

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication : 2 839 211
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)
(21) N° d'enregistrement national : 02 05478
(51) Int Cl⁷ : H 02 K 1/27

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 29.04.02.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 31.10.03 Bulletin 03/44.

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

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : CONCEPTION ET DEVELOPPEMENT MICHELIN Société anonyme suisse — CH.

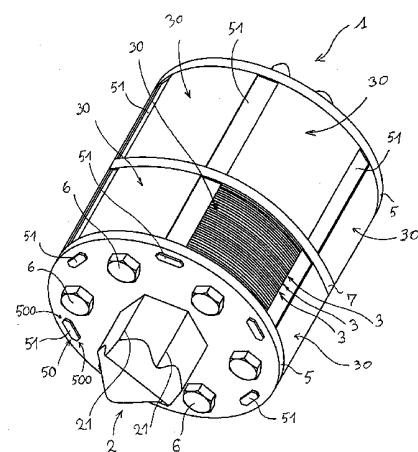
(72) Inventeur(s) : VARENNE PIERRE, LAURENT DANIEL et PEGORARO GIANCARLO.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : BAUVIR JACQUES.

(54) MACHINE ELECTRIQUE DONT LE ROTOR EST SPECIALEMENT ADAPTE AUX HAUTES VITESSES.

(57) Machine électrique tournante, dont le rotor (1) comprend un arbre (2) réalisé en matériau amagnétique, comprend une pluralité de pièces polaires (30) réalisées en matière magnétique, entourant l'arbre, comprend des aimants permanents (4) immobilisés dans lesdits logements au moins en partie par une cale (51) coopérant avec les pièces polaires.



FR 2 839 211 - A1



L'invention se rapporte aux machines électriques tournantes dont le rotor comporte des aimants permanents. Plus précisément, l'invention concerne les machines dans lesquelles les aimants sont disposés dans des évidements du rotor. On désigne communément les machines électriques dont il 5 s'agit par l'expression « à aimants enterrés ». Ce principe d'agencement du rotor est largement appliqué pour les machines synchrones auto pilotées à concentration de flux.

Le dimensionnement d'une machine électrique tournante dépend de son couple nominal. Plus le couple qu'un moteur est capable de délivrer est élevé, plus le moteur électrique est volumineux, 10 toutes autres choses égales par ailleurs. Il existe pourtant des applications pour lesquelles il est désirable d'atteindre à la fois des puissances importantes et une grande compacité du moteur. Pour donner simplement un exemple concret, lorsque l'on souhaite implanter des moteurs électriques de traction dans les roues de véhicules automobiles, il est souhaitable de pouvoir développer des puissances valant au moins 10 kW par moteur, et même la plupart du temps au moins 25 ou 30 kW 15 par moteur, pour un poids le plus faible possible afin de ne pas trop alourdir les masses non suspendues. Il est également désirable que l'encombrement soit aussi très réduit, dépassant le moins possible le volume intérieur de la roue pour ne pas interférer avec les éléments du véhicule lors des débattements de suspension et lors d'autres types de mouvement de la roue par rapport à la caisse du véhicule.

20 Ces deux impératifs (puissance élevée, encombrement et poids faibles) rendent très problématique l'implantation de moteurs électriques de traction dans les roues de véhicules de tourisme, sauf à améliorer radicalement le rapport poids/puissance des machines électriques actuellement disponibles sur le marché.

25 Le choix d'une vitesse élevée pour un moteur électrique est une solution permettant, à puissance donnée, de diminuer le couple, donc l'encombrement. Autrement dit, pour une puissance nominale du moteur donnée, plus grande est sa vitesse de rotation nominale, plus faible sera son encombrement. Mais l'élévation de la vitesse de rotation d'une machine électrique tournante pose 30 de nombreux problèmes de tenue mécanique, surtout ardu si l'on souhaite contenir autant que possible le poids et l'encombrement de ladite machine électrique tournante.

Une conception spécifique pour atteindre de grandes vitesses de rotation a déjà été proposée dans la demande de brevet EP 1001507. Les vitesses visées dans cette demande de brevet sont de l'ordre de 12000 t/min, en proposant pour cela un agencement particulier de l'ensemble constitué par un arbre monobloc amagnétique polygonal et des pièces polaires judicieusement disposées 5 autour de cet arbre.

Si l'on augmente encore la vitesse de rotation, se posent des problèmes de tenue mécanique des aimants. L'extrémité radialement extérieure de ceux-ci risque de se désagréger. Des morceaux d'aimants risquent d'être centrifugés, ce qui semble cantonner les machines à rotor intérieur aux 10 niveaux de vitesse de rotation indiqués ci-dessus.

L'objectif de l'invention est de proposer une construction de machine électrique tournante, à rotor intérieur et stator extérieur, qui permette d'atteindre des vitesses de rotation bien plus élevées, sans rencontrer de problème de centrifugation des aimants au rotor.

15 L'invention propose une machine électrique tournante comprenant un stator extérieur et un rotor intérieur, avec un entrefer entre le rotor et le stator, le rotor comprenant :

- un arbre monté par des paliers sur le stator, au moins l'enveloppe extérieure de l'arbre étant réalisée en matériau amagnétique, lesdits paliers définissant l'axe de rotation dudit arbre,
- une pluralité de pièces polaires réalisées en matière magnétique, entourant l'arbre, les pièces polaires ayant un bord radialement intérieur en contact avec la surface de l'arbre et un bord radialement extérieur adjacent à l'entrefer, les pièces polaires délimitant entre elles des logements, lesdits logements s'étendant radialement depuis la surface de l'arbre jusqu'à une cloison adjacente à l'entrefer, la cloison étant mécaniquement solidaire des pièces polaires,
- des aimants permanents immobilisés dans lesdits logements.

Ainsi, le logement de chaque aimant est fermé radialement du côté extérieur ; cela permet d'atteindre des vitesses de rotation beaucoup plus élevées, sans dommage pour les aimants, et sans affecter notamment le fonctionnement électromagnétique de la machine et son rendement.

30 La suite décrit deux modes de réalisation, non limitatifs, permettant d'assurer cette fermeture de façon fiable et endurante. Dans l'un des modes de réalisation proposés, ladite cloison ladite cloison

est formée par une cale coopérant avec des épaulements disposés sur chacune des pièces polaires adjacentes, de façon à s'opposer au déplacement des aimants vers les plus grands rayons.

Dans un autre mode de réalisation, ladite cloison est formée au moins en partie par une paroi mince, formant un pont assurant une jonction continue entre pièces polaires adjacentes, ledit pont étant formé de la même matière que les pièces polaires et les reliant toutes entre elles. Rappelons que les pièces polaires sont couramment formées par un empilage dans la direction axiale de tôles ferromagnétiques de base découpées à la forme voulue. Toutes les tôles sont disposées sensiblement perpendiculairement à l'axe de l'arbre. Dans le mode de réalisation visé ci-dessus, les pièces polaires et les parois minces occultant les logements entre pièces polaires sont obtenues à partir d'une tôle de base ayant une symétrie cyclique, dans laquelle les parties constitutives des pièces polaires et les parties constitutives des parois sont toutes liées entre elles et sont une pièce unique découpée à la forme voulue.

L'invention sera mieux comprise grâce à la suite de la description, qui s'appuie sur les figures suivantes :

- la figure 1 est une perspective montrant le rotor d'un premier mode de réalisation d'une machine selon l'invention ;
- la figure 2 est une coupe montrant le rotor et le stator du premier mode de réalisation d'une machine selon l'invention, le plan de coupe passant par l'axe de rotation de la machine ;
- la figure 3 est une coupe montrant le rotor du premier mode de réalisation d'une machine selon l'invention, le plan de coupe étant perpendiculaire à son axe de rotation ;
- la figure 4 est une coupe montrant le rotor d'un deuxième mode de réalisation d'une machine selon l'invention, le plan de coupe étant perpendiculaire à son axe de rotation ;
- la figure 5 montre en détail la cale du premier mode de réalisation ;
- la figure 6 montre une première variante de la cale ;
- la figure 7 montre une deuxième variante de la cale ;
- la figure 8 montre une troisième variante de la cale.

Aux figures 1 à 3, on a représenté une machine hexa-polaire, dont on voit le stator S (figure 2 uniquement), le rotor 1, l'arbre 2 et les paliers 20. On voit un empilage de tôles 3 ferromagnétiques formant six pièces polaires 30. Chaque tôle 3 est sensiblement perpendiculaire à l'axe de l'arbre. Notons simplement au passage que l'invention est aussi utile dans le cas de pièces

polaires massives. De part et d'autre de l'arbre 2, axialement, on voit un flasque latéral 5 (de préférence en matériau amagnétique), situé de chaque côté des pièces polaires 30. On voit également un flasque intermédiaire 7 optionnel (de préférence en matériau amagnétique). Chaque flasque latéral 5 et le cas échéant chaque flasque intermédiaire 7 a un évidement central. Dans 5 l'exemple non limitatif décrit ici, la forme de l'évidement central est ajustée à celle de l'arbre 2. Un tirant 6 par pièce polaire 30 traverse chaque empilage de tôles 3, et permet d'enserrer le tout entre les flasques latéraux 5.

A la figure 3, on voit des aimants permanents 4 parallélépipédiques disposés dans les logements 10 entre les pièces polaires 30. Le bord radialement extérieur 32 de chaque tôle 3 dessine un arc de cercle centré sur l'axe du rotor. La section perpendiculaire de l'arbre 2 présente une forme polygonale convexe. L'arbre, vu en section perpendiculaire à l'axe de rotation, forme un polygone convexe comportant des facettes planes séparées par des arêtes 21. Les aimants 4 sont en contact direct sur les facettes planes de l'arbre. Pour plus de détails, le lecteur est invité à consulter la 15 demande de brevet EP 1001507 précitée, toutes les caractéristiques qui y sont décrites étant également utiles en combinaison avec la présente invention, dont l'intérêt ne se limite cependant pas à une telle combinaison.

Dans un premier mode de réalisation de l'invention, la cloison fermant les logements des aimants 20 est une cale 51 (voir figures 1, 3 et 5). On voit dans cet exemple que la cale 51 est insérée au travers de perçages 50 réalisés à la périphérie des flasques latéraux 5, en regard des logements contenant les aimants.

Par ailleurs, les faces longitudinales 300 des pièces polaires comportent chacune une rainure 31 25 parallèle à l'axe du rotor, creusée dans chacune des faces longitudinales des pièces polaires, à un niveau radial proche du bord extérieur 32 de chaque pièce polaire 30. Cela permet de former un épaulement 310 qui offre une face d'appui dont la fonction est de rendre chaque cale 51 mécaniquement solidaire des pièces polaires.

30 Remarquons que chaque rainure 31 est alignée avec les extrémités circonférentielles 500 des perçages 50 réalisés dans les flasques latéraux 5. Au montage, une extrémité 510 de chaque cale 51 peut être insérée dans un des perçages 50 d'un des flasques latéraux 5, puis on la fait glisser parallèlement à l'axe, jusqu'à ce que ladite extrémité soit insérée dans le perçage correspondant

aménagé sur le flasque latéral opposé. Chaque cale coopère ainsi avec des épaulements 310 disposés sur chacune des pièces polaires adjacentes, de façon à s'opposer au déplacement des aimants vers les plus grands rayons, déplacement que tendrait à provoquer la force centrifuge créée par la rotation du rotor.

5

Bien entendu, les détails de réalisation donnés ci-dessus ne sont pas limitatifs. Il est évident que les perçages 50 ne sont pas obligatoires pour rendre chaque cale 51 mécaniquement solidaire des pièces polaires. On pourrait ne prévoir que des perçages non débouchants, qui reçoivent les cales et contribuent à leur maintien radialement. Il est tout aussi évident que le montage des cales, 10 comme des autres pièces constitutives, pourrait être différent : par exemple, les cales pourraient être disposées sur chacun des aimants avant le montage des flasques latéraux.

Par ailleurs, il faut éviter un court-circuit magnétique qui empêcherait tout ou partie du flux magnétique de circuler au stator. Une solution est que chaque cale soit réalisée en matériau 15 amagnétique. Par exemple, on peut utiliser une matière composite, un acier amagnétique, une céramique, du titane ou de l'aluminium. En outre, il faut éviter l'apparition de courants de Foucault ou limiter leur importance, afin de ne pas dégrader le rendement de la machine. Une solution est que chaque cale soit réalisée en matériau non conducteur de l'électricité. Par exemple, 20 on utilise une matière composite de résistance mécanique suffisante pour supporter les contraintes importantes apparaissant lors de rotations à vitesse élevée. Une telle cale est par exemple montrée à la figure 5. La figure 8 montre un autre exemple d'une telle cale, dont la forme de la section est trapézoïdale, ceci pour bien faire comprendre que la forme de la section de cale apparaissant aux figures 1 et 3 à 5 n'est pas limitative.

25 Dans les variantes de la cale illustrées aux figures 6 et 7, on propose un autre arrangement qui permet l'utilisation pour les cales de matériaux amagnétiques et conducteurs de l'électricité. La cale 51B de la figure 6 a la forme d'une base mince et allongée 510B parallèlement à l'axe, surmontée d'une pluralité de blocs 511B adjacents longitudinalement, séparés par des fentes 512B. Les blocs 511B ne sont donc pas en contact les uns contre les autres. Bien que le matériau 30 soit conducteur, de par la très faible épaisseur de la base, les courants de Foucault restent très minimes, sans conséquence notable sur le rendement de la machine. Il y a avantage à ce que la dimension longitudinale des blocs 511B soit aussi faible que possible. L'épaisseur de la cale dans

le sens radial est dimensionnée pour être suffisante pour supporter les contraintes mécaniques en service.

La variante de réalisation montrée à la figure 7 est une cale 51C comportant une pluralité 5 d'éléments 511C adjacents et alignés longitudinalement, réalisés en matériau conducteur de l'électricité, collés les uns sur les autres au moyen d'une matière 512C non conductrice de l'électricité. Il y a avantage à ce que la dimension longitudinale des éléments 511C soit aussi faible que possible. De la sorte, les courants de Foucault restent également très minimes.

10 A la Figure 4, on a illustré un autre mode de réalisation de l'invention. Deux petits ergots 33 sont disposés circonférentiellement de part et d'autre de chaque pièce polaire 30, et radialement sous ladite paroi, de façon à former un épaulement s'opposant au déplacement des aimants vers les plus grands rayons. Les ergots 33 retiennent les aimants 4 en centrifugation, ce qui impose qu'ils aient une hauteur radiale suffisante pour supporter les contraintes de service. La cloison est ici formée 15 au moins en partie par une paroi mince 35, formant un pont assurant une jonction continue entre pièces polaires adjacentes. Ladite cloison est bien entendu de la même matière que les pièces polaires 30. La cloison relie toutes les pièces polaires 30 entre elles. Ainsi, dans ce mode de réalisation, les bords 32 radialement extérieurs des pièces polaires et les parois 35 forment une surface cylindrique 36 continue.

20 Précisons que les ergots 33 sont disposés radialement sous ladite paroi 35. Cette fois, le matériau de la paroi est nécessairement magnétique puisque les cloisons sont obtenues d'une seule pièce avec chaque tôle faisant partie des pièces polaires. Cependant, l'épaisseur de la paroi est très faible, par exemple inférieure à 0,5 mm, et de préférence inférieure à 0,3 mm. Il en résulte que le 25 flux de fuite traversant cette cloison reste très faible, sans conséquence notable sur le couple moteur. Pour fixer les idées, signalons que l'on a observé une baisse du couple moteur de l'ordre de 2 % pour une épaisseur de paroi valant 0,3 mm, et une baisse du couple moteur de l'ordre de 3 % pour une épaisseur de paroi valant 0,5 mm. Quant aux courants de Foucault, ils restent d'un niveau très faible en raison du caractère feuilleté de la paroi. Le volume résiduel confiné entre les 30 pièces polaires et entre l'aimant et la cloison est comblé par exemple par une résine 37 de remplissage, ce qui permet d'immobiliser l'aimant dans son logement. Une paroi 35 de faible épaisseur, associée à la résine 37, suffit à empêcher l'amorce de dislocation des aimants 4.

REVENDICATIONS

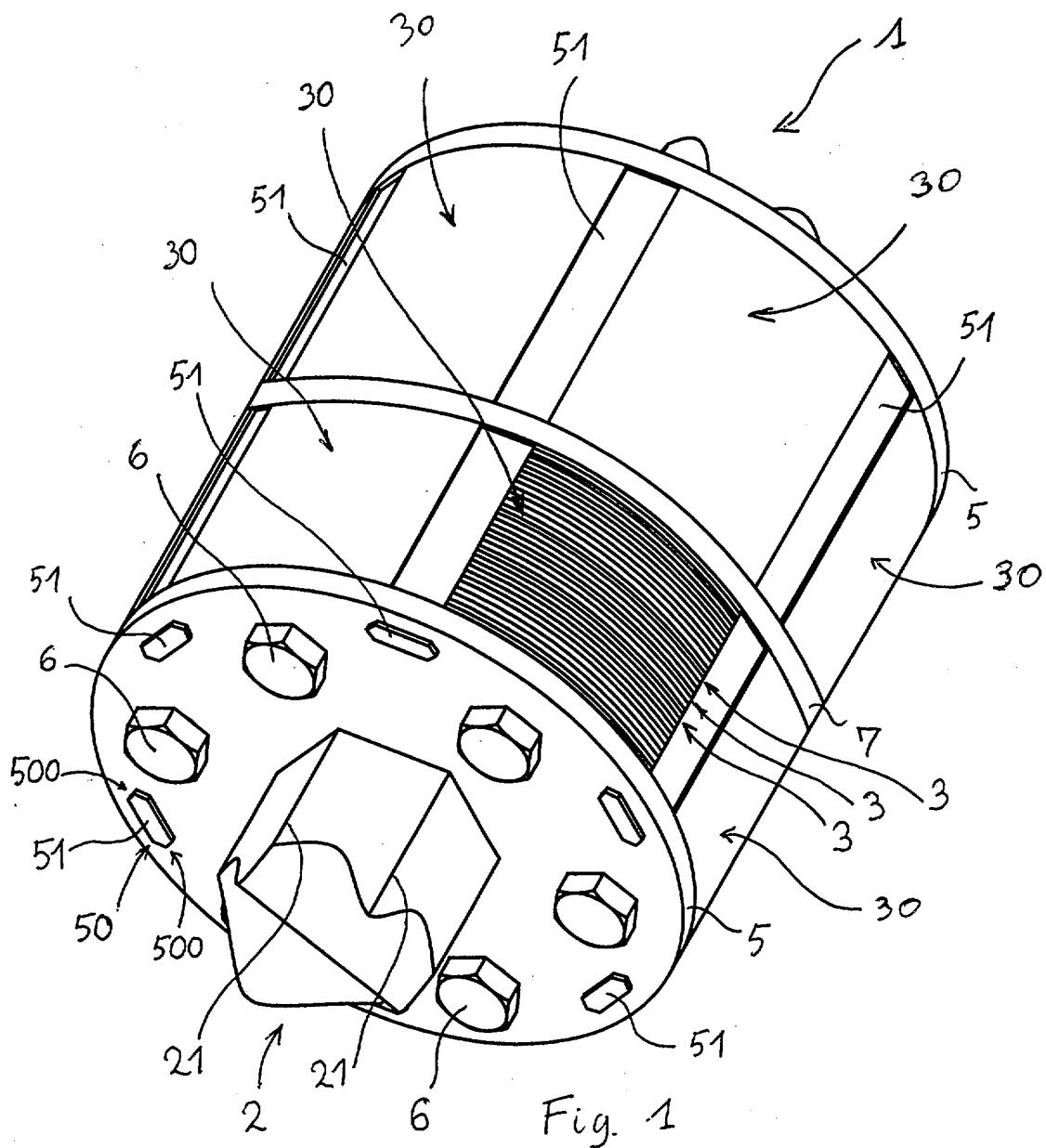
1. Machine électrique tournante, comprenant un stator extérieur (S) et un rotor intérieur (1), avec
5 un entrefer entre le rotor et le stator, le rotor comprenant :
 - un arbre (2) monté par des paliers (20) sur le stator, au moins l'enveloppe extérieure de l'arbre étant réalisée en matériau amagnétique, lesdits paliers définissant l'axe de rotation dudit arbre,
 - une pluralité de pièces polaires (30) réalisées en matière magnétique, entourant l'arbre, les
10 pièces polaires ayant un bord radialement intérieur en contact avec la surface de l'arbre et un bord radialement extérieur adjacent à l'entrefer, les pièces polaires délimitant entre elles des logements, lesdits logements s'étendant radialement depuis la surface de l'arbre jusqu'à une cloison adjacente à l'entrefer, la cloison étant mécaniquement solidaire des pièces polaires,
 - des aimants permanents (4) immobilisés dans lesdits logements.
2. Machine selon la revendication 1 dans laquelle ladite cloison est formée par une cale (51, 51B,
51C) coopérant avec des épaulements disposés sur chacune des pièces polaires adjacentes, de
façon à s'opposer au déplacement des aimants vers les plus grands rayons.
20
3. Machine selon la revendication 2 dans laquelle chaque épaulement est formé au moyen d'une
rainure (31) parallèle à l'axe du rotor, creusée dans chacune des faces longitudinales des
pièces polaires, à un niveau radial proche du bord extérieur de chaque pièce polaire.
25
4. Machine selon la revendication 2 dans laquelle chaque cale est réalisée en matériau
amagnétique.
5. Machine selon la revendication 4 dans laquelle le matériau amagnétique est choisi dans le
groupe constitué par une matière composite, l'aluminium, les aciers amagnétiques, les
30 céramiques et le titane.
6. Machine selon la revendication 2 dans laquelle chaque cale est en matériau conducteur de
l'électricité et consiste en une base (510B) mince et allongée parallèlement à l'axe, surmontée

d'une pluralité de blocs (511B) adjacents longitudinalement, non en contact les uns contre les autres.

7. Machine selon la revendication 2 dans laquelle chaque cale est constituée d'une pluralité de 5 blocs adjacents et alignés longitudinalement, réalisés en matériau conducteur de l'électricité, collés les uns contre les autres au moyen d'une matière non conductrice de l'électricité.
8. Machine selon la revendication 1 dans laquelle ladite cloison est formée au moins en partie par 10 une paroi mince (35), formant un pont assurant une jonction continue entre pièces polaires adjacentes, ledit pont étant formé de la même matière que les pièces polaires et les reliant toutes entre elles.
9. Machine selon la revendication 8 dans laquelle l'épaisseur de ladite paroi est inférieure à 15 0.5 mm.
10. Machine selon la revendication 6 ou 9, dans laquelle les bords radialement extérieurs des pièces polaires et les parois forment une surface cylindrique (36) continue.
11. Machine selon l'une des revendication 6 à 10 dans laquelle des ergots (33) sont disposés 20 circonférentiellement de part et d'autre de chaque pièce polaire, et radialement sous ladite paroi, de façon à former un épaulement s'opposant au déplacement des aimants vers les plus grands rayons.
12. Machine selon la revendication 11 dans laquelle le volume résiduel confiné entre les pièces 25 polaires et entre l'aimant et la cloison est comblé par une résine (37) de remplissage.
13. Machine selon l'une des revendications 1 à 12 dans laquelle le rotor comporte un flasque latéral (5) de chaque côté dudit ensemble axialement, l'arbre traversant ledit flasque latéral (5) par un évidement central aménagé sur ledit flasque latéral, et comportant au moins un tirant (6) 30 par pièce polaire, le tirant enserrant chaque pièce polaire entre les flasques latéraux.

14. Machine selon l'une des revendications 1 à 13 dans laquelle l'arbre, vu en section perpendiculaire à l'axe de rotation, forme un polygone convexe comportant des facettes planes séparées par des arêtes (21).
- 5 15. Machine selon l'une des revendications 1 à 14 dans laquelle chaque pièce polaire comporte un empilage de tôles ferro-magnétiques (3), chaque tôle étant sensiblement perpendiculaire à l'axe de l'arbre.
- 10 16. Machine selon l'une des revendications 1 à 15, dans laquelle les aimants permanents (4) sont en contact direct avec l'arbre (2) central.

1/4



2/4

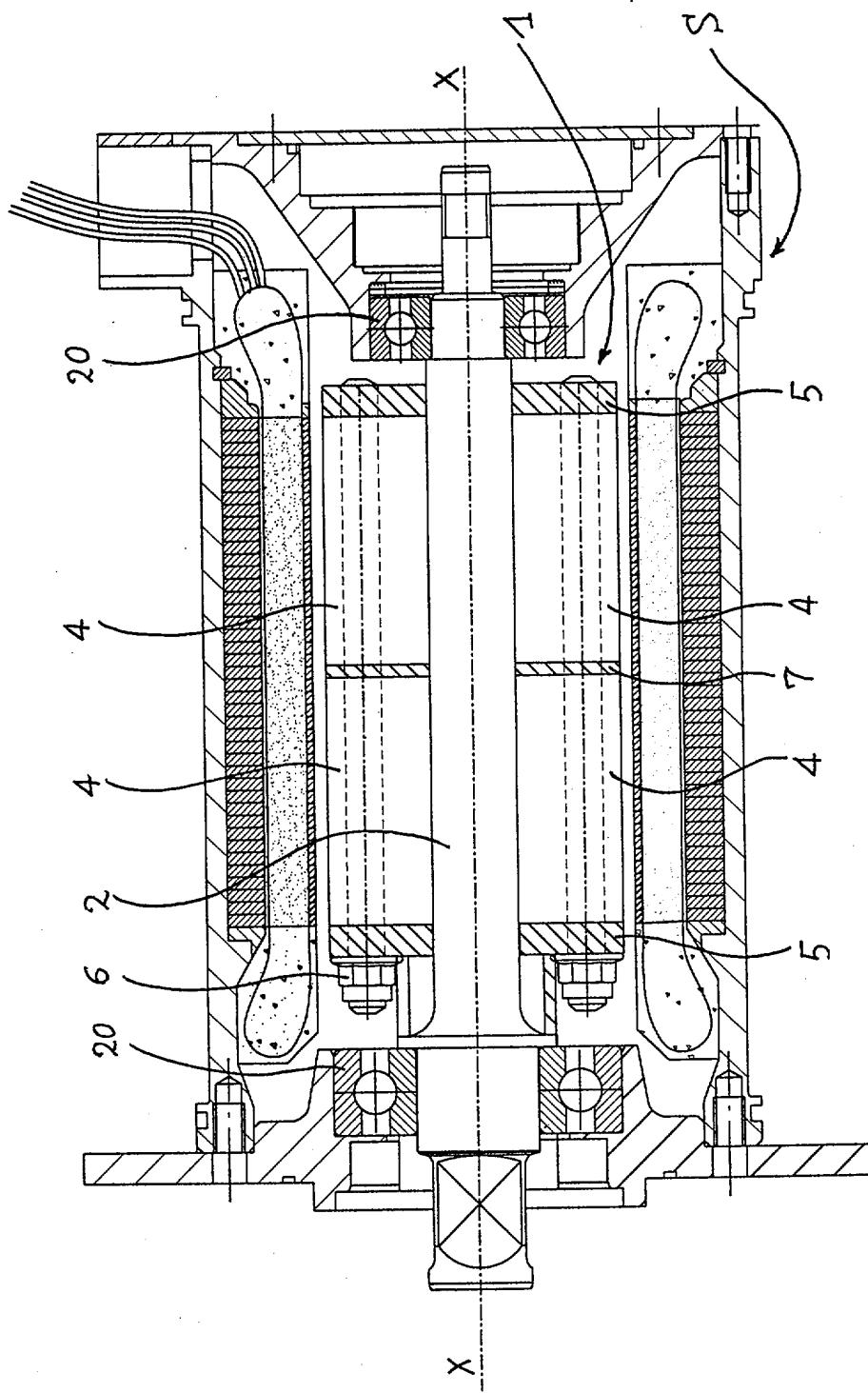


Fig. 2

3/4

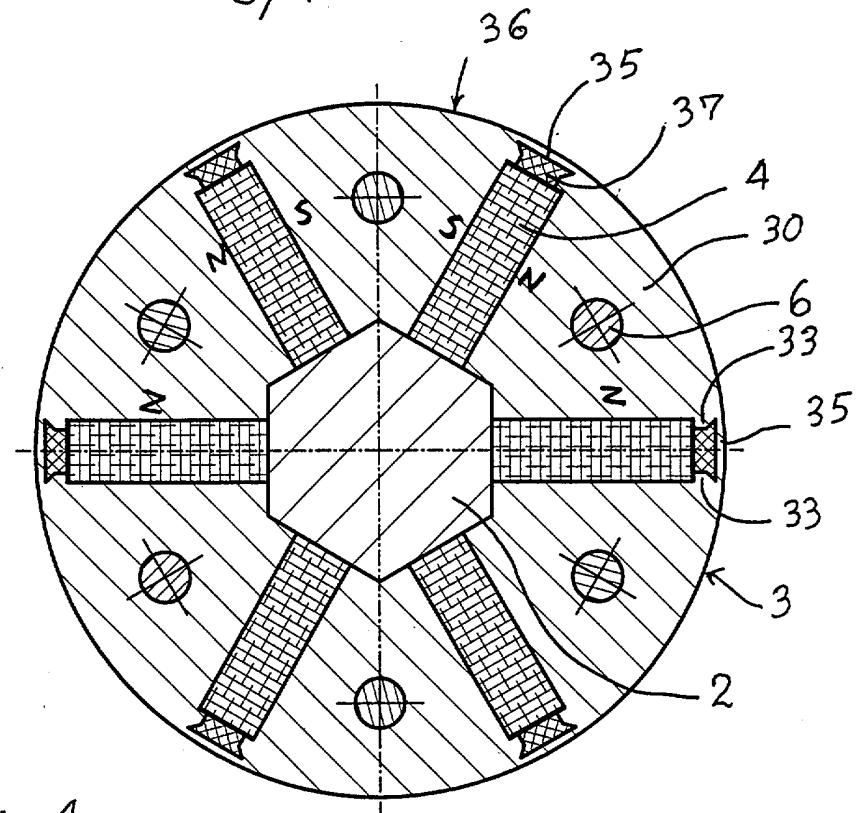
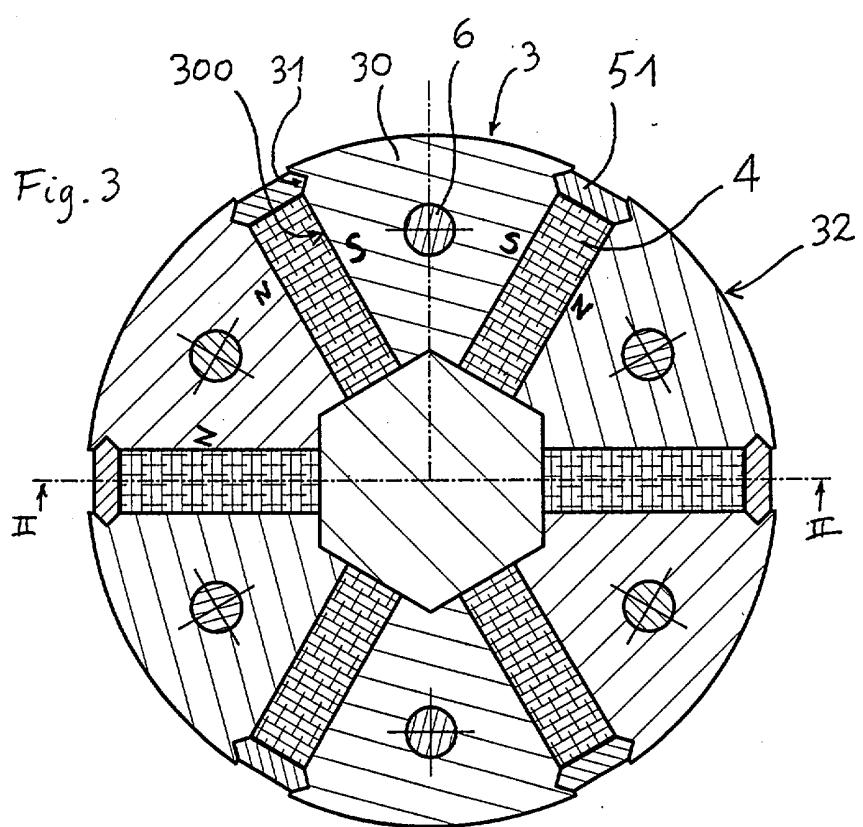
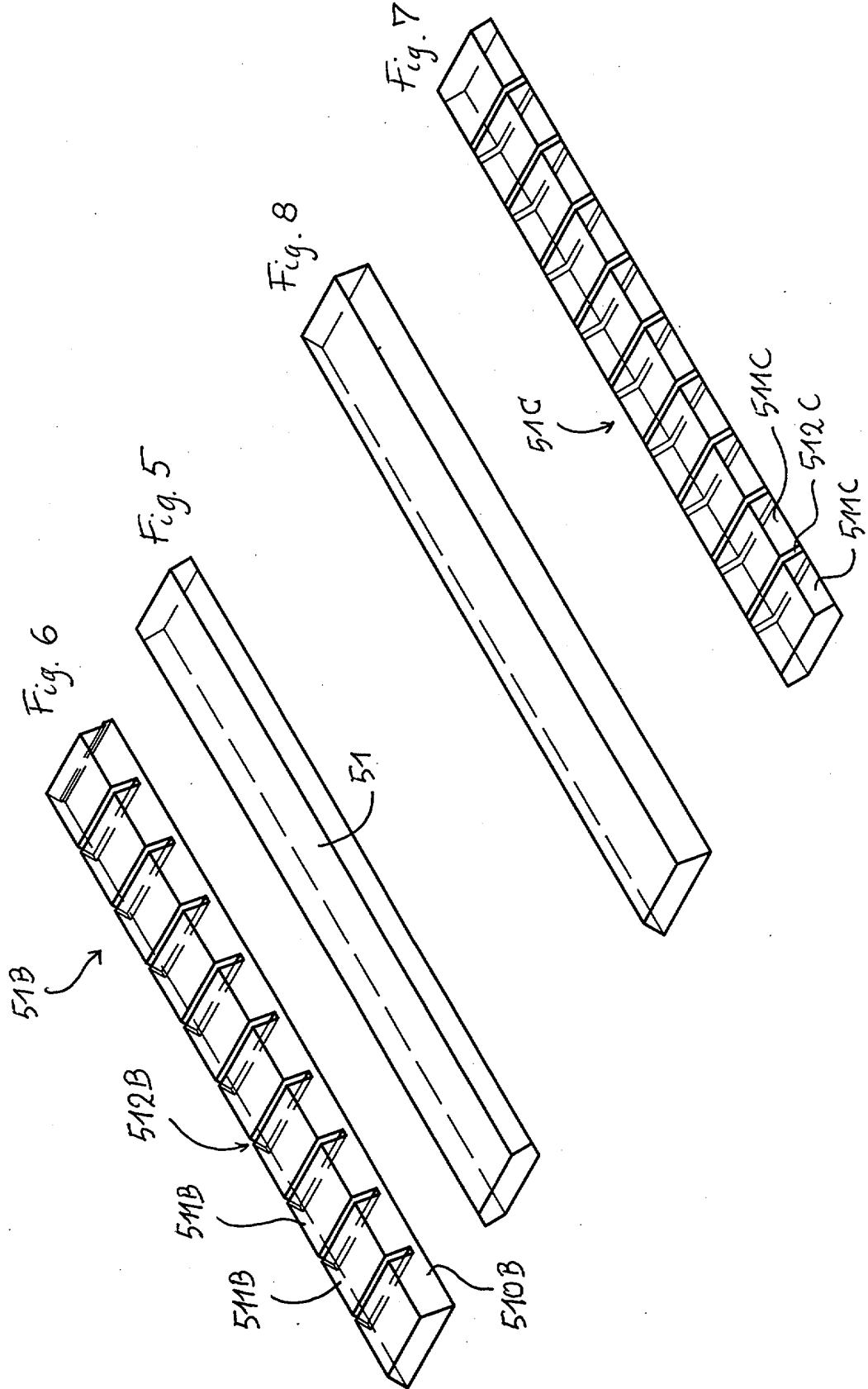


Fig. 4



4/4



**RAPPORT DE RECHERCHE
 PRÉLIMINAIRE**

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

FA 617545
 FR 0205478

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 0 803 962 A (BAMO ELETTROUTENSILI S R L) 29 octobre 1997 (1997-10-29) * abrégé * * colonne 2, ligne 16 – colonne 2, ligne 55 * * figures * ---	1,8,13, 15	H02K1/27
X	US 5 684 352 A (MITA MASAHIRO ET AL) 4 novembre 1997 (1997-11-04) * colonne 3, ligne 36 – colonne 3, ligne 51 * * figure 1 * ---	1,8-10	
X	FR 2 084 279 A (NIPPON DENSO CO) 17 décembre 1971 (1971-12-17) * figure 1 * ---	1-3	
A	EP 0 381 769 A (FANUC LTD) 16 août 1990 (1990-08-16) * abrégé; figure 2 * ---	12	
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 02, 29 février 2000 (2000-02-29) & JP 11 332146 A (SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD), 30 novembre 1999 (1999-11-30) * abrégé; figure 3 * ---	1,8,13, 15	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.Cl.7) H02K
2		Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
		31 janvier 2003	Ramos, H
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0205478 FA 617545**

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

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **31-01-2003**.
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française.

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
EP 0803962	A	29-10-1997	IT AT DE DE EP ES	MI960314 U1 196571 T 69703136 D1 69703136 T2 0803962 A1 2151713 T3		23-10-1997 15-10-2000 26-10-2000 01-03-2001 29-10-1997 01-01-2001
US 5684352	A	04-11-1997	JP	8331784 A		13-12-1996
FR 2084279	A	17-12-1971	DE FR	2108172 A1 2084279 A5		16-09-1971 17-12-1971
EP 0381769	A	16-08-1990	JP JP DE DE EP KR WO US	2041645 A 2574007 B2 68915530 D1 68915530 T2 0381769 A1 9306798 Y1 9001825 A1 5200662 A		09-02-1990 22-01-1997 30-06-1994 03-11-1994 16-08-1990 06-10-1993 22-02-1990 06-04-1993
JP 11332146	A	30-11-1999	CN	1235244 A		17-11-1999