



Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Elektrischer Kompaktantrieb und Verfahren zu dessen Betrieb

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und insbesondere ein Verfahren zur elektromechanischen Erzeugung von Rotation.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine einfache und besonders kompakte Vorrichtung für die elektromechanische Erzeugung steuerbarer Rotation anzugeben. Insbesondere sollen Drehrichtung, Drehgeschwindigkeit, Drehmoment und/oder Leistung elektrisch steuer- und/oder regelbar sein, wobei ein solcher Antrieb ein minimales Volumen aufweisen soll.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur elektromechanischen Erzeugung von Rotation umfasst einen Stator, einen Rotor, eine Anzahl von Aktoren und ein diese aufnehmendes Gehäuse, wobei der Stator und der Rotor axial ineinander angeordnet sind und im Betrieb mindestens eines Aktors mittels eines Bewegers an mindestens einer Position miteinander gekoppelt sind, wobei der Beweger um eine raumfeste Achse drehbar und/oder kippbar ist.

Dabei ist der Beweger um einen vorgegebenen Kippwinkel um die raumfeste Achse kippbar und somit dessen Kippbewegung begrenzt. Der Kippwinkel liegt insbesondere in einem Winkelbereich von 5° bis 20°, insbesondere von 10° bis 15° oder 5° bis 10°, insbesondere 0.5° bis 5°. Dabei ist der Beweger sowohl zum Stator als auch zum Rotor derart

angeordnet und derart eingerichtet, dass dieser im Betrieb des Aktors sich kämmend oder rollend sowohl am Stator als auch am Rotor abwälzt. Alternativ kann sich der Beweger auch nur am Stator oder nur dem Rotor abwälzen, wenn die andere Zahnungspaarung durch eine Koppelstruktur ersetzt ist. Dies kann stirnseitig, insbesondere an zumindest einer Stirnseite, oder seitlich aufeinander bzw. ineinander kämmend oder rollend erfolgen.

Der Beweger kann gegenüber einer Trägerstruktur, insbesondere einem Gehäuse oder einem Rotor, mittels biegeweicher und drehsteifer Lagerungsmittel auch drehfest und kippbar gelagert oder verbunden sein. Das Lagerungsmittel ersetzt in diesem Fall eine der Zahnungs- oder Rollpaarungen, beispielsweise die zwischen Beweger und Gehäuse, wenn das Lagerungsmittel zwischen diesen Elementen angeordnet ist oder diejenige zwischen Beweger und Rotor, falls sich das Lagerungsmittel zwischen diesen Elementen befindet.

Eine solche Vorrichtung ist besonders kompakt ausgeführt und ermöglicht hohe Drehmomente und Wirkungsgrade sowie einen geräuscharmen Betrieb und hohe Leistungen.

Eine Ausführungsform sieht vor, dass der Beweger und das Gehäuse mittels zugehöriger und einander gegenüberliegender Lagerflächen an einem gemeinsamen Lagerungsmittel abgestützt sind. Beispielsweise ist das Lagerungsmittel kugelförmig ausgebildet, wodurch sowohl eine Dreh- als auch eine Kippbewegung ermöglicht ist. Dabei kann der Beweger als eine Kreisscheibe mit einer mittigen Aussparung ausgebildet sein, wobei die Aussparung eine zur Außenform des Lagerungsmittels korrespondierende Form, insbesondere korrespondierende Abmessungen und/oder Kontur, aufweist.

Eine weitere Ausführungsform sieht vor, dass zwischen dem Rotor und dem Beweger ein Druckfederelement angeordnet ist. Hierdurch ist der Beweger und das Lagerungsmittel gegenüber dem Stator, zum Beispiel einem Gehäuse, und gegenüber dem Rotor, zum Beispiel einer Motorwelle, spielfrei gehalten.

Des Weiteren umfasst die Vorrichtung mindestens eine Arretiervorrichtung, mittels welcher der Rotor gegen ein axiales Verschieben gesichert ist.

Gemäß einer Weiterbildung bilden der Stator und der Rotor eine Trägerstruktur, wobei im Betrieb des Aktors auf den Beweger derart um die raumfeste Achse umlaufende Kräfte ausübbar sind, dass der Beweger und die Trägerstruktur aufeinander oder ineinander kämmend oder rollend abwälzen, so dass der Rotor in Rotation versetzt wird. Beispielsweise können diese stirnseitig oder seitlich an ringförmig umlaufenden Rippen oder Stegen aufeinander bzw. ineinander kämmend oder rollend abwälzen.

Dazu weist der Beweger beispielsweise an der in Richtung des Rotors und des Stators liegenden Oberfläche, zum Beispiel an der Stirnseite oder an Seitenflächen abstehender konzentrischer Rippen oder Stege, eine erste Bewegerzahnung und eine zweite Bewegerzahnung auf. Dabei sind die erste Bewegerzahnung und die zweite Bewegerzahnung beispielsweise konzentrisch um einen Mittelpunkt des Bewegers angeordnet. Mit anderen Worten: Die beiden Bewegerzahnungen sind kreis- oder ringförmig ausgebildet und radial voneinander beabstandet und bilden eine radial innere Zahnung und eine radial äußere Zahnung.

Die beiden - der Stator und der Rotor - eine Trägerstruktur bildenden Komponenten der Vorrichtung weisen hierbei in Richtung des Bewegers eine erste Trägerzahnung und eine zweite Trägerzahnung auf, die konzentrisch um die raumfeste Achse angeordnet sind. Im Betrieb des

Aktors sind auf den Beweger derart um die raumfeste Achse umlaufende Kräfte ausübbar, dass die beiden Bewegerzahnungen mit den Trägerzahnungen kämmend oder rollend abwälzen, so dass der Rotor in Rotation versetzt wird.

Zusätzlich kann dabei die Trägerstruktur um die raumfeste Achse drehbar ausgebildet sein.

Darüber hinaus ist der Beweger zumindest bereichsweise oder vollständig aus einem ferromagnetischen Material und/oder einem Permanentmagnet gebildet, so dass elektromagnetische Kräfte auf diese Bereiche ausgeübt werden können und der Beweger in Bewegung versetzt werden kann.

Zur Ausübung solcher elektromagnetischen Kräfte sind beispielsweise um die raumfeste Achse mehrere Elektromagnetspulen ringförmig angeordnet.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe auch durch ein Antriebssystem mit einer ersten raumfesten Achse und einen Beweger mit einer um die raumfeste Achse dreh- und/oder kippbaren zweiten Achse, gelöst.

Insbesondere weist das Antriebssystem mindestens eine Welle, insbesondere Motorwelle, auf, die um die raumfeste Achse in einer Trägerstruktur, insbesondere einem Gehäuse, drehbar gelagert ist. Dabei bildet die raumfeste Achse beispielsweise die Drehachse, um welche die zweite Achse unter einem Winkel zur raumfesten Achse bewegbar ist.

Insbesondere weisen der Beweger und/oder die Trägerstruktur Aktoren, vorzugsweise elektromechanische Aktoren, elektromagnetische Aktoren und/oder Festkörperaktoren auf, durch die der Beweger bewegbar ist. Insbesondere weisen Welle und/oder Trägerstruktur und/oder Beweger Elemente der Getriebetechnik, beispielsweise Zahnräder, Rollräder,

Kurvenscheiben, Taumelscheiben, Kippscheiben, Exzenter etc. auf, sind mit solchen verbunden und/oder bestehen ganz und/oder teilweise aus solchen, mittels derer die räumlichen Freiheitsgrade des Bewegers derart eingeschränkt sind, dass die zweite Achse durch Kräfte der Aktoren vorzugsweise um die raumfeste Achse bewegbar ist und durch die Elemente der Getriebetechnik des Bewegers und/oder der Trägerstruktur und/oder der Motorwelle, insbesondere durch deren mechanische Wechselwirkung, beispielsweise durch kämmendes oder rollendes Abwälzen, die Motorwelle in Rotation versetzbar ist.

Insbesondere weist ein Beweger mindestens eine erste um die zweite Achse umlaufende Zahnung Z1 (auch Bewegerzahnung Z1 genannt) auf. Vorteilhafterweise weist ein Beweger eine zweite um die zweite Achse umlaufende Zahnung Z2 (auch Bewegerzahnung Z2 genannt) auf.

Die Trägerstruktur weist mindestens eine um die raumfeste Achse drehbar gelagerte Welle mit einer Zahnung M1 (auch Trägerzahnung M1 genannt) auf. Insbesondere kann die Trägerstruktur eine zweite um die raumfeste Achse drehbar gelagerte Welle mit einer Zahnung M2 (auch Trägerzahnung M2 genannt) aufweisen.

Außerdem kann die Trägerstruktur eine um die raumfeste Achse konzentrisch in einem Abstand umlaufende, mit der Trägerstruktur fest verbundene Gehäusezahnung G1 aufweisen oder die Trägerstruktur weist eine zweite um die raumfeste Achse drehbar gelagerte Welle mit einer Zahnung M2 auf.

Vorteilhafterweise sind die Zahnungen Z1 und M1 ineinander oder aufeinander abwälzbar. Vorteilhafterweise sind die Zahnungen Z2 und G1 ineinander oder aufeinander abwälzbar oder die Zahnungen Z2 und M2 sind ineinander oder aufeinander abwälzbar.

Die Zahnung Z1 korrespondiert somit mit der Zahnung M1 und die Zahnung Z2 korrespondiert mit der Zahnung G1 oder die Zahnung Z1 korrespondiert mit der Zahnung M1 und die Zahnung Z2 korrespondiert mit der Zahnung M2.

Insbesondere können durch Aktoren auf den Beweger um die raumfeste Achse umlaufende Kräfte ausgeübt werden, die zu einem Abwälzen der Zahnung Z1 in/auf der korrespondierenden Zahnung M1 und zu einem Abwälzen der Zahnung Z2 in/auf der Zahnung G1 führen, wodurch die Welle in Rotation versetzt wird, oder die Zahnung Z1 wälzt sich in/auf der korrespondierenden Zahnung M1 einer ersten Welle und die Zahnung Z2 wälzt sich in/auf der korrespondierenden Zahnung M2 einer zweiten Welle ab, wodurch die erste Welle gegenüber der zweiten Welle in Rotation versetzt wird.

Insbesondere kann auch die Trägerstruktur selbst um die raumfeste Achse drehbar sein, so dass die Drehung der Trägerstruktur überlagert wird. Vorzugsweise weisen die Polschuhe eine Zahnung G1 auf, in der sich eine der Zahnungen des Bewegers, insbesondere die Zahnung Z2, abwälzen kann. Insbesondere können die Polschuhe eine hierzu geeignete Form aufweisen, die ein kontinuierliches formschlüssiges Abwälzen insbesondere der Zahnung Z2 in der Zahnung G1 der Polschuhe ermöglicht. Insbesondere kann die durch die Polschuhe gebildete Zahnung eine durchbrochene Zahnung, mit Zahnlücken, oder eine geschlossene Zahnung sein.

Beispielsweise können die gezahnten Polschuhe eine Breite aufweisen, derart, dass die Lücke zwischen benachbarten Polschuhen hinreichend klein wird, so dass ein kontinuierliches kämmendes Abwälzen einer zu der Polschuhzahnung korrespondierenden Zahnung gewährleistet ist, jedoch

hinreichend groß, um einen magnetischen Nebenschluss von einem Polschuh zu einem benachbarten Polschuh gering zu halten. Insbesondere können die Lücken zwischen den gezahnten Polschuhen mit einem vorzugsweise nicht ferromagnetischem Material aufgefüllt sein, welches als Füllmaterial bezeichnet wird und welches ebenso wie die Polschuhe gezahnt sein kann, so dass die Zahnung der Polschuhe mit der Zahnung des Füllmaterials eine geschlossene umlaufende Zahnung bildet. Insbesondere kann auch der Zahnungsbereich der Polschuhe mit dem Füllmaterial beschichtet sein, welches dann eine geschlossene umlaufende Zahnung bildet. Beispielsweise kann das Füllmaterial ein tribologisch bevorzugtes Material sein.

Zur Ausübung von elektromagnetischen Kräften auf den Beweger, weist der Beweger insbesondere ferromagnetisches Material auf und/oder besteht in Teilbereichen oder ganz aus ferromagnetischem Material und/oder Permanentmagneten und/oder weist ferromagnetische Wirkelemente auf. Zur Ausübung elektromagnetischer Kräfte auf den Beweger weist der Antrieb bevorzugt konzentrisch zur raumfesten Achse angeordnete Elektromagnete auf, die in Wechselwirkung mit dem Beweger treten können.

Die Elektromagnete weisen Polschuhe aus ferromagnetischem Material und den Polschuhen zugeordnete Wicklungen elektrisch leitenden Drahtes mit Wicklungsanschlüssen auf, die mit einer elektrischen Ansteuereinheit verbunden werden können. Insbesondere ist der Beweger mittels Lagerungsmitteln um die raumfeste Achse drehbar und kippbar gelagert. Der Beweger kann jedoch beispielsweise gegenüber dem Gehäuse oder dem Rotor mittels biegeweichen und drehsteifen Lagerungsmitteln auch drehfest aber kippbar gelagert oder verbunden sein. Das Lagerungsmittel ersetzt in diesem Fall eine der Zahnungspaarungen, beispielsweise die zwischen Beweger und Gehäuse, wenn das Lagerungsmittel zwischen

diesen Elementen angeordnet ist oder diejenige zwischen Beweger und Rotor, falls das Lagerungsmittel zwischen diesen Elementen angeordnet ist.

Durch umlaufende Bestromung der Elektromagnete und der von diesen auf den Beweger ausgeübten umlaufenden elektromagnetischen Kräfte, wird der Beweger zu einer umlaufenden Kippbewegung um die raumfeste Achse angeregt, wobei sich die zweite Achse im Wesentlichen auf einer Kegelfläche um die raumfeste Achse bewegt und sich die Zahnung Z1 in/auf der Zahnung M1 und die Zahnung Z2 in/auf der Zahnung G1 abwälzen, wodurch die Welle in Rotation versetzt wird oder die Zahnung Z1 wälzt sich in/auf der Zahnung M1 und die Zahnung Z2 in/auf der Zahnung M2 einer zweiten Welle ab, wodurch die erste Welle gegenüber einer zweiten Welle in Rotation versetzt wird.

Die Drehrichtung der mindestens einen Welle ist(sind) durch die Phasenlage der um die raumfeste Achse umlaufenden Bestromungspulse der Elektromagnete und die Drehgeschwindigkeit durch die Frequenz steuerbar. Das Drehmoment ist durch die Stromstärke der Elektromagnete und die Leistungsabgabe durch Ansteuerfrequenz und Stromstärke steuerbar. Ein solcher Antrieb zeichnet sich grundsätzlich durch einen vibrationsarmen Lauf aus. Ein sehr vibrationsarmer Lauf lässt sich insbesondere durch eine Kipp- und Drehlagerung des Bewegers in seinem Schwerpunkt und/oder einem Drehpunkt des Bewegers, der auf der raumfesten Achse liegt, erreichen.

Insbesondere können die Zahnungen Z1, Z2, M1, G1 (bzw. M2) und die Übersetzungen der Zahnpaarungen so ausgebildet werden, dass sich kleine, mittlere oder sehr hohe Übersetzungsverhältnisse ergeben. Insbesondere können die Zahnpaarungen so ausgelegt werden, dass das mechanische Übertragungsverhalten der beiden Getriebestufen Z1 mit M1 und Z2 mit G1 (bzw. M2) differenziell ist, was sehr hohe Drehmomente

ermöglicht oder so, dass eine der Zahnpaarungen nicht drehzahlübersetzend wirkt oder so, dass eine der Zahnpaarungen durch ein biegeweiches und drehsteifes Lagerungs- oder Verbindungsmittel ersetzt wird.

Vorteilhafterweise können die Zahnungen des Bewegers in einer Anfangsstellung und/oder einem unbestromten Zustand zumindest teilweise im Eingriff sein, so dass sich eine hohe Selbsthemmung ergibt oder die Verzahnungen sind so ausgelegt, dass diese beispielsweise in einer Neutralstellung, in welcher der Beweger parallel zu einer Lotebene der Motorwelle steht, außer Eingriff sind, wodurch ein Freilauf ermöglicht wird. Die Einstellung des gewünschten Verhaltens kann über die Verzahnungsgeometrie und/oder die geometrischen Randbedingungen des Bewegers, wie beispielsweise Durchmesser, Radien, Lage des Drehpunktes erfolgen.

Anhand der beigefügten schematischen Figuren wird die Erfindung näher erläutert. Dabei zeigen:

- Fig.1 eine planare Schnittansicht eines elektrischen Kompaktantriebs,
- Fig.2 eine perspektivische Schnittansicht des elektrischen Kompaktantriebs aus Fig.1,
- Fig.3 eine planare Schnittansicht des elektrischen Kompaktantriebs aus Fig.1 in Eingriffsstellung,
- Fig.4 eine perspektivische Schnittansicht des elektrischen Kompaktantriebs aus Fig.1 in Eingriffsstellung,
- Fig.5 eine Explosionsdarstellung des elektrischen Kompaktantriebs aus Fig.1,
- Fig.6 einen elektrischen Kompaktantrieb aus Fig.5 in planarer Schnittansicht,

- Fig.7 eine Schnittansicht des elektrischen Kompaktantriebs aus Fig.5 in einer ersten Perspektive,
- Fig.8 eine Schnittansicht des elektrischen Kompaktantriebs aus Fig.5 in einer zweiten Perspektive,
- Fig.9 einen Kompaktantrieb mit axial fixiertem Beweg,er,
- Fig.10a einen Beweg,er mit Verzahnungs- und Koppelstrukturen,
- Fig.10b eine Trägerstruktur mit Rotor und Aktoren sowie den zu Fig.10a korrespondierenden Verzahnungs- und Koppelstrukturen,
- Fig.11 einen Kompaktantrieb mit balgartiger Koppelstruktur und einem Federandruckelement,
- Fig.12 einen Kompaktantrieb mit axial fixiertem Beweg,er und einer balgartigen Koppelstruktur,
- Fig.13 einen Kompaktantrieb mit motorwellenseitigen Verzahnungsstrukturen,
- Fig.14 einen Kompaktantrieb mit axial angeordneten Bolzen zur Drehmomentauskopplung,
- Fig.15a einen Kompaktantrieb mit gegenüber der Trägerstruktur drehfest aufgehängtem Beweg,er,
- Fig.15b eine perspektivische Schnittansicht des Kompaktantriebs aus Fig.15a,
- Fig.16a einen Kompaktantrieb mit radial angeordneten Bolzen zur Drehmomentauskopplung und modifiziertem Stator,
- Fig.16b eine perspektivische Schnittansicht des Kompaktantriebs aus Fig.16a,
- Fig.17a einen Kompaktantrieb mit integrierter Motorsteuerungselektronik und Verzahnungsstrukturen, welche den magnetischen Funktionsflächen gegenüber angeordnet sind, und
- Fig.17b eine perspektivische Schnittansicht des Kompaktantriebs aus Fig.17a

Gleiche Bezugszeichen haben gleiche Bedeutung.

Fig.1 bis Fig.17 zeigen einen erfindungsgemäßen elektrischen Kompaktantrieb als Vorrichtung V zur elektromechanischen Erzeugung von Rotation in verschiedenen Darstellungen und Perspektiven, aufweisend einen Stator 1, Polschuhe 2 mit einer Zahnung G1, Wicklungen 3, ein Gehäuse 4, Lagerungselemente 5, 6, eine Motorwelle 7 als Rotor R mit einer Zahnung M1 und einen Beweger 8 mit Zahnungen Z1, Z2.

Der Rotor R und der Stator 1 bilden eine Trägerstruktur T für den Beweger 8. Die Motorwelle 7 ist um eine raumfeste Achse A-A' in einer von dem Gehäuse 4 und dem Stator 1 gebildeten Trägerstruktur mittels Lagerungsmitteln 5 drehbar gelagert. Die Polschuhe 2 mit den Wicklungen 3 sind derart ausgebildet, dass jeweils ein Polschuh 2 und eine Wicklung 3 einen Aktor A bilden, wobei mehrere Aktoren A ringförmig um die raumfeste Achse A-A' angeordnet sind.

Der Beweger 8 ist mittels Lagerungsmitteln 6 um eine raumfeste Achse A-A' kippbar und/oder drehbar gelagert. Hierzu weisen das Gehäuse 4 eine Lagerfläche 9 und der Beweger 8 eine Lagerfläche 10 auf, an denen sich das Lagerungsmittel 6, beispielsweise eine Kugel, abstützt. Mittels eines Druckfederelementes 11, welches in einer Aussparung 12 der Motorwelle 7 angeordnet ist, können Beweger 8 und Lagerungsmittel 6 gegenüber dem Gehäuse 4 und der Motorwelle 7 spielfrei auf Anlage gehalten werden.

Gegen ein axiales Verschieben ist die Welle 7 in nicht näher dargestellter Art und Weise mittels einer Arretierungseinrichtung gesichert. Hierzu können weitere Lager und/oder Sicherungselemente vorhanden sein.

Der Kompakt- oder Hybridantrieb weist ferner einen Stator 1 mit Polschuhen 2 aus ferromagnetischem Material und Wicklungen 3 der Polschuhe 2 auf, die über nicht dargestellte elektrische Anschlüsse

bestromt werden können. Die Polschuhe 2 sind vorzugsweise konzentrisch zur raumfesten Achse A-A' und in einer zur Achse A-A' senkrechten Ebene angeordnet und mit ihren Wirkflächen derart orientiert, dass sie auf den Beweger 8 oder zumindest Teilbereiche des Bewegers 8 elektromagnetische Kräfte ausüben können.

Hierzu weist der Beweger 8 ferromagnetisches Material auf und/oder besteht teilweise oder ganz aus ferromagnetischem Material und/oder weist Wirkelemente aus ferromagnetischem Material auf. Insbesondere kann auch die mit der Zahnung G1 der Polschuhe korrespondierenden Zahnung Z2 (auch zweite Bewegerzahnung Z2 genannt) ganz oder teilweise aus ferromagnetischem Material bestehen. Unter ferromagnetischen Materialien werden alle hart- oder weichmagnetischen Werkstoffe und deren Legierungen und Compounds betrachtet, insbesondere auch Permanentmagnete.

Insbesondere weist der Beweger 8 eine um eine zweite Achse B-B', siehe Fig.3, bevorzugt symmetrische Struktur auf. Die um die zweite Achse B-B' im Wesentlichen konzentrische Zahnung Z1 (auch erste Bewegerzahnung Z1 (= innere radiale Bewegerzahnung) genannt) erstreckt sich auf der Oberfläche des Bewegers 8 über einen Bereich, der einen Eingriff mit der Zahnung M1 (auch erste Trägerzahnung M1 genannt) der Motorwelle 7 ermöglicht.

Die um die zweite Achse B-B' im Wesentlichen konzentrische Zahnung Z2 (auch zweite Bewegerzahnung Z2 (= äußere radiale Bewegerzahnung) genannt) erstreckt sich auf der Oberfläche des Bewegers 8 über einen Bereich, der einen Eingriff mit der Zahnung G1 der Polschuhe 2 (auch kurz Pole 2 genannt) des Stators 1 ermöglicht. Erfindungsgemäß weisen die Polschuhe 2 hierzu eine mit der Zahnung Z2 korrespondierende Zahnung G1 auf.

Vorteilhafterweise können die Zahnungen Z1, Z2, G1, M1, M2 so dimensioniert sein, dass sich die Zahnung Z2 berührend in der Zahnung G1 der Polschuhe, insbesondere mit einem minimalem Luftspalt gleich Null abwälzen kann, während die Zahnung Z1 gegenüber der korrespondierenden Zahnung M1 der Motorwelle ein geringes Spiel aufweisen kann.

Wie Fig.3 und die weiteren Fig.4 bis Fig. 17 zeigen, ist der Beweger 8 bezüglich seiner Achse B-B' um die raumfeste Achse A-A' kippbar und/oder drehbar. Insbesondere kann der maximale Kippwinkel durch die Zahnungen Z1, Z2, G1, M1, M2, insbesondere die Zahntiefen, die Zahngeometrie und/oder die Radien auf denen sich die Zahnungen Z1, Z2, G1, M1, M2 befinden, vorgegeben werden.

Insbesondere können die Zahnungen Z1, Z2, G1, M1, M2 und die Radien so gewählt werden, dass auch im unbestromten Zustand und/oder bei unverkipptem Beweger 8 die Zahnungen Z1, Z2, G1, M1, M2 zumindest teilweise oder in Teilbereichen im Eingriff sind, wodurch eine hohe Selbsthemmung erreicht wird. In diesem Fall sind die Zahnungen Z1, Z2, G1, M1, M2 so zu dimensionieren, dass erst bei vollständiger Verkipfung des Bewegers 8 durch elektromagnetische Aktuierung die Zahnungen Z1, Z2, G1, M1, M2 auf einer Seite des Bewegers 8 vollständig in Eingriff geraten und auf der diametral gegenüberliegenden Seite des Bewegers 8 außer Eingriff geraten, so dass das Abwälzen der Zahnungen Z1, Z2, G1, M1, M2 im Betrieb nicht behindert ist.

Zum Betrieb des Kompaktantriebs wird der Beweger 8 durch Bestromung mindestens eines Poles 2 und der von diesem auf den Beweger 8 ausgeübten elektromagnetischen Kräfte gekippt, so dass die Zahnung Z1

mit M1 und die Zahnung Z2 mit G1, sofern sie sich nicht bereits in Eingriff befinden, in Eingriff geraten.

Durch um die Achse A-A' umlaufende Bestromung der Pole wird der Beweger 8 zu einer um die Achse A-A' synchronen Taumelbewegung angeregt, die zum simultanen Abwälzen der Zahnungen Z1 in M1 und Z2 in G1 führt, wodurch die Motorwelle 7 in Rotation versetzt wird.

In einer Weiterbildung der Erfindung, kann die zur Zahnung Z2 der Taumelscheibe korrespondierende Zahnung G1 innerhalb oder außerhalb der Polschuhe 2 angeordnet sein. Hierdurch ist eine funktionale Entkopplung der Zahnung G1 von den Aktoren A möglich. Bei dem in Fig.9 und den perspektivischen Ansichten Fig.10a und Fig.10b gezeigten Ausführungsbeispiel befindet sich die Zahnung G1 innerhalb des Polkreises der Polschuhe 2. Das Gehäuseteil 1 stellt einen Stator oder Teile eines Stators dar, welcher mittels elektrisch aktuierbarer Spulen 3 und Polschuhe 2 die Aktoren A bildet, welche um die raumfeste Achse A-A' ringförmig angeordnet sind. Der Stator 1 ist mit dem Gehäusetopf 4 drehfest verbunden. Die Zahnung M1 der Motorwelle 7 korrespondiert mit der Zahnung Z1 des Bewegers 8. Insbesondere wird der Beweger 8 mit der kugelförmigen Ausformung 6 durch beidseitige Abstützung an den Lagerflächen 9,10 zwischen dem Gehäusetopf 4 und der Motorwelle 7 gegenüber axialen Bewegungen fixiert, bleibt um die raumfeste Achse A-A', welche die Rotationsachse der Motorwelle 7 bildet, jedoch weiterhin kipp- und drehbar, wodurch ein Andruckmittel entfallen kann.

Der erfindungsgemäße Kompaktantrieb kann sowohl als Antrieb mit einstufiger Übersetzung, als auch als Antrieb mit zweistufiger Übersetzung ausgebildet sein.

Zweistufig arbeitet der erfindungsgemäße Antrieb insbesondere, wenn die Verzahnung G1 eine von der Verzahnung Z2 abweichende Zähnezahl aufweist und die Verzahnung M1 eine von der Verzahnung Z1 abweichende Zähnezahl aufweist.

Einstufig arbeitet der erfindungsgemäße Antrieb insbesondere, wenn die Verzahnung G1 eine gleiche Zähnezahl wie die Verzahnung Z2 aufweist oder die Verzahnung M1 eine gleiche Zähnezahl wie die Verzahnung Z1 aufweist.

Anstelle von Zahnungen können insbesondere auch Strukturelemente dienen, welche verschiedene Körper drehgeschwindigkeitssynchron miteinander koppeln, so dass zwischen den Körpern vorzugsweise Drehmomente übertragbar sind, beispielsweise Kupplungen, Bälge, Kardanelemente, drehsteife und biegeeweiche Strukturen, Zahnungspaarungen mit gleicher Zähnezahl oder ähnliche komplementäre Strukturen, welche im Folgenden insgesamt als Koppelstrukturen bezeichnet werden.

Hierzu zeigen die Fig.10a und Fig.10b als Ausführungsbeispiel einen einstufigen Kompaktantrieb gemäß Fig.9, bei dem die Koppelstruktur durch ineinandergreifende Profile Z1, M1 gebildet wird, welche die Motorwelle 7 und den Beweger 8 bezüglich Drehungen um die Achse A-A' drehfest koppelt. Insbesondere kann die Koppelstruktur durch im Wesentlichen komplementäre Profile gebildet sein, beispielsweise durch (zahn)profilartige Erhebungen und Vertiefungen. Dadurch ist ein Drehmoment zwischen dem Beweger 8 auf die Motorwelle 7 oder umgekehrt übertragbar. Der Beweger 8 kann gegenüber dem Gehäuse 4 oder der hiermit verbundenen Trägerstruktur, durch die Aktoren A um die raumfeste Achse A-A' zu einer Wobbelbewegung angeregt werden. Weist die Verzahnung Z2 des Bewegers 8 gegenüber der korrespondierenden gehäusefesten Verzahnung G1 eine abweichende Zähnezahl auf, wird der Beweger 8

gegenüber dem Gehäuse 4 oder der hiermit verbundenen Trägerstruktur in Rotation versetzt, welche durch die Koppelstrukturen Z1, M1 auf die Motorwelle 7 übertragen wird.

Die Koppelstrukturen können auf verschiedene Art und Weise gebildet sein, beispielsweise wie in Fig.10a und Fig.10b dargestellt, durch Erhöhungen und Vertiefungen des Oberflächenprofils.

Bei dem in Fig.11 gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Koppelstruktur durch einen Balg 13 gebildet, welcher mit seinem einen Ende mit dem Beweger 8 und mit seinem anderen Ende mit der Motorwelle 7 drehsteif verbunden ist. Eine drehsteife Verbindung kann beispielsweise durch Verschweissen, Klemmen, Kleben oder andere Verbindungstechniken hergestellt werden. Die Verzahnung Z2 des Bewegers 8 kann auch, wie in Fig.11 dargestellt, auf der der Motorwelle 7 abgewandten Seite des Bewegers 8 angeordnet sein und sich in einer korrespondierenden Verzahnung G1 des Gehäuses 4 abwälzen. Weiterhin weist der Antrieb eine Feder 11 auf, welche in einer Ausnehmung 12 der Motorwelle angeordnet ist, mittels derer Beweger 8 und Kugel 6 in Kontakt und auf Anlage mit dem Gehäuse 4 gehalten werden. Insbesondere kann die Funktion der Feder 11 auch durch den Balg 13, oder durch eine andere, eine axiale Federrate aufweisende Koppelstruktur, übernommen werden und die Feder 11 entfallen.

Fig.12 zeigt eine Weiterbildung des in Fig.11 dargestellten Kompaktantriebs, bei dem die Lagerungskugel 6 integraler Bestandteil des Bewegers 8 ist und durch beidseitige Abstützung zwischen dem Gehäusetopf 4 und der Motorwelle 7 gegenüber axialen Bewegungen fixiert, jedoch weiterhin kipp- und drehbar ist. Hierzu weist die Motorwelle 7 eine zentrische Erhebung 17 mit einer Lagerfläche 10 auf, welche im Zusammenwirken mit dem Gegenlager 9 des Gehäuses 4 den Beweger 8

axial fixiert. Vorteilhafterweise kann hierbei eine Andruckfeder des Bewegers entfallen oder diese funktional durch die Koppelstruktur 13, insbesondere einen Balg 13, substituiert werden, beispielsweise um ein Spiel auszugleichen.

Bei dem in Fig.13 gezeigten Ausführungsbeispiel befindet sich die Verzahnung Z2 des Bewegers 8 auf der den Polschuhen 2 der Aktoren 8 zugewandten Seite des Bewegers 8 und korrespondiert mit der Verzahnung G1 der Trägerstruktur. Weiterhin weist der Antrieb ein der Motorwelle 7 gegenüberliegendes Andruckmittel 11 auf, welches den Beweger 8, die Lagerungskugel 6 und die Motorwelle 7 spielfrei auf Anlage hält. Die Koppelstruktur wird durch einen Balg 13 gebildet, welcher die Motorwelle 7 und den Beweger 8 drehsteif und biegeweich miteinander verbindet. Anstelle der Feder 11 kann auch die Koppelstruktur 13, insbesondere ein Balg, eine Membran oder eine andere eine axiale Federrate aufweisende Struktur, die Funktion des Andruckmittels übernehmen.

Zur Übertragung der Rotation des Bewegers 8 auf die Motorwelle 7 weist das in Fig.14 gezeigte Ausführungsbeispiel als Koppelstruktur eine Motorwelle 7 mit konzentrisch um die Achse A-A' und zu dieser axial angeordneten Bolzen 14 auf, welche in Ausnehmungen 15 des Bewegers 8 eingreifen. Innendurchmesser und Form der Ausnehmungen 15 und der Bolzen 14 sind derart gestaltet, dass ein mechanisches Spiel zwischen dem Beweger 8 und der Motorwelle 7 sowie die Reibung der Bolzen 14 in den Ausnehmungen 15 minimal ist. Insbesondere können die Oberflächen der Bolzen 14 und der Ausnehmungen 15 zur Minderung der mechanischen Reibung tribologische Beschichtungen aufweisen.

Fig.15a zeigt einen alternativen Aufbau, bei dem das auf den Beweger 8 wirkende Drehmoment über eine Koppelstruktur 13, insbesondere einen Balg 13, an der Trägerstruktur respektive dem Gehäuse 4 und dem mit dem

Gehäuse 4 verbundenen Stator 1 abgestützt wird. Fig.15b zeigt eine perspektivische Schnittansicht des Ausführungsbeispiels aus Fig.15a.

Bei umlaufender Aktuierung der Aktoren A führt der Beweger 8 wobbelartige Bewegungen um die Achse A-A' aus, ohne selbst zu rotieren, wobei sich die Zahnung Z1 des Bewegers 8 in der Zahnung M1 der um die Achse A-A' drehbar gelagerten Motorwelle 7 abwälzt, wodurch die Motorwelle 7 bei gegebener Zähnezahldifferenz Z1 zu M1 in Rotation versetzt wird.

Insbesondere kann das in Fig.15a, Fig.15b dargestellte Ausführungsbeispiel, vorteilhaft zu einem permanentmagnetischen Kompaktantrieb erweitert werden, bei dem durch die Aktoren A auf den Beweger 8 sowohl anziehende als auch abstoßende Kräfte ausübbar sind. Durch die drehwinkelfeste Aufhängung des Bewegers 8 über die Koppelstruktur 13 am Gehäuse 4 sind jeweils Bereichen der Taumelscheibe Bereiche der Aktoren fest zuordenbar. Ein permanenterregter Antrieb der in Fig.15a, Fig.15b dargestellten Art weist beispielsweise Permanentmagnete auf der Oberfläche des Bewegers 8 oder in diese eingebettet auf, oder der Beweger 8 selbst bildet einen Permanentmagneten oder ist permanentmagnetisch strukturiert. Vorteilhafterweise können die Permanentmagnete oder die permanentmagnetischen Bereiche in Bezug auf die elektromagnetischen Aktoren A in einer optimalen Weise angeordnet werden und behalten diese Lage, insbesondere Drehwinkellage und Orientierung bei.

Bei dem in Fig.16a abgebildeten Ausführungsbeispiel ist die Koppelstruktur durch radial abstehende Bolzen 14 der Motorwelle 7, R gebildet, welche in schlitzförmige Ausnehmungen 15 im inneren Bereich des Bewegers 8 eingreifen. Die Ausnehmungen 15 sind so bemessen und so orientiert, dass die Taumelbewegung des Bewegers 8 möglichst wenig behindert wird,

jedoch ein Drehmoment durch die Bolzen 14 auf die Motorwelle 7 übertragbar ist.

Insbesondere verläuft die Längserstreckung der Ausnehmungen 15 im Wesentlichen parallel zur Achse A-A'. Zur Verdeutlichung zeigt Fig.16b eine perspektivische Schnittansicht. Bevorzugt ist der Beweger 8 durch einen kalottenförmigen Zentralbereich/Lagerungsbereich 6 einerseits gegenüber der Motorwelle 7 und andererseits gegenüber der Trägerstruktur, aufweisend die Gehäuseteile 4, 4' und einen Stator 1, um die Achse A-A' dreh- und kippbar, jedoch axial fixiert gelagert. Der Stator 1 weist hierzu in seinem inneren Bereich ein Lagerungselement 5, beispielsweise eine Gleitlagerbuchse, auf, welches die Motorwelle 7 um die Achse A-A' drehbar lagert. Darüber hinaus weist die Motorwelle 7 eine stirnseitige Lagerfläche 16 auf, welche mit einem Gegenlager 17 des Gehäuseteils 4 korrespondiert und ein axiales Auswandern der Motorwelle 7 in Richtung des Gehäuseteils 4 unterbindet. Der kalottenförmig ausgeprägte Zentralbereich 6 des Bewegers 8 stützt sich axial mit einer ersten Lagerfläche an einem stirnseitigen Gegenlager 9 des Lagerungselementes 5 und mit einer zweiten Lagerfläche an dem Gegenlager 10 der Motorwelle 7 ab, wodurch Motorwelle 7 und Beweger 8 axial fixiert sind. Insbesondere sind die Lagerflächen 9, 10 und der Zentralbereich 6 des Bewegers hierbei so ausgeführt, dass der Beweger 8 in einem Winkelbereich um die Achse A-A' kipp- und/oder rotierbar ist. Zur weiteren Reibungsminimierung können die Bolzen 14 drehbar oder wälzgelagert sein und/oder die Ausnehmungen 15 und/oder die Bolzen 14 eine reibungsmindernde Beschichtung aufweisen.

Als weiteres Merkmal weist das in Fig.16a, Fig.16b abgebildete Ausführungsbeispiel einen Stator 1 mit primär radialer magnetischer Flussführung auf. Insbesondere können durch um die Achse A-A' umlaufende elektrische Bestromung der Wicklungen 3 der Aktoren A um die Achse A-A' umlaufende Magnetfelder im Stator 1 erzeugt werden, welche

über die Pole 2 mit dem bevorzugt ferromagnetischen Beweger 8 wechselwirken und auf diesen um die Achse A-A' umlaufende elektromagnetische Kräfte ausüben, die zu einem Abwälzen der Bewegerzahnung Z2 in der Gehäusezahnung G1 führen und die Motorwelle 7 in Rotation versetzen.

Bevorzugt besteht im Bereich größter Annäherung zwischen dem Beweger 8 und den Polschuhen 2 der Aktoren A ein minimaler Luftspalt. Es ist jedoch auch möglich, dass der Beweger 8 berührend auf den Polschuhen 2 der Aktoren A abläuft oder die Polschuhe 2 selbst Zahnungen aufweisen. Vorteilhafterweise besitzt der ferromagnetische Beweger 8 eine Dicke, welche mindestens dem 0,4fachen des Polabstandes der Elektromagnete A entspricht.

Das in Fig.17a gezeigte Ausführungsbeispiel weist eine in die Trägerstruktur des Kompaktantriebs integrierte Motorsteuerungselektronik 18 bestehend aus zumindest einer Leiterplatte 18 mit Elektronikkomponenten 19 auf. Bevorzugt sind die Wicklungen 3 der elektromagnetischen Aktoren A direkt mit der Motorsteuerungselektronik 18, 19 verbunden. Zur Überwachung, Steuerung, Regelung des Kompaktantriebes kann dieser mit der Motorsteuerungselektronik 18 verbundene Sensoren, beispielsweise zur Erfassung von Drehzahl, Temperatur, Strom, Rotorlage, Kraft/Drehmoment aufweisen und/oder derartige Sensoren sind in die Leiterplatte 18 integriert.

Des Weiteren kann die Motorsteuerungselektronik 18 über nicht dargestellte Elemente sowohl mit einer Leistungsversorgung als auch mit einer Steuerungs- und/oder Bedieneinheit verbunden sein, wobei die Leistungsversorgung sowohl über elektrische Verbindungsleitungen als auch induktiv erfolgen kann. Insbesondere kann die Übertragung von Motorsteuerungs-, Regelungs-, Sensorsignalen in und aus dem

Kompaktantrieb per Funk, auf optischem Wege (Glasfaserkabel) oder mittels elektrischer Leitungen erfolgen und der Kompaktantrieb mit einem Kommunikations- oder Datenbus verbunden sein.

Fig.17b zeigt eine Schnittdarstellung in perspektivischer Ansicht. Der Stator 1 weist um die Achse A-A' radial angeordnete Elektromagnete mit Wicklungen 3 und Polschuhen 2 auf, welche die Aktoren A bilden und welche mit dem Beweger 8 magnetisch wechselwirken. Insbesondere befindet sich die Verzahnungsstruktur Z2 des Bewegers 8 auf der den Polschuhen 2 abgewandten Seite des Bewegers 8, wodurch die den Polschuhen 2 zugewandte Oberfläche des Bewegers 8 in optimaler Weise zur elektromagnetischen Wechselwirkung mit den Polschuhen 2 nutzbar ist. Vorteilhafterweise kann der Antrieb hierdurch bei gleicher Leistung einen geringen Außendurchmesser aufweisen.

Motorwelle 7 und Beweger 8 sind durch Lagerflächen des Gehäuseteils 4' und der Lagerhülse 5 axial fixiert, um die Achse A-A' jedoch drehbar. Hierzu weist die Motorwelle 7 einen Kragen 16 auf, der sich an der stirnseitigen Fläche 17 der Lagerhülse 5 abstützt. Das Gegenlager wird durch die Lagerfläche 10 der Motorwelle 7 im Zusammenwirken mit dem kalottenförmig ausgestalteten Zentralbereich 6 des Bewegers 8 und der korrespondierenden Lagerfläche 9 im Gehäuseteil 4' gebildet. Durch die Abstützung des Bewegers 8 gegenüber dem Gehäuseteil 4' und gegen die Motorwelle 7 ist der Beweger 8 um die Achse A-A' zusätzlich kippbar. Der Gehäuseteil 4 und der Gehäuseteil 4' sind miteinander zu einer Einheit verbunden. Ebenso ist der Stator 1 fest mit der aus den Gehäuseteilen 4, 4' gebildeten Einheit verbunden.

Bei um die Achse A-A' umlaufender Bestromung der Aktoren A führt der Beweger 8 eine wobbelartige Bewegung aus, bei der sich die Symmetrieachse B-B' des Bewegers 8 um die Achse A-A' herum auf einer

Kegelfläche bewegt und sich die Verzahnung Z2 in der stirnseitigen Verzahnung G1 des Gehäuseteils 4' abwälzt, wodurch der Beweger 8 um die Achse A-A' in Rotation versetzt wird, welche durch die Bolzen 14, welche in Ausnehmungen 15 des Bewegers 15 eingreifen, auf die Motorwelle 7, R übertragen wird. Das an der Motorwelle 7 abgreifbare Drehmoment ist durch die Stromamplitude und die Pulsbreite der Bestromungspulse der Aktoren A steuerbar, wobei die Bestromungspulse überlappen können, so dass beispielsweise Aktoren i, i+1, ... bereits bestromt werden, bevor der Aktor i entstromt wird.

Die Drehgeschwindigkeit der Motorwelle 7 ist durch die elektrische Frequenz mit der das Bestromungsmuster um die Achse A-A' umläuft und die Drehrichtung durch den Umlaufsinn des Bestromungsmusters um die Achse A-A' steuerbar. Insbesondere können die durch die veränderlichen Luftspalte zwischen dem Beweger 8 und den Polschuhen 2 ebenfalls variablen elektrischen Impedanzen der Aktoren A zur sensorlosen Detektion physikalischer Parameter (Self-Sensing), beispielsweise einer Position des Bewegers 8, eines Drehmomentes der Motorwelle 7 oder einer Drehzahl herangezogen werden. Bevorzugt erfolgt eine sensorlose Lastdetektion durch Auswertung der Phasen- und/oder Amplitudenbeziehungen elektrischer und/oder mechanischer Parameter.

Vorteilhaft zur Erzielung hoher Drehmomente, hoher Wirkungsgrade, eines geräuscharmen Betriebes und/oder hoher Leistungen ist es, mehrere benachbarte Pole 2 mit einem um die Achse A-A' umlaufenden Pulsmuster und einer dem gewünschten Betriebsmodus angepassten Phasenschiebung zu bestromen. Hierzu kann die Pulsform eine geeignete Form aufweisen, beispielsweise eine Sinus-, Rechteck-, Dreieck- oder Trapezform oder eine andere geeignete Form. Insbesondere kann über Flankensteilheiten, Anstiegs- und Abfallzeiten der Ansteuerpulse und asymmetrische Pulsformen das Verhalten des Hybridantriebes in starkem

Maße beeinflusst werden. Insbesondere können durch Erfassung elektrischer Größen des Hybridantriebes wie beispielsweise Strom, Spannung, Ladung sensorische Daten, insbesondere ein Lastmoment und/oder eine Drehwinkelstellung ermittelt und zur Steuerung und/oder Regelung des Hybridantriebs genutzt werden.

Mittels einer nicht dargestellten Ansteuerungselektronik können die einzelnen Wicklungen entsprechend einen Umlaufsinn um die Achse A-A' umlaufend bestromt werden. Entsprechend der gewünschten Drehrichtung der Motorwelle 7 kann die Bestromung in oder entgegen dem Uhrzeigersinn um die Achse A-A' erfolgen. Insbesondere kann die Bestromung der Wicklungen 3 sequentiell aufeinanderfolgend erfolgen, so dass, wenn eine Wicklung 3 abgeschaltet wird, eine benachbarte Wicklung 3 eingeschaltet wird usw.

Besonders bevorzugt erfolgt die Bestromung benachbarter Wicklungen 3 sequentiell überlappend, so dass bevor eine Wicklung 3 abgeschaltet wird, bereits mindestens eine benachbarte Wicklung 3 bestromt wird usw. Insbesondere können die Ansteuerpuls muster benachbarter Wicklungen 3 überlappen.

Um die Motorwelle 7 in Rotation zu versetzen, werden die Wicklungen 3 des Stators 1 umlaufend bestromt. Für die Funktion ist es ausreichend, wenn mindestens jeweils eine Wicklung 3 und darauffolgend eine benachbarte Wicklung 3 bestromt wird. Bevorzugterweise werden mehrere auf einem Halbkreis in der Lotebene der Motorwelle 7 liegende benachbarte Wicklungen 3 bestromt, wobei dieses Bestromungsmuster um die Achse A-A' umläuft.

Der mindestens eine bestromte Pol 2 oder die Gesamtheit der bestromten Pole 2 übt auf den Beweger 8 elektromagnetische Kräfte aus, welche die

Zahnung Z2 in Eingriff mit der Zahnung G1 der Polschuhe 2 und/oder die Zahnung Z1 in Eingriff mit der Zahnung M1 bringt beziehungsweise hält. Bei sequentieller Fortschaltung des Bestromungsmusters hat der Beweger 8 das Bestreben jeweils die Lage minimaler Streufeldenergie einzunehmen und dem umlaufenden Bestromungsmuster zu folgen.

Es wirken somit auf den Beweger 8 um die Achse A-A' umlaufende magnetische Kräfte. Hierbei wälzt die Zahnung Z2 in/auf der Polschuhzahnung G1 und/oder die Zahnung Z1 in/auf der Zahnung M1 ab, wodurch die Motorwelle 7 in Rotation versetzt wird. Durch Kommutierung des Umlaufsinnns des Bestromungsmusters kann die Drehrichtung der Motorwelle 7 umgekehrt und durch die Umlauffrequenz des Bestromungsmusters die Drehgeschwindigkeit der Motorwelle 7 gesteuert werden.

Insbesondere ist eine Auffüllung der Lücken zwischen den gezahnten Polschuhen 2 mit einem Füllmaterial bei dem erfindungsgemäßen Antriebssystem anwendbar. Bevorzugt ist das Füllmaterial nicht oder nur gering ferromagnetisch und besonders bevorzugt, weist das Füllmaterial, auf seinem Radius bzw. Umfang die gleiche Zahnung G1 wie die Polschuhe 2 auf, so dass der Beweger 8 auf einer geschlossenen Zahnung, gebildet durch die gezahnten Polschuhe 2 und die mit Füllstoff aufgefüllten ebenfalls gezahnten Lücken zwischen den Polschuhen 2 abwälzen kann.

Insbesondere kann ein Füllstoff auch die Zahnung G1 der Polschuhe 2 bedecken und die Zahnungskontur der Polschuhe 2 in den Bereichen der Polschuhe 2 abbilden. Der Füllstoff kann auch die Lücken zwischen den Polschuhen 2 auffüllen und diese in einer Dicke bedecken, wobei er deren Zahnung G1 fortsetzt. Zusätzlich kann der Füllstoff auf seiner Oberfläche eine reibfeste und/oder tribologische Schicht oder Beschichtung aufweisen. Vorteilhafterweise kann der Füllstoff die Wicklungen 3 fixieren und/oder um-

hüllen und die Wärmeabfuhr der Wicklungen verbessern. Beispielsweise kann der Füllstoff ein spritzgießfähiges Material, Compound oder Gießharz sein. Insbesondere kann der Füllstoff die Nuten des Stators 1 ganz oder teilweise ausfüllen.

Insbesondere können die Polschuhe 2 verbreitert sein und eine verbreiterte Polschuhzahnung G1 aufweisen. Insbesondere wird hierdurch ein Abstand der Zahnungsbereiche der Polschuhe 2 minimal, was ein kontinuierliches kämmendes Abwälzen des Bewegers 8 erleichtert und andererseits hinreichend groß, um einen magnetischen Nebenschluss zwischen benachbarten Polschuhen 2 gering zu halten.

Auch hierbei können die verbleibenden Nuten mit Füllstoff aufgefüllt sein, der die Polschuhzahnung G1 fortsetzt, wobei der Füllstoff bündig mit der Polschuhzahnung G1 abschließen oder diese mit einer Dicke bedecken kann.

Insbesondere können Antriebssysteme der erfindungsgemäßen Art ganz oder teilweise aus mit ferromagnetischen Partikeln gefüllten Kunststoffen (SMC – Soft Magnetic Compound) bestehen und/oder mittels Spritzgießen hergestellt sein und/oder zumindest teilweise aus Blechprägeteilen bestehen.

Insbesondere weist ein erfindungsgemäßes Antriebssystem für den Antrieb des mindestens einen Bewegers 8 eine Anzahl von mindestens zwei Aktoren A, bevorzugt eine Anzahl von mindestens drei Aktoren A auf. Insbesondere eignen sich neben elektromagnetischen und elektrodynamischen Aktoren A mit und ohne Permanentmagnete auch Festkörperaktoren, elektrostatische Aktoren und/oder dielektrische Aktoren und/oder es können zu den Aktoren korrespondierende und mit diesen

wechselwirkende Rückstellelemente, beispielsweise Federelemente, pneumatische Elemente oder hydraulische Elemente, vorhanden sein.

Abhängig von der Anzahl und der Anordnung aktiver bestrombarer Pole 2 und/oder passiver, der magnetischen Flussführung dienender Flussschuhe, kann ein erfindungsgemäßes Antriebssystem mittels bekannter Ansteuerungen, insbesondere 3-Phasenansteuerungen, Synchronmotoransteuerungen, Schrittmotoransteuerungen usw. betrieben werden oder vorteilhaft mittels im Folgenden beschriebener erfindungsgemäßer Ansteuerungsverfahren.

Die erfindungsgemäßen Antriebssysteme sind mit oder ohne Permanentmagneten darstellbar. Insbesondere weisen Ausführungsvarianten ohne Permanentmagneten, die nach dem Reluktanzprinzip arbeiten, Kostenvorteile auf.

Insbesondere kann ein Stator 1 mit Polen 2, Polwicklungen 3 und einem ganz oder teilweise ferromagnetischen Beweger 8 auf unterschiedliche Arten bestromt werden und hierdurch die Charakteristik der Antriebssysteme und der Aufwand zur elektrischen/elektronischen Steuerung der Wicklungsströme beeinflusst werden.

Vorteilhaft für die Funktion des Antriebssystems ist es, wenn die aus den Polen 2 austretenden Magnetfeldlinien benachbarter Pole 2 entgegengesetzte Vorzeichen haben, so dass der magnetische Fluss der Pole 2 im Umlaufsinn um die Achse A-A' einer Abfolge N-S-N-S..... (N = magnetischer Nordpol, S = magnetischer Südpol) genügt, wobei es unerheblich ist, ob die Pole 2 mit ungeradem Index Südpole und die mit geradem Index Nordpole bilden, oder umgekehrt. Ein über den Umfang alternierendes Magnetfeldmuster ist in besonderer Weise geeignet hohe Kräfte auf einen ferromagnetischen Beweger 8 auszuüben, da die

Magnetfeldlinien die Tendenz haben, sich über den ferromagnetischen Beweger von einem Pol 2 zu einem anderen Pol 2 zu schließen.

Vorzugsweise ändert sich die Orientierung des Magnetfeldes eines Poles 2 bei einem Stator 1 mit einer geraden Anzahl von Polen 2 im Betrieb nicht und die Stromrichtung durch die Wicklung 3 eines Poles 2 bleibt gleich. Weisen die einzelnen Wicklungen 3 der Pole 2 beispielhaft einen gleichen Windungssinn auf, kann eine alternierende Abfolge der Orientierung der Magnetfeldlinien benachbarter Pole 2 insbesondere durch entgegengesetzte Stromrichtungen benachbarter Wicklungen 3 erzeugt werden.

Vorzugsweise erfolgt eine elektrische Ansteuerung der Wicklungen mittels unipolarer Endstufen, wobei zur Erzeugung entgegengesetzter Stromrichtungen benachbarter Pole 2, die Anschlüsse jeder zweiten Wicklung 3 mit der Endstufe kommutiert (vertauscht) werden. Insbesondere kann eine Vertauschung der Polarität auch durch einen Multiplexer oder einen Kommutator erfolgen. Eine Polaritätsabfolge mit invertierten Vorzeichen ist gleichwertig. Insbesondere kann die Anzahl elektrischer Zuleitungen verringert werden, indem Anschlüsse der Wicklungen 3 zusammengefasst und auf ein Potenzial gelegt werden. Beispielsweise kann hierdurch die Anzahl elektrischen Zuleitungen eines 10poligen Stators 1 von 20 Zuleitungen auf 11 Zuleitungen (z.B. 1 x Masseleitung, 10 x spannungsführende Leitungen zur Ansteuerung der Wicklungen) verringert werden.

Zum Betrieb von Statoren 1 mit einer ungeraden Anzahl von Polen 2 eignen sich vorzugsweise bipolare Endstufen und/oder Kommutatormittel zur Kommutierung der Stromrichtung. Insbesondere kann sich die Magnetfeldrichtung eines Poles 2 bei umlaufendem Bestromungsmuster alternierend ändern. Insbesondere kann eine Stromkommutierung der

Wicklungen bei Statoren 1 mit einer geraden oder einer ungeraden Anzahl von Polen 2 mittels mechanischer, elektromechanischer und/oder elektronischer Kommutatormittel erfolgen und/oder die Wicklungen 3 können gemultiplext auf eine Anzahl von Endstufen geschaltet werden. Insbesondere kann ein Stator 1 eines erfindungsgemäßen Antriebssystems konzentrierte Wicklungen 3 oder verteilte Wicklungen 3 aufweisen. Bevorzugterweise werden die Wicklungen 3 stromgesteuert oder stromgeregelt betrieben.

Insbesondere können die Bestromungsprofile beispielsweise sinusförmig, trapezförmig, exponentielle Formen oder einen anderen geeigneten Verlauf, beispielsweise mit einer Stromabsenkung bei Sättigung oder einen unsymmetrischen Profil mit unterschiedlichen Anstiegs- und Abfallflanken und/oder einer zeitlich variablen Amplitude haben. Vorteilhafterweise hat ein Bestromungsprofil für einen Pol 2 eines Antriebssystems mit einem Stator, der eine gerade Anzahl von Polen 2 und einen ferromagnetischen Beweger 8 aufweist, eine 360 Grad Periodizität.

Vorteilhafterweise sind die Bestromungsprofile der Pole 2 bis auf einen Phasenversatz identisch, wobei die Bestromungsprofile benachbarter Pole 2 abhängig vom Wicklungsschema und/oder elektrischem Beschaltungsschema der Wicklungen 3, gleiches oder entgegengesetztes Vorzeichen haben können.

Vorteilhafterweise weisen die Bestromungsprofile benachbarter Pole 2 einen gleichen Phasenversatz auf. Insbesondere kann durch Änderung des Vorzeichens des Phasenversatzes z.B. die Drehrichtung der Motorwelle 7 kommutiert werden. Vorteilhafterweise weist ein Antriebssystem mit einer geraden Anzahl N von bestrombaren Polen 2 zwischen den Bestromungsprofilen benachbarter Pole 2 einen Phasenversatz von $\pm 360^\circ/N$ auf, wobei das Vorzeichen die Drehrichtung vorgibt. Vorzugsweise

ist die Breite Δ der Bestromungsprofile veränderbar, insbesondere steuerbar und/oder regelbar. Die Breite Δ des Bestromungsprofils wird auch als Pulsbreite bezeichnet.

Vorteilhafterweise kann die Pulsbreite von Null bis zu einem Maximalwert verändert werden. Insbesondere sind die Pulsbreiten kontinuierlich oder diskret veränderbar. Insbesondere bestimmt die Pulsbreite die Überlappung der Bestromungsprofile der Pole 2 und die Anzahl und/oder Dauer der gleichzeitig bestromten Pole 2. Besonders vorteilhaft erfolgt die Änderung der Pulsbreite in Abhängigkeit von Lastparametern, die mittels externer Sensoren, mittels interner Sensoren und/oder mittels Lasterfassung durch den Antrieb selbst, beispielsweise über Impedanzänderungen einzelner oder mehrerer Wicklungen, bestimmt werden.

Beispielsweise kann der Antrieb bei geringen Lastanforderungen und/oder im Leerlauf mit einer geringen Pulsbreite Δ betrieben werden und die Pulsbreite Δ bei erhöhter Lastanforderung entsprechend erhöht und/oder die Signalamplitude verändert werden, was beispielsweise einen energieeffizienten Betrieb oder einen Betrieb mit größerer Drehgleichförmigkeit ermöglicht. Insbesondere stehen mit der Amplitude und der Pulsform neben der Pulsbreite zusätzliche weitere Parameter zur Beeinflussung der Charakteristik des Antriebssystems, wie insbesondere Leistung, Drehmoment, Drehgleichförmigkeit und Geräuschentwicklung zur Verfügung.

Insbesondere können Wicklungen eines Stators 1 elektrisch miteinander verschaltet werden. Beispielsweise kann durch elektrische Zusammenschaltung von jeweils zwei Wicklungen 3 eines 10poligen Stators ein 5poliger Stator erzeugt werden. Vorteilhafterweise hat ein Bestromungsprofil für einen Pol 2 eines Antriebssystems mit einer ungeraden Anzahl von Polen 2 unter Berücksichtigung der

Stromkommutierung eine 720 Grad Periodizität. Insbesondere wechselt nach jeweils 360 Grad die Orientierung des Magnetfeldes, beziehungsweise die Richtung des erzeugenden Wicklungsstromes eines jeden Pols 2. Die Polschuhe 2 können beispielsweise eine mit jedem Umlauf alternierende Magnetfeldorientierung aufweisen.

Insbesondere kann eine Pulsbreite Δ während des Betriebs kontinuierlich und/oder diskret verändert werden. Insbesondere kann die Form des Pulsmusters geeignet gewählt sein, um beispielsweise eine hohe Drehgleichförmigkeit oder einen geräuscharmen Betrieb zu ermöglichen. Pulsmuster können beispielsweise Rechteckpulse, Trapezpulse oder Pulse mit sinusförmigem Verlauf sein, wobei die Pulse symmetrische Pulsformen oder unsymmetrische Pulsformen, zum Beispiel unterschiedliche Anstiegs- und Abfallflanken und einem zeitlich modulierten Amplitudenverlauf aufweisen können.

Insbesondere kann ein Stator 1 neben aktiven Polen 2 auch passive, der Flussführung dienende Pole 2 aufweisen.

Insbesondere kann ein erfindungsgemäßes Antriebssystem mit einem 3poligen Stator 1 nach dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren mit konventionellen Phasensteuerungen betrieben werden. Ein solcher Motor kann zusätzlich zu aktiven bestrombaren Statorpolen eine Anzahl passiver Flussschuhe zur magnetischen Flussführung aufweisen.

Durch Multiplexen der Wicklungen 3 kann ein Betrieb mit reduzierter Anzahl von Endstufen verwirklicht werden.

Insbesondere weist ein erfindungsgemäßes Antriebssystem für den Antrieb des mindestens einen Bewegers 8 eine Anzahl von mindestens zwei Aktoren A, bevorzugt eine Anzahl von mindestens drei Aktoren A auf.

Insbesondere eignen sich auch Festkörperaktoren, elektrostatische Aktoren und/oder dielektrische Aktoren.

Bezugszeichenliste

1	Stator
2	Polschuhe
3	Wicklung
4, 4'	Gehäuse
5,6	Lagerungselemente/Lagerungsmittel
7	Motorwelle/Welle
8	Beweger
9	Lagerfläche
10	Lagerfläche
11	Druckfederelement
12	Aussparung
13	Koppelstruktur (Balg)
14	Bolzen (Teil der Koppelstruktur)
15	Ausnehmung (Teil der Koppelstruktur)
16	Kragen
17	Lagerfläche
18	Leiterplatte
19	Elektronikkomponente
A-A'	raumfeste Achse
A	Aktor
B-B'	zweite Achse
G1	Zahnung (Trägerzahnung)
M1, M2	Zahnung (Trägerzahnung)
R	Rotor
T	Trägerstruktur
V	Vorrichtung
Z1, Z2	Zahnung (= Bewegerzahnung)

Ansprüche

1. Vorrichtung (V) zur elektromechanischen Erzeugung von Rotation, umfassend zumindest
 - einen Stator (1),
 - einen Rotor (R),
 - einen Aktor (A) und
 - ein diese aufnehmendes Gehäuse (4),wobei der Stator (1) und der Rotor (R) axial ineinander angeordnet sind und im Betrieb des Aktors (A) mittels eines Bewegers (8) an mindestens einer Position miteinander gekoppelt sind, wobei der Beweger (8) um eine raumfeste Achse (A-A') drehbar und/oder kippbar ist.
2. Vorrichtung (V) nach Anspruch 1, wobei der Beweger (8) gegenüber einer Trägerstruktur, insbesondere einem Gehäuse (4) oder einem Rotor (R), mittels Lagerungsmitteln bezüglich Drehungen um die raumfeste Achse (A-A') drehfest, aber axial bewegbar/kippbar gekoppelt ist.
3. Vorrichtung (V) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Beweger (8) und das Gehäuse (4) mittels zugehöriger und einander gegenüberliegender Lagerflächen (10 bzw. 9) an einem gemeinsamen Lagerungsmittel (6) abgestützt sind.
4. Vorrichtung (V) nach Anspruch 3, wobei das Lagerungsmittel (6) kugelförmig ausgebildet ist.
5. Vorrichtung (V) nach Anspruch 3 oder 4, wobei der Beweger (8) als eine Kreisscheibe mit einer mittigen Aussparung (12) ausgebildet ist.

6. Vorrichtung (V) nach Anspruch 4 oder 5, wobei die Aussparung (12) eine zur Außenform des Lagerungsmittels (6) korrespondierende Form aufweist.
7. Vorrichtung (V) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zwischen dem Rotor (R) und dem Beweger (8) ein Druckfederelement (11) angeordnet ist.
8. Vorrichtung (V) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Rotor (R) mittels einer Arretiereinrichtung gegen ein axiales Verschieben gesichert ist.
9. Vorrichtung (V) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Stator (1) und der Rotor (R) eine Trägerstruktur bilden und im Betrieb des Aktors (A) auf den Beweger (8) derart um die raumfeste Achse (A-A') umlaufende Kräfte ausübbar sind, dass der Beweger (8) und die Trägerstruktur (T) aufeinander oder ineinander kämmend oder rollend abwälzen, so dass der Rotor (R) in Rotation versetzt wird.
10. Vorrichtung (V) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Beweger (8) an der in Richtung des Rotors (R) und des Stators (1) liegenden Oberfläche eine erste Bewegerzahnung (Z1) und eine zweite Bewegerzahnung (Z2) aufweist.
11. Vorrichtung (V) nach Anspruch 10, wobei die erste Bewegerzahnung (Z1) und die zweite Bewegerzahnung (Z2) konzentrisch um einen Mittelpunkt des Bewegers (8) angeordnet sind.
12. Vorrichtung (V) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Stator (1) und der Rotor (R) eine Trägerstruktur bilden, die in Richtung

des Bewegers (8) eine erste Trägerzahnung (M1) und eine zweite Trägerzahnung (M2, G1) aufweist, die konzentrisch um die raumfeste Achse (A-A') angeordnet sind.

13. Vorrichtung (V) nach Anspruch 12, wobei im Betrieb des Aktors (A) auf den Beweger (8) derart um die raumfeste Achse (A-A') umlaufende Kräfte ausübbar sind, dass die beiden Bewegerzahnungen (Z1; Z2) mit den Trägerzahnungen (M1; M2 oder G1) kämmend abwälzen, so dass der Rotor (R) in Rotation versetzt wird.
14. Vorrichtung (V) nach Anspruch 12 oder 13, wobei die Trägerstruktur um die raumfeste Achse (A-A') drehbar ist.
15. Vorrichtung (V) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Beweger (8) zumindest bereichsweise oder vollständig aus einem ferromagnetischen Material und/oder einem Permanentmagnet gebildet ist.
16. Vorrichtung (V) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Aktoren (A) durch mehrere um die raumfeste Achse (A-A') ringförmig angeordnete Elektromagnetspulen gebildet sind.
17. Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung (V) zur elektromechanischen Erzeugung von Rotation nach einem der Ansprüche 1 bis 16, wobei mittels einer in die Trägerstruktur (T) integrierten Elektronik (18) die Aktoren (A) mit vorgebbaren Pulsmustern bestrombar sind.

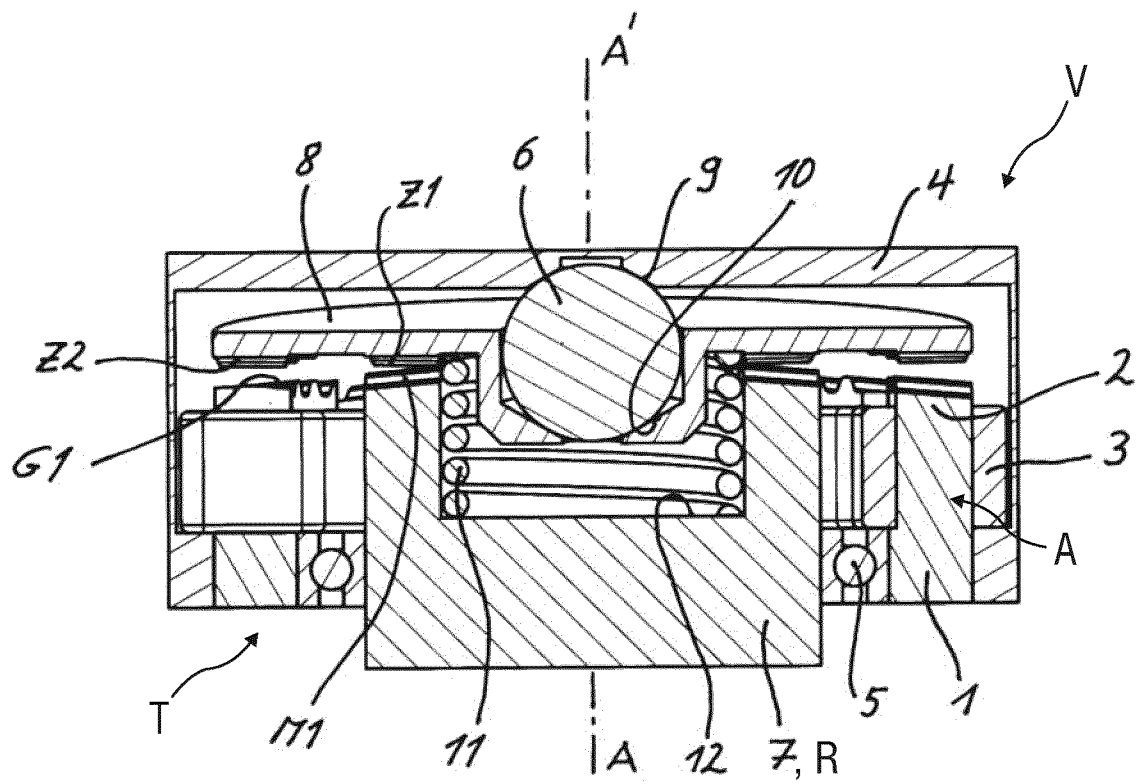


FIG 1

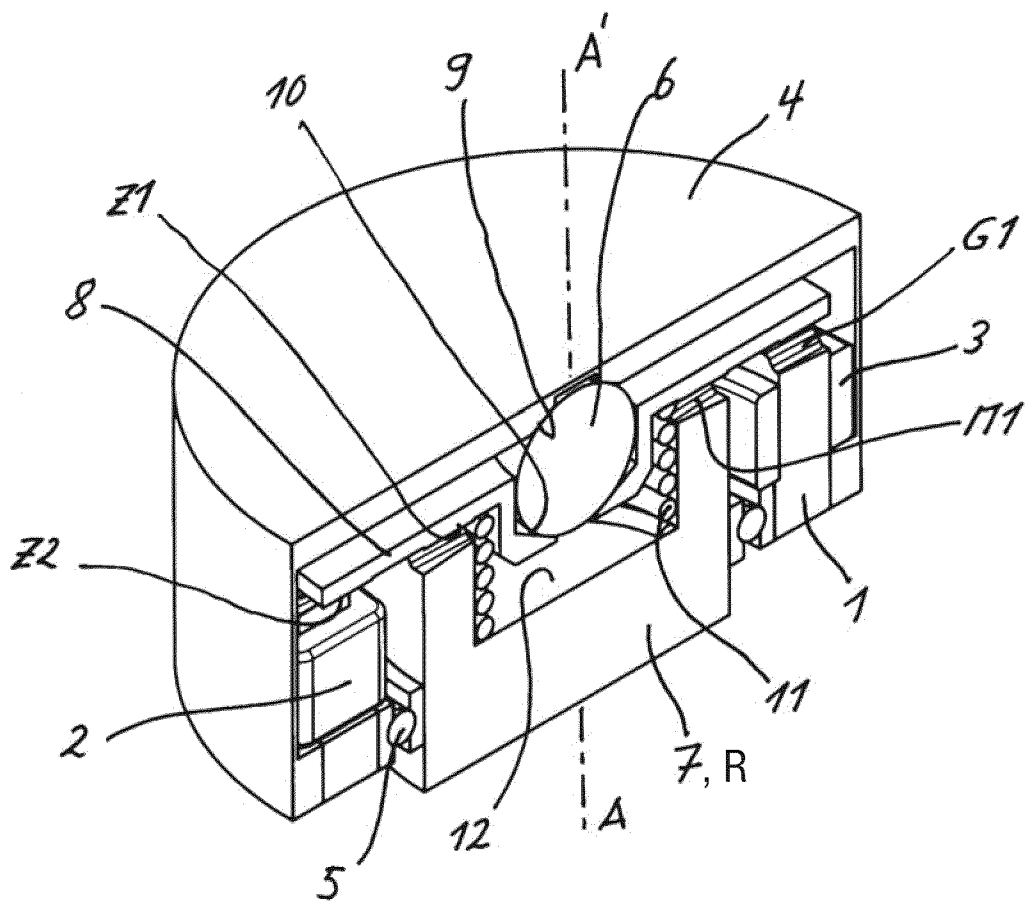


FIG 2

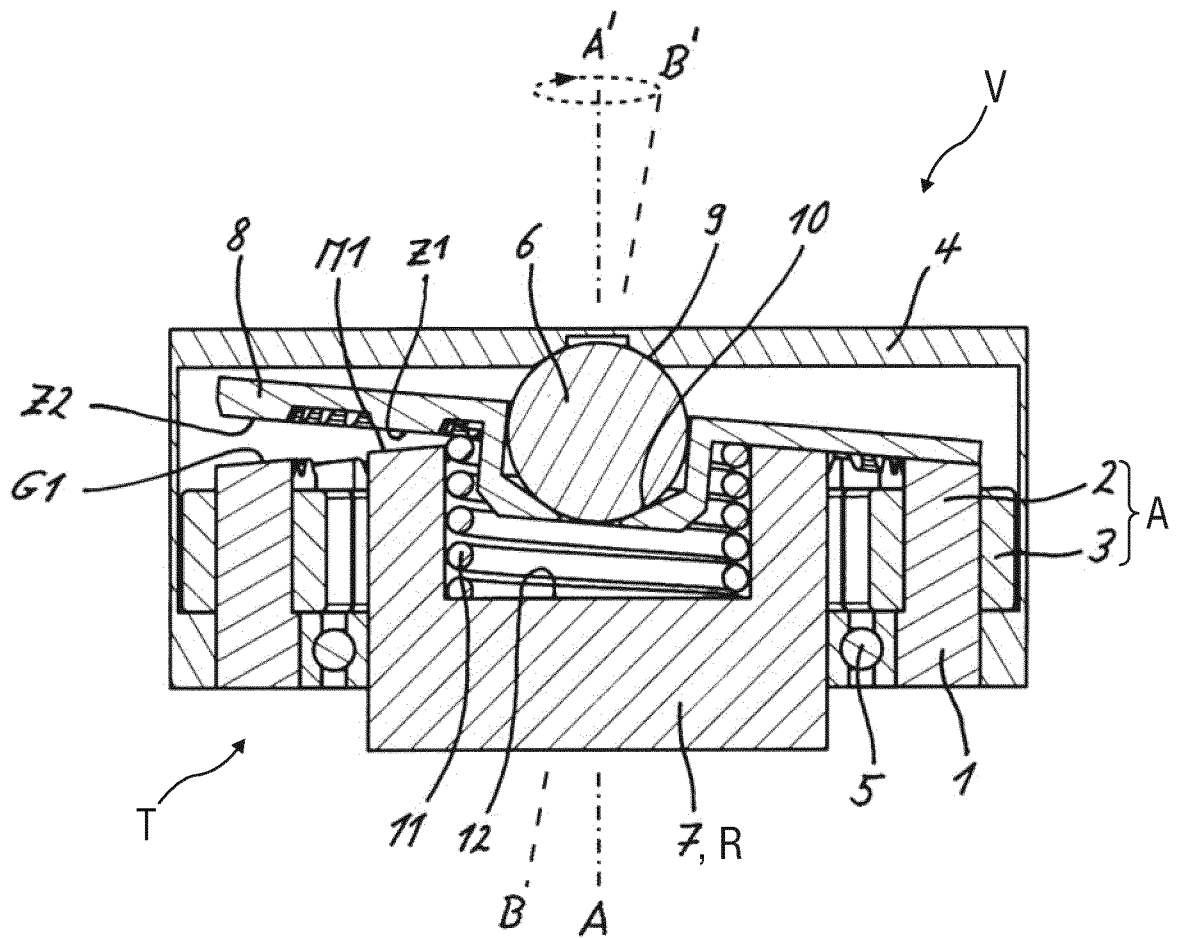


FIG 3

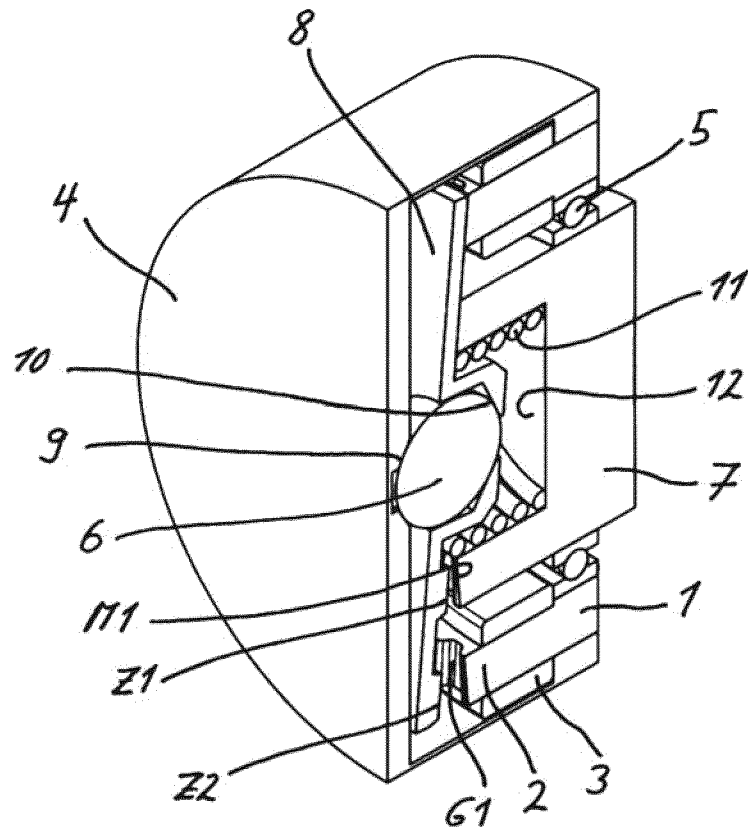


FIG 4

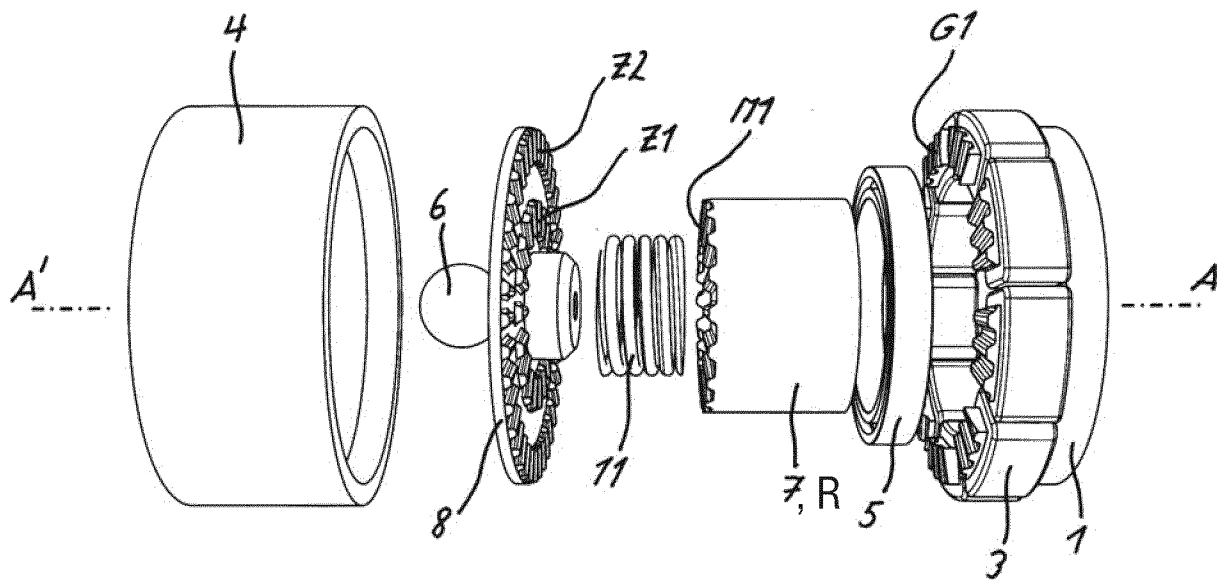
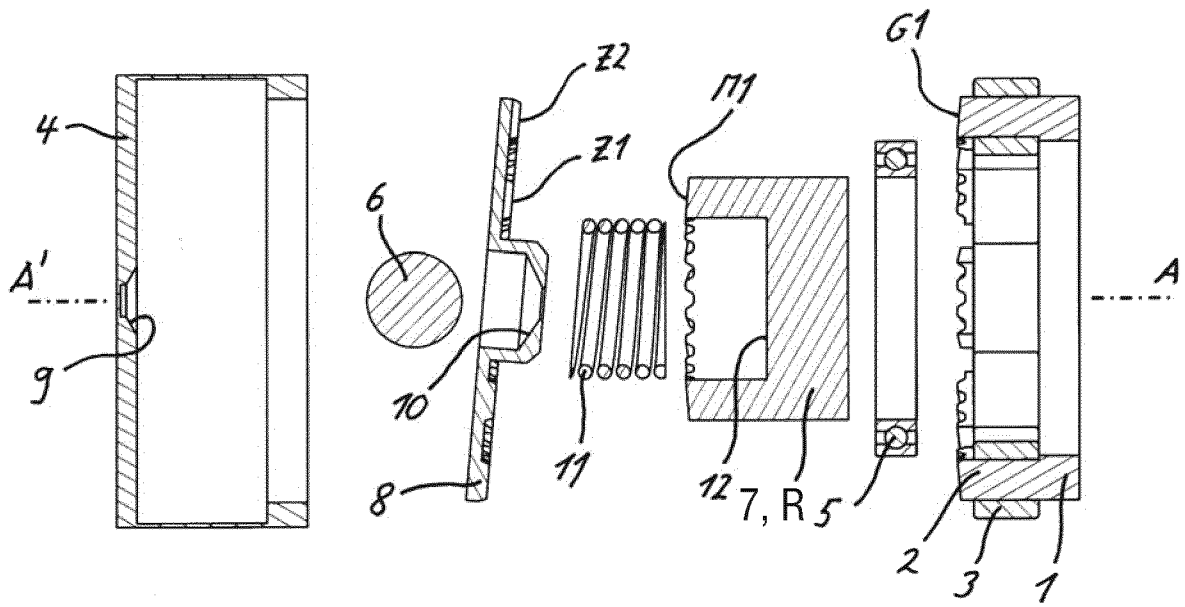


FIG 5



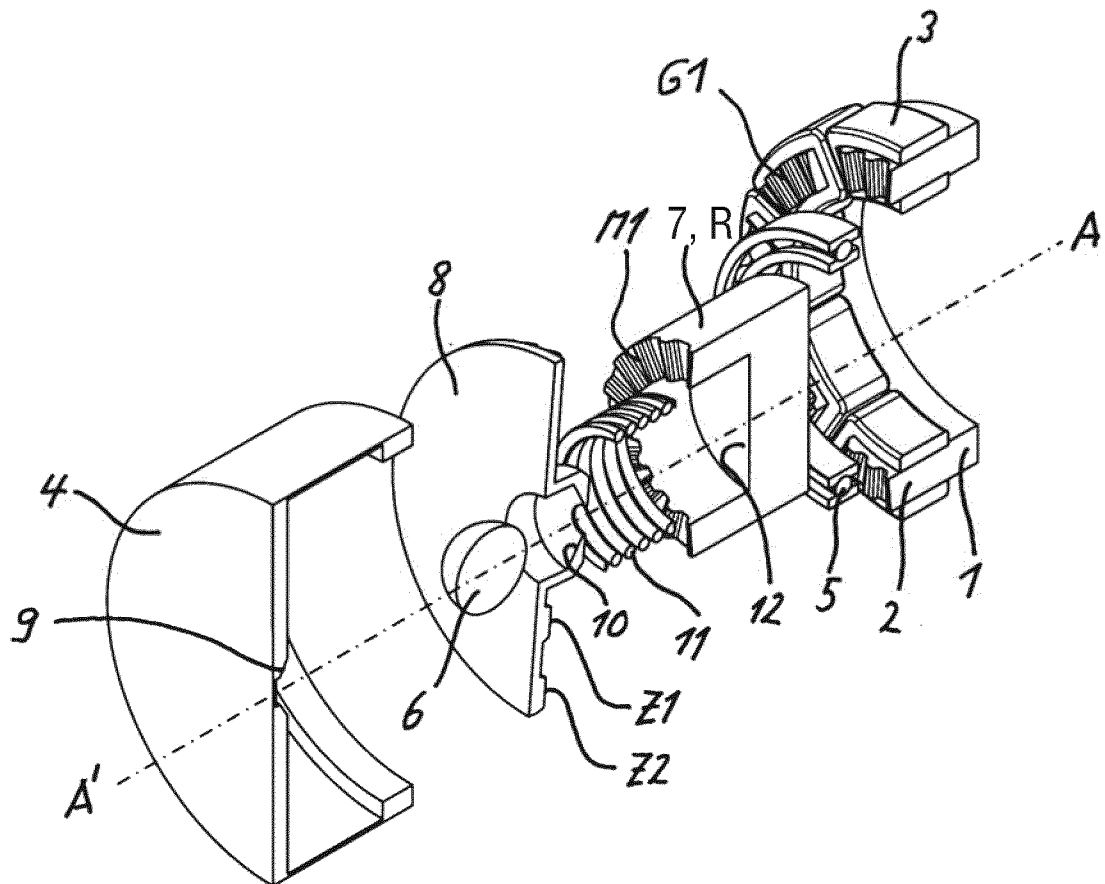


FIG 7

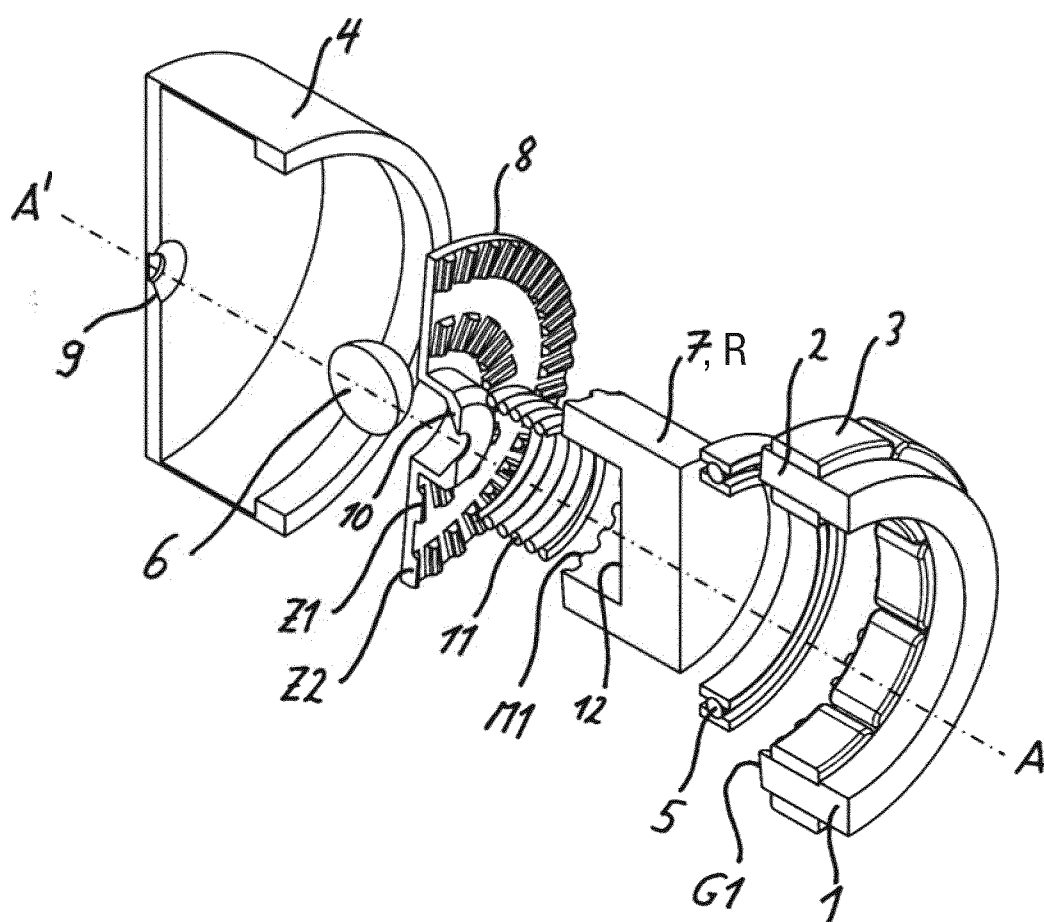


FIG 8

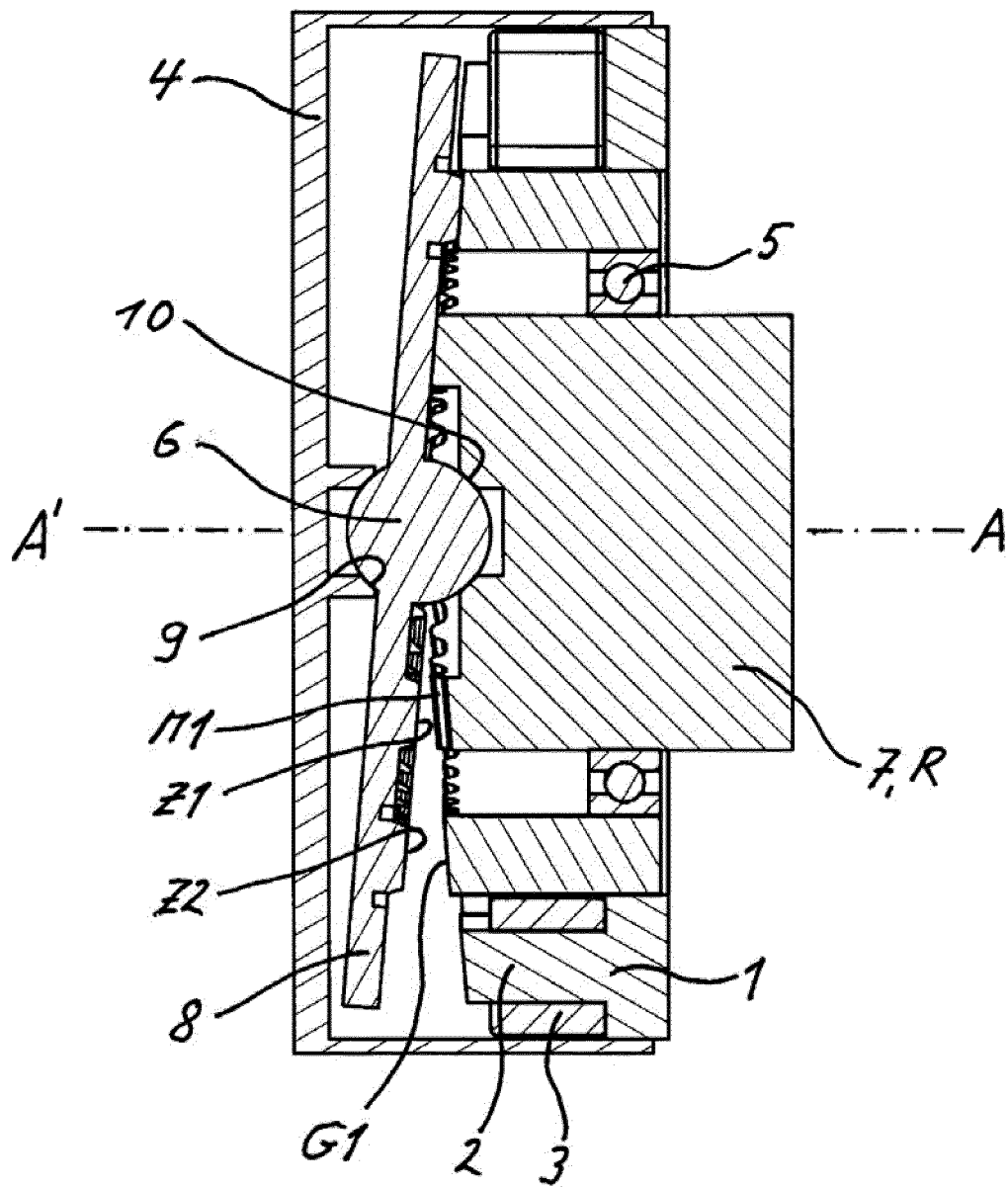


FIG 9

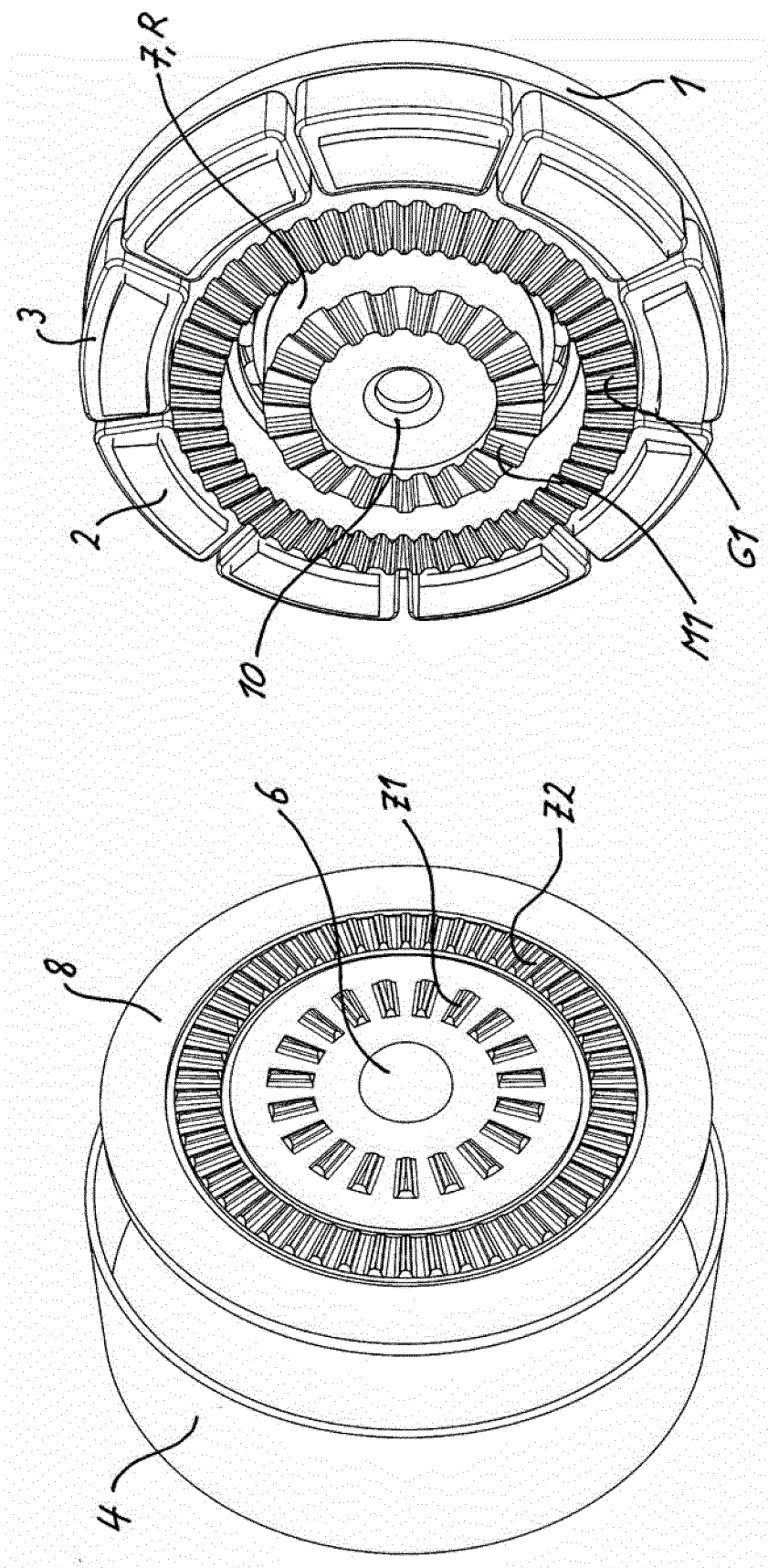


FIG 10B

FIG 10A

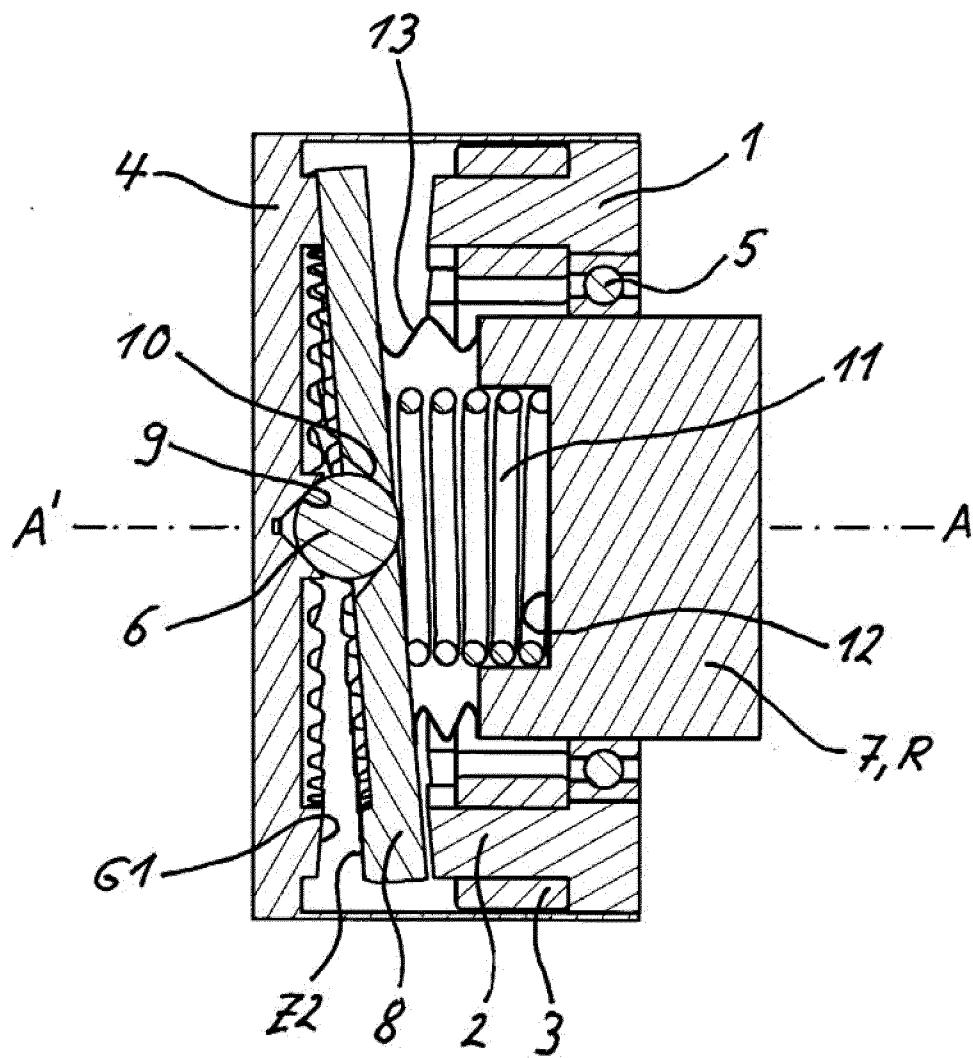


FIG 11

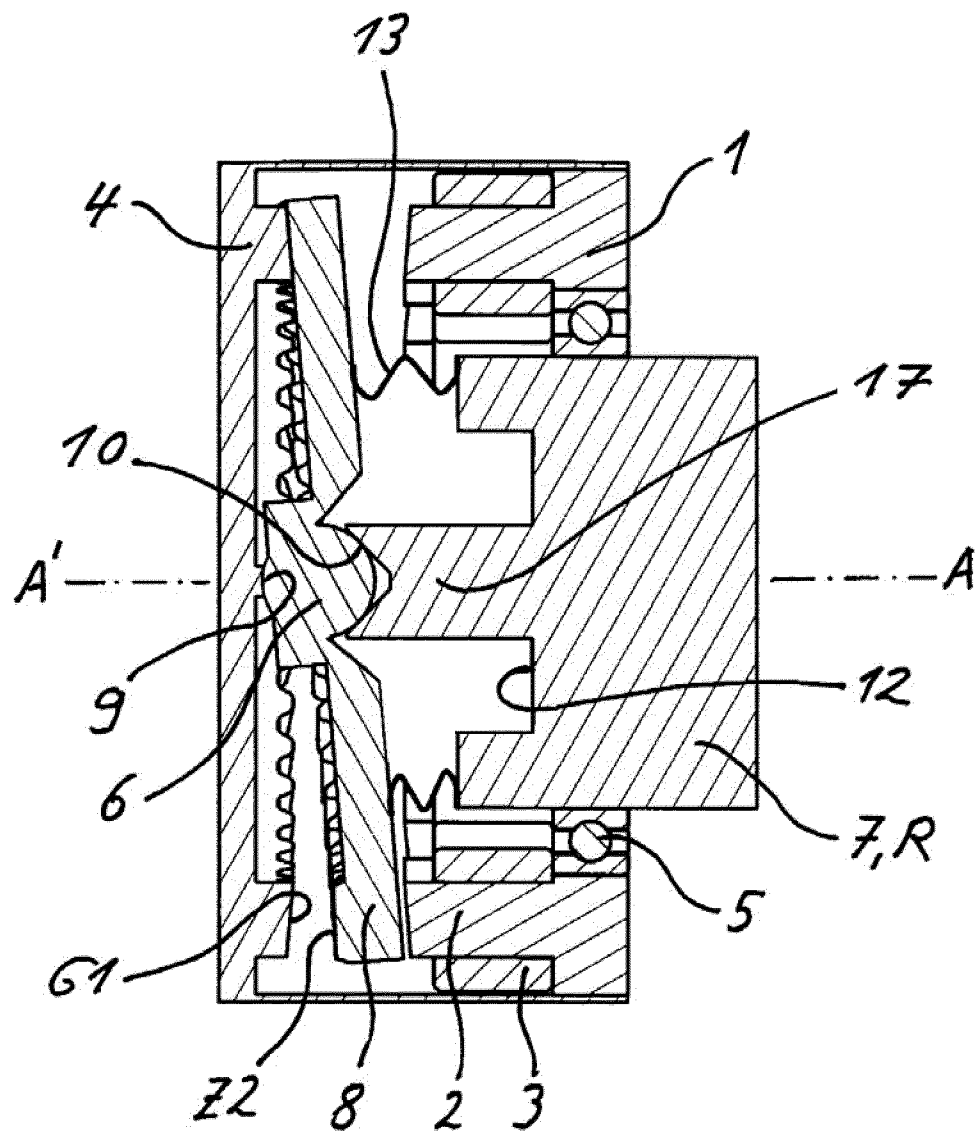


FIG 12

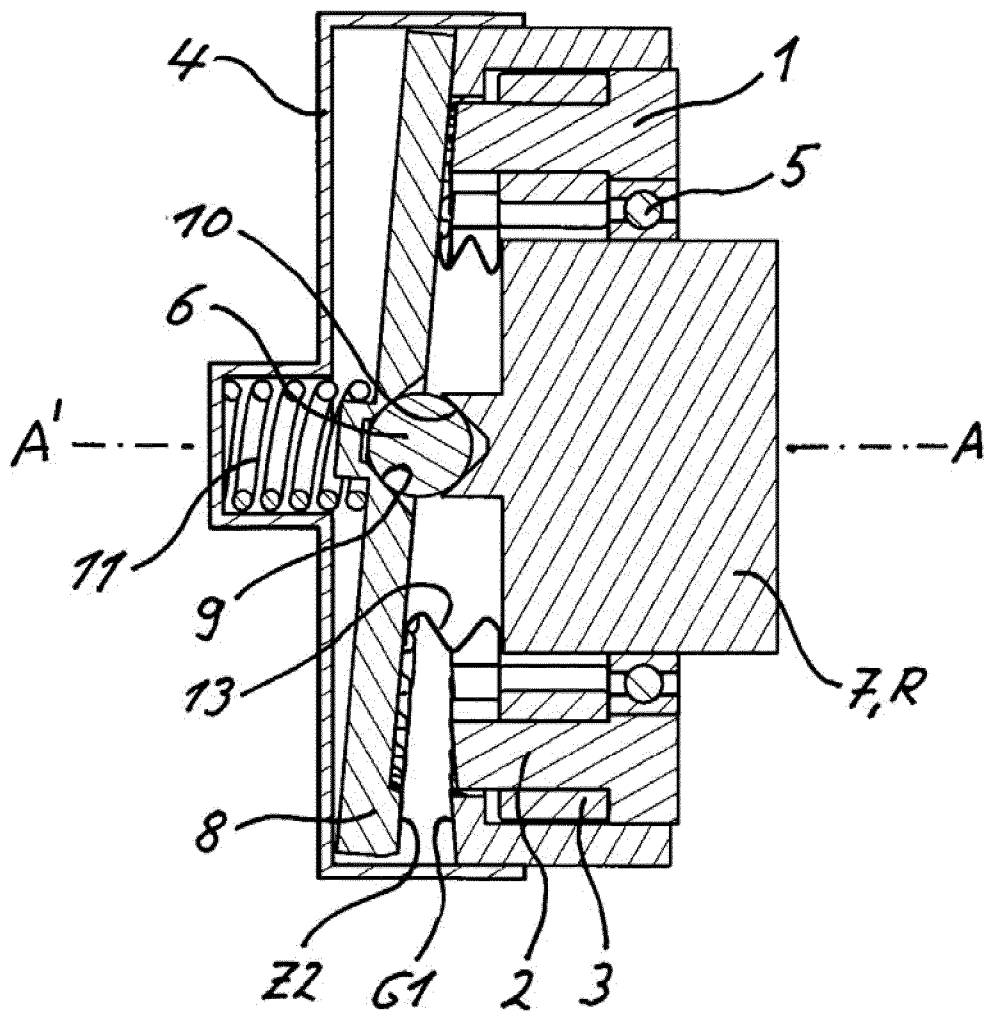


FIG 13

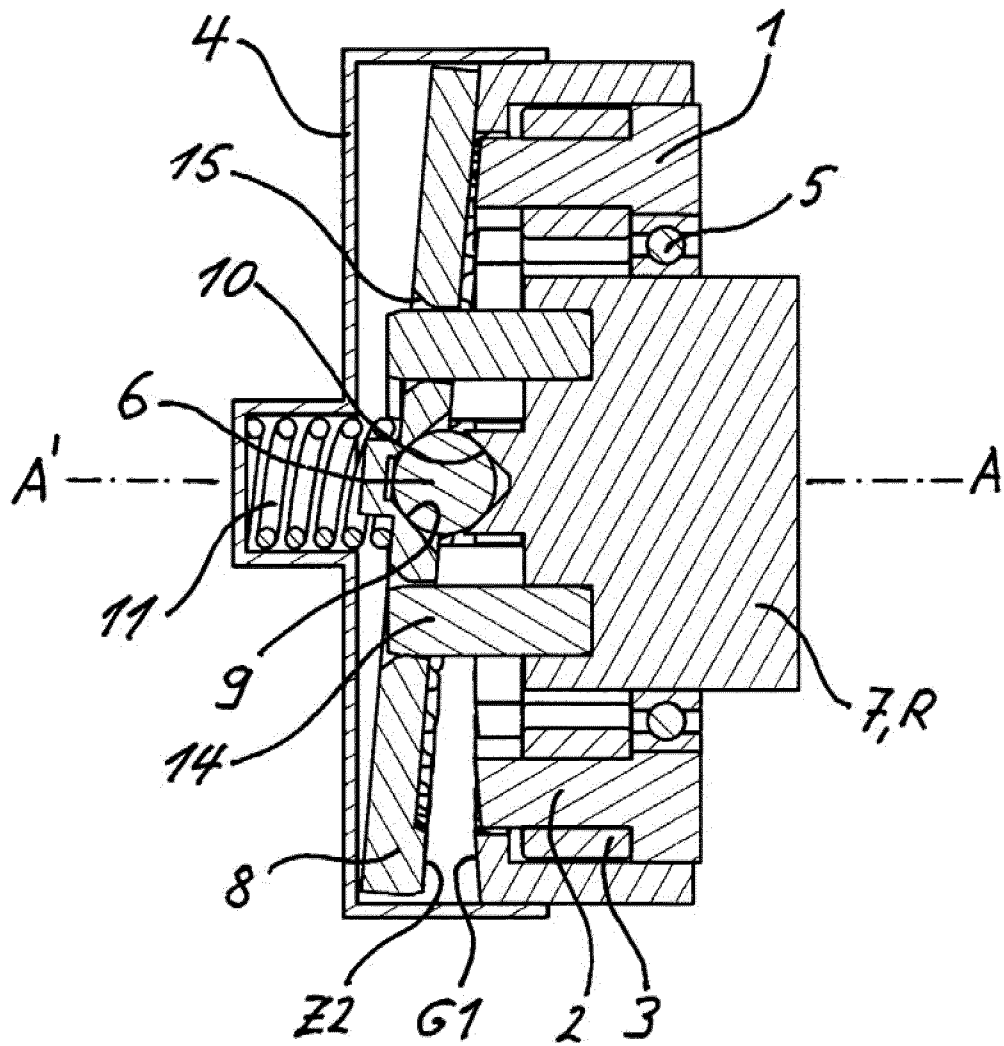


FIG 14

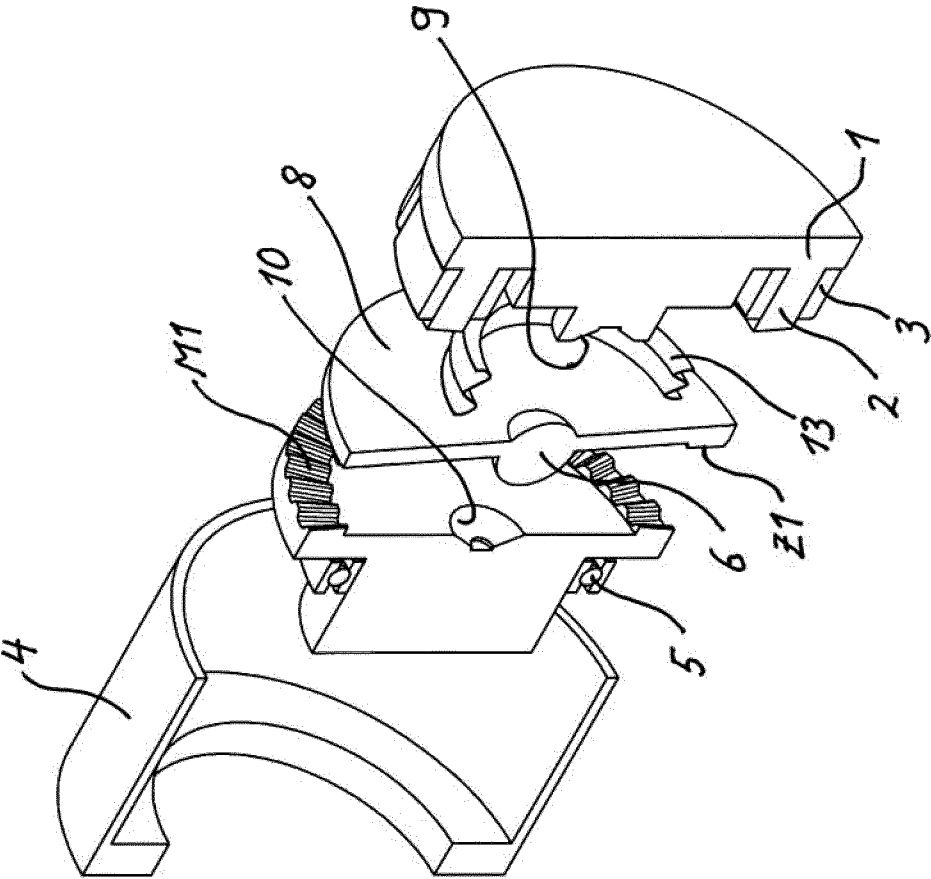


FIG 15B

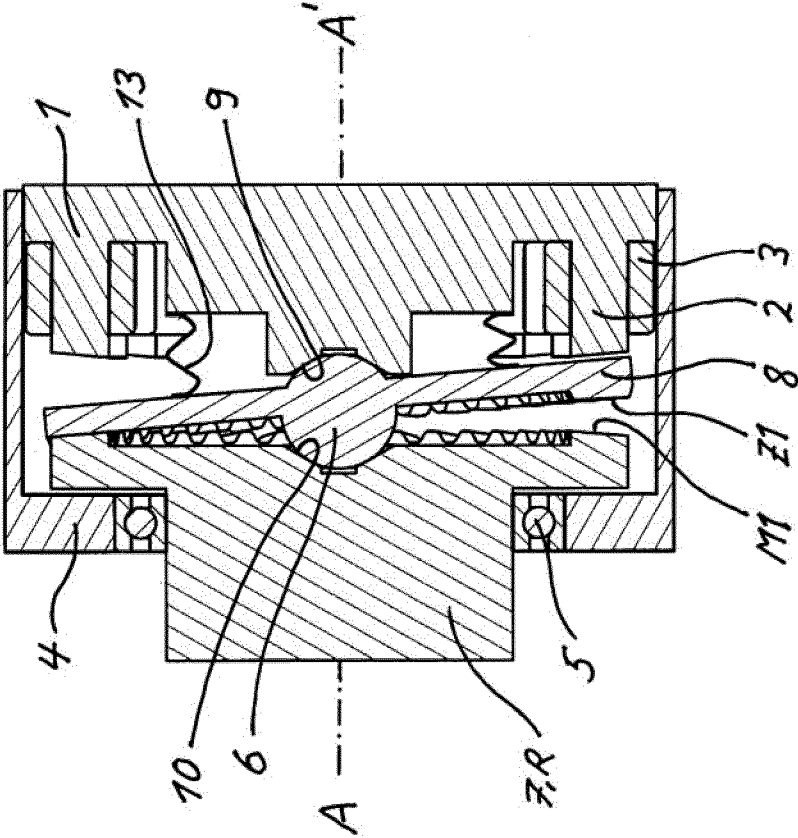


FIG 15A

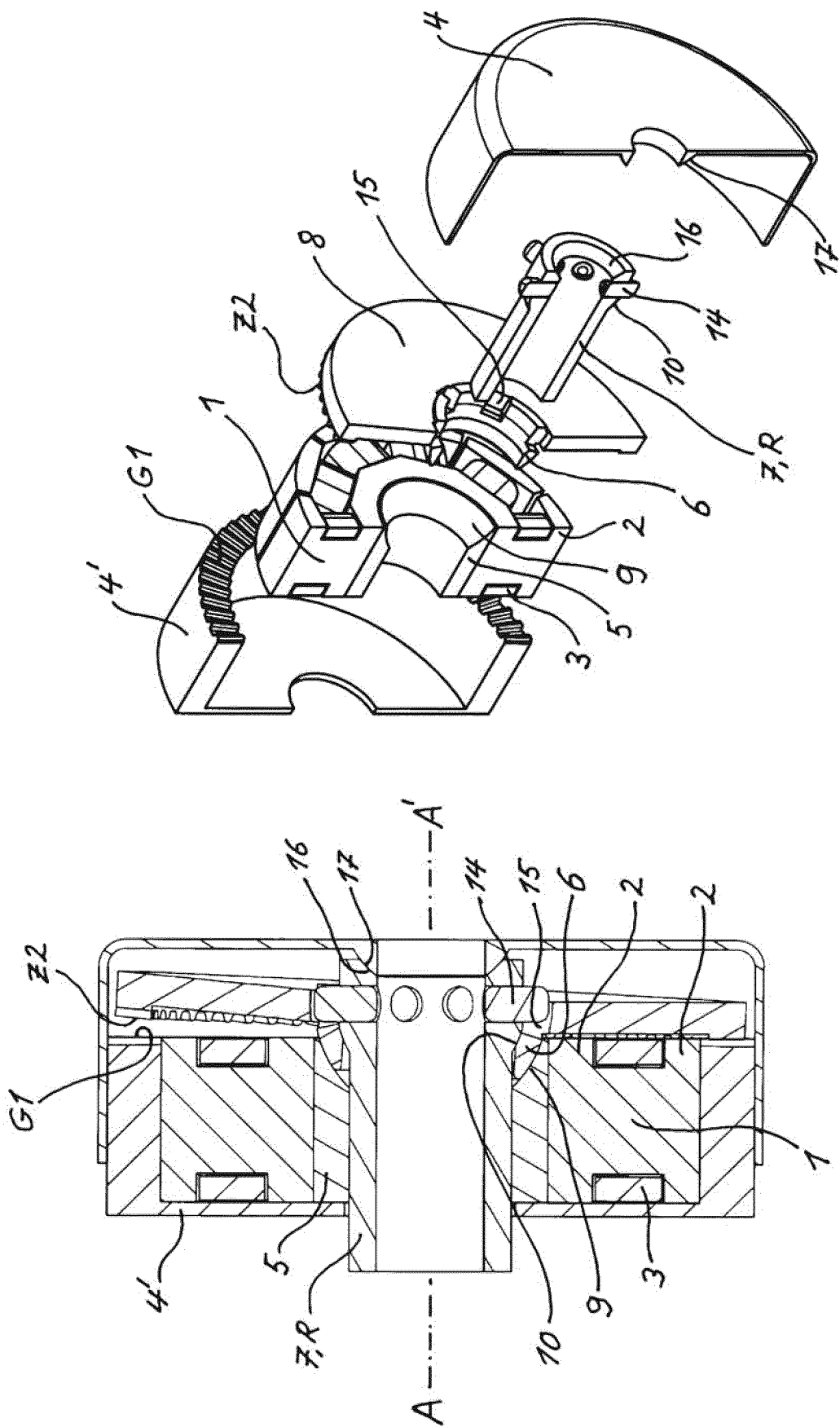


FIG 16B

FIG 16A

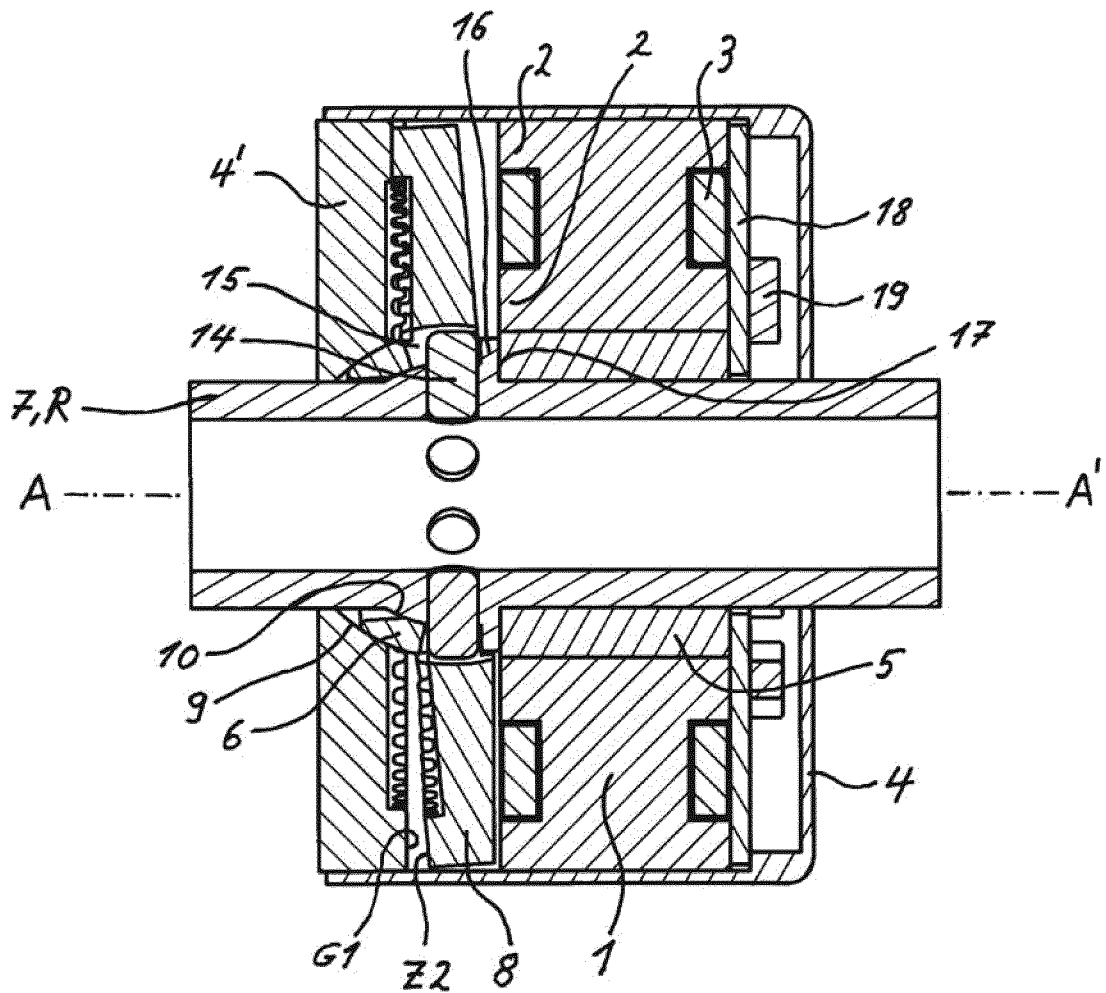


FIG 17A

