(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 09 715 T2** 2006.02.09

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 211 494 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 09 715.7**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 309 287.9**
(96) Europäischer Anmeldetag: **01.11.2001**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **05.06.2002**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **30.03.2005**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **09.02.2006**

(51) Int Cl.[8]: ***G01L 3/10*** (2006.01)

(30) Unionspriorität:
0028385 **21.11.2000** **GB**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR

(73) Patentinhaber:
First Inertia Switch Ltd., Farnborough, Hampshire, GB

(74) Vertreter:
Dr. Weber, Dipl.-Phys. Seiffert, Dr. Lieke, 65183 Wiesbaden

(72) Erfinder:
Johnson, Brian, Saltash, Cornwall PL12 4DR, GB;
Cheshmehdoost, Abdolreza, Ruislip, Middlesex HA4 6HG, GB

(54) Bezeichnung: **Apparat und Verfahren zur Drehmomentmessung**

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

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

Beschreibung

STAND DER TECHNIK

[0001] Diese Erfindung betrifft Drehmomentmeßfühler und insbesondere magnetostriktive Drehmomentmeßfühler.

[0002] Der magnetostriktive Effekt kann als die Veränderung von Maßen eines Materials beschrieben werden, wenn dieses einem magnetischen Feld ausgesetzt wird, oder seine umgekehrte Wirkung, d.h. die Änderung der Magnetisierung eines Materials als Ergebnis einer Beanspruchung von außen. Dieser inverse magnetostriktive Effekt wird bisweilen als der magnetoelastische Effekt bezeichnet, aber der Begriff Magnetostriktiv wird ausschließlich in dem vorliegenden Dokument benutzt. Im allgemeinen gehört der magnetostriktive Effekt zu ferromagnetischen Materialien.

[0003] US 5,351,555 beschreibt einen kontaktfreien Drehmomentmeßfühler der magnetostriktiven Art, der bei drehenden Wellen benutzt werden kann. Wie in Fig. 16 der anliegenden Zeichnungen veranschaulicht ist, weist der Drehmomentmeßfühler einen Kragen **120** auf, der eng auf eine Welle **116** aufgepaßt ist. Der Kragen **120** ist umfangsmäßig um die Welle herum magnetisiert, wie in der Figur durch Pfeile veranschaulicht ist. Wenn die Welle **116** gedreht wird, wird das Drehmoment auf den Kragen **120** übertragen und induziert in diesem ein spiralförmiges magnetisches Feld. Eine Komponente des spiralförmigen Feldes wird von einem extern angeordneten Magnetflußdetektor **118** abgefühlt, von welchem die Größe des Drehmomentes abgeleitet werden kann.

[0004] Ein ähnlicher Meßfühler ist in der US 5,465,627 beschrieben, der auch einen extern befestigten Auffrischmagneten aufweist, der nicht stark genug ist, um den Kragen zu polarisieren, der statt dessen aber wirkt, um eine etwaige Instabilität zu korrigieren, die sich bei der Magnetisierung entwickelt.

[0005] Obwohl diese Aufbauten gut funktionieren, wurden sie aus verschiedenen Gründen kritisiert. Ein Problem besteht darin, daß es unter hohen Drehmomentbedingungen möglich ist, daß ein Schlupf des Kragens auf der Welle auftreten kann. Ein anderer Sachverhalt sind die Herstellungskosten, die zu der Herstellung und dem Aufpassen des Kragens auf die Welle gehören und die man für sehr hoch ansah.

[0006] WO 99/21150, WO 99/21151 und WO 99/56099 beschreiben verschiedene Aufbauten eines Drehmomentmeßfühlers, welche die Nachteile der Konzeptionen auf Kragenbasis ansprechen. Bei diesen mehr kürzlichen Konzeptionen wird ein Abschnitt der Welle selbst magnetisiert, wodurch die Möglichkeit gegeben wird, ohne separaten magnetisierten Kragen auszukommen. Fig. 17 der anliegenden Zeichnungen veranschaulicht ein Beispiel dieser kragenfreien Aufbauten. Integrale Abschnitte **122** einer Welle **116** werden in der Umfangsrichtung magnetisch polarisiert, d.h. um die Welle herum, wie bei den Konzeptionen auf Kragenbasis. Mehrfach polarisierte Bereiche sind bevorzugt, wobei benachbarte Gebiete entgegengesetzt magnetisch polarisiert werden, wie in der Figur veranschaulicht ist, bei welcher zwei solcher Gebiete gezeigt sind. Das Verdrehen der Welle verursacht eine Veränderung des magnetischen Feldes außerhalb der Welle, was durch einen geeigneten magnetischen Kraftflußdetektor **118** gemessen wird ähnlich den Aufbauten auf Basis mit einem Kragen.

[0007] Ein allen diesen Aufbauten gemeinsames Problem ist ihre Abhängigkeit von der permanenten Polarisierung des Kragens oder der Welle. Die magnetische Polarisierung wird während der Herstellung induziert, aber Herstellungsveränderungen rufen Veränderungen in der Polarisationsstärke hervor, was seinerseits Veränderungen der Sensitivität bzw. Empfindlichkeit zwischen unterschiedlichen Sensoren hervorruft. Obwohl in der WO 99/56099 Maßnahmen vorgeschlagen werden, um diese Veränderung zu steuern, sind die Maßnahmen doch recht komplex. Ernster ist es, daß alle vorgenannten Aufbauten von der langfristigen Stabilität des magnetisch polarisierten Teils des Meßfühlers abhängen und voraussetzen. Wenn die magnetische Polarisation abklingt, dann führt ein auf die Welle aufgebrachtes gegebenes äußeres Drehmoment zu einer geringeren Leistungsabgabe aus dem Magnetflußdetektor. Eine periodische Rekalibrierung des Sensors ist deshalb erforderlich, wenn eine absolute Empfindlichkeit benötigt wird. Wenn das Abklingen ernsthafter ist, dann wird die Remagnetisierung des magnetisierten Teils des Drehmomentmeßfühlers oder wahrscheinlicher ein Austausch des ganzen Meßfühlers notwendig.

[0008] Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, einen Drehmomentmeßfühler zur Verfügung zu stellen, welcher die herkömmliche Abhängigkeit von der magnetischen Polarisationsstärke reduziert.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0009] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Drehmomentmeßfühler vorgesehen mit: einer Welle mit magnetostriktivem Material; einem ersten Paar von gegenüberliegenden Permanentmagnetpolen, die eine Achse bestimmen, welche tangential zu der Umfangsfläche der Welle ausgerichtet ist, um ein örtlich begrenztes magnetisches Feld in dem magnetostriktiven Material zwischen den gegenüberliegenden Magnetpolen zu induzieren; und mindestens einem Kraftflußdetektor für die Drehmomentmessung, der angeordnet ist, um eine Komponente des örtlich begrenzten magneti-

schen Feldes zu erfassen, welches aus dem magnetostriktiven Material austritt, wenn die Welle gedreht wird.

[0010] Auf diese Weise braucht man nicht einen permanent magnetisch polarisierten Teil der gedrehten Komponente, d.h. der Welle oder ihres Kragens, was für alle oben erwähnten bekannten Aufbauten wesentlich ist. Das magnetische Feld in der gedrehten Komponente wird statt dessen mit einem äußeren magnetischen Feld induziert. Infolgedessen wird die magnetische Feldstärke leicht quantifiziert, z.B. durch zusätzliche Kraftflußdetektoren, die dicht an den äußeren Magnetpolen angeordnet sind. Eine andere Konsequenz des vorgeschlagenen Aufbaus besteht darin, daß das herkömmliche Herstellen mit permanentem Magnetisieren des Kragens oder der Welle vollständig ausgeschaltet wird, wodurch die Herstellung des Drehmomentmeßfühlers erheblich vereinfacht wird.

[0011] Die magnetostriktive Welle kann aus einem weiten Bereich ferromagnetischer Materialien hergestellt werden, einschließlich vieler Arten von nichtrostendem Stahl, Werkzeugstahl und Ni-Fe-Legierungen. Dies gibt den Vorteil, daß der magnetostriktive Drehmomentmeßfühler zu einem Bauteil einschließlich einer Welle nachgerüstet werden kann, die gedreht wird, denn die Welle muß nicht magnetisiert werden oder besondere Beschichtungen oder an ihr angebrachte Kragen haben.

[0012] Bei einer Ausführungsform weist der magnetostriktive Drehmomentmeßfühler eine magnetostriktive Welle auf, die einen Hauptkörper aus nichtferromagnetischem Material hat, der von einer Schicht aus magnetostriktivem Material umgeben ist. Ein Meßfühler dieser Art ist besonders vorteilhaft, weil er eine Gestaltungsfreiheit in der Auswahl der Welle erlaubt. Z.B. kann die Welle aus nichtferromagnetischem Metall oder Verbundmaterialien hergestellt sein.

[0013] Weitere Kraftflußdetektoren, die neben den Magneten angeordnet sind, können vorgesehen werden, um eine von der Stärke der Magneten unabhängige Meßgröße zu geben. Die Ausgangsleistung der weiteren Kraftflußdetektoren kann mit der Ausgangsleistung aus den Kraftflußdetektoren kombiniert werden, die angeordnet sind, um das Drehmoment zu messen, so daß Veränderungen der Stärke der Magneten kompensiert werden können. Diese Anordnung ist gegenüber dem Stand der Technik vorteilhaft, bei welchem das permanente magnetische Umfangsfeld entweder in der Welle oder ihrem Kragen während der Messung nicht quantifiziert werden kann. Die bekannten Meßfühler erfordern ein bekanntes Drehmoment, welches auf sie aufgebracht werden muß, um die Kalibrierung zu prüfen, was unpraktisch oder in gewissen Situationen schwierig zu erreichen ist, z.B. für eine Lenkradsäule in einem Kraftfahrzeug.

[0014] Die Erfindung kann einen breiten Anwendungsbereich vermitteln. Z.B. kann ein Drehmomentmeßfühler gemäß der Erfindung in einer Kraftfahrzeuglenksäule oder einem Kraftfahrzeuggetriebe eingebaut werden. Im Falle eines Getriebes kann der Drehmomentmeßfühler angeordnet sein, um das Verdrehen der Getriebehauptwelle zu messen, und kann z.B. innerhalb des Hauptgetriebegehäuses angeordnet sein. Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren für das Messen eines Drehmomentes vorgesehen mit:

(a) Vorsehen einer Welle mit magnetostriktivem Material;

(b) Aufbringen eines äußeren magnetischen Feldes auf die Welle unter Verwendung eines Paares von entgegengesetzten Permanentmagnetpolen, welche eine Achse bestimmen, die tangential zu einer Umfangsfläche der Welle ausgerichtet ist, um ein örtlich begrenztes magnetisches Feld in dem magnetostriktiven Material zwischen den entgegengesetzten Magnetpolen zu induzieren;

(c) Verdrehen der Welle, so daß eine Komponente des inneren magnetischen Feldes aus dem magnetostriktiven Material austritt; und

(d) Messen der ausgetretenen Komponente des inneren magnetischen Feldes und Vorsehen eines auf diese ansprechenden Drehmomentsignals.

[0015] Bei einer Ausführungsform weist der mindestens eine Kraftflußdetektor für die Drehmomentmessung vorzugsweise ein Paar von Kraftflußdetektoren für die Drehmomentmessung auf, die auf gegenüberliegenden Seiten der Welle am Umfang versetzt von dem Paar gegenüberliegender Magnetpole angeordnet sind.

[0016] Bei einer weiteren Ausführungsform weist der Drehmomentmeßfühler auf: eine Welle mit magnetostriktivem Material; ein erstes Paar von gegenüberliegenden Permanentmagnetpolen, welche eine erste Achse bestimmen, die tangential zu einer Umfangsfläche der Welle ausgerichtet ist, um ein erstes örtlich begrenztes magnetisches Feld in dem magnetostriktiven Material in einer ersten Umfangsrichtung zu induzieren; ein zweites Paar von gegenüberliegenden Permanentmagnetpolen, die axial versetzt längs der Welle von dem ersten Paar von gegenüberliegenden Permanentmagnetpolen angeordnet sind und eine zweite Achse bestimmen, die tangential zu der Umfangsfläche der Welle ausgerichtet ist, um ein zweites, örtlich begrenztes magnetisches Feld in dem magnetostriktiven Material in einer zweiten Umfangsrichtung entgegengesetzt zu der ersten Umfangsrichtung zu induzieren; und erste und zweite Kraftflußdetektoren für die Drehmomentmessung, die angeordnet sind, um erste und zweite Komponen-

ten der ersten und zweiten örtlich begrenzten magnetischen Felder zu erfassen, die aus dem magnetostriktiven Material austreten, wenn die Welle gedreht wird.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0017] Für ein besseres Verständnis der Erfindung und um darzustellen, wie dieselbe ausgeführt werden kann, wird nun beispielshalber auf die anliegenden Zeichnungen Bezug genommen. Bei diesen ist:

[0018] Fig. 1 eine schematische Ansicht eines magnetostriktiven Drehmomentmeßfühlers;

[0019] Fig. 2 eine Querschnittsansicht unter Darstellung des magnetostriktiven Drehmomentmeßfühlers der Fig. 1;

[0020] Fig. 3 eine Querschnittsansicht eines weiteren magnetostriktiven Drehmomentmeßfühlers;

[0021] Fig. 4 die Zusammenschaltungen zwischen den zwei Kraftflußdetektoren der Fig. 3;

[0022] Fig. 5 eine schematische Ansicht eines weiteren magnetostriktiven Drehmomentmeßfühlers;

[0023] Fig. 6 eine schematische Ansicht eines weiteren anderen magnetostriktiven Drehmomentmeßfühlers;

[0024] Fig. 7 eine schematische Querschnittsansicht eines magnetostriktiven Drehmomentmeßfühlers;

[0025] Fig. 8 die Zusammenschaltung zwischen vier Kraftflußdetektoren der Fig. 7;

[0026] Fig. 9 eine schematische Querschnittsansicht eines weiteren magnetostriktiven Drehmomentmeßfühlers;

[0027] Fig. 10 ein schematisches Diagramm eines Rückkopplungssystems, welches für die Steuerung des Magnetfeldes in Fig. 9 verwendet wird;

[0028] Fig. 11 eine Querschnittsansicht eines magnetostriktiven Drehmomentmeßfühlers nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0029] Fig. 12 die Zusammenschaltung zwischen den Kraftflußdetektoren für die Ausführungsform der Fig. 11;

[0030] Fig. 13 eine schematische perspektivische Ansicht des magnetostriktiven Drehmomentmeßfühlers der Ausführungsform der Fig. 11;

[0031] Fig. 14 eine schematische perspektivische Ansicht des magnetostriktiven Drehmomentmeßfühlers gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0032] Fig. 15 ein Schnitt eines Kraftfahrzeuggetriebes mit einem Drehmomentmeßfühler nach einer Ausführungsform der Erfindung;

[0033] Fig. 16 eine schematische Ansicht eines bekannten magnetostriktiven Drehmomentmeßfühlers nach der US 5,351,555; und

[0034] Fig. 17 eine schematische Ansicht eines bekannten magnetostriktiven Drehmomentmeßfühlers gemäß der WO 99/21150.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0035] Fig. 1 ist eine schematische Zeichnung eines Beispieles eines magnetostriktiven Meßfühlers **8**, der außerhalb des Umfanges der anliegenden Ansprüche liegt. Der magnetostriktive Meßfühler **8** weist eine Welle **16** auf, die einem Drehmoment **38** unterworfen werden kann, welches zu messen ist und in der Figur durch einen Pfeil veranschaulicht ist. Die Welle **16** ist aus einem magnetostriktiven Material hergestellt, ist selbst aber nicht permanent magnetisiert (im Gegensatz zu den bekannten Konzepten, auf die in der Beschreibung eingegangen wurde). Anstelle der permanenten Magnetisierung der Welle ist die Welle **16** in situ durch ein äußeres magnetisches Feld magnetisiert, welches durch ein Paar von Permanentmagneten **10** und **12** erzeugt ist.

[0036] Die Welle **16** ist aus dem magnetostriktiven Material "Terfenol-D" hergestellt, das einen sehr hohen magnetostriktiven Koeffizienten $\lambda = \Delta L/L$ in der Größenordnung von 2000×10^{-6} hat. Im allgemeinen sind Materialien mit magnetostriktiven Koeffizienten von mindestens 20×10^{-6} für die Welle bevorzugt, obwohl eine Welle, die aus einem Material mit einem geringeren magnetostriktiven Koeffizienten hergestellt ist, noch arbeitet.

[0037] Einige Beispiele anderer geeigneter Materialien für die Welle sind:

1. martensitaushärtende Ni-Fe-Legierungen;
2. 17-4 PH, 17-7 PH und 15-5 PH nichtrostende Stähle;
3. Werkzeugstahl;
4. Ni-Fe mit einem Ni-Gehalt zwischen 14–28%;
5. Ni-Fe mit einem Ni-Gehalt zwischen 42–65%;
6. Ni-Fe-Legierung (AMS 5663E);
7. Legierung Supermet 625;
8. Permenorm 5000 H2;
9. Dimag 1, 2 und Dimag X;
10. Fe/B/Si-Legierungen.

[0038] Die Permanentmagneten **10** und **12** sind so angeordnet, daß ein Paar von entgegengesetzten

Magnetpolen **11** und **13** (d.h. Nord und Süd) am Umfang um die Welle herum angeordnet ist und der Welle so zugewandt ist, daß ein örtlich begrenztes magnetisches Feld in dem magnetostriktiven Material der Welle zwischen den entgegengesetzten Magnetpolen **11** und **13** induziert wird. In der Figur sind die Permanentmagneten **10** und **12** einander diametral gegenüberliegend um die magnetostriktive Welle **16** herum angeordnet, wobei eine ihrer Endflächen **11** und **13** tangential zu der Oberfläche der magnetostriktiven Welle **16** liegt.

[0039] Bei einer (nicht gezeigten) alternativen Konstruktion könnte ein einziger Permanentmagnet anstelle eines Paares von Magneten verwendet werden, wobei die einzelnen Pole des einzigen Permanentmagneten in denselben Positionen wie die Pole **11** und **13** der zwei Magneten der ersten Ausführungsform angeordnet wären. Z.B. könnte eine Hufeisenform des Magneten eine solche Konstruktion ermöglichen.

[0040] Ein magnetischer Kraftflußdetektor **18** ist am Umfang zwischen den Permanentmagneten **10** und **12** angeordnet, um eine Komponente des örtlich begrenzten magnetischen Feldes zu erfassen, das aus dem magnetostriktiven Material austritt, wenn die Welle dem Drehmoment **38** unterworfen ist. Der bevorzugte Kraftflußdetektor **18** ist ein gesättigter Spulendetektor. Es könnte jedoch auch eine Vielzahl anderer Kraftflußdetektoren benutzt werden, z.B. ein Hall-Detektor, Magnetoresistenz-, Magnetotransistor- oder MAGFET-(magnetischer Feldeffekttransistor)-Meßfühler.

[0041] Fig. 2 ist eine Querschnittsansicht durch den magnetostriktiven Sensor **8** der Fig. 1. Die magnetischen Flußbahnen in der Welle **16** sind mit Linien **22** angedeutet. Die Kraftflußbahnen führen von dem Nordpol **11** des Magneten **10** über einen Luftspalt zu der Oberfläche der Welle **16** und erstrecken sich dann in der Welle **16** im allgemeinen in der Nord-Süd-Richtung, bevor sie einen weiteren Luftspalt zwischen der Oberfläche der Welle **16** und dem Südpol **13** des Magneten **12** kreuzen. Das magnetische Feld innerhalb der Welle **16** bewirkt eine Ausrichtung der magnetostriktiven Gebiete in der örtlichen Richtung des magnetischen Feldes.

[0042] Die Permanentmagnete **10** und **12** sind durch ein Magnetschleifenteil **20** verbunden, welches im Schnitt eine Halbkreisform hat. Das Schleifenteil **20** ist mit den distalen Enden der Permanentmagnete **10** und **12** verbunden, so daß es einen hohen Grad von Fluß für das magnetische Feld **22** gibt, wodurch das magnetische Feld, welches in die magnetostriktive Welle **16** eindringt, verstärkt wird und Streufelder verringert werden.

[0043] Bei dem vorliegenden Beispiel sind die Permanentmagnete **10** und **12** aus gesinterter NiFe-Br-Legierung hergestellt und erzeugen eine Magnetflußdichte von etwa 350 mT. Es könnten jedoch auch Magnete mit niedriger (oder höherer) Stärke verwendet werden. Ein geeigneter Wert der Magnetflußdichte, die von dem Permanentmagneten erzeugt wird, hängt von dem Aufbau und den Maßen der magnetostriktiven Welle und dem Bereich der Drehmomente **38** ab, die auf die magnetostriktive Welle aufgebracht werden.

[0044] Bei der Benutzung erzeugt eine magnetostriktive Welle **16** ein magnetisches Feld in Abhängigkeit von einem Drehmoment **38**, welches auf die magnetostriktive Welle **16** aufgebracht ist, welches die Wiederausrichtung der magnetostriktiven Gebiete in der Welle erzwingt. Das durch das Drehmoment **38** erzeugte magnetische Feld stört das magnetische Feld, welches von den permanenten Magneten **10** und **12** erstellt ist. Der Kraftflußdetektor **18** erfaßt diese Störung. Das Ausgangssignal aus dem Kraftflußdetektor **18** ist allgemein ein Anzeichen für die Größe des Drehmoments **38**. In dem Ausmaß, wie die Reaktion nicht perfekt linear ist, kann dies durch Kalibrieren in Kombination mit dem richtigen Verarbeiten des Ausgangssignals kompensiert werden. Die Welle **16** kann z.B. eine Lenksäule eines Kraftfahrzeuges oder anderen Fahrzeuges sein, und die Ausgangswerte aus dem Kraftflußdetektor **18** können für die Rückkopplung in ein von elektronischer, Energie gestütztes Lenksteuersystem verwendet werden.

[0045] Fig. 3 zeigt einen Drehmomentmeßfühler gemäß einer zweiten Ausführungsform außerhalb des Geltungsbereiches der anliegenden Ansprüche. Wie bei dem ersten Beispiel ist die Welle **16** aus magnetostriktivem Material hergestellt und ist in situ durch ein äußeres magnetisches Feld magnetisiert, welches durch ein Paar von Permanentmagneten **10** und **12** erzeugt ist und in die Welle **16** eindringt. Die Permanentmagneten **10** und **12** sind so angeordnet, daß ein Paar von entgegengesetzten Magnetpolen **11** und **13** (d.h. Nord und Süd) unter Zuwendung zur Welle am Umfang um diese herum angeordnet sind. Die gegenüberliegenden Magnetpole induzieren ein örtlich begrenztes Magnetfeld in dem magnetostriktiven Material der Welle, welches zwischen den entgegengesetzten Magnetpolen **11** und **13** durchgeht. Ein Paar von Magnettlußdetektoren **18** ist radial außerhalb der Welle am Umfang zwischen den Permanentmagneten **10** und **12** angeordnet, um eine Komponente des örtlich begrenzten Magnetfeldes zu erfassen, das aus dem magnetostriktiven Material austritt, wenn die Welle einem Drehmoment **38** unterworfen wird. Es sei bemerkt, daß bei einer Konstruktion mit einer hohlen Welle es auch möglich wäre, die Kraftflußdetektoren (den Detektor) **18** innerhalb des hohlen Teils der Welle anzuordnen. Ein Ring **30** aus magnetischem Material ist auch vorgesehen, um die distalen Enden der Magneten **10** und **12** zu verbinden

und beide Magnete **10** und **12** und die Kraftflußdetektoren **18** zu halten.

[0046] Der Drehmomentsensor **8** des zweiten Beispiels unterscheidet sich prinzipiell von dem des ersten Beispiels dadurch, daß die Welle **16** hohl statt massiv ist. Der innere Raum in der hohlen Welle dient dazu, Magnetfluß auszuschließen, wodurch das induzierte Magnetfeld radial auswärts der Drehmomentachse konzentriert wird, wo die durch das Drehmoment **38** induzierte Spannung höher und dichter an den Kraftflußdetektoren **18** ist. Eine Hohlwelle wird durch Torsion auch gleichmäßiger beansprucht als eine massive Welle.

[0047] Fig. 4 zeigt die elektrischen Zusammenschaltungen der zwei Kraftflußdetektoren **18** des zweiten Beispiels. Gemäß Darstellung sind die Kraftflußdetektoren **18** in Reihe geschaltet. Außerdem sind die Verbindungen derart, daß der durch den Magnetfluß induzierte Strom sich in den zwei Kraftflußdetektoren summiert. Dies erreicht man, wenn Anschlüsse gleicher Polarität umfangsmäßig nebeneinander angeordnet werden, wie um die äußere Oberfläche der Welle **16** herum gezeigt. Dieses Verbindungsschema ist geometrisch entgegengesetzt dem beim Stand der Technik, bei welchem Anschlüsse entgegengesetzter Polarität in umfangsmäßig benachbarten Detektoren zusammen verbunden würden. Der Grund liegt darin, daß beim Stand der Technik der Magnetfluß in einer Richtung um den Umfang der Welle, z.B. in Uhrzeigerrichtung als Ergebnis des gleichlaufenden bzw. unidirektionalen permanentmagnetischen Pols fließt. Im Gegensatz dazu gibt es im vorliegenden Falle zwei Umfangsfeldkomponenten, die eine fließt im Uhrzeigersinn und die andere im Gegenuhrzeigersinn um die Welle, als Folge des durch die Magnetpole extern induzierten Magnetfeldes.

[0048] Fig. 5 zeigt einen Drehmomentmeßfühler gemäß einem dritten Beispiel außerhalb des Geltungsbereiches der anliegenden Ansprüche. Die Anordnung ist allgemein ähnlich der des ersten Beispieles in Bezug auf die Permanentmagneten **10** und **12**, den Kraftflußdetektor **18** und die Welle **16**. Bei dem dritten Beispiel unterscheidet sich jedoch der Aufbau der Welle **16**. Anstelle einer einfachen Welle aus magnetostriktivem Material ist der Hauptkörper **40** der Welle **16** aus einem Material hergestellt, welches nicht magnetostriktiv ist. Der Hauptkörper **40** ist massiv dargestellt, er kann aber auch hohl sein oder irgendeine andere innere Konstruktion haben. Auf der äußeren Oberfläche des Hauptkörpers **40** der Welle ist neben den Permanentmagneten **10** und **12** eine Schicht aus magnetostriktivem Material **36** angeordnet. Durch diese Konstruktion wird eine ähnliche Konzentration des induzierten Magnetfeldes wie bei der oben beschriebenen Anordnung mit hohler Welle erzeugt. Das induzierte Magnetfeld ist nämlich in dem äußeren Teil der Welle konzentriert, wo das Drehmoment **38** am höchsten und zu den Kraftflußdetektoren proximal ist.

[0049] Bei einem Beispiel hat die magnetostriktive Schicht **36** eine Dicke von 1,5 mm und ist durch einen herkömmlichen thermischen Spritzprozeß abgelegt. Drahtflammspritzen ist geeignet. Dieses Verfahren beinhaltet das Sputtern eines reinen Metall- oder Legierungsdrahtes mit Sauerstoff und Brennstoff. Schichten von bis zu 5 mm Dicke können ohne Schwierigkeit unter Verwendung des thermischen Spritzens niedergeschlagen werden. Wenn dünnere Schichten bevorzugt sind, kann herkömmliches Elektroplattieren verwendet werden. Schichten von bis zu etwa 0,1 mm Dicke können herkömmlich durch Elektroplattieren zur Verfügung gestellt werden.

[0050] Fig. 6 zeigt einen Drehmomentmeßfühler gemäß einem vierten Beispiel außerhalb des Geltungsbereiches der anliegenden Ansprüche. Die Anordnung ist allgemein ähnlich der des ersten Beispieles bezüglich der Permanentmagnete **10** und **12**, des Kraftflußdetektors **18** und der Welle **16**. Bei dem vierten Beispiel wird jedoch eine weitere alternative Wellenausführung verwendet. Die Welle **16** weist einen Hauptkörper **32** aus magnetostriktivem Material auf, wie z.B. martensitaushärtende Ni-Fe-Legierung. Auf der äußeren Oberfläche des Hauptkörpers **32** in dem aktiven Wellenbereich ist eine Schicht **34** aus Material niedriger Permeabilität angeordnet. In dem vorliegenden Beispiel ist die Schicht niedriger Permeabilität aus Aluminium mit einer typischen Dicke von 0,5 bis 1 mm hergestellt. Die Schicht **34** niedriger Permeabilität kann thermisch gespritzt oder elektroplattiert sein. Auf der Schicht **34** mit niedriger Permeabilität ist eine Schicht **36** aus magnetostriktivem Material angeordnet. Bei dem vorliegenden Beispiel ist die magnetostriktive Schicht **36** aus Ni-Fe-Legierung hergestellt, in typischer Weise mit einer Dicke zwischen 0,5 und 5 mm. Die magnetostriktive Schicht **36** kann durch thermisches Spritzen oder Elektroplattieren abgelegt sein. Der Zweck der Schicht **34** mit niedriger Permeabilität ist es, dem Eindringen des äußerlich induzierten Magnetfeldes in den magnetostriktiven Hauptkörper **32** der Welle hinein zu widerstehen. Mit anderen Worten isoliert die Schicht **34** die aktive äußere magnetostriktive Schicht **36** von dem Hauptkörper der Welle, der sonst wegen seiner magnetostriktiven Eigenschaften das induzierte Magnetfeldmuster stark beeinflussen würde. Es ist deshalb möglich, für den Hauptkörper der Welle ein Material auszuwählen, welches magnetostriktiv ist, ohne das Leistungsverhalten des Meßfühlers merklich zu ändern. Man versteht, daß der Hauptkörper der Welle nicht massiv sein muß, sondern hohl sein oder irgendeinen anderen inneren Aufbau haben kann.

[0051] Fig. 7 zeigt im Querschnitt einen Drehmomentmeßfühler nach einem fünften Beispiel außer-

halb des Geltungsbereiches der anliegenden Ansprüche. Der Drehmomentmeßfühler **8** weist vier Permanentmagnete **10**, **12**, **10'** und **12'** auf, die radial in einem Ring angeordnet und durch diesen am Platz gehalten sind, wobei der Ring aus magnetischem Material hergestellt ist, um dem durch die Permanentmagnete erzeugten Magnetfeld **22** einen Schluß zu geben. Die Magnete sind so angeordnet, daß umfangsmäßig benachbarte Magnete entgegengesetzte Pole **11**, **13**, **11'**, **13'** haben, welche der Welle **16** in einer Folge zugeneigt sind. Außerdem sind die Magnete in gleichen Winkelabständen von 90° angeordnet, obwohl dieser Winkelabstand nicht kritisch ist und variiert werden könnte. Bei dieser Anordnung tritt der Magnetfluß vorherrschend in seinen radial äußeren Bereichen in die Welle **16** ein, so daß ähnliche Vorteile wie bei den oben beschriebenen Beispielen erreicht werden, bei denen der Fluß von dem mittleren Bereich entweder durch Verwendung einer Hohlwelle oder dadurch ausgeschlossen ist, daß eine den Fluß ausschließende, nichtmagnetische Schicht vorgesehen ist. Das vorliegende Beispiel hat den zusätzlichen Vorteil, daß die gewünschte Konzentration des magnetischen Flusses in den radial äußeren Teilen der Welle mit einer einfachen massiven Welle erreichbar ist.

[0052] Der Drehmomentmeßfühler ist mit vier Kraftflußdetektoren **18** versehen, die umfangsmäßig zwischen den Permanentmagneten **10**, **12**, **10'** und **12'** zum Messen der Magnetflußkomponente angeordnet sind, welche dem Drehmoment in der Welle **16** zuschreibbar ist. Die Kraftflußdetektoren **18** werden herkömmlich von dem Ring **30** am Platz gehalten. Durch Erhöhung der Anzahl an Kraftflußdetektoren **18** können Signalveränderungen, welche durch Abstandsänderungen zwischen der äußeren Oberfläche der Welle und den Kraftflußdetektoren verursacht sind, z.B. wegen der Exzentrizität der Welle und ihrer Befestigung, für kleinere Drehungen der Welle kompensiert werden. Dies ist vorteilhaft für Anwendungen, bei welchen die Welle nicht schnell gedreht wird, sondern nur verdreht wird als Folge kleiner Winkeldrehungen, die kleiner sind als eine oder mehrere volle Drehungen. Ein Beispiel einer solchen Anwendung ist die Lenksäule eines Kraftfahrzeuges, bei welcher die Drehung von Anschlag zu Anschlag nur etwa eine volle Drehung sein kann. Ein weiteres Merkmal des fünften Beispiels ist das Vorsehen eines zusätzlichen Kraftflußdetektors **19**, der neben einem der Permanentmagneten **12'** in dem Luftspalt zwischen dem Magnetpol **13'**, welcher der Welle zugewandt ist, und der Welle angeordnet ist. Um eine Verwechselung mit den Kraftflußdetektoren **18** zu vermeiden, wird der Kraftflußdetektor **19** im folgenden als der Magnetüberwachungs-Flußdetektor bezeichnet und die Kraftflußdetektoren **18** als Drehmomentabfühl-Flußdetektoren. Der Magnetüberwachungs-Flußdetektor **19** dient dazu, eine von der Erregerenergie, welche der Welle **16** von dem Permanentmagneten **12'** zugeführt wird, unabhängige Messung vorzusehen. Eine Störung der Stärke des von den Permanentmagneten zugeführten Magnetfeldes **22**, welches beispielsweise durch Temperaturschwankungen oder Alterung der Permanentmagneten verursacht wird, kann somit aus dem Ausgangssignal der Drehmomentabfühl-Flußdetektoren **18** ausgeklammert werden. Es versteht sich, daß der Magnetüberwachungs-Flußdetektor **19** neben jedem der Permanentmagnete angeordnet werden könnte. Ferner versteht sich, daß eine Mehrzahl von Magnetüberwachungs-Flußdetektoren vorgesehen sein kann, z.B. einer für jeden aktiven Magnetpol.

[0053] Fig. 8 zeigt die elektrischen Zusammenschaltungen der vier Flußdetektoren **18** des fünften Beispiels. Gemäß Darstellung sind die Flußdetektoren **18** in Serie geschaltet. Weiterhin sind die Verbindungen derart, daß der von dem magnetischen Fluß in den vier Flußdetektoren induzierte Strom sich summiert. Dies erreicht man, wenn Anschlüsse gleicher Polarität am Umfang nebeneinander angeordnet werden, wie um die äußere Oberfläche der Welle **16** zu sehen ist. Dieses Verbindungsschema ist geometrisch der Gegensatz zu dem was beim Stand der Technik vorgenommen wurde, wie weiter oben unter Bezugnahme auf das zweite Beispiel beschrieben wurde.

[0054] Fig. 9 zeigt im Querschnitt einen Drehmomentmeßfühler gemäß einem sechsten Beispiel außerhalb des Geltungsbereiches der anliegenden Ansprüche. Dieses Beispiel ist analog dem ersten Beispiel, benutzt aber Elektromagnete **60** und **62** anstelle der Permanentmagnete für das Induzieren des magnetischen Feldes in der Welle **16**. Ein Feldüberwachungs-Flußdetektor **19** ist zusätzlich zu einem Drehmomentabfühl-Flußdetektor **18** vorgesehen. Der Feldüberwachungs-Flußdetektor **19** kann verwendet werden, um das von den Elektromagneten erzeugte magnetische Feld zu steuern, wie in Fig. 10 veranschaulicht ist, sowie oder statt dessen für passiven Ausgleich der von dem Drehmomentabfühl-Flußdetektor **18** erzeugten Signale.

[0055] Fig. 10 ist eine schematische Blockdarstellung des Drehmomentmeßfühlers des sechsten Beispieles mit zugehörigem Elektromagnet-Steuersystem. Eine Veränderung der Stärke des magnetischen Feldes **22**, welches von dem Elektromagnet **60** erzeugt wird, wird von dem Magnetüberwachungs-Flußdetektor **19** erfaßt. Die Magnetüberwachungs-Flußdetektoren **19** führen ein Ausgangssignal einer Steuerschaltung **42** zu, wobei das Steuersignal eine Anzeige der Größe des augenblicklichen Feldes des Elektromagneten **60** ist. Die Steuerschaltung **42** steuert dann die den Spulen der Elektromagneten **60** und **62** zugeführte Leistung über die Steuerung des Netzteils **44** der Elektromagnete. Dementsprechend kann die den Elektromagneten zugeführte

Energie in einer Rückkopplungsschleife stabilisiert werden.

[0056] Es versteht sich, daß bei jedem der vorstehenden Beispiele die Anzahl der Kraftflußdetektoren **18** variiert werden kann, wie unter Bezugnahme auf die anderen Beispiele beschrieben ist, um weitere Varianten zur Verfügung zu stellen.

[0057] Es versteht sich auch, daß bei jedem der obigen Beispiele einer oder mehrere Magnetüberwachungs-Flußdetektoren vorgesehen werden können, z.B. nur einer oder einer für jeden aktiven Magnetpol.

[0058] Fig. 11 ist eine Querschnittsansicht eines magnetostriktiven Drehmomentmeßfühlers nach einer Ausführungsform der Erfindung. Der magnetostriktive Meßfühler **8** weist eine Welle auf, die aus magnetostriktivem Material hergestellt ist, ist aber nicht selbst permanent magnetisiert. Die Welle **16** ist als massive Welle dargestellt, aber es könnte jede der Wellenaufbauten, die unter Bezugnahme auf die vorstehenden Beispiele diskutiert wurden, verwendet werden. Ein einzelner Permanentmagnet **110**, der bei einem Beispiel eine Länge von 20 mm hat, ist neben der Oberfläche der Welle **16** angeordnet, wobei sich seine Nord-Süd-Achse tangential relativ zum Umfang der Welle **16** und senkrecht zur Hauptdrehachse der Welle **16** erstreckt (es versteht sich, daß eine exakt tangentiale und senkrechte Ausrichtung nicht notwendig ist, daß aber die Ausrichtung etwa zu diesen Kriterien konform sein sollte. Z.B. kann der Tangentialwinkel um 10, 20 Grad oder mehr variieren, und die senkrechte Ausrichtung kann um 10, 20, 30, 40 Grad oder mehr variieren.) Diese Anordnung hat mit den früheren Beispielen gemeinsam, daß ein Paar von entgegengesetzten Magnetpolen am Umfang um die Welle **16** herum angeordnet ist, unterscheidet sich aber von den vorhergehenden Beispielen bezüglich der Ausrichtung des Magneten bezüglich der Welle. Der Permanentmagnet **110** wird an einem Flußring **30** durch einen Magnethalter **112** gehalten, der vorzugsweise aus nichtmagnetischem Material besteht, wie z.B. Aluminium. Der Flußring **30** kann aus Stahl oder anderem magnetischen Material hergestellt sein. Die Flußringanordnung ist ähnlich der des zweiten Beispiels.

[0059] Der Sensor **8** ist mit einem Paar von magnetischen Kraftflußdetektoren **18** versehen, die bei ±90° relativ zu dem Permanentmagnet **110** und im Abstand von 180° im Querschnitt, längs der Drehachse der Welle **16** gesehen, angeordnet sind. Mit anderen Worten sind die magnetischen Flußdetektoren **18** radial auf jeder Seite der Welle **16** einander entgegengesetzt angeordnet. Die magnetischen Flußdetektoren **18** sind vorzugsweise Detektoren mit Sättigungsspule, aber auch andere Detektoren könnten benutzt werden, wie in Bezug auf die früheren Beispiele diskutiert wurde.

[0060] Der Flußring **30** wirkt als magnetischer Schild für die Kraftflußdetektoren **18**. Folglich haben äußere Magneten oder magnetische Felder eine vernachlässigbare Wirkung auf die Leistung der Vorrichtung.

[0061] Fig. 12 zeigt, wie die Spulendetektoren in Reihe verbunden sind. Das Verbindungsschema ist vergleichbar mit dem des zweiten in Fig. 4 veranschaulichten Beispiels. Das Verbindungsschema unterscheidet sich von dem des zweiten Beispieles in Folge der Tatsache, daß das in der Oberfläche der Welle **16** induzierte magnetische Feld in einer Richtung um den größeren Teil der Wellenoberfläche fließt, wie in Fig. 11 veranschaulicht ist, wobei nur ein kleiner Teil der Wellenoberfläche direkt neben dem Permanentmagneten **110** liegt, wobei der magnetische Fluß in der entgegengesetzten Umfangsrichtung fließt.

[0062] Die Anordnung der Ausführungsform der Fig. 11, bei welcher das magnetische Feld durch entgegengesetzte magnetische Pole induziert wird, die längs einer Achse senkrecht zur Achse der Welle **16** und tangential zu der Wellenoberfläche ausgerichtet sind, hat verschiedene Vorteile. Es ergibt sich die Möglichkeit der Herstellung eines Drehmomentmeßfühlers mit einem einfachen einzigen Stabmagneten, wodurch die Kosten reduziert werden. Ein größerer Betrag an Umfangsmagnetisierung wird durch das Konzentrieren des induzierten magnetischen Feldes in dem äußeren Abschnitt der Welle **16** vorgesehen. Der Betrag des Differentialfeldes wird im Vergleich zu den Mehrfachmagnetanordnungen reduziert, die bei den früheren Beispielen beschrieben sind. Die Verwendung von mehrfachmagnetischen Flußdetektoren zum Messen des durch einen einzigen Magneten induzierten Flusses ermöglicht eine Reduzierung der Drehstörung des Signals und erhöht das Verhältnis von Sensitivität zu Störung. Die dargestellte Anordnung mit einem Paar von Spulen, die diametral einander gegenüber angeordnet sind, d.h. unter 180° zueinander, sorgt für eine maximale Reduktion der Störung. (Das Detektorpaar könnte selbstverständlich unter unterschiedlichen Winkeln in einem weiten Bereich zueinander angeordnet werden, obwohl je weiter ihre Winkelpositionen von 180° zueinander abweichen, um so weniger Störungsannullierung wird erwartet. Es wäre selbstverständlich auch möglich, nur einen einzigen magnetischen Flußdetektor zu verwenden, dann wären aber keine Störungsannullierungseffekte zu erreichen.)

[0063] Bei einem Beispiel der Ausführungsform der Fig. 11 wird die Ausgangsleistung aus der Kraftflußdetektorschaltung unter Null Drehmoment-Bedingungen auf 2,5 Volt gesetzt. Wenn ein Drehmoment auf die Welle **16** aufgebraucht wird, werden die leichten Kristallgebiete, die umfangsmäßig ausgerichtet sind, zum Drehen gezwungen. Seinerseits verursacht dies

eine Flußänderung in den Spulen. Das Ausgangssignal aus der Flußdetektorschaltung wird dann bei linear proportional zum aufgebrachten Drehmoment sich verändernder Spannung verändert.

[0064] Fig. 13 zeigt den magnetostriktiven Drehmomentmeßfühler der Ausführungsform der Fig. 11 in schematischer Perspektive. Der einzige Permanentmagnet **110** ist neben der magnetostriktiven Welle **16** angeordnet gezeigt, wie vorstehend beschrieben, wobei einer der magnetischen Flußdetektoren **18** offensichtlich bei seiner Anordnung um 90° von dem Permanentmagneten **110** versetzt ist, wie längs der Wellenachse gesehen. Die Umfangsfeldlinien **22**, die von dem Permanentmagneten **110** induziert sind, sind auch veranschaulicht.

[0065] Es versteht sich, daß viele der in Bezug auf das erste bis sechste Beispiel diskutierten Veränderungen bei dem Aufbau der Ausführungsform der Fig. 11 vorgenommen werden können. Insbesondere können verschiedene unterschiedliche Arten von magnetischen Flußdetektoren verwendet werden, und zusätzliche Magnetüberwachungs-Flußdetektoren können eingeschlossen werden. Zusätzlich zu diesen Abweichungen versteht es sich, daß, obwohl die Verwendung eines einzigen Permanentmagneten bei der vorliegenden Ausführungsform bevorzugt ist, mehrere Permanentmagnete mit der befürworteten senkrechten Ausrichtung zwischen der Wellenachse und Nord-Süd-Achse des Permanentmagneten benutzt werden könnten.

[0066] Fig. 14 ist eine perspektivische Ansicht eines magnetostriktiven Drehmomentmeßfühlers gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung. Der magnetostriktive Meßfühler **8** weist eine Welle **16** auf, die aus einem magnetostriktiven Material hergestellt ist, selbst aber nicht permanent magnetisiert ist. Die Welle **16** ist als massive Welle dargestellt, aber jede der Wellenaufbauten, die in Bezug auf die vorstehenden Ausführungsformen diskutiert wurden, könnte verwendet werden. In einem ersten Längenabschnitt oder einer Zone längs der Welle, die in der Figur als Zone A bezeichnet ist, ist ein erster Permanentmagnet **110A**, der bei einem Beispiel eine Länge von 20 mm hat, neben der Oberfläche der Welle **16** angeordnet, wobei seine Nord-Süd-Achse sich tangential zu dem Umfang der Welle **16** und senkrecht zur Hauptdrehachse der Welle **16** erstreckt. Die Welle weist einen zweiten Längenabschnitt oder eine Zone auf, die in der Figur als Zone B gekennzeichnet ist, axial neben dem ersten Längenabschnitt A, in welchem ein zweiter Permanentmagnet **18B** angeordnet ist. Der zweite Permanentmagnet **18B** ist neben der Oberfläche der Welle **16** angeordnet, wobei sich seine Nord-Süd-Achse tangential zum Umfang der Welle **16** und senkrecht zu der Hauptdrehachse der Welle **16** erstreckt. Die Pole des zweiten Permanentmagneten **110B** sind jedoch entgegengesetzt zu denen des ersten Permanentmagneten **110A** angeordnet, so daß die zwei Permanentmagnete in den Zonen A und B entsprechende Umfangsfelder entgegengesetzter Richtung induzieren, d.h. im Uhrzeigersinn und im Gegenuhrzeigersinn. Die Zonen A und B sind mit entsprechenden Paaren von magnetischen Flußdetektoren **18A** und **18B** versehen, die bei ±90° relativ zu den Permanentmagneten **110A** und **110B** angeordnet sind und 180° entfernt im Querschnitt längs der Drehachse der Welle **16** gesehen angeordnet sind. Nur jeweils einer der Kraftflußdetektoren jedes Paares ist in der Figur sichtbar, aber man weiß die Anordnung unter Bezugnahme auf die Ausführungsform der Fig. 11 zu schätzen. Jede Zone hat somit ihren eigenen Magneten und Flußdetektoren, die an einem (nicht gezeigten) Flußring befestigt sind, wie in Verbindung mit der Ausführungsform der Fig. 11 beschrieben ist. Gegebenenfalls können weitere Zonen hinzugefügt werden.

[0067] Die Anordnung mit Mehrfachzonen der Ausführungsform der Fig. 14 ist vorteilhaft insofern, als sie dazu neigt, irgendwelche störenden Magnetfelder aufzuheben, die sonst an den Enden der Welle **16** vorhanden sein können.

[0068] Fig. 15 ist ein Schnitt eines Kraftfahrzeuggetriebes, in welchem ein Drehmomentmeßfühler **8** gemäß der Erfindung angeordnet ist. Der Drehmomentmeßfühler **8** ist um die Hauptwelle **80** herum angeordnet. Die Kupplung **82** ist auch ersichtlich.

Patentansprüche

1. Drehmomentmeßfühler (**8**) mit:
einer Welle (**16**) mit magnetostriktivem Material;
einem ersten Paar von gegenüberliegenden Permanentmagnetpolen (**110**), welche eine Achse bestimmen, die tangential zu einer Umfangsfläche der Welle ausgerichtet ist, um ein örtlich begrenztes magnetisches Feld (**22**) in dem magnetostriktiven Material zwischen den gegenüberliegenden Magnetpolen zu induzieren; und
mindestens einem Kraftflußdetektor (**18**) für die Drehmomentmessung, der angeordnet ist, um eine Komponente des örtlich begrenzten magnetischen Feldes zu erfassen, welches aus dem magnetostriktiven Material austritt, wenn die Welle gedreht wird.

2. Drehmomentmeßfühler nach Anspruch 1, wobei das ersterwähnte Paar von gegenüberliegenden Permanentmagnetpolen (**110A**) eine erste Achse bestimmt, die tangential zu einer Umfangsfläche der Welle ausgerichtet ist, um ein erstes örtlich begrenztes magnetisches Feld (**22A**) in dem magnetostriktiven Material in einer ersten Umfangsrichtung zu induzieren;
und ferner mit:
einem zweiten Paar von gegenüberliegenden Permanentmagnetpolen (**110B**), die längs der Welle von

dem ersterwähnten Paar von gegenüberliegenden Permanentmagnetpolen axial versetzt angeordnet sind und eine zweite Achse bestimmen, die tangential zu der Umfangsfläche der Welle ausgerichtet ist, um ein zweites örtlich begrenztes magnetisches Feld (**22B**) in dem magnetostriktiven Material in einer zweiten Umfangsrichtung entgegen der ersten Umfangsrichtung zu induzieren; und
einem Kraftflußdetektor (**18B**) für die Drehmomentmessung, der angeordnet ist, um eine Komponente des zweiten örtlich begrenzten magnetischen Feldes zu erfassen, welches aus dem magnetostriktiven Material austritt, wenn die Welle gedreht wird.

3. Drehmomentmeßfühler nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei der mindestens eine Kraftflußdetektor für die Drehmomentmessung und der zweite Kraftflußdetektor für die Drehmomentmessung ein Paar von Kraftflußdetektoren für die Drehmomentmessung aufweisen, die auf gegenüberliegenden Seiten der Welle am Umfang versetzt von dem Paar gegenüberliegender Magnetpole angeordnet sind.

4. Drehmomentmeßfühler nach einem vorhergehenden Anspruch, ferner mit mindestens einem Kraftflußdetektor (**19**) für die Magnetüberwachung, der angeordnet ist, um das magnetische Feld zu erfassen, welches von mindestens einem der Magnetpole vor dem Eintreten in die Welle erzeugt ist.

5. Drehmomentmeßfühler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Welle hohl ist.

6. Drehmomentmeßfühler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Welle im wesentlichen nur aus dem magnetostriktiven Material hergestellt ist.

7. Drehmomentmeßfühler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Welle einen Hauptkörper (**40**) aus nicht-magnetostriktivem Material und eine äußere Schicht des magnetostriktiven Materials (**36**) aufweist.

8. Drehmomentmeßfühler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Welle einen Hauptkörper (**40**) aus magnetostriktivem oder nicht-magnetostriktivem Material aufweist, umgeben von einer Schicht von Material (**34**) niedriger Permeabilität, welche ihrerseits von einer äußeren Schicht des magnetostriktiven Materials (**36**) umgeben ist.

9. Drehmomentmeßfühler ach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das ersterwähnte Paar entgegengesetzter Magnetpole Pole eines Einzelmagneten sind.

10. Drehmomentmeßfühler nach Anspruch 2, wobei jedes des ersterwähnten Paares und zweiten Paares entgegengesetzter Magnetpole Pole eines Einzelmagneten sind.

11. Drehmomentmeßfühler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit mindestens einem weiteren Kraftflußdetektor für die Drehmomentmessung, der umfangsmäßig um die Welle von dem zuvor erwähnten Kraftflußdetektor für die Drehmomentmessung oder den Detektoren versetzt angeordnet ist.

12. Drehmomentmeßfühler nach Anspruch 11, wobei der zuvor erwähnte Kraftflußdetektor für die Drehmomentmessung oder die Detektoren und der weitere Kraftflußdetektor für die Drehmomentmessung auf gegenüberliegenden Seiten der Welle umfangsmäßig von dem Paar oder den Paaren entgegengesetzter Permanentmagnetpole versetzt angeordnet sind.

13. Lenksäule mit einem Drehmomentmeßfühler nach einem der Ansprüche 1 bis 12.

14. Getriebe mit einem Drehmomentmeßfühler nach einem der Ansprüche 1 bis 12.

15. Verfahren zum Messen des Drehmomentes mit:
(a) Vorsehen einer Welle (**16**) mit magnetostriktivem Material;
(b) Aufbringen eines äußeren magnetischen Feldes auf die Welle unter Verwendung eines Paares von entgegengesetzten Permanentmagnetpolen (**110**), welche eine Achse bestimmen, die tangential zu einer Umfangsfläche der Welle ausgerichtet ist, um ein örtlich begrenztes magnetisches Feld (**22**) in dem magnetostriktiven Material zwischen den entgegengesetzten Magnetpolen zu induzieren;
(c) Verdrehen der Welle, so daß eine Komponente des inneren magnetischen Feldes aus dem magnetostriktiven Material austritt; und
(d) Messen der ausgetretenen Komponente des inneren magnetischen Feldes und Vorsehen eines auf diese ansprechenden Drehmomentsignals.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das Messen der ausgetretenen Komponente des inneren magnetischen Feldes unter Verwendung eines Paares von Kraftflußdetektoren (**18**) für die Drehmomentmessung, die auf gegenüberliegenden Seiten der Welle umfangsmäßig versetzt von dem Paar entgegengesetzter Permanentmagnetpole angeordnet sind, erfolgt.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

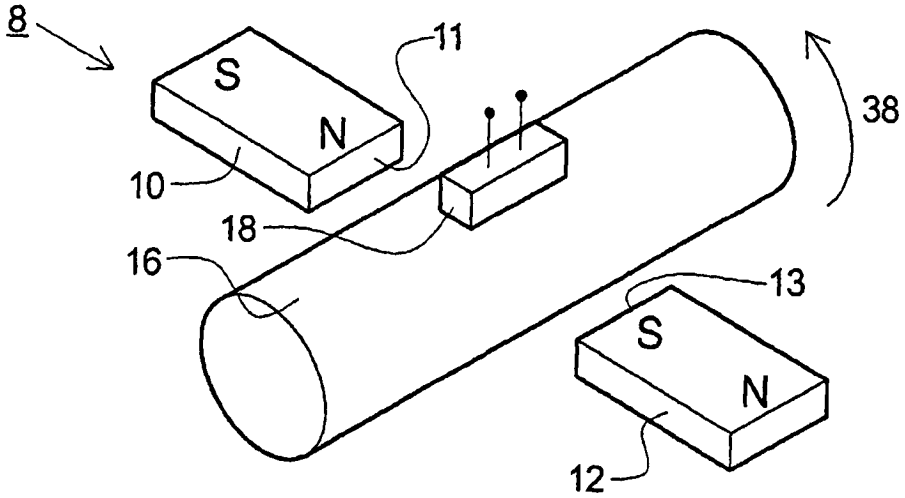


Fig. 2

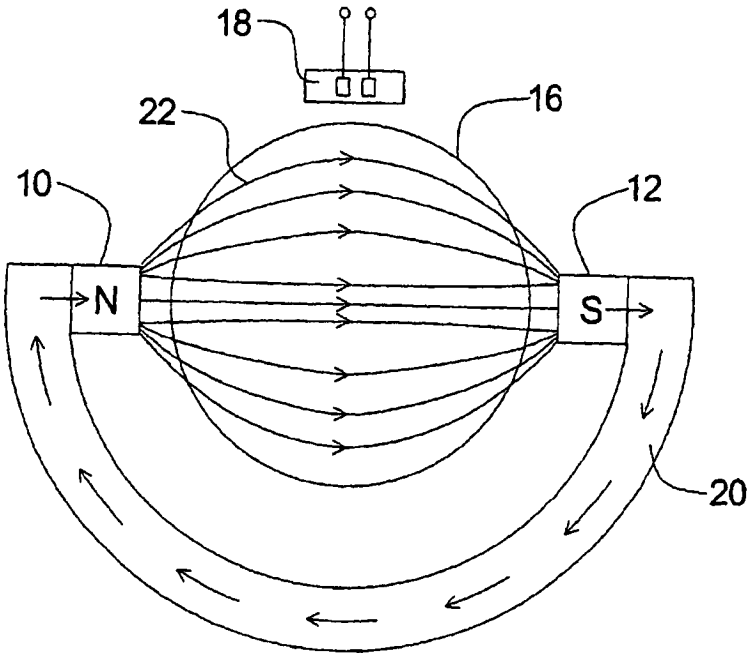


Fig. 3

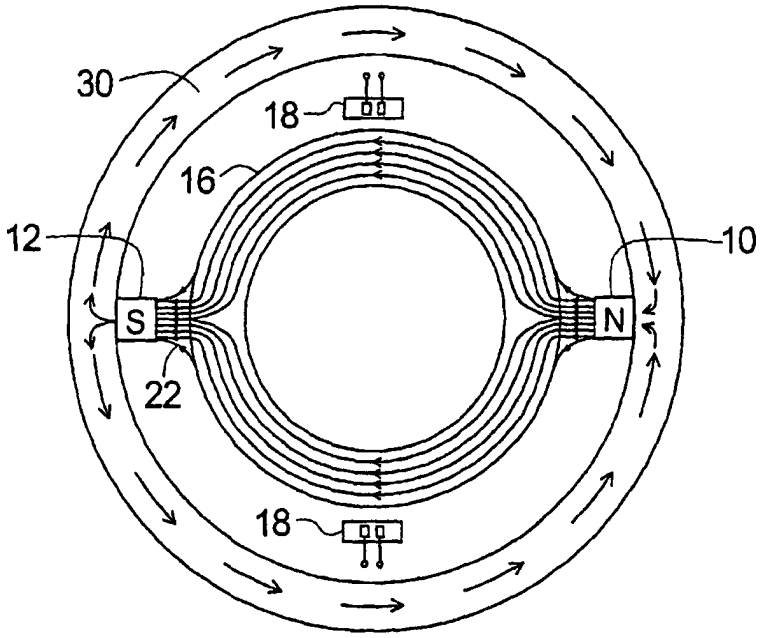


Fig. 4

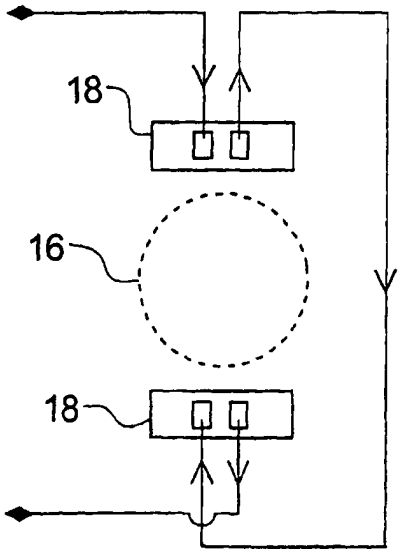


Fig. 5

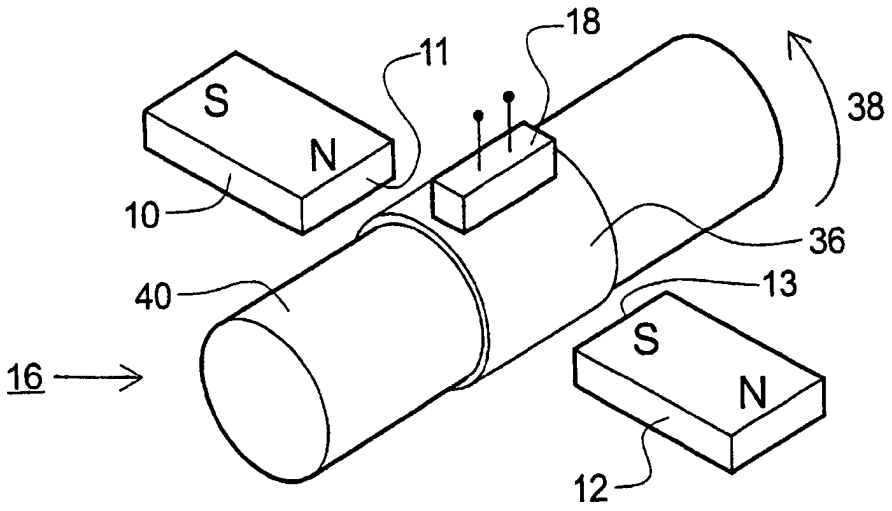


Fig. 6

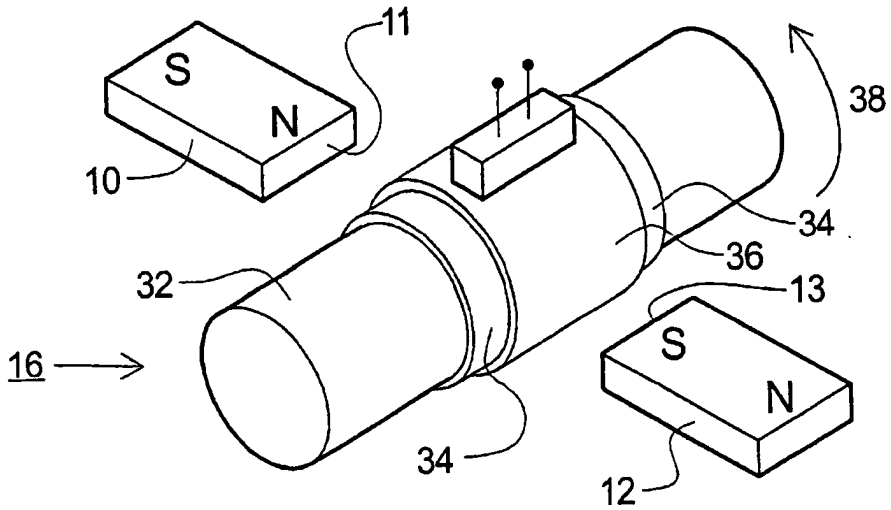


Fig. 7

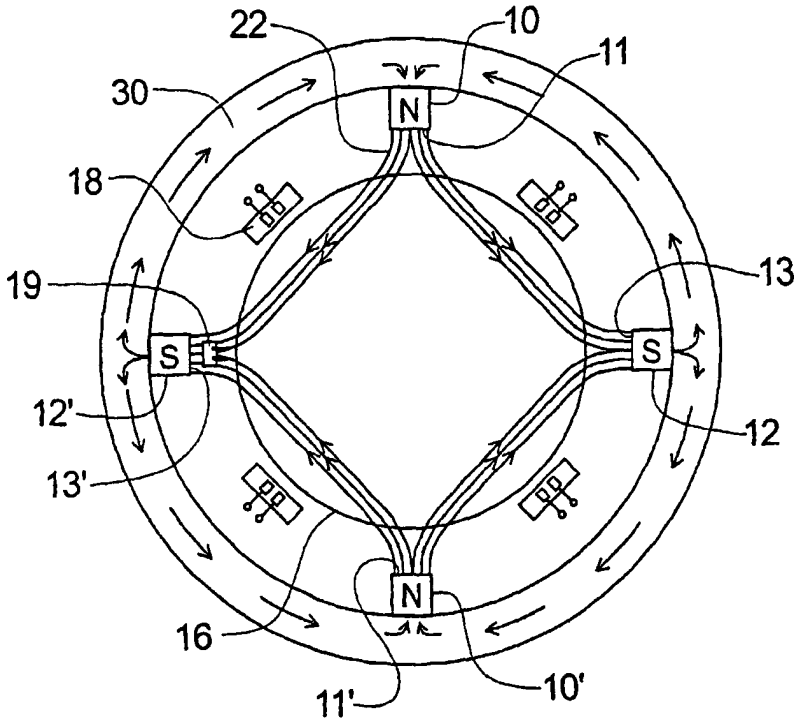


Fig. 8

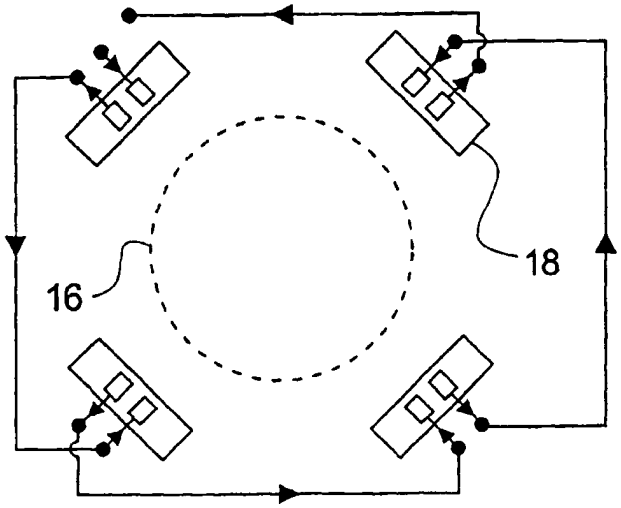


Fig. 9

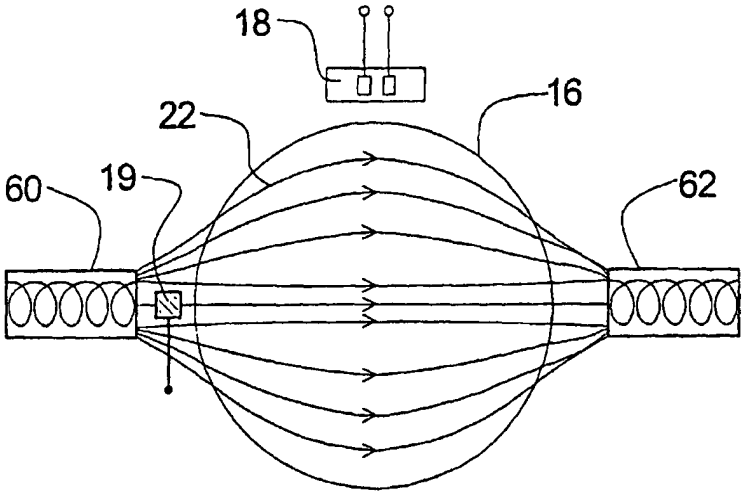
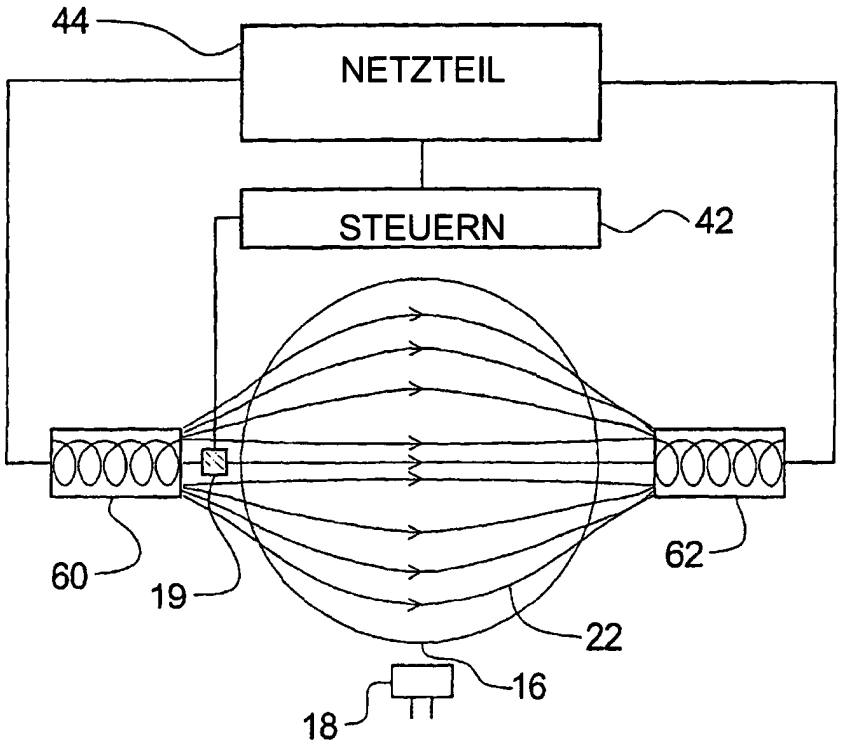


Fig. 10



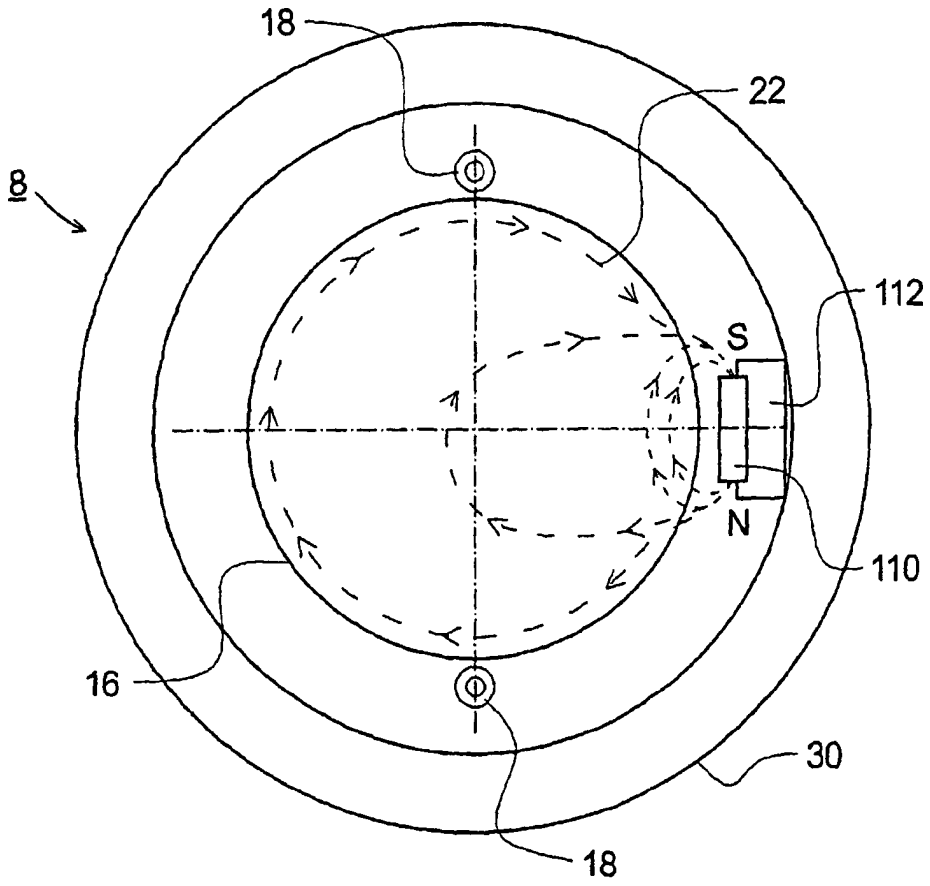


Fig. 11

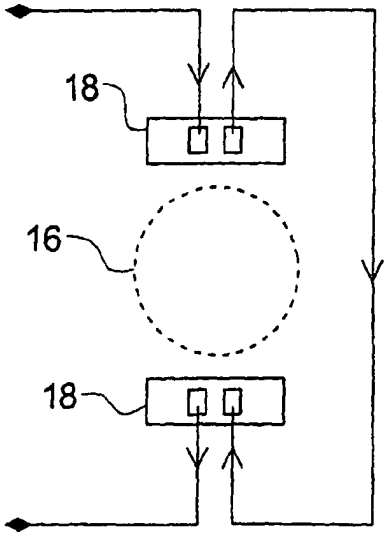


Fig. 12

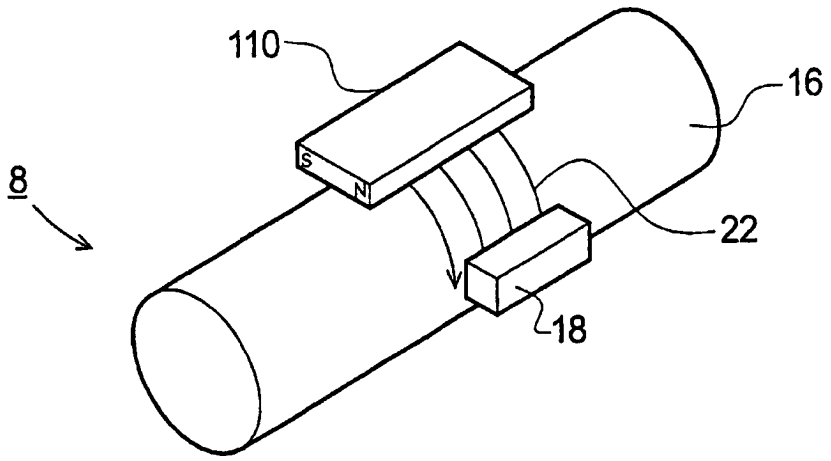


Fig. 13

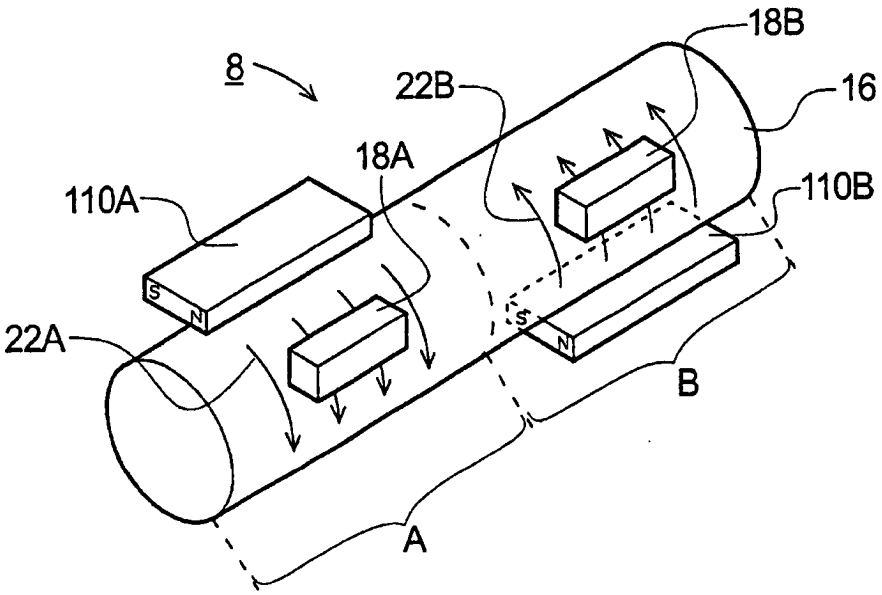


Fig. 14

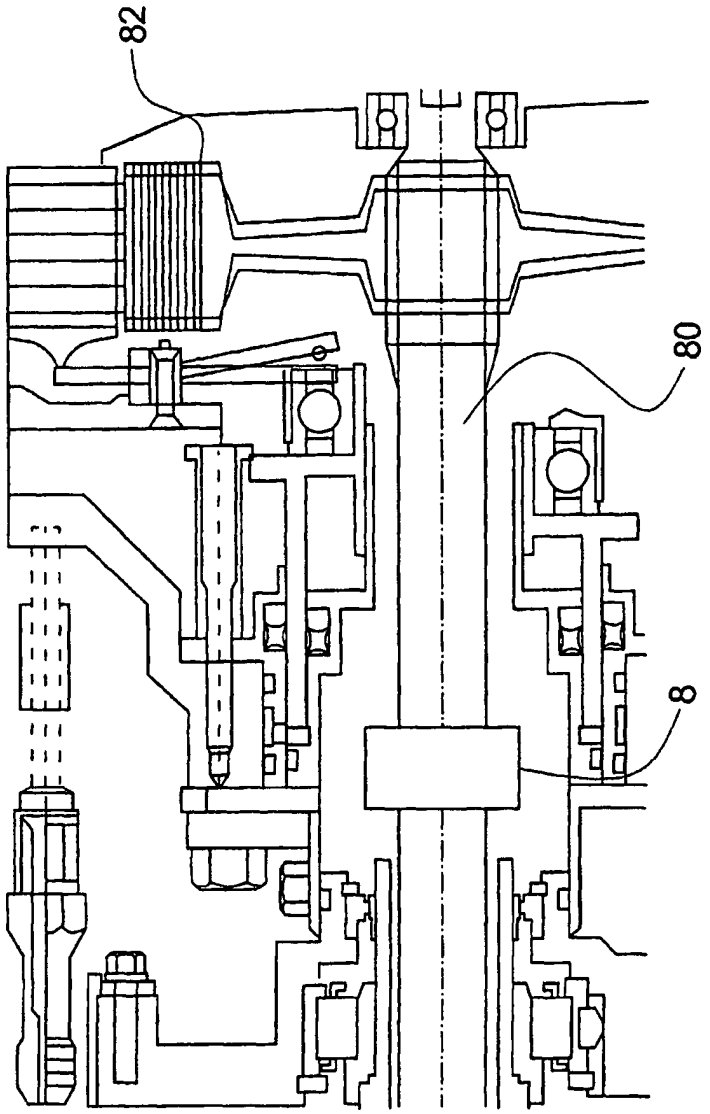
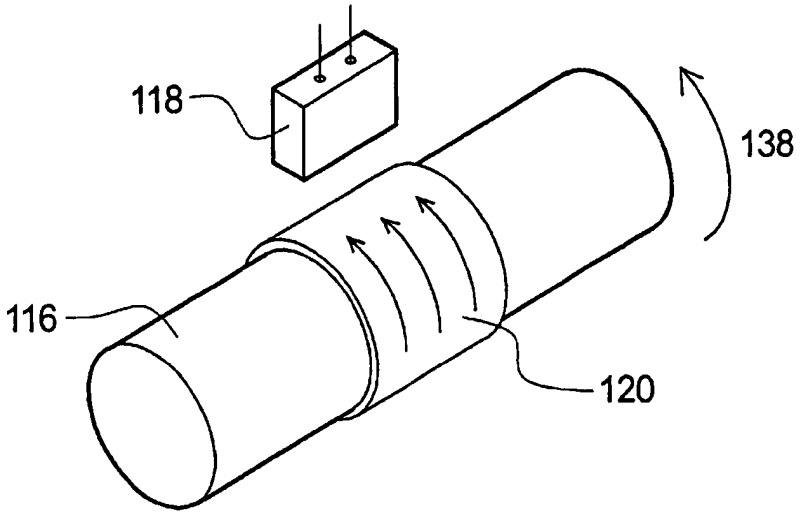


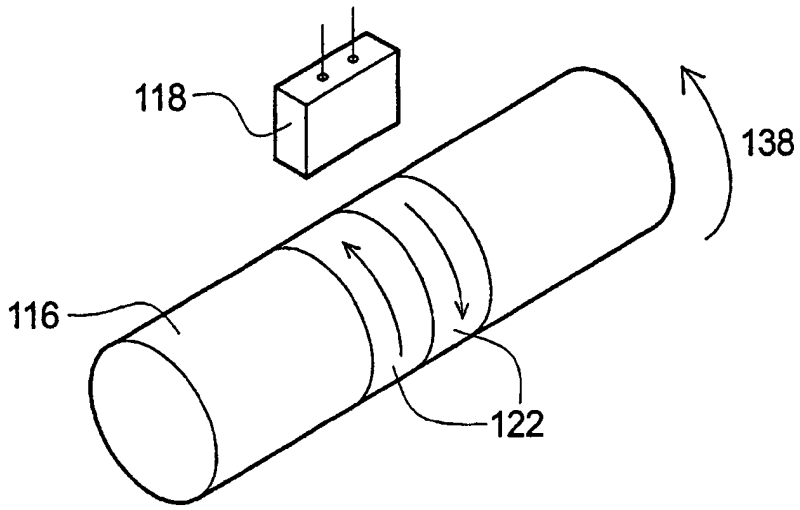
Fig. 15

Fig. 16



STAND DER TECHNIK

Fig. 17



STAND DER TECHNIK