

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 135 781 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
22.03.2006 Bulletin 2006/12

(21) Numéro de dépôt: **99972774.6**

(22) Date de dépôt: **10.11.1999**

(51) Int Cl.:
H01F 7/16 (2006.01) H01F 7/17 (2006.01)

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR1999/002771

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2000/031758 (02.06.2000 Gazette 2000/22)

(54) **ACTIONNEURS BIDIRECTIONNELS**

BIDIREKTIONALE BETÄTIGUNSVORRICHTUNGEN

BIDIRECTIONAL ACTUATORS

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**

(30) Priorité: **20.11.1998 FR 9814668**

(43) Date de publication de la demande:
26.09.2001 Bulletin 2001/39

(73) Titulaire: **Moving Magnet Technologies (S.A.)
25000 Besançon (FR)**

(72) Inventeurs:
• **GANDEL, Pierre
F-25660 Montfaucon (FR)**
• **BUAILLON, Yann
F-25000 Besançon (FR)**

(74) Mandataire: **Breese, Pierre
BREESE DERAMBURE MAJEROWICZ
38, avenue de l'Opéra
75002 Paris (FR)**

(56) Documents cités:
**EP-A- 0 091 685 EP-A- 0 221 228
DE-A- 3 037 648 US-A- 4 602 848
US-A- 5 062 095 US-A- 5 600 189**

• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 085
(E-591), 17 mars 1988 (1988-03-17) & JP 62 221856
A (NIPPON TELEGR & TELEPH CORP), 29
septembre 1987 (1987-09-29)**

EP 1 135 781 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne le domaine des actionneurs électromagnétiques.

[0002] On connaît des actionneurs unidirectionnels mettant en oeuvre une structure statorique excitée par une bobine électrique, produisant un flux magnétique variable assurant le positionnement d'un aimant mobile. A titre d'exemple, le brevet US4,918,987 décrit un tel actionneur comportant un stator présentant deux pôles entourés chacun par une bobine. L'aimant mobile est soumis à une force linéaire en fonction du flux généré par les bobines.

[0003] On connaît également le brevet allemand DE3037648 décrivant un actionneur bidimensionnel qui peut comporter soit des bobines mobiles soit des aimants mobiles. La solution comportant des bobines mobiles n'est pas satisfaisante car elle induit des coûts d'industrialisation élevés. La solution décrite comportant des aimants mobiles nécessite l'utilisation de 8 aimants mobiles. Une telle architecture nécessite des signaux de commande multiples et des traitements informatiques pour le pilotage de la position en XY.

[0004] On connaît également le brevet US5062055 qui concerne les actionneurs électromagnétiques produisant à la fois un mouvement de rotation et un mouvement de translation. Un tel actionneur de l'état de la technique comprend un aimant cylindrique ayant des frontières d'aimantation dans la direction périphérique et dans la direction axiale, dans lequel une aimantation multipolaire est établie dans la direction axiale, et des culasses portant des bobines comportant des pôles magnétiques situés face aux frontières d'aimantation. Un tel actionneur utilise un aimant possédant plusieurs paires de pôles avec des directions d'aimantation perpendiculaires les unes par rapport aux autres.

[0005] Le but de la présente invention est de proposer un actionneur permettant de commander le positionnement d'un organe selon deux degrés de liberté, par exemple dans un plan selon deux axes perpendiculaires XY, ou selon un degré de liberté en translation et un degré de liberté en rotation, ou encore en rotation sphérique, avec des signaux de commande simple.

[0006] A cet effet, l'invention concerne dans son acception la plus générale un actionneur bidirectionnel comportant au moins une structure statorique excitée par une bobine électrique, et un aimant mobile unique ayant une polarité unique. Cet aimant est placé dans un entrefer principal. La structure statorique est composée de deux pièces statoriques. Chacune des pièces statoriques présente au moins un entrefer secondaire et est excitée par au moins une bobine électrique. La structure statorique présente au moins un entrefer pour le déplacement de l'aimant mobile par rapport à un premier degré de liberté, et au moins un deuxième entrefer secondaire pour le déplacement de l'aimant mobile par rapport à un deuxième degré de liberté.

[0007] Selon un mode de mise en oeuvre particulier,

l'aimant mobile est solidaire de la culasse.

[0008] Selon une première variante, la structure statorique est composée de 4 pôles en un matériau magnétique doux définissant entre eux deux paires d'entrefers secondaires se croisant en un point médian et en ce que l'entrefer principal est plan.

[0009] Avantageusement, les pôles statoriques sont constitués par deux paires de pièces rectangulaires, chaque paire de pièces étant excitée par une bobine électrique au moins et définissant chacune un entrefer secondaire.

[0010] De préférence, le rapport L/E entre l'épaisseur L de l'aimant et l'épaisseur E de l'entrefer est comprise entre 1 et 2.

[0011] Avantageusement, les dimensions des entrefers secondaires sont C_1+E et C_2+E , où C_1 et C_2 désignent la course de l'aimant mobile selon les deux directions des entrefers secondaires et en ce que les dimensions de l'aimant sont C_1+d_1+E et C_2+d_2+E , d_1 et d_2 désignant les largeurs des dits entrefers secondaires.

[0012] Selon une variante particulière, la structure statorique est composée de deux pièces statoriques disposées de part et d'autre de l'aimant, chacune des pièces statoriques présentant une paire de pôles statoriques, la paire de pôles statoriques de l'une des pièces étant orientée perpendiculairement à la paire de pôles statoriques de l'autre pièce statorique.

[0013] Selon une deuxième variante de réalisation, l'aimant est de forme tubulaire et est mobile selon un premier degré de liberté en translation axiale et selon un second degré de liberté en rotation axiale par rapport à une structure statorique formée de 4 pôles statoriques en forme de portions de cylindres, présentant un premier entrefer secondaire dans le plan médian longitudinal, dans lequel est placée une première bobine électrique, et un deuxième entrefer secondaire dans le plan transversal, dans lequel est placée une deuxième bobine. Chacune de ces bobines est enroulée de préférence autour d'un noyau ferromagnétique.

[0014] Selon une variante, l'aimant est de forme tubulaire et est mobile selon un premier degré de liberté en translation axiale et selon un second degré de liberté en rotation axiale par rapport à une structure statorique cylindrique extérieure formée de 4 pôles statoriques présentant une surface concave définissant l'entrefer principal avec la culasse cylindrique placée à l'intérieur de l'aimant, chacun des quatre pôles statoriques étant entouré par une bobine électrique.

[0015] Selon une autre variante, l'aimant est de forme tubulaire et est mobile selon un premier degré de liberté en translation axiale et selon un second degré de liberté en rotation axiale par rapport à une structure statorique cylindrique constituée par une première pièce statorique extérieure pour le déplacement selon un premier degré de liberté, et une deuxième pièce statorique intérieure pour le déplacement selon un degré de liberté, chacune des pièces statoriques comportant au moins une bobine électrique d'excitation.

[0016] Selon un troisième mode de réalisation, l'aimant est de forme sphérique et est mobile en rotation sphérique par rapport à une structure statorique en forme de calotte sphérique formée de 4 pôles statoriques en forme de secteur de calotte, comportant deux bobines logées dans des rainures périphériques dont les plans médians sont perpendiculaires.

[0017] Avantagusement, l'aimant est de forme sphérique et est mobile en rotation sphérique par rapport à une structure statorique de forme tubulaire formée de 4 pôles statoriques en forme de quart de tube, entourés par une bobine électrique.

[0018] Selon une variante particulière d'un tel actionneur, l'entrefer principal est de forme sphérique.

[0019] Selon une autre variante particulière, l'aimant est de forme sphérique et entoure une culasse sphérique, et est mobile en rotation sphérique autour d'une structure statorique de forme demi-sphérique formée de 4 pôles statoriques en forme de quart de sphère.

[0020] Selon un mode de réalisation particulier, l'aimant est de forme sphérique et entoure une culasse sphérique, et est mobile en rotation sphérique autour d'une structure statorique formée de deux pièces statoriques demi-sphériques.

[0021] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit, se référant à des exemples non limitatifs de réalisation, illustrés par les dessins annexés où :

- Les figures 1 et 2 représentent des vues schématisées respectivement en vue transversale, et de la partie statorique d'une première variante de réalisation sous la forme d'un actionneur linéaire XY ;
- les figures 3a et 3b illustrent le fonctionnement de l'actionneur ;
- les figures 4 et 5 représentent des vues d'une variante de réalisation d'un actionneur XY ;
- les figures 6 et 7 représentent des vues schématisées respectivement en vue transversale, et de la partie statorique d'une première variante de réalisation sous la forme d'un actionneur linéaire XY ;
- les figures 8 et 9 représentent une variante d'un actionneur cylindrique $x-\theta$, respectivement sans et avec l'aimant ;
- les figures 10 à 12 représentent des vues en perspective, respectivement sans et avec aimant, et en coupe transversale, d'un actionneur linéaire-rotatif ;
- les figures 13 à 16 représentent des vues en perspective, respectivement sans et avec aimant, et en vue transversale, et en vue éclatée d'une deuxième version d'un actionneur linéaire-rotatif ;
- les figures 17 à 19 représentent des vues en perspective, respectivement sans et avec aimant, et de la partie statorique d'une troisième version d'un actionneur linéaire-rotatif ;
- les figures 20 et 21 représentent une variante de réalisation d'un actionneur de type « linéaire et rotatif extérieurs » ;

- les figures 22 et 23 représentent une deuxième version d'un actionneur de type « linéaire et rotatif extérieurs » ;
- les figures 24 et 25 représentent une troisième version d'un actionneur de type « linéaire et rotatif extérieurs » ;
- la figure 26 représente une première version d'une variante de type « Linéaire intérieur, rotatif extérieur » ;
- les figures 27 et 27b représentent une version modifiée d'une variante de type « Linéaire intérieur, rotatif extérieur » ;
- les figures 28 et 29 représentent, en vue de trois quarts face et en vue transversale, une deuxième version d'une variante de type « Linéaire intérieur, rotatif extérieur » ;
- les figures 30 et 31 décrivent un actionneur de type « Linéaire extérieur, rotatif intérieur respectivement de trois quarts face et en vue partiellement coupée ;
- la figure 32 représente une vue de trois quarts face de l'ensemble stator d'une variante de type « Linéaire extérieur, rotatif intérieur » ;
- les figures 33 et 34 représentent des vues d'un actionneur sphérique et du stator d'un tel actionneur ;
- la figure 35 représente une vue d'une deuxième version d'actionneur sphérique ;
- la figure 36 représente une vue d'une troisième version d'actionneur sphérique ;
- les figures 37 et 38 représentent des vues de trois quarts face et en coupe d'une quatrième version d'actionneur sphérique ;
- les figures 39 et 40 représentent des vues de trois quarts face et en coupe d'une cinquième version d'actionneur sphérique ;
- les figures 41 et 42 représentent des vues de trois quarts face et en coupe d'une sixième version d'actionneur sphérique ;
- les figures 43 et 44 représentent des vues de trois quarts face et en vue transversale d'un actionneur avec détecteur de position ;

[0022] L'invention concerne un nouveau type d'actionneur permettant de déplacer une partie mobile suivant deux degrés de liberté.

[0023] Les applications visées sont :

- Applications informatiques : souris, joystick
- Applications industrielles : pick and place
- Applications automobiles : assistance au passage des vitesses.

[0024] Les figures 1 et 2 représentent des vues d'un premier exemple de réalisation d'un actionneur linéaire XY.

[0025] L'objectif est de déplacer une partie mobile dans un plan suivant 2 axes comportant à la base une structure composée d'un stator à 4 pôles, d'un aimant mobile et d'une culasse qui pourra être fixe ou mobile

avec l'aimant.

[0026] La première version présentée en référence aux figures 1 et 2 concerne un actionneur à culasse fixe. Dans cette architecture, seul l'aimant (14) est donc mobile.

[0027] L'actionneur est alors composé des parties fonctionnelles suivantes:

- 1 aimant plat (14) composé d'une nuance d'aimant isotrope ou axialement anisotrope. Dans ce dernier cas, le sens de l'anisotropie devra être perpendiculaire à la surface des pôles. Il sera aimanté dans cette même direction.
- 1 culasse (5) en matériau magnétique à haute perméabilité
- 1 stator composé d'une base plane (6) et de 4 pôles (1 à 4) de section rectangulaire. Il sera également réalisé en matériau magnétique à haute perméabilité
- 4 bobines (7 à 10), chacune entourant l'un des pôles du stator

[0028] Eventuellement un support d'aimant venant entourer l'aimant pour transmettre l'effort - ou le déplacement - fourni à une pièce externe.

[0029] Pour ce dernier, toute forme peut être imaginée.

[0030] Le fonctionnement de cet actionneur peut être expliqué de la manière suivante, en référence aux figures 3a et 3b :

[0031] Si l'on impose le même courant i_1 dans les bobines (7) et (8) et un courant i_2 dans les bobines (9) et (10), on crée une différence de potentiel suivant l'axe X : on crée donc une force F_x suivant l'axe X proportionnelle à la différence de potentiel magnétique créée.

[0032] De la même façon, si l'on impose un courant i_3 dans les bobines (7) et (9) et un courant i_4 dans les bobines (8) et (10), on crée une force F_y proportionnelle à la différence de potentiel magnétique, colinéaire à l'axe Y.

[0033] Cela étant établi, il en découle que la composition des dits courants nous permettra, par le principe de superposition, de créer toute force dont la direction sera comprise dans ce plan XY.

[0034] En effet :

si en alimentant (7) et (8) par un courant i_1 et en alimentant (9) et (10) par un courant i_2 , on crée une force F_x

si en alimentant (7) et (9) par un courant i_3 et en alimentant (8) et (10) par un courant i_4 , on crée une force F_y

[0035] Alors, en alimentant (7) par i_1+i_3 , (8) par i_1+i_4 , (9) par i_2+i_3 et (10) par i_2+i_4 , on crée une force $F_x + F_y$.

[0036] Cet actionneur permet donc de créer une force d'intensité et de direction réglables dans le plan (XY).

[0037] Soit L l'épaisseur de l'aimant, E l'entrefer, C_x et C_y les courses du capteur dans les deux dimensions et d_x et d_y les distances de pôle à pôle suivant les 2 axes.

[0038] On conseillera d'utiliser un rapport L/E compris entre 1 et 2.

[0039] Si l'on prend pour dimensions de l'aimant ($C_x + E + d_x$) et ($C_y + E + d_y$) et pour dimensions minimales des pôles statoriques ($C_x + E$) et ($C_y + E$) dans le plan de mesure, la linéarité de la force en fonction du courant sera effective sur les deux axes.

[0040] Une autre architecture de cet actionneur peut être imaginée selon la variante représentée en figures 4 et 5.

[0041] L'actionneur est alors composé des parties fonctionnelles suivantes:

- 1 aimant plat (14), de forme rectangulaire, composé d'une nuance d'aimant isotrope ou axialement anisotrope. Dans ce dernier cas, le sens de l'anisotropie devra être perpendiculaire à la surface des pôles. Il sera aimanté dans cette même direction.
- 1 stator X (20) en matériau magnétique à haute perméabilité composé d'une base plane (23) et de 2 pôles (21, 22) de section rectangulaire.
- 1 stator Y (28) composé d'une base plane (25) et de 2 pôles (26, 27) aux propriétés analogues au stator X. Ces deux pôles (26, 27) sont orientés perpendiculairement aux pôles (21, 22) du stator X
- 2 bobines X (31, 32), chacune entourant l'un des pôles (21, 22) du stator X
- 2 bobines Y (36, 37), chacune entourant l'un des pôles (26, 27) du stator Y.

[0042] Les bobines sont des bobines plates entourant chacun des pôles statoriques.

[0043] Eventuellement un support d'aimant venant entourer l'aimant pour transmettre l'effort - ou le déplacement - fourni à une pièce externe.

[0044] Le stator X et le stator Y sont disposés de part et d'autre de l'entrefer principal dans lequel est placé l'aimant (14). Les pôles (21, 22) du stator X sont orientés perpendiculairement aux pôles (26, 27) du stator Y, afin d'entraîner l'aimant mobile dans les deux directions perpendiculaires et d'assurer un déplacement bidirectionnel de l'organe auquel il est accouplé.

[0045] Le fonctionnement de cette version peut être expliqué de la manière suivante :

[0046] Si l'on impose un courant i_1 dans la bobine (31) et un courant i_2 dans la bobine (32), on crée une différence de potentiel suivant l'axe X et on crée donc une force F_x suivant l'axe X proportionnelle à la différence de potentiel magnétique créée.

[0047] De la même façon, si l'on impose un courant i_3 dans la bobine (36) et un courant i_4 dans la bobine (37), on crée une force F_y proportionnelle à la différence de potentiel magnétique, colinéaire à l'axe Y.

[0048] En conjuguant le pilotage des courants dans les bobines (X) et dans les bobines (Y) indépendamment les unes des autres, on pourra créer une force réglable en amplitude et en direction dans le plan XY.

[0049] les figures 6 et 7 représentent des vues sché-

matiques respectivement en vue transversale, et de la partie statorique d'une première variante de réalisation sous la forme d'un actionneur linéaire XY. Cette variante de l'actionneur présente l'avantage de ne nécessiter qu'une seule bobine par axe.

[0050] L'actionneur est alors composé des parties fonctionnelles suivantes:

- 1 aimant plat (14) composé d'une nuance d'aimant isotrope ou axialement anisotrope. Dans ce dernier cas, le sens de l'anisotropie devra être perpendiculaire à la surface des pôles. Il sera aimanté dans cette même direction.
- 1 culasse (40) constitué par une plaque en un matériau magnétique à haute perméabilité
- 1 stator (41) composé de 4 pôles (42 à 45) de section rectangulaire reliés par des noyaux autour desquels seront enroulées les bobines (46, 47). Il sera également réalisé en matériau magnétique à haute perméabilité. Il est constitué dans l'exemple décrit par un bloc parallélépipédique, présentant des rainures médianes perpendiculaires pour le positionnement des bobines et délimitant les pôles statoriques (42 à 45)
- 2 bobines croisées (46, 47), entourant le stator (41) dans deux directions perpendiculaires.

[0051] Eventuellement un support d'aimant venant entourer l'aimant pour transmettre l'effort ou le déplacement fourni à une pièce externe.

[0052] Le fonctionnement de cette version peut être expliqué de la manière suivante :

[0053] Si l'on impose un courant i_l dans la bobine (46), on crée une différence de potentiel suivant l'axe X et on crée donc une force F_x suivant l'axe X proportionnelle à la différence de potentiel magnétique créée, donc au courant i_l .

[0054] De la même façon, si l'on impose un courant i_2 dans la bobine (47), on crée une force F_y proportionnelle à la différence de potentiel magnétique et donc au courant i_2 , colinéaire à l'axe Y.

[0055] On comprend alors aisément qu'en conjuguant le pilotage des courants dans les bobines (46) et dans les bobines (47) indépendamment l'une de l'autre, on pourra créer une force réglable en amplitude et en direction dans le plan XY.

[0056] Cette variante peut être également réalisée en symétrique, c'est-à-dire en remplaçant la culasse par un ensemble stator + bobines. On augmentera alors l'amplitude de la force créée.

[0057] On peut également réaliser le stator en plusieurs parties distinctes, par exemple en séparant les pôles. On peut alors obtenir une version sans noyau de bobine ferromagnétique ou dotée de noyaux de bobine indépendants, ce qui permettrait de faciliter le bobinage.

[0058] Cette variante peut elle aussi être réalisée en version symétrique.

[0059] Les figures 8 et 9 représentent une variante

d'un actionneur cylindrique $x-\theta$, respectivement sans et avec l'aimant. Plusieurs versions peuvent être imaginées. L'actionneur présente une structure cylindrique, comprenant donc une zone à l'intérieur de l'aimant et une zone à l'extérieur de ce même aimant. Cette structure remplit deux fonctions à assurer : fonction d'actionneur rotatif et d'actionneur linéaire. Les solutions définies ci-après seront définies par la situation (« intérieur » ou « extérieur ») de chacune de ces fonctions. De façon générale, l'actionneur comprend une structure statorique présentant quatre pôles (51 à 54) en forme de demi-cylindres et un aimant tubulaire (55).

[0060] La description qui suit présentera d'abord un actionneur de type « Linéaire et rotatif intérieurs ».

[0061] Une première solution est décrite en figures 10 à 12 : elle consiste en l'utilisation d'un stator interne cylindrique composé de quatre pôles identiques. Deux bobines sont entourées autour de chacun de ces pôles.

[0062] L'actionneur est alors composé des parties fonctionnelles suivantes:

- 1 demi-aimant bague (60) composé d'une nuance d'aimant isotrope ou radialement anisotrope, aimanté radialement. Celui-ci pourra être indépendant ou collé à la culasse (61)
- 1 culasse bague (61) en matériau magnétique à haute perméabilité
- 1 stator composé de 4 pôles (62 à 65) de forme extérieure cylindrique reliés par des noyaux (70, 71) autour desquels seront enroulées les bobines (66 à 69). Il sera également réalisé en matériau magnétique à haute perméabilité. Selon les préférences de fabrication, il pourra être fait d'une seule pièce ou d'un assemblage de pièces ferromagnétiques
- 4 bobines (66 à 69), entourant le stator.

[0063] Le fonctionnement de cet actionneur peut être expliqué de la manière suivante:

[0064] Si l'on impose le même courant i_l dans les bobines (66) et (67) et un courant i_2 dans les bobines (68) et (69), on crée une différence de potentiel suivant l'axe X et on crée donc une force F_x suivant l'axe X proportionnelle à la différence de potentiel magnétique créée.

[0065] De la même façon, si l'on impose un courant i_3 dans les bobines (66) et (68) et un courant i_4 dans les bobines (67) et (69), on crée cette fois un moment de rotation MX sur l'aimant colinéaire à l'axe x et proportionnel à la différence de potentiel magnétique créée.

[0066] Cela étant établi, il en découle que la composition des dits courants nous permettra, par le principe de superposition, de créer tout ensemble « force - moment » de direction colinéaire à l'axe X.

[0067] En effet :

- si en alimentant (66) et (67) par un courant i_l et en alimentant (68) et (69) par un courant i_2 , on crée une force F_x
- si en alimentant (66) et (68) par un courant i_3 et en

alimentant (67) et (69) par un courant i_4 , on crée un moment M_x

[0068] Alors, en alimentant (66) par i_3 , (67) par i_4 , (68) par i_2+i_3 et (69) par i_2+i_4 , on crée une force F_x et un moment M_x

[0069] Cet actionneur permet donc de créer à la fois une force et un moment d'intensités réglables, tous deux colinéaires à l'axe X.

[0070] Les figures 13 à 16 représentent une deuxième solution d'un actionneur linéaire-rotatif.

[0071] Cette deuxième solution consiste à remplacer 2 des 4 bobines de la solution précédente par une bobine montée sur l'axe principal du mécanisme. Celle-ci, nommée (4L), assurera la partie « force axiale » et les 2 autres créeront le moment.

[0072] L'actionneur est alors composé des parties fonctionnelles suivantes:

- 1 demi-aimant bague (60) composé d'une nuance d'aimant isotrope ou radialement anisotrope, aimanté radialement. Celui-ci pourra être indépendant ou collé à la culasse.
- 1 culasse bague (61) en matériau magnétique à haute perméabilité
- 1 stator composé de 4 pôles (62 à 65) de forme extérieure cylindrique. Les demi-lunes situées en vis-à-vis radial sont reliés 2 à 2 par des noyaux (70, 71) autour desquels seront enroulées les bobines (4R). Les ensembles ainsi constitués seront reliés par un noyau axial (72) autour duquel sera enroulée la bobine (4L). Tous ces pôles seront également réalisés en matériau magnétique à haute perméabilité. Selon les préférences de fabrication, il pourra être fait d'une seule pièce ou d'un assemblage de pièces ferromagnétiques (cf. figure 16).
- 2 bobines longitudinales (4R)
- 1 bobine transversale (4L)

[0073] Eventuellement un support d'aimant venant entourer l'aimant pour transmettre l'effort - ou le déplacement - fourni à une pièce externe.

[0074] Le fonctionnement de cet actionneur peut être expliqué de la manière suivante:

[0075] Si l'on impose le courant i dans la bobine (4L), on crée une différence de potentiel magnétique suivant l'axe X: on crée donc une force F_x suivant l'axe X proportionnelle à la différence de potentiel magnétique créée.

[0076] De la même façon, si l'on impose un courant i_2 dans les bobines (4R), on crée cette fois un moment de rotation M_x sur l'aimant colinéaire à l'axe X et proportionnel à la différence de potentiel magnétique créée.

[0077] Cet actionneur permet donc de créer à la fois une force et un moment d'intensités réglables, tous deux colinéaires à l'axe X.

[0078] Les figures 17 à 19 représentent une troisième version d'un actionneur linéaire-rotatif. Le stator est for-

mé par une pièce cylindrique présentant 4 pôles (62 à 65) en forme de demi-cylindres. Dans cette solution, on remplace les 2 bobines précédemment notées (4R) par une seule et même bobine. On a alors en tout et pour tout 2 bobines croisées, comme l'illustrent les figures 17 à 19.

[0079] Le fonctionnement de cet actionneur peut être expliqué de la manière suivante:

[0080] Si l'on impose un courant i dans la bobine (4L), on crée une différence de potentiel magnétique suivant l'axe X: on crée donc une force F_x suivant l'axe X proportionnelle à la différence de potentiel magnétique créée.

[0081] De la même façon, si l'on impose un courant i_2 dans la bobine (4R), on crée cette fois un moment de rotation M_x sur l'aimant colinéaire à l'axe X et proportionnel à la différence de potentiel magnétique créée.

[0082] Cet actionneur permet donc de créer à la fois une force et un moment d'intensités réglables, tous deux colinéaires à l'axe X.

[0083] Une autre structure pourrait également être obtenue en scindant la bobine (4L) en 3 ou quatre bobines venant se monter de part et d'autre des pôles axiaux.

[0084] Les figures 20 et 21 représentent une variante de réalisation d'un actionneur de type « linéaire et rotatif extérieurs ».

[0085] Toutes les versions présentées dans cette partie sont en fait des versions homologues des versions présentées dans la partie précédente: on ne fait qu'inverser les parties intérieures et extérieures. Elles seront néanmoins présentées dans un souci de clarté.

[0086] Dans la version représentée en figures 20 et 21, on dispose de quatre bobines extérieures, chacune d'elles entourant un pôle.

[0087] L'actionneur est alors composé des parties fonctionnelles suivantes:

- 1 demi-aimant bague (80) composé d'une nuance d'aimant isotrope ou radialement anisotrope, aimanté radialement. Celui-ci pourra être indépendant ou collé à la culasse
- 1 culasse cylindrique (81) en matériau magnétique à haute perméabilité
- 1 stator composé de 4 pôles (82 à 85) de forme intérieure cylindrique reliés par une base commune. Il sera également réalisé en matériau magnétique à haute perméabilité. Selon les préférences de fabrication, il pourra être fait d'une seule pièce ou d'un assemblage de pièces ferromagnétiques.
- 4 bobines (86 à 89), entourant les pôles statoriques respectivement (82 à 85)

[0088] Eventuellement un support d'aimant venant entourer l'aimant pour transmettre l'effort - ou le déplacement - fourni à une pièce externe.

[0089] Cette version fonctionne de façon semblable à la version représentée en référence aux figures 10 à 12:

[0090] En effet, en alimentant (86) par i_1+i_3 , (87) par

$i1+i4$, (88) par $i2+i3$ et (89) par $i2+i4$, on crée une force F_x et un moment M_x

[0091] Cet actionneur permet donc de créer à la fois une force et un moment d'intensités réglables, tous deux colinéaires à l'axe X.

[0092] Les figures 22 et 23 représentent une deuxième version d'un actionneur de type « linéaire-rotatif ».

[0093] L'actionneur est alors composé des parties fonctionnelles suivantes:

- 1 demi-aimant bague (90) composé d'une nuance d'aimant isotrope ou radialement anisotrope, aimanté radialement. Celui-ci pourra être indépendant ou collé à la culasse.
- 1 culasse cylindrique (95) en matériau magnétique à haute perméabilité
- 1 stator composé de 4 pôles (91 à 94) et d'une structure (96) commune. Autour des pôles (91, 92) seront enroulées les bobines (4R) (97, 98). La bobine (4L) sera située entre les pôles comme montré sur la figure 22. Tous ces pôles (91 à 94) seront également réalisés en matériau magnétique à haute perméabilité. Selon les préférences de fabrication, l'ensemble pourra être fait d'une seule pièce ou d'un assemblage de pièces ferromagnétiques
- 2 bobines (4R)
- 1 bobine (4L)

[0094] Le fonctionnement de cet actionneur peut être expliqué de la manière suivante:

[0095] Si l'on impose le courant $i1$ dans la bobine (4L), on crée une différence de potentiel magnétique suivant l'axe X: on crée donc une force F_x suivant l'axe X proportionnelle à la différence de potentiel magnétique créée.

[0096] De la même façon, si l'on impose un courant $i2$ dans les bobines (4R), on crée cette fois un moment de rotation M_x sur l'aimant colinéaire à l'axe X et proportionnel à la différence de potentiel magnétique créée.

[0097] Cet actionneur permet donc de créer à la fois une force et un moment d'intensités réglables, tous deux colinéaires à l'axe X.

[0098] Les bobines (4L) et (4R) sont représentées ici de forme rectangulaire pour faciliter la lecture du dessin, mais il va de soi qu'elles pourraient également, par exemple, prendre une forme cylindrique.

[0099] On peut également, dans le souci d'augmenter le couple, disposer de 4 bobines (4R), en en disposant 2 sur les 2 pôles statoriques non utilisés.

[0100] Les figures 24 et 25 représentent une troisième version d'un actionneur de type « linéaire-rotatif », présentant 2 bobines croisées. L'actionneur selon cette troisième version est composé des parties fonctionnelles suivantes :

- 1 demi-aimant bague (90) composé d'une nuance d'aimant isotrope ou radialement anisotrope, aimanté radialement. Celui-ci pourra être indépendant ou

collé à la culasse.

- 1 culasse cylindrique (95) en matériau magnétique à haute perméabilité
- 1 stator composé de 4 pôles (91 à 94) et d'une structure (96) commune. Autour de 2 d'entre eux sera enroulée la bobine (4R). La bobine (4L) sera située entre les pôles (91 à 94). Tous ces pôles seront également réalisés en matériau magnétique à haute perméabilité. Selon les préférences de fabrication, il pourra être fait d'une seule pièce ou d'un assemblage de pièces ferromagnétiques.
- 1 bobine (4R)
- 1 bobine (4L)

[0101] Eventuellement un support d'aimant venant entourer l'aimant pour transmettre l'effort - ou le déplacement - fourni à une pièce externe.

[0102] Le fonctionnement de cet actionneur peut être expliqué de la manière suivante:

[0103] Si l'on impose un courant $i1$ dans la bobine (4L), on crée une différence de potentiel magnétique suivant l'axe X: on crée donc une force F_x suivant l'axe X proportionnelle à la différence de potentiel magnétique créée.

[0104] De la même façon, si l'on impose un courant $i2$ dans la bobine (4R), on crée cette fois un moment de rotation M_x sur l'aimant colinéaire à l'axe X et proportionnel à la différence de potentiel magnétique créée.

[0105] Cet actionneur permet donc de créer à la fois une force et un moment d'intensités réglables, tous deux colinéaires à l'axe X.

[0106] Une autre structure pourrait également être obtenue en scindant la bobine (4L) en 3 ou quatre bobines venant se monter de part et d'autre des pôles axiaux, ou en ajoutant une deuxième bobine (4R), symétriquement à la première par rapport à l'axe.

[0107] Enfin, pour chacune de ces versions, une autre structure pourrait également être obtenue en multipliant la structure statorique par l'utilisation de plusieurs stators. On obtient ainsi une structure à plus de pôles extérieurs, avec plusieurs aimants, qui offre une course angulaire plus faible mais un couple plus important. On peut ainsi imaginer toute structure à $(2N)$ pôles radiaux écartés angulairement de $(360^\circ/2N)$, à N aimants.

[0108] La figure 26 représente une première version d'une variante de type « Linéaire intérieur, rotatif extérieur ». L'actionneur est alors composé des parties fonctionnelles suivantes:

- 1 demi-aimant bague (100) composé d'une nuance d'aimant isotrope ou radialement anisotrope, aimanté radialement. Celui-ci devra être indépendant des deux stators.
- 1 stator cylindrique en matériau magnétique à haute perméabilité, composé de deux pôles (101, 102) de même diamètre. La bobine (103) sera située entre ces deux pôles, autour d'un noyau ferromagnétique.
- 1 stator composé de 2 pôles (104, 105) et d'une

structure commune (108). Autour d'eux seront enroulées les bobines (106, 107). Ces pôles (104, 105) seront également réalisés en matériau magnétique à haute perméabilité. Selon les préférences de fabrication, ce stator pourra être fait d'une seule pièce ou d'un assemblage de pièces ferromagnétiques.

- 1 bobine (106)
- bobine (107)

[0109] Eventuellement un support d'aimant venant entourer l'aimant pour transmettre l'effort - ou le déplacement - fourni à une pièce externe.

[0110] Le fonctionnement de cet actionneur peut être expliqué de la manière suivante:

[0111] Si l'on impose un courant i_1 dans la bobine (103), on crée une différence de potentiel magnétique suivant l'axe X: on crée donc une force F_x suivant l'axe X proportionnelle à la différence de potentiel magnétique créée.

[0112] De la même façon, si l'on impose un courant i_2 dans les bobines (106, 107), on crée cette fois un moment de rotation M_x sur l'aimant colinéaire à l'axe X et proportionnel à la différence de potentiel magnétique créée.

[0113] Cet actionneur permet donc de créer à la fois une force et un moment d'intensités réglables, tous deux colinéaires à l'axe X.

[0114] Une autre structure pourrait également être obtenue en multipliant la structure statorique extérieure suivant la figure 27. On obtient ainsi une structure à plus de pôles extérieurs (110, 111, 112, 113), avec plusieurs aimants (115, 116), qui offre une course angulaire plus faible mais un couple plus important. On peut ainsi imaginer toute structure à (2N) pôles radiaux. Ce principe de multiplication pourra également être appliqué à chaque structure cylindrique décrite dans ce texte.

[0115] Une autre structure pourrait également être obtenue en n'utilisant qu'une seule bobine pour la création d'un moment de rotation. Les figures 28 et 29 représentent des vues de trois quart face et en coupe d'une telle version. Celle-ci consiste en un nouvel arrangement de la partie extérieure de l'actionneur permettant de n'avoir que 2 bobines. L'actionneur est alors composé des parties fonctionnelles suivantes:

- 1 demi-aimant bague (120) composé d'une nuance d'aimant isotrope ou radialement anisotrope, aimanté radialement. Celui-ci devra être indépendant des deux stators.
- 1 stator cylindrique en matériau magnétique à haute perméabilité, composé de deux pôles (121, 122) de même diamètre. La bobine (125) sera située autour de ce stator, entre les 2 pôles (121, 122).
- 1 stator composé de 2 pôles (123, 124) et d'une structure commune. La bobine (126) entoure ce stator, entre les 2 pôles (123, 124). Ces pôles seront également réalisés en matériau magnétique à haute perméabilité. Selon les préférences de fabrication, ce stator pourra être fait d'une seule pièce ou d'un

assemblage de pièces ferromagnétiques.

- 1 bobine (125)
- 1 bobine (126)

[0116] Eventuellement un support d'aimant venant entourer l'aimant pour transmettre l'effort - ou le déplacement - fourni à une pièce externe.

[0117] Le fonctionnement de cet actionneur peut être expliqué de la manière suivante:

[0118] Si l'on impose un courant i_1 dans la bobine (125), on crée une différence de potentiel magnétique suivant l'axe X: on crée donc une force F_x suivant l'axe x proportionnelle à la différence de potentiel magnétique créée.

[0119] De la même façon, si l'on impose un courant i_2 dans la bobine (126), on crée cette fois un moment de rotation M_x sur l'aimant colinéaire à l'axe X et proportionnel à la différence de potentiel magnétique créée.

[0120] Cet actionneur permet donc de créer à la fois une force et un moment d'intensités réglables, tous deux colinéaires à l'axe X.

[0121] Les figures 30 et 31 décrivent un actionneur de type « Linéaire extérieur, rotatif intérieur ».

[0122] L'actionneur est composé des parties fonctionnelles suivantes:

- 1 demi-aimant bague (140) composé d'une nuance d'aimant isotrope ou radialement anisotrope, aimanté radialement. Celui-ci devra être indépendant des deux stators.
- 1 stator cylindrique en matériau magnétique à haute perméabilité, composé de deux pôles (141, 142) de même diamètre. La bobine (143) sera située entre les 2 pôles.
- 1 stator (2R) composé de 2 pôles (144, 145) et d'un noyau commun. La bobine (146) sera située entouré autour de ce noyau, entre les 2 pôles (144, 145). Ces pôles seront également réalisés en matériau magnétique à haute perméabilité
- 1 bobine (143)
- 1 bobine (146)

[0123] Eventuellement un support d'aimant venant entourer l'aimant pour transmettre l'effort - ou le déplacement - fourni à une pièce externe.

[0124] Le fonctionnement de cet actionneur peut être expliqué de la manière suivante:

[0125] Si l'on impose un courant i_1 dans la bobine (143), on crée une différence de potentiel magnétique suivant l'axe X: on crée donc une force F_x suivant l'axe X proportionnelle à la différence de potentiel magnétique créée.

[0126] De la même façon, si l'on impose un courant i_2 dans la bobine (146), on crée cette fois un moment de rotation M_x sur l'aimant colinéaire à l'axe x et proportionnel à la différence de potentiel magnétique créée.

[0127] Cet actionneur permet donc de créer à la fois une force et un moment d'intensités réglables, tous deux

colinéaires à l'axe X.

[0128] Notons qu'en réalisant le stator sous forme de quatre quarts de cylindres (150 à 153) autour desquels s'entourent 2 bobines (154, 155) (cf. Figure 32), on obtient une version 4 pôles en rotatif, de course réduite à moins de 90° mais fournissant un couple plus important. On aura alors 2 aimants de 90° de largeur angulaire.

[0129] Les figures 33 et 34 représentent des vues d'un actionneur sphérique α - β et de son stator.

[0130] Plusieurs versions peuvent être imaginées. Les solutions définies ci-après seront définies par la situation (« intérieur » ou « extérieur ») des deux fonctions (rotation autour de 2 axes) assurées par l'actionneur.

[0131] L'actionneur est composé des parties fonctionnelles suivantes:

- 1 demi-aimant sphérique (200) composé d'une nuance d'aimant isotrope ou radialement anisotrope, aimanté radialement. Celui-ci pourra être indépendant ou collé à la culasse, ainsi que montré sur la figure (33).
- 1 culasse sphérique creuse (201) en matériau magnétique à haute perméabilité
- 1 stator composé de 4 pôles (202 à 205) de forme extérieure sphérique reliés par des noyaux autour desquels seront enroulées les quatre bobines (206 à 209). Il sera également réalisé en matériau magnétique à haute perméabilité. Selon les préférences de fabrication, il pourra être fait d'une seule pièce ou d'un assemblage de pièces ferromagnétiques.
- 4 bobines (206 à 209), entourant le stator

[0132] Eventuellement un support d'aimant venant se fixer à l'aimant pour transmettre l'effort - ou le déplacement - fourni à une pièce externe.

[0133] Le fonctionnement de cet actionneur peut être expliqué de la manière suivante:

[0134] Si l'on impose le même courant i dans les bobines (206) et (208), on crée une différence de potentiel suivant une rotation autour de l'axe X et l'on crée donc un moment M_x suivant l'axe X proportionnel à la différence de potentiel magnétique créée.

[0135] De la même façon, si l'on impose un courant i_2 dans les bobines (207) et (209), on crée cette fois un moment de rotation M_y sur l'aimant colinéaire à l'axe Y et proportionnel à la différence de potentiel magnétique créée.

[0136] La composition des dits courants nous permettra, par le principe de superposition, de créer tout moment dont l'axe sera compris dans ce plan XY.

[0137] En effet :

En alimentant (206) et (208) par un courant i_1 , on crée un moment M_x

En alimentant (207) et (209) par un courant i_2 , on crée un moment M_y

[0138] Alors, en alimentant (206) et (208) par i_1 , (207)

et (209) par i_2 , on crée un moment M_x et un moment M_y .

[0139] Cet actionneur permet donc de créer des couples indépendants suivant deux axes orthogonaux.

[0140] La figure 35 représente une deuxième version d'un actionneur sphérique. L'actionneur est composé des parties fonctionnelles suivantes:

- 1 demi-aimant sphérique (210) composé d'une nuance d'aimant isotrope ou radialement anisotrope, aimanté radialement. Celui-ci pourra être indépendant ou collé à la culasse, ainsi que montré sur la figure (35).
- 1 culasse sphérique creuse (211) en matériau magnétique à haute perméabilité
- 1 stator composé de 4 pôles (212 à 215) de forme extérieure sphérique reliés par des noyaux autour desquels seront enroulées les bobines (216, 217). Il sera également réalisé en matériau magnétique à haute perméabilité. Selon les préférences de fabrication, il pourra être fait d'une seule pièce ou d'un assemblage de pièces ferromagnétiques.
- 2 bobines (216), et (217), croisées, entourant le stator

[0141] Eventuellement un support d'aimant venant se fixer à l'aimant pour transmettre l'effort - ou le déplacement - fourni à une pièce externe.

[0142] Le fonctionnement de cet actionneur peut être expliqué de la manière suivante:

[0143] Si l'on impose un courant i dans la bobine (216), on crée une différence de potentiel suivant une rotation autour de l'axe X et l'on crée donc un moment M_x suivant l'axe X proportionnel à la différence de potentiel magnétique créée.

[0144] De la même façon, si l'on impose un courant i_2 dans la bobine (217), on crée cette fois un moment de rotation M_y sur l'aimant colinéaire à l'axe Y et proportionnel à la différence de potentiel magnétique créée.

[0145] La composition des dits courants nous permettra, par le principe de superposition, de créer tout moment dont l'axe sera compris dans ce plan XY.

[0146] La figure 36 correspond à un autre arrangement de ce même système, plus facilement réalisable industriellement mais à plus faible course.

[0147] Les parties statoriques sont réalisées en forme de quart de secteur sphérique (220 à 223). Ils sont entourés par deux bobines (224, 225).

[0148] Les figures 37 et 38 représentent des vues d'un actionneur sphérique de type « Tout extérieur »:

[0149] Le principe de cette solution consiste à inverser l'architecture de l'actionneur précédent, en mettant la culasse et l'aimant à l'intérieur, les pôles statoriques à l'extérieur.

[0150] La première version de l'actionneur est composée des parties fonctionnelles suivantes:

- 1 aimant en forme de calotte sphérique (230) composé d'une nuance d'aimant isotrope ou radialement

anisotrope, aimanté radialement.

- 1 culasse sphérique (231) en matériau magnétique à haute perméabilité
- 1 stator composé de 4 pôles (232 à 235) de forme extérieure en quart de cylindre et de forme intérieure sphérique reliés par des noyaux autour desquels seront enroulées les bobines (236 à 239). Il sera également réalisé en matériau magnétique à haute perméabilité. Selon les préférences de fabrication, il pourra être fait d'une seule pièce ou d'un assemblage de pièces ferromagnétiques.
- 4 bobines (236 à 239), entourant le stator, 2 par axe de rotation

[0151] Eventuellement un support d'aimant venant se fixer à l'aimant pour transmettre l'effort - ou le déplacement - fourni à une pièce externe.

[0152] Le fonctionnement de cet actionneur est en tout point le même que celui du premier actionneur sphérique présenté dans ce texte.

[0153] Les figures 39 et 40 représentent une deuxième version d'un actionneur sphérique de type « tout extérieur ».

[0154] L'actionneur est composé des parties fonctionnelles suivantes:

- 1 aimant en forme de calotte sphérique (250) composé d'une nuance d'aimant isotrope ou radialement anisotrope, aimanté radialement.
- 1 culasse sphérique (251) en matériau magnétique à haute perméabilité
- 1 stator composé de 4 pôles (252 à 255) de forme intérieure sphérique reliés par des noyaux autour desquels seront enroulées les bobines (256, 257). Il sera également réalisé en matériau magnétique à haute perméabilité. Selon les préférences de fabrication, il pourra être fait d'une seule pièce ou d'un assemblage de pièces ferromagnétiques.
- 2 bobines (256, 257), entourant le stator, 1 par axe de rotation

[0155] Le fonctionnement de cet actionneur est en tout point le même que celui de l'actionneur sphérique présenté en figures 35 et 36.

[0156] Les figures 41 et 42 représentent des vues de trois quart face et en coupe partielle d'un actionneur hybride (intérieur & extérieur).

[0157] L'actionneur est composé des parties fonctionnelles suivantes:

- 1 aimant en forme de calotte sphérique (260) composé d'une nuance d'aimant isotrope ou radialement anisotrope, aimanté radialement. Celui-ci devra être indépendant des deux stators
- 1 stator intérieur, de formes extérieures sphériques, en matériau magnétique à haute perméabilité. Il présente 2 pôles (261, 262) reliés par un noyau autour duquel est enroulée la bobine (265).

- 1 stator extérieur composé de 2 pôles (263, 264) de forme intérieure sphérique reliés par un noyau autour duquel sera enroulée la bobine (266). Il sera également réalisé en matériau magnétique à haute perméabilité.

- 1 bobine (266), entourant le stator extérieur
- 1 bobine (265), entourant le stator intérieur

[0158] Eventuellement un support d'aimant venant se fixer à l'aimant pour transmettre l'effort - ou le déplacement - fourni à une pièce externe.

[0159] Le fonctionnement de cet actionneur peut être expliqué de la manière suivante:

[0160] Si l'on impose un courant i dans la bobine (266), on crée une différence de potentiel suivant une rotation autour de l'axe X et l'on crée donc un moment M_x suivant l'axe X proportionnel à la différence de potentiel magnétique créée.

[0161] De la même façon, si l'on impose un courant i_2 dans la bobine (265), on crée cette fois un moment de rotation M_y sur l'aimant colinéaire à l'axe Y et proportionnel à la différence de potentiel magnétique créée.

[0162] La composition des dits courants nous permettra, par le principe de superposition, de créer tout moment dont l'axe sera compris dans ce plan XY.

[0163] Chacun des systèmes électromagnétiques ci-dessus pourra être couplé avec des capteurs de position dimensionnels sans contact.

[0164] On obtiendra alors un ensemble « capteur - actionneur » permettant d'assurer deux fonctions dans un même volume et ainsi de travailler en boucle fermée.

[0165] Pour cela, on devra séparer les parties fer entre les pôles des stators (à savoir celles autour desquelles on vient entourer les bobines, généralement nommées « noyau » tout au long de ce brevet) au moyen d'une fente.

[0166] On viendra alors positionner dans la dite fente un élément sensible aux champs magnétiques (par exemple une sonde à effet Hall).

[0167] Les figures 43 et 44 illustrent l'application de ce principe sur un actionneur XY plan.

[0168] Le capteur de position permet de mesurer les variations de flux créées par un aimant mobile dans un entrefer.

[0169] Le stator est constitué de quatre parties rectangulaires (300 à 303) entourées par quatre bobines (310 à 313). Un aimant mince (305) aimanté transversalement est placé dans l'entrefer principal (307) formé entre le stator et la culasse (306). Quatre sondes de Hall (320 à 323) sont placées dans les entrefers secondaires entre les parties statoriques (300 à 303).

[0170] Dans l'architecture décrite, les sondes mesureront une variation de flux due et au déplacement de l'aimant et au courant circulant dans les bobines. Il nous faut donc « écarter » ce flux dû au courant. Cela pourra être fait de deux façons :

[0171] En mesurant le courant dans les bobines et en calculant le flux induit par le courant pour le soustraire à

la valeur mesurée. En effet, le flux total est la somme du flux dû au courant et du flux dû à l'aimant ($\Phi_t = \Phi_{ni} + \Phi_a = A.ni + \Phi_a$). En connaissant l'impédance A du circuit magnétique et le courant dans les bobines, on peut aisément calculer Φ_a . L'intensité peut être mesurée par tout moyen imaginable (en relevant par exemple la chute de tension aux bornes d'une résistance d'échantillonnage traversée par le dit courant).

[0172] En alternant les fonctions « capteur » et « actionneur ». Pendant un intervalle de temps donné, on alimentera les bobines afin de produire la force (ou le couple) désiré, et, pendant l'intervalle suivant, on supprimera l'alimentation des bobines pour ne plus mesurer que le flux dû à l'aimant. On aura ainsi une force intermittente qui pourra être utilisable pour des fonctions type joystick.

Revendications

1. Actionneur bidirectionnel comportant au moins une structure statorique excitée par au moins une bobine électrique, **caractérisé en ce qu'il** comprend un aimant mobile unique placé dans un entrefer principal et **en ce que** la structure statorique comprend au moins une bobine électrique, et est composée d'une première paire de pôles statoriques (1, 2) définissant entre eux un premier entrefer secondaire, pour le déplacement de l'aimant mobile unique (14) par rapport à un premier degré de liberté, et d'une deuxième paire de pôles statoriques (3, 4) définissant entre eux un deuxième entrefer secondaire, pour le déplacement de l'aimant mobile unique (14) par rapport à un deuxième degré de liberté.
2. Actionneur bidirectionnel selon la revendication 1 **caractérisé en ce que** l'aimant mobile est solidaire d'une culasse (25).
3. Actionneur bidirectionnel selon la revendication 1 ou 2 **caractérisé en ce que** la structure statorique est composée de 4 pôles en un matériau magnétique doux définissant entre eux deux paires d'entrefers secondaires se croisant en un point médian et **en ce que** l'entrefer principal (10) est plan.
4. Actionneur bidirectionnel selon la revendication 3 **caractérisé en ce que** les pôles statoriques sont constitués par 4 pièces rectangulaires entourées chacune par une bobine électrique et définissant entre elles deux paires d'entrefers secondaires perpendiculaires.
5. Actionneur bidirectionnel selon l'une au moins des revendications précédentes **caractérisé en ce que** le rapport L/E entre l'épaisseur L de l'aimant et l'épaisseur E de l'entrefer est compris entre 1 et 2.
6. Actionneur bidirectionnel selon l'une au moins des revendications précédentes **caractérisé en ce que** les dimensions des entrefers secondaires sont C_1+E et C_2+E , où C_1 et C_2 désignent la course de l'aimant mobile selon les deux directions des entrefers secondaires et **en ce que** les dimensions de l'aimant sont C_1+d_1+E et C_2+d_2+E , où d_1 et d_2 désignent les largeurs des entrefers secondaires.
7. Actionneur bidirectionnel selon la revendication 1 ou 2 **caractérisé en ce que** la structure statorique est composée de deux pièces statoriques disposées de part et d'autre de l'aimant, chacune des pièces statoriques présentant une paire de pôles statoriques, la paire de pôles statoriques de l'une des pièces étant orientée perpendiculairement à la paire de pôles statoriques de l'autre pièce statorique.
8. Actionneur bidirectionnel selon la revendication 1 ou 2 **caractérisé en ce que** l'aimant est de forme tubulaire et est mobile selon un premier degré de liberté en translation axiale et selon un second degré de liberté en rotation axiale par rapport à une structure statorique formée de 4 pôles statoriques en forme de portions de cylindres, présentant un premier entrefer secondaire dans le plan médian longitudinal, dans lequel est placé au moins une première bobine électrique entourant au moins un noyau ferromagnétique, et un deuxième entrefer secondaire dans le plan transversal, dans lequel est placée une deuxième bobine électrique entourant un noyau ferromagnétique.
9. Actionneur bidirectionnel selon la revendication 1 ou 2 **caractérisé en ce que** l'aimant est de forme tubulaire et est mobile selon un premier degré de liberté en translation axiale et selon un second degré de liberté en rotation axiale par rapport à une structure statorique cylindrique extérieure formée de 4 pôles statoriques présentant une surface concave définissant l'entrefer principal avec la culasse cylindrique placée à l'intérieur de l'aimant, chacun des quatre pôles statoriques étant entouré par une bobine électrique.
10. Actionneur bidirectionnel selon la revendication 1 ou 2 **caractérisé en ce que** l'aimant est de forme tubulaire et est mobile selon un premier degré de liberté en translation axiale et selon un second degré de liberté en rotation axiale par rapport à une structure statorique cylindrique constituée par une première pièce statorique extérieure pour le déplacement selon un premier degré de liberté, et une deuxième pièce statorique intérieure pour le déplacement selon un degré de liberté, chacune des pièces statoriques comportant au moins une bobine électrique d'excitation.

11. Actionneur bidirectionnel selon la revendication 1 ou 2 **caractérisé en ce que** l'aimant est de forme sphérique et est mobile en rotation sphérique par rapport à une structure statorique en forme de calotte sphérique formée de 4 pôles statoriques en forme de secteur de calotte, comportant deux bobines logées dans des rainures périphériques dont les plans médians sont perpendiculaires.
12. Actionneur bidirectionnel selon la revendication 1 ou 2 **caractérisé en ce que** l'aimant est de forme sphérique et est mobile en rotation sphérique par rapport à une structure statorique de forme tubulaire formée de 4 pôles statoriques en forme de quart de tube, entourés par une bobine électrique.
13. Actionneur bidirectionnel selon la revendication 11 **caractérisé en ce que** l'entrefer principal est de forme sphérique.
14. Actionneur bidirectionnel selon la revendication 1 ou 2 **caractérisé en ce que** l'aimant est de forme sphérique et est entouré par une culasse sphérique, et est mobile en rotation sphérique autour d'une structure statorique de forme sphérique ou demi-sphérique formée de 4 pôles statoriques en forme de quart ou de huitième de sphère.
15. Actionneur bidirectionnel selon la revendication 1 ou 2 **caractérisé en ce que** l'aimant est de forme sphérique et est entouré par une culasse formée de deux pièces en forme de demi-sphères ou de quart de sphère, et est mobile en rotation sphérique autour d'une structure statorique formé de deux pièces statoriques demi-sphériques.

Patentansprüche

1. Bidirektionales Stellglied, das mindestens eine Statorstruktur aufweist, die durch mindestens eine elektrische Spule erregt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** er einen einzelnen beweglichen Magneten umfasst, der in einem Hauptluftspalt positioniert ist und **dadurch**, dass die Statorstruktur mindestens eine elektrische Spule umfasst und aus einem ersten Statorpolpaar (1, 2) besteht, wobei zwischen den beiden Polen ein erster sekundärer Luftspalt definiert wird für die Verschiebung des einzelnen beweglichen Magneten (14) in Bezug auf einen ersten Freiheitsgrad und einem zweiten Statorpolpaar (3, 4), wobei zwischen den beiden Polen ein zweiter sekundärer Luftspalt definiert wird für die Verschiebung des einzelnen beweglichen Magneten (14) in Bezug auf einen zweiten Freiheitsgrad.
2. Bidirektionales Stellglied gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der bewegliche Ma-

gnet fest mit einem Joch (25) verbunden ist.

3. Bidirektionales Stellglied gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Statorstruktur aus 4 Polen aus einem weichen magnetischen Material besteht, wobei zwischen den Polen zwei Paar sekundäre Luftspalte definiert werden, die sich in einem Mittelpunkt kreuzen und **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hauptluftspalt (10) flach ist.
4. Bidirektionales Stellglied gemäß Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Statorpole aus 4 rechteckigen Teilen bestehen, wobei jeder Teil von einer elektrischen Spule umgeben ist und zwischen den Teilen zwei senkrechte sekundäre Luftspaltpaare definiert werden.
5. Bidirektionales Stellglied gemäß mindestens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verhältnis L/E zwischen der Dicke L des Magneten und der Dicke E des Luftspaltes zwischen 1 und 2 liegt.
6. Bidirektionales Stellglied gemäß mindestens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abmessungen der sekundären Luftspalte $C_1 + E$ und $C_2 + E$ betragen, wobei C_1 und C_2 die Strecke des beweglichen Magneten gemäß den beiden Richtungen der sekundären Luftspalte bestimmen und **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abmessungen des Magneten $C_1 + d_1 + E$ und $C_2 + d_2 + E$ betragen, wobei d_1 und d_2 die Breiten der sekundären Luftspalte bestimmen.
7. Bidirektionales Stellglied gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Statorstruktur aus zwei Statorteilen besteht, die auf den beiden Seiten des Magneten angeordnet sind, wobei jedes Statorteil ein Statorpolpaar aufweist und das Statorpolpaar eines der Teile senkrecht zu dem Statorpolpaar des anderen Statorteils gerichtet ist.
8. Bidirektionales Stellglied gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Magnet eine röhrenförmige Form aufweist und gemäß einem ersten Freiheitsgrad axial parallel verschoben werden kann und gemäß einem zweiten Freiheitsgrad axial gedreht werden kann in Bezug auf eine Statorstruktur, die aus 4 Statorpolen mit Zylinderform besteht, mit einem ersten sekundären Luftspalt in der mittleren Längsebene, in der mindestens eine erste elektrische Spule positioniert ist, die mindestens einen ferromagnetischen Kern umgibt und ein zweiter sekundärer Luftspalt in der Querebene, in der eine zweite elektrische Spule positioniert ist, die einen ferromagnetischen Kern umgibt.
9. Bidirektionales Stellglied gemäß Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet, dass der Magnet eine röhrenförmige Form aufweist und gemäß einem ersten Freiheitsgrad axial parallel verschoben werden kann und gemäß einem zweiten Freiheitsgrad axial gedreht werden kann in Bezug auf eine externe zylindrische Statorstruktur, die aus 4 Statorpolen gebildet wird und eine konkave Fläche aufweist, die den Hauptluftspalt bestimmt mit dem zylindrischen Joch, das sich in dem Magneten befindet, wobei jeder der vier Statorpole von einer elektrischen Spule umgeben ist.

10. Bidirektionales Stellglied gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Magnet eine röhrenförmige Form aufweist und gemäß einem ersten Freiheitsgrad axial parallel verschoben werden kann und gemäß einem zweiten Freiheitsgrad axial gedreht werden kann in Bezug auf eine zylindrische Statorstruktur, die von einem ersten externen Statorteil gebildet wird für die Verschiebung gemäß einem ersten Freiheitsgrad und einem zweiten internen Statorteil für die Verschiebung gemäß einem Freiheitsgrad, wobei jedes Statorteil mindestens eine elektrische Erregerspule aufweist.
11. Bidirektionales Stellglied gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Magnet eine kugelförmige Form aufweist und sphärisch gedreht werden kann in Bezug auf eine Statorstruktur in Form einer Kugelkappe, die aus 4 Statorpolen in Form eines Kappenausschnitts gebildet wird und zwei Spulen umfasst, die in Umfangsnuten angeordnet sind, deren Mittelebenen senkrecht zueinander sind.
12. Bidirektionales Stellglied gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Magnet eine kugelförmige Form aufweist und sphärisch gedreht werden kann in Bezug auf eine röhrenförmige Statorstruktur, die aus 4 Statorpolen in Form einer Viertelröhre gebildet wird, die von einer elektrischen Spule umgeben werden.
13. Bidirektionales Stellglied gemäß Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hauptluftspalt eine kugelförmige Form aufweist.
14. Bidirektionales Stellglied gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Magnet eine kugelförmige Form aufweist und von einem kugelförmigen Joch umgeben wird und um eine kugelförmige oder halb kugelförmige Statorstruktur, die aus 4 Statorpolen in Form einer Viertel- oder Achtelkugel besteht, herum sphärisch gedreht werden kann.
15. Bidirektionales Stellglied gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Magnet eine kugelförmige Form aufweist und von einem Joch um-

geben wird, das aus zwei Teilen in Form von Halb- oder Viertelkugeln gebildet wird und sphärisch um eine Statorstruktur, die aus zwei halbkugelförmigen Statorteilen besteht, herum sphärisch gedreht werden kann.

Claims

1. Two-directional actuator comprising at least one stator structure excited by at least one electrical coil, **characterised in that** it comprises a single mobile magnet placed in a main air gap and **in that** the stator structure comprises at least one electrical coil, and is composed of a first pair of stator poles (1, 2) defining a first secondary air gap between them, for displacement of the single mobile magnet (14) with respect to a first degree of freedom, and a second pair of the stator poles (3, 4) defining a second secondary air gap between them for displacement of the single mobile magnet (14) with respect to a second degree of freedom.
2. Two-directional actuator according to claim 1, **characterised in that** the mobile magnet is fixed to a yoke (25).
3. Two-directional actuator according to claim 1 or 2, **characterised in that** the stator structure is composed of four poles made of a soft magnetic material defining two pairs of secondary air gaps between them intersecting at a median point and **in that** the main air gap (10) is plane.
4. Two-directional actuator according to claim 3, **characterised in that** the stator poles are composed of 4 rectangular parts each surrounded by an electrical coil and defining two pairs of perpendicular secondary air gaps between them.
5. Two-directional actuator according to at least one of the previous claims, **characterised in that** the L/E ratio between the thickness L of the magnet and the thickness E of the air gap is between 1 and 2.
6. Two-directional actuator according to at least one of the previous claims, **characterised in that** the dimensions of the secondary air gaps are $C_1 + E$ and $C_2 + E$, where C_1 and C_2 denote the travel distance of the mobile magnet along the two directions of the secondary air gaps and **in that** the magnet dimensions are $C_1 + d_1 + E$ and $C_2 + d_2 + E$, where d_1 and d_2 denote the widths of the secondary air gaps.
7. Two-directional actuator according to claim 1 or 2, **characterised in that** the stator structure is composed of two stator parts arranged on each side of the magnet, each of the stator parts having a pair of

stator poles, the pair of stator poles of one of the parts being oriented perpendicular to the pair of stator poles of the other stator part.

8. Two-directional actuator according to claim 1 or 2, **characterised in that** the magnet is tubular in shape and is free to move along a first degree of freedom in axial translation and a second degree of freedom in axial rotation with respect to a stator structure formed by four static poles shaped like portions of cylinders, with a first secondary air gap in the median longitudinal plane, in which at least one first electrical coil is placed surrounding at least a ferromagnetic core, and a second secondary air gap is placed in the transverse plane in which a second electrical coil surrounding a ferromagnetic core is placed. 5 10 15
9. Two-directional actuator according to claim 1 or 2, **characterised in that** the magnet is tubular in shape and is free to move along a first degree of freedom in axial translation and a second degree of freedom in axial rotation with respect to an outer cylindrical stator structure formed by four static poles with a concave surface defining the main air gap with the cylindrical yoke placed inside the magnet, each of the four stator poles being surrounded by an electrical coil. 20 25
10. Two-directional actuator according to claim 1 or 2, **characterised in that** the magnet is tubular in shape and is free to move along a first degree of freedom in axial translation and along a second degree of freedom in axial rotation with respect to a cylindrical stator structure formed by a first outer stator part for displacement along a first degree of freedom, and a second inner stator part for displacement along a degree of freedom, each of the stator parts comprising at least one electrical excitation coil. 30 35
11. Two-directional actuator according to claim 1 or 2, **characterised in that** the magnet is spherical in shape and is free to move in spherical rotation about a stator structure shaped like a spherical cap formed from four stator poles shaped like a cap sector, comprising two coils housed in peripheral grooves, with perpendicular median planes. 40 45
12. Two-directional actuator according to claim 1 or 2, **characterised in that** the magnet is spherical in shape and is free to move in spherical rotation about a stator structure that is tubular in shape formed from four stator poles shaped like a quarter of a tube surrounded by an electrical coil. 50
13. Two-directional actuator according to claim 11, **characterised in that** the main air gap is spherical in shape. 55

14. Two-directional actuator according to claim 1 or 2, **characterised in that** the magnet is spherical in shape and is surrounded by a spherical yoke, and is free to move in spherical rotation about a spherical or hemi-spherical shaped stator structure formed from four stator poles shaped like a quarter or eighth of a sphere.

15. Two-directional actuator according to claim 1 or 2, **characterised in that** the magnet is spherical in shape and is surrounded by a yoke formed from two hemi-spherical or quarter spherical parts, and is free to move in spherical rotation about a stator structure formed from two hemi-spherical stator parts.

Fig.1

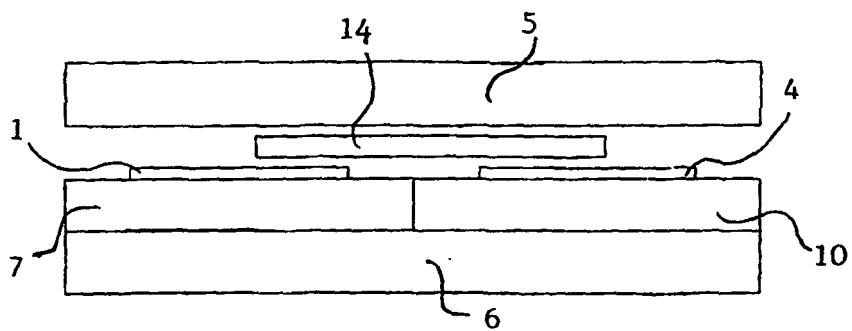
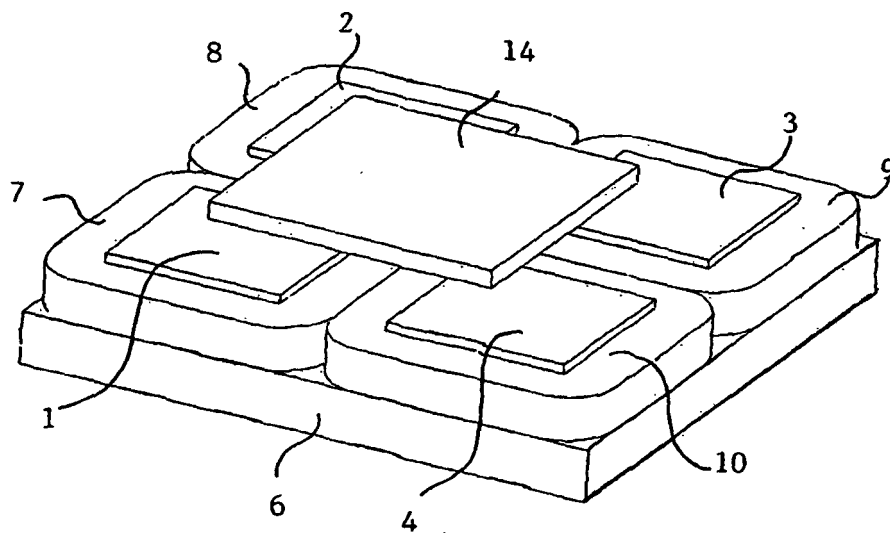


Fig.2



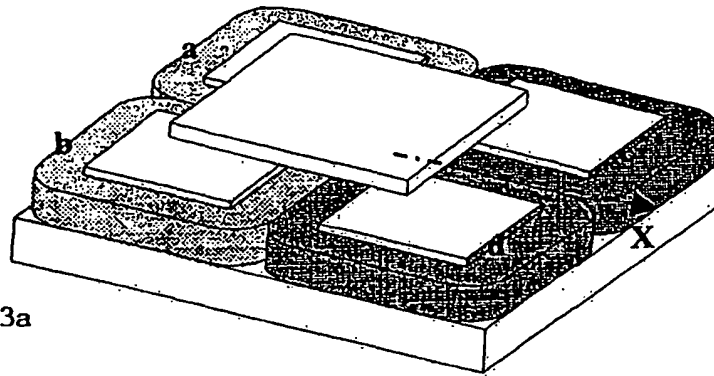


Fig. 3a

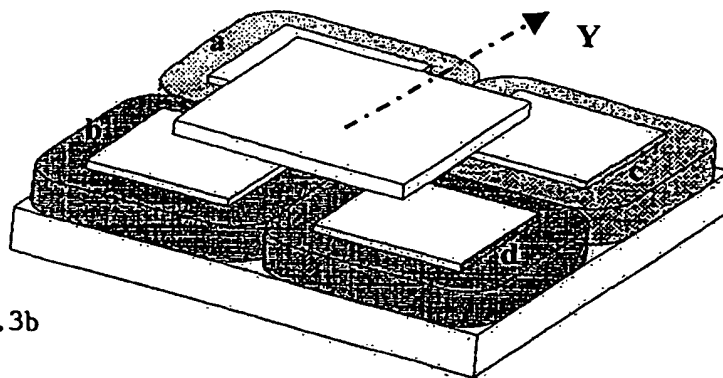


Fig. 3b

Fig. 4

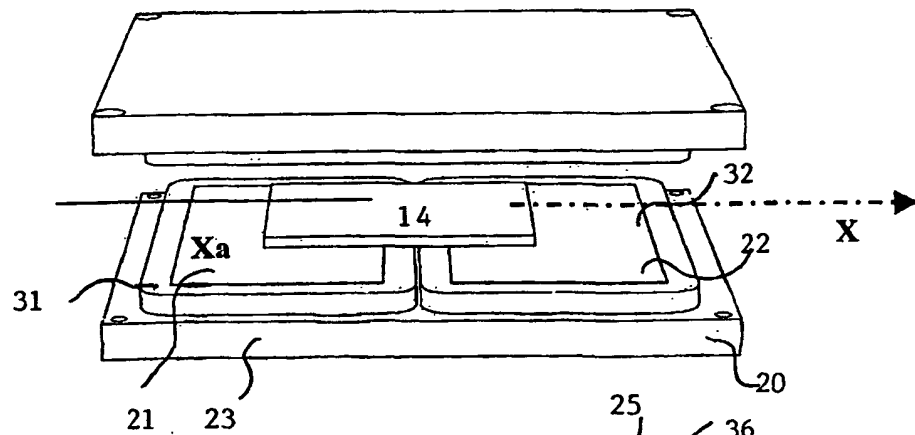
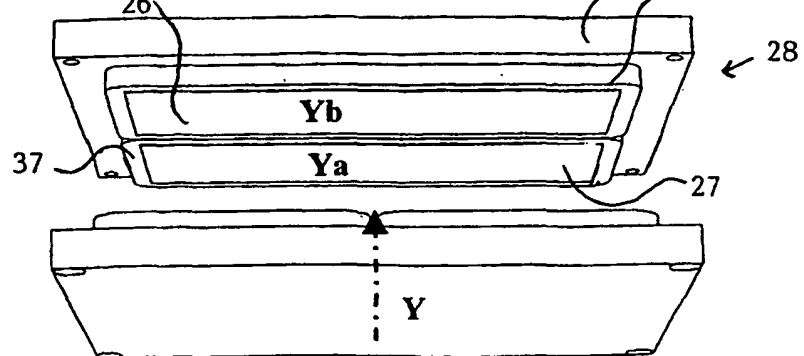


Fig. 5



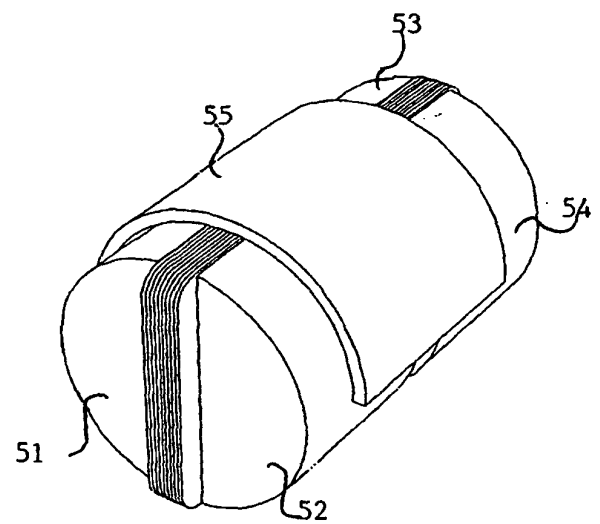
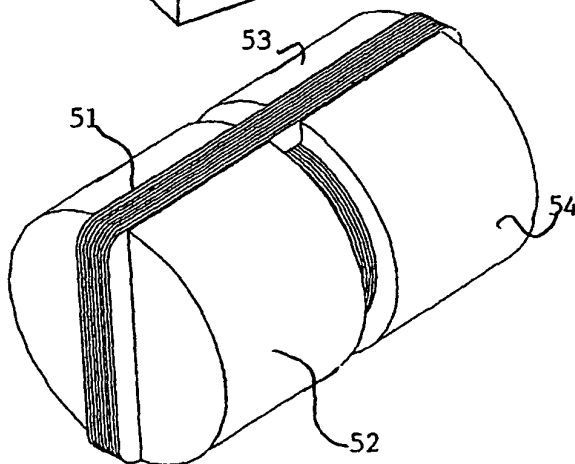
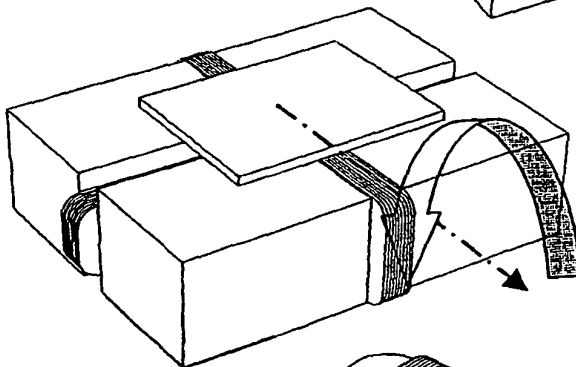
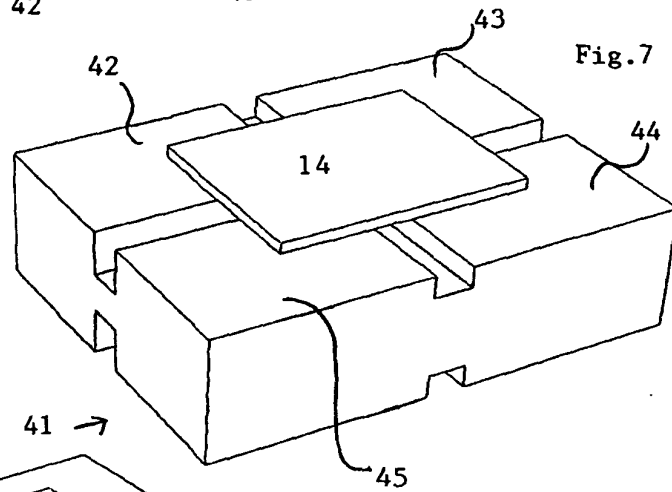
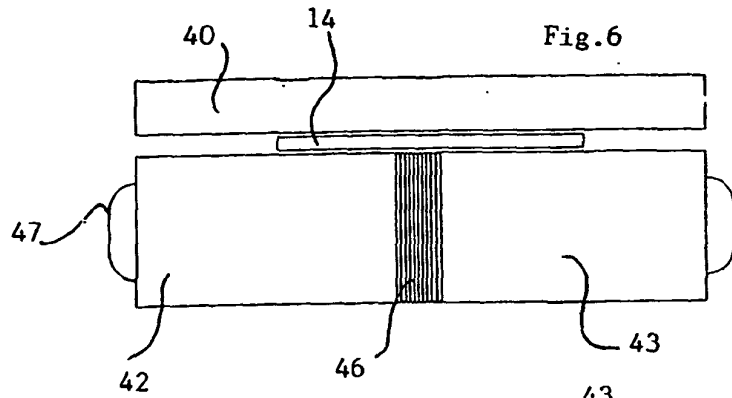


Fig.10

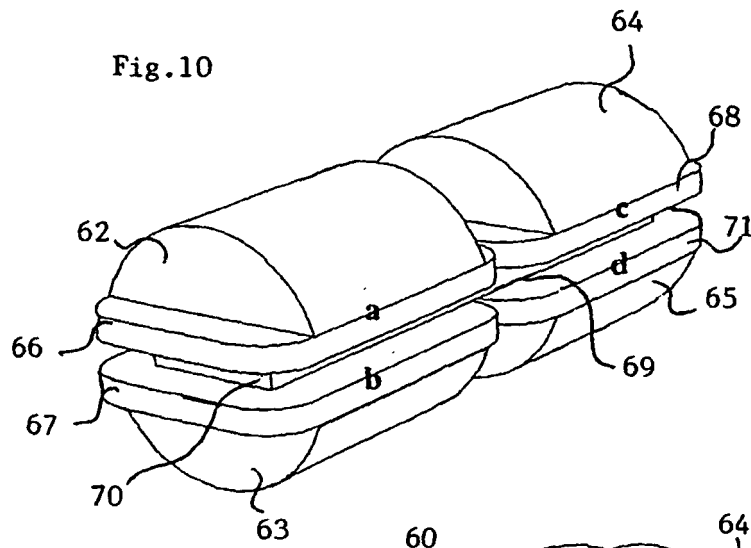


Fig.11

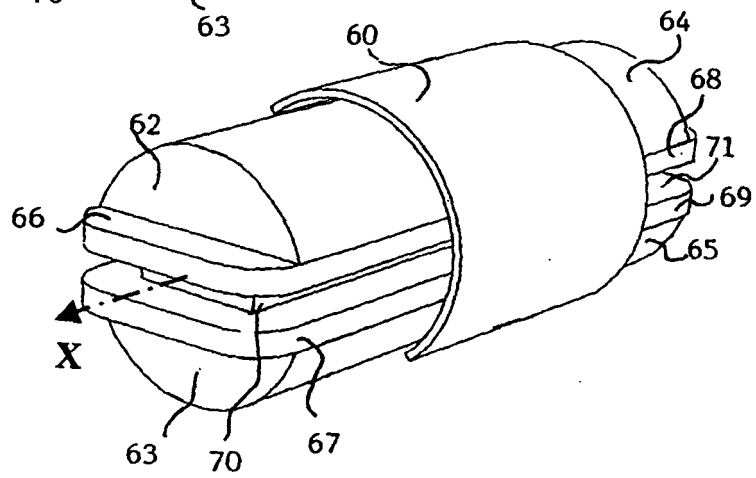


Fig.12

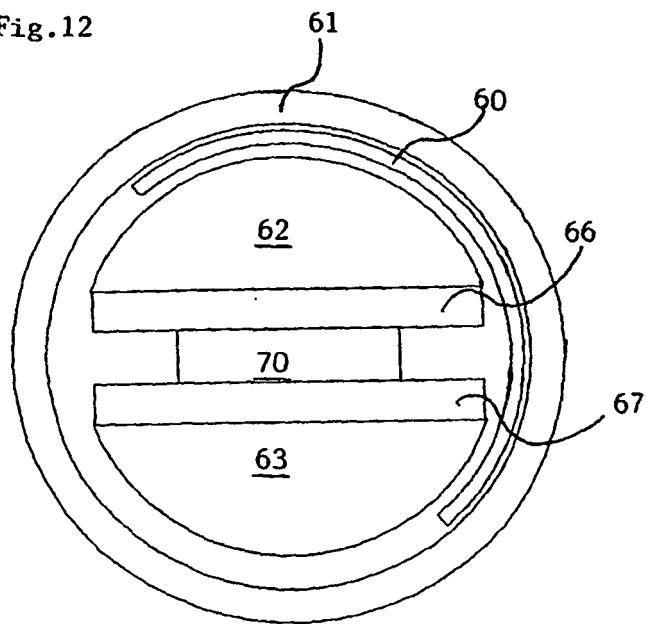


Fig.13

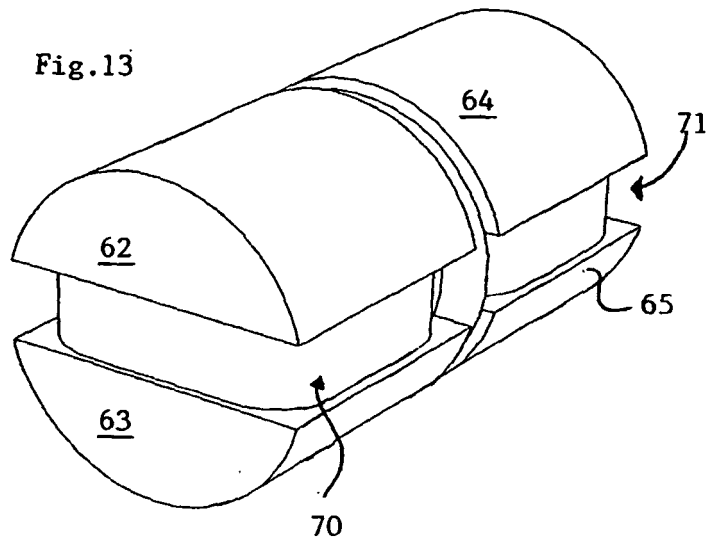


Fig.14

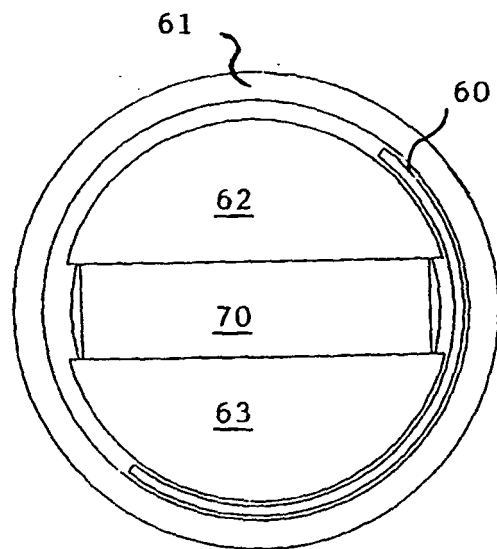
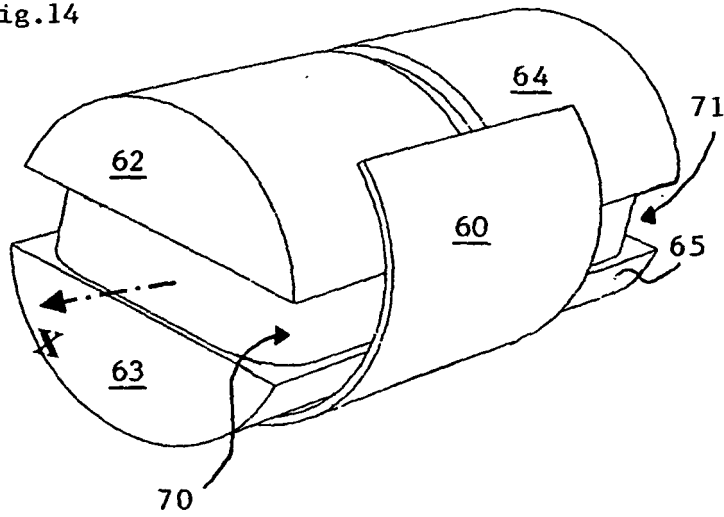


Fig.15

Fig.16

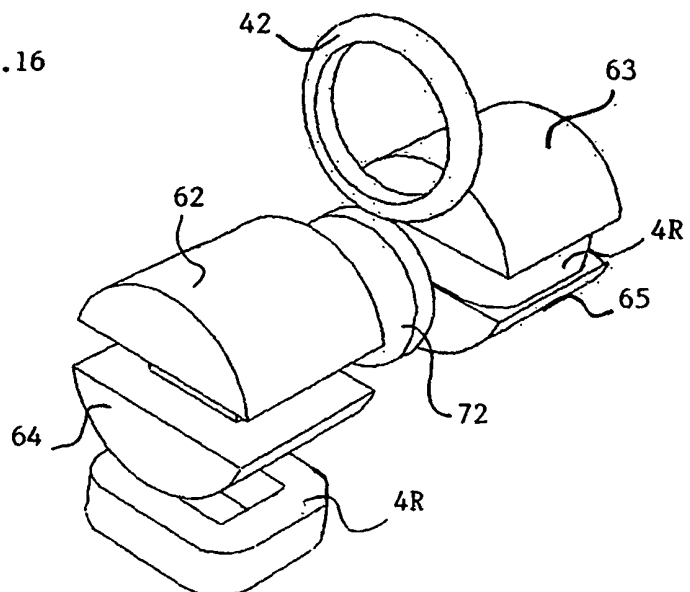


Fig.17

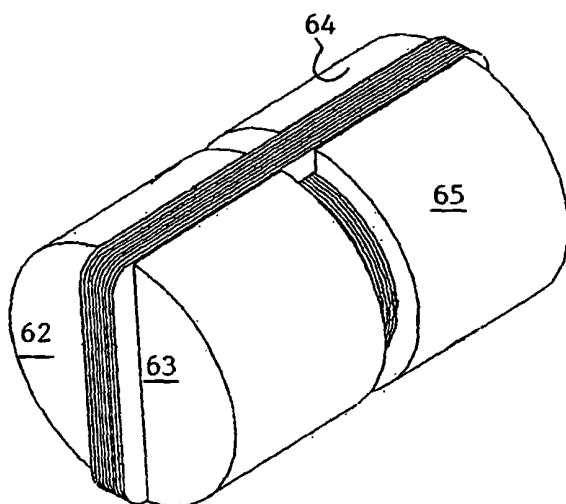


Fig.18

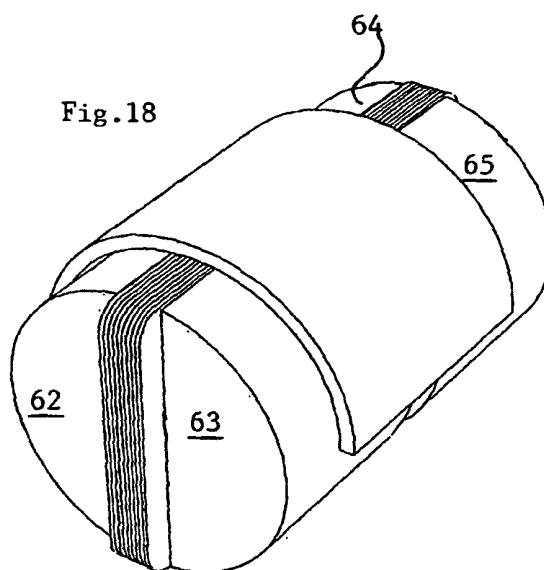
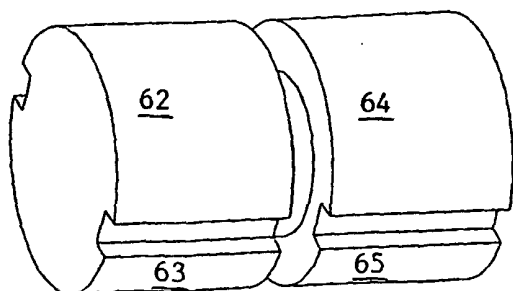


Fig.19



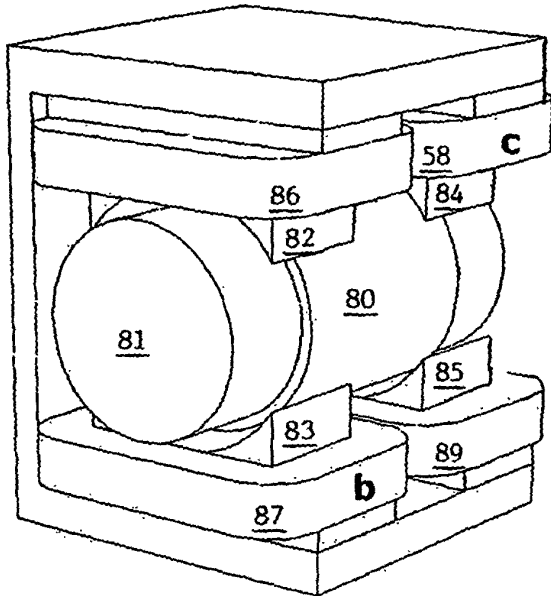


Fig. 20

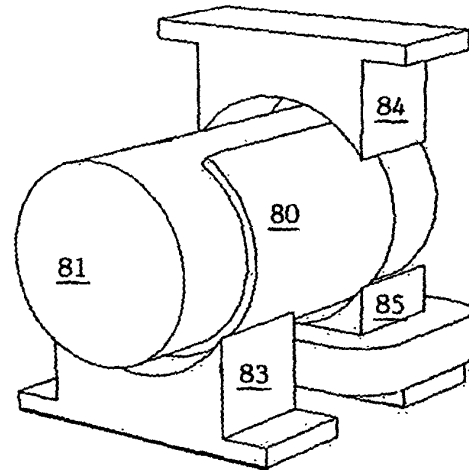


Fig. 21

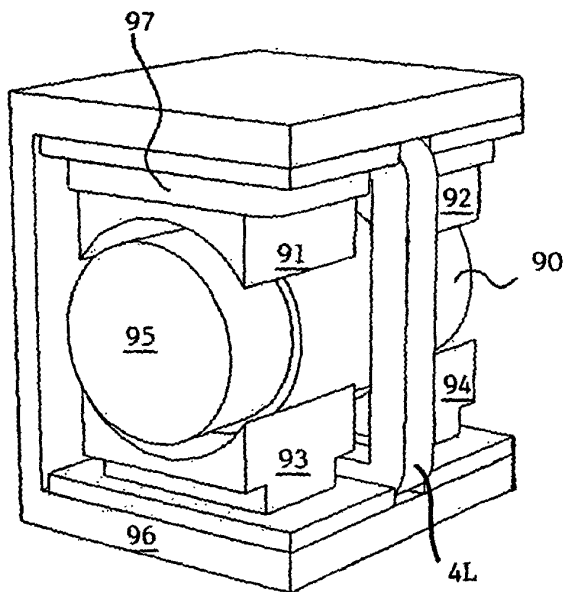


Fig. 22

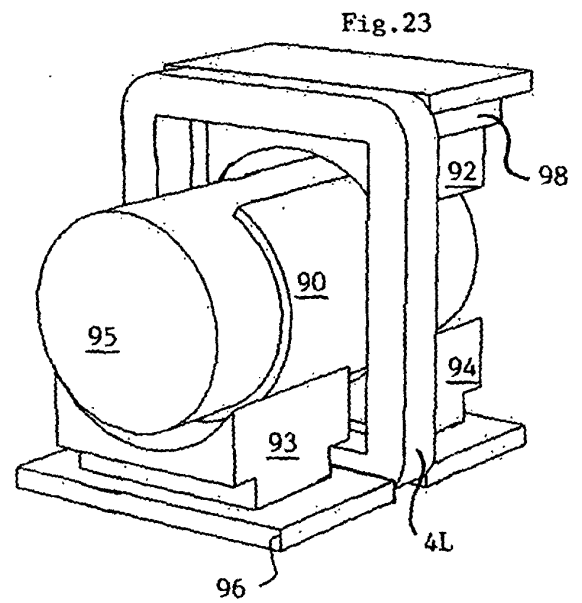


Fig. 23

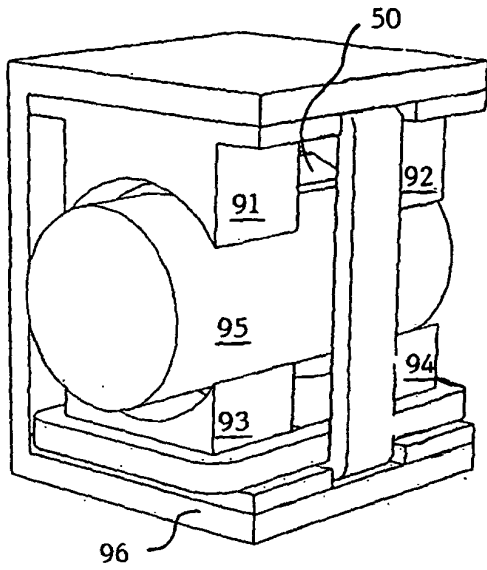


Fig. 24

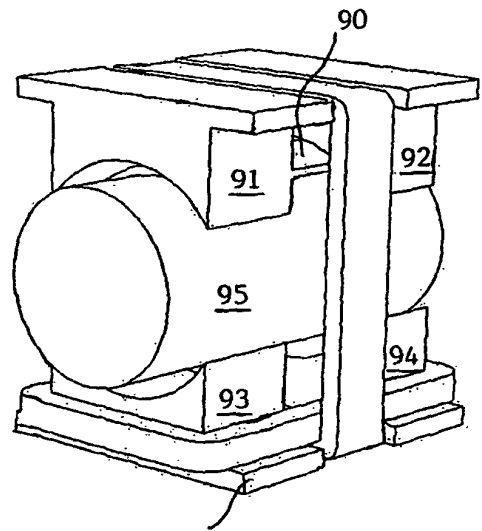


Fig. 25

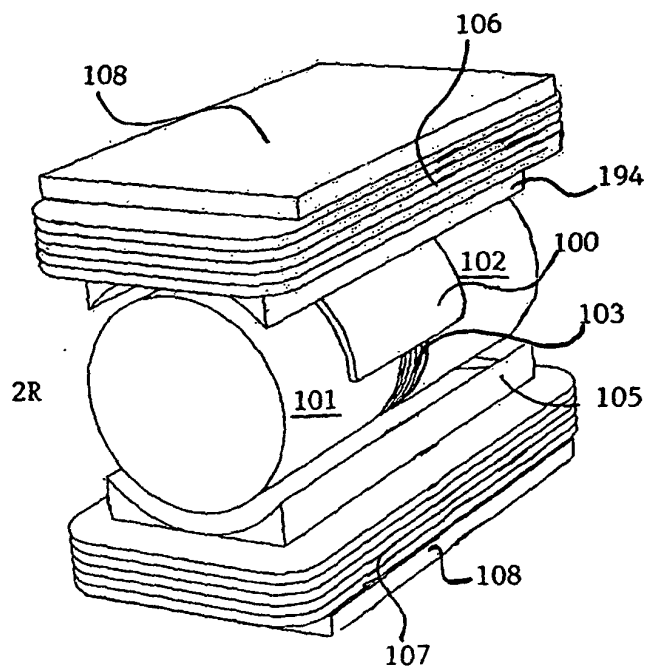


Fig. 26

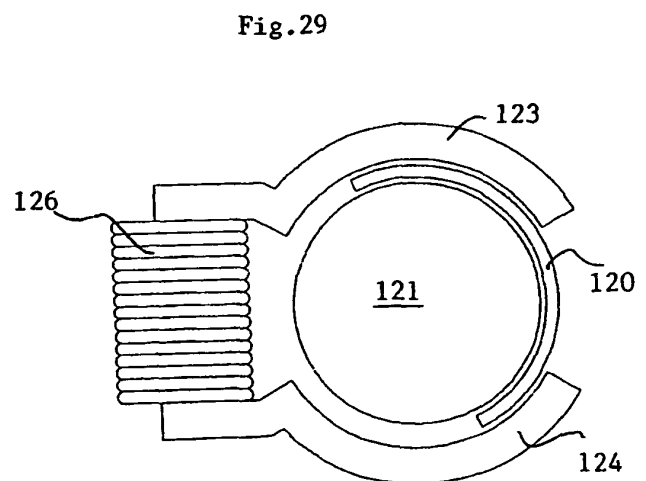
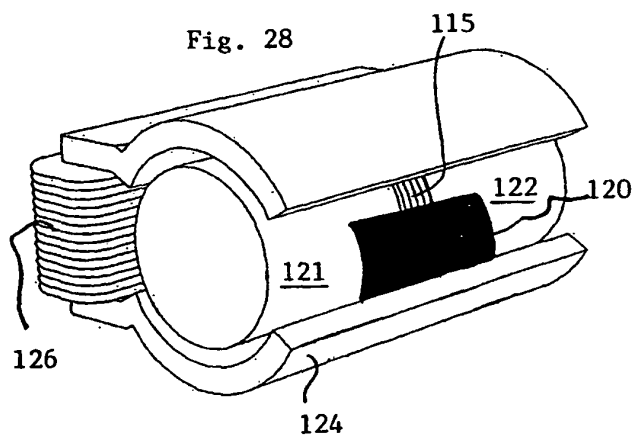
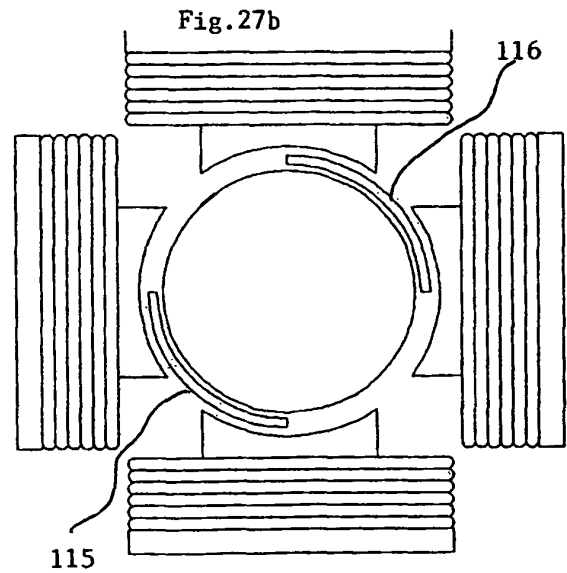
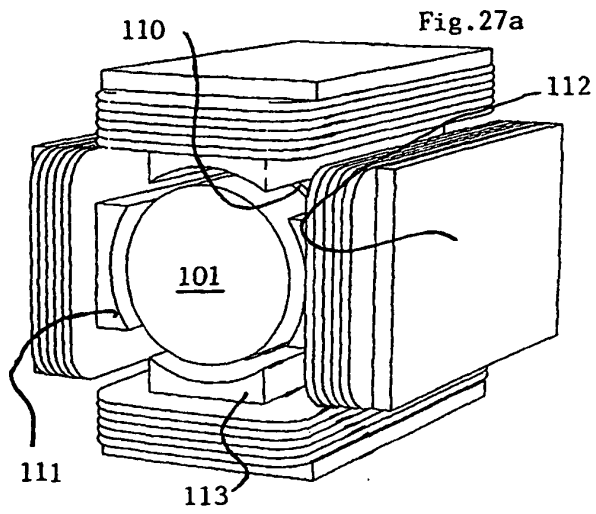


Fig.30

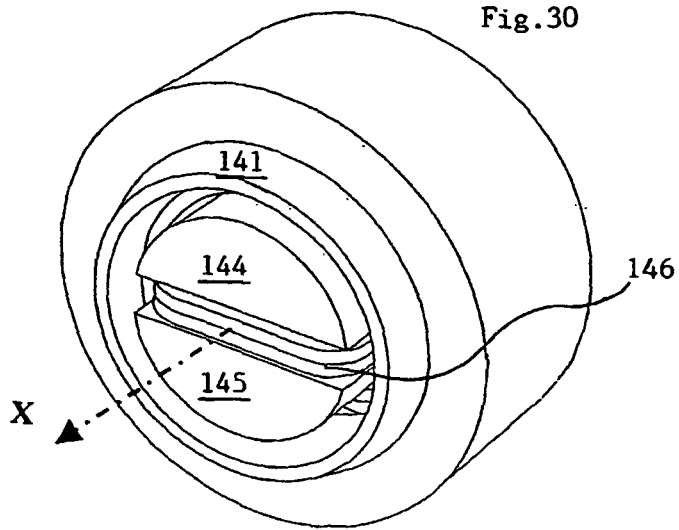


Fig.31

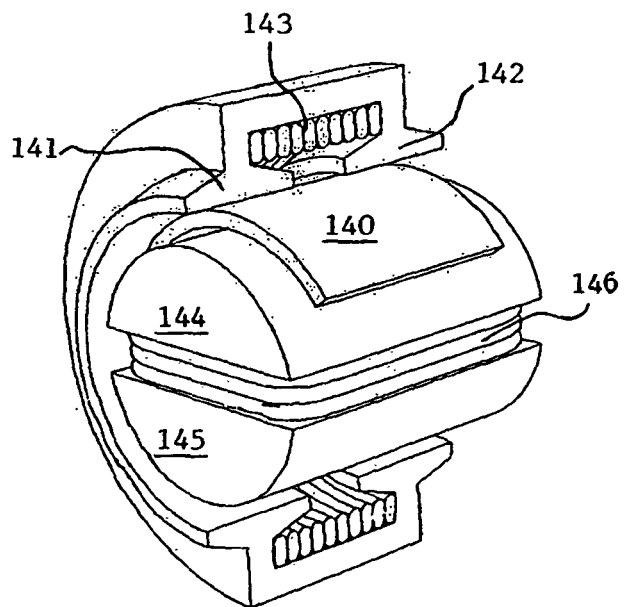
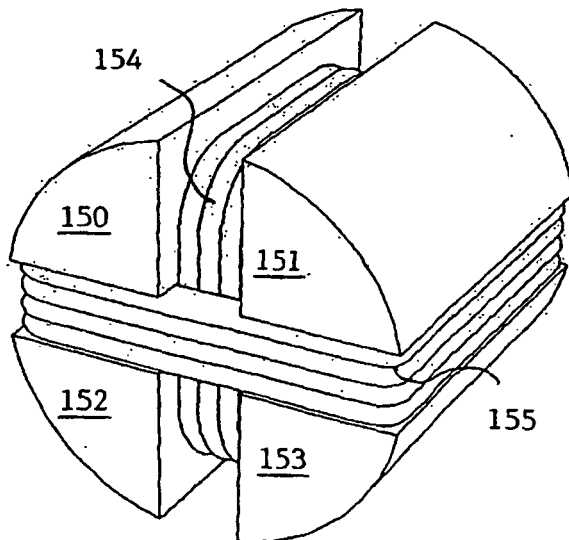


Fig.32



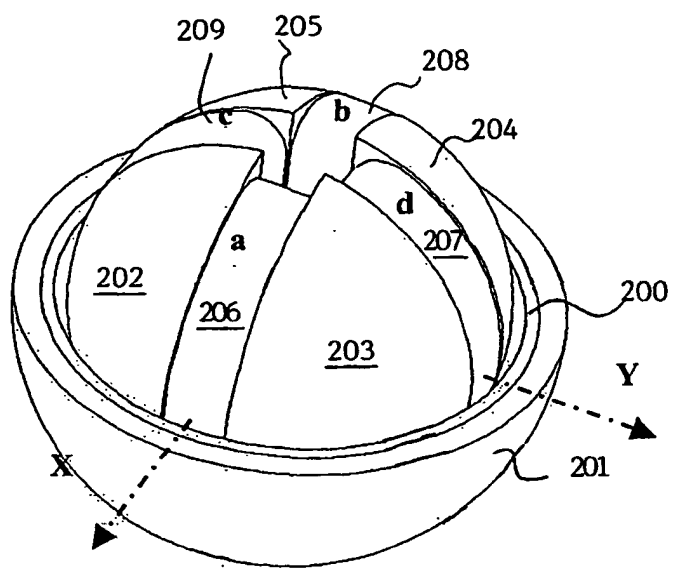


Fig.33

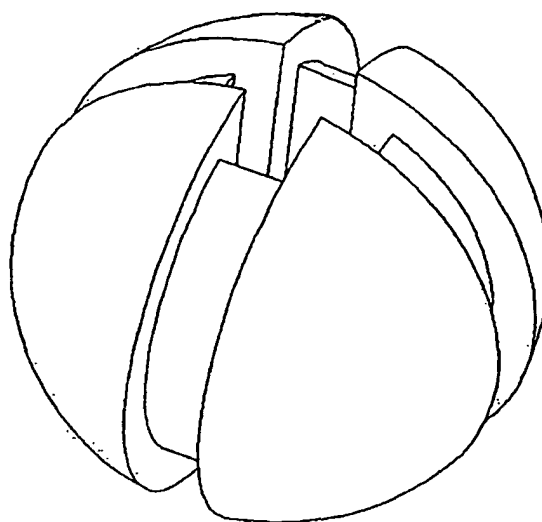


Fig.34

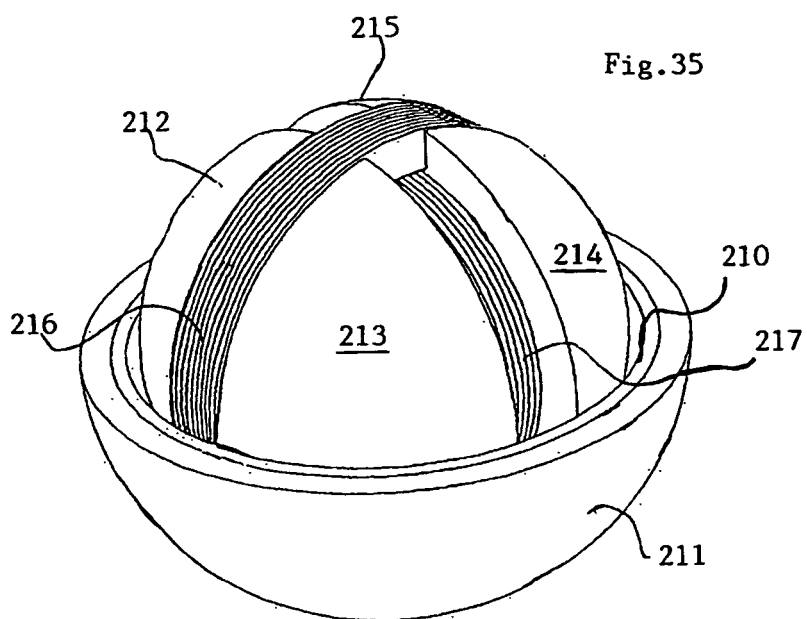
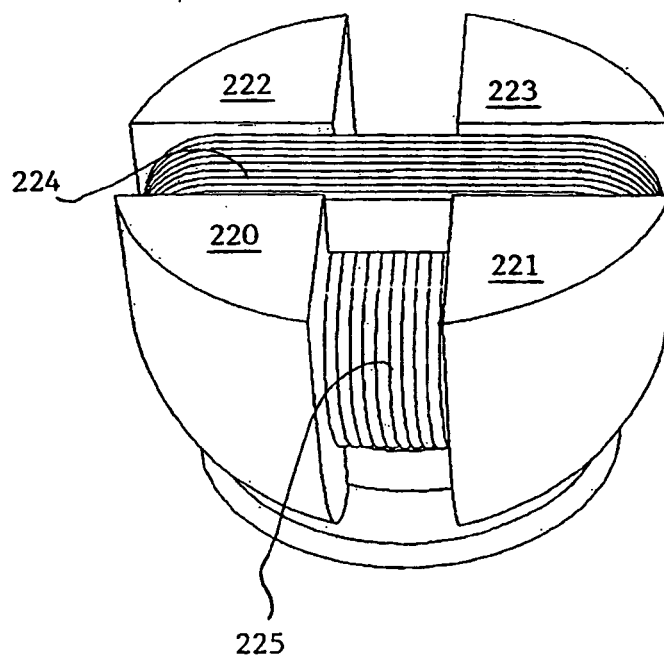


Fig.36



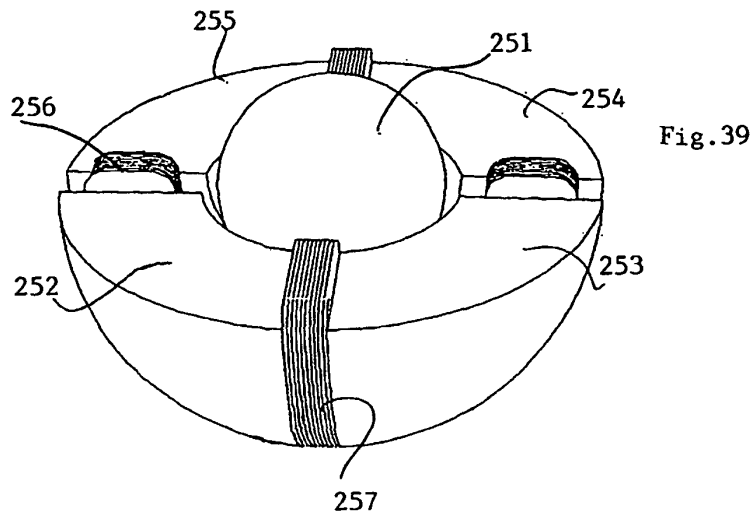


Fig. 40

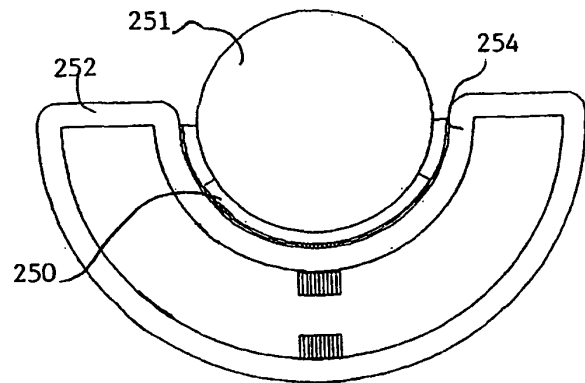


Fig. 41

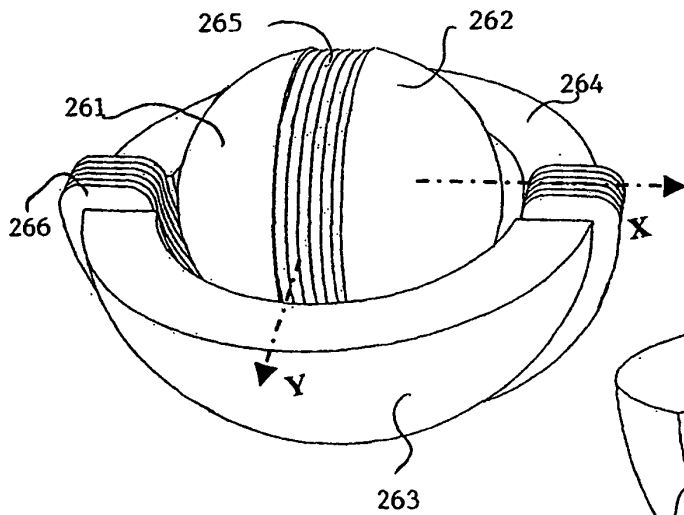


Fig. 42

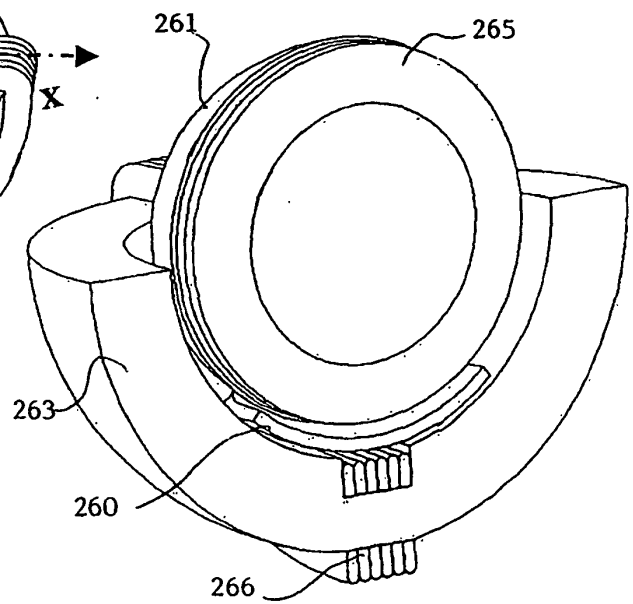


Fig.37

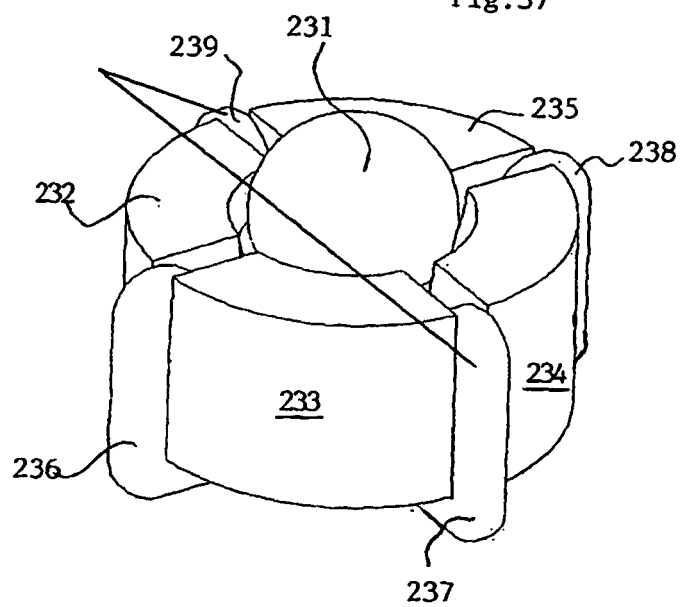


Fig.38

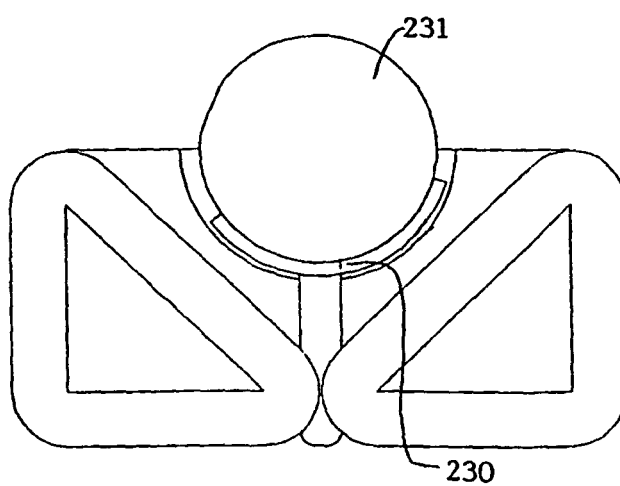


Fig.44

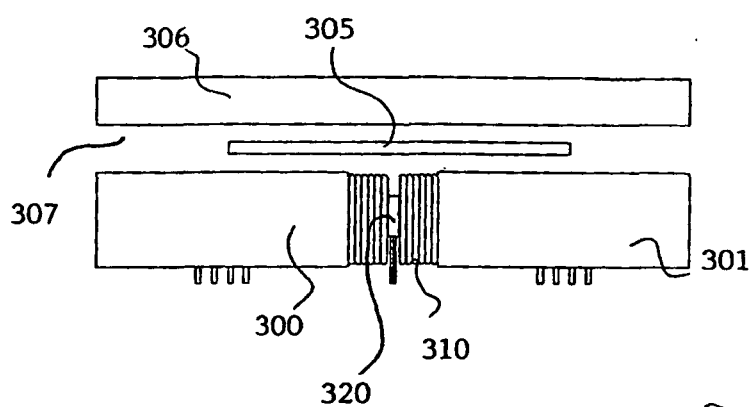


Fig.43

