



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 695 32 370 T2 2004.10.21**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 707 374 B1**

(51) Int Cl.⁷: **H02K 21/38**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 32 370.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **95 402 266.1**

(96) Europäischer Anmeldetag: **09.10.1995**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **17.04.1996**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **02.01.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **21.10.2004**

(30) Unionspriorität:

9412063 10.10.1994 FR

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, ES, GB, IT

(73) Patentinhaber:

**Centre National de la Recherche Scientifique
(C.N.R.S.), Paris, FR**

(72) Erfinder:

**Lucidarme, Jean, F-91700 Ste Geneviève des Bois,
FR; Multon, Bernard, F-94230 Fresnes, FR;
Prevond, Laurent, F-93250 Villemomble, FR**

(74) Vertreter:

Buschhoff-Hennicke-Althaus, 50672 Köln

(54) Bezeichnung: **Einphasigen Hybridbetätiger mit Flussschaltung**

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 vorhergehende Erfindung betrifft Einphasige Hybridbetätiger mit Flusskommutierung.

[0002] In zahlreichen Massenartikelbranchen, aber auch für Industrieinsätze besteht ein großer Bedarf an kleinen, robusten und wirtschaftlichen Betätigern, die so wenig Anschlüsse bzw. Bedien- und Versorgungskomponenten wie möglich brauchen. Im Handel gibt es bereits Betätiger, die dieser Anforderung entsprechen. Bekannt sind insbesondere Hybridbetätiger, die mit Permanentmagneten arbeiten und zufrieden stellende Leistungen hinsichtlich des Drehmoments pro Masseinheit aufweisen. Dennoch werden durch die Anforderung einer einfachen Stromversorgung bzw. Anschlusstechnik unweigerlich Betätiger in Einphasenausführung interessant. Doch in diesem Fall stößt man auf die Problematik des Anlaufens der einphasigen Hybridbetätiger. Bei den klassischen Aufbauformen von Hybridbetätiger gibt es nämlich unvermeidlicherweise Winkelstellungen, bei denen das Hybridmoment gleich Null ist, so dass ein Anlaufen nicht möglich ist. Es ist zwar möglich, in die Hybridbetätiger eine Vorrichtung einzubauen, welche den Rotor systematisch in eine Stellung bringt, die in ausgeschaltetem Zustand ein Hybridmoment von ungleich Null bietet, beispielsweise durch Verwendung eines Hilfsmagneten. Diese Lösung hat jedoch den Nachteil, dass es zu einer Unsymmetrie in der Magnetstruktur des Betätigers kommt, was in der Regel höhere Fertigungskosten bedingt.

[0003] Das Dokument EP-A-528750 beschreibt einen Einphasen-Hybridmotor mit variabler Reluktanz, der einen festen Ankerteil umfasst, der magnetische Statorteile besitzt, welche mit Statorpolen oder Statorzähnen versehen sind, und eine oder mehrere Ankerwicklungen, sowie einen mobilen Teil, der so angeordnet ist, dass er den Magnetfluss kommutiert und der mit Kommutierungspolen oder -zähnen versehen ist, und mit Permanentmagnetisiervorrichtungen, wobei die Teile, welche Anker respektive Kommutierung darstellen, geometrische Kenndaten aufweisen, die durch mindestens eine vorbestimmte geometrische Bedingung nachstehenden Typs miteinander verknüpft sind

$$\theta_r \geq \theta_s + \theta_b$$

wobei gilt, θ_r , θ_s und θ_b stellen jeweils die Winkelöffnung eines Kommutierungspols oder -zahns, die Winkelöffnung eines Ankerpols oder Ankerzahns und die Winkelöffnung eines Raums zwischen Ankerpolen oder zwischen Ankerzähnen dar.

[0004] Es handelt sich jedoch nicht um einen Motor mit Flusskommutierung, da bei diesem Motor der vom Permanentmagneten erzeugte Fluss nicht angesteuert wird, wenn sich der Rotor dreht. Ferner hat

der in diesem Motor enthaltene Magnet nur eine Indexierungsfunktion, um den Rotor systematisch in einer Stellung still zu setzen, in der er im ausgeschalteten Zustand ein Hybridmoment von ungleich Null hat, und er hat keine Energieumwandlungsfunktion, wie diejenige, die durch die Permanentmagneten eines Hybridbetätigers mit Flusskommutierung gegeben ist.

[0005] Das Ziel dieser Erfindung ist es, diese Nachteile zu beseitigen, indem einphasige Hybridaktoren mit Flusskommutierung vorgeschlagen werden, die anlaufen können, wenn das statische Widerstandsmoment ausreichend gering ist (kleiner als das Entspannungsmoment), und die sich einfach und wirtschaftlich herstellen lassen.

[0006] Gemäß der Erfindung umfasst der einphasige Hybridbetätiger bzw. -aktor mit Flusskommutierung einen festen Ankerteil, welcher mit Statorpolen oder -zähnen versehene magnetische Statorteile und eine oder mehrere Ankerwicklungen besitzt, sowie einen mobilen Teil, der so angeordnet ist, dass er den Magnetfluss kommutiert und der mit Kommutierungspolen oder -zähnen versehen ist, und mit Permanentmagnetisiervorrichtungen, wobei die Anker- bzw. Kommutierungsteile geometrische Kenndaten aufweisen, die durch mindestens eine vorbestimmte geometrische Bedingung nachstehenden Typs miteinander verknüpft sind

$$\theta_r \geq \theta_s + \theta_b$$

wobei gilt, θ_r , θ_s und θ_b stellen jeweils die Winkelöffnung eines Kommutierungspols oder -zahns, die Winkelöffnung eines Ankerpols oder Ankerzahns und die Winkelöffnung eines Raums zwischen Ankerpolen oder zwischen Ankerzähnen dar, dadurch gekennzeichnet, dass die Permanentmagnetisiervorrichtungen mit dem mobilen Kommutierungsteil zusammenwirken, um einen oder mehrere Magnetflüsse zu erzeugen, die alternativ über die Ankerwicklung(en) durch Fließen im genannten mobilen Kommutierungsteil kommutiert werden, wobei dieser mobile Flusskommutierungsteil mindestens zwei Kommutierungsgruppen besitzt, die mit Kommutierungspolen oder -zähnen versehen und untereinander durch ein ferromagnetisches Teil verbunden sind, und wobei der Teil Ankerpole oder -zähne besitzt, die von der Position her den beiden Zähnen oder Polen der beiden Kommutierungsgruppen entsprechen.

[0007] Deshalb wird mit der Erfindung, durch die Option einer alternativen Veränderung des Magnetflusses der Magnete in den Wicklungen, die Möglichkeit einer sehr einfachen bidirektionalen Einphasen-Versorgung angeboten. Ferner ergibt sich durch die geometrischen Kenndaten der Anker- und Kommutierungsteile die Möglichkeit eines Hybridmoments, das im abgeschalteten Zustand ungleich Null

ist, ohne dass ein Element hinzugefügt werden muss, das eine Unsymmetrie der Magnetstruktur bewirkt.

[0008] Gemäß einer ersten Aufbauform umfasst der Betätiger, was die Permanentmagnetisiervorrichtungen anbelangt, einen oder mehrere Magnete, die axial angeordnet sind und einen globalen magnetischen Fluss erzeugen, der alternativ durch Fließen im Kommutierungsteil kommutiert wird. In diesem Fall kann vorgesehen werden, dass die Axialmagneten am Rotor oder am Stator des genannten Betätigers angeordnet werden und dass der StatorAnkerteil zwei Statorteile umfasst, die mit Statorzähnen oder Statorpolen versehen sind, mit identischem Aufbau und identischen Winkelstellungen, zwischen denen ein oder mehrere axiale Permanentmagnete angeordnet sind, um einen globalen magnetischen Fluss zu erzeugen.

[0009] In einer praktischen Ausführungsform, die dem ersten Bautyp entspricht, umfasst der Kommutierungsteil einen mittleren zylindrischen Teil, der an jedem seiner Enden einen Rotorteil besitzt, der so angeordnet ist, dass er von der Position her dem Statorteil entspricht, wobei jeder Rotorteil so viele Zähne oder Pole besitzt, die gleich der Hälfte der Anzahl von Zähnen oder Polen des entsprechenden Statorteils sind.

[0010] In einer anderen Ausführungsform eines Rotors mit Flusskommutierung für einen Betätiger gemäß der Erfindung umfasst der Kommutierungsteil einen Zylinder aus zuvor maschinell bearbeitetem magnetischem Werkstoff, so dass er außen herum mit einer auf die Zylinderlänge geneigten Krone versehen ist, wobei diese Krone die Flusskommutierung von einem Statorteil zum anderen sicherstellt.

[0011] Wenn ein Betätiger mit sehr geringer Tragheit gewünscht wird, ist es vorteilhaft, einen Betätiger gemäß der Erfindung zu konzipieren, bei dem der StatorAnkerteil zwei konzentrische zylindrische Teile umfasst, respektive einen äußeren und einen inneren Teil, die an jedem ihrer Enden einen ersten und einen zweiten Statorteil besitzen, respektive äußerer und innerer, mit Statorzähnen oder Statorpolen besitzen, wobei ein oder mehrere globale axiale ringförmige äußere bzw. innere Magnete zwischen dem ersten und dem zweiten äußeren Statorteil und zwischen dem ersten und dem zweiten Statorteil angeordnet sind, wobei der Rotor Glockenform hat und einen zylindrischen Rotorteil besitzt, der den Kommutierungsteil darstellt. Dieser zylindrische Teil ist perforiert, so dass er zwei Kommutierungspolgruppen bildet, jeweils gegenüber den Statorzähnen oder Statorpolen des ersten und des zweiten Statorteils, respektive innerer und äußerer Teil, wobei die Anzahl der Zähne oder Pole der Gruppe halb so groß ist wie die Anzahl der Statorzähne oder Statorpole des entsprechenden Statorteils. In dieser Konfiguration ist der zylindrische

Kommutierungsteil perforiert, so dass so viele Kommutierungspolgruppen entstehen wie Statorteile vorhanden sind.

[0012] Für bestimmte spezifische Anwendungen, die einen äußeren Rotor benötigen, liegt der feststehende Ankerteil innen und umfasst mindestens zwei Statorteile, welche mehrere Statorpole oder Statorzähne umfassen und zwischen denen die Permanentmagnetisiervorrichtungen angeordnet sind, die einen axialen Magnetfluss erzeugen, und der mobile Kommutierungsteil besitzt einen äußeren Zylinder, der den Kommutierungsteil umgibt und mehrere Perforationsgruppen besitzt, wobei jede Perforationsgruppe einem Statorteil entspricht und die Anzahl der Perforationen pro Gruppe halb so groß ist wie die Anzahl von Statorzähnen oder Statorpolen eines Statorteils.

[0013] Bei einer zweiten Ausführungsform der Erfindung umfasst ein Betätiger, was die Permanentmagnetisiervorrichtungen anbelangt, alternierend axial angeordnete Magnete, und der Kommutierungsteil umfasst mindestens zwei Statorteile oder Rotorteile, von denen ein jedes halb so viele Statorzähne oder Statorpole besitzt wie alternierende Magnete vorhanden sind.

[0014] In einer ersten Ausführungsform dieses zweiten Bautyps sind die alternierenden Magnete axial auf dem Rotor des oben genannten Betätigers angeordnet, wobei dieser Rotor zwei Polteilengruppen umfasst, die jeweils an den Enden jedes Magnets angeordnet sind und den von diesem Magnet erzeugten Fluss radial richten, wobei jede Gruppe von der Stellung her einem Statorteil entspricht und den Kommutierungsteil bildet und der Ankerteil eine globale Wicklung in Solenoidform besitzt, die zwischen den beiden Statorteilen sitzt.

[0015] In einer zweiten Ausführungsform dieses zweiten Bautyps sind die alternierenden Magnete axial auf dem Stator des oben genannten Betätigers zwischen den beiden Statorteilen, die auch eine globale Wicklung in Solenoidform umgeben, angebracht und der Kommutierungsteil umfasst einen zylindrischen Abschnitt mit zwei Kommutierungsteilen an den Enden, jeweils gegenüber den Statorteilen angeordnet.

[0016] In einer dritten Aufbauform für einen Betätiger gemäß der Erfindung wird ein Betätiger vorgeschlagen, der, was die Permanentmagnetisiervorrichtungen anbelangt, azimuthal angeordnete alternierende Magnete besitzt.

[0017] In einer ersten Ausführungsform umfasst der Ankerteil polare Statorteile, die nacheinander auf dem Umfang angeordnet sind und zwischen denen die azimuthalen alternierenden Magnete angeordnet

sind, und eine globale Wicklung in Solenoidform, und der Kommutierungsteil umfasst einen zylindrischen Abschnitt, der die Wicklung durchquert und an seinen Enden, welche sich auf beiden Seiten der Wicklung befinden, zwei winkelig versetzte Zähnegruppen, so dass, wenn ein Zahn einer Gruppe vor einen polaren Statorteil gelangt, der entsprechende versetzte Zahn der anderen Gruppe vor den nachfolgenden polaren Teil des Stators gelangt. Die Anzahl von Zähnen in jeder Gruppe ist gleich der halben Anzahl von polaren Statorteilen.

[0018] Bei einer Ausführungsvariante sind die azimuthalen Magnete am Rotor des oben genannten Betätigers angeordnet, der den Kommutierungsteil bildet, welcher ferner polare Teile umfasst, die zwischen jedem alternierenden Magneten angeordnet sind und von der Anzahl her doppelt so viele sind wie die Anzahl von Polen oder Zähnen jedes Statorteils.

[0019] In einer zweiten Ausführungsform dieses dritten Typs umfasst der Ankerteil mehrere u-förmige lokale Magnetkreise, wobei jedem von diesen eine lokale Ankerwicklung zugeordnet ist und zwischen diesen alternierende azimuthale Magnete angeordnet sind.

[0020] In einer anderen Ausführungsform sind die azimuthalen Magnete am Rotor des oben genannten Betätigers angeordnet, der den Kommutierungsteil darstellt, welcher ferner polare Teile umfasst, die zwischen jedem alternierenden Magneten angeordnet sind und von der Anzahl her genauso viele sind wie die Anzahl der Pole oder Zähne jedes Statorteils.

[0021] In einer vierten Aufbauform des Betätigers gemäß der Erfindung sind die Magnete radial sowohl am Stator als auch am Rotor angeordnet.

[0022] In einer ersten Version dieses vierten Aufbaus sind die Magnete radial am Stator angeordnet und die Ankerwicklung ist in Solenoidform ausgebildet. Eine Variante dieser vierten Struktur besteht darin, die Permanentmagnete am Rotor zu platzieren.

[0023] Ein Betätiger gemäß der Erfindung ist in der Praxis mit Versorgungs- und Befehlsmitteln versehen, die so angeordnet sind, dass ein eigengesteuerter Funktionsmodus möglich ist. Diese Versorgungs- und Befehlsmittel sind so angeordnet, dass ein Schritt-Funktionsmodus möglich ist. Es kann auch vorgesehen werden, dass diese Versorgungs- und Befehlsmittel so angeordnet sind, dass sie einen Synchron-Funktionsmodus ermöglichen. Es kann auch von Vorteil sein, die Versorgungs- und Befehlsmittel so anzuordnen, dass ein beschränkter Ausschlagmodus möglich ist.

[0024] Die Betätiger gemäß der Erfindung, die drehend oder glatt sein können, sind somit durch nach-

stehende drei Elemente gekennzeichnet:

- der von mindestens einem Permanentmagneten über eine Ankerwicklung erzeugte Induktionsfluss variiert auf alternative Weise, d. h. mit jeder Vorzeichenänderung, was diese Betätiger von Maschinen unterscheidet, bei denen der Magnet nur eine Polarisierungsaufgabe spielt, wie beispielsweise erregte Reluktanzmaschinen. Diese Variation wird durch Abänderung des Verlaufs der Induktionsfeldlinien während der relativen Bewegung der feststehenden und der mobilen Teile des Betätigers erreicht;
- in abgeschaltetem Zustand, d. h. der Stellung, in der der von dem bzw. den Induktionsmagneten gelieferte Fluss am größten ist und die bei einer Entspannungskraft Null stabil ist, befinden sich die feststehenden und die mobilen Teile des Betätigers in einer privilegierten Stellung, in der das durch die Interaktion des induzierten Felds und des Induktionsfeldes erzeugte Hybridmotormoment ungleich Null und sogar nahe seinem Maximum ist.

[0025] Diese privilegierte Stellung ergibt sich durch eine einfache geometrische Bedingung, welche die charakteristischen Abmessungen der repetitiven Teile (oder Motive) der feststehenden und mobilen Teile betrifft und nicht mit mehr oder weniger komplizierten früheren Anlauftechniken gleichgesetzt werden kann, bei denen unsymmetrische Pole oder sogar zusätzliche Windungen oder Magnete vorgesehen wurden, um eine Unsymmetrie in der Maschine zu bilden, was der Schaffung von zusätzlichen Polen oder Phasen gleichkommt;

- bei den Ankerwicklungen handelt es sich um zusammengesetzte Wicklungen einfacher Fertigung, die einen hohen Füllgrad ermöglichen. Man kann deshalb entweder einfache Solenoide vorsehen, die von einem axialen Fluss durchströmt werden, aber auch ausreichend breite Kerböffnungen (ohne Engstelle). Um die geometrische Anlaufbedingung gemäß der Erfindung zu erfüllen, müssen diese Öffnungen zudem relativ breit ausgeführt werden.

[0026] Auf diese Weise lassen sich einphasige Hybridbetätiger in einfacher baulicher Ausführung realisieren, mit auf ein Minimum reduzierten Anschlüssen (zwei Adern), die nur eine vereinfachte Versorgung benötigen.

[0027] Die Betätiger gemäß der Erfindung können gemäß den vier nachstehend erläuterten Modalitäten versorgt werden:

- im Eigensteuermodus: die Kommutierung des Stroms erfolgt synchron zur Position mit Hilfe von elektronischen Mitteln (Einphasen-Wechselrichter) oder mechanischen Mitteln (Kollektor) oder in Hybridform (d. h. eine Kombination der beiden vorgenannten Mittel);

- im Schrittmodus;
- im Modus synchron zur Frequenz des Werksversorgungsnetzes; in diesem Fall ist das Anlaufen nur unter bestimmten Bedingungen hinsichtlich des Trägheitsmoments und der mechanischen Lastdämpfung möglich; dabei ist die Drehrichtung von vornherein nicht festgelegt;
- im Modus mit begrenztem Ausschlag: Die Wicklung kann von einem Gleichstrom versorgt werden, um eine Kraft zu erzeugen, wobei die Ausschläge auf eine elektrische Halbperiode begrenzt sind (maximal eine halbe Drehung).

[0028] Weitere Besonderheiten und Vorteile der Erfindung gehen aus der nachfolgenden Beschreibung hervor. Für die Zeichnungen, welche als Beispiel gegeben und nicht beschränkend sind, gilt:

[0029] die **Fig. 1** zeigt ein Ausführungsbeispiel für einen ersten Aufbau eines Betätigers gemäß der Erfindung mit einem ringförmigen axialen Magneten in bipolarer Konfiguration;

[0030] die **Fig. 2** stellt eine erste Ausführungsform eines bipolaren Rotors für den Betätiger der **Fig. 1** dar;

[0031] die **Fig. 3** stellt eine zweite Ausführungsform eines Rotors dar, der eine kontinuierliche Flussänderung produziert und für eine hohe Drehgeschwindigkeit ausgelegt ist;

[0032] die **Fig. 4** stellt einen Betätiger gemäß der Erfindung dar, der durch Montage von mindestens zwei Maschinen gemäß **Fig. 3** in Reihe realisiert ist;

[0033] die **Fig. 5** zeigt ein Ausführungsbeispiel für einen Betätiger mit axialen Magneten gemäß der Erfindung in vierpoliger Konfiguration;

[0034] die **Fig. 6** stellt ein aerodynamisches Füllstück dar, mit dem ein bipolarer Rotor in einem Betätiger gemäß der Erfindung versehen wird;

[0035] die **Fig. 7** zeigt mehrere charakteristische Stellungen des Rotors eines Betätigers gemäß der Erfindung;

[0036] die **Fig. 8** stellt einen Betätiger mit axialen Magneten gemäß der Erfindung in achtpoliger Konfiguration dar;

[0037] die **Fig. 9** ist eine Teilansicht eines Betätigers gemäß der Erfindung, mit einem Aufbau des Typs Motor-Glocke;

[0038] die **Fig. 10** zeigt einen umgekehrten Aufbau mit äußerem Rotor, bezeichnet als Glockenaufbau, für einen Betätiger gemäß der Erfindung;

[0039] die **Fig. 11** stellt in abgewickelter Form eine erste charakteristische relative Stellung eines Ankerteils und eines Kommutierungsteils gemäß der Erfindung dar;

[0040] die **Fig. 12** stellt in abgewickelter Form eine zweite charakteristische relative Stellung eines Ankerteils und eines Kommutierungsteils gemäß der Erfindung dar;

[0041] die **Fig. 13** stellt in abgewickelter Form diese zweite relative Stellung für einen Betätiger mit mehreren axial nebeneinander liegenden (in Reihe geschalteten) Kommutierungsgruppen dar;

[0042] die **Fig. 14A** zeigt einen zweiten Betätigeraufbau gemäß der Erfindung, mit alternierenden axialen Magneten, in einer ersten Version, bei der die Magnete am Rotor angeordnet sind;

[0043] die **Fig. 14B** zeigt eine zweite Version dieses zweiten Betätigeraufbaus, bei der die Magnete am Stator angeordnet sind;

[0044] die **Fig. 15** zeigt einen dritten Betätigeraufbau gemäß der Erfindung, mit azimuthalen Magneten, in einer ersten Version, bei der die Wicklung Solenoidform hat und die Magnete am Stator angebracht sind;

[0045] die **Fig. 16** zeigt eine Variante der **Fig. 15**, jedoch mit am Rotor angebrachten Magneten;

[0046] die **Fig. 17** zeigt eine zweite Version des Aufbaus mit azimuthalen Magneten, bei der die Magnete am Stator angebracht sind und der Statormagnetkreis mehrere Kreise mit lokalen Flüssen und lokale Wicklungen besitzt;

[0047] die **Fig. 18** stellt eine Variante der **Fig. 17** dar, bei der die Magnete am Rotor platziert sind;

[0048] die **Fig. 19** stellt einen vierten Betätigeraufbau gemäß der Erfindung dar, bei dem die radialen Magnete am Stator angebracht sind; und

[0049] die **Fig. 20** stellt eine Variante dieses vierten Aufbaus dar, mit am Rotor angebrachten axialen Magneten.

[0050] Nachstehend sind mehrere mögliche Aufbauformen für Betätiger gemäß der Erfindung beschrieben, die sich im Wesentlichen durch die Topologie der induzierenden Magnete unterscheiden. Die nachstehend beschriebenen Aufbauformen sind drehend; es können jedoch ganz einfach, auf identischen Prinzipien beruhend, auch lineare Aufbauformen konzipiert werden, was gemäß klassischen Transpositionstechniken erfolgt.

[0051] Ganz allgemein wird der induzierte Teil als derjenige Teil definiert, auf dem die Wicklung sitzt (eventuell Stator), und der Flusskommutierungsteil als der andere Teil (eventuell Rotor). Die Magnete können in einen Teil oder im anderen Teil oder in beiden Teilen gleichzeitig angeordnet sein.

[0052] Zunächst werden Betätiger gemäß der Erfindung mit globalen axialen Magneten beschrieben, die in den **Fig. 1** bis 13 abgebildet sind. In einer in **Fig. 1** dargestellten ersten Ausführungsform umfasst ein bipolarer Betätiger **10** einen Stator mit einem Ankerenteil, der aus zwei magnetischen Statorkreisen **15**, **16** besteht, zwischen denen ein Ringmagnet **14** platziert ist, und mit einer Einphasenwicklung **12** und einem massiven ferromagnetischen Rotor **13** mit einem zylindrischen mittleren Teil **19** und an jedem seiner axialen Enden einem polaren Teil **17**, **18**. Axial gesehen liegen sich die polaren Teile **17**, **18** diametral gegenüber. Jeder Statormagnetkreis **15** besitzt vier Statorpole **15a-d**, die um die Achse herum verteilt sind. Jeder Pol des Teils **15** ist axial mit einem Pol des Teils **16** ausgerichtet.

[0053] Der Aufbau dieses Betätigers ist insbesondere durch nachstehende Winkelparameter gekennzeichnet:

θ_r : Winkelöffnung eines Rotorpols oder Rotorzahns,
 θ_s : Winkelöffnung eines Statorpols oder Rotorzahns,
 θ_b : Winkelöffnung eines Raums zwischen Statorpolen.

[0054] Es ist erwiesen und wurde experimentell an Prototypen gezeigt, dass ein Moment von ungleich Null im abgeschalteten Zustand dann erreicht werden kann, wenn die vorgenannten Winkelparameter im Wesentlichen nachstehende Gleichung erfüllen:

$$\theta_r - \theta_b \geq \theta_s \rightarrow \theta_r \geq \theta_s + \theta_b \quad (1)$$

Ferner muss auch nachstehende Gleichung erfüllt werden:

$$\theta_r < \theta_s + 2\theta_b$$

denn die Zähne, die den Kerben gegenüber liegen, dürfen die Magnete nicht kurzschließen. Die Magnete können am Rotor, am Stator oder an beiden platziert werden.

[0055] Dieser Aufbau weist die drei wesentlichen Kenndaten der Erfindung auf:

- der vom Magnet produzierte Fluss variiert alternativ über die Ankerwicklungen;
- die Erfüllung der geometrischen Bedingung $\theta_r \geq \theta_s + \theta_b$ ermöglicht im abgeschalteten Zustand ein Moment ungleich Null;
- die großen Kerböffnungen (keine Engstelle an der Kerbung oder polare Ausbauchung), die im Prinzip bei diesem Aufbau typ realisiert werden,

ermöglichen die Verwendung von zusammengesetzten Wicklungen.

[0056] Bei diesem Aufbau nimmt der Rotor im abgeschalteten Zustand automatisch eine der Stellungen ein wie diejenige, die in **Fig. 1** (rechte Ansicht) dargestellt ist, d. h. dabei liegt jeder Rotorpol über einer Statorkerbe, denn auf diese Weise ist, angesichts der Gleichung (1), die Fläche des Rotorpols, die von den Statorzähnen bedeckt ist, größer als wenn sich der Rotorpol mittig an einem Statorzahn befinden würde.

[0057] Für den Sonderfall des soeben beschriebenen bipolaren Aufbaus können folgende Kenndaten angegeben werden:

- Möglichkeit eines auf etwa eine halbe Umdrehung begrenzten Ausschlages;
- schnelle Maschine.

[0058] Mehrere Rotoraufbauten können für den in **Fig. 1** dargestellten Betätiger in Frage kommen. Deshalb kann unter Bezugnahme auf **Fig. 2** ein Rotor **20** vorgesehen werden, der einen aktiven magnetischen Teil **22** besitzt, der auf eine vorzugsweise nicht magnetische Welle **21** aufgesteckt ist, wobei der aktive magnetische Teil an seinen Enden diametral gegenüberliegende Pole **23**, **24** besitzt.

[0059] Es ist auch ein Rotor **30** denkbar, der eine progressive Variation des kommutierten Flusses ermöglicht, was in **Fig. 3** dargestellt ist.

[0060] In diesem Fall ist die geometrische Bedingung $\theta_r \geq \theta_s + \theta_b$ noch gültig und kann durch Anpassung der axialen Stärken realisiert werden.

[0061] Die soeben beschriebene Aufbauform mit axialem Magneten kann auch verallgemeinert werden. Deshalb ist auch eine Schaltung von mehreren Betätigern in Reihe denkbar. Die Magnete können am Rotor oder am Stator angeordnet sein. Der Aufbau kann n-polig sein.

[0062] Durch Extrapolieren eines solchen Rotoraufbaus kann ein Betätiger **40** konzipiert werden, der irgendwie aus einer Kaskade von elementaren Betätigern gemäß der Erfindung besteht, was in **Fig. 4** dargestellt ist. Der Stator dieses Betätigers umfasst beispielsweise zwei Halbschalen **460**, **461**, in deren Innerem eine Reihe von Statorplatten **450**, **451**, **452**, **453**, **454** und von Ringmagneten **430**, **431**, **432**, **433** gestapelt sind. Jede Statorplatte **450**, die geblecht sein kann, besitzt zum Beispiel vier Pole **450a**, **450b**, **450c**, **450d**. Der Rotor **42** dieses Betätigers **40** hat einen periodischen Aufbau, der dem in **Fig. 3** abgebildeten Aufbau ähnelt, und ist auf eine vorzugsweise nicht magnetische Welle **41** montiert. Mehrere Wicklungen wie **46**, die in Reihe geschaltet und in Kerben platziert sind, produzieren das induzierte Feld.

[0063] Im Rahmen dieses ersten Aufbautyps für einen Betätiger mit globaler Magnetisierung, kann auch ein vierpoliger Betätiger **50** realisiert werden, der in **Fig. 5** dargestellt ist. Der vierpolige Aufbau hat den Vorteil, dass er einen guten Kompromiss zwischen dem gelieferten Moment und den Versorgungsfrequenzen darstellt. Der Stator dieses Betätigers besteht aus zwei ferromagnetischen Platten **55**, **51**, die geblecht sein können und durch einen oder mehrere Magnete **56**, die einen axialen magnetischen Fluss erzeugen, getrennt sind. Jede magnetische Platte **51** ist so zugeschnitten, dass sie vier Statorpole **511**, **512**, **513**, **514** besitzt. Die Wicklungen **52** (es ist nur eine einzige dargestellt) sind um die Statorzähne oder Statorpole **511**, **512**, **513**, **514** herum angeordnet.

[0064] Der Rotor **53** hat die Form eines hohlen Zylinders, der an jedem Ende zwei diametral gegenüberliegende Pole **531**, **532**; **533**, **534** besitzt. Die beiden diametral gegenüberliegenden Polpaare sind um 90 Grad versetzt. Bei Anwendungen mit großer Umlaufgeschwindigkeit ist es vorzuziehen, den Rotor mit einem Teil **60** zu versehen, um die hohlen Räume des Rotors aufzufüllen, wodurch die aerodynamischen Kenndaten des Rotors wesentlich verbessert werden. Dieser in **Fig. 6** dargestellte Teil kann aus einem hohlen Zylinder realisiert werden, der so maschinell bearbeitet wird, dass er die komplementären Teile **61**, **62**, **63** der Pole des Rotors besitzt.

[0065] Eine Variante gegenüber dem in den **Fig. 5** und **6** dargestellten Beispiel könnte darin bestehen, dass der Magnet am Rotor zwischen zwei Platten platziert wird, welche die beiden Rotorpolgruppen darstellen. Ferner ist es möglich, solch einen Rotor in Kombination mit einem Stator zu konzipieren, wie das in **Fig. 5** dargestellt ist, wobei die beiden Magneten in diesem Fall in entgegengesetzter Richtung magnetisiert werden.

[0066] In der **Fig. 7** sind die drei charakteristischen Stellungen **71**, **72**, **73** des Rotors **53** gegenüber dem Stator **51** des Betätigers **50** dargestellt. Diese drei charakteristischen Stellungen sind Gleichgewichtspositionen unter der Einwirkung des Induktionsfeldes der Magnete bei nicht versorgtem Betätiger. Die beiden ersten Stellungen **71**, **72** sind Stellungen, in denen der von den Magneten, welche durch die induzierten Wicklungen verlaufen, erzeugte Fluss seinen größten Wert hat. Dieser Fluss wird zwischen diesen Stellungen umgekehrt und erzeugt auf diese Weise an den Klemmen der Wicklungen eine Wechselspannung, wenn sich der Motor dreht. Deshalb braucht, damit es zu einem Funktionieren des Motors kommt, nur ein induzierter Strom synchron mit der erzeugten elektromotorischen Kraft eingeleitet zu werden. Die dritte Stellung **73** ist eine Position, in der der Induktionsfluss einen Beitrag gleich Null über die Wicklungen liefert. Dieser Induktionsfluss stoppt nämlich wie-

der und er kann groß sein und sogar größer als die Flüsse an den vorgenannten Positionen **71**, **72**. Wenn der Induktionsfluss größer ist als der Fluss an den beiden anderen Gleichgewichtsstellungen, begibt sich der Rotor in die dritte Stellung. Und in dieser Stellung ist das Motorhybridmoment am größten und die Maschine kann mit einer Richtung, die durch die Polarität des induzierten Stroms im Vorhinein festgelegt ist, anlaufen.

[0067] Der Aufbau eines Betätigers mit globalen axialen Magneten kann auch für einen n-poligen Betätiger, beispielsweise einen achtpoligen Betätiger (**Fig. 8**), zum Einsatz kommen. In diesem Fall besitzt jede Endstatorplatte **81** acht Zähne oder Pole **811–818** und der Rotor **83** besitzt an jedem Ende vier Zähne oder Pole **831–834**. Die Statorplatten und der Rotor sind so konzipiert, dass ihre charakteristischen Winkelparameter die geometrische Gleichung $\theta_r \geq \theta_s + \theta_p$ erfüllen.

[0068] Im Rahmen dieser Erfindung ist auch ein glockenförmiger Rotoraufbau realisierbar, der in der **Fig. 9** dargestellt ist. In diesem Fall besitzt der Stator des Betätigers **90** zwei konzentrische zylindrische Teile **391**, **392**, von denen jeder Endstatorpolkronen **93**, **94**; **95**, **96** besitzt, zwischen die ein Ringmagnet **91**, **92** und eine Wicklung mit Solenoidform **B1**, **B2** platziert sind. Die beiden Wicklungen **B1**, **B2** sind konzentrisch und beiderseits des Rotors **97** zwischen den beiden Ringmagneten **91**, **92** angeordnet. Der Rotor **97** in Glockenform umfasst einen zylindrischen Rotorteil, der sich in einem Luftspaltraum zwischen den beiden Statorteilen bewegen kann und mit Bohrungen **99a**, **99b** versehen ist, welche mit geeigneter Form ausgebildet und auf geeignete Weise angeordnet sind, um den Teil zum Kommutieren des magnetischen Flusses zu bilden, der mit den Endstatorpolkronen **93**, **96** zusammenwirkt. Ein perforierter Glockenrotor ermöglicht es, hohe Beschleunigungswerte zusammen mit einem großen Moment und einer geringen Trägheit zu erzielen.

[0069] Bestimmte Anwendungen können einen Betätiger mit umgekehrtem Aufbau benötigen, der einen äußeren Rotor und einen inneren Stator besitzt. Die vorliegende Erfindung erstreckt sich auf diesen Typ mit umgekehrtem Aufbau, der in **Fig. 10** dargestellt ist, welche einen Schnitt durch einen Endstatorteil zeigt, in dem die Magnete nicht zu sehen sind. Der Betätiger **100** umfasst an jedem Ende einen inneren Statorankerteil **103** und einen äußeren Rotorkommutierungsteil **101**. Als Beispiel umfasst der Ankerteil **103** sechs Zähne oder Pole **103a–f** und der Kommutierungsteil **101** ist in Form eines Zylinders aus ferromagnetischem Werkstoff realisiert, der von drei Perforationen (Bohrungen) **101a–c** durchdrungen ist, welche eine geeignete Form haben, um irgendwie Rotorpole **102a–c** zu bilden. Der Ankerteil **103** besitzt Wicklungen **107a–f**, die respektive um die Zähne

103a–f herum angeordnet sind.

[0070] Wenn man einen Betätiger gemäß der Erfindung, der den in **Fig. 10** dargestellten umgekehrten Aufbau aufweist, betrachtet, ist die Funktionsweise dieses Betätigers besser verständlich, wenn man sich die **Fig. 11** und **12** ansieht, die in einer abgewinkelten Ebene die Zylinder darstellen, respektive Rotorzylinder **110** und Statorzylinder **118**, zwei charakteristische relative Stellungen der Ankerzähne und Perforationen, für eine Annahme, bei der die geometrische Bedingung für die Winkel, d. h. $\theta_r \geq \theta_s + \theta_b$, erfüllt ist. In der ersten Stellung (**Fig. 11**) entsprechen die Zähne **117**, **113**, **114**, **115**, **116** des Kommutierungsteils **110** von der Position her teilweise den beiden daneben liegenden Statorzähnen **111a**, **111b**; **111c**, **111d**; **112b**, **112c**, und der von den (nicht dargestellten) Magneten erzeugte Fluss hat dabei den größten Wert und es ist eine Gleichgewichtsstellung im abgeschalteten Zustand gegeben. Wenn man Strom in die Wicklungen einleitet, ist das Hybridmoment ungleich Null und erlaubt damit das Anlaufen des Betätigers.

[0071] In der in **Fig. 12** dargestellten Winkelposition bedeckt jeder Zahn **113**, **114**, **115** des äußeren Kommutierungsteils **110** räumlich einen Statorzahn **111b**, **112c**, **111d**. Und dennoch ist die Flusstransferfläche in dieser Stellung geringer als diejenige, die sich bei der in **Fig. 11** dargestellten Winkelposition ergibt. Das Gleiche gilt für den von den Magneten erzeugten Fluss.

[0072] Wenn man nun einen Betätiger gemäß der Erfindung betrachtet, der aus einer Gruppe von elementaren Betätigermodulen besteht, ist ein Rotor mit sehr einfacher Konzeption denkbar, der von einem hohlen Zylinder ausgehend realisiert wird, der eine Gruppe von sorgfältig angeordneten Perforationen besitzt, wie das auf abgewinkelte Weise in **Fig. 13** dargestellt ist. Der aus einem einfachen perforierten Zylinder bestehende Rotorkommutierungsteil **130** bewegt sich gegenüber mehreren Reihen **131**, **132**, **133**, **134** von Statorzähnen **131a–e** und gewährleistet über gleichwertige Zähne **132**, **133** die Kommutierung der Magnetflüsse, die von den (nicht dargestellten), zwischen jeder Reihe von Statorzähnen angeordneten Magneten erzeugt werden.

[0073] Nun sei ein zweiter Aufbau typ für einen Betätiger gemäß der Erfindung beschrieben, der in den **Fig. 14A** und **14B** dargestellt ist. In diesem Aufbau sind die Magnete axial und alternierend.

[0074] In einer ersten, in **Fig. 14A** dargestellten Version sind die Magnete am Rotor eines Betätigers **140** platziert, dessen Stator **149** zwei Statorkronen **143**, **144**, zwischen denen eine globale Wicklung **141** platziert ist, und ein externes Joch **142** besitzt. Der Rotor **148** besitzt auf seinem Umfang zwei Endrotorkronen

145, **146**, die von der Position her den beiden Statorkronen **144**, **143** entsprechen und zwischen denen axiale alternierende Permanentmagnete **147a**, **147b**, **147c** angeordnet sind, welche durch nicht magnetische Teile **148a**, **148b**, **148c** getrennt werden können. Eine jede Statorkrone **144**, **143** besitzt Zähne oder Pole **143a**, **143b**, die von der Anzahl her gleich der Hälfte der Anzahl von alternierenden Magneten entsprechen. Die jeweiligen Zahnprofile der beiden Statorkronen sind um einen elektrischen Winkel von 90 Grad versetzt.

[0075] In einer zweiten Version, die in **Fig. 14B** dargestellt ist, sind die alternierenden Magnete am Stator angeordnet. Ein Betätiger **190** gemäß der Erfindung umfasst einen StatorAnker teil **198** mit zwei Statorkronen **191**, **192**, zwischen die zum Einen eine Krone **193** mit axialen alternierenden Magneten **193a**, **193b** und zum Anderen eine globale Wicklung **194** gesetzt sind. Jedem alternierenden Magneten ist ein Statorpol jeder Statorkrone zugeordnet. Der Rotorkommutierungsteil **195** umfasst einen hohlen zylindrischen Teil **199** und an jedem Ende eine Rotorkrone **195**, **196**, die jeweils einer Statorkrone **192**, **191** entspricht. Jede Rotorkrone umfasst Rotorzähne oder Rotorpole **196a**, **196b**, die von der Anzahl her halb so viele sind wie die alternierenden Magneten. Wie für alle Betätigeraufbauformen gemäß der Erfindung müssen die charakteristischen Winkelparameter die geometrische Bedingung $\theta_r \geq \theta_s + \theta_b$ erfüllen.

[0076] Man kann diesen Aufbautyp mit alternierenden axialen Magneten auch verallgemeinern und beispielsweise einen Reihenaufbau, Magnete gleich ob am Rotor bzw. am Stator oder auch n-polige Aufbauformen vorsehen. Zudem können, da die Wicklung ein einfacher Solenoid ist, sehr flache Maschinen realisiert werden, vor allem weil keine Wicklungsköpfe vorhanden sind. Dieser Aufbautyp eignet sich, da nur eine solenoidförmige Wicklung verwendet wird, gut für eine Miniaturisierung.

[0077] Bei einer dritten Aufbauform des Betätigers gemäß der Erfindung, welche in den **Fig. 15** bis **18** dargestellt ist, sind die Magneten azimuthal sowohl am Stator als auch Rotor angeordnet.

[0078] Bei einer ersten Version dieses dritten Aufbaus, der in **Fig. 15** dargestellt ist, sind die Magneten am Stator angeordnet und die Ankerwicklung hat Solenoidform. Deshalb umfasst ein Betätiger **150** (**Fig. 15 a**) b)) einen flussleitenden Rotorkommutierungsteil **159**, welcher einen zylindrischen Teil **159a** umfasst, der an jedem Ende an eine Rotorkrone **155**, **156** angeschlossen ist, von denen jede eine Gruppe von Rotorzähnen **156a**, **156b** besitzt. Der Stator des Betätigers **150** umfasst, entlang des Umfangs, polare Statorteile **157a**, **157b**, welche mit alternierenden Magneten **158a**, **158b**, **158c** abwechseln, die azimuthal angeordnet und durch die polaren Teile **157a**,

157b getrennt sind, welche die Aufgabe haben, die von den Magneten erzeugten Flüsse zu sammeln und sie in den Luftspalt einzuleiten. Die beiden Rotorzahngruppen sind gegeneinander so versetzt, dass, wenn ein Zahn **156a** einer Gruppe **156** vor einen polaren Statorteil **157a** kommt, sich der entsprechende versetzte Zahn der anderen Gruppe **155** vor den nachfolgenden polaren Teil **157b** des Stators platziert. Die Anzahl der Zähne jeder Gruppe ist halb so groß wie die Anzahl der polaren Statorzähne.

[0079] Jeder Magnet hat eine Magnetisierungsrichtung, die entgegen der Richtung der beiden benachbarten Magnete verläuft. Die Zähne **156a**, **156b** jeder Rotorkrone **155** oder **156** sind von der Anzahl her halb so viele wie die polaren Rotorteile **157a**, **157b**. Die Rotorzähne **155** haben gegenüber den Rotorzähnen **156** der anderen Krone einen Winkelversatz, der gleich dem Winkelschritt zwischen den polaren Statorteilen **157a**, **157b** ... ist. Der Stator umfasst ferner eine globale Wicklung mit Solenoidform **154**, die radial im Inneren der polaren Teile **157a**, **157b**, ... und der Magnete **158a**, **158b**, ... und um den Zylinder **159a** herum, axial zwischen den beiden Rotorkronen **155**, **156** montiert ist.

[0080] Zwei Winkelstellungen sind in c) und d) dargestellt. In einer ersten Position c) befindet sich ein Rotorzahn **156a** gegenüber einem polaren Statorteil **157b**. Aufgrund der geometrischen Bedingungen gemäß der Erfindung ist diese Winkelstellung instabil. In einer zweiten Position d) wird der Rotorzahn **156a** gegenüber einem azimuthalen Magneten **158c** und teilweise gegenüber Polteilen **157b**, **157c**, welche diesen Magneten umgeben, platziert.

[0081] Diese Stellung, durch die der Magnet **158c** kurzgeschlossen wird, ist bei nicht versorgter Wicklung stabil. Diese Stellung stellt die Anlaufstellung dar. Die polare Seite jedes Rotorzahns hat einen Winkelbereich, der größer oder gleich der Summe der Winkelbereiche eines polaren Statorteils und eines Magneten und kleiner als die Summe der Winkelbereiche eines Magneten und von zwei Polteilen ist.

[0082] Das Beispiel in **Fig. 16** entspricht einer Umkehrung gegenüber dem in **Fig. 15** dargestellten Beispiel. Der Flusskommutator **259** befindet sich am Stator, radial außen, und seine Zähne **255**, **256** sind radial nach innen gerichtet. Die Reihe von azimuthalen Magneten **258**, welche durch polare Teile **257** getrennt sind, befindet sich am Rotor, radial im Inneren. Die globale Wicklung **254** ist immer ein Stator; sie wird jetzt radial im Inneren des Zylinders **259a** des Flusskommutators **259** gehalten und umgibt die polaren Teile und Magneten des Stators.

[0083] Bei einer zweiten Version des Aufbaus mit azimuthalen Magneten, die in **Fig. 17** dargestellt ist, befinden sich die Magneten **163a**, **163b** am Stator

162 eines Betätigers **160** und der Statormagnetkreis besteht aus mehreren lokalen Magnetkreisen **162a**, **162b** mit einem u-förmigen Profil, das sich zur Achse hin öffnet. Der Rotor **161** umfasst Rotorzähne **161a**, **161b** welche sich über die gesamte axiale Länge erstrecken. Zwischen jedem u-förmigen Kreis **162a**, **162b** sind alternierende azimuthale Magneten angeordnet. Verteilte Wicklungen **164**, **165** umgeben jeden Magneten **163a**, **163b** und die Arme der u-förmigen Kreise, die an diesen Magneten angrenzen und Statorpole bilden. Die Winkelöffnung jedes Rotorzahns muss größer sein als die Summe der Winkelöffnung eines Statorpols (ein Arm eines u-förmigen Kreises) und eines azimuthalen Magneten. In einer ersten Stellung a) befindet sich jeder Rotorzahn gegenüber einem azimuthalen Magneten, und zwei Statorpole umgeben diesen Magneten. Wenn die Wicklungen nicht versorgt werden, ist diese Stellung eine stabile Gleichgewichtsstellung und stellt die Anlaufposition dar. In einer zweiten Stellung b) befindet sich jeder Rotorzahn **161a**, **161b** gegenüber einem Arm des u-förmigen Kreises **162a**, **162b**. Wenn die Wicklungen nicht versorgt werden, ist diese zweite Stellung eine instabile Gleichgewichtsstellung.

[0084] In einer Variante der vorhergehenden Version, die in **Fig. 18** dargestellt ist, sind die azimuthalen Magnete **183a–c** am Rotor **181** angeordnet und die Wicklungen **184b**, **184c** sind lokal. Der Rotor **181** dieser Form eines Betätigers **180** umfasst dabei eine Gruppe von alternierenden azimuthalen Magneten **183a**, **183b**, **183c**, die durch polare Rotorteile **181a**, **181b**, **181c** in Form axialer Stäbe getrennt sind. Der Kommutierungsteil, der nun Statorfunktion hat, umfasst Statorzähne oder Statorpole **182a**, **182b**, welche sich über die gesamte axiale Länge erstrecken und jeweils von einer Wicklung umgeben sind. In einer ersten Stellung a) befindet sich jeder polare Rotorteil **181a**, **181b**, **181c** gegenüber einem polaren Statorteil **182a**, **182b**, **182c**. Diese Stellung ist eine instabile Gleichgewichtsstellung zugunsten einer zweiten charakteristischen Stellung b), in der sich jeder Magnet **183d**, **183a**, **183b** gegenüber einem Statorzahn **182a**, **182b** befindet und irgendwie kurzgeschlossen ist. Letztere Position stellt eine Anlaufposition dar.

[0085] Bei einer vierten Aufbauform des Betätigers gemäß der Erfindung, die in den **Fig. 19** und **20** abgebildet ist, sind die Magnete radial angeordnet, sowohl am Stator als auch am Rotor. Bei einer ersten Version dieser vierten Aufbauform, welche in **Fig. 19** dargestellt ist, sind die Magnete radial am Stator angeordnet und die Ankerwicklung hat Solenoidform. Somit hat ein Betätiger **290** an jedem Ende seines Rotors eine Rotorkrone **291**, welche eine Gruppe von Rotorzähnen **291a**, **291b**, **291c** besitzt. Der Stator **292** des Betätigers **290** umfasst, im Inneren einer zylindrischen Karkasse **295**, entlang seinem Umfang, alternierende Magneten **293a**, **293b**, **293c**, **293d**, die

radial angeordnet sind und durch Teile aus nicht magnetischem Isolierwerkstoff **294a**, **294b**, **294c**, **294d**, **294e** getrennt sein können. Die beiden Rotorzahngruppen oder die Statormagnetringe sind gegeneinander versetzt, so dass, wenn ein Zahn einer Gruppe vor einen Magneten gelangt, der entsprechende verschobene Zahn der anderen Gruppe vor den Magneten des Stators mit anderer Polarität gelangt. Die Anzahl von Zähnen jeder Gruppe ist halb so groß wie die Anzahl der Statormagneten. Die in **Fig. 19** dargestellte Winkelstellung ist eine Gleichgewichtsposition, die ein Hybridmoment ungleich Null liefert.

[0086] Eine Variante dieser vierten Aufbauform besteht darin, die Permanentmagneten am Rotor anzubringen, wie das in **Fig. 20** dargestellt ist. Bei dieser Variante besteht der Flusskommutierungsteil aus dem Stator **201** eines Betätigers **200**, wobei dieser Stator so ausgebildet ist, dass er Statorpole **201a**, **201b** besitzt. Der Rotor **202** des Betätigers **200** umfasst auf seinem Äußeren eine Gruppe von alternierenden Magneten **203a**, **203b**, **203c**, **203d**, die durch Teile aus nicht magnetischem Isolierwerkstoff **204a**, **204b**, **204c**, **204d** getrennt sind. Die in **Fig. 20** dargestellte Winkelposition entspricht auch einer Gleichgewichtsstellung, die ein Hybridmoment ungleich Null liefert.

[0087] Natürlich sind im Rahmen der nachstehenden Schutzansprüche Abänderungen oder Varianten möglich. So können die magnetischen Statorkreise und Rotorkreise entweder mit Blechen oder durch Guss oder auch aus Eisenpulvern hergestellt werden. Die Permanentmagneten können beliebiger Art sein, und insbesondere können Magnete aus seltenen Erden in massiver Form oder in Bruchstückform vorliegen. Die Betätiger gemäß der Erfindung können in Form aufeinander gestapelter elementarer Betätiger vorliegen. Die Wicklungen können auf sehr einfache Weise und vorzugsweise vorgefertigt realisiert und anschließend auf die Zähne oder Pole aufgesteckt werden. Schließlich können gemäß herkömmlichen elektrotechnischen Überlegungen sämtliche Lösungen, die für die Betätiger in Drehausführung beschrieben wurden, auch auf lineare oder gekrümmte Betätiger ausgedehnt werden, sofern die eingesetzten physikalischen Prinzipien und die verwendeten Mittel ähnlich sind.

[0088] Ferner ist es anhand der in der Erfindung beschriebenen Einphasenmaschinen stets möglich, Mehrphasenmaschinen zu erzielen, indem n einphasige Maschinen mit geeignetem Phasenversatz untereinander in Reihe, beispielsweise in Linie, geschaltet werden.

Patentansprüche

1. Einphaser Hybridbetätiger mit Flusskommutierung (**10**, **40**, **50**, **80**, **90**, **100**, **140**, **150**, **160**, **180**,

190) mit einem festen Ankerteil, welcher mit Statorpolen oder Statorzähnen (**15a-d**, **450a-d**, **511-514**, **811-818**, **103a-f**) versehene magnetische Statorteile (**15**, **16**; **450**; **51**, **55**; **81**; **93**, **94**; **191**, **192**; **103**; **143**, **144**; **151**, **152**; **162**; **182**) und eine oder mehreren Ankerwicklungen (**12**, **107a-f**, **141**, **154**) besitzt, einem mobilen Teil (**13**, **20**, **30**, **42**, **53**, **83**, **97**, **195**, **101**, **148**, **156**, **161**, **181**), der so angeordnet ist, dass er den Magnetfluss kommutiert und der mit Kommutierungspolen oder -zähnen versehen ist, und mit Permanentmagnetisiervorrichtungen (**14**, **430-433**, **56**, **91**, **92**, **193**, **147**, **158a-c**, **163a-b**, **183a-c**), wobei die Anker- bzw. Kommutierungsteile charakteristische geometrische Kenndaten aufweisen, die durch mindestens eine vorbestimmte geometrische Bedingung miteinander verknüpft sind:

$$\theta_r \geq \theta_s + \theta_b$$

wobei gilt, θ_r , θ_s und θ_b stellen jeweils die Winkelöffnung eines Kommutierungspols oder -zahns, die Winkelöffnung eines Ankerpols oder Ankerzahns und die Winkelöffnung eines Raums zwischen Ankerpolen oder zwischen Ankerzähnen, dar, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Permanentmagnetisiervorrichtungen (**14**, **430-433**, **56**, **91**, **92**, **193**, **147**, **158a-c**, **163a-b**, **183a-c**) mit dem mobilen Kommutierungsteil zusammenwirken, um einen oder mehrere magnetische Flüsse zu erzeugen, die alternativ über die Ankerwicklung(en) (**12**, **107a-f**, **141**, **154**) durch Fließen im oben genannten mobilen Kommutierungsteil (**13**, **20**, **30**, **42**, **53**, **83**, **97**, **195**, **101**, **148**, **156**, **161**, **181**) kommutiert werden, wobei dieser mobile Flusskommutierungsteil mindestens zwei Kommutierungsgruppen (**17**, **18**; **23**, **24**; **196**, **197**; **155**, **156**) besitzt, die mit Kommutierungspolen oder -zähnen (**531**, **532**; **831-834**, **196a-b**, **156a-b**, **191a-b**) versehen und untereinander durch ein ferromagnetisches Teil (**22**, **199**, **159a**) verbunden sind, und wobei der Ankerteil Ankerpole oder -zähne besitzt, die von der Position her den beiden Zähnen oder Polen der beiden Kommutierungsgruppen (**17**, **18**; **23**, **24**; **196**, **197**; **155**, **156**) entsprechen.

2. Betätiger (**10**, **40**, **50**, **80**, **90**, **100**) gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er, was die Permanentmagnetisiervorrichtungen anbelangt, einen oder mehrere Permanentmagneten (**14**, **430-433**, **56**, **91**, **92**) umfasst, die axial angeordnet sind und einen globalen magnetischen Fluss erzeugen, der abwechselnd durch Fließen im Kommutierungsteil (**13**, **42**, **53**, **83**, **97**, **101**) kommutiert wird.

3. Betätiger gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die axialen Magneten am Rotor dieses Betätigers angeordnet sind.

4. Betätiger (**10**, **40**, **50**, **80**, **90**, **100**) gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die axialen Magnete (**14**, **430-433**, **56**, **91**, **92**) am Stator

dieses Betätigers (**10, 40, 50, 80, 90, 100**) angeordnet sind, sowie dadurch, dass der StatorAnkerteil zwei Statorteile (**15, 16; 450; 51, 52; 93–96; 103**) umfasst, die mit Statorzähnen oder Statorpolen versehen sind, wobei diese Statorteile einen identischen Aufbau und identische Winkelstellungen haben, zwischen denen ein oder mehrere axiale Permanentmagnete (**14, 430–433, 56, 91, 92**) angeordnet sind, um einen globalen magnetischen Fluss zu erzeugen.

5. Betätiger (**10, 50, 80, 90, 100**) gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Kommutierungsteil einen mittleren zylindrischen Abschnitt (**19, 199**) umfasst, der an jedem seiner Enden einen Rotorteil (**831, 101**) besitzt, welcher so angeordnet ist, dass er von der Position her dem Statorteil (**15, 16; 450; 51, 52; 93–96; 103**) entspricht, wobei jeder Rotorteil so viele Zähne oder Pole besitzt, die gleich der Hälfte der Anzahl von Zähnen oder Polen des entsprechenden Statorteils entsprechen.

6. Betätiger (**40**) gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kommutierungsteil (**42**) einen Zylinder (**30**) aus magnetischem Werkstoff umfasst, der zuvor maschinell so bearbeitet wurde, dass er außen herum mit einer Krone (**32**) versehen ist, die auf der Länge dieses Zylinders geneigt ist, wobei diese Krone (**32**) die progressive Flusskommutierung von einem Statorteil (**450**) zum anderen (**451**) sicherstellt.

7. Betätiger realisiert durch die Reihenschaltung mehrerer Betätiger gemäß einem der Ansprüche 4 bis 6.

8. Betätiger (**90**) gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der StatorAnkerteil zwei konzentrische zylindrische Teile (**101, 102**) umfasst, respektive einen Außen- und einen Innenteil, die an jedem ihrer Enden einen ersten und einen zweiten äußeren Statorteil (**93, 94**) und einen ersten und einen zweiten inneren Statorteil (**96, 95**) besitzen, von denen jeder Statorzähne oder Statorpole besitzt, wobei ein oder mehrere globale axiale ringförmige äußere bzw. innere Magneten (**91; 92**) zwischen dem ersten und dem zweiten äußeren Statorteil (**93, 94**) und zwischen dem ersten und dem zweiten inneren Statorteil (**95, 96**) angeordnet sind, wobei der Rotor (**97**) Glockenform hat und einen zylindrischen Rotorteil (**98**) besitzt, der den Kommutierungsteil darstellt, sowie dadurch gekennzeichnet, dass dieser zylindrische Teil (**98**) perforiert ist, so dass er zwei Kommutierungspolgruppen bildet, jeweils gegenüber den Statorzähnen oder Statorpolen des ersten und des zweiten Statorteils, respektive inneres (**95, 96**) und äußeres (**93, 94**), wobei die Anzahl der Zähne oder Pole einer Gruppe halb so groß ist wie die Anzahl der Statorzähne oder Statorpole des entsprechenden Statorteils.

9. Betätiger bestehend aus der Serienschaltung

von mehreren Betätigern gemäß Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der zylindrische Kommutierungsteil perforiert ist, so dass so viele Kommutierungspolgruppen entstehen wie Statorteile vorhanden sind.

10. Betätiger (**100**) gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der feststehende Ankerteil (**103**) innen liegt und mindestens zwei Statorteile umfasst, welche mehrere Statorpole oder Statorzähne (**103a–f**) besitzen, zwischen denen die Permanentmagnetisierungsrichtungen angeordnet sind, die einen axialen Magnetfluss erzeugen, sowie dadurch, dass der mobile Kommutierungsteil (**101**) einen äußeren Zylinder besitzt, der den Kommutierungsteil umgibt und mehrere Perforationsgruppen (**101a–c**) besitzt, wobei jede Perforationsgruppe einem Statorteil entspricht und die Anzahl der Perforationen pro Gruppe halb so groß ist wie die Anzahl von Statorzähnen oder Statorpolen eines Statorteils.

11. Betätiger (**190, 140**) gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er, was die Permanentmagnetisierungsrichtungen anbelangt, alternierende Magnete (**193a–b, 147a–c**) besitzt, die axial angeordnet sind, sowie dadurch, dass der Kommutierungsteil mindestens zwei Rotorteile (**195, 196; 145, 146**) umfasst, von denen jeder halb so viele Rotorzähne oder Rotorpole besitzt wie alternierende Magnete (**193a–b, 147a–c**) vorhanden sind.

12. Betätiger (**140**) gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass diese alternierenden Magnete (**147a–c**) axial auf dem Rotor (**148**) des oben genannten Betätigers (**140**) angeordnet sind, wobei dieser Rotor (**148**) ferner zwei Polteilengruppen (**148a–b**) umfasst, die jeweils an den Enden jedes Magneten angeordnet sind und den von diesem Magneten erzeugten Fluss radial richten, wobei jede Gruppe von der Stellung her einem Statorteil entspricht und den Kommutierungsteil bildet, sowie dadurch, dass der Ankerteil eine globale Wicklung in Solenoidform (**141**) besitzt, die zwischen den beiden Statorteilen (**143, 144**) installiert ist.

13. Betätiger (**190**) gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die alternierenden Magnete (**193a–b**) axial auf dem Stator (**198**) des oben genannten Betätigers (**190**) zwischen den beiden Statorteilen (**191, 192**), die ebenfalls eine globale Wicklung in Solenoidform (**194**) umgeben, angebracht sind, und dadurch, dass der Kommutierungsteil einen zylindrischen Teil (**199**) mit zwei Kommutierungsteilen (**195, 196**) an den Enden, jeweils gegenüber den Statorteilen (**192, 191**) angeordnet, umfasst.

14. Betätiger (**150, 160, 180**) gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er, was die Permanentmagnetisierungsrichtungen anbelangt, azimuthal

angeordnete alternierende Magnete (**158a-c**, **163a-b**, **183a-c**) besitzt.

15. Betätiger (**150**) gemäß Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Ankerteil zwei Endstatorteile umfasst, in denen die alternierenden azimuthalen Magnete (**158a-c**) und zwischen diese Magnete gesetzte polare Teile (**157a-c**) angeordnet sind, sowie eine globale Wicklung mit Solenoidform (**154**), und dadurch, dass der Kommutierungsteil einen zylindrischen Abschnitt (**159a**) umfasst, der an seinen Enden zwei Rotorteile (**155**, **156**) umfasst, die jeweils den Statorteilen (**152**, **151**) entsprechen und halb so viele Pole oder Zähne aufweisen wie alternierende Magnete vorhanden sind.

16. Betätiger gemäß Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die azimuthalen Magnete am Rotor des oben genannten Betätigers angeordnet sind, wobei dieser Rotor den Kommutierungsteil bildet und ferner polare Teile umfasst, die zwischen jedem alternierenden Magneten angeordnet sind und von der Anzahl her doppelt so viel sind wie Pole oder Zähne jedes Statorteils vorhanden sind.

17. Betätiger (**160**) gemäß Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Ankerteil mehrere u-förmige lokale Magnetkreise (**162a**, **162b**) umfasst, wobei jedem dieser Kreise eine lokale Ankerwicklung zugeordnet ist und zwischen jedem Kreis alternierende azimuthale Magnete (**163a**, **163b**) angeordnet sind.

18. Betätiger (**180**) gemäß Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die azimuthalen Magnete (**183a**, **183b**) am Rotor des oben genannten Betätigers angeordnet sind, der ferner polare Teile (**181a**, **181b**, **181c**) umfasst, die zwischen jedem alternierenden Magneten angeordnet sind und von der Anzahl her genauso viele sind wie Pole oder Zähne jedes Statorteils vorhanden sind, und dadurch, dass die Wicklung als globale Wicklung mit Solenoidform ausgebildet ist.

19. Betätiger gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er, was die Permanentmagnetisierungsvorrichtungen anbelangt, radial angeordnete Permanentmagnete besitzt.

20. Betätiger gemäß Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Permanentmagnete am Stator angeordnet sind und dass die Ankerwicklung in Solenoidform ausgebildet ist.

21. Betätiger gemäß Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass er einen leitenden Rotorkommutierungsteil umfasst, der einen zylindrischen Teil besitzt, dessen beide Enden jeweils mit zwei Rotorkronen verbunden sind, von denen jede eine Gruppe von Rotorzähnen besitzt.

22. Betätiger gemäß Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Permanentmagnete am Rotor angeordnet sind.

23. Betätiger gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass er mit Versorgungs- und Befehlsmitteln versehen ist, die einen eigengesteuerten Funktionsmodus ermöglichen sollen.

24. Betätiger gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Versorgungs- und Befehlsmittel so angeordnet sind, dass ein Schritt-Funktionsmodus ermöglicht wird.

25. Betätiger gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Versorgungs- und Befehlsmittel so angeordnet sind, dass ein Synchron-Funktionsmodus ermöglicht wird.

26. Betätiger gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Versorgungs- und Befehlsmittel so angeordnet sind, dass ein beschränkter Ausschlagmodus ermöglicht wird.

27. Betätiger gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Ankerteil so angeordnet ist, dass Ankerwicklungen in Form von zusammengesetzten Wicklungen montiert werden können.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

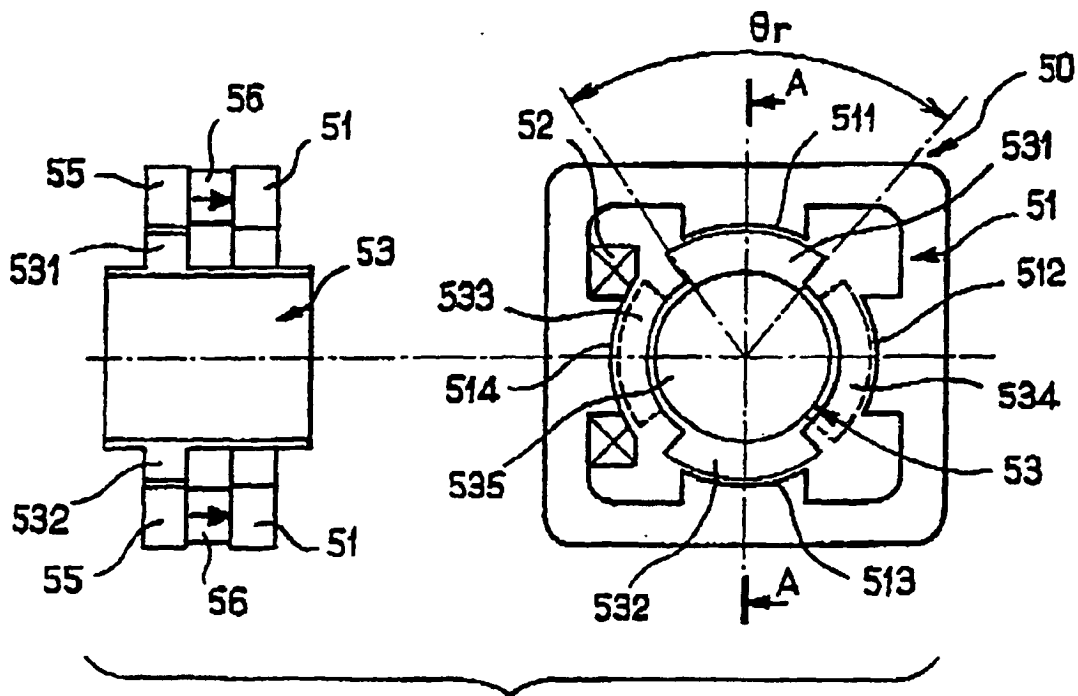


FIG. 5

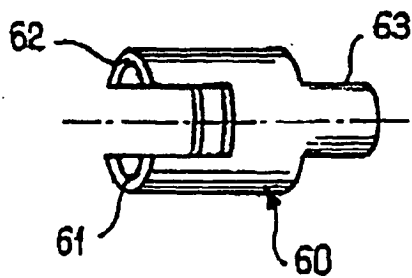


FIG. 6

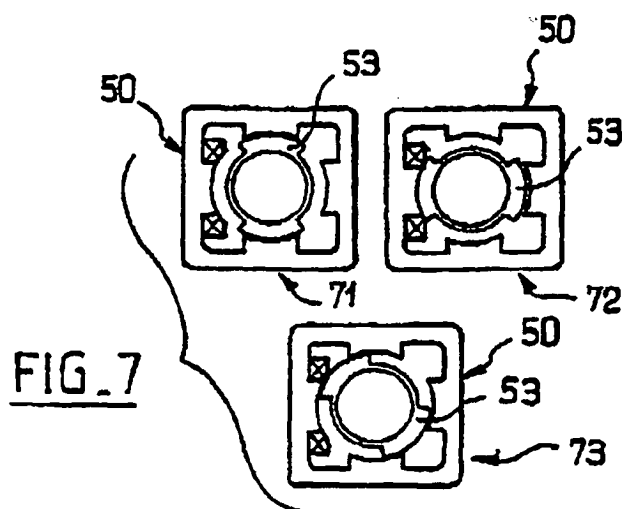


FIG. 7

FIG. 8

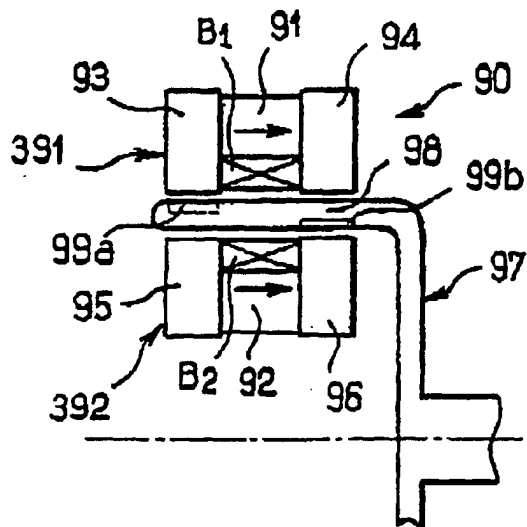
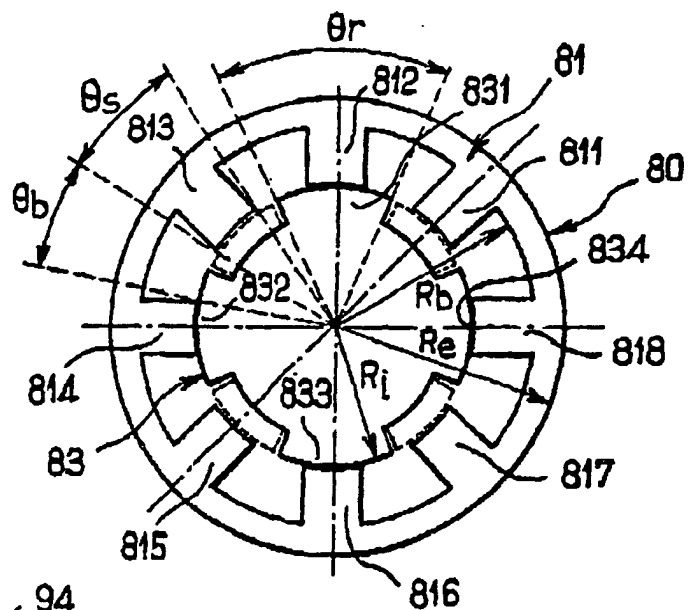


FIG. 9

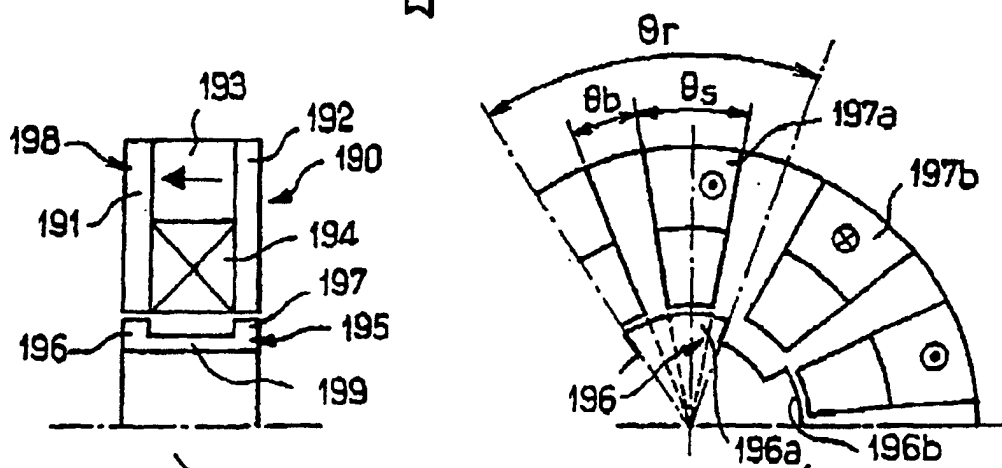


FIG. 14B

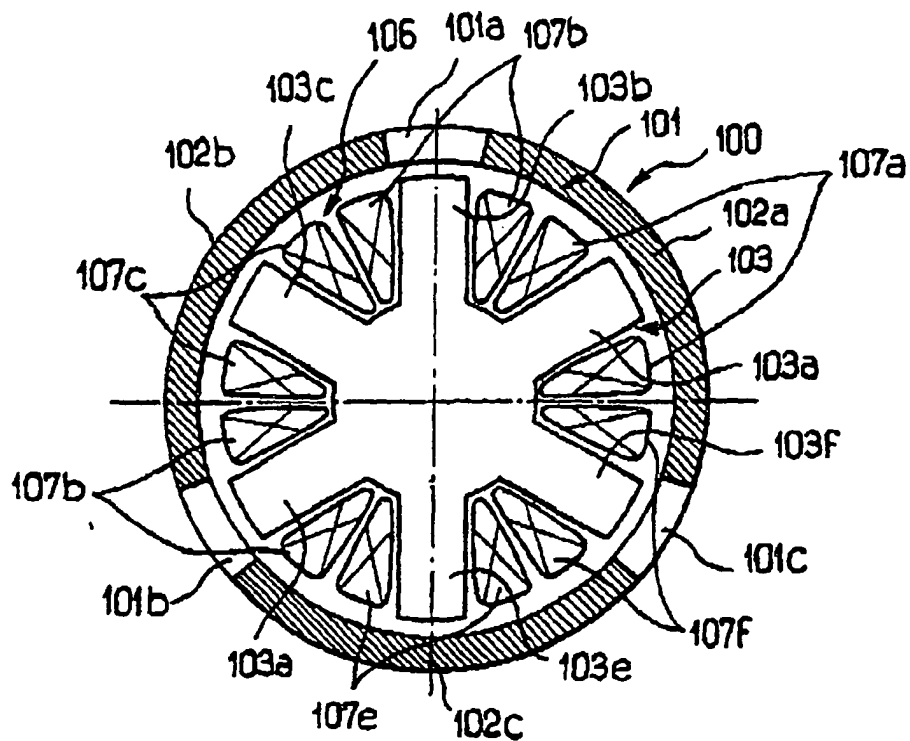


FIG. 10

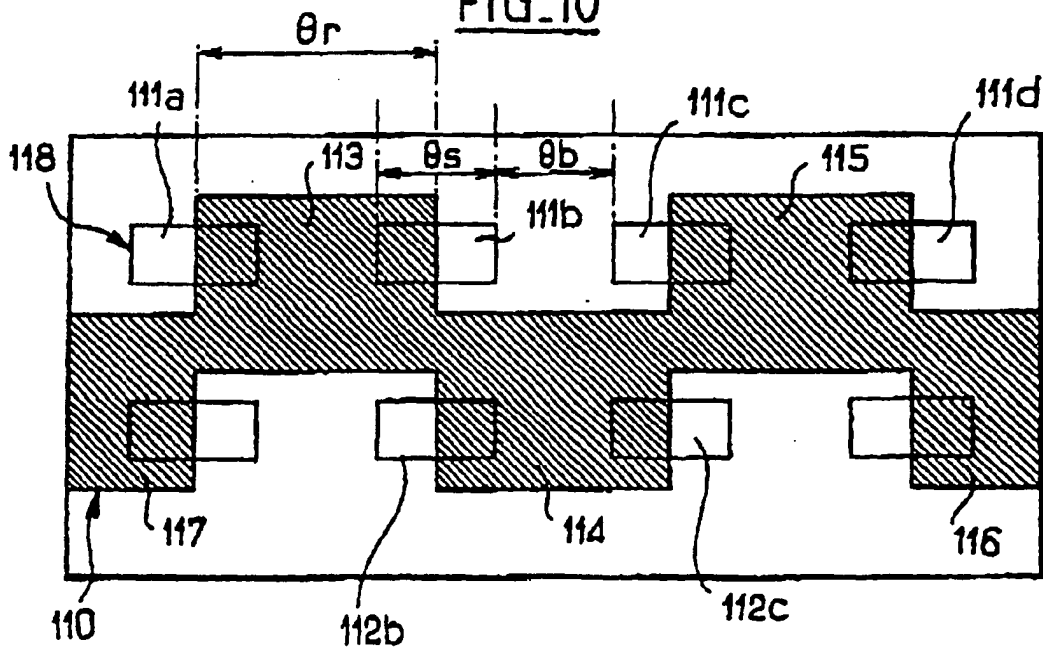


FIG. 11

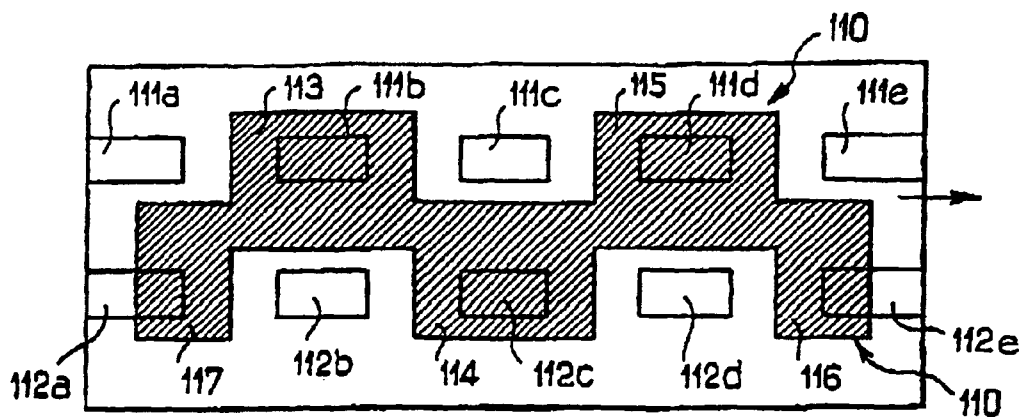


FIG. 12

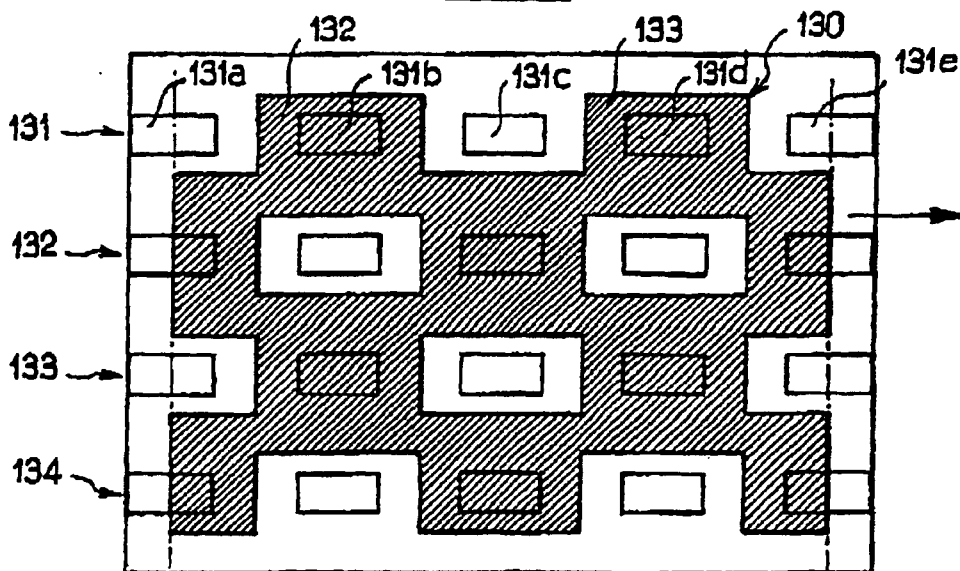


FIG. 13

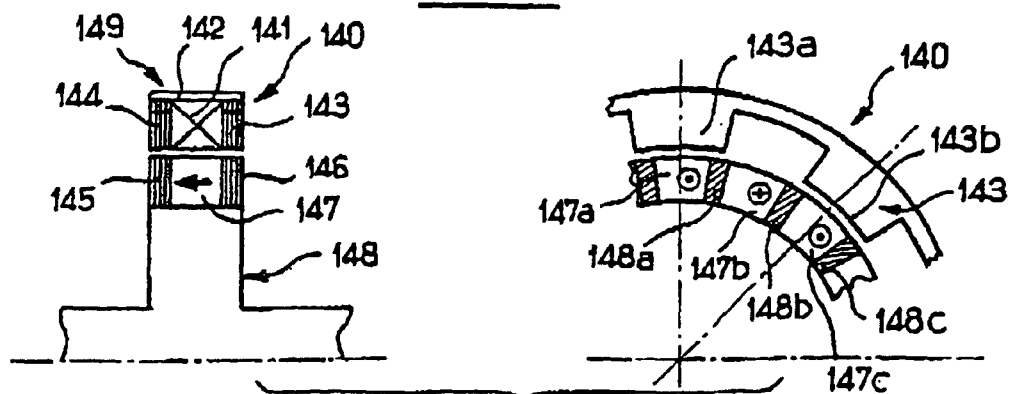


FIG. 14A

FIG.18

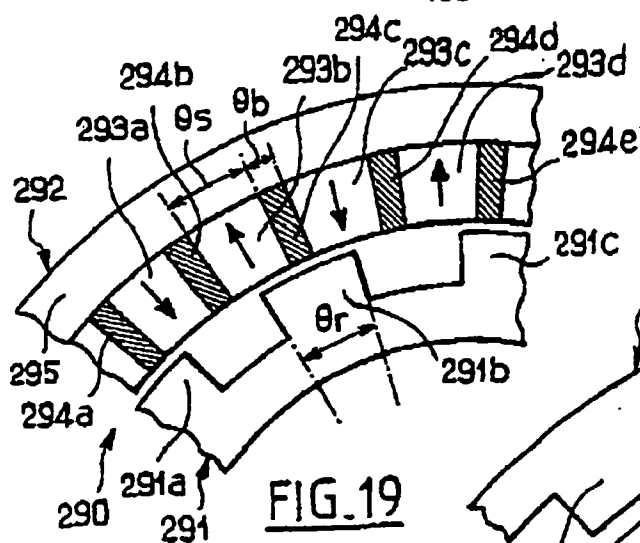
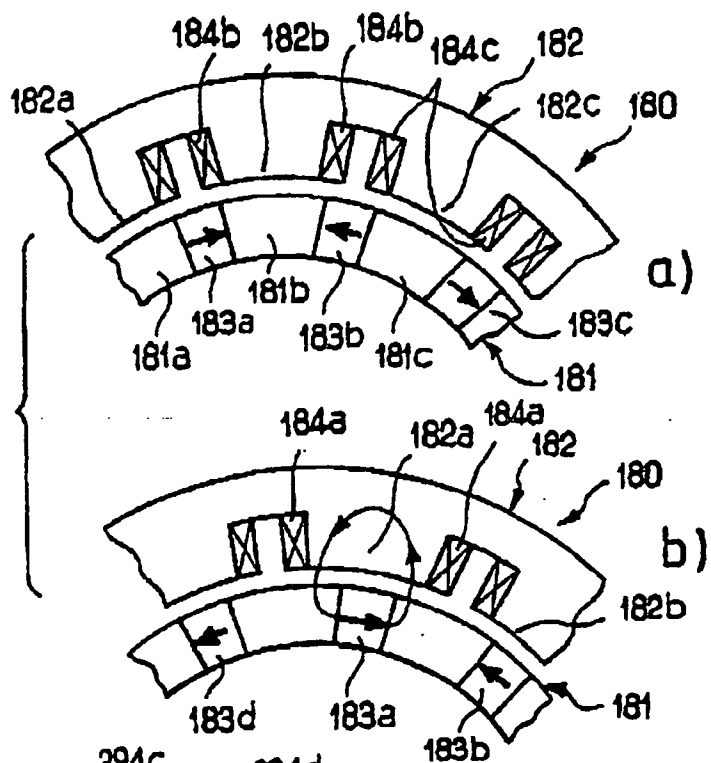


FIG.19

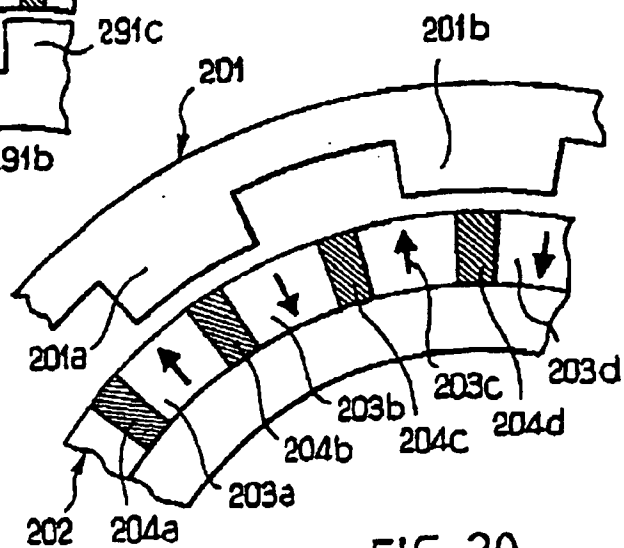


FIG.20