

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

<p>(51) Classification internationale des brevets ⁵ :</p> <p>H02K 20/00, H01F 7/14 H02K 7/09</p>	<p>A2</p>	<p>(11) Numéro de publication internationale: WO 94/07299</p> <p>(43) Date de publication internationale: 31 mars 1994 (31.03.94)</p>
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR93/00922</p> <p>(22) Date de dépôt international: 22 septembre 1993 (22.09.93)</p> <p>(30) Données relatives à la priorité: 92/11262 22 septembre 1992 (22.09.92) FR</p> <p>(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): AEROSPATIALE SOCIÉTÉ NATIONALE INDUSTRIELLE [FR/FR]; 37, boulevard de Montmorency, F-75781 Paris Cédex 16 (FR).</p> <p>(72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement) : BERNUS, Christophe [FR/FR]; 76, rue Lamarck, F-75018 Paris (FR). JAMAIN, Patrice [FR/FR]; 92, côte de Beulle, F-78580 Maule (FR). ROLAND, Jean-Pierre [FR/FR]; 19, route Vallée-du-Roi, F-95510 Vienne-en-Arthie (FR).</p>		<p>(74) Mandataire: RINUUY, SANTARELLI; 14, avenue de la Grande-Armée, F-75017 Paris (FR).</p> <p>(81) Etats désignés: US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Publiée Sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport.</p>
<p>(54) Title: ELONGATE TORQUE MOTOR AND ANGULAR DISPLACEMENT CONTROL DEVICE INCORPORATING IT</p>		
<p>(54) Titre: MOTEUR-COUPLE ALLONGE ET DISPOSITIF DE COMMANDE EN DEBATTEMENT ANGULAIRE LE COMPORTANT</p>		
<p>(57) Abstract</p> <p>A torque motor (8) comprises an armature (30) placed radially between a central bar (31) and an external ferromagnetic tubular portion (32). The central bar (31) comprises two portions of the same cylinder (33A, 33B) diametrically opposite each other and having substantially equal angular amplitudes below 180°, and separated by generally parallel longitudinal flats (34A, 34B). A radial permanent bar magnet (35) is incorporated in the central bar (31) between the cylinder portions (33A, 33B). The armature (30) has a winding (36) formed from longitudinal strands (36A) connected by transverse strands (36B) and arranged into bundles (F1, F2) within which all currents flow in the same direction at all times.</p> <p>(57) Abrégé</p> <p>Un moteur-couple (8) comporte un induit (30) interposé radialement entre un barreau central (31) et une portion tubulaire ferromagnétique externe (32). Le barreau central (31) comporte deux portions d'un même cylindre (33A, 33B), diamétralement opposées et d'amplitudes angulaires sensiblement égales inférieures à 180° et séparées par des méplats longitudinaux (34A, 34B) globalement parallèles. Un barreau à aimantation permanente radiale (35) est incorporé au barreau central (31) entre les portions de cylindres (33A, 33B). L'induit (30) comporte un bobinage (36) formé de brins longitudinaux (36A) raccordés par des brins transversaux (36B) et répartis en deux faisceaux (F1, F2) au sein desquels tous les courants sont à chaque instant de même sens.</p> <div data-bbox="845 1321 1452 1859" data-label="Diagram"> </div>		

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.

AT	Autriche	FR	France	MR	Mauritanie
AU	Australie	GA	Gabon	MW	Malawi
BB	Barbade	GB	Royaume-Uni	NE	Niger
BE	Belgique	GN	Guinée	NL	Pays-Bas
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	NO	Norvège
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	NZ	Nouvelle-Zélande
BJ	Bénin	IE	Irlande	PL	Pologne
BR	Brésil	IT	Italie	PT	Portugal
BY	Bélarus	JP	Japon	RO	Roumanie
CA	Canada	KP	République populaire démocratique de Corée	RU	Fédération de Russie
CF	République Centrafricaine	KR	République de Corée	SD	Soudan
CG	Congo	KZ	Kazakhstan	SE	Suède
CH	Suisse	LI	Liechtenstein	SI	Slovénie
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SK	République slovaque
CM	Cameroun	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
CN	Chine	LV	Lettonie	TD	Tchad
CS	Tchécoslovaquie	MC	Monaco	TG	Togo
CZ	République tchèque	MG	Madagascar	UA	Ukraine
DE	Allemagne	ML	Mali	US	Etats-Unis d'Amérique
DK	Danemark	MN	Mongolie	UZ	Ouzbékistan
ES	Espagne			VN	Viet Nam
FI	Finlande				

Moteur-couple allongé et dispositif de commande en débattement angulaire le comportant.

L'invention concerne un moteur couple sans commutation à débattement angulaire inférieur à 180° , ainsi qu'une application de ce moteur à la commande en débattement angulaire d'un arbre, portant par exemple un miroir de balayage (voire un support d'antenne, un filtre, une lentille, etc...), de préférence mais non exclusivement dans le domaine spatial.

On connaît déjà de nombreuses variétés de moteurs-couple, c'est-à-dire de moteurs dont le fonctionnement est fondé sur l'obtention d'un couple, grâce à la circulation d'un courant électrique d'intensité appropriée dans des fils, en pratique des portions de bobinage, placés dans un champ magnétique permanent. Mais les moteurs-couple connus ont généralement un encombrement important, transversalement ou parallèlement à l'axe de rotation, et/ou une inertie importante pour le rotor (c'est-à-dire la partie tournante du moteur) surtout lorsque c'est ce dernier qui porte les éléments générant le champ magnétique permanent (des aimants permanents en pratique).

Il est rappelé ici que l'on appelle induit la partie du moteur portant les fils parcourus par le courant, et inducteur la partie complémentaire du moteur portant les éléments générant le champ magnétique permanent.

L'invention a pour objet un moteur couple sans commutation qui combine une faible inertie en rotation, un faible encombrement (notamment radial), un grand débattement

angulaire (quoique inférieur à 180°), une constance du couple (sans ondulation) sur la quasi-totalité du débattement (pour une intensité donnée), une grande précision, une absence d'effort magnétique divergent (ce qui permet une combinaison
5 aisée avec un montage sur palier du rotor), tout en étant facile et simple à fabriquer (d'où un faible coût et une grande fiabilité).

L'invention propose à cet effet un moteur-couple comportant un inducteur lié à un arbre mobile en rotation à
10 l'intérieur d'un débattement angulaire donné autour d'un axe donné par rapport à une partie statorique comportant un induit, caractérisé en ce que :

- l'inducteur comporte un barreau central allongé selon ledit axe et une portion tubulaire ferromagnétique
15 s'étendant circonférentiellement tout autour de ce barreau central radialement à distance de celui-ci, ce barreau central comportant deux portions d'un même cylindre diamétralement opposées et d'axes confondus avec l'axe donné, d'amplitudes angulaires sensiblement égales inférieures à
20 180° , et séparées par deux méplats longitudinaux globalement parallèles, ainsi qu'un barreau central à aimantation permanente disposé suivant l'axe donné et de sens d'aimantation orienté sensiblement parallèlement aux méplats, et

- l'induit est un élément tubulaire interposé
25 radialement entre le barreau central et la portion tubulaire ferromagnétique et comportant au moins un bobinage ayant une entrée et une sortie et comportant des brins longitudinaux parallèles disjoints raccordés par des brins disposés transversalement à l'axe donné, ces brins longitudinaux étant
30 répartis en deux faisceaux diamétralement opposés, tous les brins d'un faisceau étant, lorsqu'un courant est appliqué entre l'entrée et la sortie du bobinage, parcourus par des courants de même sens, chaque faisceau étant en regard de
35 l'une, respective, des portions de cylindre, et ledit débattement angulaire donné étant inférieur à la différence entre les amplitudes angulaires des portions de cylindre et des faisceaux.

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

- le barreau central à aimantation permanente s'étend d'un méplat à l'autre,
- 5 - le barreau central s'étend axialement sur une distance inférieure à la longueur des brins longitudinaux et les brins transversaux sont disposés axialement à l'écart de part et d'autre de ce barreau central,
 - les méplats sont plans et parallèles.
- 10 - l'amplitude angulaire de chaque portion de cylindre est comprise entre 90° et 170° ,
 - l'amplitude angulaire de chaque faisceau est inférieure à 30° ,
 - l'amplitude angulaire de chaque portion de cylindre est de
- 15 150° environ, l'amplitude angulaire de chaque faisceau est d'environ 30° , et l'amplitude de débattement est d'environ 120° ,
 - l'induit tubulaire est formé de plusieurs bobinages montés en série ménagés en couches radialement superposées mais
- 20 électriquement isolées les unes des autres, l'entrée de chaque bobinage étant toutefois connectée à la sortie du bobinage précédent, et les faisceaux des bobinages, dont les brins longitudinaux sont parcourus à tout instant par des courants de même sens axial, étant superposés radialement,
- 25 - les faisceaux de l'induit tubulaire sont formés de fils conducteurs voisins répartis dans l'épaisseur de cet induit,
 - l'induit tubulaire est formé de 2 à 10 couches de bobinages formés de pistes de circuits imprimés.

L'invention a également pour objet un dispositif

30 de commande en débattement angulaire d'un corps tournant, par exemple un miroir de balayage éventuellement embarqué sur un satellite d'observation, comportant un moteur-couple ayant les propriétés précitées, qui soit à faible niveau de vibrations en service et sans frottement, qui soit précis,

35 stable et fiable tout en autorisant avantageusement un faible basculement de l'axe de rotation (typiquement de l'ordre du

milliradian), le tout dans un environnement éventuellement spatial.

L'invention propose à cet effet un dispositif de commande en débattement angulaire d'un équipage mobile, comportant un stator, un arbre lié à cet équipage mobile et s'étendant selon un axe donné et un moteur du type précité pour entraîner cet arbre en mouvement par rapport au stator, cet arbre étant monté dans au moins un palier magnétique.

Selon d'autres dispositions préférées de l'invention, éventuellement combinées :

- chaque palier magnétique est à deux axes transversaux asservis,
- chaque palier magnétique comporte une couronne polaire ferromagnétique portée par l'arbre et, autour de cette couronne, portées par le stator, une couronne à aimantation permanente axiale, deux paires de noyaux axiaux entourés de bobines, et deux plaques polaires enserrant cette couronne à aimantation permanente et ces paires de noyaux,
- il y a deux paliers magnétiques ayant chacun deux axes transversaux asservis,
- la portion tubulaire ferromagnétique du moteur comporte deux couronnes polaires ferromagnétiques faisant partie de deux paliers magnétiques,
- ce dispositif de commande en débattement angulaire comporte un dispositif de commande en basculement comportant au moins l'une des paires de bobines de l'un des paliers, et un bloc de commande adapté à faire varier la consigne de positionnement de l'arbre transversalement à l'axe de rotation pour au moins cette paire de bobines,
- ce dispositif de commande en débattement angulaire comporte un dispositif de verrouillage adapté à maintenir radialement l'arbre dans une configuration donnée,
- ce dispositif de commande en débattement angulaire comporte deux paliers magnétiques et ce dispositif de verrouillage est disposé axialement entre ces deux paliers magnétiques,
- ce dispositif de verrouillage comporte une pluralité de

- pinces munies de patins de serrage articulées sur une partie statorique autour de pions axiaux situés à distance de l'axe, mobiles sous l'action d'une pièce de manoeuvre entre une configuration de déverrouillage dans laquelle les patins sont
- 5 à une distance maximale de l'axe et une configuration de verrouillage dans laquelle ces patins sont à une distance minimale de l'axe propre à induire un serrage radial de l'arbre,
- les patins de serrage sont en regard radialement de la
- 10 portion tubulaire ferromagnétique du moteur,
- l'arbre comporte des butées axiales adaptées à venir axialement en regard des patins de serrage dans la configuration de verrouillage, grâce à quoi cet arbre est maintenu axialement dans ladite configuration de verrouillage,
- 15 - la pièce de manoeuvre est une bague annulaire centrée sur l'axe ayant un débattement angulaire donné, comportant autant de tétons axiaux qu'il y a de pinces, chaque pince comportant une lumière circonférentielle traversée par l'un des tétons, les bords radialement interne et externe de cette lumière
- 20 formant des rampes pour les tétons, cette lumière comportant une première extrémité circonférentielle située à une distance minimale de l'axe de rotation et une seconde extrémité circonférentielle située à une distance maximale de l'axe de rotation, grâce à quoi, lorsque les tétons de la
- 25 bague sont dans les premières extrémités circonférentielles des lumières, les pinces sont dans leurs configurations de déverrouillage et lorsque les tétons de la bague sont dans les secondes extrémités circonférentielles des lumières, les pinces sont dans leurs configurations de verrouillage,
- 30 - ces tétons sont chacun munis de roulements adaptés à rouler sur les bords radialement interne ou externe des lumières circonférentielles,
- la bague est commandée en débattement angulaire par un second moteur comportant un induit solidaire de la bague et
- 35 un inducteur lié à la partie statorique du dispositif de commande en débattement angulaire, cet induit ayant globale-

ment la forme d'un disque plat et l'inducteur étant formé d'au moins une paire d'armatures magnétiques circonférentiellement disjointes coiffant sans contact la périphérie radialement externe de ce disque sur des secteurs angulaires disjointes et présentant chacune deux rebords formant des saillies axiales axialement en regard au travers du disque, au moins une portion de couronne à aimantation permanente coplanaire à l'axe étant ménagée dans chaque armature en sorte de générer un flux magnétique se refermant axialement entre les rebords au travers de l'induit, cet induit comportant au moins un bobinage plan, avec une entrée et une sortie, formé de brins en arc de cercle concentriques et centrés sur l'axe et de brins radiaux raccordant les brins en arc de cercle en sorte de former au moins un ensemble de spires en forme de banane emboîtées les unes dans les autres mais raccordées en série, les brins radiaux de chaque bobinage étant regroupés en au moins une paire de faisceaux formés de brins adjacents mais disjointes tels que, lorsqu'un courant est appliqué entre l'entrée et la sortie du bobinage, tous les brins radiaux d'un même faisceau soient parcourus par des courants de même sens radial, chacun des faisceaux étant disposé axialement entre les rebords d'une armature respective, le sens axial du flux traversant l'induit entre les rebords de chaque armature étant choisi en sorte que, lorsqu'un courant est appliqué entre l'entrée et la sortie du bobinage, l'interaction entre les courants circulant dans les brins des faisceaux avec les flux magnétiques axiaux génère sur l'induit des couples de même sens, l'amplitude angulaire du débattement étant définie par la différence entre les amplitudes angulaires des paires de rebords et des faisceaux de brins radiaux,

- les patins de serrage sont sollicités radialement vers l'axe par des éléments élastiques agissant sur la bague,
- la bague de manoeuvre est reliée à une portion statorique par une pluralité d'éléments élastiques globalement radiaux, travaillant en compression, mobiles dans un plan transversal

à l'axe de part et d'autre d'une configuration instable dans laquelle ils sont orientés radialement, entre deux configurations extrêmes stables pour lesquelles les pinces sont en leurs configurations de verrouillage ou de déverrouillage, respectivement.

On appréciera que, selon un aspect de l'invention original en soi, on tire profit des entrefers radiaux du palier magnétique dans lequel est monté l'arbre pour autoriser un basculement de cet arbre, minime, certes, mais en pratique suffisant, par exemple pour compenser l'avance sur son orbite d'un satellite sur lequel est embarqué un dispositif de commande en débattement angulaire portant un miroir de balayage d'axe parallèle à l'orbite. Ce basculement est avantageusement commandé par modification de la consigne de position de l'arbre dans son (ou ses) palier(s) magnétique(s), lequel est pour ce faire avantageusement choisi en sorte d'avoir au moins un axe radial actif (transversal à l'axe autour duquel on cherche à avoir un basculement) voire par des actions axiales de sens opposés appliquées en des zones diamétralement opposées de la partie rotorique de ce palier.

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 commande en débattement angulaire ;
- la figure 2 est une vue en coupe axiale du palier magnétique de la figure 1 ;
- la figure 3 est une vue en coupe transversale du moteur de la figure 1 ;
- la figure 4 est une vue en perspective de la partie statorique (ici l'induit) de ce moteur ;
- la figure 5 est une vue partielle transversale du dispositif de verrouillage, selon la ligne V-V de la figure 1 ;

- la figure 6 est une autre vue partielle de ce dispositif de verrouillage, selon la ligne VI-VI de la figure 1 ;

- la figure 7 est une vue agrandie du moteur du
5 dispositif de verrouillage, pris isolément ;

- la figure 8 est une vue en coupe de la partie statorique du moteur de la figure 7, selon la ligne VIII-VIII de cette figure 7 ;

- la figure 9 est une vue en coupe transversale
10 du disque mobile de ce moteur (ici son induit) selon la ligne IX-IX de la figure 7 ; et

- la figure 10 est un schéma de principe de l'électronique de commande du dispositif de la figure 1.

La figure 1 représente, sous la référence
15 générale 1, un dispositif de commande en débattement angulaire comportant une partie statorique 2, destinée à être fixée à un support 3, par exemple un satellite suivant une orbite terrestre, et une partie rotorique 4, montée rotative vis à vis de la partie statorique 2 autour d'un axe X-X, par
20 exemple parallèle à l'orbite précitée, comportant un arbre 5 et une portion utile 6 telle qu'un miroir de balayage.

Ce dispositif 1 est formé principalement de paliers 7 et 7', d'un moteur 8, d'un éventuel résolveur angulaire 9, d'un dispositif de verrouillage 10 (avantageuse-
25 ment disposé axialement entre les paliers, ce qui améliore le maintien de l'arbre), d'un dispositif de commande en basculement, et d'un bloc électronique 12 contrôlant le fonctionnement des divers composants du dispositif 1. La référence 13 désigne des capteurs de position radiale servant
30 au fonctionnement des paliers 7 et 7'.

Les paliers 7 et 7' sont du type magnétique actif, de manière à s'affranchir de tout frottement et de tous les inconvénients habituellement associés au frottement (vibrations, phénomène d'hystérésis en cas d'inversion du
35 sens de mouvement, etc...) et qui seraient préjudiciables à une bonne précision angulaire. Il sont ici identiques l'un à l'autre.

Le dispositif de commande en basculement, selon un aspect original en soi, profite du débattement axial ou radial qui existe dans un palier magnétique entre rotor et stator pour induire un basculement soit par déplacement
5 radial de la partie rotorique du palier, soit par actions axiales de sens contraires en deux zones diamétralement opposées de cette partie rotorique.

Le moteur 8 est à débattement angulaire limité pouvant ici approcher (sans l'atteindre) la valeur de 180° ;
10 il a une conformation très allongée sur l'axe ce qui lui confère un encombrement radial bien plus faible que les moteurs connus, combiné à une très faible inertie en rotation autour de l'axe X-X.

Sa commande en asservissement fait ici intervenir
15 le résolveur angulaire 9 qui sert à détecter la position angulaire de la partie rotorique 4 par rapport à la partie statorique. Ce résolveur est de tout type connu approprié, par exemple magnétique ou optique.

Le dispositif de verrouillage 10 a ceci d'original
20 en soi qu'il s'agit d'un système mécanique réversible du type pince de serrage auto-centrée, ce qui permet de s'affranchir des inconvénients des solutions pyrotechniques (notamment pollution, caractère mono-coup, reproductibilité de fabrication insuffisamment contrôlée, sécurité insuffi-
25 sante en cas de présence humaine) et permet au sol des essais complets avec plusieurs verrouillages et déverrouillages.

Les divers étages précités sont détaillés ci-dessous.

Diverses valeurs numériques seront données (pour
30 préciser l'exemple considéré ici), correspondant aux spécifications suivantes pour un système de balayage optique embarqué sur satellite :

- précision de visée : $0,25 \cdot 10^{-3}$ rad mécaniques
- stabilité sur 150 ms : $0,085 \cdot 10^{-3}$ rad mécaniques
- 35 - débattement maximum : $113,925^\circ$

- couple perturbateur induit
par réaction : $6 \cdot 10^{-2} \text{N.m}$
- temps de transition entre deux
positions de visée décalées de
5 1.65° mécanique : 66 ms
- masse mécanique : < 4 kg
- amplitude de basculement : $1,38 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$
- tension d'alimentation : 22-37 V
- durée de vie : 4 ans (stockage) + 5 ans
10 (service)

Ainsi tout d'abord la structure et le fonctionnement du palier magnétique 7 ou 7' sont représentés à la figure 2.

Le palier magnétique 7 (ou 7') est d'un type
15 classique, connu en soi d'après le brevet français 87-03489
ou US-4.918.345 (VAILLANT DE GUELIS et al.)

Ce palier 7 est ici du type à deux axes transversaux asservis (on parle parfois de palier à contrôle radial actif et à contrôle axial passif). Cette solution est
20 notamment intéressante pour des raisons de faible encombrement axial. En l'absence de cette contrainte on peut préférer un palier à contrôle radial passif et à contrôle axial actif ce qui présente des avantages de simplicité du point de vue électronique.

Il est rappelé ici qu'un système de suspension magnétique ne peut jamais être complètement passif car on peut démontrer qu'il y a toujours au moins un degré de liberté suivant lequel la partie suspendue (rotor) est dans un état d'équilibre instable (c'est-à-dire que la suspension
25 a suivant ce degré de liberté une raideur négative), ce qui impose la mise en oeuvre pour ce degré de liberté d'une boucle active à actionneurs du type bobines.

Comme cela sera mentionné ci-dessous, le fait que le palier 7 ou 7' soit à contrôle radial actif a pour
35 avantage de permettre, en modifiant les consignes d'asservissement, de commander le basculement de l'axe X-X de l'arbre.

Ainsi que cela ressort de la figure 2, ce palier comporte, du côté partie rotorique, une simple couronne polaire ferromagnétique 20 munie de nervures annulaires 21 et 22 tandis que ce palier comporte, du côté statorique, une couronne 23 d'aimants permanents à aimantation axiale, pris axialement en sandwich entre deux pièces polaires plates annulaires 24 et 25 définissant des entrefers avec les nervures 21 et 22 et enserrant par ailleurs deux paires (une seule est visible) de noyaux axiaux 26 diamétralement opposés, ces paires étant décalées de 90° et ces noyaux étant entourés de bobines 27. Dans les pièces polaires sont avantageusement prévues des fentes radiales (non visibles) alternant circonférentiellement avec les ensembles noyau/-bobine et visant à empêcher (de façon connue) les fuites magnétiques d'une bobine vers l'autre. A chaque axe d'asservissement radial (il y en a ici deux) sont associées deux bobines diamétralement opposées, connectées électriquement l'une à l'autre pour former un circuit indépendant de celui de l'autre axe.

Dans ce type de palier, le rotor est rappelé passivement s'il se déplace axialement ou s'il bascule suivant un axe perpendiculaire à l'axe X-X.

On appréciera que les bobines et les aimants mélangent leurs flux. Les aimants permanents de la couronne 20 produisent un flux principal statique tandis que les bobines, lorsqu'elles sont excitées par un courant de sens donné, génèrent un flux additionnel qui sert à moduler le flux permanent ou statique existant dans les entrefers et donc à augmenter d'un côté (à la figure 2, à gauche) et diminuer de l'autre côté (à la figure 2, à droite) la force radiale appliquée à la partie suspendue et donc appliquer à cette dernière une force radiale de sens et d'amplitude propre à ramener cette partie suspendue en sa position d'équilibre. Il suffit d'inverser le courant dans les bobines pour générer une force contraire. Bien sûr les bobines associées à un même axe sont montées et alimentées en sorte

d'appliquer toujours des forces de même sens. Un avantage de cette disposition est d'offrir une caractéristique effort/-courant qui est quasi-linéaire : cela permet l'emploi, dans le bloc électronique, de simples amplificateurs linéaires.

5 On appréciera que ce palier permet une très faible inertie en rotation puisque l'essentiel des éléments constitutifs des paliers est porté par leur partie statorique.

10 Outre l'absence de frottement (augmentant la durée de vie) et de "bruit de frottement" (améliorant la précision angulaire), ce palier à aimants permanents présente les avantages suivants :

- encombrement très réduit,
- consommation permanente quasi nulle en l'absence de
- 15 perturbation vibratoire,
- raideurs radiale, axiale et en basculement largement suffisantes pour l'application envisagée.

Un exemple de dimensionnement du palier 7 (ou 7') est le suivant :

20	- diamètre moyen du rotor du palier	:	47 mm
	- entrefers	:	0,60 mm
	- inertie de rotation des deux rotors	:	$7,1 \times 10^{-6}$ kg.m ²
	- masse d'aimants	:	70 g
	- raideurs (par palier) : axiale	:	20 N/mm
25	radiale	:	100 N/mm
	- jeu radial de butée (au rayon)	:	0,20 mm
	- actionneur :		
	. nombre de spires	:	170
	. diamètre de fil	:	0,6 mm
30	. intensité de décollage sous 1g et pour 0,2 mm (pire cas, lors des essais sol) de décalage initial	:	2 A
	. tension mini de décollage	:	5 V

35 Il est à noter que lors d'essais au sol, si l'ensemble est disposé suivant un axe vertical, la boucle d'asservissement radial ne nécessite pas plus de puissance

électrique qu'en vol : le poids de l'ensemble suspendu n'influe pas sur la position radiale du rotor. Cependant les tension et courant de décollage indiqués ci-dessus ont été dimensionnés de manière à pouvoir faire fonctionner le palier
5 au sol quelle que soit sa position ; toutefois seule la position verticale avec compensation du poids par un dispositif axial (contrepoids sur poulie) est représentative du fonctionnement en apesanteur.

En variante non représentée, les paliers magnétiques peuvent être du type décrit notamment dans le brevet US-
10 4.470.644 (WEISSER) comportant une couronne d'aimants solidaire du rotor.

L'asservissement est réalisé à partir des informations données par les capteurs 13 de position radiale
15 du rotor (deux capteurs par axe asservi). Les paliers magnétiques 7 et 7' peuvent utiliser indifféremment des capteurs de vitesse ou bien des capteurs de déplacement (il est à la portée de l'homme de métier d'adapter le bloc électronique en conséquence).

20 La stabilité du rotor en lévitation magnétique est assurée par deux chaînes d'asservissement identiques pilotant chacune un axe, représentées conjointement sous la référence 7A à la figure 10. Chaque chaîne comporte trois fonctions :

- 25 - un étage de traitement du signal d'entrée,
- un étage de correction,
- un étage d'amplification.

Seules les fonctions génération de la fréquence porteuse 50 kHz des capteurs de position sont communes.

30 Cette électronique reçoit en entrée un signal image de la position du rotor ; celui-ci est traité via un correcteur qui assure la fonction de transfert nécessaire à la stabilité de l'asservissement. Un amplificateur de puissance assure l'interface avec le palier.

35 Le décollage radial du rotor à partir d'une position en butée s'effectue automatiquement sans adjonction

d'une fonction supplémentaire. Seule la présence de la tension d'asservissement permet le décollage du rotor par rapport à sa position en butée.

Tel que représenté aux figures 3 et 4, le moteur 5 8 servant à commander le déplacement angulaire de la partie rotorique 4 est un moteur couple, à débattement limité à environ 120°, qui est entièrement situé à l'intérieur de l'encombrement radial de l'arbre 5.

Plus précisément, ce moteur couple 8 comporte, du 10 côté stator, un induit tubulaire 30 et, du côté rotor, un inducteur composé d'un barreau central 31 s'étendant axialement à l'intérieur de l'induit tubulaire et d'une portion tubulaire ferromagnétique 32 s'étendant tout autour de l'induit tubulaire 30.

15 On appréciera à la figure 1 que c'est également sur cette portion tubulaire ferromagnétique 32 que sont ménagées les nervures ferromagnétiques des paliers magnétiques 7 et 7'.

Entre l'induit tubulaire 30 et la portion 20 rotorique tubulaire 32 est ménagé un entrefer annulaire de dimension radiale normalement constante ; en effet la surface extérieure de l'induit et la surface intérieure de la portion tubulaire sont cylindriques. Par contre, la surface extérieure du barreau central 31 est formée de deux portions d'un 25 même cylindre 33A et 33B d'amplitudes angulaires sensiblement égales inférieures à 180° (par exemple 150°) diamétralement opposées et séparées par deux méplats longitudinaux 34A et 34B (ici plans et parallèles) grâce à quoi les deux portions cylindriques 33A et 33B définissent avec l'induit deux 30 entrefers de dimension radiale très inférieure à la distance radiale moyenne entre les méplats et cet inducteur. En variante non représentée, ces méplats sont convexes ou plutôt concaves.

Dans ce barreau central 31 est disposé un barreau 35 à aimantation permanente 35 dont le sens d'aimantation est orienté transversalement à l'axe et parallèlement aux méplats

en sorte de générer un flux magnétique depuis l'une des portions cylindriques vers l'autre. Ce flux quitte l'une des portions cylindriques et traverse radialement l'induit jusqu'à la portion tubulaire ferromagnétique puis circule 5 circonférentiellement dans celle-ci pour repénétrer dans le barreau central par l'autre portion cylindrique. Une ligne de flux est représentée à titre d'exemple.

Le barreau à aimantation permanente s'étend avantageusement sur toute la largeur du barreau central entre 10 les méplats de sorte que le barreau central se compose d'un barreau aimanté séparant deux pièces polaires.

Ainsi que cela est représenté à la figure 4, l'induit comporte au moins un bobinage 36.

Chaque bobinage 36 comporte des brins longitudi- 15 naux parallèles disjoints 36A (leur écartement a été exagéré à la figure 4 pour des raisons de clarté) raccordés par des brins 36B disposés transversalement à l'axe, ici en arcs de cercle tels que les brins soient tous en série entre une borne d'entrée E et une borne de sortie S. Les brins longitudinaux sont répartis en deux faisceaux F1 et F2 diamétralement opposés, d'amplitude angulaire inférieure à celle des 20 portions cylindriques du barreau central, par exemple ici de l'ordre de 20°. Tous les brins d'un même faisceau sont, lorsqu'un courant est appliqué entre les bornes E et S, 25 parcourus par des courants de même sens.

Ces faisceaux sont disposés sur l'induit en sorte d'être en regard des portions cylindriques du barreau central. De la sorte, dès qu'un courant est appliqué dans un sens ou dans l'autre entre les bornes E et S, l'interaction 30 de ce courant circulant dans les brins longitudinaux avec les flux magnétiques traversant l'induit génère un couple sur le barreau. Le débattement angulaire de l'inducteur vaut ainsi au maximum sensiblement la différence entre les amplitudes angulaires des faisceaux de l'induit et des portions cylin- 35 driques du barreau central.

On appréciera que les courants circulant dans les brins transversaux n'induisent aucun couple.

De préférence ces brins transversaux sont disposés axialement à l'écart du barreau central à aimanta-
5 tion permanente. En d'autres termes, ce barreau central est
avantageusement plus court que les brins longitudinaux (on
évite ainsi l'apparition d'efforts coaxiaux).

On appréciera que, bien que les matériaux à
aimantation permanente soient généralement de poids spécifi-
10 que élevé, cela a selon l'invention une faible incidence sur
l'inertie en rotation de l'équipage mobile puisque le barreau
aimanté est disposé suivant l'axe de rotation.

Le bobinage 36 peut être réalisé par dépôt de
pistes, selon la technologie des circuits imprimés, auquel
15 cas l'induit peut comporter plusieurs bobinages 36 ménagés en
des couches de circuit imprimé radialement superposées et
isolées électriquement les unes des autres, l'entrée de
chaque bobinage étant toutefois connectée à la sortie du
précédent, de manière à ce que ces bobinages soient en série,
20 et les faisceaux analogues des divers bobinages étant
respectivement superposés radialement en sorte d'ajouter et
non soustraire les couples générés par les faisceaux voisins.

Toutefois, ainsi que cela ressort de la figure 3,
le bobinage peut être formé de fils tels que les brins des
25 faisceaux soient des fils conducteurs répartis sur l'épais-
seur de l'induit tubulaire.

La configuration du moteur 8 permet ainsi
d'obtenir des couples importants avec des induits de faible
inertie de rotation ; de plus elle présente l'avantage de
30 fournir un couple constant (donc sans ondulation) pour une
intensité donnée sur tout son débattement angulaire, soit
environ ici 130° ce qui ne pourrait être obtenu de façon
fiable avec un moteur synchrone ou un moteur à commutation
entre plusieurs paires de pôles. Un autre avantage fondamen-
35 tal de ce moteur 8 est l'absence d'effort magnétique diver-
gent (raideur négative), ce qui permet son utilisation

couplée avec un palier magnétique sans problème supplémentaire de stabilité à résoudre.

A titre d'exemple, les caractéristiques principales de ce moteur sont :

- 5 - diamètre moyen du bobinage stator (induit) : 28,5 mm
- épaisseur du tube statorique : 2,2 mm
- induction dans l'entrefer : 0,3 T
- résistance du bobinage : 2,3 Ohms
- 10 - inertie du rotor (aimant + tube central) : $6,46 \times 10^{-6}$ kg.m²
- couple maximum : 6×10^{-2} N.m
- intensité pour le couple max. : 2 A
- puissance dissipée à I_{max} : 9 W

Deux technologies (connues en soi) de détection de position angulaire sont possibles pour obtenir la précision angulaire demandée :

- 15 - résolveur optique 9 (cas représenté ici) : composé d'un disque de verre gravé, et de plusieurs paires d'émetteur (diode optique) - récepteur (non représentées) décalés d'un
- 20 quart de pas de gravure pour connaître le sens de rotation et améliorer la précision du résolveur. Un inconvénient possible de ce type de résolveur est le très petit jeu nécessaire entre le disque d'une part, et les émetteurs-récepteurs d'autre part (quelques dizaines de microns). Par contre
- 25 l'électronique référence 9A à la figure 1 est assez simple. Ce type de décodeur fonctionne en relatif (incrémentaire - décrémentation) et nécessite un repère pour la position zéro.
- résolveur magnétique à reluctance variable (cas non représenté) composé d'une partie tournante liée à l'arbre et
- 30 avantageusement formée de deux couronnes dentées décalées à la fois axialement et radialement (de la moitié de l'écart angulaire entre les dents des couronnes - il y en a par exemple 32 de sorte que le décalage radial est $5,625^\circ$ - pour connaître le sens de rotation) et d'une partie fixe composée
- 35 elle aussi de deux couronnes dentées mais dont les dents sont entourées de bobinages. Une tension alternative sinusoïdale

est injectée dans les bobines de chaque couronne de la partie fixe (toutes les bobines sont en série) et le courant de sortie retrace la reluctance du circuit magnétique ainsi formé : reluctance faible pour les dents en face les unes des autres, et forte lorsque les dents d'une couronne sont en face des creux de l'autre couronne. La forme des dents est étudiée pour avoir un signal de sortie sinusoïdal pour un pas polaire : une électronique de traitement appropriée (résolveur synchrodigital) permet ensuite de connaître précisément la position angulaire sur un pas polaire. Ce résolveur est donc à fonctionnement mixte : absolu sur chaque pas polaire, relatif (incrémental) d'un pas polaire à l'autre. Avec 32 dents sur chaque couronne et le résolveur synchrodigital on obtient la précision voulue. L'avantage de ce principe réside dans la possibilité d'avoir des entrefers relativement grands (0,25 - 0,3 mm) compatibles avec la souplesse du palier magnétique.

Le positionnement du miroir 6 à la valeur de consigne demandée est réalisé par un bloc d'asservissement schématisé en 8A à la figure 10, dont les entrées sont les informations du résolveur angulaire et la consigne de balayage, la sortie étant un signal de commande α .

La commande proprement dite du moteur de balayage (voir bloc 8B de la figure 12) se fait à l'aide d'un amplificateur de courant de linéarité et de distorsion de croisement compatibles avec les performances requises. Celui-ci reçoit en entrée la commande analogique α et délivre un courant de signe et d'amplitude proportionnel au couple nécessaire à l'asservissement du moteur balayage.

Son alimentation s'effectue si possible directement à partir de la tension non régulée d'un convertisseur 15 relié à un bus d'alimentation par un élément 16 de filtrage et de protection.

Pour assurer une commande en basculement de l'arbre, on peut prévoir de petites bobines disposées autour de noyaux disposés au moins approximativement axialement en

regard d'une partie rotorique. Ces bobines étant disposées de part et d'autre axialement de cette partie rotorique, en des zones diamétralement opposées à l'axe autour duquel on veut pouvoir provoquer un basculement. La commande en basculement se fait alors par activation de deux telles bobines disposées de part et d'autre à la fois de cette partie rotorique et de l'axe de celle-ci, en sorte d'attirer ce rotor, en une zone dans un sens axial et dans une zone diamétralement opposée dans le sens axial opposé, ce qui provoque un couple transversal sur l'arbre. On profite ici de ce que le palier magnétique a une raideur positive en basculement.

Toutefois, de manière préférée, on profite ici de la présence de deux paliers magnétiques pour obtenir un basculement en déplaçant tout simplement la position de consigne de l'un au moins des deux paliers, voire les positions de consigne de l'arbre dans des sens radiaux opposés pour les deux paliers, ce qui induit un couple.

Ainsi par exemple, on dispose les paliers 7 et 7' en sorte que leurs axes transversaux asservis soient parallèles, et on agit sur les bobines des paliers agissant parallèlement à une même direction. En fait, un basculement est obtenu dès lors qu'on déplace la consigne pour une seule paire de bobines dans un seul palier.

Ce basculement est contrôlé par l'électronique d'asservissement, schématisée en 7A à la figure 10, pilotée à partir de la consigne de basculement 8.

Le dispositif de verrouillage 10 est représenté aux figures 5 à 9.

Ce dispositif 11 comporte trois pinces 60 munies chacune d'un patin de serrage 61 adapté, avec les patins 61 des autres pinces, à enserrer l'arbre 5. De manière préférée, ainsi que cela ressort de la figure 1, les patins rentrent dans une gorge circonférentielle de l'arbre dont les flancs permettent ainsi un maintien axial de l'arbre dans un sens au moins (plus généralement il peut suffire de quelques portées axiales pour les tranches des patins).

Ces pinces 60 sont, en des zones 62 décalées aussi bien radialement que circonférentiellement décalées vis à vis des patins 61, articulées sur la partie statorique de l'ensemble du dispositif, à l'aide de pions axiaux 63.

5 Ces pinces 60 sont logées dans une fente transversale d'une bague 65 (voir aussi la figure 1) adaptée à tourner autour de l'axe X-X avec un débattement limité, par exemple 60°.

10 Chacune des pinces comporte une lumière 66 dont les bords radialement interne 67 et externe 67', qui ne sont pas centrés sur l'axe X-X, forment des rampes pour un téton axial 68 solidaire de la bague et traversant cette lumière. De manière préférée, ces tétons 68 sont munis de roulements 68A, ce qui minimise les frottements avec ces rampes. Chaque
15 lumière 66 comporte une première extrémité circonférentielle 69 proche de l'articulation 63 où le bord 67 est à distance minimale de l'axe de son patin 61 et une seconde extrémité circonférentielle 70 éloignée de l'articulation 63, où le bord est à distance maximale de l'axe du patin.

20 Les trois tétons axiaux 68 sont positionnés dans la bague 65 au travers de sa fente en sorte d'être simultanément, soit aux premières extrémités circonférentielles 69 (configuration de déverrouillage), soit aux secondes extrémités circonférentielles 70 (configuration de verrouillage).

25 Cette bague 65 est rappelée en rotation de manière bistable passive au moyen d'éléments élastiques 75 (à base de ressorts) - voir ci-dessous - vers l'une ou l'autre des configurations de verrouillage ou de déverrouillage, garantissant ainsi, d'une part en configuration de déverrouillage, le maintien de cette configuration et, d'autre
30 part, en configuration de verrouillage non seulement le maintien en configuration mais aussi l'effort appliqué par les patins sur l'arbre : en pratique, les lumières 66 sont dimensionnées en sorte que les patins de serrage viennent
35 s'appliquer sur l'arbre avant que les tétons viennent en butée circonférentielle contre les secondes extrémités

circonférentielles 70.

La bague 65 est manoeuvrée entre ses deux configurations, à l'encontre des éléments de rappel bistable passif précités, par un moteur 71 qui est avantageusement du
5 type représenté aux figures 7 à 9.

Ce moteur 71 servant à manoeuvrer la bague 65 est un moteur couple à débattement limité à environ 120°, comportant une partie statorique ou inducteur 80 comportant une paire de pôles et une partie rotorique, aussi appelée
10 induit 81, constituée d'un disque portant un ou plusieurs bobinages plans, de préférence réalisés chacun selon la technologie des circuits imprimés.

Plus précisément, ainsi que cela ressort des figures 4 et 5, l'inducteur 80 comporte une paire d'armatures
15 magnétiques 82 et 83 disjointes, coiffant sans contact la périphérie de l'induit sur des secteurs angulaires inférieurs à 180° (par exemple 150°) et présentant des rebords formant des saillies axiales axialement en regard au travers de l'induit et définissant avec lui des entrefers radiaux. Ces
20 armatures portent chacune au moins une portion de couronne à aimantation permanente 84 ou 85, respectivement, générant un flux magnétique se refermant axialement au travers de l'induit ; ces portions de couronne à aimantation permanente 84 ou 85 longent avantageusement les entrefers situés de part
25 et d'autre de l'induit 81 et sont donc à aimantation axiale.

Dans l'exemple considéré ici, les flux magnétiques respectifs des deux armatures traversent l'induit dans des sens respectivement différents, et les portions de couronne 84 et 85 ont des sens d'aimantation axiale opposés.

30 Pour bien contrôler le flux magnétique au travers de l'induit, celui-ci est avantageusement interposé axialement entre deux portions de couronne à aimantation permanente 84 et 84A, ou 85 et 85A, pour chaque armature.

Le (ou les) bobinage(s) formé(s) sur l'induit 81
35 sont formés de brins en arcs de cercle 86A centrés sur l'axe X-X et raccordés par des tronçons ou brins radiaux 86B

répartis en deux secteurs ou faisceaux S1 et S2 diamétralement opposés, par exemple d'amplitude angulaire d'environ 30°. Ces arcs de cercle 86A et ces tronçons radiaux 86B sont raccordés en sorte de former un bobinage 86 ayant une borne d'entrée E et une borne de sortie S.

Un tel bobinage 86 est représenté à la figure 6, étant précisé que, pour la clarté du dessin, on a exagéré l'écartement entre les tronçons 86B voisins, ou les arcs voisins 86A, et donc minimisé leur nombre. On notera que les arcs de cercle s'étendent sur près de 180° et que les brins radiaux de chacun des deux secteurs S1 et S2 sont, lorsqu'un courant est appliqué entre les bornes E et S, parcourus par des intensités de même sens. Les arcs de cercle définissent avec les tronçons radiaux des spires conformées en "banane" et emboîtées les unes dans les autres en sorte de former au moins un ensemble de spires, ici deux ensembles de spires disposées de part et d'autre d'un diamètre reliant les secteurs S1 et S2. L'un des tronçons radiaux (ici le tronçon médian du secteur S1) raccorde les deux ensembles de spires (qui constituent ainsi deux demi-bobinages).

Les sens de parcours du courant dans les secteurs sont choisis en sorte que, lorsque chacun des secteurs est pris en sandwich (sans contact pour ménager les entrefers axiaux précités) dans une armature respective, les flux d'aimantation permanente des deux armatures qui se referment au travers des secteurs induisent sur l'induit des couples de même sens.

On appréciera que le courant circulant dans les arcs de cercle n'induit aucun couple sur l'induit.

On appréciera qu'un tel principe se généralise à des moteurs à une phase et à n paires de pôles, du moment que le débattement voulu est inférieur à $2\pi/n$, auquel cas on prévoit sur l'induit n paires de secteurs diamétralement opposés ; il peut y avoir un ou plusieurs bobinage(s) par couche de circuit imprimé, avec des spires en bananes s'étendant d'un secteur correspondant à une paire de pôles à

un secteur adjacent s'étendant à une autre paire de pôles. Comme précédemment, l'amplitude de débattement est définie par la différence des amplitudes angulaires des armatures et des secteurs ou faisceaux de brins radiaux.

5 On notera à ce propos que l'amplitude des armatures est en fait celle des rebords de celle-ci et que ce n'est que de manière préférée que le fond des armatures a une même amplitude que ces rebords : en variante, ce fond radial pourrait être d'amplitude plus faible.

10 Le bobinage 86 peut être réalisé par dépôt de pistes, selon la technologie des circuits imprimés.

L'induit peut comporter plusieurs bobinages 86 ménagés en des couches de circuit imprimé axialement superposées et isolées électriquement les unes des autres, l'entrée
15 de chaque bobinage étant toutefois connectée à la sortie du précédent, de manière à ce que ces bobinages soient en série, et les secteurs S1 et S2 des divers bobinages étant respectivement superposés axialement.

Ce moteur est commandé par une électronique
20 schématisée en 10A à la figure 12.

On notera ici que la configuration du moteur 71 permet un faible encombrement axial et un couple important.

La bague 65, à laquelle est fixée l'induit du moteur 71, est de préférence reliée à la pièce annulaire
25 magnétique 72 (ou à toute partie statorique) par une pluralité d'éléments élastiques 75 (par exemple quatre ou six) globalement radiaux et travaillant en compression, ici articulés, mobiles transversalement à l'axe entre deux configurations extrêmes dans lesquelles les pinces sont
30 en configuration, soit de verrouillage, soit de déverrouillage ; ces éléments élastiques ont une configuration intermédiaire (d'équilibre instable) dans laquelle ils sont orientés radialement, grâce à quoi ce dispositif de verrouillage est rendu bistable de façon passive. On appréciera (voir
35 ci-dessus) que ces éléments élastiques ont ici une double fonction puisqu'ils génèrent l'effort de serrage et assurent

ce positionnement bistable.

Les éléments élastiques assurent ainsi :

- un verrouillage sûr (non déverrouillage sous vibrations),
- un déverrouillage sûr lui aussi,
- 5 - une réversibilité de la fonction verrouillage/déverrouillage.

Cette solution permet à la fois d'éviter le recours à une libération pyrotechnique, d'autoriser lors des essais au sol du système complet plusieurs verrouillages et
10 déverrouillages et donc de tester le système de verrouillage lui-même. Ce système est donc prévu pour fonctionner plusieurs fois au sol, mais a priori une seule fois en vol pour le déverrouillage.

Du point de vue alimentation (voir la figure 12)
15 la seule source d'énergie requise est la tension primaire du bus d'alimentation. En entrée, l'électronique d'alimentation comprend (bloc 16 déjà cité) les protections nécessaires afin de conserver l'intégrité de l'alimentation ainsi que les filtrages utiles.

20 A la suite, un (ou plusieurs) convertisseur(s) 15 assure(nt) la réalisation des tensions nécessaires à toute l'électronique du système de balayage ; il réalise l'isolement galvanique.

La référence 17 de la figure 10 représente le
25 bloc d'interface et de protection de l'ensemble vis à vis du calculateur de bord (et réciproquement) auquel il est relié par un bus de commande et un bus de surveillance.

Il est possible de prévoir, en cas de besoin, un système de compensation dynamique visant à supprimer, ou du
30 moins à diminuer fortement le couple de réaction transmis au satellite. Le principe de ce système résiderait dans la mise en rotation d'un volant d'inertie en sens inverse de celui du miroir. Diverses solutions sont possibles mais la seule qui apparaît réalisable de façon fiable (quoi que pénalisante du
35 point de vue masse) sans dégrader le niveau de précision angulaire sur le balayage consiste à installer dans l'axe du

système principal un autre palier magnétique, entraîné en rotation par un moteur strictement identique à celui du système de balayage et couplé à un volant d'inertie. Aucune liaison mécanique (engrenages) ne relie alors le système principal à ce nouvel ensemble palier-moteur-volant d'inertie ; simplement les deux moteurs (balayage et compensation dynamique) sont branchés ensemble (en série pour avoir le même couple) en opposition : la commande du balayage actionne ainsi à la fois le système portant le miroir et le contre-volant d'inertie. Le couple résultant transmis au satellite est donc du niveau de la différence de couple entre les deux moteurs, soit du niveau de la différence entre les inductions des aimants du stator de chacun des deux moteurs.

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. Ainsi par exemple, on peut être amené à supprimer le résolveur, par exemple dans le cas où le rotor du moteur serait soumis à un rappel élastique vers une configuration neutre donnée par rapport au stator.

REVENDICATIONS

1. Moteur-couple (8) comportant un inducteur (31-32) lié à un arbre mobile en rotation à l'intérieur d'un débattement angulaire donné autour d'un axe donné (X-X) par rapport à une partie statorique comportant un induit, caractérisé en ce que :

- l'inducteur comporte un barreau central (31) allongé selon ledit axe et une portion tubulaire ferromagnétique (32) s'étendant circonférentiellement tout autour de ce barreau central radialement à distance de celui-ci, ce barreau central comportant deux portions d'un même cylindre (33A, 33B) diamétralement opposées et d'axes confondus avec l'axe donné, d'amplitudes angulaires sensiblement égales inférieures à 180°, et séparées par deux méplats longitudinaux (34A, 34B) globalement parallèles, ainsi qu'un barreau central à aimantation permanente (35) disposé suivant l'axe donné et de sens d'aimantation orienté sensiblement parallèlement aux méplats, et

- l'induit (30) est un élément tubulaire interposé radialement entre le barreau central et la portion tubulaire ferromagnétique et comportant au moins un bobinage (36) ayant une entrée (E) et une sortie (S) et comportant des brins longitudinaux parallèles disjoints (36A) raccordés par des brins (36B) disposés transversalement à l'axe donné, ces brins longitudinaux étant répartis en deux faisceaux (F1, F2) diamétralement opposés, tous les brins d'un faisceau étant, lorsqu'un courant est appliqué entre l'entrée et la sortie du bobinage, parcourus par des courants de même sens, chaque faisceau étant en regard de l'une, respective, des portions de cylindre, et ledit débattement angulaire donné étant inférieur à la différence entre les amplitudes angulaires des portions de cylindre et des faisceaux.

2. Moteur-couple selon la revendication 1, caractérisé en ce que le barreau central à aimantation permanente (35) s'étend d'un méplat (34A) à l'autre (34B).

3. Moteur-couple selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que le barreau central (31) s'étend axialement sur une distance inférieure à la longueur des brins longitudinaux et les brins transversaux sont disposés axialement à l'écart de part et d'autre de ce barreau central.

4. Moteur-couple selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les méplats (34A, 34B) sont plans et parallèles.

5. Moteur-couple selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'amplitude angulaire de chaque portion de cylindre (33A, 33B) est comprise entre 90° et 170° .

6. Moteur-couple selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'amplitude angulaire de chaque faisceau (F1, F2) est inférieure à 30° .

7. Moteur-couple selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'amplitude angulaire de chaque portion de cylindre est de 150° environ, l'amplitude angulaire de chaque faisceau est d'environ 30° , et l'amplitude de débattement est d'environ 120° .

8. Moteur-couple selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'induit tubulaire est formé de plusieurs bobinages montés en série ménagés en couches radialement superposées mais électriquement isolées les unes des autres, l'entrée de chaque bobinage étant toutefois connectée à la sortie du bobinage précédent, et les faisceaux des bobinages, dont les brins longitudinaux sont parcourus à tout instant par des courants de même sens axial, étant superposés radialement.

9. Moteur-couple selon la revendication 8, caractérisé en ce que l'induit tubulaire est formé de 2 à 10 couches de bobinages formés de pistes de circuits imprimés.

10. Moteur-couple selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les faisceaux (F1, F2) de l'induit tubulaire sont formés de fils conduc-

teurs voisins répartis dans l'épaisseur de cet induit.

11. Dispositif de commande en débattement angulaire d'un équipage mobile (4), comportant un stator, un arbre (5) lié à cet équipage mobile et s'étendant selon un
5 axe donné (X-X) et comportant un moteur (8) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, cet arbre étant monté dans au moins un palier magnétique (7, 7').

12. Dispositif de commande selon la revendication 11, caractérisé en ce que chaque palier magnétique est à deux
10 axes transversaux asservis.

13. Dispositif de commande selon la revendication 12, caractérisé en ce que chaque palier magnétique (7, 7') comporte une couronne polaire ferromagnétique (20) portée par l'arbre et, autour de cette couronne, portées par le stator,
15 une couronne à aimantation permanente axiale (23), deux paires de noyaux axiaux (26) entourés de bobines, et deux plaques polaires (24, 25) enserrant cette couronne à aimantation permanente et ces paires de noyaux.

14. Dispositif de commande selon l'une quelconque
20 des revendications 11 à 13, caractérisé en ce qu'il y a deux paliers magnétiques ayant chacun deux axes transversaux asservis.

15. Dispositif de commande selon la revendication 13, caractérisé en ce que la portion tubulaire ferromagnétique (32) du moteur comporte deux couronnes polaires ferromagnétiques (20) faisant partie de deux paliers magnétiques.
25

16. Dispositif de commande selon la revendication 14 ou la revendication 15, caractérisé en ce qu'il comporte
30 un dispositif de commande en basculement comportant au moins l'une des paires de bobines de l'un des paliers, et un bloc de commande (11A) adapté à faire varier la consigne de positionnement de l'arbre transversalement à l'axe de rotation (X-X) pour au moins cette paire de bobines.

35 17. Dispositif de commande selon l'une quelconque des revendications 11 à 16, caractérisé en ce qu'il comporte

un dispositif de verrouillage (10) adapté à maintenir radialement l'arbre dans une configuration donnée.

18. Dispositif de commande selon la revendication 17, caractérisé en ce qu'il comporte deux paliers magnétiques et ce dispositif de verrouillage (10) est disposé axialement entre ces deux paliers magnétiques.

19. Dispositif de commande selon la revendication 17 ou la revendication 18, caractérisé en ce que ce dispositif de verrouillage comporte une pluralité de pinces (60) munies de patins de serrage (61) articulées sur une partie statorique autour de pions axiaux (63) situés à distance de l'axe, mobiles sous l'action d'une pièce de manoeuvre (65) entre une configuration de déverrouillage dans laquelle les patins sont à une distance maximale de l'axe et une configuration de verrouillage dans laquelle les patins sont à une distance minimale de l'axe propre à induire un serrage radial de l'arbre.

20. Dispositif de commande selon la revendication 19, caractérisé en ce que les patins de serrage sont en regard radialement de la portion tubulaire ferromagnétique du moteur (8).

21. Dispositif de commande selon la revendication 19 ou la revendication 20, caractérisé en ce que l'arbre comporte des butées axiales adaptées à venir axialement en regard des patins de serrage dans la configuration de verrouillage, grâce à quoi cet arbre est maintenu axialement dans ladite configuration de verrouillage.

22. Dispositif de commande selon l'une quelconque des revendications 19 à 21, caractérisé en ce que la pièce de manoeuvre (65) est une bague annulaire centrée sur l'axe ayant un débattement angulaire donné, comportant autant de tétons axiaux (68) qu'il y a de pinces, chaque pince comportant une lumière circonférentielle (67) traversée par l'un des tétons (68), les bords radialement interne et externe (69, 70) de cette lumière formant des rampes pour les tétons, cette lumière comportant une première extrémité circonféren-

tielle (69) située à une distance minimale de l'axe de rotation et une seconde extrémité circonférentielle (70) située à une distance maximale de l'axe de rotation, grâce à quoi, lorsque les tétons de la bague sont dans les premières
5 extrémités circonférentielles des lumières, les pinces sont dans leurs configurations de déverrouillage et lorsque les tétons de la bague sont dans les secondes extrémités circonférentielles des lumières, les pinces sont dans leurs configurations de verrouillage.

10 23. Dispositif de commande selon la revendication 22, caractérisé en ce que ces tétons (68) sont chacun munis de roulements adaptés à rouler sur les bords radialement externes ou internes des lumières circonférentielles.

24. Dispositif de commande selon la revendication
15 22 ou la revendication 23, caractérisé en ce que la bague est commandée en débattement angulaire par un second moteur (71) comportant un induit solidaire de la bague et un inducteur lié à la partie statorique (2) du dispositif de commande en débattement angulaire, cet induit ayant globalement la forme
20 d'un disque plat et l'inducteur étant formé d'au moins une paire d'armatures magnétiques circonférentiellement disjointes coiffant sans contact la périphérie radialement externe de ce disque sur des secteurs angulaires disjoints et présentant chacune deux rebords formant des saillies axiales
25 axialement en regard au travers du disque, au moins une portion de couronne à aimantation permanente coplanaire à l'axe étant ménagée dans chaque armature en sorte de générer un flux magnétique se refermant axialement entre les rebords au travers de l'induit, cet induit comportant au moins un
30 bobinage plan, avec une entrée et une sortie, formé de brins en arc de cercle concentriques et centrés sur l'axe et de brins radiaux raccordant les brins en arc de cercle en sorte de former au moins un ensemble de spires en forme de banane emboîtées les unes dans les autres mais raccordées en série,
35 les brins radiaux de chaque bobinage étant regroupés en au moins une paire de faisceaux formés de brins adjacents mais

disjoints tels que, lorsqu'un courant est appliqué entre l'entrée et la sortie du bobinage, tous les brins radiaux d'un même faisceau soient parcourus par des courants de même sens radial, chacun des faisceaux étant disposé axialement

5 entre les rebords d'une armature respective, le sens axial du flux traversant l'induit entre les rebords de chaque armature étant choisi en sorte que, lorsqu'un courant est appliqué entre l'entrée et la sortie du bobinage, l'interaction entre les courants circulant dans les brins des faisceaux avec les

10 flux magnétiques axiaux génère sur l'induit des couples de même sens, l'amplitude angulaire du débattement étant définie par la différence entre les amplitudes angulaires des paires de rebords et des faisceaux de brins radiaux.

25. Dispositif de commande selon l'une quelconque

15 des revendications 22 à 24, caractérisé en ce que les patins de serrage sont sollicités radialement vers l'axe par des éléments élastiques agissant sur la bague.

26. Dispositif de commande selon l'une quelconque des revendications 22 à 25, caractérisé en ce que la bague de

20 manoeuvre est reliée à une portion statorique par une pluralité d'éléments élastiques (75) globalement radiaux, travaillant en compression, mobiles dans un plan transversal à l'axe de part et d'autre d'une configuration instable dans laquelle ils sont orientés radialement, entre deux configura-

25 tions extrêmes stables pour lesquelles les pinces sont en leurs configurations de verrouillage ou de déverrouillages, respectivement.

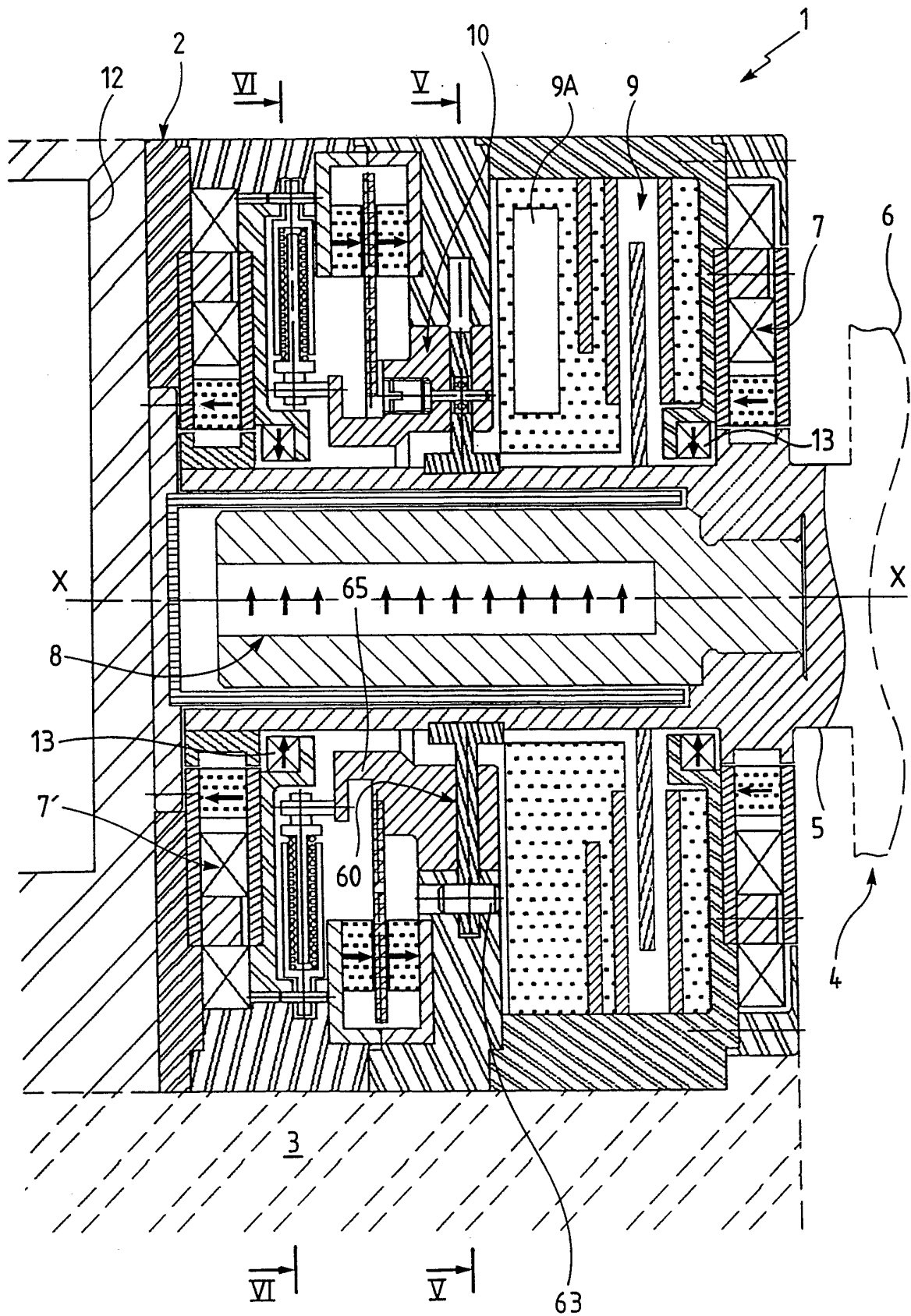


Fig.1

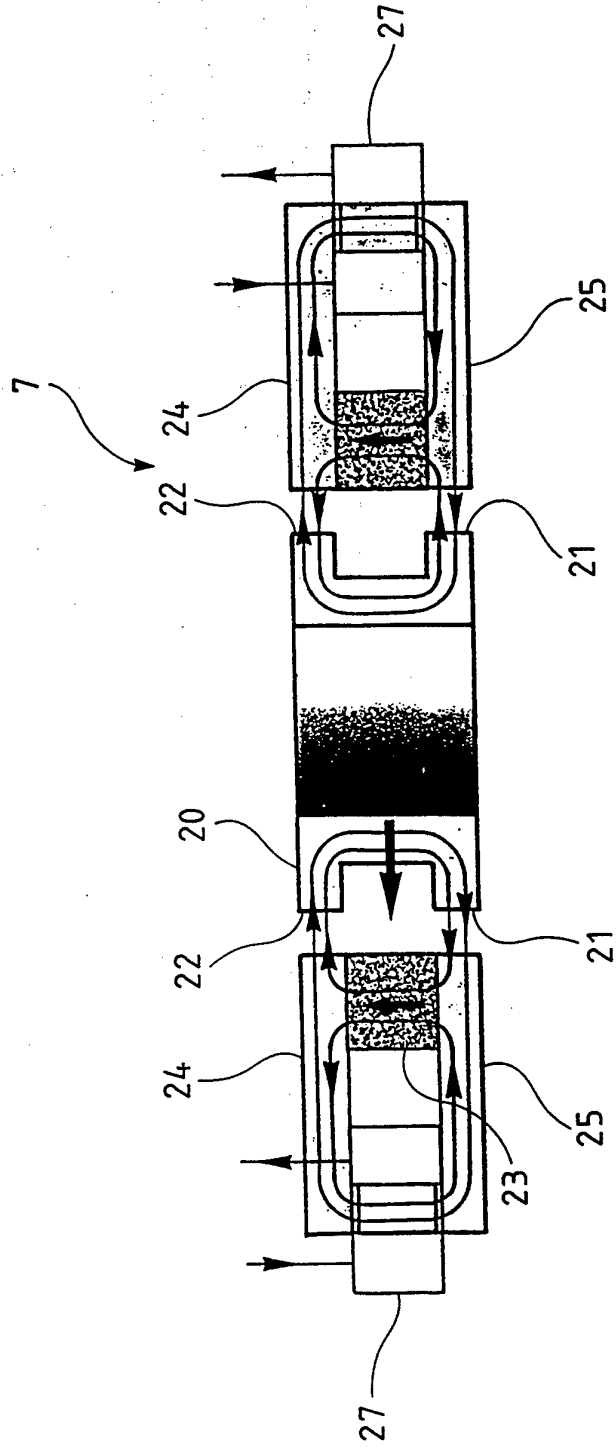


Fig. 2

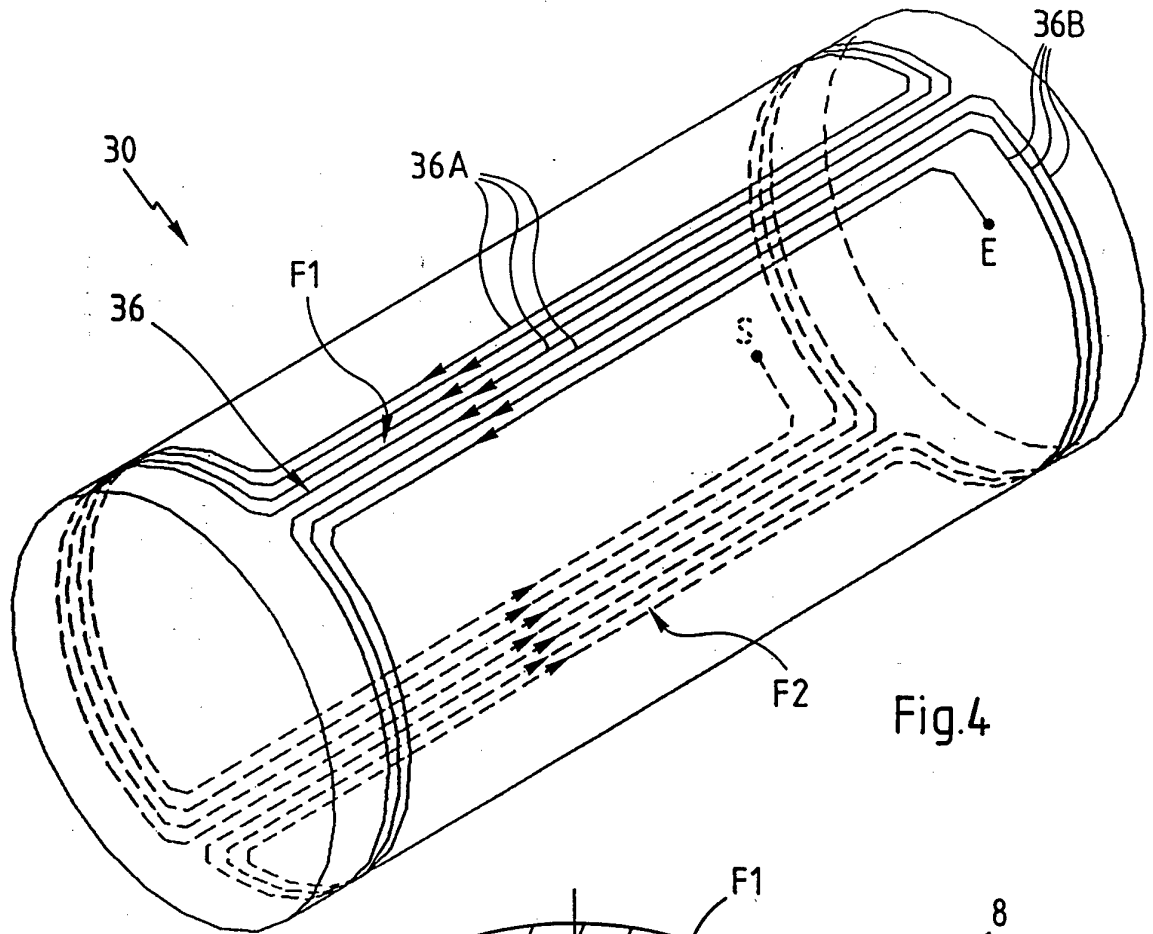


Fig. 4

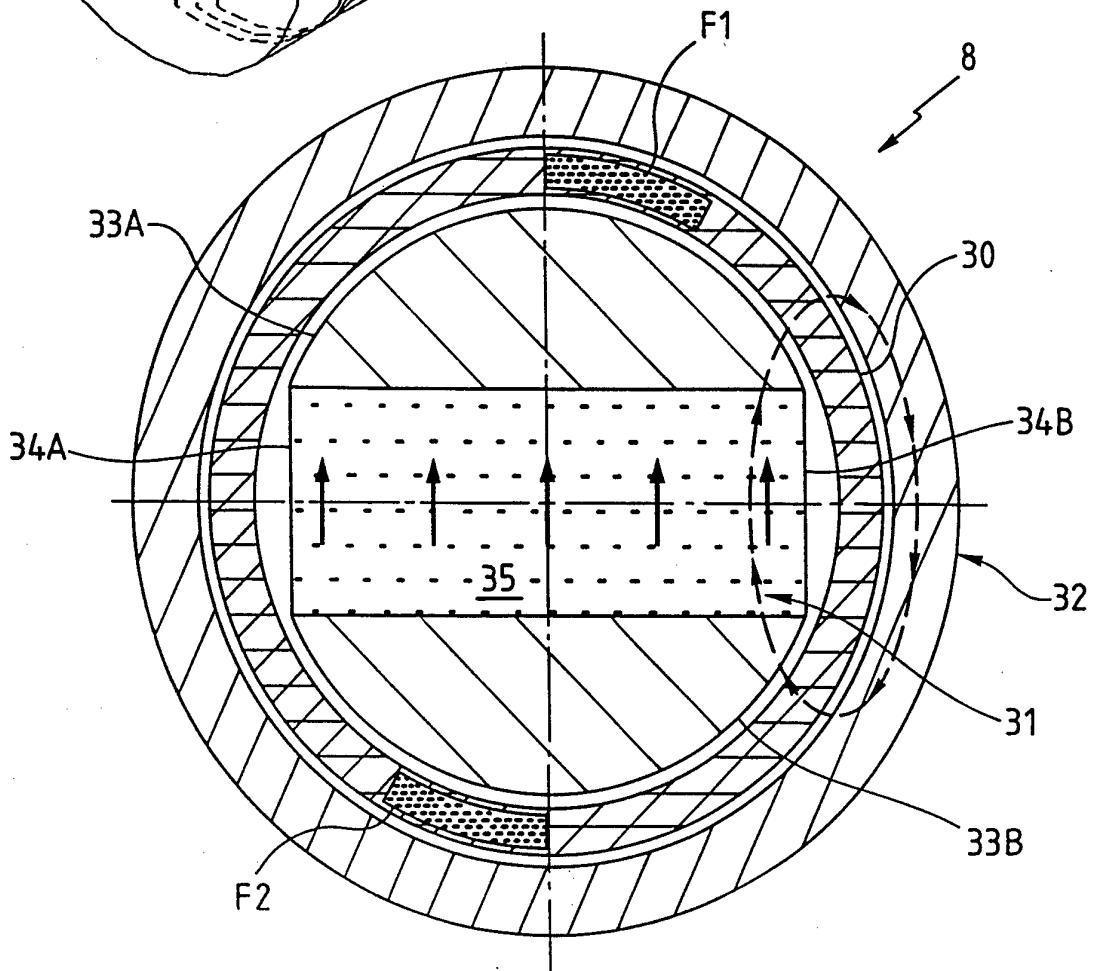


Fig. 3

Fig.6

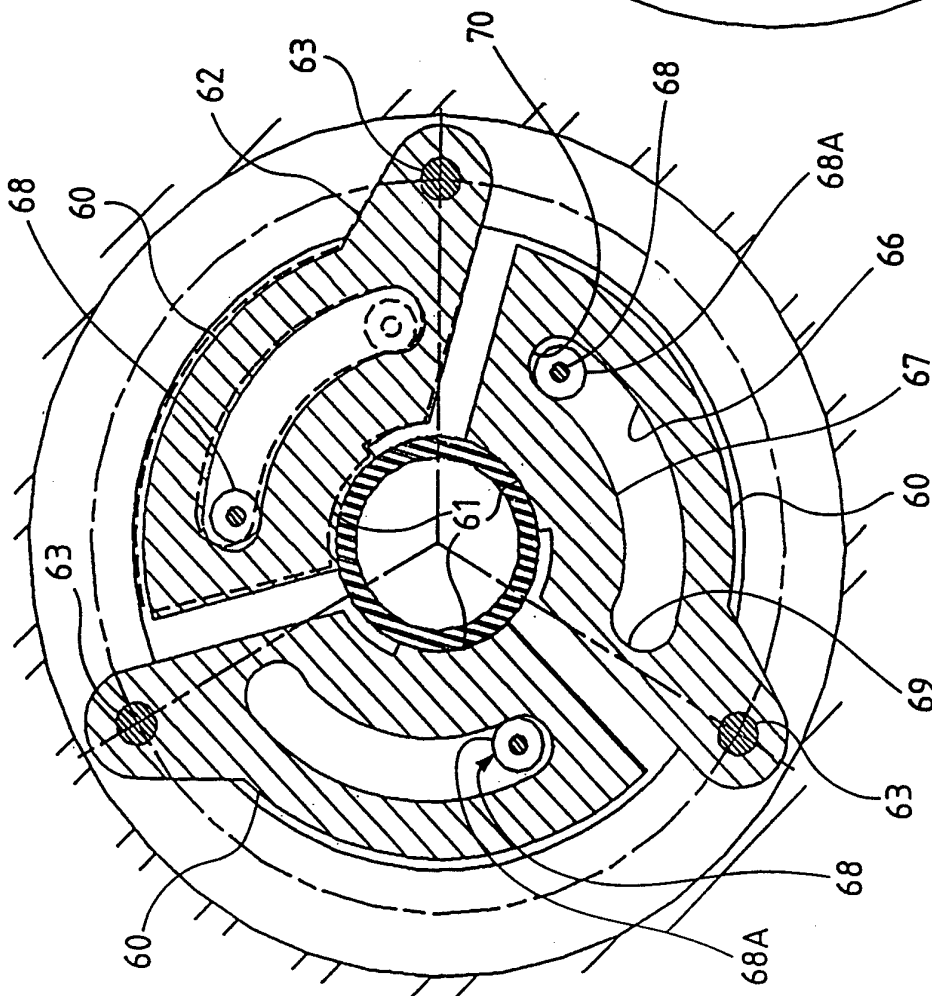
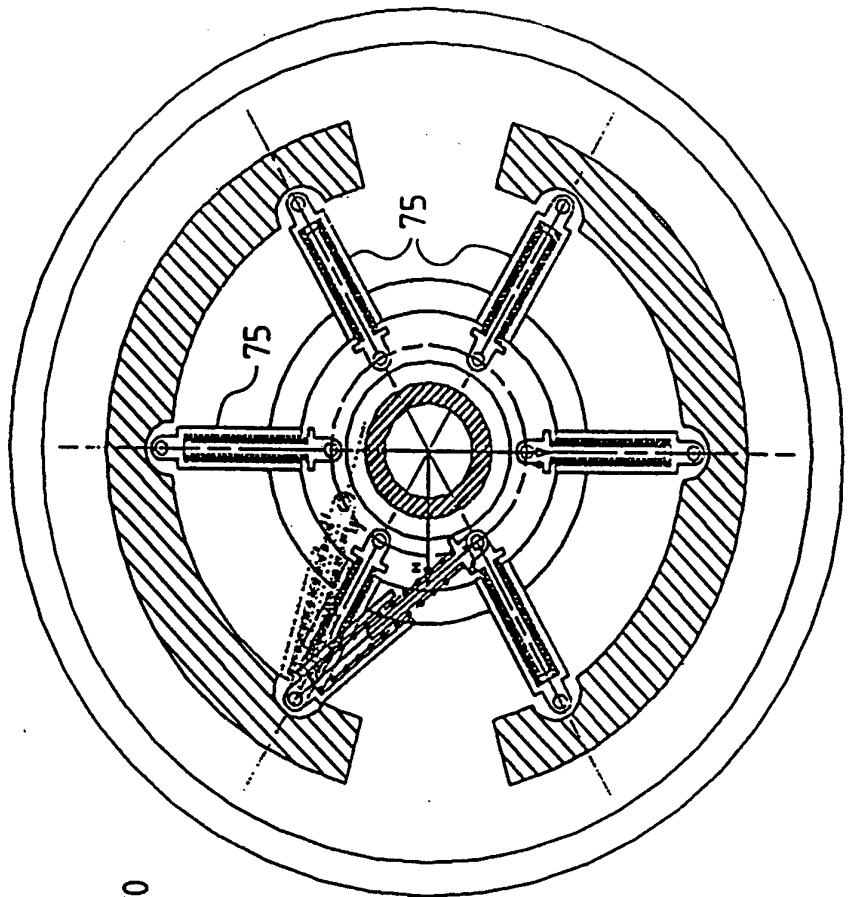


Fig.5

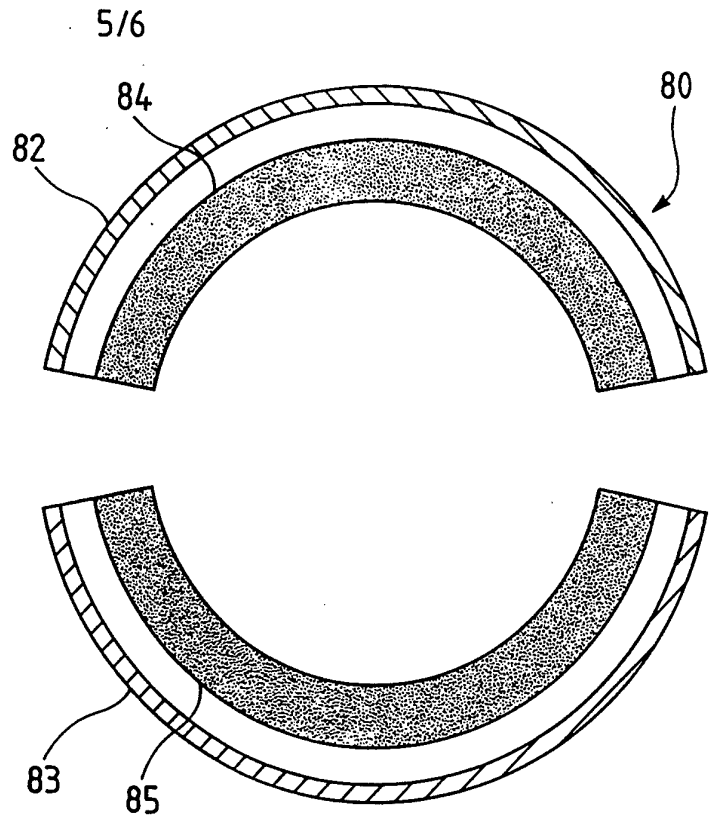


Fig. 8

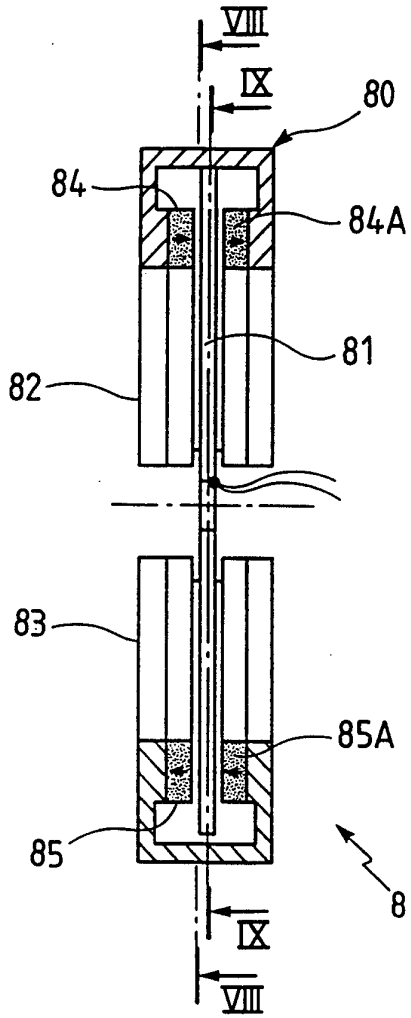


Fig. 7

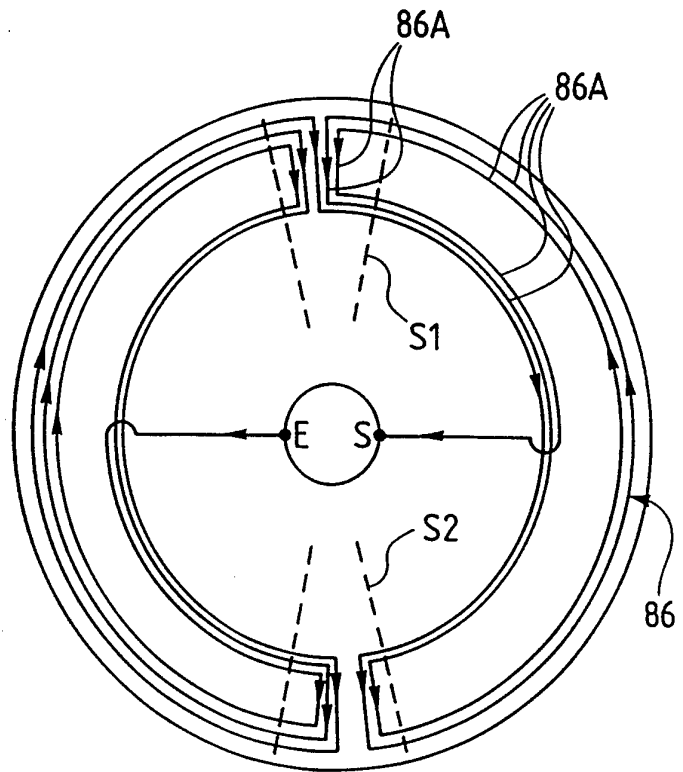


Fig. 9

