



(10) **DE 10 2020 108 516 A1** 2021.09.30

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2020 108 516.8**

(22) Anmeldetag: **27.03.2020**

(43) Offenlegungstag: **30.09.2021**

(51) Int Cl.: **H02K 1/14 (2006.01)**

**H02K 1/27 (2006.01)**

**H02K 1/06 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**FEAAM GmbH, 85579 Neubiberg, DE**

(74) Vertreter:

**Epping Hermann Fischer  
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80639 München,  
DE**

(72) Erfinder:

**Dajaku, Gurakuq, 85579 Neubiberg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

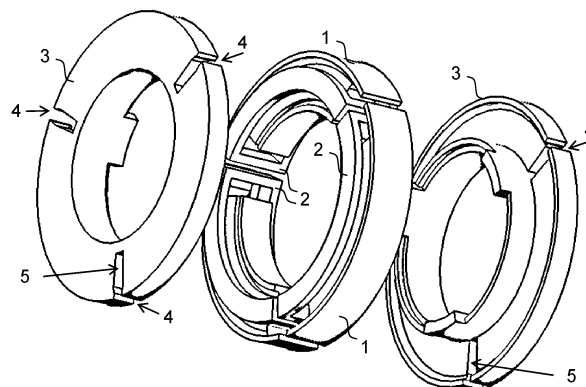
DE	31 25 694	A1
DE	10 2015 111 480	A1
DE	20 2016 104 830	U1
EP	1 314 236	B1
WO	2006/ 117 210	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Stator, Rotor und elektrische Maschine**

(57) Zusammenfassung: Ein Stator für eine elektrische Maschine umfasst mindestens drei Module (1), die entlang des Umfangs des Stators verteilt sind, wobei die Module (1) je eine Spule (2) einer mehrphasigen zahnkonzentrierten Wicklung tragen, und wobei die Module (1) einschließlich der Spulen (2) in axialer Richtung von je einer Stator-Abdeckung (3) abgedeckt sind. Ein Rotor für eine elektrische Maschine umfasst wenigstens zwei entlang des Umfangs des Rotors verteilte Magnete (9), bei denen sich der magnetische Fluss hauptsächlich in axialer Richtung und zu einem kleineren Teil in Umfangsrichtung durch einen jeweiligen benachbarten Magneten (9) schließt.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Offenbarung betrifft einen Stator, einen Rotor sowie eine elektrische Maschine mit einem solchen Stator und einem solchen Rotor.

**[0002]** Elektrische Maschinen waren von jeher von großer Bedeutung und werden heutzutage auch immer wichtiger. Elektrische Maschinen bestehen üblicherweise aus zwei Hauptbestandteilen, nämlich einem stationären Teil, dem Stator, und einem rotierenden Teil, dem Rotor. Sowohl Komponenten des Stators als auch des Rotors umfassen magnetisches Material. Zwischen dem Stator und dem Rotor existiert ein kleiner Bereich, welcher als Luftspalt bezeichnet wird. Eine herkömmliche Statorstruktur hat in der Nähe des Luftspaltbereichs mehrere entlang des Umfangs verteilte Schlitze oder Aussparungen, in die Spulenwicklungen eingesetzt sind. Die Spulenwicklungen sind beispielsweise als verteilte überlappende Wicklungen oder als zahnkonzentrierte Wicklungen ausgeführt.

**[0003]** Bei herkömmlichen elektrischen Maschinen beziehungsweise den Statorn solcher Maschinen ragen üblicherweise die Enden der Wicklungen über den Eisenkern des Stators hinaus, sodass sich diese außerhalb der axialen Länge des Stators befinden und nicht zum Drehmoment beitragen können. Daher trägt bei solchen elektrischen Maschinen nur die axiale Länge des Eisenkerns des Stators zur Erzeugung von elektromagnetischem Drehmoment bei. Diese Länge wird deshalb üblicherweise auch als aktive Länge der elektrischen Maschine bezeichnet.

**[0004]** Die Ströme, die durch die Wicklungen fließen, erzeugen im Endbereich unnötige ohmsche Verluste. Ferner können insbesondere für Anwendungen mit begrenztem Raum in axialer Richtung die Längen der Wicklungsenden in Bezug auf die Gesamtlänge der Wicklungen beziehungsweise der aktiven Länge der elektrischen Maschine relativ groß werden.

**[0005]** Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, ein verbessertes Konzept für elektrische Maschinen anzugeben, mit dem eine höhere Effizienz der elektrischen Maschine erreicht werden kann.

**[0006]** Diese Aufgabe wird gelöst mit dem Gegenstand der unabhängigen Patentansprüche. Weiterbildungen und Ausgestaltungen finden sich in den abhängigen Ansprüchen.

**[0007]** Das verbesserte Konzept basiert zum einen auf der Idee, die Statorwicklungen einer elektrischen Maschine so zu gestalten, dass sich sämtliche Wicklungsbestandteile der Spulen innerhalb der aktiven Länge des Stators befinden können. Dazu werden wenigstens drei Module vorgesehen, die je eine solche Spule einer mehrphasigen zahnkonzentrierten

Wicklung tragen. Zudem werden in axialer Richtung auf jeder Seite entsprechende Statorabdeckungen vorgesehen, welche die Spulen überdecken. Die Module mit den Spulen sind dabei entlang des Umfangs des Stators verteilt. Insbesondere durch die Statorabdeckungen wird erreicht, dass sämtliche Bereiche der Spule, also sowohl solche, die sich entlang des Umfangs erstrecken, als auch solche, die sich in axialer Richtung erstrecken, einschließlich entsprechender Übergänge, innerhalb der aktiven Länge des Stators angeordnet sind. Die aktive Länge des Stators ergibt sich dabei aus der axialen Länge der Module sowie der axialen Längen der Statorabdeckungen.

**[0008]** Das verbesserte Konzept basiert darüber hinaus auch auf der Idee, bei einem Rotor die Magnete entlang des Umfangs zu verteilen und deren Polarisierung so auszuwählen, dass sich der magnetische Fluss hauptsächlich in axialer Richtung und zu einem kleineren Teil in Umfangsrichtung durch einen jeweiligen benachbarten Magneten schließt. Damit verläuft der magnetische Fluss angepasst an einen Wicklungsbereich der Spulen, der sich entlang des Umfangs erstreckt.

**[0009]** Das verbesserte Konzept ermöglicht schließlich den Entwurf einer effizienten elektrischen Maschine, bei der sich die Gestaltung des Stators mit seinen Spulen günstig an die Geometrie des Rotors mit seinen Magneten angepasst werden kann, und umgekehrt.

**[0010]** Gemäß einer Ausführungsform umfasst ein Stator für eine elektrische Maschine mindestens drei Module, die entlang des Umfangs des Stators verteilt sind. Die Module tragen jeweils eine Spule einer mehrphasigen zahnkonzentrierten Wicklung. Dabei sind die Module einschließlich der Spulen in axialer Richtung von je einer Statorabdeckung abgedeckt. Beispielsweise ist jedes Modul durch einen Statorzahn und eine Spule gebildet, die sich um den Statorzahn erstreckt.

**[0011]** Beispielsweise sind die Statorabdeckungen dazu eingerichtet, im Betrieb der elektrischen Maschine Effektivfluss zu generieren und damit zur Erzeugung von Drehmoment beizutragen. So können etwa die Statorabdeckungen den magnetischen Fluss effektiv führen, der von den am Umfang verlaufenden Abschnitten der Spulen erzeugt wird. Diese Abschnitte können auch als Wickelköpfe bezeichnet werden.

**[0012]** In verschiedenen Ausführungen weisen die Statorabdeckungen zwischen den Modulen je eine Nutöffnung und/oder eine Nut auf. Die Nutöffnungen sind dabei insbesondere am Umfang der Statorabdeckungen gebildet, während sich die Nuten hauptsächlich in radialer Richtung erstrecken.

**[0013]** Die Spulen sind beispielsweise im Wesentlichen rechteckförmig ausgebildet. Damit soll insbesondere ausgedrückt sein, dass Bereiche der Spulen, die in axialer Richtung verlaufen, senkrecht oder im Wesentlichen senkrecht auf die Teile der Spulen treffen, die sich entlang des Umfangs erstrecken. Notwendige Biegeradien der Wicklungen an den Ecken der Spule sind dabei zu berücksichtigen und ändern nichts an der wesentlichen Rechteckform. Dies schließt beispielsweise auch ein, dass bei genau drei Modulen in einem Stator die Spulen in axialer Draufsicht bogenförmig ausgebildet sein können. Bei einer höheren Anzahl von Modulen kann dieser Verlauf auch geradlinig sein, sodass der Umfang durch die Spulen polygonartig abgebildet wird.

**[0014]** In verschiedenen Ausführungsformen ist eine Länge der Spulen entlang des Umfangs des Stators größer als eine Länge der Spulen in axialer Richtung. Dadurch lassen sich insbesondere Statoren mit kurzer axialer Ausdehnung entwickeln, z.B. wenn nur genau drei Module verwendet werden. Bei einer höheren Anzahl von Modulen kann sich allerdings dieses Verhältnis umkehren, da mit steigender Anzahl der Module die Länge entlang des Umfangs kürzer wird.

**[0015]** Die Module und/oder die Statorabdeckungen umfassen beispielsweise Eisen, Stahl, Weicheisen und/oder weichmagnetische Verbundwerkstoffe, englisch: Soft Magnetic Composites, SMC. Beispielsweise sind die Module, insbesondere die Statorzähne und/oder die Statorabdeckungen, als Vollmaterial mit einem oder mehreren der genannten Materialien ausgebildet. Dadurch ergeben sich beispielsweise Vorteile gegenüber konventionellen laminierten Stahlkernen bezüglich Materialkosten, Produktion und dreidimensionaler, isotropischer ferromagnetischer Eigenschaften.

**[0016]** Jedem Modul ist beispielsweise eine elektrische Phase eines elektrischen Mehrphasensystems zugeordnet, welches mit der mehrphasigen zahnkonzentrierten Wicklung verbindbar ist.

**[0017]** In einer Ausführungsform umfasst ein Rotor für eine elektrische Maschine wenigstens zwei entlang des Umfangs des Rotors verteilte Magnete. Der magnetische Fluss dieser Magnete schließt sich hauptsächlich in axialer Richtung und zu einem kleineren Teil in Umfangsrichtung durch einen jeweiligen benachbarten Magneten. Beispielsweise ist die Anzahl der Magnete des Rotors ein Vielfaches von 2. Die Magnete sind dabei beispielsweise in oder an einem Rotorkern angebracht.

**[0018]** Bei herkömmlichen elektrischen Maschinen hängt die optimale Zahl von Polpaaren üblicherweise vom Durchmesser der elektrischen Maschine ab. Dementsprechend sind üblicherweise höhere Polpaarzahlen besser für große Rotordurchmesser ge-

eignet. Allerdings sind solche Maschinen mit höherer Polpaarzahl weniger für Hochgeschwindigkeitsanwendungen geeignet, wenn man berücksichtigt, dass die Versorgungsfrequenz bzw. die Eisenverluste linear bzw. quadratisch mit der Zahl der Polpaare ansteigen. Dementsprechend ist der Rotor beispielsweise lediglich zweipolig ausgebildet, weist also ein Polpaar auf.

**[0019]** Dadurch, dass sich der magnetische Fluss hauptsächlich in axialer Richtung schließt, verteilt sich dieser Fluss über den gesamten Umfang des Rotors. Damit ist die effektive Länge des Rotors in axialer Richtung für den Fluss von geringerer Bedeutung, insbesondere im Vergleich mit herkömmlichen Rotoren.

**[0020]** Beispielsweise weisen bei dem Rotor jeweilige in Umfangsrichtung benachbarte Magnete unterschiedliche Ausrichtungen ihrer Polarität auf. Beispielsweise erfolgt die Ausrichtung der magnetischen Dipole der Magnete abwechselnd.

**[0021]** Der geschlossene Fluss in axialer Richtung lässt sich beispielsweise dadurch erreichen, dass die Magnete in radialer Richtung magnetisiert sind. Beispielsweise weisen die Magnete in radialer Richtung jeweils eine nach außen gerichtete erste Polarität und eine nach innen gerichtete zweite Polarität auf. Somit ist beispielsweise ein magnetischer Nordpol radial nach innen gerichtet, während ein magnetischer Südpol radial nach außen gerichtet ist, oder umgekehrt.

**[0022]** In einer solchen Ausführung mit radial magnetisierten Magneten weist der Rotor beispielsweise ferner wenigstens zwei weitere entlang des Umfangs des Rotors verteilte Magnete auf, die in axialer Richtung benachbart, insbesondere paarweise benachbart, zu den wenigstens zwei Magneten angeordnet sind. Beispielsweise sind somit zu den wenigstens zwei Magneten axial benachbart wenigstens vier weitere Magnete vorgesehen. Die weiteren Magnete sind dabei vorzugsweise ebenfalls in radialer Richtung magnetisiert und weisen bezüglich ihrem Nachbar in axialer Richtung entgegengesetzte Polarität auf.

**[0023]** Bei genau zwei Magneten und dementsprechend genau vier weiteren Magneten sind die zwei Magnete in axialer Richtung mittig zwischen den vier weiteren Magneten angeordnet. Die mittigen Magnete sind dabei in axialer Richtung breiter als die außenliegenden weiteren Magnete. Bei einer solchen Anordnung schließt sich der magnetische Fluss somit weiterhin hauptsächlich axial mit einigen radialen Komponenten. Das Prinzip ändert sich nicht bei einer höheren Polpaarzahl.

**[0024]** Bei der Ausführungsform ohne weitere Magnete schließt sich der magnetische Fluss beispiels-

weise über den oder die Rotorzähne des Rotorkerns, die axial benachbart zu den wenigstens zwei Magneten angeordnet sind.

**[0025]** In einer anderen Ausgestaltung umfasst der Rotor wenigstens zwei Paare von entlang des Umfangs des Rotors verteilten Magneten. Dabei sind die Magnete in axialer Richtung magnetisiert. Ferner weisen axial benachbarte Magnete unterschiedliche Ausrichtungen ihrer Polarität auf. Unter axialer Magnetisierung wird insbesondere verstanden, dass die Magnete in axialer Richtung jeweils eine erste Polarität und eine dazu entgegengesetzt gerichtete zweite Polarität aufweisen. Die Paare sind beispielsweise jeweils beabstandet voneinander in den Rotorkern eingefügt.

**[0026]** Durch diese Polarisierung in axialer Richtung ergibt sich unmittelbar, dass sich der magnetische Fluss hauptsächlich in axialer Richtung schließt.

**[0027]** Gemäß dem verbesserten Konzept umfasst eine elektrische Maschine einen Stator gemäß einer der zuvor beschriebenen Ausführungsformen und einen Rotor gemäß einer der zuvor beschriebenen Ausführungsformen. Beispielsweise sind die räumlichen Dimensionen des Rotors und des Stators aufeinander angepasst. Hierbei sind insbesondere beispielsweise die Dimensionen der Spule, insbesondere deren axiale Breite, auf die Dimensionen der Magnete des Rotors, insbesondere deren Breite beziehungsweise deren Abstand zueinander angepasst.

**[0028]** Eine solche elektrische Maschine lässt sich mit geringer axialer Ausdehnung entwickeln, sodass eine solche elektrische Maschine insbesondere für Anwendungen mit beschränktem Platzangebot geeignet ist.

**[0029]** Andererseits ermöglicht der axial schmale Aufbau der elektrischen Maschine die Nutzung von zwei oder mehreren solcher elektrischen Maschinen mit schmalen Aufbau, um modular eine Anordnung mit entsprechend höherem Drehmoment bereitzustellen. Eine solche Maschine weist dementsprechend einen weiteren Stator und einen weiteren Rotor der beschriebenen Art auf, die jeweils in axialer Richtung benachbart zu dem Stator und dem Rotor angeordnet sind. Die zwei aus Rotor und Stator gebildeten Module sind dabei beispielsweise identisch aufgebaut, was aber nicht zwingend ist.

**[0030]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Hierbei sind gleichartige Elemente oder Elemente gleicher Funktionen mit demselben Bezugszeichen bezeichnet. Daher wird auf eine wiederholte Erläuterung einzelner Elemente gegebenenfalls verzichtet.

**[0031]** Es zeigen:

**Fig. 1A** und **Fig. 1B** verschiedene Darstellungen eines Moduls eines Stators,

**Fig. 2A** und **Fig. 2B** verschiedene Detailansichten eines Stators,

**Fig. 3A, Fig. 3B, Fig. 3C** verschiedene Ausgestaltungen von Statorabdeckungen,

**Fig. 4** eine Ausgestaltung eines Stators in einer Explosionsdarstellung,

**Fig. 5** und **Fig. 6** verschiedene Ausgestaltungen eines Stators,

**Fig. 7A** bis **Fig. 7F** verschiedene Ausgestaltungen eines Rotors,

**Fig. 8A, Fig. 8B, Fig. 8C** verschiedene Ansichten einer Ausgestaltung einer elektrischen Maschine,

**Fig. 9A** bis **Fig. 9D** verschiedene Ansichten einer weiteren Ausgestaltung einer elektrischen Maschine,

**Fig. 10A** und **Fig. 10B** verschiedene Ansichten einer weiteren Ausgestaltung einer elektrischen Maschine,

**Fig. 11A, Fig. 11B, Fig. 11C** verschiedene Ansichten einer weiteren Ausgestaltung einer elektrischen Maschine, **Fig. 12A** und **Fig. 12B** verschiedene Ansichten einer weiteren Ausgestaltung einer elektrischen Maschine,

**Fig. 13A** und **Fig. 13B** verschiedene Ansichten einer weiteren Ausgestaltung eines Stators, und

**Fig. 14A, Fig. 14B** und **Fig. 14C** verschiedene Ansichten einer weiteren Ausgestaltung einer elektrischen Maschine.

**[0032]** Das vorliegend beschriebene verbesserte Konzept betrifft unter anderem einen Stator für eine elektrische Maschine, die mindestens drei Module umfasst, die entlang des Umfangs des Stators verteilt sind. Dabei tragen die Module je eine Spule einer mehrphasigen zahnkonzentrierten Wicklung. Ferner sind dabei die Module einschließlich der Spulen in axialer Richtung von je einer Statorabdeckung abgedeckt.

**[0033]** Nachfolgend werden zunächst die einzelnen Bestandteile eines solchen Stators sowie der vollständige Stator anhand der Figuren beschrieben. Ferner folgen Erläuterungen für Rotoren gemäß dem verbesserten Konzept sowie für eine elektrische Maschine aus Stator und Rotor.

**[0034]** Die **Fig. 1A** und **Fig. 1B** zeigen verschiedene Ansichten eines Moduls **1** eines Stators, welches beispielsweise aus einem Statorzahn **1'** und einer Abdeckung gebildet ist. Das Modul umfasst ferner eine

Spule **2**, welche in den Figuren lediglich schematisch dargestellt ist. Während das Modul und die Spule **2** in **Fig. 1** getrennt voneinander dargestellt sind, sind diese in **Fig. 1B** zusammengefügt. Der Statorzahn **1'** ist dabei flach aufgeführt und die Spule **2** ist um den Statorzahn **1'** herumgeführt. Die Spule **2** ist dabei in dieser Ausgestaltungsform im Wesentlichen rechteckförmig, insbesondere mit orthogonal verlaufenden Ecken ausgeführt. Entlang des Umfangs ist die Spule **2** entsprechend gebogen. Die einzelnen Windungen der Spule **2** sind aus Übersichtsgründen nicht dargestellt, entsprechen allerdings dem dargestellten Verlauf.

**[0035]** In der gezeigten Ausführungsform ist die Länge des Moduls entlang des Umfangs des Stators größer als dessen Auslenkung in axialer Richtung. Dies ist vorteilhaft für Statoren mit geringer axialer Länge, aber grundsätzlich kann das Verhältnis auch umgekehrt oder gleich sein.

**[0036]** Um eine einfache Herstellung zu ermöglichen und den magnetischen Fluss dreidimensional leiten zu können, ist der Statorzahn **1'** beispielsweise aus einem massiven Material gebildet, welches etwa Eisen, Stahl, Weicheisen und/oder weichmagnetische Verbundwerkstoffe, englisch: Soft Magnetic Composites, SMCs, umfasst. Solche Materialien sind gegenüber herkömmlichen laminierten Stahlkernen günstig bezüglich der Materialkosten, der Produktionskosten und des dreidimensionalen isotropischen ferromagnetischen Verhaltens.

**[0037]** In den **Fig. 2A** und **Fig. 2B** sind drei solcher Statormodule zusammen dargestellt. Dabei bilden die drei Spulen **2** beispielsweise ein Dreiphasensystem. Zur Verdeutlichung ist in **Fig. 2A** auch die Umfangsrichtung  $\alpha$  und die axiale Richtung  $z$  dargestellt. In **Fig. 2B** sind zur Veranschaulichung zwei der drei Modulträger mit den Statorzähnen nicht dargestellt.

**[0038]** Wie man aus den bisherigen Abbildungen erkennen kann, ist die Windungslänge entlang des Umfangs  $\alpha$  deutlich größer als die Länge der Spulen in axialer Richtung  $z$ . Dies bedeutet, dass in den axial außenliegenden Endbereichen der Spulen **2**, welche auch als Wickelköpfe bezeichnet werden können, ein wesentlicher Teil des Magnetfelds der Spule **2** erzeugt wird. Um dieses Magnetfeld zu nutzen, wird gemäß dem verbesserten Konzept vorgeschlagen, diesen Bereich in den magnetischen Fluss mit einzubeziehen, in dem Statorabdeckungen **3** beidseitig in axialer Richtung auf die Module **1** aufgesetzt werden.

**[0039]** Die **Fig. 3A**, **Fig. 3B** und **Fig. 3C** zeigen verschiedene Ausführungsformen solcher Statorabdeckungen **3**. Bei der Ausführungsform der **Fig. 3A** weist die Statorabdeckung **3** eine Nutöffnung **4** und

eine darunterliegende, sich radial erstreckende Nut **5** auf, und zwar jeweils an den Stellen, an denen die Module aufeinandertreffen. Aus perspektivischen Gründen sind in **Fig. 3A** nur zwei Nutöffnungen **4** und Nuten **5** zu sehen.

**[0040]** Die Statorabdeckungen **3** sind vorzugsweise aus den gleichen Materialien wie die Module **1** gebildet, also Eisen, Stahl, Weicheisen und/oder SMC. Es ist möglich, aber nicht erforderlich, dass die Materialien der Module **1** und der Statorabdeckungen **3** identisch sind.

**[0041]** In **Fig. 3B** weist die Statorabdeckung **3** nur entsprechende Nutöffnungen **4** auf, aber keine Nuten **5**. In **Fig. 3C** weist die Statorabdeckung **3** auch keine Nutöffnungen **4** auf.

**[0042]** Durch die Nutöffnungen **4** bzw. Nuten **5** können beispielsweise magnetische Streuflüsse reduziert oder vermieden werden.

**[0043]** **Fig. 4** stellt schließlich einen vollständigen Stator in Explosionsdarstellung dar, wobei der Stator in diesem Ausführungsbeispiel aus den in **Fig. 2A** dargestellten Modulen und zwei der in **Fig. 3A** dargestellten Statorabdeckungen **3** gebildet ist. Andere Kombinationen erkennt der Fachmann als Alternativen.

**[0044]** **Fig. 5** zeigt schließlich einen vollständigen Stator **6**, basierend auf der Implementierung der **Fig. 4**. In **Fig. 5** ist zusätzlich ein möglicher Verlauf des magnetischen Flusses dargestellt, welcher sich beispielsweise ergibt, wenn die Spulen **2** stromdurchflossen sind. Hierbei ist gut zu erkennen, dass die Wickelköpfe der Spulen **2**, die entlang des Umfangs verlaufen, über die Statorabdeckungen **3** entsprechenden magnetischen Fluss erzeugen, der sich hauptsächlich in axialer Richtung zwischen den Statorabdeckungen **3** und den Modulen **1** schließt. Ein geringerer Anteil des Flusses wird erzeugt durch die in axialer Richtung verlaufende Komponente der Spule **2**.

**[0045]** Im Vergleich zu herkömmlichen Statoranordnungen ist zu beachten, dass sämtliche Bestandteile der Spule zum magnetischen Fluss beitragen und somit zur Erzeugung von Drehmoment. Dies wird insbesondere durch die Statorabdeckungen **3** bewirkt, welche die entlang des Umfangs verlaufenden Teile der Spule umschließen und damit Effektivfluss generieren, wenn der Stator in Betrieb ist.

**[0046]** **Fig. 6** zeigt eine abgewandelte Ausführungsform eines Stators **6**, bei dem eine Statorabdeckung **3** ohne Nutöffnungen **4** beziehungsweise Nuten **5** verwendet wird. Im Übrigen gelten auch für diese Ausführungsform die zuvor beschriebenen Effekte.

**[0047]** Das verbesserte Konzept schlägt ferner eine Rotoranordnung für eine elektrische Maschine vor, die auf geringe axiale Ausdehnung und eine geringe Polpaarzahl ausgerichtet ist.

**[0048]** In den **Fig. 7A** bis **Fig. 7F** sind verschiedene Ausgestaltungen solcher Rotoren **7** dargestellt, welche jeweils einen Rotorkern **8** und wenigstens zwei entlang des Umfangs des Rotors **7** verteilte Magnete **9** umfasst. In den dargestellten Ausführungen sind alle Rotoren **7** zweipolig ausgebildet, also mit einem Polpaar. Allerdings lässt sich das nachfolgend beschriebene Prinzip auch auf höhere Polpaarzahlen übertragen.

**[0049]** In der Ausführungsform der **Fig. 7A** sind zusätzlich zu den zwei Magneten **9**, die radial magnetisiert sind, zwei zusätzliche Paare von Magneten **9'** vorgesehen. Radial magnetisiert heißt insbesondere, dass die Magnete **9** in radialer Richtung jeweils eine nach außen gerichtete erste Polarität und eine nach innen gerichtete zweite Polarität aufweisen. Die zusätzlichen Paare von Magneten **9'** sind jeweils axial benachbart zu den Magneten **9** angeordnet. Die Polarität der äußeren Magneten **9'** ist jeweils umgekehrt zur Polarität des mittleren Magneten **9**. In ähnlicher Weise weisen auch jeweilige in Umfangsrichtung benachbarte Magnete unterschiedliche Ausrichtungen ihrer Polarität auf beziehungsweise wechseln sich ab. Durch die dargestellte Anordnung der Magneten **9**, **9'** schließt sich der magnetische Fluss hauptsächlich in axialer Richtung und zu einem kleineren Teil in Umfangsrichtung durch einen jeweiligen benachbarten Magneten. Dadurch wird erreicht, dass der Umfang des Rotors keine Rolle für den magnetischen Fluss spielt und dementsprechend eine niedrige Polpaarzahl genutzt werden kann.

**[0050]** Die Ausführungsformen der **Fig. 7B** und **Fig. 7C** basieren auf der Ausführungsform des Rotors von **Fig. 7A**, wobei die äußeren Magnete **9'** jeweils eine Schrägung gegenüber den mittleren Magneten **9** aufweisen, also eine Verschiebung in Umfangsrichtung. Beispielsweise ist diese Schrägung eine einstufige Schrägung um einen Winkel  $\alpha_x$ . Diese Art der Polverschiebung könnte für weitere Verbesserungen der Maschinenleistung, wie z.B. Drehmomentwelligkeiten, Vibrationen usw. effizient sein.

**[0051]** Der Winkel  $\alpha_x$  der Schrägung liegt beispielsweise zwischen  $0^\circ$  und  $20^\circ$ , jeweils als elektrischer Winkel betrachtet.

**[0052]** In **Fig. 7B** ist der vollständige Rotor **7** dargestellt, während in **Fig. 7C** zur Veranschaulichung der Rotorkern **8** nicht dargestellt ist.

**[0053]** In den Ausführungsformen der **Fig. 7D** und **Fig. 7E** sind gegenüber den **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** nur die jeweils mittleren Magnete **9** vorhanden, sodass

sich der magnetische Fluss über die benachbart liegenden Rotorzähne **10** erstreckt. Die **Fig. 7D** und **Fig. 7E** unterscheiden sich dadurch, dass bei dem Rotor der **Fig. 7D** die Magnete sozusagen in einer Ebene mit den Rotorzähnen **10** eingebettet liegen, während bei der **Fig. 7E** die Magnete **9** erhaben bezüglich der Rotorzähne **10** angeordnet sind. Dennoch ergibt sich bei beiden Ausführungsformen bezüglich des magnetischen Flusses ein analoges Verhalten in Bezug zur Ausführungsform der **Fig. 7A**.

**[0054]** Bei der Ausführungsform der **Fig. 7F** sind in dem geteilten Rotorkern **8** zwei Paare von in axialer Richtung magnetisierten Magnete **9** vorgesehen, wobei die Polarisierungen der Magnete **9** eines Paares unterschiedlich sind. Dies ist auch durch die entsprechenden Pfeile ersichtlich, die den magnetischen Fluss darstellen. Trotz der anderen Polarisierung der Magnete **9** ergibt sich ein Schluss des magnetischen Flusses hauptsächlich in axialer Richtung.

**[0055]** Der Stator und der Rotor gemäß dem verbesserten Konzept können gemeinsam zu einer elektrischen Maschine zusammengefügt werden. Nachfolgend werden verschiedene Ausgestaltungen hierfür anhand der Zeichnungen beschrieben. Grundsätzlich ist es dabei vorteilhaft, wenn die Geometrien des Stators und des Rotors aneinander angepasst sind, beispielsweise in Bezug auf die Dimensionen der Spulen **2** beziehungsweise der Magnete **9** und, wenn vorhanden, **9'**. In den **Fig. 8A**, **Fig. 8B** und **Fig. 8C** sind zum Beispiel verschiedene Ansichten einer Ausgestaltung einer elektrischen Maschine **20** dargestellt. So zeigt die **Fig. 8A** die elektrische Maschine beispielsweise mit einem innenliegenden Stator **6** gemäß der in **Fig. 5** beschriebenen Ausführungsform sowie einem außenliegenden Rotor **7** gemäß der in **Fig. 7A** beschriebenen Ausführungsform.

**[0056]** In **Fig. 8B** ist eine teilweise Schnittdarstellung gewählt, bei dem der außenliegende Rotor **7** nur hälftig dargestellt ist, sodass die geometrische Beziehung zwischen der Anordnung der Magnete **9** beziehungsweise **9'** bezüglich der Spulen (nicht sichtbar) und der Module **1** erkennbar ist. In **Fig. 8C** sind durch das Weglassen einer Statorabdeckung **3** auch die Spulen **2** sichtbar.

**[0057]** In den **Fig. 9A** bis **Fig. 9D** sind verschiedene Ansichten einer weiteren Ausgestaltung einer elektrischen Maschine **20** dargestellt, welche beispielsweise mit einem innenliegenden Stator **6** gemäß **Fig. 6** und einem außenliegenden Rotor **7** gemäß **Fig. 7F** ausgebildet ist. **Fig. 9A** zeigt die elektrische Maschine **20** in ihrer Gesamtansicht. In **Fig. 9B** ist eine Schnittansicht gewählt, bei der zusätzlich magnetische Flusslinien dargestellt sind, die radial und axial durch den Stator und den Rotor laufen. Hier ist gut zu erkennen, dass die entlang des Umfangs verlaufenden

den Teile der Spule vollständig zum Effektivfluss und damit zur Erzeugung von Drehmoment beitragen.

[0058] In **Fig. 9C** ist aus Übersichtsgründen eine Hälfte des außenliegenden Rotors **7** weggelassen. In **Fig. 9D** ist wiederum eine der Statorabdeckungen **3** nicht dargestellt.

[0059] In den **Fig. 10A** und **Fig. 10B** ist eine weitere Ausgestaltung einer elektrischen Maschine in einer vollständigen und in einer Schnittansicht dargestellt. Hierbei ist der Rotor **7** beispielsweise gemäß **Fig. 7A** ausgeführt, während der Stator **6** mit Statorabdeckungen **3** ohne Nuten oder Nutöffnungen, wie etwa in **Fig. 3C** dargestellt, ausgebildet ist. In Analogie zu **Fig. 9B** ist in **Fig. 10B** wiederum der Verlauf des magnetischen Flusses durch die Spulen dargestellt, welcher radial und axial verläuft, während ein geringer Anteil am Übergang zwischen den beiden Polen des Rotors entlang des Umfangs erfolgt.

[0060] In **Fig. 11A**, **Fig. 11B** und **Fig. 11C** sind Ausgestaltungen einer elektrischen Maschine 20a mit einem Innenrotor dargestellt. Dabei ist in **Fig. 11A** ein Teil des Stators mit den drei Spulen sowie lediglich einem Statorzahnmodul gezeigt. In den **Fig. 11B** und **Fig. 11C** ist die komplette elektrische Maschine dargestellt, wobei lediglich die Abdeckung in einem Modulbereich nicht dargestellt ist.

[0061] In den **Fig. 12A** und **Fig. 12B** ist eine weitere Ausgestaltung einer elektrischen Maschine 20a mit Innenrotor dargestellt. Der Stator ist dabei ohne Nuten ausgebildet und der Rotor analog zu **Fig. 7A**, wobei die Magnete radial nach außen gerichtet sind.

[0062] In den zuvor beschriebenen Ausführungsformen wurde der Stator jeweils mit drei Modulen beziehungsweise drei Spulen dargestellt. Allerdings lässt sich der beschriebene Ansatz auch auf eine größere Anzahl von Modulen erweitern. In der Ausgestaltungsform in **Fig. 13A** ist hierbei beispielsweise ein Stator mit sechs Modulen und entsprechend sechs Spulen dargestellt, wobei die Statorabdeckungen entsprechend auch sechs Nuten und Nutöffnungen aufweisen. In **Fig. 13B** ist zur Veranschaulichung ein einzelnes der sechs Module dargestellt. Abwandlungen entsprechend der verschiedenen Ausführung mit drei Spulen bzw. Modulen sind möglich.

[0063] In den **Fig. 14A**, **Fig. 14B** und **Fig. 14C** ist eine Anordnung dargestellt, die aus zwei potentiell identischen elektrischen Maschinen **20**, **20'** gemäß einer der zuvor beschriebenen Ausführungsformen ausgebildet ist. Durch das schmale Design, also die geringe axiale Ausdehnung der elektrischen Maschine können mehrere solcher elektrischen Maschinen modularartig zusammengesetzt werden, wenn beispielsweise ein höheres Drehmoment benötigt wird und/oder ausreichend Platz in axialer Richtung vor-

handen ist. Damit können dieselben Motormodule für verschiedene Anwendungen unterschiedlichen Bedarfs verwendet werden.

[0064] Während die **Fig. 14A** die komplette Anordnung zeigt, ist in **Fig. 14B** einer der außenliegenden Rotoren nicht dargestellt.

[0065] In **Fig. 14C** sind beide Rotoren weggelassen und nur die innenliegenden Statoren **6**, **6'** dargestellt. Die beiden elektrischen Maschinen sind hierbei in axialer Richtung miteinander verbunden.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Modul
<b>2</b>	Spule
<b>3</b>	Stator-Abdeckung
<b>4</b>	Nutöffnung
<b>5</b>	Nut
<b>6, 6'</b>	Stator
<b>7</b>	Rotor
<b>8</b>	Rotorkern
<b>9, 9'</b>	Magnet
<b>10</b>	Rotorzahn
<b>20, 20'</b>	Elektrische Maschine

#### Patentansprüche

1. Stator für eine elektrische Maschine, umfassend
  - mindestens drei Module (1), die entlang des Umfangs des Stators verteilt sind,
  - wobei die Module (1) je eine Spule (2) einer mehrphasigen zahnkonzentrierten Wicklung tragen, und
  - wobei die Module (1) einschließlich der Spulen (2) in axialer Richtung von je einer Stator-Abdeckung (3) abgedeckt sind.
2. Stator nach Anspruch 1, bei dem die Stator-Abdeckungen (3) dazu eingerichtet sind, im Betrieb der Maschine Effektivfluss zu generieren und damit zur Erzeugung von Drehmoment beizutragen.
3. Stator nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Stator-Abdeckungen (3) zwischen den Modulen (1) je eine Nutöffnung (4) und/oder eine Nut (5) aufweisen.
4. Stator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die Spulen (2) im Wesentlichen rechteckförmig ausgebildet sind.
5. Stator nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Module (1) und /oder die Stator-Abdeckungen (3) Eisen, Stahl, Weicheisen und/oder weichmagnetische Verbundwerkstoffe umfassen.

6. Stator nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem jedem Modul (1) eine elektrische Phase eines elektrischen Mehrphasensystems zugeordnet ist, das mit der mehrphasigen zahnkonzentrierten Wicklung verbindbar ist.

7. Rotor für eine elektrische Maschine, der wenigstens zwei entlang des Umfangs des Rotors verteilte Magnete (9) umfasst, bei denen sich der magnetische Fluss hauptsächlich in axialer Richtung und zu einem kleineren Teil in Umfangsrichtung durch einen jeweiligen benachbarten Magneten (9) schließt.

8. Rotor nach Anspruch 7, der zweipolig ausgebildet ist.

9. Rotor nach Anspruch 7 oder 8, bei dem jeweilige in Umfangsrichtung benachbarte Magnete (9) unterschiedliche Ausrichtungen ihrer Polarität aufweisen.

10. Rotor nach einem der Ansprüche 7 bis 9, bei dem die Magnete (9) in radialer Richtung magnetisiert sind und insbesondere in radialer Richtung jeweils eine nach außen gerichtete erste Polarität und eine nach innen gerichtete zweite Polarität aufweisen.

11. Rotor nach Anspruch 10, ferner aufweisend wenigstens zwei weitere entlang des Umfangs des Rotors verteilte Magnete (9'), die in axialer Richtung benachbart, insbesondere paarweise benachbart, zu den wenigstens zwei Magneten (9) angeordnet sind.

12. Rotor nach einem der Ansprüche 7 bis 9, der wenigstens zwei Paare von entlang des Umfangs des Rotors verteilten Magneten (9) umfasst, wobei

- die Magnete (9) in axialer Richtung magnetisiert sind und insbesondere in axialer Richtung jeweils eine erste Polarität und eine dazu entgegengesetzt gerichtete zweite Polarität aufweisen; und
- axial benachbarte Magnete unterschiedliche Ausrichtungen ihrer Polarität aufweisen.

13. Elektrische Maschine (20) mit einem Stator (6) nach einem der Ansprüche 1 bis 6 und einem Rotor (7) nach einem der Ansprüche 7 bis 12.

14. Elektrische Maschine nach Anspruch 13 mit einem weiteren Stator (6') nach einem der Ansprüche 1 bis 6 und einem weiteren Rotor nach einem der Ansprüche 7 bis 12, die jeweils in axialer Richtung benachbart zu dem Stator (6) und dem Rotor (7) angeordnet sind.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

Fig 1A

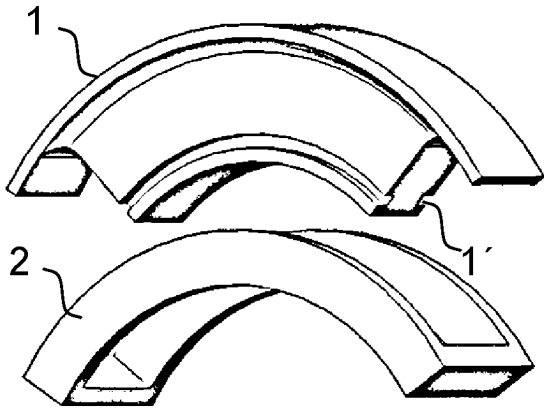


Fig 1B

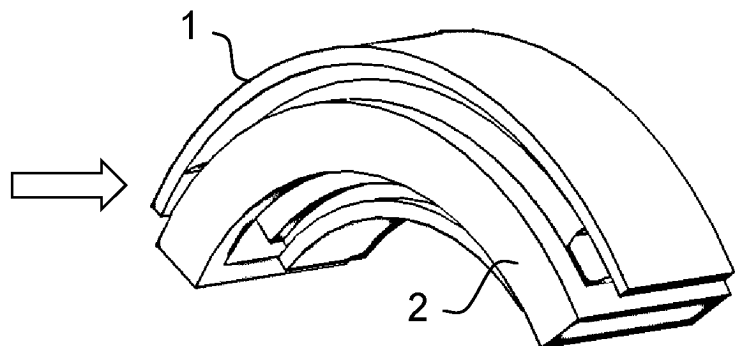


Fig 2A

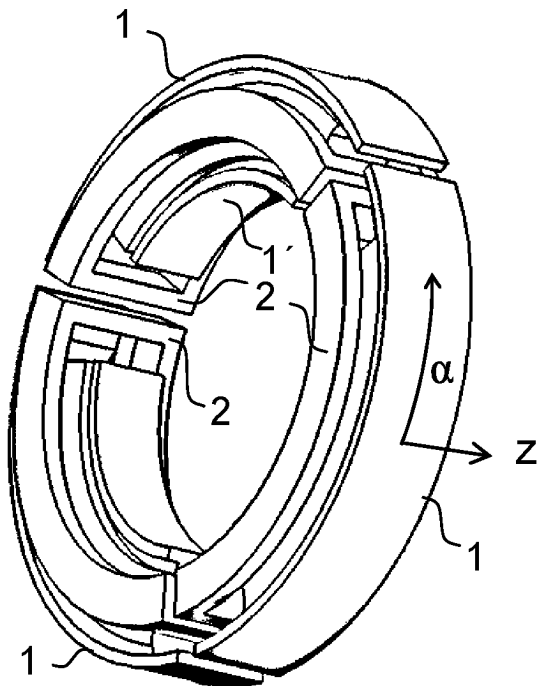
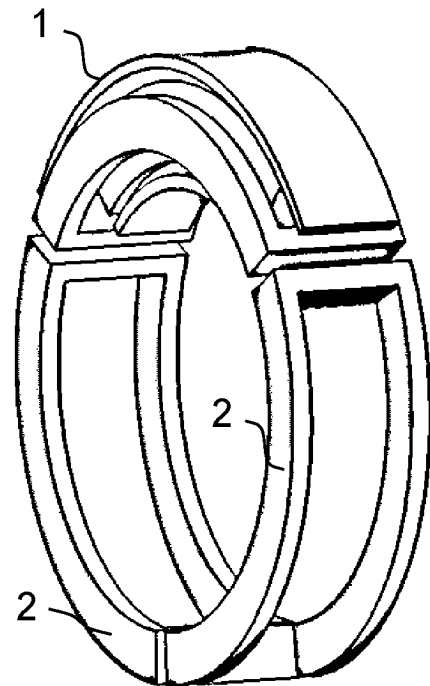
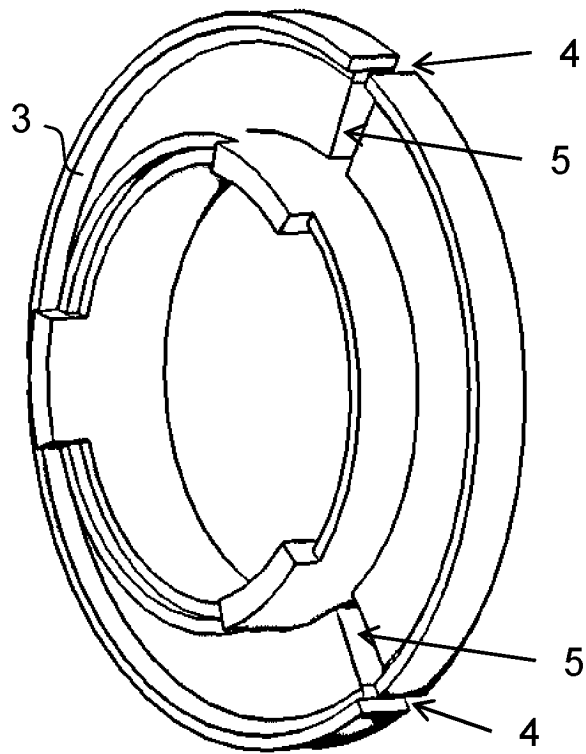


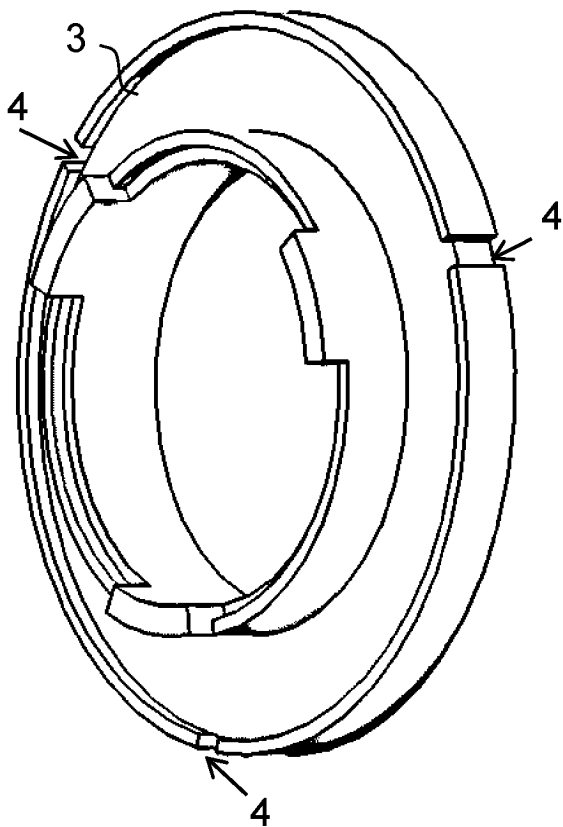
Fig 2B



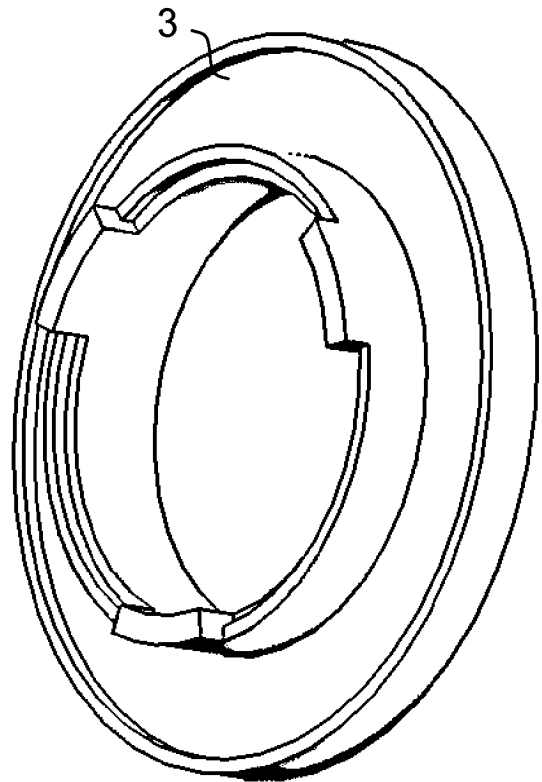
**Fig 3A**



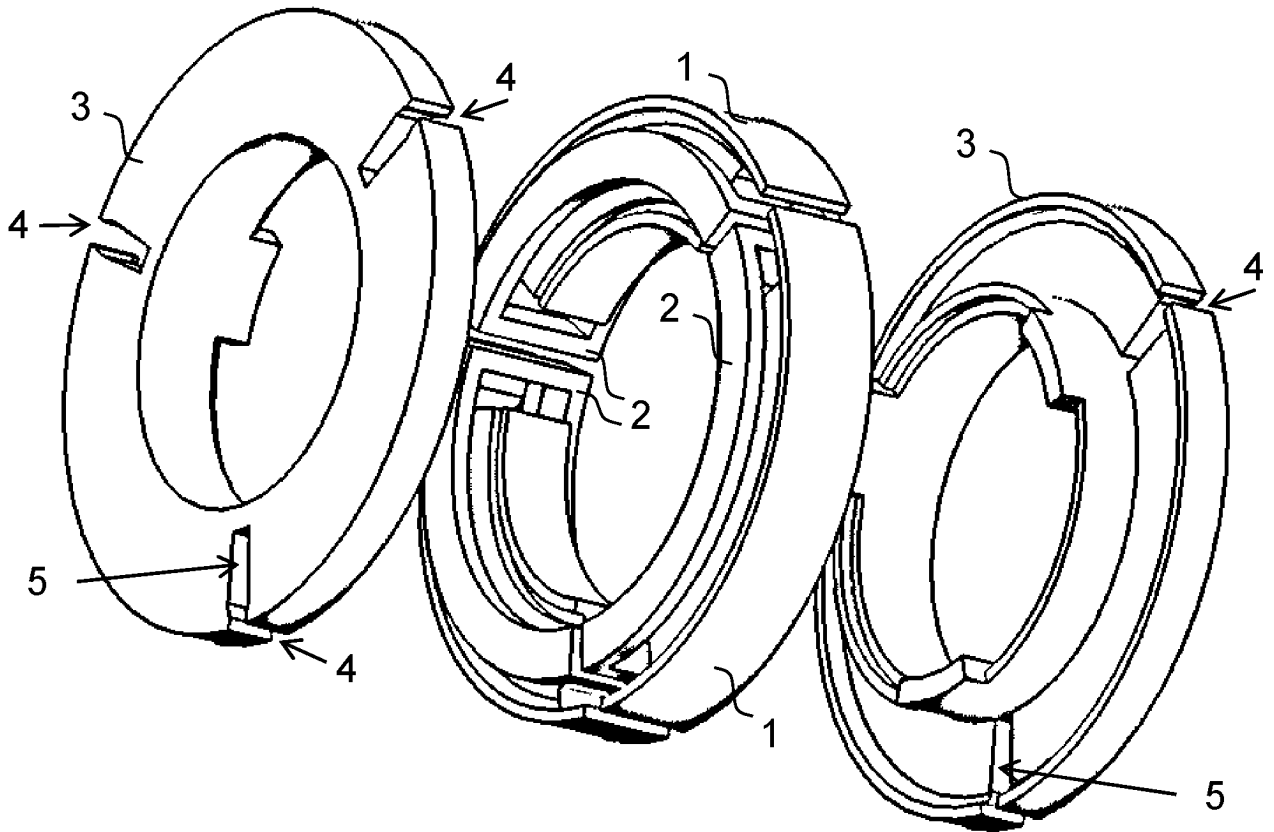
**Fig 3B**



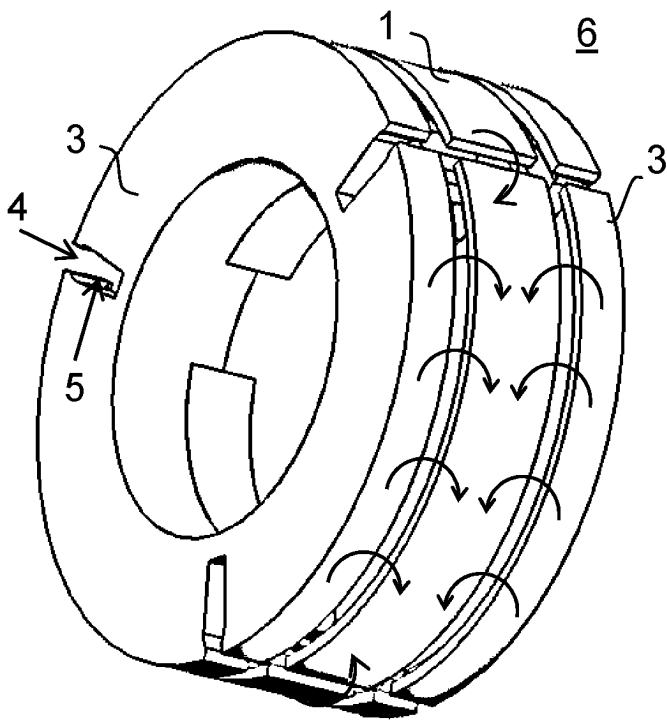
**Fig 3C**



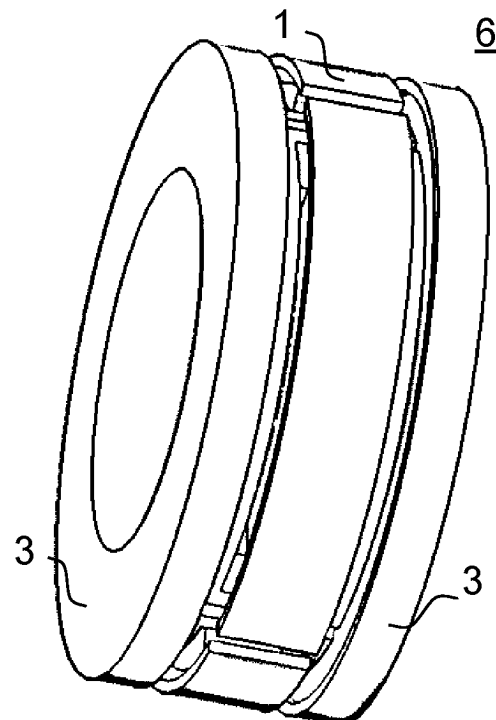
**Fig 4**



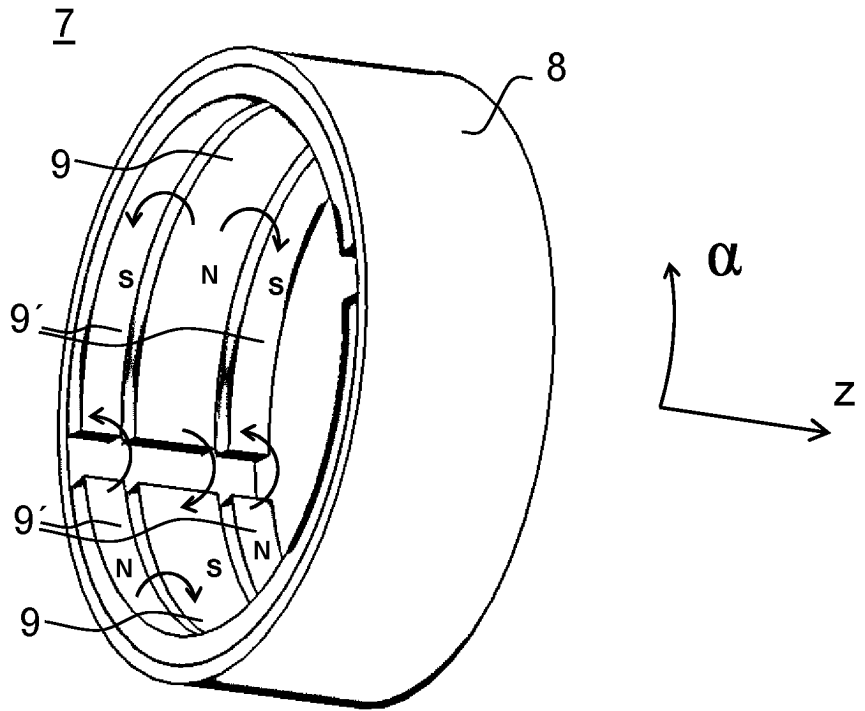
**Fig 5**



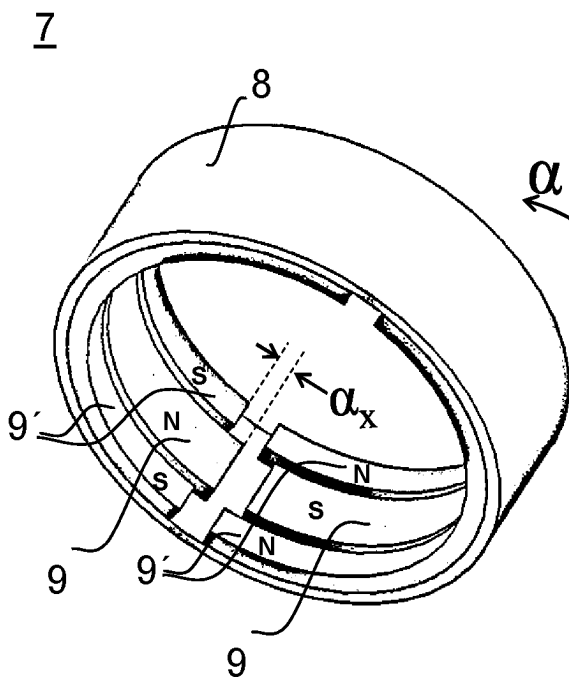
**Fig 6**



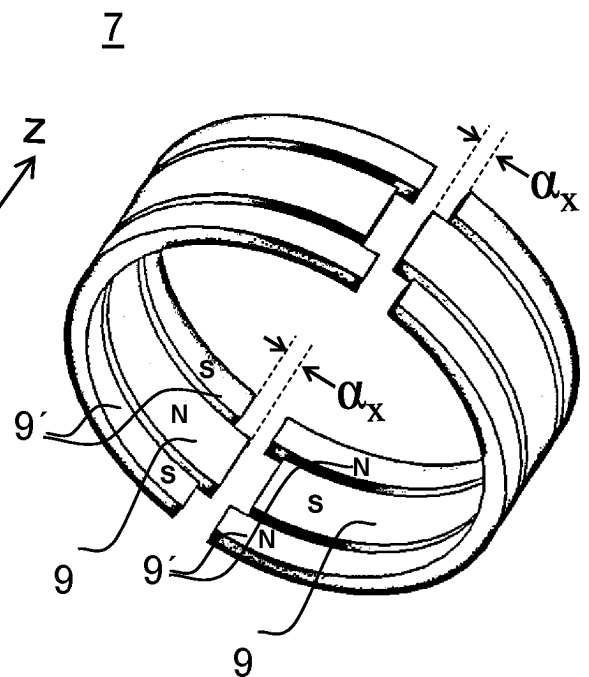
**Fig 7A**



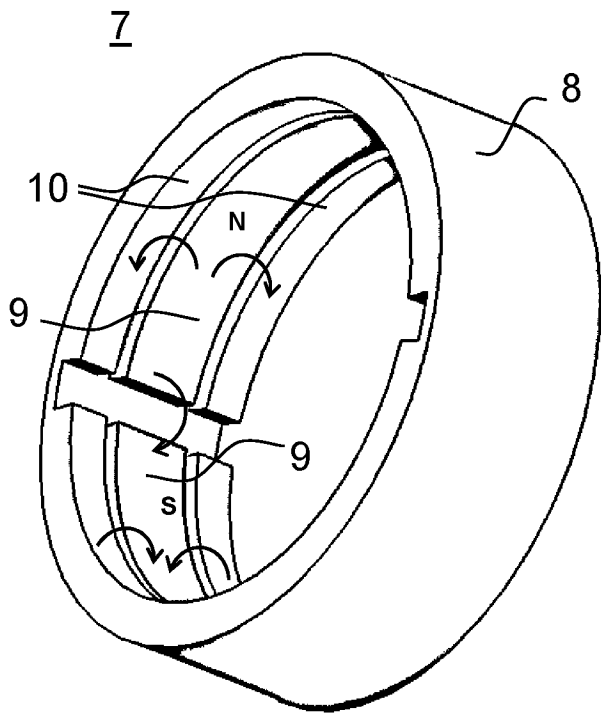
**Fig 7B**



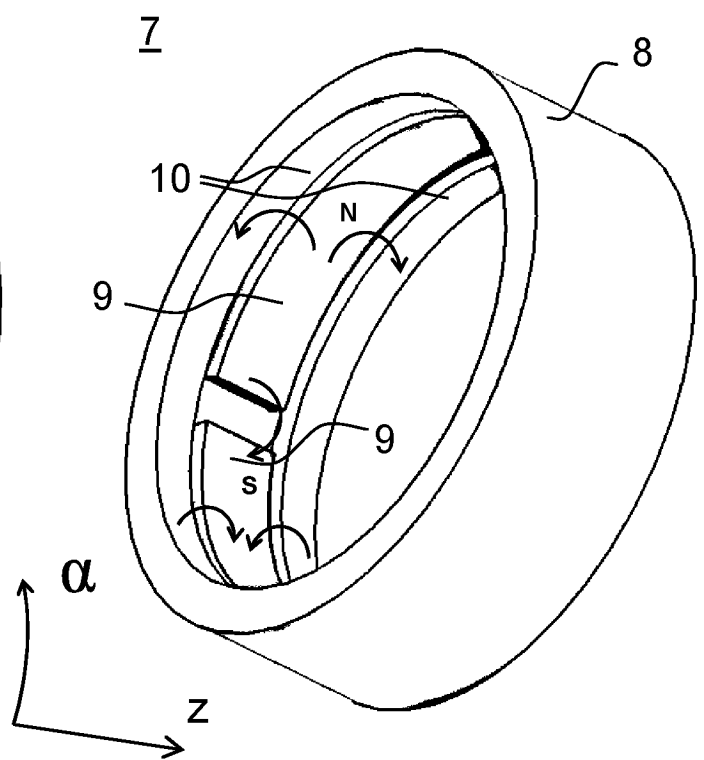
**Fig 7C**



**Fig 7D**



**Fig 7E**



**Fig 7F**

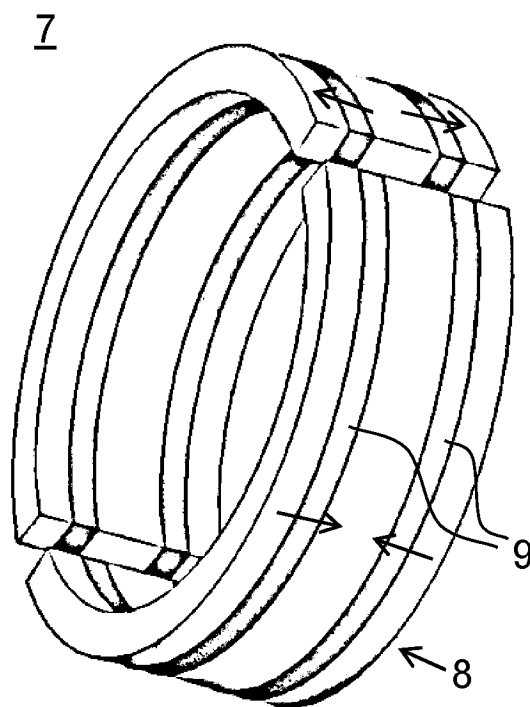


Fig 8A

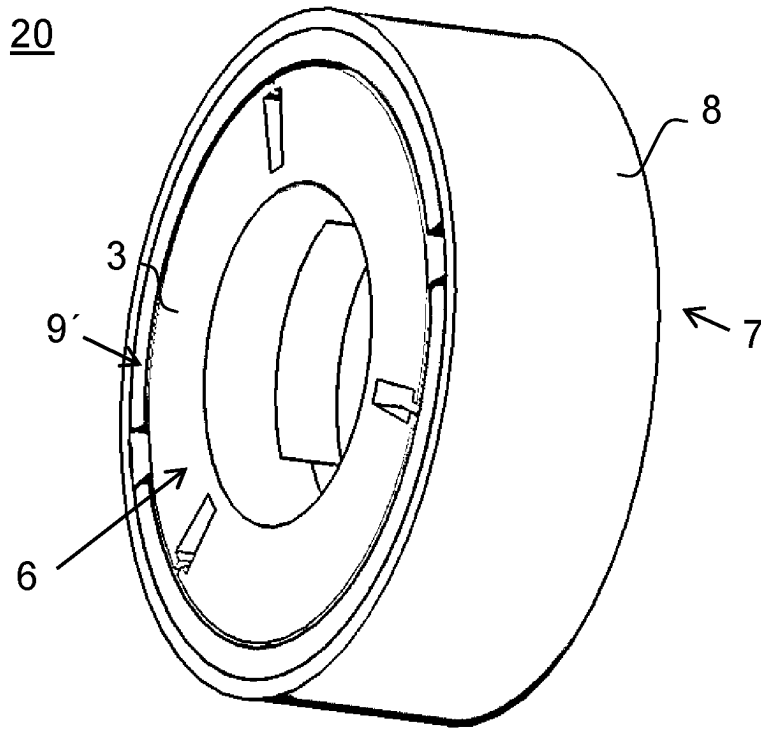


Fig 8B

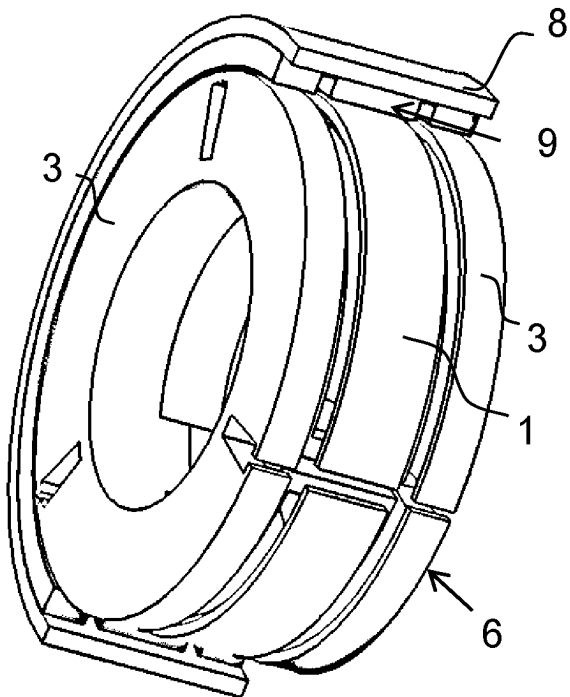
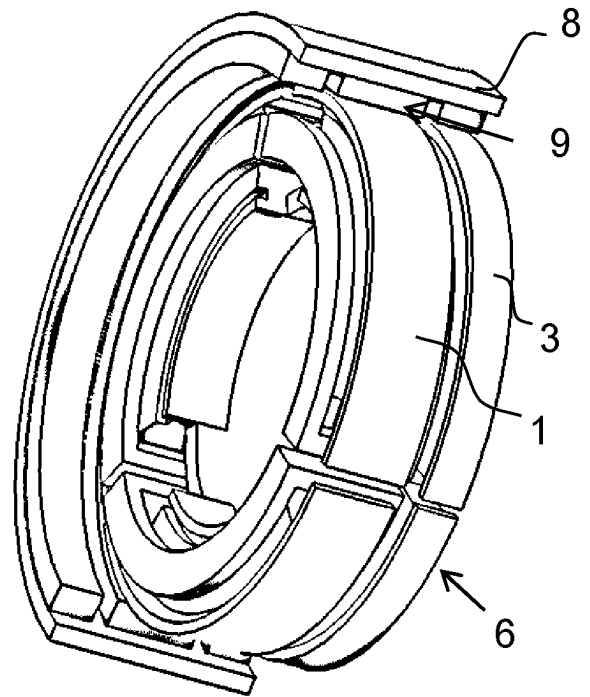
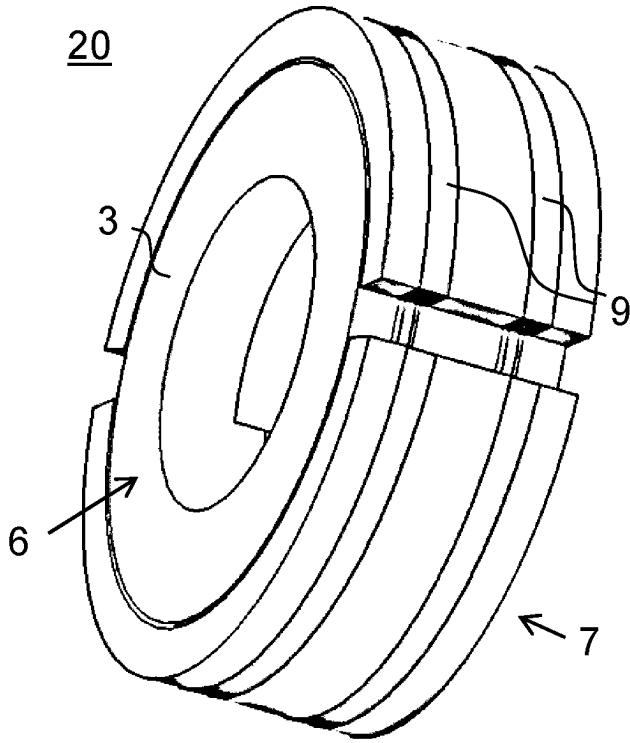


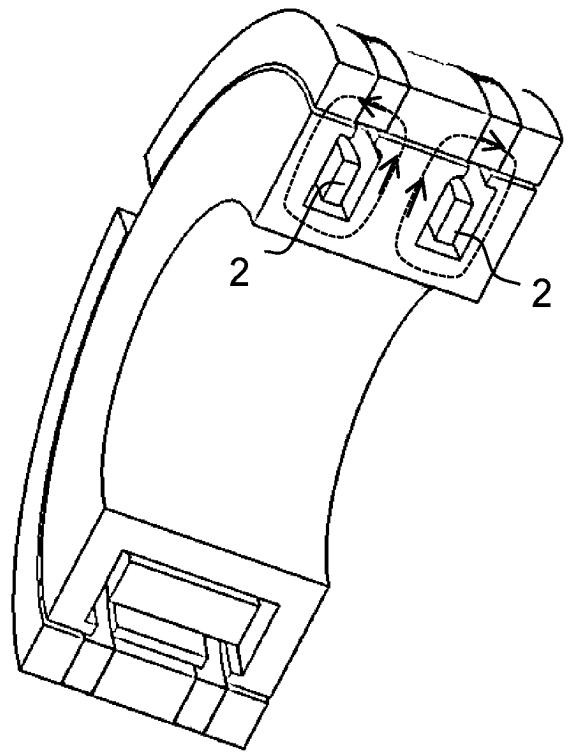
Fig 8C



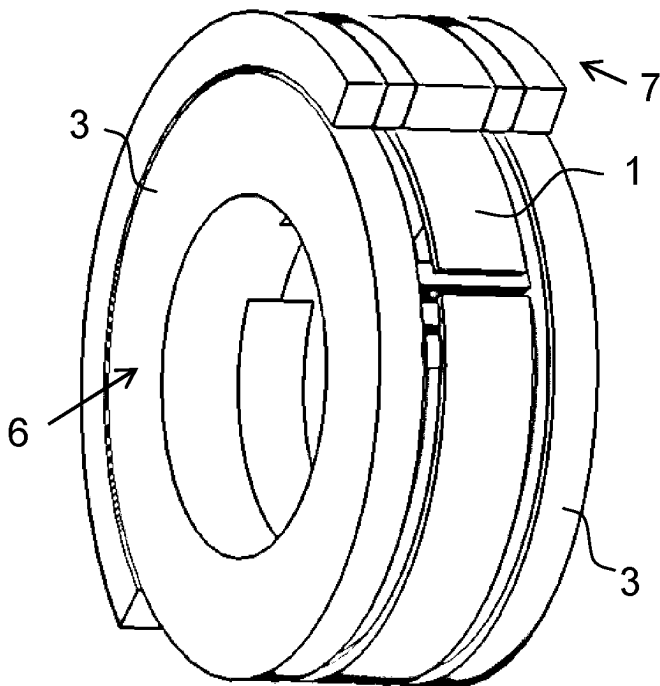
**Fig 9A**



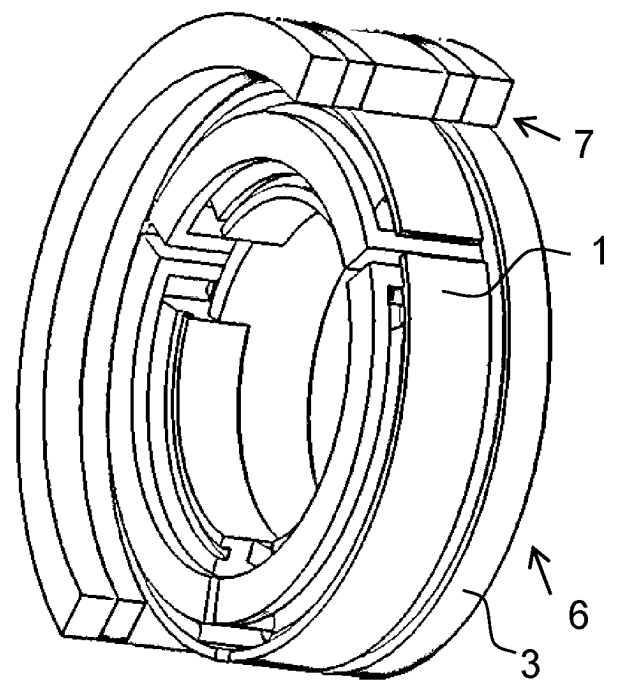
**Fig 9B**



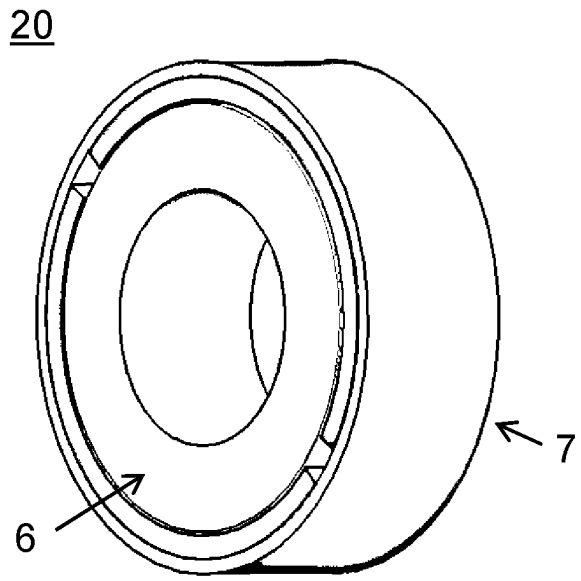
**Fig 9C**



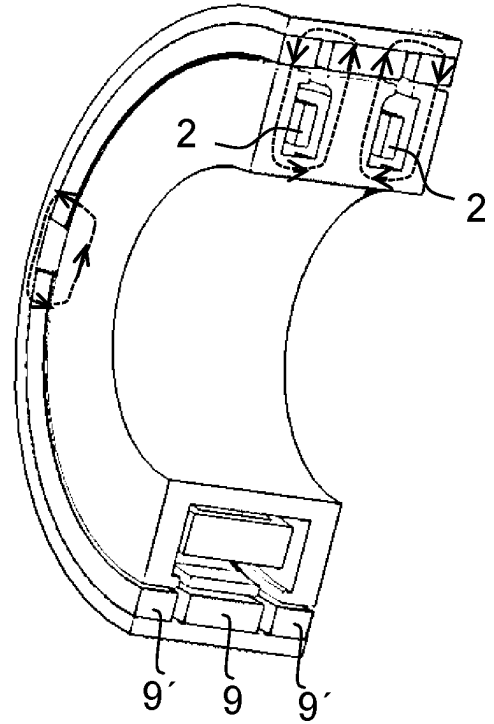
**Fig 9D**



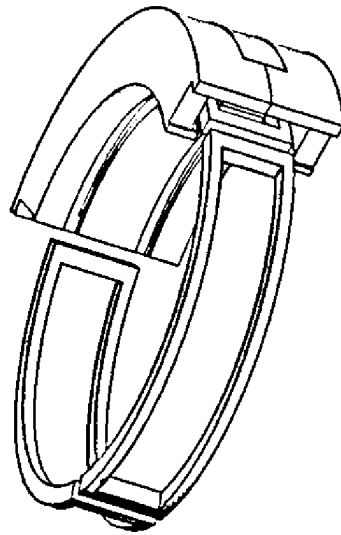
**Fig 10A**



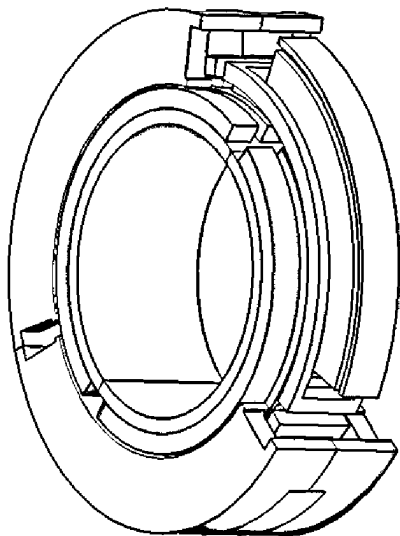
**Fig 10B**



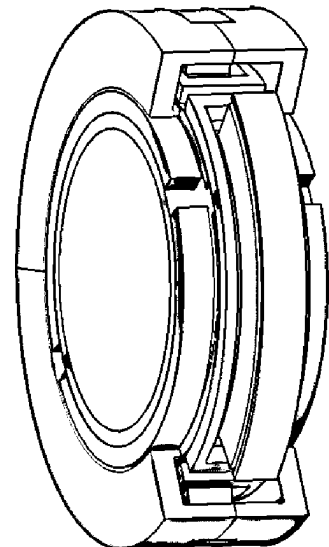
**Fig 11A**



**Fig 11B**



**Fig 11C**



20a



Fig 12A

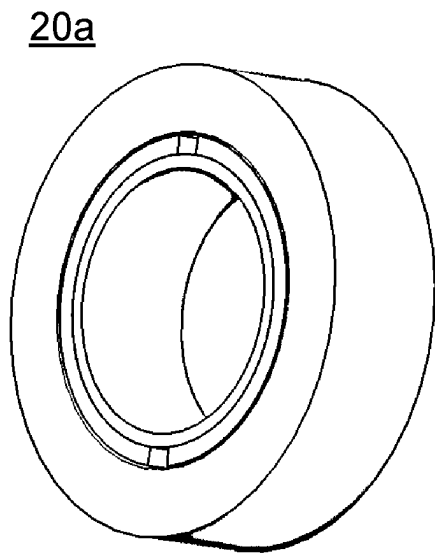


Fig 12B

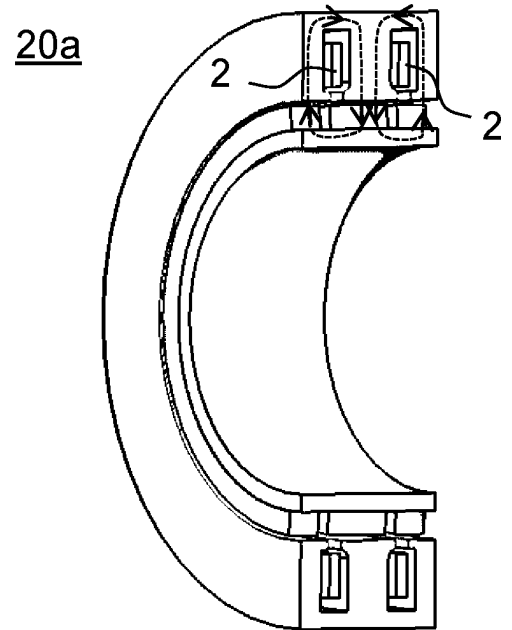


Fig 13A

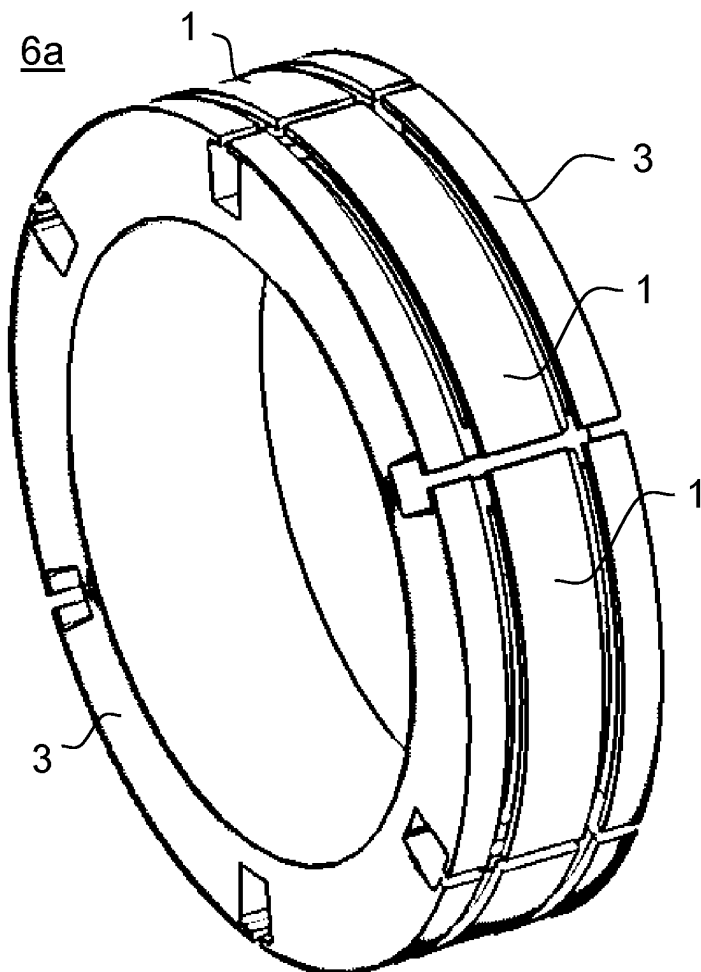
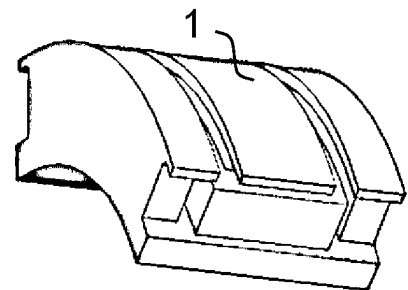
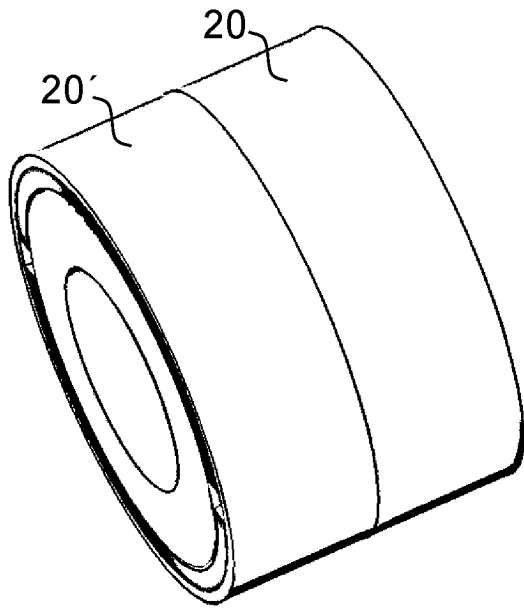


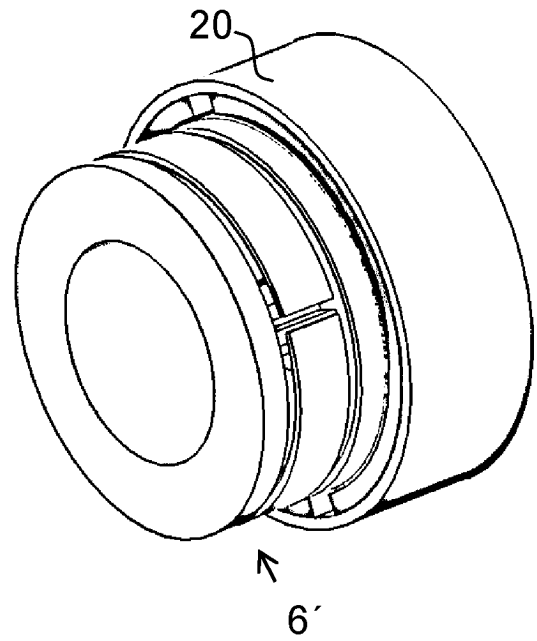
Fig 13B



**Fig 14A**



**Fig 14B**



**Fig 14C**

