

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
23 janvier 2014 (23.01.2014)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2014/013148 A2

(51) Classification internationale des brevets :
F16C 32/04 (2006.01) H02K 7/02 (2006.01)
H02K 7/09 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2013/000191

(22) Date de dépôt international :
12 juillet 2013 (12.07.2013)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1256914 17 juillet 2012 (17.07.2012) FR

(71) Déposant : WHYLOT SAS [FR/FR]; Calfatech, Parc
d'Activités Quercypôle, F-46100 Cambes (FR).

(72) Inventeurs : RAVAUD, Romain; Coste Bru, F-46100
Corn (FR). MECH, Jeremy; Roque, F-46100 Camburat
(FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,

DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv))

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport (règle 48.2.g))

(54) Title : FLYWHEEL INCLUDING A ROTATION SHAFT COMPRISING TWO MAGNETIC BEARING MOTORS

(54) Titre : VOLANT D'INERTIE AVEC UN ARBRE DE ROTATION COMPRENANT DEUX MOTEUR PALIERS MAGNÉTIQUES

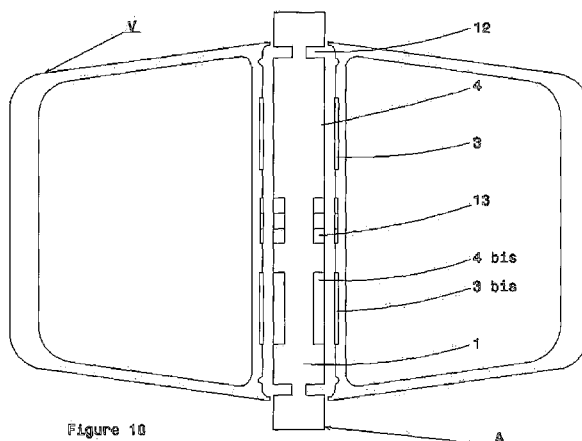


Figure 1a

(57) Abstract : The invention relates to a flywheel including a rotation shaft comprising two magnetic bearing motors. The flywheel is characterised in that the constituent elements thereof are made from non-ferrous materials, the shaft (A) comprising two magnetic bearing motors (1, 1bis), one extending from the other, said two bearing motors (1, 1bis) being offset angularly in relation to one another. The flywheel is also characterised in that an active or passive stop (13) is disposed between the two bearing motors (1, 1bis), said stop (13) acting on the rotor (3, 3bis) and stator (4, 4bis) parts of each bearing motor (1, 1bis), a housing (10) being provided in the shaft (A) between the first and second bearing motors (1, 1bis) for receiving the stop (13). The invention is suitable for use in conserving energy during the rotation of a flywheel.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2014/013148 A2



L'invention concerne un volant d'inertie avec un arbre de rotation comprenant deux moteur paliers magnétiques. Ce volant d'inertie est caractérisé en ce que les éléments qui composent le volant sont en matériaux non ferreux, l'arbre (A) comprenant deux moteur paliers (1,1bis) magnétiques disposés dans le prolongement l'un de l'autre, les deux moteur paliers (1,1bis) étant décalés angulairement l'un par rapport à l'autre et en ce qu'entre les deux moteur paliers (1,1bis) est intercalée une butée (13) active ou passive, ladite butée (13) agissant sur les parties rotor (3, 3bis) et stator (4, 4bis) de chaque moteur palier (1,1bis), un logement (10) étant prévu sur l'arbre (A) entre les premier et second moteur paliers (1,1bis) pour la réception de la butée (13). Application dans le domaine pour la conservation d'énergie lors de la rotation d'un volant d'inertie.

«Volant d'inertie avec un arbre de rotation comprenant deux moteur paliers magnétiques»

La présente invention concerne un volant d'inertie avec un arbre de rotation comprenant deux moteur paliers magnétiques.

Depuis toujours il a été essayé de stocker de l'énergie disponible. Ce stockage peut se faire sous forme d'énergie chimique, par exemple par des batteries ou par électrolyse de l'eau ou par un stockage magnétique. Cependant le stockage qui semble le plus efficace est le stockage inertiel.

Dans un stockage inertiel, il est procédé à une conversion d'énergie, par exemple de l'énergie électrique, sous une forme cinétique par une machine tournante. Lors de la restitution de l'énergie, il est effectué la transformation inverse.

Le plus fréquemment la machine tournante est un volant d'inertie. On utilise alors par exemple une machine tournante fonctionnant comme un moteur à l'énergie électrique pour faire tourner le volant. Lors du désaccouplement du volant et du moteur, le volant continue à tourner du fait de son inertie, les frottements lors de la rotation du volant étant réduits à un minimum. Quand il y a un besoin d'apport d'énergie, le volant inertiel est connecté à la machine tournante servant alors de générateur pour la récupération de l'énergie.

De ceci, il est évident que pour éviter des pertes d'énergie trop importantes le volant d'inertie doit tourner sans frottement ou déviation dans sa rotation, ce qui entraînerait des pertes d'énergie. L'entraînement du volant d'inertie est donc crucial afin de ne pas dépenser inutilement de l'énergie.

De manière générale, un volant d'inertie est constitué d'un corps lié à un arbre mis en rotation par une machine d'entraînement avec une répartition du corps du volant autour de l'arbre telle que le volant présente une grande

inertie en rotation, ceci pouvant permettre de compenser les chutes de régime de la machine d'entraînement et de rendre plus régulier le régime de fonctionnement dudit volant, ceci aussi bien lors du stockage de l'énergie que lors de sa restitution. Un des plus importants paramètres de fonctionnement d'un volant d'inertie est son moment d'inertie qui exprime la répartition de la masse du volant autour de son arbre.

L'arbre tournant du volant d'inertie est avantageusement monté sur des paliers. Ainsi, il est connu de nombreux types de paliers mécaniques mais aussi magnétiques. Un problème peut se poser du fait que le volant d'inertie tourne à grande vitesse et impose des efforts énormes sur les paliers. La nature des paliers est donc cruciale pour le bon fonctionnement du volant d'inertie.

Tout d'abord il a été proposé d'incorporer un ferro-fluide dans des passages autour des paliers de support de l'arbre et ledit arbre. Cette solution n'a pas entièrement donné satisfaction.

Il peut exister deux sortes de palier magnétique qualifiées de palier passif et palier actif. Un palier magnétique passif utilise des aimants permanents tandis qu'un palier magnétique actif utilise une bobine parcourue par un courant autour d'un circuit magnétique, ladite bobine permettant de créer des forces d'attraction dans son environnement. Les paliers actifs sont asservis pour obtenir un support efficace de l'arbre, ceci par une électronique de commande souvent sophistiquée et coûteuse.

Lors de la rotation d'un objet autour de son axe avantageusement central, il convient de contrôler cinq degrés de liberté se décomposant en trois degrés de liberté en translation et deux degrés de liberté en rotation. Ceci ne peut être effectué par des paliers passifs et il convient d'utiliser au moins un palier actif. Le contrôle d'une suspension magnétique active introduit cependant des pertes ainsi que des problèmes de sécurité et de fiabilité.

Une autre source de perte est due à la présence de fer dans les éléments constitutifs du volant d'inertie. La présence de fer dans lesdits éléments est responsable de perte supplémentaire par courants de Foucault, ceci notamment à des fréquences élevées. Il y a aussi une auto-décharge naturelle du volant quand il n'est pas utilisé.

Le document EP-A-2 107 668 décrit une machine électrique tournante, dans laquelle une force de support magnétique peut être réalisé même lorsque la longueur d'espace du rotor est longue. La machine électrique tournante comporte un rotor monté sur l'arbre principal et un stator entourant le rotor.

Le rotor présente une première section produisant un couple de rotation dans la direction circonférentielle de l'arbre du rotor ou du couple et de la force d'appui et une deuxième section créant une force d'appui vers l'extérieur dans la direction radiale de l'arbre du rotor.

Les deux sections du rotor sont disposés en tandem le long de l'arbre principal. Ce document a donc trait à un moteur palier unique et présente les mêmes désavantages que l'état de la technique mentionné. De plus ce document n'est pas dirigé vers l'entraînement d'un volant d'inertie.

Le document WO86/03268 décrit un procédé de fabrication d'un volant d'inertie pour lequel une bande de tissu de fibres, notamment du verre ou un polyaramide est enroulée avec précontrainte sur un moyeu. La précontrainte est modifiée en fonction du rayon d'enroulement qui augmente. Les couches d'enroulement sont imprégnées d'une résine synthétique, par exemple de la résine époxy pour leur maintien. Après achèvement de l'enroulement, le volant est durci en le tournant et en le chauffant sous vide afin de durcir la résine. En utilisant une telle bande de tissu de fibres, le coût de l'enroulement et aussi du volant ainsi fabriqué obtenu est considérablement diminué par rapport aux volants en monofilaments.

Le but de la présente invention est de concevoir et fabriquer un volant d'inertie qui présente son arbre d'entraînement minimisant les pertes d'énergie par frottement, ceci en assurant un guidage en rotation et un maintien en translation de l'arbre autour duquel tourne le volant par des moyens magnétiques ne requérant pas une électronique de commande sophistiquée, le volant d'inertie étant dans un matériau limitant les frottements lors de la rotation du volant.

A cet effet, la présente invention concerne un volant d'inertie comportant un arbre d'entraînement comprenant au moins un moteur avec rotor et stator, le rotor étant suspendu magnétiquement par rapport au stator, caractérisé en ce que le volant d'inertie et les éléments qui le composent sont en matériaux non ferreux, l'arbre comprenant deux moteur paliers magnétiques disposés dans le prolongement l'un de l'autre, les deux moteur paliers étant décalés angulairement l'un par rapport à l'autre et en ce qu'entre les deux moteur paliers est intercalée une butée active ou passive, ladite butée agissant sur les parties rotor et stator de chaque moteur palier, un logement étant prévu sur l'arbre entre les premier et second moteur paliers pour la réception de la butée.

Un tel actionneur à deux moteur paliers permet de garantir un couple constant pour l'arbre de rotation, le couple d'un des moteur paliers pouvant être nul dans certaines positions angulaires et étant compensé par le couple de l'autre moteur palier. La butée permet de limiter des mouvements axiaux des moteur paliers.

Selon des caractéristiques additionnelles de la présente invention :

- la partie rotor de chaque moteur palier est formée d'aimants symétriquement répartis autour de la partie stator dudit moteur palier.
- les aimants sont répartis afin de former une structure d'Halbach permettant de créer un flux magnétique d'un profil dissymétrique, ledit flux

étant amplifié d'un côté de la structure en étant diminué voire annulé de l'autre côté.

- les aimants sont à base de lanthanides, des aimants organo-métalliques ou des aimants organiques.

- le stator et le rotor sont en matériau composite ou céramique.

- le volant présente une forme isocontrainte creuse.

- la partie stator de chaque moteur palier est formée d'un noyau sensiblement cylindrique présentant des rainures pour le passage d'au moins une bobine entre deux rainures consécutives.

- ladite au moins une bobine de chaque moteur palier est alimentée par un courant, l'intensité du courant du second moteur palier étant différente ou non de l'intensité du courant du premier moteur palier.

- le volant comprend des moyens de commande et contrôle des paramètres de positionnement de son arbre par variation des courants transmis à ladite au moins une bobine, des moyens de détection sous la forme d'au moins un capteur inductif étant prévu sur ledit arbre, les moyens de commande étant actifs sur l'intensité des courants transmis aux bobines de chaque moteur palier.

- le volant est à base de fibres ou de bandes d'un matériau non ferreux.

L'invention concerne aussi un procédé de fabrication d'un tel volant d'inertie, le procédé comprenant un enroulement de fibres ou de bandes autour d'une coque jusqu'à obtenir la forme extérieure du volant à fabriquer, une résine durcissante étant appliquée sur cet enroulement, caractérisé en ce que l'application de la résine se fait au moins partiellement par une étape d'injection sous pression de la résine selon un procédé RTM.

Avantageusement, la coque est formée autour d'une pièce allongée sensiblement cylindrique destinée à former l'arbre d'entraînement du volant.

L'invention concerne aussi un boîtier logeant un tel volant, caractérisé en ce que le boîtier est étanche et est mis sous vide. L'arbre du volant est avantageusement disposé verticalement dans le boîtier.

Avantageusement, le boîtier comprend un compartiment dans lequel sont logés les moyens de commande ou de contrôle du volant.

L'invention va maintenant être décrite plus en détail mais de façon non limitative en regard des figures annexées, dans lesquelles :

- la figure 1 représente une vue en perspective d'un volant d'inertie et de son arbre avec mention des différents degrés de liberté,
- la figure 2 représente une vue en perspective d'un actionneur servant d'arbre pour un volant d'inertie, cet actionneur étant composé de deux moteur paliers selon la présente invention,
- la figure 3a représente une vue latérale du stator pour un actionneur servant d'arbre pour un volant d'inertie selon la présente invention, ce stator étant formé de deux parties stator dont chacune correspond à un moteur palier,
- la figure 3b représente une vue en coupe longitudinale du stator de la figure 3a,
- la figure 3c représente une vue en perspective du stator de la figure 3a,
- la figure 3d représente une vue en perspective du stator de la figure 3a sous un autre angle de vue que celui de la figure 3c, les bobines étant montées à cette figure 3d sur le stator.
- la figure 4 représente une vue en coupe dans un premier plan du premier moteur palier de l'actionneur selon la présente invention,
- la figure 5 représente une vue en coupe dans un deuxième plan du second moteur palier de l'actionneur selon la présente invention,
- la figure 6 représente une vue en coupe d'un moteur palier de l'actionneur selon une autre forme de réalisation de la présente invention, les aimants du rotor étant à cette figure placés dans une disposition d'Halbach,

- la figure 7 représente une vue en perspective d'une butée magnétique pouvant être intercalée entre les deux moteur paliers de l'actionneur selon l'invention,
- la figure 8 représente une vue en coupe axiale de la butée de la figure 7,
- la figure 9 est une vue latérale d'un volant d'inertie, ledit volant étant muni d'un actionneur selon la présente invention,
- la figure 10 est une coupe axiale du volant d'inertie selon la présente invention, cette figure montrant la moitié d'un volant d'inertie avec, en son intérieur le long de son axe de symétrie, incorporation d'un actionneur comprenant deux moteur paliers pour son entraînement,
- la figure 11 est une vue en perspective d'un volant selon la présente invention.

La figure 1 montre un volant V d'inertie et ses degrés de liberté. En supposant que ce volant V d'inertie soit complètement libre, son mouvement dans l'espace peut se décrire par la combinaison de trois translations et de trois rotations par rapport à un repère orthonormé qui est montré avec un axe Z s'étendant selon l'axe de l'arbre A de rotation du volant, un axe Y contenu dans le plan du volant V d'inertie, l'axe X étant perpendiculaire aux deux premiers axes Z et Y. Les trois degrés de liberté en rotation sont respectivement la rotation α autour de l'axe Y, la rotation β autour de l'axe X et la rotation γ autour de l'axe Z. Dans le cas d'un volant V d'inertie destiné à tourner autour de l'axe Z, seule la rotation γ doit être libre, les autres rotations étant considérées comme des rotations parasites.

Toujours en supposant que le volant V d'inertie soit complètement libre, il existe trois degrés de liberté en translation selon les axes X, Y et Z. Ceci peut se passer aux deux extrémités de l'arbre A du volant V et il convient de limiter ces degrés de liberté en translation pour obtenir un fonctionnement optimal du volant V tournant avec son arbre A. Il convient de surveiller s'il ne se crée pas un décalage aux deux extrémités de l'arbre A, décalage qui peut se résumer

en deux composantes respectives $X1$, $Y1$ et $X2$, $Y2$ donnant une résultante respective $R1$ et $R2$, ceci par rapport à un repère orthonormé centré sur chacune des extrémités.

Conformément à la présente invention, il est utilisé un actionneur présentant deux moteur paliers avantageusement décalés angulairement l'un par rapport à l'autre, avec une butée active ou passive intercalée entre les deux moteur paliers, ladite butée agissant sur les parties rotor et stator de chaque moteur palier, un logement étant prévu sur l'actionneur entre les premier et second moteur paliers pour la réception de la butée. Les moteur paliers vont être décrits plus précisément ultérieurement. Par décalage angulaire des deux moteur paliers l'un par rapport à l'autre il est entendu un décalage par rapport aux pôles des moteur paliers l'un par rapport à l'autre.

L'utilisation de deux moteur paliers décalés angulairement l'un par rapport à l'autre permet de transmettre un couple moteur par action par rotation γ autour de l'axe Z mais aussi d'exercer des forces radiales pour contrôler les forces $R1$ et $R2$ ainsi que les rotations α et β . Le degré de liberté en translation selon l'axe Z est maintenu par une butée magnétique. Ceci concerne les pertes par frottement que la présente invention souhaite réduire.

En ce qui concerne les pertes par courants de Foucault, la présente invention prévoit de réaliser un volant et ses éléments associés en des matériaux non ferreux. Ceci vaut par exemple particulièrement pour le volant lui-même, les aimants des parties rotor et les parties stator.

En se référant maintenant aux figures 2 à 5, l'actionneur selon la présente invention pour un volant d'inertie va être maintenant décrit. L'actionneur selon l'invention combine les caractéristiques d'une machine électrique synchrone à aimant permanent avec les fonctions de roulement magnétique.

L'actionneur est composé de deux moteur paliers 1 et 1bis décalés angulairement. Ceci permet de garantir un couple constant pour l'arbre de rotation, le couple d'un des moteur paliers 1 ou 1bis pouvant être nul dans certaines positions angulaires et étant compensé par le couple de l'autre moteur palier 1bis ou 1. Les deux moteur paliers 1 et 1bis faisant partie de l'actionneur peuvent être des machines synchrones à aimants permanents dans la partie rotor.

Aux figures 2 à 5, les moteur paliers 1 et 1bis sont composés de six pôles et de trois bobines dans l'exemple ci-dessous, mais d'autres structures sont possibles pour commander plusieurs axes, comme par exemple le moteur palier à quatre pôles et bobines.

Chaque moteur palier 1 et 1bis possède, tout d'abord, un rotor extérieur à aimants permanents 3 et 3bis polarisés et alternés. L'arrangement des aimants permanents 3 et 3bis polarisés et alternés peut se faire soit de manière classique soit par une structure d'Halbach.

Comme montré à la figure 6 illustrant une structure de Halbach, la disposition des aimants 3 et 3bis permet d'amplifier le champ magnétique d'un côté des aimants 3 et 3bis tandis que le champ magnétique est annulé de l'autre côté des aimants 3 et 3bis. A cette figure, les flèches dans les aimants 3, 3bis indiquent la direction du champ magnétique.

Les aimants permanents 3 et 3bis sont avantageusement directement fixés sur la portion tournante, ce qui permet de supprimer l'accouplement du rotor et des aimants 3 et 3bis. Le stator intérieur porte des bobines 4. Les bobines 4 peuvent avantageusement être en cuivre ou en aluminium.

Comme il est particulièrement bien visible aux figures 3a, 3b 3c et 3d, le stator est formé d'un noyau 5 correspondant à la partie stator 4 du premier moteur palier 1 et d'un noyau 5bis correspondant à la partie stator 4bis du second

moteur palier 1bis. Les noyaux 5, 5bis sont de forme sensiblement cylindrique et entre les noyaux 5 et 5bis est disposé un logement 10 pour une butée magnétique, qui sera ultérieurement décrite. Le stator montré aux figures 3a à 3c comprend aussi une cavité 12 de réception pour un capteur inductif, ledit capteur inductif délivrant un signal permettant de contrôler la position de l'arbre portant l'actionneur.

Chaque noyau 5, 5bis présente des rainures 11, préférentiellement longitudinales, avantageusement six rainures 11 pour l'enroulement de bobines sur la portion périphérique du noyau 5, 5bis délimitée par deux rainures 11 voisines.

A la figure 3c, il est visible que la partie stator du premier moteur palier 1 et la partie stator du second moteur palier 1bis sont décalés angulairement l'un par rapport à l'autre, les rainures 11 du premier stator étant décalées angulairement par rapport aux rainures 11 du second stator.

Comme il est particulièrement bien visible aux figures 3d, 4 et 5, la partie stator qui est à l'intérieur de chaque moteur palier 1, 1bis est composée de six bobines 41 à 46, 41bis à 46bis sur le noyau 5, 5bis à faible perméabilité, avantageusement autour de portions de périphérie du noyau 5, 5bis délimitées par deux rainures 11 voisines, comme montré à la figure 3d.

En regard des figures 4 et 5, avantageusement, pour diminuer les pertes dues à la présence de fer, le noyau 5, 5bis ne contient pas de fer. Le bobinage d'une phase est composé de deux bobines voisines, connectées par un circuit 6 ou 6bis, dont un seul est référencé à la figure 4 ou 5. Un tel montage contribue à la génération d'un couple moteur et d'une force radiale sur le rotor. Les trois bobines 41 à 46, 41bis à 46bis sont couplés en étoile et alimentés par trois courants i_1 , i_2 , i_3 ou i_{1bis} , i_{2bis} , i_{3bis} dont la somme est nulle pour chacun des moteur paliers 1 ou 1bis.

La figure 6 illustre un mode de réalisation d'un moteur palier autre que celui présenté aux figures 4 et 5. A la figure 6 les aimants 3 sont disposés en structure de Halbach. Une telle structure augmente le champ magnétique d'un côté du moteur palier tandis qu'elle le diminue voire l'annule de l'autre côté.

La structure d'Halbach comprend douze aimants 3 formant la partie rotor d'un moteur palier avec des flèches symbolisant la direction du champ magnétique. La partie stator du moteur palier reste quant à elle sensiblement inchangée par rapport aux figures 4 et 5. Pour un actionneur, il est possible d'utiliser une structure d'Halbach pour chaque moteur palier prévu sur l'actionneur, ce qui présente l'avantage de permettre une meilleure concentration de flux et augmente directement la performance de l'actionneur, les deux moteurs paliers présentant un décalage angulaire existant entre eux.

En se référant à toutes les figures, la structure de moteur palier 1 ou 1bis permet une commande indépendante et découplée des trois degrés de liberté X, Y et Z en utilisant un contrôle numérique des trois courants i_1 , i_2 , i_3 ou i_{1bis} , i_{2bis} , i_{3bis} en fonction de la position et du couple.

La commande électronique du volant selon la présente invention comprend des moyens de commande et contrôle des paramètres de positionnement de son arbre par variation des courants transmis à ladite au moins une bobine, aux figures trois groupes de bobines par moteur palier. Cette commande électronique comprend aussi des moyens de détection, par exemple sous la forme d'au moins un capteur inductif, prévu sur l'actionneur du volant et précédemment décrit.

Ainsi, les moyens de détection surveillent la position du rotor de l'actionneur par rapport à son stator et les moyens de commande sont actifs sur l'intensité des courants transmis aux bobines de chaque moteur palier afin de ramener le rotor dans sa position de travail prédéterminée. Le rotor reste ainsi en lévitation par rapport au stator en étant maintenu à très faible distance du stator, ceci de manière sûre.

L'actionneur ne requiert seulement que trois bras d'onduleur pour alimenter les bobines 41 à 46, 41bis à 46bis par des courants non sinusoïdaux. La commande numérique des trois cellules de commutation de l'onduleur permet de générer des forces constantes indépendantes de l'angle de rotation tandis que le couple est nul à certaines positions angulaires. Le couple constant n'est seulement possible qu'en associant deux moteur paliers 1 ou 1bis décalés angulairement, comme le propose la présente invention.

Dans une forme de réalisation préférée de l'invention, l'actionneur est composé de deux moteur paliers 1, 1bis décalés angulairement de 90° électrique soit un angle de 22,5° mécanique pour un moteur à six pôles. Outre l'avantage d'obtenir un couple constant indépendant de l'angle de rotation, les deux moteur paliers 1, 1bis associés permettent de contrôler les deux degrés de liberté supplémentaire en rotation dénommées rotation α autour de l'axe Y et rotation β autour de l'axe X en regard de la figure 1.

L'actionneur de la présente invention par le contrôle de six courants non sinusoïdaux permet de créer des forces et des moments totalement découplés en fonction de la position et du couple moteur.

Les aimants employés dans les moteur paliers 1, 1bis de la présente invention ne contiennent pas de fer. Ils sont avantageusement à base de lanthanides autrement appelés terres rares, par exemple en samarium cobalt. En alternative, les aimants peuvent être des aimants de chimie de coordination, des aimants organo-métalliques, par exemple le di-tétracyanoéthylénure de vanadium et/ou des aimants purement organiques, par exemple CHNO.

Pour la réalisation de l'actionneur, des éléments autres que le fer sont préférés. Ces éléments peuvent être à base de composite ou de céramique.

Les figures 7 et 8 montrent une butée magnétique 13. Cette butée est susceptible d'être disposée entre les premier et second moteur paliers 1, 1bis dans un logement 10, comme il a été montré notamment aux figures 2, 3a à 3c. Il est à noter que cette butée magnétique peut être passive ou active.

La butée magnétique 13 comprend une série de trois anneaux concentriques 13a servant de butée au rotor des deux moteur paliers et une série de trois anneaux concentriques 13b servant de butée au stator des deux moteur paliers.

En se référant aux figures 9 à 11, un volant d'inertie V conforme à la présente invention, c'est-à-dire muni principalement d'un arbre A présentant un actionneur à deux moteur paliers décalés angulairement, va être décrit.

L'arbre A du volant d'inertie V est en position de travail verticale dans un boîtier contenant le volant. Une telle position permet de ne pas solliciter les paliers comme le fait une position horizontale dans laquelle la partie stator serait pressée contre la partie du rotor se trouvant en dessous du stator.

Le fonctionnement du volant d'inertie V s'effectue avantageusement sous vide. Dans ce cas, le volant A et son arbre A sont logés dans un boîtier formant une enceinte étanche et dans laquelle du vide est créé. Tous les moyens électroniques de commande du volant d'inertie ainsi que les moyens électroniques de contrôle peuvent être logés dans un compartiment prévu dans ledit boîtier ou à l'extérieur du boîtier.

Le volant d'inertie V, de forme isostatique, est dans un matériau non ferreux, avantageusement dans un matériau composite avec fibres de renforcement. L'arbre A du volant d'inertie V comprend un actionneur tel que précédemment défini avec deux moteur paliers 1, 1bis avec respectivement une partie stator 4, 4bis et une partie rotor 3, 3bis, une butée magnétique 13 passive ou active étant logée sur l'arbre A entre les deux moteur paliers 1, 1bis.

Comme il peut être vu notamment à la figure 10, il n'y a pas de liaison mécanique directe entre parties rotor 3, 3bis et parties stator 4, 4bis. Le positionnement de l'actionneur présenté par l'arbre A peut être commandé par seulement six courants qui permettent de contrôler sa position en trois dimensions, voire en quatre dimensions en tenant compte du temps.

Avantageusement, le volant V est à base de fibres ou de bandes d'un matériau non ferreux.

L'invention concerne aussi un procédé de fabrication d'un tel volant V d'inertie, le procédé comprenant un enroulement de fibres ou de bandes autour d'une coque jusqu'à obtenir la forme extérieure du volant V à fabriquer, une résine durcissante étant appliquée sur cet enroulement, caractérisé en ce que l'application de la résine se fait au moins partiellement par une étape d'injection sous pression de la résine selon un procédé RTM.

Le principal avantage d'un tel procédé est sa simplification pour le moulage du volant, impliquant plus de liberté pour le dimensionnement des volants ainsi qu'une meilleure reproductibilité des volants et une meilleure productivité. De plus, il est obtenu des surfaces externes lisses pour un volant d'inertie ainsi fabriqué, ce qui accroît son aérodynamisme. Enfin et surtout, il s'est avéré qu'un tel volant d'inertie présentait une robustesse accrue par rapport aux volants de l'état de la technique.

Lors d'un procédé RTM, de la résine est injectée sous basse pression entre un moule, dans le cadre de l'invention la coque, et un contre-moule, cette pression étant avantageusement entre 1 à 10 bars. Pour améliorer la pénétration de la résine dans la coque et pour une meilleure imprégnation des fibres ou des bandes placées entre la coque et le contre-moule, il peut être créé le vide dans l'enceinte fermée avantageusement étanche définie entre la coque et le contre-moule et dont la largeur correspond à l'épaisseur

de la partie formant volant V à fabriquer. La résine pénètre par gravité ou par aspiration, un vide étant créé, dans l'ensemble des fibres ou bandes positionnées sur la coque afin de les imprégner.

Avantageusement, la coque est formée autour d'une pièce allongée sensiblement cylindrique destinée à former l'arbre A d'entraînement du volant V.

Un tel procédé de fabrication d'un volant est particulièrement bien adapté pour la fabrication d'un volant dont l'arbre d'entraînement se compose de deux moteurs paliers étant donné qu'il laisse une place suffisante à l'intérieur de la coque pour disposer les deux moteur paliers pour l'entraînement du volant.

L'invention n'est nullement limitée au mode de réalisation décrit et illustré qui n'a été donné qu'à titre d'exemple.

REVENDICATIONS

1. Volant d'inertie (V) comportant un arbre (A) d'entraînement comprenant au moins un moteur (1, 1bis) avec rotor (3, 3bis) et stator (4, 4bis), le rotor (3, 3bis) étant suspendu magnétiquement par rapport au stator (4, 4bis), caractérisé en ce que le volant d'inertie (V) et les éléments qui le composent sont en matériaux non ferreux, l'arbre (A) comprenant deux moteur paliers (1, 1bis) magnétiques disposés dans le prolongement l'un de l'autre, les deux moteur paliers (1, 1bis) étant décalés angulairement l'un par rapport à l'autre et en ce qu'entre les deux moteur paliers (1, 1bis) est intercalée une butée (13) active ou passive, ladite butée (13) agissant sur les parties rotor (3, 3bis) et stator (4, 4bis) de chaque moteur palier (1, 1bis), un logement (10) étant prévu sur l'arbre (A) entre les premier et second moteur paliers (1, 1bis) pour la réception de la butée (13).

2. Volant (V) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la partie rotor (3, 3bis) de chaque moteur palier (1, 1bis) est formée d'aimants (3, 3bis) symétriquement répartis autour de la partie stator (4, 4bis) dudit moteur palier (1, 1bis).

3. Volant (V) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que les aimants (3, 3bis) sont répartis afin de former une structure d'Halbach permettant de créer un flux magnétique d'un profil dissymétrique, ledit flux étant amplifié d'un côté de la structure en étant diminué voire annulé de l'autre côté.

4. Volant (V) selon l'une des deux revendications précédentes, caractérisé en ce que les aimants (3, 3bis) sont à base de lanthanides, des aimants organo-métalliques ou des aimants organiques.

5. Volant (V) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le stator (4, 4bis) et le rotor (3, 3bis) sont en matériau composite ou céramique.

6. Volant (V) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il présente une forme isocontrainte creuse.

7. Volant (V) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la partie stator (4, 4bis) de chaque moteur palier (1, 1bis) est formée d'un noyau (5) sensiblement cylindrique présentant des rainures (11) pour le passage d'au moins une bobine (41 à 46, 41bis à 46bis) entre deux rainures consécutives.

8. Volant (V) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ladite au moins une bobine (41 à 46, 41bis à 46bis) de chaque moteur palier (1, 1bis) est alimentée par un courant, l'intensité (i_{1bis} à i_{3bis}) du courant du second moteur palier (1bis) étant différente ou non de l'intensité du courant (i_1 à i_3) du premier moteur palier (1).

9. Volant (V) selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de commande et contrôle des paramètres de positionnement de son arbre (A) par variation des courants (i_1 à i_3 , i_{1bis} à i_{3bis}) transmis à ladite au moins une bobine (41 à 46, 41bis à 46bis), des moyens de détection sous la forme d'au moins un capteur inductif (12) étant prévus sur ledit arbre (A), les moyens de commande étant actifs sur l'intensité des courants (i_1 à i_3 , i_{1bis} à i_{3bis}) transmis aux bobines (41 à 46, 41bis à 46bis) de chaque moteur palier (1, 1bis).

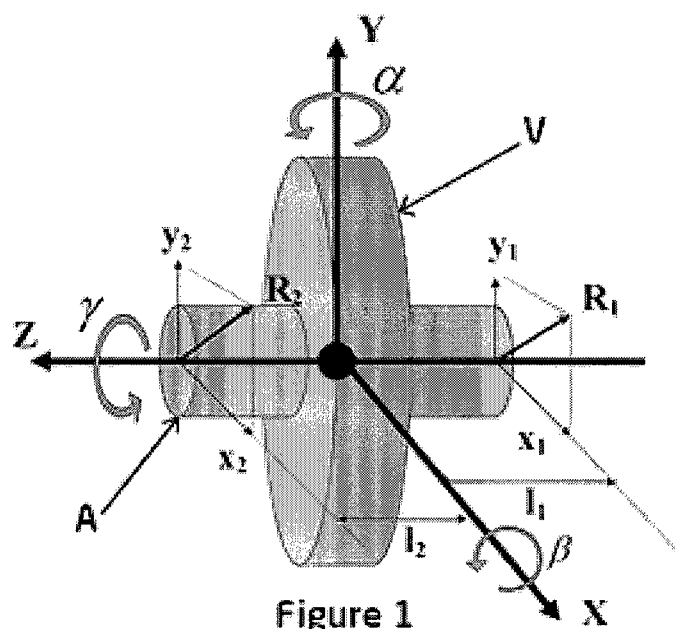
10. Volant (V) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est à base de fibres ou de bandes d'un matériau non ferreux.

11. Procédé de fabrication d'un volant (V) d'inertie selon la revendication précédente, le procédé comprenant un enroulement de fibres ou de bandes autour d'une coque jusqu'à obtenir la forme extérieure du volant (V) à fabriquer, une résine durcissante étant appliquée sur cet enroulement, caractérisé en ce que l'application de la résine se fait au moins partiellement par une étape d'injection sous pression de la résine selon un procédé RTM.

12. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la coque est formée autour d'une pièce allongée sensiblement cylindrique destinée à former l'arbre (A) d'entraînement du volant (V).

13. Boîtier logeant un volant (V) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que le boîtier est étanche et est mis sous vide.

14. Boîtier selon la revendication précédente, caractérisé en ce que, quand le volant (V) comprend des moyens de commande et contrôle des paramètres de positionnement de son arbre (A), le boîtier comprend un compartiment dans lequel sont logés les moyens de commande et de contrôle du volant (V).



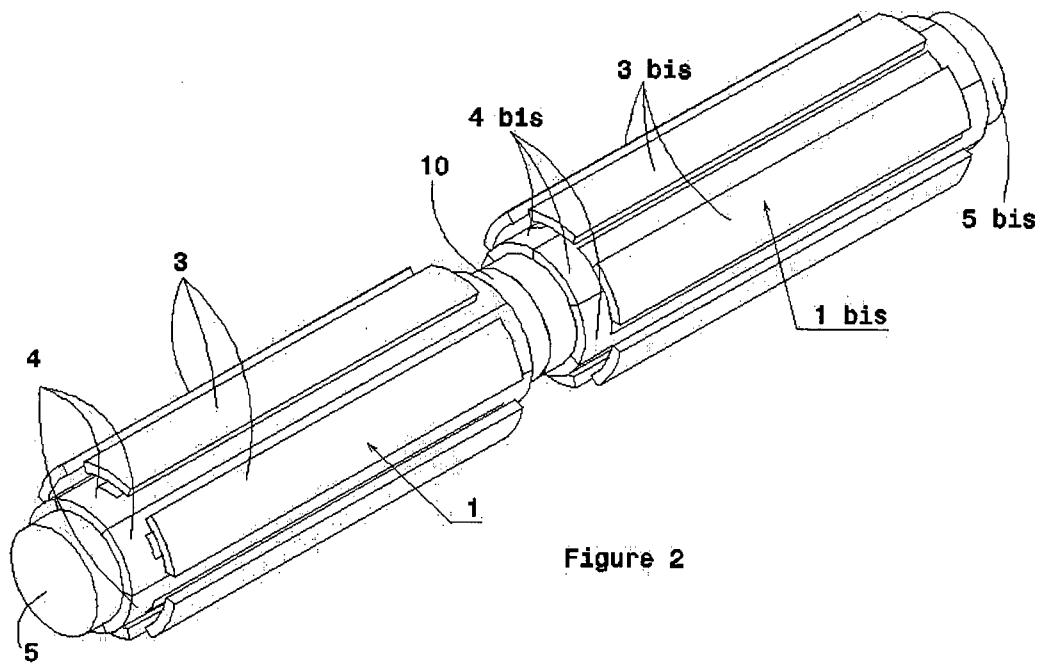


Figure 2

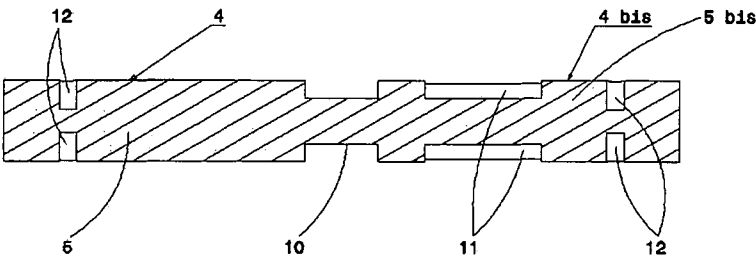


Figure 3b

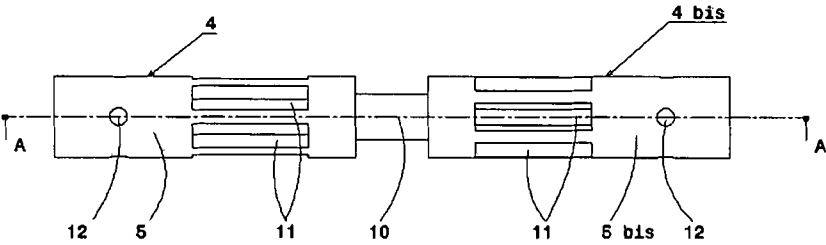


Figure 3a

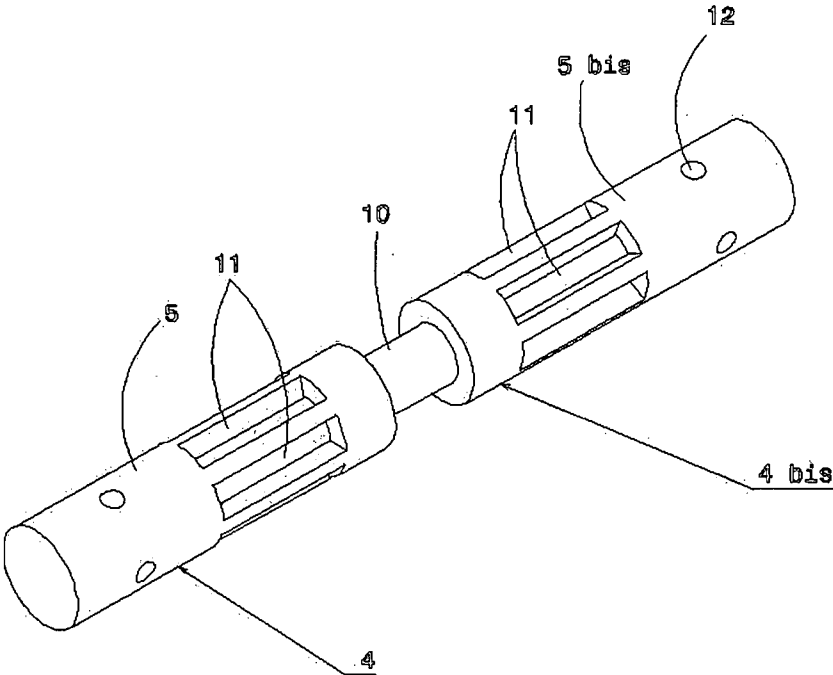


Figure 3c

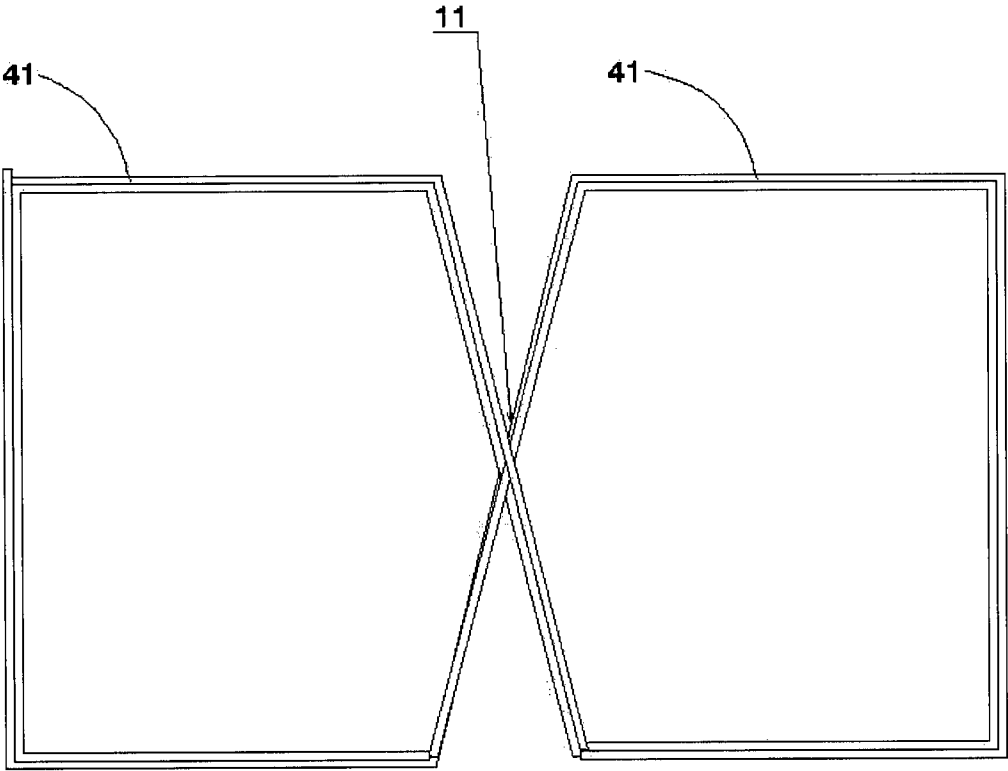


Figure 3D

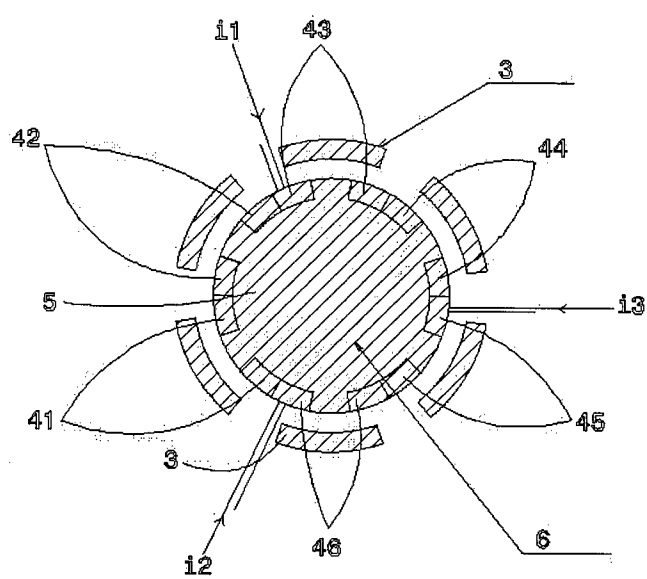


Figure 4

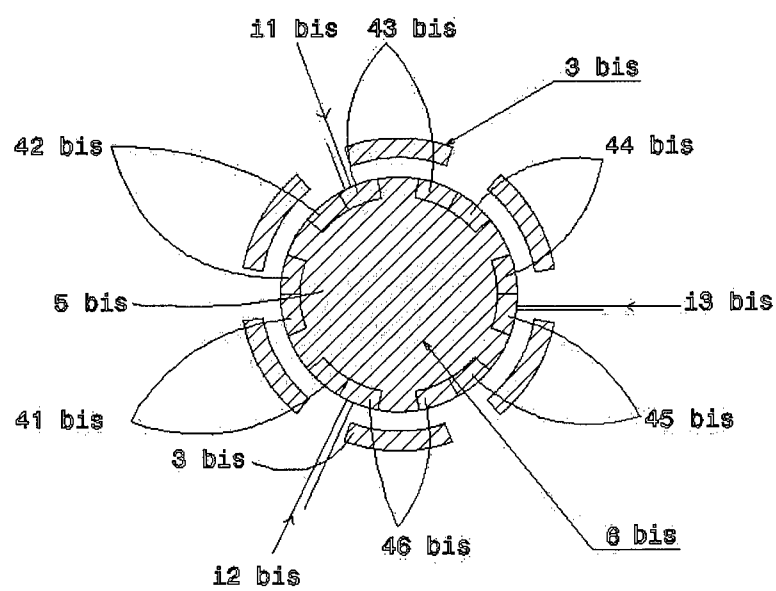
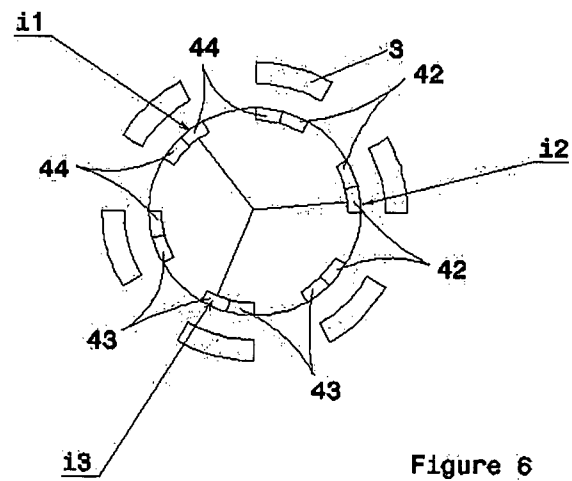


Figure 5



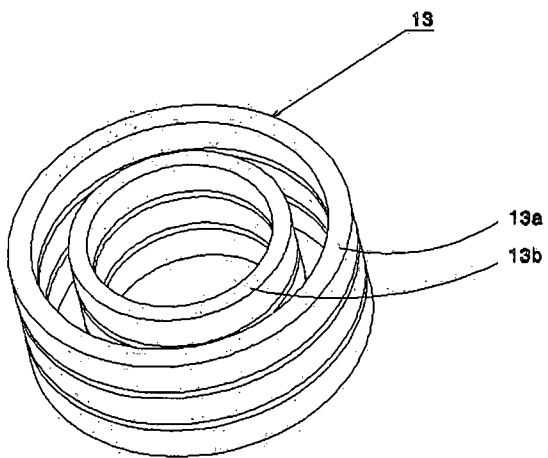


Figure 7

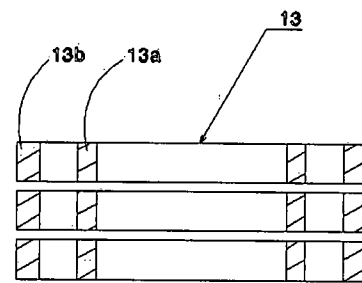


Figure 8

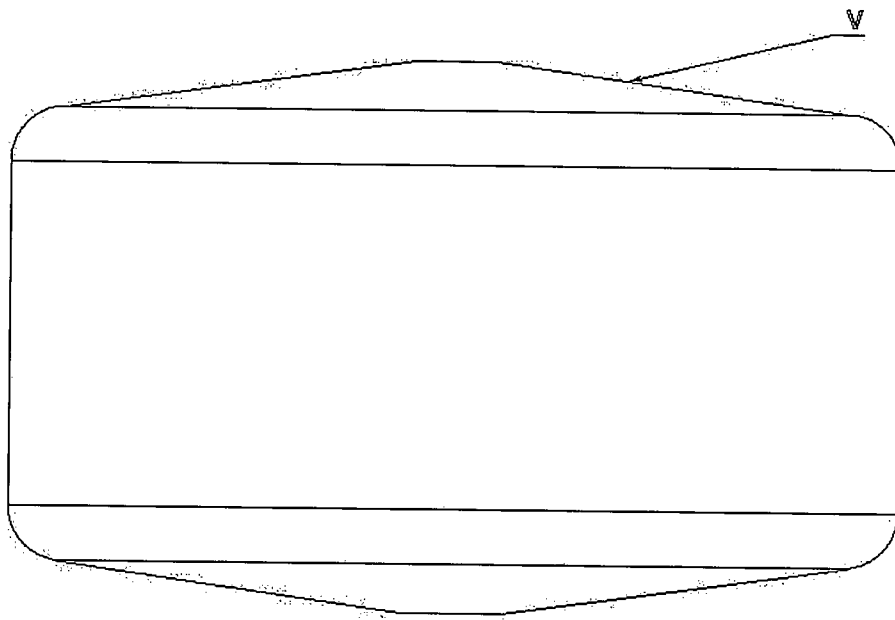
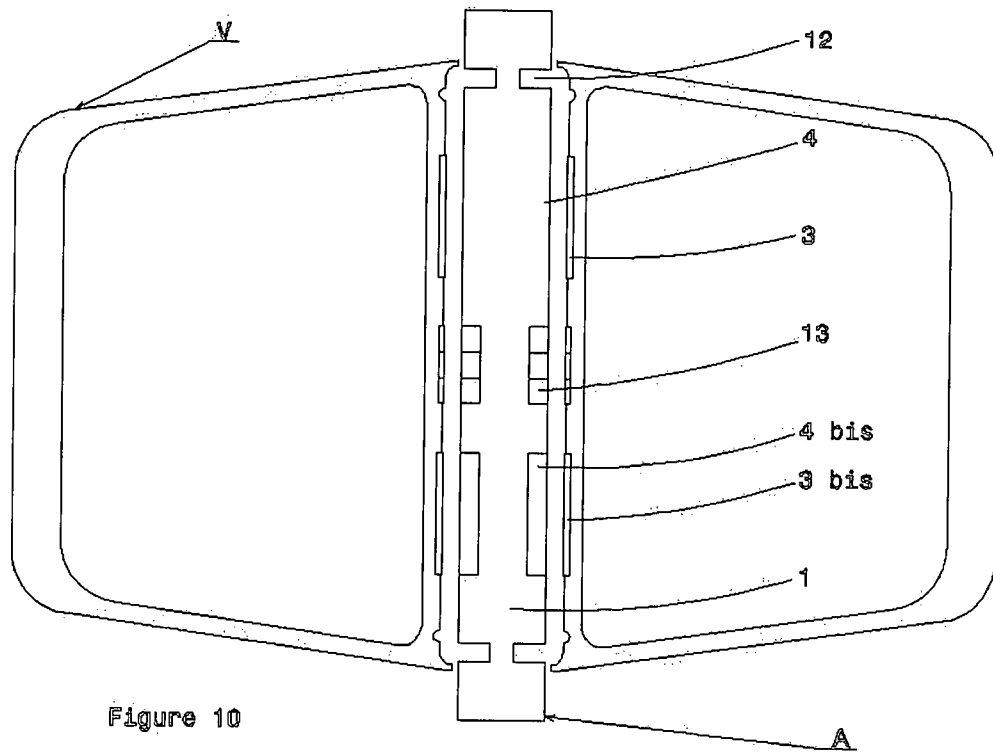


Figure 9



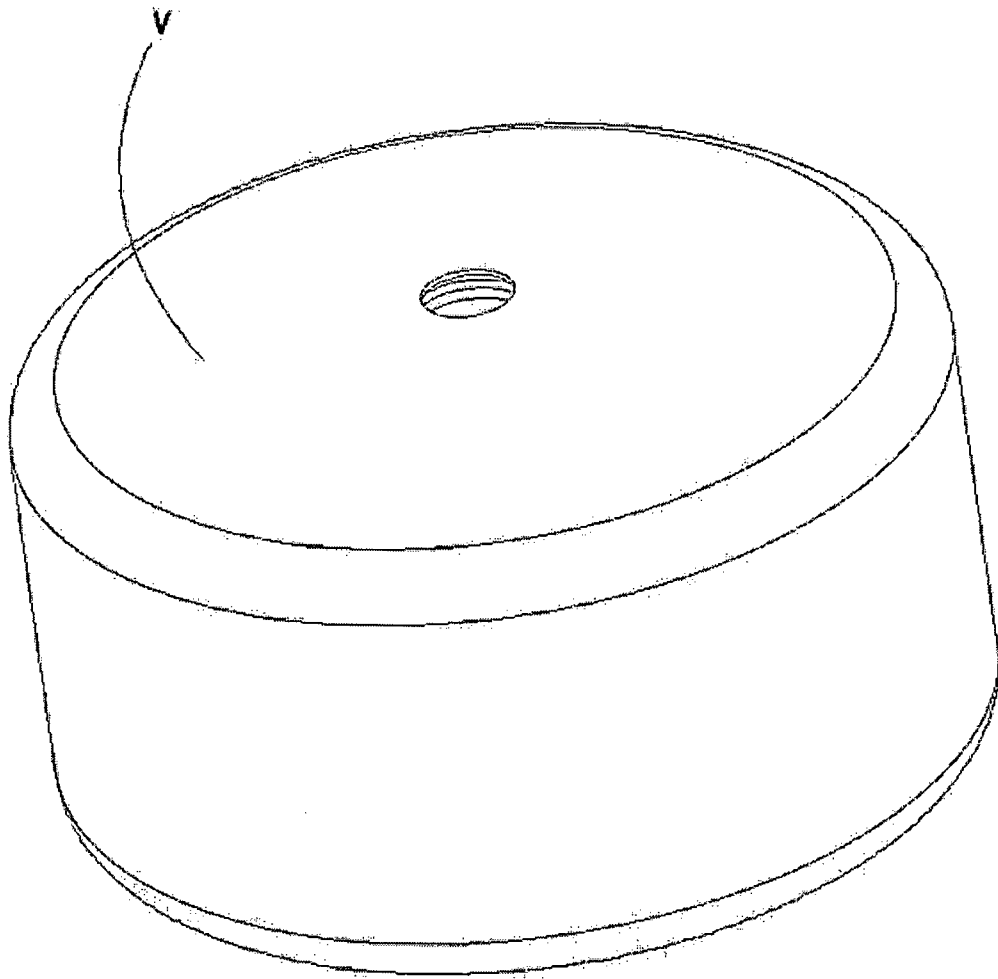


Figure 11