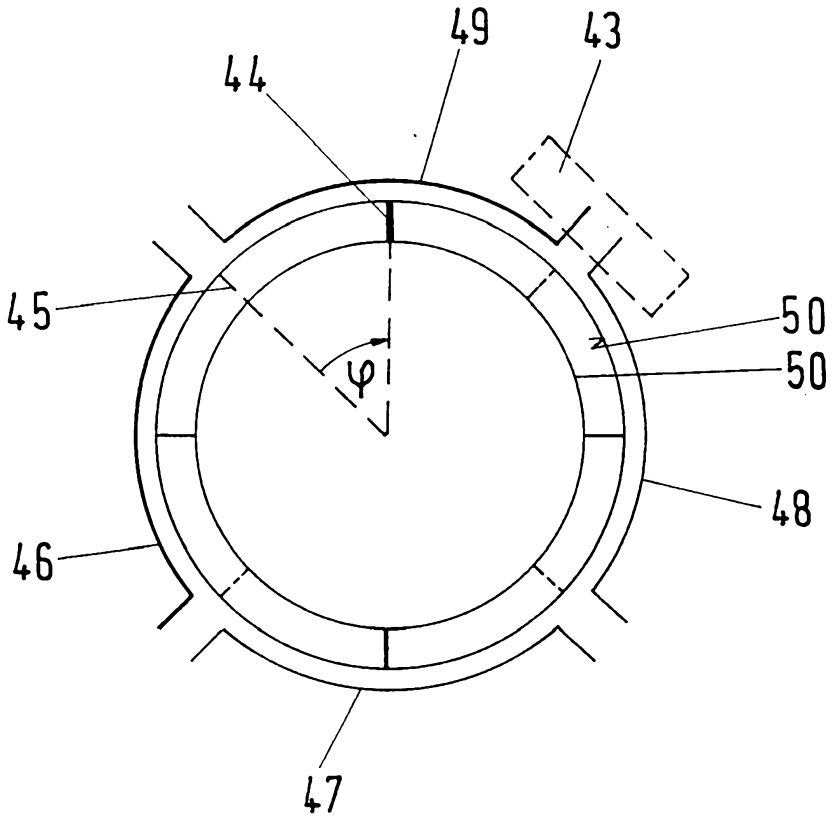


Fig.11

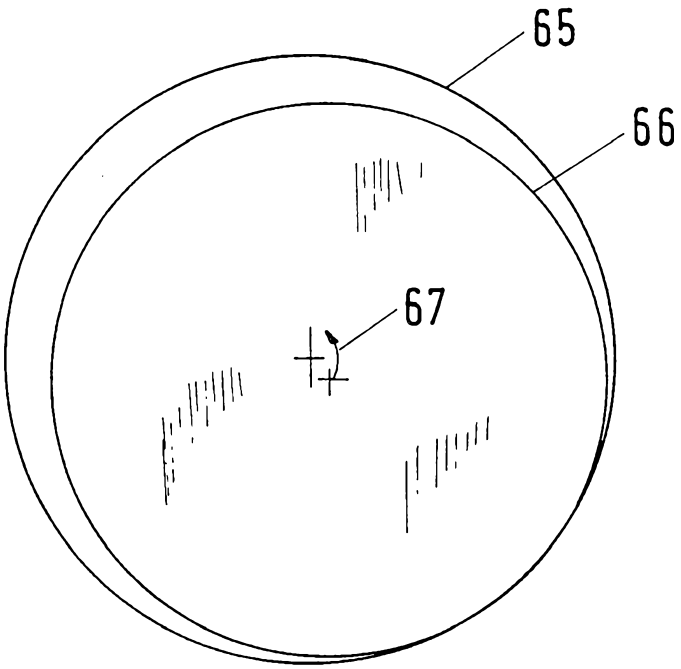


Fig.12

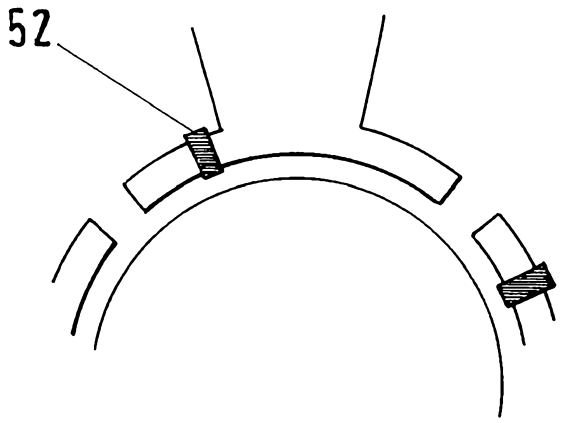


Fig.13

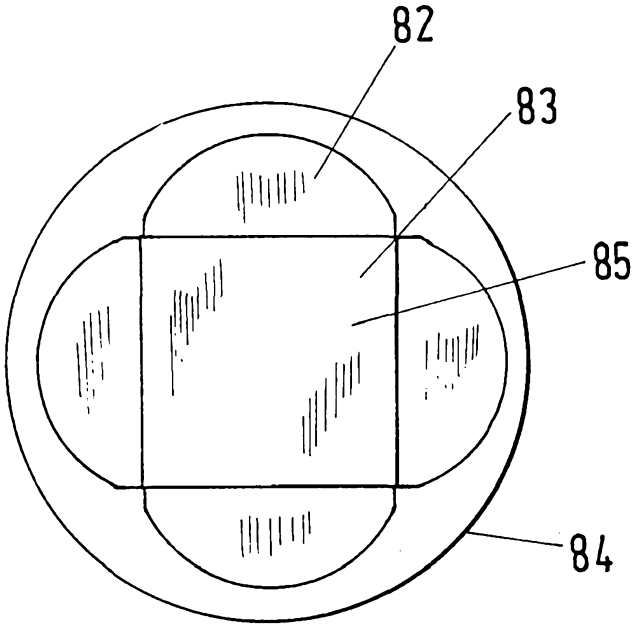


Fig.14

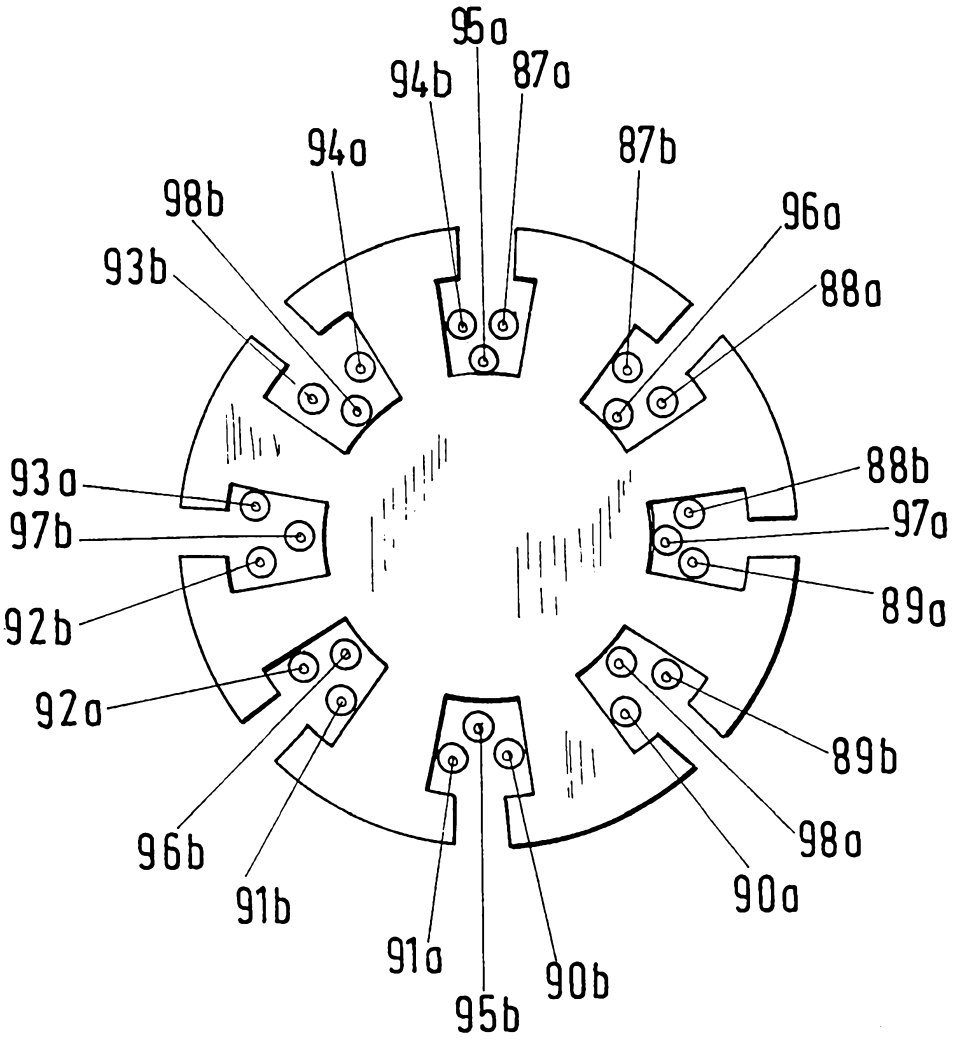

95a
94b
87a
94a
87b
98b
96a
93b
88a
93a
88b
97b
97a
92b
89a
92a
89b
96b
98a
91b
90a
91a
90b
95b

Fig.15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/CH 98/00268

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 H02K7/09 H02K21/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 H02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category ³	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 768 750 A (EBARA CORP ;NIKKISO CO LTD (JP); SEIKO SEIKI KK (JP)) 16 April 1997	1,2,4,7, 10
A	see page 4, line 48 - line 53 see page 5, line 13 - line 57; figure 28 ---	3
X	YOHJI OKADA ET AL: "LEVITATION AND TORQUE CONTROL OF INTERNAL PERMANENT MAGNET TYPE BEARINGLESS MOTOR" IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, vol. 4, no. 5, September 1996, pages 565-571, XP000638977	1,7
A	see page 565 - page 567; figures 1-3,5-7 --- -/--	2-4

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in annex.

³ Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
8 September 1998	14/09/1998

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Zoukas, E

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

ıational Application No
PCT/CH 98/00268

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No
X	CHIBA A ET AL: "AN ANALYSIS OF BEARINGLESS AC MOTORS" IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, vol. 9, no. 1, 1 March 1994, pages 61-68, XP000465454 see page 61; figures 1,2 ---	1,2,4
X	EP 0 726 638 A (CHIBA AKIRA ;FUKAO TADASHI (JP); SEIKO SEIKI KK (JP)) 14 August 1996	1,2,4
A	Abstract ---	3
X	WO 97 15978 A (SATCON TECHNOLOGY CORP) 1 May 1997 Abstract see figure 1 ---	1
X	US 5 036 235 A (KLECKNER ROBERT J) 30 July 1991 Abstract see figure 1 -----	8

Form PCT ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/CH 98/00268

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0768750 A	16-04-1997	CA 2191736 A	07-11-1996
		WO 9635257 A	07-11-1996
EP 0726638 A	14-08-1996	JP 2670986 B	29-10-1997
		JP 8223857 A	30-08-1996
WO 9715978 A	01-05-1997	NONE	
US 5036235 A	30-07-1991	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

I .ationales Aktenzeichen	PCT/CH 98/00268

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 H02K7/09 H02K21/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 H02K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	EP 0 768 750 A (EBARA CORP ;NIKKISO CO LTD (JP); SEIKO SEIKI KK (JP)) 16. April 1997 siehe Seite 4, Zeile 48 - Zeile 53 siehe Seite 5, Zeile 13 - Zeile 57; Abbildung 28 ---	1,2,4,7, 10 3
X A	YOHJI OKADA ET AL: "LEVITATION AND TORQUE CONTROL OF INTERNAL PERMANENT MAGNET TYPE BEARINGLESS MOTOR" IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, Bd. 4, Nr. 5, September 1996, Seiten 565-571, XP000638977 siehe Seite 565 - Seite 567; Abbildungen 1-3,5-7 ---	1,7 2-4
	-/--	

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

[X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
8. September 1998	14/09/1998

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Zoukas, E

1

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1992)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/CH 98/00268

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	CHIBA A ET AL: "AN ANALYSIS OF BEARINGLESS AC MOTORS" IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, Bd. 9, Nr. 1, 1. März 1994, Seiten 61-68, XP000465454 siehe Seite 61; Abbildungen 1,2	1,2,4
X	EP 0 726 638 A (CHIBA AKIRA ;FUKAO TADASHI (JP); SEIKO SEIKI KK (JP)) 14. August 1996	1,2,4
A	Zusammenfassung	3
X	WO 97 15978 A (SATCON TECHNOLOGY CORP) 1. Mai 1997 Zusammenfassung siehe Abbildung 1	1
X	US 5 036 235 A (KLECKNER ROBERT J) 30. Juli 1991 Zusammenfassung siehe Abbildung 1	8

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/CH 98/00268

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0768750 A	16-04-1997	CA 2191736 A	07-11-1996
		WO 9635257 A	07-11-1996
EP 0726638 A	14-08-1996	JP 2670986 B	29-10-1997
		JP 8223857 A	30-08-1996
WO 9715978 A	01-05-1997	KEINE	
US 5036235 A	30-07-1991	KEINE	