

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND

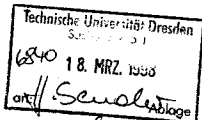


DEUTSCHES
PATENTAMT

20 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 196 35 343 A 1**

21 Int. Cl. 8:
F 16 D 37/02

21 Aktenzeichen: 196 35 343.2
22 Anmeldetag: 31. 8. 96
23 Offenlegungstag: 12. 3. 98



DE 196 35 343 A 1

71 Anmelder:

Technische Universität Dresden, 01069 Dresden, DE;
KWD Kupplungswerk Dresden GmbH, 01159
Dresden, DE

72 Vertreter:

Sender, F., Dipl.-Ing., 01069 Dresden

73 Erfinder:

Lampe, Dietrich, Dipl.-Ing. (FH), 07629 Hermsdorf,
DE; Thess, André, Dr.rer.nat.habil., 01309 Dresden,
DE

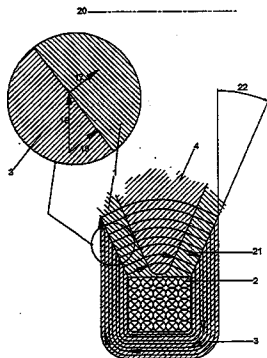
55 Entgegenhaltungen:

DE-PS 9 77 197
DE 36 12 189 A1
DE 3 40 948 A1
DE 93 02 561 U1
US 54 69 947 A
US 52 01 392 A
US 48 98 267 A
US 46 81 197
US 43 50 913
US 30 01 619

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Vorrichtung zur gesteuerten Übertragung von Drehmomenten

51 Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur gesteuerten Übertragung von Drehmomenten mit einem rotierenden Antriebsselement, beinhaltend in Umfangsrichtung umlaufende elektrische Spulen (2) zur Magnetfelderzeugung, einem Abtriebsselement und einer magnetorheologischen Flüssigkeit (1) als Übertragungselement zwischen Antriebsselement und Abtriebsselement, wobei die Drehmomentübertragung durch Übertragungsscheiben erfolgt. Die Vorrichtung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Übertragungsscheiben des Abtriebs- bzw. Antriebsselementes im Bereich des Übertragungspaltes in einem bestimmten Winkel konisch ausgebildet sind, so daß die Grenzflächen zwischen dem Antriebsselement (3) und der magnetorheologischen Flüssigkeit (1) und die Grenzflächen zwischen der magnetorheologischen Flüssigkeit (1) und der Abtriebsseibe (4) einen V-förmigen Übertragungspalt bilden und zueinander abschnittsweise parallel verlaufen. Mit der Vorrichtung wird eine Verringerung des Leerlaufdrehmomentes und eine Verminderung der zur Übertragung des übertragbaren Drehmomentes erforderlichen elektrischen Leistung erreicht.



DE 196 35 343 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01. 98 702 071/106

6/22

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur gesteuerten Übertragung von Drehmomenten mit einem rotierenden Antriebsselement, einem Abtriebsselement und einer magnetorheologischen Flüssigkeit als Übertragungselement: zwischen Antriebsselement und Abtriebsselement. Das übertragene Drehmoment kann über die Stärke des Magnetfeldes, welches mit Hilfe der Spulen erzeugt wird, verändert werden.

Die Vorteile von magnetorheologischen gegenüber herkömmlichen Kupplungen liegen vor allem in der guten Steuerbarkeit des übertragenen Drehmomentes, der schnellen Reaktionszeit und dem geringen Verschleiß. Die schnelle Reaktionszeit ergibt sich vor allem aus dem fundamentalen Vorteil, daß die elektrische Information direkt, d. h. ohne mechanische Bewegung von Teilen, auf das Wirkmedium übertragen wird. Magnetorheologische Kupplungen sind sowohl als Sicherheitskupplungen, als auch als Kupplungen mit steuerbarer Ausgangsdrehzahl bzw. -drehmoment anwendbar. Ihr möglicher Anwendungsbereich reicht von Werkzeugmaschinen über den Automobilbereich bis hin zu Fitneßgeräten.

Magnetorheologische Flüssigkeiten sind Suspensionen aus Basisflüssigkeiten und magnetisierbaren Feststoffpartikeln. Beim Anlegen eines magnetischen Feldes erhöht sich in Abhängigkeit von dessen Stärke die durch das Fluid übertragbare Schubspannung. Für die Größe der übertragbaren Schubspannung ist die Komponente des magnetischen Feldes entscheidend, welche senkrecht zu den Übertragungsf lächen steht.

Merkmale von magnetorheologischen Kupplungen sind die Größe des übertragbaren Drehmomentes, des Leerlaufdrehmomentes, die zur Drehmomentübertragung erforderliche elektrische Leistung, sowie die Massenträgheitsmomente von Antriebs- und Abtriebsselement und die Fähigkeit zur Ableitung entstehender Wärme. Unter Leerlaufdrehmoment versteht man das Drehmoment, welches auftritt, wenn kein magnetisches Feld anliegt und das nur durch Flüssigkeitsreibung, hervorgerufen durch die Drehzahldifferenz zwischen Antriebs- und Abtriebsselement, erzeugt wird. Das übertragbare Drehmoment tritt auf, wenn sich Antriebs- und Abtriebsselement mit gleicher Drehzahl drehen und das magnetische Feld eingeschaltet ist. Gute Kupplungen zeichnen sich durch ein hohes übertragbares Drehmoment bei gleichzeitigem niedrigen Leerlaufdrehmoment und niedriger elektrischer Leistungsaufnahme aus.

Bisher bekannt sind Anordnungen, bei denen sich die Übertragungsf lässigkeit in scheiben- bzw. ringscheibenförmigen Übertragungspalten befindet und das Magnetfeld in über den Kupplungsumfang gleichmäßig verteilten Einzelspulen erzeugt wird. Der in diesen Einzelspulen erzeugte magnetische Fluß wird dann über Eisenteile durch die magnetorheologische Flüssigkeit geleitet. Derartige Einrichtungen werden zur Untersuchung von magnetorheologischen Flüssigkeiten in Rheometern verwendet. Der Nachteil der über den Umfang verteilten einzelnen Spulen besteht im hohen fertigungstechnischen Aufwand, in den unnötig hohen magnetischen Verlusten der relativ langen Eisenteile und in der über den Umfang ungleichmäßigen Verteilung der magnetischen Flußdichte.

Außerdem ist eine Vorrichtung der Firma LORD-Corporation bekannt [im Internet unter: <http://www.webcom.com/~mrfuid/brake.html>], die unter dem Namen "Rotary Resistance System" (Rotierendes Widerstands System) vertrieben wird. Diese

Vorrichtung dient der steuerbaren Übertragung von Drehmomenten mit Hilfe einer magnetorheologischen Flüssigkeit. Sie besteht aus einem Rotor (100), einem Gehäuse (101), einer Spule (102) und der magnetorheologischen Flüssigkeit (103). Der Rotor ist eine runde flache Scheibe mit rechteckigem Querschnitt aus stark magnetisierbarem Material, die auf einer drehbaren Welle befestigt ist. Die Spulenwicklungen sind im Gehäuse, welches ebenfalls aus gut magnetisierbarem Material besteht, angebracht und der Spulinnenradius grenzt direkt an den Flüssigkeitsspalt. Dieser ist im Querschnitt hufeisenförmig und bedeckt beidseitig den äußeren Radiusbereich, sowie die Stirnfläche des Rotors. Die Flüssigkeit gelangt in diesen Spalt durch den Einfluß von auf sie wirkenden Zentrifugalkräften, welche durch das Mitreißen der Flüssigkeit bei Drehung des Rotors entstehen. Die Übertragung eines Drehmomentes vom Rotor auf das Gehäuse geschieht, abgesehen von Lagerreibung, ausschließlich über den Flüssigkeitsspalt. Das Leerlaufdrehmoment hängt von Größe und Radien der benetzten Spaltfläche, der Spaltbreite, der Viskosität der Flüssigkeit ohne magnetisches Feld und von der Differenzdrehzahl zwischen Rotor und Gehäuse ab. Eine größere benetzte Spaltfläche bewirkt eine Vergrößerung des Leerlaufdrehmomentes.

Die Größe des übertragbaren Drehmomentes hängt von der Stärke des magnetischen Flusses durch den Spalt, der als Flüssigkeitseigenschaft gegebenen Abhängigkeit der Schubspannungserhöhung vom magnetischen Fluß, sowie von den Radien des Übertragungspaltes ab. Dabei trägt nur der Teil des Spaltes zur Drehmomentübertragung bei, in dem die Magnetfeldlinien (104) senkrecht durch die Spaltbegrenzungsflächen treten. Daraus folgt, daß die Flüssigkeit im Spalt an den Stirnflächen des Rotors ausschließlich das Leerlaufdrehmoment erhöht und nicht zum übertragbaren Drehmoment beiträgt.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, das Leerlaufdrehmoment und die erforderliche elektrische Steuerleistung zu verringern.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit den Merkmalen nach Anspruch 1 gelöst.

Durch die V-förmige Ausbildung der Abtriebsscheiben wird die nicht zum übertragbaren Drehmoment beitragende benetzte Spaltfläche minimiert und dadurch eine Verringerung des Leerlaufdrehmomentes erzielt. Desweiteren wird durch eine sinnvolle Wahl des V-Winkels sowohl erreicht, daß die magnetische Induktion im Antriebsseitenteil so hoch ist, daß es zu einer optimalen Ausnutzung der Magnetisierbarkeit des Materials, als auch daß es zu einer Minimierung des elektrischen Spulenwiderstandes durch Vergrößerung der Querschnittsfläche kommt. Dadurch wird die erforderliche elektrische Steuerleistung entscheidend verringert.

Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 den Schnitt durch eine erfindungsgemäße Anordnung

Fig. 2 eine Darstellung zur Veranschaulichung des Wirkprinzips und zugleich eine Einzelheit von Fig. 1.

Fig. 3 eine Darstellung zur Veranschaulichung des Standes der Technik.

Nachfolgend wird anhand der Fig. 2 zunächst das Wirkprinzip der Erfindung erläutert. In Fig. 2 sind ein hufeisenförmiges Eisenteil 3, im folgenden Antriebsseitenteil genannt, (der Werkstoff Eisen steht hier als Vertreter für gut magnetisierbare Materialien), elektrische

Leiter 2, auch Spule genannt, das magnetorheologische Fluid 1 im Wirkpalt, sowie ein Teil der konischen Abtriebscheibe 4 zu sehen. Antriebsseite 3 und konische Abtriebscheibe 4 sind so angeordnet, daß sie relativ zueinander um die Kupplungsachse 20 rotieren können. Beim Fließen eines elektrischen Stromes durch die elektrischen Leiter 2 entsteht ein magnetisches Feld, dessen Feldlinien 21 in Fig. 2 ebenfalls dargestellt sind. Das magnetische Feld unterliegt dem Durchflutungsgesetz, der Quellenfreiheit der magnetischen Induktion ($\text{div } \vec{B} = 0$) und den Materialgesetzen, welche die Zusammenhänge zwischen der magnetischen Feldstärke (\vec{H}) und der magnetischen Induktion (\vec{B}) beschreiben. Die in der magnetorheologischen Flüssigkeit 1 zu erzielende magnetische Induktion (\vec{B}_{MRF}) ist durch die Flüssigkeit vorgegeben. Man wählt dabei den Wert für \vec{B}_{MRF} so, daß bei einer weiteren Erhöhung der magnetischen Induktion in der Flüssigkeit nur noch eine unwesentliche Erhöhung der durch die Flüssigkeit übertragbaren Schubspannung resultieren würde.

An den Grenzflächen zwischen zwei Materialien unterschiedlicher magnetischer Eigenschaften gilt, daß die Normalkomponente der magnetischen Induktion \vec{B} erhalten bleibt, während sich die Tangentialkomponenten von \vec{B} zueinander genauso wie die relativen Permeabilitäten der Materialien verhalten. Diese Beziehungen folgen aus der Quellenfreiheit der magnetischen Induktion. Da man davon ausgehen kann, daß die relative Permeabilität eines gut magnetisierbaren Materials, wie z. B. Eisen um die Größenordnung von Tausend größer ist, als die relative Permeabilität einer magnetorheologischen Flüssigkeit, folgt daraus, daß die magnetische Induktion praktisch senkrecht zur Grenzfläche durch die magnetorheologische Flüssigkeit geht. In Fig. 2 sind die magnetische Induktion im Eisen \vec{B}_{Eisen} 19, die magnetische Induktion in der magnetorheologischen Flüssigkeit \vec{B}_{MRF} 17, sowie die Normalkomponente von \vec{B}_{Eisen} 18 dargestellt. Aus den oben beschriebenen Gründen entspricht die Größe der Normalkomponente von \vec{B}_{Eisen} 18 der Größe der gesamten magnetischen Induktion in der magnetorheologischen Flüssigkeit \vec{B}_{MRF} 17. Somit bietet sich über die Wahl des Winkels alpha 22 die Möglichkeit, das Verhältnis zwischen \vec{B}_{MRF} und \vec{B}_{Eisen} zu beeinflussen ($\sin \alpha = \vec{B}_{\text{MRF}} / \vec{B}_{\text{Eisen}}$). Letztendlich wählt man mit Hilfe des Winkels alpha das Verhältnis zwischen der senkrecht von der magnetischen Induktion durchdrungenen Fläche des Übertragungspaltes und der ebenfalls senkrecht von der magnetischen Induktion durchdrungenen Querschnittsfläche des Antriebsseitenteiles 3.

Es gibt einen optimalen Winkel alpha, bei dem sich eine vorgegebene magnetische Induktion in der magnetorheologischen Flüssigkeit \vec{B}_{MRF} unter effektivster Ausnutzung der in den elektrischen Leitern aufzubringenden elektrischen Leistung erzeugen läßt. Dieser optimale Winkel alpha liegt in etwa dann vor, wenn sich daraus folgend die magnetische Induktion \vec{B}_{Eisen} so einstellt, daß man in der Materialkurve, welche die Abhängigkeit zwischen der Magnetfeldstärke \vec{H} und magnetischer Induktion \vec{B} beschreibt, an einem Punkt arbeitet, welcher unmittelbar vor dem Übergang in den linearen Teil der Kurve liegt. Dadurch läßt sich eine optimale Ausnutzung der Magnetisierbarkeit des Materials erreichen.

Kennzeichnendes Merkmal der vorliegenden Erfindung ist die konische Ausbildung der Abtriebscheibe 4. Dadurch ergeben sich folgende Vorteile:

1. Der optimale Winkel alpha ist einfach zu verwirklichen.
2. Ein Bereich mit nicht optimaler magnetischer Induktion im Antriebsseitenteil wird vermieden.
3. Der benetzte Spaltbereich, welcher ausschließlich zum unerwünschten Leerlaufdrehmoment beiträgt, wird minimiert.
4. Der für die Spule verfügbare Querschnitt ist, bei gleichen Außenabmessungen, größer, als bei einer parallelen Form der Abtriebscheibe. Ein größerer verfügbarer Spulenquerschnitt führt dazu, daß man weniger Verlustleistung aufbringen muß, um einen gleichen Gesamtstrom durch die Spule fließen zu lassen. Nur der fließende Gesamtstrom ist entscheidend für die Stärke des erzeugten Magnetfeldes.

Nachfolgend werden Aufbau und Wirkungsweise der in Fig. 1 dargestellten erfindungsgemäßen Anordnung erläutert.

Die Kupplung besteht aus einem Antriebsselement mit integrierter Magnetfelderzeugung, dem Abtriebsselement und der magnetorheologischen Flüssigkeit 1. Im Antriebsselement befinden sich die Spulen 2, welche in die Antriebsseite 3 eingebaut sind. Um einen besseren Wärmeabtransport zu gewährleisten, sind sowohl zwischen den Gehäusedeckeln 11, als auch zwischen den einzelnen Antriebsseitenteilen jeweils Abstandsringe 14 bzw. 15 angebracht. Eine Dichtung 16 verhindert das Auslaufen von magnetorheologischer Flüssigkeit auch in nicht horizontalen Lagen. Verbindungsschrauben 12 dienen dazu, die Bestandteile des Antriebsselementes zu verbinden. Zur Ermöglichung einer reibungsarmen Lagerung des Abtriebsselementes im Antriebsselement kommen Kugellager 10 zur Anwendung.

Das Abtriebsselement setzt sich aus den Abtriebscheiben 4, der Abtriebswelle 8, den Abstandsringen 5, 9, dem Abtriebsdeckel 7 und einem Befestigungsring 6 zusammen. Wenigstens eine der beiden Abtriebsdeckel 7 ist starr, z. B. durch Schweißen, mit der Abtriebswelle 8 verbunden.

Dargestellt ist eine Kupplung mit vier Übertragungseinheiten, um zu verdeutlichen, daß es zur Erzielung eines bestimmten übertragbaren Drehmomentes ohne Schwierigkeiten möglich ist, mehrere Übertragungseinheiten parallel anzordnen. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Wärmeabfuhr ist es dabei erforderlich, zwischen den einzelnen Übertragungseinheiten genügend Raum zur freien Luftdurchströmung zu lassen. Beim Aufbau einer magnetorheologischen Kupplung ist es aus Gründen der ausreichenden Wärmeabfuhr unbedingt erforderlich, daß das Antriebsselement außen liegt, d. h. frei von Luft umströmt werden kann. Der Grund dafür liegt darin, daß davon auszugehen ist, daß das Antriebsselement im Falle der Entstehung von Wärme stets in Rotation ist und somit ein konvektiver turbulenter Wärmeübergang zur Umgebung gewährleistet ist, während dies für das Abtriebsselement nicht gilt.

Im Falle des Einsatzes einer anderen geeigneten Methode zur Abfuhr entstehender Wärme, ist es aber ebenso gut möglich, das Antriebsselement nach innen zu verlegen. Somit ist eine Vertauschung der in dieser Schrift verwandten Begriffe Antrieb und Abtrieb unter bestimmten Bedingungen gut möglich.

Die Einbaulage der Kupplung sollte in der überwiegenen Betriebszeit so sein, daß die Kupplungsachse 20 horizontal ist. Dadurch wird gewährleistet, daß die magnetorheologische Flüssigkeit im Stillstand der Kupplung in die untere Kupplungshälfte fließt. Die Freiraume

zwischen Abtriebs- und Antriebs- element sind dabei so groß bemessen, daß der Flüssigkeitsspiegel unterhalb der Dichtungsebene liegt. Dadurch wird verhindert, daß die Kupplung im Stillstand Flüssigkeit verliert.

Im Betriebszustand der Kupplung, d. h. bei Rotation des Antriebs- elementes, gelangt die Flüssigkeit in den Übertragungsspalt durch den Einfluß von auf sie wirkenden Zentrifugalkräften, welche durch das Mitreißen der Flüssigkeit bei Rotation des Antriebs- elementes entstehen. Danach kann dann das Einschalten des magnetischen Feldes erfolgen, um die gesteuerte Übertragung von Drehmomenten zu ermöglichen.

Bezugszeichenliste

1 magnetorheologische Flüssigkeit	15
2 Spule	
3 Antriebs- eisen- teil	
4 Abtriebs- scheibe	
5 Abstands- ring	20
6 Befestigungs- ring	
7 Abtriebs- deckel	
8 Abtriebs- swelle	
9 Abstands- ring	
10 Kugellager	25
11 Gehäuse- deckel	
12 Verbindungs- schraube	
13 Verbindungs- schraube	
14 Abstands- ring	
15 Abstands- ring	30
16 Dichtung	
17 magnetische Induktion in der magnetorheologischen Flüssigkeit	
18 Normalkomponente	
19 magnetische Induktion im Eisen	35
20 Kupplungs- achse	
21 Feldlinien	
22 Winkel alpha	

Patentanspruch

Vorrichtung zur gesteuerten Übertragung von Drehmomenten mit einem rotierenden Antriebs- element, beinhaltend in Umfangsrichtung umlaufende elektrische Spulen (2) zur Magnetfelderzeugung, einem Abtriebs- element und einer magnetorheologischen Flüssigkeit (1) als Übertragungselement zwischen Antriebs- element und Abtriebs- element, wobei die Drehmomentübertragung durch Übertragungsscheiben erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Übertragungsscheiben des Abtriebs- bzw. Antriebs- elementes im Bereich des Übertragungsspalt in einem bestimmten Winkel konisch ausgebildet sind, so daß die Grenzflächen zwischen dem Antriebs- eisen- teil (3) und der magnetorheologischen Flüssigkeit (1) und die Grenzflächen zwischen der magnetorheologischen Flüssigkeit (1) und der Abtriebs- scheibe (4) einen V- förmigen Übertragungsspalt bilden, wobei die Grenzflächen zueinander abschnittsweise parallel verlaufen.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

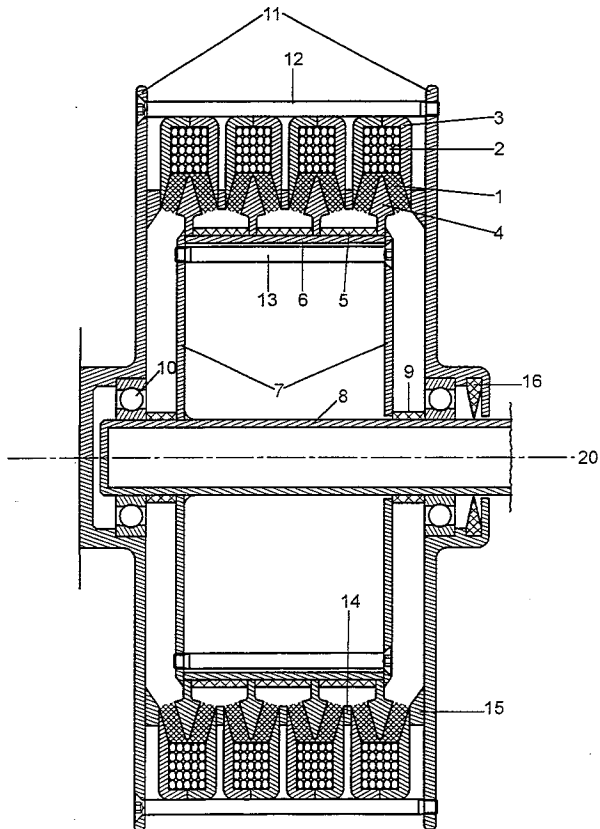


Fig. 1

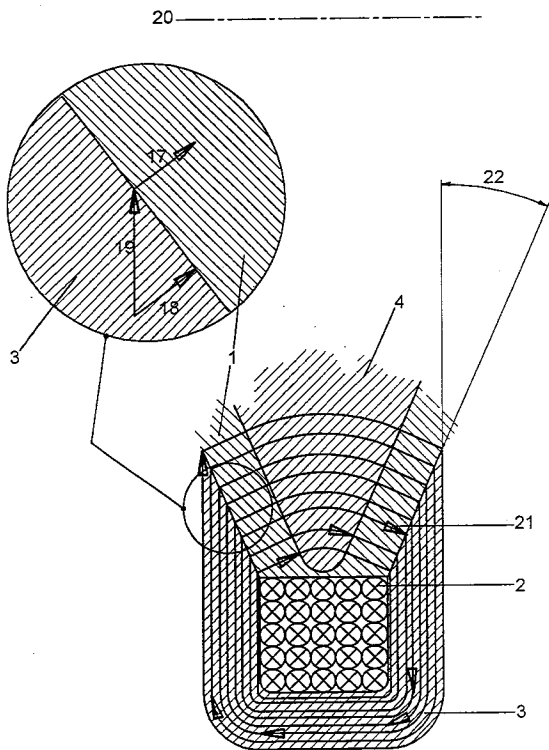


Fig. 2

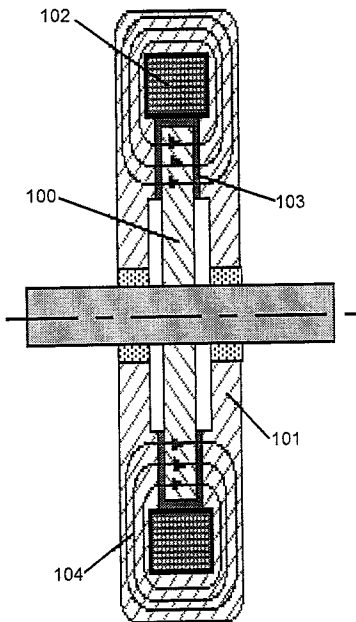


Fig.3