



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 696 29 192 T2** 2004.05.27

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 829 128 B1**

(51) Int Cl.⁷: **H02K 19/06**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **696 29 192.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/SE96/00704**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **96 916 422.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 96/038903**

(86) PCT-Anmeldetag: **30.05.1996**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **05.12.1996**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **18.03.1998**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **23.07.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **27.05.2004**

(30) Unionspriorität:

9501981	30.05.1995	SE
19520052	31.05.1995	DE
19520054	31.05.1995	DE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, CH, DE, FR, GB, IT, LI, NL, SE

(72) Erfinder:

TÖRÖK, Vilmos, S-181 34 Lidingö, SE;
WISSMACH, Walter, D-80637 München, DE;
SCHAER, Roland, CH-9472 Grabs, CH

(73) Patentinhaber:

Török, Vilmos, Campione d'Italia, CH

(74) Vertreter:

COHAUSZ & FLORACK, 40211 Düsseldorf

(54) Bezeichnung: **SELBSTSTARTENDER BÜRSTENLOSER MOTOR**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen selbstanlaufenden bürstenlosen Elektromotor der Art, die zumindest an einem der beiden sich relativ zueinander bewegenden Motorteile Widerstandspole (hervorstehende ferromagnetische Pole), und einen oder mehrere Dauermagnetpole im Polsystem umfasst.

[0002] Selbstanlaufende bürstenlose Elektromotoren können mit Gleichstromimpulsen mit einfacher Polarität oder mit Wechselstrompolarität gespeist werden. Wenn Motoren mit normaler Wellenleistung elektronisch gespeist werden, verwendet die Gleichstromimpulsversorgung die kleinste Anzahl elektronischer Schalter und ergibt folglich die geringsten Systemkosten für Motor und Versorgungselektronik. Für größere Leistung jedoch, wenn die Anzahl von elektronischen Schaltern in der Versorgungselektronik im Motor ohnehin erhöht werden muss, kann es vorteilhaft sein, den Motor mit Wechselstrompolarität zu speisen, so dass der Motor während beiden Halbperioden mit elektrischem Strom versorgt wird, wodurch eine gleichmäßigere Drehmomententwicklung erreicht wird und die elektrischen Leitungsverluste in der Wicklung verringert werden.

[0003] Ein einlitziger bürstenloser Motor weist nur eine Wicklung auf, die von einer einzigen, externen Stromquelle gespeist wird und auf einem von zwei oder mehr Teilen, die drehbar oder anderweitig gegeneinander beweglich sind, bereitgestellt ist. Ein solcher Motor kann selbstanlaufend sein, das heißt, im Stillstand ein Antriebsdrehmoment in einer vorherbestimmten Richtung, nämlich der bevorzugten Anlaufrichtung, entwickeln, und zwar nur wenn diese Anlaufrichtung bereits der Konstruktion des Motors innewohnt. Bei der bevorzugten Ausführungsform kann der Selbstanlauf in den Motor eingebaut sein durch Schaffen von Asymmetrien im weichmagnetischen Eisenkern, zum Beispiel durch Verwenden von asymmetrisch hervorstehenden Polen und/oder asymmetrischen Dauermagnetpolen, oder durch Schaffen von Hilfswicklungen ohne Verbindung zu externen Stromquellen, zum Beispiel Kurzschlussstrompfade wie bei bekannten Spaltpolmotoren. Solche Strompfade können Strom nur unter dem Einfluss eines wechselnden Magnetfeldes, das mit diesen Strompfaden verbunden ist, leiten. Damit Strom in solchen Strompfaden fließt, wenn der Motor feststehend ist, müssen die Wicklungen, die mit einer externen Stromquelle verbunden sind, mit getaktetem Strom oder Wechselstrom gespeist werden.

[0004] Es kann theoretisch bewiesen werden, dass Motoren, die nicht mit Hilfswicklungen versehen sind, aber trotzdem imstande sind, in jeder Läuferposition ein Drehmoment auszuüben, sogar wenn die Motorwicklung aberregt ist, immer einen Dauermagnetpol enthalten müssen.

[0005] Im Folgenden ist die Beschreibung beschränkt auf Motoren für Drehbewegung, die einen ersten Teil, im Folgenden bezeichnet als Stator, der

mit einer Wicklung versehen ist, und einen zweiten Teil, im Folgenden bezeichnet als Rotor, der im Inneren des Stators angeordnet und drehbar relativ zu diesem ist, aufweisen. Man wird aber verstehen, dass diese zwei Teile ihre Plätze vertauschen können, dass der Luftspalt, der den Stator vom Rotor trennt, nicht zylindrisch sein muss, sondern ebenso gut flach oder kegelförmig sein kann, und dass die Relativbewegung zwischen den Motorteilen keine Drehbewegung sein muss, sondern ebenso gut linear oder eine Kombination von Dreh- und Linearbewegung sein kann, das heißt, gleichzeitig um und entlang einer Drehachse erfolgen kann.

[0006] Die Funktion des Motors kann damit beschrieben werden, dass sie Arbeitszyklen umfasst, die in einer bestimmten Anzahl für jede Umdrehung wiederholt werden. Bei extrem niedriger Geschwindigkeit, zum Beispiel beim Anlaufen aus dem Stillstand, besteht der Arbeitszyklus für einen Motor, der dafür konstruiert ist, mit Gleichstromimpulsen einer Polarität gespeist zu werden, aus einem Teil, wenn die Wicklung Strom führend ist, und einem anderen Teil, wenn die Wicklung stromlos ist. Für einen Motor, der dafür konstruiert ist, mit Stromimpulsen wechselnder Polarität gespeist zu werden, besteht der Arbeitszyklus aus einem Teil, wenn die Wicklung mit Strom einer Polarität versorgt wird, gefolgt von einem stromlosen Teil und danach einem Teil, wenn die Wicklung mit Strom der anderen Polarität versorgt wird, gefolgt von einem weiteren stromlosen Teil des Arbeitszyklus.

[0007] Im stromlosen Zustand muss der Rotor eine Anlaufstellung erreichen, das heißt, eine Stellung, in der die Wicklung, wenn sie mit Strom versorgt wird, ein Antriebsdrehmoment auslöst, und zwar ein Drehmoment in der bevorzugten Richtung des Motors, das groß genug ist, um jegliches Reibdrehmoment oder ähnliches im Motor und/oder im vom Motor angetriebenen Gegenstand zu überwinden. Das im Motor durch Dauermagnetkräfte erzeugte Drehmoment muss seine Richtung beibehalten und von ausreichender Stärke sein, bis der Rotor eine Stellung erreicht, in der die Wicklung gespeist werden kann. Man wird verstehen, dass der Bedarf an Drehmomententwicklung im stromlosen Zustand bedeutet, dass der Motor zumindest einen Dauermagnetpol umfassen muss.

[0008] Motoren, die gemäß den beschriebenen Prinzipien arbeiten und magnetische Asymmetrie im Polsystem aufweisen, sind bekannt durch WO90/02437 und WO92/12567. Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Verbesserungen in Motoren der durch die Motoren der oben genannten Veröffentlichungen dargelegten Art zu erreichen.

[0009] Diese Aufgabe wird erreicht durch die in den beigefügten Ansprüchen definierte Anordnung von magnetisch aktiven Stator- und Rotorelementen (Polen).

[0010] Neben der Möglichkeit zum Verwirklichen baulich alternativer Ausführungsformen bietet die Er-

findung auch die Möglichkeit, die vom Motor erzeugte Kraft -Drehmoment in einem Drehmoment und linear wirkende Kraft oder „Vortriebskraft“ in einem Linear-motor – in einem oder mehreren Aspekten zu erhöhen:

- Erhöhen des Drehmoments, das durch Dauermagnetpole erzeugt wird und das den Rotor des stromlosen Motors in die nächstgelegene Anlaufstellung zieht. Eine solche Verbesserung ist vorteilhaft bei Anwendungen, wo ein hohes Reibdrehmoment in den angetriebenen Gegenständen auftreten kann, zum Beispiel bei Wellendichtungen.
- Erhöhen von Drehmoment, das in einem Motor, dessen Rotor sich ruhend in einer Anlaufstellung befindet und dessen Wicklung mit dem höchsten verfügbaren Strom gespeist ist, auftritt. Eine solche Verbesserung ist ebenfalls vorteilhaft in den im vorigen Absatz erwähnten Situationen.
- Zumindest bei bestimmten Ausführungsformen, Erhöhen der Luftspaltleistung des Motors bei vorhandenen Wärmeverlusten, wodurch ein kleinerer und wirtschaftlich günstiger Motor für einen bestimmten Zweck geschaffen wird, was ein großer Vorteil sein kann für bestimmte Arten von Anwendungen, wo geringes Motorgewicht wichtig ist, zum Beispiel bei tragbaren Werkzeugen oder anderen tragbaren Gegenständen, aber auch im Allgemeinen ein wirtschaftlicher Vorteil ist, sofern ein unvermeidbarer Kostenanstieg bei der Versorgungselektronik den Nutzen nicht aufhebt.

[0011] Die magnetisch aktiven Elemente im Motor, die für die Erfindung von Bedeutung ist, sind wie folgt:

– Wicklungen am Stator

[0012] Grundsätzlich bilden die Wicklungen einen einzelnen Stromkreis und können in Serie geschaltet und/oder parallel geschaltet sein. wenn die Versorgungselektronik aus mehreren Einheiten besteht, die parallel arbeiten, kann jede dieser Einheiten an ihre eigene Wicklung oder Wicklungsgruppe angeschlossen werden, als ob sie einen einzigen Stromkreis bilden würden. Anstatt die Wicklung mit Wechselstrompolarität zu speisen, kann eine zweiteilige Wicklung verwendet sein, wobei die beiden Wicklungshälften mit einer einzigen Strompolarität gespeist werden, die Wicklungshälften jedoch magnetisch entgegengesetzte Richtungen aufweisen.

– Ferromagnetisch ausgeprägte Pole (Widerstandspole)

[0013] Bei meisten gemäß der Erfindung gezeigten Motoren sind hervorstehende ferromagnetische Pole, im Folgenden auch als Widerstandspole bezeichnet, am Stator zu finden, allein oder zusammen mit Dauermagnetpolen.

[0014] Es können auch Widerstandspole am Rotor

vorhanden sein, jedoch vorzugsweise nicht gemischt mit Dauermagnetpolen. Eine Mischung dieser Polaritäten am Rotor kann erwogen werden, ist normalerweise jedoch nicht von Bedeutung.

[0015] Die Widerstandspole sowohl am Stator als auch am Rotor können magnetisch asymmetrisch sein. Für magnetisch asymmetrische Statorpole sollte die Asymmetrie in die der bevorzugten Bewegungsrichtung des Motors entgegengesetzte Richtung gerichtet sein, während am Rotor die Asymmetrie dieselbe Richtung wie die bevorzugte Bewegungsrichtung aufweisen sollte.

[0016] Als Alternative oder zusätzlich können jedoch die Widerstandspole sowohl am Stator als auch am Rotor eine vorhandene magnetische Asymmetrie in die der oben beschriebenen Richtung entgegengesetzte Richtung zeigen, ohne dass der Motor dadurch betriebsunfähig würde.

– Dauermagnetpole

[0017] Motoren, die nur Widerstandspole am Rotor aufweisen, müssen immer mit Dauermagneten am Stator versehen sein. Die Dauermagnetpole am Stator sind vorzugsweise magnetisch symmetrisch, das heißt gleich bezüglich Anzahl und Größe beider Polaritäten.

[0018] In bestimmten Fällen ist es von Vorteil, wenn die Dauermagnetpole asymmetrisch sind.

[0019] Motoren mit Dauermagnetrotorpolen, die konstruiert sind, um mit Stromimpulsen einer einzigen Polarität gespeist zu werden, müssen immer mit einem Dauermagnetpol am Stator versehen sein. Wenn solche Dauermagnetpole eine asymmetrische Form sowie einen Hauptpolteil und einen Hilfspolteil aufweisen, kann ihr Hauptpolteil vorteilhafterweise in die der des Hilfspolteils entgegengesetzte Richtung verschoben sein, zum Beispiel aus einer Stellung, die er aufweisen würde, wenn der Pol symmetrisch wäre und nur aus einem Hauptpolteil bestünde.

[0020] Motoren mit Dauermagnetrotorpolen sind auch ohne Dauermagnetpolen am Stator möglich. Solche Motoren sind nur dann selbstanlaufend, wenn sie mit Stromimpulsen wechselnder Polarität gespeist werden. Solche Motoren weisen dann eine einheitlichere Drehmomententwicklung und höhere Durchschnittsdrehmomente für vorhandene Wicklungsverluste auf, als Motoren, die mit Stromimpulsen einer einzigen Polarität gespeist werden.

[0021] Die Dauermagnetpole, sowohl symmetrische als auch asymmetrische, können schräge Enden oder Kanten aufweisen, das heißt Kanten, die in einem Winkel zur Richtung der Rotorachse verlaufen. In manchen Fällen kann ein solches Abschrägen der Kanten der Dauermagnetpole extrem vorteilhaft für die Funktion des Motors sein. Solche schrägen Kanten müssen nicht in geometrischen Formen ausgeführt sein. Es ist ausreichend, wenn die Kanten aus Begrenzungslinien (Begrenzungszone) in Bezug auf die aufgeprägte magnetische Polarisierung (zum

Beispiel in einem Dauermagnetpol) bestehen, das heißt sie werden aufgeprägt, wenn die Dauermagnetpole magnetisiert werden.

[0022] Diese Begrenzungslinien für Zonen mit derselben magnetischen Polarisierung können auch anders als gerade verlaufen, ohne dass die Funktion des Motors dadurch stark beeinflusst würde.

[0023] Die magnetische Asymmetrie kann auf verschiedene Arten im Umfang der Erfindung und den beigefügten Ansprüchen erreicht werden, und einige davon sind in der Folge beschrieben.

[0024] Gemäß dem Stand der Technik strebt die magnetische Asymmetrie auch hier danach, die bevorzugte Anlauffrichtung in den Motor einzubauen, wobei die magnetische Asymmetrie bei Motoren gemäß der vorliegenden Erfindung auch anderen Zwecken dient.

[0025] Grundsätzlich ist ein zusätzlicher Zweck der magnetischen Asymmetrie, wie sie in der vorliegenden Erfindung benutzt wird, zu verlängern, was hierin als Anziehabstand bezeichnet ist. Das ist der Abstand über den ein Pol, ein Dauermagnetpol oder ein magnetisierter Widerstandspol, an einem der Motorteile imstande ist, einen Pol am anderen Motorteil genügend anzuziehen, um zu erreichen, dass die beiden Pole aus einer ersten stabilen Stellung, wie der ruhenden Stellung, in die nächste stabile Stellung, wie der Anlaufstellung, in der sie magnetisch aufeinander ausgerichtet sind und, demgemäß keine magnetische Zugkraft in Richtung der Relativbewegung zwischen den beiden Polen besteht (nur eine magnetische Anziehung in einer Richtung entgegen dieser Richtung), aufeinander zu gezogen werden.

[0026] Während dieser Anziehbewegung sollte der magnetische Leitwert zwischen den beiden Polen, oder, mit anderen Worten, der vorhandene Magnetfluss zwischen ihnen (unter der Annahme, dass die magnetmotorische Kraft konstant ist) stetig auf einen Maximalwert, der auftritt, wenn die Pole magnetisch ausgerichtet sind, ansteigen. Folglich muss beim Verlängern des Anziehabstands der Mittelwert der Flusswechselrate über den Anziehabstand verringert werden.

[0027] Ein solches Verringern kann mittels magnetischer Asymmetrie erreicht werden, zum Beispiel durch Bereitstellen eines zusätzlichen Polteils, der sich in Richtung der relativen, bevorzugten Anlaufrichtung erstreckt, an zumindest einem der Pole, so dass der Pol einen Hauptpolteil und einen Hilfspolteil, der die bevorzugte Anlauffrichtung bestimmt, aufweist.

[0028] In der Anlaufstellung und der ruhenden Stellung erstreckt sich der Hilfspolteil mindestens bis zu einem Punkt in der Nähe des nächsten Pols (gesehen in der relativen, bevorzugten Anlauffrichtung) am anderen Motorteil, und er kann diesen Pol sogar leicht überlappen. Ein überlappender Abschnitt des Hilfspolteils darf jedoch nicht so viel Fluss pro Längeneinheit der Überlappung (am Umfang gemessen) leiten, wie überlappende Abschnitte der Hauptpoltei-

le.

[0029] Angenommen, dass sich in einem als Beispiel gewählten Drehmotor sowohl die vorderen als auch die hinteren Enden sowohl der Statorpole als auch der Rotorpole in axialer Richtung erstrecken, kann magnetische Asymmetrie eines Statorpols in den meisten Fällen grundsätzlich auf folgende Weise bewahrt werden. Der Rotor des Motors ist durch einen einheitlichen ferromagnetischen Zylinder, der denselben Durchmesser aufweist, wie der Rotor, ersetzt, und die Flussdichte im Luftspalt wird entlang einer axial verlaufenden Linie an der Zylinderoberfläche gemessen, während der Zylinder gedreht wird, um die Linie in der bevorzugten Drehrichtung am Pol vorbeizudrehen. Ein Graph, der die gemessene Flussdichte (gemittelt über die Länge der Linie) gegen die Winkellage der Linie in Bezug auf den Pol zeigt, würde mehr oder weniger stetig oder in mehr oder weniger ausgeprägten Stufen von einem Punkt nahe Null am vorderen Ende des Pols auf einen annähernd konstanten Wert unter dem Hauptabschnitt des Pols ansteigen, und dann steil am hinteren Ende abfallen. Wenn der Pol stattdessen magnetisch symmetrisch wäre, wäre der Graph symmetrisch und würde der Gaußschen Kurve ähneln.

[0030] Mit geeigneten Abänderungen ist das oben beschriebene Prinzip auch in anderen Fällen anwendbar, wie zum Beispiel beim Bewahren magnetischer Asymmetrie eines Rotorpols oder eines Pols, dessen vorderes und hinteres Ende sich nicht axial erstrecken. Wenn die Enden des Pols zum Beispiel so schräg sind, dass sie entlang einer Schraubenlinie verlaufen, kann die Bewahrung durch das Messen der Flussdichte entlang einer entsprechend schrägen Linie erzielt werden.

[0031] Im Fall von Dauermagnetpolen mit einheitlicher Radialabmessung und einheitlicher radialer magnetischer Polarisierung kann sich Magnetpolasymmetrie aus der Polform ergeben. Zum Beispiel können die vorderen und die hinteren Enden des Pols verschiedene Längen in der Axialrichtung des Motors aufweisen. Ein ähnlicher Effekt kann auch durch magnetisches Einprägen von Polen entsprechender Form in einem Ring aus dauermagnetischem Material einheitlicher Dicke erreicht werden. In diesem Fall hat die Form des dauermagnetischen Rings nichts mit dem magnetischen Muster oder der „magnetischen Form“ zu tun.

[0032] Magnetpolasymmetrie kann auch erreicht werden, indem man einen dauermagnetischen Pol mit verschiedenen Radialabmessungen am vorderen beziehungsweise am hinteren Ende schafft (das heißt indem man dem Luftspalt am Pol eine Breite verleiht, die in der Richtung der Relativbewegung der Motorteile variiert), ihm jedoch eine einheitlich starke Magnetisierung über sein gesamtes Volumen verleiht.

[0033] Natürlich können verschiedene Verfahren gleichzeitig verwendet werden, um magnetische Asymmetrie für die Dauermagnetpole zu erreichen.

[0034] Es gibt auch verschiedene Wege, magnetische Asymmetrie für ausgeprägte ferromagnetische Pole, die Widerstandspole, zu erreichen. Ein Verfahren ist das Anordnen der Oberfläche eines solchen Pols, so dass sie dem Luftspalt asymmetrisch in Bezug auf seine Ausbreitung in Axialrichtung des Motors gegenübersteht, wobei in diesem Fall die gesamte Poloberfläche im selben Radialabstand von der Drehachse angeordnet sein kann.

[0035] Ein anderes Verfahren ist es, die Projektionsoberfläche des Widerstandspols (die dem Luftspalt gegenüberliegende Oberfläche) symmetrisch zu gestalten, seinen Radialabstand von der Drehachse jedoch zu variieren, das heißt, die Breite des Luftspalts entlang der Poloberfläche schrittweise oder stufenlos in Bezug auf eine gedachte (zylindrische) Oberfläche am anderen Motorteil zu variieren.

[0036] Ein drittes Verfahren besteht darin, die magnetische Sättigungsflussdichte entlang der Poloberfläche zu variieren. Das kann erreicht werden, indem verschiedene magnetische Materialien für verschiedene Teile des hervorstehenden Pols verwendet werden, oder es kann erreicht werden, indem der Füllfaktor der mehrschichtigen ferromagnetischen Pole variiert wird, oder durch gestanzte Vertiefungen, zum Beispiel unter der tatsächlichen Poloberfläche (so dass die tatsächliche Poloberfläche einheitlich erscheint), oder durch Variieren der Radialabmessung eines Hilfspolteils, so dass es eine Form aufweist, die dem Profil des gebogenen Schnabels eines Vogels gleicht.

[0037] Natürlich können mehrere Verfahren zum Erreichen magnetischer Asymmetrie gleichzeitig verwendet werden. Die Wahl, wie Asymmetrie erreicht wird, hängt gewöhnlich von einem Abgleichen zwischen den Herstellungskosten des eigentlichen Motors und den Kosten der Versorgungselektronik ab, da die Wahl der Art von Asymmetrie die Größe der Leistungselektronikschaltelemente, die in der Versorgungselektronik enthalten sind, beeinflusst.

[0038] Wie man verstehen wird, kann in Motoren, welche die Erfindung umfassen, magnetische Asymmetrie nicht nur einen einzelnen Pol aus einer Gruppe von Polen, die mit einer gewöhnlichen Wicklungsspule verbunden sind, so dass alle Pole der Gruppe dem magnetischen Feld, das beim Erregen der Spule erzeugt wird, kennzeichnen. Sie kann auch die Polgruppe kennzeichnen, und dann nicht nur aufgrund der magnetischen Asymmetrie eines oder mehrerer einzelner Pole, sondern auch aufgrund einer asymmetrischen Anordnung eines einzelnen Pols innerhalb einer Polgruppe oder am Rotor.

[0039] Ein Pol einer Polgruppe am Stator ist asymmetrisch angeordnet, wenn ein Rotorpol über eine Strecke, die länger oder kürzer ist, als eine halbe Rotorpolteilung, bewegt wird, wenn er von einer Stellung, in der er magnetisch auf diesen Statorpol ausgerichtet ist in die nächste angrenzende Stellung, in der irgendein Pol am Rotor magnetisch auf einen Statorpol einer anderen Poltype, oder im Falle eines

Stators der nur Dauermagnete aufweist, einen Pol anderer Polarität, ausgerichtet ist.

[0040] Mit anderen Worten ist zum Beispiel ein Dauermagnetpol am Stator asymmetrisch in Bezug auf einen Widerstandspol in derselben oder einer anderen Polgruppe angeordnet, wenn ein Rotorpol eine Strecke zurücklegt, die länger oder kürzer als eine halbe Rotorpolteilung ist, wenn sich der Rotor von einer Stellung, in der ein Rotorpol magnetisch auf diesen Dauermagnetpol ausgerichtet, das heißt, in seiner Anlaufstellung ist, in die nächste folgende oder die nächste vorherige Stellung, in der sich ein Rotorpol – wobei es sich um irgendeinen Rotorpol handeln kann – in einer ruhenden Stellung befindet, bewegt.

[0041] In entsprechender Weise kann magnetische Asymmetrie, die aus dem asymmetrischen Anordnen der Pole resultiert, auch im Rotor bestehen. Zum Beispiel können die Nordpoldauermagnetpole in einer Polreihe an einem Rotor, der Dauermagnetpole wechselnder Polarität umfasst, in der einen oder anderen Richtung aus einer mittigen Stellung zwischen den Südpoldauermagnetpolen verschoben sein, wobei alle gleichen Pole im Wesentlichen im selben Abstand angeordnet sind.

[0042] Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung sollte beachtet werden, dass eine Polgruppe (Poleinheit) einen einzelnen Pol oder eine Mehrzahl von Polen, die mit einer Magnetisierspule verbunden sind, umfassen kann.

[0043] Die Erfindung wird nun ausführlicher beschrieben unter Bezugnahme auf eine Anzahl von als Beispiel dienenden Ausführungsformen, die schematisch in den beigefügten Zeichnungen dargestellt sind.

[0044] **Fig. 1A** zeigt eine Seitenansicht einer ersten Ausführungsform eines Drehmotors. Dessen Stator weist zwei identische diametral entgegengesetzte Polgruppen, von denen jede aus zwei symmetrischen Widerstandspolen und einem asymmetrischen Dauermagnetpol, der zwischen diesen angeordnet und mit einer Magnetisierwicklung versehen ist, bestehen. Der Rotor, der in komplett eingefahrener Drehstellung dargestellt ist, weist vier asymmetrische Widerstandspole auf;

[0045] **Fig. 1B** ist eine Abwicklung eines Schnitts der Polreihen im Motor gesehen von innerhalb des Luftspalts und axial aus ihrer Arbeitsstellung verschoben, abgesehen davon jedoch in der Stellung im Verhältnis zueinander, die sie in **Fig. 1A** einnehmen;

[0046] **Fig. 1C** zeigt den Motor in derselben Weise wie **Fig. 1A**, mit den Dauermagnetfeldlinien im Stator und im Rotor eingefügt;

[0047] **Fig. 1D** ist eine Längsschnittdarstellung des Motors von **Fig. 1**;

[0048] **Fig. 1E** ist eine Ansicht ähnlich **Fig. 1B**, zeigt jedoch die Stator- und Rotorpole in derselben Axialstellung und in eine andere relative Stellung verschoben und umfasst einen Graphen, der die magnetische Anziehungskraft darstellt, die zwischen einem Dauermagnetpol am Stator und einem Widerstands-

pol am Rotor wirkt.

[0049] **Fig. 2A, 2B und 2C** zeigen eine zweite Ausführungsform in einer Weise, die **Fig. 1A, 1B und 1C** entspricht;

[0050] **Fig. 3A, 3B bis 12A, 12B** zeigen weitere Ausführungsformen in gleicher Weise wie **Fig. 1A und 1B**.

[0051] **Fig. 13A bis 13D** sind Abwicklungen gleich **Fig. 1B** von Polkombinationen, die sich bezüglich der Form und der Anordnung eines Dauermagnetpols am Stator voneinander unterscheiden.

[0052] **Fig. 14A, 14B** sind Teilansichten, die eine abgeänderte Form der Statorwiderstandspole des Motors, der in **Fig. 1A, 1B** gezeigt ist, darstellen.

[0053] In allen Zeichnungen ist die Polarität der radialmagnetisierten Dauermagnetpole durch eine Pfeilspitze angezeigt, die in Richtung der Nordpolseite des Magnets zeigt.

[0054] Des Weiteren ist die Asymmetrie der Stator- und/oder der Rotorpole bei allen in den Zeichnungen gezeigten Ausführungsformen so ausgerichtet, dass die bevorzugte Anlaufrichtung des Rotors gegen den Uhrzeigersinn dreht.

[0055] Der in **Fig. 1A–1C** gezeigte Motor ist ein Drehmotor, wie auch die anderen Motoren, mit einem ersten Motorteil in Form eines mehrschichtigen ferromagnetischen Stators **11** und einem zweiten Motorteil in Form eines mehrschichtigen ferromagnetischen Rotors **12** der im Stator durch geeignete Lager, wie in **Fig. 1D** gezeigt, für Drehbewegung gelagert ist. Die Drehachse des Rotors ist durch einen kleinen Kreis angezeigt, der mit **12A** bezeichnet ist, und die bevorzugte Drehrichtung ist durch einen Pfeil angezeigt (gegen den Uhrzeigersinn bei allen abgebildeten Ausführungsformen).

[0056] Der Stator **11** weist zwei diametral entgegengesetzte Polgruppen auf. Jede Polgruppe umfasst zwei hervorstehende ferromagnetische Pole **13S**, die auch als Widerstandspole bezeichnet werden, die im Abstand voneinander ringförmig mit einem Dauermagnetpol **14A** zwischen ihnen angeordnet sind. Die Oberflächen dieser Pole **14A**, die dem Rotor gegenüberliegen, sind an einer zylindrischen Oberfläche, die konzentrisch zur Drehachse **12A** des Rotors ist, angeordnet.

[0057] Für jede Polgruppe ist der Stator **11** auch mit einer Spule **15** versehen, die rund um die Polgruppe gewickelt ist und Teil einer gemeinsamen Magnetisierwicklung bildet.

[0058] An der Außenseite des Rotors **12** sind vier ausgeprägte ferromagnetische Pole **16A**, auch als Widerstandspole bezeichnet, gleichmäßig rund um seinen Umfang verteilt. Die Oberflächen dieser Pole, die dem Stator gegenüberliegen, sind an einem Zylinder, der konzentrisch mit der Drehachse **12A** ist, in einem kleinen Abstand vom Zylinder, der die Poloberflächen des Stators enthält, angeordnet, so dass zwischen den Poloberflächen des Stators und denen des Rotors ein Luftspalt **17** gebildet wird. Die Polteilung des Rotors **12** entspricht dem Abstand der Wi-

derstandspole **13S** innerhalb jeder Polgruppe am Stator **11**.

[0059] Bei der Ausführungsform, die in **Fig. 1A bis 1D** dargestellt ist, sind alle Pole **13S, 14A** am Stator **11** und die Pole **16A** am Rotor **12** in derselben Ebene senkrecht zur Drehachse angeordnet, so dass bei der Drehung alle Pole am Rotor an allen Polen am Stator vorbeikommen und sich mit diesen gegenseitig beeinflussen. Natürlich kann der Motor mehrere axial getrennte Sätze von Polgruppen aufweisen, die auf diese Weise angeordnet sind. Des Weiteren können die Pole an jedem Motorteil zum Beispiel auch auf Schraubenlinien angeordnet sein, anstatt in geschlossenen Linien oder Reihen, die umlaufend um den Rotor verlaufen.

[0060] Die Poloberflächen an den Widerstandspolen **13S** des Stators sind magnetisch symmetrisch im Sinne der Absicht dieser Anwendung. Die Bedeutung davon ist, dass, wenn der Rotor **12** durch einen einheitlichen ferromagnetischen Zylinder, dessen Hüllkurvenoberfläche sich mit der zylindrischen Oberfläche deckt, an der die Rotorpole **16A** andernfalls angeordnet sind, ersetzt würde, ein Magnetfeld durch den Luftspalt **17** unter und rund um die Poloberflächen der Statorpole fließen würde, wenn der Strom zur Wicklung **15** zugeführt worden ist, wobei das Magnetfeld eine solche Verteilung aufweist, dass ein Diagramm der Mittelwerte der Magnetflussdichte entlang einer Erzeugenden auf der ferromagnetischen Zylinderoberfläche, gezeichnet als eine Funktion der Winkellage dieses Zylinders in Bezug auf den Stator, eine Symmetrie derselben Art zeigen würde, wie zum Beispiel eine Gaußsche Kurve, das heißt Spiegelsymmetrie um eine Linie senkrecht zur Abszisse. Diese Symmetrie bedeutet, dass die Form des Diagramms unabhängig davon ist, welche Drehrichtung des Zylinders als positive Richtung definiert ist.

[0061] Andererseits sind die Dauermagnetpole **14A** magnetisch asymmetrisch, da sie einen vorstehenden Abschnitt **14'** an der Seite, die gegen die Drehrichtung des Rotors zeigt, aufweisen, wobei dieser vorstehende Abschnitt dadurch entsteht, dass die Pole **14A** auf dieser Seite weniger breit sind, das heißt, eine kleinere Abmessung parallel zur Drehachse **12A** aufweisen, als über den Hauptteil der Pole. Der Teil der Dauermagnetpole **14A** mit der größten Breite stellt sozusagen den Hauptpolteil dar, während der schmalere vorstehende Abschnitt sozusagen einen Hilfspolteil, der in den Figuren als **14'** bezeichnet ist, darstellt.

[0062] Die Widerstandspole **16A** am Rotor **12** sind ebenfalls asymmetrisch in entsprechender Weise, da sie an ihrem vorderen Ende oder ihrer gegen den Uhrzeigersinn gerichteten Seite, der Seite die in der Drehrichtung zeigt, mit einem vorstehenden Abschnitt **16'** (Hilfspolteil) versehen sind, der eine geringere Breite als die des Hauptteils (Hauptpolteil) der Pole aufweist.

[0063] Wie aus dem Obenerwähnten ersichtlich, kann die Asymmetrie der Pole auf andere Arten als

den soeben beschriebenen erreicht werden. Ein Beispiel eines alternativen Verfahrens ist in Strichpunktlinien in **Fig. 1A** und **1B** angezeigt. Bei dieser Alternative weist jeder Pol über seine gesamte axiale und umlaufende Abmessung dieselbe Breite auf, jedoch ist die Poloberfläche an einer Seite radial nach innen versetzt, so dass der Luftspalt **17** auf dieser Seite größer ist, als am Hauptteil des Pols.

[0064] **Fig. 1B** zeigt eine Abwicklung einer der Polgruppen des Stators und des Rotors in **Fig. 1A** gesehen von innerhalb des Luftspalts **17** und mit den Rotorpolen axial in Bezug auf die Statorpolgruppe verschoben. Die parallelen Strichpunktlinien R und S zeigen die Richtung der Relativbewegung zwischen Rotor und Stator an, während die Strichpunktlinie L senkrecht dazu die Mittellinie zwischen den Statorpolen darstellt. Die Stellung der Stator- und der Rotorpole in Bezug aufeinander entspricht der relativen Stellung, die in **Fig. 1A** gezeigt ist, und ist die stabile Stellung, die der Rotor in Bezug auf den Stator einnimmt, wenn der Wicklung **15** Strom zugeführt wird, so dass die Widerstandspole **13S** dazu führen, die Rotorpole **16A** in einer angezogenen oder eingezogenen Stellung mit den Widerstandspolen gegenüberliegenden den Hauptpolteilen, zu halten.

[0065] Wenn der Wicklung bei dieser Rotorstellung kein Strom mehr zugeführt wird, wirkt nur der Dauermagnetfluss der Dauermagnetpole **14A** auf den Rotor, um ihn weiter in Richtung der Anlaufstellung zu ziehen. **Fig. 1C** zeigt das Flussmuster der Dauermagnetpole in dieser Stellung.

[0066] Wie in **Fig. 1A–1D** gezeigt, erstrecken sich in der eingezogenen Stellung die Hilfspolteile **16'** von zwei Rotorpolen **16A**, nämlich dem oberen rechten und dem unteren linken Rotorpol, hinauf bis zu den Hilfspolteilen **14'** der Dauermagnetpole **14** und überlappen die Hilfspolteile sogar leicht. Diese relative Stellung der Dauermagnetpole und der Hilfspolteile der Rotorpole ist eine Stellung, in der die Magnetanziehungskraft der Dauermagnetpole **14** auf diese Rotorpole wirkt, und folglich das auf den Rotor **12** durch die Dauermagnetpole **14A** ausgeübte Drehmoment gegen den Uhrzeigersinn an seinem Maximum oder nahe daran ist, wenn die Wicklungsspule stromlos ist.

[0067] Zur selben Zeit ist der Abstand der beiden anderen Rotorpole **16**, nämlich dem oberen linken und dem unteren rechten Rotorpol, von den Dauermagnetpolen **14A** im Wesentlichen so, dass die Dauermagnetpole nur ein unbedeutendes Drehmoment im Uhrzeigersinn auf den Rotor ausüben.

[0068] Dementsprechend ist das tatsächlich von den Dauermagnetpolen **14A** gegen den Uhrzeigersinn auf den Rotor ausgeübte Drehmoment imstande, den Rotor **12** kraftvoll aus der eingezogenen Stellung gegen den Uhrzeigersinn zu stoßen und ihn um einen Winkel zu drehen, der einer halben Rotorpolteilung entspricht, um die Rotorpole **16A** in die Anlaufstellung zu bringen (Anziehbewegung).

[0069] Während der gesamten Anziehbewegung des Rotors aus der eingezogenen Stellung in die An-

laufstellung wächst der Magnetfluss zwischen jedem der Dauermagnetpole **14A** und dem Rotorpol, der ihn überlappt und mit dem er aufeinander einwirkt, mit steigender Polüberlappung ständig an, so dass ein Drehmoment gegen den Uhrzeigersinn auf den Rotor **12** ausgeübt wird, bis die Anlaufstellung erreicht worden ist.

[0070] In der Anlaufstellung ist jeder der beiden zuerst genannten Rotorpole **16A** magnetisch auf den oberen beziehungsweise den unteren Dauermagnetpol **14A** ausgerichtet, wobei ein Abschnitt des Hilfspolteils **16'** am vorderen Ende von Rotorpol **16A** in der Richtung gegen den Uhrzeigersinn über den Dauermagnetpol hinausreicht, und das hintere Ende des Rotorpols gegenüber dem Hilfspolteil **14'** des Dauermagnetpols angeordnet ist. Das ist in **Fig. 1E** gezeigt.

[0071] **Fig. 1E** umfasst auch einen Graphen, der für eine beispielhafte Ausführungsform des in **Fig. 1A** bis **1D** gezeigten Motors steht, der die Anziehungskraft F , die zwischen den Dauermagnetpolen **14** und den Rotorwiderstandspolen **16** gegen die überlappende Stellung d des vorderen Endes **16''** der Rotorwiderstandspole **16** während der Anziehbewegung aus der eingezogenen Stellung in die Anlaufstellung wirkt, zeigt. Im rechten Abschnitt von **Fig. 1E** ist die eingezogene Stellung des Rotorwiderstandspols **16A** in einer Strichpunktlinie abgebildet.

[0072] Der Graph zeigt die Anziehungskraft F , die auf den Rotorwiderstandspol **16** für verschiedene (positive und negative) Überlappungsgrößen zwischen dem Hilfspolteil **14'** des Dauermagnetpols **14A** und dem Hilfspolteil **16'** der Rotorwiderstandspole **16A** in der eingezogenen Stellung wirkt.

[0073] Aus **Fig. 1E** ist ersichtlich, dass die Anziehungskraft bei einer Überlappung von -1 mm in der eingezogenen Stellung, das bedeutet, wenn das vordere Ende **16''** des Widerstandspols **16** 1 mm in negativer Richtung beziehungsweise im Uhrzeigersinn vom Dauermagnetpol entfernt ist, ziemlich klein ist. Steht das vordere Ende **16''** gegenüber dem Ende des Hilfspolteils **14'** (keine Überlappung), ist die Anziehungskraft wesentlich größer, und bei einer positiven Überlappung von ungefähr 1 mm ist die Anziehungskraft auf den Hilfspolteil **16'** bei ihrem Maximum oder nahe ihrem Maximum, wo sie drei bis vier Mal so groß ist wie die Anziehungskraft bei einer negativen Überlappung von ungefähr 1 mm. Die Asymmetrie des Statorwiderstandspols **14** in Verbindung mit der Asymmetrie des Rotorwiderstandspols **16** erzeugt somit einen dramatischen Anstieg des Anfangswertes der Anziehungskraft im Vergleich zum Fall, bei dem nur der Rotorwiderstandspol asymmetrisch ist, wie beim Motor, der in WO92/12567 offenbart ist. Dieser Anstieg der Anziehungskraft erweitert den Anwendungsbereich des Motors gemäß der Erfindung.

[0074] Aus **Fig. 1E** ist darüber hinaus ersichtlich, dass, während sich die Überlappung während der Anziehbewegung dann allmählich vergrößert, die Anziehungskraft während dem ersten Abschnitt der Anzieh-

bewegung ungefähr konstant bleibt, und zwar bis sich die Hauptpolteile zu überlappen beginnen. Während der weiteren Anziehbewegung steigt die Anziehungskraft zuerst an und fällt dann allmählich auf Null, während der Widerstandspol **16A** die Anlaufstellung erreicht.

[0075] Des Weiteren zeigt **Fig. 1E**, dass der Dauermagnetpol **14A** während der Anziehbewegung eines Rotorwiderstandspols **16A** aus der eingezogenen Stellung in die Anlaufstellung gegen den Uhrzeigersinn eine wesentliche Anziehungskraft auf den Rotorwiderstandspol über eine Umfangsstrecke, die größer ist als die Umfangsabmessung des Dauermagnetpols **14A**, ausübt, und zwar von einer Stellung, in der das vordere Ende **16''** gegenüber oder nur in geringem Abstand im Uhrzeigersinn vom Ende **14''** des Hilfspolteils **14'** des Dauermagnetpols **14A** angeordnet ist, bis zu einem Punkt, an dem das vordere Ende **16''** ganz am Dauermagnetpol vorbei ist.

[0076] Wenn die Wicklungsspulen **15** mit den Rotorpolen in der Anlaufstellung wieder unter Strom gesetzt werden, wird sich der Hilfspolteil **16'** aller vier Rotorpole **16A** darum in der Nähe eines Statorwiderstandspols **13S** in Bezug auf die Drehrichtung des Rotors vor ihm befinden. Andererseits ist das hintere Ende jedes Rotorpols vom Statorwiderstandspol hinter ihm deutlich entfernt.

[0077] Folglich ist die magnetische Anziehung in der Richtung gegen den Uhrzeigersinn zwischen dem Statorwiderstandspol **13S** und dem vorderen Ende **16''** des Rotorwiderstandspols **16A** hinter ihm deutlich stärker als die magnetische Anziehung im Uhrzeigersinn, die vom nächsten Statorwiderstandspol (das heißt, dem Widerstandspol hinter dem Rotorpol) auf das hintere Ende desselben Rotorpols ausgeübt wird.

[0078] Dementsprechend wirkt das von den Statorwiderstandspolen **13S** tatsächlich auf den Rotor ausgeübte Drehmoment gegen den Uhrzeigersinn und ist so hoch, dass der Motor imstande ist, gegen eine beträchtliche Last anzulaufen. Wieder steht der Magnetfluss, der durch das unter Strom Setzen der Wicklungsspulen erzeugt wird, dem Magnetfluss, der von den Dauermagnetpolen **14A** erzeugt wird, so entgegen, dass die Dauermagnetpole der Bewegung aus der Anlaufstellung nicht wesentlich entgegenwirken.

[0079] Die in den anderen Figuren abgebildeten Ausführungsformen sind nur insofern beschrieben, als sie sich von der in **Fig. 1A–1D** gezeigten Ausführungsform unterscheiden. Dieselben Bezeichnungen sind für alle Ausführungsformen verwendet worden, wobei der angehängte Buchstabe A beziehungsweise S asymmetrisch beziehungsweise symmetrisch bedeutet. Sofern nicht anders angegeben, bezieht sich „Symmetrie“ und „Asymmetrie“ in Bezug auf die Pole auf ihre magnetische Symmetrie oder Asymmetrie und nicht auf ihre geometrische Symmetrie oder Asymmetrie (die der magnetischen Symmetrie oder Asymmetrie entsprechen kann, oder auch nicht).

[0080] Der Motor in **Fig. 2A–2C** unterscheidet sich

vom Motor in **Fig. 1A–1C** nur in Bezug auf die Statorpole. Genauer gesagt ist ein Statorwiderstandspol **13A** in jeder Statorpolgruppe magnetisch asymmetrisch zu einem Hilfspol **13'** derselben Art wie der Hilfspol **16'** an den Rotorpolen **16A**, während die anderen Widerstandspole **13S** und die Dauermagnetpole **14S** magnetisch symmetrisch sind. Die Hilfspolteile **13'** verstärken den oben beschriebenen Effekt der Hilfsrotorpolteile **16'**, wenn die Wicklungsspulen mit den Rotorpolen in der Anlaufstellung unter Strom gesetzt werden.

[0081] Der Motor in **Fig. 3A, 3B** unterscheidet sich vom Motor in **Fig. 1A–1C** ebenfalls nur in Bezug auf die Statorpole. In diesem Fall sind die Statorwiderstandspole **13A** und **13S** in jeder Statorpolgruppe dieselben wie in **Fig. 2A, 2B**, das heißt, einer ist asymmetrisch und der andere symmetrisch. Jedoch sind die Dauermagnetpole **14A** asymmetrisch mit einem Hilfspol **14'** derselben Art wie der Rotorhilfpol **16'**, wobei die Asymmetrie in dieselbe Richtung wie die Asymmetrie des Statorwiderstandspols **13A** gerichtet ist. Folglich besteht Asymmetrie in allen drei Polarten dieses Motors.

[0082] **Fig. 2A, 2B** und **3A, 3B** sowie einige der folgenden Figuren zeigen, dass alle Pole einer bestimmten Type, ob Widerstandspole oder Dauermagnetpole, in einer Polgruppe nicht notwendigerweise von derselben Art hinsichtlich Symmetrie oder Asymmetrie sind. Das gilt für alle Ausführungsformen.

[0083] Der Motor in **Fig. 4A, 4B** weist zwei symmetrische Statorwiderstandspole **13S** und einen asymmetrischen Stator Dauermagnetpol **14A** in jeder Polgruppe auf, und stimmt darum, was den Stator **11** angeht, mit dem Motor in **Fig. 1A–1C** überein. In diesem Fall jedoch ist der Rotor **12C** anders als der Rotor **12** in den vorangehenden Ausführungsformen konstruiert, zum Teil da er nur Dauermagnetpole **18AN** und **18AS** aufweist, die asymmetrischen mit Hilfspolen **18'**, die in dieselbe Richtung zeigen, und zum Teil da diese Dauermagnetpole ohne Abstände entlang dem Umfang des Rotorkörpers angeordnet sind, wobei benachbarte Pole entgegengesetzte Polaritäten N beziehungsweise S aufweisen.

[0084] Beim Motor in **Fig. 5A, 5B** weist jede Statorpolgruppe nur zwei Widerstandspole auf, und zwar symmetrische Widerstandspole **13S**, und der Stator **11** weist darum keine Dauermagnetpole auf. Der Rotor **12C** ist ähnlich dem Rotor in **Fig. 4A, 4B**, außer dass die Dauermagnetpole **18AN, 18AS** etwas anders geformt sind.

[0085] Beim Motor in **Fig. 6A, 6B**, wie beim Motor in **Fig. 2A–2B** weisen die Statorpolgruppen einen asymmetrischen und einen symmetrischen Widerstandspol **13A** beziehungsweise **13S** auf, die mit einem symmetrischen Dauermagnetpol **14S** kombiniert sind, während der Rotor **12C** gleich dem Rotor in **Fig. 4A, 4B** ist.

[0086] Der Motor in **Fig. 7A, 7B** weist Statorpolgruppen derselben Art wie der Motor in **Fig. 3A, 3B** auf, das heißt mit einem asymmetrischen und einem sym-

metrischen Widerstandspol **13A** beziehungsweise **13S** und einem asymmetrischen Dauermagnetpol **14A**, und der Rotor **12C** ist von derselben Konstruktion wie in **Fig. 4A, 4B** und **6A, 6B**.

[0087] Die Statorpolgruppen des Motors in **Fig. 8A, 8B** weisen nur asymmetrische Widerstandspole **13A** und darum keine Dauermagnetpole auf, und der Rotor ist sehr ähnlich dem in **Fig. 4A, 4B** und **6A, 6B**.

[0088] Beim Motor in **Fig. 9A, 9B** sind Statorpolgruppen verwendet, die eine Polkombination aufweisen, die der des Motors in **Fig. 7A, 7B** entspricht – ein asymmetrischer Widerstandspol **13A**, ein symmetrischer Widerstandspol **13S** und ein asymmetrischer Dauermagnetpol **14A** – zusammen mit symmetrischen Dauermagnetpolen **18SN, 18SS** abwechselnder Polarität am Rotor.

[0089] Wie der Motor in **Fig. 8A, 8B** weist der Motor in **Fig. 10A, 10B** Statorpolgruppen ausschließlich mit Widerstandspolen auf, und zwar asymmetrische Widerstandspole **13A** mit einem relativ langen Hilfspol **13'**. Wie beim Motor in **Fig. 9A, 9B** weist der Rotor **12C** nur magnetisch symmetrische Dauermagnetpole **18SN, 18SS** auf, in diesem Fall jedoch mit teilweise schrägen Kanten.

[0090] **Fig. 11A, 11B** zeigen einen Motor, in dem der Rotor **12C** dem Rotor **12C** in **Fig. 1A** bis **1D** ähnelt, außer dass er mit drei asymmetrischen Widerstandspolen **16A** versehen ist. In diesem Fall ist der Stator **11D** rund und nur mit Dauermagnetpolen versehen, nämlich zwei diametral entgegengesetzten Gruppen von asymmetrischen Dauermagnetpolen **14AN, 14AS**, wobei jede Gruppe zwei im Abstand voneinander angeordnete Pole abwechselnder Polarität N beziehungsweise S umfasst, wobei die Polteilung eine halbe Rotorpolteilung beträgt. Des Weiteren werden bei diesem Motor die Wicklungsspulen **15D** mit Stromimpulsen wechselnder Polarität gespeist. Die Wicklungsspulen **15D** unterscheiden sich von den Wicklungsspulen der vorangehenden Ausführungsformen dadurch, dass sie mehrteilig ringförmig rund um den Stator **11D** gewickelt sind.

[0091] Andere Kombinationen von Polen am Stator und am Rotor sind ebenfalls möglich innerhalb des Umfangs der Erfindung. Neben den dargestellten und oben beschriebenen Polanordnungen umfasst die folgende Liste Beispiele von Polanordnungen, die im Umfang der Erfindung enthalten sind.

- I. Symmetrische Widerstandspole am Stator
 - A. Asymmetrische Dauermagnetpole am Stator (in symmetrischer oder asymmetrischer Anordnung)
 1. Widerstandspole am Rotor
 - a. Asymmetrische Widerstandspole **Fig. 1**
 - b. Symmetrische Widerstandspole
 2. Dauermagnetpole am Rotor
 - a. Asymmetrische Dauermagnetpole (in symmetrischer oder asymmetrischer Polreihe angeordnet) **Fig. 4**
 - b. Symmetrische Dauermagnetpole (in symmetrischer oder asymmetrischer Polreihe angeordnet)

B. Symmetrische Dauermagnetpole (in asymmetrischer Anordnung am Stator)

1. Widerstandspole am Rotor
 - a. Asymmetrische Widerstandspole
 - b. Symmetrische Widerstandspole **Fig. 12**
- C. Ohne Dauermagnetpole am Stator
 1. Dauermagnetpole am Rotor
 - a. Asymmetrische Dauermagnetpole **Fig. 5**
 - b. Symmetrische Dauermagnetpole angeordnet in asymmetrischer Polreihe
- II. Asymmetrische Widerstandspole am Stator
 - A. Symmetrische Dauermagnetpole am Stator
 1. Widerstandspole am Rotor
 - a. Asymmetrische Widerstandspole **Fig. 2**
 - b. Symmetrische Widerstandspole
 2. Dauermagnetpole am Rotor
 - a. Asymmetrische Dauermagnetpole **Fig. 6**
 - b. Asymmetrische Dauermagnetpole am Stator
 1. Widerstandspole am Rotor
 - a. Asymmetrische Widerstandspole **Fig. 3**
 - b. Symmetrische Widerstandspole
 2. Dauermagnetpole am Rotor
 - a. Asymmetrische Dauermagnetpole **Fig. 7**
 - b. Symmetrische Dauermagnetpole **Fig. 9**
- C. Ohne Dauermagnetpole am Stator
 1. Dauermagnetpole am Rotor
 - a. Asymmetrische Dauermagnetpole (angeordnet in symmetrischer oder asymmetrischer Polreihe) **Fig. 8**
 - b. Symmetrische Dauermagnetpole (angeordnet in symmetrischer oder asymmetrischer Polreihe) **Fig. 10**
- III. Symmetrische Dauermagnetpole nur am Stator
 - A. Statorpole angeordnet in einer symmetrischen Polreihe
 1. Widerstandspole am Rotor
 - a. Asymmetrische Widerstandspole
 - b. Symmetrische Widerstandspole
 - B. Statorpole angeordnet in einer asymmetrischen Polreihe
 1. Widerstandspole am Rotor
 - a. Asymmetrische Widerstandspole **Fig. 11**
 - b. Symmetrische Widerstandspole
 - B. Statorpole angeordnet in einer asymmetrischen Polreihe
 1. Widerstandspole am Rotor
 - a. Asymmetrische Widerstandspole
 - b. Symmetrische Widerstandspole

[0092] **Fig. 12A** und **12B** zeigen einen Motor, der ebenfalls im Umfang der Erfindung enthalten ist. Alle einzelnen Pole, sowohl die am Stator als auch die am Rotor, sind magnetisch symmetrisch. Bei diesem Motor ist die Aufgabe der Erfindung stattdessen durch

magnetische Asymmetrie innerhalb der Polgruppen am Stator erreicht, und zwar durch asymmetrisches Anordnen eines symmetrischen Dauermagnetpols zwischen einem Paar von symmetrischen Widerstandspolen der Polgruppen. Da der Rotor auch mit symmetrischen Widerstandspolen versehen ist, kann der Motor, der in **Fig. 12A, 12B** abgebildet ist, als zur Kategorie I.B.1.b. der obigen Klassifizierung zugehörig betrachtet werden.

[0093] Genauer gesagt umfasst der Motor, der in **Fig. 12A, 12B** gezeigt ist, einen Stator **11**, der Widerstandspole **13S** ähnlich denen, die in **Fig. 1A bis 1D** gezeigt sind, aufweist. Der Rotor **12** ähnelt ebenfalls dem Rotor in **Fig. 1A bis 1D**, abgesehen davon, dass seine Pole **16** sowohl am vorderen als auch am hinteren Ende mit Hilfspolteilen **16'** versehen sind, und dass diese Hilfspolteile eine geringere Umfangsabmessung aufweisen.

[0094] Jede Polgruppe umfasst einen rechteckigen magnetisch symmetrischen Dauermagnetpol **14**, der in einer asymmetrischen oder außermittigen Stellung angrenzend an einen der beiden Widerstandspole **13S** angeordnet ist. Die zwei Dauermagnetpole **14** sind mit einem gewöhnlichen Erregermechanismus **20** verbunden, der einen Hebel **21** umfasst. Beim Betrieb des Motors sind die Dauermagnetpole **14** stationär in der gewählten außermittigen Stellung, aber durch Verstellen des Hebels **21** abwärts von der Stellung, die in **Fig. 12A** in durchgehenden Strichen gezeigt ist, können die Dauermagnetpole **14** aus der abgebildeten außermittigen Stellung zu einer entsprechenden außermittigen Stellung (in Strichpunktlinien in **Fig. 12A, 12B** angezeigt) angrenzend an die anderen Statorwiderstandspole **13S** verschoben werden, um die bevorzugte Drehrichtung des Rotors umzudrehen.

[0095] Der Rotor **12** ist mit seinen Polen **16** in der eingezogenen oder angezogenen Stellung gezeigt. In dieser Stellung sind die Hilfspolteile **16'** am hinteren Ende (unter der Annahme von einer Drehung des Rotors gegen den Uhrzeigersinn) von zwei der Rotorpole, dem oberen linken Pol und dem unteren rechten Pol, eng angrenzend an ein Ende jedes Dauermagnetpols **14**, und vorzugsweise gibt es eine leichte Überlappung zwischen jedem Dauermagnetpol und dem jeweils angrenzenden dieser Rotorpole. Der Abstand der gegenüberliegenden Seite jedes Dauermagnetpols **14** und dem anderen angrenzenden Rotorpol ist beträchtlich.

[0096] Dementsprechend ist in der abgebildeten eingezogenen Rotorstellung die magnetische Anziehung zwischen jedem Dauermagnetpol **14** und dem Rotorpol **16** vor ihm, gesehen in der Drehrichtung des Rotors, deutlich größer als die magnetische Anziehung zwischen dem Dauermagnetpol und dem Rotorpol hinter ihm. Darum zieht der Dauermagnetpol **14**, wenn der Strom in den Wicklungsspulen **15** mit dem Rotor in der abgebildeten Stellung abgeschaltet wird, den Rotor im Uhrzeigersinn zur Anlaufstellung.

[0097] In der Anlaufstellung sind die Hilfspolteile **16'**

am vorderen Ende der Rotorpole **16** eng angrenzend an die beiden Statorwiderstandspole **13S** vor ihnen angeordnet, vorzugsweise überlappen sie diese leicht. Darum können diese Widerstandspole, wenn die Wicklungsspulen **15** dann wieder erregt werden, den Rotor kraftvoll gegen den Uhrzeigersinn, weg von der Anlaufstellung, anstoßen, wie oben unter Bezugnahme auf **Fig. 1A bis 1E** beschrieben.

[0098] **Fig. 13A bis 13D** sind Ansichten, die **Fig. 1B, 2B, 3B** etc. entsprechen, und dazu dienen, das Konzept des magnetisch symmetrischen und asymmetrischen Anordnens eines Dauermagnetpols zwischen einem Paar von Widerstandspolen am Stator weiter zu erklären. Diese vier Figuren zeigen vier verschiedene Formen der Dauermagnetpole zusammen mit einer Stator- und Rotorwiderstandspolkombination, die in allen Figuren dieselbe ist und der in **Fig. 1A und 1B** entspricht. Alle vier Figuren zeigen die Rotorwiderstandspole **16A** in der Anlaufstellung, die magnetisch auf den Dauermagnetpol **14S** (**Fig. 13A**) oder **14A** (**Fig. 13B bis 13D**) ausgerichtet ist, wobei die zur Statorpolgruppe gehörende Wicklung stromlos ist.

[0099] In der Anlaufstellung ist die auf den Rotorwiderstandspol **16** durch den Dauermagnetpol **14S, 14A** ausgeübte Kraft gleich Null in Umfangsrichtung, aber als Reaktion auf jegliche Abweichung des Rotorpols aus der ausgerichteten Stellung entwickelt die Anziehungskraft zwischen dem Dauermagnetpol und dem Rotorpol eine Umfangskomponente, die dazu führt, dass der Rotorpol in seine Anlaufstellung zurückgebracht wird.

[0100] In **Fig. 13A**, die zum Vergleich angefügt ist und eine symmetrische Polanordnung gemäß der in WO92/12567 gezeigten, darstellt, überlappt der Dauermagnetpol **13S** den Hauptpolteil **16A** des Rotorwiderstandspols **16** komplett. **Fig. 13B–13D** zeigen verschiedene Statorpolkonfigurationen gemäß der Erfindung, die aufgrund einer asymmetrischen Form des Dauermagnetpols (**Fig. 13B–D**) und/oder aufgrund asymmetrischen Anordnens desselben (**Fig. 13D**) asymmetrisch sind.

[0101] In **Fig. 13D** ist die Statorpolgruppe, die aus den Polen **13S** und **14A** besteht, asymmetrisch sowohl aufgrund von Polasymmetrie des Dauermagnetpols **14** als auch aufgrund eines leicht asymmetrischen Anordnens dieses Pols (gegen den linken Statorwiderstandspol **13S**), was zu einer leicht asymmetrisch ausgerichteten Stellung des Rotorwiderstandspols **16A** zwischen den beiden Statorwiderstandspolen **13S** führt. Folglich ist die Strecke, die der Rotorpol **16A** zurücklegt, wenn er sich aus der Stellung, in der er magnetisch auf den rechten Statorwiderstandspol ausgerichtet ist, in die Stellung, in der er magnetisch auf den Dauermagnetpol **14A** ausgerichtet ist, etwas länger als die Strecke, die er von der zuletzt genannten Stellung zur Stellung, in der er magnetisch auf den linken Widerstandspol **13S** ausgerichtet ist, zurücklegt.

[0102] Obwohl magnetische Asymmetrie am Rotor, die aus asymmetrischem Anordnen von Polen her-

rührt, in den Zeichnungen nicht gezeigt ist, ist eine solche Asymmetrie, alleine oder in Kombination mit Asymmetrie von einzelnen Polen, auch im Stator-Rotor-Polsystem möglich. Zum Beispiel können bei Rotoren der Art, die in **Fig. 4A, 4B** bis **Fig. 10A, 10B** gezeigt sind, bei der sich Dauermagnetpole einer Polarität mit Dauermagnetpolen der anderen Polarität abwechseln, die Dauermagnetpole einer Polarität gemeinsam in jeder Umfangsrichtung aus der Mittelstellung zwischen benachbarten Dauermagnetpolen der anderen Polarität verschoben werden, wobei die Pole innerhalb jedes Satzes von Polen gleicher Polarität immer noch im Wesentlichen in gleichen Abständen voneinander angeordnet sind.

[0103] Bei allen in den Zeichnungen abgebildeten Ausführungsformen sind die Stator und der Rotor mehrschichtig aus dünnen Elektrostahlplatten, wie in **Fig. 1D** angezeigt (wobei die Dicke der Platten zur deutlicheren Abbildung stark übertrieben ist), gefertigt.

[0104] In den Abschnitten der Platten, welche die Statorwiderstandspole **135** oder **13A** bilden, ist jede zweite Statorplatte **11A** leicht verkürzt, so dass die gebogenen Plattenkanten **11B**, die dem Luftspalt **17** gegenüberliegen, in Bezug auf die benachbarten Platten radial nach außen versetzt sind, siehe **Fig. 1A** und den unteren Abschnitt von **Fig. 1D**. Mit anderen Worten, nur jede zweite Platte **11C** reicht hinauf bis zum Luftspalt **17**, während die dazwischen liegenden Platten **11A** kurz vor dem Luftspalt **17** enden. Eine ähnliche Widerstandspolkonstruktion ist im Stator und oder dem Rotor aller dieser Motoren, in denen sowohl der Stator als auch der Rotor mit Widerstandspolen versehen sind, geschaffen, oder kann dort geschaffen werden.

[0105] Dieses Dünnermachen des Plattenstapels an der Polfläche des Widerstandspols dient dazu, sicherzustellen, dass der Wechsel des Flusses im Luftspalt zwischen den Stator- und den Rotorwiderstandspolen, der stattfindet, wenn die Rotorwiderstandspole an den Statorwiderstandspolen vorbeikommen, proportional zum Wechsel der Polüberlappungsfläche ist. Mit anderen Worten, sie dienen dazu, sicherzustellen, dass die Flussdichte im Polüberlappungsbereich im Wesentlichen konstant ist, solange der Flusswechsel nicht durch magnetische Sättigung in einem anderen Bereich des Magnetkreises eingeschränkt ist, so dass das durch das Zusammenwirken der Pole entwickelte Drehmoment so gleichmäßig wie möglich ist.

[0106] Magnetisch ist die Wirkung der Reduktion oder Kürzung des Widerstandspolabschnitts jeder zweiten Platte eine 50-prozentige Senkung des Mittelwertes der Sättigungsflussdichte über die Polfläche, die dem Zweck dient, die magnetische Induktionsschwingung (den Schritt, in dem sich die Flussdichte über einen Arbeitszyklus des Motors verändert) im Hauptteil des mehrschichtigen Stapels, wo der überwiegende Teil der Eisenverluste entsteht, zu verringern.

[0107] **Fig. 14A** und **14B** zeigen ein abgeändertes Verfahren zum Dünnermachen der Widerstandspole an der Polfläche. Dieses abgeänderte Verfahren, das für Motoren geeignet ist, die mit erhöhten Betriebsfrequenzen laufen, ist nicht auf die oben beschriebenen Einphasenmotoren beschränkt, sondern allgemein anwendbar für alle Motoren, die Widerstandspole sowohl am Stator als auch am Rotor aufweisen. Zum Beispiel können Motoren der Arten, die in WO90/02437 und WO92/12567 offenbart sind, Widerstandspole des Stators und/oder des Rotors, die gemäß dem abgeänderten Verfahren konstruiert sind, aufweisen.

[0108] Erhöhte Motorgeschwindigkeiten erfordern erhöhte Betriebsfrequenzen der Stromversorgung für den Motor. Erhöhte Betriebsfrequenzen sind aber auch verbunden mit erhöhten Eisenverlusten. Ein Verfahren zum Vermeiden dieser Erhöhung der Eisenverluste umfasst das Verwenden dünnerer Platten für die Schichtung, wobei es beim Verringern der Plattendicke allerdings schwierig oder unmöglich sein kann, automatische Fertigungseinrichtungen zu verwenden. Ein anderes Verfahren umfasst das Verringern oder Verkürzen von je zwei von drei Platten, wobei dieses Verfahren allerdings in den meisten Fällen nicht zufriedenstellend ist.

[0109] Es ist auch eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Widerstandspolkonstruktion zu schaffen, die für Motoren, die mit erhöhten Frequenzen arbeiten, angepasst werden kann, ohne dass es notwendig ist, auf eines der oben beschriebenen Verfahren zurückzugreifen.

[0110] Gemäß diesem Aspekt der Erfindung wird die gewünschte Verringerung der Induktionsschwingung bei erhöhten Betriebsfrequenzen in einem Widerstandspol der Art, die in **Fig. 1A-1D** gezeigt ist, erreicht, indem Vertiefungen in jenen Platten, die bis zum Luftspalt hinauf reichen, geschaffen werden, wobei diese Vertiefungen die Querschnittsfläche der Platte, die dem Magnetfluss im Pol dargeboten ist, beschränken, und dadurch zu einer Verringerung der Flussdichte, bei der der Pol an der Polfläche magnetisch gesättigt wird, beitragen.

[0111] Die Vertiefungen sollten im Wesentlichen gleichmäßig über den Querschnitt der Platte verteilt sein. Sie können die Form von Löchern annehmen, das heißt von Öffnungen, die nicht zum Luftspalt hin offen sind, oder sie können die Form von Öffnungen annehmen, die mit dem Luftspalt vorzugsweise über enge Durchlässe in Verbindung stehen. Weite Durchlässe sind nicht wünschenswert, da sie Wirbelströme in den Flächen der Widerstandspole des anderen Motorteils erzeugen.

[0112] In **Fig. 14A** und **14B** ist die Abänderung für die Widerstandspole des Stators des Motors, der in **Fig. 1A-1D** gezeigt ist, nämlich dem Statorwiderstandspol **135** rechts in der oberen Statorpolgruppe, durch Beispiele erläutert. **Fig. 14A** zeigt den verkürzten Widerstandspolabschnitt einer Platte **11A**, während **Fig. 14B** den durchgehenden Widerstandspol-

abschnitt der benachbarten Platte **11C** zeigt. Im Bereich nahe des Luftspalts **17** ist dieser Abschnitt mit drei Vertiefungen **11D** in Form von länglichen Öffnungen, die einen geschlossenen Umriss aufweisen und darum nicht mit der gebogenen Kante **11E** verbunden sind, die dem Luftspalt **17** gegenübersteht, versehen. Die drei Vertiefungen sind gleichmäßig über die Länge der gebogenen Kante verteilt.

[0113] Bei der Konstruktion des vertieften Abschnitts der Platten ist die folgende empirisch abgeleitete Gleichung hilfreich

$$\Delta B_2 = \Delta B_1 (f_1/f_2)^{1/1.2}$$

[0114] In dieser Gleichung stellen ΔB und f die Induktionsschwingung beziehungsweise die Betriebsfrequenz dar, die Kennziffern **1** und **2** bezeichnen zwei verschiedene Betriebszustände. Wie aus der Gleichung unmittelbar ersichtlich ist, erfordert eine erhöhte Betriebsfrequenz mit unveränderten Eisenverlusten ein Verringern der Induktionsschwingung, die weniger als direkt proportional zur Erhöhung der Betriebsfrequenz ist. Zum Beispiel erfordert ein Verdoppeln der Betriebsfrequenz ein Verringern der Induktionsschwingung auf 56% ihres vorherigen Wertes, damit die Eisenverluste unverändert bleiben. Bei erhöhten Betriebsfrequenzen wird es möglich, die Eisen- und Kupferverluste anzupassen, so dass sie ungefähr gleich werden, was für die Drehmomententwicklung optimal ist. Folglich kann die Flussdichte höher gewählt werden als die Flussdichte, die unveränderten Eisenverlusten entspricht.

[0115] Obwohl das oben beschriebene Einsenken der Eisenplatten die Sättigungsflussdichte an den Widerstandspolflächen verringert, kann eine wesentliche Erhöhung der Luftspaltleistung für dieselbe Motorgröße erreicht werden, da die Motorgeschwindigkeit mehr erhöht werden kann, als das Motordrehmoment verringert werden muss.

[0116] Natürlich kann das Einsenken der Widerstandspolabschnitt der Platten gemäß dem oben beschriebenen Prinzip für Motoren angewendet werden, bei denen die Widerstandspolabschnitte aller Platten bis zum Luftspalt hinauf reichen, wie hinsichtlich der Platten **11C** in **Fig. 1D** und **14B** gezeigt. Wenn gewünscht, kann das Einsenken für benachbarte Platten unterschiedlich sein.

Alternative Ausführungsformen

[0117] Die folgenden alternativen Motoren sind aus Polgruppen mit Wicklungen zusammengesetzt und können für Dreh- oder Linearbewegung gestaltet sein.

[0118] Die Drehmotoren können aufweisen:

1. Eine Luftspaltoberfläche, die zylindrisch, kegelförmig, scheibenförmig, etc. ist, und im Prinzip jede Oberflächenform aufweisen kann, die eine Erzeugende, die sich um eine ruhende Achse dreht, beschreiben kann.

2. Einen Außenrotor.

3. Der Unterschied zwischen der Polanzahl im Stator beziehungsweise im Rotor kann beliebig sein, zum Beispiel im Fall von geteiltem/n Stator(en).

4. Bei einem Motor mit zylindrischer Luftspaltoberfläche und Innenrotor können mehrere Polgruppen so angeordnet sein, dass sie durch Elektrostahlschichtungen in derselben Ebene (wie bei den Ausführungsformen, die in den Zeichnungen abgebildet sind) miteinander verbunden sind. Ein Motor kann mehrere solche „Motorscheiben“ entlang einer gemeinsamen Drehachse umfassen. Diese Scheiben können als Alternative auch ohne einzeln geschlossene Flusspfade und stattdessen verbunden durch längsgerichtete Flusspfade konstruiert sein. Beispiele einer solchen Anordnung sind in WO90/02437 zu finden. Die „Motorscheiben“ können zum Beispiel durch gewöhnliche Spulen für zwei „Motorscheiben“ magnetisiert sein.

5. Bei Motoren mit Längsflussverbindung zwischen „Motorscheiben“ kann die Wicklung eine Zylinderspule rund um die Drehachse umfassen (ein Beispiel einer solchen Anordnung ist in WO90/02437 gezeigt). In diesem Fall kann der Drehteil zum Beispiel die Poltypen enthalten, die ansonsten stationär gewesen sind, und umgekehrt.

6. Motoren, bei denen der Stator nicht sowohl Widerstandspole als auch Dauermagnetpole aufweist, folglich also nur eine Polart, können im Umfang der Erfindung abgeändert werden, indem die Statorpole ihre Plätze mit den Rotorpolen tauschen. Beispiele solcher Fälle sind die Motoren in **Fig. 5A**, **5B**, **8A**, **8B** und **10A**, **10B**. Folglich können bei diesen Motoren die Widerstandspole am Stator durch Dauermagnetpole, die denen am Rotor entsprechen, ersetzt werden, und die Dauermagnetpole am Rotor können durch Widerstandspole, die denen am Stator entsprechen, ersetzt werden. **Fig. 11A**, **11B** zeigen eine solche Abänderung des Motors in **Fig. 8A**, **8B**.

7. Die Form und/oder Verteilung der Pole in einem Motor, zum Beispiel der Widerstandspole, kann so gewählt werden, dass Lärm und Vibration, die durch wechselnde magnetische Kräfte zwischen Stator und Rotor entstehen, so weit wie möglich verringert werden. Beispiele bekannter Maßnahmen dieser Art sind schräge Polkanten oder eine leicht ungleichmäßige Verteilung der Pole entlang dem Rotorumfang oder verschiedene Unterschiede zwischen der Polteilung in einer Polgruppe am Stator und der Polteilung am Rotor. Es können auch verschiedene Maßnahmen kombiniert werden.

8. Bei Motoren mit zwei, oder einer anderen geraden Anzahl von Widerstandspolen in jeder Gruppe am Stator und keinen Dauermagnetpolen am Stator kann der weichmagnetische Statorbü-

gelteilt, der bei den gezeigten Ausführungsformen in der Mitte der Polgruppe verläuft, entfernt werden, ohne die magnetische Funktion des Motors zu beeinflussen. Die mechanische Funktion der genannten Statorbügelteile als Abstandhalter kann durch nichtmagnetische Abstandhaltermittel ersetzt werden.

9. Man wird verstehen, dass die in **Fig. 1** bis **12** gezeigten Spulen zum Magnetisieren der Polgruppen auch anders angeordnet sein können, zum Beispiel als Spulen nach Transformatorart, welche die Bügel zwischen den Polgruppen umgeben, oder wie in **Fig. 11A** gezeigt. Der Statorbügel kann auch geteilt sein und dadurch die Verwendung von vorgewickelten Spulen ermöglichen. Es kann in kleinen Motoren auch wirtschaftlich von Vorteil sein, zum Beispiel zwei Bügel, die zwei Polgruppen verbinden, durch einen Einzelbügel mit der doppelten Querschnittsfläche zu ersetzen, und diesen Bügel mit einer einzigen Spule zu umgeben. Solche Anordnungen sind bei kleinen Spaltpolmotoren und Gleichstrommotoren bekannt.

10. Um die Verwendung von nur einem einzigen elektronischen Schaltelement in Motoren, die mit Stromimpulsen einer einzigen Polarität gespeist werden, zu ermöglichen, kann Feldenergie zur Gleichstromquelle durch Rückkopplungswicklung, die parallel zur Betriebswicklung gewickelt ist, zurückgeführt werden, wie in WO90/02437 beschrieben.

Patentansprüche

1. Selbstanlaufender bürstenloser Elektromotor, umfassend

- einen ferromagnetischen ersten Motorteil (**11**), der eine Vielzahl von Polgruppen, die in Abständen in einer ersten Polreihe (S) angeordnet sind, aufweist, wobei jede Polgruppe eine Mehrzahl von Polen umfasst,
- einen ferromagnetischen zweiten Motorteil (**12**), der eine Mehrzahl von Polen, die in Abständen in einer zweiten Polreihe (R) angeordnet sind, aufweist,
- Lagermittel, die den ersten Motorteil und den zweiten Motorteil für Relativbewegung stützen, wobei die erste Polreihe der zweiten Polreihe auf der anderen Seite eines Luftspalts (**17**) gegenübersteht, und
- ein Wicklungssystem (**15**) am ersten Motorteil (**11**), umfassend eine Wicklungsspule, die gemeinsam mit jeder Polgruppe angeordnet ist, um ein Magnetfeld, das die Pole der ersten und der zweiten Polreihe (S, R) über die Polgruppe bei Erregung der Spule miteinander verbindet, zu erzeugen, wobei die erste und die zweite Polreihe (S, R) ein Polsystem darstellen, das Widerstandspole und Dauermagnetpole umfasst, die quer zum Luftspalt polarisiert sind, wobei das Polsystem eine magnetische Asymmetrie aufweist, die sowohl bei Erregung als auch Aberregung des Wicklungssystems dieselbe

bevorzugte Relativbewegungsrichtung der Motorteile ergibt,

dadurch gekennzeichnet, dass sowohl mindestens eine Polgruppe der ersten Polreihe (S) als auch der zweiten Polreihe (R) Pole (**13A**, **16A**, **14A**, **14AN**, **14AS**, **18AN**, **18AS**) umfasst, die je einen Hauptpolteil und einen Hilfspolteil (**13'**, **16'**, **14'**, **18'**) umfassen, welche von dem Hauptpolteil in die bevorzugte Relativbewegungsrichtung des jeweiligen Motorteils (**11**, **12**) herausragen, wobei die Hilfspolteile der ersten Polreihe (S) mit den Hilfspolteilen der zweiten Polreihe (R) während der Relativbewegung der Motorteile (**11**, **12**) aufeinander einwirken, und wenn keine der Polgruppen sowohl Widerstands- als auch Dauermagnetpole umfasst, die erste Polreihe (S) entweder nur Widerstandspole oder nur Dauermagnetpole umfasst.

2. Motor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Polgruppe der ersten Polreihe (S) mindestens einen symmetrischen Widerstandspol (**13S**) und mindestens einen Dauermagnetpol (**14A**) aufweist, welche die Haupt- und Hilfspolteile umfassen.

3. Motor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Polreihe (R) entweder mindestens einen Widerstandspol (**16A**) aufweist, der die Haupt- und Hilfspolteile umfasst, oder mindestens einen Dauermagnetpol (**14A**), der die Haupt- und Hilfspolteile umfasst.

4. Motor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Polgruppe der ersten Polreihe (S) einen symmetrischen Widerstandspol (**13S**), einen Widerstandspol (**13A**), der die Haupt- und Hilfspolteile umfasst, und einen Dauermagnetpol (**14A**), der die Haupt- und Hilfspolteile umfasst und zwischen den Widerstandspolen angeordnet ist, aufweist, und dass die zweite Polreihe (R) eine Mehrzahl von im Wesentlichen in regelmäßigen Abständen voneinander angeordneten Widerstandspolen (**16A**) umfasst, welche die Haupt- und Hilfspolteile umfassen.

5. Motor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Polgruppe der ersten Polreihe (S) zwei symmetrische Widerstandspole (**13S**) und einen Dauermagnetpol (**14A**), der die Haupt- und Hilfspolteile umfasst und zwischen den Widerstandspolen angeordnet ist, aufweist, und dass die zweite Polreihe (R) eine Mehrzahl von im Wesentlichen in regelmäßigen Abständen voneinander angeordneten Widerstandspolen (**16A**) umfasst, welche die Haupt- und Hilfspolteile umfassen.

6. Motor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Polgruppe der ersten Polreihe (S) mindestens einen symmetrischen Widerstandspol (**13S**) und einen symmetrischen Dauermagnetpol (**14A**) umfasst, welche die Haupt- und Hilfspolteile umfassen.

gnetpol (**14S**) aufweist.

7. Motor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Polreihe (R) entweder eine Mehrzahl von im Wesentlichen in regelmäßigen Abständen voneinander angeordneten Widerstandspolen (**16A**), welche die Haupt- und Hilfspolteile umfassen, oder eine Mehrzahl von im Wesentlichen in regelmäßigen Abständen voneinander angeordneten Dauermagnetpolen (**18AS**, **18AN**), welche die Haupt- und Hilfspolteile umfassen, aufweist.

8. Motor nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Polgruppe der ersten Polreihe (S) ebenfalls mindestens einen Widerstandspol (**13A**), der die Haupt- und Hilfspolteile umfasst, aufweist, wobei der Dauermagnetpol (**14S**) der Polgruppe zwischen den Widerstandspolen (**13A**, **13S**) angeordnet ist.

9. Motor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Polreihe (S) nur Widerstandspole (**13A**) umfasst, und die zweite Polreihe (R) eine Mehrzahl von Dauermagnetpolen (**18AN**, **18AS**) abwechselnder Polarität umfasst, wobei Pole gleicher Polarität im Wesentlichen in regelmäßigen Abständen voneinander angeordnet sind.

10. Motor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Polgruppe der ersten Polreihe (S) ein Paar von Widerstandspolen (**13A**), welche die Haupt- und Hilfspolteile umfassen, umfasst.

11. Motor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Polreihe (S) nur Dauermagnetpole (**14AN**, **14AS**) umfasst, dass mindestens eine Polgruppe der ersten Polreihe ein Paar von Dauermagnetpolen (**14AN**, **14AS**), die in entgegengesetzten Richtungen polarisiert sind, umfasst, und dass die zweite Polreihe (R) eine Mehrzahl von im Wesentlichen in regelmäßigen Abständen voneinander angeordneten Widerstandspolen (**16A**), welche die Haupt- und Hilfspolteile umfassen, umfasst.

12. Motor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Polgruppe mindestens einen zusätzlichen Dauermagnetpol, der in entgegengesetzter Richtung in Bezug auf den benachbarten Pol oder die benachbarten Pole polarisiert ist, umfasst.

13. Motor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hilfspolteile (**13'**, **16'**, **14'**, **18'**) eine solche Länge, gemessen entlang der Polreihen (S, R) aufweisen, dass sich, wenn irgendwelche zwei Pole an den beiden Motorteilen (**11**, **12**) magnetisch aufeinander ausgerichtet sind, der Hilfspolteil von mindestens einem der Pole an einem der Motorteile, der die Haupt- und Hilfspolteile umfasst, zumindest bis in Nähe eines be-

nachbarten Pols am anderen Motorteil erstreckt.

14. Motor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hilfspolteile (**13'**, **16'**, **14'**, **18'**) eine solche Länge, gemessen entlang der Polreihen, aufweisen, dass, wenn irgendwelche zwei Pole an den beiden Motorteilen (**11**, **12**) als Ergebnis einer Erregung des Wicklungssystems (**15**) magnetisch aufeinander ausgerichtet sind, der Hilfspolteil von mindestens einem der Pole an einem der Motorteile, der die Haupt- und Hilfspolteile umfasst, einen benachbarten Pol am anderen Motorteil leicht überlappt.

15. Motor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Polgruppen der ersten Polreihe identisch sind.

16. Motor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Motor ein Drehmotor ist, und dass die erste Polreihe (S) zumindest ein Paar von diametral entgegengesetzten Polgruppen umfasst.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

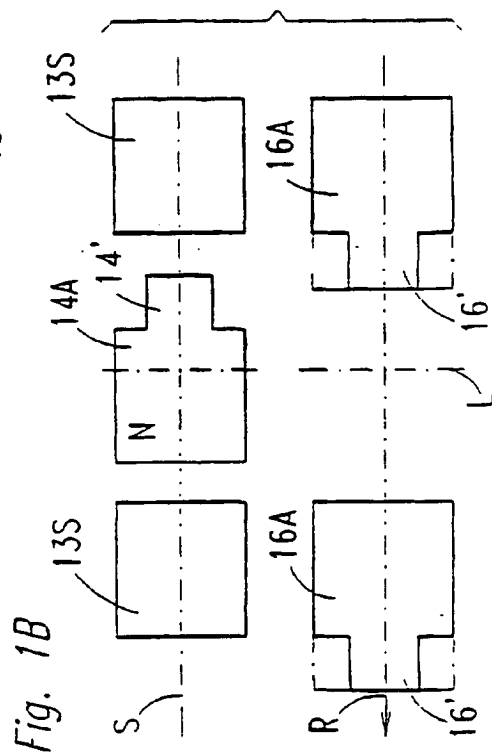
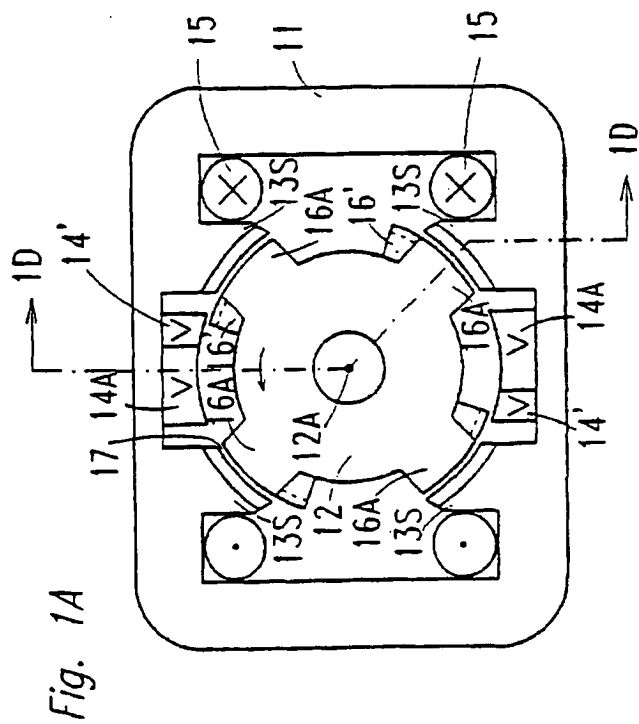
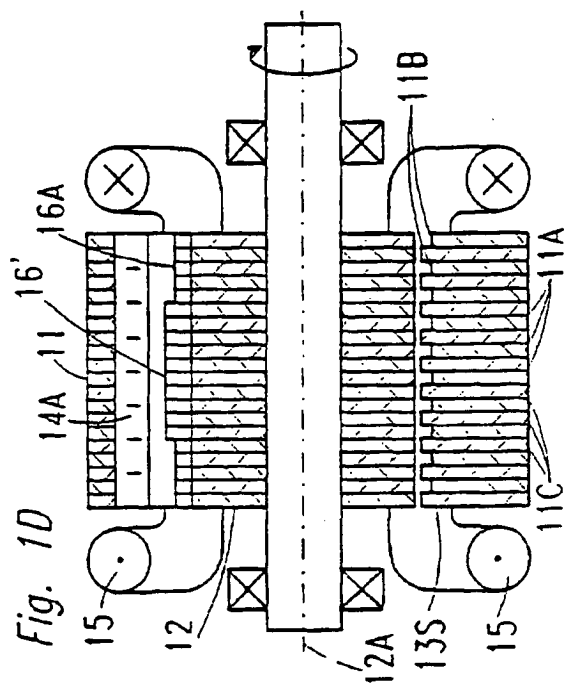
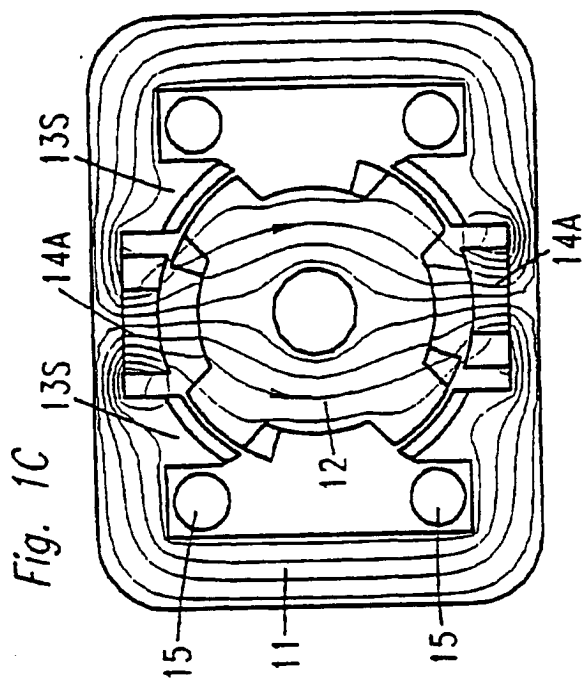


Fig. 2C

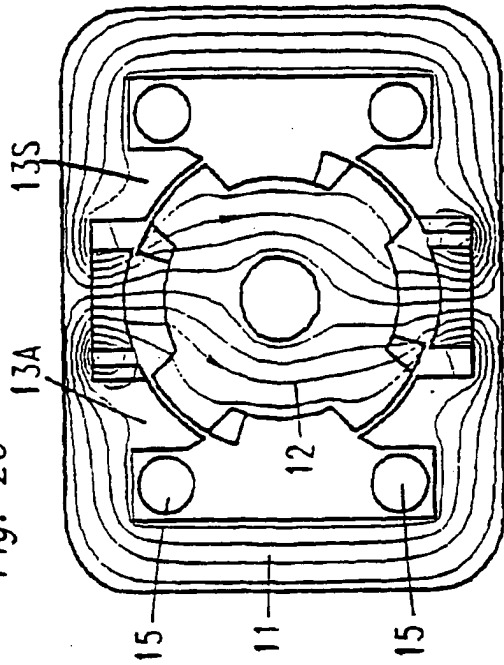


Fig. 1E

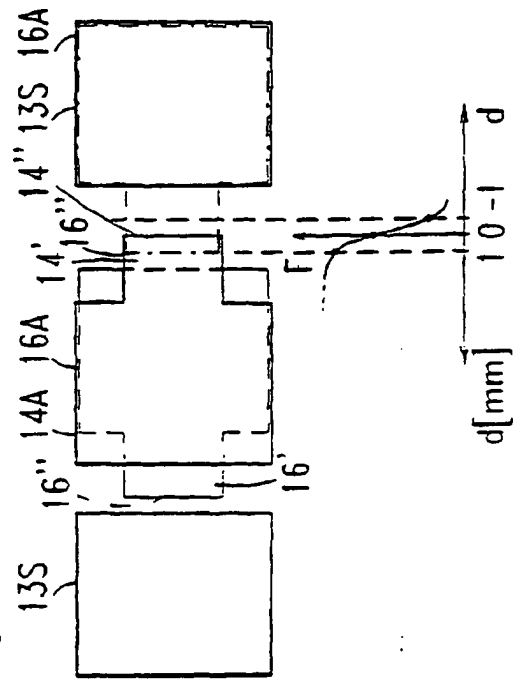


Fig. 2A

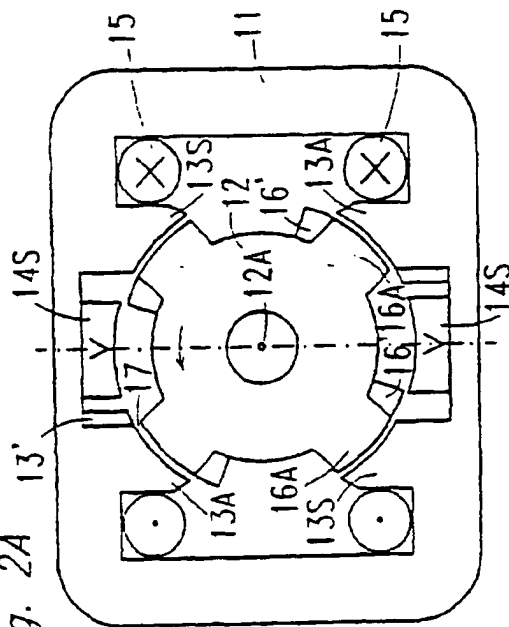
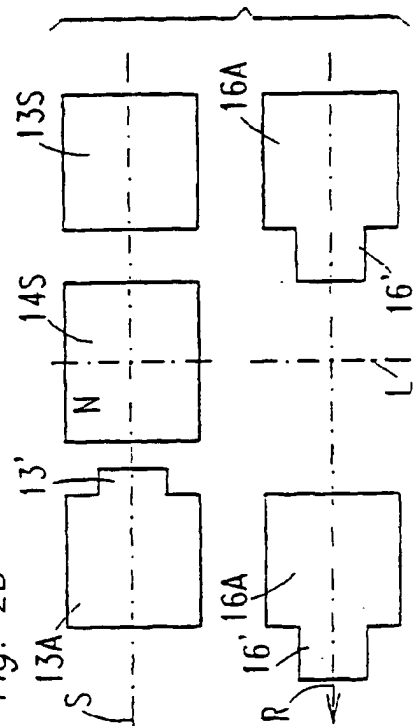
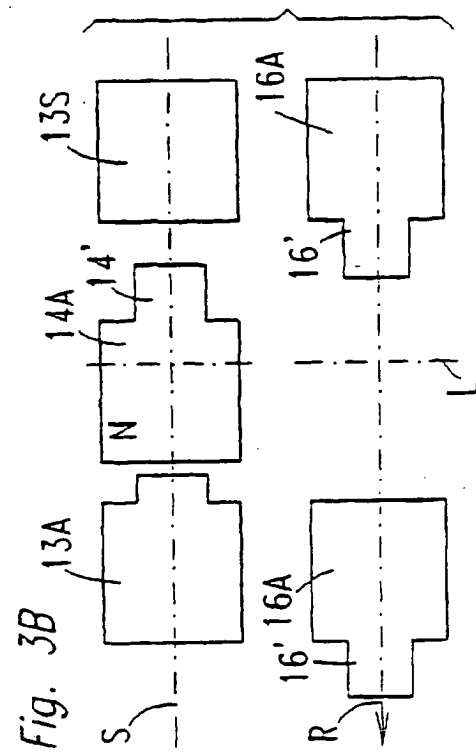
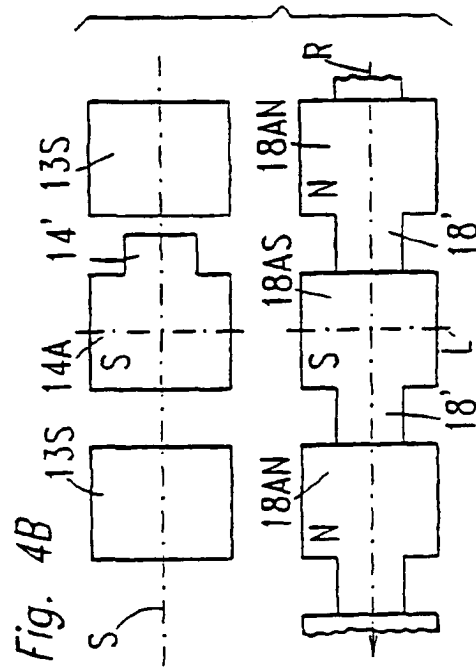
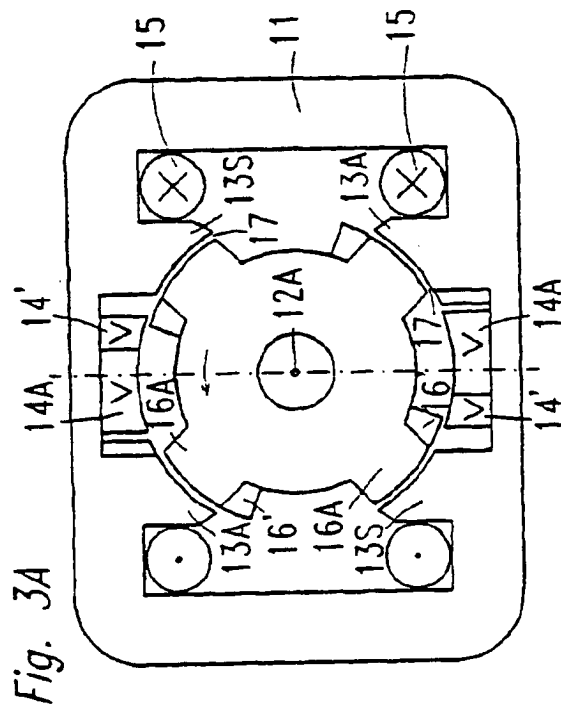
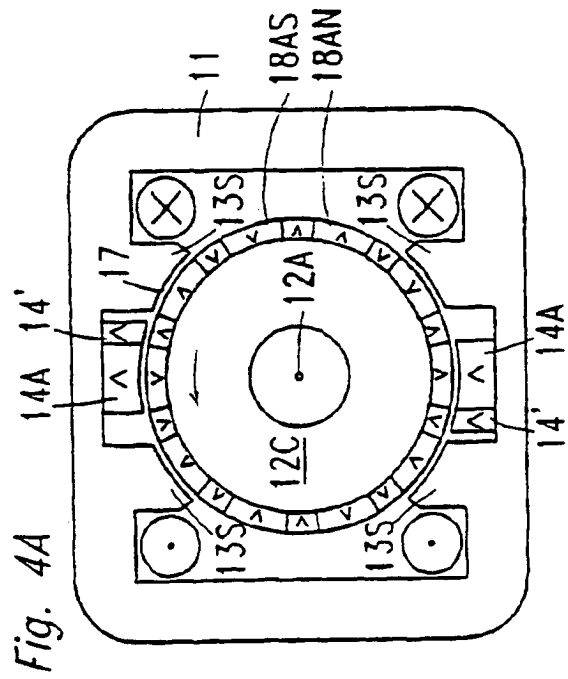
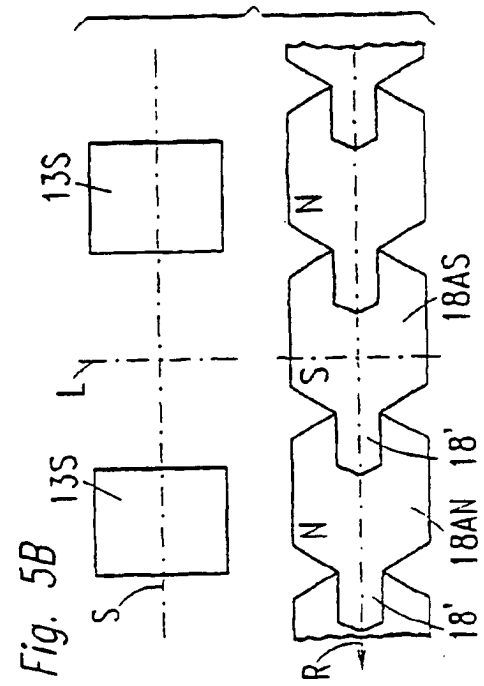
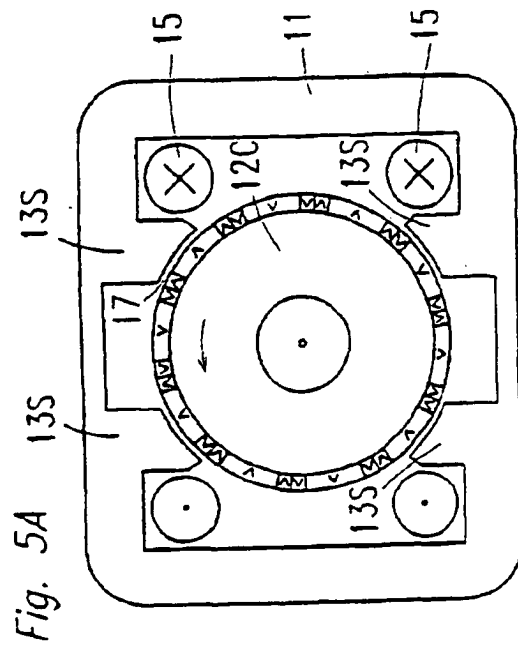
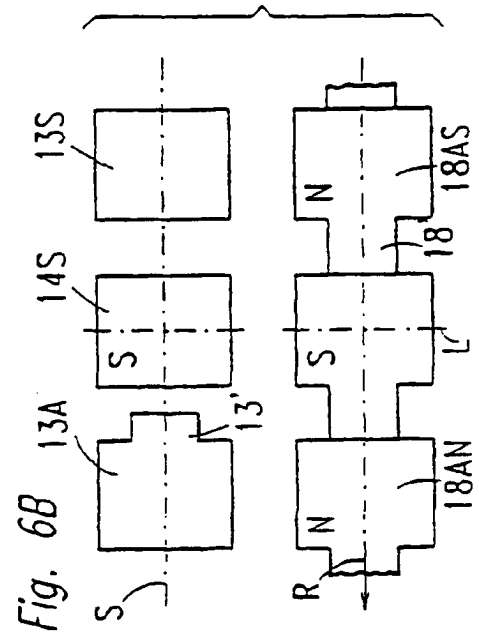
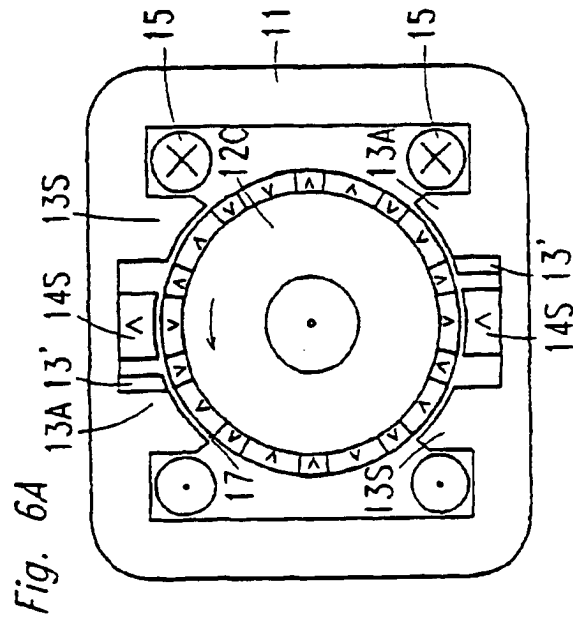
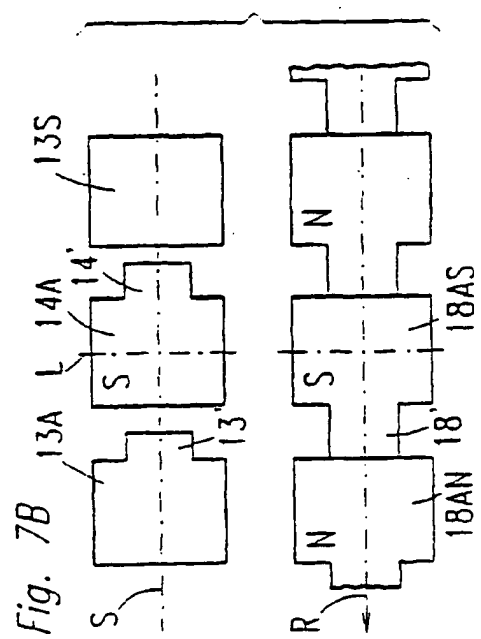
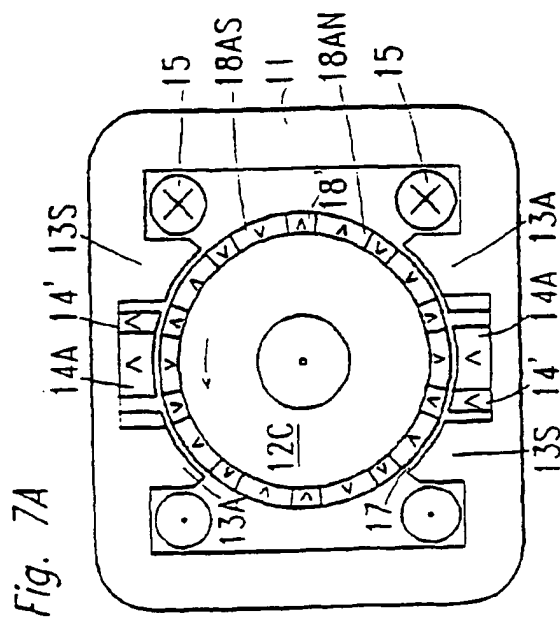
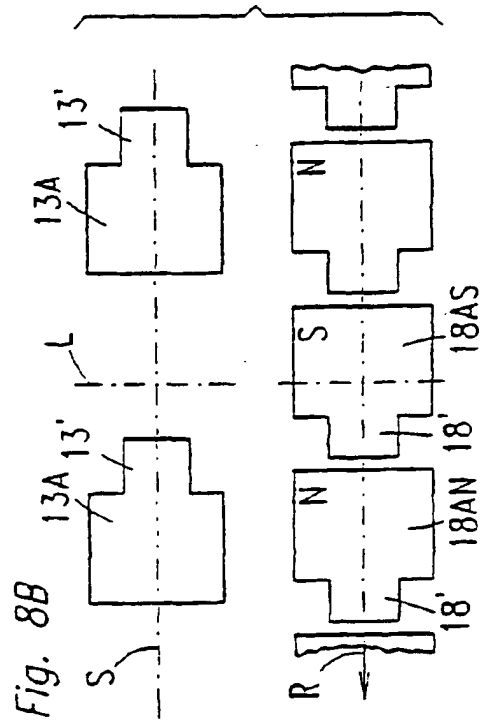
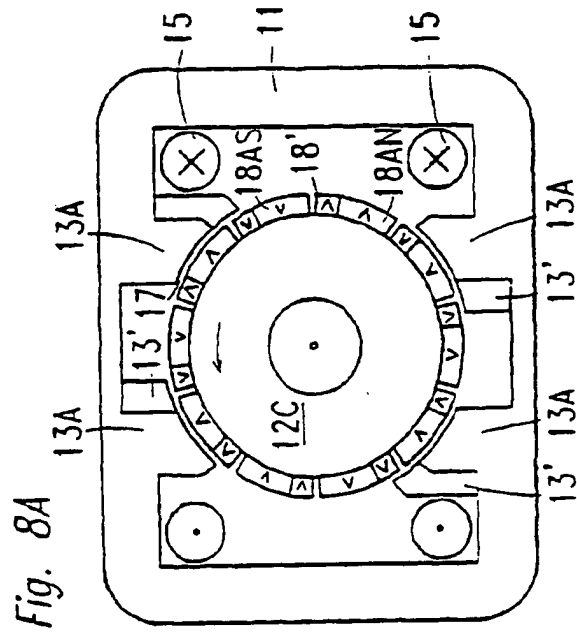


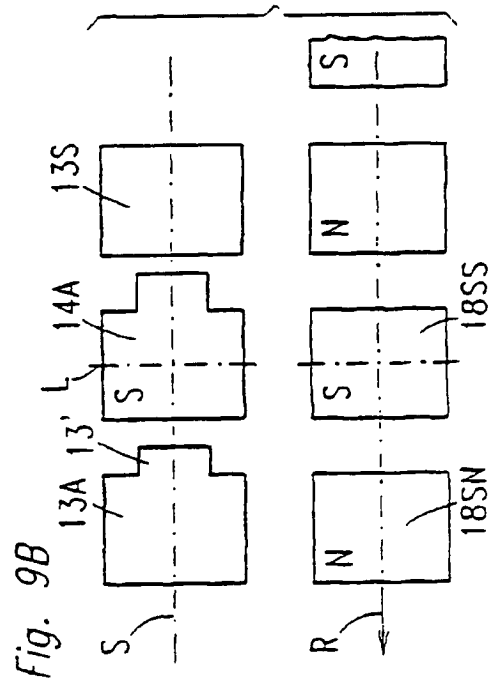
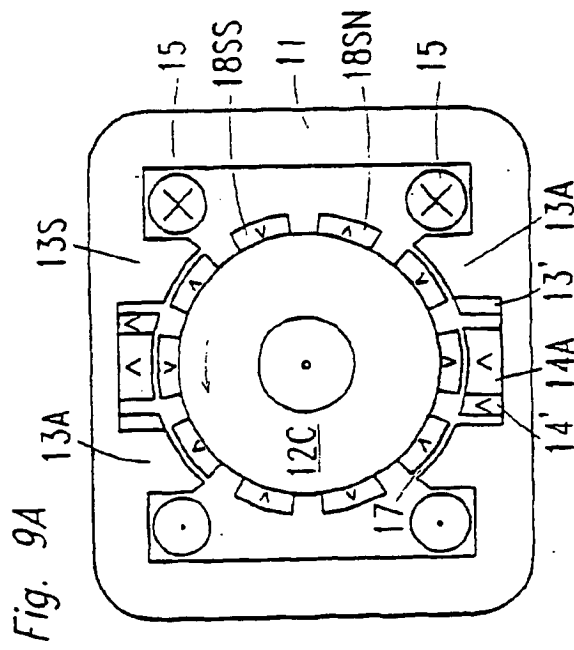
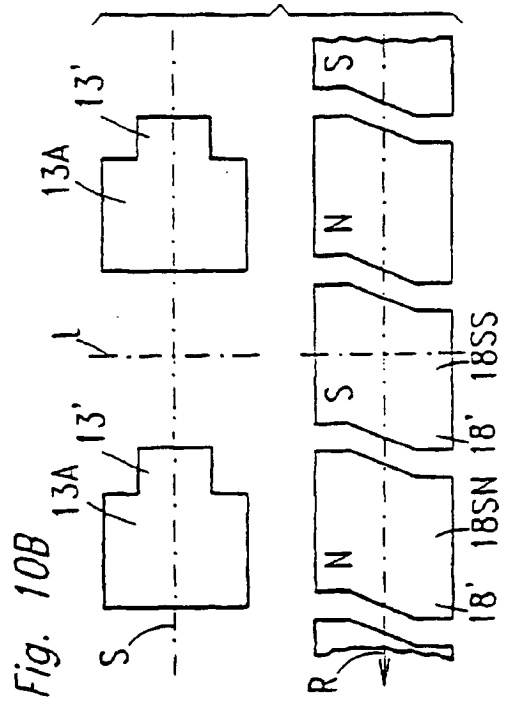
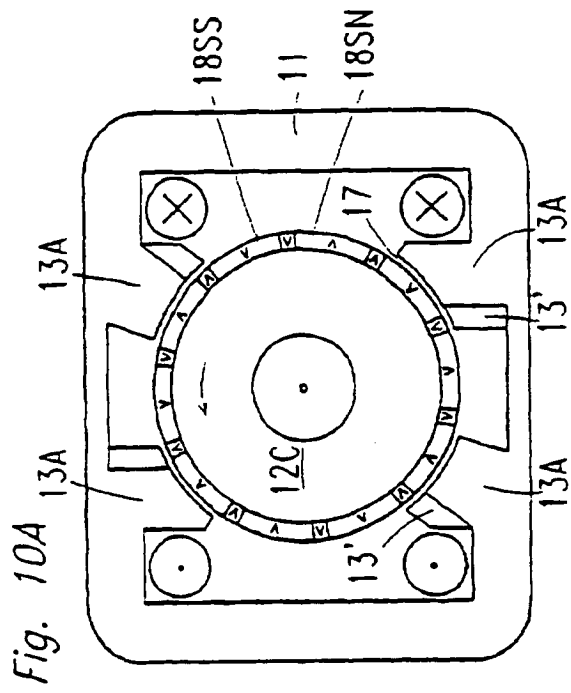
Fig. 2B











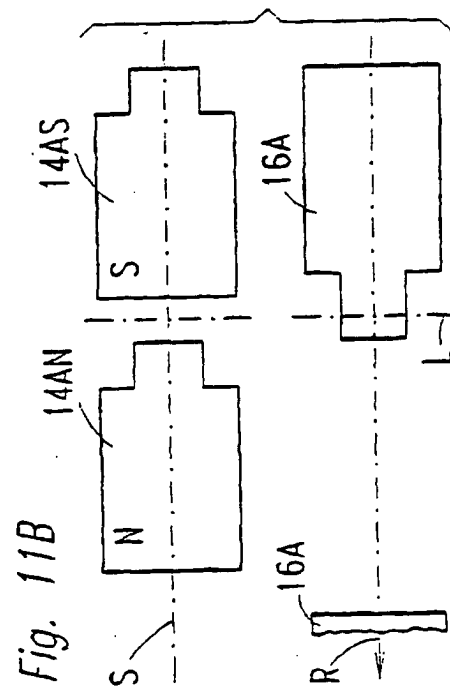
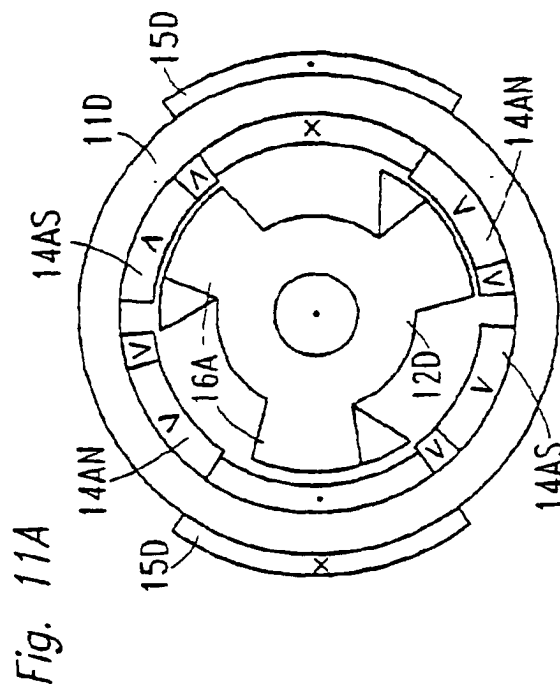
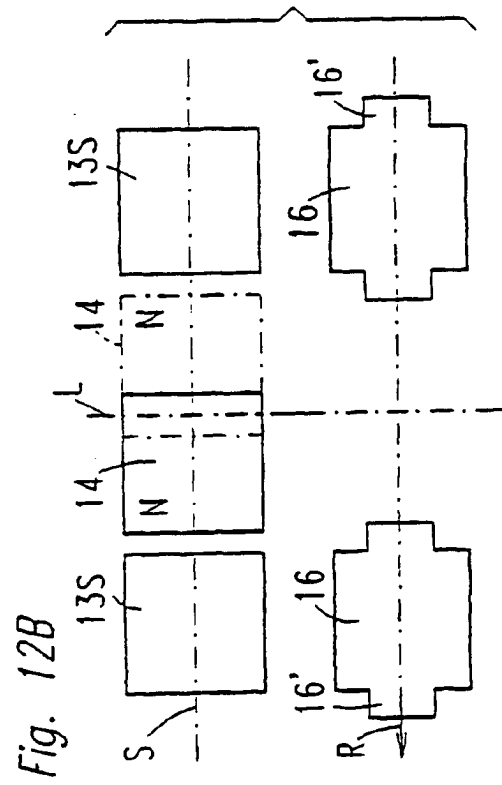
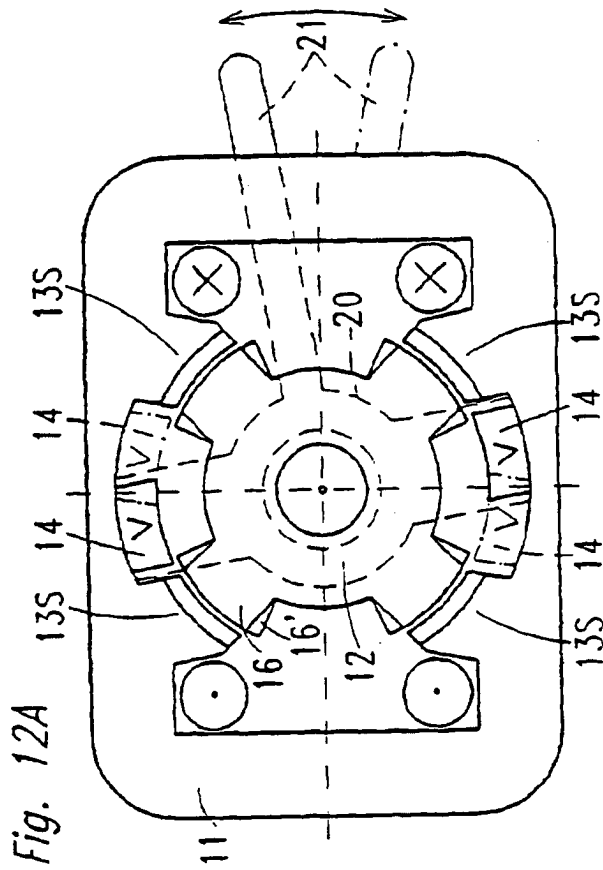


Fig. 13A

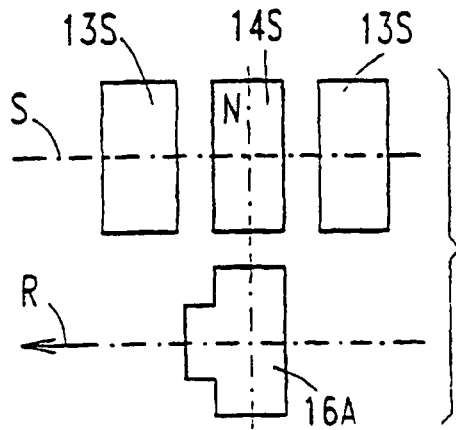


Fig. 13B

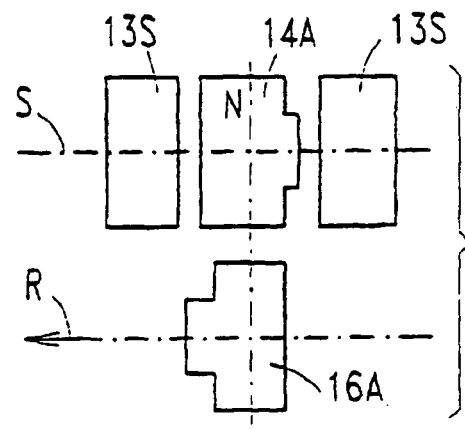


Fig. 13C

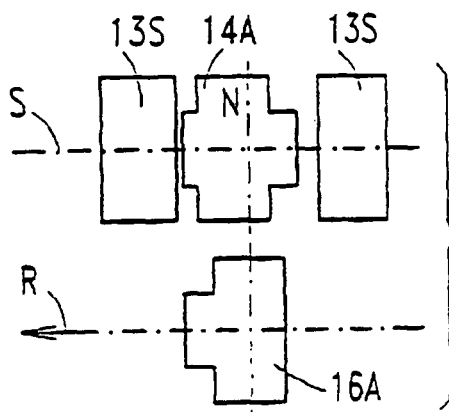


Fig. 13D

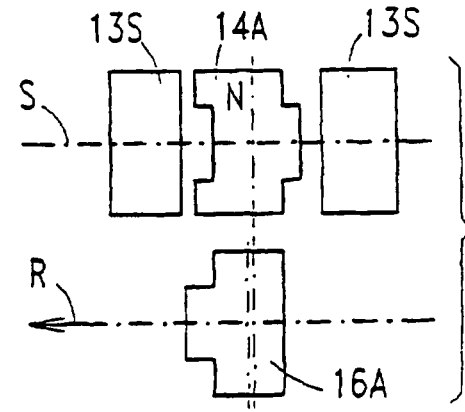


Fig. 14A

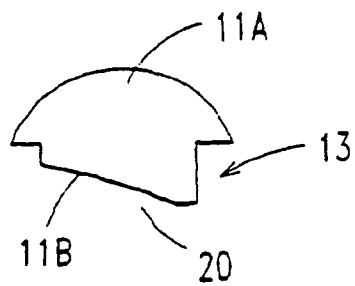


Fig. 14B

