RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 511 558**
(A n'utiliser que pour les commandes de reproduction).

A1

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

(21) **N° 81 15831**

(54) **Equipement pour le stockage de l'énergie sous forme cinétique et la restitution de celle-ci sous forme électrique, et procédé de mise en œuvre de cet équipement.**

(51) Classification internationale (Int. Cl. ³). **H 02 J 15/00; F 03 G 3/08; F 16 C 32/04.**

(22) Date de dépôt..... 17 août 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 7 du 18-2-1983.

(71) Déposant : Société anonyme dite : SOCIETE NATIONALE INDUSTRIELLE AEROSPATIALE. — FR.

(72) Invention de : Alain Benedetti, Luc Laury, Francis Legrand, Pierre Poubeau et Bernard Weisser.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Rinuy, Santarelli,
14, av. de la Grande-Armée, 75017 Paris.

La présente invention concerne de façon générale l'obtention d'une source d'énergie électrique sans coupure et, particulièrement, implique l'utilisation de volants d'inertie pour réaliser une telle source.

Des configurations de volants d'inertie suspendus magnétiquement sont décrites particulièrement dans le brevet français 74 00190 du 3 Janvier 1974 et son 1er certificat d'addition 74 40556 du 10 Décembre 1974 ainsi que dans le brevet français 77 07685 du 15 Mars 1977 de la même Société Demanderesse.

Ces brevets concernent des volants d'inertie qui peuvent être utilisés pour la commande de l'attitude des satellites et/ou pour stocker de l'énergie pour les satellites, ainsi que, bien sûr, pour toute application du volant d'inertie compatible avec sa forme et son principe de base.

Le concept de base de la présente invention est orienté vers une application au sol des volants d'inertie suspendus magnétiquement ayant quelques-unes des caractéristiques des systèmes décrits dans les brevets antérieurs en même temps que des caractéristiques nouvelles liées aux applications au sol de ces volants d'inertie.

L'un des buts de l'équipement selon la présente invention est de pouvoir stocker de l'énergie utile dans une gamme allant jusqu'à au moins 1 kilowatt-heure, qui peut être augmentée en augmentant le poids et les dimensions de l'équipement, avec une puissance d'entrée et de sortie de 6 kW qui peut être augmentée également dans le cadre de la présente invention, de la même manière que l'énergie peut être accrue.

La présente invention concerne un équipement de stockage de l'énergie et plus particulièrement un rotor suspendu magnétiquement qui accumule l'énergie sous la forme cinétique quand il est entraîné en rotation par un moteur électrique et qui restitue cette énergie sous forme électrique par l'intermédiaire d'un générateur électrique impliquant la décélération du rotor, cet équipement comprenant une partie rotor et une partie stator.

Le fonctionnement de l'équipement implique généralement, mais non nécessairement, le maintien du rotor dans un

environnement sous vide et dans ce but le boîtier qui supporte le stator et le rotor peut être une enceinte étanche dans laquelle on a fait le vide.

Additionnellement, le moteur, le générateur et la suspension magnétique fonctionnent associés à des circuits électroniques, qui sont placés généralement en dehors de l'enceinte étanche mais qui peuvent également être introduits dans celle-ci.

Fondamentalement, la présente invention comprend un volant d'inertie comme source d'énergie sans coupure stockant de l'énergie sous la forme cinétique, l'énergie étant introduite et restituée sous forme électrique, le volant étant supporté magnétiquement par des anneaux magnétiques de centrage passif radial associés à un actuateur axial séparé du centrage magnétique radial et constitué par un double électro-aimant polarisé, l'actuateur axial étant commandé par une boucle d'asservissement fonctionnant à partir d'un détecteur de vitesse axiale comportant une logique de décollement et ne comportant pas de détecteur de position.

Les avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement de la description suivante de formes particulières de réalisation, qui est faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement une vue d'ensemble du système selon la présente invention, comportant des détails qui sont montrés à une plus grande échelle dans les figures suivantes ;
- la figure 2 est un diagramme schématique d'une boucle d'asservissement électrique avec la logique de décollement ;
- la figure 3 illustre une configuration de base des anneaux de centrage radial ;
- la figure 4 illustre une variante de configuration des anneaux de centrage radial de la figure 3 ;
- la figure 5 est une vue de l'actuateur axial de l'équipement selon la présente invention ;
- la figure 6 représente le détecteur de vitesse axiale selon la présente invention ;

- les figures 7 et 8 illustrent le sous-ensemble d'amortissement utilisé dans l'équipement de la présente invention ;

- la figure 9 montre l'amplification des forces électromotrices dans le sous-ensemble d'amortissement des figures 7 et 8 ;

- la figure 10 montre une variante du système magnétique d'amortissement ;

- la figure 11 montre un moteur associé au fonctionnement du rotor, semblable à un générateur compris également dans le présent équipement ;

- la figure 12 illustre une partie d'une forme de réalisation d'une enceinte à vide utilisable pour contenir l'objet de la présente demande ;

- la figure 13 est une vue d'ensemble d'une variante de configuration de la présente invention représentée sur la figure 1 ;

- les figures 14 et 14A, complémentaires pour la clarté du dessin, représentent en coupe une variante de configuration d'ensemble dans laquelle le rotor est plein et l'arbre associé à ce rotor est tournant ; et

- la figure 15 est un schéma montrant les dispositifs d'amortissement radiaux de ce rotor plein.

Comme le montre la vue d'ensemble de la figure 1, le rotor 10 qui est l'élément stockant l'énergie comporte un cylindre en acier, lequel peut être supporté de deux façons différentes :

- en fonctionnement normal, il est supporté magnétiquement par une suspension magnétique et il n'y a aucun contact mécanique entre les parties rotatives de l'équipement et les parties non rotatives ;
- lorsque le système n'est pas en fonctionnement ou lorsque la suspension magnétique n'est pas activée pour une raison quelconque, le rotor vient en contact avec les paliers d'appui, qui sont constitués par des roulements à billes.

Les éléments suivants sont fixés au rotor en acier :

- les éléments rotatifs de la suspension magnétique,
- les circuits magnétiques du moteur et du générateur

ainsi que l'anneau de commutation du moteur, et

- la partie rotative des paliers d'appui inférieur.

Les éléments suivants sont fixés au boîtier :

- les éléments fixes de la suspension magnétique,
- les bobines magnétiques sans fer du moteur et du générateur,
- les détecteurs qui produisent les signaux pour la commutation électronique du moteur,
- des détecteurs complémentaires pour la surveillance des températures et de la pression, si nécessaire, et
- les prises fournissant l'entrée et la sortie de la puissance électrique et des signaux de surveillance.

L'enceinte à vide est généralement fermée hermétiquement par soudage (par exemple, soudage par faisceau électronique, soudage à l'étain, ...). Elle peut également être munie d'un système lui permettant d'être ouverte tout en évitant une entrée de gaz et d'un système de Getter absorbant les gaz résiduels, le dégazage des matériaux et les vapeurs émises par les matériaux inclus dans l'enceinte à vide.

La forme de réalisation de la présente invention telle que représentée sur la figure 1 montre la source de puissance incluse dans une enceinte à vide qui est prévue pour une installation en-dessous de la surface du plancher ou du sol pour obtenir une sécurité supplémentaire.

Dans cette forme de réalisation, l'élément 10 est un rotor en acier auquel sont fixés des anneaux magnétiques de centrage 12 et 13. D'autres anneaux magnétiques 14 et 15 sont fixés au stator respectivement en face des anneaux du rotor. Ces anneaux de centrage du rotor par rapport au stator réalisent ensemble deux fonctions :

- ils fournissent une force radiale de rappel lorsque l'axe magnétique des anneaux de centrage du rotor est décalé par rapport à l'axe magnétique des anneaux du stator, et
- ils fournissent une force axiale qui peut être rendue égale au poids du rotor pour maintenir un entrefer approprié entre les anneaux du rotor et du stator.

Le centrage radial est complété par un système d'amortissement radial comportant des éléments de rotor 16 et 17 et des éléments de stator 18 et 19.

Le maintien permanent de l'entrefer approprié est réalisé par une boucle d'asservissement créant des forces commandées dans la direction axiale.

La position dans laquelle l'attraction de l'anneau magnétique est égale à la force de la pesanteur sur la masse du rotor est une position d'équilibre qui en elle-même est instable. Le système a besoin d'une boucle d'asservissement pour faire revenir le rotor vers sa position d'équilibre lorsqu'il s'en éloigne.

Les forces nécessaires sont produites par un double électro-aimant 21, 22 fixé à l'arbre central fixe. Le circuit magnétique de cet électro-aimant double est polarisé par un anneau magnétique permanent 23 dans une armature mobile 25-25A fixée au rotor. Etant donné le circuit magnétique de polarisation illustré à la figure 2, le même courant s'écoule dans les deux bobines de l'actuateur 21' et 22' et selon la direction du courant la force sur l'armature mobile 25-25A est dans l'une ou l'autre direction. L'amplitude du courant est commandée à partir du signal de bobines d'un détecteur 27 qui mesure la vitesse du mouvement axial du rotor, en plus d'un signal de contre-réaction proportionnel au courant lui-même, chaque signal étant adapté en gain et en phase comme il est habituel dans toute boucle d'asservissement.

Pour le fonctionnement initial de décollement des butées, lorsque le rotor repose sur les paliers d'appui une logique de décollement 28 entre en action. Son fonctionnement est le suivant : la boucle d'asservissement de la figure 2 n'est pas stable sans la présence du signal de vitesse axiale. Par conséquent, le courant augmente spontanément dans une direction dans l'électro-aimant double, immédiatement après que la boucle d'asservissement axial est en circuit, le rotor reposant initialement sur un palier d'appui.

Si le sens du courant est le sens convenable, lorsque le courant atteint un niveau suffisant, la force résultante créée par le double électro-aimant entraîne le rotor hors de sa position de repos, en surpassant les forces résultant de la combinaison de la rigidité axiale de l'anneau de centrage magnétique et de la force de la pesanteur appliquée sur la masse du rotor.

A partir du moment où il y a déplacement axial du rotor, le signal de vitesse axiale est présent et la boucle d'asservissement met le rotor dans la position d'équilibre dans laquelle le poids du rotor est compensé par l'attraction des anneaux de centrage magnétiques. Il n'y a passage de courant dans le double électro-aimant qu'autant qu'il est nécessaire pour compenser des perturbations externes telles que les petits mouvements au sol et la tension de bruit à l'entrée des amplificateurs électroniques. La valeur de ce courant est négligeable en valeur moyenne.

Si le courant qui s'écoule dans le double électro-aimant est initialement dans le sens non convenable, le courant tend à créer une force qui pousse le rotor davantage contre le palier d'appui empêchant le mouvement dans la direction axiale. Le courant s'accroît vers un niveau supérieur au niveau normal qui produit le décollement lorsqu'il est dans la direction convenable. Les circuits de la logique de décollement détectent cette situation et produisent l'inversion du courant dans le double électro-aimant. Ensuite, la situation devient la même que dans le premier cas dans lequel le courant était initialement dans la direction convenable.

Une variante de cette logique de décollement peut également être utilisée ; elle fonctionne de la manière suivante : lorsque le courant s'accroît dans le double électro-aimant, la vitesse d'accroissement est bien définie de sorte qu'au lieu de détecter le niveau de courant qui devrait avoir produit le fonctionnement de décollement à partir d'une certaine valeur, et pour inverser la direction du courant, il est possible de laisser le courant s'accroître pendant un certain temps et s'il n'y a pas de décollement après ce délai, la logique de décollement inverse la direction du courant, et le fonctionnement global reste le même.

La configuration de base des anneaux de centrage radial apparaît à la figure 3. Les anneaux du rotor et du stator sont semblables. Le champ magnétique est produit par des anneaux d'aimants permanents 101, 102 et il est conduit par des couronnes en fer ou en acier magnétique à faible résistivité 103 et 104 sur les côtés opposés de l'anneau 101 associé au stator

et par des couronnes en acier à haute résistivité (fer cobalt, fer amorphe, etc.) 105 et 106 sur les côtés opposés de l'anneau 102 au rotor vers l'entrefer où il est concentré.

Une autre configuration est présentée dans la figure 4. Le flux sort directement des anneaux magnétiques 107, 108, 109, 110 qui sont aimantés dans la même direction que l'axe du rotor. Les pièces 111, 112 ferment le flux magnétique aux extrémités des anneaux magnétiques opposées à l'entrefer.

Le double électro-aimant appelé également actuateur axial (voir figure 5) comprend deux armatures cylindriques 113, 114 dans lesquelles un fil de cuivre est enroulé en 115 et 116. Les armatures 113, 114 avec leur enroulement de cuivre sont attachées à l'arbre central fixe. Les pièces polaires 117, 118 sont fixées au rotor. Un aimant annulaire permanent 119 est placé entre elles et il est aimanté radialement. Le flux magnétique de l'anneau magnétique sort du pôle N de l'aimant annulaire et est divisé en deux parties. Une partie du flux entre dans l'armature supérieure 113 et l'autre partie dans l'armature inférieure 114. Lorsque les entrefers sont égaux, les deux flux sont égaux. En supposant que les bobines 115 et 116 sont connectées de la façon appropriée, lorsque le courant s'écoule dans les deux bobines, le flux magnétique, par exemple, s'accroît dans les entrefers 120, 121 et décroît dans les deux autres entrefers 122, 123. De cette façon, la force créée entre les pièces polaires 117, 118 de l'armature mobile et l'armature 113 est supérieure à la force créée entre les mêmes éléments mobiles et l'armature fixe 114. La force résultante est utilisée pour le fonctionnement de décollement du rotor et pour rendre stable la position d'équilibre naturellement instable du rotor par rapport au stator.

Le détecteur de vitesse axiale 27 schématisé sur la figure 1 est représenté en détail sur la figure 6. Selon cette forme de réalisation, un circuit magnétique est attaché à la partie rotor et lorsqu'un mouvement axial du rotor a lieu ce circuit magnétique induit une force électromotrice dans une double bobine fixée à la partie stator.

Le circuit magnétique est composé de l'anneau magnétique 124 aimanté axialement, des pièces polaires 125, 126 et de

l'armature 127 qui ferme le flux magnétique de l'autre côté des entrefers. A l'intérieur des entrefers, un support cylindrique 128 est muni de deux bobines 129, 130. Le mouvement axial du circuit magnétique produit une force électromotrice dans les deux bobines, lesquelles sont reliées de telle façon que les forces électromotrices s'ajoutent.

La boucle d'asservissement axial étant en fonctionnement, le rotor est supporté sans contact mécanique avec le stator par les forces magnétiques des anneaux de centrage, et éventuellement avec une force additionnelle résultant du flux magnétique dû à l'aimant permanent se trouvant dans l'actuateur axial, si les entrefers 120, 121 ne sont pas égaux aux entrefers 122, 123, pour la position d'équilibre. Le rotor étant centré radialement par les actions magnétiques entre les anneaux de centrage, l'amortissement associé avec ces forces de rappel peut être insuffisant. L'amortissement existant est dû aux courants de Foucault et aux pertes par hystérésis provenant des variations du champ magnétique lorsqu'il y a un mouvement radial du rotor vis-à-vis du stator. Par conséquent, en fonction de la gamme de vitesses de rotation de l'équipement, il peut être utile d'introduire un amortissement additionnel pour éviter une excitation radiale du rotor éventuellement produite par les forces perturbatrices apparaissant dans toute la gamme des vitesses, en particulier au passage des différentes fréquences critiques.

Dans le sous-ensemble d'amortissement montré aux figures 7 et 8 on voit deux aimants permanents annulaires 131,132 qui sont fixés à la partie rotor avec leurs pièces polaires 133, 134, 135, 136. Les aimants permanents sont polarisés radialement. Ils envoient un flux magnétique à travers l'entrefer dans lequel sont placées quatre bobines 137, 138, 139,140. Lorsque le rotor tourne autour de l'axe des anneaux de centrage coaxiaux avec les parties du sous-ensemble d'amortissement, les bobines ne sont pas soumises à des variations de champ magnétique ce qui fait qu'aucune force électromotrice n'est induite dans ces bobines. Lorsqu'une oscillation radiale est superposée à la rotation, une force électromotrice est induite dans les bobines. Si les bobines sont court-circuitées, il y a un

courant induit qui produit un effet d'amortissement.Comme l'indique la figure 9, cet effet peut être amplifié en utilisant la force électromotrice induite dans la bobine 137 comme un signal d'entrée pour un amplificateur.

Dans le cas où l'amplificateur n'est pas utile, les bobines peuvent être remplacées par une simple plaque de cuivre. C'est ainsi que suivant une variante de réalisation représentée sur la figure 10, une partie 141 du circuit magnétique est fixée avec les bobines, ou la plaque en cuivre, au stator. L'autre partie 142 du circuit magnétique est fixée au rotor. Dans un tel cas le circuit magnétique du système d'amortissement contribue au centrage radial passif et/ou au support du poids.

Il est évident aussi que dans le cas où on est amené à utiliser un amplificateur d'amortissement, les signaux d'entrée pour les amortisseurs du haut et du bas peuvent être obtenus à partir de tout capteur permettant d'obtenir la vitesse radiale du rotor lors de ses oscillations ; Dans ce cas le courant peut être envoyé dans toutes les bobines telles que 137, 138, 139, 140. On peut en particulier utiliser des capteurs de déplacement et prendre la dérivée de ce paramètre par rapport au temps.

D'une façon générale, l'amortissement peut déjà être optimisé en augmentant l'énergie dissipée sur la partie statorique lors des mouvements d'excursion radiale du rotor. Les couronnes ferromagnétiques du stator sont avantageusement réalisées en matériau à faible résistivité électrique tel que le fer pur, éventuellement noyées dans un matériau bon conducteur et non magnétique tel que le cuivre ou l'aluminium. Les couronnes équivalentes sur le rotor sont au contraire en matériau ferromagnétique à haute résistivité et feuilleté (alliages fer cobalt, fer amorphe, etc.) ; elles seront noyées ou fixées dans un matériau isolant afin qu'il n'y ait pas de courants de Foucault induits dans leurs supports.

La suspension magnétique a besoin de paliers d'appuis sur lesquels repose le rotor lorsque les circuits actifs de la suspension magnétique ne sont pas en fonctionnement. Ce sous-système est constitué par des roulements à billes ayant des surfaces de contact appropriées permettant au rotor d'entrer en

contact avec le stator par l'intermédiaire du système à roulement à billes.

Le rotor est associé avec un moteur qui est du type à courant continu sans balais de contact et sans fer dans le stator, et avec commutation électronique. Une forme de construction est montrée à la figure 11. La structure à champ tournant consiste en deux anneaux en fer 143 et 144 qui sont lamellés lorsqu'il est nécessaire de réduire les pertes par courant de Foucault. Un ou deux de ces anneaux comportent douze aimants tels que 145 ayant des pôles magnétiques successivement opposés. Le nombre des paires d'aimants peut être adapté à chaque caractéristique particulière du moteur.

L'induit fixe comprend dix-huit bobines 146 de conducteurs isolés à plusieurs brins de faible diamètre pour éviter les courants de Foucault qui sont noyés dans une résine époxy ayant des renforcements mécaniques en fibres de verre. Le nombre des bobines peut être adapté au nombre d'aimants et/ou à la tension d'entrée. Plusieurs systèmes de commutation peuvent être utilisés, qui comprennent :

- une commutation photodiodes/phototransistors,
- une commutation par cellules à effet Hall, ou
- une commutation par détecteurs électromagnétiques.

Le système préféré de la présente invention qui n'exclut pas la possibilité d'utiliser les autres systèmes est un dispositif photo-électrique. Une source lumineuse par exemple une diode photo-électrique émettrice 29 sur la partie stator émet un flux permanent focalisé de lumière et un manchon à fenêtres 30 sur le rotor rencontre le flux de lumière qui est détecté par un phototransistor 31 sur le stator. Les impulsions de lumière sont utilisées pour déclencher le courant dans les différentes bobines en fonction de la position des aimants par rapport aux bobines. Un double jeu de sources lumineuses associées à des détecteurs photoélectriques est utilisé pour éviter toute incertitude à tout moment en ce qui concerne le niveau des signaux de commutation, surtout au début et à la fin des signaux.

Le moteur est monté à une extrémité du rotor. A l'autre extrémité du rotor, un générateur du même type que le moteur

est installé comme le montre la figure 1. Le générateur fournit un courant alternatif qui est redressé si nécessaire. Pour des utilisations spéciales, le générateur peut être utilisé comme un second moteur afin de réaliser une plus grande accélération du rotor.

Dans le cas où le générateur a la même structure électromagnétique que le moteur, le résultat désiré peut être obtenu avec les mêmes détecteurs de commutation. De la même manière le moteur peut être utilisé comme un second générateur et ces conditions de fonctionnement permettent au dispositif de restituer l'énergie stockée avec une puissance de sortie plus élevée.

En fonction du niveau d'énergie qui a été stockée et des conditions de fonctionnement, le système peut travailler à une vitesse élevée dans le vide mais également à des vitesses plus faibles avec une énergie stockée plus faible. Par exemple un rotor, stockant assez d'énergie pour fournir 3 kW durant 20 minutes de puissance utile avec une vitesse principale de rotation de 12 000 tours/minute, peut délivrer 3 kW durant environ 1 minute 15 secondes avec au maximum 3 000 tours/minute. Dans ces conditions, il peut fonctionner dans l'air ou dans un gaz à la pression atmosphérique (hélium par exemple). Les aimants et les bobines sont étudiés pour les conditions choisies de fonctionnement.

En fonction du niveau d'énergie qui doit être stockée et des conditions de fonctionnement, plusieurs configurations peuvent être adoptées pour le volant d'inertie.

La configuration nominale qui s'applique pour un équipement délivrant 1 kW durant 20 minutes ou la même énergie pour une période plus longue correspond à un fonctionnement dans le vide. Par conséquent, le système électromagnétique global avec les sous-systèmes décrits précédemment sont dans une enceinte à vide. Le même équipement est également utilisé pour obtenir une source d'alimentation éliminant les micro-coupures du secteur et dans ce cas la fourniture de la même puissance durant une minute est suffisante ; le même système peut alors fonctionner avec seulement un boîtier de protection et avec la pression atmosphérique à l'intérieur du boîtier.

Dans le cas où le vide est nécessaire, plusieurs configurations sont possibles pour maintenir le vide à l'intérieur après son établissement. La première réalisation consiste à fermer l'enceinte à vide par tout type de soudure (soudure par faisceau électronique, soudure à l'étain, etc.). Une solution qui permet le démontage de l'enceinte à vide pour toute intervention sur l'équipement apparaît en partie à la figure 12. Le couvercle 151 de l'enceinte à vide 150 est équipé de deux anneaux circulaires d'étanchéité 152, 153. Le volume d'air 154 entre ces anneaux est évacué et ensuite rempli d'une huile ayant une faible pression de vapeur. Une variante de ce système utilise une résine avec un catalyseur de polymérisation, telle que la résine époxy qui a également une faible pression de vapeur. Dans un tel cas pour permettre le démontage de l'enceinte à vide les surfaces de l'enceinte sont traitées par un produit évitant une forte adhérence de la résine sur l'enceinte. Les connexions électriques à travers les parois de l'enceinte sont effectuées par des connecteurs hermétiques tels que des passages étanches en verre soudés sur un conducteur en sa partie centrale et à l'enceinte à vide sur sa périphérie.

Une réalisation pratique du dispositif de la présente invention contient un rotor en acier de 370 kg tournant à 12 000 tours/minute. L'expérience a montré la possibilité de stocker dans une telle réalisation 1 kW/heure d'énergie utile qui peut être fournie en 20 minutes avec une puissance de 3 kW ou bien dans une période plus longue avec une puissance plus faible ou dans une période plus courte avec une puissance plus grande allant jusqu'à 10 kW pour le mode de réalisation concerné.

Il est évident que la même réalisation peut être utilisée pour stocker une quantité plus faible d'énergie tout en restant dans le cadre de la présente invention. Des réalisations plus grandes et plus petites peuvent être étudiées selon les mêmes principes de base en restant dans le cadre de la présente invention. Toutes les modifications qui peuvent être introduites selon l'activité de l'homme de métier restent dans le cadre de la présente invention ; ce sont, par exemple, l'utilisation d'un simple moteur-générateur ou d'un nombre diffé-

rent d'anneaux de centrage, d'un nombre différent d'aimants ou de bobines pour le moteur, etc.

L'adaptation d'un rotor composite reste dans le cadre de la présente invention ; il permettra un accroissement de l'énergie stockée. Un tel rotor peut être avantageusement du type décrit dans les brevets français 77 23981 du 3 Août 1977, 78 24955 du 29 Août 1978, 79 13698 du 19 Mai 1979 et 81 07465 du 14 Avril 1981.

Des combinaisons de toutes les configurations dont on discute ci-dessus peuvent être utilisées dans la présente invention.

Une configuration possible est représentée à la figure 13 dans laquelle le moteur est également le générateur, les éléments constitutifs étant analogues, sous plusieurs aspects, aux formes de réalisation de la figure 1.

D'autres considérations de structure, en fonction des dimensions du rotor, peuvent exister ; le rotor peut être placé entre les paliers magnétiques supérieur et inférieur ou il peut être placé à l'extérieur, en-dessous du palier inférieur. De la même manière, le moteur peut être placé soit en-dessous du palier inférieur, soit au-dessus du palier supérieur. Lorsqu'un rotor en acier est utilisé, la vitesse et par conséquent l'énergie peuvent être accrues par le bobinage d'un matériau composite, d'une grande résistance à la traction et de faible densité, enroulé ou précontraint sur le rotor, comme avec l'utilisation de fibres de verre, fibres de carbone, ou fibres de polymère qui peuvent être noyées dans la résine.

La configuration d'ensemble peut faire l'objet d'une variante selon les figures 14 et 14A. Au lieu que le rotor soit alésé dans sa partie centrale et laisse le passage d'un arbre fixe solidarisant axialement les parties haute et basse du carter, le rotor 210 peut être plein dans sa partie centrale. L'arbre 201 associé au rotor est alors tournant et porte à sa partie supérieure une rotule 202 montée sur roulement à billes 203. Lorsque l'équipement n'est pas en fonctionnement, c'est-à-dire lorsque la suspension magnétique axiale n'est pas sous tension, le contact mécanique entre partie fixe et partie tournante s'effectue au niveau de la rotule 202.

Les anneaux magnétiques de centrage 212, 213 du rotor sont fixés à l'ensemble tournant : rotor 210 - arbre 201 et les anneaux magnétiques 214, 215 sont fixés au stator. On retrouve également l'électro-aimant double 221 et 222 fixé alors au stator dont le circuit magnétique est polarisé par l'anneau magnétique permanent 223 dans l'armature mobile 225-225A fixée alors à l'arbre tournant 201.

Un dispositif complémentaire est installé à la partie inférieure. Il permet de faire tourner le rotor entre deux roulements à billes : celui du haut 203 associé à la rotule et un roulement inférieur 204, le jeu mécanique à son niveau étant annulé par l'action d'un électro-aimant 205.

Ce dispositif permet de maintenir le rotor centré dans le cas d'activité sismique. Il permet en outre d'éviter les mouvements du rotor par rapport au stator lors d'un transport.

En d'autres termes quand l'arbre est fixe le rotor est alésé et quand l'arbre est tournant il tourne avec le rotor qui peut alors être plein, les prolongements de l'arbre tournant extérieurs au rotor pouvant être mis à profit pour coopérer avec tout dispositif magnétique ou électromagnétique associé.

Toutefois, afin de ne pas allonger démesurément l'ensemble rotorique, les dispositifs d'amortissement radiaux sont réalisés différemment (figure 15) par rapport au mode de réalisation décrit précédemment.

Un circuit magnétique polarisé par un aimant A se referme au travers de deux entrefers E_1, E_2 sur le rotor 210 en acier. Lorsque le rotor est animé d'un mouvement d'excursion radiale, par exemple au passage d'une fréquence critique, les entrefers E_1, E_2 varient et la variation du champ magnétique provoque une force électromotrice dans des bobinages B_1, B_2. Cette force électromotrice est appliquée à l'entrée d'un amplificateur qui envoie un courant proportionnel à la force électromotrice dans un circuit magnétique D. Il est ainsi possible de créer simplement une force opposée à la vitesse d'excursion radiale du rotor. Selon les caractéristiques de ce rotor il peut y avoir un système de ce genre sensiblement au milieu de la hauteur du rotor, au niveau du centre de gravité ou bien un à chaque extrémité.

La détection de la vitesse radiale peut être effectuée par tout autre système, par exemple par détecteur capacitif, ou à courant de Foucault, etc.

Il est évident que la présente invention n'a été décrite et représentée qu'à titre préférentiel et qu'on pourra apporter des équivalences dans ses éléments constitutifs en fonction des secteurs d'activité sans pour autant sortir du cadre de ladite invention, lequel est défini dans les revendications annexées.

C'est ainsi,en particulier, que l'invention concerne, non seulement, l'équipement qui a été décrit et représenté mais, encore, le procédé permettant d'obtenir une source de secours sans coupure en énergie électrique par la mise en oeuvre dudit équipement.

REVENDICATIONS

1. Equipement permettant le stockage de l'énergie sous forme cinétique et la restitution sans coupure de cette énergie sous forme électrique, du type comprenant une enceinte, un stator à l'intérieur de l'enceinte, un rotor suspendu magnétiquement par rapport au stator et se trouvant à l'intérieur de l'enceinte,des paliers d'appui entre le stator et le rotor pour supporter le rotor lorsque celui-ci n'est pas suspendu magnétiquement, un volant d'inertie constituant une partie du rotor, un dispositif pour suspendre magnétiquement le rotor par rapport au stator et maintenir le rotor en équilibre par rapport au stator, équipement caractérisé en ce que la suspension magnétique comprend : des aimants permanents annulaires (14,15) sur le stator opposés à un nombre équivalent d'aimants permanents annulaires (12, 13) sur le rotor (10), un double électro-aimant, comportant un aimant permanent annulaire (23) ayant des bobines électromagnétiques (21 - 22) de chaque côté dudit aimant annulaire, lequel est monté sur le rotor (10) tandis que les bobines électromagnétiques (21 - 22) sont montées sur le stator, un détecteur de vitesse axiale (27) pour détecter la vitesse axiale de rotor (10) et comportant des bobines (129 - 130) fixées au stator et près d'un aimant(124) fixé au rotor, une boucle d'asservissement (27 - 28 - 21' - 22') pour compenser les forces appliquées qui comprennent le poids du rotor (10) avec le volant d'inertie par les forces de décollement des aimants permanents annulaires opposés (12 - 14 - 13 - 15) et du double électro-aimant (21 - 22), en reliant les bobines électromagnétiques (21' - 22') dans une condition de réaction avec la bobine du détecteur de vitesse (27), un dispositif d'amortissement pour empêcher des excursions radiales excessives et comportant des aimants permanents opposés (16 - 17) et un élément de centrage (18 - 19) passant entre eux, ainsi qu'un moteur et un générateur ayant au moins un induit monté pour tourner avec le rotor, et un stator voisin du rotor.

2.Equipement selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'arbre est fixe et le rotor (10) est alésé, tous dispositifs magnétiques et électromagnétiques associés (12 - 13 - 14 - 15 - 21 - 22 - 23 - 16 - 17 - 18 - 19) étant disposés dans l'alésage entre l'arbre fixe et le rotor (10).

3. Equipement selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'arbre (201) est tournant et tourne avec le rotor (210), les prolongements de l'arbre tournant, extérieurs au rotor, étant mis à profit pour recevoir les éléments tournants (212 - 213 - 223) de tous dispositifs magnétiques et électromagnétiques dont les éléments fixes (214 - 215 - 221 - 222) sont reliés au stator.

4. Equipement selon la revendication 3, caractérisé en ce que le prolongement supérieur de l'arbre tournant (201) porte une rotule (202) montée sur roulements (203) et qui, en l'absence de suspension axiale, réalise le contact mécanique avec la partie fixe.

5. Equipement selon l'une quelconque des revendications 3 et 4, caractérisé en ce qu'un autre roulement (204) est prévu sur le prolongement inférieur de l'arbre tournant (201), le jeu mécanique à ce niveau étant annulé par l'action d'un électro-aimant (205) pour certaines conditions de fonctionnement.

6. Equipement selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que, pour ne pas allonger démesurément l'ensemble rotorique (210) : rotor-arbre, les dispositifs électromagnétiques associés, en particulier aux systèmes d'amortissement des oscillations radiales (A, D, B_1,B_2) sont disposés à l'extérieur, le long de la génératrice du rotor (210).

7. Equipement selon la revendication 6, caractérisé en ce que le dispositif d'amortissement radial est prévu en un point quelconque de la génératrice du rotor (210) et comprend un circuit magnétique polarisé (A, B_1, B_2) se refermant au travers de deux entrefers (E_1, E_2) sur le rotor (210), toute variation desdits entrefers (E_1, E_2) se traduisant par une variation de champ magné-

tique provoquant une force électromotrice dans des bobinages (B_1 B_2) elle-même traduite après amplification, en un courant dans un circuit magnétique correcteur (D).

8. Equipement selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les aimants permanents annulaires (14 - 15 - 214 - 215)du stator disposés en face d'un nombre équivalent d'aimants permanants annulaires (12 - 13 - 212 - 213) sur le rotor (10 - 210) sont tels que les aimants annulaires (14 - 15 - 214 - 215) du stator sont placés radialement l'un à côté de l'autre concentriquement l'un par rapport à l'autre et les aimants annulaires (12 - 13 - 212 - 213) du rotor (10 - 210) sont placés radialement l'un à côté de l'autre concentriquement l'un par rapport à l'autre.

9. Equipement selon la revendication 8, caractérisé en ce que les aimants annulaires (102) du rotor sont montés avec des anneaux (105 - 106) verticalement opposés (103 - 104) dans une relation magnétique d'attraction mutuelle.

10. Equipement selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la boucle d'asservissement (27, 21', 22') comprend également une logique de décollement (28) pour commander le courant de la boucle vers les bobines électromagnétiques (21, 22, 115, 116) du double électro-aimant (21, 22, 115, 116, 23, 119) en fonction de la réaction provenant du capteur (27) de vitesse axiale du rotor (10).

11. Equipement selon la revendication 10, caractérisé en ce que la logique de décollement (28) produit une inversion du courant dans les bobines électromagnétiques (21', 22', 21, 22) lorsque le courant dans celles-ci atteint un niveau prédéterminé.

12. Equipement selon la revendication 10, caractérisé en ce que la logique de décollement (28) produit une inversion du courant dans les bobines électromagnétiques (21' , 22', 21, 22) lorsque le courant dans celles-ci s'est accru pour une période de temps prédéterminée sans

que le rotor (10) soit suspendu magnétiquement et soulevé hors des paliers d'appui.

13. Equipement selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que les aimants permanents annulaires (107 - 108) du stator opposés à un nombre équivalent d'aimants permanents annulaires (109, 110) du rotor (10) sont tels que les aimants annulaires sont aimantés dans la même direction (N - S) que l'axe du rotor (10), des pièces polaires (111, 112) reliant les extrémités de paires d'aimants (107 - 108) annulaires opposées aux extrémités formant des entrefers avec des aimants annulaires (109 - 110) opposés, placés verticalement.

14. Equipement selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que le détecteur de vitesse axiale (27) comporte des bobines fixées au stator, lesdites bobines comportant deux bobines (129 - 130) reliées de façon à ajouter des forces électromotrices induites en elles.

15. Equipement selon la revendication 14, caractérisé en ce que le détecteur de vitesse axiale comporte un aimant annulaire (124) d'aimantation (N.S) axiale attaché au rotor, associé à des pièces polaires (125 - 126 - 127) fermant le flux magnétique de part et d'autre de bobines (129-130) liées au stator et placées dans l'entrefer constitué entre les pièces polaires (125, 126 et 127).

16. Equipement selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que le moteur et le générateur sont incorporés dans une seule unité n'ayant qu'un seul induit (146) et qu'un seul inducteur (143, 144, 145).

17. Equipement selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que le moteur et le générateur comportent un moteur (146, 143, 144, 145) à une extrémité axiale du rotor (10) et du stator, et un générateur (143, 144, 145, 146) à l'autre extrémité axiale du rotor (10) et du stator.

18. Equipement selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que le moteur et le générateur comportent un moteur (146, 143, 144, 145) séparé et un générateur (143, 144, 145, 146) séparé reliés de façon à agir comme deux moteurs pour obtenir un accroissement de la puissance de rotation du rotor et comme deux générateurs pour obtenir un accroissement de la puissance et un accroissement de la durée de la fourniture de puissance.

19. Equipement selon l'une quelconque des revendications 1 à 18, caractérisé en ce que le boîtier (150) est scellé hermétiquement et s'étend avantageusement en-dessous de la surface du sol.

20. Equipement selon l'une quelconque des revendications 1 à 18, caractérisé en ce que le boîtier (150) est scellé hermétiquement et comporte au moins deux parties (151) constituant le boîtier, une paire d'anneaux espacés d'étanchéité (152, 153) entre lesdites parties du boîtier, tandis qu'une matière ayant une faible pression de vapeur remplit l'espace (154) entre lesdits anneaux d'étanchéité.

21. Equipement selon la revendication 20, caractérisé en ce que la matière ayant une faible pression de vapeur est une huile.

22. Equipement selon la revendication 20, caractérisé en ce que la matière ayant une faible pression de vapeur est une résine.

23. Equipement selon la revendication 22, caractérisé en ce que les surfaces du boîtier voisines de la matière ayant une faible pression de vapeur sont traitées avec une matière évitant une adhérence trop vive de la résine pour les surfaces de façon à pouvoir démonter le boîtier.

24. Equipement selon l'une quelconque des revendications 1 à 23, caractérisé en ce que l'élément de centrage du dispositif d'amortissement comporte plusieurs bobines (137, 138, 139, 140) court-circuitées passant entre les aimants permanents opposés (131, 132) du dispositif

d'amortissement.

25. Equipement selon la revendication 24, caractérisé en ce que les bobines (137, 138, 139, 140) forment des paires de bobines (137, 138 et 139, 140)en raison de leur nombre pair et en ce qu'un amplificateur relie l'une des bobines (137 et 139) de chaque paire à l'autre bobine (138 et 140).

26. Equipement selon la revendication 25, caractérisé en ce que l'amplificateur (137 - 138 ou 139 - 140) du système d'amortissement fonctionne pendant des périodes prédéterminées.

27. Equipement selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le détecteur de vitesse radiale pour détecter la vitesse d'excursion radiale du rotor (10) comporte des bobines (115, 116) montées près d'un aimant (119) fixé au rotor (10), et en ce que le dispositif d'amortissement pour empêcher les vitesses excessives d'excursion radiale comporte un induit (113, 114) en alliage ferro-magnétique fixé au stator, un bobinage (115 - 116) fixé à l'induit et un aimant permanent annulaire (119) ayant des pièces polaires (117 - 118) à ses extrémités et fixé au rotor (10).

28. Procédé permettant le stockage de l'énergie sous forme cinétique et la restitution sans coupure de cette énergie sous forme électrique par la mise en oeuvre de l'équipement tel que défini aux revendications 1 à 27, procédé caractérisé en ce qu'il consiste à mettre en rotation un volant de rotor (10 - 210) en acier dans un équilibre de suspension magnétique (12 - 14, 13 - 15 - 212 - 214 - 213 - 215) par un système logique de décollement (27 - 28 - 21' - 22') à partir de paliers de support, à établir une source de puissance sans coupure en accroissant la rotation dudit rotor (10 - 210) jusqu'à une vitesse maximale prédéterminée à commuter d'une entrée de puissance électrique à une sortie de puissance électrique lors d'une perte d'entrée de puissance en obtenant la puissance de sortie à partir d'une

énergie cinétique dans le volant du rotor, et à continuer la rotation dans un équilibre de suspension magnétique à partir de l'énergie cinétique stockée dans le volant du rotor (10 - 210).

29. Procédé selon la revendication 28, caractérisé en ce que les conditions logiques de décollement comprennent une détermination par la mesure du courant maximal.

30. Procédé selon la revendication 28, caractérisé en ce que les déterminations logiques de décollement comportent la mesure d'une période de temps prédéterminée.

31. Procédé selon la revendication 28, caractérisé en ce que la rotation du volant de rotor (10 - 210) en acier a lieu dans un boîtier (150) d'où l'air a été évacué.

32. Procédé selon la revendication 31, caractérisé en ce que le boîtier (150) dans lequel est placé le volant de rotor en acier est enterré en-dessous de la surface du sol.

33. Procédé selon la revendication 28, caractérisé en ce que l'on adopte un rotor (10 - 210), composite permettant un accroissement de l'énergie stockée.

FIG.1

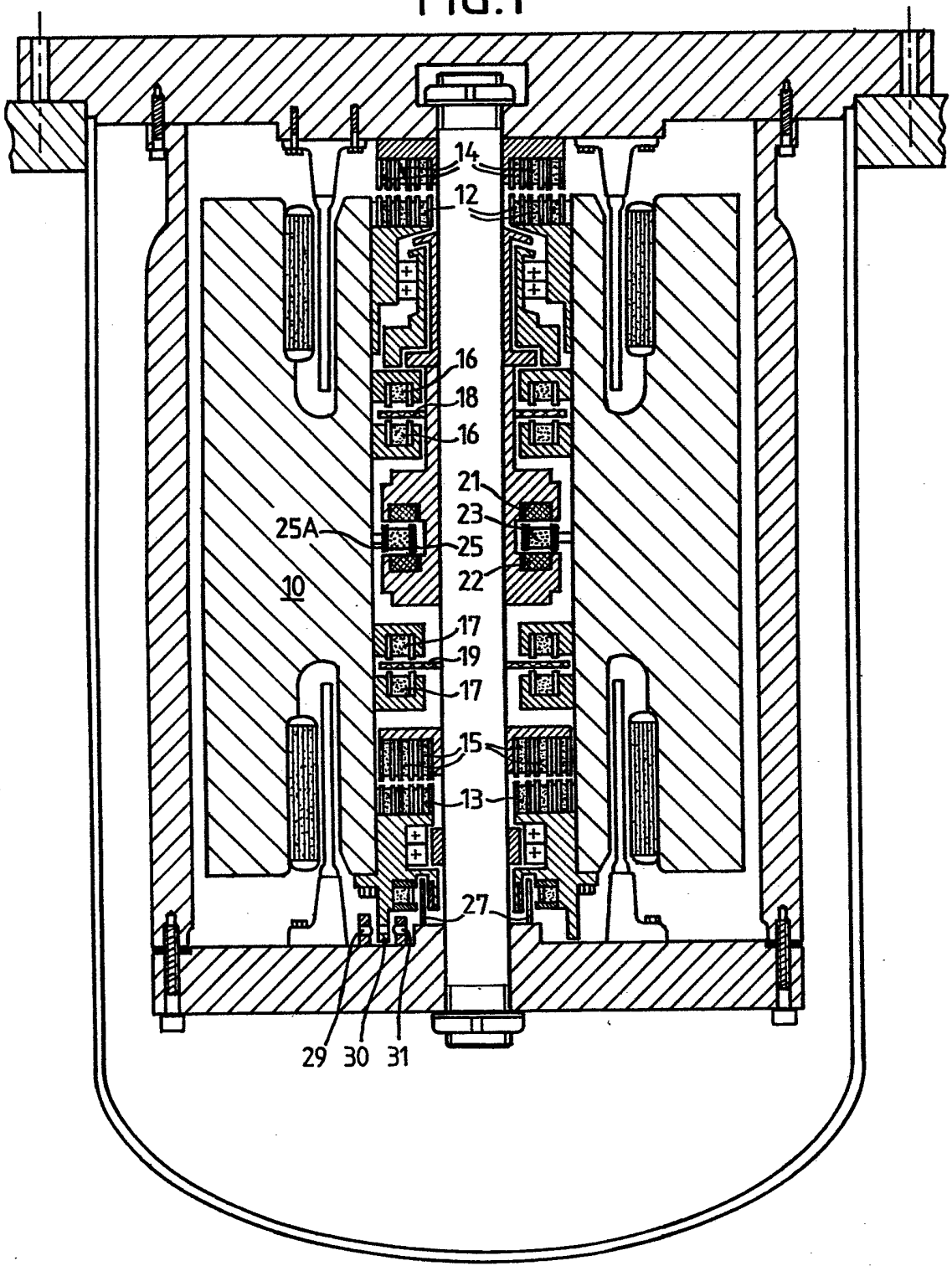


FIG. 2

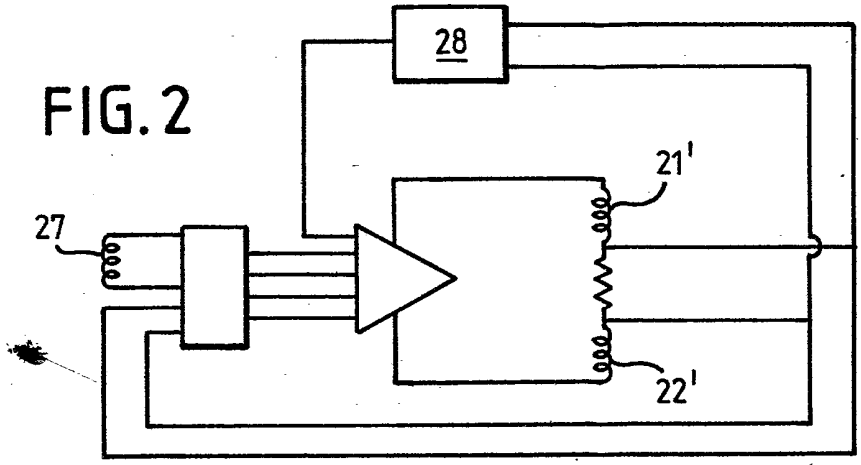


FIG. 3

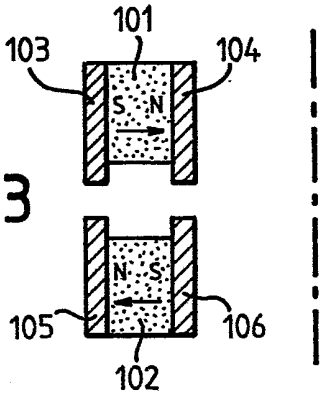
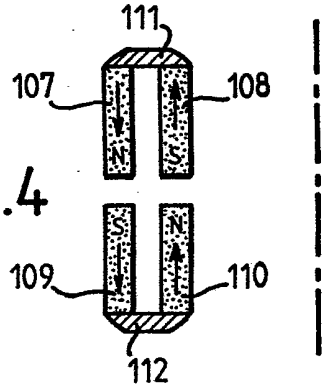


FIG. 4



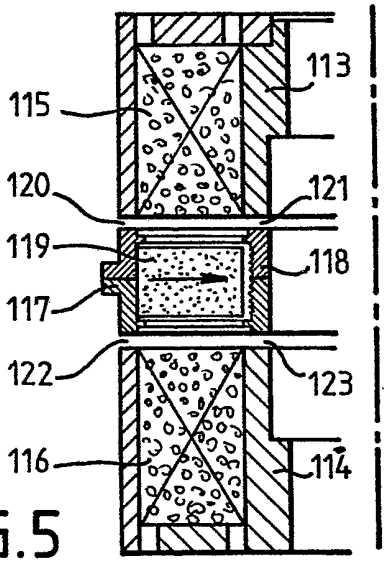


FIG. 5

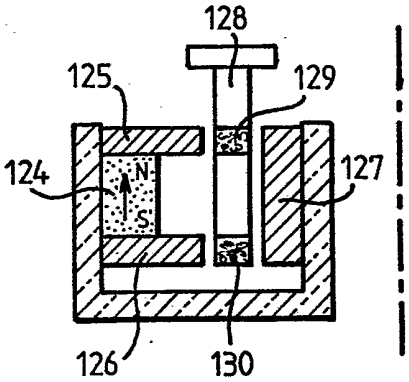


FIG. 6

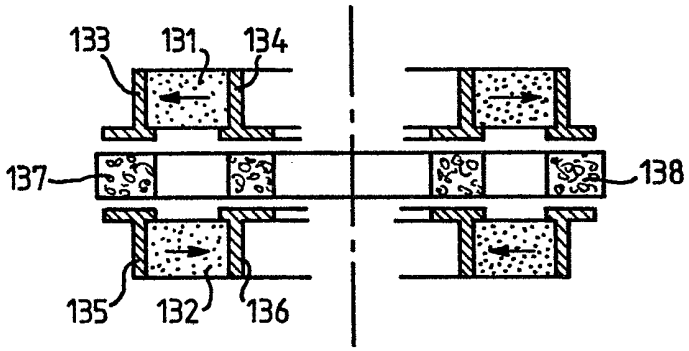


FIG.7

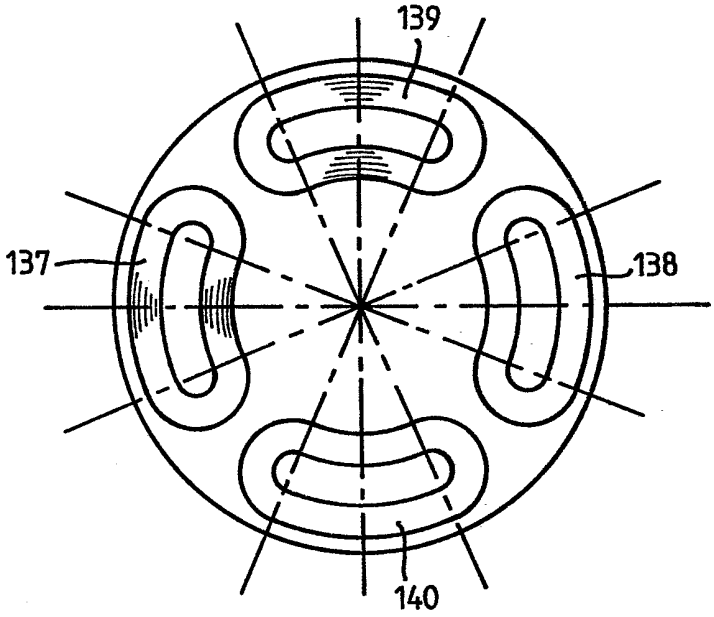


FIG.8

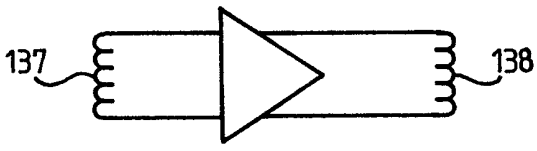


FIG.9

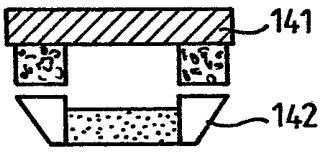


FIG.10

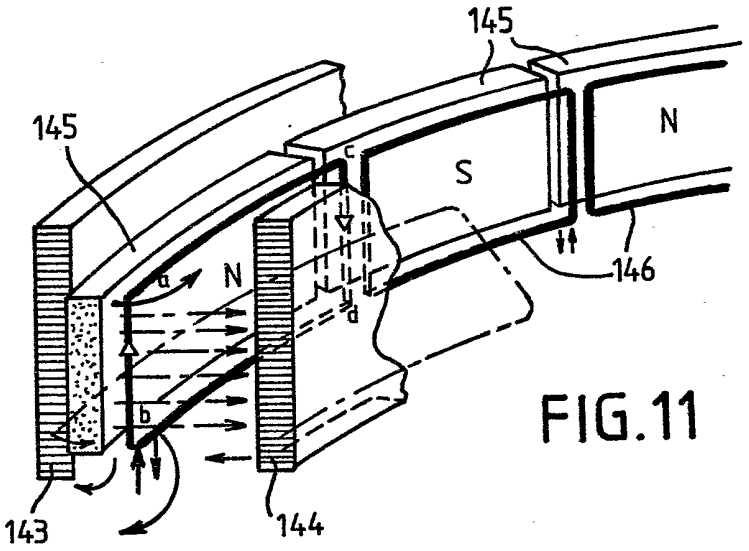


FIG.11

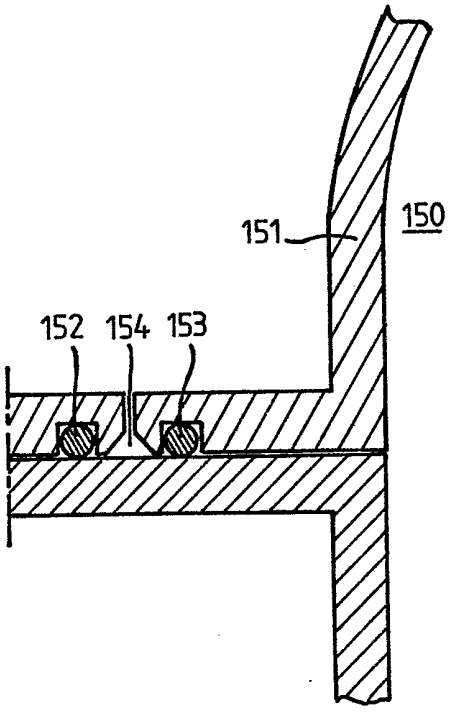


FIG.12

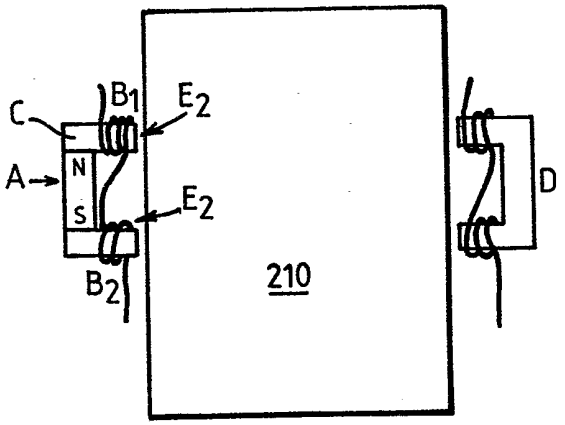
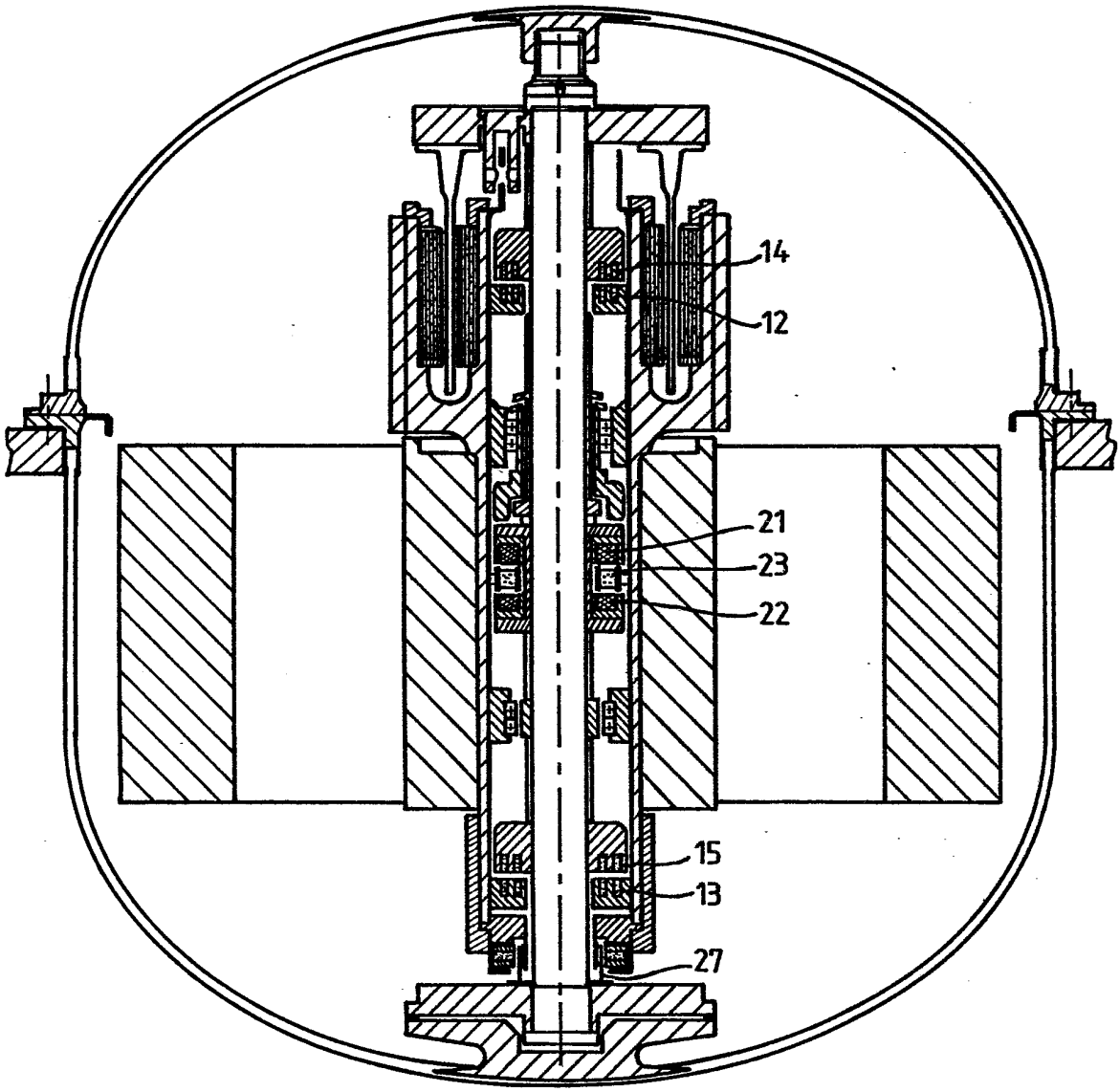


FIG.15

FIG.13



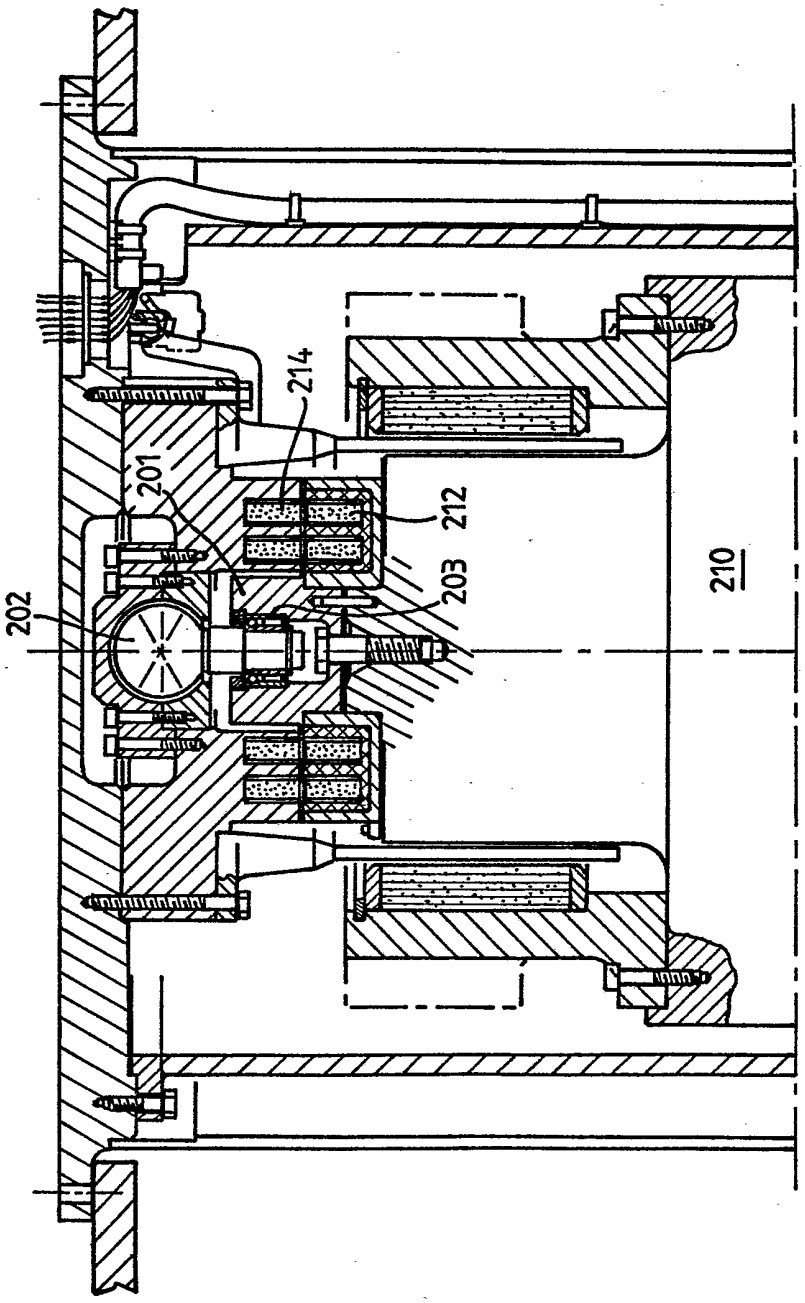


FIG.14

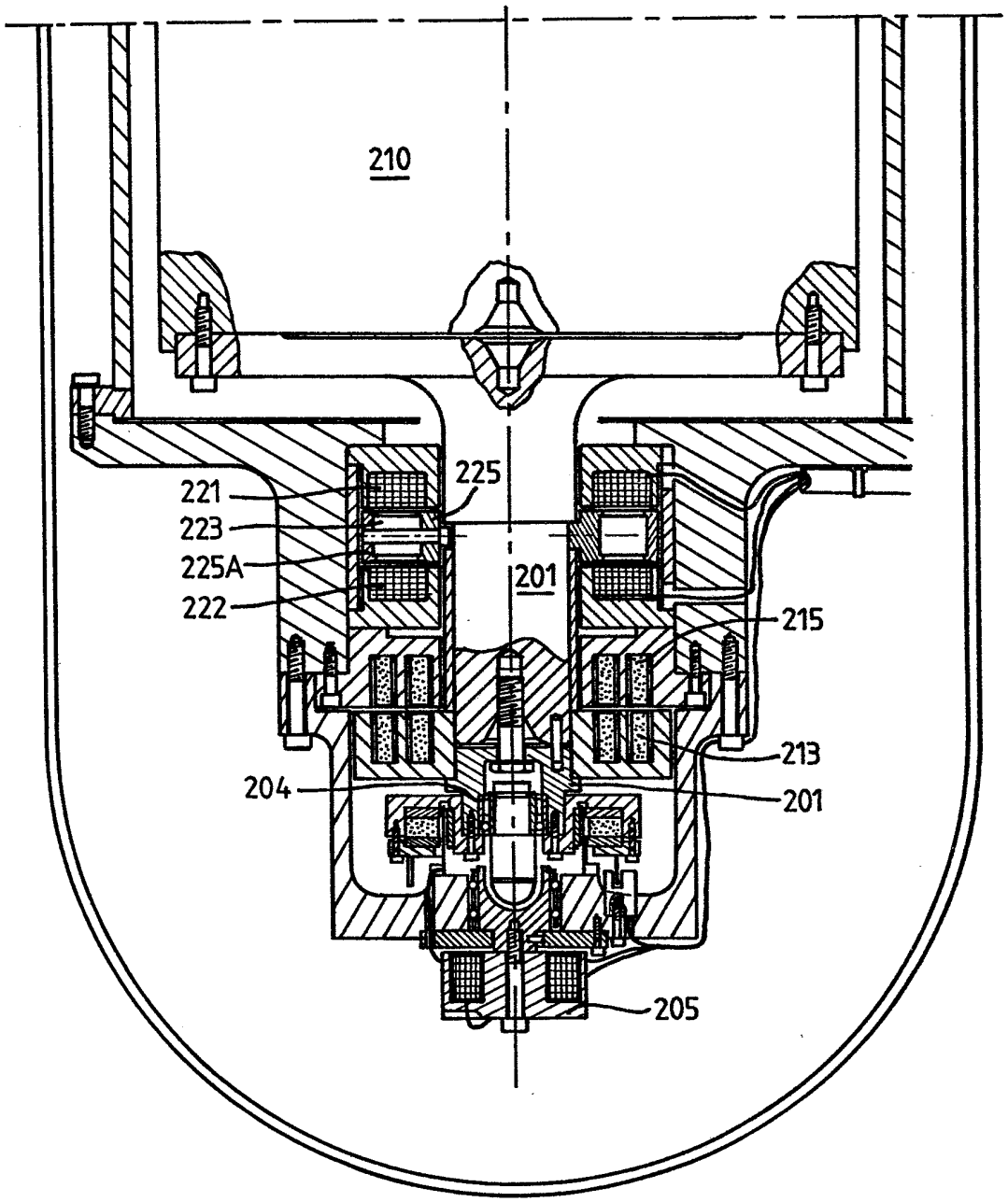


FIG.14A