

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

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
22. November 2012 (22.11.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/156079 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
F16H 1/32 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/002085

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Mai 2012 (15.05.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 101 436.9 15. Mai 2011 (15.05.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **WILD, Ulrich** [DE/DE]; Lindenstr. 15, 83555
Gars/Bhf. (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GOEPEL, Ernst**
[DE/DE]; Buchendorfer Str. 17, 82131 Gauting (DE).

(74) Anwalt: **PFENNING, MEINIG & PARTNER GBR**;
Theresienhöhe 13, 80339 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,

BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

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

(54) Title: ROTARY DRIVE

(54) Bezeichnung : DREHANTRIEB

(57) Abstract: The present invention relates to a rotary drive having a first body which has a toothing system of the first body, which toothing system runs along a first circular circumference about a first rotational axis, a second body which has a toothing system of the second body, which toothing system runs along a second circular circumference about the first rotational axis, and having a converter which has a first toothing system of the converter, which first toothing system runs along a circular circumference at a first spacing about a second rotational axis, and a second toothing system of the converter, which second toothing system runs coaxially with respect to the first toothing system along a circular circumference at a second spacing, wherein the second rotational axis is parallel to the first rotational axis and spaced apart from it, and having at least two actuators with directions of action which are not parallel to one another, by means of which actuators the converter can be displaced in each case in one direction, wherein the first toothing system of the converter is in engagement with the toothing system of the first body in a first engagement region, wherein the second toothing system of the converter is in engagement with the toothing system of the second body in a second engagement region, and wherein the converter can be displaced by means of the at least two actuators in in each case one direction in such a way that the second rotational axis runs along a circular path around the first rotational axis.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft einen Drehantrieb mit einem ersten Körper, der eine entlang eines ersten kreisförmigen Umfangs um eine erste Rotationsachse umlaufende Zahnung des ersten Körpers aufweist, einem zweiten Körper, der eine entlang eines zweiten kreisförmigen Umfangs um die erste Rotationsachse umlaufende Zahnung des zweiten Körpers aufweist, sowie mit einem Konverter, der eine entlang eines kreisförmigen Umfangs mit einem ersten Abstand um eine zweite Rotationsachse umlaufende erste Zahnung des Konverters und eine zu dieser coaxial mit einem entlang eines kreisförmigen Umfangs mit einem zweiten Abstand umlaufende zweite Zahnung des Konverters aufweist, wobei die zweite Rotationsachse zu der ersten Rotationsachse parallel ist und von dieser beabstandet ist, sowie mit zumindest zwei Aktoren mit zueinander nicht parallelen Wirkrichtungen, mittels derer der Konverter jeweils in eine Richtung verschiebbar ist, wobei die erste Zahnung des Konverters in einem ersten Eingriffsbereich mit der Zahnung des ersten Körpers im Eingriff ist, wobei die zweite Zahnung des Konverters in einem zweiten Eingriffsbereich mit der Zahnung des zweiten

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/156079 A2



Drehantrieb

5 Die vorliegende Erfindung betrifft einen Elektromotor, im Folgenden als Drehantrieb bezeichnet, insbesondere einen einfach steuerbaren, durch elektromagnetische Felder angetriebenen und überlastfesten elektrischen Drehantrieb mit hoher Drehmomentdichte.

10 Elektromotoren nach dem Stand der Technik, wie beispielsweise in der EP1324465B1, der EP0670621B1 und der EP0901710B1 beschrieben, weisen Rotoren auf, die durch elektromagnetische Felder in Rotation versetzt werden können. Die Drehmomente derartiger Elektromotoren sind gering. Hohe Motorleistungen werden durch hohe Rotordrehzahlen erzielt. Deshalb werden Elektromotoren oftmals mit mehrstufigen Getrieben kombiniert, mit der Folge, dass sich der elektromechanische Wirkungsgrad verschlechtert und

15 Bauraum, Gewicht, Getriebeispiel und Geräuschemissionen zunehmen. Die hohen Drehzahlen von Elektromotoren und die hohen Massenträgheiten der Rotoren wirken sich zudem ungünstig auf das Dynamikverhalten aus. Mit Aus-

nahme von Schrittmotoren benötigen Elektromotoren zusätzliche Sensoren zur Erfassung von Drehzahl, Lage oder Last. Schrittmotoren besitzen jedoch ein begrenztes Auflösungsvermögen und störende Rastmomente.

5 Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Elektromotor mit einer im Vergleich zum Stand der Technik hohen Drehmomentdichte, hohen Dynamik, hohen Stellgenauigkeit und hohen Betriebsstabilität bereitzustellen. Insbesondere soll vorteilhaft die Motorwelle durch Anlegen elektrischer Steuerungssignale in definierte Positionen gebracht werden können und/oder durch die
10 elektrischen Steuersignale in definierter Weise in vorgegebenen Drehrichtungen mit vorgegebenen Drehgeschwindigkeiten rotiert werden können.

Die Aufgabe wird gelöst durch den Drehantrieb nach Anspruch 1, das Verfahren zum Betrieb eines Drehantriebs nach Anspruch 19, das Verfahren zur Detektion von Lastmomenten in einem Drehantrieb nach Anspruch 23 und das
15 Verfahren zur Positions- und Lageerfassung eines Drehantriebs nach Anspruch 24. Die jeweiligen abhängigen Ansprüche geben vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Drehantriebs und der erfindungsgemäßen Verfahren an.

20 Erfindungsgemäß wird ein Drehantrieb angegeben, der einen ersten Körper und einen zweiten Körper aufweist, wobei der erste Körper eine entlang eines ersten kreisförmigen Umfangs um eine erste Rotationsachse umlaufende Zahnung des ersten Körpers aufweist und der zweite Körper eine entlang eines zweiten kreisförmigen Umfangs um die erste Rotationsachse umlaufende
25 Zahnung des zweiten Körpers aufweist. Die Zahnungen des ersten Körpers und des zweiten Körpers können also als coaxial angesehen werden. Dabei können die Zahnungen der beiden Körper in einer gemeinsamen oder in unterschiedlichen, vorzugsweise zueinander parallelen Ebenen verlaufen. Die Zahnungen des ersten und zweiten Körpers können durch eine Vielzahl von äquidistant zur ersten Rotationsachse angeordneten Zähnen gebildet sein, wobei gegebene gleiche Punkte jedes Zahns zur ersten Rotationsachse jeweils
30 einen innerhalb eines gegebenen Körpers konstanten Abstand haben. Der Abstand der Zähne des ersten Körpers von der ersten Rotationsachse ist vorteilhafterweise unterschiedlich zum Abstand der Zähne des zweiten Körpers von der ersten Rotationsachse. Insbesondere kann ein Durchmesser einer Verzahnung jeweils ein Teilkreisdurchmesser sein.
35

Der erste Körper und der zweite Körper können vorteilhaft Motorwellen oder

Trägerstrukturen (Gehäuse) sein. Insbesondere kann vorteilhafterweise als Trägerstruktur ein Gehäuse oder ein Motorgehäuse verstanden werden, in dem der erste Körper und der zweite Körper drehbar gelagert sind oder in dem einer der Körper drehbar gelagert ist und der andere mit der Trägerstruktur verbunden ist oder Teil derselben ist, wobei die Aktoren mit der Trägerstruktur verbunden sein können.

Der erfindungsgemäße Drehantrieb weist außerdem einen Konverter auf, der eine entlang eines kreisförmigen Umfangs mit einem ersten Abstand um eine zweite Rotationsachse umlaufende erste Zahnung des Konverters und eine zu dieser coaxial entlang eines kreisförmigen Umfangs mit einem zweiten Abstand umlaufende zweite Zahnung des Konverters aufweist. Der Konverter kann synonym auch als Wälzkörper oder einfach als dritter Körper bezeichnet werden. Der Konverter kann vorteilhafterweise ein, abgesehen von der Zahnung, zylindrischer oder kreisscheibenförmiger Körper sein.

Erfindungsgemäß ist die zweite Rotationsachse zur ersten Rotationsachse parallel angeordnet und von dieser beabstandet. Vorteilhafterweise liegen die Achsen nebeneinander.

Der erfindungsgemäße Drehantrieb weist zumindest zwei Aktoren auf, die zueinander nicht parallele Wirkrichtungen haben, deren Wirkrichtungen also in einem Winkel zueinander stehen, der ungleich 0° und ungleich 180° ist. Weist jedoch der erfindungsgemäße Drehantrieb mehr als zwei Aktoren auf, so ist es möglich, dass einige dieser Aktoren zueinander in einem Winkel von 0° oder 180° stehen.

Mittels der zumindest zwei Aktoren ist der Konverter jeweils in eine Richtung verschiebbar. Mittels eines gegebenen der Aktoren kann also der Konverter vorteilhaft gerade in genau eine Richtung verschiebbar sein, wenn die Wirkung anderer Aktoren außer acht gelassen wird. In dem Sinne können die Aktoren auch als lineare Aktoren angesehen werden.

Erfindungsgemäß ist die erste Zahnung des Konverters in einem ersten Eingriffsbereich mit der Zahnung des ersten Körpers im Eingriff, die erste Zahnung des Konverters ist also im ersten Eingriffsbereich mit der Zahnung des ersten Körpers verzahnt. Darüber hinaus ist auch die zweite Zahnung des Konverters in einem zweiten Eingriffsbereich mit der Zahnung des zweiten Körpers im Eingriff, also mit dieser Zahnung im zweiten Eingriffsbereich verzahnt.

Vorteilhafterweise erstreckt sich der erste Eingriffsbereich und der zweite Eingriffsbereich nur über einen Teil des Umfangs der ersten Zahnung des Konverters und der Zahnung des ersten Körpers bzw. der zweiten Zahnung des Konverters und der Zahnung des zweiten Körpers, also nicht um deren gesamten Umfang.

Mittels der zumindest zwei Aktoren ist erfindungsgemäß der Konverter so in jeweils einer Richtung verschiebbar, dass die zweite Rotationsachse entlang einer Kreisbahn um die erste Rotationsachse umläuft.

Sofern in diesem Dokument von einer Rotationsachse die Rede ist, so ist hierunter zunächst nur eine Rotationsachse im mathematischen Sinne zu verstehen. Der entsprechende Konverter oder Körper kann jedoch um die entsprechende Rotationsachse drehbar gelagert sein und/oder eine auf der Rotationsachse liegende technische Achse aufweisen.

Bevorzugterweise ist der erste Abstand, in dem die erste Zahnung des Konverters um die zweite Rotationsachse umläuft ungleich dem zweiten Abstand, in dem die zweite Zahnung des Konverters um die zweite Rotationsachse umläuft.

Vorteilhafterweise befindet sich im erfindungsgemäßen Drehantrieb stets eine Innenzahnung oder innere Zahnung mit einer Außenzahnung oder einer äußeren Zahnung im Eingriff. So kann die Zahnung des ersten Körpers eine Innenzahnung sein und die erste Zahnung des Konverters eine Außenzahnung oder die Zahnung des ersten Körpers eine Außenzahnung und die erste Zahnung des Konverters eine Innenzahnung. Es ist auch möglich, dass die erste Zahnung des zweiten Körpers eine Innenzahnung ist und die zweite Zahnung des Konverters eine Außenzahnung ist oder die Zahnung des zweiten Körpers eine Außenzahnung ist und die zweite Zahnung des Konverters eine Innenzahnung ist.

Vorteilhafterweise weist der erfindungsgemäße Drehantrieb eine Trägerstruktur auf, die besonders bevorzugt ein Gehäuse sein kann. Es können vorteilhafterweise die zumindest zwei Aktoren fest mit der Trägerstruktur bzw. dem Gehäuse verbunden sein. Alternativ oder auch zusätzlich kann auch entweder der erste oder der zweite Körper fest mit der Trägerstruktur verbunden sein und/oder Teil der Trägerstruktur sein.

Weist der erfindungsgemäße Drehantrieb eine Trägerstruktur bzw. ein Gehäuse als Trägerstruktur auf, können auch nur die zumindest zwei Aktoren wie auch eventuelle weitere Aktoren fest mit der Trägerstruktur verbunden sein und der erste Körper wie auch der zweite Körper gegenüber den Aktoren und der Trägerstruktur drehbar sein. In dieser Ausgestaltung kann der erfindungsgemäße Drehantrieb besonders vorteilhaft als Phasensteller verwendet werden, bei welchem der erste Körper und der zweite Körper mit gleicher Geschwindigkeit um die erste Drehachse drehen, wobei jedoch der erste Körper zur Veränderung der Phase gegenüber dem zweiten Körper vor- oder zurückbewegbar um die erste Drehachse ist, so dass die Dreh-Phase zwischen dem ersten Körper und dem zweiten Körper verändert wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Drehantriebs kann mit dem ersten Körper und/oder mit dem zweiten Körper jeweils eine Welle verbunden sein oder es kann der erste und/oder der zweite Körper Teil jeweils einer Welle sein.

Vorteilhafterweise ist die durch die Aktoren ausgeübte Kraft jeweils auf den Aktor zu gerichtet oder von ihm weg. Es können hierbei die Aktoren daher als lineare Aktoren bezeichnet werden, da sie vorteilhaft eine Kraft nur in einer Hauptrichtung ausüben. Dabei wird als Hauptrichtung eine solche Richtung verstanden, in welcher die durch den entsprechenden Aktor ausgeübten Kräfte im Mittel wirken. Selbst wenn sich durch Überlagerung der Wirkungen der verschiedenen Aktoren Kräfte ergeben, die nicht in dieser Weise auf einen der Aktoren gerichtet sind, sei hier unter einem linearen Aktor ein solcher zu verstehen, der bei Abwesenheit anderer Einflüsse eine Kraft in Richtung des Aktors oder vom Aktor weg ausübt.

Der erfindungsgemäße Drehantrieb kann in einer vorteilhaften Ausgestaltung zumindest einen Exzenter aufweisen, der um die erste Rotationsachse umlaufen kann und der so angeordnet ist, dass er eine Relativbewegung des Konverters in Bezug auf den ersten und/oder zweiten Körper, in zur ersten Rotationsachse radialer Richtung blockiert, durch welche die Zahnung des ersten und/oder des zweiten Körpers mit der entsprechenden Zahnung des Konverters außer Eingriff gebracht würde. Durch einen solchen Exzenter kann ein besonders sicherer Betrieb auch bei hohen Lastmomenten sichergestellt werden.

Vorteilhafterweise weist der Exzenter einen außen umlaufenden Kontaktbe-

reich auf, der mit einem innen umlaufenden Kontaktbereich des Konverters zumindest in einem Bereich in Berührung ist, der radial relativ zu ersten Rotationsachse in gleicher Richtung oder in entgegengesetzter Richtung wie der erste und/oder zweite Eingriffsbereich angeordnet ist. Alternativ kann der Exzenter einen innen umlaufenden Kontaktbereich aufweisen, der mit einem außen umlaufenden Kontaktbereich des Konverters zumindest in einem Bereich in Berührung ist, der radial relativ zur ersten Rotationsachse in gleicher Richtung oder in entgegengesetzter Richtung wie der erste und/oder der zweite Eingriffsbereich angeordnet ist.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung kann der Exzenter eine Scheibe, ein Ring oder ein Zylinder sein, der vorzugsweise kreisförmig ist. Dabei kann der Exzenter um die erste Rotationsachse drehbar gelagert sein. Seine Symmetrieachse kann gegenüber der ersten Rotationsachse radial relativ zur ersten Rotationsachse in Richtung des ersten Eingriffsbereichs oder vom ersten Eingriffsbereich weg und/oder in Richtung des zweiten Eingriffsbereichs oder vom zweiten Eingriffsbereich weg versetzt sein. Der Exzenter kann also mit seiner Symmetrieachse um die erste Achse parallel versetzt drehbar gelagert sein und der Achsversatz kann relativ zur ersten Achse in Richtung des ersten Eingriffsbereichs oder vom ersten Eingriffsbereich weg und/oder in Richtung des zweiten Eingriffsbereichs oder vom zweiten Eingriffsbereich weg gerichtet sein.

Vorteilhafterweise kann der erfindungsgemäße Drehantrieb zumindest eine Ausgleichsmasse aufweisen, die so angeordnet ist, dass ihr Schwerpunkt einem Schwerpunkt des Konverters in jeder Lage des Konverters relativ zur ersten Rotationsachse radial gegenüberliegt oder radial in gleicher Richtung liegt wie der Schwerpunkt des Konverters. Liegt der Schwerpunkt in gleicher Richtung wie der Schwerpunkt des Konverters, wird eine Unwucht verstärkt, liegt er in entgegengesetzter Richtung, wird eine Unwucht ausgeglichen.

Insbesondere kann auch ein Schwerpunkt des Exzenter einem Schwerpunkt des Konverters in jeder Lage des Konverters relativ zu ersten Rotationsachse radial gegenüberliegen oder in gleicher Richtung liegen wie der Schwerpunkt des Konverters.

Vorteilhafterweise üben die Aktoren jeweils eine Kraft unmittelbar auf den Konverter aus. Sie erzeugen also vorteilhaft eine Kraft, die auf den Konverter oder eine Achse des Konverters selbst wirkt.

Vorteilhaft ist insbesondere auch eine Ausgestaltung, wobei die Aktoren jeweils eine Kraft auf eine auf der zweiten Rotationsachse liegende Achse oder ein auf der zweiten Rotationsachse liegendes Drehlager des Konverters ausüben, auf welchem der Konverter drehbar gelagert ist. Vorzugsweise können die Aktoren mit der Achse oder dem Drehlager fest verbunden sein. Dabei können sie insbesondere mit jenem Ende des entsprechenden Aktors an der Achse oder dem Drehlager verbunden sein, mit welchem sie nicht beispielsweise an einer Trägerstruktur oder einem Gehäuse verbunden sind.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung können die Aktoren durch elektromagnetische Kräfte wirken. In diesem Falle weist vorzugsweise der Konverter und/oder ein Drehlager des Konverters ein ferromagnetisches Material auf oder besteht aus einem solchen.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung können zumindest zwei ineinander greifende Zahnungen Zyklidenzahnungen und/oder Evolventenzahnungen sein. Es können also die Zahnung des ersten Körpers mit der ersten Zahnung des Konverters und/oder die Zahnung des zweiten Körpers mit der zweiten Zahnung des Konverters eine Zyklidenverzahnung und/oder eine Evolventenverzahnung bilden.

Erfindungsgemäß ist außerdem ein Verfahren zum Betrieb eines Drehantriebs wie oben beschrieben. Dabei werden die Aktoren umlaufend so angesteuert und/oder bestromt, dass sie eine um die erste Rotationsachse umlaufende Kraft auf den Konverter und/oder ein Drehlager des Konverters ausüben bzw. bewirken. Dabei kann vorteilhaft durch die Aktoren auf den Konverter und/oder das Drehlager jeweils eine anziehende und/oder eine abstoßende Kraft ausgeübt werden.

Verschiedene Aktivierungsmuster der Aktoren sind möglich. So kann beispielsweise zu einem gegebenen Zeitpunkt jeweils genau ein Aktor aktiv sein. Es ist aber auch möglich, dass mehrere Aktoren voll aktiv sind oder dass mehrere Aktoren phasenversetzt aktiv sind.

Die Aktoren können vorteilhaft durch Bestromen aktiviert werden. In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist es möglich, die Aktoren mit einem sinusförmigen Stromverlauf zu bestromen, wobei benachbarte Aktoren mit Strom benachbarter Phasen bestromt werden und wobei eine Phasendifferenz zwi-

schen zwei benachbarten Phasen gleich dem Winkel zwischen zwei benachbarten Aktoren ist, den diese in einer Ebene senkrecht zur Rotationsachse mit der Rotationsachse einschließen. Vorteilhafterweise ist eine Anzahl von Aktoren größer oder gleich drei dabei in äquidistanten Winkelabständen um die Rotationsachse angeordnet.

Erfindungsgemäß kann mit dem erfindungsgemäßen Drehantrieb außerdem ein Verfahren zur Detektion von Lastmomenten ausgeführt werden, wobei ein Moment zwischen dem ersten Körper und einer Trägerstruktur und/oder einem zweiten Körper und der Trägerstruktur und/oder zwischen dem ersten und dem zweiten Körper bestimmt wird, indem Amplituden und/oder Phasenbeziehungen zwischen den elektrischen Größen Strom, Spannung und/oder Ladung der Aktoren mittels elektronischer Auswertemittel und/oder durch Auswertung von elektrischen Induktivitäten, elektrischen Kapazitäten und/oder elektrischen Widerständen der Aktoren detektiert wird.

Erfindungsgemäß ist außerdem ein Verfahren zur Positions- und/oder Lageerfassung eines Drehantriebs wie oben beschrieben, wobei die Position und/oder die Lage des Konverters in Bezug auf eine Trägerstruktur und/oder des ersten Körpers und/oder des zweiten Körpers in Bezug auf die Trägerstruktur und/oder der Körper in Bezug zueinander durch Auswertung der Amplituden und/oder Phasenbeziehungen zwischen den elektrischen Größen Strom, Spannung und/oder Ladung der Aktoren mittels elektronischer Auswertemittel und/oder durch Auswertung von elektrischen Induktivitäten, elektrischen Kapazitäten und/oder elektrischen Widerständen der Aktoren detektiert wird.

Vorteilhafterweise können zur Erfassung von Drehzahl und/oder Position und/oder Kräften zwischen dem ersten Körper und einer Trägerstruktur und/oder einem zweiten Körper und der Trägerstruktur und/oder zwischen dem ersten und dem zweiten Körper Sensoren vorhanden sein.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung kann der Drehantrieb die folgenden Merkmale aufweisen.:

- eine drehbar gelagerte Motorwelle mit einer Verzahnung,
- ein als Konverter bezeichnetes ringförmiges, zylindrisches oder scheibenförmiges Element, mit einer ersten und einer zweiten Verzahnung, wobei der Konverter mit seiner zweiten Verzahnung in der Verzahnung der Motorwelle

abwälzbar ist,

- ein Motorgehäuse mit einer Verzahnung, wobei die erste Verzahnung des Konverters in der Verzahnung des Motorgehäuses abwälzbar ist,

- elektrisch steuerbare Aktoren durch die auf den Konverter bezüglich der Motorwellenachse umlaufende Kräfte ausgeübt werden können,

- so dass der Konverter durch die elektrisch steuerbaren Aktuatoren zu einer kreisförmigen Verschiebebewegung in der Ebene senkrecht zur Motorwellenachse derart anregbar ist, dass sich der Konverter mit seiner ersten Verzahnung formschlüssig in der Verzahnung des Motorgehäuses abwälzt und sich der Konverter gleichzeitig mit seiner zweiten Verzahnung formschlüssig in der Verzahnung der Motorwelle abwälzt und die Motorwelle in Rotation versetzt wird.

Die vorliegende Erfindung liefert einen Drehantrieb, der sich durch eine hohe Drehmomentdichte, eine hohe Positioniergenauigkeit und eine kostengünstige Herstellung auszeichnet. Dieses kann vorteilhaft insbesondere durch die im Folgenden beschriebenen Maßnahmen erreicht werden.

Der Konverter kann in einer vorteilhaften Ausgestaltung mit seiner ersten und zweiten Verzahnung im Zusammenwirken mit den Verzahnungen des Motorgehäuses und der Motorwelle ein zweistufiges Getriebe bilden.

Die erste Getriebestufe kann von der Verzahnungspaarung von erster Verzahnung des Konverters und der Verzahnung des Motorgehäuses gebildet werden.

Die zweite Getriebestufe kann durch die Verzahnungspaarung von zweiter Verzahnung des Konverters und der Verzahnung der Motorwelle gebildet werden.

Jede Getriebestufe kann ein eigenes Übersetzungsverhältnis besitzen, welches durch die Zähnezahldifferenz der sich ineinander formschlüssig abwälzenden Zahnpaarungen gegeben ist.

Vorzugsweise weisen Motorwelle, Konverter und Motorgehäuse kreisförmige Verzahnungen auf.

Die Verzahnungen von Motorwelle und Motorgehäuse sind zueinander vorzugsweise konzentrisch, auf einer Achse, angeordnet. Als konzentrisch zuei-

einander angeordnete Verzahnungen wird vorteilhafterweise verstanden, dass die Verzahnungen bezüglich einer Achse coaxial angeordnet sind und die Teilkreismittelpunkte der Verzahnungen auf dieser Achse liegen.

Der Konverter kann vorteilhaft durch elektrisch steuerbare Aktoren zu Bewegungen bevorzugt in der senkrecht zur Motorwellenachse liegenden Ebene angeregt werden. Als elektrisch steuerbare Aktoren werden bevorzugt Aktoren verstanden, die elektrische Energie in mechanische Energie umwandeln und die anziehende oder abstoßende und/oder anziehende und abstoßende Kräfte auf Körper ausüben können.

Insbesondere sind die Aktoren vorzugsweise linear wirkende Aktoren und nicht rotative Aktoren wie z.B. Exzenter oder Elektromotoren.

Insbesondere können vorteilhaft auf den Konverter durch elektromagnetische Aktoren, vorzugsweise in der Ebene senkrecht zur Motorwellenachse wirkende und um die Motorwellenachse umlaufende magnetische Kräfte ausgeübt werden. Als elektromagnetische Aktoren eignen sich alle Bauformen heute bekannter Elektromagnete. Als Aktoren können auch elektrostatische Aktoren verwendet werden. Ebenso können Festkörperaktoren als Aktoren zur Verschiebung des Konverters Anwendung finden. In einer bevorzugten Ausführungsform können die Aktoren bezüglich der Motorwellenachse radial angeordnete und elektrisch ansteuerbare Elektromagnete sein.

Die Elektromagnete können beispielsweise jeweils einen Kern ferromagnetischen Materials aufweisen, der von einer Spule aus Windungen eines elektrisch leitenden isolierten Drahtes umwickelt ist. Die Kerne der Elektromagnete können vorteilhaft als Polschuhe ausgebildet sein. Die Anordnung sämtlicher Elektromagnete mit den Kernen und Polschuhen kann als Stator, die einzelnen Elektromagnete als elektrisch steuerbare Statormittel bezeichnet werden. Der Stator mit den elektrisch steuerbaren Statormitteln kann in einer Ausführungsform der Erfindung fest mit einem Motorgehäuse verbunden sein.

Insbesondere können vorteilhaft als elektrisch steuerbare Statormittel auch Festkörperaktoren oder elektrostatische Aktoren eingesetzt werden, z.B. piezoelektrische Aktoren, elektrostriktive Aktoren, magnetostriktive Aktoren, Magnetic Shape Memory MSM-Aktoren, Bimetallaktoren, dielektrische Aktoren, elektrostatische Comb-Aktoren. In diesem Fall kann die Anordnung dieser, der kreisförmigen Verschiebung des Konverters dienenden Aktoren,

als Stator und die Aktoren als elektrisch schaltbare Statormittel bezeichnet werden.

Der erfindungsgemäße Drehantrieb kann vorteilhafterweise in mehreren Bauarten dargestellt werden, von denen einige im folgenden Beschrieben werden:

- Drehantrieb mit innenliegendem Stator, der von dem Konverter umschlossen wird
- Drehantrieb mit außenliegendem Stator, in dessen Innerem der Konverter angeordnet ist
- Drehantrieb mit einem Konverter, der von einem innenliegendem und einem aussenliegenden Stator umschlossen wird
- Drehantrieb mit mehreren Statoren, entsprechend der Kombination obiger drei Anordnungen

Insbesondere kann der Konverter vorteilhafterweise ringförmig, zylindrisch, kreisförmig oder scheibenförmig sein.

Sind die Statormittel elektrostatische Aktoren mit zwei beabstandeten Elektrodenanordnungen oder daraus bestehend, zwischen denen durch Anlegen einer veränderbaren elektrischen Potenzialdifferenz steuerbare Kräfte erzeugt werden können, so kann jeweils eine der Elektrodenanordnung mit dem Konverter und/oder dem Drehlager des Konverters und die andere mit dem Motorgehäuse verbunden sein. Der Konverter und/oder das Drehlager des Konverters kann in diesem Fall ein beliebiges Material aufweisen oder daraus bestehen, z.B. Silizium, Kunststoff, Metall.

Sind die Statormittel sonstige nicht elektromagnetische Aktoren, z.B. Piezoaktoren, so sind diese vorteilhafterweise mit ihrem einen Ende in der Wirkrichtung des jeweiligen Aktors möglichst steif und in der Richtung senkrecht zur Wirkrichtung des jeweiligen Aktors möglichst weich mit dem Konverter und/oder dem Drehlager des Konverters verbunden und mit ihrem anderen Ende mit dem Motorgehäuse verbunden, so dass sich die Wirkungen mehrerer an dem Konverter und/oder dem Drehlager des Konverters angebrachter Aktoren möglichst störungsfrei überlagern kann. Hierbei kann der Konverter und/oder das Drehlager des Konverters ebenfalls ein beliebiges Material aufweisen oder daraus bestehen, z.B. Silizium, Kunststoff, Metall.

Zur Erläuterung des Aufbaus und der Funktion des erfindungsgemäßen Drehantriebs wird aus Gründen der Klarheit der Darstellung zunächst auf elektromagnetische Statormittel, d.h. Elektromagnete, Bezug genommen. Hierbei weist der Konverter zumindest in Teilbereichen ein ferromagnetisches Material auf oder besteht daraus in diesen Teilbereichen, auf welches die Statormittel (Elektromagnete) elektromagnetische Kräfte ausüben können.

Bei innenliegendem Stator können die Polschuhe des Stators von dem weichmagnetischem Konverter in geringem Abstand umschlossen werden. Unter weichmagnetischen Materialien werden hier ferromagnetische Materialien verstanden. Der Abstand ist vorzugsweise möglichst klein gewählt, so dass die magnetischen Kräfte auf den Konverter maximal werden, jedoch ein mechanischer Kontakt zwischen den Polen des Stators und dem Konverter ausgeschlossen ist. Es ist nicht erforderlich, dass der gesamte Konverter aus weichmagnetischem Material besteht. Für die Funktion des Drehantriebes ist es ausreichend, wenn der Konverter in den den Polschuhen gegenüberliegenden Bereichen zumindest teilweise weichmagnetisches Material aufweist oder in diesen Teilbereichen daraus besteht. In einer weiteren Ausführungsform kann der Konverter auf seiner den Polschuhen zugewandten Fläche Permanentmagnete aufweisen.

Der Aufbau des Drehantriebs mit außenliegendem Stator kann analog aufgebaut sein, nur dass der Konverter innenliegend ist und von den Polschuhen des Stators in geringem Abstand umschlossen ist.

Zur weiteren Leistungssteigerung kann der Konverter vorteilhaft von einem innenliegenden und einem außenliegenden Stator umschlossen sein, zwischen denen ein ringförmiger Spalt besteht, in dem der ring- oder glockenförmige Konverter angeordnet ist.

Ebenso ist es möglich, dass der Drehantrieb mehrere Statoren aufweist, die Kräfte auf den Konverter übertragen können, wobei die Statoren sowohl innenliegend und/oder auch außenliegend sein können.

Insbesondere sind vorzugsweise die Polschuhe des Stators konzentrisch bezüglich der Verzahnungen von Motorwelle und Motorgehäuse angeordnet. Die Mittelpunkte von Motorwellenverzahnung, Motorgehäuseverzahnung und Stator befinden sich vorzugsweise auf einer Achse. Sowohl die Verzahnungen, als auch der Stator liegen vorteilhafterweise jeweils in Ebenen, die

senkrecht zu dieser Achse orientiert sind. Die Längserstreckung dieser Elemente entlang der Achse ist nicht limitiert.

5 Im Unterschied zu allen bekannten Bauformen von Elektromotoren können vorteilhaft bei dem erfindungsgemäßen Antrieb durch umlaufende phasenversetzte Bestromung der Elektromagnete, bzw. Magnetpole der Statoren, überwiegend radial wirkende magnetische Kräfte auf den Konverter ausgeübt werden.

10 Die umlaufenden und insbesondere radial auf den Konverter wirkenden Magnetkräfte können vorteilhaft zu einem formschlüssigen Eingriff und Abwälzen der Verzahnungen des Konverters in der Verzahnung des Motorwellengehäuses und zugleich der Verzahnung der Motorwelle und damit zu einer Rotation der Motorwelle führen.

15 Hierzu sind die Paarungen Motorwellenverzahnung/zweite Verzahnung des Konverters und Motorgehäuseverzahnung/erste Verzahnung des Konverters bevorzugt so ausgeführt, dass diese dieselbe Exzentrizität besitzen. Geringe Unterschiede in der Exzentrizität beeinträchtigen die Funktion des Drehantriebes jedoch nicht. Insbesondere kann als Exzentrizität einer Verzahnungspaarung der Achsversatz des Teilkreismittelpunktes der einen Verzahnung zum Teilkreismittelpunkt der anderen Verzahnung verstanden werden.

20 In axialer Richtung, d.h. in Richtung der Motorwellenachse, kann die Verschiebung des Konverters vorteilhaft durch Anschläge, Pass/Federscheiben oder andere Elemente oder Vorrichtungen begrenzt sein.

30 In radialer Richtung ist vorzugseise die maximale Verschiebung des Konverters durch die Durchmesserdiffenzen von Motorwellenverzahnung zur zweiten Verzahnung des Konverters und von der Motorgehäuseverzahnung zur ersten Verzahnung des Konverters begrenzt. Insbesondere weisen diese beiden Verzahnungspaarungen vorteilhafterweise eine möglichst gleiche Exzentrizität auf.

35 Mittels weiter nicht dargestellter mechanischer Mittel kann vorteilhaft zusätzlich eine Parallelführung des Konverters in der Ebene senkrecht zur Motorwellenachse unterstützt werden, ohne dessen Verschiebung und Rotation zu behindern. Hierzu kann der Konverter mit seinen Begrenzungsflächen beispielsweise geeignet in das Motorgehäuse und die weiteren Motorkomponenten

einpasst, oder mit zusätzlichen Führungsflächen, z.B. Seitenscheiben oder Lagerungsmitteln wie Kugellagern, Nadellagern, Gleitlagern versehen sein.

5 Zum Betrieb des Drehantriebes können vorteilhafterweise die Verzahnungen des Konverters in Eingriff mit der Motorwellenverzahnung und der Motorgehäuseverzahnung gebracht werden. Hierzu können die Magnetpole des Stators so bestromt werden, dass eine radiale Summenkraft von den Magnetpolen auf den Konverter ausgeübt wird. Hierdurch kann eine Anfangsstellung der Motorwelle definiert werden und die Motorwelle zunächst in
10 ihrer Drehwinkelstellung gehalten werden.

Ausgehend von diesem Phasenwinkel kann das elektrische Bestromungsmuster der Magnetpole bezüglich der Motorwellenachse I - I' nun umlaufend rotiert werden. Für den Drehantrieb eignen sich unterschiedlichste Bestromungsmuster. Beispielsweise kann jeweils nur ein Magnetpol
15 bestromt sein und die Bestromung von Magnetpol zu Magnetpol weitergeschaltet werden. Hierdurch ergibt sich eine mehr schrittartige Rotation der Motorwelle. Eine gleichförmigere Rotation der Motorwelle lässt sich beispielsweise durch eine umlaufende phasenversetzte Bestromung jeweils mehrerer Magnetpole erreichen, wobei die Signalform der elektrischen Ströme der Magnetpole bevorzugt sinusförmig ist. Die umlaufende Signalform der
20 Bestromung der einzelnen Magnetpole, um eine umlaufende Radialkraft auf den Konverter auszuüben, kann jedoch unterschiedlichster Art sein. Z.B. können die Magnetpole auch mit dreieckförmigen, rampenförmigen, trapezförmigen, sägezahnartigen oder anderen Signalformen mit unterschiedlichen Phasenversätzen zwischen den einzelnen Magnetpolen umlaufend bestromt
25 werden. Insbesondere eignet sich auch das Reluktanzprinzip für den erfindungsgemäßen Drehantrieb.

Der erfindungsgemäße Drehantrieb kann eine Vielzahl von Magnetpolen aufweisen. Es kann dann beispielhaft die folgende Funktionalität realisiert sein. Die Magnetpole seien zur Darstellung umlaufend von P1 bis PX nummeriert. Ohne Beschränkung der Allgemeinheit und nur zum Zwecke der Veranschaulichung werde angenommen, dass der Drehantrieb eine Anzahl von PX Magnetpolen aufweist und zunächst nur der Magnetpol P1 voll bestromt ist, während alle anderen Magnetpole unbestromt sind. Im Weiteren werde ange
30 nommen, dass der Konverter weichmagnetisches Material aufweist oder daraus besteht. Die Bestromung von Magnetpol P1 bewirkt eine vom Magnetpol P1 auf den Konverter radial gerichtete Anzugskraft, wodurch die Verzahnungen des Konverters in vollständigen Eingriff mit den Verzahnungen von Mo
35

torwelle und Motorgehäuse geraten. Durch Bestromung des benachbarten Magnetpol P2 und Entstromung von Magnetpol P1 wirkt auf den Konverter nun eine auf den Magnetpol P2 gerichtete Anzugskraft, wodurch sich der Konverter mit seiner ersten Verzahnung in der Motorgehäusverzahnung so-
5 weit abwälzt, bis der Abstand der Konverteroberfläche zum Magnetpol P2 minimal ist und sich ein neues Kräftegleichgewicht eingestellt hat. Durch wiederholtes sequentielles Fortschalten der Bestromung von Magnetpol P1 bis zu Magnetpol PX kann sich der Konverter mit seiner ersten Verzahnung folglich in der Motorgehäuseverzahnung abwälzen und wird dadurch in Rotation ver-
10 setzt. Als Folge der unterschiedlichen Durchmesser von der ersten Verzahnung des Konverters und der Motorgehäuseverzahnung und der dadurch bedingten Exzentrizität, ist der Eigenrotation des Konverters dabei eine kreisförmige Verschiebewegung (= Taumelbewegung) des Konverters überlagert. Aufgrund der Taumelbewegung des Konverters wälzt sich daher gleich-
15 zeitig die Verzahnung der drehbar gelagerten Motorwelle in der zweiten Verzahnung des Konverters ab, wodurch die Motorwelle in Bezug auf den Konverter in Rotation versetzt wird. Zusätzlich überträgt sich die Eigenrotation des Konverters mit dem Verhältnis Zähnezah der Motorwellenaußenverzahnung zu Zähnezah der zweiten Innenverzahnung des Konverters auf die Mo-
20 torwelle. Die resultierende Rotation der Motorwelle gegenüber dem Motorgehäuse ergibt sich aus der Addition dieser Anteile. Während also die erste Getriebstufe des Konverters die radial umlaufenden Magnetkräfte in eine Taumelbewegung des Konverters mit überlagerter Drehbewegung des Konverters umwandelt, wandelt die zweite Getriebstufe des Konverters die Taumelbewegung wieder in eine reine Rotation der Motorwelle zurück, der die Drehbewegung der zweiten Getriebstufe zusätzlich überlagert ist.

Der erfindungsgemäße Drehantrieb kann somit vorteilhafterweise radial umlaufende Wirkkräfte, insbesondere elektromagnetische Zug- und Druckkräfte, in Rotation umwandeln. Durch die Möglichkeiten unterschiedlicher Verzahnungsauslegungen und deren Kombination ist eine sehr große Spreizung der Getriebeübersetzung, von extrem hochübersetzt bis niedrig übersetzt, mög-
30 lich. Der erfindungsgemäße Drehantrieb benötigt nur wenige Komponenten und baut äusserst kompakt. Insbesondere benötigt er nicht zwangsweise eine mechanische Lagerung für den Konverter, z.B. in Form eines Exzenterpleuels, eine solche kann optional jedoch vorgesehen sein. Der Konverter und die Abwälzkinematik der Verzahnungen wandeln Verschiebewegungen somit besonders effizient in Rotation und Drehmoment um. In Verbindung mit zyk-
35 loidischen Verzahnungen ist eine hohe Überlastfähigkeit gegeben, der Dreh-

antrieb kann jedoch auch Evolventenverzahnungen oder andere Verzahnungsformen aufweisen. Insbesondere eignet sich der erfindungsgemäße Drehantrieb zum gesteuerten Betrieb, da zwischen der mechanischen Winkelstellung der Motorwelle und der elektrischen Phase eine eindeutige Zuordnung besteht.

Folgende weitere Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Drehantriebes sind ebenfalls möglich.

Der Konverter kann sich auf den Polschuhen berührend abwälzen. Der Kraftschluss kann hierbei sowohl reib- als auch formschlüssig sein. Hierzu können die Polschuhe sowie die Bereiche zwischen den Polschuhen eine geschlossene oder teilweise Verzahnung (Verzahnung des ersten Körpers) besitzen, in der sich die erste Verzahnung des Konverters abwälzt.

Der sich in seinen Verzahnungen exzentrisch abwälzende Konverter kann so angeordnet sein, dass er sich den Polschuhen im Motorbetrieb nur bis auf einen minimalen Abstand nähert, ohne diese zu berühren. Dieser Abstand kann durch die Verzahnungen und/oder durch einen Exzenter sichergestellt werden.

Ebenso kann der Drehantrieb mehrere Statoren und/oder Konverter aufweisen, die ineinander verschachtelt und/oder längs einer Achse angeordnet sind, wobei die Statoren sowohl innenliegend und/oder außenliegend sein können. Auch kann der Konverter mehr als eine erste Verzahnung und/oder mehr als eine zweite Verzahnung aufweisen, die sich in korrespondierenden Verzahnungen von Welle und Gehäuse abwälzen.

Für die Funktion des Drehantriebes ist es ausreichend, wenn der Konverter in den den Polschuhen angrenzenden Bereichen zumindest teilweise ferromagnetisches Material aufweist. In einer weiteren Ausführungsform kann der Konverter Permanentmagnete aufweisen, so dass auf diesen von den Aktoren ziehende und/oder drückende Kräfte ausübbar sind.

Insbesondere können die Polschuhe des Stators koaxial bezüglich der Verzahnungen von Welle(n) und Gehäuse(n) angeordnet sein. Die Mittelpunkte der Teilkreise von Wellenverzahnung(en) und Gehäuseverzahnung(en) können sich vorteilhaft auf einer Achse des Stators befinden, die bezogen auf die Welle(n) eine Drehachse darstellt. Insbesondere liegen die Verzahnungen und der

Stator mit den Magnetpolen in Ebenen, die senkrecht zur Drehachse orientiert sind. Die Längserstreckung dieser Elemente entlang der Drehachse ist nicht limitiert.

5 Im Unterschied zu bekannten Elektromotoren besitzt der erfindungsgemäße Drehantrieb anstelle eines Rotors einen Wälzkörper oder Konverter. Vorteilhaft werden weder durch die Magnetfelder der bestromten Elektromagnete des Stators noch durch Festkörperaktoren unmittelbar Drehmomente auf den Konverter bezüglich Rotationen um die Symmetrieachse seiner coaxialen Ver-
10 zahnungen, d.h. seiner Wälzachse, ausgeübt. Vielmehr wird vorteilhafterweise der Konverter durch die annähernd linear wirkenden Aktoren in einer senkrecht zur Drehachse liegenden Ebene verschoben.

15 Erfindungsgemäß weist der Konverter Zahnungen, oder synonym Verzahnungen, auf, deren Eingriffsbereiche sich bei umlaufender Bestromung der Aktoren verlagern, so dass sich der Konverter in zugeordneten Verzahnungen von Wellen und/oder Gehäusen abwälzt und dabei exzentrische Bewegungen ausführt. Der Abstand des Konverters zu den Polschuhen ist bei der exzentrischen Bewegung des Konverters somit veränderlich. Bei Elektromotoren üblicher Bauart ist der Rotor konzentrisch beabstandet zu den Polschuhen gela-
20 gert und führt eine reine Rotations- und keine exzentrische Bewegung aus. Demzufolge ist der Abstand des Rotors zu den Polschuhen bei herkömmlichen Elektromotoren konstant.

25 Die Drehmomententstehung bei dem erfindungsgemäßen Drehantrieb basiert auf der exzentrischen Verschiebung des Konverters bei Einwirkung äußerer Lastmomente bezüglich dem lastfreien Zustand, wenn einzelne oder mehrere Magnetpole oder Aktoren bestromt werden, wodurch rückstellende Kraftkomponenten auf den Konverter entstehen, die als Drehmomente zwischen
30 dem ersten Körper (Gehäuse oder Welle) und dem zweiten Körper (Gehäuse oder Welle) wirksam werden.

Die Verzahnungen von der mindestens einen Welle, dem Gehäuse und dem Konverter sind vorteilhafterweise so ausgeführt, dass diese ineinander käm-
35 mend abwälzbar sind.

Eine mechanische Lagerung des Konverters, z.B. in Form eines Exzenters, kann vorhanden sein, ist aber nicht funktionsnotwendig.

Der Konverter kann zumindest teilweise ringförmig, zylindrisch, kreisförmig oder scheibenförmig sein und in seiner Längserstreckung unterschiedliche Durchmesser aufweisen.

5 Vorteilhafterweise kann der Konverter mehrere funktionsoptimierte Bereiche aufweisen und/oder besteht aus solchen.

Für den Drehantrieb eignen sich vorteilhaft auch mit ferromagnetischen Partikeln gefüllte Stoffe, insbesondere Kunststoffe, die sich beispielsweise durch Spritzgießen leicht und kostengünstig verarbeiten lassen.

10 Der Konverter kann, zumindest teilweise, Permanentmagneten aufweisen und/oder sonstige ferromagnetische oder nicht ferromagnetische Materialien aufweisen oder aus solchen bestehen.

15 Als Antriebsaktoren für den Konverter eignen sich alle Arten elektrischer und nichtelektrischer Aktoren insbesondere Linearaktoren.

Insbesondere kann der Drehantrieb auch mit einer Kombination verschiedener Aktoren dargestellt werden. Beispielsweise kann ein Drehantrieb elektromagnetische Aktoren und piezoelektrische Aktoren aufweisen.

20 Vorteilhaft eignen sich für den Drehantrieb auch selbstführende Verzahnungen, die unter Last nicht oder nur erschwert außer Eingriff geraten.

Vorteilhaft können die Verzahnungen Evolventenverzahnungen oder Zykloidenverzahnungen sein.

25 Vorteilhaft können die erfindungsgemäßen Drehantriebe auch nichtferromagnetische Materialien aufweisen. Hieraus ergibt sich eine besondere Eignung für deren Betrieb in Magnetfeldern. Drehantriebe mit anderen als elektromagnetischen Aktoren weisen zudem nur geringe elektromagnetische Streufelder auf (EMV).

30 Alle Bauformen elektromagnetischer Drehantriebsvarianten sind auch mittels Festkörperaktoren oder anderer Aktoren darstellbar.

35 Sind Aktoren, insbesondere Festkörperaktoren, mit dem Antriebsring verbunden, wobei der Konverter in dem Antriebsring drehbar gelagert ist, so können

zusätzliche elektromagnetische Aktoren vorhanden sein, die auf den Antriebsring und/oder den Konverter ebenfalls Kräfte ausüben.

5 Auch können die Aktoren mit einem Antriebsring mechanisch gekoppelt sein oder auf diesen Kräfte ausüben, in dem sich der Konverter bei zyklisch kreisförmiger Bewegung des Antriebsringes exzentrisch rotierend reib- oder formschlüssig abwälzt.

10 Vorzugsweise sind Festkörperaktoren in ihrer Hauptwirkrichtung steif zwischen dem Antriebsring und dem Gehäuse befestigt, senkrecht dazu jedoch hinreichend nachgiebig, so dass sich die Auslenkungen und Kräfte mehrerer auf den Antriebsring wirkender Aktoren störungsarm überlagern können. Zur mechanischen Entkoppelung verschiedener Wirkrichtungen sind aus dem Stand der Technik Kinematiken bekannt, die zwischen den Aktoren und dem
15 Gehäuse und/oder den Aktoren und dem Drehlager des Converters und/oder den Aktoren und dem Antriebsring angebracht sein können. Beispiele für solche Kinematiken sind Streben, die bezüglich einer Achse drucksteif, senkrecht dazu jedoch schwerweich sind sowie Parallelstrukturen, Kulissen und Stabkinematiken.

20 Ist der Konverter 3 im Antriebsring 4 drehbar gelagert, so werden ausschließlich Verschiebebewegungen des Antriebsringes 4 auf den Konverter 3 übertragen, nicht jedoch Drehbewegungen des Antriebsringes 4 um die Drehachse I-I'. Die Anzahl der Aktoren eines Statorringes und die Anzahl der Statorringe
25 ist nicht begrenzt.

Bei Verwendung anderer als elektromagnetischer Aktoren kann der Konverter und/oder der Antriebsring auch nicht ferromagnetisches Material aufweisen oder aus einem solchen bestehen, z.B. Silizium, Kunststoff, Metall, Legierungen, Verbundmaterialien.
30

In den folgenden Ausführungsbeispielen wird der erfindungsgemäße Drehantrieb anhand einiger Figuren näher beschrieben und die Funktion im Einzelnen erklärt. Gleiche Bezugszeichen entsprechen dabei gleichen oder entsprechenden Merkmalen. Die in den Beispielen gezeigten Merkmale können auch unabhängig von dem konkreten Beispiel realisiert sein.
35

Figur 1 zeigt als Schnittzeichnung in Aufsicht einen Drehantrieb mit innenliegendem Stator, einer Motorwelle mit einer Außen-

5	Figur 2	verzahnung, einem Motorgehäuse mit einer Außenverzahnung, die gegenüber der Außenverzahnung der Motorwelle einen größeren Durchmesser aufweist und einen ringförmigen Konverter mit zwei zu den Außenverzahnungen von Motorwelle und Motorgehäuse korrespondierenden Innenverzahnungen
10	Figur 3	zeigt einen Schnitt des in Fig.1 dargestellten Drehantriebs entlang der Linie K - K' in Figur 1 in Aufsicht mit innenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
15	Figur 3.1	zeigt vier verschiedene Grundbauformen des erfindungsgemäßen Drehantriebs, die durch unterschiedliche Anordnung der drei Basiselemente Motorwelle, Motorgehäuse und Konverter, dargestellt werden können
	Figur 3.2	zeigt einen Drehantrieb mit einer Innenverzahnung der Motorwelle und einer Außenverzahnung des Motorgehäuses sowie einem ringförmigen Konverter mit zwei Verzahnungen
	Figur 3.3	zeigt einen Drehantrieb mit einer Außenverzahnung der Motorwelle und einer Innenverzahnung des Motorgehäuses sowie einem ringförmigen Konverter mit zwei Verzahnungen
20	Figur 3.4	zeigt einen Drehantrieb mit einer Außenverzahnung der Motorwelle und einer Außenverzahnung des Motorgehäuses sowie einem ringförmigen Konverter mit zwei Verzahnungen
	Figur 3.4	zeigt einen Drehantrieb mit einer Innenverzahnung der Motorwelle und einer Innenverzahnung des Motorgehäuses sowie einem ringförmigen Konverter mit zwei Verzahnungen
25	Figur 4	zeigt einen Drehantrieb, bei dem die Motorwelle zusätzlich stirnseitig gelagert ist, eine Motorwelle mit Außenverzahnung und eine im Durchmesser größere Außenverzahnung des Motorgehäuses sowie innenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
30	Figur 5	zeigt einen Drehantrieb, bei dem die Motorwelle aus dem Motorgehäuse beidseitig herausgeführt ist, eine Motorwelle mit Außenverzahnung und eine im Durchmesser größere Außenverzahnung des Motorgehäuses sowie innenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
35	Figur 6	zeigt einen Drehantrieb, mit Außenverzahnungen von Motorwelle und Motorgehäuse gleichen Durchmessers sowie innenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
	Figur 7	zeigt einen Drehantrieb, mit einer Außenverzahnung der

		Motorwelle und einer im Durchmesser kleineren Außenverzahnung des Motorgehäuses sowie innenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
5	Figur 8	zeigt einen Drehantrieb, mit einer Außenverzahnung der Motorwelle und einer im Durchmesser größeren Innenverzahnung des Motorgehäuses sowie innenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
10	Figur 9	zeigt einen Drehantrieb, mit einer Innenverzahnung der Motorwelle und einer im Durchmesser kleineren Außenverzahnung des Motorgehäuses sowie innenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
15	Figur 10	zeigt einen Drehantrieb, mit einer Innenverzahnung der Motorwelle und einer im Durchmesser kleineren Innenverzahnung des Motorgehäuses sowie innenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
20	Figur 11	zeigt einen Drehantrieb, mit einer Innenverzahnung der Motorwelle und einer im Durchmesser größeren Innenverzahnung des Motorgehäuses sowie innenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
25	Figur 12	zeigt einen Drehantrieb, mit einer Außenverzahnung der Motorwelle und einer im Durchmesser wesentlich größeren Innenverzahnung des Motorgehäuses sowie innenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
30	Figur 13	zeigt einen Drehantrieb, mit Außenverzahnungen von Motorwelle und Motorgehäuse gleichen Durchmessers sowie außenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
	Figur 14	zeigt einen Drehantrieb, mit einer Außenverzahnung der Motorwelle und einer im Durchmesser größeren Außenverzahnung des Motorgehäuses sowie außenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
35	Figur 15	zeigt einen Drehantrieb, mit einer Außenverzahnung der Motorwelle und einer im Durchmesser kleineren Außenverzahnung des Motorgehäuses sowie außenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
	Figur 16	zeigt einen Drehantrieb, mit einer Außenverzahnung der Motorwelle und einer im Durchmesser wesentlich kleineren Innenverzahnung des Motorgehäuses sowie außenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
	Figur 17	zeigt einen Drehantrieb, mit einer Innenverzahnung der Mo-

		torwelle und einer im Durchmesser wesentlich größeren Außenverzahnung des Motorgehäuses sowie außenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
5	Figur 18	zeigt einen Drehantrieb, mit einer Innenverzahnung der Motorwelle und einer im Durchmesser wesentlich größeren Innenverzahnung des Motorgehäuses sowie außenliegendem Stator und ringförmigem Konverter
10	Figur 19	zeigt einen Drehantrieb, mit einer Innenverzahnung der Motorwelle und einer im Durchmesser wesentlich kleineren Innenverzahnung des Motorgehäuses sowie ringförmigem Konverter mit außenliegenden und innenliegenden Statoren
15	Figur 20	zeigt einen Drehantrieb mit zwei von dem ringförmigen Konverter gekoppelt angetriebenen Motorwellen, wobei die erste Motorwelle eine Innenverzahnung und die zweite Motorwelle eine im Durchmesser kleinere Außenverzahnung aufweist sowie außenliegendem Stator
20	Figur 21	zeigt einen Drehantrieb mit einem scheibenförmigem Massenausgleichselement und einer Außenverzahnung der Motorwelle und einer im Durchmesser größeren Außenverzahnung des Motorgehäuses sowie ringförmigem Konverter mit innenliegendem Stator
25	Figur 22	zeigt einen Drehantrieb der erfindungsgemäßen Art, bei dem das Massenausgleichselement mittels separater Hilfsstatorwicklungen angetrieben wird
30	Figur 23	zeigt verschiedene Auslegungsmöglichkeiten des scheibenförmigen Massenausgleichselementes zur Kompensation von Motorunwuchten
	Figur 23.1	zeigt einen Drehantrieb in Aufsicht mit einer ersten Ausführungsform eines scheibenförmigen Massenausgleichselementes
	Figur 23.2	zeigt einen Drehantrieb in Aufsicht mit einer zweiten Ausführungsform eines scheibenförmigen Massenausgleichselementes
35	Figur 23.3	zeigt einen Drehantrieb in Aufsicht mit einer dritten Ausführungsform eines scheibenförmigen Massenausgleichselementes
	Figur 24	zeigt verschiedene Varianten eines nicht rotationssymmetrischen Massenausgleichselementes zur Kompensation von Motorunwuchten

	Figur 24.1	zeigt in Aufsicht eine massive Ausführungsform eines nicht rotationssymmetrischen Massenausgleichselementes
	Figur 24.2	zeigt in Aufsicht eine Ausführungsform mit Ausnehmungen eines nicht rotationssymmetrischen Massenausgleichselementes
5	Figur 24.3	zeigt in Aufsicht eine Ausführungsform eines nicht rotationssymmetrischen Massenausgleichselementes mit Zusatzgewicht oder ferromagnetischem Material
	Figur 25	zeigt einen Drehantrieb bei dem der Konverter mittels eines Exzenters gelagert ist
10	Figur 26	zeigt zwei Ausführungsvarianten von Exzentern zur Kompensation von Motorunwuchten
	Figur 26.1	zeigt für einen Drehantrieb nach Fig.25, einen Exzenter mit Ausnehmungen
15	Figur 26.2	zeigt für einen Drehantrieb nach Fig.25, einen Exzenter mit Zusatzgewichten
	Figur 27	zeigt eine flache Bauform des Drehantriebs mit innenliegendem Stator und U-förmigem Konverter
	Figur 28	zeigt eine flache Bauform des Drehantriebs mit außenliegendem Stator und U-förmigem Konverter
20	Figur 29	zeigt eine flache Bauform des Drehantriebs mit beidseitig herausgeführter Motorwelle und innenliegendem Stator
	Figur 30	zeigt eine flache Bauform des Drehantriebs mit innenliegendem Stator bei dem das Abtriebsselement ein außenliegender Ring ist
25	Figur 31	zeigt einen Drehantrieb nach Fig.30, bei dem der Konverter mehrere scheiben- und/oder ringförmige Elemente aufweist
	Figur 32	zeigt eine zylindrische Bauform des Drehantriebs mit mehreren innenliegenden Statoren, einem hohlzylindrischen Konverter und beidseitig herausgeführter Motorwelle
30	Figur 33	zeigt eine zylindrische Bauform des Drehantriebs mit zwei symmetrisch zur Motorwellenverzahnung angeordneten innenliegenden Statoren, einem hohlzylindrischen Konverter und beidseitig herausgeführter Motorwelle
	Figur 34	zeigt einen Drehantrieb nach Fig.33 mit einer höheren Anzahl symmetrisch zur Motorwellenverzahnung angeordneter innenliegender Statoren
35	Figur 35	zeigt einen Drehantrieb mit Festkörperaktoren als Antriebs-elemente des Converters

	Figur 36	zeigt entlang des Schnittes K-K' in Fig.35 eine Aufsicht des Drehantriebs mit Festkörperaktoren
5	Figur 37	zeigt einen Drehantrieb mit vier Festkörperaktoren, deren jeweilige Hauptwirkrichtung nicht auf die Achse der Motorwelle gerichtet ist
	Figur 38	zeigt einen Drehantrieb mit zwei zueinander in einem 90 Grad Winkel angeordneten Biegeaktoren
	Figur 39	zeigt einen zylindrischen Drehantrieb mit vier in Richtung der Motorwellenachse orientierter Biegeaktoren
10	Figur 40	zeigt eine Schnittdarstellung des Drehantriebs im Bereich der Biegeaktorhalter des in Fig.39 gezeigten Ausführungsbeispiels
	Figur 41	zeigt Magnetmittel zur Verbesserung der Kraftübertragung
15	Figur 42	Basisvarianten des Drehantriebs jeweils in planarer und perspektivischer Schnittansicht
	Figur 43	Drehantrieb mit zwei Wellen und Leistungsverzweigung
	Figur 44	Drehantrieb mit gebautem Konverter und weiteren Motor- komponenten in perspektivischen Ansichten

20

Als erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Drehantriebs zeigt Figur 1 eine Schnittdarstellung in Aufsicht. Fig.2. zeigt den Drehantrieb aus Fig.1 in Aufsicht entlang einer Schnittebene K-K' in Fig.1. Der Drehantrieb weist als ersten Körper ein Motorgehäuse 1 auf, in welchem eine Motorwelle 2 als zweiter Körper mit Hilfe von Lagern 8 bezüglich einer z-Rotationsachse I-I' drehbar gelagert ist. Gegen axiale Verschiebungen längs der Rotationsachse I-I', ist die Motorwelle 2 entweder durch die Lager 8 oder durch nicht dargestellte Elemente, wie Passscheiben, Sprengringe, Tellerfedern o.ä. gesichert. Des Weiteren weist der Drehantrieb Magnetpole P1, PX auf. Die Magnetpole P und die Elemente eines jeden Magnetpoles 5, 6, 7 sind mit dem Laufparameter X indexiert, wobei X eine ganze Zahl im Bereich $1 \leq X \leq i$, mit $i \geq 2$ und $i = \text{ganze Zahl}$ darstellt. Die Zahl i gibt somit die maximale Anzahl der Magnetpole eines Drehantriebs der erfindungsgemäßen Art an. Beispielsweise weist der in Fig.2 gezeigte Drehantrieb mit $i = 8$ insgesamt acht Magnetpole P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 und P8 auf. Jeder der Magnetpole weist einen Bereich ferromagnetischen Materials 5.1, 5.X auf, welches von einer Wicklung 7.1, 7.X elektrisch leitenden isolierten Drahtes umschlossen ist, durch die durch Anlegen einer elektrischen Spannung ein Stromfluß und ein im Wesentlichen radial zur Rotationsachse I-I' nach Außen wirkendes Magnetfeld erzeugt werden

kann. Die Magnetpole P1, PX bilden im Zusammenwirken mit dem ferromagnetischen Material des Konverters 3 elektromagnetische Aktoren. Alternativ können auch die Magnetpole selbst als Aktoren angesehen werden, die auf den Konverter wirken. Dies gilt für die Beispiele in allen Figuren sofern nicht anders gesagt. Vorzugsweise sind die Magnetpole, wie in Fig.2 dargestellt, in äquidistanten Winkelabständen in einer zur Motorwellenachse I-I' senkrechten Ebene angeordnet. Desweiteren weist jeder der Magnetpole P1, PX an seinem Außenumfang einen der magnetischen Flußführung dienenden Polschuh 6.1, 6.X auf. Die weichmagnetischen Materialien der Magnetpole sind in einem inneren Zentralbereich 4 miteinander verbunden. Der in etwa sternförmige Körper des ferromagnetischen Materials der Magnetpole P1, PX mit den Wicklungspaketen 7.1, 7.X wird hier als Stator bezeichnet. Der Stator ist mit dem Motorgehäuse 1 im Zentralbereich 4 fest verbunden. An ihrem motorseitigen Ende besitzt die Motorwelle 2 eine Außenverzahnung N_W . Desweiteren besitzt das Motorgehäuse 1 an seinem der Stirnseite der Motorwelle 2 gegenüberliegenden Bereich eine bezüglich der Motorwellenachse I-I' konzentrische zapfenförmige Erhebung mit einer Außenverzahnung N_G . Die Außenverzahnungen der Motorwelle N_W und des Motorgehäuses N_G sind von einem ringförmigen als Konverter 3 bezeichnetem Element, mit zumindest im Bereich der Polschuhe 6.1, 6.X weichmagnetischem Material umschlossen. Der Konverter 3 weist an seinen beiden Enden mit den Außenverzahnungen von Motorwelle N_W und Motorgehäuse N_G korrespondierende Innenverzahnungen N_{K2} und N_{K1} auf, die sich in den Außenverzahnungen von Motorwelle 2 und Motorgehäuse 1 abwälzen können. Um dieses zu gewährleisten, umschließen die Verzahnungsbereiche des Konverters 3 diejenigen von Motorwelle 2 und Motorgehäuse 1 mit einem Übermaß. Die Innenverzahnung N_{K2} des Konverters 3 weist mindestens einen Zahn mehr auf, als die Außenverzahnung N_W der Motorwelle 2. Ebenso weist die Innenverzahnung N_{K1} des Konverters 3 mindestens einen Zahn mehr auf, als die Außenverzahnung N_G des Motorgehäuses 1. Die Verzahnungen sind so ausgeführt, dass sich für beide Verzahnungspaare N_{K2}/N_W und N_{K1}/N_G , eine in Bezug auf die Motorwellenachse I-I' möglichst identische Exzentrizität e , in Fig.1 dargestellt durch die Achse J-J', ergibt. Der maximale Verschiebeweg des Konverters 3 entspricht damit der doppelten Exzentrizität e . Die in Fig.1 mit J-J' bezeichnete Mittelachse der Innenflächen des Konverters 3 kann gegenüber der Motorwellenachse I-I' um maximal den Betrag $\pm e$ verschoben werden. Der Durchmesser der Verzahnungen von Motorwelle 2 und Motorgehäuse 1 kann beliebig, insbesondere unterschiedlich, gewählt werden. Um die Motorwelle 2 in Rotation zu versetzen, werden die Magnetpole P1, PX umlaufend bestromt.

Durch die magnetischen Feldkräfte wird der Konverter 3 jeweils in Richtung der bestromten Magnetpole gezogen, wodurch die Verzahnungen des Konverters 3 vollständig in Eingriff mit der Motorgehäusverzahnung N_G und der Motorwellenverzahnung N_W geraten. In Phase mit der umlaufende elektrischen Bestromung der Frequenz ω_{el} der Magnetpole P1, PX, ändert sich die Richtung des radial gerichteten magnetischen Kraftvektors auf den Konverter 3, wodurch sich der Konverter 3 mit seiner Innenverzahnung N_{K1} in der Außenverzahnung N_G des Motorgehäuses 1 abwälzt. Hierdurch wird der Konverter 3 zum einen in Rotation versetzt, zum anderen führt er eine überlagerte kreisförmige Verschiebewegung (= Tammelbewegung) bezüglich der Motorwellenachse I-I' aus, die zum gleichzeitigen Abwälzen der Außenverzahnung N_W der Motorwelle 2 in der Innenverzahnung N_{K2} des Konverters 3 führt. Die resultierende Drehrichtung und Drehgeschwindigkeit der Motorwelle 2 in Bezug auf das Motorgehäuse 1 ergibt sich aus der Superposition dieser Effekte, womit je nach Verzahnungsauslegung und Kombination der Verzahnungsausführungen (Innen/Innen, Innen/Außen, Außen/Innen, Außen/Außen) sehr hoch, mittel oder niedrig untersetzte Antriebe mit in Bezug auf den Umlaufsinn der elektrischen Ansteuerfrequenz ω_{el} positivem oder negativem Drehsinn dargestellt werden können.

Aufbau und Funktion des Drehantriebes sind anhand von Fig.2 weiter verdeutlicht. Fig.2 zeigt den in Fig.1 dargestellten Drehantrieb in Aufsicht entlang eines Schnittes entlang der Linie K-K' in Fig.1. In dem in Fig.2 gezeigten Ausführungsbeispiel besitzt der Drehantrieb acht Magnetpole P1 ... P8. Allgemein wird ein Magnetpol mit PX bezeichnet. Die Verzahnungen N_{K1} und N_{K2} des Konverters 3 befinden sich mit den Verzahnungen N_W der Motorwelle 2 und N_G des Motorgehäuses 1 in Fig.2 in der oberen Position in einem Eingriffsbereich im Eingriff und in der unteren Position außer Eingriff. Verdeutlicht ist dieses in Fig.2 durch die Ausschnittsvergrößerungen D1 und D1'. Die acht Wicklungen 7.1 ... 7.8 besitzen jeweils elektrische Anschlußleitungen 9.X, die mit einer nicht dargestellten Motorsteuerungselektronik verbunden sind. Durch umlaufende Bestromung der Wicklungen 7.1 ... 7.8 kann der Konverter 3 durch magnetische Kräfte innerhalb der xy-Ebene verschoben werden, wobei sich die Verzahnungen von N_{K1} und N_{K2} des Konverters 3 in den Verzahnungen N_W der Motorwelle 2 und N_G des Motorgehäuses 1 abwälzen, wodurch die Motorwelle 2 in Rotation versetzt wird.

Der erfindungsgemäße Drehantrieb weist in dem Beispiel gemäß Fig.3 als wesentliche Elemente die Verzahnungen aufweisenden Komponenten Motorwelle 2, Motorgehäuse 1 und Konverter 3 sowie Antriebsaktoren für den Konver-

ter 3 auf. Die Achse der Motorwelle 2 und der Mittelpunkt bzw. die Mittelachse der Motorgehäuseverzahnung N_G liegen auf einer gemeinsamen Achse I-I', sind also zueinander konzentrisch. Die Motorwelle 2 ist bezüglich der Achse I-I' durch in Fig.3 nicht dargestellte Lagerungsmittel bezüglich dem Motorgehäuse 1 drehbar gelagert. Der Konverter 3 kann durch, aus Gründen der Übersichtlichkeit in Fig.3 nicht dargestellte, Aktoren, vorzugsweise elektromagnetische Aktoren mit Stator und Magnetpolen, elektrostatische Aktoren, Festkörperaktoren (piezoelektrische, elektrostriktive, magnetostriktive, dielektrische, MSM usw.), thermische Aktoren, pneumatische- und hydraulische Aktoren, aerodynamische Aktoren (Windkraftanlage), Wasserkraftaktoren sowie Verbrennungsaktoren (z.B. Kolben von 2- und 4-Takt Otto- und Dieselmotoren), exzentrisch um die gemeinsame Achse I-I' von Motorwelle 2 und Motorgehäuseverzahnung N_G verschoben werden, wobei sich die Mittelachse J-J' des Konverters 3 auf einer Kreisbahn mit der Exzentrizität e um die gemeinsame Achse I-I' von Motorwelle 2 und Motorgehäuseverzahnung N_G bewegt. Die Verzahnungen sind so ausgeführt, dass sie sich bei Verschiebung des Konverters 3 um die Achse I-I' ineinander abwälzen können. Nach DIN 9107 wird als Exzentrizität e in allen Figuren und Beschreibungen der halbe maximale Verschiebeweg $e = (X_{\max} - X_{\min})/2$ bezeichnet. Der Konverter 3 kann optional mittels eines, in Fig.3 nicht dargestellten, auf der Achse I-I' angeordneten Exzenters drehbar und radial verschieblich geführt sein. Die in Fig.3 schematisch dargestellten Varianten des erfindungsgemäßen Drehantriebs differenzieren sich, abhängig davon, ob die Verzahnungen des Konverters 3 Innen- oder Außenverzahnungen sind, folgendermaßen:

Fig.3.1: Die erste Verzahnung des Konverters N_{K1} ist eine Innenverzahnung, die zweite Verzahnung des Konverters N_{K2} ist eine Außenverzahnung: Die Drehgeschwindigkeiten beider Getriebestufen addieren sich. Der Drehsinn der Motorwelle ist gleichsinnig zum Umlaufsinn der Konverterschiebung.

Fig.3.2: Die erste Verzahnung des Konverters N_{K1} ist eine Außenverzahnung, die zweite Verzahnung des Konverters N_{K2} ist eine Innenverzahnung: Die Drehgeschwindigkeiten beider Getriebestufen addieren sich. Der Drehsinn der Motorwelle ist entgegengesetzt zum Umlaufsinn der Konverterverschiebung.

Fig.3.3: Beide Verzahnungen des Konverters N_{K1} und N_{K2} sind Innenverzahnungen: Der Drehsinn der ersten Getriebestufe ist gleichsinnig, der der zweiten Getriebestufe gegensinnig zum Umlaufsinn des elektrischen Bestromungsmusters. Die Drehgeschwindigkeiten beider Getriebestufen sind

entgegengerichtet. Der resultierende Drehsinn der Motorwelle hängt vom Verhältnis der Getriebeübersetzung der ersten zur zweiten Getriebestufe ab und kann sowohl gleichsinnig als auch entgegengesetzt zum Umlaufsinn der Konverterverschiebung sein.

Fig.3.4: Beide Verzahnungen des Konverters N_{K1} und N_{K2} sind Außenverzahnungen: Der Drehsinn der ersten Getriebestufe ist gegensinnig, der der zweiten Getriebestufe gleichsinnig zum Umlaufsinn des elektrischen Bestromungsmusters. Die Drehgeschwindigkeiten beider Getriebestufen sind entgegengerichtet. Der resultierende Drehsinn der Motorwelle hängt vom Verhältnis der Getriebeübersetzung der ersten zur zweiten Getriebestufe ab und kann sowohl gleichsinnig als auch entgegengesetzt zum Umlaufsinn der Konverterverschiebung sein.

Mit

N_G - Zähnezahl der Motorgehäuseverzahnung

N_W - Zähnezahl der Motorwellenverzahnung

N_{K1} - Zähnezahl der ersten Verzahnung des Konverters

N_{K2} - Zähnezahl der zweiten Verzahnung des Konverters

ω_{el} - elektrische Ansteuerfrequenz (Umlauffrequenz)

gilt allgemein folgender Zusammenhang für Drehsinn und Drehfrequenz Ω der Motorwelle 2 in Bezug auf das Motorgehäuse 1:

$$\Omega = [1 - ((N_{K2} \cdot N_G) / (N_W \cdot N_{K1}))] \cdot \omega_{el} \quad \text{Gl.(1)}$$

Im Unterschied zu Fig.1 zeigt Fig.4 eine Ausführungsvariante, bei der die Motorwelle 2 an ihrem stirnseitigen Ende 9 zusätzlich entweder in dem mit dem Motorgehäuse 1 verbundenen Stator 4 oder in dem Motorgehäuse 1 selbst drehbar gelagert ist. Durch die doppelte Lagerung können auf die Motorwelle 2 wirkende Radialkräfte besser aufgenommen und Verkippungen der Motorwelle 2 minimiert werden, was insgesamt das einwandfreie Ablaufen der Verzahnungen unterstützt. Hierzu kann der Stator 4 eine Ausnehmung 11 besitzen, in der ein stirnseitiger Zapfen 10 der Motorwelle 2 mittels eines Lagers 9 drehbar gelagert ist. Als Lager 9 können alle bekannten Lagervarianten wie Kugellager, Nadellager, Gleitlager oder sonstige Verwendung finden.

Fig.5 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem die Motorwelle 2 aus dem Mo-

torgehäuse 1 beidseitig herausgeführt und auf die bereits in Fig.4 beschriebene Art zusätzlich drehbar gelagert ist.

Fig.6 zeigt einen Sonderfall des Drehantriebs, bei dem die Verzahnungen identische Durchmesser aufweisen. Eine Rotation der Motorwelle erfordert nach Gl.(1) in diesem speziellen Fall, dass die Verzahnungspaarungen N_{K1} mit N_G und N_{K2} mit N_W so ausgeführt sind, dass die Übersetzungen der beiden Verzahnungspaarungen nicht identisch sind. Dies lässt sich beispielsweise durch unterschiedliche Zähnezahldifferenzen und/oder unterschiedliche Zahngeometrien erreichen.

Fig.7 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem die Verzahnungen N_{K1} und N_{K2} des Konverters 3 beide Innenverzahnungen sind, wobei der Durchmesser der Verzahnung N_{K2} größer als derjenige der Verzahnung N_{K1} ist. Insbesondere wenn die Verzahnungen einen gleichen Zahnmodul und eine identische Exzentrizität e aufweisen, ergibt sich hierdurch eine Rotation der Motorwelle 2 mit einer Drehrichtung im Umlaufsinn der elektrischen Anregefrequenz ω_{el} der Statorpole P1, PX.

Fig.8 zeigt ein Ausführungsbeispiel mit einer Außenverzahnung N_{K1} und einer Innenverzahnung N_{K2} des Konverters 3, was zu einer Rotation der Motorwelle 2 entgegen dem Umlaufsinn der elektrischen Anregefrequenz ω_{el} der Statorpole P1, PX führt.

Fig.9 zeigt ein Ausführungsbeispiel mit einer Innenverzahnung N_{K1} und einer Außenverzahnung N_{K2} des Konverters 3, was zu einer Rotation der Motorwelle 2 im Umlaufsinn der elektrischen Anregefrequenz ω_{el} der Statorpole P1, PX führt.

Fig.10 zeigt ein Ausführungsbeispiel bei dem die Verzahnungen N_{K1} und N_{K2} des Konverters 3 beide Außenverzahnungen sind, wobei der Durchmesser der Verzahnung N_{K2} größer als derjenige der Verzahnung N_{K1} ist. Insbesondere bei gleicher Exzentrizität und gleichem Zahnmodul der Verzahnungen ergibt sich hierdurch eine Rotation der Motorwelle 2 entgegen dem Umlaufsinn der elektrischen Anregefrequenz ω_{el} der Statorpole P1, PX.

Fig.11 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem im Vergleich zu Fig.10 der Durchmesser N_{K1} größer ist als der Durchmesser N_{K2} . Hierdurch ergibt sich eine Rotation der Motorwelle 3 im Umlaufsinn der elektrischen

Anregfrequenz ω_{el} der Statorpole P1, PX.

Zur Verdeutlichung der Auslegungsmöglichkeiten zeigt Fig.12 eine Variante, bei der der Durchmesser der Innenverzahnung N_{K2} erheblich geringer ist, als der Durchmesser der Aussenverzahnung N_{K1} .

Gemäß Gl.(1) kann die Gesamtübersetzung Ω/ω_{el} durch Wahl der Zähnezahlen von N_{K1} , N_{K2} , N_G , N_W in weiten Grenzen eingestellt werden. Wenn möglich wird man die Verzahnungen so auslegen, dass die Exzentrizität für die beiden Verzahnungspaarungen N_{K1} mit N_G und N_{K2} mit N_W identisch ist. Für die Funktion des Drehantriebs erforderlich ist jedoch nur ein Zahneingriff der Verzahnungen. Die Exzentrizitäten können demzufolge durchaus voneinander abweichen, solange ein formschlüssiger Zahneingriff gewährleistet ist.

Fig.13 zeigt eine Variante des Drehantriebes mit außenliegendem Stator, bzw. Statorpolen P1, PX. Die Polschuhe 6.1, 6.X wirken hierbei von Außen auf den ferromagnetischen Konverter 3. Fig.13 zeigt einen dem in Fig.6 gezeigten Ausführungsbeispiel analogen Sonderfall, bei dem die Verzahnungen identische Durchmesser aufweisen. Eine Rotation der Motorwelle 2 erfordert nach Gl.(1) in diesem speziellen Fall, dass die Verzahnungspaarungen N_{K1} mit N_G und N_{K2} mit N_W so ausgeführt sind, dass die Übersetzungen der beiden Verzahnungspaarungen nicht identisch sind. Dies läßt sich beispielsweise durch unterschiedliche Zähnezahldifferenzen und/oder unterschiedliche Zahngeometrien erreichen.

Fig.14 zeigt eine weitere Variante des Drehantriebes mit außenliegendem Stator, bzw. Statorpolen P1, PX, bei dem die Verzahnungen N_{K1} und N_{K2} des Konverters 3 beide Innenverzahnungen sind, wobei der Teilkreisdurchmesser der Verzahnung N_{K1} größer als derjenige der Verzahnung N_{K2} ist.

Fig.15 zeigt ein zu Fig.14 komplementäres Ausführungsbeispiel, bei dem die Verzahnungen N_{K1} und N_{K2} des Konverters 3 beide Innenverzahnungen sind, jedoch der Durchmesser der Verzahnung N_{K1} kleiner als derjenige der Verzahnung N_{K2} ist.

Fig.16 zeigt eine Variante des Drehantriebes mit außenliegendem Stator, bzw. Statorpolen P1, PX, bei dem die Innenverzahnung N_{K2} des Konverters 3 einen wesentlich größeren Durchmesser besitzt, als die Außenverzahnung N_{K1} .

Fig.17 zeigt ein Ausführungsbeispiel des Drehantriebes mit außenliegendem Stator, bzw. Statorpolen P1, PX, bei dem die Außenverzahnung N_{K2} des Konverters 3 einen wesentlich kleineren Durchmesser besitzt, als die Aussenverzahnung N_{K1} .

5

Fig.18 zeigt ein Ausführungsbeispiel des Drehantriebes mit außenliegendem Stator, bzw. Statorpolen P1, PX, bei dem beide Verzahnungen des Konverters 3 Außenverzahnungen sind, wobei die Verzahnung N_{K1} im Vergleich zur Verzahnung N_{K2} einen größeren Durchmesser aufweist.

10

Fig.19 zeigt ein Ausführungsbeispiel des Drehantriebs, für nochmals höhere Drehmomente, bei dem der Konverter 3 von außenliegenden Statorpolen AP1, APX und innenliegenden Statorpolen BP1, BPX angetrieben wird.

15

Fig.20 zeigt ein Ausführungsbeispiel des Drehantriebes, mit einer Leistungsverzweigung auf zwei Motorwellen 2, 4. Sind beide Motorwellen 2,4 Ausgangsmotorwellen, an denen äußere Lastmomente angreifen, so entspricht die Funktion weitgehend der eines elektrisch angetriebenen Differenzials, d.h. die elektromechanische Leistung des Drehantriebs verteilt sich entsprechend der auf die Motorwelle 2 und die Motorwelle 4 wirkenden externen Lastmomente auf die beiden Ausgangsmotorwellen. Wird beispielsweise die Motorwelle 2 in Bezug auf das Motorgehäuse 1 festgelegt, wird die gesamte Antriebsleistung auf die Motorwelle 4 übertragen. Umgekehrt überträgt sich bei Festlegung der Motorwelle 4, die gesamte Leistung auf die Motorwelle 2.

20

25

Wirken auf beide Motorwellen gleichgroße Lastmomente, so teilt sich die Antriebsleistung des Drehantriebes auf beide Motorwellen auf. Sind die äußeren Lastmomente auf die Motorwelle 2 und die Motorwelle 4 ungleich, erfolgt die Leistungsverzweigung proportional dem Verhältnis der äußeren Lastmomente. Das Prinzip der Leistungsverzweigung auf zwei Motorwellen ist auf alle durch dieses Dokument abgedeckten Bauformen und Varianten des erfindungsgemäßen Drehantriebs anwendbar. Die verschiedenen Varianten werden deshalb nicht im Einzelnen dargestellt.

30

Bei dem in Fig.20 dargestellte Drehantrieb kann aber auch eine der Motorwellen eine (angetriebene) Eingangsmotorwelle und die jeweils andere Motorwelle eine Ausgangsmotorwelle (Abtrieb) sein. Hierbei kann die Eingangsmotorwelle direkt oder indirekt, mittels mechanischer Übertragungsmittel wie z.B. einer Kette, einem Zahnriemen, einer Welle, durch einen beliebigen anderen Antrieb angetrieben sein, beispielsweise einen Elektromotor, einen Verbrennungsmotor, durch Windkraft, durch hydraulische Kräfte oder durch

35

Wasserkräfte und die Ausgangsmotorwelle eine Last antreiben, z.B. die Nockenwelle eines Kraftfahrzeuges. Dreht sich die Eingangsmotorwelle mit der mechanischen Drehfrequenz ω_E kann durch phasensynchrone Ansteuerung der Statormittel (z.B. Elektromagnete wie in Fig.20) P1, PX aufweisend oder bestehend aus Spule 7.X, Kern 5.X und Polschuh 6.X mit der elektrischen Umlauffrequenz $\omega_{el} = \omega_E$ eine phasenstarre Kopplung der Eingangsmotorwelle mit der Ausgangsmotorwelle erreicht werden, bei der sich die Ausgangsmotorwelle phasenstarr mit derselben Drehfrequenz ω_E bewegt wie die Eingangsmotorwelle. Die Leistung der Eingangsmotorwelle des Drehantriebs wird hierbei durch die formschlüssige Verbindung der Eingangsmotorwelle über den Konverter 3 mit der Ausgangsmotorwelle nahezu verlustfrei auf die Ausgangsmotorwelle übertragen. Zur Erfassung der Eingangsmotorwellendrehzahl und/oder der Ausgangsmotorwellendrehzahl verfügt der Drehantrieb über in Fig.20 nicht dargestellte Sensormittel, z.B. Hallsensoren, Encoder und elektrische Auswerte- und Ansteuerungsmittel (Ansteuerungselektronik und MC-Software). Durch Erhöhung oder Erniedrigung von ω_{el} kann darüberhinaus zwischen Eingangs- und Ausgangsmotorwelle eine positive oder negative Differenzdrehzahl eingestellt werden. Durch Frequenz- und/oder Phasenmodulation von ω_{el} kann die Differenzdrehzahl zeitlich variabel gestaltet sein. Beispielsweise kann durch periodische Phasenmodulation von ω_{el} eine bezüglich der absoluten Phase von ω_E periodische Vor- und/oder Rückstellung der Ausgangsmotorwelle bezüglich der Eingangsmotorwelle erreicht werden. Der in Fig.20 gezeigte Drehantrieb kann damit die Funktion eines Phasenstellers ausüben. Derartige Phasensteller finden beispielsweise zur Nockenwellenverstellung bei Kfz-Verbrennungsmotoren Anwendung, um Ein- und Auslasszeiten der Ein- und Auslassventile kennfeldabhängig zu steuern. Insbesondere wird die Hauptantriebsleistung der Ausgangsmotorwelle des Drehantriebs dabei von der Eingangsmotorwelle zur Verfügung gestellt, während der Drehantrieb lediglich die zum Verstellen der Ausgangsmotorwelle in Bezug auf die Eingangsmotorwelle benötigte Leistung bereitzustellen braucht. Eingangsmotorwelle- und Ausgangsmotorwelle sind in ihrer Funktion vertauschbar, d.h. jeder der Motorwellen 2, 4 in Fig.20 kann als Eingangs- oder Ausgangsmotorwelle dienen.

Der exzentrisch um die Motorachse I-I' bewegte Konverter 3 stellt eine Unwucht dar. Derartige Unwuchten erzeugen bekanntermaßen störende Motorvibrationen und Geräusche und sind zu vermeiden. Hierzu gibt das Ausführungsbeispiel in Fig.21 eine Lösung an, bei der die durch den Konverter 3 be-

dingte Unwucht durch eine um die Achse der Motorwelle I-I' phasensynchron umlaufende Ausgleichsmasse 9 kompensiert wird. Insbesondere kann eine ferromagnetische Ausgleichsmasse 9 im magnetischen Kraftnebenschluss vom Konverter 3 in Verbindung mit dem Stator 4 und den Statorpolen P1, PX angetrieben werden. Wie in Fig.21 dargestellt, wird der Konverter 3 bei Bestromung des Statorpoles P1 durch diesen magnetisch angezogen, wodurch sich der Massenschwerpunkt des Konverters 3 in Fig.21 entlang der y-Achse nach Unten bewegt. Gleichzeitig wird die im Inneren des Konverters 3 angebrachte scheibenförmige ferromagnetische Ausgleichsmasse 9 durch vom Konverter 3 übertragene magnetische Kräfte entlang der y-Achse in eine obere Position gezogen. Abstände und Exzentrizität der Ausgleichsmasse 9 sind so bemessen, dass der Abstand der Ausgleichsmasse 9 zum Konverter 3 hierbei möglichst klein wird, ohne dass sich diese Elemente berühren. Durch die entgegengerichteten Bewegungen der Massenschwerpunkte des Konverters 3 und der Ausgleichsmasse 9 kann bei geeigneter Dimensionierung eine vollständige Kompensation der Motorunwucht erreicht werden, bei der der gemeinsame Massenschwerpunkt von Konverter 3 und Ausgleichsmasse 9 in jedem Betriebszustand auf der Achse der Motorwelle I-I' zu liegen kommt. Da sich die Ausgleichsmasse 9 phasenstarr mit dem exzentrisch umlaufenden Konverter 3 bewegt, ist der Drehantrieb in allen Betriebsphasen vollständig ausgewuchtet. Mittels der Elemente Sicherungsscheibe 10, Kugellager 12, und Federscheibe 11 wird die Ausgleichsmasse 9 verschieblich und spielfrei auf Anlage mit dem Statorkern 4 gehalten. Durch die mit dem Konverter phasensynchrone Verschiebung der Ausgleichsmasse 9 rollt diese mit ihrem Innenbereich auf dem konzentrisch zur Motorwellenachse angeordneten Zapfen 14 des Stators ab und wird dadurch selbst in Rotation versetzt. Grundsätzlich bedarf es daher keiner weiteren Kugellagerung der Ausgleichsmasse 9 auf dem Zapfen 14, eine solche ist jedoch optional möglich. Die Eigenrotation der Ausgleichsmasse hat auf die Funktion des Drehantriebes keinen Einfluß und stört weiter nicht. Die Eingriffsverhältnisse der Verzahnungen in der in Fig.21 gezeigten Position des Konverters 3 sind durch die in der Perspektive um 90 Grad gedrehten Ausschnittsvergrößerungen D1 und D1' sowie D2 und D2' schematisch dargestellt.

Fig.22 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel zur Unwuchtkompensation, bei dem die Ausgleichsmasse 9 durch einen zusätzlichen Hilfsstator bestehend aus oder aufweisend die Statorpole H1, HX mit den Wicklungen 10.1, 10.X phasensynchron zum Konverter 3 elektromagnetisch angetrieben wird. Die Bestromung der Hilfsstatorpole H1, HX erfolgt wiederum so, dass der gemein-

same Massenschwerpunkt von Ausgleichsmasse 9 und Konverter 3 in allen Betriebsphasen auf der Motorwellenachse I-I' liegt. Da die Ausgleichsmasse 9 bis auf die Überwindung der Eigenträgheit keine Arbeit verrichtet, ist der Energiebedarf für die Hilfsstatorwicklungen H1, HX gering. Die Wicklungen 10.1, 10.X des Hilfsstators können deshalb kompakt mit dünnem Draht ausgeführt und optional mit den Hauptstatorwicklungen 7.1, 7.X elektrisch verschaltet sein. Die Eingriffsverhältnisse der Verzahnungen in der in Fig.22 gezeigten Position des Konverters 3 sind durch die in der Perspektive um 90 Grad gedrehten Ausschnittsvergrößerungen D1 und D1' sowie D2 und D2' schematisch dargestellt.

Die Dimensionierung der Ausgleichsmasse 9 in Bezug auf den Konverter 3 zur vollständigen Unwuchtkompensation kann sowohl über die Dicke als auch über die Form der scheibenförmigen Ausgleichsmasse 9 erfolgen. Fig.23.1 zeigt hierzu als Beispiel eine Ausgleichsscheibe 9 deren Dicke und Dichte geeignet gewählt sind. Ebenso kann die Gegenunwucht über die Form der Ausgleichsmasse beeinflusst werden. Beispielhaft hierfür zeigt Fig.23.2 eine Ausgleichsmasse 9 in Form eines breitrandigen und in Fig.23.3 in Form eines dünnrandigen Ringes. Die scheiben- oder ringförmigen Ausgleichsmassen 9 rollen mit ihrer Innenfläche auf der Außenseite des um die Achse der Motorwelle I-I' symmetrischen Zapfens 14 des Stators bzw. Motorgehäuses ab. Je nach Durchmesserdiffenz von Innenbohrung der Ausgleichsscheibe und Außendurchmesser des Statorzapfens 14 rotieren die Ausgleichsmassen hierbei mehr oder weniger stark in sich selbst, was jedoch auf die Funktion keinen Einfluß hat.

Im Unterschied zu den in Fig.23 gezeigten Ausgleichsmassen mit einer rotationssymmetrischen Form, zeigt Fig.24 um die Motorwellenachse umlaufende nicht rotationssymmetrische Ausgleichsgewichte 9. Fig.24.1 zeigt ein ferromagnetisches Ausgleichsgewicht in Form eines homogenen Körpers geeigneter Dicke und Dichte, der bezüglich der Motorwellenachse I-I' mittels des Lagers 8 drehbar gelagert ist. Das ferromagnetische Ausgleichsgewicht 9 wird durch die von dem exzentrisch bewegten Konverter 3 übertragenen magnetischen Kräfte mit diesem phasensynchron bewegt, da es sich immer in die Position begibt, in der der Abstand zwischen dem Konverter 3 und dem Ausgleichsgewicht 9 minimal ist. Das Ausgleichsgewicht 9 rotiert hierbei mit der Umlauffrequenz der elektrischen Anregefrequenz ω_{el} .

Eine Abstimmung der Ausgleichsgewichtsmasse kann durch nachträglich angebrachte Ausnehmungen oder Bohrungen 15 erfolgen, so wie dies in Fig.24.2

schematisch gezeigt ist oder durch Zusatzgewichte 16, wie in Fig. 24.3 gezeigt.

Anstelle und/oder zusätzlich zu den vom Konverter 3 ausgehenden magnetischen Feldlinien und der dadurch auf das Ausgleichsgewicht 9 wirkenden Magnetkräfte, kann das Ausgleichsgewicht 9 einen Permanentmagneten besitzen, wodurch es sich immer in die Position des geringsten Abstands zum Konverter 3 einstellt und ebenfalls phasenstarr mit der elektrischen Anregefrequenz ω_{el} bewegt. Diese Ausführungsform ist analog zu der in Fig.24.3 dargestellten, wobei das mit der Ziffer 16 bezeichnete Element nunmehr einen Permanentmagneten darstellt.

Fig.25 zeigt eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Drehantriebs, bei dem der Konverter 3 durch einen Exzenter 9 drehbar und verschiebbar geführt ist. Hierzu ist der Exzenter 9 mit einer Bohrung 9.1 auf einem Bolzen 14 des Motorgehäuses 1 exzentrisch drehbar gelagert. Zugleich ist der Exzenter 9 mit seiner zylindrischen Außenfläche 9.2 spielfrei und drehbar in eine Innenbohrung des Konverters 3 eingepasst. Die Exzentrizität und die Abmessungen des Exzenter 9 sind so auf die Exzentrizität e des Konverters 3 in Bezug auf die Motorwellenverzahnung N_W und die Motorgehäuseverzahnung N_G und die Verzahnungen N_G , N_W , N_{K1} und N_{K2} abgestimmt, dass die Verzahnungen ineinander greifen und abwälzen können. Werden auf den Konverter 3 durch die Statorpole P1, PX elektromagnetische Kräfte ausgeübt, kann sich der Konverter 3 damit sowohl exzentrisch bewegen, als auch rotieren. Im Motorbetrieb rotiert der Exzenter 9 mit der elektrischen Anregefrequenz ω_{el} um die Achse I-I' der Motorwelle 2. Zur reibungsfreien Lagerung des Exzenter 9 auf dem Bolzen 14 des Motorgehäuses 1 einerseits und in dem Konverter 3 andererseits können dem Stand der Technik entsprechende Lagerungsmittel, z.B. Gleitlager, Kugellager, Nadellager oder sonstige verwendet werden, wobei die Lagerung möglichst spielfrei auszuführen ist. Die in Fig.25 dargestellte Ausführungsvariante zeigt eine Gleitlagerung des Exzenter 9. Insbesondere lässt sich durch geeignete Dimensionierung des Exzenter 9 eine Zwangsführung des Konverters 3 erreichen, die sicherstellt, dass die Verzahnungspaarungen N_W mit N_{K2} und N_G mit N_{K1} immer im Eingriff sind.

Ein weiterer Vorteil der in Fig.25 gezeigten Variante besteht darin, dass der phasenstarr mit der elektrischen Anregefrequenz um die Motorwellenachse I-I' rotierende Exzenter 9 zur Kompensation der durch den exzentrisch verschobenen und rotierenden Konverter 3 bedingten Motorunwucht dienen kann. Mit Bezug auf Fig.25 zeigt Fig.26.1 eine Ausführung des Exzenter 9, bei der dieser hierzu auf seiner einen Halbfäche Ausnehmungen und/oder Bohrun-

gen 15 aufweist. Die Ausnehmungen 15 befinden sich dabei in dem Bereich des Exzenters 9, wo dieser die größere Breite aufweist, so dass der Massenschwerpunkt des Exzenters in Fig.26.1 nach oben in Richtung der positiven y-Achse verschoben wird. Der Massenschwerpunkt des Konverters 3 ist in der in Fig.25 gezeigten Stellung nach unten, entlang der negativen y-Achse verschoben. Durch geeignete Bemessung und Anordnung der Ausnehmungen 15 des Exzenters 9 kann erreicht werden, dass der gemeinsame Massenschwerpunkt von Konverter 3 und Exzenter 9 immer auf der Motorwellenachse I-I' liegt, womit der Motor vollständig massenausgeglichen ist und vibrationsfrei läuft. Anstelle der Ausnehmungen 15 des Exzenters 9, wie in Fig.26.1 gezeigt, kann der Exzenter 9 in seinem Bereich geringerer Breite auch Zusatzmassen 16 aufweisen. Hierfür gibt Fig.26.2 ein Beispiel. Bei diesen kann es sich auch um Materialbereiche höherer Dichte handeln. Durch diese Maßnahme wird der Massenschwerpunkt des Exzenters 9 ebenfalls in der gewünschten Weise verschoben. Die in Fig.26.1 und Fig.26.2 dargestellten Maßnahmen sind auch miteinander kombinierbar.

Fig.27 zeigt eine besonders flach bauende Ausführungsvariante des Drehantriebs mit innenliegendem Stator, bei der der Konverter 3 in Form eines U-förmigen Ringprofils ausgebildet ist.

Fig.28 zeigt eine besonders flach bauende Ausführungsvariante des Drehantriebs mit außenliegendem Stator, bei der der Konverter 3 in Form eines U-förmigen Ringprofils ausgebildet ist.

Mit Ausnahme der Drehantriebe, bei denen der Konverter 3 durch Exzentermittel 9 gelagert ist, kann bei allen anderen Ausführungsvarianten des Drehantriebs ein Verkippen des Konverters 3 dadurch verhindert werden, dass dieser durch entsprechende Flächen des Motorgehäuses 1, der Motorwellen 2 oder der sonstigen Komponenten des Drehantriebs parallelgeführt wird. Zur Parallelführung des Konverters 3 eignen sich sowohl Gleitlagerungen, als auch Kugellager, Nadellager oder sonstige Lagerungen (z.B. magnetische, hydrostatische, hydrodynamische).

Fig.29 zeigt eine flachbauende Ausführungsform des erfindungsgemäßen Drehantriebs, bei dem die Motorwelle 2, 2' durch das Motorgehäuse 1, 4 hindurchgeführt ist, so dass die zwei gekoppelten Abtriebswellen Motorwelle 2 und Motorwelle 2' zum Antreiben von Lasten oder zur Unterstützung einer Rotationsbewegung zur Verfügung stehen. Beispielsweise kann die Motorwel-

le 2' mit dem Lenkgetriebe eines Kraftfahrzeuges verbunden sein und die Motorwelle 2 mit dem Lenkrad, wobei der Drehantrieb eine die Lenkung in gewünschter Weise unterstützende Wirkung ausüben kann.

5 Im Unterschied hierzu zeigt die in Fig.30 dargestellte Variante einen erfindungsgemäßen Drehantrieb, bei dem die Motorwelle in Form eines außenliegenden Ringes 2 oder einer außenliegenden Scheibe 2 ausgeführt ist, die durch externe Lagerungsmittel 8 drehbar gelagert ist.

10 Die in Fig.31 gezeigte Variante weist einen gebauten Konverter 3 auf, der zwei miteinander verbundene Scheiben 3.1 und 3.2 aufweist oder aus diesen besteht, die an ihrem Außenumfang Verzahnungen N_{K1} und N_{K2} aufweisen und einem ferromagnetischen Ring 3.3, welcher mit der Scheibe 3.2 verbunden ist. Dies ermöglicht eine besonders wirtschaftliche Produktion, da die einzelnen
15 Elemente 3.1, 3.2 und 3.3 einzeln, z.B. durch Stanzen, hergestellt, getestet und mittels bekannter Verbindungs- und Fügeverfahren zu dem Konverter 3 verbunden werden können. Das Abtriebelement weist in Fig.31 die Form eines außenliegenden Ringes/Scheibe 2 auf, die durch Lagerungsmittel 8 um die Motorwellenachse I-I' rotierbar gelagert ist.

20 Das erfindungsgemäße Prinzip eignet sich zur Herstellung von Drehantrieben unterschiedlichster Bauformen und Aspektverhältnisse. Beipielhaft hierfür zeigt Fig.32 einen Drehantrieb mit einer in Bezug auf die xy-Ausdehnung großen Längserstreckung entlang der z-Achse (Motorwellenachse). Das Motorgehäuse 1 weist hierzu mindestens einen Statorring mit den Statorpolen AP1, APX, vorzugsweise jedoch mehrere, in Fig.32 mit A, B, C, D indizierte
25 Statorringe auf. Jeder Statorring weist Kerne A5.X ferromagnetischen Materials, Polschuhe A6.X und Wicklungen A7.X auf. Insbesondere kann der in Fig.32 dargestellte Drehantrieb mehrere solcher Statorringe, in Fig.32 mit den Buchstaben A, B, C, D bezeichnet, aufweisen, von denen jeder eine Anzahl Statorpole APX, BPX, CPX, DPX aufweist. Die einzelnen Statorringe können eine voneinander unterschiedliche Anzahl von Statorpolen aufweisen. Insbesondere weisen die einzelnen Statorringe jedoch eine gleiche Anzahl von Statorpolen auf, so dass in Fig.32 jeweils die Wicklungen A7.1, B7.1, C7.1, D7.1, die Wicklungen A7.2, B7.2, C7.2, D7.2, die Wicklungen A7.X, B7.X, C7.X, D7.X miteinander elektrisch verschaltet oder verbunden werden können, oder
35 insgesamt eine Wicklung darstellen. Die Vielzahl von Statorringen und Statorpolen dient zur Erhöhung der Leistung und des Drehmomentes des Drehantriebs.

Die innengeführte Motorwelle 2 kann im Motorgehäuse 1 doppelt gelagert und durch das Motorgehäuse hindurchgeführt sein, womit abtriebsseitig zwei Anschlüsse zur Verfügung stehen. Die Motorwelle 2 ist im Motorgehäuse 1 mittels Lagerungsmitteln 8 drehbar gelagert und axial gegen Auswandern gesichert. An ihrem einen gehäuseseitigen Ende weist die Motorwelle 2 einen scheibenförmigen Bereich 4 mit einer Außenverzahnung N_W auf. Der hohlzylindrische Konverter 3 besitzt die mindestens einen Innenverzahnungen N_{K1} und N_{K2} . Ebenso weist das Motorgehäuse 1 die mindestens eine mit der Innenverzahnung N_{K1} des Konverters 3 korrespondierende Außenverzahnung N_G auf. Durch umlaufende Bestromung der Wicklungen A7.1, A7.2, A7.3 sowie B7.1, B7.2, B7.3 ... bis D7.1, D7.2, D7.3 ... wird der Konverter 3 durch Magnetkräfte umlaufend verschoben und die Verzahnungen wälzen sich ineinander ab. Hierdurch wird der Konverter 3 in Rotation versetzt, wobei der Konverterbewegung eine exzentrische Bewegung überlagert ist (Taumeln), wodurch die Motorwelle 2 in Rotation versetzt wird.

Fig.33 zeigt einen bezüglich der Achse K-K' spiegelsymmetrischen Drehantrieb der in Fig.32 vorgestellten Art, bei dem sich der scheibenförmige Bereich 4 mit der Außenverzahnung N_W in der Motormitte befindet und der hohlzylindrische Konverter 3 an seinen beiden Enden zwei Außenverzahnungen N_{K1} aufweist, die durch elektromagnetische Verschiebung des Konverters 3 mit Innenverzahnungen N_G des Motorgehäuses 1 in Eingriff gebracht werden können und ineinander abwälzbar sind. Durch den symmetrischen Aufbau werden Kippmomente auf den Konverter 3 minimiert. Jeweils rechts und links des scheibenförmigen Bereichs 4 weist der Drehantrieb mindestens einen Statorring A und B auf. In Fig.33 sind die links vom scheibenförmigen Bereich 4 liegenden Statorpole mit AP1, APX und die rechts davon liegenden Statorpole mit BP1, BPX bezeichnet. Die Motorwelle 2 ist beidseitig aus dem Motorgehäuse 1 herausgeführt.

In Erweiterung der in Fig.33 dargestellten Variante, zeigt Fig.34 die Möglichkeit zur Kaskadierung der rechts- und linksseitig vom scheibenförmigen Bereich 4 liegenden Statorringe. Der Aufbau gemäß Fig.34 besitzt links der Symmetrieachse K-K' die vier Statorringe A, B, C, D und rechts der Symmetrieachse die vier Statorringe E, F, G, H. Prinzipiell gibt es bezüglich der Anzahl der Statorringe und der Motorlänge keine Einschränkungen und es können auf diese Weise sehr dünne, lange und leistungsstarke Drehantriebe dargestellt werden.

Die erfindungsgemäßen Drehantriebe eignen sich für rein gesteuerten Betrieb (Feed-Forward Control), da elektrische und mechanische Phase (= Motorwellenstellung) eindeutig korreliert sind.

5 Die Stellung und Bewegung des Konverters und damit der Motorwelle kann mittels induktiver, kapazitiver, optischer, Impedanzmessungen, Strom- und Spannungsmessungen oder anderer physikalischer Verfahren ermittelt werden. Insbesondere können die Wicklungen z.B. 7.1, 7.X der Statorpole selbst als Sensoren für die Lageermittlung der Konverterposition und der
10 Konverterbewegung und damit der Motorwellenposition und der Motorwellendrehung mittels obiger physikalischer Messverfahren dienen. Darüberhinaus sind obige Messmethoden dazu geeignet, die an der Motorwelle 2 oder den Motorwellen 2, 2' angreifenden Lastmomente zu erfassen. Unter Ausnutzung der Wicklungen z.B. 7.1, 7.X und deren Induktivitäten ist
15 hierzu nicht notwendigerweise eine zusätzliche Sensorik erforderlich. Zur Erfassung der Konverterbewegung/position und/oder der Drehzahlen und/oder der Winkelpositionen und/oder von Drehmomenten des ersten Körpers in Bezug auf die Trägerstruktur und/oder des zweiten Körpers in Bezug auf die Trägerstruktur und/oder zwischen dem ersten Körper und dem
20 zweiten Körper können darüberhinaus externe Sensoren, wie z.B. Hallsensoren, vorgesehen sein, welche die Position des Konverters relativ zum Motorgehäuse erfassen. Handelt es sich bei den Aktoren um andere als Elektromagnete, insbesondere um piezoelektrische Aktoren, so können aus deren Strom-, Spannungs- und Ladungssignalen ebenfalls sensorische Informationen extrahiert und zur Steuerung und Regelung des Drehantriebs verwendet werden.
25 Insbesondere kann ein Lastmoment ein Drehmoment sein.

Als Antriebselemente für den erfindungsgemäßen Drehantrieb eignen sich einerseits neben Elektromagneten alle Arten von Aktoren, die über Feldwirkungen berührungslos Kräfte auf den Konverter ausüben können. Insbesondere
30 eignen sich auch elektrostatische Aktoren, insbesondere elektrostatische Kammaktoren (Comb Antriebe) und insbesondere in MEMS-Technologie hergestellte elektrostatische Aktoren. Darüberhinaus kann der erfindungsgemäße Drehantrieb in Teilen oder insgesamt als mikromechanisches und/oder mikroelektromechanisches Bauteil hergestellt werden.
35

Darüberhinaus eignet sich der erfindungsgemäße Drehantrieb auch für mit dem Konverter 3 mechanisch gekoppelte Aktoren, insbesondere piezoelektrische, magnetostriktive, Magnetic Shape Memory Aktoren, Formgedächtnis-

aktoren, dielektrische Aktoren, Thermobimetallaktoren usw. Hierzu folgen weitere Ausführungsbeispiele mit Erklärungen des Aufbaus und der Funktion:

5 Der im Schnitt in Fig.35 und entlang eines Schnittes K-K' in Fig.35 in Aufsicht in Fig.36 gezeigte Drehantrieb weist Festkörperaktoren 5, 5.X zum Antrieb des Konverters 3 auf. Als Festkörperaktoren 5, 5.X eignen sich insbesondere piezo-
elektrische Vielschichtaktoren (piezoelektrische Multilayerstacks), die sich bei Anlegen einer elektrischen Spannung an die Kontaktstifte 7 des
10 Festkörperaktors abhängig von der Polarität und der Amplitude der elektrischen Spannung elongieren und/oder kontrahieren. Die Hauptwirkachsen der in Fig.35 dargestellten Festkörperaktoren erstrecken sich entlang der y-Achse. Die Festkörperaktoren 5, 5.X stützen sich mit ihrem einen Ende an dem Mo-
torgehäuse 1, mit ihrem anderen Ende an einem ringförmigen, den Konverter 3 umschließenden Antriebsring 4 ab. Mittels der die Festkörperaktoren 5.X
15 umschließenden Elemente 6 kann der Festkörperaktor gegen Umweltweinflüsse, insbesondere Feuchtigkeit geschützt sein. Die Elemente 6 können auch die Funktion von Federelementen besitzen, die die Festkörperaktoren mecha-
nisch vorspannen und mechanisch zwischen dem Motorgehäuse 1 und dem Antriebsring 4 fixieren.
20 Der Antriebsring 4 ist mittels Lagerungsmitteln 9, als solche eignen sich Nadel-
lager, Kugellager, Gleitlager oder andere dem Stand der Technik entsprechen-
de Lagerungsmittel, drehbar bezüglich des Konverters 3 gelagert, wie Fig.36 veranschaulicht. Der Konverter 3 weist Verzahnungen N_{K1} und N_{K2} auf, die sich
in den Verzahnungen N_G des Motorgehäuses 1 und N_W der Motorwelle 2 ab-
25 wälzen können und dadurch die Motorwelle 2 auf die bereits beschriebene Art und Weise in steuerbare Rotation versetzen. Die Motorwelle 2 ist mittels
Lagerungsmitteln 8 drehbar im Motorgehäuse 1 gelagert. Zusätzlich kann die Motorwelle 2 in einem stirnseitigen Bereich 11 mittels weiterer Lagerungsmittel 10 im Motorgehäuse 1 gelagert sein. Hierdurch wird eine besonders hohe
30 radiale Steifigkeit der Motorwelle erreicht, was bei den hohen Kräften piezoelektrischer Aktoren vorteilhaft ist. Die zusätzliche Lagerung der Motorwelle 2 in einem Bereich 11 mit den Lagern 10 ist für die Funktion des Drehantriebs jedoch unerheblich. Der in Fig.35 abgebildete Drehantrieb ist damit in Funkti-
on und Aufbau den in Fig.1 und Fig.14 gezeigten weitgehend analog, mit dem Unterschied, dass anstelle elektromagnetischer Aktoren nun Festkörperaktoren zur Anregung einer kreisförmigen Verschiebewegung des Konverters 3
35 verwendet werden. In gleicher Weise entsprechen Aufbau und Funktion des in Fig.36 in Aufsicht gezeigten Drehantriebs mit Festkörperaktoren weitgehend der des in Fig. 2 dargestellten Drehantriebs mit elektromagnetischen Aktoren.

Im Unterschied zu den Drehantrieben, bei denen die Kräfte auf den Konverter mittels elektromagnetischer Felder (kraftschlüssig) übertragen werden, weist die mechanisch feste (formschlüssige) Anbindung der Festkörperaktoren an die Mechanik des Drehantriebs jedoch vorteilhaft als zusätzliches Element einen bezüglich des Konverters 3 drehbar gelagerten Antriebsring 4 auf. Durch die Drehlagerung des Konverters 3 in dem Antriebsring 4, werden die von den Festkörperaktoren 5 erzeugten Kräfte und Auslenkungen auf den Konverter 3 übertragen, ohne dessen Rotation und kreisförmige Verschiebebewegung zu beeinträchtigen. Durch umlaufende elektrische Erregung der Festkörperaktoren wird so eine umlaufende kreisförmige Verschiebebewegung des Konverters 3 bewirkt, wobei sich die Verzahnungen auf die bereits ausführlich beschriebene Art und Weise ineinander abwälzen und die Motorwelle in Rotation versetzen. Eine geringe Scherbelastung der Festkörperaktoren beeinträchtigt weder die Funktion des Drehantriebs noch die Lebensdauer der Festkörperaktoren. Gegebenenfalls läßt sich die Scherbelastung der Festkörperaktoren durch zusätzliche kinematische Elemente, wie Festkörpergelenke, Kulissen, Parallelkinematiken, Exzenter etc. weiter reduzieren oder gänzlich vermeiden.

Der in Fig.35 und Fig.36 gezeigte Drehantrieb weist mindestens zwei mit ihren Hauptwirkachsen nicht parallel zueinander und in einem Winkel zur Motorwellenachse I-I' angeordnete Antriebsaktoren P, PX auf. Die maximal Anzahl i von Antriebsaktoren ist nach oben nicht beschränkt. Die vorzugsweise in einer Ebene senkrecht zur Motorwellenachse I-I' angeordneten Antriebsaktoren werden als Statorring bezeichnet. Der erfindungsgemäße Drehantrieb kann einen beliebige Anzahl längs der Motorwellenachse I-I' angeordneter Statorringe aufweisen. Besonders vorteilhaft in Bezug auf die Drehgleichförmigkeit und die Ansteuerbarkeit ist eine symmetrische Anordnung mehrerer Antriebsaktoren in äquidistanten Abständen um die Motorwellenachse I-I'. Bei dem in Fig.35 und Fig.36 gezeigten Drehantrieb ist die Hauptwirkrichtung eines jeden einzelnen Antriebsaktors P näherungsweise auf die Motorwellenachse I-I' gerichtet.

Die in Fig.33, Fig.34, Fig.35 dargestellten Drehantriebe zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass sie mehr als eine erste Konverterverzahnung N_{K1} und mehr als eine Gehäuseverzahnung N_G aufweisen können. Es ist auch vorgesehen, dass die Drehantriebe mehr als eine zweite Konverterverzahnung N_{K2} und mehr als eine Wellenverzahnung N_W aufweisen. Dieses gilt für alle erfindungsgemäßen Drehantriebe.

Wie Fig.37 zeigt, muss die Hauptwirkrichtung eines jeden einzelnen Antriebsaktors P jedoch nicht notwendigerweise auf die Motorwellenachse I-I' gerichtet sein. Das in Fig.37 dargestellte Ausführungsbeispiel weist vier Antriebsaktoren P1, P2, P3 und P4 auf, deren Hauptwirkrichtungen in einer Ebene senkrecht zur Motorwellenachse I-I' liegen, wobei die Hauptwirkrichtung eines jeden einzelnen Aktors nicht auf die Motorwellenachse I-I' gerichtet ist. Für den rotatorischen Betrieb der Motorwelle 2 wird der Konverter 3 zu einer kreisförmigen Verschiebebewegung in der xy-Ebene um die Motorwellenachse I-I' angeregt. Hierzu werden jeweils zwei gegenüberliegende Antriebsaktoren, z.B. P1 und P3 sowie P2 und P4 gemeinsam elektrisch angesteuert, mit einem Phasenversatz zwischen den beiden Antriebsaktorpaaren. Bei der Anordnung gemäß Fig.37 beträgt der Phasenversatz zwischen den periodischen Signalspannungen der beiden Antriebsaktorpaare P1, P3 und P2, P4 vorzugsweise 90 Grad. Die Antriebsaktoren P können bezüglich einer Mittellage, z.B. durch entsprechende elektrische Bias-Vorspannung, sowohl positive wie auch negative Auslenkungen ausführen, d.h. sowohl kontrahieren als auch expandieren. Die Ansteuerung zweier gegenüberliegender Antriebsaktoren, P1 und P3 sowie P2 und P4, erfolgt so, dass der Antriebsring 4 in der xy-Ebene verschoben wird. Bei der in Fig.37 gezeigten Anordnung kann dieses dadurch bewirkt werden, dass gegenüberliegende Antriebsaktoren mit bezüglich der Biasspannung entgegengerichteten Spannungen beaufschlagt werden. Durch die Drehlagerung des Konverters 3 im Antriebsring 4 werden folglich nur Verschiebebewegungen des Antriebsringes 4 auf den Konverter 3 übertragen, nicht jedoch Rotationsbewegungen des Antriebsringes 4 um die Motorwellenachse I-I'. Thermische Längenänderungen der Antriebsaktoren können sich damit nicht auf den Konverter übertragen und die Funktion des Drehantriebs beeinträchtigen. Hierdurch weist der in Fig.37 gezeigte Drehantrieb über einen großen Temperaturbereich eine hohe Betriebsstabilität auf. Die Anzahl der Antriebsaktoren eines Statorringes und die Anzahl der Statorringe ist nicht begrenzt.

Bei der in Fig.38 gezeigten Aufsicht eines Drehantriebs dienen Biegeaktoren 5.1, 5.2, insbesondere piezoelektrische Biegeaktoren, zur Anregung der exzentrischen Konverterbewegung.

Der Konverter besitzt gemäß Fig.3 zwei Verzahnungen N_{K1} und N_{K2} , die sich in Verzahnungen N_G des Motorgehäuses und N_W der Motorwelle abwälzen und die Motorwelle 2 in Rotation versetzen können. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind in Fig.38 nur die beiden Verzahnungen N_{K2} und N_W angedeutet, da das andere Verzahnungspaar N_{K1} mit N_G geometrisch in einer ande-

ren Ebene liegt. Der Konverter 3 ist in einem Antriebsring 4 mittels Lagerungsmitteln 9 drehbar gelagert. Die Biegeaktoren 5.1, 5.2 sind an ihrem fußseitigen Ende in dem Motorgehäuse 1 fixiert. Durch Anlegen elektrischer Signalspannungen an die Anschlußleitungen 7.1, 7.2 der Biegeaktoren 5.1, 5.2 führen diese an ihrem gegenüberliegenden Ende den Signalspannungen proportionale Bewegungen aus. Die Biegeaktoren sind so orientiert, dass sie Bewegungen hauptsächlich in der senkrecht zur Motorwellenachse I-I' liegenden xy-Ebene ausführen. In Fig.38 ist die Bewegungsrichtung der Biegeaktoren symbolhaft durch Pfeile verdeutlicht. Bei piezoelektrischen Biegeaktoren können die Amplituden dieser Bewegungen typischerweise im Bereich von ca. $\pm 500 \mu\text{m}$ liegen. Die Biegeaktoren sind in Fig.38 in der xy-Ebene zueinander um einen Winkel von 90 Grad gedreht. Durch Anlegen periodischer, vorzugsweise sinusförmiger, Signalspannungen an die beiden Biegeaktoren 5.1 und 5.2 mit einem vorzugsweisen Phasenversatz von 90 Grad, führen diese zueinander um 90 Grad phasenversetzte mechanische Auslenkungen aus, die über die drucksteifen jedoch schwerweichen Druckstreben 6.1 und 6.2 auf den Antriebsring 4 übertragen und sich zu einer kreisförmigen Verschiebewegung des Antriebsringes 4 um die Achse der Motorwelle 2 überlagern. Hierdurch wälzen sich die Verzahnungen N_{K1} und N_{K2} des Konverters 3 in der Verzahnung N_G des Motorgehäuses und N_W der Motorwelle 2 ab, wodurch die Motorwelle 2 in Rotation versetzt wird. Anstelle der Druckstreben 6.1 und 6.2 eignen sich zur störungsfreien Überlagerung der Einzelbewegungen der mindestens zwei Biegeaktoren 5.1, 5.2 auch andere kinematische Strukturen, wie Kulissen, Gelenke usw. die hier nicht im Einzelnen ausgeführt werden. Drehantriebe der in Fig.38 gezeigten Art eignen sich insbesondere für planare Motoren und miniaturisierte Stellantriebe. Eine Miniaturisierung des Drehantriebs läßt sich insbesondere durch (Mikro)Spritzgießen in Kunststoff oder Metall oder durch mikromechanische Herstellungsverfahren, beispielsweise als MEMS erreichen, wobei anstelle piezoelektrischer Biegeaktoren auch andere Aktorprinzipien, wie elektrostatische Comb-Antriebe, verwendet werden können.

Entsprechend dem Stand der Technik sind zylindrische Elektromotoren weit verbreitet. Fig.39 zeigt einen zylindrischen Drehantrieb der erfindungsgemäßen Art, mit vier Biegeaktoren 5 als Antriebselemente für den Konverter 3. Der Drehantrieb weist vier Antriebseinheiten P1, P2, P3, P4, analog den Statorpolen der elektromagnetischen Drehantriebe auf, die längs der Motorwellenachse I-I' orientiert und zueinander um jeweils 90 Grad gedreht sind. Jede Antriebseinheit weist die Elemente Halter H1 aufweisend oder bestehend aus dem Haltersegment H1.1 und dem Haltersegment H1.2, Biegeaktor

5 mit elektrischen Kontaktflächen 9 sowie elektrischen Anschlussleitungen 7 und eine Endkappe G1 aufweisend das Endkappensegment G1.2 und dem Übertragungssegment G1.2 auf. Die Hauptwirkrichtungen, als solche werden die Bewegungen der Biegeenden an dem dem Konverter 3 zugewandten Ende bezeichnet, liegen innerhalb der xy-Ebene. Um die Wirkrichtungen der einzelnen Biegeaktoren ungestört zu überlagern, besitzen die Halter H1, H2, H3, H4 einen zweiteiligen Aufbau, wie in Fig.40 dargestellt. Der Biegeaktor 5 ist in einem gabelförmigen Haltersegment H1.2 gefasst, in welches er z.B. eingeklebt, eingepresst, verlötet oder verschweisst ist. Das Haltersegment H1.1 weist ein flächiges dünnes Material auf oder besteht daraus, welches bezüglich des Haltersegmentes H1.2 um 90 Grad gedreht und mit diesem verbunden ist oder aus einem Stück hergestellt ist. Mit dem anderen Ende ist das Haltersegment H1.1 fest mit dem Motorgehäuse 1 verbunden. Hierdurch ergibt sich die in Fig.40 zu erkennende kreuzförmige Struktur der Halter H. Zur Erzeugung konverterseitig großer Biegerkräfte ist eine möglichst steife fußpunktseitige Befestigung des Biegeaktors am Motorgehäuse 1 anzustreben. Diese würde jedoch die Bewegung der benachbarten um 90 Grad gedrehten Biegeaktoren behindern. Aus diesem Grund sind die Halter H so ausgeführt, dass sie den Biegeaktor in dessen Hauptbewegungsrichtung steif mit dem Motorgehäuse verbinden, sich in der dazu senkrechten Richtung aber möglichst biegeweich verhalten. Diese läßt sich durch die in Fig.39 und Fig.40 dargestellte Struktur des Halters in Form eines dünnen Biegebleches erreichen, welches der Bewegung der beiden benachbarten Biegeaktoren einen nur geringen Widerstand entgegensetzt, den Biegeaktor in seiner Hauptwirkungsrichtung fußpunktseitig aber steif mit dem Motorgehäuse verbindet. Anstelle der Biegebleche können die fußpunktseitigen Halter H1 auch in Form von auf den Breitseiten der Biegeaktoren gegenüberliegend befestigten Stiften ausgeführt werden. An ihrem konverterseitigen Ende sind die Biegeaktoren mit Endkappen G1, G2, G3, G4 verbunden, die mit ihren gabelförmigen Abschnitten G1.1, G2.1, G3.1, G4.1 die Biegeaktoren aufnehmen. Über die Übertragungssegmente G1.2, G2.2, G3.2, G4.2 sind die Biegeaktoren mechanisch mit dem Antriebsring 4 verbunden. Die Übertragungssegmente sind so ausgeführt, dass sie eine Parallelverschiebung des Antriebsringes 4 bei Ansteuerung der Antriebseinheiten P1, P2, P3, P4 sicherstellen. Hierzu können die Übertragungssegmente beispielsweise eine stiftförmige Form haben. Der Antriebsring 4 ist in dem Konverter 3 mittels Lagerungsmitteln 11 drehbar gelagert. Der Konverter 3 besitzt die zwei Verzahnungen N_{K1} und N_{K2} die sich in Verzahnungen N_G des Motorgehäuses und N_W des scheibenförmigen Bereichs 10 der Motorwelle 2 abwälzen können, wodurch die Motorwelle 2 in Rotation versetzt wird. Mit-

tels Lagerungsmitteln 8 ist die Motorwelle 2 in dem Motorgehäuse 1 drehbar gelagert. Zur besseren Aufnahme der durch den Konverter 3 auf die Motorwelle 2 ausgeübten Radialkräfte, kann die Motorwelle, so wie in Fig.39 dargestellt, mehrfach gelagert sein. Zum Betrieb des Drehantriebes werden jeweils gegenüberliegende Biegeaktoren so elektrisch angesteuert, dass sich die konverterseitigen Enden synchron in dieselbe Richtung bewegen. Die beiden so gebildeten Biegeaktorpaaire werden zueinander mit einem Phasenversatz, bei der in Fig.39 und Fig.40 dargestellten Konfiguration vorzugsweise 90 Grad, angesteuert. Hierdurch überlagern sich die Einzelbewegungen der Biegeaktoren zu einer kreisförmigen Verschiebebewegung des Konverters 3, dessen Verzahnungen N_{K1} und N_{K2} sich dadurch in den Verzahnungen N_G des Motorgehäuses 1 und N_W der Motorwelle 2 abwälzen und die Motorwelle in Rotation versetzen. Der in Fig.39 und Fig.40 dargestellte zylindrische Drehantrieb mit vier Biegeaktoren ist nur beispielhaft. Hinsichtlich der Anzahl der Antriebseinheiten bzw. der Biegeaktoren und einer Kaskadierung bestehen keine Beschränkungen.

Da alle Bauformen elektromagnetischer Drehantriebsvarianten auch mittels Festkörperaktoren oder anderer Aktoren darstellbar sind, wird auf eine Ausführung im Einzelnen verzichtet.

Das erfindungsgemäße Antriebsprinzip ermöglicht elektrisch steuerbare Drehantriebe mit hohen Übersetzungen auf kleinem Raum, hohen Drehmomenten, einer hohen Positioniergenauigkeit und einer hohen Dynamik bei einem vergleichsweise einfachen Aufbau.

Als Antriebsaktoren für den Konverter eignen sich alle Formen bekannter elektrischer und nichtelektrischer Aktoren.

Für alle Drehantriebe der erfindungsgemäßen Art können Mittel vorgesehen sein, welche die mechanische Führung des Konverters unterstützen und/oder eine Zwangsführung des Konverters bewirken, so dass sich die Verzahnungen in jedem Betriebszustand in einem sichern Eingriff befinden. Neben mechanischen Mitteln, wie z.B. Exzentern oder Kulissen, eignen sich hierfür insbesondere magnetische Mittel. Soweit die Statormittel P1, PX nicht bereits selbst eine hinreichende Eingriffskraft der Verzahnungen bereitstellen, können weitere aktive sowie passive Mittel, insbesondere Magnetmittel vorhanden sein, um die Eingriffskraft zu verstärken. Wie Fig.41 zeigt, können die Magnetmittel 13, 14 am Umfang (Innen und/oder Außen) des Konverters 3 so angeordnet sein, dass sie die durch die Statormittel P1, PX erzeugten Eingriffskräfte der

Verzahnungen unterstützen bzw. verstärken. Die Magnetmittel weisen beispielsweise einen Ring oder eine Scheibe 12 auf oder bestehen aus diesen, an deren Umfang alternierend Magnetpole 13 (Südpole) und 14 (Nordpole) angeordnet sind. Der Konverter 3 besteht zumindest in diesen Bereichen aus ferromagnetischem Material oder weist ein solches auf. Insbesondere ist die Hauptwirkrichtung der auf den Konverter 3 wirkenden Magnetmittel radial in Bezug auf die Motorwellenachse I-I'. Der Konverter 3 führt um die Achse der Motorwelle I-I' eine Taumelbewegung aus, bei welcher die Winkelposition des minimalen Abstands des Konverters 3 zu den Statormitteln bei laufendem Drehantrieb um die Achse der Motorwelle I-I' umläuft und/oder jede Winkelposition einnehmen kann, z.B. auch bei stehender Motorwelle des Drehantriebs. Insbesondere eignen sich deshalb Permanentmagneten als magnetische Mittel zur Unterstützung der Eingriffskraft der Verzahnungen, da derartige Magnetmittel im Bereich eines geringen Abstandes, $x_{\min}$ in Fig.41 zu einem ferromagnetischen Objekt, beispielsweise dem Konverter 3 oder ferromagnetischen Bereichen des Konverters 3 größere Kräfte als im Bereich eines höheren Abstandes, $x_{\max}$ in Fig.41, erzeugen und damit in der gewünschten Weise die Eingriffskraft der Verzahnungen erhöhen. Die Magnetmittel können beispielsweise eine Scheibe oder einen Ring mit einer Vielzahl radial angeordneter Permanentmagnete oder radial magnetisierten Materials oder Elektromagnete aufweisen oder aus solchen bestehen.

Insbesondere können die Drehantriebe der erfindungsgemäßen Art Verzahnungen aufweisen, bei denen die Differenz in der Anzahl der Zähne der ersten Verzahnung des Konverters N_{K1} zu der Anzahl der Zähne der Verzahnung des Motorgehäuses N_G eins beträgt und/oder die Differenz in der Anzahl der Zähne der zweiten Verzahnung des Konverters N_{K2} zur Anzahl der Zähne der Verzahnung der Motorwelle N_W eins beträgt.

Insbesondere können die Drehantriebe der erfindungsgemäßen Art für die Verzahnungen N_{K1} , N_{K2} , N_G und N_W zykloidische Zahnformen und/oder Evolventenzahnformen aufweisen.

Fig.42 zeigt in detaillierterer Darstellung die in Fig.3 abgebildeten Grundvarianten des Drehantriebs.

Die in Fig.42 dargestellten Varianten weisen jeweils einen ersten Körper 1, einen zweiten Körper 2 und einem dritten Körper 3 auf. Körper 1 und Körper 2 sind bezüglich einer gemeinsamen Drehachse I-I' coaxial angeordnet und drehbar gelagert. Die Drehlagerungen sind in Fig.42 nicht dargestellt. Körper 1

weist die Verzahnung N_G , Körper 2 die Verzahnung N_W auf. Die Verzahnungen N_G und N_W sind bezüglich der Drehachse I-I' coaxial. Körper 3 weist zwei Verzahnungen N_{K1} , N_{K2} auf, wobei die Mittelpunkte der Teilkreise der Verzahnungen N_{K1} , N_{K2} auf einer Wälzachse J-J' liegen. Die Verzahnung N_{K1} ist in der Verzahnung N_G abwälzbar und die Verzahnung N_{K2} ist in der Verzahnung N_W abwälzbar. Die Wälzachse J-J' weist bezüglich der Drehachse I-I' eine Exzentrizität e auf.

Die Aktoren, die auf den Körper 3 in der Ebene senkrecht zur Drehachse I-I' wirkende Kräfte ausüben können, sind in Fig.42 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Aus dem gleichen Grund nicht dargestellt in Fig.42 sind Exzenter, die zur drehverschieblichen Zwangsführung des Körpers 3 vorhanden sein können, über die aber kein Energieeintrag in das System erfolgt.

Durch Aktoren können in der Ebene senkrecht zur Drehachse I-I' wirkende Kräfte auf den Körper 3 ausgeübt werden, die diesen exzentrisch um die Drehachse I-I' verschieben, wobei sich die Achse J-J' des Körpers 3 auf einer Kreisbahn mit der Exzentrizität e um die Drehachse I-I' bewegt. Hierbei wälzt sich die Verzahnung N_{K1} in der Verzahnung N_G und die Verzahnung N_{K2} in der Verzahnung N_W ab, wodurch der Körper 1 in Bezug auf den Körper 2 um die Drehachse I-I' in Rotation versetzt wird. Die Leistung des Drehantriebs verzweigt sich auf Körper 1 und Körper 2.

Wird einer der Körper 1 oder 2 drehfest gehalten, z.B. indem dieser mit einer Trägerstruktur (Gehäuse) verbunden wird, so wird die Leistung des Drehantriebs vollständig an den anderen Körper abgegeben, der zur (Motor) Welle wird.

Wird der Körper 1 als drehfest angenommen indem dieser mit einer Trägerstruktur verbunden wird, so wird diese Trägerstruktur als Gehäuse 1 und der Körper 2 als Welle 2 bezeichnet.

Die Verzahnungspaarung gebildet aus Verzahnung des ersten Körpers und erster Verzahnung des dritten Körpers (Konverter) bildet eine erste Umsetzerstufe (Getriebestufe).

Die Verzahnungspaarung gebildet aus Verzahnung des zweiten Körpers und zweiter Verzahnung des dritten Körpers (Konverter) bildet eine zweite Umsetzerstufe (Getriebestufe).

Die in Fig.42 gezeigten Grundvarianten weisen insbesondere folgende Merkmale und Eigenschaften auf:

- 5 Fig.42.1.: Die Verzahnung N_{K1} ist eine Innenverzahnung, die Verzahnung N_{K2} ist eine Außenverzahnung: Die Drehgeschwindigkeiten beider Umsetzerstufen addieren sich. Der Drehsinn der Welle 2 ist gleichsinnig zum Umlaufsinn der Verschiebung des Konverters 3.
- 10 Fig.42.2: Die Verzahnung N_{K1} ist eine Außenverzahnung, die Verzahnung N_{K2} ist eine Innenverzahnung: Die Drehgeschwindigkeiten beider Umsetzerstufen addieren sich. Der Drehsinn der Welle 2 ist entgegengesetzt zum Umlaufsinn der Verschiebung des Konverters 3.
- 15 Fig.42.3: Die Verzahnungen N_{K1} und N_{K2} sind beide Innenverzahnungen: Der Drehsinn der ersten Umsetzerstufe ist gleichsinnig, der der zweiten Umsetzerstufe gegensinnig zum Umlaufsinn des elektrischen Bestromungsmusters. Die Drehgeschwindigkeiten beider Umsetzerstufen sind entgegengerichtet. Der resultierende Drehsinn der Welle 2 hängt vom Verhältnis der Übersetzung der ersten zur zweiten Umsetzerstufe ab und kann so-
- 20 wohl gleichsinnig als auch entgegengesetzt zum Umlaufsinn der Verschiebung des Konverters 3 sein.
- 25 Fig.42.4: Beide Verzahnungen N_{K1} und N_{K2} sind Außenverzahnungen: Der Drehsinn der ersten Umsetzerstufe ist gegensinnig, der der zweiten Umsetzerstufe gleichsinnig zum Umlaufsinn des elektrischen Bestromungsmusters. Die Drehgeschwindigkeiten beider Umsetzerstufen sind entgegengerichtet. Der resultierende Drehsinn der Welle 2 hängt vom Verhältnis der Übersetzung der ersten zur zweiten Umsetzerstufe ab und kann so-
- 30 wohl gleichsinnig als auch entgegengesetzt zum Umlaufsinn der Verschiebung des Konverters 3 sein.

Fig.43 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Drehantriebes mit einer Leistungsverzweigung auf zwei Wellen 2, 4.

- 35 Hierbei sind der erste Körper und der zweite Körper drehbar in einer Trägerstruktur 1 (Gehäuse) gelagert. Der drehbar gelagerte erste Körper stellt in Fig.43 die Welle 4 dar. Der drehbar gelagerte zweite Körper stellt in Fig.43 die Welle 2 dar. Beide Wellen sind in dem Gehäuse 1 bezüglich einer Drehachse I-

l' mittels Lagerungsmitteln 8 koaxial gelagert. Die Welle 4 besitzt die Verzahnung N_G . Die Welle 2 besitzt die Verzahnung N_W . Der Konverter 3 besitzt zwei bezüglich einer Wälzachse J-J' koaxial angeordnete Verzahnungen N_{K1} und N_{K2} . Die Wälzachse J-J' weist bezüglich der Drehachse I-I' eine Exzentrizität e auf. Die Verzahnung N_{K1} des Konverters 3 ist in der Verzahnung N_G der Welle 4 abwälzbar und die Verzahnung N_{K2} des Konverters 3 ist in der Verzahnung N_W der Welle 2 abwälzbar. Somit ist der gesamte Konverter 3 in den Verzahnungen exzentrisch rotierend abwälzbar. Die Exzentrizität der Wälzachse des Konverters J-J' bezüglich der Drehachse I-I' der Wellen beträgt e . Gl.(1) ist weiterhin anwendbar, wobei Ω in diesem Fall die Drehzahl und Drehrichtung von Welle 2 relativ zu Welle 4 angibt.

Sind beide Wellen 2,4 Ausgangswellen, an denen äußere Lastmomente angreifen können, so weist der in Fig.43 gezeigte Drehantrieb Eigenschaften eines elektrisch angetriebenen Differenzials auf, d.h. die elektromechanische Leistung des Drehantriebs verteilt sich auf beide Ausgangswellen. Wird beispielsweise die Welle 2 in Bezug auf das Gehäuse 1 festgelegt, wird die gesamte Antriebsleistung auf die Welle 4 übertragen. Umgekehrt überträgt sich bei Festlegung der Welle 4, die gesamte Leistung auf Welle 2. Wirken auf beide Wellen Lastmomente, so teilt sich die Antriebsleistung des Drehantriebes auf beide Wellen auf. Das Prinzip der Leistungsverzweigung auf zwei Wellen ist auf alle durch diese Anmeldung abgedeckten Bauformen und Varianten des erfindungsgemäßen Drehantriebs anwendbar, wozu der erste Körper und der zweite Körper drehbar gelagert und als Wellen ausgeführt werden. Die verschiedenen Varianten werden deshalb nicht gesondert behandelt.

Bei dem in Fig.43 dargestellten Drehantrieb kann aber auch eine der Wellen eine (extern angetriebene) Eingangswelle und die jeweils andere Welle eine Ausgangswelle (Abtriebswelle) sein. Hierzu kann die Eingangswelle direkt oder indirekt, mittels mechanischer Übertragungsmittel wie z.B. einer Kette, einem Zahnriemen oder von einem beliebigen anderen Antrieb angetrieben sein, beispielsweise einem Elektromotor, einem Verbrennungsmotor, durch Windkraft, durch hydraulische Kräfte oder durch Wasserkräfte und die Ausgangswelle eine Last antreiben, z.B. die Nockenwelle eines Kraftfahrzeuges, einen Kompressor oder einen Generator. Dreht sich die Eingangswelle mit der mechanischen Drehfrequenz ω_E kann durch phasensynchrone Ansteuerung der Aktoren, wie den in Fig.43 dargestellten Elektromagneten mit den Magnetpolen P1, PX, aufweisend oder bestehend aus Spule 7.X, Kern 5.X und Polschuh 6.X, mit der elektrischen Umlauffrequenz $\omega_{el} = \omega_E$ eine phasenstarre Kopplung der Eingangswelle mit der Ausgangswelle erreicht werden, bei der sich die

Ausgangswelle mit derselben Drehfrequenz bewegt wie die Eingangswelle. Die mechanische Leistung der Eingangswelle des Drehantriebs wird hierbei durch die formschlüssige Verbindung der Eingangswelle über den Konverter 3 mit der Ausgangswelle auf die Ausgangswelle übertragen. Zur Erfassung der Eingangswellendrehzahl und/oder der Ausgangswellendrehzahl kann der Drehantrieb über in Fig.43 nicht dargestellte Sensormittel, z.B. Hallsensoren, Encoder und elektrische Auswerte- und Ansteuerungsmittel (Ansteuerungselektronik und Software zur Bewegungssteuerung) verfügen, oder die Positions- und/oder Lastinformationen werden aus den elektrischen Größen der Aktoren extrahiert. Durch Erhöhung oder Erniedrigung von ω_{el} in Bezug auf die mechanische Drehfrequenz ω_E können zwischen Eingangs- und Ausgangswelle positive oder negative Differenzdrehzahlen eingestellt werden. Durch Frequenz- und/oder Phasenmodulation von ω_{el} kann die Differenzdrehzahl zeitlich variabel gestaltet sein. Beispielsweise kann durch periodische Frequenz und/oder Phasenmodulation von ω_{el} eine bezüglich der mechanischen Phase von ω_E periodische Vor- und/oder Rückverstellung der Ausgangswelle bezüglich der Eingangswelle erreicht werden. Der in Fig.43 gezeigte Drehantrieb kann damit die Funktion eines Phasenstellers ausüben. Derartige Phasensteller finden beispielsweise zur Nockenwellenverstellung bei Kfz-Verbrennungsmotoren Anwendung, um Ein- und Auslassventile kennfeldabhängig zu steuern. Insbesondere wird die Hauptantriebsleistung der Ausgangswelle des Drehantriebs dabei von der Eingangswelle zur Verfügung gestellt, während der Drehantrieb die zur Aufrechterhaltung des Formschlusses und zum Verstellen der Ausgangswelle in Bezug auf die Eingangswelle benötigte Leistung bereitstellt. Zur Unterstützung des formschlüssigen Kraftflusses zwischen den Wellen 2,4 und dem Konverter 3, kann der Konverter 3 bezüglich Drehungen um die Achse J-J' drehbar und bezüglich der Achse I-I' exzentrisch bewegbar gelagert sein, z.B. mit Hilfe eines Exzenter. Der Leistungsbedarf für den Exzenter ist gering, da dieser geschleppt wird. Zusätzlich kann der Exzenter durch eine geeignete Massenverteilung zur Kompensation der durch die exzentrische Bewegung des Konverters verursachten Unwucht dienen. Eingangswelle- und Ausgangswelle sind in ihrer Funktion vertauschbar, d.h. jede der Wellen 2,4 in Fig.43 kann als Eingangs- oder Ausgangswelle dienen.

Fig.44 zeigt perspektivische Ansichten eines Drehantriebs, seiner Funktionselemente sowie deren Anordnung. Fig.44a zeigt den assemblierten Drehantrieb u.a. mit Gehäuse 1, Welle 2 und Lagerungsmitteln 8 für die Welle 2. Fig.44b zeigt den Stator 5 mit den Spulenwicklungen 7 der Elektromagnete

sowie einen Ring 3.3 des Konverters 3 aus ferromagnetischem Material. Fig.44c zeigt den Stator 5 mit eingesetztem Konverter 3 in einer Vorderansicht sowie in Fig.44d in einer Rückansicht. Wie in Fig.44f dargestellt, kann der Konverter 3 aus einem ferromagnetischen Ring 3.3, einer Hohlachse 3.4 sowie

5 zwei Zahnrädern 3.1 und 3.2 aufgebaut sein. Der gebaute Aufbau erleichtert die Herstellung des Konverters und es können an die Anforderungen angepasste Materialien eingesetzt werden.

Hierzu werden die Elemente 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 miteinander mechanisch verbunden. Der so gebildete Konverter 3 weist das Zahnrad 3.2 mit der Außenverzahnung N_{K2} auf, die sich in der Wellenverzahnung N_W abwälzen kann, siehe Fig.44c. Zahnrad 3.1 des Konverters 3 weist die Außenverzahnung N_{K1} auf, die sich in der Gehäuseverzahnung N_G abwälzen kann, siehe Fig.44d. Die Anordnung der einzelnen Komponenten des Drehantriebs geht insbesondere aus der Schnittansicht Fig.44e hervor. Teilweise sichtbar sind der Stator 5, die Pol-

10 schuhe 6, die Spulenwicklungen 7 der Elektromagnete, die Hohlachse 3.4, der Ring 3.3 des Konverters aus ferromagnetischem Material, die Welle 2, und die Zahnräder 3.1, 3.2. Wie in Fig.44g gezeigt, kann der Konverter 3 durch einen auf der Welle 2 gelagerten Exzenter 9 geführt sein. Zum Unwuchtausgleich weist der Exzenter 9 bezüglich seiner Drehachse eine asymmetrische Massen-

15 verteilung auf, gebildet durch die Masse 16 und die Ausnehmung 15, so dass bezüglich der Drehachse der Schwerpunkt des Exzenters dem Schwerpunkt des Konverters gegenüberliegt. Mit seiner Innenfläche 9.1 ist der Exzenter 9 auf der Welle 2 und mit seiner Außenfläche 9.2 in der Hohlachse 3.4 des Konverters 3 drehbar gelagert.

25 Ein Drehantrieb eines erfindungsgemäßen Beispiels kann insbesondere aufweisen:

- mindestens eine Motorwelle mit mindestens einer Verzahnung
- ein Motorgehäuse mit mindestens einer Verzahnung oder ein Motorgehäuse
- 30 ohne Verzahnung mit einer zweiten Motorwelle mit mindestens einer Verzahnung
- ein bezüglich der Motorwellenachse in radialer Richtung bewegliches Element mit mindestens zwei zueinander konzentrisch angeordneter Verzahnungen die in den Verzahnungen des Motorgehäuses und der Motorwelle
- 35 abwälzbar sind

- eine Anordnung des beweglichen Elementes zwischen Motorwelle und Motorgehäuse die eine exzentrische Rotationsbewegung ermöglicht

- schaltbare Statormittel zur Erzeugung mechanischer Kräfte auf das bewegliche Element

5 - Mittel zur Ansteuerung der schaltbaren Statormittel

- Mittel zur Erfassung der elektrischen Größen der schaltbaren Statormittel

- Mittel zur Positionserfassung des beweglichen Elementes

10 Das erfindungsgemäße Antriebsprinzip ermöglicht elektrisch steuerbare Drehantriebe mit hohen Übersetzungen auf kleinem Raum, hohen Drehmomenten, einer hohen Positioniergenauigkeit und einer hohen Dynamik bei einem vergleichsweise einfachen Aufbau.

Patentansprüche

5

1. Drehantrieb

mit einem ersten Körper, der eine entlang eines ersten kreisförmigen Umfangs um eine erste Rotationsachse umlaufende Zahnung des ersten Körpers aufweist,

10

einem zweiten Körper, der eine entlang eines zweiten kreisförmigen Umfangs um die erste Rotationsachse umlaufende Zahnung des zweiten Körpers aufweist,

15

sowie mit einem Konverter, der eine entlang eines kreisförmigen Umfangs mit einem ersten Abstand um eine zweite Rotationsachse umlaufende erste Zahnung des Konverters und eine zu dieser koaxial mit einem entlang eines kreisförmigen Umfangs mit einem zweiten Abstand umlaufende zweite Zahnung des Konverters aufweist,

wobei die zweite Rotationsachse zu der ersten Rotationsachse parallel ist und von dieser beabstandet ist,

20

sowie mit zumindest zwei Aktoren mit zueinander nicht parallelen Wirkrichtungen, mittels derer der Konverter jeweils in eine Richtung verschiebbar ist,

wobei die erste Zahnung des Konverters in einem ersten Eingriffsbereich mit der Zahnung des ersten Körpers im Eingriff ist,

25

wobei die zweite Zahnung des Konverters in einem zweiten Eingriffsbereich mit der Zahnung des zweiten Körpers im Eingriff ist, und

wobei der Konverter mittels der zumindest zwei Aktoren so in jeweils einer Richtung verschiebbar ist, dass die zweite Rotationsachse entlang einer Kreisbahn um die erste Rotationsachse umläuft.

30

2. Drehantrieb nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei der erste Abstand ungleich dem zweiten Abstand ist.

3. Drehantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Zahnung des ersten Körpers eine Innenzahnung und die erste Zahnung des Konverters eine Außenzahnung ist oder die Zahnung des ersten Körpers eine Außenzahnung und die erste Zahnung des

35

Konverters eine Innenzahnung ist und/oder die Zahnung des zweiten Körpers eine Innenzahnung ist und die zweite Zahnung des Konverters eine Außenzahnung ist oder die Zahnung des zweiten Körpers eine Außenzahnung ist und die zweite Zahnung des Konverters eine Innenzahnung ist.

5

4. Drehantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einer Trägerstruktur, vorzugsweise einem Gehäuse als Trägerstruktur,

wobei die zumindest zwei Aktoren fest mit der Trägerstruktur verbunden sind und/oder entweder der erste oder der zweite Körper fest mit der Trägerstruktur verbunden ist und/oder Teil der Trägerstruktur ist.

10

5. Drehantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 4, mit einer Trägerstruktur, vorzugsweise einem Gehäuse als Trägerstruktur, wobei die zumindest zwei Aktoren fest mit der Trägerstruktur verbunden sind, und der erste Körper und der zweite Körper gegenüber den Aktoren drehbar ist, wobei vorzugsweise der Drehantrieb ein Phasensteller ist.

15

6. Drehantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mit dem ersten Körper und/oder dem zweiten Körper jeweils eine Welle verbunden ist oder der erste und/oder der zweite Körper Teil jeweils einer Welle ist.

20

7. Drehantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei durch die Wirkung jedes der Aktoren der Konverter jeweils nur in jene Richtung bewegbar ist, in welcher der entsprechende Aktor wirkt, vorzugsweise in Richtung des entsprechenden Aktors und/oder von dem entsprechenden Aktor weg.

25

8. Drehantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit zumindest einem Exzenter, der um die erste Rotationsachse umlaufen kann, und der so angeordnet ist, dass er eine Bewegung des Konverters und/oder eines Drehlagers des Konverters in zur ersten Rotationsachse radialer Richtung, durch welche die Zahnung des ersten

30

und/oder der zweiten Körpers mit der entsprechenden Zahnung des Konverters außer Eingriff gebracht würde, blockiert.

- 5 9. Drehantrieb nach dem vorhergehenden Anspruch,
wobei der Exzenter einen außen umlaufenden Kontaktbereich auf-
weist, der mit einem innen umlaufenden Kontaktbereich des Konver-
ters zumindest in einem Bereich in Berührung ist, der radial relativ zur
ersten Rotationsachse in gleicher Richtung oder in entgegengesetzter
Richtung wie der erste und/oder der zweite Eingriffsbereich angeord-
net ist,
- 10 oder wobei der Exzenter einen innen umlaufenden Kontaktbereich
aufweist, die mit einem außen umlaufenden Kontaktbereich des Kon-
verters zumindest in einem Bereich in Berührung ist, der radial relativ
zur ersten Rotationsachse in gleicher Richtung oder in entgegengesetz-
ter Richtung wie der erste und/oder der zweite Eingriffsbereich ange-
ordnet ist.
- 15 10. Drehantrieb nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche,
wobei der Exzenter eine, vorzugsweise kreisförmige, Scheibe, Ring
oder Zylinder ist, der oder die um die erste Rotationsachse drehbar ge-
lagert ist, und deren Symmetrieachse gegenüber der ersten Rotation-
sachse radial relativ zur ersten Rotationsachse in Richtung des ersten
Eingriffsbereichs oder vom ersten Eingriffsbereich weg und/oder in
Richtung des zweiten Eingriffsbereichs oder vom zweiten Eingriffsbereich weg versetzt ist.
- 20 11. Drehantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
mit zumindest einer Ausgleichsmasse, die so angeordnet ist, dass ihr
Schwerpunkt einem Schwerpunkt des Konverters in jeder Lage des
Konverters relativ zur ersten Rotationsachse radial gegenüberliegt
oder radial in gleicher Richtung liegt wie der Schwerpunkt des Konver-
ters.
- 25 12. Drehantrieb nach einem der Ansprüche 8 bis 11,
wobei ein Schwerpunkt des Exzenter einem Schwerpunkt des Konver-
ters in jeder Lage des Konverters relativ zur ersten Rotationsachse ra-
- 30

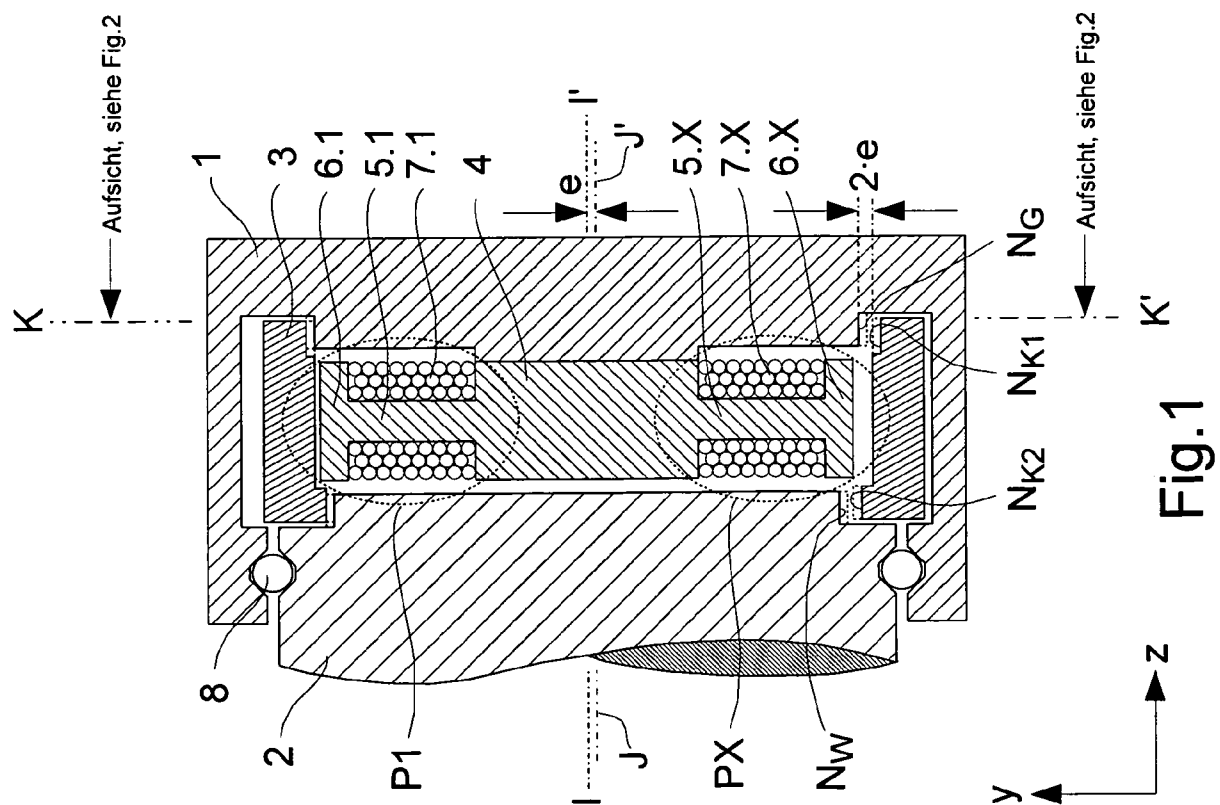
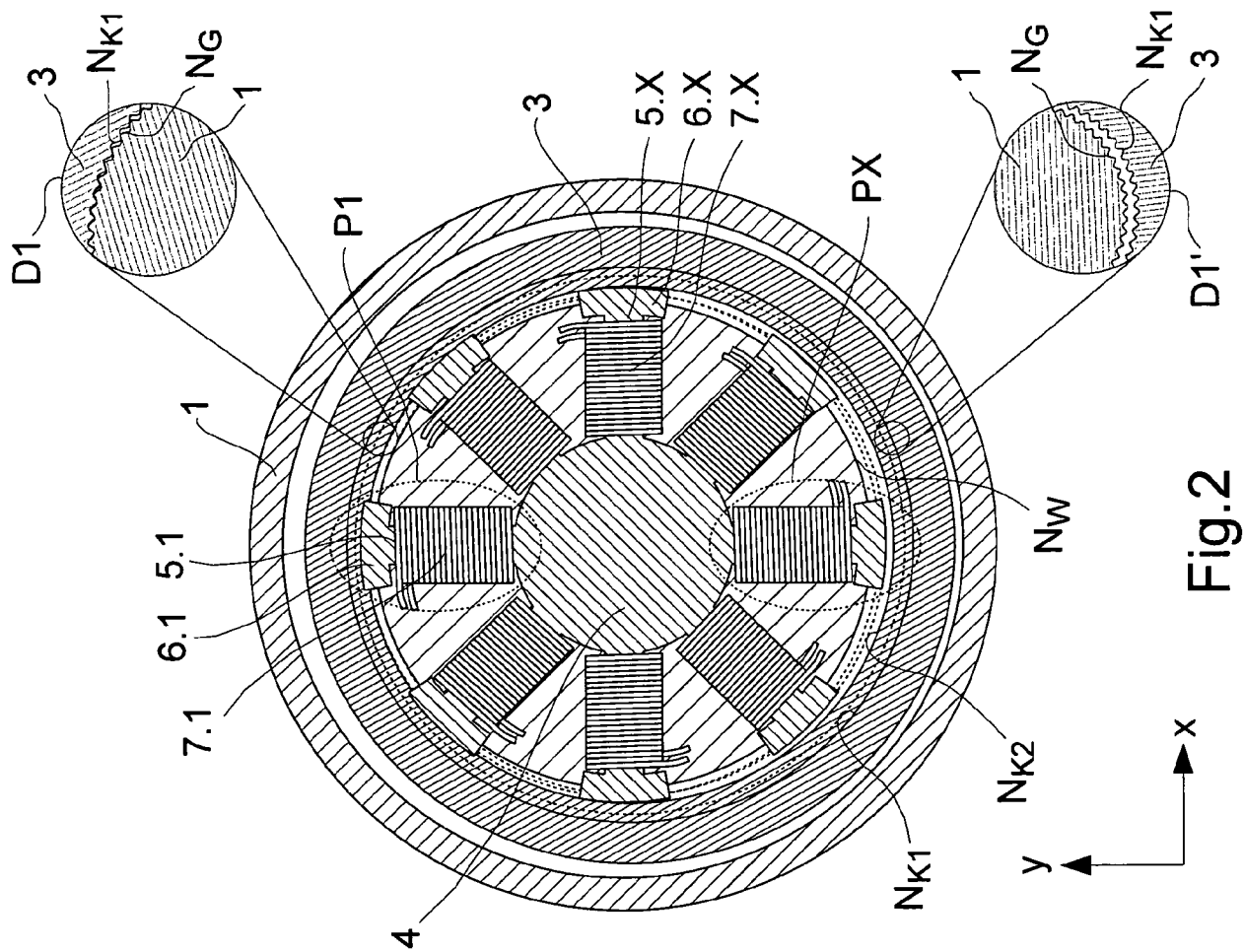
dial gegenüberliegt oder in gleicher Richtung liegt wie der Schwerpunkt des Konverters.

- 5 13. Drehantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die Aktoren jeweils eine Kraft unmittelbar auf den Konverter
ausüben.
- 10 14. Drehantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
wobei die Aktoren jeweils eine Kraft auf eine auf der zweiten Rotation-
sachse liegende Achse oder ein auf der zweiten Rotationsachse liegen-
des Drehlager des Konverters, auf welchem der Konverter drehbar ge-
lagert ist, ausüben und vorzugsweise mit der Achse oder dem Drehla-
ger fest verbunden sind.
- 15 15. Drehantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei mit den Aktoren jeweils eine lineare Kraft in genau einer Rich-
tung bewirkbar ist.
- 20 16. Drehantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die Aktoren elektrisch steuerbare Festkörperaktoren, piezoe-
lektrische Aktoren, magnetostruktive Aktoren, dielektrische Aktoren,
Elektroaktive Polymeraktoren (EAP), magnetoelastische Aktoren,
elektromagnetische Aktoren, elektrodynamische Aktoren, Elektromag-
nete, elektrostatische Aktoren, elektrostatische Kamm-Aktoren, Fest-
körperaktoren, Bimetallaktoren, und/oder Aktoren mit zumindest ei-
ner Spule und zumindest einem Kern sind.
- 25 17. Drehantrieb, wobei der Konverter ein ferromagnetisches Material
aufweist oder zumindest teilweise aus einem solchen besteht.
- 30 18. Drehantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zu-
mindest zwei ineinandergreifende der Zahnungen eine
Zykloidenzahnpaarung und/oder eine Evolventenzahnpaarung bilden.
19. Verfahren zum Betrieb eines Drehantriebes nach einem der vorherge-
henden Ansprüche,
wobei die Aktoren so umlaufend so angesteuert und/oder bestromt

werden, dass sie eine um die erste Rotationsachse umlaufende Kraft auf den Konverter und/oder ein Drehlager des Konverters bewirken.

- 5 20. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch,
wobei durch die Aktoren auf den Konverter und/oder das Drehlager
jeweils eine anziehende und/oder abstoßenden Kraft ausgeübt wird.
21. Verfahren nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche,
wobei zu einem gegebenen Zeitpunkt jeweils genau ein Aktor aktiv ist
und/oder mehrere Aktoren voll aktiv sind und/oder mehrere Aktoren
phasenversetzt aktiv sind.
- 10 22. Verfahren zum Betrieb eines Drehantriebes nach dem vorhergehenden
Anspruch, wobei zu einem gegebenen Zeitpunkt jeweils genau ein
Aktor bestromt wird oder wobei die Aktoren mit sinusförmigen Strom-
verläufen bestromt werden, wobei vorzugsweise der Drehantrieb zu-
mindest drei bezüglich der Ebene senkrecht zur Rotationsachse und
15 bezüglich der Rotationsachse symmetrisch angeordnete Aktoren auf-
weist, wobei bevorzugt benachbarte Aktoren mit Strom benachbarter
Phasen bestromt werden und wobei eine Phasendifferenz zwischen
zwei benachbarten Phasen 360° geteilt durch die Anzahl der Aktoren
beträgt.
- 20 23. Verfahren zur Detektion von Lastmomenten in einem Drehantrieb
nach einem der Ansprüche 1 bis 18,
wobei ein Lastmoment zwischen dem ersten Körper und einer Träger-
struktur und/oder dem zweiten Körper und der Trägerstruktur
und/oder zwischen dem ersten und dem zweiten Körper bestimmt
25 wird, indem Amplituden und/oder Phasenbeziehungen zwischen den
elektrischen Größen Strom, Spannung und/oder Ladung der Aktoren
mittels elektronischer Auswertemittel und/oder durch Auswertung
von elektrischen Induktivitäten, elektrischen Kapazitäten und/oder
elektrischen Widerständen der Aktoren detektiert wird.
- 30 24. Verfahren zur Drehzahlerfassung und/oder Positions- und/oder Lage-
erfassung eines Drehantriebs nach einem der Ansprüche 1 bis 18,

- 5 wobei die Drehzahl und/oder die Position und/oder die Lage des Konverters in Bezug auf eine Trägerstruktur und/oder des ersten Körpers und/oder des zweiten Körpers in Bezug auf die Trägerstruktur und/oder der Körper in Bezug zueinander durch Auswertung der Amplituden und/oder Phasenbeziehungen zwischen den elektrischen Größen Strom, Spannung und/oder Ladung der Aktoren mittels elektronischer Auswertemittel und/oder durch Auswertung von elektrischen Induktivitäten, elektrischen Kapazitäten und/oder elektrischen Widerständen der Aktoren detektiert wird.
- 10 25. Verfahren zur Drehzahl- und/oder Positions- und/oder Lastmomenterfassung eines Drehantriebs nach einem der Ansprüche 1 bis 18, mit Sensoren zur Erfassung von Drehzahl und/oder Position und/oder Lage und/oder Lastmoment des Konverters in Bezug auf eine Trägerstruktur und/oder des ersten Körpers und/oder des zweiten Körpers in
- 15 Bezug auf die Trägerstruktur und/oder der Körper in Bezug zueinander.



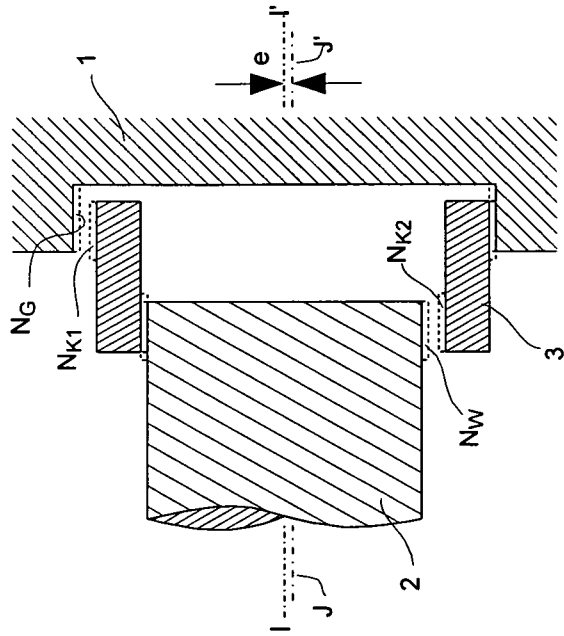


Fig. 3.2

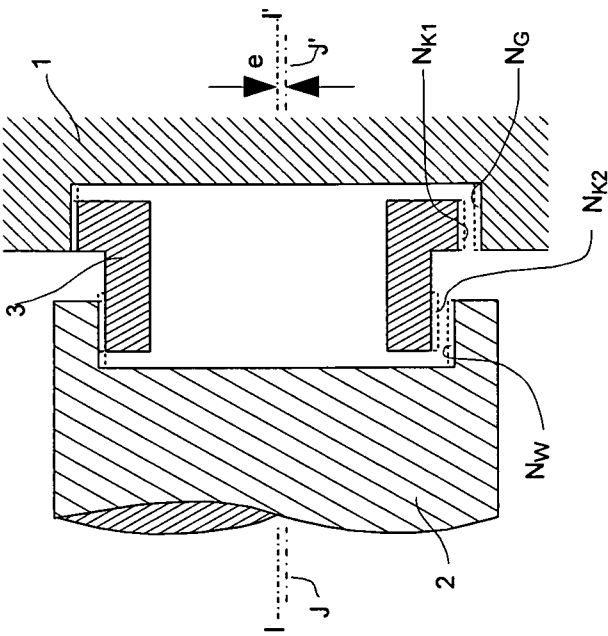


Fig. 3.4

Fig. 3

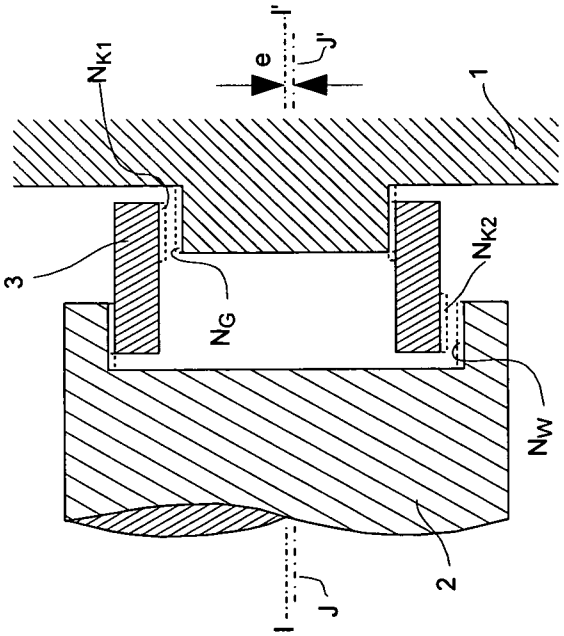


Fig. 3.1

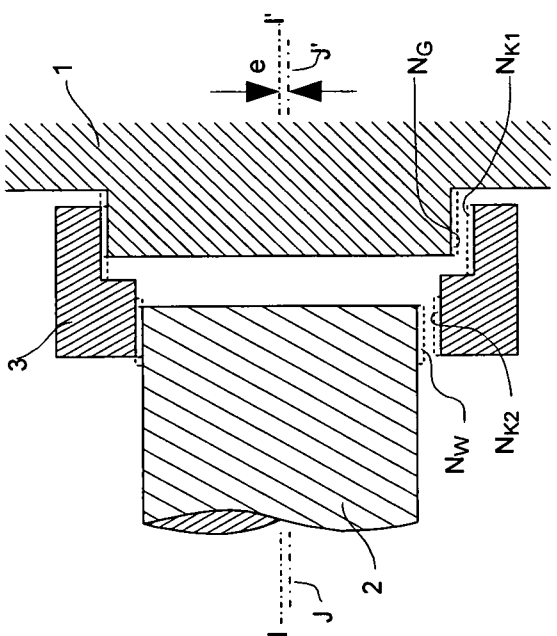


Fig. 3.3

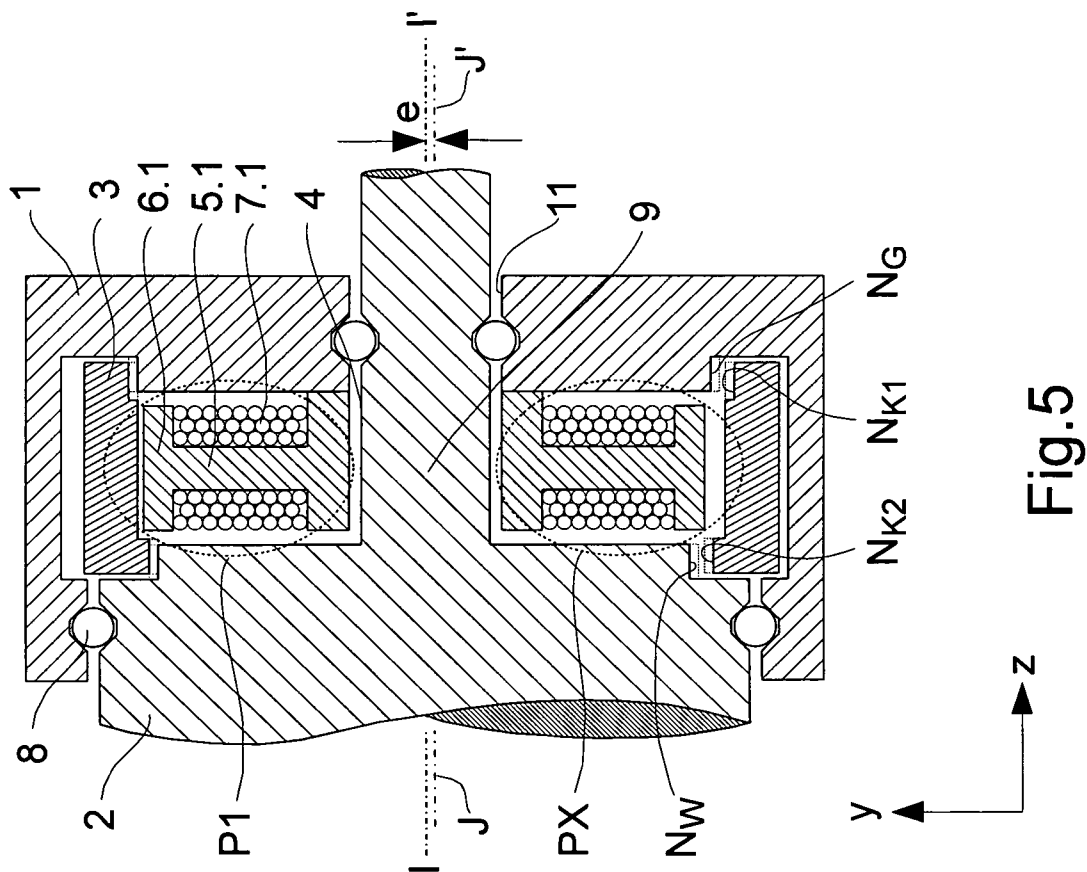


Fig.5

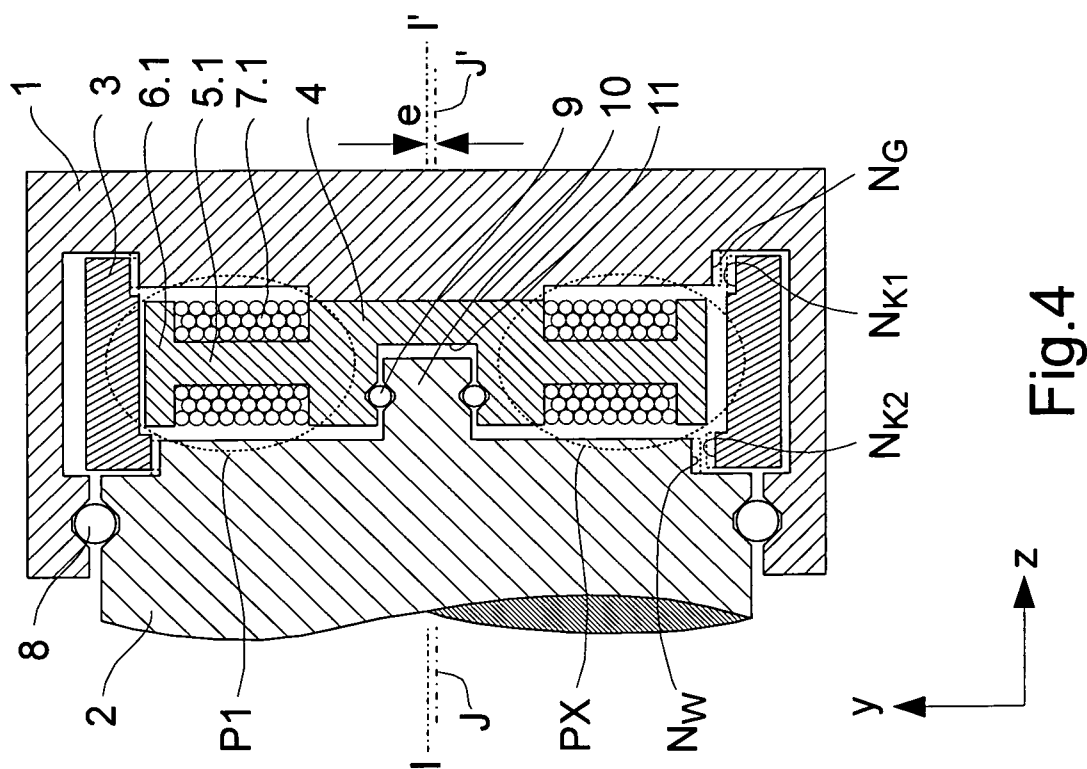
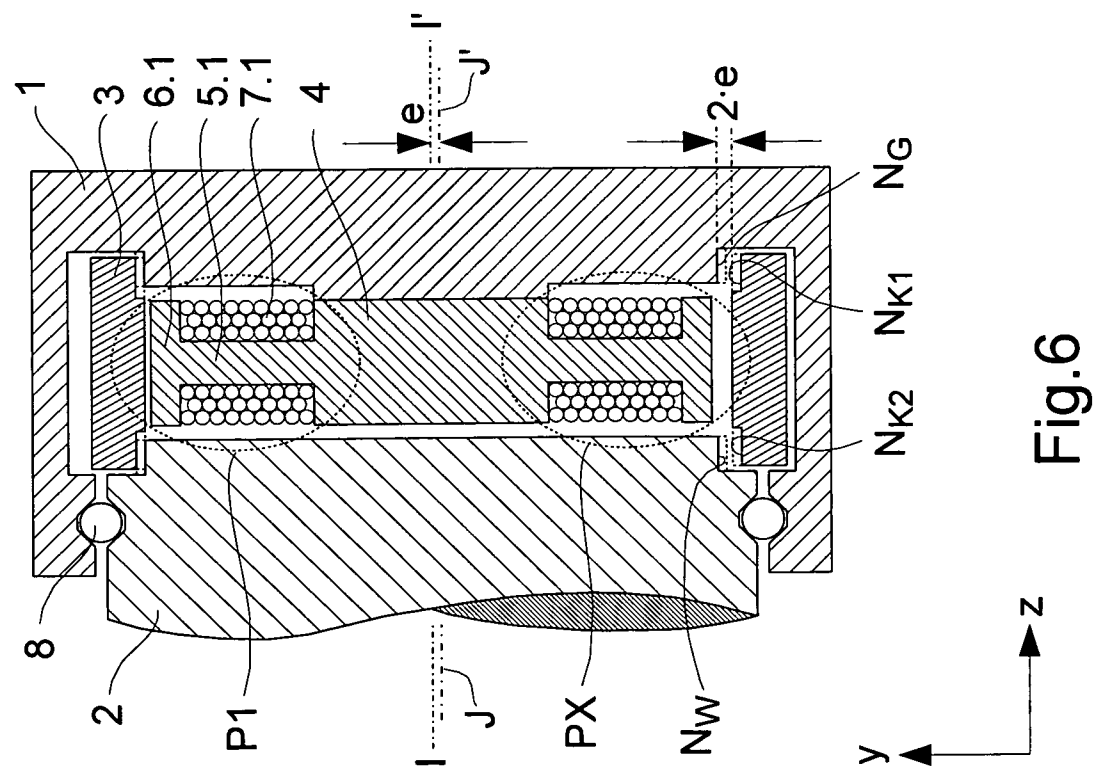
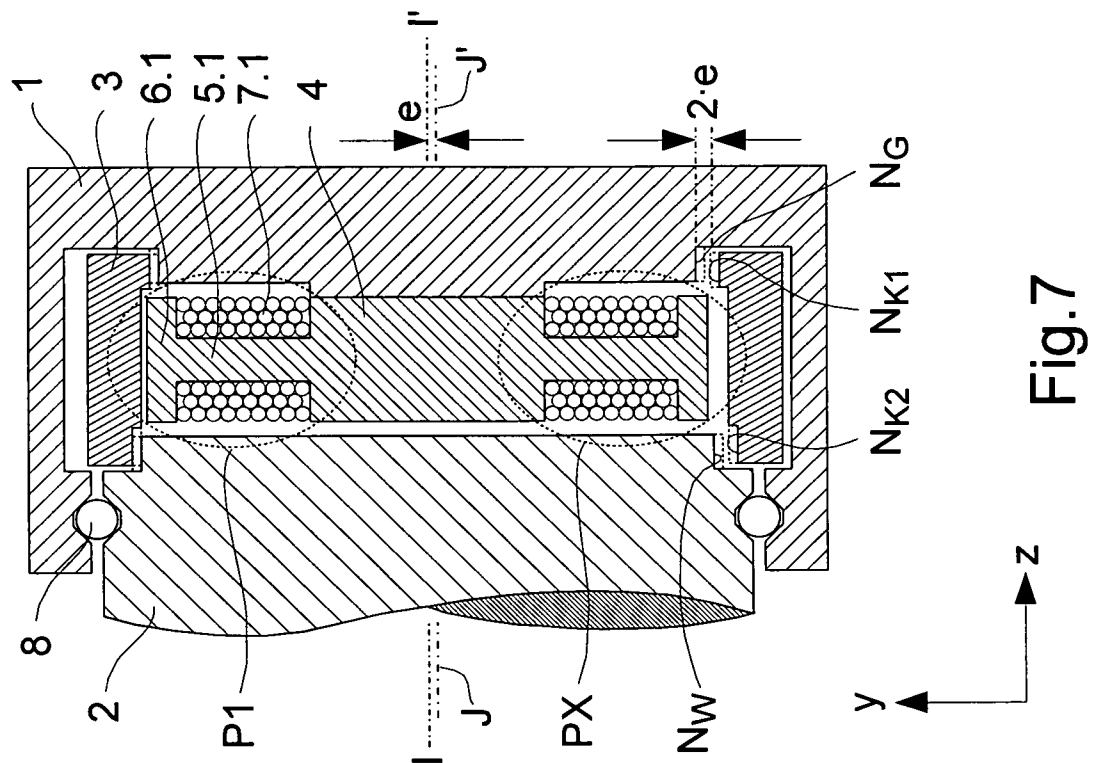


Fig.4



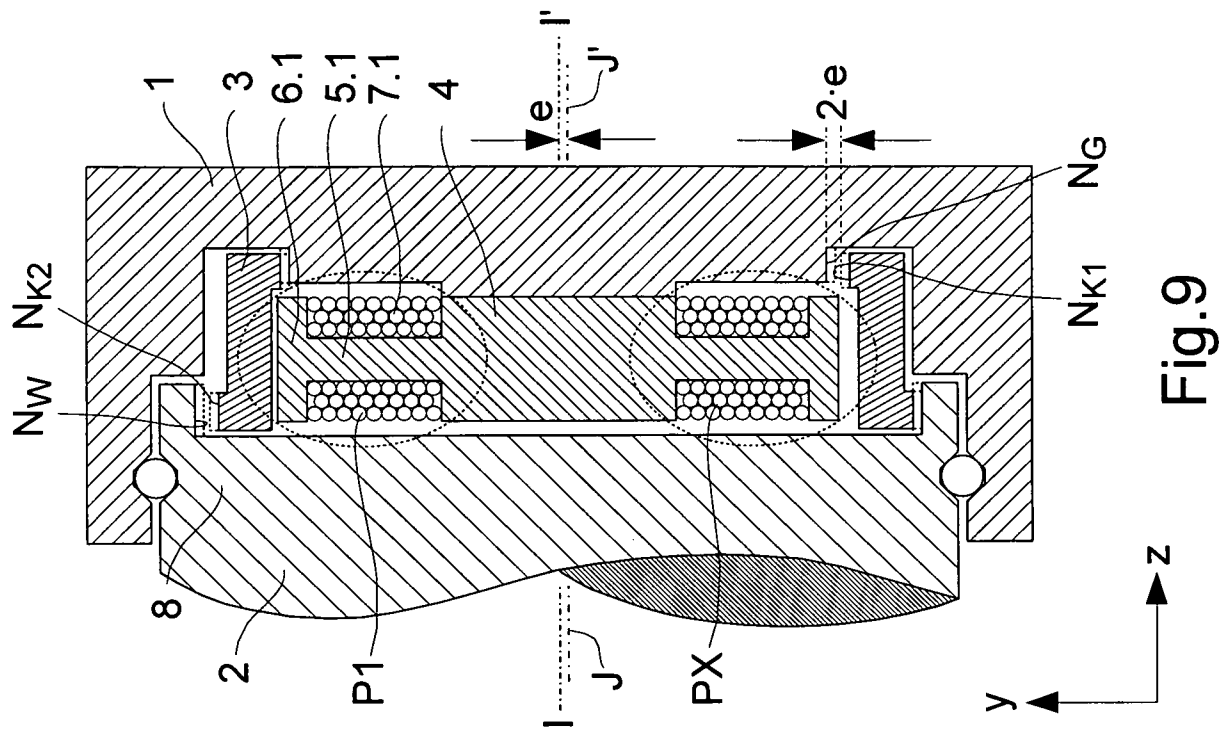


Fig. 9

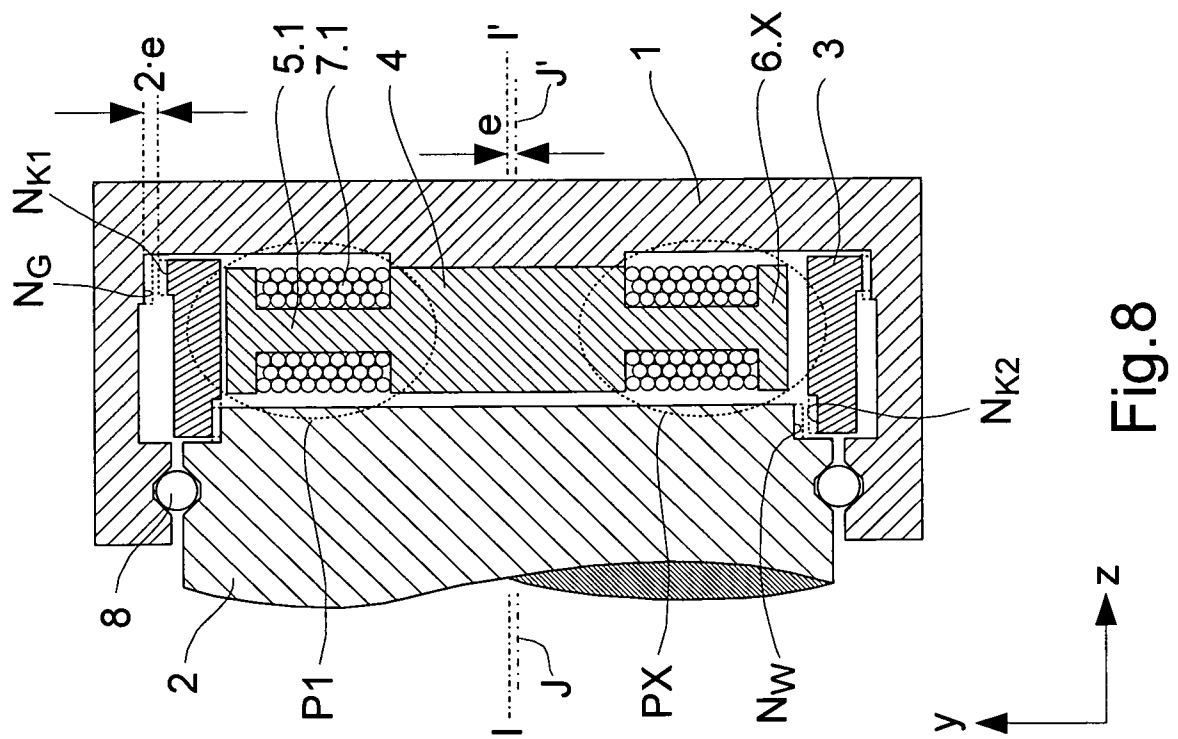
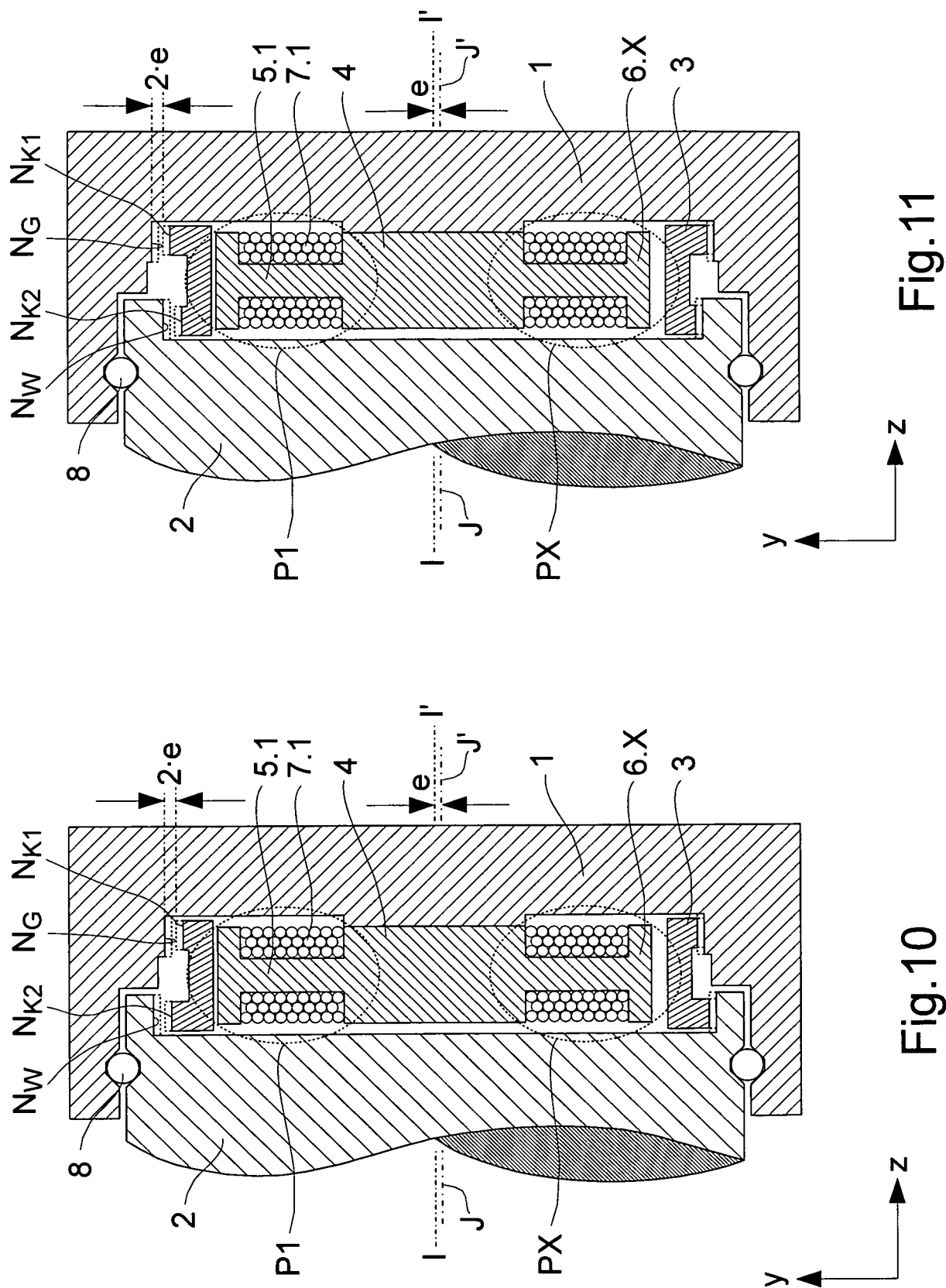
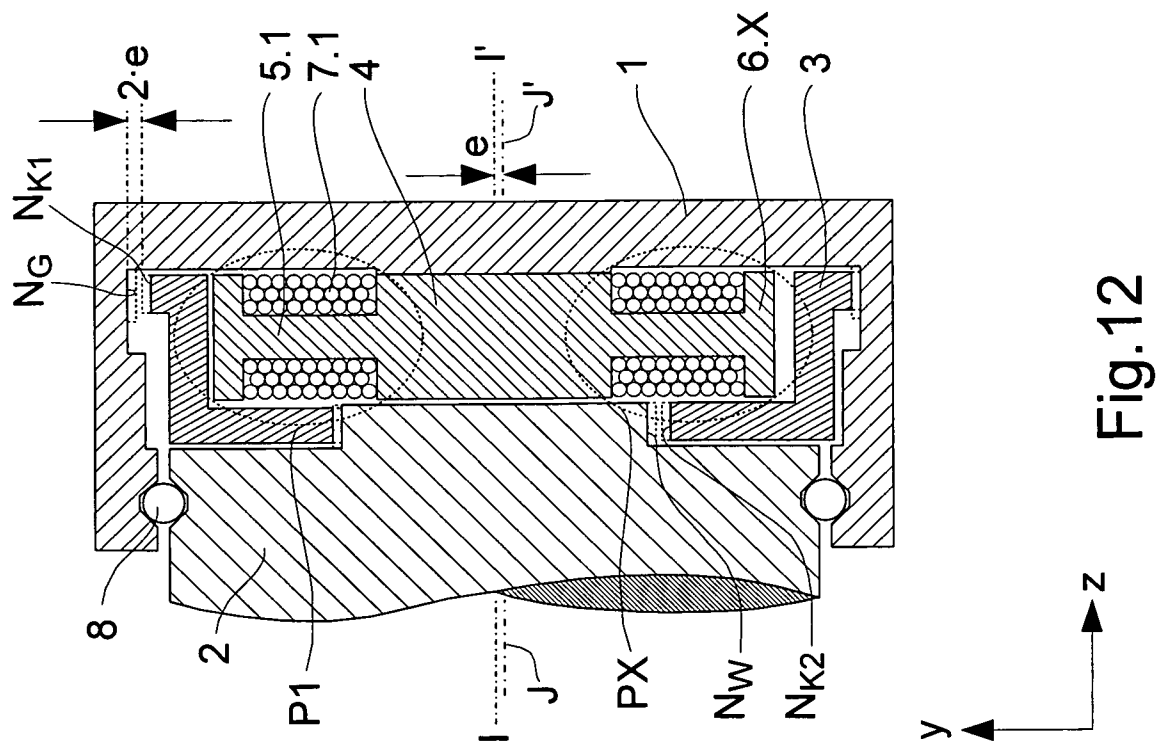
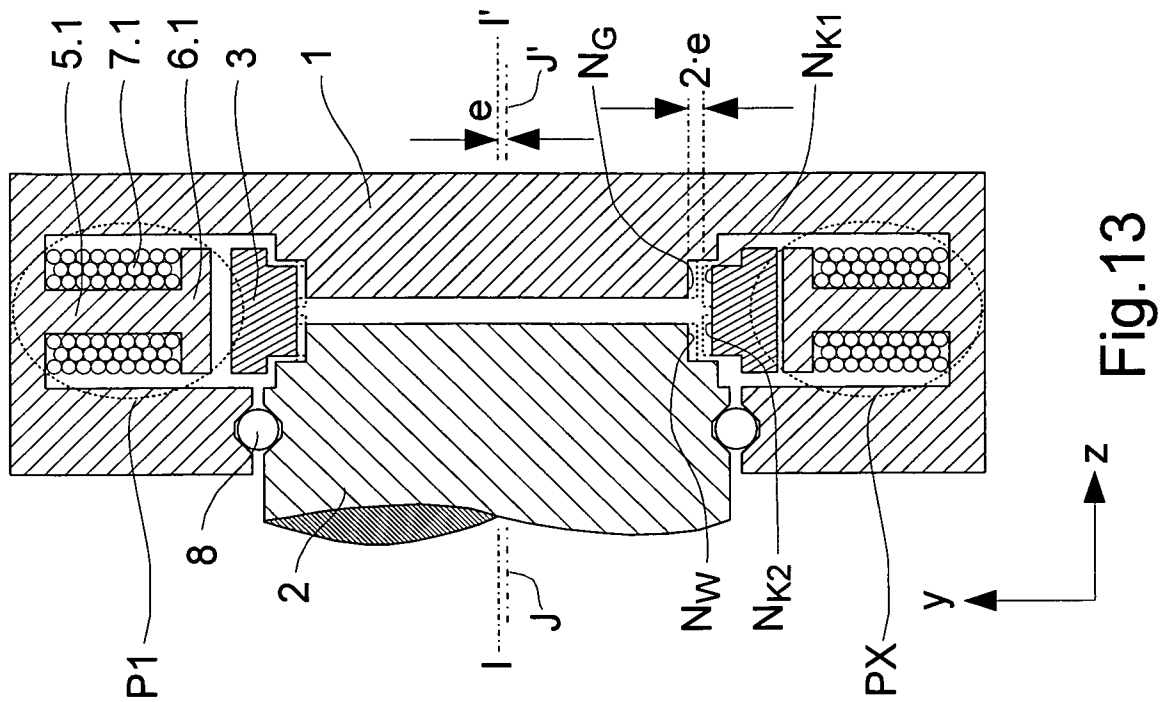


Fig. 8





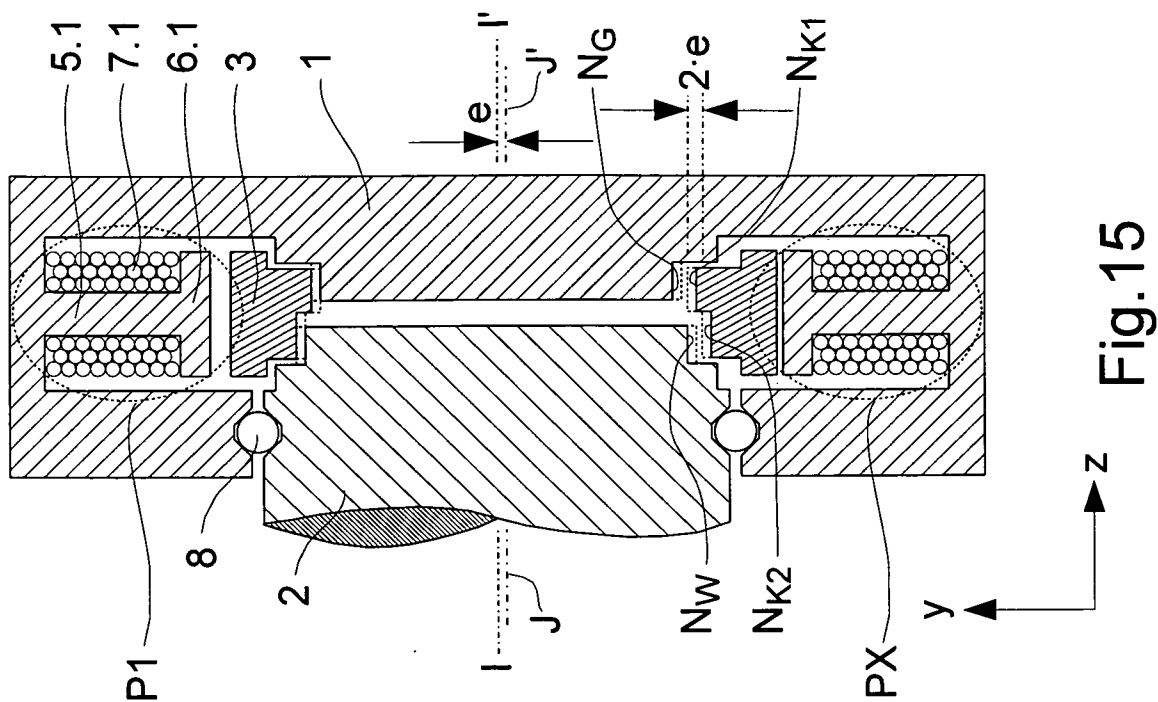


Fig. 15

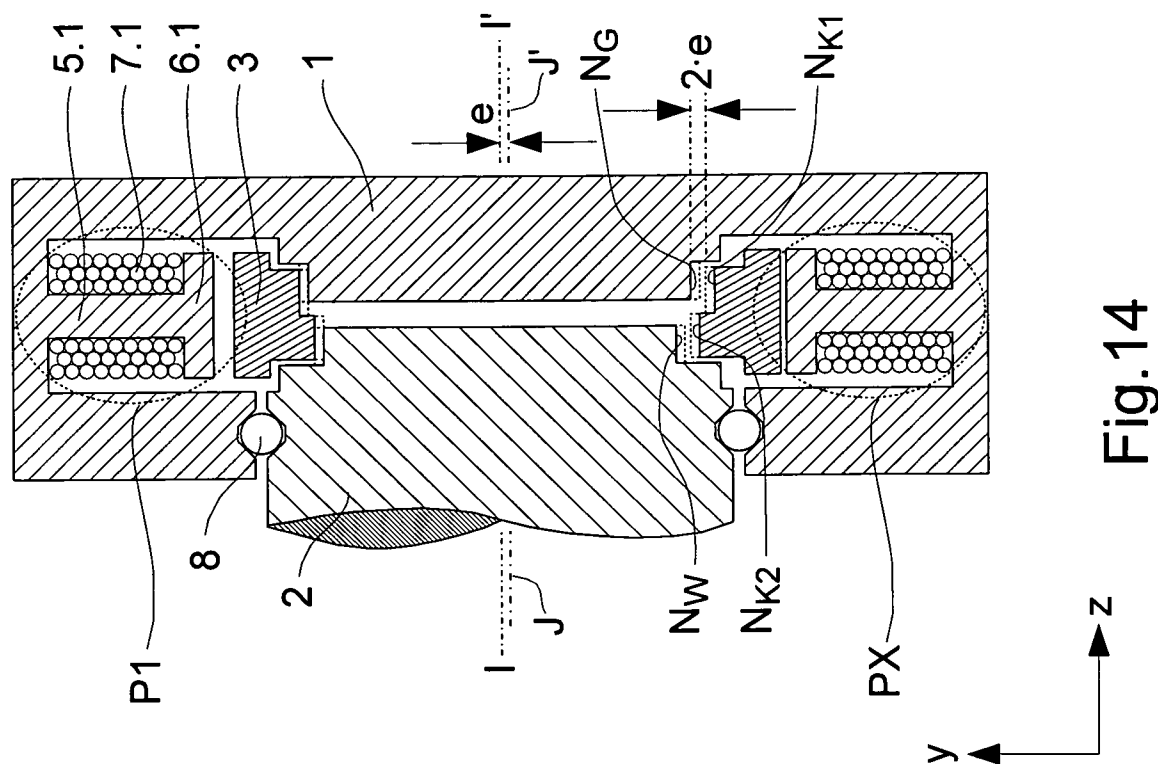
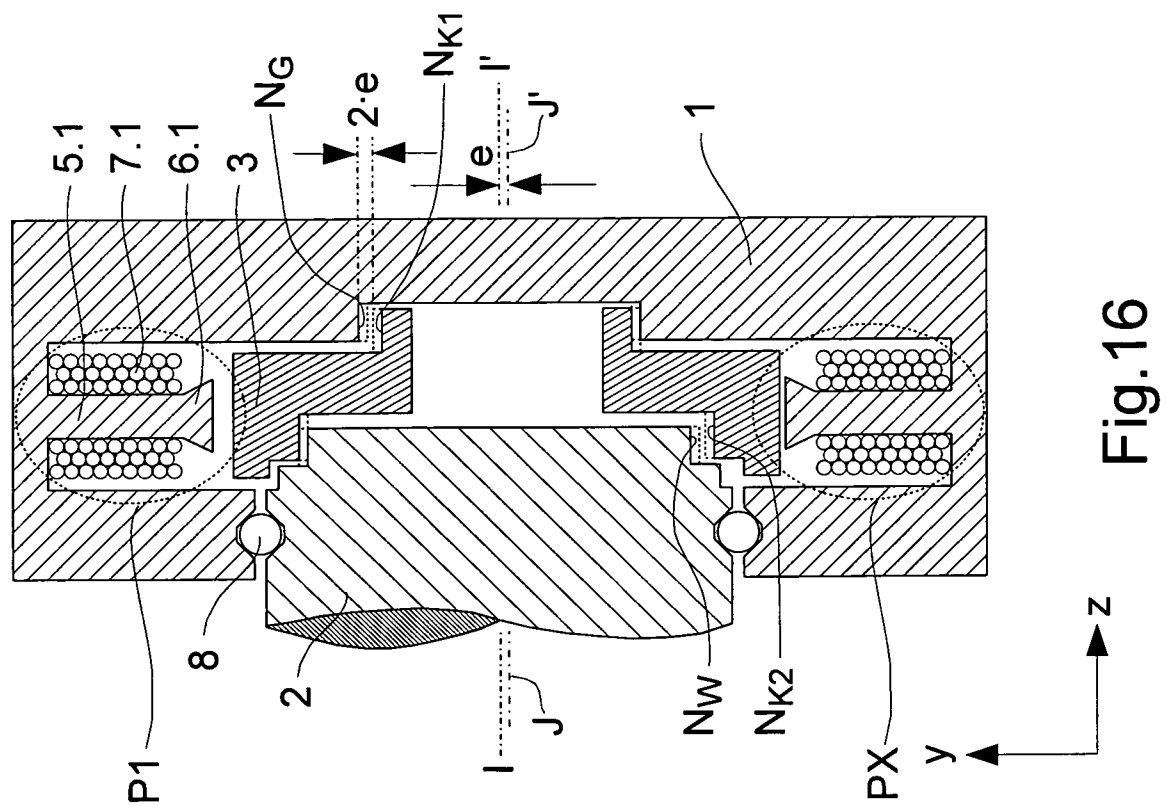
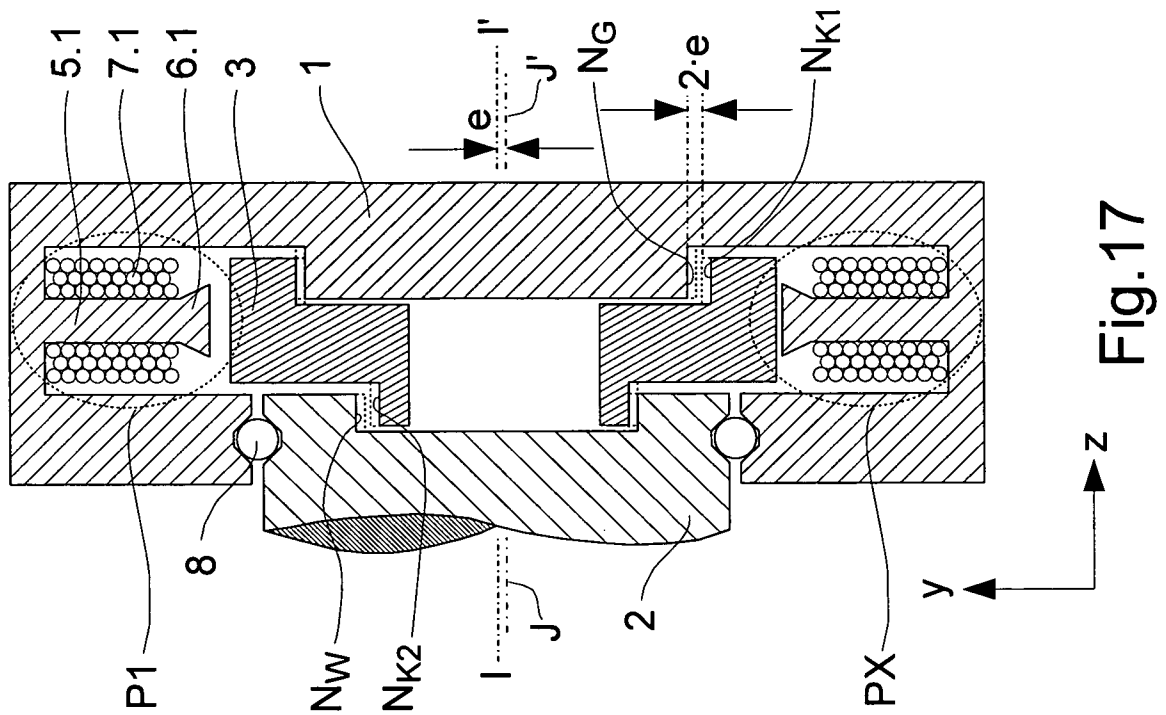
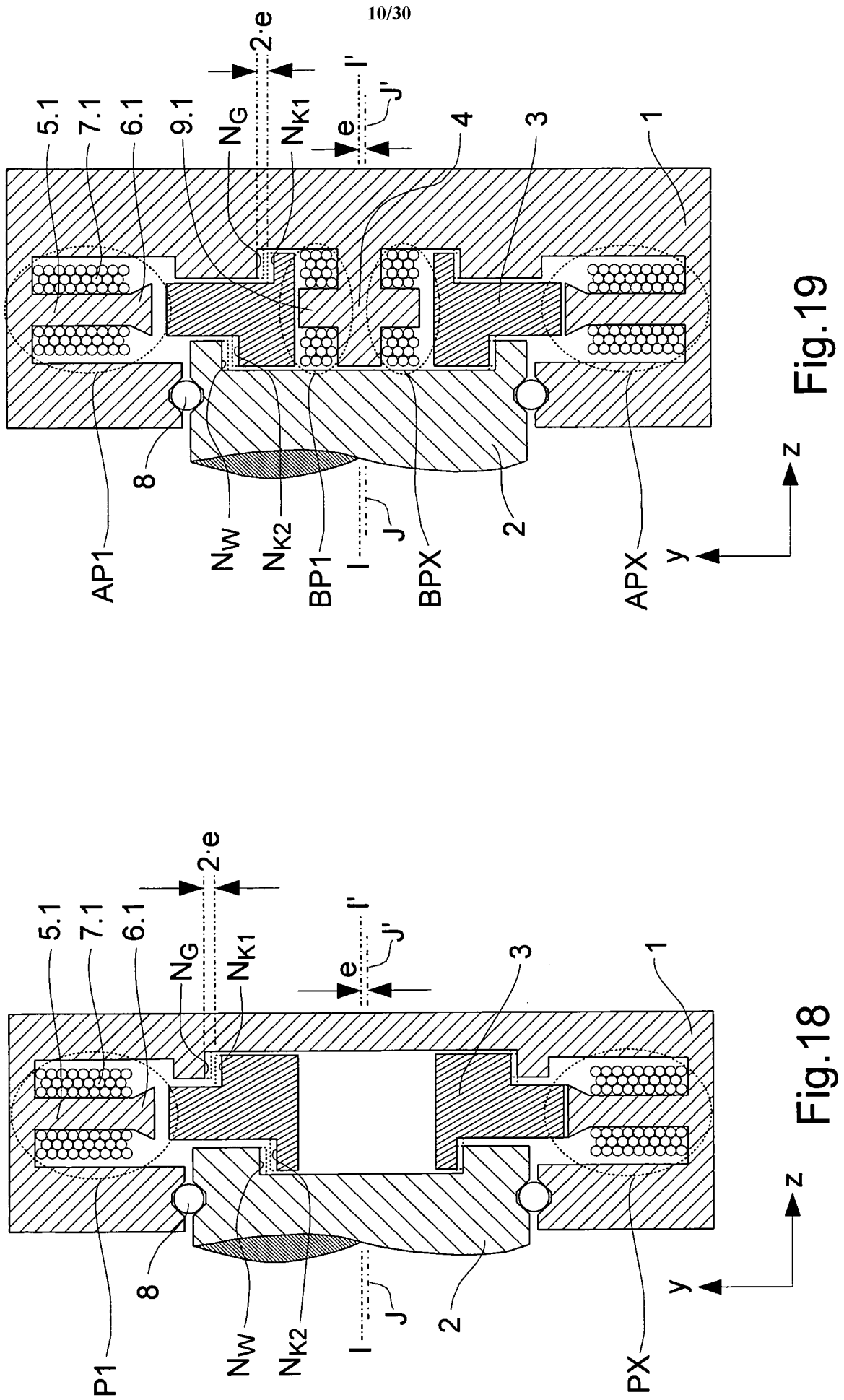
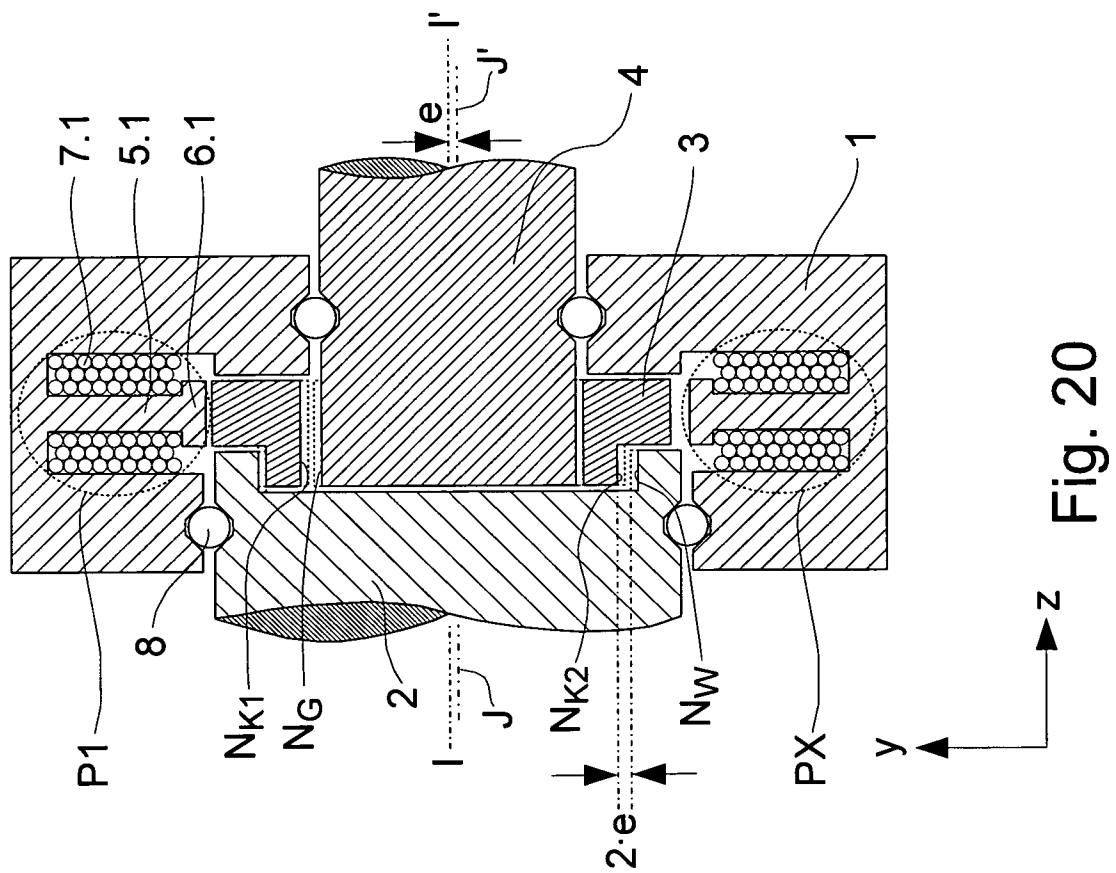
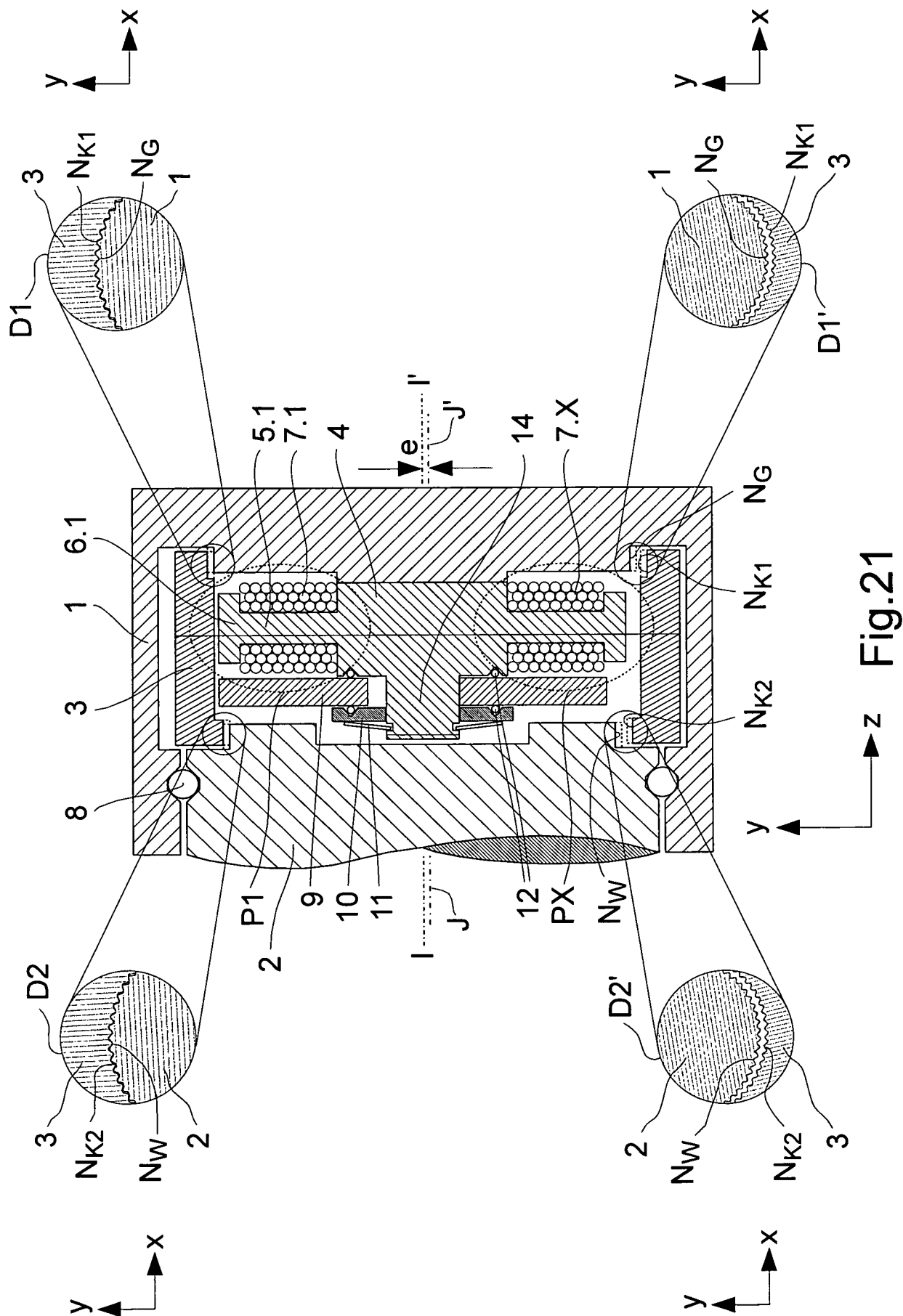


Fig. 14









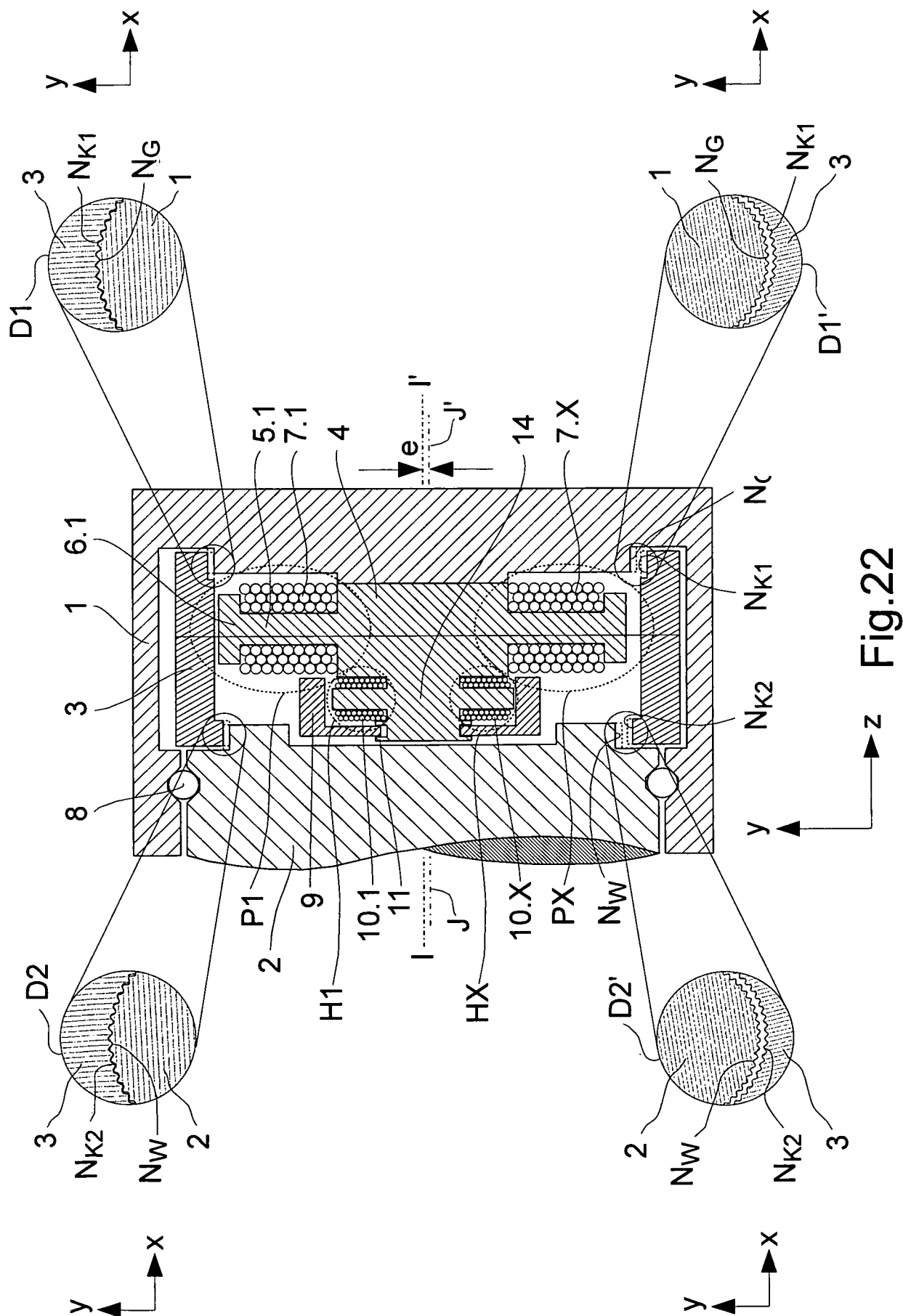


Fig. 22

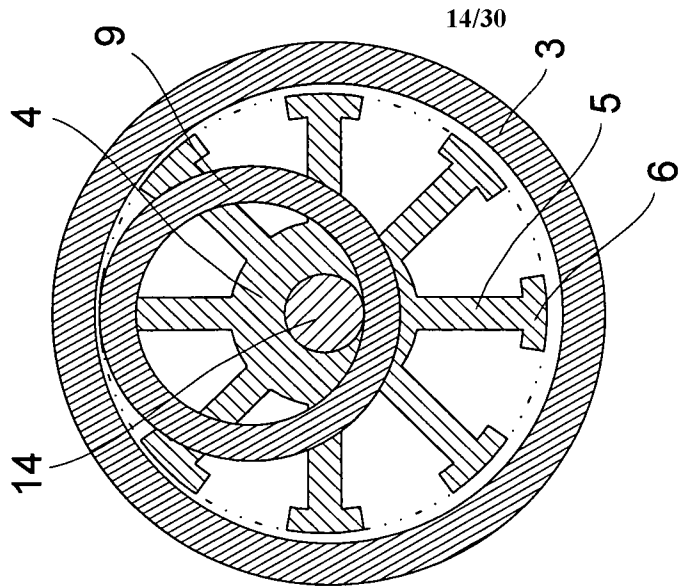


Fig. 23.1

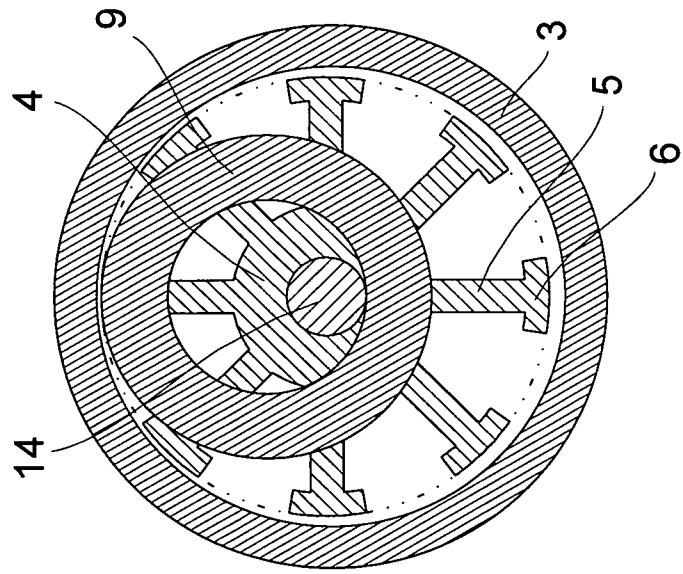


Fig. 23.2

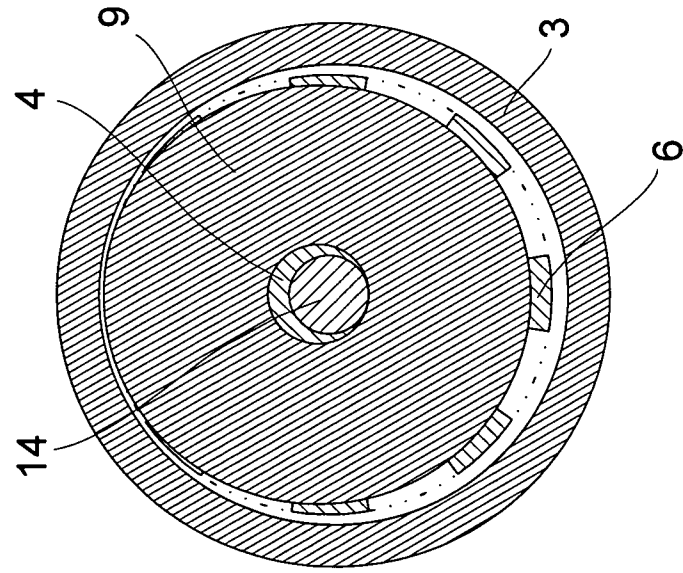
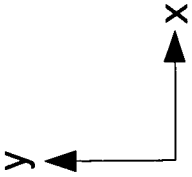


Fig. 23.3

Fig. 23



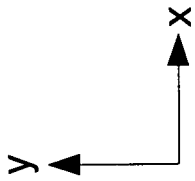
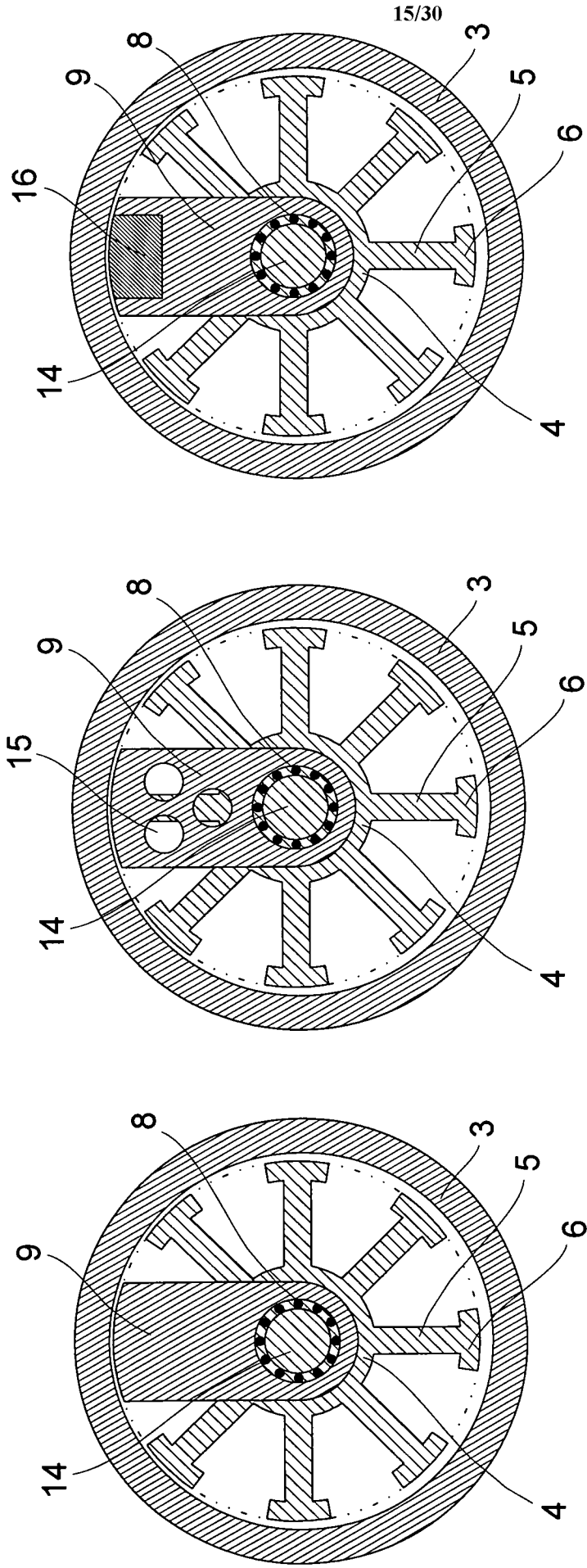


Fig. 24

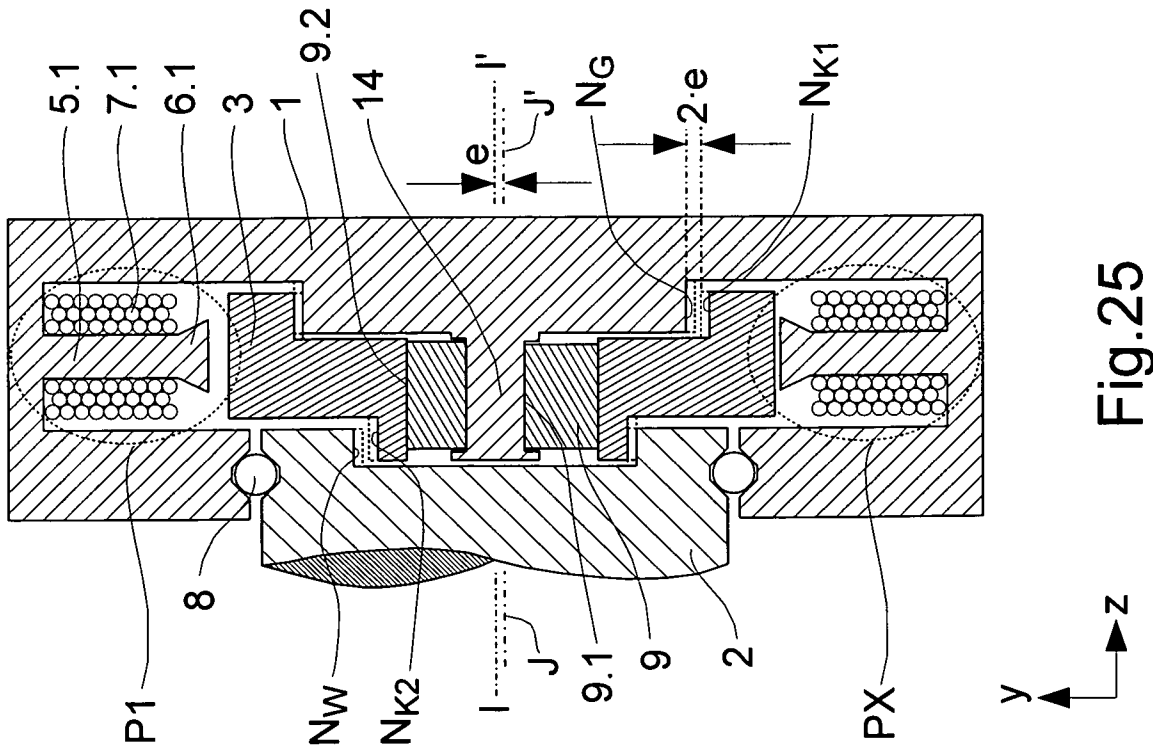


Fig.25

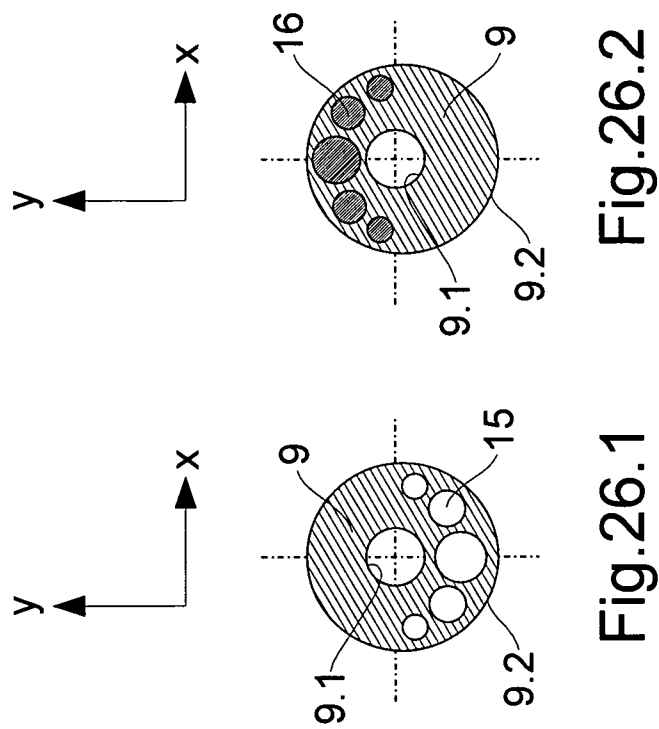


Fig.26.1

Fig.26.2

Fig.26

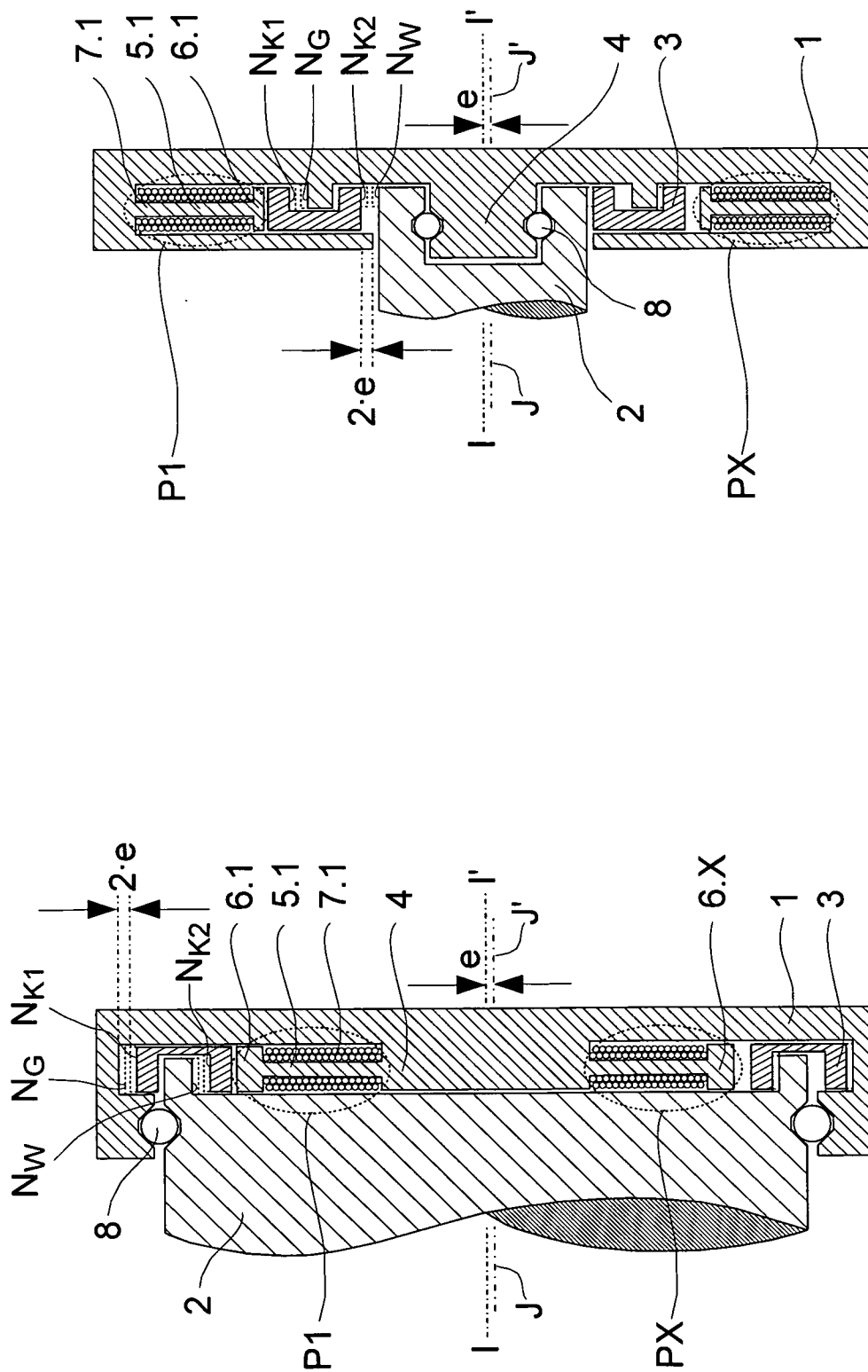


Fig.27

Fig.28

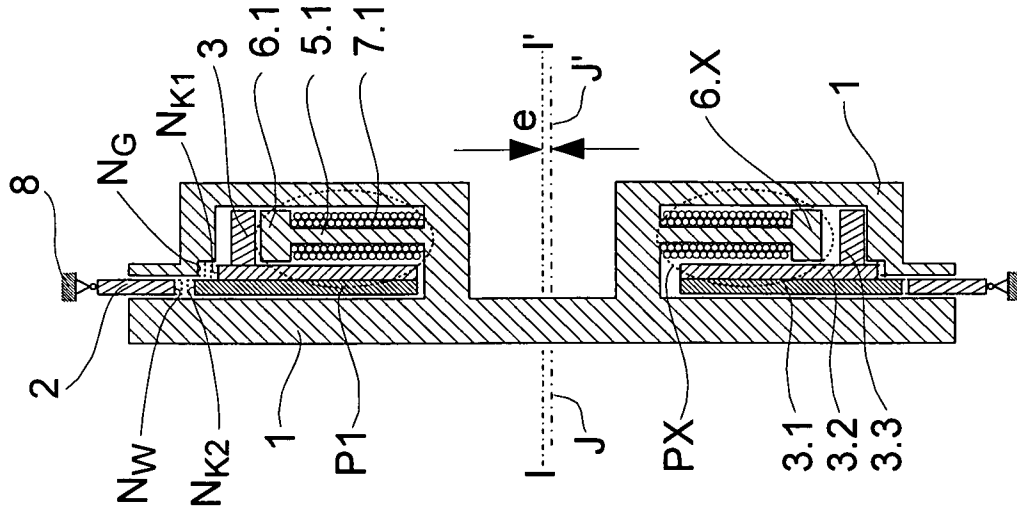


Fig. 29

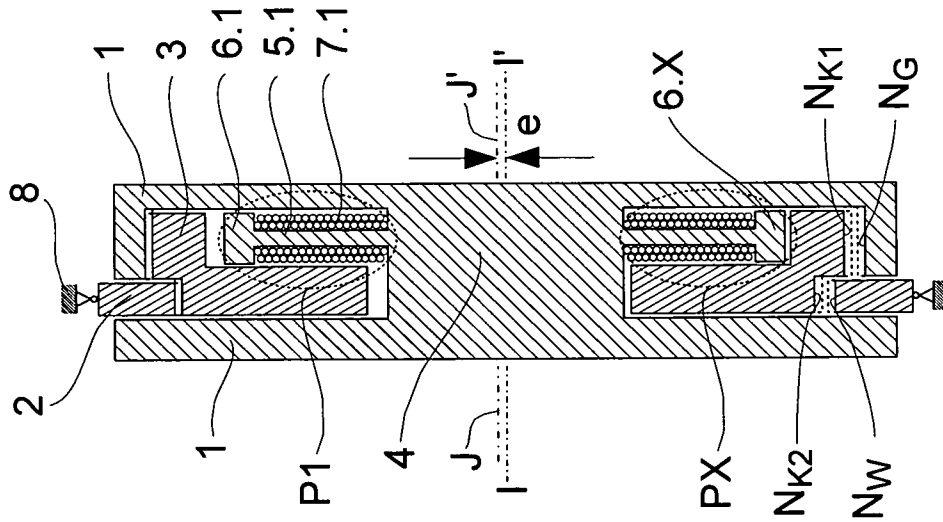


Fig. 30

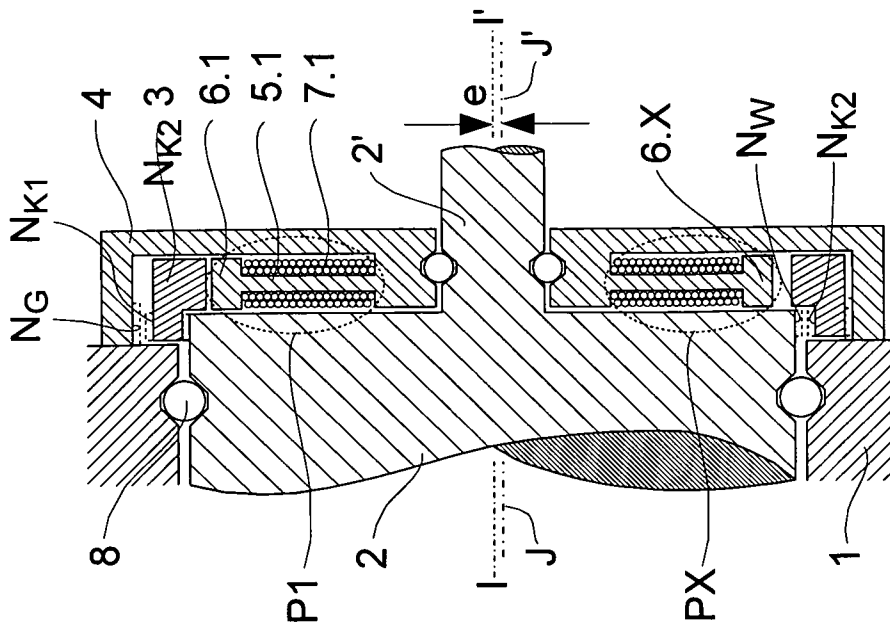
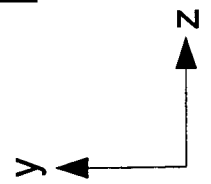


Fig. 31



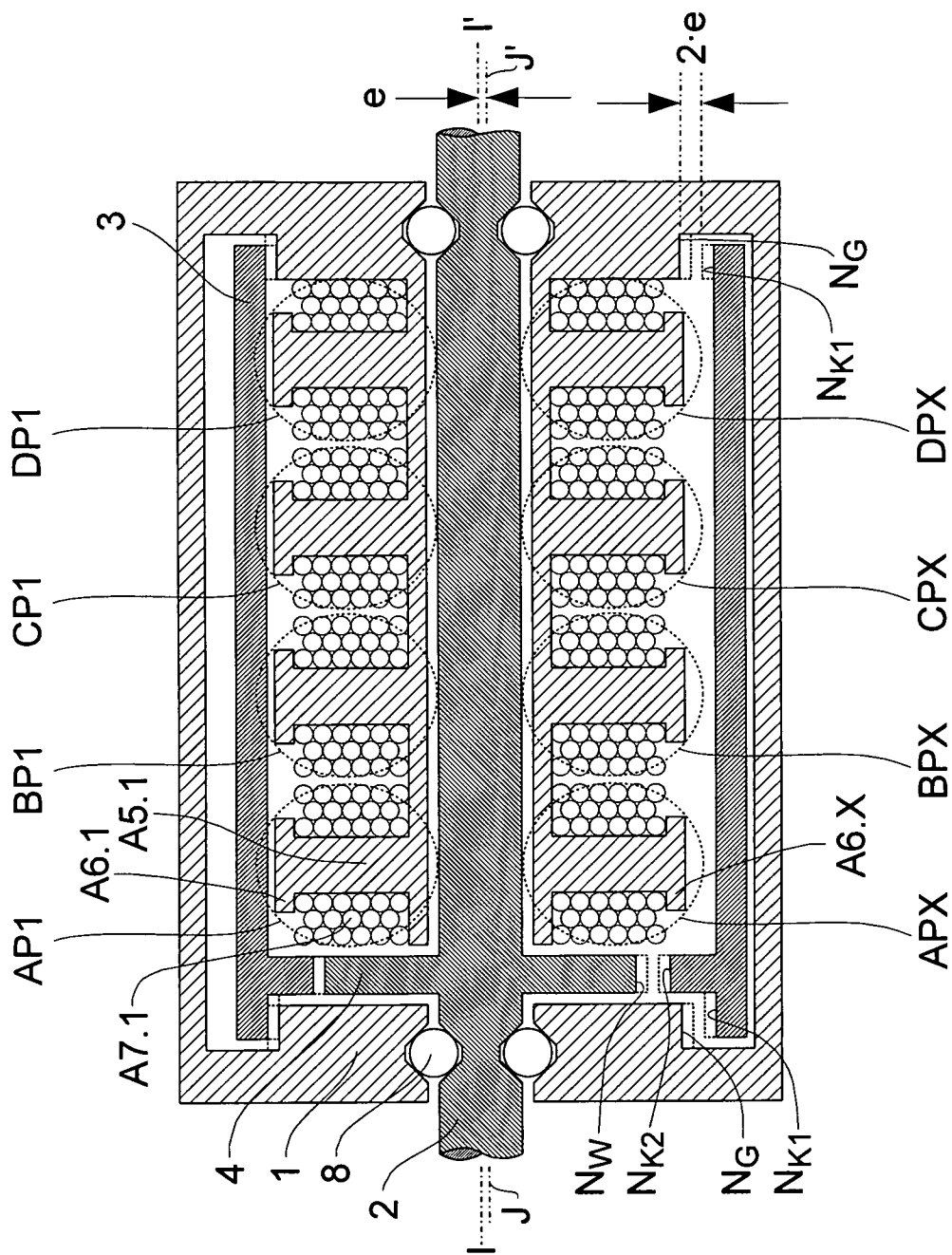
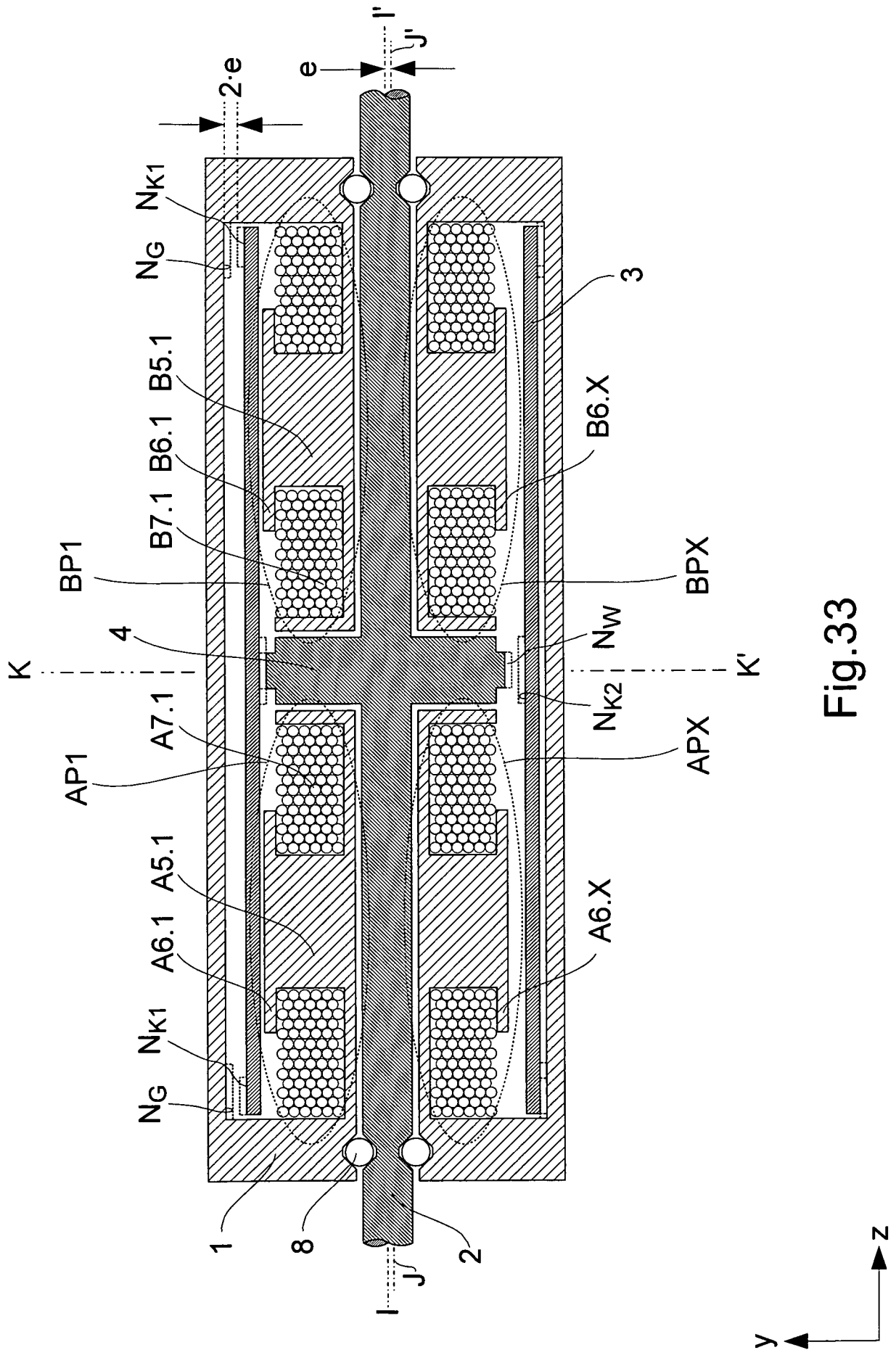


Fig.32



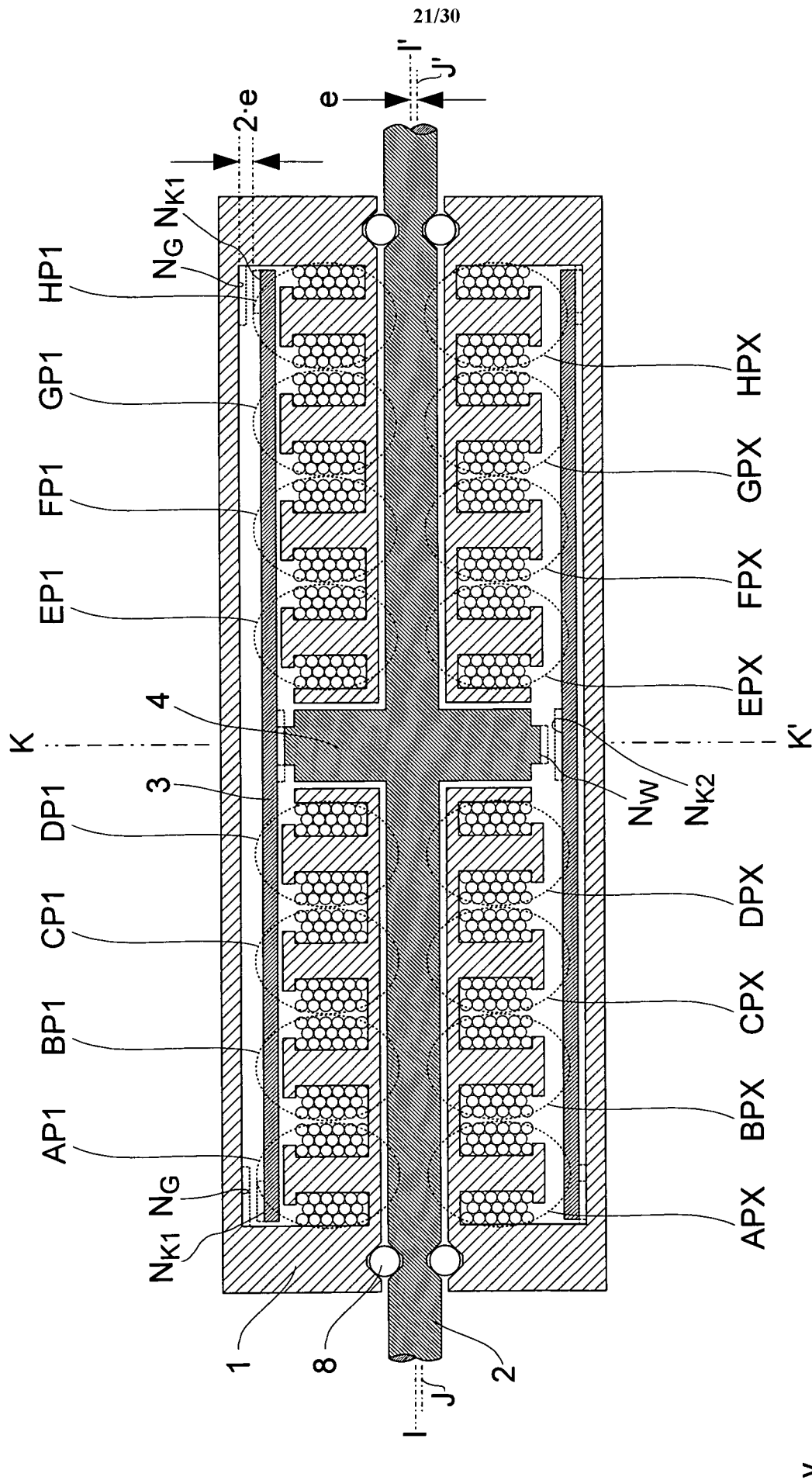


Fig.34

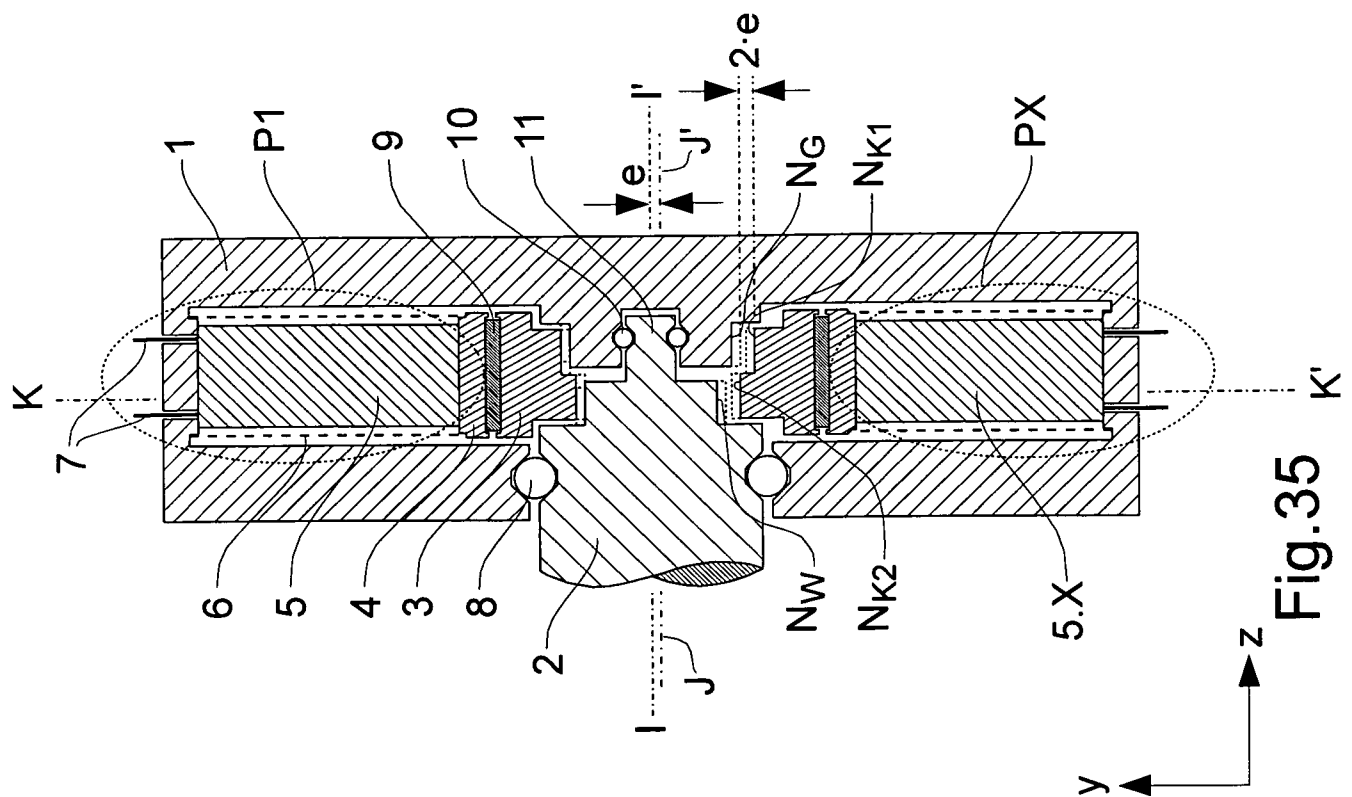


Fig. 35

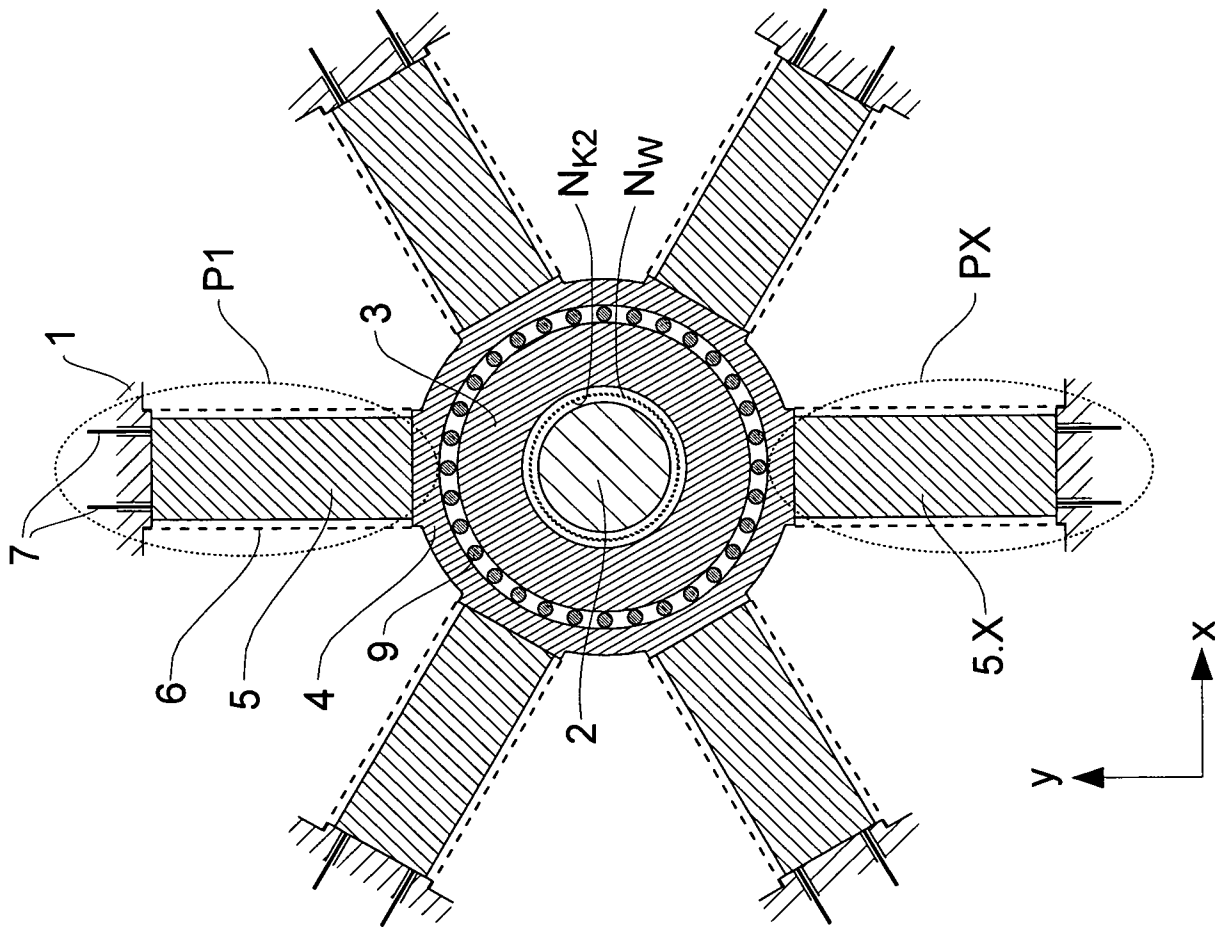


Fig. 36

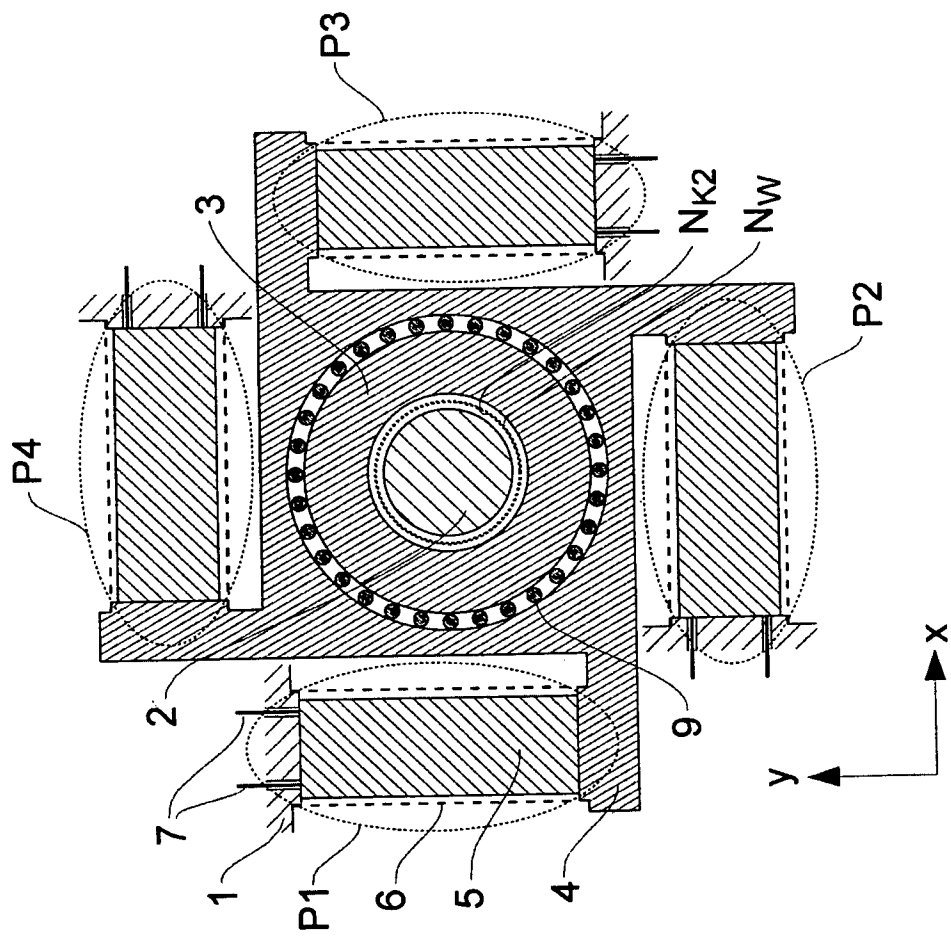


Fig.37

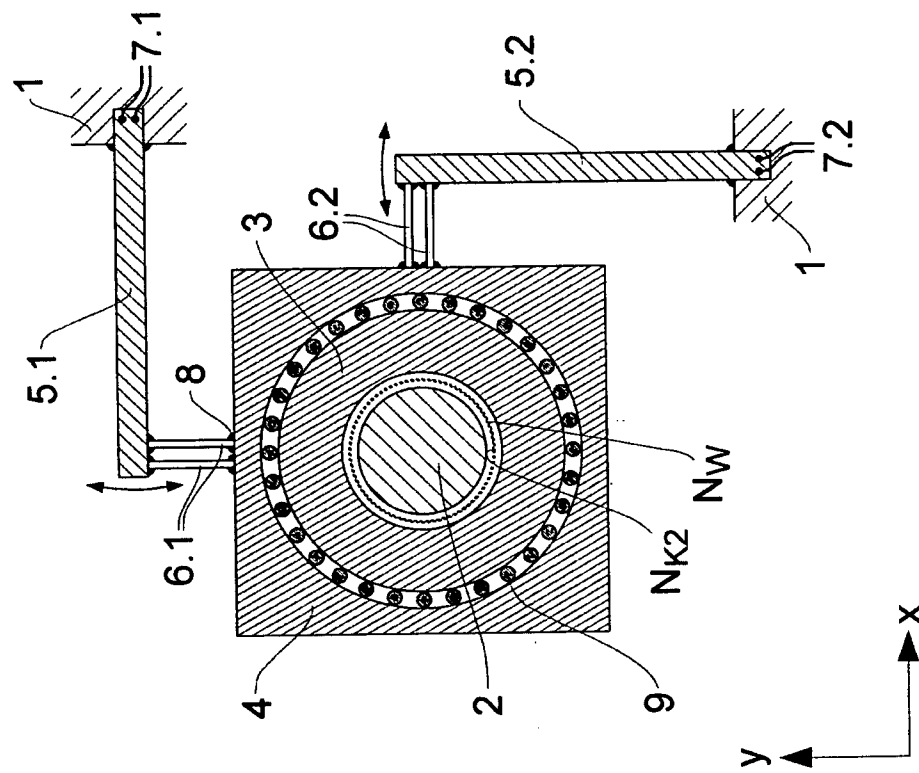


Fig.38

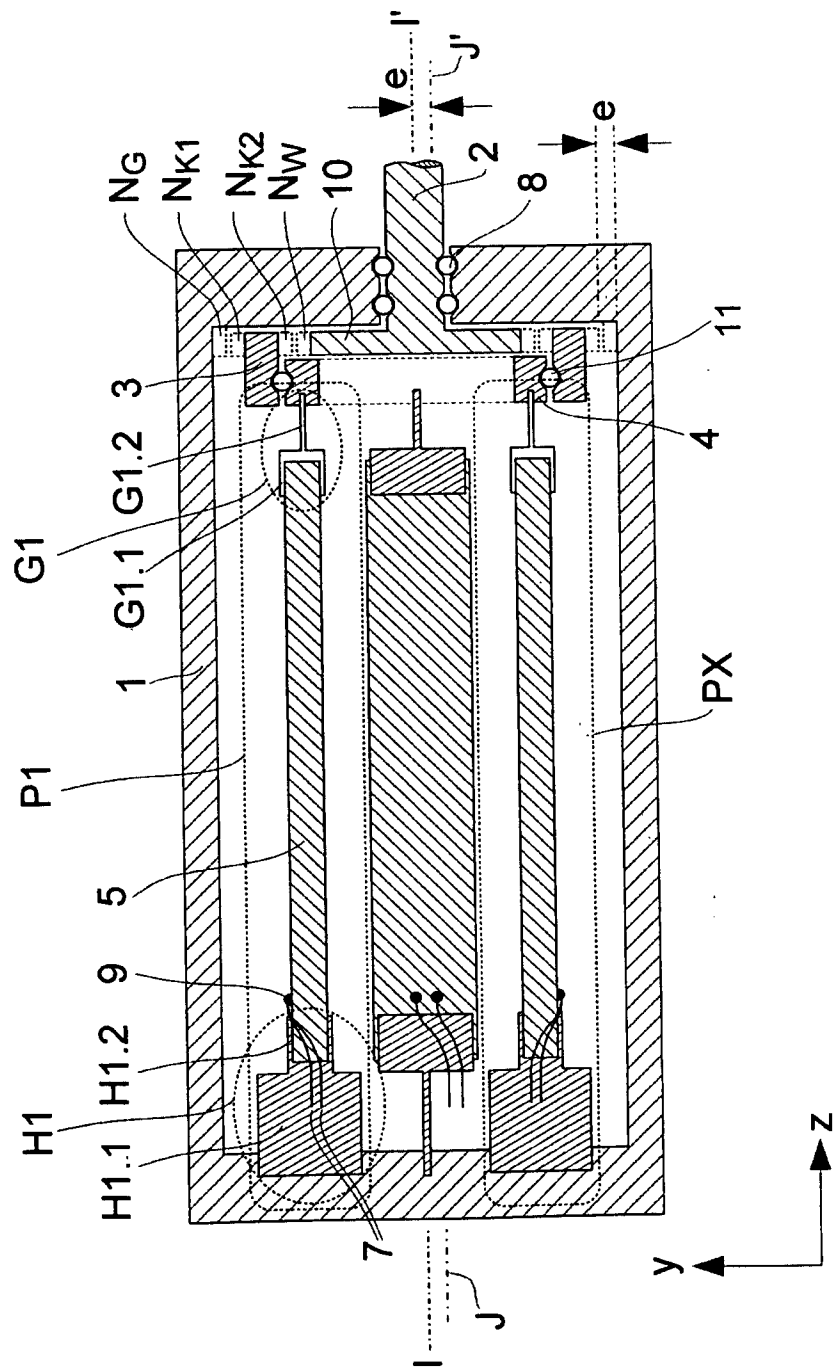


Fig.39

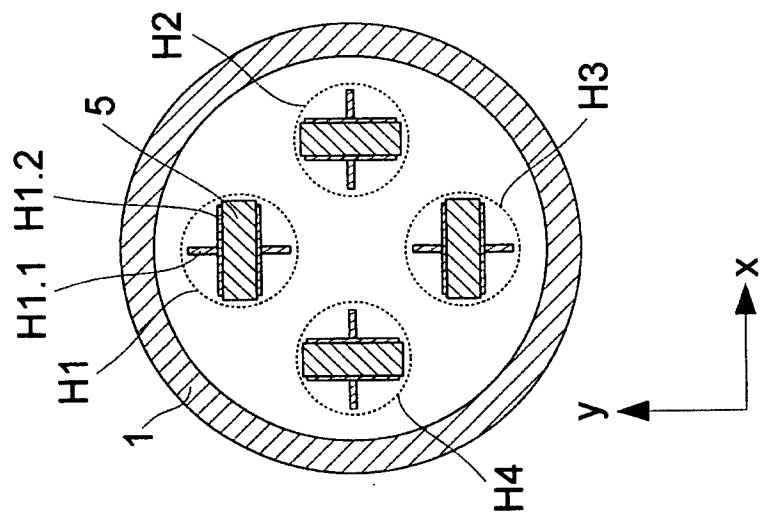


Fig.40

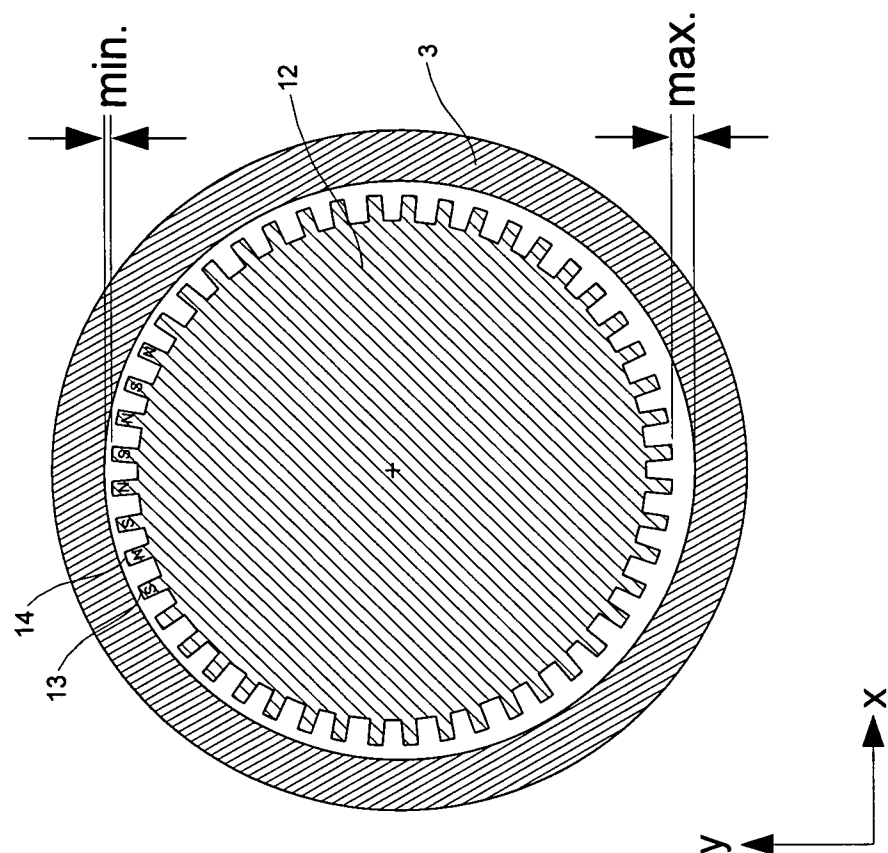


Fig.41

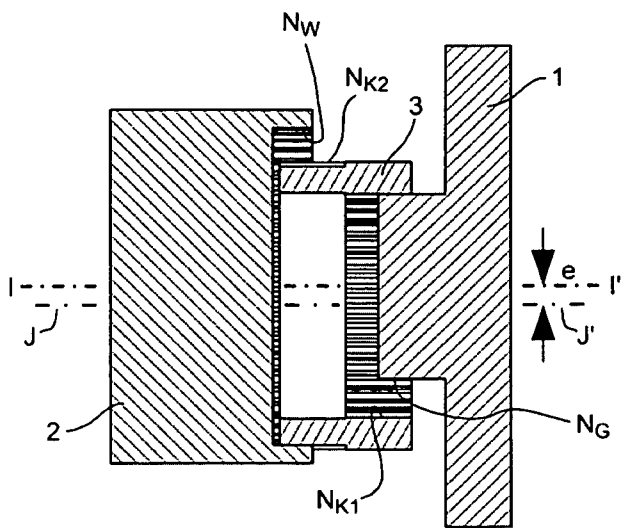


Fig.42.1

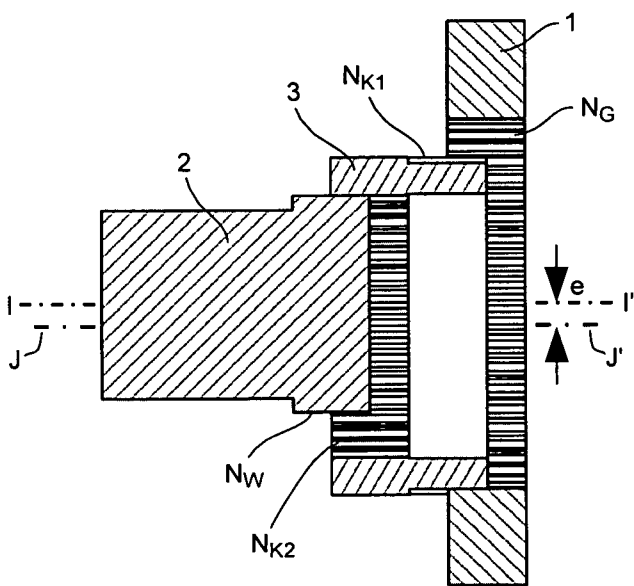
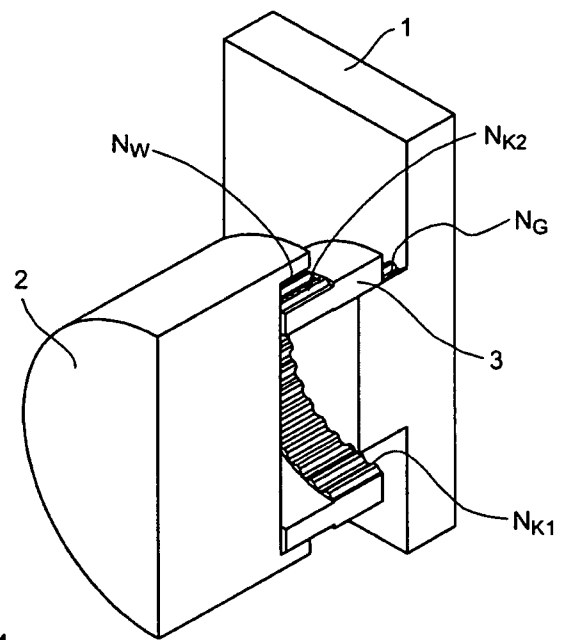


Fig.42.2

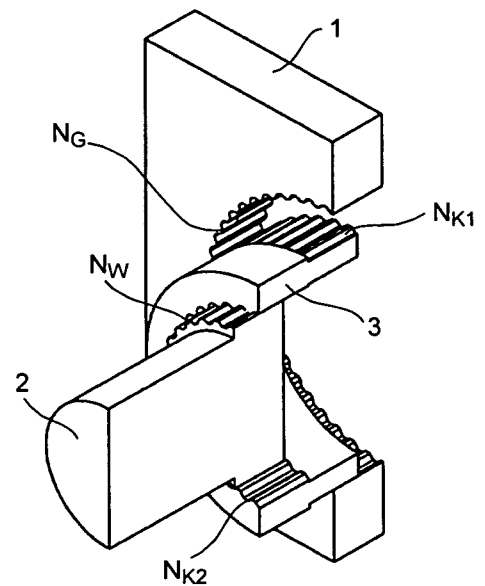


Fig.42

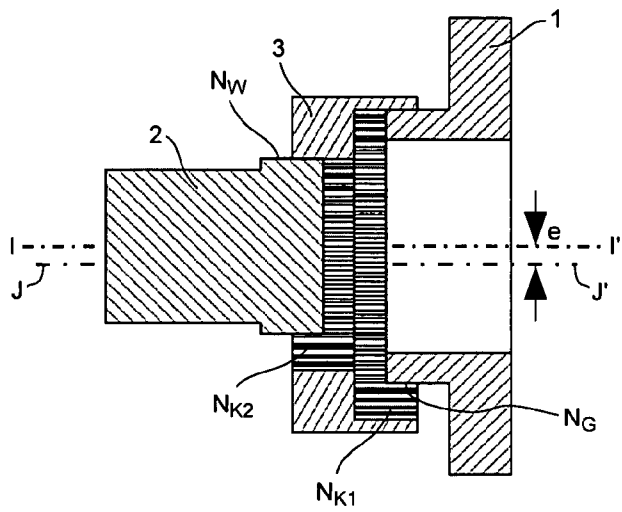


Fig.42.3

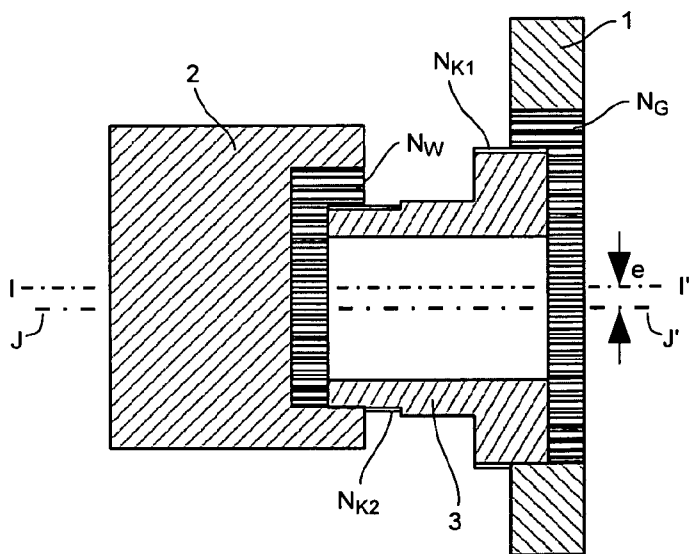
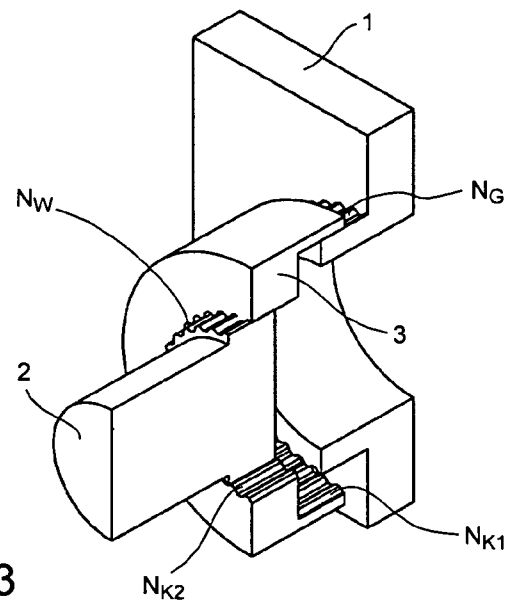


Fig.42.4

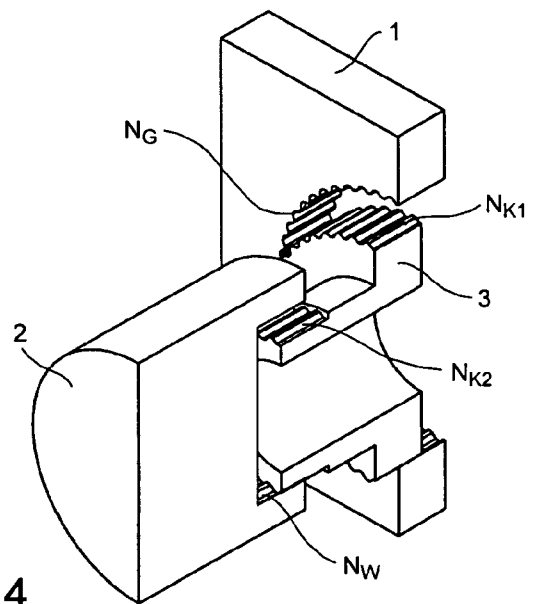


Fig.42

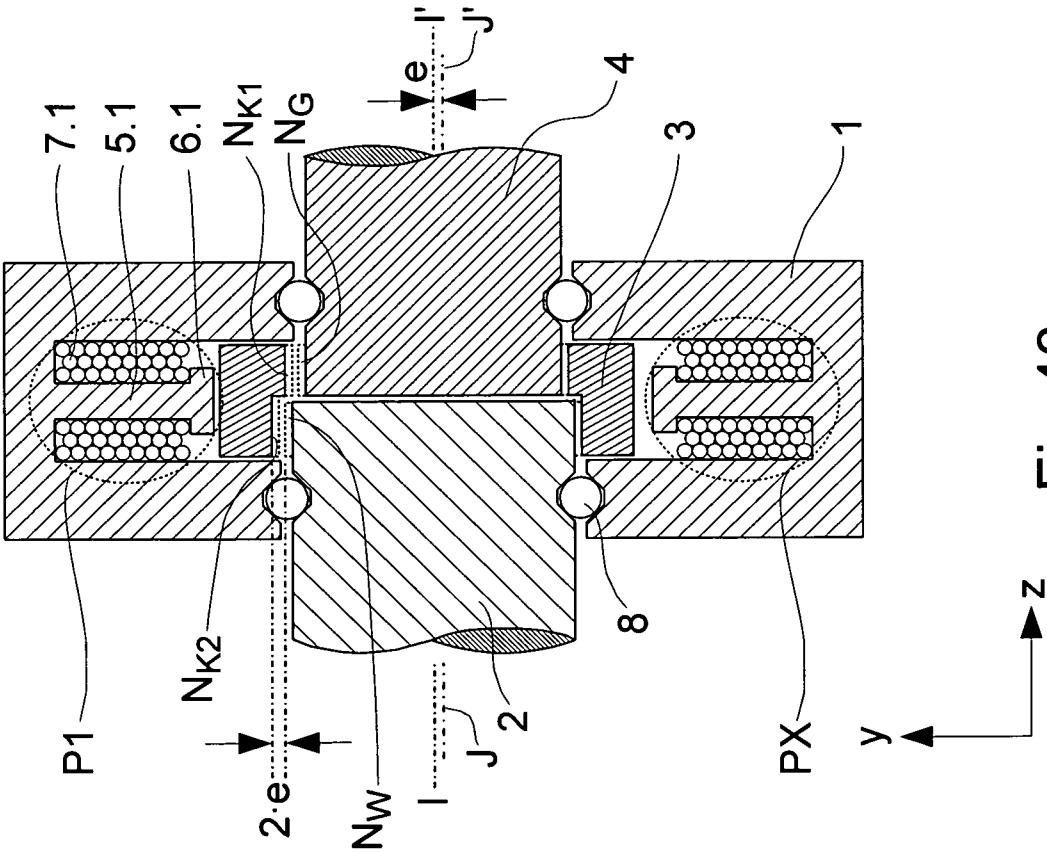


Fig.43

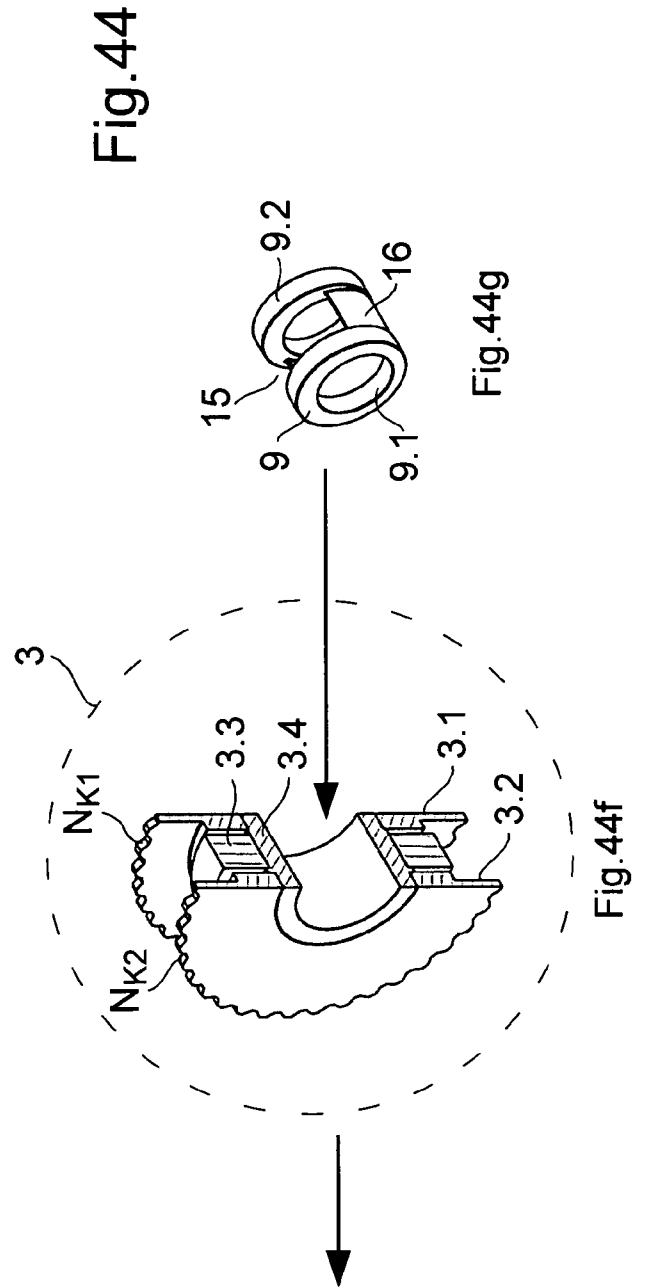
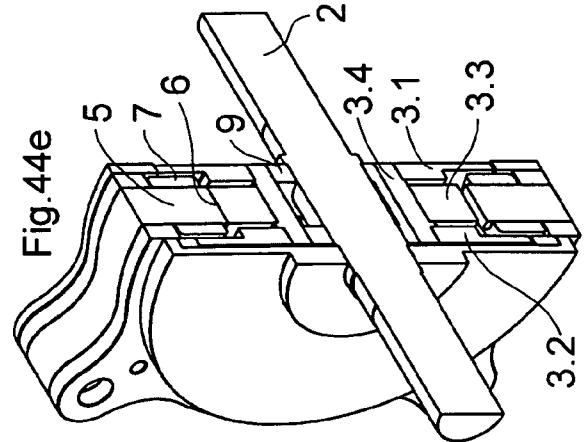
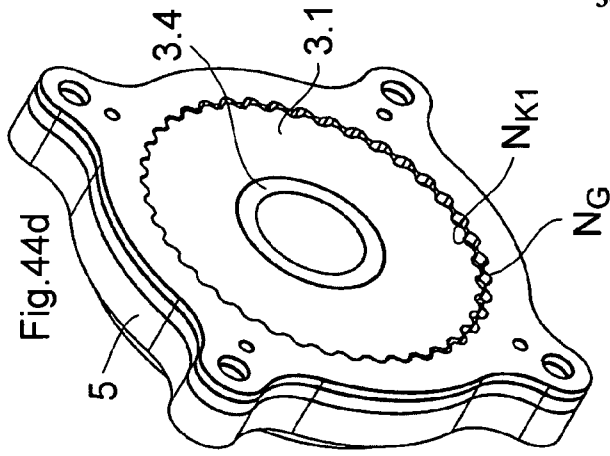
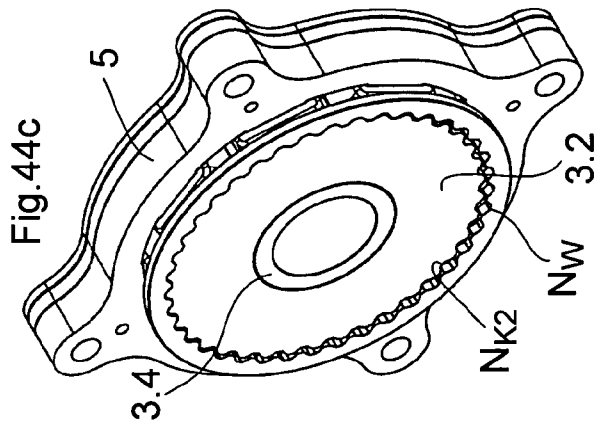
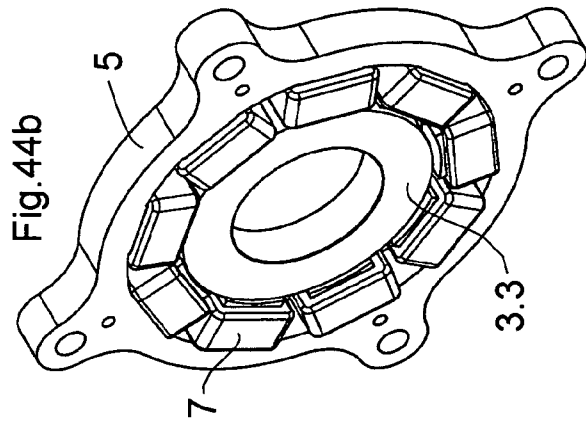
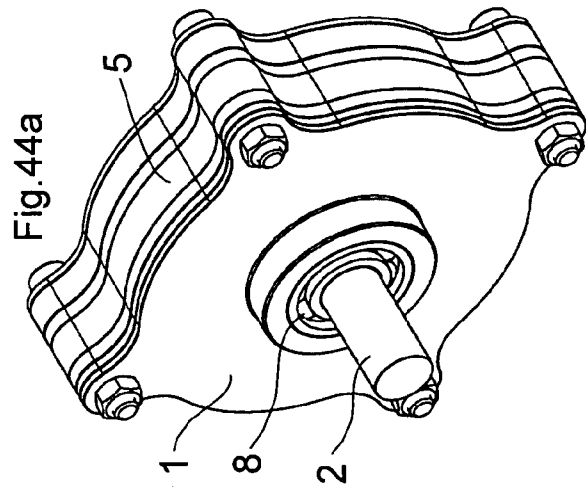


Fig. 44

