

DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

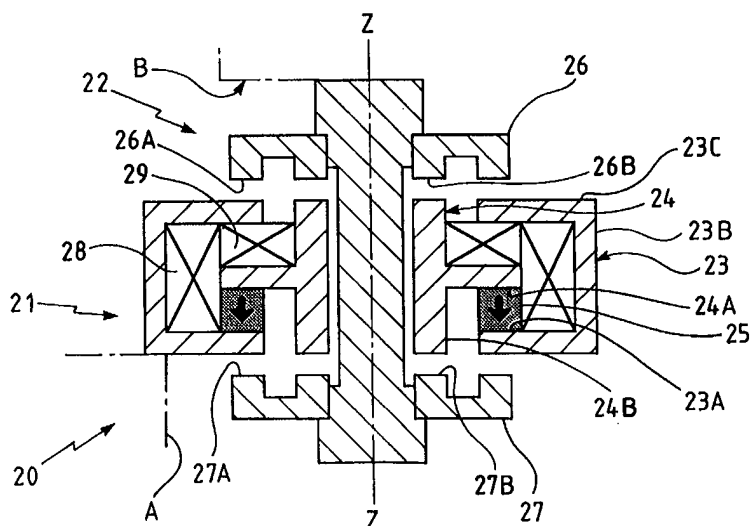
(51) Classification internationale des brevets ⁶ : F16C 39/06	A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 98/35167 (43) Date de publication internationale: 13 août 1998 (13.08.98)
(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR98/00225 (22) Date de dépôt international: 6 février 1998 (06.02.98) (30) Données relatives à la priorité: 97/01493 10 février 1997 (10.02.97) FR (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): AEROSPATIALE SOCIÉTÉ NATIONALE INDUSTRIELLE [FR/FR]; 37, boulevard de Montmorency, F-75781 Paris Cedex 16 (FR). (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): LAMBERT, Charles [FR/FR]; Les Chaumettes - Bâtiment H, 11, avenue Font de Veyre, F-06150 Cannes la Bocca (FR). BERNUS, Christophe [FR/FR]; 76, rue Lamarck, F-75018 Paris (FR). (74) Mandataire: RINUY, Santarelli; 14, avenue de la Grande Armée, Boîte postale 237, F-75822 Paris Cedex 17 (FR).		(81) Etats désignés: CA, JP, RU, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Publiée <i>Avec rapport de recherche internationale. Avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si de telles modifications sont reçues.</i>

(54) Title: INEXPENSIVE ROTARY MAGNETIC BEARING WITH ACTIVE CENTRING ALONG THE ROTATION AXIS

(54) Titre: PALIER MAGNETIQUE ROTATIF A CENTRAGE ACTIF LE LONG DE L'AXE DE ROTATION ET A FAIBLE COUT

(57) Abstract

The invention concerns a 1-active-axis rotary magnetic bearing comprising: a first portion including, around a rotation axis, two ring-shaped radially internal (23) and radially external (24) polar parts and a ring-shaped magnet with permanent magnetisation (25) set between a first linking polar portion integrated with the radially external polar part and a second linking polar portion integrated with the radially internal polar part; a second portion comprising two closing ring-shaped polar parts (26, 27) axially arranged on either side of the first portion, and comprising ring-shaped sections (26A, 27A) axially arranged opposite the ring-shaped polar parts through ring-shaped air gaps. The ring-shaped magnet (25) has axial magnetisation, and the first and second linking polar portions (23A, 24A) between which the permanent magnet is placed are arranged transversal to the axis.



(57) Abrégé

Un palier magnétique rotatif à 1-axe actif comporte: une première portion comportant, autour d'un axe de rotation, deux pièces polaires annulaires radialement externe (23) et interne (24) et un aimant annulaire à aimantation permanente (25) interposé entre une première portion polaire de liaison solidaire de la pièce polaire annulaire radialement externe et une seconde portion polaire de liaison solidaire de la pièce polaire annulaire radialement interne; une seconde portion comportant deux pièces polaires annulaires de fermeture (26, 27) disposées axialement de part et d'autre de la première portion, et comportant des tranches annulaires (26A, 27A) disposées axialement en regard des pièces polaires annulaires au travers d'entrefers annulaires. L'aimant annulaire (25) est à aimantation axiale, et les première et seconde portions polaires de liaison (23A, 24A) entre lesquelles l'aimant permanent est interposé sont disposées transversalement à l'axe.

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

5

Palier magnétique rotatif à centrage actif le long de l'axe de rotation et à faible coût.

10

Le présente invention concerne un palier magnétique rotatif pour le centrage magnétiquement actif, selon un axe de centrage, d'un corps mobile en rotation par rapport à un autre corps autour de cet axe.

On a déjà proposé des paliers magnétiques ou des dispositifs
15 de suspension magnétique adaptés à s'intégrer dans des systèmes comportant des pièces en mouvement relatif, entre lesquels une absence de contact est requise.

Les mouvements relatifs peuvent être des translations ; elles sont toutefois le plus souvent des rotations.

20 Dans de tels paliers magnétiques rotatifs, il est nécessaire d'assurer un centrage magnétique selon l'axe de rotation mais aussi selon deux axes radiaux.

On sait depuis longtemps qu'il est impossible d'obtenir une suspension magnétique stable selon trois directions par la simple utilisation de
25 champs statiques tels que des champs générés par des aimants : il faut donc associer à des champs magnétiques statiques (aimant permanent) des champs magnétiques variables (courants passant dans des bobinages) pour permettre la suspension d'un corps.

On connaît deux grandes catégories de paliers magnétiques
30 rotatifs : il y a tout d'abord les paliers magnétiques rotatifs dans lesquels le

centrage axial, le long de l'axe de rotation, est actif, c'est-à-dire commandé par des champs variables, tandis que le centrage selon deux axes radiaux est assuré de façon passive, grâce à des champs statiques générés par des aimants ; de tels paliers sont parfois désignés sous l'appellation de paliers magnétiques 1-axe actif. Il y a par ailleurs des paliers magnétiques rotatifs dans lesquels le centrage axial se fait de façon passive tandis que le centrage selon deux axes transversaux se fait de façon active ; de tels paliers sont parfois désignés sous l'appellation de paliers magnétiques 2-axes actifs.

Un exemple de palier magnétique à deux axes de centrage actifs est donné dans le document EP-0.284.487.

Un palier magnétique à 1-axe actif a notamment pour avantage de prévoir une seule voie d'asservissement, selon cet axe actif, à savoir l'axe de rotation. Un tel palier nécessite donc une électronique d'asservissement plus simple qu'un palier magnétique à deux axes actifs pour lesquels il faut un asservissement selon deux directions. Un palier magnétique 1-axe actif a toutefois comme inconvénient de nécessiter la mise en oeuvre d'un aimant annulaire à aimantation radiale. Un tel aimant à aimantation radiale est en pratique constitué de plusieurs secteurs fabriqués individuellement puis collés, l'ensemble étant finalement réusiné. On comprend que le coût d'un aimant aimanté radialement est très supérieur au coût d'un aimant annulaire de mêmes dimensions mais aimanté axialement. Cette différence de coût peut aller jusqu'à un rapport de 7/1.

Toutefois, c'est cette configuration de palier magnétique rotatif à 1-axe actif qui semble la mieux adaptée au cas où l'on souhaite réaliser des paliers magnétiques de petite taille.

A titre d'exemple, le document FR-2.732.734 décrit notamment un dispositif de centrage magnétique, selon un axe de rotation Z-Z, d'un second corps mobile par rapport à un premier corps, comportant :

- un palier magnétique rotatif magnétiquement actif selon l'axe de rotation, et

- deux centreurs magnétiques annulaires décalés axialement, le long de cet axe de rotation, de part et d'autre du palier magnétique.

Ce dispositif de centrage magnétique, tel que schématisé sur la figure 1, comprend une première portion 1 et une seconde portion 2 qui sont
5 mécaniquement indépendantes et destinées à être respectivement solidarisées à deux corps en mouvement relatif A et B ; Elles sont adaptées à avoir l'une par rapport à l'autre un mouvement relatif de rotation par rapport à un axe de rotation Z-Z.

La première portion comporte, tout autour de l'axe de rotation,
10 une pièce polaire radialement externe 3, d'une part, et une pièce polaire radialement interne 4, d'autre part, sensiblement isolée magnétiquement vis-à-vis de la pièce polaire radialement externe, ainsi qu'un aimant annulaire 5 à aimantation permanente interposé entre la pièce polaire radialement externe et la pièce polaire radialement interne.

15 La seconde portion comporte deux pièces polaires de fermeture 6 et 7 décalées axialement l'une de l'autre et disposées axialement de part et d'autre des pièces polaires de la première portion, chaque pièce polaire de fermeture comportant une tranche annulaire radialement externe 6A ou 7A disposée axialement en regard d'une surface annulaire de la pièce
20 polaire radialement externe au travers d'un entrefer annulaire radialement externe et une tranche annulaire radialement interne 6B ou 7B disposée axialement en regard d'une surface annulaire de la pièce polaire interne au travers d'un entrefer radialement interne.

L'aimant annulaire 5 est à aimantation radiale, et les deux
25 pièces polaires radialement externe et interne sont cylindriques. Les tranches de ces pièces polaires cylindriques sont en regard axialement des tranches des pièces polaires de fermeture qui ont une forme en C.

De part et d'autre axialement de l'aimant annulaire sont disposés deux bobinages 8 et 9 centrés sur l'axe de rotation Z-Z. Ils sont
30 axialement en saillie par rapport aux pièces polaires radialement externe et

interne, jusqu'à pénétrer à l'intérieur des pièces polaires de fermeture. Ces bobinages doivent donc être capables de concerner par eux-mêmes leur forme.

Un capteur de position 10 est prévu pour détecter la position axiale de l'une des portions 1 et 2 par rapport à l'autre, et une électronique d'asservissement non représentée détermine des courants de contrôle à appliquer aux bobinages précités. Pour assurer une bonne stabilité du dispositif de centrage magnétique même lorsque les éléments précités sont de petite taille, les centreurs magnétiques précités 11 et 12 sont disposés radialement à l'extérieur des pièces de fermeture, et décalés axialement les uns vis-à-vis des autres. Ces centreurs sont en pratique constitués de couronnes à aimantation permanente axiale 11A, 11B, 12A et 12B disposées radialement l'une à l'intérieur de l'autre.

Une telle disposition qui donne tout à fait satisfaction présente toutefois certaines contraintes d'implantation puisque les centreurs doivent en pratique avoir un diamètre supérieur à celui des pièces de fermeture, et donc un diamètre supérieur au diamètre global maximum du palier magnétique pris dans son ensemble.

L'invention a pour objet un palier magnétique rotatif axialement actif le long de l'axe de rotation, mais dont le coût soit bien moindre que celui d'un palier magnétique rotatif à 1-axe actif classique. A titre subsidiaire, l'invention a pour objet un palier magnétique rotatif à 1-axe actif dont la configuration permette de combiner un faible coût et un faible encombrement, au moins dans le sens radial mais de préférence aussi dans le sens axial, avec une grande souplesse d'implantation, c'est-à-dire une certaine souplesse dans le choix de la forme globale du palier.

L'idée de base de l'invention est d'obtenir un centrage actif selon l'axe de rotation à l'aide d'un aimant permanent aimanté parallèlement à cet axe de rotation.

Comme cela ressort de ce qui précède, il en résulte une réduction très sensible du coût.

L'invention propose ainsi un palier magnétique rotatif à 1-axe actif comportant :

de première et seconde portions indépendantes adaptées à avoir, l'une par rapport à l'autre, un mouvement relatif de rotation par rapport à
5 un axe de rotation,

la première portion comportant, autour de l'axe de rotation, une pièce polaire annulaire radialement externe, une pièce polaire annulaire radialement interne sensiblement isolée magnétiquement vis-à-vis de la pièce polaire annulaire radialement externe, un aimant annulaire à aimantation
10 permanente interposé entre une première portion polaire de liaison solidaire de la pièce polaire annulaire radialement externe et une seconde portion polaire de liaison solidaire de la pièce polaire annulaire radialement interne,

la seconde portion comportant deux pièces polaires annulaires de fermeture décalées axialement l'une de l'autre et disposées axialement de
15 part et d'autre de la première portion, chaque pièce polaire de fermeture comportant une tranche annulaire radialement externe disposée axialement en regard d'une surface annulaire de la pièce polaire annulaire radialement externe au travers d'un entrefer annulaire radialement externe et une tranche annulaire radialement interne disposée axialement en regard d'une surface
20 annulaire de la pièce polaire annulaire radialement interne au travers d'un entrefer radialement interne,

ce palier étant caractérisé en ce que

l'aimant annulaire est à aimantation axiale, et

les première et seconde portions polaires de liaison entre
25 lesquelles l'aimant permanent est interposé sont disposées transversalement à l'axe et décalées axialement l'une vis-à-vis de l'autre.

Selon des dispositions préférées de l'invention, éventuellement combinées :

- l'une des surfaces annulaires de la pièce polaire annulaire radialement externe qui délimite les entrefers radialement externes est ménagée sur ladite première portion de liaison,
- la pièce polaire annulaire radialement externe a globalement une section en C dont la concavité est tournée vers l'axe de rotation, et comporte une paroi cylindrique raccordée à deux flasques transversaux dont l'un comporte ladite première portion polaire,
- le bobinage est disposé radialement à l'intérieur de la pièce polaire annulaire radialement externe,
- 10 - le bobinage s'étend radialement au moins depuis la paroi cylindrique jusqu'à la seconde portion polaire de liaison,
- le bobinage est formé de plusieurs bobinages élémentaires,
- le bobinage s'étend radialement jusqu'à proximité d'au moins un entrefer radialement interne,
- 15 - la pièce polaire radialement interne a globalement une section en T et comporte une paroi cylindrique raccordée en une portion intermédiaire à un flasque annulaire transversal qui comporte ladite seconde portion polaire de liaison,
- l'aimant fait partie de deux aimants annulaires à aimantations axiales de sens opposés, disposés de part et d'autre de ce flasque annulaire transversal, la
- 20 pièce polaire annulaire radialement externe a globalement une section en C dont la concavité est tournée vers l'axe et comporte une paroi cylindrique raccordée à deux flasques transversaux, chaque aimant s'étendant axialement jusqu'à l'un de ces flasques transversaux,
- 25 - la seconde portion de liaison est un flasque transversal par rapport auquel le palier est sensiblement symétrique axialement.

Des objets, caractéristiques et avantages de l'invention ressortent de la description qui suit, donnée à titre d'exemple non limitatif, en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique en coupe axiale d'un dispositif de centrage magnétique connu comportant un palier magnétique rotatif à 1-axe actif d'un type connu,

- la figure 2 est une vue schématique en coupe axiale d'un palier magnétique rotatif à 1-axe actif conforme à l'invention,

- la figure 3 est une vue conforme à celle de la figure 2, sur laquelle apparaissent les lignes de flux statique générées par l'aimant permanent que comporte ce palier,

- la figure 4 est une vue similaire à celle de la figure 2, sur laquelle apparaissent, non seulement des lignes de flux statique générées par l'aimant, mais aussi des lignes de flux variable générées par le bobinage,

- la figure 5 est une demi-vue droite en coupe axiale montrant, dans un palier similaire à celui de la figure 2, mais à entrefer très faible, les lignes de flux magnétique générées par l'aimant permanent, telles que définies par simulation par élément fini,

- la figure 6 est une vue analogue à celle de la figure 5, sur laquelle apparaissent les lignes de flux global, résultant de l'action simultanée de l'aimant permanent et de la circulation d'un courant dans le bobinage, telles que définies par simulation par élément fini,

- la figure 7 est une vue en coupe axiale d'un autre palier magnétique rotatif conforme à l'invention, et

- la figure 8 est une vue en coupe axiale d'encore un autre exemple de réalisation d'un palier magnétique rotatif conforme à l'invention.

La géométrie d'un premier palier magnétique rotatif à 1-axe actif conforme à l'invention est représentée aux figures 2 à 4.

Ce palier comporte de façon classique de première et seconde portions 21 et 22 mécaniquement indépendantes destinées à être respectivement solidarisées à deux corps en mouvement relatif A et B, par exemple un rotor B et un stator A. Ces deux pièces 21 et 22 sont adaptées à

avoir l'une par rapport à l'autre un mouvement relatif de rotation par rapport à un axe de rotation Z-Z.

La première portion 21 comporte, tout autour de l'axe de rotation, une pièce polaire annulaire radialement externe 23, d'une part, et une
5 pièce polaire annulaire radialement interne 24, d'autre part. Cette pièce polaire 24 est sensiblement isolée magnétiquement vis-à-vis de la pièce polaire 23. Cette première portion 21 comporte en outre un aimant annulaire 25 à aimantation permanente interposé entre une première portion polaire de liaison 23A solidaire de la pièce polaire radialement externe 23 et une seconde portion
10 polaire de liaison 24A solidaire de la pièce polaire radialement interne 24.

La seconde portion 22 comporte deux pièces polaires de fermeture 26 et 27 décalées axialement l'une de l'autre et disposées axialement de part et d'autre des pièces polaires de la première portion. Chaque pièce polaire de fermeture 26 ou 27 est une couronne dont la section
15 courante est un C dont la concavité est dirigée parallèlement à l'axe. Chaque pièce polaire de fermeture 26 ou 27 comporte une tranche annulaire radialement externe 26A ou 27A disposée axialement en regard d'une surface annulaire de la pièce polaire radialement externe 23, au travers d'un entrefer annulaire radialement externe et une tranche annulaire radialement interne 26B
20 ou 27B disposée axialement en regard d'une surface annulaire de la pièce polaire radialement interne au travers d'un entrefer radialement interne.

Entre les pièces polaires radialement externe et interne 23 et 24 sont disposés deux bobinages 28 et 29 centrés sur l'axe de rotation Z-Z.

Un capteur de position non représenté est prévu pour détecter
25 la position axiale de l'une des portions 21 et 22 par rapport à l'autre, et une électronique d'asservissement non représentée, tout à fait classique, détermine des courants de contrôle à appliquer aux bobinages précités.

Selon l'invention, l'aimant annulaire 25 est à aimantation permanente axiale, et les première et seconde portions polaires de liaison 23A

et 24A entre lesquelles cet aimant annulaire est interposé sont disposées transversalement à l'axe et décalées axialement l'une par rapport à l'autre.

Pour ce faire, dans l'exemple représenté, la pièce polaire radialement externe est une couronne dont la section a la forme d'un C dont la concavité est tournée vers l'axe, cette pièce polaire 23 comportant une paroi cylindrique 23B raccordée à deux flasques annulaires 23A et 23C s'étendant en direction de l'axe jusqu'à proximité des tranches annulaires radialement externes 26A et 27A des pièces polaires de fermeture 26 et 27.

Ce sont les extrémités radialement internes de ces flasques annulaires 23A et 23C qui constituent les surfaces annulaires précitées qui déterminent les entrefers annulaires radialement externes en combinaison avec les tranches annulaires radialement externes 26A ou 27A.

C'est d'autre part l'un de ces flasques annulaires, ici le flasque 23A, qui constitue la première portion polaire de liaison indiquée ci-dessus à propos de l'aimant annulaire 25.

La pièce polaire radialement interne 24 est également une couronne. Sa section est un T, dont la barre est parallèle à l'axe tandis que la tige lui est transversale. Plus précisément, cette pièce polaire radialement interne 24 comporte une jupe cylindrique 24B s'étendant de l'un à l'autre des deux entrefers annulaires radialement internes, et un flasque transversal 24A situé en position intermédiaire, ici sensiblement à égale distance des tranches axiales de la jupe cylindrique 24B.

C'est ce flasque transversal intermédiaire 24A qui constitue la seconde portion polaire de liaison citée à propos de l'aimant annulaire 25.

Les bobinages 28 et 29 sont disposés dans l'espace annulaire subsistant entre les pièces polaires radialement interne et externe 23 et 24. Dans l'exemple représenté, le bobinage 28 occupe le fond de la pièce polaire radialement externe, le long de la jupe cylindrique 23B, radialement jusqu'auprès de la tranche externe du flasque transversal 24A et jusqu'à la tranche externe de l'aimant annulaire 25, tandis que le bobinage 29 occupe

l'espace subsistant entre le bobinage 28 et la jupe cylindrique 24B de la pièce polaire radialement interne, de l'autre côté de l'aimant 25 par rapport au flasque transversal 24A.

Bien entendu, en variante non représentée, les bobinages 28 et 29 peuvent être remplacés par un bobinage unique.

Les figures 3 et 4 visualisent les lignes de flux susceptibles de circuler dans les pièces polaires du palier de la figure 2, selon qu'il y a ou non passage de courant dans les bobinages 28 et 29.

Sur la figure 3, seules les lignes de flux statique de l'aimant 25 sont représentées.

On observe que ces lignes de flux statique se partagent entre des boucles magnétiques supérieures et des boucles magnétiques inférieures. Les boucles magnétiques supérieures circulent dans les portions polaires 23A, 23B, 23C, 26 puis 24B, sur une moitié de sa hauteur et 24A. Par contre les boucles magnétiques inférieures, beaucoup plus courtes, traversent la portion polaire d'appui 24B dans le sens de l'épaisseur (donc dans le sens axial), la pièce polaire 27, la jupe cylindrique 24B sur la moitié de sa hauteur et le flasque transversal 24A.

On voit ainsi que les lignes de flux des boucles magnétiques supérieures parcourent un trajet magnétique bien plus important que les lignes de flux des boucles magnétiques inférieures. Il en résulte des fuites plus importantes (pouvant aller jusqu'à 30 % du flux total de l'aimant) que pour la solution classique représentée par exemple à la figure 1 (fuites d'environ 5 % du flux total de l'aimant).

Toutefois, ce phénomène peut être très facilement compensé en augmentant le volume d'aimant.

Par ailleurs la dissymétrie structurelle du palier par rapport à un plan transversal se traduit par une différence d'épaisseur axiale entre les entrefers haut et bas, au zéro des forces magnétiques, c'est-à-dire dans la configuration d'équilibre lorsque seul l'aimant génère des lignes de flux : les

entrefers supérieurs seront plus faibles de quelques microns que les entrefers inférieurs, lorsque le ressort sera asservi.

Ainsi que cela ressort de la figure 4, le passage d'un courant dans les bobinages 28 et 29 induit l'apparition de grandes boucles magnétiques, puisque les lignes de flux magnétique résultantes parcourent la jupe cylindrique 24B, la pièce polaire de fermeture 26, les portions 23C, 23B et 23A de la pièce polaire radialement externe et la pièce polaire de fermeture inférieure 27.

Bien entendu la circulation dans les bobinages d'un courant de sens inverse induit l'apparition de lignes de flux magnétique circulant en sens inverse.

Dans l'exemple représenté à la figure 4, on comprend que le passage d'un courant, dans le sens choisi, dans les bobinages, se traduit par une diminution du flux circulant dans les entrefers supérieurs et une augmentation du flux magnétique traversant les entrefers inférieurs. Il en résulte un effort relatif axial entre les portions 21 et 22. Si la pièce 21 est fixée à un stator A et si la portion 22 est fixée à un rotor mobile par rapport au stator A, l'effort relatif axial entre les éléments 21 et 22 correspond à l'application d'un effort axial vers le haut sur le rotor B : le rotor remonte.

20

On a donc bien un palier magnétique rotatif à 1-axe actif.

Les figures 5 et 6 visualisent les lignes de flux magnétique, telles qu'elles peuvent être déterminées par simulation par éléments finis dans le cas d'un exemple particulier de réalisation d'un palier magnétique conforme au schéma de la figure 2, dans le cas où le courant circulant dans les bobinages est nul (figure 5) et dans le cas (figure 6) où on applique, comme dans l'exemple de la figure 4, un courant au bobinage propre à générer des lignes de flux s'ajoutant aux lignes de flux statique de l'aimant dans les entrefers inférieurs.

Le palier magnétique considéré a des entrefers dont l'épaisseur nominale est de 0,3 mm, le diamètre maximum, tel qu'il peut être mesuré le long de la surface extérieure de la jupe cylindrique de la pièce polaire radialement externe, est de 74 mm, tandis que la hauteur totale, depuis
5 la surface inférieure de la pièce polaire de fermeture inférieure jusqu'à la surface supérieure de la pièce polaire de fermeture supérieure, est de 42 mm.

Ce palier a une raideur axiale de 150 N/mm.

On peut noter que, dans la figure 5, il y a six lignes de flux qui circulent dans chacun des entrefers, qu'ils soient inférieurs ou supérieurs. Par
10 contre, dans la figure 6, il n'y a plus que trois lignes de flux qui traversent effectivement les entrefers supérieurs, tandis que les lignes de flux qui traversent les entrefers inférieurs sont au nombre de sept.

On peut noter que la géométrie du palier magnétique rotatif de la figure 2 permet une réduction de coût sensible par rapport à la configuration
15 de la figure 1 puisqu'elle utilise un aimant à aimantation permanente axiale au lieu d'un aimant à aimantation permanente radiale : comme cela a été indiqué ci-dessus, la réduction de coût pour l'aimant peut atteindre environ 1/7. La configuration du palier de la figure 2 permet en outre, si cela est souhaité, de n'utiliser qu'un seul bobinage. La commande des courants de contrôle peut s'en
20 trouver simplifiée.

Il est important de noter, à propos des bobinages, que ceux-ci n'ont pas besoin d'être autoportants, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas besoin d'avoir une rigidité intrinsèque suffisante pour pouvoir garantir le maintien de leur forme. La figure 1, correspondant à un palier magnétique classique, implique
25 pourtant l'utilisation de tels bobinages autoportants.

Le bobinage de l'invention peut en effet être bobiné directement sur la pièce polaire radialement interne du palier sur laquelle on aura collé préalablement l'aimant. Il est possible de donner n'importe quelle forme souhaitée au bobinage. On peut noter que ce bobinage est
30 complètement protégé par la pièce polaire radialement externe du palier.

Enfin il est intéressant de noter que grâce à sa forme en C la pièce polaire radialement externe peut avoir un encombrement radial supérieur à celui des pièces polaires de fermeture. Cela a notamment comme avantage de permettre de choisir indépendamment le dimensionnement des pièces polaires de fermeture, d'une part, et celui de la pièce polaire radialement externe, d'autre part. C'est ainsi par exemple que le palier de la figure 2 se prête particulièrement bien à une coopération avec des centreurs magnétiques tels que ceux figurés à la figure 1. Le résultat peut être très compact. En effet, la configuration de la figure 2 permet de situer les pièces polaires de fermeture à l'intérieur radialement de tels centreurs magnétiques, tout en permettant que les pièces polaires radialement externes puissent s'étendre radialement vers l'extérieur, jusqu'à occuper au mieux le volume existant axialement entre les centreurs magnétiques.

La figure 7 montre une variante de réalisation dans laquelle est respecté le principe classique de symétrie du palier par rapport à un plan transversal. Cette variante de réalisation se distingue essentiellement de la configuration de la figure 2 par le fait que l'aimant 25 unique de la figure 2 est ici remplacé par deux aimants 35A et 35B à aimantations axiales, mais opposées, disposé chacun entre le flasque transversal médian 34A de la pièce polaire radialement interne 34 et les flasques latéraux transversaux 33A et 33C de la pièce polaire radialement externe 33. Un seul bobinage 38, de section globalement rectangulaire est prévu, situé radialement entre le fond de cette pièce polaire radialement externe 33 et les deux aimants 35A et 35B.

Ce palier, désigné sous la référence générale 30, comporte des éléments dont les numéros de référence se déduisent de ceux de la figure 2 par addition du chiffre 10.

La symétrie structurelle du palier de la figure 7 se traduit par une symétrie des entrefers, au zéro des forces magnétiques.

La figure 8 donne encore une autre variante de réalisation d'un palier magnétique rotatif conforme à l'invention : ce palier 40 se différencie

essentiellement de celui de la figure 7 par le fait que le diamètre global extérieur de la pièce polaire radialement externe est plus petit que pour le palier de la figure 7. Les numéros de référence se déduisent de ceux de cette figure 7 par addition du chiffre 10. Le bobinage 38 interposé radialement entre les aimants 45A et 45B d'une part, et le fond de la pièce polaire radialement externe 43 est donc plus petit. Toutefois des bobinages supplémentaires 39A et 39B sont disposés radialement entre les aimants 45A et 45B et la jupe cylindrique 44B de la pièce polaire radialement interne. La combinaison de ces trois bobinages peut se révéler avoir la même capacité d'induction que le bobinage unique 38 de la figure 7, dans un espace toutefois plus petit. Cet exemple montre bien la capacité de la configuration du palier magnétique rotatif de l'invention à s'adapter au mieux au volume disponible. Cette configuration est en conséquence particulièrement bien adaptée à la réalisation de paliers magnétiques rotatifs de petite taille mais compacts.

Il va de soi que la description qui précède n'a été proposée qu'à titre d'exemple non limitatif et que de nombreuses variantes peuvent être proposées par l'homme de l'art sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDECATIONS

1. Palier magnétique rotatif à 1-axe actif comportant :

de première et seconde portions (21, 22, 31, 32, 41, 42)
indépendantes adaptées à avoir, l'une par rapport à l'autre, un mouvement
5 relatif de rotation par rapport à un axe de rotation (Z-Z),

la première portion comportant, autour de l'axe de rotation, une
pièce polaire annulaire radialement externe (23, 33, 43), une pièce polaire
annulaire radialement interne (24, 34, 44) sensiblement isolée magnétiquement
vis-à-vis de la pièce polaire annulaire radialement externe, un aimant annulaire
10 à aimantation permanente (25, 35A, 35B, 45A, 45B) interposé entre une
première portion polaire de liaison solidaire de la pièce polaire annulaire
radialement externe et une seconde portion polaire de liaison solidaire de la
pièce polaire annulaire radialement interne,

la seconde portion comportant deux pièces polaires annulaires
15 de fermeture (26, 27, 36, 37, 46, 47) décalées axialement l'une de l'autre et
disposées axialement de part et d'autre de la première portion, chaque pièce
polaire de fermeture comportant une tranche annulaire radialement externe
(26A, 27A) disposée axialement en regard d'une surface annulaire de la pièce
polaire annulaire radialement externe au travers d'un entrefer annulaire
20 radialement externe et une tranche annulaire radialement interne disposée
axialement en regard d'une surface annulaire de la pièce polaire annulaire
radialement interne au travers d'un entrefer radialement interne,

ce palier étant caractérisé en ce que

l'aimant annulaire (25, 35A, 35B, 45A, 45B) est à aimantation
25 axiale, et

les première et seconde portions polaires de liaison (23A, 33A,
43A ; 24A, 34A, 44A) entre lesquelles l'aimant permanent est interposé sont
disposées transversalement à l'axe et décalées axialement l'une vis-à-vis de
l'autre.

2. Palier magnétique selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'une des surfaces annulaires de la pièce polaire annulaire radialement externe qui délimite les entrefers radialement externes est ménagée sur ladite première portion de liaison (23A, 33A, 43A).

5 3. Palier magnétique selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la pièce polaire annulaire radialement externe (23, 33, 43) a globalement une section en C dont la concavité est tournée vers l'axe de rotation, et comporte une paroi cylindrique (23B, 33B, 43B) raccordée à deux flasques transversaux dont l'un comporte ladite première portion polaire.

10 4. Palier magnétique selon la revendication 3, caractérisé en ce que le bobinage (28, 29, 38, 48, 49A, 49B) est disposé radialement à l'intérieur de la pièce polaire annulaire radialement externe.

5. Palier magnétique selon la revendication 4, caractérisé en ce que le bobinage s'étend radialement au moins depuis la paroi cylindrique
15 jusqu'à la seconde portion polaire de liaison.

6. Palier magnétique selon la revendication 5, caractérisé en ce que le bobinage est formé de plusieurs bobinages élémentaires.

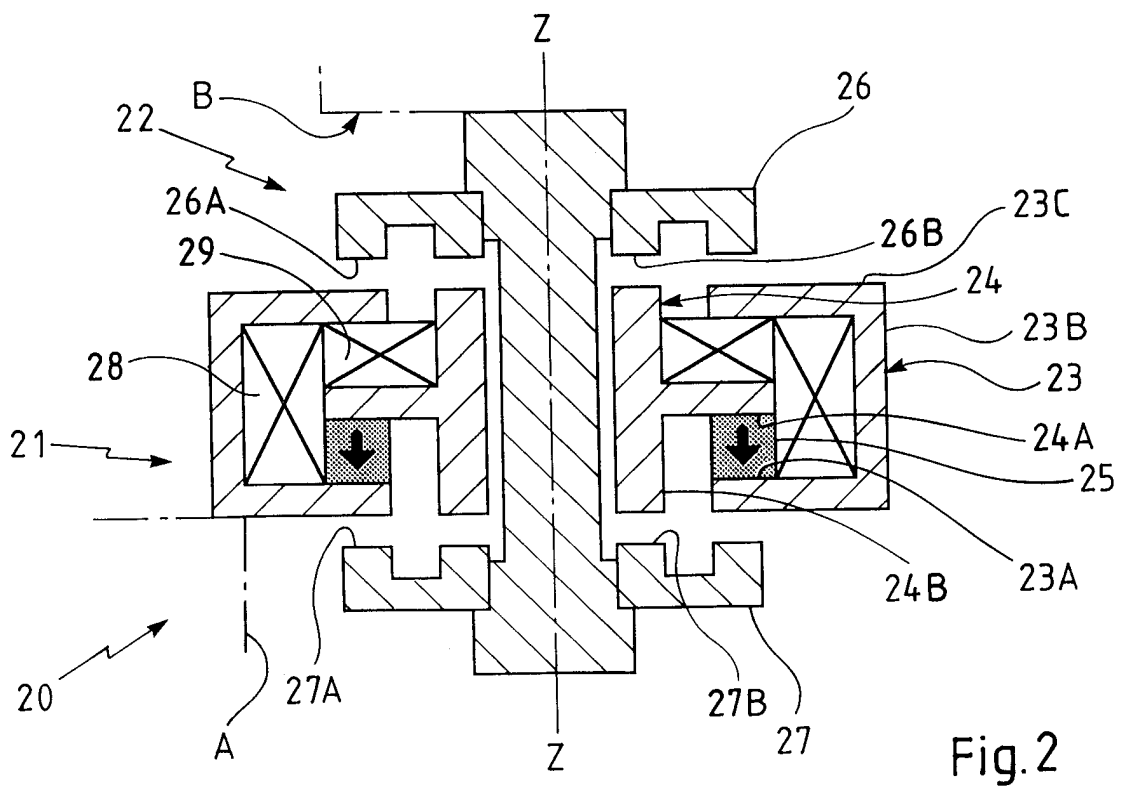
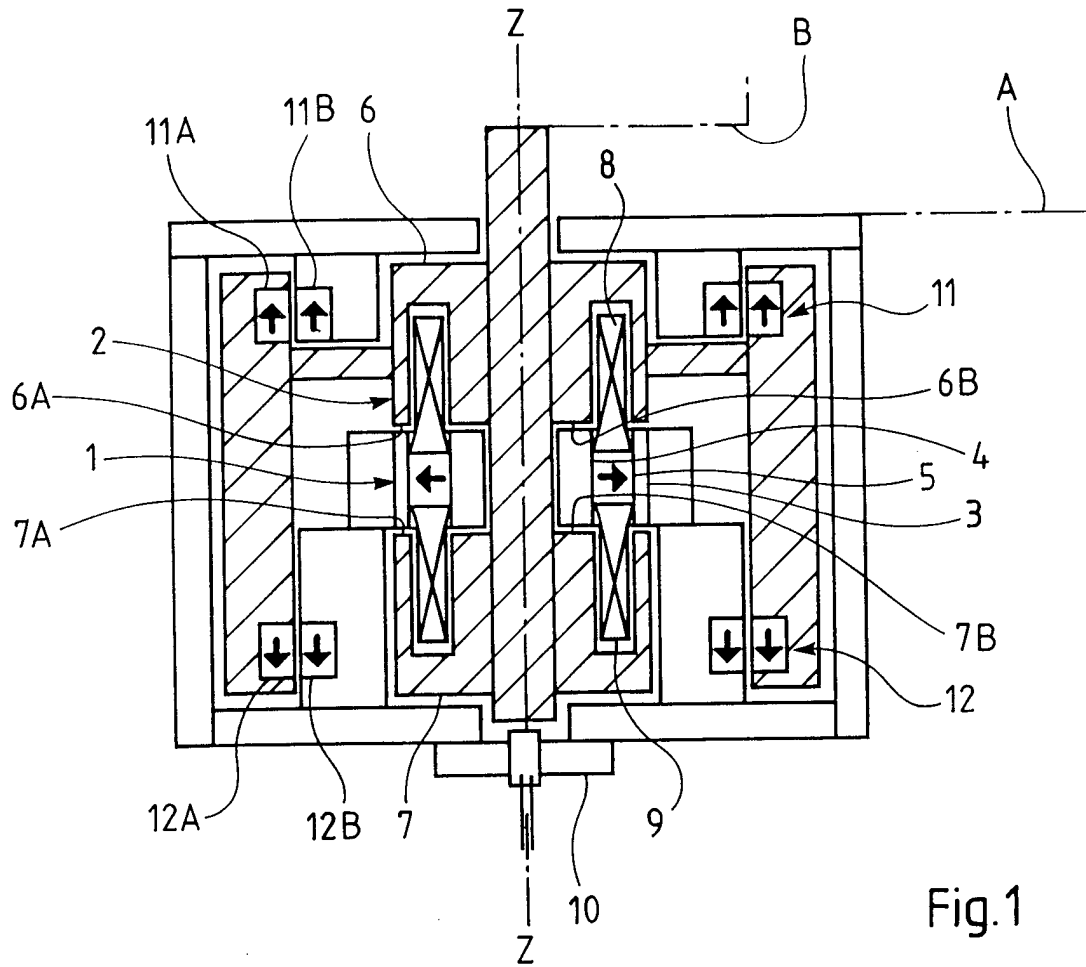
7. Palier magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le bobinage s'étend radialement
20 jusqu'à proximité d'au moins un entrefer radialement interne.

8. Palier magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la pièce polaire radialement interne a globalement une section en T et comporte une paroi cylindrique (24B, 34B, 44B) raccordée en une portion intermédiaire à un flasque annulaire transversal
25 qui comporte ladite seconde portion polaire de liaison.

9. Palier magnétique selon la revendication 8, caractérisé en ce que l'aimant fait partie de deux aimants annulaires à aimantations axiales de sens opposés, disposés de part et d'autre de ce flasque annulaire transversal, la pièce polaire annulaire radialement externe a globalement une section en C
30 dont la concavité est tournée vers l'axe et comporte une paroi cylindrique (33B,

43B) raccordée à deux flasques transversaux, chaque aimant s'étendant axialement jusqu'à l'un de ces flasques transversaux.

10. Palier magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la seconde portion de liaison est un
- 5 flasque transversal par rapport auquel le palier est sensiblement symétrique axialement.



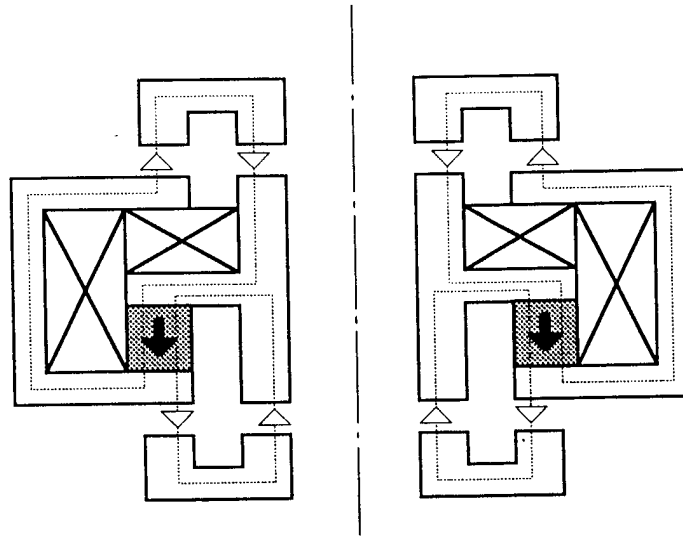


Fig. 3

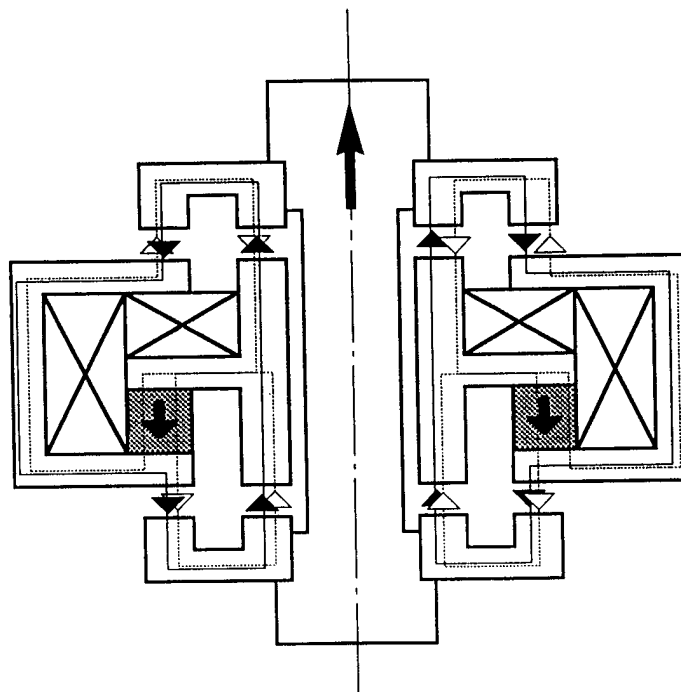
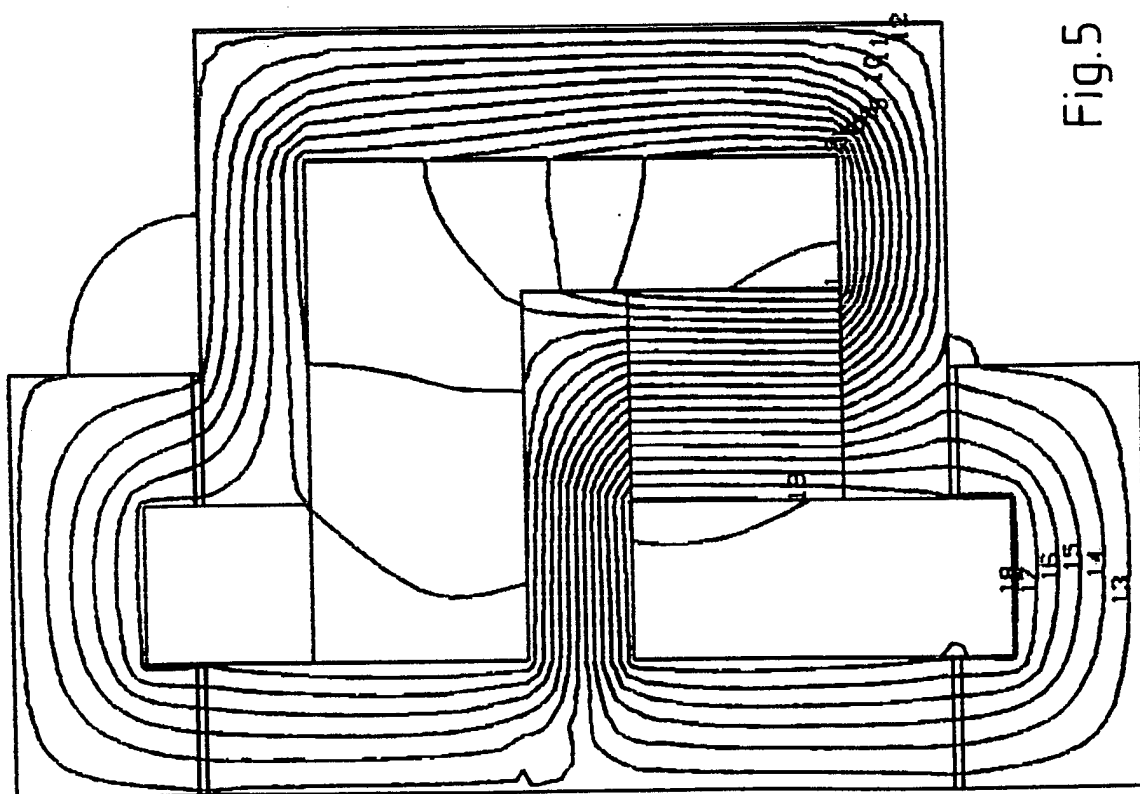
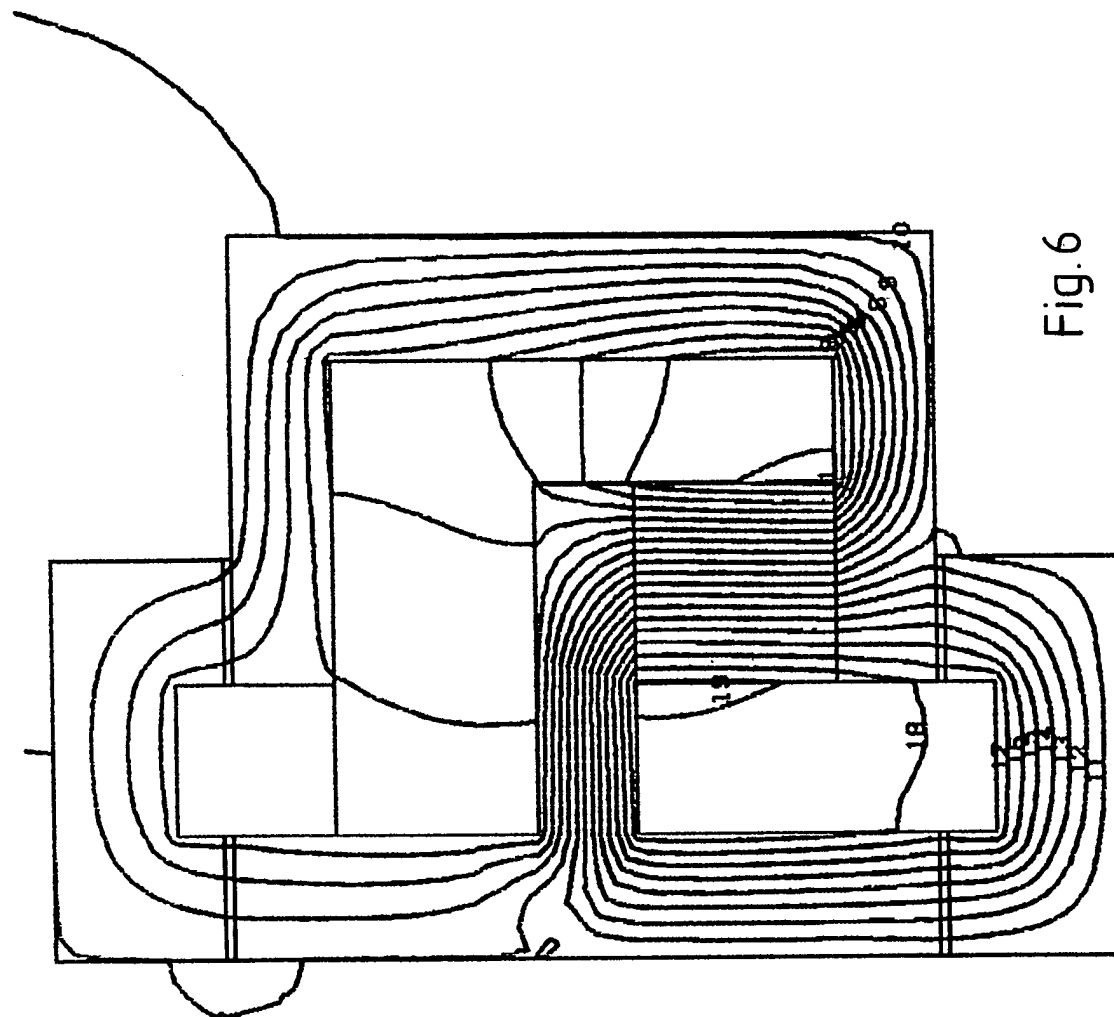


Fig. 4



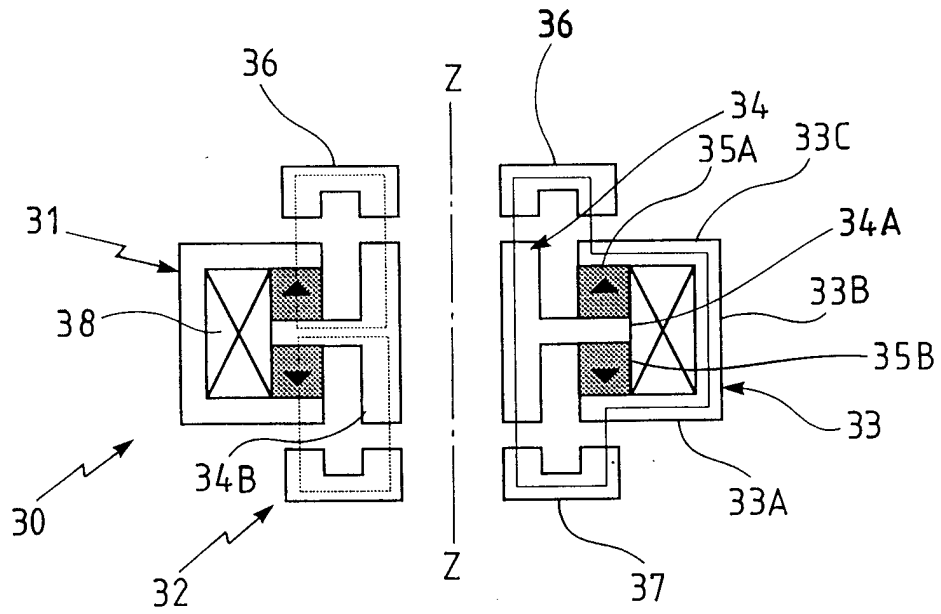


Fig. 7

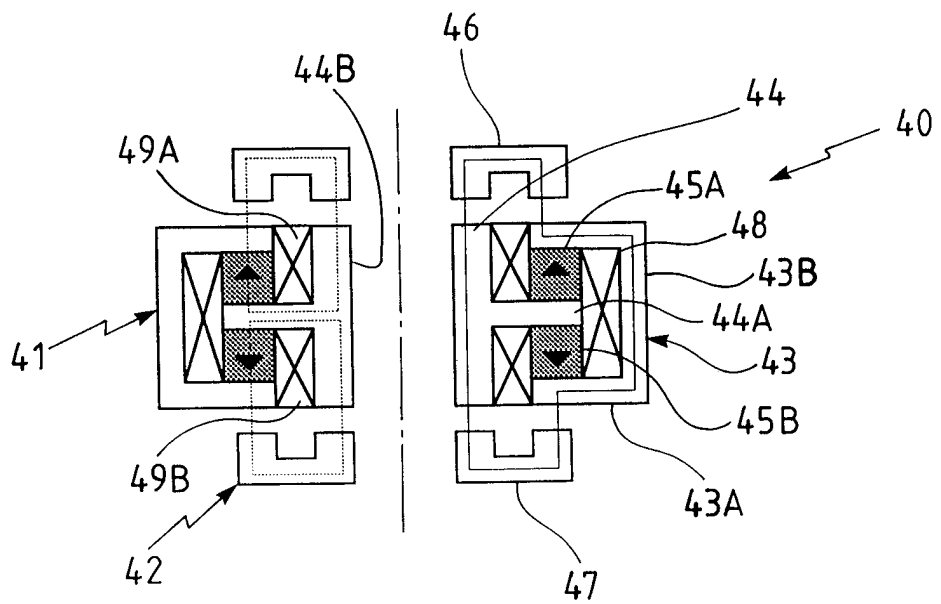


Fig. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern: 1al Application No

PCT/FR 98/00225

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 F16C39/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 F16C H02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 724 086 A (AEROSPATIALE) 31 July 1996 see column 11, line 45 - column 12, line 42; figures 17-20 ---	1,4-7
A	DE 40 20 726 A (MARINESCU ET AL.) 2 January 1992 see the whole document ---	1-7
A	US 5 250 865 A (MEEKS) 5 October 1993 see the whole document ---	1-7
A	WO 95 05700 A (AVCON - ADVANCED CONTROLS TECHNOLOGY) 23 February 1995 see page 9, line 23 - page 15, line 17; figures 1-4 -----	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier document but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 June 1998

Date of mailing of the international search report

12/06/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Geyer, J-L

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 98/00225

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 724086 A	31-07-1996	FR 2730021 A JP 8261236 A	02-08-1996 08-10-1996
DE 4020726 A	02-01-1992	NONE	
US 5250865 A	05-10-1993	US 5315197 A US 5514924 A	24-05-1994 07-05-1996
WO 9505700 A	23-02-1995	US 5315197 A US 5514924 A	24-05-1994 07-05-1996

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dema internationale No

PCT/FR 98/00225

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 6 F16C39/06

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 F16C H02K

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 0 724 086 A (AEROSPATIALE) 31 juillet 1996 voir colonne 11, ligne 45 - colonne 12, ligne 42; figures 17-20 ---	1,4-7
A	DE 40 20 726 A (MARINESCU ET AL.) 2 janvier 1992 voir le document en entier ---	1-7
A	US 5 250 865 A (MEEKS) 5 octobre 1993 voir le document en entier ---	1-7
A	WO 95 05700 A (AVCON - ADVANCED CONTROLS TECHNOLOGY) 23 février 1995 voir page 9, ligne 23 - page 15, ligne 17; figures 1-4 -----	1-7



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

5 juin 1998

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

12/06/1998

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Geyer, J-L

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR 98/00225

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 724086 A	31-07-1996	FR 2730021 A JP 8261236 A	02-08-1996 08-10-1996
DE 4020726 A	02-01-1992	AUCUN	
US 5250865 A	05-10-1993	US 5315197 A US 5514924 A	24-05-1994 07-05-1996
WO 9505700 A	23-02-1995	US 5315197 A US 5514924 A	24-05-1994 07-05-1996