

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
13 septembre 2007 (13.09.2007)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2007/101876 A1**

(51) Classification internationale des brevets :  
*H02K 21/44* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2007/052167

(22) Date de dépôt international : 8 mars 2007 (08.03.2007)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
0602058 8 mars 2006 (08.03.2006) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :  
**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS)** [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75016 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **HOANG, Emmanuel, Kiên, Lóc** [FR/FR]; 99, rue du Faubourg Saint Martin, F-75010 Paris (FR). **LECRIVAIN, Michel, Roger, René** [FR/FR]; 13, villa bac, F-94200 Ivry sur Seine (FR). **GABSI, Mohamed** [TN/FR]; 46, rue de Strasbourg, F-94230 Cachan (FR).

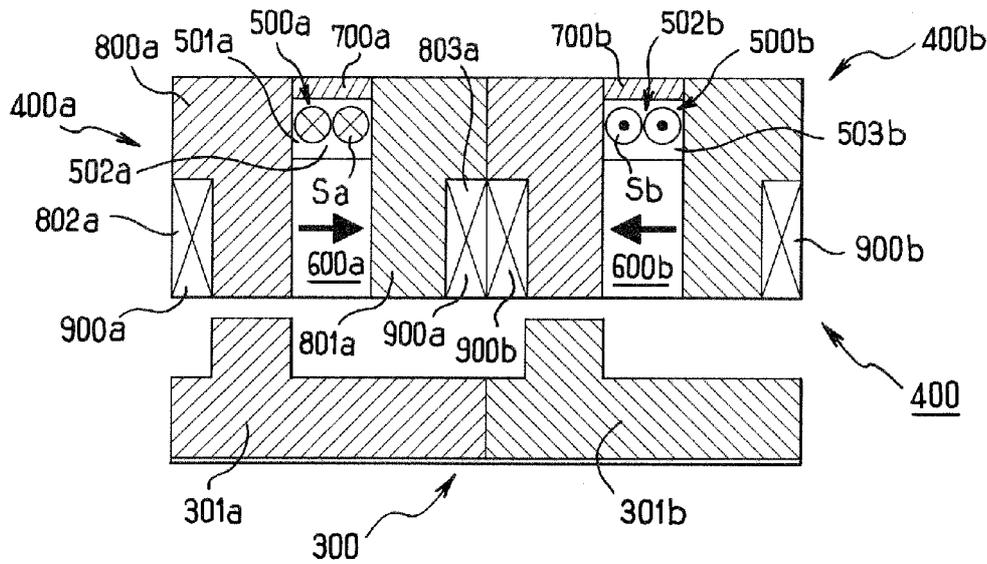
(74) Mandataire : **SCHRIMPF, WARCOIN, AHNER, TEXIER, LE FORESTIER, CALLON DE LAMARCK, COLLIN, TETAZ**; Cabinet Regimbeau, 20, rue de Chazelles, F-75847 Paris Cedex 17 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, 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, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: FLUX-SWITCHING DUAL-EXCITATION ELECTRICAL MACHINE

(54) Titre : MACHINE ÉLECTRIQUE À COMMUTATION DE FLUX ET À DOUBLE EXCITATION



(57) Abstract: The invention relates to flux-switching electrical machines. In particular, the invention proposes a flux-switching electrical machine comprising a stator (400) and a rotor (300), the stator having permanent magnets (600a, 600b), armature windings (900a, 900b) and excitation windings (501, 502), and the rotor having no winding or permanent magnet but comprising a plurality of flux-switching teeth (301a, 301b), characterized in that the stator is generally formed by a succession of elementary cells (400a, 400b) each cell (400a) being intended to interact with only a single tooth of the rotor at a time and each comprising: one (600a) of the permanent magnets; a first slot (500a) for at least partly housing one (501a) of the excitation windings (501) at least; and second slots (802a, 803a) for housing one (900a) of the armature windings.

[Suite sur la page suivante]

WO 2007/101876 A1



NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU,  
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR,  
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,  
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**(84) États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL,

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

---

**(57) Abrégé :** L'invention se rapporte aux machines électriques à commutation de flux. En particulier, on propose selon l'invention une machine électrique à commutation de flux, comportant un stator (400) et un rotor (300), le stator comportant des aimants permanents (600a, 600b), des bobinages d'induit (900a, 900b) et d'excitation (501, 502), et le rotor étant dépourvu de bobinage et d'aimant permanent et comportant une pluralité de dents de commutation de flux (301a, 301b), caractérisée en ce que le stator est généralement formé par une succession de cellules élémentaires (400a, 400b) destinées chacune (400a) à interagir avec une seule dent à la fois du rotor et comprenant chacune : - l'un des aimants permanents (600a), et - une première encoche (500a) pour loger au moins en partie l'un (501a) des bobinages d'excitation (501) au moins, - des deuxième encoches (802a, 803a) pour loger l'un (900a) des bobinages d'induit.

## Machine électrique à commutation de flux et à double excitation

La présente invention se rapporte d'une façon générale aux machines électriques tournantes, telles que les alternateurs pour véhicules automobiles.

En particulier, la présente invention se rapporte à des machines tournantes à commutation de flux.

On sait que ce type de machine présente de nombreux avantages comme par exemple celui de pouvoir s'affranchir d'une utilisation classique de balais qui accroissent le coût de revient ainsi que les défauts de fonctionnement engendrés notamment du fait de leur usure.

D'une manière générale, les machines tournantes à commutation de flux possèdent un rotor et un stator.

Tous les moyens électriquement et magnétiquement actifs de la machine sont situés uniquement dans le stator.

Ce dernier est en particulier le seul à comporter des bobinages d'induit et des aimants permanents.

Ainsi, le rotor étant dépourvu de ces moyens actifs, il est généralement constitué, au moins principalement, d'un ensemble de tôles ferromagnétiques.

Un tel rotor offre notamment l'avantage d'autoriser des vitesses de rotation très importantes puisque, comparé à des rotors du type comprenant des moyens actifs, il est notamment d'aspect uniforme.

On connaît par ailleurs des machines de ce type qui offrent la possibilité de régler leur excitation.

Un tel réglage fait que ces machines sont plus adaptées notamment à une utilisation en tant qu'alternateur pour véhicules, car la vitesse de rotation dans ces derniers peut être extrêmement variable.

5 A cet égard le document FR 2 769 422 propose une machine tournante à commutation de flux dans laquelle la régulation de l'excitation est rendue possible en combinant dans le stator au moins un aimant permanent apte à établir localement un flux magnétique bouclant sur lui même dans une direction circonférentielle du stator et au moins un bobinage d'excitation apte à établir localement un flux magnétique réglable dans une direction circonférentielle inverse de celle du flux produit par le ou les aimants.

10 Plus précisément, tel que représenté sur la figure 1, le stator 1 comporte une succession de cellules élémentaires C destinées chacune à interagir avec une dent 3 à la fois du rotor 2 et comprenant chacune soit un aimant A, soit une encoche E recevant une partie d'un bobinage d'excitation, soit une encoche I recevant une partie d'un bobinage de l'induit, soit une encoche vide V.

Les aimants A sont agencés de sorte que les champs B qui y règnent soient polarisés dans le même sens.

20 En l'occurrence, sur la figure 1 ces champs sont tous polarisés dans une direction circonférentielle dans le sens des aiguilles d'une montre.

Une telle machine tournante permet de faire varier l'amplitude des flux magnétiques engendrés dans le stator, en jouant sur la valeur d'un courant qui circule dans les bobinages d'excitation.

25 Bien qu'ayant rendu de nombreux services, une telle machine présentent néanmoins certains inconvénients.

En particulier, un inconvénient d'un tel agencement des éléments actifs dans le stator est qu'il engendre, notamment par la présence des brins, un encombrement trop important.

5 Par ailleurs, la construction du stator est relativement complexe du fait de croisements nécessaires entre des brins des différents bobinages, ce qui pénalise en particulier le processus d'industrialisation.

10 En outre selon les orientations des champs B choisies dans cette machine, l'entraînement en rotation du rotor nécessite que le courant d'excitation dans les bobinages d'excitation soit supérieur à zéro, ce qui pénalise le rendement de la machine.

Un but de l'invention est de proposer une machine tournante à commutation de flux à double excitation qui pallie aux inconvénients de l'état de la technique.

15 En particulier un but de l'invention est de fournir une machine tournante à commutation de flux à double excitation dont la construction est simplifiée.

Un autre but de l'invention est de fournir une machine de ce type avec des performances améliorées, notamment en termes de couple.

20 Un autre but de l'invention est de fournir une machine à double excitation avec une compensation locale du flux et donc des inductions limitant ainsi les pertes fer. Ce résultat est particulièrement bénéfique à hautes vitesses.

25 A cet effet, on propose selon l'invention une machine électrique à commutation de flux, comportant un stator et un rotor, le stator comportant des aimants permanents, des bobinages d'induit et d'excitation, et le rotor étant dépourvu de bobinage et d'aimant

permanent et comportant une pluralité de dents de commutation de flux, caractérisée en ce que le stator est généralement formé par une succession de cellules élémentaires, destinées chacune à interagir avec une seule dent à la fois du rotor, et comprenant chacune :

- 5
- l'un des aimants permanents, et
  - une première encoche pour loger au moins en partie l'un des bobinages d'excitation au moins,
  - des deuxièmes encoches pour loger l'un des bobinages d'induit.

Des aspects préférés mais non limitatifs de cette machine sont les  
10 suivants :

- dans chaque, l'aimant permanent et la première encoche sont alignés suivant une direction radiale ;
- pour chaque cellule élémentaire, les bobinages d'excitation et l'aimant permanent sont disposés dans la même première encoche ;
- 15 - dans chaque cellule, les deuxièmes encoches sont à une distance radiale sensiblement égale, par rapport à un axe de rotation du rotor ;
- les deuxièmes encoches s'étendent de part et d'autre de l'aimant permanent ;
- 20 - chaque cellule élémentaire comprend en outre un premier matériau formant portion de circuit magnétique localisé à la périphérie du stator et prévu pour refermer au moins partiellement un flux généré par les bobinages d'excitation et/ou par les aimants permanents ;
- le premier matériau formant portion de circuit magnétique possède  
25 une épaisseur  $e$ , telle que la force magnétique du ou des bobinages

d'excitation est supérieure ou égale à une valeur seuil prédéterminée ;

- chaque cellule comporte en outre au moins un deuxième matériau ferromagnétique séparant l'aimant permanent du bobinage de l'induit ;
- les premier et deuxième matériaux sont d'un bloc et forment sensiblement un U tourné vers l'axe de rotation du rotor ;
- dans chaque cellule, l'aimant permanent et la première encoche forment généralement un T, vu à partir de l'axe de rotation du rotor ;
- les bobinages d'excitation sont subdivisés dans les premières encoches de deux cellules élémentaires adjacentes.

D'autres aspects, buts et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description suivante de l'invention, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 déjà commentée, montre schématiquement une machine tournante à commutation de flux à double excitation de l'état de la technique,
- la figure 2 illustre schématiquement une machine tournante selon l'invention avec ses cellules élémentaires réparties autour du rotor suivant un périmètre du stator,
- la figure 3, montre schématiquement en plan et vu suivant une direction parallèle à l'axe de rotation du rotor, deux cellules agencées selon un mode préféré de l'invention,
- la figure 4 montre en perspective le stator selon le mode de réalisation préféré de l'invention,
- la figure 5 montre une vue agrandie du stator de la figure 4,

- la figure 6, montre schématiquement une vue en plan, et selon la direction de l'axe de rotation du rotor, la machine selon le mode de réalisation préféré de l'invention,
- la figure 7 illustre les flux magnétiques impliqués dans des cellules lorsque le courant d'excitation est sensiblement nul,
- la figure 8 illustre les flux magnétiques impliqués dans ces cellules lorsque le courant d'excitation est positif,
- la figure 9 illustre les flux magnétiques impliqués dans ces cellules lorsque le courant d'excitation est négatif,
- la figure 10 montre graphiquement à titre d'exemple non limitatif l'amplitude du flux de la machine selon l'invention avec et sans aimant permanent dans le stator, et ce en fonction d'un courant d'excitation fourni dans les bobinages d'excitation, et
- la figure 11, montre graphiquement à titre d'exemple non limitatif le couple de la machine en fonction d'un angle électrique, dans les conditions où le stator comporte les bobinages d'excitation seulement, les aimants permanents seulement, ou la combinaison des bobinages et des aimants précités.

En se référant à la figure 2, on a représenté schématiquement une machine tournante 100 à commutation de flux et à double excitation selon l'invention.

La machine comporte un rotor 101 muni d'une pluralité de dents 104 et entouré par un stator 102.

Le stator comporte, à titre d'exemple non limitatif, six cellules élémentaires 103a à 103f distribuées suivant le périmètre du stator et donc autour du rotor.

Par principe, dans ce texte, chaque cellule est définie comme étant apte à interagir avec une seule parmi lesdites dents du rotor 101.

Par exemple, on voit que dans la configuration angulaire du rotor présentée à la figure 2, la cellule 103a interagit uniquement avec la dent 104a et ainsi de suite.

Chaque cellule élémentaire 103 comporte un aimant permanent  $A_i$  et une première encoche pour loger au moins en partie un ou plusieurs bobinages d'excitation  $E_i$ .

Un tel agencement permet facilement qu'au sein d'une même cellule les champs magnétiques générés par l'aimant  $A_i$  et le bobinage d'excitation  $E_i$  se compensent localement.

Ainsi, de manière avantageuse, il est possible très simplement de réduire les pertes électromagnétiques de la machine.

En effet, dans chacune des cellules les champs peuvent avoir une amplitude très grande, mais la résultante au sein de celle-ci peut être réduite par un agencement approprié dudit aimant et dudit bobinage.

A titre d'exemple non limitatif, si l'on suppose que ce dernier génère un premier champ de 1,0 Teslas en sens opposé à un deuxième champ de 1,5 Teslas généré par l'aimant, la résultante au sein de la cellule est de 0,5 Teslas dans le sens du deuxième champ.

Au contraire, dans un agencement où chaque cellule ne comporte pas la combinaison de l'aimant et du bobinage d'excitation, et en particulier si la cellule comporte l'aimant  $A_i$  et sa cellule adjacente le bobinage  $E_i$ , le champ résultant au sein de chaque cellule est maximal, à savoir égale à celui généré par le moyen actif dans la cellule en question (d'un côté le

champ généré par l'aimant permanent  $A_i$ , de l'autre celui par le bobinage  $E_i$ ).

Ainsi dans une telle machine, les pertes sont importantes.

5 On va maintenant décrire plus en détails un mode de réalisation préféré de l'invention.

A cet égard on se référera d'abord à la figure 3 sur laquelle on a représenté schématiquement une partie seulement de la machine.

10 Plus précisément on peut y voir deux dents 301a et 301b d'un rotor 300 interagissant avec deux cellules élémentaires 400a et 400b d'un stator 400, respectivement.

Chaque dent est en regard d'une région de la cellule correspondante qui se situe à une distance du centre de rotation du rotor la plus proche.

15 En considérant maintenant, à titre d'exemple non limitatif, la cellule élémentaires 400a, celle-ci comporte une encoche 500a pour loger une partie 501a et 502a de deux bobinages d'excitation 501 et 502.

Ces parties 501a et 502a sont logées respectivement à gauche et à droite de l'encoche lorsque l'on considère le sens des aiguilles d'une montre par rapport à l'axe de rotation du rotor ou de la machine.

20 Les brins de ces bobinages sont aptes à être parcourus par un courant dirigé dans le sens désigné par le symbole  $S_a$ .

Tel que représenté dans cette cellule, le courant dans les deux parties de bobinage 501a et 502a est donc censé sortir de l'encoche par le haut du plan de la figure.

25 Bien entendu, ceci n'exclut par le fait que les courants dans ces bobinages puissent dans une autre représentation liée à une autre

condition de fonctionnement de la machine être dirigés en sens inverse, par exemple.

Dans la cellule adjacente 400b, on a également prévu une encoche 500b pour loger une autre partie de l'un des bobinages précédents.

5 En particulier, la cellule 400b étant située à droite de la cellule 400a, l'encoche 500b loge une autre partie 502b du bobinage 502, car comme indiqué précédemment ce bobinage étant logé à droite de l'encoche 500a, le trajet entre les parties gauche et droite des encoches respectives 500a et 500b est le plus court.

10 Bien entendu, le bobinage 501 dans la cellule 400a possède une autre partie dans l'encoche d'une autre cellule adjacente non représentée.

Plus précisément, ce bobinage 501 étant logé à gauche dans l'encoche 500a ladite autre partie est naturellement logée dans l'encoche de la cellule directement adjacente à gauche (non représentée).

15 Cette remarque vaut également pour la cellule adjacente à droite de la cellule 400b et ainsi de suite.

En particulier, l'encoche 500b loge dans sa région gauche la partie 502b du bobinage 502 et, dans sa région droite, une partie 503b d'un autre bobinage 503, cette autre partie de ce dernier étant logée, à son tour, dans  
20 la région gauche de l'encoche d'une cellule (non représentée) qui se trouve deux fois à droite de la cellule 400b.

On remarquera d'après la figure 3 encore, que la partie 502b étant parcourue dans l'encoche 500b par le même courant que celui dans la partie 502a, cette fois-ci, celui-ci est dirigé en vers le dessous du plan de la  
25 figure dans la cellule 400b (comme indiqué par le symbole Sb).

En plus de l'encoche 500a, la cellule 400a comporte une encoche pour loger un aimant permanent 600a.

Cette encoche et l'encoche 500a sont alignées dans une direction radiale par rapport au centre du rotor.

5 De préférence, ces deux encoches sont disposées adjacentes dans cette direction.

Par ailleurs, la somme de leur hauteur respective (dans la direction radiale) est presque égale à la hauteur de la cellule.

10 Cette dernière hauteur est en fait sensiblement plus grande du fait de la présence dans ledit alignement radial d'un premier matériau ferromagnétique 700a d'une hauteur e.

On parlera par la suite de cette hauteur e en la désignant par l'épaisseur e.

15 Plus précisément, ce matériau est adjacent à l'encoche 500a du bobinage d'excitation 501 et 502 de sorte à amplifier de manière contrôlée une force magnétique de ce bobinage lorsqu'il est parcouru par le courant.

Le contrôle de cette force est rendu possible en jouant notamment sur l'épaisseur e.

20 Ainsi, au moment de la conception de la machine on déterminera cette épaisseur e en fonction d'autres éléments de la cellule et selon une valeur minimale choisie de la force souhaitée.

L'ensemble constitué par l'encoche 500a, l'aimant 600a et le premier matériau s'étendent dans ladite direction radiale sensiblement au centre de la cellule 400a.

25 De part et d'autre de cet ensemble, c'est-à-dire à gauche et à droite, on a prévu deux deuxièmes matériaux ferromagnétiques 800a et 801a.

Ceux-ci sont solidaires du premier matériau 700a et de préférence ils sont tous trois d'un seul bloc.

Un avantage est que par construction simple de ces trois matériaux en particulier le stator de l'invention possède une très bonne rigidité.

5 Par ailleurs, le premier et les deuxièmes matériaux forment sensiblement un U tourné vers le bas.

C'est dans l'ouverture du U que l'on dispose les deux parties des deux bobinages d'excitation et l'aimant permanent.

10 Les deuxièmes matériaux comportent chacun une deuxième encoche 802a et 803a pour loger un bobinage d'induit 900a.

Ces encoches, de forme identique, sont disposées symétriquement par rapport à un axe radial, de part et d'autre de l'aimant permanent.

En particulier, elles sont agencées dans un décrochement prévu dans les deuxièmes matériaux.

15 En outre, elles sont agencées de telle sorte que le bobinage 900a puisse entourer cet aimant.

20 Ainsi à titre d'exemple, le bobinage d'induit 900a peut être enroulé vers le dessous du plan de la figure, dans l'encoche 802a située à gauche de l'ensemble, et vers le haut dans l'encoche 802a située à droite dudit ensemble.

Et la liaison entre ces deux encoches est définie par deux têtes de bobinage non représentées, où les brins sont enroulés respectivement vers la gauche et vers la droite pour passer devant les deuxièmes matériaux et l'aimant permanent 600a.

25 On notera que ces têtes plus les deux parties d'un bobinage d'excitation logées dans deux encoches forment un bobinage complet.

On notera aussi que, de préférence, la hauteur des encoches 802a et 803a est sensiblement égale à celle de l'aimant permanent 600a.

Par ailleurs, toujours selon le mode préféré de l'invention, la deuxième encoche 803a communique avec la deuxième encoche située à gauche dans la cellule 400b.

Ce principe de communication s'applique également à la deuxième encoche 802a avec l'encoche qui est à droite dans la cellule non représentée qui se trouve à gauche de ladite cellule 400a.

En référence aux figures 4 à 6, on peut voir respectivement le stator dans son ensemble dépourvu du premier matériau pour des raisons de lisibilité de la figure, une vue agrandie de ce stator et, une vue en plan moins schématique que la figure 3 discutée ci-dessus du stator et du rotor selon le mode de réalisation préféré de l'invention.

On peut voir en particulier, sur les figures 4 et 5, la disposition dans la structure annulaire du stator :

- des bobinages dans chaque cellule d'induit et d'excitation, et
- des encoches d'aimants dans chaque cellule.

Par ailleurs, sur ces figures et en particulier sur la figure 6, on voit que dans chaque cellule ledit ensemble, à savoir l'aimant permanent (ou son encoche) et le bobinage d'excitation (ou la première encoche prévu pour loger ce bobinage), ont généralement la forme d'un T (voir la référence 1000 sur la figure 6 qui désigne une cellule dans laquelle ledit ensemble a été hachuré).

On peut voir également de façon plus détaillée que sur la figure 3, l'alternance des sens des courants dans les bobinages, et ce par le biais des symboles du type du symbole Sa et Sb précité.

On peut voir en outre l'agencement des trois phases P1 à P3 nécessaires à la machine de type triphasé présentée ici à titre d'exemple non limitatif.

5 On va maintenant décrire le fonctionnement de la machine réalisée selon le mode préféré de l'invention.

A titre préliminaire, le fonctionnement du rotor avec le stator ne sera pas décrit en détails dans la mesure où ce fonctionnement est classique et connu en soi dans les machines à commutation de flux.

10 Ainsi, on notera simplement pour la compréhension du texte qui suit, que le stator étant fixe, le rotor est, lui, amené à tourner autour de son axe par le biais d'une variation contrôlée des champs magnétiques dans le stator et des courants dans les bobinages d'induit au stator.

La figure 7 montre schématiquement, au niveau d'une cellule élémentaire, les flux magnétiques impliqués dans ladite rotation du rotor.

15 Par ailleurs, il est important de noter que cette figure illustre ces flux lorsque les courants d'excitation dans les bobinages d'excitation sont inférieurs à une valeur seuil prédéterminée et lorsque, ainsi, les champs magnétiques engendrés par ces bobinages sont négligeables par rapport à ceux générés par les aimants permanents.

20 En considérant à titre d'exemple non limitatif la cellule 400a, le champ magnétique de l'aimant permanent 600a est noté B1.

Au niveau de cet aimant, les lignes de flux s'étendent suivant le périmètre du stator, et ce, de gauche à droite dans cet exemple.

25 On voit en outre que les aimants permanents dans la machine ont été agencés de telle sorte que le champ B1 dans une cellule est orienté en sens

opposé aux champs respectifs B1 dans les deux cellules adjacentes à la cellule en question.

Par exemple dans la cellule 400a, le champ B1 est orienté au niveau de l'aimant dans le sens des aiguilles d'une montre, tandis que dans les  
5 cellules adjacentes, par exemple dans la cellule 400b, le champ est orienté dans le sens trigonométrique.

Dans la configuration angulaire du rotor présenté à titre d'exemple non limitatif sur la figure 7 (ainsi que les figures 8 et 9), une partie des lignes du champ magnétique B1, en particulier une partie qui est la plus  
10 proche de l'encoche 501a de bobinage d'excitation, parcourt le deuxième matériau ferromagnétique 801a en passant autour de ladite encoche 500a dans le sens trigonométrique pour revenir à l'aimant permanent.

Il passe donc à travers le premier matériau 700a puis à travers le deuxième matériau 800a.

15 Une autre partie des lignes de champ, en particulier une partie située sensiblement à équidistance de l'encoche 501a et de la dent 301a du rotor, traverse l'aimant permanent dans le sens des aiguilles d'une montre suivant ledit périmètre et tend à rejoindre le parcours décrit ci-dessus.

Par ailleurs, les lignes qui traversent l'aimant proviennent de la dent  
20 301a du rotor.

Elles correspondent à des lignes de champs qui sont associées à au moins l'une des cellules adjacentes et qui passent par le rotor.

En particulier, selon cette configuration angulaire, certaines de ces lignes proviennent de l'aimant permanent de la cellule à gauche, d'autres  
25 de l'aimant permanent de la cellule à droite.

On notera que ces lignes peuvent aussi correspondre à certaines parmi celles qui seront décrites ci-après.

5 Une dernière partie des lignes de champ, en particulier une partie qui est la plus proche de la dent 301a, traverse l'aimant permanent dans le sens des aiguilles d'une montre et parcourt le deuxième matériau 801a en se dirigeant cette fois-ci vers le rotor.

10 Dans cette configuration angulaire, la dent 301b, en regard alors de la cellule 400b, est à une distance de l'aimant telle que certaines parmi ces dernières lignes de champ (mais dans cet exemple une faible proportion seulement) peuvent parcourir cette dent 301b, la périphérie du rotor, et ressortir de ce dernier pas la dent 301a pour reboucler au niveau de l'aimant permanent 600a.

15 Toutefois, dans cette configuration encore, une grande proportion de ces lignes reboucle localement sur l'aimant permanent sans passer par le rotor.

Bien entendu, la description ci-dessus n'est pas exhaustive et sert plutôt d'illustration.

20 L'homme du métier comprendra en particulier que, de part les phénomènes physiques impliqués, il serait vain et sans doute fort peu utile d'essayer de décrire de façon extrêmement précise tous les flux présents dans la machine.

25 La figure 8 montre les flux dans la même partie de la machine, mais les bobinages d'excitation, par exemple ceux dans l'encoche 500a de bobinage, sont parcourus par un courant d'excitation positif (voir les symboles Z).

On entend par courant positif un courant orienté dans un sens tel que le champ électromagnétique engendré par le bobinage d'excitation s'ajoute au moins en partie au champ de l'aimant permanent de sorte à accroître le flux dans les bobinages d'induit.

5 Dans ce cas, et dans la configuration angulaire précitée du rotor, la plupart des lignes de champs traversant l'aimant permanent viennent de la dent 301a.

Et plus précisément, ces lignes peuvent provenir des aimants permanents des deux cellules adjacentes après avoir traversées le rotor et en particulier les dents en regard de ces deux cellules.

10 De l'autre côté de l'aimant permanent, une partie des lignes de champs se propage dans le premier matériau 700b de la cellule 400b pour reboucler sur l'aimant 600b, après avoir contournée en partie l'encoche 500b.

15 Et l'autre partie de ces lignes contourne par la droite l'encoche 500a en passant notamment dans le premier matériau 700a, puis se propage dans la cellule adjacente à gauche en direction de son aimant permanent.

Il existe ainsi principalement un bouclage défini successivement par l'aimant 600a, le premier matériau 700b, l'aimant 600b, la dent 301b et la dent 301a.

20 Et il existe un autre bouclage avec l'aimant 600a, le premier matériau 700a, l'aimant de la cellule à gauche, la dent en regard de cette dernière et la dent 301a.

En référence à la figure 9, on a illustré encore à titre d'exemple non limitatif les flux dans la même partie de la machine, mais les bobinages

25

d'excitation, par exemple ceux dans l'encoche 500a, sont parcourus par un courant d'excitation négatif (voir les symboles Z).

Dans ce cas, la plupart des flux ne passent plus par le rotor et en particulier par ses dents.

5 Et les flux rebouclent à l'intérieur d'une même cellule sans passer par une autre cellule.

Plus précisément, les flux dans une cellule forment une seule boucle à l'intérieure de celle-ci, passant en particulier par l'aimant permanent (par exemple 600a), contournant l'encoche de bobinage d'excitation à  
10 travers notamment le premier matériau (par exemple 700a dans le sens trigonométrique) pour revenir finalement sur l'aimant.

Comme l'aura compris l'homme du métier, les flux magnétiques décrits à partir des figures 7 à 9 sont tels qu'ils permettent de contrôler le flux magnétique dans les bobinages d'induit du stator.

15 En particulier, lorsqu'un courant négatif parcourt les bobinages d'excitation, le flux magnétique dans les bobinages d'induit a tendance à s'annuler, tandis que lorsque ce courant est positif, il a tendance au contraire à augmenter.

En référence à la figure 10, on peut observer, à titre d'illustration et  
20 de façon non limitative, une variation de l'amplitude des flux (ordonnées) en fonction de l'amplitude du courant d'excitation (abscisses).

Afin d'illustrer par ailleurs un intérêt de la combinaison d'un aimant permanent avec un bobinage d'excitation, cette figure comporte une première courbe 1200 qui correspond à la machine dépourvue d'aimant  
25 permanent dans chacune des cellules, et une deuxième courbe 1100 qui correspond à la machine réalisée selon le mode préféré de l'invention.

On notera ici que les valeurs des coordonnées sur les axes ne sont à considérer qu'à titre indicatif seulement.

Comme on peut le voir, l'amplitude des flux sur la courbe 1100 est toujours supérieure à celle sur la courbe 1200, ce qui montre une  
5 amélioration des performances de la machine, notamment en termes de couple.

A cet égard, sur la figure 11 on montre graphiquement l'évolution du couple en fonction de l'angle électrique selon trois cas différents.

Dans le premier cas illustré par la courbe 1500, la machine fonctionne  
10 grâce aux bobinages d'excitation seulement, c'est-à-dire que les aimants permanents ne sont pas actifs, et ceux dans les bobinages d'induit sont alternatifs, fonction de la position angulaire du rotor.

Dans le deuxième cas illustré par la courbe 1400, seuls les aimants permanents sont actifs, c'est-à-dire que le courant dans le bobinage  
15 d'excitation est négligeable ou nul. Le couple pour faire tourner le rotor de la machine est créé par l'interaction des courants dans les bobinages d'induit et des flux dus aux aimants permanents.

Enfin, dans le troisième cas illustré par la courbe 1300, on combine  
20 l'action des aimants permanents, des bobinages d'excitation et des bobinages d'induit.

Comme on pouvait s'y attendre, la combinaison des moyens actifs précités offre un meilleur couple.

Plus précisément encore, on peut constater que, contrairement à toute attente et à la surprise de la demanderesse, la courbe 1300 est  
25 supérieure à une simple superposition des courbes 1400 et 1500.

En d'autres termes, la machine selon le mode préféré de l'invention bénéficie d'effets de synergie avantageux qui lui confère des performances en couple bien supérieures à une simple addition des couples obtenus pour les premier et deuxième cas susmentionnés.

5           A cet égard, la demanderesse pense que, la compensation locale dans chaque cellule du champ magnétique susmentionnée contribue dans une certaine mesure à un tel effet.

Bien entendu, la présente invention n'est nullement limitée à la forme de réalisation décrite ci-dessus et représentée sur les dessins.

10           En particulier, on peut selon une variante du mode de réalisé présenté jusqu'ici disposer les éléments différemment au sein d'une cellule.

Par exemple, on peut intervertir les positions de l'encoche 500a du bobinage d'excitation et de l'encoche 600a de l'aimant permanent, de sorte  
15           que ce dernier se retrouve finalement le plus éloigné du rotor.

On notera alors que le deuxième matériau 700a devra être disposé de préférence sur la périphérie interne de la cellule, c'est-à-dire à son extrémité basse vu du centre de rotation, ou encore entre la dent du rotor et l'encoche 500a.

20           Selon une autre variante, on pourra utiliser des cellules agencées selon le mode préféré de l'invention, et d'autres cellules agencées selon la variante précédente.

Selon une autre variante, on logera dans l'encoche 500a une partie d'un unique bobinage d'excitation (et non deux parties de deux bobinages  
25           selon le mode préféré).

Et une autre partie de ce bobinage sera logée exclusivement dans l'encoche 500b de la cellule adjacente 400b.

Selon une autre variante encore, on isolera les encoches 900a de bobinage d'induit qui sont adjacentes entre deux cellules.

5           Au vu de ce qui précède, les avantages de la présente invention sont faciles à percevoir, certains ayant d'ailleurs déjà été présentés.

En ce qui concerne en particulier la facilité de fabrication et l'encombrement, il apparaît clairement d'après la description et en particulier d'après les dessins que ces aspects sont nettement améliorés.

10           Un telle amélioration est notamment due aux agencements des bobinages les uns vis-à-vis des autres, en particulier aux croisements limités entre les différents brins et à l'utilisation du premier matériau en tant qu'élément impliqué à la fois dans les performances électriques et mécaniques (rigidité, etc.) de la machine.

15

**REVENDICATIONS**

1. Machine électrique à commutation de flux, comportant un stator (400) et un rotor (300), le stator comportant des aimants permanents (600a, 600b),  
5 des bobinages d'induit (900a, 900b) et d'excitation (501, 502), et le rotor étant dépourvu de bobinage et d'aimant permanent et comportant une pluralité de dents de commutation de flux (301a, 301b), caractérisée en ce que le stator est généralement formé par une succession de cellules élémentaires (400a, 400b), destinées chacune (400a) à interagir avec une  
10 seule dent à la fois du rotor, et comprenant chacune :

- l'un des aimants permanents (600a),
- une première encoche (500a) pour loger au moins en partie l'un (501a) des bobinages d'excitation (501) au moins, et
- des deuxièmes encoches (802a, 803a) pour loger l'un (900a) des  
15 bobinages d'induit.

2. Machine selon la revendication 1, caractérisée en ce que, dans chaque cellule (400a), l'aimant permanent (600a) et la première encoche (500a) sont alignés suivant une direction radiale.  
20

3. Machine selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans chaque cellule, les bobinages d'excitation et l'aimant permanent sont disposés dans la même première encoche (500a).

4. Machine selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans chaque cellule (400a), les deuxièmes encoches (802a, 803a) sont à  
25

une distance radiale sensiblement égale, par rapport à un axe de rotation du rotor (300).

5 5. Machine selon l'une des revendications précédentes, caractérisées en ce que les deuxièmes encoches (802a, 803a) s'étendent de part et d'autre de l'aimant permanent (600a).

10 6. Machine selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque cellule élémentaire comprend en outre un premier matériau formant portion de circuit magnétique (700a), localisé à la périphérie du stator, et prévu pour refermer au moins partiellement un flux (B1) généré par les bobinages d'excitation et/ou par les aimants permanents.

15 7. Machine selon la revendication 6, caractérisée en ce que, le premier matériau formant portion de circuit magnétique (700a) possède une épaisseur  $e$ , telle que la force magnétique du ou des bobinages d'excitation (501a, 502a) est supérieure ou égale à une valeur seuil prédéterminée.

20 8. Machine selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que chaque cellule (400a) comporte en outre au moins un deuxième matériau ferromagnétique (800a, 801a) séparant l'aimant permanent (600a) du bobinage de l'induit (900a).

25 9. Machine selon l'une des revendications 6 à 7, caractérisée en ce que les premier (700a) et deuxième matériaux (800a, 801a) sont d'un bloc et forment sensiblement un U tourné vers l'axe de rotation du rotor (300).

5 10. Machine selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans chaque cellule (400a), l'aimant permanent (600a) et la première encoche (500a) forment généralement un T, vu à partir de l'axe de rotation du rotor (300).

11. Machine selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les bobinages d'excitation sont subdivisés dans les premières encoches de deux cellules élémentaires adjacentes.

1 / 6

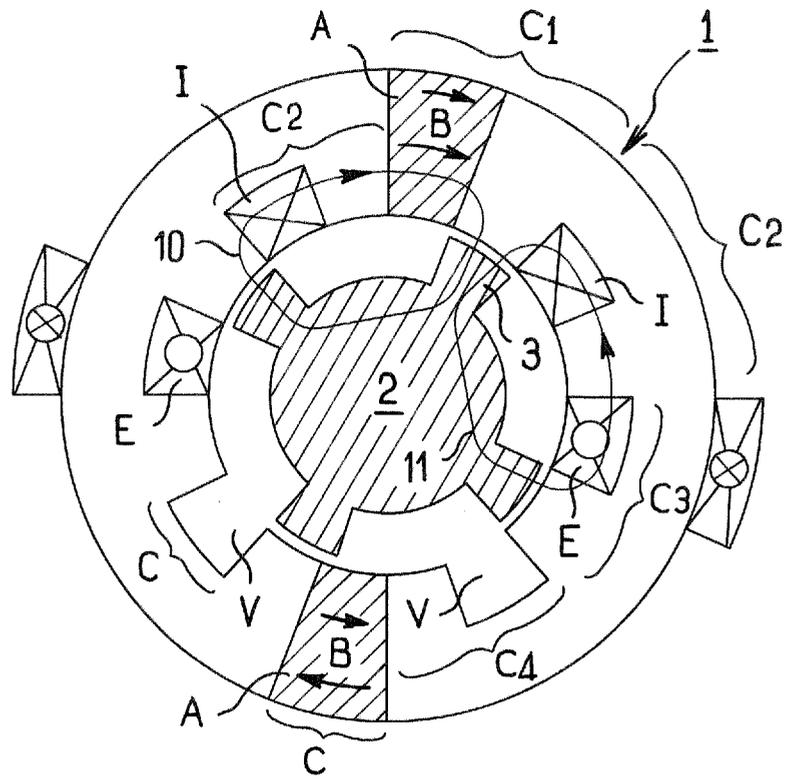


FIG.1

ART ANTERIEUR

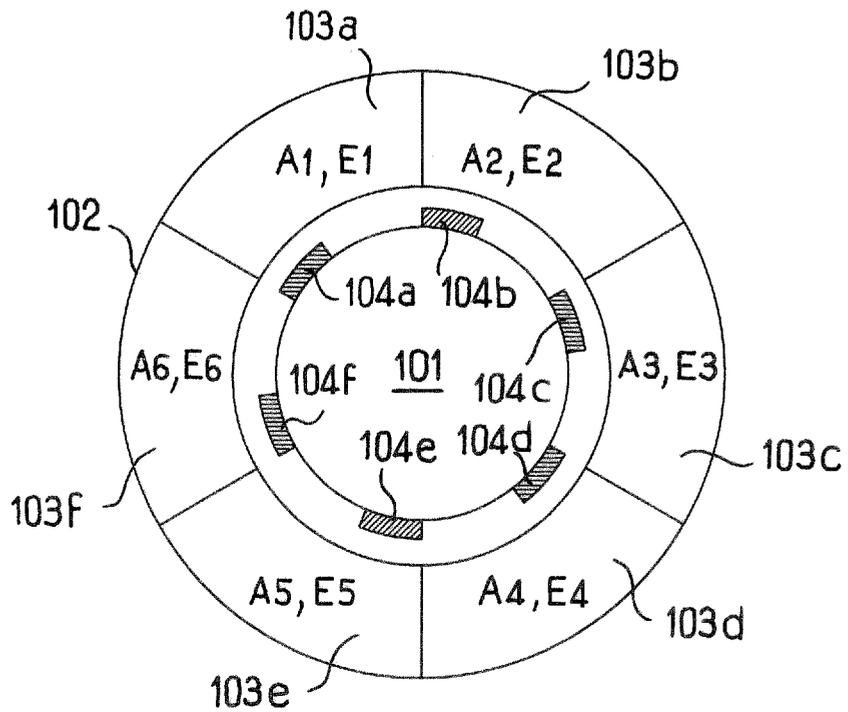


FIG.2



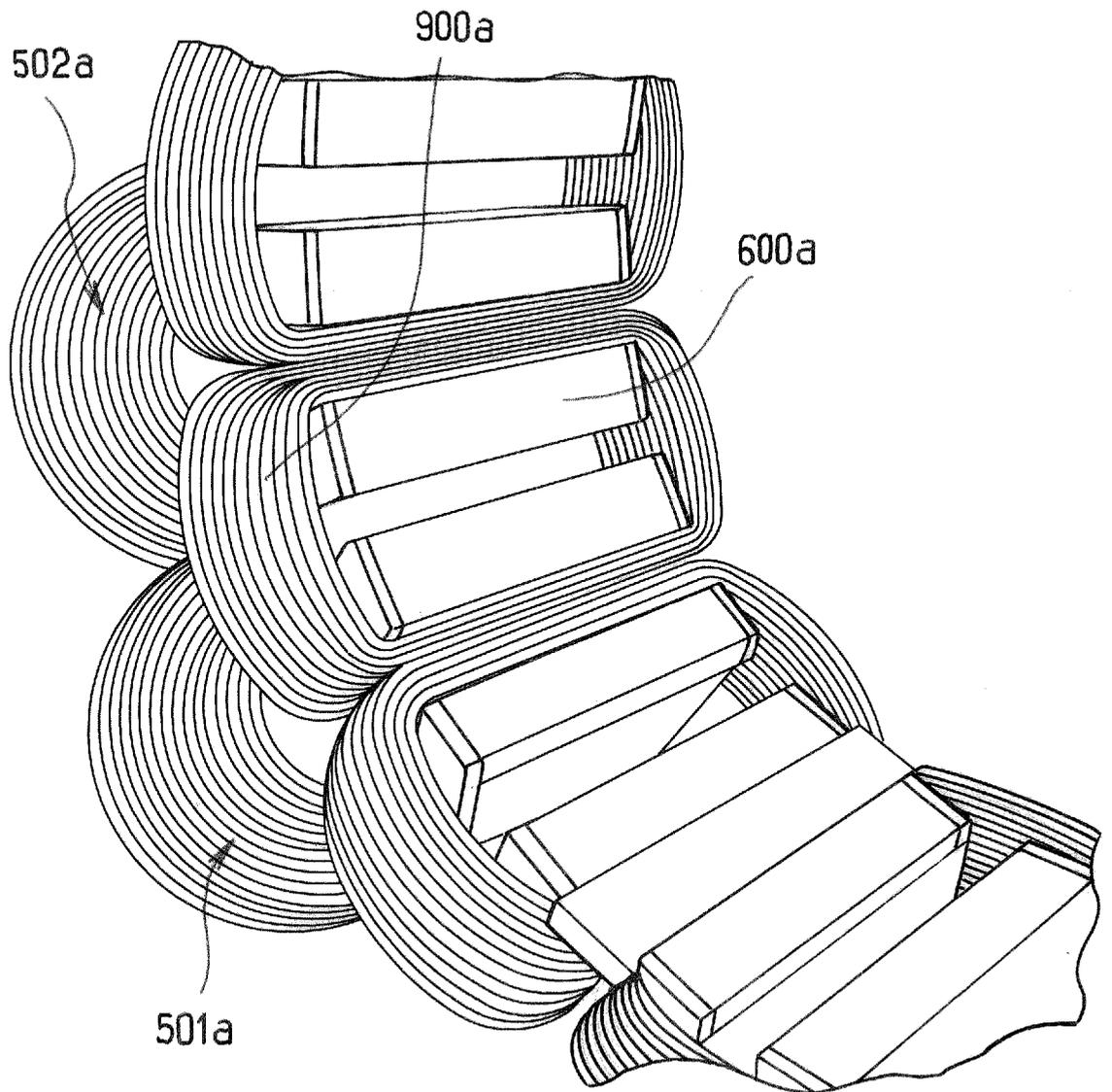


FIG.5

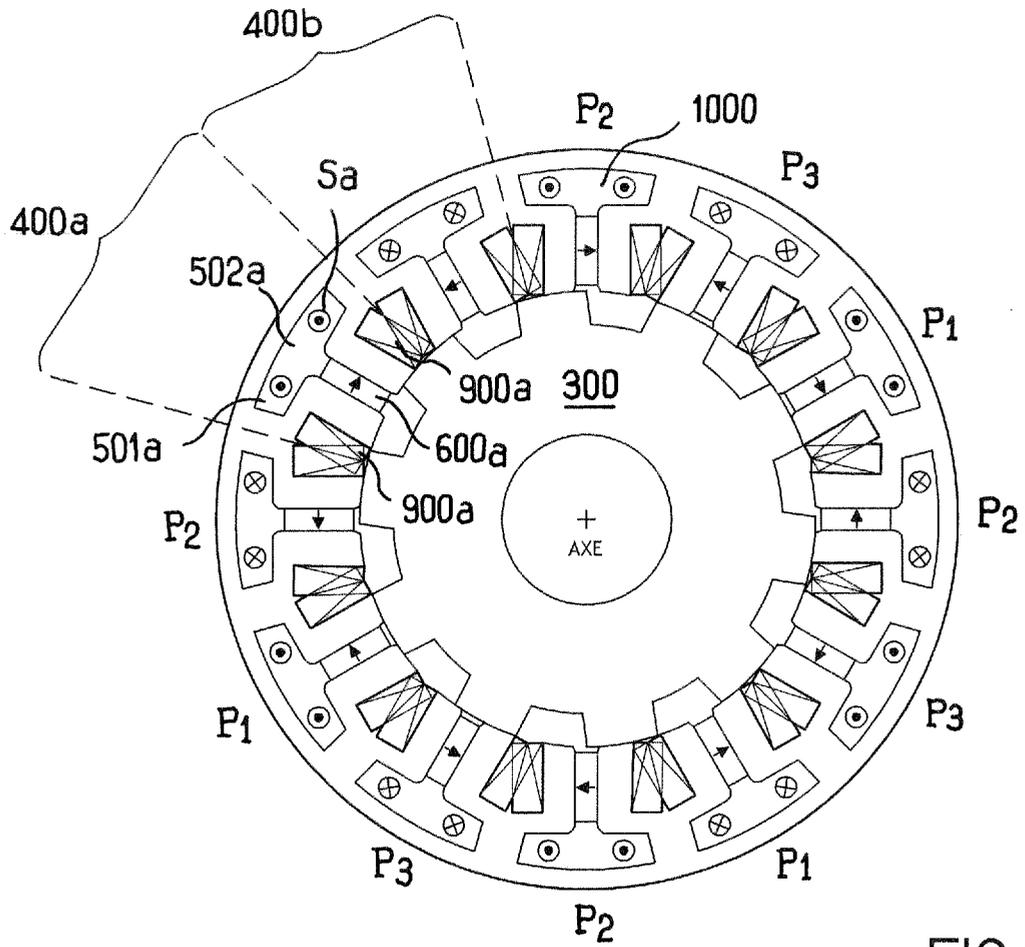


FIG. 6

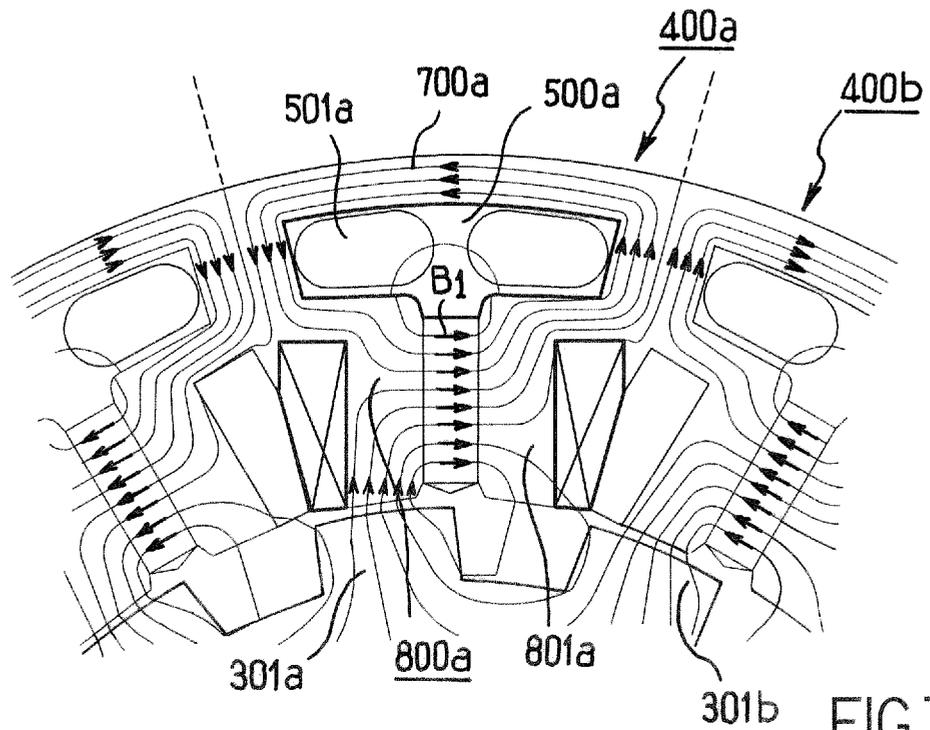
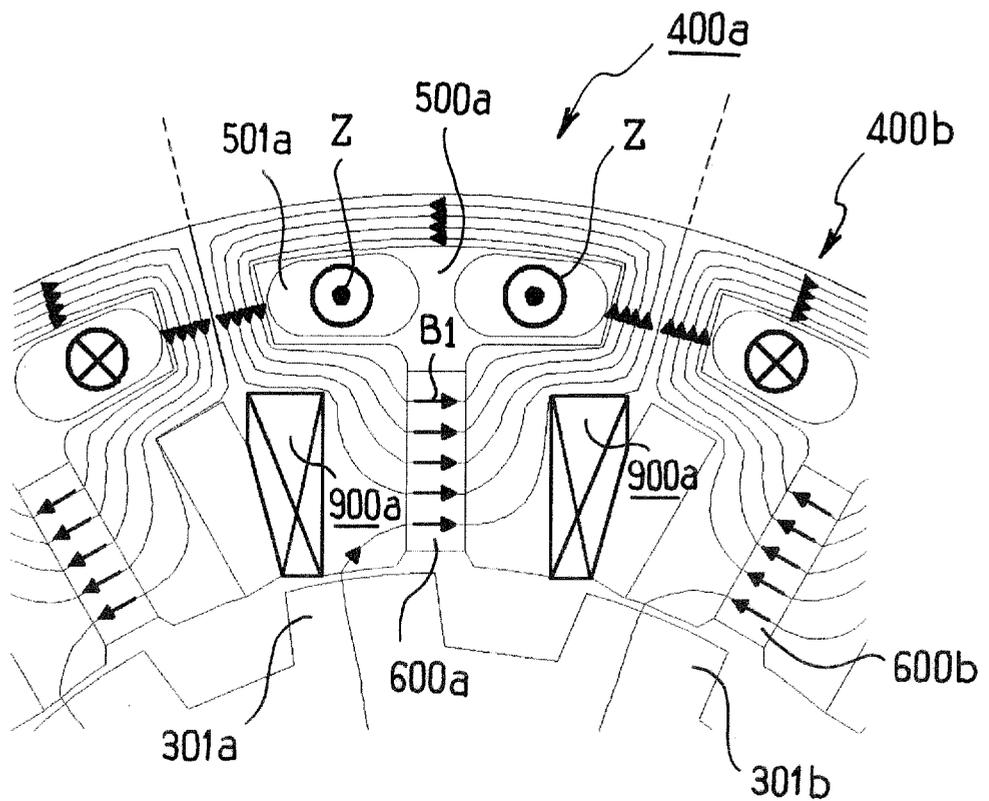
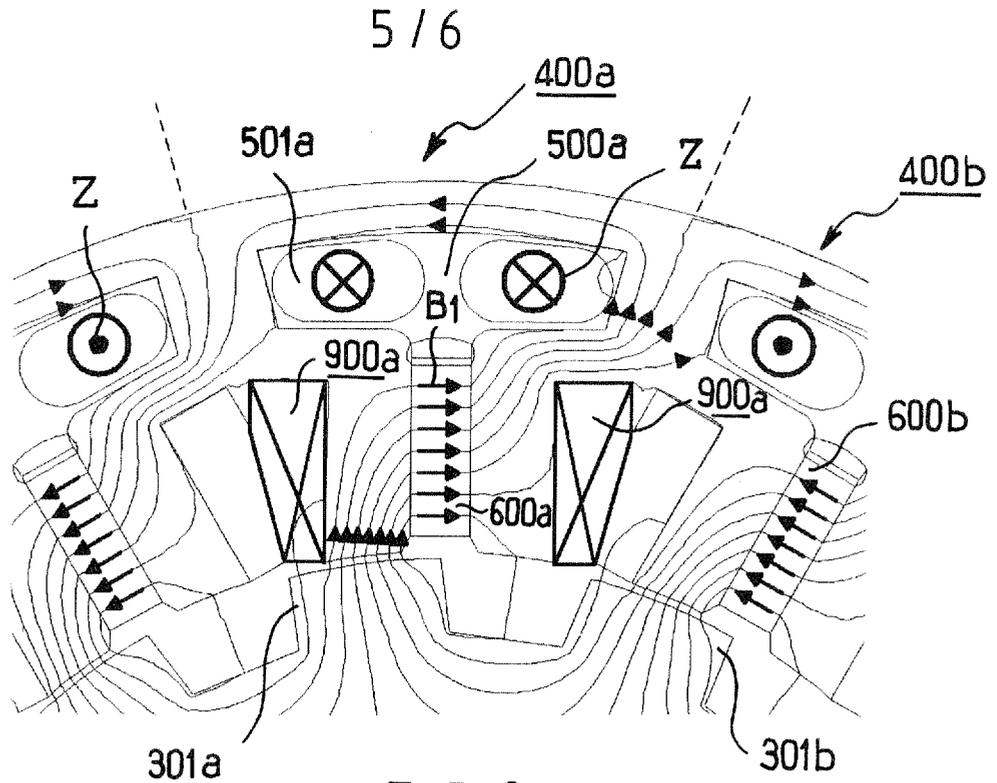


FIG. 7



6 / 6

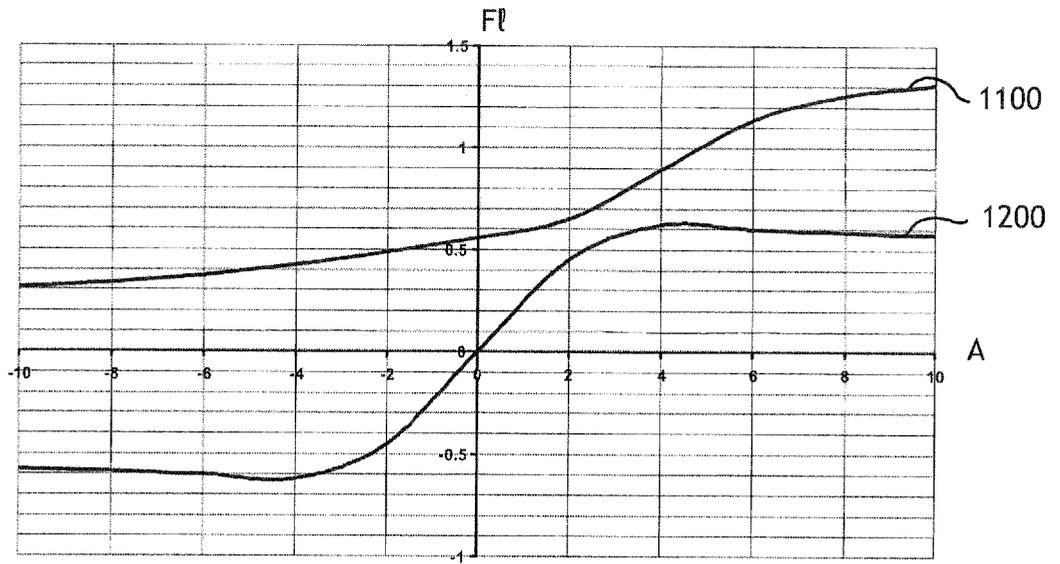


FIG.10

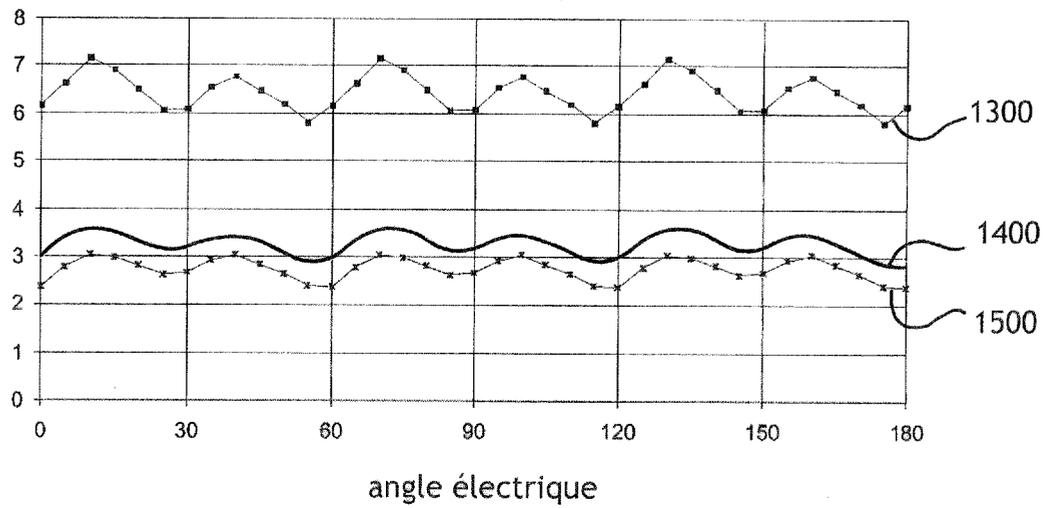


FIG.11

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2007/052167A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. H02K21/44

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
H02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 769 422 A1 (VALEO EQUIP ELECTR MOTEUR [FR]) 9 April 1999 (1999-04-09) cited in the application the whole document	1-11
A	FR 2 762 158 A1 (VALEO EQUIP ELECTR MOTEUR [FR]) 16 October 1998 (1998-10-16) page 6, line 16 - page 17, line 15; figures 1-11	1-11
A	US 3 984 711 A (KORDIK KENNETH S) 5 October 1976 (1976-10-05) abstract; figure 2	1-11
A	FR 2 295 610 A1 (SIEMENS AG [DE]) 16 July 1976 (1976-07-16) page 1, line 23 - page 2, line 12; figures 1,2	1-11
	----- -/--	

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 May 2007

Date of mailing of the international search report

31/05/2007

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Tangocci, Antonio

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2007/052167

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 394 527 A1 (SIEMENS AG [DE]) 31 October 1990 (1990-10-31) column 1, line 51 - column 2, line 49; figure 1  -----	1-11

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No  
PCT/EP2007/052167

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
FR 2769422	A1	09-04-1999	BR 9803828 A	16-11-1999
			CN 1214565 A	21-04-1999
			DE 69830452 D1	14-07-2005
			DE 69830452 T2	23-03-2006
			EP 0909010 A1	14-04-1999
			ES 2244040 T3	01-12-2005
			JP 11308829 A	05-11-1999
			US 6051904 A	18-04-2000
FR 2762158	A1	16-10-1998	BR 9804842 A	24-08-1999
			CN 1223028 A	14-07-1999
			EP 0872946 A1	21-10-1998
			WO 9847216 A1	22-10-1998
			JP 2000512840 T	26-09-2000
			KR 20000016610 A	25-03-2000
			US 6242834 B1	05-06-2001
US 3984711	A	05-10-1976	NONE	
FR 2295610	A1	16-07-1976	CH 587583 A5	13-05-1977
			DE 2460630 A1	24-06-1976
			IT 1051044 B	21-04-1981
			US 4011479 A	08-03-1977
EP 0394527	A1	31-10-1990	DE 58904848 D1	05-08-1993
			US 5051640 A	24-09-1991

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2007/052167

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**

INV. H02K21/44

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

H02K

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 769 422 A1 (VALEO EQUIP ELECTR MOTEUR [FR]) 9 avril 1999 (1999-04-09) cité dans la demande le document en entier	1-11
A	FR 2 762 158 A1 (VALEO EQUIP ELECTR MOTEUR [FR]) 16 octobre 1998 (1998-10-16) page 6, ligne 16 - page 17, ligne 15; figures 1-11	1-11
A	US 3 984 711 A (KORDIK KENNETH S) 5 octobre 1976 (1976-10-05) abrégé; figure 2	1-11
A	FR 2 295 610 A1 (SIEMENS AG [DE]) 16 juillet 1976 (1976-07-16) page 1, ligne 23 - page 2, ligne 12; figures 1,2	1-11
	----- -/--	

 Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

 Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

\*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

\*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

\*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

\*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

\*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*&amp;\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

16 mai 2007

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

31/05/2007

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

 Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Tangocci, Antonio

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2007/052167

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>EP 0 394 527 A1 (SIEMENS AG [DE])                      31 octobre 1990 (1990-10-31)                      colonne 1, ligne 51 - colonne 2, ligne 49;                      figure 1</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-11

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2007/052167

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
FR 2769422	A1	09-04-1999	BR	9803828 A	16-11-1999
			CN	1214565 A	21-04-1999
			DE	69830452 D1	14-07-2005
			DE	69830452 T2	23-03-2006
			EP	0909010 A1	14-04-1999
			ES	2244040 T3	01-12-2005
			JP	11308829 A	05-11-1999
			US	6051904 A	18-04-2000
FR 2762158	A1	16-10-1998	BR	9804842 A	24-08-1999
			CN	1223028 A	14-07-1999
			EP	0872946 A1	21-10-1998
			WO	9847216 A1	22-10-1998
			JP	2000512840 T	26-09-2000
			KR	20000016610 A	25-03-2000
			US	6242834 B1	05-06-2001
US 3984711	A	05-10-1976	AUCUN		
FR 2295610	A1	16-07-1976	CH	587583 A5	13-05-1977
			DE	2460630 A1	24-06-1976
			IT	1051044 B	21-04-1981
			US	4011479 A	08-03-1977
EP 0394527	A1	31-10-1990	DE	58904848 D1	05-08-1993
			US	5051640 A	24-09-1991