

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



WIPO | PCT



(10) Numéro de publication internationale
WO 2013/114043 A2

(43) Date de la publication internationale
8 août 2013 (08.08.2013)

(51) Classification internationale des brevets : Non classée

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2013/050196

(22) Date de dépôt international :
31 janvier 2013 (31.01.2013)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1251003 2 février 2012 (02.02.2012) FR

(71) Déposant : NOVATEM [FR/FR]; 3 Rue Merlin de Thionville, F-11110 Coursan (FR).

(72) Inventeur : NOGAREDE, Bertrand; 3 Rue Merlin de Thionville, F-11110 Coursan (FR).

(74) Mandataires : PALIX, Stéphane et al.; Cabinet Laurent & Charras, Le Contemporain, 50 Chemin de la Bruyère, F-69574 Dardilly Cédex (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,

BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Publiée :

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

(54) Title : ELECTRICAL MACHINE HAVING A MODULAR STATOR STRUCTURE

(54) Titre : MACHINE ÉLECTRIQUE PRÉSENTANT UNE STRUCTURE STATORIQUE MODULAIRE

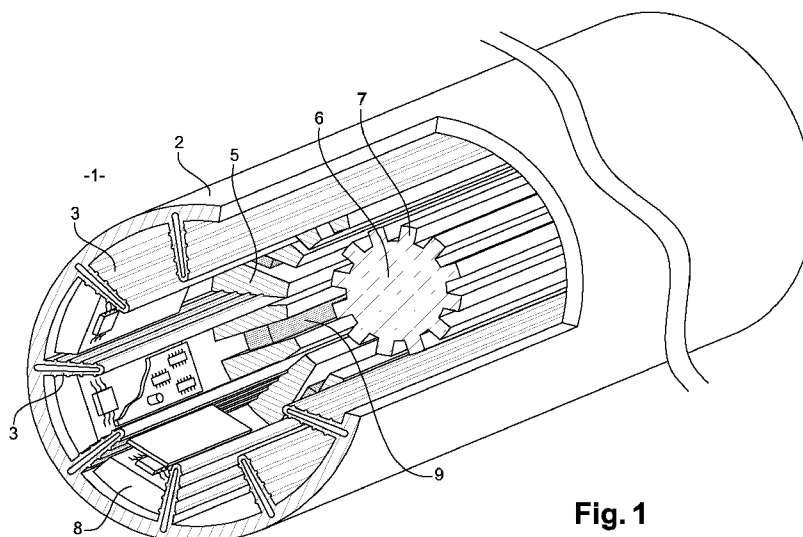


Fig. 1

(57) Abstract : An electrical machine (1), the stator of which comprises a chassis (2), and a plurality of stator modules (5) arranged on said chassis (2) at equal angles, each module (5) comprising a winding (9) that can generate a magnetic field, characterised in that each stator module (5) comprises: a central portion (20) on which said winding (9) is orthoradially wound; two side portions (21, 22) each forming a pole (33, 34) oriented towards the rotor, said chassis (2) comprising a plurality of radial walls (3) cooperating with the outer faces (31, 32) of the side portions (21, 22) of said stator modules to hold them in position. Figure

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

Machine électrique (1), dont le stator comporte un châssis (2), et une pluralité de modules statoriques (5) répartis équiangulairement sur ledit châssis (2), chaque module (5) comportant un bobinage (9) susceptible de générer un champ magnétique, caractérisée en ce que chaque module statorique (5) comporte: une portion centrale (20) sur laquelle est enroulée orthoradialement ledit bobinage (9); deux portions latérales (21, 22) formant chacune un pôle (33, 34) orienté vers le rotor, ledit châssis (2) comportant une pluralité de parois radiales (3) coopérant avec les faces extérieures (31, 32) des portions latérales (21, 22) desdits modules statoriques pour leur maintien en position. Figure N°

MACHINE ELECTRIQUE PRESENTANT UNE STRUCTURE STATORIQUE MODULAIRE

Domaine technique

5 L'invention se rattache au domaine de l'électrotechnique. Elle concerne plus particulièrement une structure de machine électrique, dont le stator comporte une pluralité de modules statoriques assemblés de manière équiangulaire sur un châssis.

Elle vise plus spécifiquement des agencements particuliers autorisant le montage
10 des différents modules sur le châssis, en conservant l'entrefer à une valeur particulièrement réduite, tout en restant compatible avec des tolérances de fabrication concernant les dimensions des modules et les efforts subis en fonctionnement.

Dans la suite de la description, les directions axiale, radiale et orthoradiale seront
15 définies en référence à l'axe de rotation du moteur.

Techniques antérieures

Dans le domaine des moteurs électriques, des conceptions de stators modulaires ont déjà été proposées, dans le but de faciliter la fabrication et le montage d'un moteur, ainsi
20 que sa maintenance.

Ainsi, on connaît par les documents EP 2 001 107, US 2009/0256430, US 2002/0125782 ou US 2005/0194845 des structures de stators qui sont réalisées par l'assemblage de modules statoriques qui sont disposés de manière équiangulaire sur un
25 châssis. Chaque module porte un bobinage de sorte que l'ensemble des modules permet de générer soit un champ tournant, soit un champ dont la présence, la position et l'intensité peuvent être réglées pour interagir de façon appropriée avec le rotor.

Dans le cas de moteurs à réluctance variable, ce rotor possède une ou plusieurs
30 zones proéminentes venant s'aligner avec le champ généré par un des modules. La commande appropriée de chacun des modules permet d'assurer la rotation du rotor.

Dans les structures connues à ce jour, et en particulier dans celles décrites dans les documents précités, chaque module statorique comporte un bobinage conducteur, qui est enroulé dans un plan orthoradial, de sorte qu'il crée un champ radial orienté selon la partie en saillie dirigée vers le rotor.

5

En d'autres termes, ce type de module comporte un pôle unique orienté vers le rotor, de sorte que le champ qu'il génère doit se refermer par le rotor, un ou plusieurs autres modules, ainsi que la carcasse du stator, qui doit donc présenter des propriétés ferromagnétiques.

10

On conçoit que ce type de structure impose des contraintes sur la manière dont l'ensemble du moteur est formé. Or, dans certains cas, on peut imaginer que ces contraintes ne sont pas compatibles avec des tolérances de fabrication, ou conduisent à des dégradations des performances et des coûts supplémentaires par des choix dimensionnels intégrant des marges de sécurité.

L'invention se propose donc de résoudre tout ou partie de ces différents problèmes.

Exposé de l'invention

20 L'invention concerne une machine électrique, dont le stator comporte un châssis et une pluralité de modules statoriques répartis et pris angulairement sur ce châssis, chaque module portant un bobinage susceptible de générer un champ magnétique.

Conformément à l'invention chaque module statorique comporte :

- 25
- une portion centrale sur laquelle est enroulé orthoradialement le bobinage ;
 - deux portions latérales formant chacune un pôle orienté vers le rotor.

Complémentairement, le châssis comporte une pluralité de parois radiales, coopérant avec les faces extérieures des portions latérales des modules statoriques, pour
30 maintenir ces derniers en position.

La machine se caractérise en ce que ces parois radiales possèdent une capacité de déformation par compression dans le sens orthoradial, et comportent un évidement central s'étendant sur tout ou partie de leur longueur.

5 En d'autres termes, l'invention concerne des modules statoriques dont le bobinage est enroulé autour d'un axe orthoradial et qui génère un champ, qui est orienté en direction du rotor grâce aux deux portions latérales de chaque module. L'invention consiste notamment à proposer un châssis dont les parois radiales offrent une bonne stabilité mécanique grâce à leur possible déformation par compression dans le sens
10 orthoradial, et une bonne stabilité thermique grâce à la présence d'un évidement central garantissant à la fois une flexibilité mécanique et offrant un espace permettant à un fluide de circuler à l'intérieur des parois radiales.

La présence de deux pôles au sein d'un même module permet de générer un champ
15 qui se referme quasi uniquement par la portion du rotor en regard du module concerné, sans cheminer par le reste des autres modules ou du châssis.

Ces différents modules sont enchâssés entre deux parois consécutives, et chaque module peut donc être extrait du moteur de façon indépendante.

20 Diverses dispositions peuvent être avantageusement adoptées pour assurer un maintien en position des modules par rapport au châssis en assurant le maintien de l'entrefer à un niveau très faible et surtout constant.

25 Ainsi, pour ce faire, les parois comportent au moins une zone en relief s'étendant axialement, coopérant avec une zone en relief complémentaire présente sur la face extérieure d'un module statorique. Autrement dit, les surfaces en regard du module et de la paroi ne sont pas planes, mais s'interpénètrent partiellement, pour empêcher tout mouvement du module statorique selon une direction radiale, de manière à maintenir
30 l'entrefer à une valeur constante.

Ces zones en relief permettent également d'augmenter la surface de contact entre les parois et les modules statoriques, garantissant une meilleure dissipation de la chaleur depuis les modules statoriques vers les parois. Ceci contribue à assurer une meilleure stabilité thermique des modules statoriques.

5

La forme et le positionnement ainsi que le nombre des zones en relief peuvent varier en fonction des applications.

Ainsi, les zones en relief peuvent former des excroissances situées
10 préférentiellement sur la paroi, auquel cas la face extérieure du module présente des zones en creux. Il est également envisageable d'adopter la configuration opposée.

Avantageusement en pratique, la zone en relief peut présenter une forme courbe. Une telle disposition est avantageuse pour la réalisation de modules statoriques à base de
15 matériaux ferromagnétiques fabriqués à partir de poudre compressée.

Divers agencements peuvent être prévus au niveau des parois de maintien du module, pour assurer conjointement des fonctions de refroidissement et de compensation des tolérances de fabrication.

20

Ainsi, comme évoqué précédemment, les parois possèdent avantageusement une capacité de déformation par compression dans le sens orthoradial. Une telle propriété permet de compenser des tolérances de fabrication liées à la fabrication des modules. Elles permettent également d'insérer les modules en force, pour éviter tout mouvement
25 ultérieur.

Les parois comportent également un évidement central, s'étendant sur toute ou partie de leur longueur. Un tel évidement permet de former un canal dans lequel peut circuler un fluide, gazeux ou liquide, permettant d'assurer le refroidissement du moteur.
30 En effet, la source principale de chaleur est constituée par le bobinage, qui est thermiquement connecté au corps du module, qui est lui-même en contact direct avec les parois qui contiennent ce canal de ventilation. Ce principe de refroidissement est également avantageux vis-à-vis de l'extraction des pertes d'origine magnétique dissipées

au sein même du matériau ferromagnétique constituant le module, sous l'effet de la haute fréquence de variation du champ.

Dans une forme particulière de réalisation, l'évidement central peut se prolonger au-
5 delà de la base de la paroi, à l'intérieur du châssis, de manière à augmenter encore les capacités d'échange calorifique.

La fonction de refroidissement grâce à cet évidement central peut se combiner avec une plus forte capacité de déformation, dans le cas où l'évidement est ouvert en direction
10 de l'extrémité distale de la paroi, c'est-à-dire l'extrémité orientée vers le rotor. Dans ce cas, l'ouverture de cet évidement peut être comblée par un matériau compressible. Dans ces conditions, les mouvements engendrés par les efforts créés lors du fonctionnement du moteur, peuvent légèrement déformer la paroi en comprimant l'élément par exemple élastomérique qui bouche l'ouverture du canal de ventilation.

15

Selon d'autres aspects de l'invention, les modules statoriques peuvent être conçus de manière à améliorer les performances électromagnétiques du moteur.

Ainsi, avantageusement en pratique, les deux portions latérales du module
20 statorique peuvent présenter leurs faces intérieures qui sont parallèles entre elles, et donc perpendiculaires à l'axe d'enroulement du bobinage. De cette manière, le logement à l'intérieur duquel est enroulé le bobinage présente une section rectangulaire, permettant un remplissage optimal par des machines de bobinage automatisé.

25 On préférera avantageusement que le bobinage vienne au contact direct des faces intérieures des portions latérales des modules, de manière à améliorer l'échange thermique avec le matériau magnétique du module statorique.

La configuration parallèle des faces internes des portions latérales des modules
30 statoriques fait que les portions latérales présentent une section trapézoïdale, avec une petite base orientée vers le rotor, facilitant ainsi la saturation et la concentration du champ magnétique au niveau des zones ferromagnétiques en regard du rotor.

La conception modulaire du moteur et en particulier la présence de parois équipées de moyens de blocage s'étendant axialement permet également d'implanter les modules électroniques de contrôle/commande dans le châssis. Plus précisément, les modules de commande peuvent être maintenus en position entre les deux parois, en étant disposés en
5 décalage axial par rapport au module statorique. Autrement dit, les modules de contrôle/commande électroniques sont disposés dans l'alignement du module statorique dans une partie du moteur situé dans le prolongement de la zone magnétique. Ceci permet en particulier d'utiliser un châssis de section constante fabriquée à partir de profilés, dont une partie reçoit le module statorique, et l'autre partie, les modules de
10 contrôle/commande.

Dans cette configuration, il est aisé d'associer un module de contrôle/commande à un module statorique, pour obtenir une indépendance totale du module en termes de contrôle/commande, en particulier lorsque le module de contrôle/commande compte un
15 capteur évaluant la position du rotor.

Dans une forme particulière de réalisation, chaque dispositif de contrôle/commande peut comporter une semelle au contact du châssis, cette semelle recevant les composants électroniques au travers desquels transite le courant circulant dans le bobinage du module
20 statorique. Ainsi, par cette semelle métallique, la chaleur dégagée par ces composants électroniques de puissance est transférée vers le châssis, évitant ainsi une élévation trop importante de la température des composants électriques.

Différentes architectures peuvent être prévues pour le module de
25 contrôle/commande, qui peuvent ainsi comporter au moins un circuit imprimé monté parallèlement, ou perpendiculairement à la face supérieure de la semelle, au contact du châssis.

Complémentairement, les parois peuvent avantageusement comporter un évidement
30 spécifique accueillant des organes d'interconnexion électrique entre les modules magnétiques, les modules électroniques de contrôle/commande et le système externe d'alimentation et de commande.

Une telle machine peut accueillir diverses structures de rotor, fonctionnant sur un principe similaire dans lequel le champ créé par chaque module statorique se referme par la portion du rotor en regard. Il peut ainsi s'agir d'un rotor à pôles saillants, en matériau ferromagnétique, de manière à former ce qu'il est convenu d'appeler une machine à 5 réluctance variable. Il peut également s'agir d'un rotor polarisé, comportant des bobinages et des pôles formés selon un principe analogue à celui décrits pour les modules statoriques, avec des pôles saillants ou non. Il peut encore s'agir d'un rotor polarisé, dont les paires de pôles sont formées par des aimants permanent, avec la possibilité d'avoir des pôles lisses, sans variation de réluctance.

10

Description sommaire des figures

La manière de réaliser l'invention, ainsi que les avantages qui en découlent ressortiront bien de la description du mode de réalisation qui suit, à l'appui des figures annexées, dans lesquelles :

15 La figure 1 est une vue en perspective sommaire d'une machine conforme à l'invention, montrant le châssis du stator partiellement écorché, de manière à laisser apparaître les modules statoriques et le rotor.

La figure 2 est une vue en perspective sommaire d'un module statorique montré sans bobinage, avant mise en place dans la machine de la figure 1.

20 La figure 3 est une vue en perspective sommaire d'une portion du châssis du stator, avant mise en place du module statorique.

La figure 4 est une vue en perspective sommaire d'un module électronique de contrôle/commande avant mise en place dans le châssis de la machine de la figure 1.

25 La figure 5 est une vue en perspective sommaire d'un détail d'une paroi du châssis selon une variante de réalisation, montrant un canal de passage de moyens de connexion électrique entre le module statorique, le module de contrôle/commande associé et le système externe d'alimentation et de commande.

Bien entendu, les dimensions et proportions des différents éléments illustrés aux 30 figures ont été choisies pour faciliter la compréhension de l'invention, et peuvent s'écarter de la réalité.

Manière de réaliser l'invention

Le moteur 1 illustré à la figure 1 comporte de façon générale un châssis 2 formé à base de profilés, et comportant des parois 3 entre lesquelles sont installés des modules statoriques 5. Entre ces modules statoriques 5, se trouve le rotor 6, qui possède des dents 5 proéminentes 7. Ainsi, l'exemple illustré correspond à une machine à réluctance variable à pôles rotoriques et statoriques saillants.

Dans la forme illustrée, la longueur du rotor 6 a été réduite, pour laisser apparaître les modules statoriques 6, et les modules de contrôle/commande 8 qui sont insérés 10 également entre deux parois 3.

En référence à la figure 2, un module statorique 5 illustré sans bobinage, se compose d'une portion centrale 20 et de deux portions latérales 21, 22. La portion centrale 20 comporte un noyau 23 autour duquel sera enroulé le bobinage. Ce noyau 23 15 possède donc une hauteur constante mesurée dans le sens radial. La portion centrale se délimite entre les portions latérales 22, et plus précisément les faces intérieures 26, 27 de ces portions latérales, qui définissent entre elles le volume destiné à accueillir le bobinage. Ce volume possède donc une section sensiblement rectangulaire qui permet un remplissage optimal par le fil du bobinage en assurant un contact de ce bobinage sur les 20 faces intérieures 26, 27, en vue de la dissipation de la chaleur au travers des portions latérales 21, 22, en direction du châssis.

Les portions latérales 21, 22 présentent leurs faces extérieures 31, 32, qui sont orientées sensiblement radialement, et qui ne sont donc pas parallèles aux faces 25 intérieures 26, 27 des portions correspondantes. Par conséquent, la section de ces portions latérales est légèrement trapézoïdale avec un petit côté formant les pôles 33, 34, orienté du côté du rotor, qui est plus étroit que le grand côté 35, 36 opposé qui vient au contact du châssis.

30 Par cette forme trapézoïdale, le champ généré par le bobinage enroulé autour du noyau 23, et qui est donc orthoradial au sein du noyau 23 est ensuite guidé et concentré au niveau des faces 33, 34 en regard du rotor. On notera que la présence de deux pôles par module permet de refermer le champ par le rotor. Pour faire en sorte que le champ se

referme exclusivement par le rotor, on choisira avantageusement de réaliser le châssis en un matériau amagnétique, pour éviter que le champ ne se referme par les portions du module statorique opposées au rotor. On en retirera un avantage en termes de poids.

5 Conformément à l'invention, les faces extérieures **31**, **32** des portions latérales du module statorique **5** présentent des zones en relief **40**, qui dans la forme illustrée sont formées de canaux sensiblement cylindriques, orientés axialement. Ces zones en creux **40** sont destinées à coopérer avec des zones en relief formées sur des parois du châssis, et en particulier des modules **60** tels qu'illustrés à la figure 3.

10

Le module statorique illustré à la figure 2 peut être réalisé de différentes manières, et par exemple par un empilement de tôles élémentaires, empilées dans le sens axial. Dans le cas d'un empilement de tôles, afin d'utiliser des tôles élémentaires identiques, le bobinage pourra déborder axialement de la partie ferromagnétique du module.

15

Dans une forme de réalisation alternative préférée, le module statorique peut être réalisé à partir d'un matériau magnétique compressé. Dans ce cas, il est possible de lui donner une forme spécifique, permettant de loger l'intégralité du bobinage à l'intérieur du volume global du module sans que le bobinage ne dépasse axialement.

20

Dans le cas d'un emploi d'un matériau compressible, il est possible de réaliser des formes courbes plus favorables à un enroulement du bobinage à fil tendu, avec une augmentation de la surface de contact du bobinage sur le noyau **23** du module statorique.

25 Dans l'une ou l'autre des formes, il est envisageable de combler le volume du module statorique situé au-dessus du bobinage, de manière à ce que le module statorique présente en direction du rotor une surface continue, formant un cylindre dans lequel s'insèrent les surfaces **33**, **34** des pôles du module statorique. De manière équivalente, il est possible de concevoir le rotor de telle sorte à obturer le volume situé entre les dents du
30 rotor, de manière à éviter les turbulences aérodynamiques lors de la rotation du rotor et les bruits associés. Ce volume peut être obturé de différentes manières, soit en le comblant avec un matériau amagnétique, soit en ménageant une surface continue, par exemple avec un film enroulé autour du rotor.

Comme déjà évoqué, le module statorique **5** est après bobinage destiné à être inséré entre des parois radiales **3** réalisées sur le châssis **2**, dont une forme de réalisation est illustrée à la figure 3.

5 Plus précisément, et dans cette forme illustrée, ces parois **3** sont réparties équiangulairement sur la carcasse du châssis **2**, et présentent des faces **61** en regard des faces extérieures **31**, **32** du module statorique. Ces parois **3**, et plus précisément leur face principale **61**, possèdent des zones en relief **60** complémentaires des zones en creux **40** du module statorique **5**. Ces zones en relief **60** présentent une forme sensiblement
10 cylindrique formant des lunules bloquant le déplacement radial des modules statoriques. Le nombre, la forme ainsi que le positionnement des lunules peuvent varier en fonction des applications. Ces lunules augmentent également la surface de contact entre les parois et les modules statoriques, permettant de rendre plus efficace la dissipation de chaleur depuis les modules statoriques vers les parois.

15

Dans le cas où on utilise pour le module statorique des matériaux ferromagnétiques compressés, on privilégie les formes de lunules qui ne possèdent pas d'angles vifs, pour limiter les zones de fragilité dans les matériaux compressés.

20 L'effet mécanique d'accrochage des zones en relief complémentaire entre les modules statoriques et les parois se double d'une augmentation de la surface d'échange thermique entre le module et la paroi et donc le châssis, ce qui améliore le bilan thermique du moteur.

25 Dans la forme particulière illustrée à la figure 3, la paroi **3** se compose de deux pans **64**, **65** qui sont séparés par un canal **66** allongé radialement. Ce canal **66** débouche à l'extrémité distale de la paroi **3** au niveau d'une ouverture **67** formant une fente sur la face **68** orientée vers le rotor. La largeur de cette fente peut être adaptée pour régler l'amplitude de la déformation élastique de la paroi. Pour refermer le canal **66** au niveau
30 de la fente **67**, un joint compressible **70** peut être inséré. Ce joint assure d'une part, l'étanchéité du canal **66** à l'intérieur duquel peut circuler un fluide de refroidissement, et d'autre part, assure une partie de la raideur et de l'amortissement de la déformation des

pans **64**, **65** de la paroi. Bien entendu, l'épaisseur du canal **66** et des pans **64**, **65** sont déterminées en fonction des niveaux d'efforts exercés.

Cette capacité de déformation des parois **3** dans le sens orthoradial permet d'assurer
5 le maintien axial du module statorique, qui est inséré en force entre deux parois consécutives. Cette capacité de déformation des parois **3** permet également de compenser des écarts dimensionnels dans la fabrication des modules statoriques. De plus, en fonctionnement, l'échauffement des modules statoriques et donc leur dilatation peut être différente de celle du châssis, de sorte que la capacité de déformation des parois permet
10 également de compenser ces écarts de variation dimensionnelle.

Complémentairement, toujours en fonctionnement, chaque module statorique est activé de manière décalée par rapport à ses modules voisins, et est donc l'objet d'efforts localisés. La capacité de déformation des parois permet de compenser partiellement
15 l'effet de ces efforts. L'élasticité de préhension des modules dans le sens orthoradial assure le découplage vibratoire des modules par rapport au châssis, sous l'effet de la variation à haute fréquence des efforts tangentiels subis de la part du rotor.

Comme déjà évoqué, le canal **66** peut être utilisé pour y faire circuler un fluide,
20 liquide ou gazeux, permettant d'assurer l'évacuation de la chaleur produite au niveau des modules, et transmise à travers les pans au contact du module. La forme radiale allongée des canaux **66** permet de récupérer la chaleur sur la quasi-totalité de la hauteur du module statorique. Pour améliorer la capacité d'échange thermique, le canal **66** peut se prolonger radialement à l'intérieur de la carcasse du châssis, dans le but d'augmenter la surface
25 d'échange.

Des agencements classiques tels que des ailettes peuvent être prévus sur le châssis pour assurer l'évacuation de la chaleur dans le milieu ambiant.

30 Selon un autre aspect de l'invention, le moteur comporte un ensemble d'unités de contrôle/commande qui sont chacune dédiées au fonctionnement d'un module statorique.

Ce module de commande électronique agit de façon classique pour un moteur à réluctance variable par la commande des interrupteurs statiques, qui permettent de laisser passer ou de couper le courant à l'intérieur du bobinage du module, en fonction de la position du rotor.

5

Mécaniquement, et comme illustré à la figure 4, un module **80** est destiné à venir être inséré entre deux parois **3** du châssis **2**, dans l'alignement du module statorique correspondant. Pour ce faire, le module **80** présente une semelle **81**, réalisée en un matériau conducteur, thermiquement, typiquement à base d'aluminium. Cette semelle **81**
10 présente une face à l'extérieur **82** destinée à venir au contact du châssis pour permettre le transfert de la chaleur produite par les composants électroniques de puissance **83** situés sur sa face supérieure **84**. Les faces latérales **85** de la semelle **81** présentent une rainure **86** permettant de recevoir une lunule **60** de la paroi.

15 Il est toutefois possible que le montage du module électronique **80** se fasse par d'autres moyens, mais l'emploi de moyens identiques à ceux du maintien du module statorique **5** permet d'utiliser des châssis réalisés à partir d'éléments profilés.

En fonction des contraintes d'encombrement, des composants volumineux et en
20 particulier des condensateurs **88** peuvent être installés directement sur la semelle. Une ou plusieurs cartes électroniques formée par des circuits imprimés **89** peuvent être montées sur la semelle, de manière à assurer les fonctions de régulation.

Il est également possible de monter sur ces cartes électroniques, ou sur un autre
25 organe approprié, un capteur destiné à venir détecter la présence d'une dent du rotor, ou de manière plus générale d'un organe prévu à cet effet sur le rotor, de manière à détecter la position angulaire du rotor.

En fonction des contraintes d'encombrement, la ou les cartes électroniques **89**
30 peuvent être disposées à plat sur la semelle **81**, ou encore perpendiculairement à cette dernière, par exemple dans le cas où elles supportent le capteur de position angulaire du rotor.

Outre les fonctions de maintien mécanique et de canalisation du fluide de refroidissement, les parois formant des glissières peuvent avantageusement intégrer les conducteurs assurant l'interconnexion des modules électromagnétiques avec les modules électroniques en regard d'une part, et les modules électroniques avec le jeu de
5 conducteurs d'alimentation continue de la machine et son dispositif de contrôle d'autre part.

La Figure 5 illustre un mode de réalisation possible du système d'interconnexion. Pour ce faire, la paroi 3 comporte comme déjà évoqué un canal de refroidissement 66
10 formé entre deux pans 64, 65. Cette paroi 3 comporte également un canal spécifique 90, séparé du canal de refroidissement 60 par une cloison 91, et délimité vers l'extérieur par une fraction 92 du pan 64, sur lequel se trouvent les lunules 60. Ce canal spécifique 90 accueille un circuit électrique planaire, pouvant avantageusement être formé d'un circuit imprimé 93. Ce circuit imprimé 93 peut être maintenu dans le canal 90 au moyen de deux
15 rainures axiales (non représentées). Une fenêtre 97 pratiquée dans la face 92 permet la traversée des conducteurs. En vue de permettre une insertion et un démontage aisés des modules, le contact électrique est assuré au moyen d'un jeu de contacts électriques, par exemple des lames souples 96 connectées aux pistes conductrices 94 cheminant sur le circuit intégré 93. Ces lames souples 96 sont situées en regard des terminaisons
20 électriques des modules électromagnétiques ou électroniques insérés entre les parois 3. Autant de points de contact que nécessaires sont utilisés pour transmettre les signaux de puissance et/ou de contrôle. Cela concerne en particulier la connexion entre un module statorique et le module de contrôle/commande associé, pour assurer par exemple l'interconnexion des deux pôles de la bobine avec les sorties du module électronique
25 correspondant. Cela concerne également la connexion entre les modules de contrôle/commande et le système externe d'alimentation et de commande, et par exemple des circuits assurant l'alimentation en courant continu des modules électronique de contrôle/commande. Dans ce dernier cas, les conducteurs axiaux cheminant dans l'évidement 90, et débouchant à l'extrémité de la machine, peuvent être avantageusement
30 collectés au moyen d'un circuit planaire, et par exemple sous forme d'un circuit imprimé, en forme d'anneau appliqué contre un des flasques du moteur.

On notera que pour le système de refroidissement, un principe similaire peut être utilisé pour assurer l'interconnexion hydraulique ou aéraulique des différents canaux axiaux dans lesquels circule le fluide de refroidissement. Les flasques de la machine supportant les paliers du rotor, peuvent être ainsi munis de cavités creusées dans leur
5 épaisseur et permettant de relier et d'alimenter, en série ou en parallèle, l'ensemble des canaux axiaux de refroidissement.

Il ressort de ce qui précède que le moteur conforme à l'invention présente de multiples avantages, et en particulier celui d'assurer un découplage de fonctionnements
10 de chacune des phases, tant sur le plan électrique, magnétique et mécanique que de sa commande électronique. L'autonomie de chacune des phases permet d'augmenter la fiabilité et facilite la maintenance. La conception de ce moteur permet d'augmenter les fréquences de travail, ainsi que le nombre de phases. Ce dernier point, combiné au découplage vibratoire que procure l'élasticité orthoradiale du système de fixation des
15 modules sur le châssis, permet d'assurer un lissage du couple, dont la variation dans le temps et les vibrations associées constituent un des points négatifs des moteurs à réluctance variable.

Du fait que la carcasse du châssis n'est pas en matériau magnétique, on rend
20 également possible des gains de poids. Le choix approprié du matériau utilisé pour la réalisation de la carcasse du châssis, avantageusement un alliage d'aluminium, permet de réduire le poids de la machine. Cette amélioration des performances massiques de la machine est également renforcée par les conditions de refroidissement très favorables du stator, grâce à l'extraction « à cœur » de la chaleur à travers les parois du système de
25 maintien des modules. Ainsi, comparée aux structures de stator classiques, dans lesquelles les bobinages sont enroulés autour de plots radiaux issus d'une culasse périphérique, l'architecture proposée permet une augmentation significative de la densité du courant au sein des bobinages pour un même échauffement. Enfin la conception modulaire du stator, associée au maintien collectif de ses éléments actifs électromagnétiques et électroniques
30 au moyen d'un châssis extrudé monobloc intégrant les fonctions de maintien mécanique, de refroidissement, voire d'interconnexion électrique, offre la possibilité d'une fabrication partiellement ou totalement automatisée.

Applications industrielles

De par sa conception, ce moteur se trouve particulièrement avantageux pour les applications requérant un niveau de puissance relativement important, pouvant aller
5 jusqu'à quelques centaines de kilowatts, et ce avec une compacité élevée. Il peut donc être employé en différentes applications dans des domaines de la traction, et en particulier automobile. Compte tenu de sa réversibilité de fonctionnement, il peut également être utilisé comme générateur, pour constituer par exemple une unité de production d'électricité en association avec un moteur thermique. La simplicité de constitution de son
10 rotor denté pour former une machine à réluctance variable, combinée à la possibilité de travailler à haute fréquence grâce à l'architecture de stator proposée, permet en particulier la réalisation de groupes électrogènes à grandes vitesses de rotation.

REVENDICATIONS

1/ Machine électrique (1), dont le stator comporte un châssis (2), et une pluralité de modules statoriques (5) répartis équiangulairement sur ledit châssis (2), chaque module
5 (5) comportant un bobinage (9) susceptible de générer un champ magnétique, chaque module statorique (5) comportant :

- une portion centrale (20) sur laquelle est enroulée orthoradialement ledit bobinage (9) ;
- deux portions latérales (21, 22) formant chacune un pôle (33, 34) orienté vers le
10 rotor,

ledit châssis (2) comportant une pluralité de parois radiales (3) coopérant avec les faces extérieures (31, 32) des portions latérales (21, 22) desdits modules statoriques pour leur maintien en position, ladite machine électrique (1) étant caractérisée en ce que les parois radiales (3) possèdent une capacité de déformation par compression dans le sens
15 orthoradial, et comportent un évidement central (66) s'étendant sur tout ou partie de leur longueur.

2/ Machine électrique selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** les parois (3) comportent au moins une zone en relief (60), coopérant avec une zone en relief
20 complémentaire (40) présente sur la face externe (31) en regard d'un module statorique (5).

3/ Machine électrique selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** la zone en relief (60) forme une excroissance présente sur la paroi (3).

25

4/ Machine électrique selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** la zone en relief (60) présente une forme courbe.

5/ Machine électrique selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** l'évidement
30 central se prolonge au-delà de la paroi (3) à l'intérieur du châssis (2).

6/ Machine électrique selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** l'évidement (66) est ouvert en direction de l'extrémité distale de la paroi, l'ouverture (67) de l'évidement (66) étant comblé par un matériau compressible (70).

5 7/ Machine électrique selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** les deux portions latérales (21, 22) des modules statoriques (5) présentent leur face intérieure (26, 27) qui sont parallèles et perpendiculaires à l'axe d'enroulement du bobinage (9).

8/ Machine électrique selon la revendication 7, **caractérisée en ce que** le bobinage vient
10 au contact des faces intérieures (26, 27) des portions latérales (21, 22) des modules statoriques (5).

9/ Machine électrique selon la revendication 1, **caractérisée en ce qu'il** comporte un dispositif de contrôle/commande (80) dédié à chaque module statorique, chaque dispositif
15 de contrôle/commande étant maintenu en position entre deux parois (3) maintenant les modules statoriques (5), disposé en décalage axial par rapport au module statorique (5) qu'il commande.

10/ Machine électrique selon la revendication 9, **caractérisée en ce que** le dispositif de
20 contrôle/commande comporte une semelle (81) au contact du châssis (2), ladite semelle recevant des composants électroniques (83) au travers desquels transite le courant circulant dans le bobinage (9) du module statorique (5).

11/ Machine électrique selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** chaque dispositif
25 de contrôle/commande comporte au moins un circuit imprimé (89) monté parallèlement ou perpendiculairement à la face supérieure (84) de la semelle (81).

12/ Machine électrique selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** les parois (3) incluent des organes (93) de connexion électrique entre les dispositifs de contrôle
30 commande (80), les modules statoriques (5) et le système externe d'alimentation et de commande.

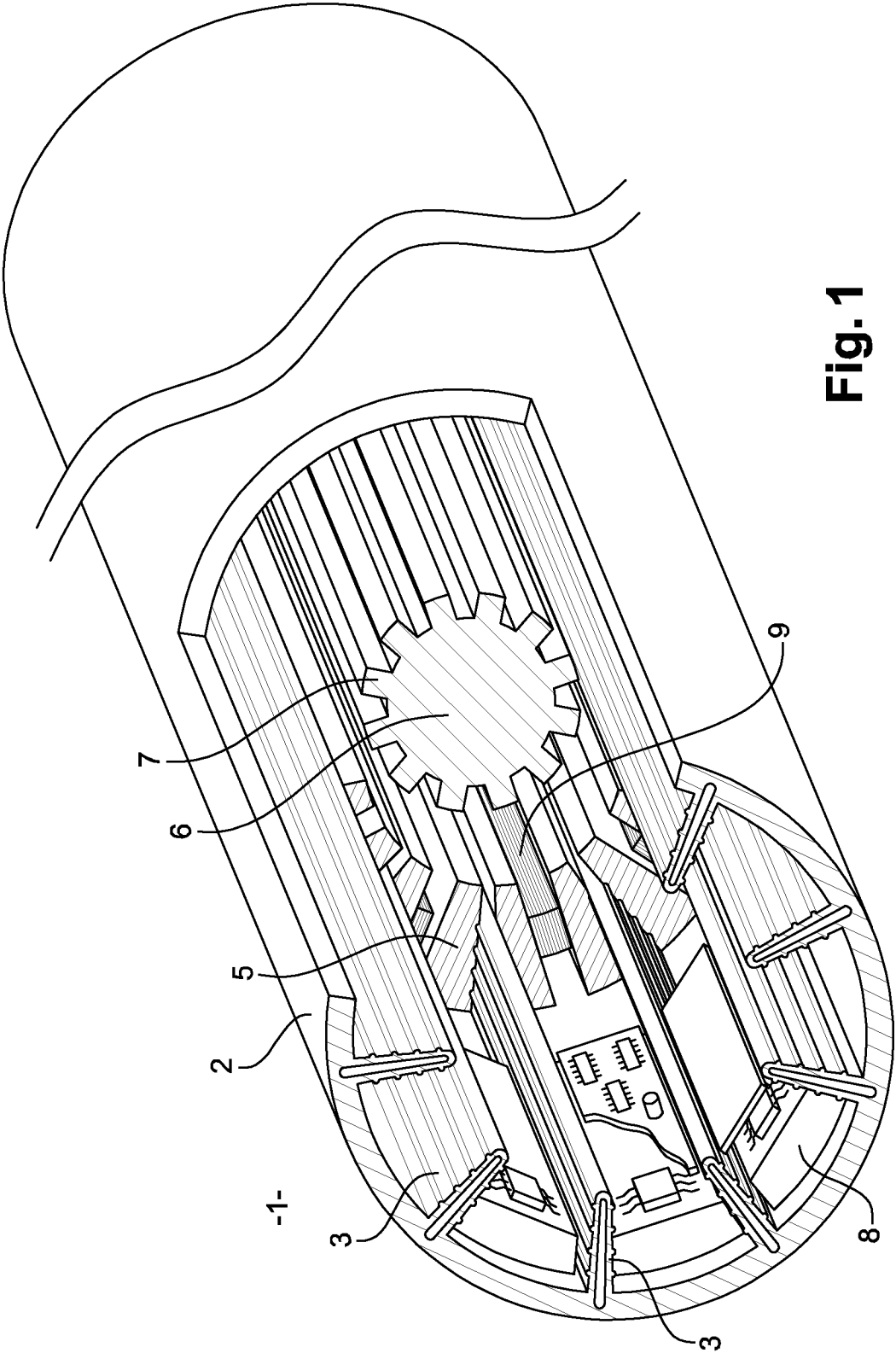
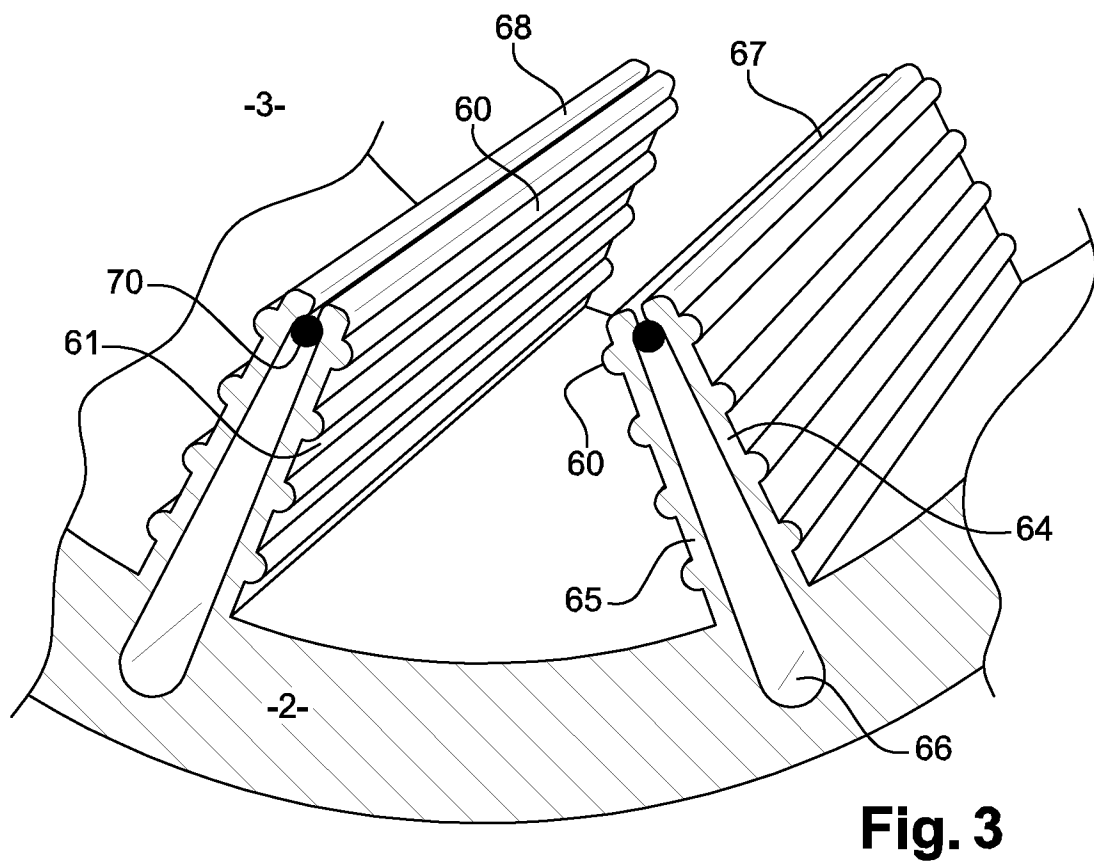
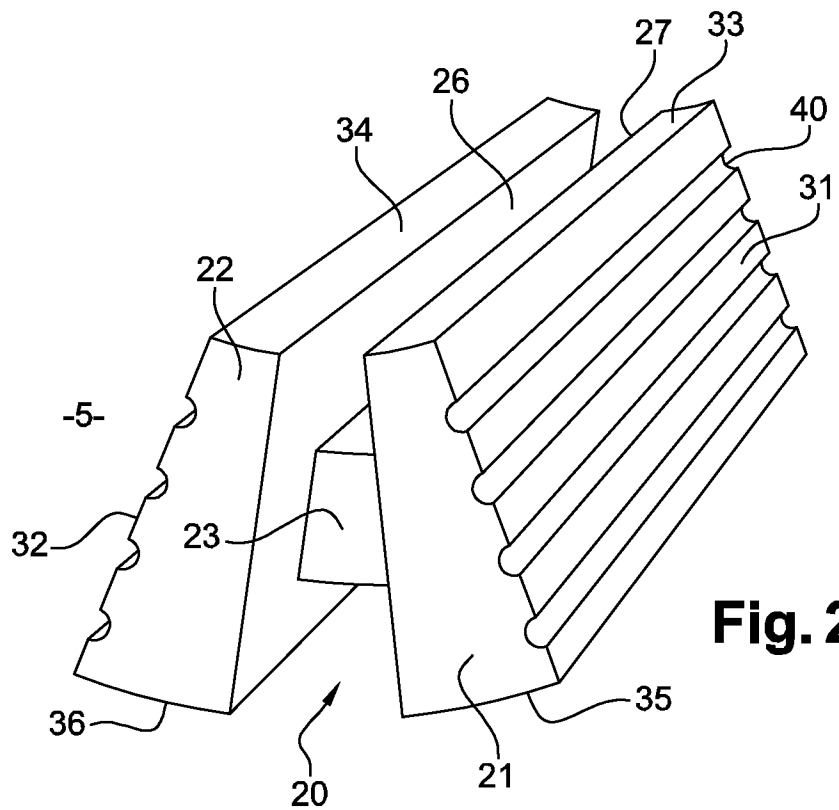


Fig. 1

2 / 3



3 / 3

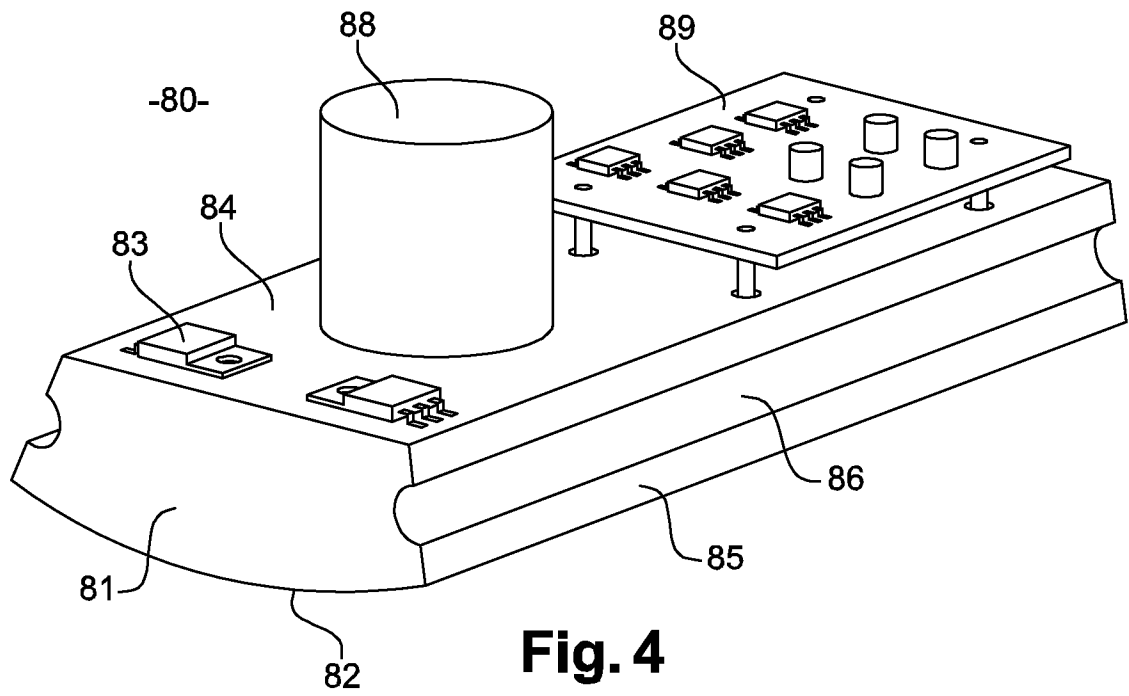


Fig. 4

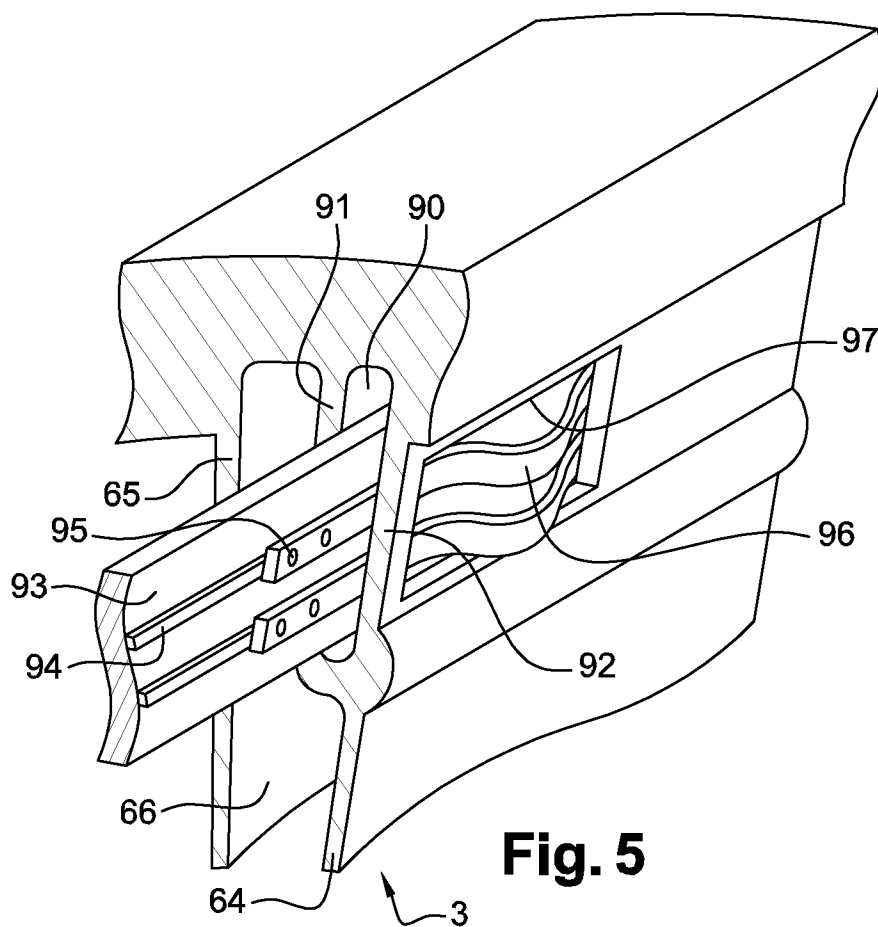


Fig. 5