Innovation, Sciences et Développement économique Canada
Office de la Propriété Intellectuelle du Canada

Innovation, Science and Economic Development Canada
Canadian Intellectual Property Office

CA 3225335 A1 2023/01/19

(21) 3 225 335

(12) DEMANDE DE BREVET CANADIEN
CANADIAN PATENT APPLICATION

(13) A1

(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2022/07/13
(87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2023/01/19
(85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2024/01/09
(86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** EP 2022/069685
(87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2023/285569
(30) **Priorité/Priority:** 2021/07/14 (FR2107629)

(51) **Cl.Int./Int.Cl.** ***H02K 49/04*** (2006.01), ***B60L 7/28*** (2006.01), ***B60T 13/74*** (2006.01), ***B64C 25/42*** (2006.01), ***B64C 25/44*** (2006.01), ***F16D 55/38*** (2006.01)

(71) **Demandeur/Applicant:**
SAFRAN LANDING SYSTEMS, FR

(72) **Inventeurs/Inventors:**
NGUYEN, DUY-MINH, FR;
DURAND, GUILLAUME, FR;
KLIM, GRAEME, FR

(74) **Agent:** LAVERY, DE BILLY, LLP

(54) **Titre : ATTERRISSEUR D'AERONEF EQUIPE D'UN DISPOSITIF DE FREINAGE MAGNETIQUE A COURANT DE FOUCAULT**
(54) **Title: AIRCRAFT LANDING GEAR PROVIDED WITH AN EDDY-CURRENT-BASED MAGNETIC BRAKING DEVICE**

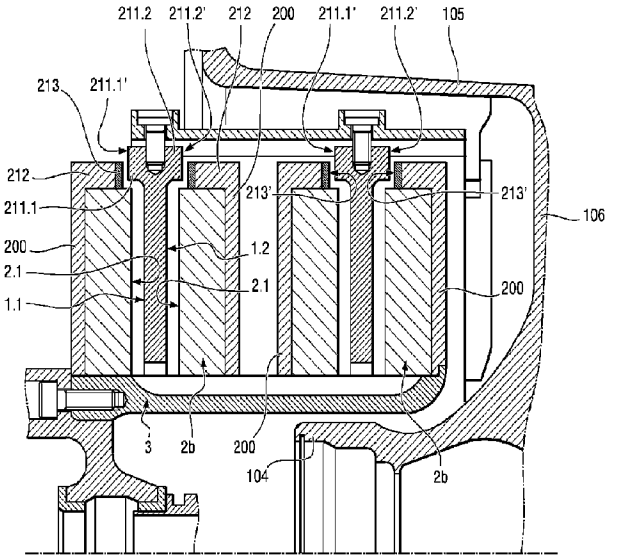


Fig. 16

(57) **Abrégé/Abstract:**
Dispositif de freinage magnétique à courant de Foucault, comprenant deux éléments externes (2) encadrant un élément central (3) aligné sur un même axe avec les éléments externes et en rotation autour dudit axe par rapport aux éléments externes (2), les éléments externes (2) portant chacun une pluralité d'aimants (11, 12, 13, 14) apte à émettre un flux magnétique engendrant dans l'élément central (3) des courants de Foucault lorsque les éléments (2, 3) sont en mouvement relatif. Les aimants sont disposés de manière à engendrer une attraction magnétique entre les éléments externes. Des surfaces de freinage par friction sont liées en rotation respectivement aux éléments externes et à l'élément central. Les éléments externes sont déplaçables par rapport à l'axe entre une position rapprochée de l'élément central dans laquelle les premières surfaces de freinage sont maintenues appliquées contre les deuxièmes surfaces de freinage par l'attraction magnétique et une position écartée de l'élément central dans laquelle les premières surfaces de freinage sont écartées des deuxièmes surfaces de freinage. Roue d'aéronef et atterrisseur comportant un tel dispositif.

Date de soumission : 2024/01/09

No de la demande can. : 3225335

Abrégé:

Dispositif de freinage magnétique à courant de Foucault, comprenant deux éléments externes (2) encadrant un élément central (3) aligné sur un même axe avec les éléments externes et en rotation autour dudit axe par rapport aux éléments externes (2), les éléments externes (2) portant chacun une pluralité d'aimants (11, 12, 13, 14) apte à émettre un flux magnétique engendrant dans l'élément central (3) des courants de Foucault lorsque les éléments (2, 3) sont en mouvement relatif. Les aimants sont disposés de manière à engendrer une attraction magnétique entre les éléments externes. Des surfaces de freinage par friction sont liées en rotation respectivement aux éléments externes et à l'élément central. Les éléments externes sont déplaçables par rapport à l'axe entre une position rapprochée de l'élément central dans laquelle les premières surfaces de freinage sont maintenues appliquées contre les deuxièmes surfaces de freinage par l'attraction magnétique et une position écartée de l'élément central dans laquelle les premières surfaces de freinage sont écartées des deuxièmes surfaces de freinage. Roue d'aéronef et atterrisseur comportant un tel dispositif.

ATTERRISSEUR D'AERONEF EQUIPE D'UN DISPOSITIF DE FREINAGE MAGNETIQUE A COURANT DE FOUCAULT

La présente invention concerne le domaine du freinage des roues de véhicule telles que les roues d'aéronef.

ARRIERE PLAN DE L'INVENTION

Une roue d'aéronef comprend généralement une jante reliée par un voile à un moyeu monté pour tourner sur un arbre (essieu ou fusée) support de roue.

Il est connu des dispositifs de freinage par friction comprenant une pile de disques de freinage qui est logée dans un espace s'étendant entre la jante et le moyeu et qui comprend une alternance de disques rotoriques liés en rotation avec la roue et de disques statoriques fixes en rotation par rapport au support de roue. Le dispositif de freinage comprend également des actionneurs hydrauliques ou électromécaniques montés sur un porte-actionneurs et agencés pour appliquer un effort de freinage commandé sur la pile de disques de manière à freiner la rotation de la roue.

Il a été proposé, notamment dans le document FR-A-2953196, d'équiper de telles roues freinées d'un frein auxiliaire électromagnétique assurant une dissipation d'énergie par d'autres moyens que la friction mécanique.

Sont en outre connus des dispositifs de freinage magnétique à courant de Foucault (dénommé « Eddy curent » en anglais) utilisés pour le freinage de roues de véhicules et plus particulièrement de roues d'aéronef. Le document WO-A-2014/029962 décrit un tel dispositif comprenant un rotor qui est pourvu d'un ou plusieurs aimants et qui est monté en regard d'un stator électromagnétique.

Le document US-A-20200300310 décrit lui aussi un dispositif de freinage magnétique à courant de Foucault.

En outre, le couple de freinage magnétique par courant de Foucault dépend directement de la vitesse de l'élément central par rapport aux éléments externes de sorte ce couple est nul lorsque la vitesse est nulle. Il est donc nécessaire de prévoir un moyen de freinage supplémentaire pour les basses vitesses et/ou lorsque l'aéronef stationne (frein de parking). Ceci suppose qu'on augmente le poids de l'ensemble.

OBJET DE L'INVENTION

L'invention a notamment pour but de proposer un dispositif de freinage magnétique à courant de Foucault remédiant au moins en partie aux inconvénients précités.

RESUME DE L'INVENTION

A cet effet, on prévoit, selon l'invention, un atterrisseur comprenant une jambe ayant une extrémité portant un arbre sur lequel est monté le moyeu d'une roue pourvue d'un dispositif de freinage magnétique à courant de Foucault. Le dispositif comprend deux éléments externes encadrant un élément central aligné sur un même axe avec les éléments externes et en rotation autour dudit axe par rapport aux éléments externes, les éléments externes ayant des premières faces en regard de deuxièmes faces opposées de l'élément central et portant chacun une pluralité d'aimants apte à émettre via les premières faces un flux magnétique engendrant dans l'élément central, réalisé en matériau électriquement conducteur, des courants de Foucault lorsque les éléments sont en mouvement relatif. Les aimants étant disposés de telle manière à engendrer une attraction magnétique entre les éléments externes. Des premières surfaces de freinage par friction sont liées en rotation aux éléments externes et des deuxièmes surfaces de freinage par friction sont liées en rotation à l'élément central et les éléments externes sont déplaçables par rapport à l'axe entre une position rapprochée de l'élément central dans laquelle les premières surfaces de freinage sont maintenues

appliquées contre les deuxièmes surfaces de freinage par l'attraction magnétique et une position écartée de l'élément central dans laquelle les premières surfaces de freinage sont écartées des deuxièmes surfaces de freinage.

Cet agencement permet d'optimiser un freinage par friction qui est intégré dans le frein magnétique et dont le maintien ne nécessite pas de source d'énergie puisque c'est l'attraction magnétique des aimants qui va maintenir en contact les surfaces de freinage et engendrer de la sorte un serrage de l'élément central entre les éléments externes. Evidemment, le couple de freinage dépend de la puissance des aimants, mais si le freinage par friction est utilisé uniquement comme frein de parking et éventuellement pour ralentir la roue à faible vitesse, l'attraction par les aimants sera suffisante pour le frein de parking.

L'invention concerne également une roue freinée équipée d'un tel dispositif et un atterrisseur équipé d'une telle roue.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description qui suit de modes de réalisation particuliers et non limitatifs de l'invention.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

Il sera fait référence aux dessins annexés, parmi lesquels :

[Fig. 1] la figure 1 est une vue schématique partielle d'un aéronef équipé d'atterrisseurs selon l'invention ;

[Fig. 2] la figure 2 est une vue en perspective d'une roue selon l'invention, la roue étant dépourvue de son pneumatique ;

[Fig. 3] la figure 3 est une vue schématique partielle de cette roue, en coupe selon le plan III de la figure 2, montrant un dispositif de freinage magnétique selon un premier mode de réalisation, ce dispositif de freinage

étant équipé d'un actionneur selon un premier mode de réalisation ;

[Fig. 4] la figure 4 est une vue schématique partielle de cette roue, en coupe selon le plan IV de la figure 2 ;

[Fig. 5] la figure 5 est une vue schématique partielle de cette roue, en coupe selon le plan V de la figure 2 ;

[Fig. 6] la figure 6 est une vue en perspective de la couronne motrice et des pignons des ensembles de transmission selon une première variante du premier mode de réalisation de l'actionneur ;

[Fig. 7] la figure 7 est une vue analogue à celle de la figure 4 de la roue selon cette variante de réalisation ;

[Fig. 8] la figure 8 est une vue analogue à celle de la figure 5 de la roue selon cette variante de réalisation ;

[Fig. 9] la figure 9 est une vue partielle de face de la roue montrant les pignons des ensembles de transmission selon une deuxième variante du premier mode de réalisation de l'actionneur ;

[Fig. 10] la figure 10 est une vue analogue à celle de la figure 4 de la roue, le dispositif de freinage magnétique étant équipé d'un actionneur selon un deuxième mode de réalisation ;

[Fig. 11] la figure 11 est une vue analogue à celle de la figure 5 de la roue, montrant l'actionneur selon le deuxième mode de réalisation ;

[Fig. 12] la figure 12 est une vue schématique partielle d'un stator selon un premier mode de réalisation ;

[Fig. 13] la figure 13 est une vue schématique partielle d'un stator selon un deuxième mode de réalisation ;

[Fig. 14] la figure 14 est une vue schématique partielle d'un stator selon un troisième mode de réalisation ;

[Fig. 15] la figure 15 est une vue schématique partielle d'un stator du dispositif de freinage magnétique selon le premier mode de réalisation ;

[Fig. 16] la figure 16 est une vue analogue à celle de la figure 3, montrant un dispositif de freinage magnétique selon un deuxième mode de réalisation.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

En référence aux figures 1 à 5, le premier mode de réalisation de l'invention est décrit en application à un aéronef 100 comportant des atterrisseurs 101. Chaque atterrisseur 101 comporte une jambe ayant une extrémité pourvue de deux arbres 102 coaxiaux sur chacun desquels est montée pour pivoter une roue 103. Chaque roue 103 comporte de façon connue en soi un moyeu 104 monté pour pivoter sur l'arbre 102 et une jante 105 reliée au moyeu 104 par un voile 106. Les arbres 102 définissent un axe primaire 107 de rotation de la roue 103.

Les roues 103 sont équipées chacune d'un dispositif de freinage magnétique.

Le dispositif de freinage magnétique comprend des éléments mobiles en rotation, ou rotors 1, et des éléments fixes en rotation, ou stators 2.

Plus précisément ici, les stators 2 et les rotors 1 sont en forme de disques, coaxiaux à la roue 103, ayant donc des axes centraux confondus avec l'axe primaire de rotation 107. Les stators 2 et les rotors 1 sont agencés en deux triplets formant chacun un jeu de freinage I, II. Chaque jeu de freinage I, II comprend un rotor 1 disposé entre deux stators 2a, 2b ayant chacun une face principale 2.1 s'étendant en regard d'une des faces principale 1.1, 1.2 du rotor 1. Les faces 1.1, 1.2, 2.1 sont parallèles les unes aux autres. Sur les figures, on a ajouté les caractères a, b pour distinguer le stator se trouvant en regard de la face 1.1 et le stator se trouvant en regard de la face 1.2. Chaque jeu I, II comprend donc un rotor 1, un stator 2a et un stator 2b. Dans la description, on emploie ces caractères a, b uniquement quand il est nécessaire de distinguer les stators 2 entre eux.

Les stators 2 sont liés en rotation à l'arbre 102 ou à la jambe de l'atterrisseur 101, ici par l'intermédiaire d'un tube de torsion 3 (ou tube de couple) solidaire d'une platine porte-actionneur 7 fixée rigidement à l'arbre 102, tandis que les rotors 1 sont liés en rotation à la roue 103, ici à la jante 105 de la roue 103, de manière connue en elle-même. Ainsi, dans chaque jeu I, II, chaque rotor 1 tourne sur lui-même autour de son axe central par rapport aux stators 2a, 2b qui l'encadrent : pendant ce déplacement du rotor 1 selon une direction circonférentielle, les faces principales 1.1, 1.2 restent en regard des faces principales 2.1, parallèles à celles-ci et séparées par un entrefer e. Les stators 2a sont situés en regard de la face 1.1 du rotor 1 orientée vers la platine porte-actionneur 7 ; les stators 2b sont situés en regard de la face 1.2 du rotor 1 orientée à l'opposé vers le voile de la roue 103.

Le tube de torsion 3 est pourvu de nervures pour former des glissières permettant à chacun des stators 2 de coulisser sans rotation sur le tube de torsion 3 de telle manière que chaque stator 2 soit mobile selon une direction axiale du tube de torsion 3 entre une première position dans laquelle le rotor 1 et le stator 2 sont rapprochés l'un de l'autre et ont leurs faces principales 1.1, 1.2, 2.1 en contact (entrefer nul) et une deuxième position dans laquelle le rotor 1 et le stator 2 sont écartés l'un de l'autre et ont leurs faces principales 1.1, 1.2, 2.1 séparées par une valeur d'entrefer prédéterminée (entrefer non nul).

Le dispositif de freinage comprend un actionneur, généralement désigné en 4, commandable par le pilote de l'avion de manière connue en elle-même, pour déplacer les stators 2 entre les deux positions précitées.

L'actionneur 4 selon le premier mode de réalisation comprend une pluralité d'ensembles de transmission généralement désignés en 4a pour déplacer les stators 2a et une

pluralité d'ensembles de transmission généralement désignés en 4b pour déplacer les stators 2b. Les ensembles de transmission 4a sont disposés en alternance par rapport aux ensembles de transmission 4b.

Chaque ensemble de transmission 4a comprend une barre de manœuvre 5a montée sur le tube de torsion 3 pour s'étendre parallèlement à l'axe primaire de rotation 107 et coulisser sans rotation selon ledit axe.

La barre de manœuvre 5a est reliée par un premier organe de liaison mécanique 21a à un pignon 6a monté dans la platine porte-actionneur 7 par des roulements pour être fixe en translation et mobile en rotation autour d'un axe secondaire de rotation 6a' colinéaire à l'axe longitudinal de la barre de manœuvre 5a. Le premier organe de liaison mécanique 21a comprend un filet réalisé sur l'extrémité de la barre de manœuvre 5a et un taraudage réalisé dans le pignon 6a et accueillant l'extrémité de la barre de manœuvre 5a de telle manière qu'une rotation du pignon 6a provoque une translation de la barre de manœuvre 5a dans un sens ou dans l'autre, selon le sens de rotation du pignon 6a. Les pignons 6a engrènent avec une denture interne d'une couronne 8 qui est centrée sur l'axe primaire de rotation 107 et qui entoure les pignons 6a. La couronne 8 est maintenue dans sa position centrée par des galets montés pour pivoter sur la platine porte-actionneur 7 autour d'axes parallèles à l'axe primaire de rotation 107 et en contact avec un pourtour externe de la couronne 8. La couronne 8 est entrainée en rotation par un pignon meneur 9 monté pour pivoter sur la platine porte-actionneur 7 autour d'un axe parallèle à l'axe primaire de rotation 107. Les moyens d'entraînement en rotation du pignon meneur ne sont pas représentés mais peuvent être de tout type (à engrenage, courroie, chaîne, crémaillère…).

La barre de manœuvre 5a est reliée par un deuxième organe

de liaison mécanique 22a à chaque stator 2a. Chaque deuxième organe de liaison mécanique 22a comprend deux collerettes s'étendant radialement en saillie de la barre de manœuvre 5a pour accueillir entre elles une portion de la circonférence interne d'un des stators 2a et former des butées d'entraînement des stators 2a entre leurs deux positions axiales.

Chaque ensemble de transmission 4b comprend une barre de manœuvre 5b montée sur le tube de torsion 3 pour s'étendre parallèlement à l'axe primaire de rotation 107 et coulisser sans rotation selon ledit axe.

La barre de manœuvre 5b est reliée par un premier organe de liaison mécanique 21b à un pignon 6b monté dans la platine porte-actionneur 7 par des roulements pour être fixe en translation et mobile en rotation autour d'un axe secondaire de rotation 6b' colinéaire à l'axe longitudinal de la barre de manœuvre 5b. Le premier organe de liaison mécanique comprend un filet réalisé sur l'extrémité de la barre de manœuvre 5b et un taraudage réalisé dans le pignon 6b et accueillant l'extrémité de la barre de manœuvre 5a de telle manière qu'une rotation du pignon 6b provoque une translation de la barre de manœuvre dans un sens ou dans l'autre, selon le sens de rotation du pignon 6b. Les pignons 6b engrènent avec la denture interne de la couronne 8.

La barre de manœuvre 5b est reliée par un deuxième organe de liaison mécanique à chaque stator 2b. Chaque deuxième organe de liaison mécanique comprend deux collerettes 20b s'étendant radialement en saillie de la barre de manœuvre 5b pour accueillir entre elles une portion de la circonférence interne d'un des stators 2b et former des butées d'entraînement des stators 2b entre leurs deux positions axiales.

La liaison hélicoïdale formée entre les pignons 6b et les barres de manœuvre 5b est de sens opposé à la liaison

hélicoïdale formée entre les pignons 6a et les barres de manœuvre 5a. On comprend donc que, quand la couronne 8 tourne dans un sens, elle entraîne les pignons 6a, 6b dans le même sens ; en revanche, les barres de manœuvre 5a se déplacent dans un sens opposé au sens de déplacement des barres de manœuvre 5b. Une rotation de la couronne 8 dans un premier sens provoque donc un rapprochement des stators 2a avec les stators 2b (l'entrefer e avec les rotors 1 diminue) tandis qu'une rotation de la couronne 8 dans un deuxième sens provoque un éloignement des stators 2a d'avec les stators 2b respectivement (l'entrefer e avec les rotors 1 augmente).

Les rotors 3 sont ici en acier ou en fonte de telle manière que leurs faces 1.1, 1.2 puissent former des surfaces de freinage ainsi que cela sera expliqué plus loin. Tout autre matériau électriquement conducteur apte à réaliser cette fonction est utilisable. Par exemple, les rotors 3 peuvent comprend un disque en cuivre dont les faces principales sont recouvertes d'une couche d'acier ou de fonte pour former les surfaces de freinage, ce qui permet d'avoir un bon coefficient de friction avec la garniture tout en augmentant la masse calorifique de manière à avoir un freinage performant malgré l'augmentation de température occasionnée par le frottement de la garniture sur la surface de freinage.

En référence aux figures 12, 13 et 14 également, chaque stator 2 de chaque triplet comporte une pluralité d'aimants aptes à engendrer des courants de Foucault dans le rotor 1 lorsque le stator 2 est dans une position intermédiaire entre les première et deuxième positions et que le rotor 3 pivote en face du stator 2. Les aimants, ici à base de terres rares, sont par exemple au nombre de 16 et sont de préférence fixés sur un support 200 en acier magnétique, voire sur un support non magnétique.

La pluralité d'aimants comprend des premiers aimants 11,

13 ayant un premier vecteur de magnétisation sensiblement perpendiculaire à la face principale 2.1 et étant séparés deux à deux par un deuxième aimant 12, 14 ayant un deuxième vecteur de magnétisation sensiblement perpendiculaire aux premiers vecteurs de magnétisation des deux premiers aimants 11, 13 entre lesquels se trouve le deuxième aimant 12, 14. On rappelle que le vecteur de magnétisation indique la direction du champ magnétique engendré par un aimant et s'étend dans l'aimant du pôle Sud au pôle Nord. Plus précisément, les aimants 11, 12, 13, 14 ont des formes de secteurs angulaires et ont une longueur L mesurée selon une direction radiale du stator 2 et une largeur moyenne l mesurée selon une direction localement tangentielle des disques (c'est-à-dire perpendiculairement à la direction de la longueur L) à moitié de ladite longueur L. Les longueurs L et largeurs l sont mesurées selon des directions localement parallèles aux surfaces en regard (les faces principales 1.1, 1.2, 2.1).

Les aimants 11, 12, 13, 14 sont disposés selon un motif de Halbach, en alternance selon la direction circonférentielle du stator 2 comme suit : un aimant 11, un aimant 12, un aimant 13, un aimant 14, un aimant 11, un aimant 12, un aimant 13, un aimant 14 et ainsi de suite… En l'occurrence :

- chaque aimant 11 a son vecteur de magnétisation qui sort de la face principale 2.1 (son pôle Nord débouche sur la face principale 2.1),
- chaque aimant 12 a son vecteur de magnétisation qui s'étend depuis l'aimant 11 voisin vers l'aimant 13 voisin,
- chaque aimant 13 a son vecteur de magnétisation qui rentre dans la face principale 2.1 (son pôle Sud débouche sur la face principale 2.1),
- chaque aimant 14 a son vecteur de magnétisation qui s'étend depuis l'aimant 11 voisin vers l'aimant 13

voisin.

On comprend que les aimants 12, 14 disposés de chaque côté d'un même aimant 11 ont leur vecteur de magnétisation orientés dans des sens opposés.

Dans chaque triplet, chaque aimant 11 d'un des deux stators 2 fait face à un aimant 13 de l'autre des deux stators 2, et inversement, de sorte que tous les aimants 11 font face à des aimants 13 et s'attirent mutuellement au travers du rotor 3, ce qui améliore les performances.

Selon une version avantageuse de l'invention, les aimants 11, 12, 13, 14 ont des largeurs l_{11}, l_{12}, l_{13}, l_{14} telles que les premiers aimants 11, 13 sont espacés deux à deux d'une première distance (égale à la largeur l_{12}, l_{14}) inférieure à une deuxième distance (égale à la largeur l_{11}, l_{13}) séparant deux à deux les deuxièmes aimants 12, 14. Les meilleurs résultats sont obtenus lorsque la largeur l_{12}, l_{14} des deuxièmes aimants 12, 14 est 70% environ celles – l_{11}, l_{13} – des premiers aimants 11, 13.

En référence à la figure 12, les longueurs L_{11}, L_{12}, L_{13}, L_{14} des aimants 11, 12, 13, 14 sont identiques les unes aux autres.

En référence à la figure 13, les longueurs L_{11}, L_{13} des aimants 11, 13 sont identiques les unes aux autres et les longueurs L_{12}, L_{14} des aimants 12, 14 sont identiques les unes aux autres. Les longueurs L_{11}, L_{13} des aimants 11, 13 sont supérieures aux longueurs L_{12}, L_{14} des aimants 12, 14. De préférence, la longueur L_{12}, L_{14} des deuxièmes aimants 12, 14 est 70% environ celles – L_{11}, L_{13} – des premiers aimants 11, 13.

Dans l'agencement représenté sur la figure 13, les aimants 12, 14 sont positionnés symétriquement sur un cercle passant par le centre géométrique des pôles Nord des aimants 11 et Sud des aimants 13.

On comprend que, dans les deux modes de réalisation du stator, les aimants 12, 14 occupent parallèlement à la face

principale 2.1 une surface moindre que celle des aimants 11, 13.

L'agencement des aimants 11, 12, 13, 14 permet d'optimiser et de concentrer le flux magnétique produit par les aimants 11, 13 en réduisant le chemin de retour du flux magnétique qui passe par les aimants 12, 14 et non par leur support dont la masse peut être réduite puisqu'il n'a pas besoin d'assurer une fonction de conduction du flux magnétique.

Les deux modes de réalisation ci-dessus permettent tous les deux une augmentation du couple de freinage fourni tout en limitant la masse et l'encombrement du dispositif. Le premier mode de réalisation du stator permet un couple de freinage magnétique plus élevé que le deuxième mode de réalisation mais présente en revanche un poids plus important.

Quel que soit le mode de réalisation du stator, les aimants 11, 12, 13, 14 ont leur surface, opposée au support 200, recouverte d'une couche intermédiaire 201 elle-même recouverte d'une garniture de friction 202 ayant, à l'opposé de la couche intermédiaire 201, une surface formant la face 2.1 du stator 2.

La couche intermédiaire 201, intercalée entre les aimants 11, 12, 13, 14 et ladite garniture de friction 202, est en acier non magnétique et a une épaisseur suffisante pour lui permettre de constituer un écran thermique entre la garniture de friction 202 et les aimants 11, 12, 13, 14. Les aimants seront bien évidemment choisis pour avoir une perte limitée d'aimantation aux températures d'utilisation du dispositif de freinage magnétique : dans tous les cas, la température de Curie des aimants utilisés devra être très supérieure aux températures d'utilisation du dispositif de freinage magnétique quel que soit le mode de freinage utilisé. La couche intermédiaire 201 assure également une protection des aimants contre les chocs et favorise le

maintien des aimants sur le support 200. La couche intermédiaire 201 peut être vissée, rivetée, ou soudée sur le support 200 de telle manière que les aimants sont de préférence emprisonnés entre la couche intermédiaire 201 et le support 200.

Les garnitures de friction 202 sont en matériau amagnétique (pour ne pas créer de court-circuit magnétique) et de préférence électriquement isolant (pour limiter les pertes pendant le freinage magnétique). La garniture de friction 202 est par exemple fixée sur la couche intermédiaire 201 par collage à chaud ou rivetage. De telles garnitures de friction sont connues elles-mêmes.

Chaque rotor 1 a une épaisseur telle qu'un effet de peau (autrement appelé effet pelliculaire ou effet Kelvin) soit engendré depuis chaque face 1.1 du rotor 1 sur plus de la moitié de l'épaisseur du rotor 1 au moins sur une plage de vitesses relatives possibles du rotor 1 par rapport aux stators 2. Les courants de Foucault engendrés depuis les deux faces 1.1 vont alors circuler dans la partie centrale de chaque rotor 1, ce qui va augmenter le couple de freinage. On obtient ainsi une « superposition des effets de peau », l'épaisseur du rotor 1 étant suffisamment faible pour obtenir cet effet tout en satisfaisant les contraintes thermiques et mécaniques. Dans un exemple, cet effet donne environ 60% de performance en plus.

On comprend que :

- pour provoquer le freinage magnétique, l'actionneur de commande est piloté pour amener les stators 2 dans une position intermédiaire entre la première position et la deuxième position, position intermédiaire dans laquelle les stators sont suffisamment proches des rotors, sans les toucher, pour que les aimants engendrent dans les rotors des courants de Foucault suffisants pour provoquer le freinage recherchée des rotors, et

- pour interrompre le freinage magnétique, l'actionneur de commande est piloté pour amener les stators 2 dans la deuxième position, position dans laquelle les stators sont suffisamment éloignés des rotors pour que les aimants n'engendrent dans les rotors des courants de Foucault suffisants pour provoquer un freinage significatif des rotors.

On notera qu'en dessous d'une certaine vitesse de rotation des rotors 1, le couple de freinage est négligeable quelle que soit la position des stators. Il faudra alors éventuellement envisager un frein additionnel.

A ces faibles vitesses, ou lorsque l'aéronef est à l'arrêt, on peut utiliser le dispositif de freinage selon l'invention pour réaliser un freinage par friction.

On comprend que :

- pour provoquer le freinage par friction, l'actionneur de commande est piloté pour amener les stators 2 dans la première position (position rapprochée), position dans laquelle les surfaces de freinage 2.1 sont en contact avec les surfaces de freinage 1.1, 1.2 et sont maintenues dans cette position par les aimants 11, 12, 13, 14 même en l'absence d'alimentation de l'actionneur, et
- pour interrompre le freinage par friction, l'actionneur de commande est piloté pour amener les stators 2 vers la deuxième position, position dans laquelle les surfaces de freinage 1.1, 1.2, 2.1 ne sont plus en contact entre elles.

Pour s'assurer que les surfaces de freinage 2.1 sont bien en contact avec les surfaces de freinage 1.1, 1.2 et maintenues ainsi par l'attraction magnétique, on pourra prévoir qu'un léger jeu axial soit laissé entre l'actionneur et les stators lorsque les stators ont été amenés dans leur première position.

Les éléments identiques ou analogues à ceux précédemment

décrits porteront la même référence numérique que ces derniers dans la description qui suit du deuxième mode de réalisation de l'invention en relation avec la figure 16.

Dans ce deuxième mode de réalisation, le dispositif comprend des premières butées axiales liées en rotation et translation aux stators 2 et des deuxièmes butées axiales liées en rotation et en translation au rotor 1 pour empêcher un contact des faces 2.1 des stators 2 avec les faces 1.1, 1.2 des rotors 1 lorsque les stators 2 sont dans leur première position.

Les butées axiales comprennent ici deux paires de couronnes 211.1, 211.2 solidaires chacune d'un pourtour externe des rotors 1 et centrées sur l'axe de pivotement. La couronne 211.1 a une face annulaire plane 211.1' s'étendant perpendiculairement à l'axe de pivotement et en avant de la face 1.1 du rotor 1 dont elle est solidaire pour former une surface de freinage et la couronne 211.2 a une face annulaire plane 211.2' s'étendant perpendiculairement à l'axe de pivotement et en avant de la face 1.2 du rotor 1 dont elle est solidaire. Les faces annulaires planes 211.1', 211.2' forment des surfaces de freinage.

Chaque stator 2 comprend également une couronne 212 s'étendant depuis un pourtour externe du support 200 en entourant les aimants 11, 12, 13, 14. Chaque couronne 212 a une face terminale annulaire plane qui s'étend perpendiculairement à l'axe de pivotement et est recouverte par une garniture de friction 213 dont la surface libre forme une surface de freinage 213'.

On comprend que, lorsque les stators 2 sont dans leur position rapprochée, les surfaces de freinage 213' sont en contact avec les surfaces de freinage 211.1', 211.2' procurant un freinage par friction. On notera que dans cette position les faces 1.1, 1.2 ne sont pas en contact avec les faces 2.1.

Pour le reste, le fonctionnement est identique à celui du

premier mode de réalisation.

Le dispositif de l'invention peut mettre en œuvre un actionneur selon un deuxième mode de réalisation représenté aux figures 10 et 11.

Dans le deuxième mode de réalisation de l'actionneur 4, l'actionneur 4 comprend comme précédemment une pluralité d'ensembles de transmission généralement désignés en 4a pour déplacer les stators 2a et une pluralité d'ensembles de transmission généralement désignés en 4b pour déplacer les stators 2b. Les ensembles de transmission 4a sont disposés en alternance par rapport aux ensembles de transmission 4b.

Chaque ensemble de transmission 4a comprend une barre de manœuvre 5a montée sur le tube de torsion 3 pour s'étendre parallèlement à l'axe primaire de rotation 107 et pivoter sans coulissement selon ledit axe.

La barre de manœuvre 5a est reliée par un premier organe de liaison mécanique 21a' à un pignon 6a monté dans la platine porte-actionneur 7 par des roulements pour être fixe en translation et mobile en rotation autour d'un axe secondaire de rotation 6a' colinéaire à l'axe longitudinal de la barre de manœuvre 5a. Le premier organe de liaison mécanique 21a' assure une liaison encastrement de l'extrémité de la barre de manœuvre 5a dans le pignon 6a. Le premier organe de liaison mécanique 21a' peut être une soudure, de la colle, un emboîtement, un ajustement serré, un boulon, une goupille… Ici, la barre de manœuvre 5a, le premier organe de liaison mécanique 21a' et le pignon 6a sont en une seule pièce. Ainsi, une rotation du pignon 6a provoque une rotation de la barre de manœuvre 5a dans un sens ou dans l'autre, selon le sens de rotation du pignon 6a. Les pignons 6a engrènent avec une denture interne d'une couronne qui est centrée sur l'axe primaire de rotation 107 et qui entoure les pignons 6a. Cette couronne est identique à la couronne 8 et est montée et entrainée en rotation

comme cette dernière.

La barre de manœuvre 5a est reliée par un deuxième organe de liaison mécanique 22a' à chaque stator 2a. Chaque deuxième organe de liaison mécanique 22a' comprend un filet s'étendant autour de la barre de manœuvre 5a et coopérant avec un taraudage ménagé dans la circonférence interne du stator 2a. Les deux deuxièmes organes de liaison mécanique 22a' assurent une liaison hélicoïdale entre la barre de manœuvre 5a et les stators 2a.

Chaque ensemble de transmission 4b comprend une barre de manœuvre 5b montée sur le tube de torsion 3 pour s'étendre parallèlement à l'axe primaire de rotation 107 et pivoter sans coulissement selon ledit axe.

La barre de manœuvre 5b est reliée par un premier organe de liaison mécanique 21b' à un pignon 6b monté dans la platine porte-actionneur 7 par des roulements pour être fixe en translation et mobile en rotation autour d'un axe secondaire de rotation 6b' colinéaire à l'axe longitudinal de la barre de manœuvre 5b. Le premier organe de liaison mécanique 21b' assure une liaison encastrement de l'extrémité de la barre de manœuvre 5b dans le pignon 6b. Le premier organe de liaison mécanique peut être une soudure, de la colle, un emboîtement, un ajustement serré, un boulon, une goupille… Ici la barre de manœuvre 5b est en une seule pièce avec le pignon 6b. Ainsi, une rotation du pignon 6b provoque une rotation de la barre de manœuvre 5b dans un sens ou dans l'autre, selon le sens de rotation du pignon 6b. Les pignons 6b engrènent avec une denture interne de la couronne précitée qui entoure les pignons 6a.

La barre de manœuvre 5b est reliée par un deuxième organe de liaison mécanique 22b' à chaque stator 2b. Chaque deuxième organe de liaison mécanique 22b' comprend un filet s'étendant autour de la barre de manœuvre 5b et coopérant avec un taraudage ménagé dans la circonférence interne du stator 2b. Les deux deuxièmes organes de liaison mécanique

22b' assurent une liaison hélicoïdale entre la barre de manœuvre 5a et les stators 2b.

Les liaisons hélicoïdales formées entre les stators 2b et chaque barre de manœuvre 5b sont de sens opposé à la liaison hélicoïdale formée entre les stators 2a et chaque barre de manœuvre 5a. On comprend donc que quand la couronne tourne dans un sens, elle entraîne les pignons 6a, 6b et les barres de manœuvre 5a, 5b dans le même sens ; en revanche, les stators 2a se déplacent dans un sens opposé au sens de déplacement des stators 2b. Une rotation de la couronne dans un premier sens provoque donc un rapprochement des stators 2a avec les stators 2b respectivement (l'entrefer avec les rotors 1 diminue) tandis qu'une rotation de la couronne dans un deuxième sens provoque un éloignement des stators 2a d'avec les stators 2b respectivement (l'entrefer avec les rotors 1 augmente).

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits mais englobe toute variante entrant dans le champ de l'invention telle que définie par les revendications.

En particulier, le dispositif peut avoir une structure différente de celle décrite.

Les aimants peuvent être portés par le rotor au lieu du stator, deux rotors encadrant un stator.

La forme, l'agencement et les dimensions des aimants peuvent être différents de ceux décrits. Par exemple, et selon le troisième mode de réalisation représenté sur la figure 14, les aimants 11, 12, 13, 14 ont tous les mêmes dimensions. De préférence, les premiers aimants 11, 13 représenteront 70% environ de la surface de l'élément qui les porte mais ce n'est pas obligatoire.

Il est avantageux mais pas obligatoire d'avoir un agencement d'aimants selon lequel la pluralité d'aimants comprend des premiers aimants 11, 13 et des deuxièmes aimants 12, 14 disposés en alternance, les premiers aimants 11, 13

ayant un premier vecteur de magnétisation sensiblement perpendiculaire aux surfaces en regard 1.1, 1.2, 2.1 et chacun des deuxièmes aimants 12, 14 ayant un deuxième vecteur de magnétisation sensiblement perpendiculaire aux premiers vecteurs de magnétisation des deux premiers aimants entre lesquels il se trouve ; et les aimants 11, 12, 13, 14 ont des largeurs telles que les premiers aimants 11, 13 sont espacés deux à deux d'une première distance inférieure à une deuxième distance séparant deux à deux les deuxièmes aimants 12, 14.

L'utilisation d'un motif de Halbach n'est pas obligatoire. Le nombre de rotors et/ou le nombre de stators peuvent être différents de ceux mentionnés.

L'actionneur peut avoir une structure différente de celle décrite. Ainsi, chacun des stators peut être monté sur une glissière coulissant (sans rotation) sur le tube de torsion pour être mobile selon une direction axiale du tube de torsion entre une première position dans laquelle le rotor et le stator sont au contact l'un de l'autre et une deuxième position dans laquelle le rotor 3 et le stator 2 sont écartés l'un de l'autre. Au moins un actionneur électromécanique, commandable par le pilote de l'avion de manière connue en elle-même, déplace la glissière entre les deux positions précitées. On comprend que pour provoquer le freinage par friction, les actionneurs électromécaniques de commande sont pilotés pour amener les stators dans la première position et que, pour interrompre le freinage par friction, les actionneurs électromécaniques de commande sont pilotés pour amener les stators dans la deuxième position.

L'actionneur selon le premier mode de réalisation peut être modifié. Ainsi, dans la variante des figures 6 à 8, les pignons 6a sont reliés aux barres de manœuvre 5a par une liaison hélicoïdale de même sens que celle reliant les

pignons 6b aux barres de manœuvre 5b. Les pignons 6a engrènent avec la denture intérieure d'une couronne 8a entrainée en rotation par un pignon 9a tandis que les pignons 6b engrènent avec la denture intérieure d'une couronne 8b entrainée en rotation par un pignon 9b. La couronne 8b est superposée à la couronne 8a qui est la couronne la plus proche des jeux de freinage A, B. Les pignons 8a sont donc plus proches des stators 2a1 que les pignons 8b. On comprend que, dans cette variante, les pignons moteurs 9a, 9b entraînent les couronnes 8a, 8b dans des premiers sens opposés pour rapprocher respectivement chaque stator 2a du rotor 1 et chaque stator 2b du rotor 1 et dans des deuxièmes sens opposés pour écarter respectivement chaque stator 2a du rotor 1 et chaque stator 2b du rotor 1. Dans la variante de la figure 9, la couronne 8 est supprimée. Les pignons 6a, 6b adjacents engrènent les uns avec les autres deux à deux. Un pignon moteur 9 engrène avec un des pignons 6b de sorte que le mouvement que le pignon moteur 9 communique audit un des pignons 6b est communiqué de proche en proche aux autres pignons 6a, 6b. Comme un pignon 6b est disposé entre chaque paire de pignons 6a, tous les pignons 6b tournent dans le même sens qui est opposé au sens dans lequel les pignons 6a tournent. Ainsi, selon un premier sens de rotation du pignon moteur 9, les pignons 6a, 6b déplacent les barres de manœuvre 5a, 5b pour rapprocher respectivement chaque stator 2a du rotor 1 et chaque stator 2b du rotor 1b et, selon un deuxième sens de rotation du pignon moteur 9, les pignons 6a, 6b déplacent les barres de manœuvre 5a, 5b pour écarter chaque stators 2a du rotor 1 et chaque stator 2b du rotor 1.

L'actionneur selon le deuxième mode de réalisation peut lui aussi être modifié. Il est possible d'avoir sur une même barre de manœuvre des liaisons hélicoïdales de sens opposés, par exemple en rapportant sur la barre de manœuvre des douilles filetées extérieurement. Une même barre de

manœuvre peut alors déplacer les deux stators d'un même jeu.

Le dispositif de freinage magnétique selon l'invention peut être associé à un dispositif de freinage à friction classique qui comprend des organes de friction, par exemple une pile de disques de carbone, et une pluralité d'actionneurs électromécaniques portés par un porte-actionneurs. Chaque actionneur électromécanique comprend un moteur électrique et un poussoir apte à être déplacé par le moteur électrique pour presser la pile de disques. L'actionneur électromécanique est ainsi destiné à produire un effort de freinage commandé sur la pile de disques. Un mode de pilotage des dispositifs de freinage est par exemple connu du document FR-A-2953196.

Les butées axiales peuvent avoir une structure différente de celle décrite. Les butées axiales liées en rotation et translation axiale au rotor peuvent par exemple être écartées des rotors et fixées directement sur la jante.

REVENDICATIONS

1. Atterrisseur (101) comprenant une jambe (102) ayant une extrémité portant un arbre (103) sur lequel est monté le moyeu d'une roue (104) pourvue d'un dispositif de freinage magnétique à courant de Foucault, le dispositif comprenant deux éléments externes (2) encadrant un élément central (3) aligné sur un même axe avec les éléments externes et en rotation autour dudit axe par rapport aux éléments externes (2), les éléments externes (2) ayant des premières faces (2.1) en regard de deuxièmes faces opposées (3.1) de l'élément central (3) et portant chacun une pluralité d'aimants (11, 12, 13, 14) apte à émettre via les premières faces (2.1) un flux magnétique engendrant dans l'élément central (3), réalisé en matériau électriquement conducteur, des courants de Foucault lorsque les éléments (2, 3) sont en mouvement relatif, caractérisé en ce que les aimants étant disposés de telle manière à engendrer une attraction magnétique entre les éléments externes ; en ce que des premières surfaces de freinage par friction sont liées en rotation aux éléments externes et des deuxièmes surfaces de freinage par friction sont liées en rotation à l'élément central ; et en ce que les éléments externes sont déplaçables par rapport à l'axe entre une position rapprochée de l'élément central dans laquelle les premières surfaces de freinage sont maintenues appliquées contre les deuxièmes surfaces de freinage par l'attraction magnétique et une position écartée de l'élément central dans laquelle les premières surfaces de freinage sont écartées des deuxièmes surfaces de freinage et en ce que le dispositif comprend des premières butées axiales liées en rotation et en translation axiale aux éléments externes et des deuxièmes butées axiales liées en rotation et en translation axiale à l'élément central pour empêcher un contact des

premières faces avec les deuxièmes faces lorsque les éléments externes sont en position rapprochée ; les premières surfaces de freinage étant agencées sur les premières butées et les deuxièmes surfaces de freinage étant agencées sur les deuxièmes butées ; chaque première butée comprenant une couronne (212), centrée sur l'axe de pivotement, s'étendant depuis un pourtour externe d'un des éléments externes en saillie des aimants (11, 12, 13, 14) et ayant une face terminale annulaire plane qui s'étend perpendiculairement à l'axe de pivotement pour former une des premières surfaces de freinage (213'), chaque deuxième butée comprenant une couronne (211), centrée sur l'axe de pivotement, s'étendant depuis un pourtour externe d'une des deuxièmes faces de l'élément central et ayant une face terminale annulaire plane qui s'étend perpendiculairement à l'axe de pivotement pour former une des deuxièmes surfaces de freinage.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les premières surfaces de freinage sont formées sur les premières faces et les deuxièmes surfaces de freinage sont formées sur les deuxièmes faces.

3. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel chaque première surface de freinage appartient à une garniture de friction recouvrant une couche intermédiaire d'acier non magnétique intercalée entre les aimants d'un des éléments externes et ladite garniture de friction.

4. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel la couche d'acier a une épaisseur suffisante pour constituer un écran thermique entre la garniture de friction et les aimants.

5. Dispositif selon la revendication 3 ou 4, dans lequel chaque deuxième surface de freinage appartient à une couche d'acier ou de fonte formant la deuxième face de l'élément central.

6. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les

premières surfaces de freinage comprennent une garniture de friction en matériau électriquement isolant.

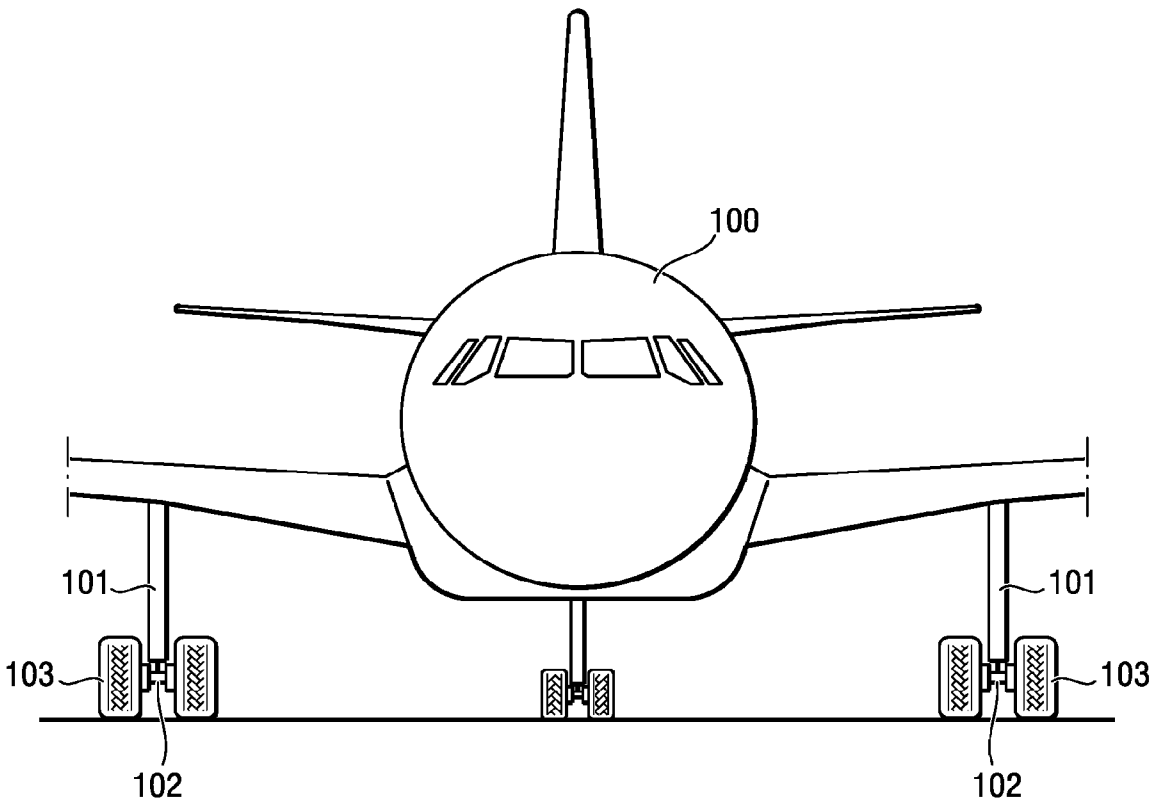


Fig. 1

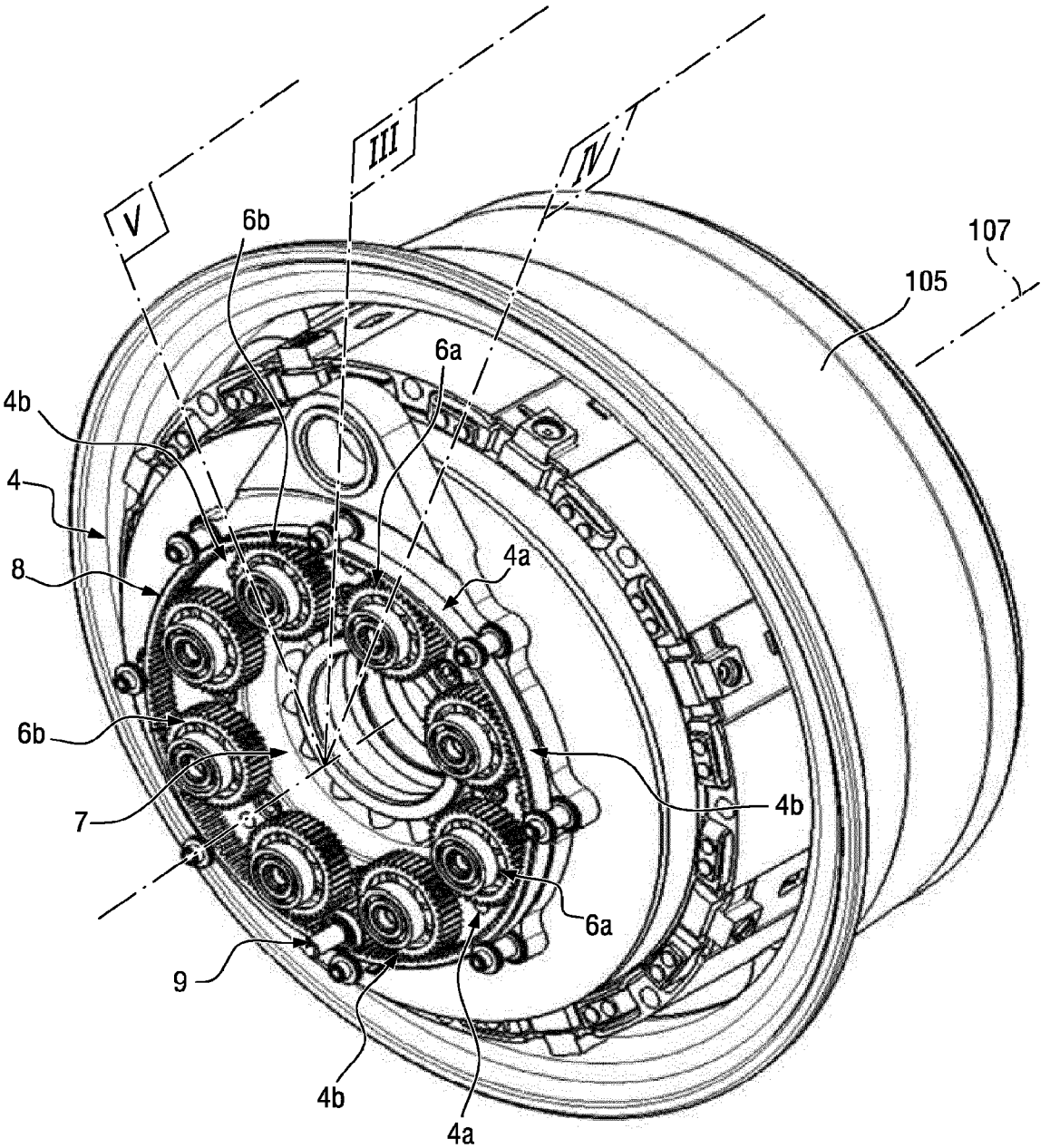
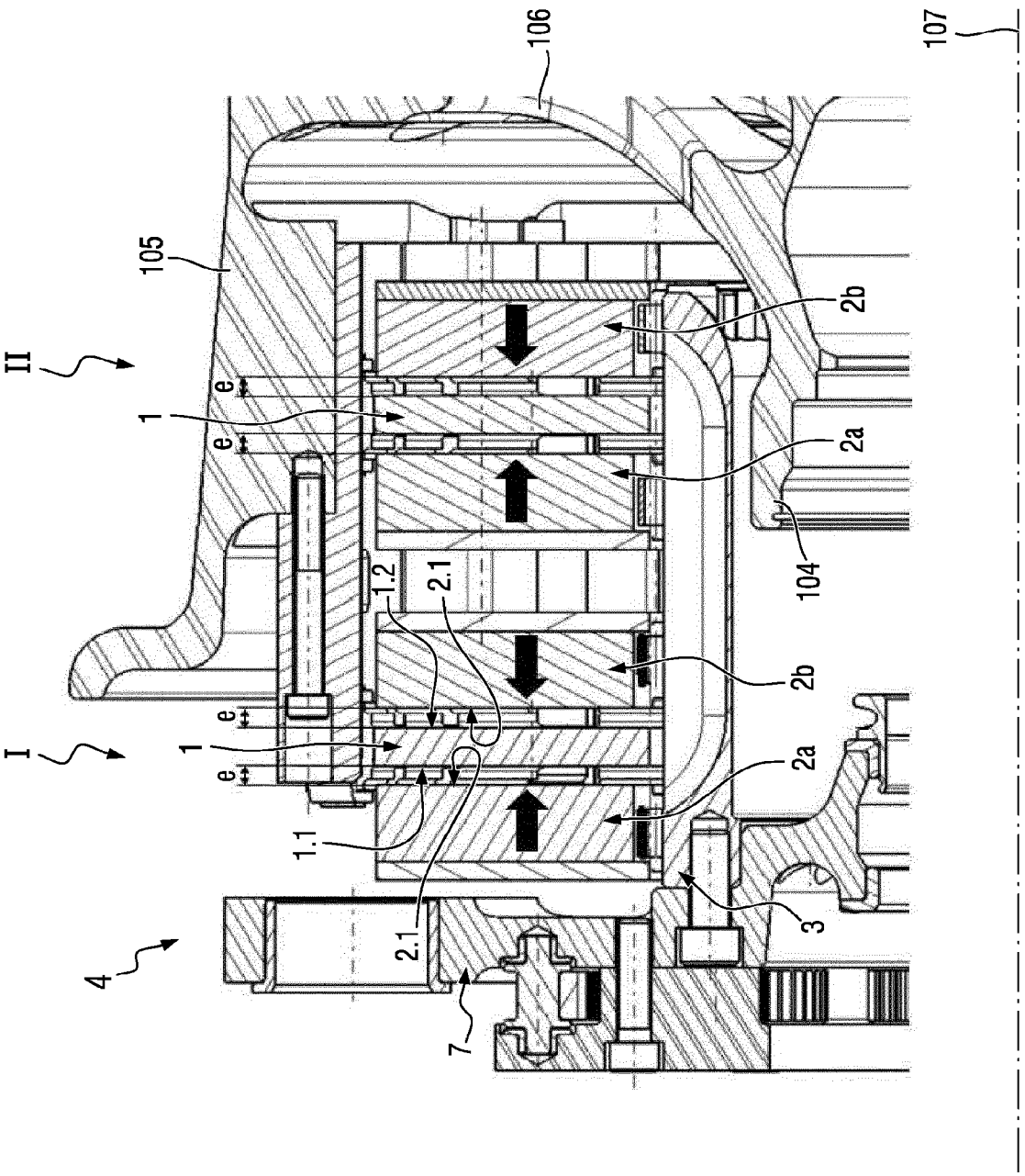


Fig. 2

Fig. 3



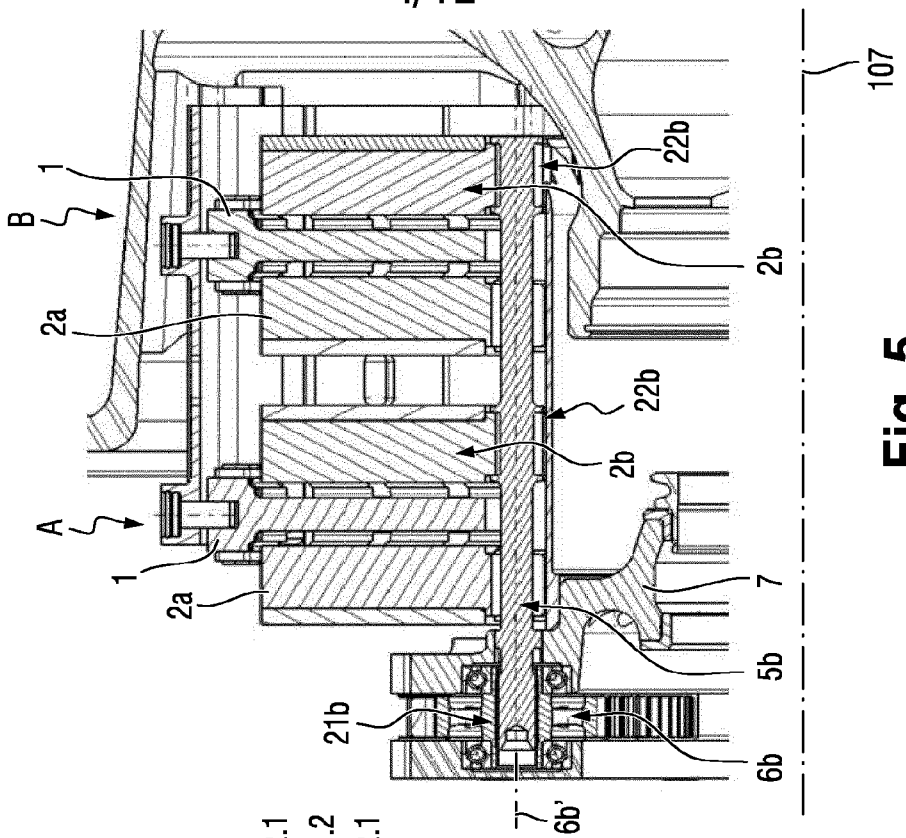

107
B
1
2a
22b
2b
A
1
2a
22b
2b
7
5b
21b
6b
6b'

Fig. 5

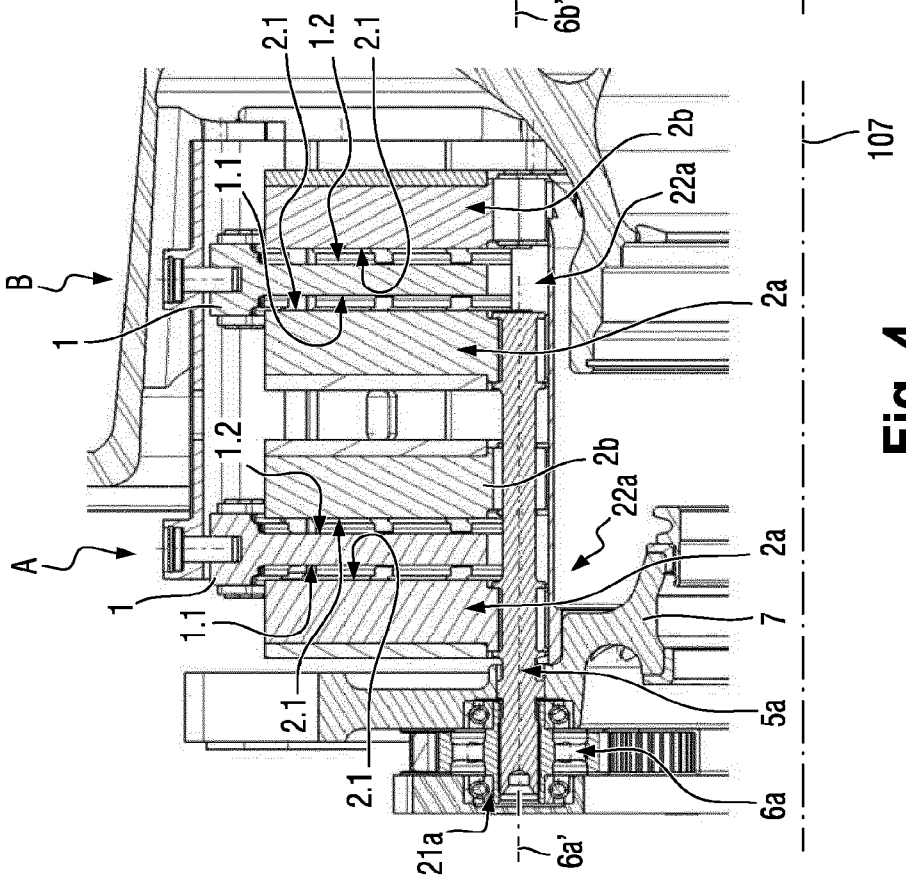

107
2.1
1.2
2.1
1.1
2b
22a
B
1
2a
1.2
2b
22a
A
1
2a
1.1
7
2.1
5a
2.1
6a
21a
6a'

Fig. 4

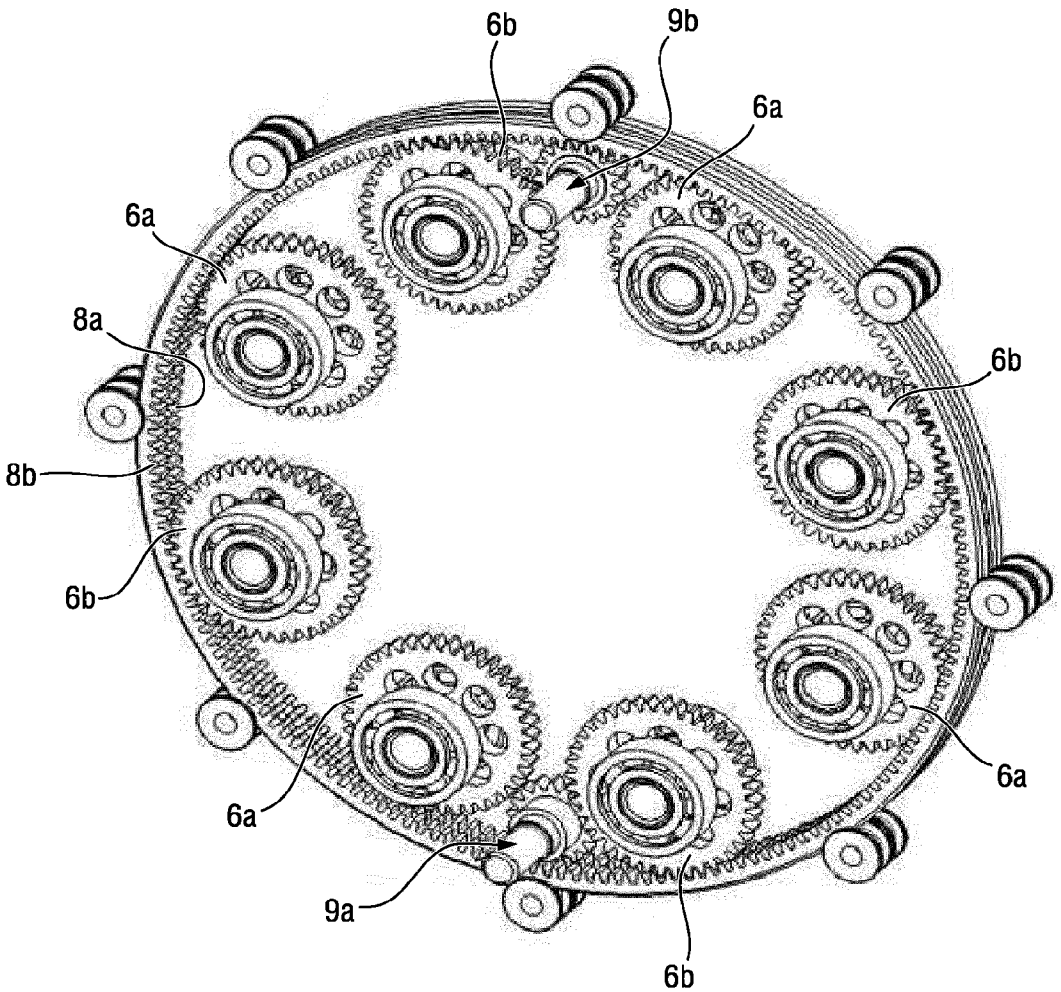


Fig. 6

Fig. 7

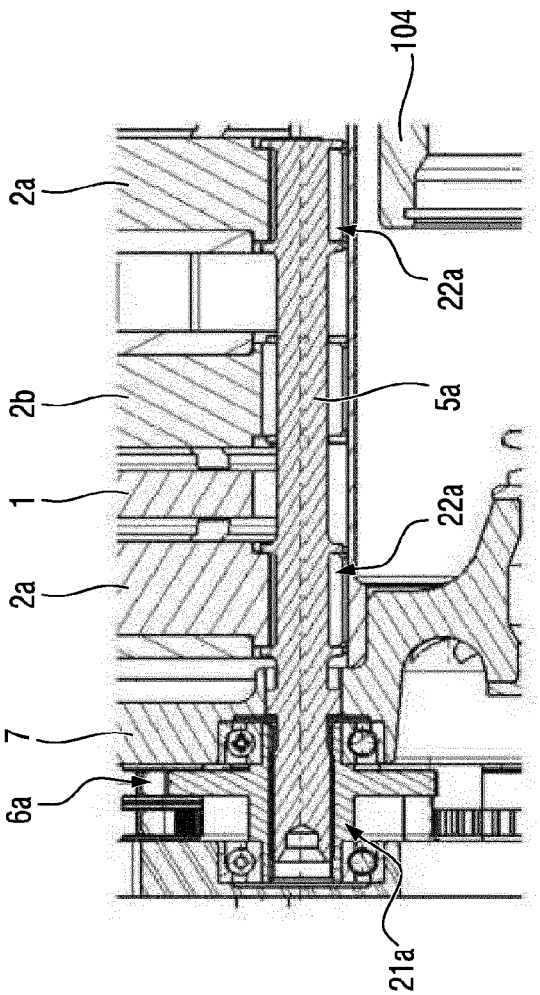
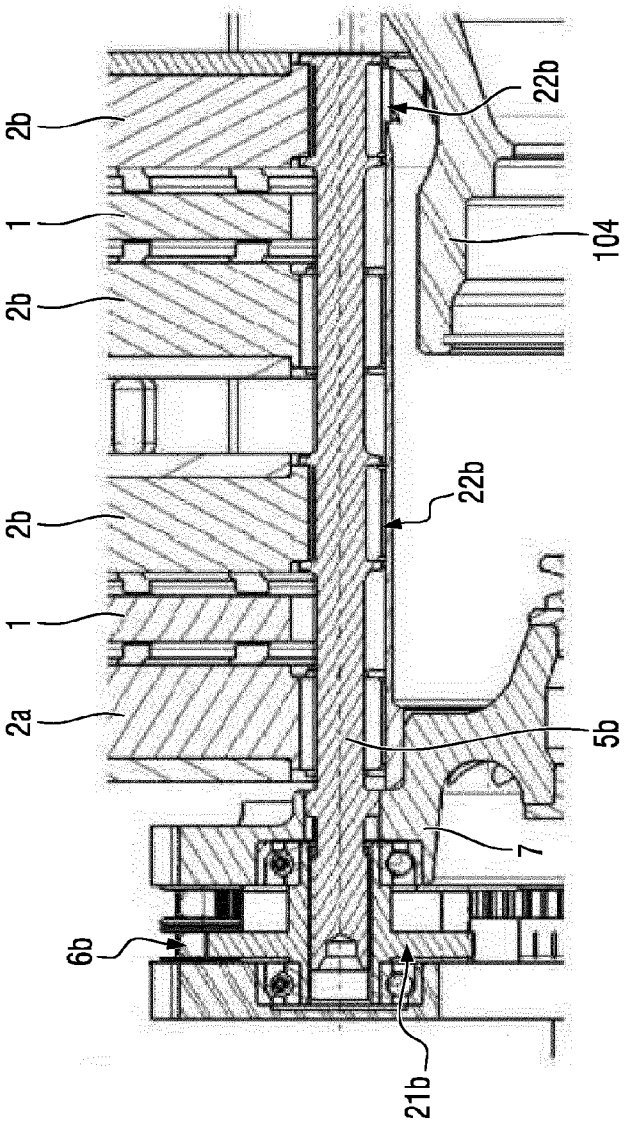

104
2a
22a
2b
5a
1
22a
2a
7
6a
21a

Fig. 8


2b
22b
1
104
2b
22b
2b
1
2a
5b
7
6b
21b

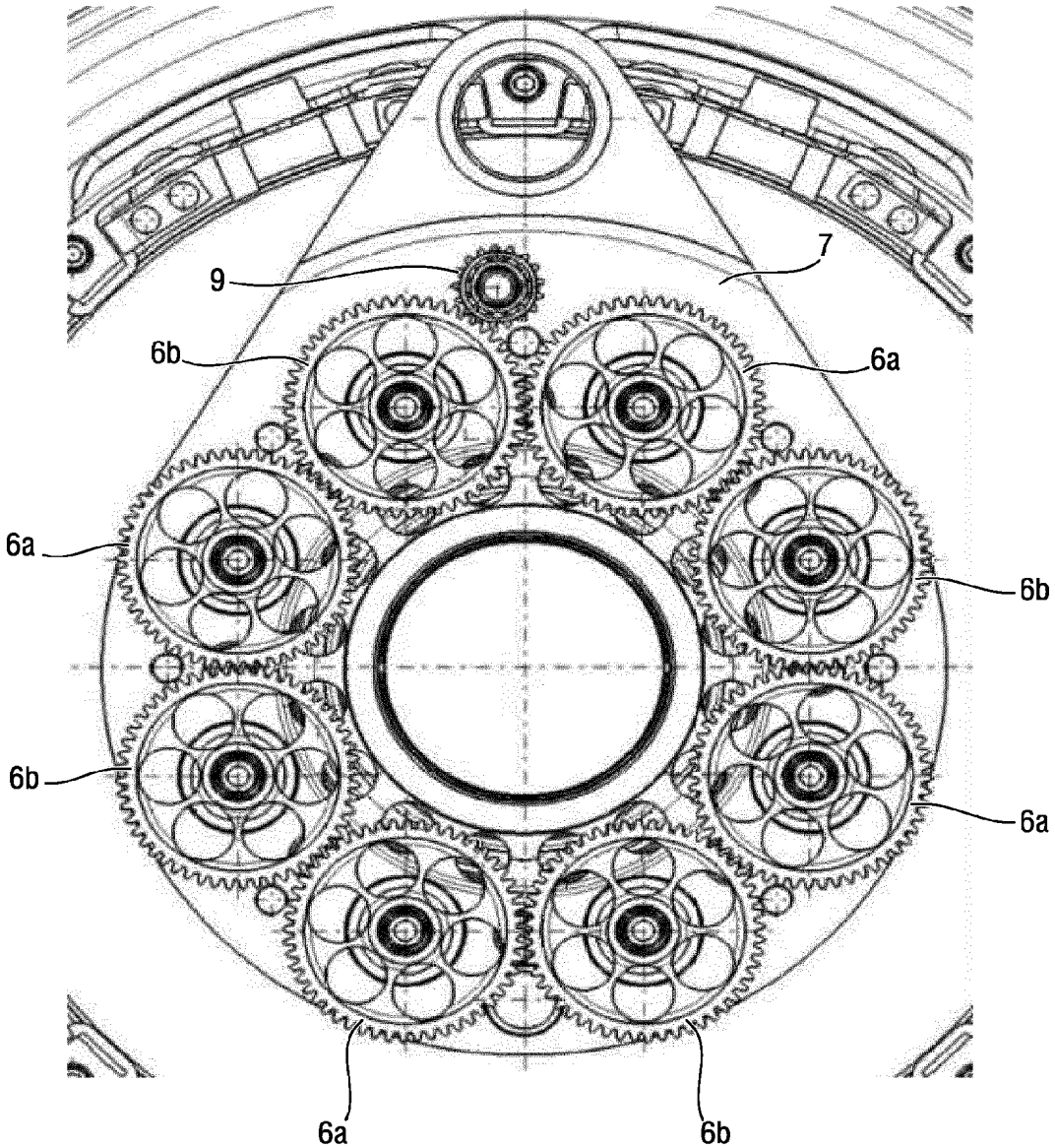


Fig. 9

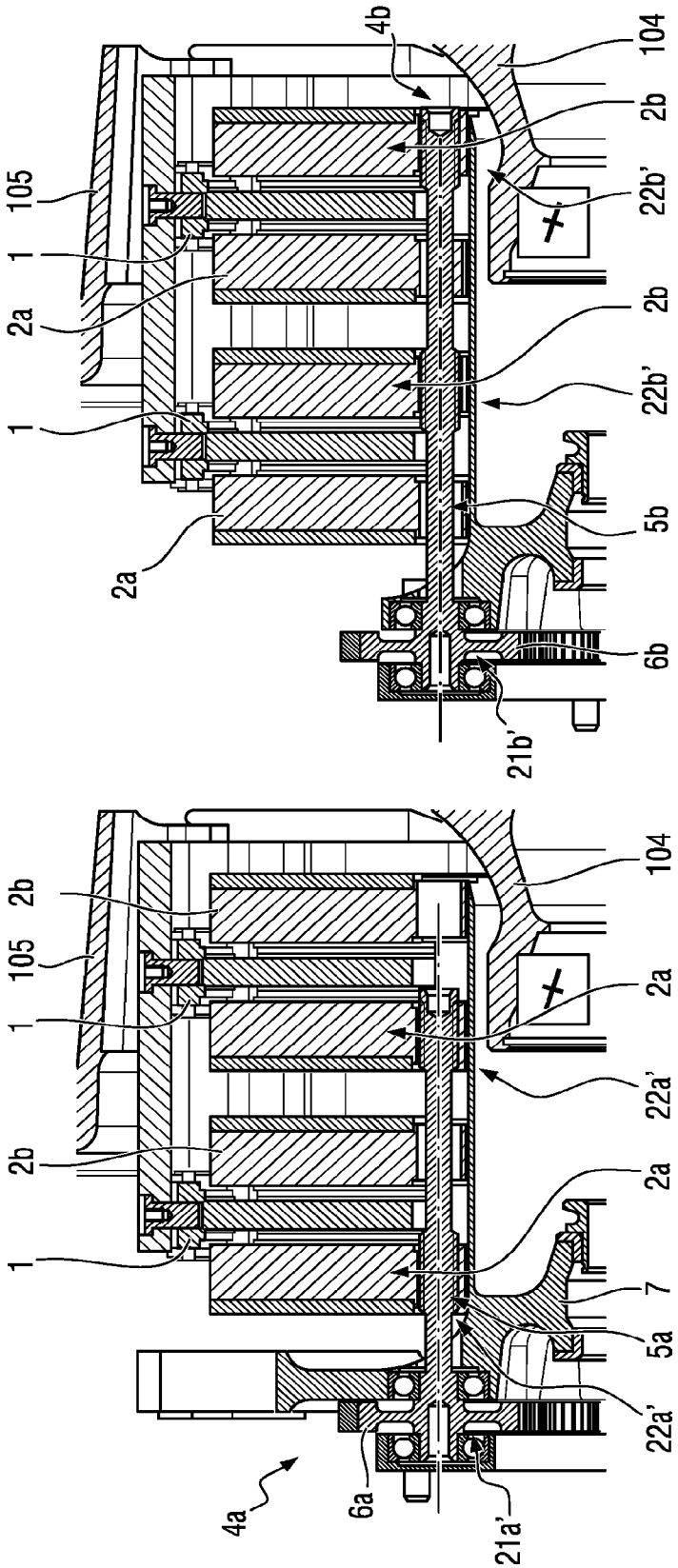

4b
104
2b
22b'
105
1
2a
2b
22b'
1
5b
2a
6b
21b'
104
2b
105
2a
1
22a'
2b
2a
1
7
5a
22a'
4a
6a
21a'

Fig. 11

Fig. 10

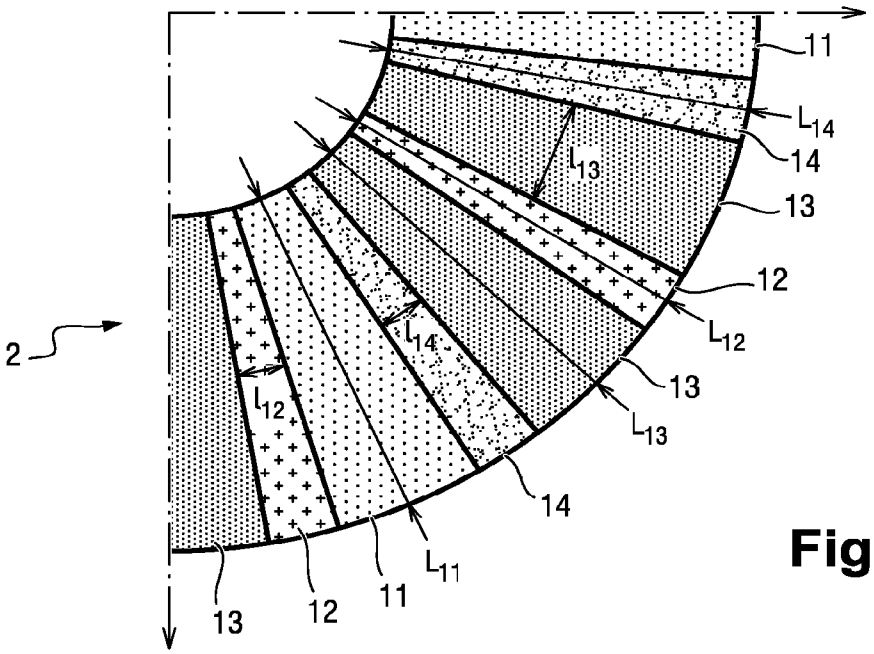

11
L_{14}
14
L_{13}
13
12
L_{12}
2
L_{14}
13
L_{12}
L_{13}
14
L_{11}
13
12
11

Fig. 12

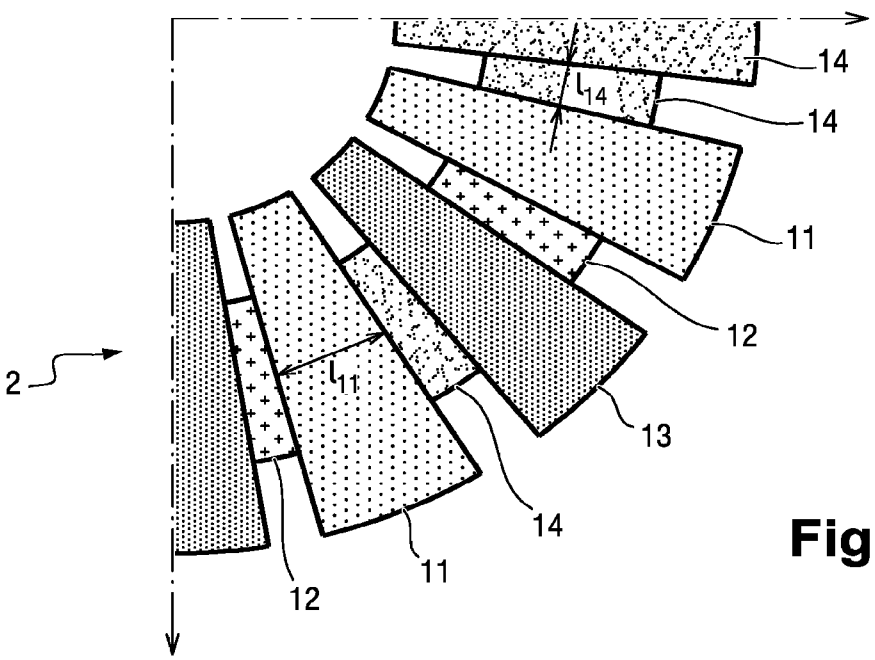

14
L_{14}
14
11
12
2
L_{11}
13
14
11
12

Fig. 13

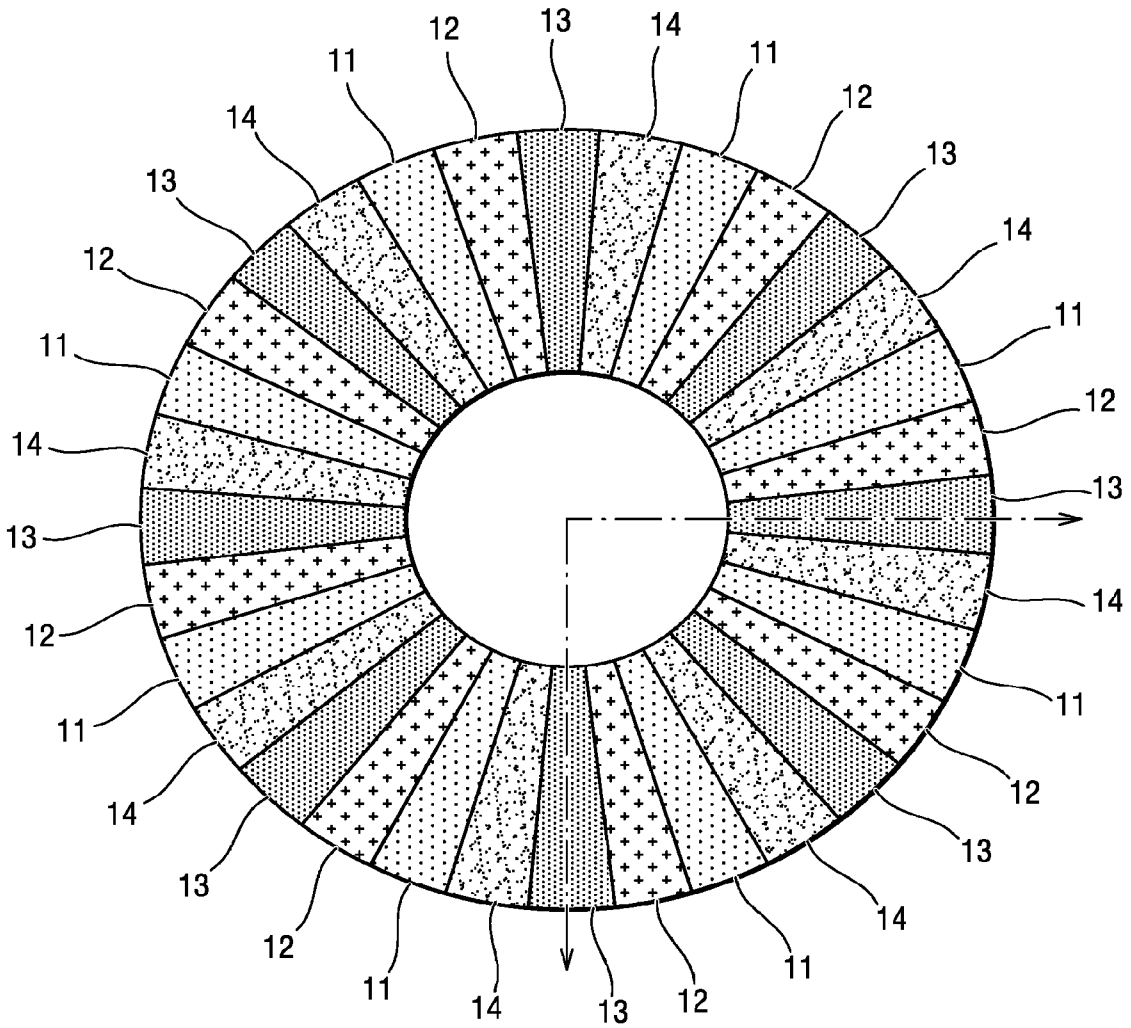


Fig. 14

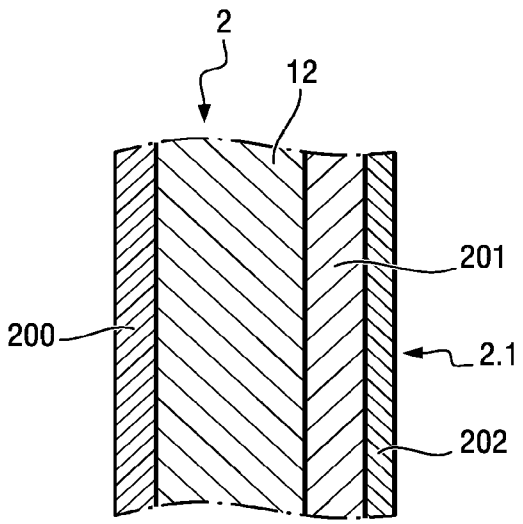
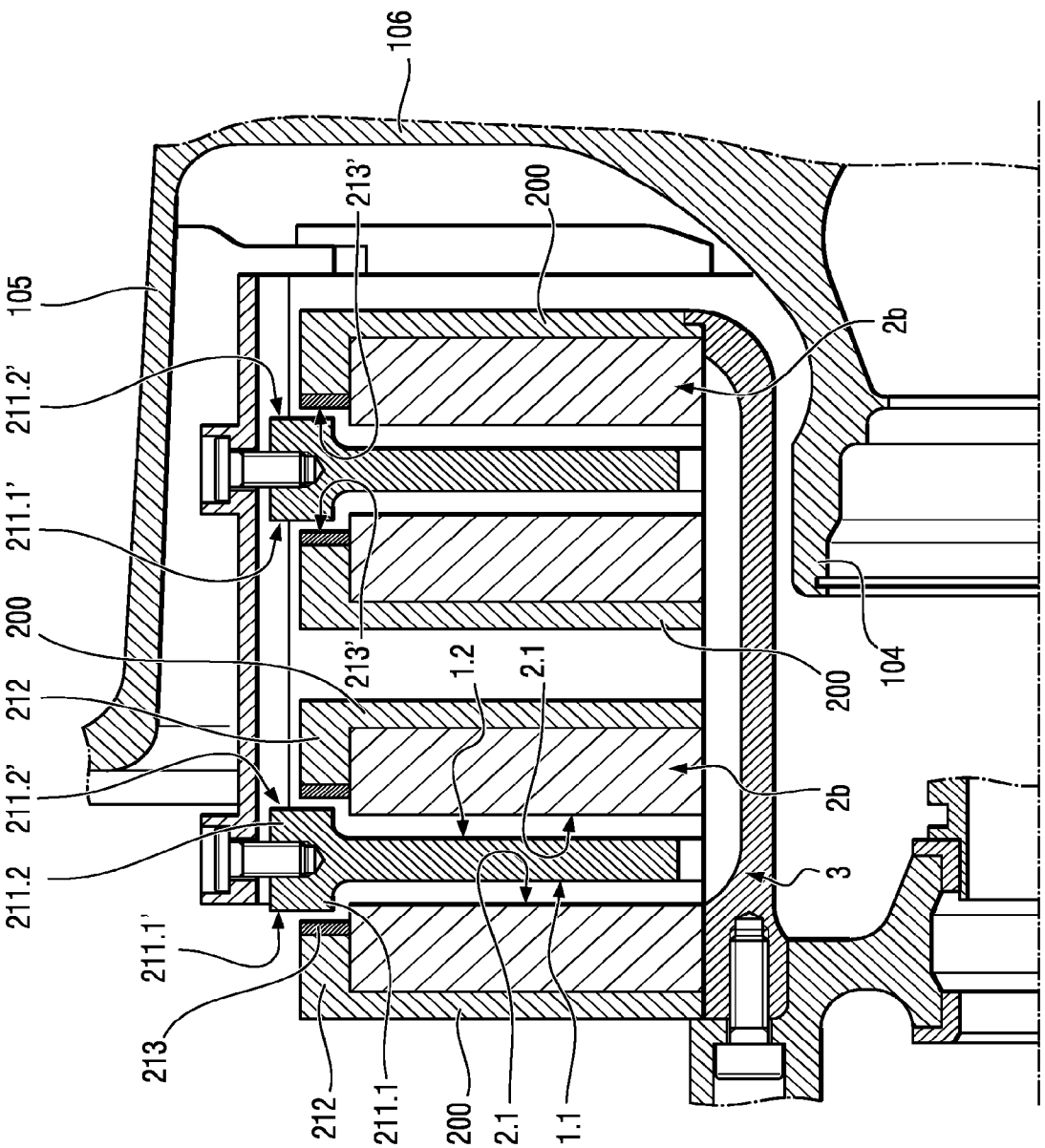


Fig. 15

Fig. 16


106
213'
200
105
211.2'
211.1'
200
212
211.2'
211.2
211.1'
213
212
211.1
200
2.1
1.1
1.2
2.1
213'
200
104
2b
2b
3

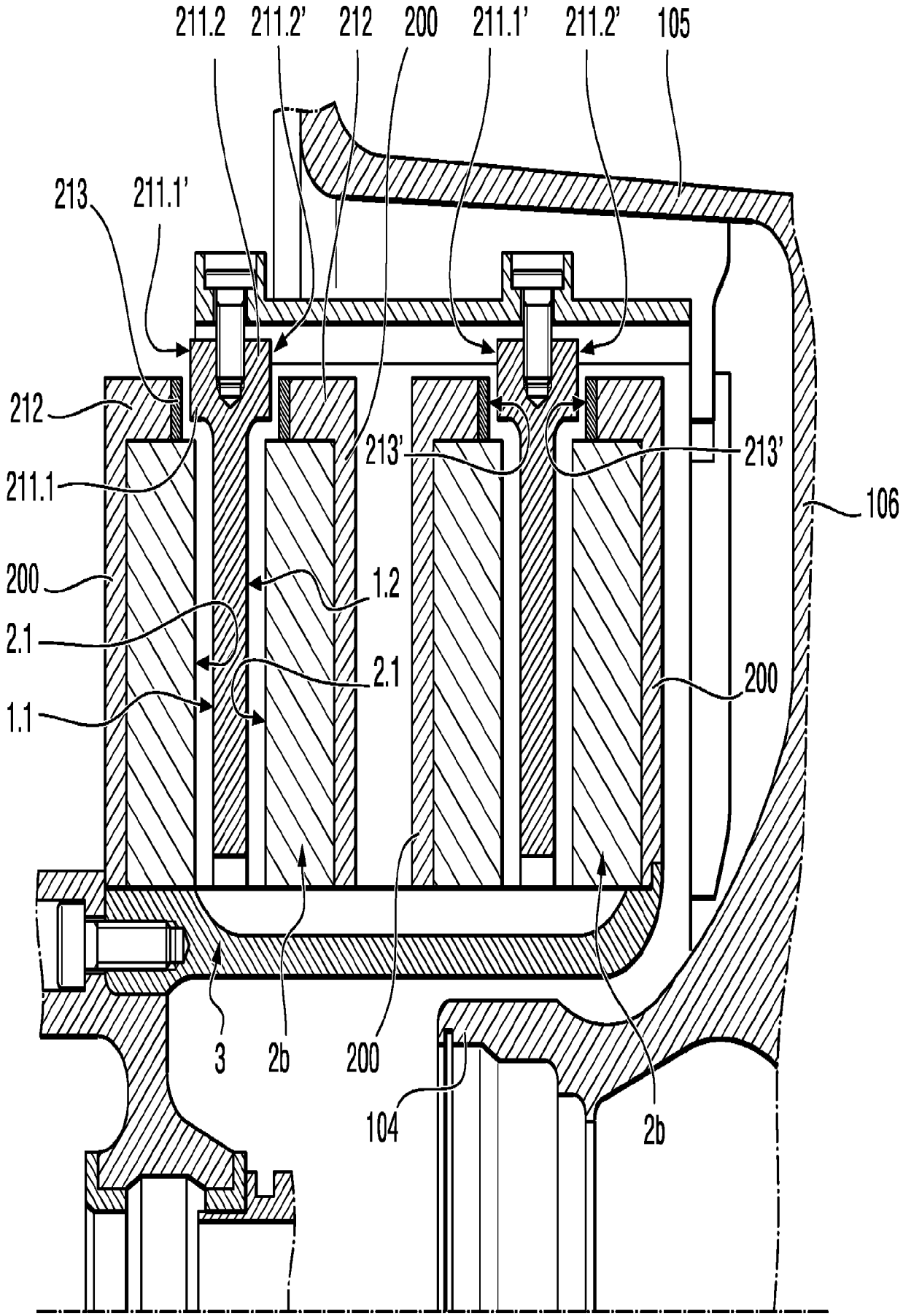

211.2
211.2'
212
200
211.1'
211.2'
105
213
211.1'
212
211.1
213'
213'
106
200
1.2
2.1
2.1
200
1.1
3
2b
200
104
2b

Fig. 16