

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :

2 969 852

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

11 61989

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : H 02 K 1/14 (2012.01)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 20.12.11.

③0 Priorité : 22.12.10 FR 1061084.

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 29.06.12 Bulletin 12/26.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été  
établi à la date de publication de la demande.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : FEDERAL MOGUL SINTERTECH  
Société par actions simplifiée — FR.

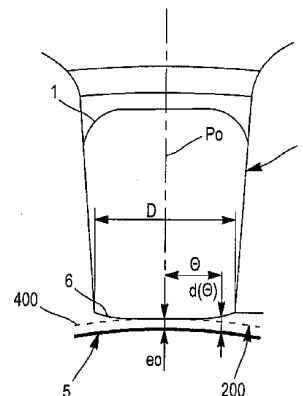
⑦2 Inventeur(s) : BERNOT FRANCOIS.

⑦3 Titulaire(s) : FEDERAL MOGUL SINTERTECH  
Société par actions simplifiée.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET MOUTARD.

⑤4 MACHINE HOMOPOLAIRE AYANT UN ESPACE D'ENTREFER VARIABLE SELON L'ANGLE ELECTRIQUE, EN  
VIS-A-VIS D'UNE DENT.

⑤7 Dent (1) pour moteur homopolaire, caractérisée en ce  
qu'elle comprend une face d'entrefer (6) en vis-à-vis d'une  
surface opposée, une distance d'entrefer  $d(\theta)$  mesurée en-  
tre ladite surface et ladite face d'entrefer (6) étant telle que:  
- sur une première distance tangentielle, mesurée dans  
un plan radial à partir d'un plan axial médian ( $Po$ ) de la dent  
(1), la distance  $d(0)$  est égale à un minimum  $e0$ ; puis,  
- sur une deuxième distance tangentielle complémentaire,  
la distance  $d(\theta)$  augmente progressivement;  
où  $\theta$  est un angle électrique.



FR 2 969 852 - A1



5

10 La présente invention concerne les moteurs homopolaires et notamment les améliorations qui peuvent y être apportées. Ces améliorations concernent aussi bien les moteurs homopolaires, ayant une structure à griffes, simples ou doubles. Un moteur simple comprend un anneau magnétique comportant une cage torique formée d'une ou plusieurs parties, généralement de deux demi-  
15 cages, aussi appelées galettes et formant une phase magnétique; la cage torique enserrant une bobine. Un moteur double comprend deux groupes de galettes séparées par une pièce magnétique de liaison. Le ou les anneaux peut former un stator et le moteur comprendre un rotor, qui peut être inerte.

Les phases magnétiques sont alimentées en courant alternatif. Pour de  
20 tels moteurs, une phase électrique est constituée d'un ensemble d'anneaux magnétiques, chaque ensemble étant alimenté par un courant électrique de phase identique. Les anneaux sont disposés coaxialement entre eux et forment un entrefer avec une pièce sensiblement cylindrique montée en rotation relativement aux anneaux. Les anneaux peuvent appartenir à un stator et la  
25 pièce cylindrique être un rotor, ou le contraire, le stator entraînant le rotor en rotation.

Plusieurs problèmes se posent à l'utilisation de tels moteurs, simples ou doubles. Notamment, il est souhaitable d'optimiser et d'augmenter la force  
30 magnétomotrice à l'entrefer et le couple d'un tel moteur à basse vitesse.

L'invention vise notamment à proposer une ou plusieurs solutions pour améliorer et optimiser la force électromotrice des moteurs homopolaires. Dans certains modes de réalisation de l'invention, chaque anneau comprend des dents; l'entrefer est formé entre des faces des dents en vis-à-vis de la pièce  
5 cylindrique et la pièce cylindrique.

Selon l'invention, une solution est apportée par une dent pour moteur homopolaire, caractérisée en ce qu'elle comprend une face d'entrefer, en vis-à-vis d'une surface opposée, une distance d'entrefer mesurée entre ladite surface  
10 et ladite face d'entrefer étant telle que:

- sur une première distance tangentielle  $a$ , mesurée dans un plan radial à partir d'un plan axial médian de la dent 1, la distance  $d(\theta)$  est égale à un minimum  $e_0$ ; puis,
  - sur une deuxième distance tangentielle complémentaire  $b$ , la distance  
15  $d(\theta)$  augmente progressivement;
- où  $\theta$  est un angle électrique.

La surface d'entrefer peut être symétrique de part et d'autre du plan médian. La surface opposée peut être un cylindre d'axe compris dans le plan  
20 médian; par exemple la surface d'un rotor, la dent appartenant à un stator correspondant.

La première distance tangentielle peut être nulle.

25 De préférence, la distance  $d(\theta)$  peut être définie par la formule:

$$d(\theta) = e_0 / \cos \theta$$

à plus ou moins vingt pour cent près, de préférence à zéro pour cent près. De façon encore plus préférée la distance est sensiblement définie par cette formule, aux tolérances de fabrication près.

30 A défaut de suivre une telle formule, sur la deuxième distance ( $b$ ), la face d'entrefer peut former un pan-coupé. Le pan-coupé est de préférence un plan.

Et, de préférence, la première distance est sensiblement égale à la deuxième distance. Avantageusement, à l'extrémité du pan-coupé où la distance d'entrefer  $d(\theta)$  atteint son maximum, ladite distance d'entrefer  $d(\theta)$  est sensiblement égale au double du minimum  $e_0$ .

5

Selon un autre objet de l'invention, une machine homopolaire est caractérisée en ce que qu'elle comprend des dents selon l'invention. Cette machine peut être un moteur homopolaire.

10 Plusieurs modes d'exécution de l'invention seront décrits ci-après, à titre d'exemples non limitatif, avec référence aux dessins annexés dans lesquels :

- 15 - la figure 1 est une vue dans un plan radial d'une dent d'un moteur homopolaire, présentant une forme d'entrefer optimisée selon un premier mode de l'invention;
- la figure 2 est une vue similaire à celle de la figure 1, dans laquelle la forme de l'entrefer est simplifiée;
- la figure 3 est une vue similaire à celles des figures 1 et 2, dans laquelle, deux dents voisines sont représentées;
- 20 - la figure 4 illustre un deuxième mode d'optimisation d'une dent selon l'invention, dans lequel l'extrémité de la dent présente une forme en marche d'escalier, une deuxième voisine y étant représentée en pointillés
- la figure 5 est une représentation en perspective de dents d'un moteur  
25 homopolaire, ayant une sous-face cannelée;
- les figures 6 et 7 illustrent le fonctionnement des dents de la figure 5;  
et,
- la figure 8 est une vue similaire à celle de la figure 4, dans laquelle la dent présente plusieurs marches d'escalier.

30

Pour optimiser la force magnétomotrice à l'entrefer, une solution optimisée est présentée en référence à la figure 1 et une solution approchée est présentée en référence à la figure 2.

5 Dans la suite on définit l'angle électrique par la formule suivante:

$$\text{Angle électrique} = \text{Angle mécanique} / (\text{Nombre de dents} / 2)$$

La figure 1 montre la forme de la dent vue de face et illustre un entrefer préféré.

10 La figure 1 illustre une vue de face, dans un plan radial, d'une dent 4 d'un stator 4 disposé autour d'un rotor 5. Sur la figure 1, la référence 200 indique un cercle centré sur le stator et le rotor, inscrit sous la dent. La dent 1 présente une face d'entrefer 6 disposée en vis-à-vis du rotor et formant avec le rotor 5 un espace entrefer  $E(\theta)$ . L'entrefer  $E(\theta)$  varie le long de la face 6, dans le plan  
15 de la figure 2, l'angle  $\theta$  étant défini comme étant l'angle électrique.  $\theta$  vaut donc l'angle mécanique divisé par le nombre de paires de pôles de la machine. Soit  $D$  la largeur de la face 6, dans l'exemple illustré,  $D$  correspond à un angle électrique  $\theta(D)=120^\circ$ .

20 Pour  $\theta$  mesuré autour de l'axe du moteur, par rapport à un plan axial  $P_0$  de symétrie de la dent. Un entrefer idéal est défini par la formule suivante:

$$E(\theta) = d(\theta), \text{ avec } d(\theta) = e_0 / \cos \theta$$

Où  $e_0$  est la valeur minimale de l'entrefer, mesurée dans le plan  $P_0$ .

25 La figure 2 présente une solution approchée de celle de la figure 1. Dans le plan radial de la figure, la face 6 est partagée symétriquement relativement au plan  $P_0$ .

Sur une longueur  $a$ , de part et d'autre du plan  $P_0$ , la face 6 est cylindrique, de sorte que l'entrefer  $E$  est constant, de valeur  $E = e_0$ . Sur le reste de la face,  
30 de part et d'autre, soit sur une longueur respective  $b = (D-2a)/2$ , un chanfrein 7

est formé par la face 6, de sorte qu'à l'extrémité angulaire 8 respective de la face 6, la valeur de l'entrefer soit défini par la formule suivante:

$$E_8 = e_0 + d_8, \text{ avec } e_0 / 2 \leq d_8 \leq 2 e_0, \text{ de préférence avec } d_8 = e_0$$

- 5 La longueur a est de préférence équivalente à un angle électrique  $\theta(a)=30^\circ$  ou voisin de  $30^\circ$ . La longueur b est de préférence équivalente à un angle électrique  $\theta(b)=30^\circ$  ou voisin de  $30^\circ$ .

Ainsi, à la figure 2, la référence 300 indique un chanfrein créé au quart de la longueur polaire de la dent 4, la référence 301 indique un cercle centré sur le stator inscrit sous la dent, et la référence 302 indique un rayon passant par le centre du rotor.

La modulation de l'entrefer peut être appliquée au rotor et/ou au stator avec les mêmes règles de calcul, telles qu'expliquées ci-dessus en référence aux figures 1 ou 2. Si ladite modulation de l'entrefer est appliquée simultanément au rotor et au stator, alors les valeurs de l'entrefer doivent répondre sensiblement aux mêmes formules quelle que soit la part de la modulation qui est appliquée à l'un ou l'autre du rotor ou du stator. Lorsque 15 fois le stator et le rotor comprennent des dents, la formule s'applique lorsque deux dents, l'une du stator et l'autre du rotor, sont en vis-à-vis l'une de l'autre, c'est-à-dire lorsque leur plan de symétrie  $P_0$  sont confondus.

Dans le cas de méplats au rotor et au stator, les formes sont reportées à la fois sur les dents statoriques et rotoriques, avec, par exemple :  $d(\theta)$  ou d divisé par deux sur chacune des dents (ou valeurs radiales complémentaires à  $d(\theta)$  ou d).

La distance inter-dentaire, tel qu'illustré à la figure 3:

30 
$$1/4 \leq L_d/L_{d1} \leq 3/4, \text{ de préférence } L_d/L_{d1} = 1/2,$$

Les longueurs  $y$  étant mesurées en distances polaires, c'est à dire le long du cercle inscrit 400.

La figure 4 est une demi-coupe axiale selon le plan  $P0$  d'une galette 9, selon le plan de symétrie  $Po$  d'une dent 1. La figure 4 illustre une configuration de dent 1 en marche d'escalier. Ainsi, sur une distance  $d7$  mesurée axialement depuis une extrémité axiale libre 512 de la dent 1, l'épaisseur  $d5-d4$  de la dent 1, mesurée radialement, est sensiblement constante et inférieure à l'épaisseur minimale  $d5$  de la dent 1 au-delà de cette distance  $d7$ . Ainsi, à la distance  $d7$  de son extrémité, la dent forme une marche d'escalier de hauteur  $d4$ .

Cette configuration est particulièrement avantageuse, puisqu'elle permet de conserver une densité de flux magnétique relativement élevée, même lorsqu'on est proche de l'extrémité de la dent.

Plusieurs marches d'escalier peuvent être formées successivement à partir de l'extrémité de la dent, de sorte que la densité de flux magnétique, mesurée en parcourant la dent selon une direction axiale, est d'autant plus proche d'une constante.

La figure 8 est une illustration d'une dent 1 appartenant à une première galette 9, et d'une dent 1V, voisine et antagoniste de la dent 1 et appartenant à une deuxième galette 9V. Les deux galettes forment ensemble une cage torique 9,9V enfermant une bobine 410 formée de 55 spires 411. La bobine 410 et la cage 9,9V forment ensemble un anneau magnétique. La dent voisine 1V est représentée en traits mixte, puisqu'elle n'est pas dans le plan de coupe  $Po$  de la figure 8.

La dent 1 de la figure 8 comprend trois marches 502 successives, de sorte que l'épaisseur de la dent 1 augmente à chaque marche 502 à mesure que l'on

s'éloigne de l'extrémité axiale libre 512 de la dent 1. La dent voisine 1V, comme les autres dents 1 de la cage toriques sont sensiblement identiques entre elles, c'est-à-dire qu'elles comportent les mêmes marches 502.

5 Comme on le remarque particulièrement à la figure 8, une telle disposition, une fois les dents 1,1V disposées telles que sur la figure, l'espace disponible dans la cage torique 9,9V pour la bobine est 410 est plus grand que si les dents n'avaient pas de marches 502. Ainsi, il est possible d'y disposer une bobine comprenant plus de spires. Dans l'exemple illustré à la figure 8, la  
10 bobine comporte 55 spires 411, elle n'en comprendrait que 51. Ainsi, dans le cas illustré, on gagne environ 8% de puissance magnétique, sans augmenter le poids global de l'anneau magnétique, par rapport à un anneau dont les dents ne comprennent pas de marches 502.

15 En outre, une telle configuration en marche(s) d'escalier permet de réaliser une galette, notamment les dents de cette galette, par une méthode de compression isostatique, selon le sens axial, SMC d'une poudre ferromagnétique. En effet, une telle méthode ne permet généralement pas de réaliser de pente supérieure à 5%, ni de rayon supérieur à 5mm. Une pente  
20 plus forte, qui permettrait d'avoir une densité de courant sensiblement constante, est donc avantageusement remplacée par une forme en escalier. Plusieurs marches d'escalier 502 peuvent être réalisées. De préférence, les rayons sont inférieurs à 2 ou 3 mm.

25 Les marches d'escalier peuvent avoir dans le sens axial une pente inférieure à la valeur tolérée par la technologie couramment utilisée, généralement 3% à 5%.

Les dimensions suivantes, illustrées à la figure 4, sont données d'abord  
30 pour leurs valeurs préférées. Néanmoins, une fourchette est donnée autour de

la valeur préférée, fourchette à l'intérieur de laquelle les dimensions sont acceptables et avantageuses relativement aux dimensions de l'art antérieur.

$$d1/eo = 4 \text{ (fourchette } \frac{1}{2} \text{ à } 5)$$

$$d4/eo = 4 \text{ (fourchette } \frac{1}{2} \text{ à } 5)$$

5  $d1/d4 = 1 \text{ (fourchette } \frac{1}{2} \text{ à } 4)$

Pour la conservation du flux magnétique (ratios dépendant de la concentration du flux entre l'air et le fer (SMC, ferrite...))

$$d6/d3 = 7 \text{ (fourchette } 2 \text{ à } 10)$$

10  $d6/d2 = 6 \text{ (fourchette } 3 \text{ à } 10)$

$$d6/d5 = 3 \text{ (fourchette } 1 \text{ à } 8)$$

Sur la figure 4, la référence 500 indique un rayon  $< 5\text{mm}$ , de préférence voisin de  $3\text{mm}$ , la référence 501 indique que chaque pente pointée est inférieure à  $5^\circ$ , et la référence 502 indique que plusieurs marches d'escalier sont possibles à l'endroit pointé.

15

On va maintenant décrire un autre mode de réalisation de l'invention en référence aux figures 5 à 7.

20

Pour augmenter le couple d'un moteur homopolaire à basse vitesse, on peut prévoir qu'il soit conçu pour que les dents soient magnétiquement effaçables.

25 Ainsi, à basse vitesse, le moteur peut fonctionner comme un moteur à réluctance variable (MRV), puis, une vitesse suffisante étant atteinte, comme un moteur magnétiquement saturé (MS), de sorte que les dents sont "effacées" magnétiquement.

L'excitation peut être réglable, notamment dans le cas d'un moteur homopolaire double bobiné, ou par contrôle de la phase, dans le cas d'un moteur à aimants rotoriques.

5 Afin d'induire une réductance variable dans l'entrefer, un sur-encochage 402 de la face 6 en vis-à-vis du stator des dents 1, 1A, 1B du stator 4 peut avantageusement être prévu. Une hauteur relative du sur-encochage est de préférence faible, c'est-à-dire que la profondeur des encoches 402 est voisine ou égale à l'entrefer E physique.

10

Aux figures 5-7, les encoches 402 ont la forme de cannelures de section sensiblement carrée. A des fins d'illustration, à l'une des dents 1A, les encoches sont formées selon une direction tangentielle, et à une autre des dents B, les encoches sont formées selon une direction axiale.

15

Grâce à ce sur-encochage, si l'induction émise par le rotor est faible, alors les dents sont peu saturées magnétiquement, et le moteur fonctionne comme un moteur à réductance variable.

20 Au contraire, si l'induction émise par le rotor est forte, les dents sont saturées magnétiquement, elles s'effacent, et le moteur fonctionne comme un moteur synchrone normal.

25 La figure 6 illustre le fonctionnement du moteur en mode peu saturé. Dans ce cas, le flux magnétique F passe dans la matière 401 des cannelures formant des sous-dents 401, laissée entre les encoches 402. Et l'entrefer fonctionnel EF est égal à l'entrefer physique E.

30 La figure 7 illustre le fonctionnement du moteur en mode saturé. Dans ce cas, le flux magnétique passe indifféremment par les sous-dents 401 et les encoches 402; les sous-dents sont saturées de flux magnétique. C'est pour cela que les sous-dents 401 sont ici représentées par des traits pointillés. Tout se

1 passe comme si les sous-dents n'existaient pas, elles se sont "effacées", et le l'entrefer fonctionnel EF est ici égal à la distance entre le fond des encoche et le rotor.

5 Les nombres relatifs de dents entre le stator et le rotor utiliseront dans ladite invention, les valeurs connues de l'état de l'art.

10 Si le rotor et le stator comportent un sur-encochage dans le sens angulaire (c'est-à-dire tangentiel), tel que représenté en 402 à la figure 5, alors le moteur peut fonctionner en mode à réluctance variable lorsqu'il n'est pas saturé, puis en mode synchrone lorsqu'il est saturé. La conception des sous-dents 401, ainsi que leurs positions relatives, et leurs nombres respectifs, utilise l'état de l'art connu des moteurs à réluctance variable.

15 Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits; D'autres perfectionnements avantageux peuvent être apportés aux moteurs homopolaires.

20 Ainsi, le circuit magnétique peut être réalisé avec une poudre comprimée. De préférence, le pressage de la poudre est réalisé sous champ magnétique, par exemple un champ magnétique de 1,7 T pour 10 kA/m. De préférence, la compression est axiale. Les dents peuvent être séparées en sous-sections dans le plan angulaire de rotation. Ceci est particulièrement utile pour les machines de grand diamètre.

25

Par ailleurs, le rotor peut être un rotor à aimants enterrés, asynchrone à cage ou cylindrique fendu. Un dépôt de cuivre étant fait en surface du fer ou en acier massif fendu, avec des plasto-aimants (aimantation sinusoïdale, trapézoïdale, rectangulaire ou autre), ou être un rotor de Lundell (homopolaire à 30 à alimentation continue). Le rotor peut aussi être un rotor à aimants superficiels. Le rotor peut être localisé à l'intérieur ou à l'extérieur du stator.

On peut prévoir un indexage des galettes relativement l'une à l'autre, notamment par trous et ergots. On peut prévoir un contact direct entre les galettes. L'indexage peut se faire par l'utilisation d'un ergot s'étendant  
5 radialement dans un stator rayé. L'indexage peut aussi se faire à l'aide d'un calage en matière plastique injecté sur l'une et/ou l'autre des galettes, de façon à ne former qu'une seule pièce avec la galette correspondante. L'indexage peut encore se faire par une forme ondulée sur une face de chaque galette en vis-à-vis avec l'autre.

10

Un moteur homopolaire n'est pas limité à un moteur électriquement monophasé ou triphasé. Il peut comporter un nombre quelconque de phases.

Il peut ainsi comporter deux phases électriques. Un tel moteur est  
15 particulièrement simplifié par rapport à un moteur triphasé.

Plusieurs phases magnétiques peuvent être associées pour former une seule phase électrique par empilage de galettes. Les phases magnétiques peuvent être consécutives ou non.

20

Notamment pour les moteurs de 12V, l'isolation des parois internes et des flancs externes des galettes peut être réalisée par le dépôt d'une poudre sur lesdits parois et flancs.

25 Les anneaux magnétiques du stator peuvent être alignés, et les aimants du rotor être décalés angulairement selon l'anneau en face duquel ils sont disposés. Une solution mixte est aussi envisageable, certains anneaux étant alignés, d'autres pas.

30 Deux ou plusieurs bobines peuvent être montées en parallèle dans une même cage torique. Ces bobines peuvent être identiques entre elles, ou pas.

Les dents peuvent avoir diverses formes, notamment:

- forme dent stator et rotor à pans coupés; et/ou,
- forme dent stator en escalier; et/ou,
- 5 - forme dent stator rectangle.

## Revendication:

1. Dent (1) pour moteur homopolaire, caractérisée en ce qu'elle comprend une face d'entrefer (6) en vis-à-vis d'une surface opposée, une distance  
5 d'entrefer  $d(\theta)$  mesurée entre ladite surface et ladite face d'entrefer (6) étant telle que:
  - sur une première distance tangentielle (a), mesurée dans un plan radial à partir d'un plan axial médian ( $P_0$ ) de la dent 1, la distance  $d(\theta)$  est égale à un minimum  $e_0$ ; puis,
  - 10 - sur une deuxième distance tangentielle complémentaire (b), la distance  $d(\theta)$  augmente progressivement;où  $\theta$  est un angle électrique.
2. Dent selon la revendication 1, caractérisée en ce que la surface  
15 d'entrefer (6) est symétrique de part et d'autre du plan médian ( $P_0$ ).
3. Dent selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce que la surface opposée est un cylindre d'axe compris dans le plan médian ( $P_0$ ).
- 20 4. Dent selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que la première distance tangentielle (a) est nulle.
5. Dent selon la revendication 2, caractérisée en ce que la distance  $d(\theta)$  peut être définie par la formule:  
25 
$$d(\theta) = e_0 / \cos \theta$$
à plus ou moins vingt pour cent près, de préférence à zéro pour cent près.
6. Dent selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que sur la deuxième distance (b), la face d'entrefer (6) forme un pan-coupé (7).

7. Dent selon la revendication 6, caractérisée en ce que le pan-coupé est un plan.
8. Dent selon la revendication 6 ou 7, caractérisée en ce que la première distance (a) est sensiblement égale à la deuxième distance (b).
9. Dent selon l'une des revendications 6 à 8, caractérisée en ce qu'à l'extrémité du pan-coupé (7) où la distance d'entrefer  $d(\theta)$  atteint son maximum, ladite distance d'entrefer  $d(\theta)$  est sensiblement égale au double du minimum  $e_0$ .
10. Machine homopolaire, caractérisé en ce que qu'elle comprend des dents selon l'une des revendications précédentes.
11. Machine homopolaire selon la revendication 10, caractérisée en ce qu'elle est un moteur homopolaire.

1/4

FIG. 1

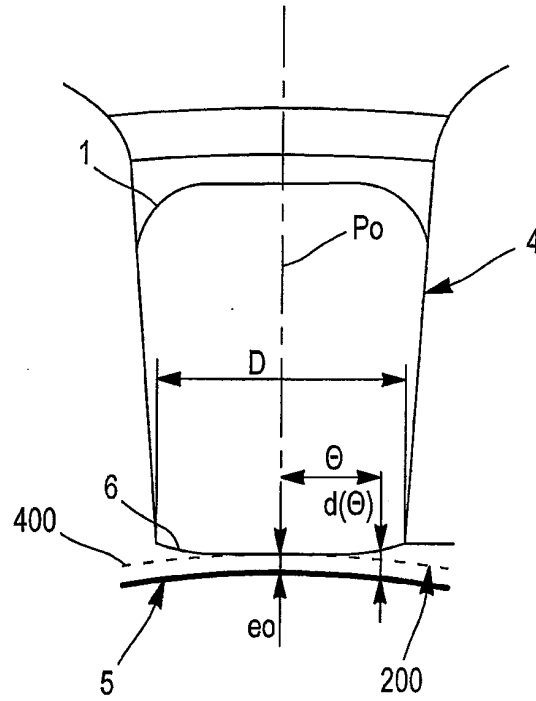
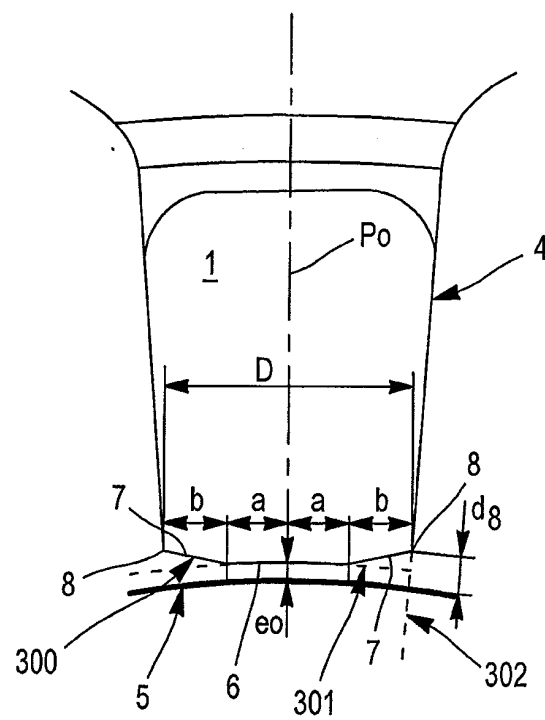
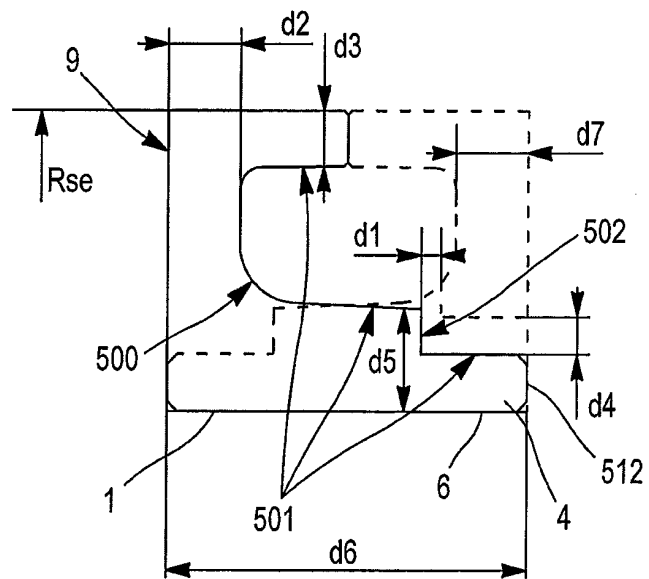
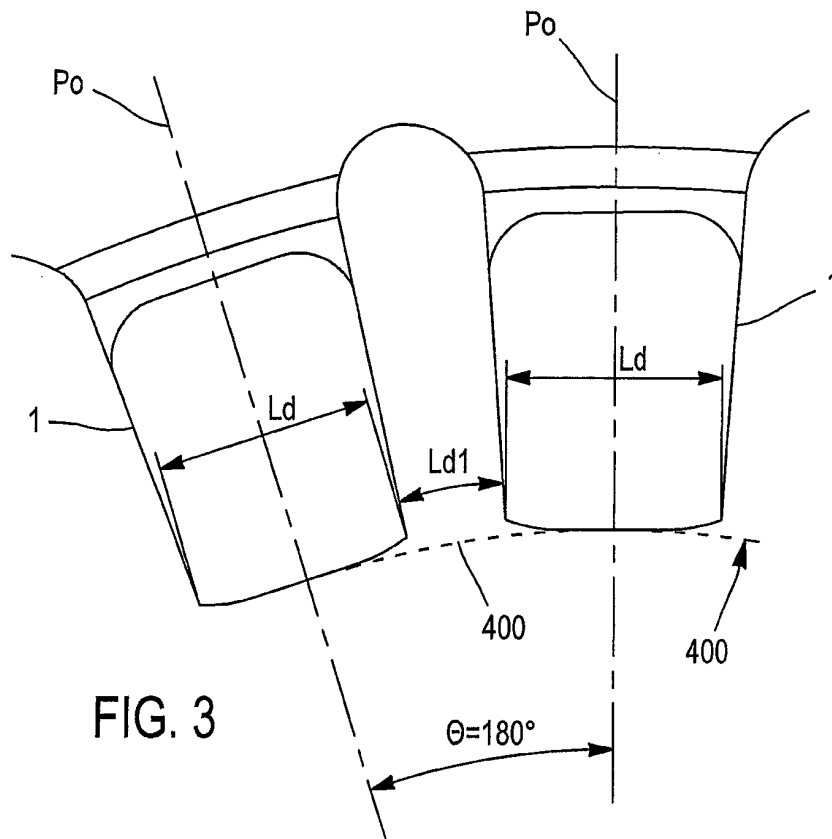
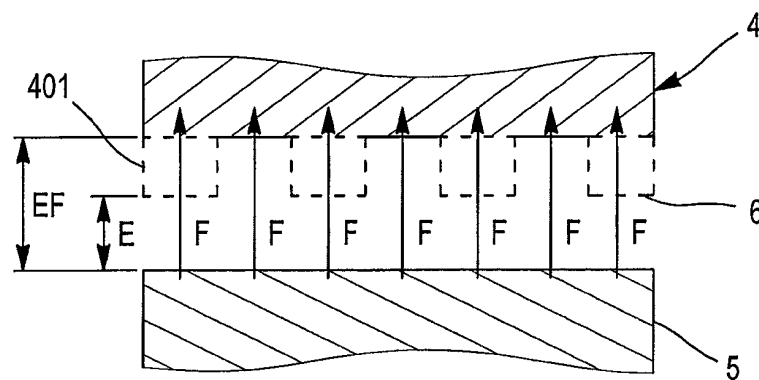
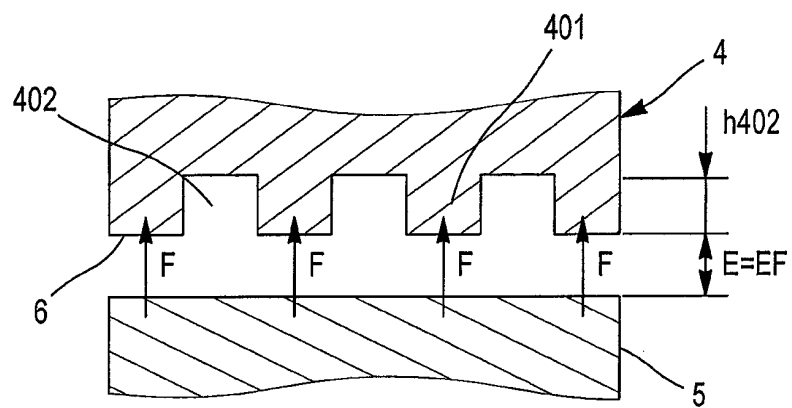
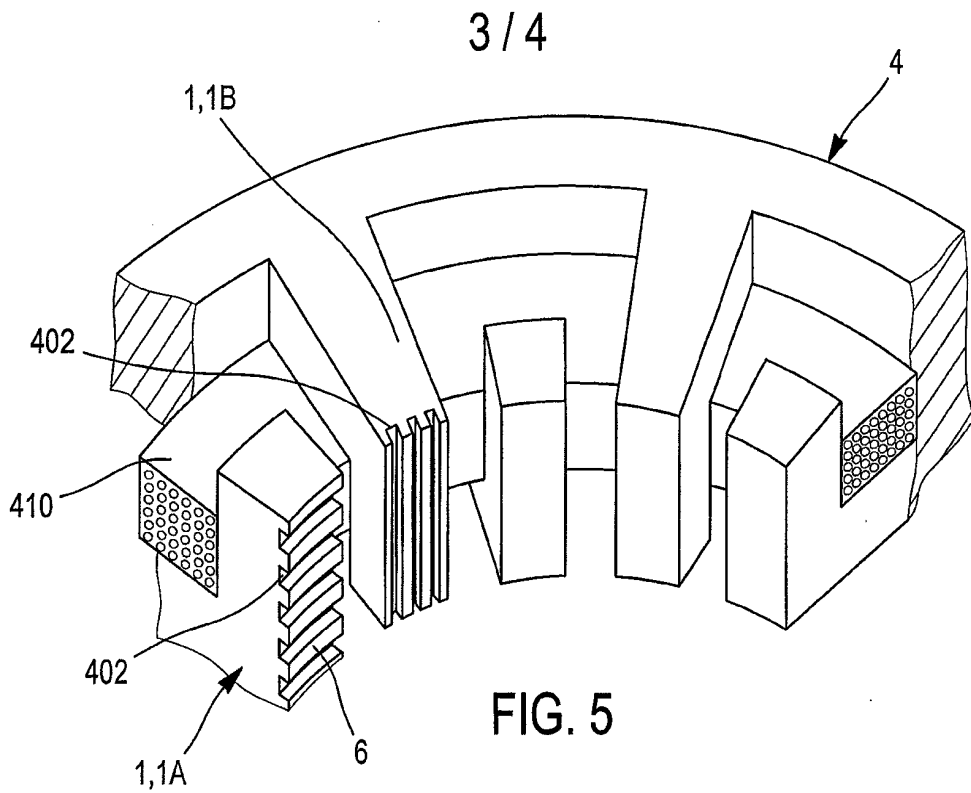


FIG. 2



2/4





4 / 4

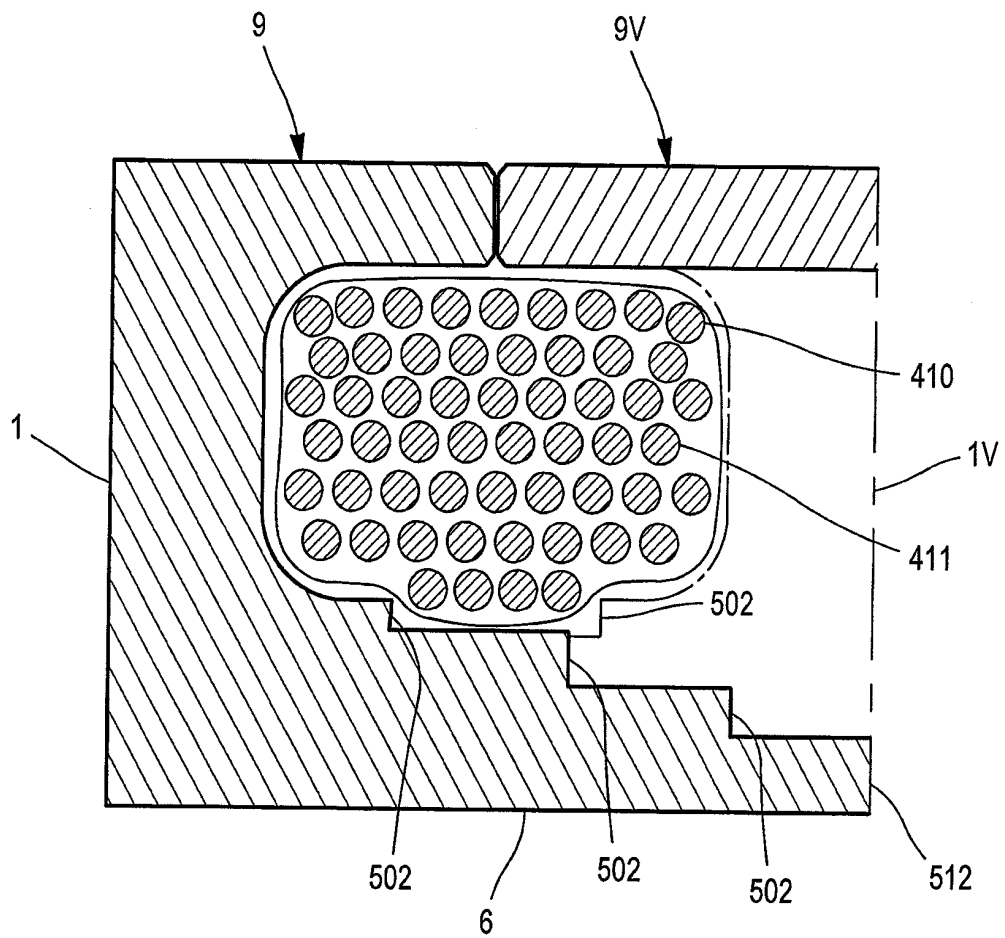


FIG. 8