



(51) Classification internationale des brevets :
H02K 21/22 (2006.01) *H02K 21/14* (2006.01)
H02K 1/14 (2006.01) *H02K 3/47* (2006.01)
H02K 1/27 (2006.01) *H02K 1/12* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2011/054024

(22) Date de dépôt international :
17 mars 2011 (17.03.2011)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1052002 19 mars 2010 (19.03.2010) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
ASTRIUM SAS [FR/FR]; 6 rue Laurent Pichat, F-75016
Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :
SPERANDEI, Jean [FR/FR]; 7 rue François Magendie,
F-31400 Toulouse (FR). PUPILLE, Gilles [FR/FR]; 46
avenue François Verdier, F-31820 Pibrac (FR).

(74) Mandataire : FOURCADE, Emmanuelle; Schmit-
Chretien, Parc de Basso Cambo, 4, rue Paul Mesple,
F-31100 Toulouse (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : PERMANENT-MAGNET ELECTRIC MOTOR COMPRISING A SEGMENTED STATOR

(54) Titre : MOTEUR ÉLECTRIQUE À AIMANTS PERMANENTS COMPORTANT UN STATOR FRACTIONNÉ

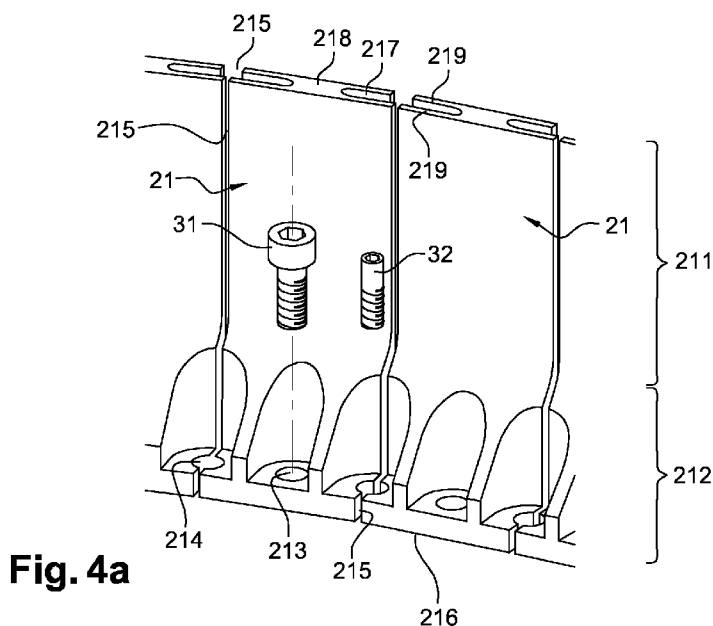


Fig. 4a

(57) Abstract : A permanent-magnet electric motor (1) comprises a rotor (4) to which permanent magnets (6) and a stator (2) are fixed. The stator comprises a stator structure and windings (5) arranged on the stator structure. The stator structure is formed by a set of at least three independent stator elements (21) assembled on a base (3) with no direct mechanical connection between them. Each stator element (21) is fixed to the base (3) of the motor by an adjusted fastening element (31) and at least one antirotation element (32). Preferably the stator elements (21) are made of an electrically insulating material that is a good heat conductor, such as a ceramic.

(57) Abrégé : Un moteur électrique (1) à aimants permanents comporte un rotor (4) sur lequel sont fixés des aimants permanents (6) et un stator (2). Le stator comporte une structure de stator et des bobines (5) agencées sur la structure de stator. La structure du stator est réalisée par un ensemble d'au moins trois éléments de stator (21) indépendants assemblés sur une embase (3) sans liaison mécanique directe en eux. Chaque élément de stator (21) est

fixé à l'embase (3) du moteur par une fixation ajustée (31) et au moins un élément anti-rotation (32). De préférence les éléments de stator (21) sont réalisés dans un matériau bon conducteur thermique et isolant électrique tel qu'une céramique.



— *relative au droit du déposant de revendiquer la priorité
de la demande antérieure (règle 4.17.iii))*

Publiée :

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

Moteur électrique à aimants permanents comportant un stator fractionné

La présente invention appartient au domaine des moteurs électriques.

Plus particulièrement l'invention concerne un moteur électrique à aimants permanents de précision et à haut rendement, capable de délivrer des couples élevés dans des conditions extrêmes de fonctionnement ne permettant pas de
5 réaliser un refroidissement suffisamment efficace des éléments du moteur par convection.

La technologie et les principes de fonctionnement des moteurs à aimants permanents sont bien connus et ces moteurs présentent l'avantage principal de
10 ne pas utiliser de contacts électriques tournant lorsque seul le stator est porteur de bobines d'induction magnétique, ce qui a conduit à une utilisation large de ces types de moteurs, en particulier lorsque les commutations nécessaires de courants dans les bobinages ont pu être réalisées au moyen de commutateurs statiques pilotés par une électronique de contrôle.

15 Comme l'illustre le dessin de la figure 1 qui représente une section d'un moteur connu du type à aimants permanents, le moteur 1 comporte un stator 2, fixée sur une structure support 3, sur lequel sont fixés les bobinages 5 qui génèrent un champ magnétique tournant et un rotor 4 sur lequel sont fixés les aimants permanents 6 entraînés par le champ magnétique tournant du stator.

20 Pour induire un champ magnétique du stator 2 tournant, le courant dans chaque bobine est lui-même commuté, en fonction de la position du rotor 4 afin de créer le couple du moteur 1, par des moyens connus non représentés.

Ce type de moteur aujourd'hui très utilisé présente cependant des contraintes de
25 réalisation lorsque des performances élevées de couple, de vitesse de rotation, de rendement, de précision ... sont recherchées et d'autant plus que les conditions de fonctionnement du moteur sont sévères.

Une première contrainte de ces moteurs est de réaliser des espaces entre les parties tournantes et les parties fixes aussi faibles que possible pour diminuer les

entrefers 8, pouvant être inférieurs au millimètre, et maximiser les champs magnétiques utiles, en évitant tout contact mécanique entre le rotor 4 et le stator 2.

Une seconde contrainte est de limiter les pertes d'énergie dans le moteur liées à son fonctionnement.

Les pertes d'énergie par frottement sont limitées par l'usage de paliers ou roulements 7 adaptés à la charge du moteur.

Les pertes d'énergie par effet Joule dans les conducteurs des enroulements sont limitées par l'utilisation d'un matériau bon conducteur électrique le plus souvent du cuivre ou, bien que moins bon conducteur électrique, l'aluminium lorsque la masse du moteur doit être diminuée.

En outre le champ magnétique d'une bobine et le champ créé par les aimants permanents du rotor, en rotation par rapport au stator, étant variables en fonction du temps en un point donné du stator, ces champs magnétiques génèrent dans les éléments conducteurs qu'ils traversent des courants induits, les courants de Foucault, et du fait de la résistance électrique propre de ces matériaux conducteurs absorbent de l'énergie restituée sous forme de chaleur par effet Joule.

Ces différentes sources de perte d'énergie ont pour effet d'augmenter la température du moteur en fonctionnement, augmentation de température qui, outre les effets de dilatation différentielle des matériaux entrant dans la structure du moteur qui modifient la valeur de l'entrefer 8 et sont susceptibles d'engendrer des déformations de la structure du moteur, modifie les performances magnétiques des aimants permanents, leurs magnétisations diminuant lorsque la température augmente.

Les effets de cette perte de magnétisation des aimants sont d'autant plus dommageables que les aimants les plus performants sont également ceux qui sont les plus sensibles à cet effet de la température et présentent une température maximale de fonctionnement relativement basse, très inférieure à la température de Curie, par exemple pour les aimants dopés au néodyme des températures maximales de fonctionnement de l'ordre de 380 Kelvin.

Pour lutter contre ces effets de l'augmentation de la température, il est connu de rechercher un refroidissement amélioré du moteur en fonctionnement.

Dans des conditions ordinaires de fonctionnement, le choix de noyaux métalliques, bons conducteurs de la chaleur, pour les bobines, solution
5 mécaniquement résistante et économique, associée à une ventilation forcée du moteur permet d'assurer une évacuation suffisante de l'énergie thermique dissipée par les bobines et dans les noyaux métalliques pour limiter la température en fonctionnement.

Il est également connu, pour éviter à la fois les pertes d'énergies par courant de
10 Foucault et l'échauffement correspondant, d'utiliser un matériau non conducteur électrique pour réaliser les noyaux des bobines, en particulier un matériau de synthèse à base de résine. Cependant les performances mécaniques de telles résines sont limitées et leurs coefficients de dilatation sont généralement différents de ceux des parties métalliques du moteur ce qui conduit à des
15 déformations des noyaux lors de l'élévation de température du moteur qui ne sont pas acceptables dans le cas des moteurs de performances élevées.

Une solution présentée dans le brevet US 3974406 consiste à utiliser une céramique électriquement isolante et amagnétique pour réaliser le noyau des bobines du stator.

20 De telles céramiques amagnétiques et non conductrices électriquement, d'une résistivité supérieure à 10^5 Ohms.m, permettent, comme les matériaux de synthèse à base de résine, d'éviter les pertes par courant de Foucault ce qui améliore le rendement du moteur et en limite l'échauffement.

Cependant les céramiques présentent un coefficient de dilatation faible très
25 différent de celui des matériaux métalliques mis en œuvre pour les autres parties du moteur et ne sont pas ductiles pour se déformer comme dans le cas de l'utilisation de résines de synthèse ce qui en limite l'usage à des moteurs de dimensions réduites au risque sinon de détériorer la structure du moteur sous l'effet des dilatations différentielles.

30

En raison des limitations et des contraintes imposées par les solutions connues, il est particulièrement difficile de réaliser des moteurs aptes à délivrer un couple

élevé au moyen de moteurs électriques à haut rendement mettant en œuvre des aimants permanents dès lors que les conditions de fonctionnement ne permettent pas d'adjoindre des moyens de refroidissement actifs, par exemple par convection forcée, ou que de tels moyens de refroidissement ne sont pas
5 souhaitables.

De telles conditions se rencontrent en particulier dans le vide où le refroidissement ne peut pas être assuré par un flux d'air ou encore dans les moteurs assemblés de manière étanche pour être protégés d'un environnement agressif : terre, poussières, boues ...

10

Afin de palier ces difficultés, l'invention propose un moteur électrique à aimants permanents comportant un rotor sur lequel sont fixés des aimants permanents et comportant un stator comportant lui-même une structure de stator et des bobines agencées sur cette structure de stator. La structure de stator est
15 fractionnée en un ensemble de plusieurs éléments de stator, au moins trois éléments, en matériau électriquement non conducteur ou faiblement conducteur juxtaposés assemblés sur une embase et sans liaison mécanique directe des différents éléments de stator entre eux. Ainsi le fractionnement du stator en trois ou plus éléments de stator indépendants permet de fixer le stator sur l'embase
20 avec un nombre de fixations suffisantes réparties sur les différents éléments pour garantir la tenue mécanique du stator tout en autorisant des déplacements relatifs entre ces éléments, ce qui permet de réaliser un stator de dimensions importantes, en particulier en longueur du stator, c'est à dire suivant son périmètre pour un stator en couronne et permet de réaliser un moteur alimenté
25 en courant triphasé ce qui permet de réduire les ondulations de couple du moteur.

30

En pratique chaque élément de stator est réalisé avec une longueur suivant le périmètre du stator inférieure à une longueur au-delà de laquelle les dilatations différentielles entre l'élément de stator et l'embase à laquelle il est fixé, compte
tenu du matériau de l'élément de stator et du matériau de l'embase et sous l'effet des différentes températures internes acceptées pour le moteur en fonctionnement, ainsi que des niveaux de vibrations et de chocs, conduiraient à

des déformations du stator et ou de l'embase ou à des contraintes mécaniques dans les différentes parties du moteur non acceptables, c'est-à-dire incompatibles non seulement avec le fonctionnement du moteur mais également avec ses performances et sa durée de vie opérationnelle.

- 5 Le choix des dimensions des éléments de stator pour éviter l'apparition de déformations ou de contraintes dans la structure du moteur permet ainsi d'en assurer une durée de vie opérationnelle et des performances améliorées par l'absence de déformation sensible malgré les échauffements inévitables de la structure du moteur et les niveaux de vibration et de chocs subis lors du
- 10 fonctionnement.

Avantageusement, les éléments de stator sont fixés sur l'embase, par exemple une embase métallique, avec un jeu entre éléments de stator voisins choisi pour rester positif ou nul quelle que soit la température interne acceptée du moteur en fonctionnement, de sorte à éviter l'introduction dans un élément de stator par un

15 élément voisin de contraintes mécaniques lors de la dilatation différentielle entre l'embase et les éléments de stator.

Pour éviter que des efforts soient introduits entre un élément de stator et l'embase sur laquelle il est fixé et ainsi que chaque élément de stator reste sans contrainte sensible du fait des dilatations différentielles entre l'élément de stator

20 et l'embase, chaque élément de stator est fixé sur l'embase par un seul élément de fixation, une vis par exemple, autorisant ainsi la dilatation différentielle dudit élément par rapport à l'embase sans que l'élément de stator se trouve mis en contrainte comme il le serait en étant fixé par deux ou plusieurs fixations.

Avantageusement, au moins un élément anti-rotation, par exemple un pion,

25 s'opposant à la rotation de l'élément de stator autour de la fixation unique de l'élément est utilisé pour empêcher la rotation dudit élément lors de son montage sur l'embase. Cet élément anti-rotation peut éventuellement être enlevé après montage et lorsqu'il reste en place dans le moteur après assemblage du stator, il est agencé avec l'élément de stator de telle sorte qu'il n'introduit pas de

30 contrainte dans l'élément de stator du fait de la dilatation différentielle entre le stator et l'embase sur laquelle est fixé cet élément de stator.

Pour porter les bobinages du stator, chaque élément de stator comporte au

moins une zone de bobinage du côté d'une extrémité libre dudit élément de stator et un pied de fixation, du côté d'une extrémité de l'élément de stator opposée à l'extrémité libre, par lequel l'élément de stator est fixé à l'embase.

Le pied de fixation présente une surface d'appui élargie, par rapport à une
5 section de la zone de bobinage en contact avec l'embase pour une résistance mécanique améliorée et pour présenter une surface de contact avec l'embase favorisant les échanges thermiques et l'évacuation de la chaleur produite par effet joule dans les bobinages du stator et le cas échéant par les courants de Foucault circulant dans les éléments de stator.

- 10 Pour maintenir les fils du bobinage du stator, la zone de bobinage comporte un évidement autour d'un noyau sur lequel les fils du bobinage prennent appui.

De préférence pour offrir un volume augmenté au niveau des chignons du bobinage et permettre de maintenir et de protéger les fils au niveau de ces
15 chignons, l'évidement est de largeur plus importante sur le bord supérieur, du côté de l'extrémité libre de l'élément de stator, et sur le bord inférieur, du côté du pied de fixation, que sur les bords latéraux de la zone de bobinage.

Pour que l'énergie rayonnée sous forme thermique par le bobinage du stator ne soit pas, au moins en partie, rayonnée vers les aimants du rotor, au moins un
20 voile de l'élément de stator borde l'évidement de chaque zone de bobinage, au moins sur certains des côtés de l'évidement de sorte à former un écran thermique anti-radiatif entre les bobinages et une couronne d'aimants du rotor.

Dans une forme particulière de réalisation, avantageuse lorsque des aimants du rotor sont situés de chaque côté du stator, l'évidement est réalisé sous la forme
25 d'une gorge, au moins sur un bord de la zone de bobinage, bordée par des voiles sur chacun des côtés de la gorge de part et d'autre des bobines.

Pour la réalisation des bobines et la mise en place des fils des bobines, avantageusement sur au moins une des faces intérieure, du côté de l'axe 9 du moteur, ou extérieure, du côté opposé à l'axe du moteur, du stator, un espace
30 entre deux éléments de stator immédiatement voisins est de largeur au moins égale à un diamètre des fils des bobines agencées sur la structure du stator, en pratique de largeur juste suffisante pour permettre l'insertion des fils.

De préférence, pour limiter la génération de courants de Foucault et pour évacuer par conduction thermique vers l'embase et la structure environnante la chaleur produite par effet joule dans les fils des bobines, le matériau dans lequel sont réalisés les éléments de stator est un matériau bon conducteur thermique et également électriquement non conducteur ou faiblement conducteur, typiquement d'une résistivité électrique égale ou supérieure à 10^5 Ohms.m.

Dans un mode préféré de réalisation du moteur, le matériau des éléments de stator est un matériau céramique et de préférence un matériau céramique sélectionné parmi les matériaux céramiques ayant une conduction thermique égale ou supérieure à 80 W/m.K tel qu'un nitrure d'aluminium et de bore.

Avantageusement le matériau céramique des éléments de stator est un nitrure d'aluminium de conduction thermique supérieur à 150 W/m.K .

Dans un mode de réalisation du moteur de l'invention, le stator est fractionné en éléments de stator qui comportent chacun une zone de bobinage unique.

Ainsi le stator comporte un nombre d'éléments de stator qui peut être élevé et correspond dans ce cas au nombre de pas du moteur, qui serait mis en œuvre comme un moteur pas à pas, sans conduire à des éléments de stator de dimensions trop petites pour que le stator soit assemblé sans difficultés particulières.

Avantageusement les éléments de stator sont de forme géométrique similaire et, si aucune contrainte du moteur ne justifie que des éléments de stator soient différents entre eux, les éléments de stator sont géométriquement identiques pour faciliter le processus de fabrication de ces éléments de stator et de leur assemblage.

Avantageusement les aimants permanents du rotor sont des aimants dopés au néodyme que la mise en œuvre de l'invention permet en évitant un échauffement excessif de ces aimants lié au fonctionnement du moteur.

Dans une forme de réalisation pour obtenir un couple élevé du moteur, le rotor est pourvu de deux rangées d'aimants permanents entre lesquelles est maintenu le stator.

Dans une forme de réalisation simplifiée lorsqu'un couple moins élevé est recherché, le rotor est pourvu d'une rangée d'aimants permanents et d'un voile

en fer doux entre lesquels rangée et voile est maintenu le stator.

Avantageusement pour limiter l'échauffement des aimants par le rayonnement thermique des bobinages qui n'aurait pas été arrêté par d'autres moyens, les faces des aimants permanents tournées vers les bobinages sont recouvertes d'un

5 revêtement réflecteur des radiations thermiques.

Un moteur mettant en œuvre les principes de l'invention permet un fonctionnement sans refroidissement actif ou dans le vide avec une température intérieure inférieure à 380 K au niveau des aimants permanents.

10 La description de l'invention est faite en référence aux figures qui illustrent schématiquement et de manière non limitative :

- figure 1 : déjà citée, une section d'un moteur à aimants permanents suivant l'art antérieur ;
- figure 2a : une section partielle suivant un plan axial BB d'un moteur
15 suivant l'invention ;
- figure 2b : une section suivant un plan AA perpendiculaire à l'axe de rotation du moteur de la figure 2a ;
- figure 3 : une vue en perspective de la structure du rotor d'un moteur suivant l'invention ;
- 20 - figures 4a et 4b : des vues en perspective donnant des détails d'une partie du rotor de la figure 3 vue depuis l'intérieur du rotor, figure 4a, et vue depuis l'extérieur, figure 4b ;
- figures 4c et 4d : en vue de profil des exemples d'éléments constituant un rotor ;
- 25 - figure 5 : une vue en perspective d'un élément de rotor comportant deux noyaux de bobinage ;
- figure 6a : une section partielle de l'ensemble rotor et stator, développé dans un mode de réalisation avec un rotor à un seul ensemble d'aimants permanents ;
- 30 - figure 6b : en vue de profil un élément de rotor du moteur de la figure 6a.

L'invention est décrite de manière détaillée dans le cas d'un moteur électrique

rotatif à aimants permanents comportant deux rangées d'aimants fixés au rotor.

Un tel moteur, comme illustré sur les sections des figures 2a et 2b, comporte :

- un stator 2 portant des bobines 5 et présentant géométriquement une symétrie de révolution autour d'un axe 9 confondu avec un axe de rotation du
5 moteur ;
- un rotor 4 portant des aimants permanents 6, d'axe de symétrie de révolution confondu avec l'axe 9 de symétrie de révolution du stator et de rotation du moteur.

- 10 Le stator 2 est fixé sur une embase 3 qui assure un positionnement précis dudit stator et reprend les efforts appliqués au stator lors du fonctionnement du moteur.

Le stator 2 forme une couronne régulière de révolution.

- 15 L'embase 3 permet de solidariser le moteur 1 avec une structure support, non représentée.

- Le rotor 4 est monté mobile en rotation autour de l'axe 9, par exemple par l'intermédiaire d'un arbre, non représenté, solidaire de l'embase 3 et de paliers ou de roulements, non représentés, de sorte que ledit rotor est maintenu centré par rapport au stator 2 en restant libre en rotation avec le minimum de
20 frottements mécaniques.

- Sur le rotor 4 sont fixés, dans l'exemple de réalisation décrit, deux rangées d'aimants permanents formant une première couronne de révolution 6a, dite couronne d'aimants intérieure, et une seconde couronne de révolution 6b, dite couronne d'aimants extérieure, sur laquelle les aimants sont agencés à une
25 distance de l'axe de rotation 9 supérieure à celle à laquelle sont agencés les aimants de la couronne intérieure 6a.

Les deux couronnes d'aimants intérieure 6a et extérieure 6b sont agencées de telle façon qu'un espace de largeur sensiblement constant est formé entre les deux couronnes, espace dans lequel se trouve le stator 2.

- 30 Dans le rotor 4, les aimants 6 des deux couronnes sont maintenus par une structure du rotor dont la rigidité et la résistance mécanique sont adaptées à la vitesse de rotation possible du rotor et aux efforts, en particulier de couple et

d'accélération centrifuge, qui doivent être transmis.

Notamment, la résistance et la rigidité de la structure du rotor 4 sont telles qu'aucune déformation pendant le fonctionnement du moteur ne conduise à un contact mécanique entre les aimants 6 des couronnes intérieure 6a et extérieure 6b, et de toutes les parties du rotor en général, avec le stator 2 et conserve une valeur admissible d'un "entrefer" 8 entre le stator 2 et le rotor 4. Les aimants sont par exemple fixés à des parties structurales métalliques saillantes 41a, 41b, d'une structure principale 41 du rotor.

La structure du stator 2 est réalisée par un ensemble d'éléments 21, au moins trois éléments de stator 21 de sorte que lors de la dilatation différentielle avec l'embase 3 lesdits éléments de stator s'approchent ou s'éloignent radialement par rapport à l'axe 9 de manière homogène en maintenant une forme sensiblement circulaire de la couronne du stator, mécaniquement indépendants les uns des autres, c'est à dire sans liaison mécanique directe entre eux, juxtaposés et assemblés sur l'embase 3 de sorte à former la couronne du rotor telle que la couronne illustrée sur la figure 3.

On comprendra que les fils des bobines 5 du stator ne sont pas considérées ici comme des liaisons mécaniques entre les éléments de stator, leur fonction et leur structure ne formant pas en pratique une liaison mécanique ayant la stabilité et la précision d'un assemblage mécanique.

Une face intérieure de la couronne du stator 2 se trouve ainsi en vis à vis des aimants de la couronne intérieure 6a du rotor et une face extérieure du stator 2 se trouve en vis à vis des aimants de la couronne extérieure 6b du rotor.

Chaque élément 21 est réalisé dans un matériau de préférence électriquement non conducteur ou faiblement conducteur, c'est à dire d'une résistivité électrique supérieure à 10^5 Ohms.m, et en outre sélectionné parmi les matériaux bon conducteur de la chaleur, c'est à dire ici de conductivité thermique égale ou supérieure à 80 W/m.K.

Le matériau des éléments 21 est par exemple une céramique telle qu'une alumine ou un nitrure d'aluminium et de bore qui a l'avantage de présenter l'ensemble de ces caractéristiques et dont la conductivité thermique est de l'ordre

de 80 W/m.K.

En particulier, si les exigences de fonctionnement du moteur nécessitent une évacuation de chaleur importante, la céramique est par exemple un nitrure d'aluminium dont la conductivité thermique est supérieure à 150 W/m.K, de

5 l'ordre de 180 W/m.K.

Le choix d'un matériau présentant ces caractéristiques permet d'une part d'éviter des pertes d'énergies dans le stator et des élévations de la température de fonctionnement du moteur en raison de courants de Foucault qui seraient induits dans un matériau électriquement conducteur, et permet d'autre part d'évacuer
10 par conduction la chaleur générée par effet joule dans les bobines 5 du stator vers l'embase 3 agissant avec la structure environnante comme un puits de chaleur, chaleur qui est ensuite évacuée par exemple par rayonnement ou par un circuit de refroidissement.

Le nombre d'éléments 21, au moins trois mais pouvant atteindre plusieurs
15 centaines suivant les dimensions du moteur, formant la couronne du stator 2 est déterminé pour que la dilatation différentielle maximale en fonctionnement du moteur entre l'embase 3 et les éléments 21, sous l'effet des variations de température auxquelles peut être soumis le moteur en fonctionnement, n'introduise pas de déformation sensible de l'ensemble formé par l'embase 3 et le
20 stator 2 et ne génère pas un risque d'endommagement d'un élément de stator 21 ou de l'embase.

Ce nombre minimal de trois éléments 21 de stator permet de limiter les ondulations de couple en alimentant le moteur en courant triphasé et assure une variation sensiblement homogène dans toutes les directions radiales du moteur
25 lorsque l'embase est soumise à des variations de dimensions, auxquelles ne sont pas soumis les éléments de stator, sous l'effet des variations de températures en fonctionnement du moteur.

Cette contrainte introduit en pratique une dimension maximale acceptable pour les éléments 21 d'un moteur.

30 Les éléments 21 formant la structure du stator sont avantageusement géométriquement similaires, au moins pour un profil suivant une section radiale du moteur, pour former une couronne telle que la couronne illustrée sur la

figure 3.

Avantageusement, si aucune fonction locale particulière ne doit être attribuée à un ou des éléments de stator particuliers, tous les dits éléments sont identiques comme dans l'exemple illustré sur la figure 3, au moins par soucis de
5 simplification des processus industriels de fabrication.

Comme illustré sur les figures 4a et 4b, un élément de stator 21 comporte une zone de bobinage 211 du côté d'une première extrémité, dite extrémité libre, de l'élément de stator et un pied 212, situé à une extrémité de l'élément de stator 21 opposée à l'extrémité libre, par laquelle ledit élément est fixé à l'embase 3.

10 Le pied 212 comporte un alésage 213 traversé par un élément de fixation 31 tel qu'une vis ou un axe ajusté qui assure à l'élément de rotor 21 une position précise sur l'embase 3.

Chaque élément de stator 21 comporte un et un seul élément de fixation 31 de sorte que le maintien de l'élément de stator sur l'embase 3 n'est assuré que par
15 cet unique élément de fixation.

Cette caractéristique du moteur introduit une contrainte dans les dimensions des éléments de stator 21 en ce sens qu'un élément de stator doit être parfaitement fixé par un seul élément de fixation en présences des forces diverses (inertie, réaction du rotor...) qui s'appliquent audit élément de stator, ce qui en limite les
20 dimensions maximales déjà limitées par ailleurs comme expliqué précédemment et nécessite un minimum de trois éléments de stator, mais également des dimensions minimales pour que l'élément de fixation nécessaire puisse être mis en place.

Le pied 212 d'un élément de stator 21 comporte également, de préférence mais
25 non nécessairement, outre l'unique élément de fixation 31, au moins une ouverture 214 qui coopère avec un élément anti-rotation 32, par exemple une vis ou un pion, afin d'interdire à l'élément de stator 21 de tourner autour d'un axe de l'élément de fixation 31 traversant l'alésage 213.

L'élément anti-rotation 32 est utilisé notamment pendant les opérations
30 d'assemblage du stator 2 et est retiré lorsque le stator est assemblé ou laissé en place.

Dans ce dernier cas, l'ouverture 214 et l'élément anti-rotation 32 présentent

entre eux un jeu, suivant une direction pion/fixation, suffisant pour permettre la dilatation différentielle entre l'embase 3, sur laquelle se reprennent les éléments de fixation et anti-rotation, et l'élément de stator 21.

Dans l'exemple de réalisation illustré sur la figure 4a, chaque élément de stator 21 comporte deux ouvertures 214 agencées de sorte que l'élément anti-rotation mis en œuvre pour une ouverture est également utilisé pour l'élément de stator immédiatement voisin.

En outre les dimensions, suivant un périmètre de la couronne du stator 2, des éléments de stator 21 sont déterminées pour que, le stator étant assemblé sur l'embase 3, un jeu 215 soit maintenu, quelle que soit la température interne acceptée du moteur et en prenant en compte les niveaux de vibrations et de chocs auxquels le moteur risque d'être soumis au cours de son fonctionnement, à une valeur positive ou nulle entre deux éléments de stator voisins malgré la dilatation différente entre les éléments de stator et l'embase, par exemple en alliage d'aluminium.

Dans le cas illustré sur l'exemple de la figure 4a, l'ouverture 214 d'un élément de stator 21 forme avec l'ouverture de l'élément de stator immédiatement voisin un trou en deux demi-parties écartées du jeu 215 entre les dits éléments de stator de sorte que, lorsque les conditions de température sont telles que le jeu 215 devient nul, le trou correspond à un alésage adapté au moins au diamètre de l'élément anti-rotation utilisé.

Dans une forme préférée de réalisation telle que la forme illustrée sur la figure 4a, le pied 212 est élargi suivant la direction radiale du stator 2 de sorte à améliorer la résistance mécanique de la liaison entre les éléments de stator 21 et l'embase 3 et de sorte à présenter au niveau d'une semelle de pose 216 une surface de contact augmentée, comparativement à une surface d'une section de la zone de bobinage 211, avec l'embase 3 favorisant les échanges thermiques entre le stator 2 et ladite structure porteuse et donc favorisant l'évacuation de l'énergie dissipée sous forme thermique par effet joule dans les bobinages du stator et les éléments de stator.

La zone de bobinage 211 d'un élément de stator 21 comporte un évidement 217 dans son épaisseur radiale dans lequel sont agencés les fils 51 électriquement

conducteurs des bobinages 5 du stator visible en particulier sur les illustrations des figures 4a et 4b ainsi que sur le détail de la figure 4c.

L'évidement 217 entoure un noyau 218 de la zone de bobinage 211 sur lequel noyau les fils des bobinages prennent appui.

- 5 Dans un mode préféré de réalisation, comme illustré sur la figure 4d, l'évidement 217 est avantageusement de largeurs, suivant la direction radiale du stator, différentes en fonction de la position sur la zone de bobinage 211 autour du noyau 218 pour tenir compte du nombre de fils électriquement conducteurs qui trouvent place dans ledit évidement.
- 10 Des segments éventuels de l'évidement haut 217b, du côté d'une extrémité libre de la zone de bobinage 211, et bas 217c, du côté du pied 212 de l'élément de stator 21, de l'évidement 217 sont de préférence élargis par rapport à des segments d'évidement médians 217a, au niveau des bords latéraux de la zone de bobinage mitoyens avec les éléments de stator immédiatement voisins, afin de
- 15 contenir le nombre de fils électriquement conducteurs augmenté dans les zones des chignons 52 des bobinages 5.

Avantageusement, sur au moins une des faces de la zone de bobinage 211, la dimension suivant un périmètre de ladite zone de bobinage est diminuée de sorte à maintenir avec le bord mitoyen de la zone de bobinage du pétale

- 20 immédiatement voisin un jeu 215a au moins égal et de préférence légèrement supérieur au diamètre des fils des bobinages, comme visible sur les illustrations des figures 2b et 5. Cet espace libre permet de passer les fils devant être placés dans les évidements 217 lors de la réalisation des bobines du stator.

Dans l'exemple de réalisation illustré sur la figure 2b ou sur la figure 4d, les

- 25 parties de la zone de bobinage 211 qui bordent l'évidement 217 forment des voiles 219 constituant les bords d'une gorge autour du noyau 218 qui maintiennent mécaniquement les fils 51 des bobinages du stator et qui forment des écrans de protection thermique qui limitent la transmission de chaleur par rayonnement depuis les bobinages 5 du stator vers les aimants 6 du rotor qui
- 30 sont en pratique à faible distance, typiquement un millimètre ou moins pour un moteur de quelques dizaines de centimètres de diamètre.

Les voiles 219, qui sont parties intégrantes des éléments de stator 21, en

augmentant la surface de contact entre les fils 51 du bobinage et le matériau bon conducteur thermique de l'élément de stator 21, contact qui peut être amélioré par l'usage d'une pâte de conduction thermique sans charge métallique, favorise également l'évacuation par conduction de la chaleur produite par effet joule dans

5 les fils 51 des enroulements 5.

Comme illustré sur les différentes figures, avantageusement la zone de bobinage 211 est décalée suivant le diamètre du stator 2 par rapport à la semelle de pose 216 ce qui améliore les conditions dans lesquelles sont réalisées les bobines du stator ainsi que les opérations de pose des éléments de fixation 31 et
10 d'assemblage du stator 2 sur l'embase 3.

L'exemple de réalisation décrit en détail et illustré sur les figures 2 à 4 n'est pas limitatif de l'invention qui est susceptible de prendre de nombreuses formes de réalisation en fonction notamment du nombre d'enroulements du moteur, et du nombre de phases du système d'alimentation électrique du moteur, ces
15 paramètres étant des choix réalisés par un concepteur du moteur en fonction de l'application qui doit en être faite.

En fonction des dimensions du moteur réalisé et des dilatations différentielles lors du fonctionnement du moteur, un élément 21 de structure de stator comporte, comme dans l'exemple décrit de manière détaillée, des évidements 217 autour
20 d'un unique noyau 218, ou comporte des évidements autour de deux ou plusieurs noyaux comme dans l'exemple de la figure 5 présentant un élément 21 de structure de stator comportant deux noyaux 218.

Lorsque chaque élément de stator 21 comporte une seule zone de bobinage 211, le nombre d'éléments de stator formant la structure du stator 2 correspond au
25 nombre de pas du moteur, lorsque le moteur est mis en œuvre comme un moteur pas à pas.

Pour un moteur de dimensions moyennes, quelques dizaines de centimètres en diamètre, cette configuration, dans laquelle chaque élément de stator comporte une seule zone de bobinage et correspond à un nombre d'éléments de stator et à
30 des dimensions desdits éléments de stator satisfaisants les contraintes exposées précédemment, peut comporter plusieurs dizaines voire plusieurs centaines d'éléments de stator, la structure de stator présentée sur la figure 3 illustrant ce

principe général.

La fixation des éléments 21 de structure de stator sur l'embase 3 peut être réalisée par tout type de principe qui permet de ne pas introduire de contraintes mécaniques dans les éléments assemblés lors de la dilatation différentielle des
5 éléments entre eux, par exemple des éléments 21 de structure de stator en céramique et une embase 3 en aluminium.

Sur la figure 5, un élément 21 de structure de stator est fixé par une fixation 31 qui assure le positionnement précis au niveau d'un alésage ajusté 213 et un élément anti-rotation 32, laissé en place ou retiré après l'assemblage du stator
10 suivant le cas, qui maintient ledit élément de stator sans bloquer celui-ci dans la direction déterminée par les deux éléments au niveau d'un alésage allongé 214a dans ladite direction (allongement exagéré par rapport au besoin sur le dessin de la figure 5 pour la clarté de l'illustration).

Le rotor 4 du moteur peut également ne comporter des aimants permanents que
15 sur une seule couronne, par exemple la couronne extérieure 6b comme illustré sur la section de la figure 6a, l'autre couronne, dans l'exemple la couronne intérieure 6c, étant réalisée en fer doux.

Dans ce cas, comme illustré sur les figures 6a et 6b, les évidements 217 et des ailes 219 des zones de bobinage 211 peuvent être agencés pour que les dites
20 ailes forment un écran radiatif du rayonnement thermique des bobinages 5 que du seul côté vers lequel se situent les aimants permanents 6 du rotor.

Le cas échéant les fils 51 des enroulements sont avantageusement maintenus sur la zone de bobinage au moyen d'un adhésif tel qu'une résine 53.

Dans un mode de réalisation avantageux, les surfaces des aimants permanents 6
25 orientées vers les bobinages 5 du stator sont également pourvues d'un écran radiatif, par exemple un revêtement réfléchissant tel qu'une peinture réfléchissante, qui renvoie le rayonnement thermique émis par le stator.

Un moteur conforme à l'invention par le choix adapté des matériaux et des dimensions des différents éléments, en particulier pour limiter la génération de
30 chaleur par effet joules et par des surfaces de contact entre les éléments de stator et l'embase suffisante pour assurer le flux de chaleur à transférer, lorsque l'embase est fixée sur une structure en mesure d'absorber et ou d'évacuer la

chaleur produite par le moteur en fonctionnement, a une température interne, en particulier au niveau des aimants permanents, qui est avantageusement maintenue à moins de 380 Kelvin sans la mise en œuvre d'un refroidissement actif du moteur.

- 5 L'ensemble des principes du moteur électrique tels qu'ils viennent d'être décrits est également transposable au cas d'un moteur électrique linéaire.

Dans le cas d'un moteur électrique linéaire à aimants permanents, les aimants sont alignés suivant au moins une rangée et fixés à une structure mobile guidée linéairement au lieu d'être en rotation mais assimilable au rotor du moteur

- 10 électrique tournant.

L'invention permet de réaliser un moteur électrique à aimants permanents performant délivrant un couple élevé par l'utilisation d'aimants à forte aimantation, sans recourir à un système actif de refroidissement du moteur tout

- 15 en assurant une température des aimants inférieure à leur température maximale d'utilisation au-dessus de laquelle température la perte de magnétisme des aimants est préjudiciable au fonctionnement efficace du moteur.

Revendications

- 1 – Moteur électrique (1) à aimants permanents comportant un rotor (4) sur lequel sont fixés des aimants permanents (6) et comportant un stator (2), ledit stator comportant une structure de stator et des bobines (5) agencées sur ladite structure de stator, dans lequel la structure du stator est fractionnée en un
- 5 ensemble d'au moins trois éléments de stator (21) juxtaposés, caractérisé en ce que chaque élément de stator (21) est fixé sur une embase (3) par un seul élément de fixation (31) et sans liaison mécanique directe entre les éléments de stator.
- 10 2 – Moteur électrique suivant la revendication 1 lequel chaque élément de stator (21) coopère avec au moins un élément anti-rotation (32) s'opposant à la rotation de l'élément de stator (21) autour de la fixation (31) en autorisant une dilatation différentielle entre ledit élément de stator et l'embase (3).
- 15 3 – Moteur électrique suivant la revendication 1 ou la revendication 2 dans lequel, pour chaque élément de stator (21), une dimension dudit élément de stator suivant une longueur le long d'un périmètre du stator (2) est inférieure à une longueur au-delà de laquelle des dilatations différentielles entre les éléments de stator (21) et l'embase (3), compte tenu des matériaux mis en œuvre pour
- 20 réaliser lesdits éléments de stator et ladite embase, conduiraient à des déformations et ou des contraintes dans la structure non acceptables du moteur compte tenu des plages de températures internes et des niveaux de vibrations et de chocs acceptés du moteur (1) en fonctionnement.
- 25 4 – Moteur électrique suivant la revendication 3 dans lequel les éléments de stator (21) sont fixés sur l'embase (3) avec un jeu entre éléments de stator voisins positif ou nul quelle que soit la température interne acceptée du moteur (1) en fonctionnement.

5 – Moteur électrique suivant l'une des revendications précédentes dans lequel chaque élément de stator (21) comporte au moins une zone de bobinage (211) du côté d'une extrémité libre dudit élément de stator et un pied de fixation (212), du côté d'une extrémité de l'élément de stator opposée à l'extrémité libre, par lequel l'élément de stator est fixé à l'embase (3).

6 – Moteur électrique suivant la revendication 5 dans lequel le pied de fixation (212) présente une surface d'appui (216) élargie par rapport à une section de la zone de bobinage (211) en contact avec l'embase (3).

10

7 – Moteur électrique suivant la revendication 5 ou la revendication 6 dans lequel la zone de bobinage (211) d'un élément de stator (21) comporte un évidement (217) autour d'un noyau (218) dans lequel sont maintenus des fils (51) des bobines (5) du stator.

15

8 – Moteur électrique suivant la revendication 7 dans lequel l'évidement (217) d'une zone de bobinage (211) est d'une largeur supérieure sur des bords supérieur, du côté de l'extrémité libre de l'élément de stator, et inférieur, du côté de l'extrémité de la zone de bobinage située du côté du pied de fixation, que sur des bords latéraux de la zone de bobinage (211).

9 – Moteur électrique suivant l'une des revendications 5 à 8 dans lequel au moins un voile (219) de l'élément de stator (21) borde une zone de bobinage (211), ledit voile formant un écran thermique anti-radiatif entre les bobinages (5) de ladite zone de bobinage et une couronne d'aimants (6a, 6b) du rotor.

10 – Moteur électrique suivant l'une des revendications 7, 8 ou la revendication 9 prise en combinaison avec la revendication 7 ou la revendication 8 dans lequel l'évidement (217) d'une zone de bobinage (211) est une gorge dont des bords

correspondent, sur au moins un bord de ladite zone de bobinage, à des voiles (219) situés de part et d'autre des bobines (5).

11 – Moteur électrique suivant l'une des revendications précédentes dans lequel,
5 sur au moins une des faces intérieure ou extérieure du stator, un espace (215, 215a) entre deux éléments de stator immédiatement voisins est de largeur au moins égale à un diamètre des fils (51) des bobines (5) agencées sur la structure du stator (2).

10 12 – Moteur électrique suivant l'une des revendications précédentes dans lequel le matériau dans lequel sont réalisés les éléments de stator (21) est un matériau céramique amagnétique et électriquement non conducteur ou faiblement conducteur sélectionné parmi les matériaux céramiques ayant une conduction thermique égale ou supérieure à 80 W/m.K .

15

13 – Moteur électrique suivant la revendication 12 dans lequel le matériau céramique des éléments de stator (21) est un nitrure d'aluminium et de bore.

14 – Moteur électrique suivant la revendication 12 dans lequel le matériau
20 céramique des éléments de stator (21) est un nitrure d'aluminium de conduction thermique supérieur à 150 W/m.K .

15 – Moteur électrique suivant l'une des revendications précédentes dans lequel chaque élément de stator (21) comporte une zone de bobinage (211) unique.

25

16 – Moteur électrique suivant l'une des revendications précédentes dans lequel les éléments de stator (21) sont de formes similaires ou identiques.

17 – Moteur électrique suivant l'une des revendications précédentes dans lequel les aimants permanents (6) du rotor (4) sont des aimants dopés au néodyme.

18 – Moteur électrique suivant l'une des revendications précédentes comportant
5 un rotor (4) pourvu de deux rangées (6a, 6b) d'aimants permanents entre lesquelles rangées est maintenu le stator (2).

19 – Moteur électrique suivant l'une des revendications 1 à 17 comportant un rotor (4) pourvu d'une rangée (6b) d'aimants permanents et d'un voile (6c) en
10 fer doux entre lesquels rangée et voile est maintenu le stator (2).

20 - Moteur électrique suivant l'une des revendications précédentes dans lequel une face des aimants permanents en regard du stator est recouverte d'un revêtement réflecteur des radiations thermiques.

15

21 – Moteur électrique suivant l'une des revendications précédentes dans lequel les caractéristiques des éléments de stator (21) et de leurs fixations sur l'embase (3) sont déterminées en fonction des conditions de fonctionnement du moteur de sorte que la température de fonctionnement sans refroidissement actif ou dans
20 un milieu à pression de gaz proche du vide est inférieure à 380 K au niveau des aimants permanents (6).

1/4

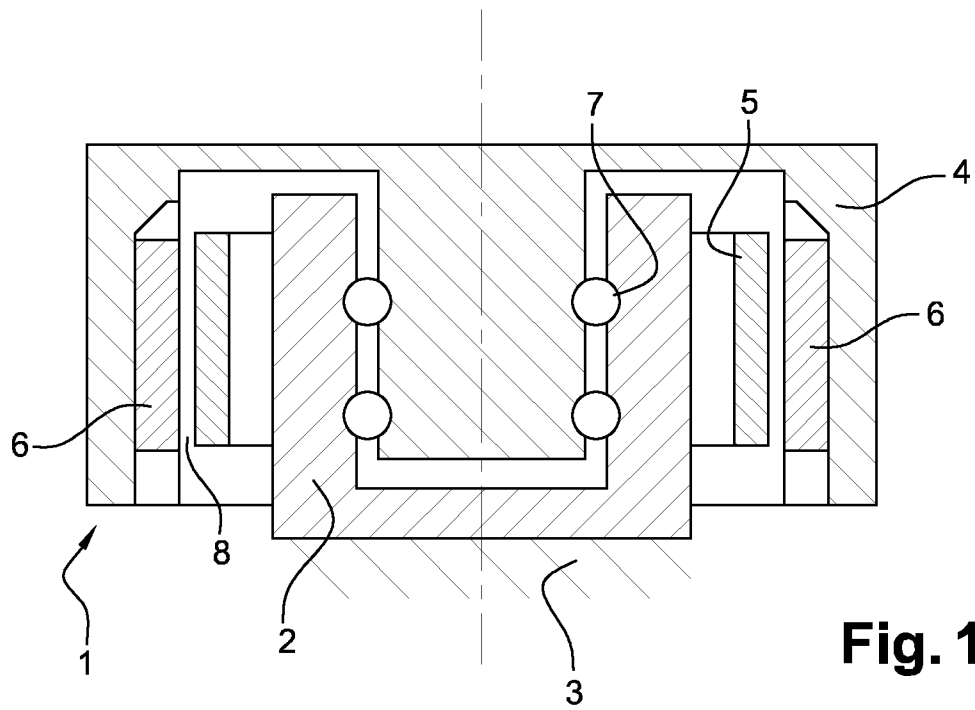


Fig. 1

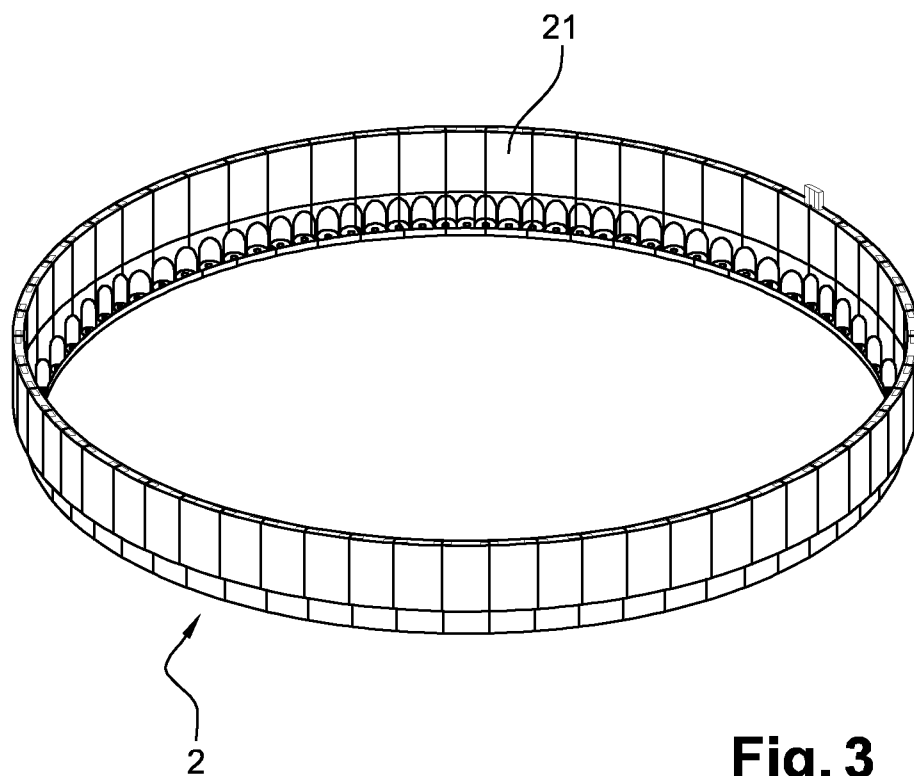
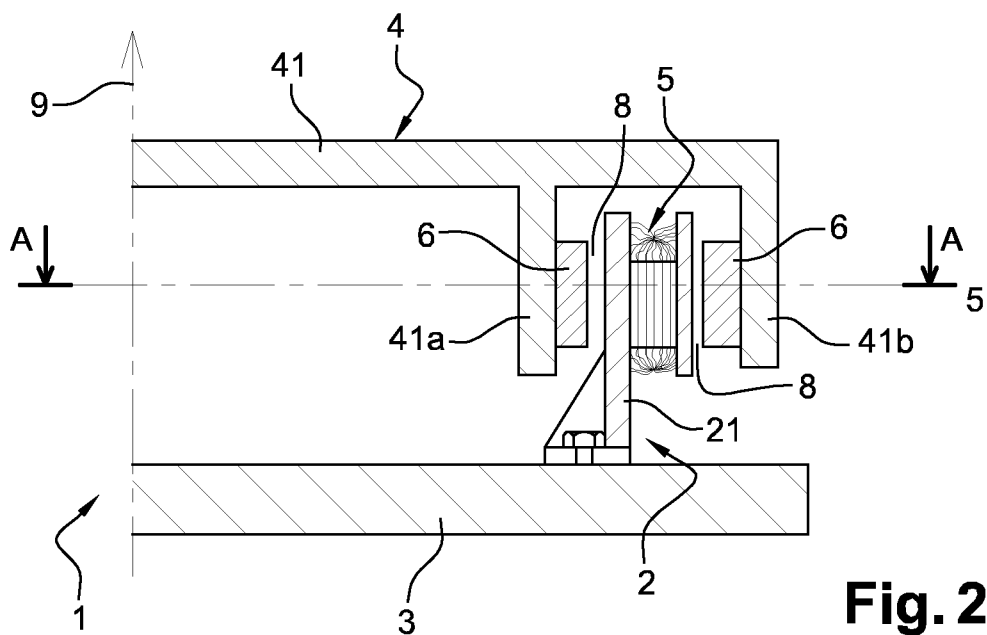


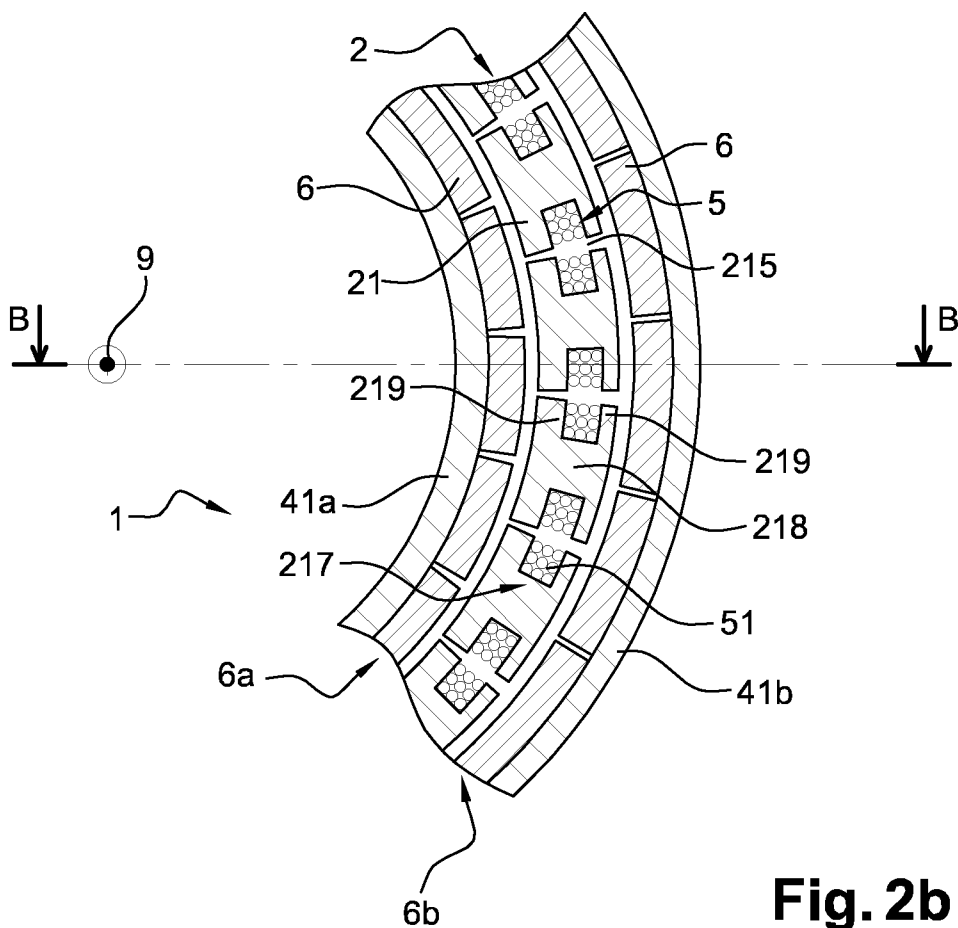
Fig. 3

2 / 4



Section B-B

Fig. 2a



Section A-A

Fig. 2b

3 / 4

