

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ MOTEUR ELECTRIQUE DE FORTE COMPACITE.

②② Date de dépôt : 17.08.17.

③⑦ Priorité :

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : **BNCE — FR.**

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 22.02.19 Bulletin 19/08.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 03.07.20 Bulletin 20/27.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : **NOGAREDE BERTRAND.**

⑦③ Titulaire(s) : **BNCE.**

⑦④ Mandataire(s) : **CABINET LAURENT ET CHARRAS.**



MOTEUR ELECTRIQUE DE FORTE COMPACITE

Domaine technique

L'invention se rattache au domaine de l'électrotechnique et plus précisément
5 des machines tournantes. Elle concerne plus spécifiquement une structure de
moteur électrique synchrone. L'invention peut s'appliquer aux machines dont le
rotor présente des pôles lisses ou saillants, à aimants permanents ou à pôles
bobinés, ainsi que les machines à réluctance variable.

10 Elle vise plus précisément une structure de ce type de moteur qui présente
une grande compacité alliée à une précision de la détection de la position
rotorique, combinée à une facilité de fabrication.

Techniques antérieures

15 De façon générale, les moteurs électriques, et en particulier les moteurs de
forte compacité comportent un stator cylindrique creux, qui forme le circuit
magnétique par lequel se referme le champ magnétique généré par les bobinages
statoriques, qui sont alimentés électriquement en tension et/ou courant, en fonction
des consignes de couple et/ou de vitesse recherchées.

20

Pour ce faire, s'agissant par exemple des machines à bobinage concentré, le
stator présente des portions proéminentes radiales, orientées vers l'intérieur du
stator, et formant les pôles autour desquels sont bobinés les bobinages statoriques.
Le rotor est inséré dans le volume creux du stator, et présente une géométrie telle
25 qu'elle intègre les aimants permanents destinés à interagir avec le champ statorique
tournant.

Pour améliorer les performances concernant les pertes magnétiques au stator,
il est connu par le document EP 1 902 452 de réaliser des circuits magnétiques
30 feuilletés dans lesquels les différentes tôles élémentaires sont assemblées par

collage, avant de réaliser la découpe du circuit magnétique statorique, intégrant les pôles radiaux par des techniques d'électroérosion.

Pour la commande de ce type de moteur, il est nécessaire d'avoir accès à la position angulaire du rotor. Il est ainsi connu d'utiliser les capteurs de champ magnétique, par exemple des capteurs à effet Hall, qui sont implantés en extrémité de moteur. Ces capteurs sont généralement orientés avec un axe sensible radial, de manière à détecter la fraction du champ magnétique des aimants du rotor, qui se referme au niveau des extrémités du rotor. Ainsi, ces capteurs délivrent un signal dont la partie utile varie entre deux valeurs maximales théoriquement opposées, en fonction de la polarité du pôle en regard duquel se trouve le capteur. Ces signaux sont relativement constants pendant toute la période où le capteur se trouve dans un secteur polaire, ce qui ne permet pas une détection angulaire précise en temps réel. En outre, ces capteurs sont malheureusement également sensibles au champ statorique dont les fuites s'échappent également par les extrémités du moteur. Ainsi, pour obtenir une discrimination suffisante des deux champs, il est souvent nécessaire de rallonger la partie magnétique du rotor, sans augmenter ses performances, mais au contraire en dégradant sa compacité.

20 **Exposé de l'invention**

Un des objectifs de l'invention est d'obtenir un moteur électrique qui combine à la fois une grande compacité avec une précision élevée de la détection de la position rotorique.

25 Pour ce faire, le Demandeur a conçu un moteur électrique synchrone à aimants permanents ou à reluctance variable, dont le circuit magnétique du stator est formé d'un empilement de tôles perpendiculaires à l'axe de rotation du moteur. Cet empilement forme un corps cylindrique creux dont la surface interne présente des excroissances formant des pôles radiaux, s'étendant axialement, ces pôles recevant
30 chacun un bobinage statorique formé par l'enroulement d'un fil conducteur autour du pôle en question.

Conformément à l'invention, ce moteur se caractérise en ce qu'il comporte une virole présentant une première portion reposant sur l'empilement de tôles, entre les bobinages statoriques, et une seconde portion de plus grand diamètre, s'étendant
5 radialement par-dessus les bobinages statoriques. La première portion de la virole assure le blocage radial des bobines. Le moteur comporte également un circuit imprimé qui repose sur la seconde portion de la virole. Ce circuit imprimé comporte des pistes conductrices sur lesquelles sont connectées les extrémités des bobinages statoriques, ces pistes étant agencées pour assurer la connexion
10 électrique entre les bobinages statoriques entre eux selon un circuit équilibré. Ce moteur comporte également des capteurs de champ magnétique mécaniquement fixés à ladite virole et/ou audit circuit imprimé, et aptes à générer des signaux variables en fonction de la position rotorique. Par capteur de champ magnétique, on entend un capteur sensible au champ magnétique qui règne dans son voisinage,
15 comme un capteur de type à effet Hall ou analogue, ou bien encore des capteurs inductifs, conçus pour mesurer une variation d'impédance d'un bobinage en fonction de la position d'un circuit magnétique mobile, comme par exemple dans le cas d'une machine à réluctance variable.

20 Autrement dit, l'invention consiste à réaliser l'interconnexion des bobines élémentaires du stator par le biais d'un circuit imprimé annulaire, disposé en extrémité du stator, sur une virole reposant sur le circuit magnétique du stator. L'ensemble formé par ce circuit imprimé et la ou les viroles accueille également des capteurs magnétiques qui sont nécessaires pour détecter la position du rotor.
25 Comme le circuit imprimé et la virole sont solidaires du circuit magnétique du stator, la position des capteurs est spatialement constante, et elle est insensible aux variations de géométrie des bobinages statoriques qui peuvent être observées lors de la fabrication de ceux-ci.

30 Dans une forme particulière, les capteurs de champ magnétique sont disposés avec leur axe sensible orienté axialement. Autrement dit, les capteurs sont orientés de

telle sorte qu'ils sont sensibles à la composante axiale du champ magnétique de fuite générée par les pôles aimantés du rotor dans le cas de moteurs à aimants permanents. Ainsi, l'intensité du champ magnétique mesuré varie entre deux valeurs extrêmes opposées lorsque le rotor tourne d'un angle séparant deux de ses pôles. Cette intensité varie de manière continue, de manière sensiblement sinusoïdale, de sorte qu'il est possible de déterminer la position angulaire du rotor avec une précision accrue. En pratique, il est possible de combiner les signaux délivrés par les différents capteurs, typiquement en réalisant des soustractions des signaux issus de capteurs adjacents, de manière à obtenir un système différentiel polyphasé de signaux. Ceci permet de limiter le bruit généré par les commutations de courant au stator, et de s'affranchir des dyssymétries polaires rotoriques qui engendrent des décalages des valeurs maximales du champ magnétique mesuré.

Avantageusement en pratique, il peut être utile de disposer les capteurs au droit des pôles rotoriques en-deçà des extrémités axiales des bobinages statoriques.

Autrement dit, les capteurs sont positionnés sous les têtes de bobines, et non au-delà du plan extrême des têtes de bobines. Les capteurs sont ainsi positionnés sur la face interne du circuit imprimé, orientée en regard du rotor. Cette configuration permet de réduire l'encombrement axial du stator en tirant parti d'un espace généralement perdu, constitué par la zone comprise entre l'extrémité du rotor et celle des têtes de bobines. Le Demandeur a mis en évidence un l'intérêt de ce positionnement des éléments capteurs sous les têtes de bobines qui réside dans l'amélioration de l'immunité des capteurs vis-à-vis du champ engendré par la circulation des courants au stator. La combinaison de ce champ statorique avec le champ rotorique mesuré par les capteurs est intuitivement considérée comme néfaste en ce sens qu'elle peut engendrer des erreurs de lecture angulaire de la position du rotor. Or, sous les têtes de bobines, le Demandeur a identifié qu'il existe une zone dans laquelle le champ de fuite statorique est sensiblement contenu dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation. La sensibilité essentiellement axiale des capteurs permet ainsi de s'affranchir dans cette zone du champ perturbateur généré par le stator.

En pratique, la position angulaire des capteurs peut être choisie de différentes manières. Ainsi, il peut être utile de disposer les capteurs à égale distance des deux bobinages statoriques qui leur sont les plus proches. Autrement dit, les capteurs
5 sont implantés entre deux pôles statoriques, de sorte à limiter l'influence du champ statorique variable sur le champ global mesuré par les capteurs. Dans ce cas, il peut être nécessaire d'employer des moyens de déphasage pour traiter le signal issu du capteur, ou d'une combinaison de capteurs, afin de tenir compte de leurs positions par rapport à la position de référence électrique. Il est également
10 possible d'optimiser la position du capteur afin de faire en sorte que le signal issu du capteur, ou le signal obtenu par la combinaison de signaux de plusieurs capteurs, soient en phase avec la force électromotrice, de manière à utiliser ce signal pour la commande du moteur calée sur un couple maximum.

15 En pratique, il peut être intéressant de prévoir une seconde virole disposée à l'extrémité opposé du stator par rapport à la première virole, pour faciliter le maintien de bobinages lors du montage et du moulage du moteur. Dans le cas des moteurs à reluctance variable, on peut prévoir que les capteurs présentent deux extrémités montées chacune sur l'une desdites viroles. En d'autres termes, les deux
20 viroles servent de support et de point de montage des capteurs qui s'étendent d'un bout à l'autre du stator, et qui sont disposés entre deux bobinages statoriques, à l'instar de la solution décrite dans le document WO 2015/040305.

Grâce au fait que les connexions entre les différents bobinages statoriques se font à
25 l'intérieur du circuit imprimé caractéristique, la géométrie des portions de liaison entre ces différents bobinages est figée, et ne dépend pas des opérations manuelles de montage et assemblage du moteur. Par conséquent, l'influence des courants circulant dans ses portions de liaison est identique d'un moteur à l'autre ce qui facilite les opérations de calibration des capteurs notamment.

Avantageusement en pratique, le circuit imprimé peut comporter des interrupteurs tels que les relais électromécaniques ou des interrupteurs statiques, qui permettent de modifier la configuration du circuit statorique en une configuration série ou parallèle, dans lesquels les bobinages statoriques sont reliés en étoile ou en triangle, si l'on souhaite ou non avoir accès au point neutre du moteur.

Dans une forme plus perfectionnée de l'invention, il est possible que le circuit imprimé comporte un ensemble de composants de commutation formant un convertisseur statique, agencés pour délivrer un système de tension ou de courants polyphasé au circuit électrique statorique. Autrement dit, le circuit imprimé peut intégrer les moyens pour alimenter les différents bobinages statoriques afin de créer le champ tournant nécessaire au fonctionnement du moteur. L'intégration de l'onduleur directement sur le circuit imprimé auquel sont connectés les bobinages statoriques permet de gagner de manière très sensible en compacité du moteur. Il est également possible de mettre en place sur le même circuit imprimé un circuit intégré assurant la commande du convertisseur statique en fonction d'une consigne de couple et/ou de vitesse du moteur. Bien entendu, le convertisseur et son électronique de commande peuvent avantageusement être installés sur le même circuit imprimé que celui assurant la connexion aux bobinages statoriques, mais il est également possible sans sortir du cadre de l'invention d'empiler plusieurs circuits imprimés pour répondre à des contraintes d'encombrement.

Selon un autre aspect de l'invention, il est possible de prévoir que le circuit intégré et les bobinages statorique sont noyés dans une résine, de sorte que la surface interne du stator est cylindrique. En d'autres termes, l'ensemble du stator, notamment sa partie intérieure, est recouvert d'une résine qui permet de maintenir en position fermée définitive l'ensemble des différents éléments, et notamment les bobinages statoriques, pour éviter tout encrassement ou déplacement éventuel. Cette résine permet également d'améliorer les performances diélectriques des bobinages statoriques, et ainsi la fiabilité du moteur.

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 :

- 5 La figure 1 est une vue en perspective sommaire d'un moteur conforme à l'invention.

La figure 2 est une vue éclatée en perspective sommaire du stator du moteur de la figure 1.

Les figures 3, 4 et 5 sont des vues en coupe respectivement selon les plans III-III',

- 10 IV-IV' et V-V' de la figure 1.

La figure 6 est une vue de dessus du circuit imprimé monté en extrémité du moteur de la figure 1.

La figure 7 est une vue en coupe analogue à la figure 4 pour une variante de réalisation.

- 15 La figure 8 est une vue en coupe transversale du stator d'un moteur selon une variante de réalisation. La figure 9 est une vue en coupe du stator de la figure 8 selon le plan IX-IX'

Description détaillée

- 20 Comme illustré à la figure 1, le moteur 1 comporte un stator 2 de forme générale cylindrique, dont la partie haute est équipée d'une virole 3 sur laquelle repose un circuit imprimé 4 lui-même percé au centre d'un passage 5 traversé par l'axe 6 du rotor.

- 25 Le rotor du moteur étant de constitution sensiblement classique, il ne sera donc pas décrit en détail. Selon le cas, ce rotor présente ainsi de manière connue des aimants permanents s'étendant axialement, et qui présentent des polarités alternées le long de la circonférence du rotor, pour un moteur à aimants permanents. Pour un moteur à reluctance variable, le rotor présente des pôles saillants séparés angulairement
- 30 par des régions de moindre perméabilité magnétique.

Comme illustré à la figure 2, le stator **2** est composé de l'empilement de tôles élémentaires **21** qui sont empilées selon l'axe de rotation du moteur. Le stator peut ainsi être obtenu par la découpe notamment par électro érosion d'un bloc de tôles feuilletées.

5

La face extérieure du stator présente une forme cylindrique, tandis que sa face interne présente des protubérances radiales **22** réparties de manière équiangulaire sur toute la circonférence interne du stator. Ces excroissances **22**, destinées à former les pôles statoriques, sont profilées pour permettre l'émission des lignes de
10 champ statorique de manière radiale. Ces pôles **22** sont configurés pour permettre la mise en place des bobinages statoriques **25** réalisées indépendamment sur des gabarits de géométrie analogue.

Comme illustré aux figures 2, 3 et 5, les enroulements statoriques **25** sont
15 implantés sur les pôles **22** pour venir au contact de la partie cylindrique **26** du stator, afin que la portion extrême **27** des pôles **22**, en regard du rotor, soit exempte de bobinages. L'ensemble des zones **27** des différents pôles **22** reçoivent comme illustré à la figure 3 la portion interne **31** de la virole **3**. Cette portion interne **31** est de forme cylindrique, et s'étend sur une hauteur légèrement
20 supérieure à celle qu'occupe la portion de l'enroulement statorique **25** situés en extrémité axiale du pôle **22**. Dans sa partie haute, cette virole **3** se prolonge par une zone annulaire **32** qui s'étend à l'extérieur de la portion cylindrique **31**. Cette portion annulaire **32** s'étend radialement jusqu'à l'aplomb de la zone cylindrique **26** continue du stator, de manière à recouvrir intégralement les enroulements
25 statoriques **25**. Cette virole présente un diamètre légèrement inférieur à celui du dans le but de ménager après moulage un épaulement au niveau des extrémités du circuit magnétique feuilleté afin de réaliser son calage axial dans le carter.

La portion annulaire **32** présente des paires de perçages **34 35**, en nombre égal au
30 nombre de pôles statoriques. Ces perçages **34 35** permettent de laisser passer les extrémités **26,28** des enroulements statoriques **25** correspondant, pour en permettre

les connexions avec le circuit d'alimentation, ou les autres enroulements statoriques. En pratique, la virole est réalisée en un matériau résistant mécaniquement et thermiquement, tel que le poly-éther-éther-cétone (PEEK).

- 5 Comme illustré aux figures 3, 4 et 5, l'espace **15** situé entre deux enroulements statoriques successifs, ainsi que le volume **16** situé entre la virole **3** et la tôle d'extrémité du stator sont comblés par une résine thermodurcissable, de type époxy. Cette résine permet d'avoir une surface interne du stator parfaitement cylindrique, tout en bloquant de manière définitive les enroulements statoriques
- 10 par rapport à leurs pôles, et ce en assurant une étanchéité parfaite à l'humidité, et de manière générale à tous les fluides au contact desquels le moteur est susceptible de venir. Cette résine améliore aussi grandement l'isolement des bobines (entre elles et par rapport à la culasse).
- 15 A son extrémité opposée, le stator peut recevoir une virole **7** analogue, afin de protéger l'extrémité des enroulements statoriques, et permettre la canalisation de la résine venant noyer les enroulements statoriques sur le stator.

Conformément à un aspect de l'invention, le moteur comporte également un circuit

20 imprimé **4**, qui repose sur la virole **3**. Comme illustré la figure 4, ce circuit imprimé **4** reçoit des capteurs **41** sur sa face au regard du stator. Ces capteurs **41** sont sensibles au champ magnétique généré par le rotor dans la direction axiale. Dans la partie centrale du rotor, l'essentiel des lignes de champ du champ rotorique se situe dans des plans perpendiculaires à l'axe du moteur. En revanche, au niveau

25 des extrémités du rotor, une partie de ce champ se referme entre deux pôles successifs, selon des lignes de champ présentant des portions axiales reliées par une portion orthoradiale. Les capteurs **41** sont sensibles à la composante axiale de ce champ rotorique, de sorte que les signaux qu'ils génèrent sont continûment variables entre deux extrêmes correspondant au passage du pôle radial à leur

30 regard. Ces capteurs **41** sont disposés entre deux pôles statoriques consécutifs, comme cela est visible à la figure 4, et en dessous de la partie haute des bobinages

statoriques, de manière à recevoir le champ statorique radialement, et donc sans influence sur leur direction sensible.

Comme illustré à la figure 2, le circuit imprimé 4 peut comporter différents composants 42 de calibration ou de mise en forme des signaux issus des capteurs 41, et notamment les composants analogiques et/ou numériques permettant de combiner les signaux issus de différents capteurs pour un fonctionnement différentiel.

10 Comme illustré schématiquement la figure 6, le circuit imprimé 4 présente également des pistes conductrices, disposées sur une ou plusieurs couches, permettant de relier certaines extrémités des enroulements statorique. L'emploi d'un circuit multicouche, bien que non obligatoire, permet de réaliser des liaisons entre bobinages avec des pistes reliées en parallèle d'une couche à l'autre de
15 manière à obtenir la section nécessaire pour limiter la résistance de ces portions de liaison. Complémentairement cette ventilation des portions de liaison sur plusieurs couches permet d'augmenter la ségrégation entre bobines, en choisissant le positionnement des différentes pistes afin de limiter l'influence d'un bobinage sur l'autre.

20 En pratique, à titre d'exemple, l'extrémité 126 d'un premier enroulement statorique est reliée avec l'extrémité 428 de l'enroulement statorique diamétralement opposé par la piste 136. Des connexions analogues sont réalisées pour les autres paires d'enroulement statorique disposés diamétralement l'un de l'autre. Complémentairement, les trois paires d'enroulements statoriques présentent un
25 point commun réalisé par la connexion via les pistes 137,138,139 des extrémités 128,328,528 de trois enroulements appartenant à trois paires distinctes. Ainsi, les extrémités de 126,426,626 constituent les points d'application d'un système de tension triphasé permettant de générer le champ tournant statorique.

30 Dans une forme particulière de l'invention, non représentée aux figures, il est possible d'implanter sur le circuit intégré 4 des composants assurant un possible

changement de configuration du circuit électrique formé par les bobinages statoriques, typiquement d'un schéma en triangle en un schéma en étoile. Cette reconfiguration permet par exemple de faire fonctionner le moteur selon deux régimes de couples/vitesses distincts, par exemple selon le couplage Dahlander.

5

Dans une forme particulière de réalisation, il est possible d'intégrer directement sur le circuit imprimé 4 différents composants de puissance 47, formant un onduleur polyphasé permettant d'assurer la commande appropriée des tensions et/ou courants appliqués aux enroulements statoriques. La commande de ces composants de puissance 47 peut être réalisée par un circuit intégré 49 programmé pour assurer les stratégies de contrôle/commande appropriées incluant les capteurs de courant pour la mesure du courant circulant dans chaque phase. Cette mesure de courant permet de réaliser un autopilotage du moteur par élaboration des consignes de courant de l'ondeur qui est piloté en modulation de largeur d'impulsions (MLI ou PWM) grâce à la régulation en boucle de courant.

Bien entendu, la forme illustrée aux figures est éminemment schématique, et de multiples autres composants peuvent être implantés sur le circuit imprimé, pour remplir les fonctions classiques de polarisation, mise en forme des signaux ou analogue.

Dans une variante de réalisation illustrée la figure 7, l'ensemble des composants nécessaires à ces fonctions peuvent être implanté sur deux circuits imprimés 140 240, superposés, et associés mécaniquement par des entretoises 150 appropriées.

25

Parmi les différentes fonctions pouvant être réalisées par l'électronique embarquée sur le circuit imprimé, on peut noter la surveillance du courant circulant dans les bobines statoriques, mais également la surveillance de la température du moteur, voire de chacune des bobines en vue d'isoler si besoin, par la commande, une bobine défaillante. Il est également possible grâce à un pilotage approprié d'alimenter le circuit de bobines statoriques pour faire fonctionner le moteur dans

30

un mode équivalent au fonctionnement d'un moteur à courant continu. Plus précisément, l'onduleur est alors commandé avec chaque branche commuté un nombre de fois minimal par période électrique. La régulation en couple peut être réalisée en amont de l'onduleur, en contrôlant à l'aide d'un hacheur de tête le
5 courant d'alimentation de l'ensemble moteur-capteur-commutateur de courant. Le hacheur peut être disposé sur la même carte que l'onduleur, ou sur une carte séparée, distante du moteur.

Dans une autre forme de réalisation, illustrée aux figures 8 et 9, le moteur est
10 équipé de capteurs inductifs **91** du type de ceux décrits dans le document WO 2015/040305. Ces capteurs **91** sont destinés à détecter une modification de l'impédance d'un bobinage qu'ils intègrent, en fonction de la variation de la reluctance du circuit magnétique associé à ce bobinage, variation qui est liée à la position du rotor, pour les machines à reluctance variable. Ces capteurs **91** sont
15 disposés entre deux bobinages statoriques **75**, et s'étendent axialement, avec un axe sensible radial.

Le positionnement de ces capteurs **91** est obtenu grâce aux viroles caractéristiques **53**, **57**, qui présentent des encoches **84 87** prévues à cet effet sur le bord libre de
20 leur partie cylindrique **82**. Bien entendu, dans le cas d'une machine à reluctance variable, les capteurs de position du rotor peuvent également être positionnés de la même manière que les capteurs décrits pour le mode de réalisation de la figure 1, à savoir sous le circuit imprimé caractéristique.

25 Il ressort de ce qui précède que le moteur conforme à l'invention présente de multiples avantages, en particulier une compacité optimale, tout en obtenant un niveau de précision sur la position rotorique très élevé. La fabrication du stator, notamment par l'emploi de techniques de bobinages à fils rangés permet de réaliser des moteurs avec une grande reproductibilité. Complémentairement, la réalisation
30 des connexions entre les différents bobinages statorique s'effectuant au sein du circuit imprimé, les impédances de ces interconnexions sont bien maîtrisées, avec

des améliorations de compatibilité électromagnétique et une réduction des inductances de fuite.

REVENDEICATIONS

1/ Moteur (1) électrique synchrone à aimants permanents ou à reluctance variable, dont le circuit magnétique du stator (2) est formé d'un empilement de tôles (21) 5 perpendiculaires à l'axe de rotation du moteur, ledit empilement (2) formant un corps cylindrique creux, dont la surface interne présente des excroissances (22) formant des pôles radiaux s'étendant axialement, ledit stator comportant des bobinages statoriques (25) formés par l'enroulement d'un fil conducteur autour de chaque pôle (22),

10 **caractérisé en ce qu'il** comporte :

- une virole (3) présentant une première portion (31) reposant sur l'empilement de tôles (2) entre les bobinages statoriques (25), et une seconde portion (32) de plus grand diamètre, s'étendant radialement par-dessus les bobinages statoriques (25) ;
- 15 • un circuit imprimé (4) reposant sur la seconde portion (32) de la virole, et comportant
 - des pistes conductrices (136-139) sur lesquelles sont connectées les extrémités (126,128,226,228,326,328,426,428,526,528,626,628) des bobinages statoriques (25), lesdites pistes étant agencées pour assurer 20 la connexion électrique des bobinages statoriques entre eux selon un circuit équilibré,
 - des capteurs (41) de champ magnétique mécaniquement fixés à ladite virole et/ou audit circuit imprimé, disposés en-deçà des extrémités axiales des bobinages statoriques, et aptes à générer des signaux variables en fonction 25 de la position rotorique.

2/ Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les capteurs sont disposés en regard des extrémités des pôles magnétiques rotoriques.

30 3/ Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les capteurs (41) sont disposés avec leur axe sensible orienté axialement.

4/ Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les capteurs (41) sont disposés à égale distance des deux bobinages statoriques (25) qui leur sont les plus proches.

5

5/ Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les capteurs sont montés sur la face du circuit imprimé en regard du rotor.

6/ Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte une seconde
10 virole (7) disposée à l'extrémité opposé du stator par rapport à la première virole, et en ce que les capteurs présentent deux extrémités montées chacune sur l'une desdites viroles.

7/ Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le circuit imprimé (4)
15 comporte des interrupteurs permettant de modifier la configuration du circuit statorique entre une configuration « série » ou « parallèle ».

8/ Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le circuit imprimé (4)
comporte un ensemble de composants de commutation (47) formant un
20 convertisseur statique, agencé pour délivrer un système de tensions ou de courants polyphasés au circuit électrique statorique.

9/ Moteur selon la revendication 8, caractérisé en ce que le circuit imprimé
comporte un circuit intégré (49) assurant la commande du convertisseur statique en
25 fonction d'une consigne de couple et/ou de vitesse du moteur.

10/ Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le circuit magnétique et les bobinages du stator sont noyés dans une résine (15) de sorte que la surface interne du stator est cylindrique.

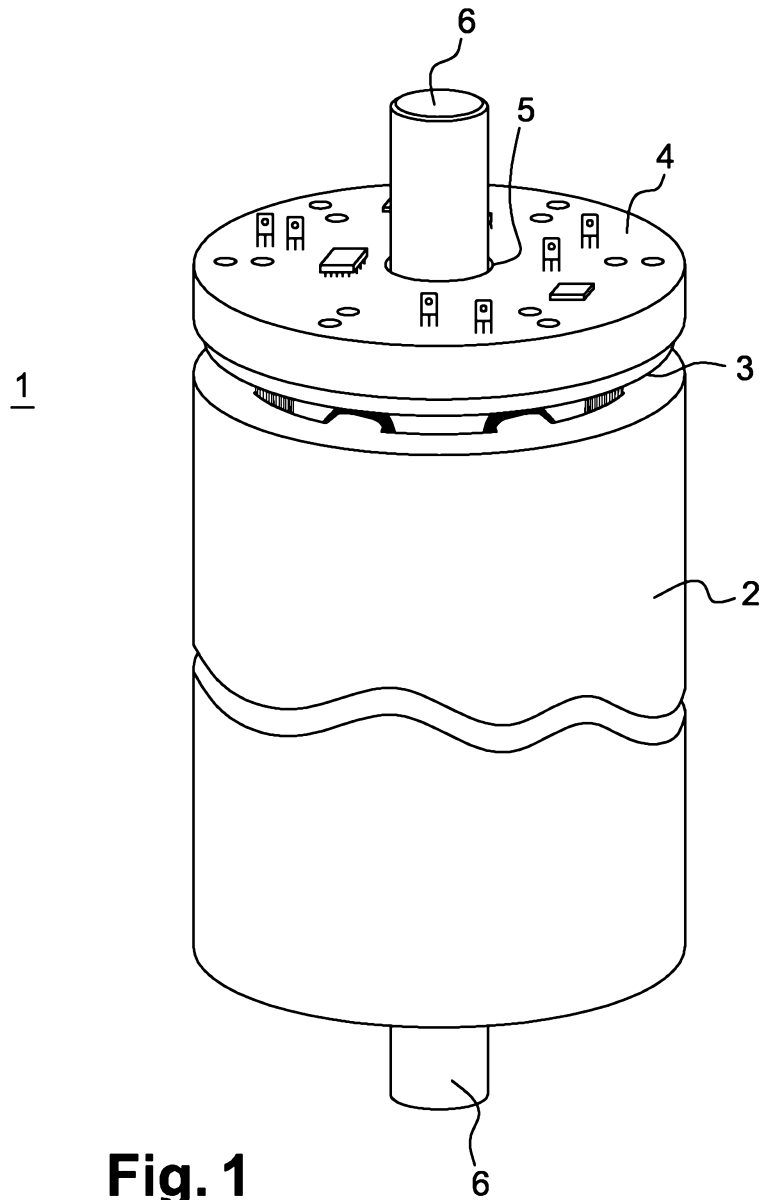


Fig. 1

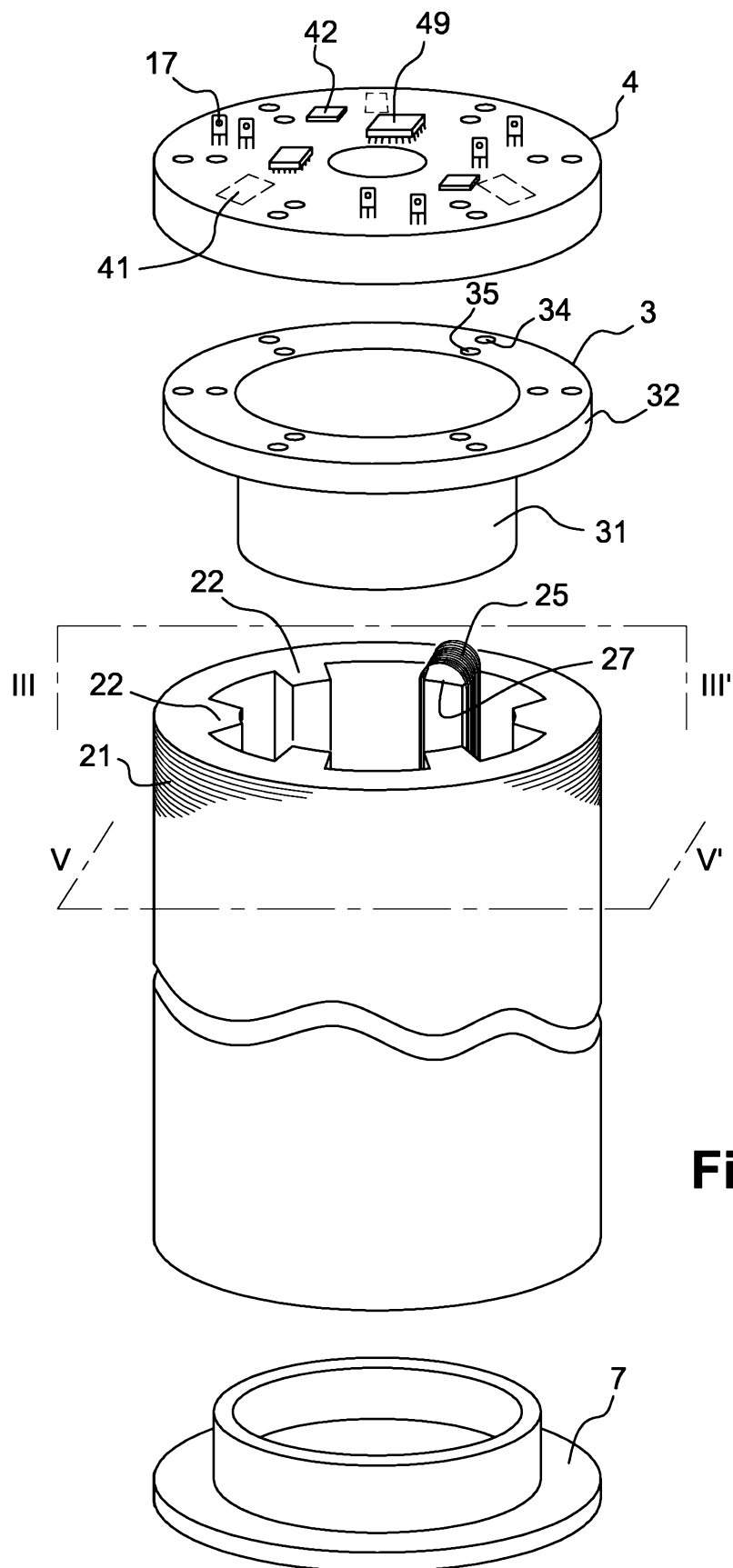
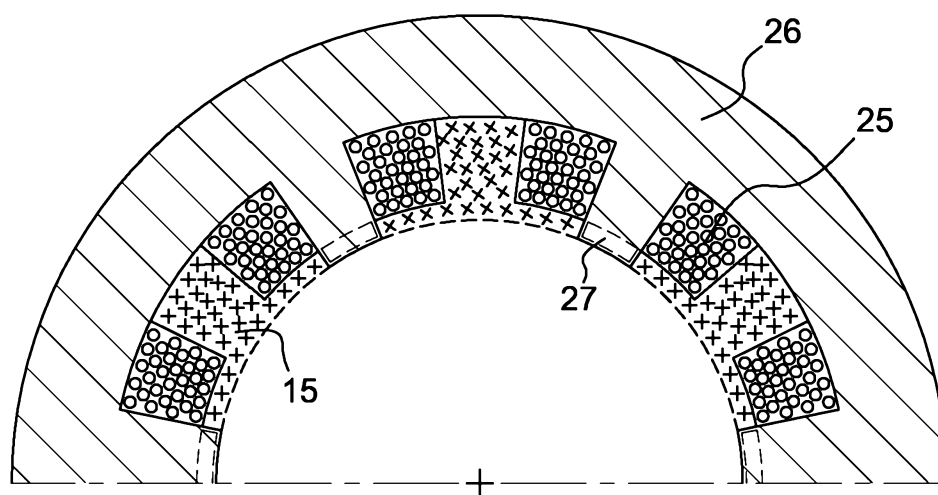
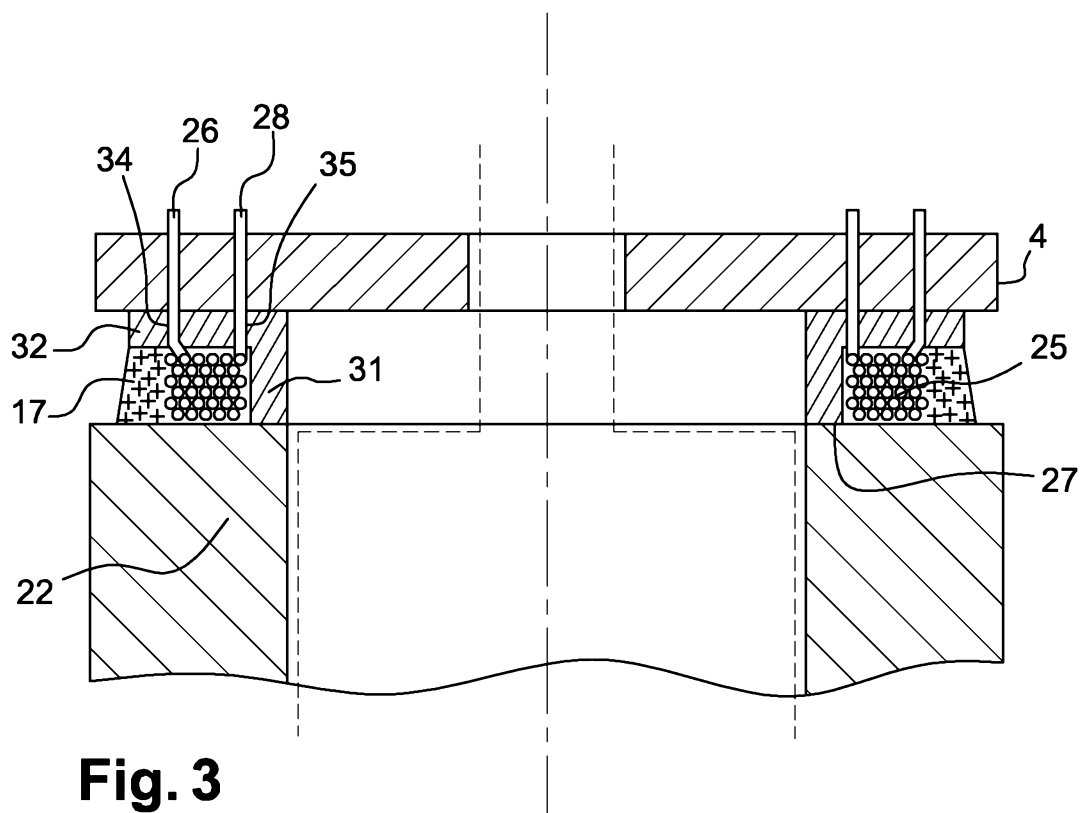


Fig. 2



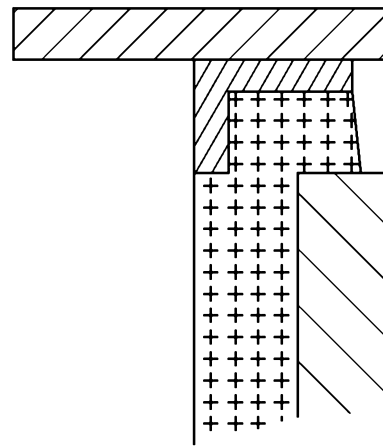
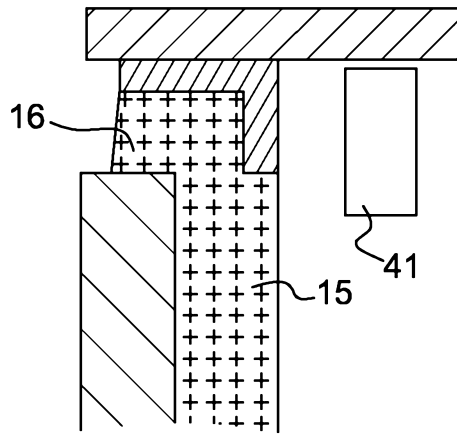


Fig. 4

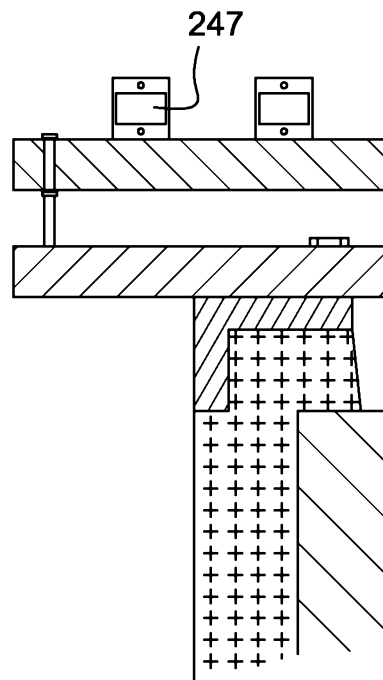
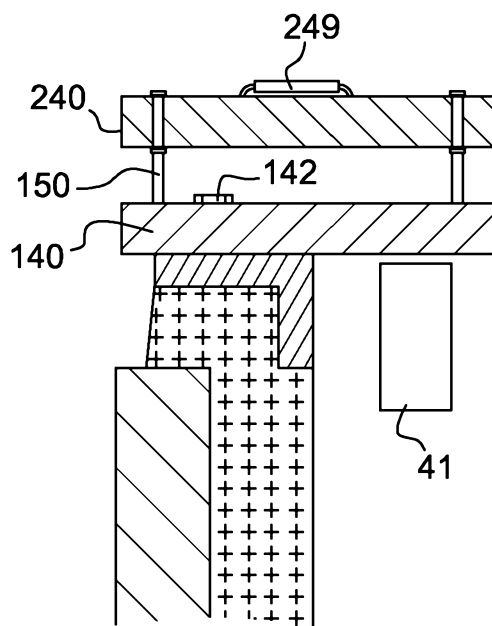


Fig. 7

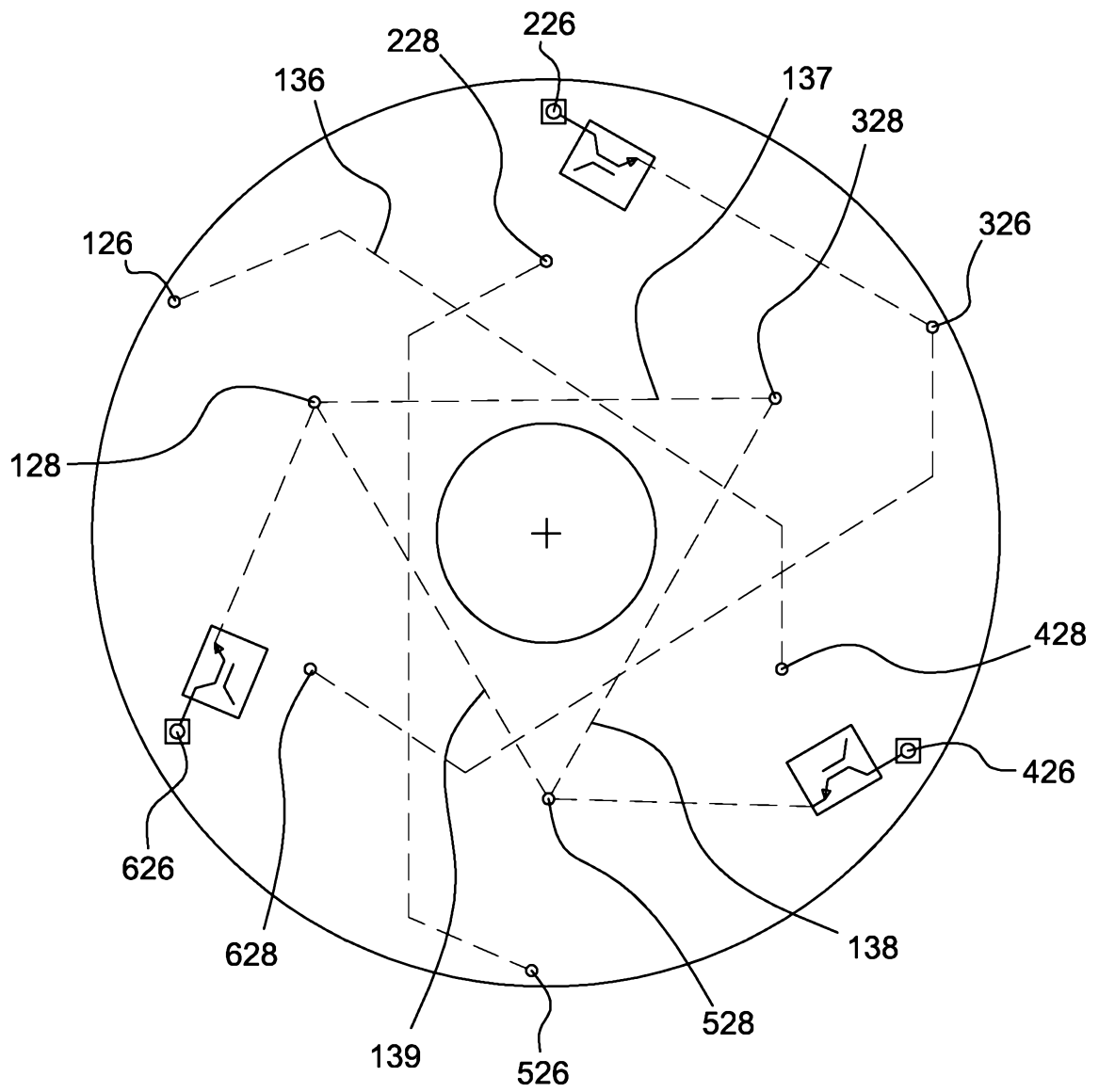


Fig. 6

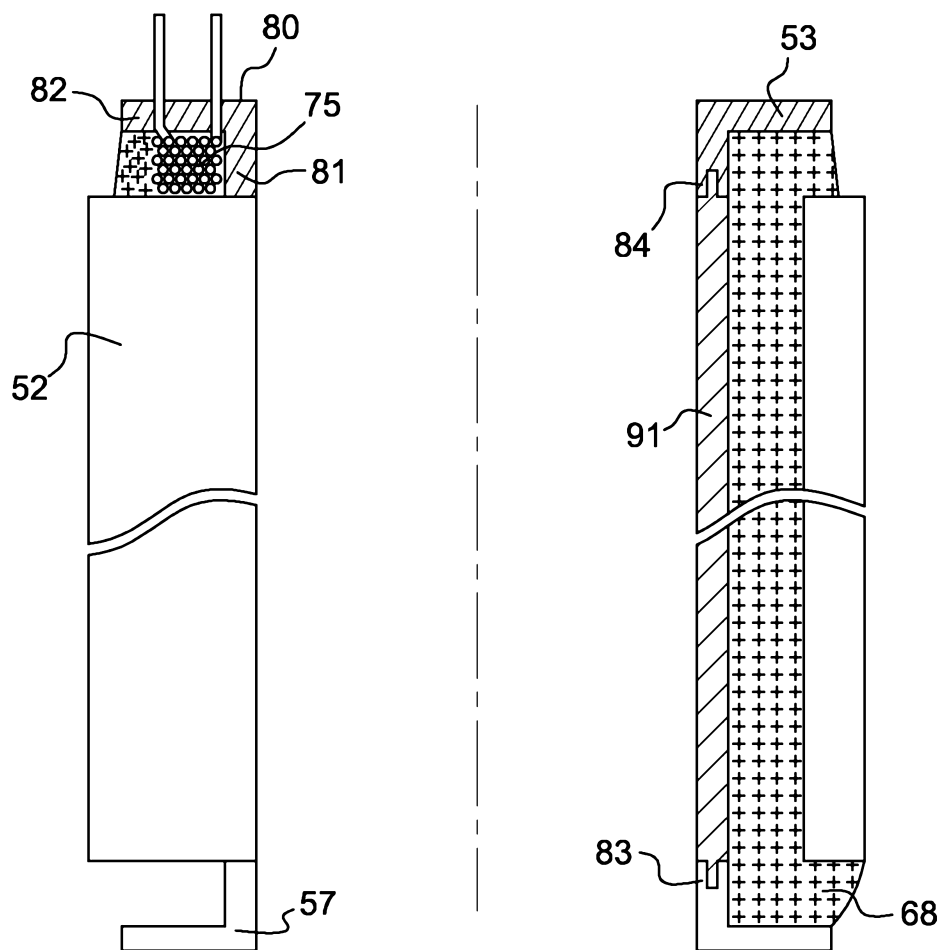


Fig. 9

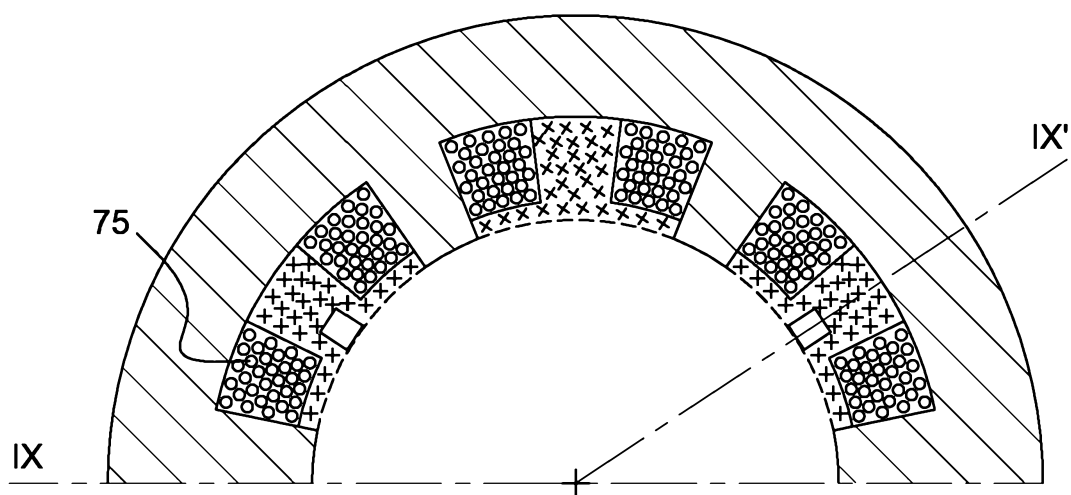


Fig. 8

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

US 3 984 712 A (HILL DONALD E) 5 octobre 1976 (1976-10-05)

US 2006/068617 A1 (MIGITA TAKAYUKI [JP] ET AL) 30 mars 2006 (2006-03-30)

US 2012/091839 A1 (HEIN BERND [DE] ET AL) 19 avril 2012 (2012-04-19)

JP S63 39449 A (FUJITSU GENERAL LTD) 19 février 1988 (1988-02-19)

US 2010/327709 A1 (MINATO HIDEKI [JP] ET AL) 30 décembre 2010 (2010-12-30)

DE 10 2015 218622 A1 (SIEMENS AG [DE]) 30 mars 2017 (2017-03-30)

US 2008/238226 A1 (MIYAMOTO TAKASHI [JP]) 2 octobre 2008 (2008-10-02)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT