

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

3 008 539

21 N° d'enregistrement national : 13 01677

51 Int Cl<sup>8</sup> : H 01 F 7/06 (2013.01)

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 10.07.13.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 16.01.15 Bulletin 15/03.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : WHYLOT Société par actions simplifiée — FR.

72 Inventeur(s) : MIHAILA VASILE et RAVAUD ROMAIN.

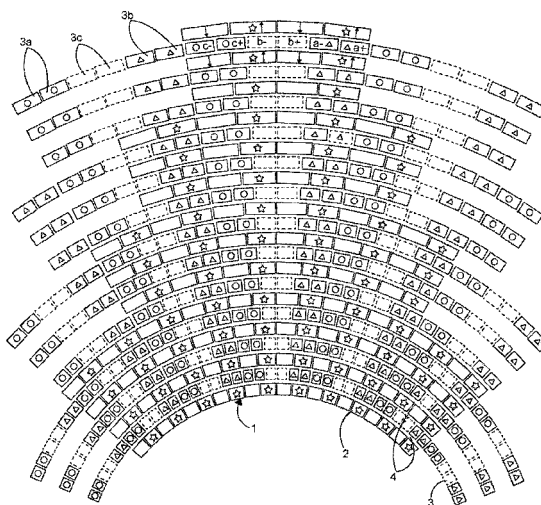
73 Titulaire(s) : WHYLOT Société par actions simplifiée.

74 Mandataire(s) : WHYLOT.

54 ACTIONNEUR ELECTROMAGNETIQUE POLYENTREFERS A AIMANTS PERMANENTS ET ELEMENTS DE BOBINAGE SANS FER.

57 La présente invention porte sur un actionneur (1) électromagnétique à plage angulaire de fonctionnement à multiples entrefers (4), cet actionneur (1) comportant au moins trois éléments à aimants (2) disposés à distance les uns des autres et comprenant chacun une série d'aimants permanents (2a, 2b), un élément de bobinage (3) portant au moins un bobinage (3a, 3b, 3c) étant encadré par chaque paire d'éléments à aimants (2) successifs. L'actionneur (1) est caractérisé en ce que l'alimentation de chaque élément de bobinage (3) ou d'un groupe d'éléments de bobinage (3) est propre respectivement à l'élément (3) ou au groupe et que le moyen de support d'au moins un élément de bobinage (3) ne contient pas de fer.

Applications dans le domaine des moteurs ou génératrices électromagnétiques.



FR 3 008 539 - A1



## "Actionneur électromagnétique polyentrefers à aimants permanents et éléments de bobinage sans fer"

La présente invention porte sur un actionneur électromagnétique polyentrefers à aimants permanents et éléments de bobinage sans fer. Plus particulièrement, cet actionneur électromagnétique présente une plage angulaire de fonctionnement, les aimants permanents et les éléments de bobinage n'étant pas répartis en complète révolution dans l'actionneur.

Il est connu des moteurs ou des génératrices électromagnétiques à aimants permanents qui comprennent au moins un rotor et au moins un stator. De tels moteurs ou génératrices électromagnétiques polyentrefers, donc à au moins un double entrefer, peuvent comporter au moins deux rotors encadrant au moins un stator ou au moins deux stators encadrant au moins un rotor. Dans chacun de ces cas, un entrefer est défini entre chacun desdits au moins deux rotors ou deux stators encadrant respectivement ledit au moins un stator ou rotor.

Au moins une série d'aimants permanents est portée par un ou des éléments à aimants permanents, cet ou ces éléments à aimants permanents étant un ou des rotors ou respectivement un ou des stators, dans la pratique fréquemment un ou des rotors, bien que cela ne soit pas limitatif.

En complément, au moins un bobinage est porté par un ou des éléments de bobinage, cet ou ces éléments de bobinage formant un ou des stators quand le ou les éléments à aimants permanents forment un ou des rotors ou respectivement un ou des rotors quand le ou les éléments à aimants permanents forment des stators. Dans la pratique, l'élément ou les éléments de bobinage sont fréquemment portés par un ou des stators.

Un problème particulier est posé par la sécurité de l'actionnement de certains composants, ceci notamment dans un moyen de transport et plus particulièrement dans un avion. Il est effectué ce qui est appelé une redondance des moyens d'alimentation ou d'actionnement de certains composants.

La redondance est une des solutions envisagées pour la compensation d'une défaillance quelconque dans le fonctionnement d'un système procurant ainsi une protection du fonctionnement du système qualifiée de « tolérance aux

fautes ». Le principe de la redondance réside dans la duplication ou la multiplication de certains composants, constituants, fonctions, sous-systèmes, voire du système lui-même, dans le but d'assurer une mission donnée en présence de défaillances.

Dans le cas spécifique des actionneurs électriques, ceci conduit à multiplier les actionneurs dédiés à une fonction. Il est donc prévu de doubler, tripler voire quadrupler les actionneurs électriques pour la même fonction. Ces actionneurs prennent de la place et ceci est particulièrement désavantageux pour un moyen de transport qui se caractérise par un manque de place endémique pour tous les éléments montés à son bord, ces éléments devant prendre le moins de place possible.

De plus la présence de plusieurs actionneurs électriques pour une même fonction accroît le poids de l'ensemble d'actionnement, ce qui est aussi particulièrement désavantageux pour un moyen de transport.

Enfin, ces actionneurs électriques comprennent fréquemment du fer, le fer pouvant être constitué par le moyen de support du bobinage ou un noyau de fer central pour la canalisation du champ magnétique passant à travers l'élément de bobinage. Ceci rend les actionneurs lourds de par la présence de fer.

La présence de fer présente aussi le désavantage pour l'actionneur électromagnétique de posséder hors tension un couple résiduel appelé couple de détente. Ce couple de détente, appelé aussi cogging torque en anglais, est dû à l'interaction magnétique entre les aimants permanents de ou des éléments à aimants permanents, formant par exemple le ou les rotors, et le fer présent dans le ou les éléments de bobinage, formant par exemple le ou les stators, le fer étant fréquemment utilisé pour la réalisation des encoches du moyen de support du bobinage. Ce couple est indésirable pour le bon fonctionnement de chaque actionneur électromagnétique.

Un dernier désavantage de la présence de fer dans l'élément ou les éléments de bobinage d'un actionneur électromagnétique est de créer ce qui est appelé des pertes fer. Ces pertes fer peuvent être de deux types. Le premier type concerne les pertes par hystérésis du fait de la magnétisation permanente du chemin magnétique. Le second type concerne les pertes par courants de Foucault produits par le champ magnétique tournant.

Ces pertes conduisent à un échauffement de l'ensemble de l'actionneur électromagnétique de même qu'à des pertes de couple dues à une plus faible intensité de courant disponible pour le fonctionnement de l'actionneur, ceci notamment à des vitesses élevées de fonctionnement.

Plus récemment, il a été envisagé de prévoir un stator sans fer pour un moteur électromagnétique, ceci uniquement pour un tel moteur présentant un seul entrefer. L'intérêt d'un actionneur sans fer serait d'éliminer les pertes par courant de Foucault et hystérésis magnétique, ces pertes se produisant à cause du fer contenu dans le stator.

Cependant, le rôle de l'élément ou des éléments en fer dans le stator est de permettre un rebouclage du champ magnétique créé, ce qui présente l'avantage de canaliser le champ magnétique et améliore le rendement du moteur.

Dans le cas spécifique de l'actionneur présentant au moins un stator sans fer, il convient donc de compenser cet inconvénient. Cependant, pour un stator ne comprenant pas de fer, un équivalent partiel du rebouclage du champ magnétique ne peut être obtenu par n'importe quel bobinage.

Comme la présence de fer et notamment d'un noyau de fer dans le stator semblait requise pour la canalisation du champ magnétique créée lors du fonctionnement de l'actionneur, il existe un fort préjugé contre la suppression d'un ou d'éléments en fer dans le ou les stators d'un actionneur, notamment du noyau de fer associé à l'élément de support d'au moins un bobinage de ce stator.

Le problème à la base de la présente invention est, notamment dans le cas d'un système à redondance où plusieurs actionneurs électromagnétiques sont prévus pour l'actionnement d'une même fonction, de permettre le regroupement des actionneurs et de réduire leur poids ainsi que leur encombrement.

A cet effet, on prévoit selon l'invention un actionneur électromagnétique à multiples entrefers et à plage angulaire de fonctionnement, cet actionneur comportant au moins trois éléments à aimants disposés à distance les uns des autres et comprenant chacun une série d'aimants permanents, un élément de bobinage portant au moins un bobinage étant encadré entre chaque paire d'éléments à aimants successifs, un entrefer étant défini entre chacun desdits éléments à aimants et l'élément de bobinage ainsi encadré, chaque élément à

aimants permanents faisant partie d'un rotor ou d'un stator respectif, tandis que chaque élément de bobinage fait partie d'un stator quand chacun des éléments à aimants permanents fait partie d'un rotor ou, respectivement, fait partie d'un rotor quand chacun des éléments à aimants permanents fait partie d'un stator, chacun des éléments à bobinage comprenant au moins un moyen de support dudit au moins un bobinage, caractérisé en ce que l'alimentation de chaque élément de bobinage ou d'un groupe d'éléments de bobinage est propre respectivement à l'élément ou au groupe et que le moyen de support de chaque élément de bobinage ne contient pas de fer.

Un tel actionneur à entraînement direct remplace l'association d'un moteur à haute vitesse et d'un réducteur. En effet, le fait de multiplier les entrefers permet d'obtenir un couple important, ceci en entraînement direct.

De manière générale, l'association d'un moteur à haute vitesse et d'un réducteur permet en général d'avoir à partir d'un moteur haute vitesse avec une puissance  $P = C w$ , avec  $C$  étant le couple et  $w$  la vitesse angulaire, la transmission de la puissance au réducteur permettant à la sortie de l'arbre du réducteur d'avoir un couple plus important et une vitesse plus faible. Ceci est donc obtenu classiquement par un entraînement indirect.

Il n'avait jamais encore obtenu un entraînement direct par un seul actionneur qui produise le couple voulu dans les conditions précédemment mentionnées.

De manière facultative, l'invention comprend en outre au moins l'une quelconque des caractéristiques suivantes :

- ledit au moins un moyen de support présente une dent ou une encoche pour le maintien partiel dudit au moins un bobinage.

- l'actionneur est alimenté en courant polyphasé, chaque élément de bobinage présentant des groupes de bobinage alimentés respectivement par une phase du courant, chaque bobinage étant monté sur une dent respective sans chevauchement entre les bobinages alimentés par une phase respective différente.

- ledit au moins un moyen de support est sous la forme d'une couronne ou d'un anneau plat.

- le moyen de support d'un élément de bobinage est en matériau plastique, composite, céramique ou en verre.

- ladite au moins une série d'aimants permanents portée par un ou des éléments à aimants permanents présente ses aimants adjacents montés avec leur polarité inversée.

- ladite au moins une série d'aimants permanents portée par un ou des éléments à aimants permanents présente ses aimants adjacents montés selon une structure de Halbach.

- l'élément à aimants permanents présentant ses aimants adjacents montés selon une structure de Halbach est l'élément le plus interne ou le plus externe à l'actionneur, les aimants établissant un champ magnétique augmenté du côté tourné vers l'élément de bobinage associé, tandis que le champ magnétique est diminué ou annulé sur son côté opposé à l'élément de bobinage.

- au moins les aimants permanents d'une série d'aimants permanents sont sous la forme de tuiles ou de pavés.

- au moins un élément à aimants permanents présente des logements recevant respectivement un aimant permanent de ladite au moins une série d'aimants qu'il porte, cet aimant permanent présentant une épaisseur sensiblement supérieure ou égale à celle du logement.

- les aimants permanents d'un élément ou des éléments à aimants permanents sont choisis parmi les aimants ferrites, les aimants à base de terres rares comme des aimants néodyme-fer-bore ou des aimants samarium cobalt, des aimants à base d'aluminium, de nickel et de cobalt, avec ou sans liant thermoplastique.

- un ou des éléments à aimants permanents ne contiennent pas de fer au moins sur le passage du champ magnétique émis.

- un élément ou des éléments à bobinage sont recouverts ou munis préalablement d'une frette de protection au moins sur un ou des côtés tournés respectivement vers un élément à aimants permanents.

- les éléments de bobinage forment un stator respectif et les éléments à aimants permanents forment un rotor respectif.

- l'actionneur est à flux axial, radial, transverse ou hybride.

- les éléments de bobinage sont réunis en au moins deux groupes respectifs, chaque groupe étant alimenté séparément de l'autre ou des autres groupes.

L'invention concerne aussi un système comprenant au moins un actionneur assurant une action de redondance de l'actionnement d'une fonction, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un tel actionneur électromagnétique.

D'autres caractéristiques, buts et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre et au regard des dessins annexés donnés à titre d'exemples non limitatifs et sur lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique d'une coupe d'un premier mode de réalisation d'un actionneur polyentrefers à flux radial selon la présente invention,

- la figure 2 est une représentation schématique d'une coupe d'un deuxième mode de réalisation d'un actionneur polyentrefers à flux radial selon la présente invention,

- la figure 3 est une représentation schématique d'une coupe d'un troisième mode de réalisation d'un actionneur polyentrefers à flux radial selon la présente invention.

En se référant aux figures 1 et 2, d'une manière générale, il est représenté un actionneur 1 électromagnétique à plage angulaire de fonctionnement à multiples entrefers 4, cet actionneur 1 comportant au moins trois éléments à aimants 2 disposés à distance les uns des autres et comprenant chacun une série d'aimants permanents 2a, 2b.

L'actionneur 1 présente plusieurs éléments de bobinage 3 portant au moins un bobinage 3a, 3b, 3c, chacun des éléments de bobinage 3 étant encadré par deux éléments à aimants 2 successifs, un entrefer 4 existant entre chaque élément de bobinage 3 et un des deux éléments à aimants 2 qui l'encadrent. Aux figures, les bobinages 3a, 3b, 3c sont différenciés par un symbole spécifique, à savoir respectivement cercle, lignes pointillés et triangle.

Aux figures 1 et 2, seul un élément à aimants parmi treize éléments à aimants est référencé 2. De même, seul un élément de bobinage parmi douze éléments de bobinage est référencé 3 et seul un entrefer est référencé 4 parmi vingt quatre entrefers existant entre chaque élément de bobinage 3 et un des deux éléments à aimants 2 qui l'encadrent. Ces références valent cependant

pour tous les éléments ou entrefers respectifs. Les nombres donnés d'éléments à aimants 2, d'entrefers 4 et d'éléments de bobinage 3 ne sont pas limitatifs.

Chaque élément à aimants 2 permanents fait partie d'un rotor ou d'un stator respectif, tandis que chaque élément de bobinage 3 fait partie d'un stator quand chacun des éléments à aimants 2 permanents fait partie d'un rotor ou, respectivement, fait partie d'un rotor quand chacun des éléments à aimants 2 permanents fait partie d'un stator. Le plus fréquemment, chaque élément de bobinage 3 fait partie d'un stator respectif et chaque élément à aimants 2 permanents fait partie d'un rotor, ce qui n'est pas limitatif.

Avantageusement, chaque élément de bobinage 3 forme un stator de l'actionneur 1 du fait de la présence de connexions électriques alimentant les bobines 3a, 3b, 3c. Il n'est cependant pas exclu que les éléments de bobinage 3 forment chacun un rotor de l'actionneur 1. Dans ce cas, la connexion électrique peut revêtir une autre forme, par exemple en étant par frottement continu entre un élément conducteur porté par l'élément de bobinage 3 et un élément fixe conducteur lors de la rotation du rotor alors formés par l'élément de bobinage 3.

Chaque élément de bobinage 3 et chaque élément à aimants 2 présentent avantageusement une forme d'arc de cercle, les arcs de cercle les plus internes présentant une longueur plus grande que les arcs de cercle les plus externes, leur longueur diminuant en fonction de leur proximité de la périphérie de l'actionneur 1.

Il s'ensuit que les éléments de bobinage 3 et les éléments à aimants 2 ne font pas une révolution complète dans l'actionneur 1, ces arcs étant limités en fonction de la plage angulaire de fonctionnement de l'actionneur 1. Cette plage peut être quelconque par exemple entre quelques degrés et moins de 360°, par exemple +/- 15° ce qui n'est pas limitatif.

Les aimants 2a, 2b disposés sur les éléments à aimants les plus internes sont plus petits que les aimants disposés sur les éléments à aimants les plus externes, leur taille allant croissante plus leur distance du centre de l'actionneur 1 s'accroît. Il en va de même pour les bobinages 3a, 3b, 3c.

Par exemple aux figures, sans que cela soit limitatif, l'arc formé par l'élément à aimants le plus interne comprend vingt aimants tandis que l'arc formé par l'élément à aimants le plus externe comprend quatre aimants. Il en va de même pour les éléments de bobinage 3.



La longueur d'un arc de cercle formé par un élément de bobinage 3 intercalé entre deux éléments à aimants 2 est plus grande que celle des arcs de cercle formés par les deux éléments à aimants 2 associés, ceci pour permettre leur rotation dans la plage angulaire de fonctionnement de l'actionneur 1. Les éléments à aimants 2 se trouvent ainsi en vis-à-vis d'au moins un élément de bobinage 3 lors de sa rotation dans la plage angulaire.

Les éléments à aimants 2, alors en tant que rotor, peuvent donc pivoter par rapport aux éléments à bobinage 3, alors en tant que stator, dans la plage de fonctionnement de l'actionneur en atteignant une extrémité respective des éléments à bobinage 3 associés.

Chacun des éléments de bobinage 3 comprend au moins un moyen de support d'au moins un bobinage 3a, 3b, 3c. Aux figures 1 et 2, il est montré trois bobinages 3a, 3b, 3c différents. Seul un groupe de bobinages d'un élément de bobinage 3 a été référencé 3a, 3b, 3c aux figures 1 et 2 mais ceci est valable pour tous les bobinages.

Selon la présente invention, l'actionneur 1 électromagnétique se distingue en ce que l'alimentation de chaque élément de bobinage 3 ou d'un groupe d'éléments de bobinage 3 est propre respectivement à l'élément 3 ou au groupe et que le moyen de support d'au moins un élément de bobinage 3 ne contient pas de fer.

Avantageusement, ledit au moins un moyen de support présente des dents ou des encoches pour le maintien partiel dudit au moins un bobinage 3a, 3b, 3c.

Comme montré aux figures 1 et 2, quand l'actionneur 1 est alimenté en courant polyphasé, chaque élément de bobinage 3 présente des groupes de bobines, chaque groupe étant alimenté respectivement par une phase du courant. Le courant polyphasé est ici montré triphasé ce qui n'est pas limitatif.

A la figure 1, le courant triphasé est distribué selon les références suivantes: a+, c-, b+, a-, c+, b-. Il s'ensuit un chevauchement des phases. En regard des contraintes de volume dans l'actionneur 1 électromagnétique, les bobines 3a, 3b, 3c avec ce type de bobinage peuvent être difficiles à fabriquer.

De manière préférentielle selon la présente invention, à la figure 2, le courant triphasé est distribué de la façon suivante: a+, a-, c+, c- b+ b-, comme les références l'indiquent. Chaque bobine 3a, 3b, 3c peut être montée sur une

dent respective sans chevauchement entre les bobines 3a, 3b, 3c alimentées par différentes phases. Le montage des bobines 3a, 3b, 3c sur l'élément de bobinage 3 en est facilité.

Dans le mode de réalisation montré aux figures 1 et 2, l'actionneur 1 électromagnétique est à flux radial, ce qui n'est pas limitatif l'actionneur pouvant être à flux axial ou dans une combinaison de ces deux flux.

Les éléments à aimants 2 permanents et les éléments de bobinage 3 peuvent être sous la forme de portions de couronnes ou d'anneaux concentriques disposés dans un même plan et les aimants permanents 2a, 2b présentent une forme de pavé courbé selon la courbure de l'élément à aimants 2 permanents associé. Ceci n'est pas limitatif, les aimants pouvant être de forme rectangulaire ou carrée. Ces aimants permanents 2a, 2b peuvent présenter une épaisseur ou être sous la forme de tuiles.

Selon la présente invention, le moyen de support de chaque élément de bobinage 3 ne contient pas de fer. Ceci est particulièrement valable pour les moyens de maintien de chaque bobinage 3a, 3b, 3c, ces moyens de maintien étant prévus sur le moyen de support et pouvant être sous la forme de dents ou d'encoches.

Le couple de détente et les problèmes de saccades qu'il engendre lors du fonctionnement de l'actionneur 1 sont ainsi annulés. De plus, les pertes fer dues à la présence de fer dans le moyen de support du ou des bobinages 3a, 3b, 3c dans les éléments de bobinage 3 sont annulées.

Chaque élément de bobinage 3 est alimenté électriquement par des connexions électriques. Les éléments de bobinage 3 peuvent être réunis en au moins deux groupes respectifs, chaque groupe étant alimenté séparément de l'autre ou des autres groupes.

Avantageusement, il est possible d'avoir un actionneur 1 électromagnétique quadruplex. En regard des figures 1 et 2 dans lesquelles il est prévu douze éléments de bobinage 3, il peut être prévu quatre groupes de trois éléments de bobinage 3, chacun des groupes étant alimentés séparément. Chacun des groupes est alimenté séparément via un onduleur spécifique, ce qui permet d'avoir quatre alimentations séparées et offre des possibilités de redondance.

En effet, en reprenant ce qui a été énoncé dans la partie introductive de la présente demande, pour répondre à tout panne d'alimentation ou de fonctionnement d'un système piloté par au moins un actionneur 1 électromagnétique et de permettre une tolérance aux fautes, l'actionneur 1 électromagnétique selon la présente invention peut remplacer plusieurs actionneurs électromagnétiques assurant la redondance pour ledit système.

Diverses combinaisons entre les éléments de bobinage 3 ou les groupes d'éléments de bobinage 3 alimentés électriquement sont possibles. Par exemple, il est possible d'alimenter les x groupes d'éléments de bobinage 3 simultanément ou alternativement. Un ou des groupes peuvent être gardés en réserve pour compenser la défaillance d'un autre groupe en utilisation.

Indépendamment de l'obtention d'une redondance, il est aussi possible de moduler la puissance en fonctionnement d'un tel actionneur 1 électromagnétique selon la présente invention.

Avantageusement, comme montré aux figures 1 et 2 par des flèches pour les deux éléments à aimants 2 les plus externes à l'actionneur 1, les éléments à aimants 2 permanents présentent leurs aimants 2a, 2b adjacents l'un à l'autre en étant montés avec leur polarité inversée.

Dans un mode de réalisation alternatif, la ou les séries d'aimants 2a, 2b permanents d'un ou d'éléments à aimants 2 permanents peuvent présenter leurs aimants adjacents montés selon une structure de Halbach. Il est aussi possible de combiner une structure de Halbach pour au moins un des éléments à aimants 2 de l'actionneur 1 avec une structure à aimants montés avec leur polarité inversée pour d'autres éléments à aimants 2 du même actionneur 1.

Une structure de Halbach consiste en un agencement particulier des aimants permanents 2a, 2b qui permet d'augmenter le champ magnétique d'un côté de la série d'aimants permanents tandis que le champ magnétique de l'autre côté de la série est sensiblement diminué voire annulé.

Ceci est obtenu en ayant un motif spécifique de disposition des aimants permanents. Une telle disposition est avantageuse pour l'élément à aimants 2a, 2b le plus interne ou le plus externe de l'actionneur 1, l'élément de bobinage 3 intercalé entre ces deux éléments à aimants 2 les plus internes ou les plus externes se trouvant parcouru par un champ magnétique alors concentré dans

l'espace entre les deux éléments à aimants 2 les plus internes ou les plus externes encadrant cet élément de bobinage 3.

Ainsi, il peut être avantageusement prévu au moins un élément à aimants 2 permanents le plus interne ou le plus externe à l'actionneur 1, les aimants 2a, 2b dudit au moins un élément à aimants 2 permanents étant montés selon une structure de Halbach et établissant un champ magnétique augmenté du côté tourné vers l'élément de bobinage 3 associé, tandis que le champ magnétique est diminué ou annulé sur son côté opposé à l'élément de bobinage 3. On réduit ainsi la déperdition du champ magnétique.

Au moins un élément à aimants 2 permanents peut présenter des logements recevant respectivement un aimant permanent 2a, 2b de ladite au moins une série d'aimants qu'il porte. Les aimants 2a, 2b permanents sont avantageusement collés dans leur logement, par exemple à leurs quatre coins quand ils sont de forme carrée ou rectangulaire ou avec une portion courbée en arc de cercle.

Avantageusement, l'aimant 2a, 2b permanent associé à un logement présente une épaisseur sensiblement supérieure ou égale à celle du logement. Le fait que les éléments à aimants 2 permanents présentent de tels logements permet de garantir la cohésion entre les aimants 2a, 2b et l'élément à aimants 2 permanents, ceci notamment quand chaque élément à aimants 2 permanents sert de rotor à l'actionneur 1, la vitesse élevée de rotation de chaque élément à aimants 2 permanents pouvant entraîner le décollement des aimants 2a, 2b, notamment par force centrifuge.

De tels logements permettent d'éviter une opération d'enrobage ou de frettage des éléments à aimants 2 permanents, opération qui est coûteuse et prend du temps, les éléments 2 devant fréquemment être placés dans un four pendant une durée plus ou moins longue.

L'utilisation de tels logements peut être appliquée à tous les modes de réalisation de la présente invention. Ces logements peuvent être obtenus par différents procédés, par exemple par enlèvement de matière par usinage ou électroérosion ou lors du moulage de chaque élément à aimants 2 dans un moule présentant des formes appropriées pour réaliser les logements.

Inversement, il est possible d'effectuer une opération de frettage complémentaire sur les aimants 2a, 2b placés dans leur logement respectif mais

cette opération peut être réduite comparée à une opération de frettage connue de l'état de la technique. Les logements sont avantageusement obtenus par usinage des éléments à aimants 2 permanents.

A la figure 3, l'actionneur 1 est composé de onze arcs de cercle d'aimants formant les éléments à aimants 2 et de quatorze arcs de cercle formant les éléments de bobinage 3, un seul élément à aimants 2 et un seul élément à bobinage 3 étant référencés à cette figure.

L'actionneur 1 est divisé en trois parties avec un nombre de paires de pôles différent pour chaque partie, ce qui permet d'augmenter les performances de l'actionneur 1. Il peut y avoir 96 aimants au total pour l'actionneur 1, ce qui n'est pas limitatif.

La première partie est composée de quatre arcs de cercle d'éléments de bobinage situés à l'extérieur de l'actionneur avec un élément d'aimants disposé entre deux éléments de bobinage, donc pour cette première partie trois éléments d'aimants. Les premiers trois arcs de cercle les plus extérieurs d'éléments d'aimants comprennent huit aimants pour chaque arc de cercle. La seconde partie est composée de six arcs de cercle d'éléments de bobinage situés au milieu de l'actionneur 1 avec des éléments d'aimants entre eux. La troisième partie est composée de quatre arcs de cercle d'éléments de bobinage situés à l'intérieur de l'actionneur avec des éléments d'aimants entre eux.

Comme à la figure 2, dans chaque élément de bobinage de l'actionneur 1, les bobines sont montées sur dent. Les avantages des bobines sur dent par rapport aux bobines classiques pour lesquelles les têtes des différentes bobines s'entrecroisent sont d'être plus faciles à fabriquer avec des bobineuses automatiques. De plus, les bobines sur dent permettent un coefficient de remplissage supérieur et des pertes Joules inférieures.

A la figure 3, il est montré un carter fixe 5 reliant les éléments de bobinage 3 entre eux et le carter mobile 6 reliant les éléments à aimants 2 entre eux. Le carter mobile 6 est monté sur un pivot central 7 au centre des arcs de cercle par rapport au carter fixe 5. Les arcs de cercle formant les éléments de bobinage peuvent être prolongés jusqu'au paroi du carter fixe 5 par une couche de la résine.

Avantageusement, pour tous les modes de réalisation de la présente invention, les aimants permanents 2a, 2b de chaque élément à aimants 2

permanents peuvent être choisis parmi les aimants ferrites, les aimants à base de terres rares comme des aimants néodyme-fer-bore (NdFeB) ou les aimants samarium cobalt (SmCo), les aimants à base d'aluminium, de nickel et de cobalt (AlNiCo), avec ou sans liant thermoplastique.

De même pour tous les modes de réalisation, pour l'actionneur 1 électromagnétique, avantageusement les éléments à aimants 2 permanents ne contiennent pas de fer au moins sur le passage du champ magnétique émis. Ceci permet d'alléger le poids total de l'actionneur 1 et de minimiser ses pertes en fer.

Avantageusement, aussi pour tous les modes de réalisation de l'invention, pour l'actionneur 1 électromagnétique, les éléments de bobinage 3 peuvent être recouverts d'une frette de protection au moins sur un ou des côtés tournés respectivement vers un élément à aimants 2 permanents. Cette frette de protection peut avantageusement être formée par un ruban thermorétractable, par exemple un drapage de matériau composite à base de fibres de verre, ceci sans que cela soit limitatif.

Pour tous les modes de réalisation décrits de la présente invention, les bobinages 3a, 3b, 3c des éléments de bobinage 3 peuvent être des bobinages classiques consistant en un fil métallique bon conducteur enroulé sur un moyen de support, ce moyen de support pouvant présenter des dents espaçant les bobines ou aidant à leur positionnement.

Le ou les bobinages sont avantageusement en fil de cuivre ou d'aluminium. Le moyen de support est à base d'un matériau ne contenant pas de fer et être par exemple en plastique, en composite, en verre. Ce moyen de support peut avantageusement être souple et élastiquement déformable.

Le moyen de support du ou des bobinages 3a, 3b, 3c prévus pour un élément de bobinage 3 peut être sous la forme d'une couronne ou d'un anneau plat comprenant une série de moyens de réception au moins partielle d'au moins un bobinage 3a, 3b, 3c qu'il supporte.

Ces moyens de réception peuvent être sous la forme d'encoches disposées dans le plan de la couronne ou de l'anneau plat formé par le moyen de support. Ces encoches, avantageusement radiales, sont donc susceptibles de coopérer avec les bobinages 3a, 3b, 3c pour leur positionnement sur le moyen de support. Les moyens de réception, par exemple sous forme d'encoches, font avantageusement face aux éléments à aimants 2 permanents associés.

Un moyen de support sous forme d'au moins une portion de couronne ou d'un anneau est plus particulièrement approprié pour un actionneur 1 électromagnétique à flux radial. Il est aussi possible que le moyen de support forme une couronne ou un anneau continu, les éléments de bobinage 3 étant présents seulement sur une portion de la couronne ou de l'anneau.

Ce moyen de support peut être aussi sensiblement sous la forme d'un disque avec au moins un bobinage 3a, 3b, 3c enroulé autour. Ce disque présente avantageusement un évidement dans sa partie médiane. Un tel moyen de support est alors plus particulièrement approprié pour un moteur ou une génératrice électromagnétique à flux axial.

Le moyen de support, ne contenant pas de fer, peut être formé d'un ou de plusieurs éléments. Dans le cas de plusieurs éléments, ces éléments sont de faible épaisseur et superposés ou enroulés les uns sur les autres, par exemple sous forme de feuilles, le moyen de support étant alors en matériau feuilleté. Les feuilles sont avantageusement enroulées à plat autour de l'axe de symétrie circulaire du moyen de support.

Le passage du courant dans ledit au moins un bobinage 3a, 3b, 3c positionné sur le moyen de support crée le champ magnétique induit de l'actionneur 1. Ledit au moins un bobinage 3a, 3b, 3c peut être ensuite noyé dans tout liant isolant, par exemple une résine, pour assurer une bonne isolation électromagnétique de celui-ci.

Comme précédemment mentionné, un tel actionneur 1 électromagnétique selon la présente invention peut être à flux axial, radial, c'est-à-dire tangentiel à l'axe de rotation ou respectivement perpendiculaire à l'axe de rotation de l'actionneur 1. Il est cependant aussi possible de concevoir un actionneur 1 à flux transverse ou hybride, le flux étant, par exemple, à la fois perpendiculaire et tangentiel à l'axe de rotation de l'actionneur 1.

Un mode de réalisation non limitatif d'un actionneur 1 à flux radial va être maintenant donné. Les éléments à aimants 2 permanents peuvent être chacun sous la forme d'une portion de couronne, cette couronne pouvant être d'autre part complète mais avec une portion restante ne portant pas d'élément à aimants 2.

Chaque deux éléments à aimants 2 adjacents intercalent entre eux un élément de bobinage 3. Les éléments à bobinage 3 peuvent être aussi

avantageusement chacun sous la forme d'une portion de couronne respective, cette couronne pouvant être d'autre part complète mais avec une portion restante ne portant pas d'élément de bobinage 3.

Un entrefer 4 est laissé entre chaque élément à bobinage 3 et chacun des deux éléments à aimants 2 qui lui sont associés.

Tous les éléments à aimants 2 peuvent être reliés à un premier disque les recouvrant sur un côté de l'actionneur 1, ce disque n'étant pas montré aux figures. De l'autre côté de l'actionneur 1, les éléments à bobinage 3 peuvent être réunis à un second disque les recouvrant. Les disques insèrent donc entre eux les éléments à aimants 2 et les éléments à bobinage 3 en formant avantageusement un ensemble fermé, ceci par exemple par un rebord prévu à la périphérie d'au moins un disque et sensiblement perpendiculaire au plan du disque tout en laissant un espace entre les deux disques.

Un des disques peut tourner et former le rotor de l'actionneur 1, par exemple celui relié aux éléments à aimants 2 tandis que l'autre disque peut être fixe et former le stator de l'actionneur 1. Chacun des disques peut être prolongé par un axe, cet axe étant fixe quand il est associé avec le disque formant stator et l'autre tournant quand il est associé au rotor.

Un mode de réalisation non limitatif d'un actionneur 1 à flux axial va être maintenant donné, ce mode de réalisation n'étant pas représenté aux figures mais faisant néanmoins partie de la présente invention.

Dans cette forme de réalisation, chacun des éléments à bobinage ainsi que chacun des éléments à aimants peuvent être avantageusement sous la forme d'un disque centré sur l'axe central de l'actionneur, cet axe étant avantageusement l'arbre d'entraînement de l'actionneur. Tous ces disques sont concentriques et disposés axialement l'un après l'autre par rapport à l'axe central de l'actionneur.

Les éléments à bobinage pouvant former les stators de l'actionneur sont reliés à l'arbre d'entraînement avec possibilité de rotation de l'arbre d'entraînement par rapport à eux, par exemple en insérant un roulement entre l'arbre d'entraînement et chaque stator.

Les éléments à aimants permanents sous forme de disques peuvent être reliés entre eux à leur périphérie extérieure par une forme cylindrique formant rotor et les englobant. Le rotor peut entraîner l'axe de l'actionneur.



La forme cylindrique, pouvant envelopper aussi les éléments à bobinage, est reliée à l'arbre d'entraînement, avantageusement à chacune de ses extrémités. La forme cylindrique peut ainsi entraîner l'arbre d'entraînement en remplissant sa fonction de rotor. Les aimants de chacune d'au moins une série d'aimants présente sur un élément à aimants permanents sont orientés de manière similaire, ceci pour tous les éléments à aimants permanents. Cette orientation est avantageusement parallèle à l'arbre d'entraînement.

## REVENDEICATIONS

1. Actionneur (1) électromagnétique à multiples entrefers (4) et à plage angulaire de fonctionnement, cet actionneur (1) comportant au moins trois éléments à aimants (2) disposés à distance les uns des autres et comprenant chacun une série d'aimants permanents (2a, 2b), un élément de bobinage (3) portant au moins un bobinage (3a, 3b, 3c) étant encadré entre chaque paire d'éléments à aimants (2) successifs, un entrefer (4) étant défini entre chacun desdits éléments à aimants (2) et l'élément de bobinage (3) ainsi encadré, chaque élément à aimants (2) permanents faisant partie d'un rotor ou d'un stator respectif, tandis que chaque élément de bobinage (3) fait partie d'un stator quand chacun des éléments à aimants (2) permanents fait partie d'un rotor ou, respectivement, fait partie d'un rotor quand chacun des éléments à aimants (2) permanents fait partie d'un stator, chacun des éléments à bobinage (3) comprenant au moins un moyen de support dudit au moins un bobinage (3a, 3b, 3c), caractérisé en ce que l'alimentation de chaque élément de bobinage (3) ou d'un groupe d'éléments de bobinage (3) est propre respectivement à l'élément (3) ou au groupe et que le moyen de support de chaque élément de bobinage (3) ne contient pas de fer.
2. Actionneur (1) électromagnétique selon la revendication précédente, dans lequel ledit au moins un moyen de support présente une dent ou une encoche pour le maintien partiel dudit au moins un bobinage (3a, 3b, 3c).
3. Actionneur (1) électromagnétique selon la revendication précédente, lequel est alimenté en courant polyphasé, chaque élément de bobinage (3) présentant des groupes de bobinage (3a, 3b, 3c) alimentés respectivement par une phase du courant, chaque bobinage (3a, 3b, 3c) étant monté sur une dent respective sans chevauchement entre les bobinages (3a, 3b, 3c) alimentés par une phase respective différente.

4. Actionneur (1) électromagnétique selon l'une quelconque des deux revendications précédentes, dans lequel ledit au moins un moyen de support est sous la forme d'une couronne ou d'un anneau plat.
5. Actionneur (1) électromagnétique selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le moyen de support d'un élément de bobinage (3) est en matériau plastique, composite, céramique ou en verre.
6. Actionneur (1) électromagnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel ladite au moins une série d'aimants permanents (2a, 2b) portée par un ou des éléments à aimants (2) permanents présente ses aimants (2a, 2b) adjacents montés avec leur polarité inversée.
7. Actionneur (1) électromagnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel ladite au moins une série d'aimants permanents (2a, 2b) portée par un ou des éléments à aimants (2) permanents présente ses aimants (2a, 2b) adjacents montés selon une structure de Halbach.
8. Actionneur (1) électromagnétique selon la revendication précédente, dans lequel l'élément à aimants (2) permanents présentant ses aimants (2a, 2b) adjacents montés selon une structure de Halbach est l'élément (2) le plus interne ou le plus externe à l'actionneur (1), les aimants (2a, 2b) établissant un champ magnétique augmenté du côté tourné vers l'élément de bobinage (3) associé, tandis que le champ magnétique est diminué ou annulé sur son côté opposé à l'élément de bobinage (3).
9. Actionneur (1) électromagnétique selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au moins les aimants permanents (2a, 2b) d'une série d'aimants permanents sont sous la forme de tuiles ou de pavés.
10. Actionneur (1) électromagnétique selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au moins un élément à aimants (2) permanents présente des logements recevant respectivement un aimant (2a, 2b) permanent de ladite au moins une série d'aimants qu'il porte, cet aimant

permanent (2a, 2b) présentant une épaisseur sensiblement supérieure ou égale à celle du logement.

11. Actionneur (1) électromagnétique selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les aimants permanents (2a, 2b) d'un élément ou des éléments à aimants (2) permanents sont choisis parmi les aimants ferrites, les aimants à base de terres rares comme des aimants néodyme-fer-bore ou des aimants samarium cobalt, des aimants à base d'aluminium, de nickel et de cobalt, avec ou sans liant thermoplastique.
12. Actionneur (1) électromagnétique selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un ou des éléments à aimants (2) permanents ne contiennent pas de fer au moins sur le passage du champ magnétique émis.
13. Actionneur (1) électromagnétique selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un élément ou des éléments à bobinage (3) sont recouverts ou munis préalablement d'une frette de protection au moins sur un ou des côtés tournés respectivement vers un élément à aimants (2) permanents.
14. Actionneur (1) électromagnétique selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les éléments de bobinage (3) forment un stator respectif et les éléments à aimants (2) permanents forment un rotor respectif.
15. Actionneur (1) électromagnétique selon l'une quelconque des revendications précédentes, lequel est à flux axial, radial, transverse ou hybride.
16. Actionneur (1) électromagnétique selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les éléments de bobinage (3) sont réunis en au moins deux groupes respectifs, chaque groupe étant alimenté séparément de l'autre ou des autres groupes.
17. Système comprenant au moins un actionneur (1) assurant une action de redondance de l'actionnement d'une fonction, caractérisé en ce qu'il

comprend au moins un actionneur (1) électromagnétique selon la revendication précédente.

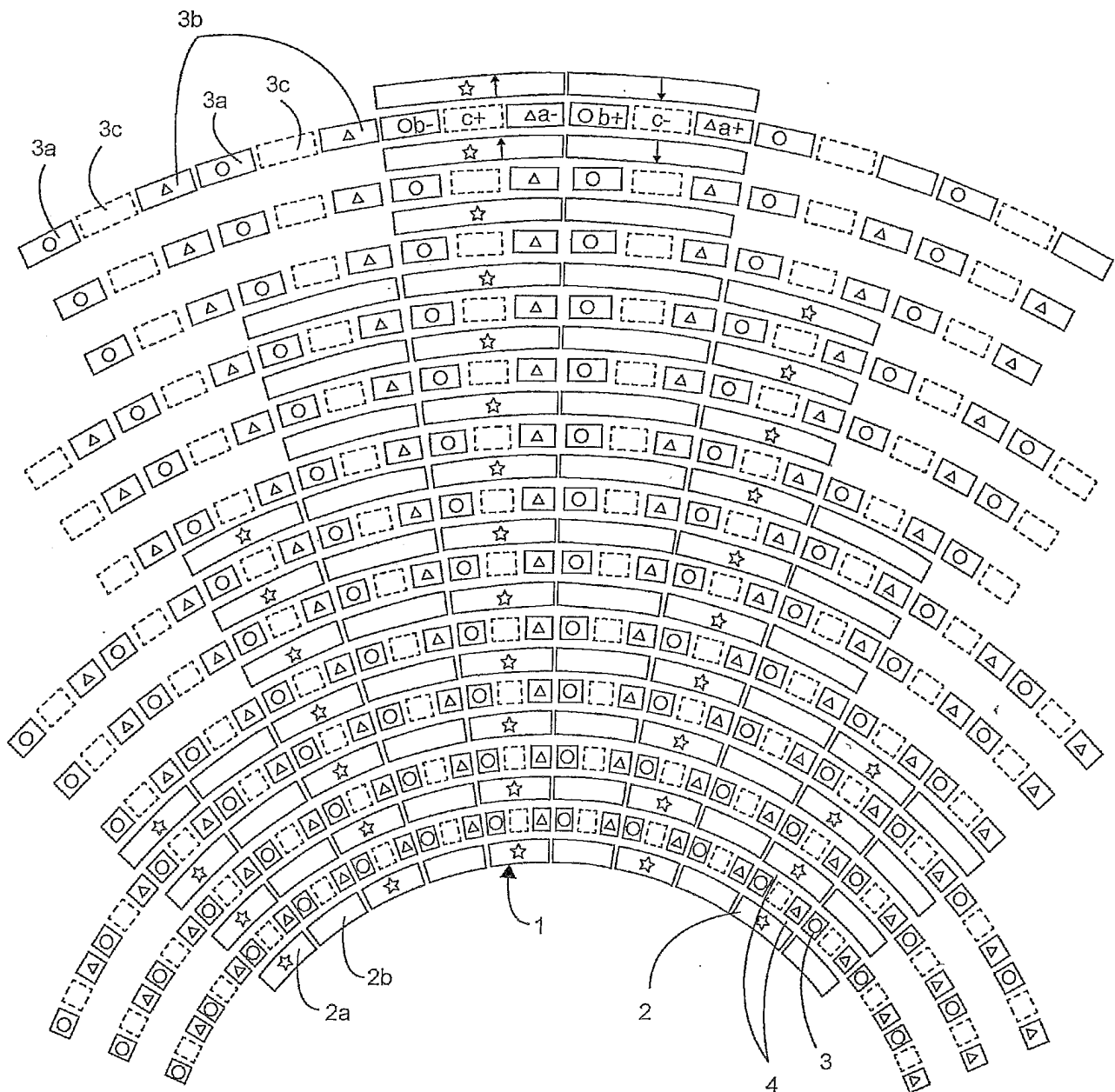


FIG. 1

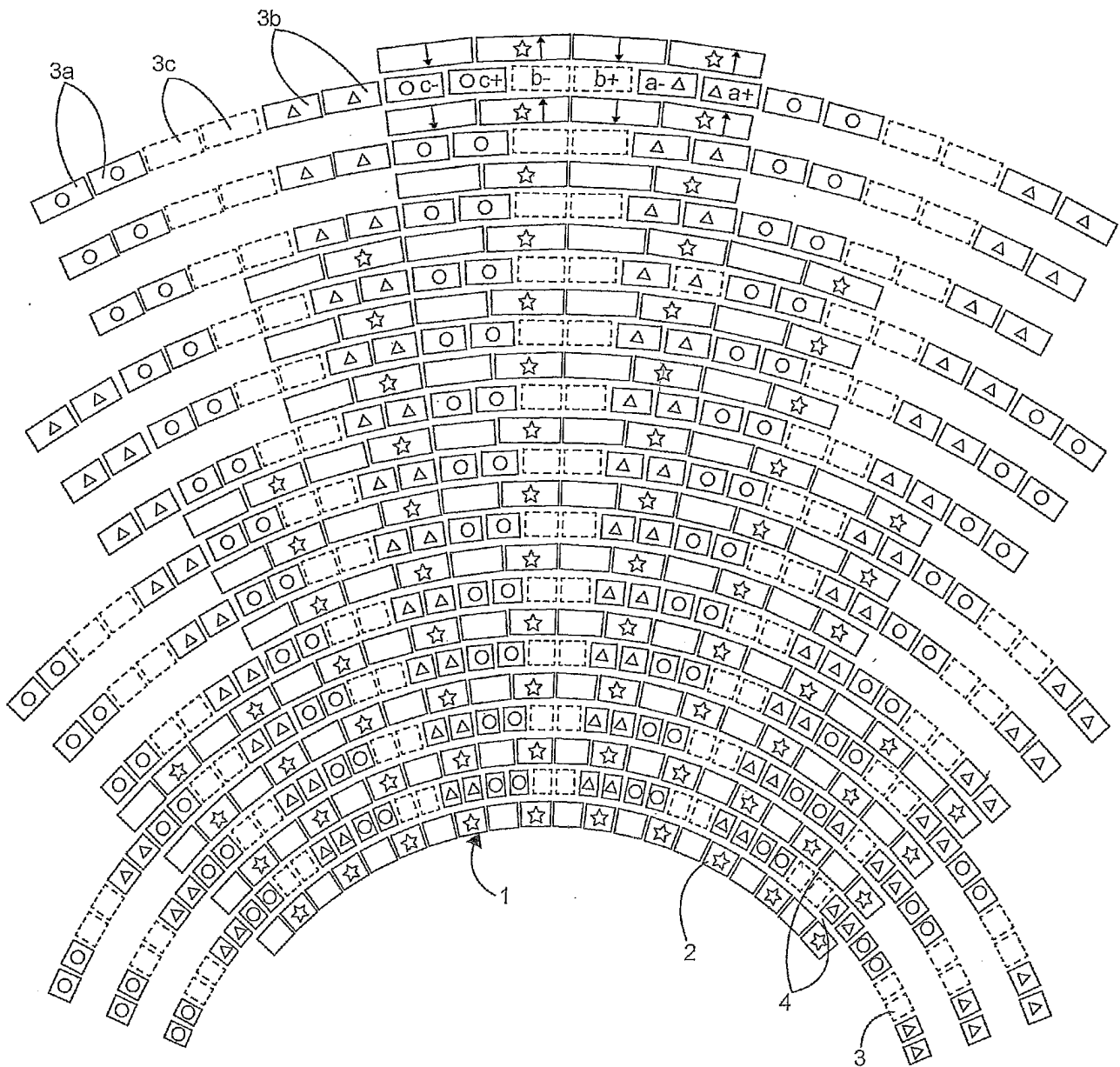


FIG. 2

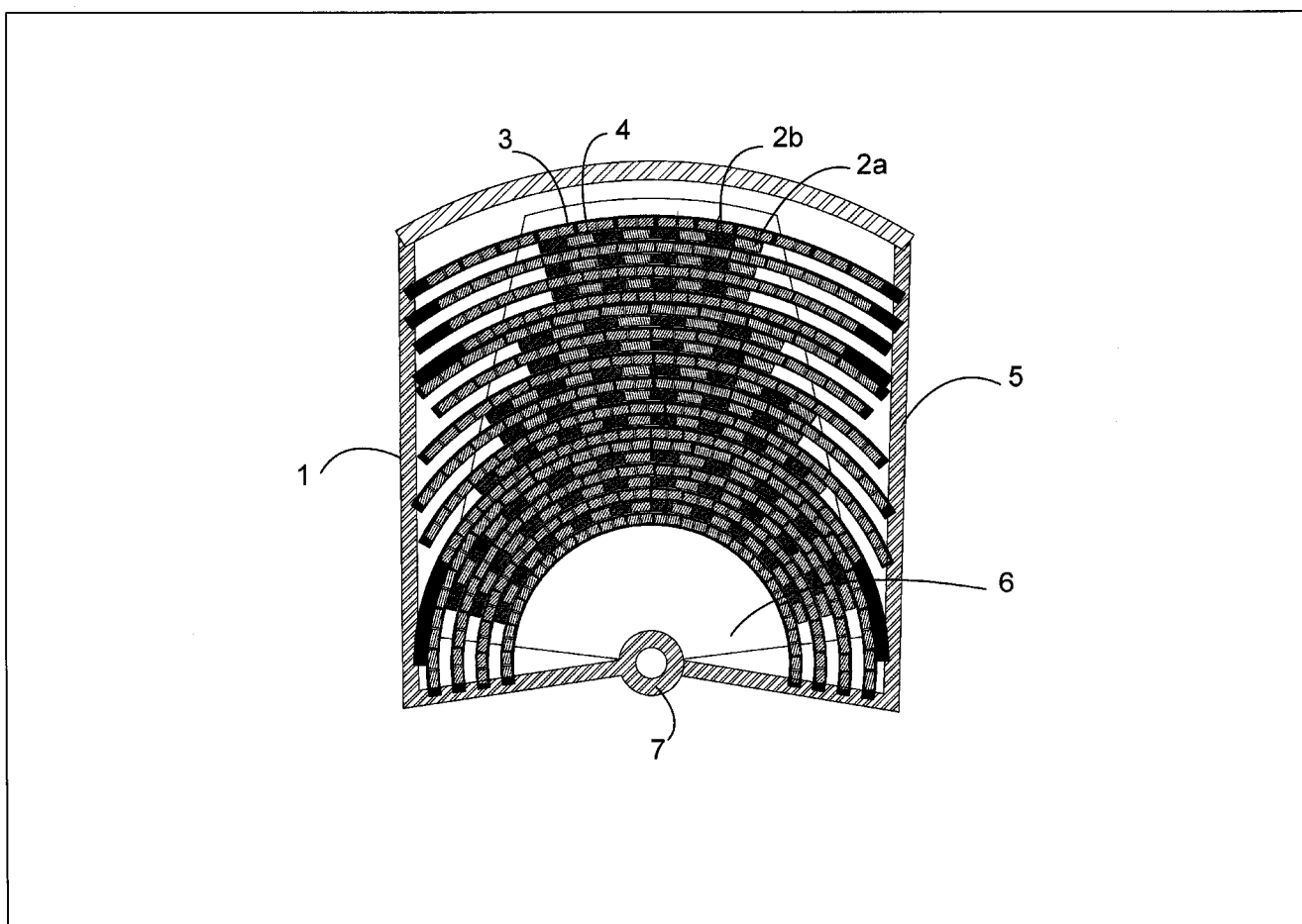


FIG. 3





**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 785021  
FR 1301677

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 3 924 146 A (GEORGE DAVID J) 2 décembre 1975 (1975-12-02) * le document en entier *	1,2,4,5, 11-17	H01F7/06
X	WO 2004/082106 A1 (ELOP ELECTROOPTICS IND LTD [IL]; FRIEDLAND IGOR [IL]) 23 septembre 2004 (2004-09-23) * abrégé; figures *	1-4, 11-17	
X	DE 10 2006 010540 A1 (SIEMENS AG [DE]) 13 septembre 2007 (2007-09-13) * abrégé; figures *	1-4,9-17	
X	WO 01/56139 A1 (MYTH TREE ENTERTAINMENT INC [US]; WITTIG MICHAEL B [US]) 2 août 2001 (2001-08-02) * abrégé; figures *	1,2,4, 6-8, 11-17	
A	US 2009/323208 A1 (KUROSAWA YUICHI [JP]) 31 décembre 2009 (2009-12-31) * abrégé; figures *	1-17	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H02K
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
16 avril 2014		Ramos, Horacio	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1301677 FA 785021**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **16-04-2014**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 3924146	A	02-12-1975	AUCUN	
-----				
WO 2004082106	A1	23-09-2004	AU 2003288505 A1	30-09-2004
			EP 1602165 A1	07-12-2005
			US 2006131965 A1	22-06-2006
			WO 2004082106 A1	23-09-2004
-----				
DE 102006010540	A1	13-09-2007	AUCUN	
-----				
WO 0156139	A1	02-08-2001	AU 3297201 A	07-08-2001
			AU 3297301 A	07-08-2001
			AU 3298501 A	07-08-2001
			US 2001028360 A1	11-10-2001
			US 2001035689 A1	01-11-2001
			WO 0156005 A1	02-08-2001
			WO 0156006 A1	02-08-2001
			WO 0156139 A1	02-08-2001
-----				
US 2009323208	A1	31-12-2009	JP 5358823 B2	04-12-2013
			JP 2010011572 A	14-01-2010
			US 2009323208 A1	31-12-2009
-----				