

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2013/079842 A2

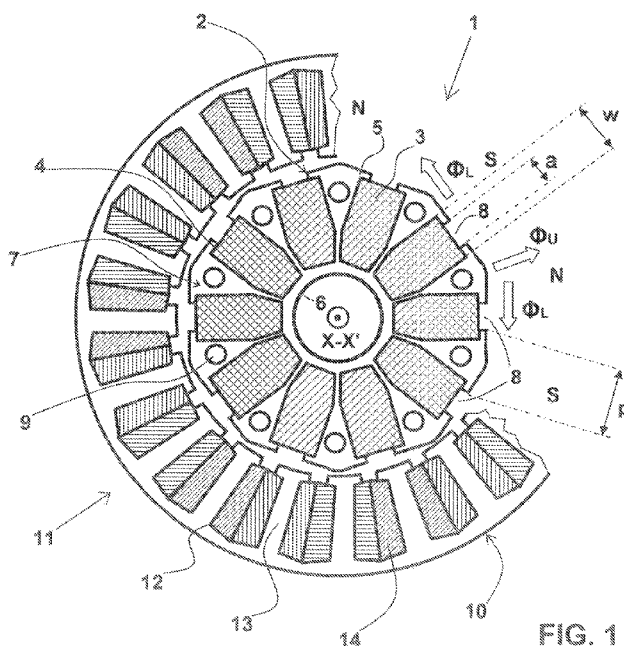
(43) Date de la publication internationale
6 juin 2013 (06.06.2013)

W I P O I P C T

- (51) Classification internationale des brevets : Non classée
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR2012/052564
- (22) Date de dépôt international : 6 novembre 2012 (06. 11.2012)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : 1161019 1 décembre 2011 (01. 12.2011) FR
- (71) Déposant : VALEO EQUIPEMENTS ELECTRIQUES MOTEUR [FR/FR]; 2 rue André Boulle, F-94046 Creteil Cedex (FR).
- (72) Inventeurs : BOUARROUDJ, Lilya; 8 Place de l'Europe, F-94220 Charenton Le Pont (FR). MATT, Jean-Claude; 82 route de Corcelles, F-21000 Dijon (FR). LABROSSE, Jean-Claude; 8 Place de l'Europe, F-94220 Charenton Le Pont (FR).
- (74) Mandataire : MARTIN, Joaquim; Valeo Equipements Electriques Moteur, 2 rue André Boulle, F-94046 Creteil Cedex (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Publiée :
— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)

(54) Title : ROTOR FOR A ROTARY ELECTRIC MACHINE AND ROTARY ELECTRIC MACHINE COMPRISING SUCH A ROTOR

(54) Titre : ROTOR DE MACHINE ELECTRIQUE TOURNANTE ET MACHINE ELECTRIQUE TOURNANTE COMPRENANT UN TEL ROTOR



(57) Abstract : The invention relates to a rotor (1) comprising a plurality of alternating magnetic poles formed by permanent magnets (3) distributed regularly between a circumferential portion (5) and a central portion (6) of the magnetic body (2) of the rotor and defining circumferential pole sections (7). The circumferential portion comprises axial grooves (15) which are arranged between the pole sections facing the magnets and which form openings in recesses (4) containing the magnets. According to the invention, the openings have a pre-determined first width (a) such as to minimise a leakage magnetic flux ($\hat{I}>L$) flowing through the circumferential portion (5) and to maximise a useful magnetic flux ($\hat{I}>U$) flowing radially through each of the pole sections (7). The circumferential portion can have a pre-determined opening ratio such as to minimise the leakage flux ($\hat{I}>L$) and to maximise the useful flux ($\hat{I}>U$), said opening ratio being equal to a first ratio of the first width to a second width (w) of the magnets in a circumferential direction.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2013/079842 A2

Le rotor (1) selon l'invention comprend une pluralité de pôles magnétiques alternés formés à partir d'aimants permanents (3) répartis régulièrement entre une partie circonférentielle (5) et une partie centrale (6) de la masse magnétique (2) du rotor et définissant des sections polaires (7) circonférentielles. La partie circonférentielle comporte des rainures axiales (15) agencées entre les sections polaires en regard des aimants et formant des ouvertures dans des évidements (4) contenant les aimants, Conformément à l'invention, les ouvertures présentent une première largeur (a) prédéterminée de manière à rendre minimum un flux magnétique de fuite (OL) circulant dans la partie circérentielle (5) et à rendre maximum un flux magnétique utile (OU) circulant radialement dans chacune des sections polaires (7). La partie circonférentielle peut présenter un ratio d'ouverture prédéterminé de manière à rendre minimum le flux de fuite (ϕ_{4}) et à rendre maximum le flux utile (OU), le ratio d'ouverture étant égal à un premier rapport de la première largeur à une deuxième largeur (w) des aimants dans une direction circonférentielle.

ROTOR DE MACHINE ELECTRIQUE TOURNANTE ET MACHINE ELECTRIQUE TOURNANTE COMPRENANT UN TEL ROTOR

5 **DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION.**

La présente invention concerne un rotor à aimants permanents destiné à une machine électrique tournante.

L'invention concerne également une machine électrique tournante comprenant un rotor de ce type, notamment pour des applications dans le domaine
10 des véhicules automobiles.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION.

De par leurs performances accrues en termes de rendement et de puissance massique et volumique, les machines synchrones à aimants permanents trouvent
15 aujourd'hui une large application dans le domaine des véhicules automobiles.

Ces machines électriques sont réalisables dans une large gamme de puissance et de vitesse et trouvent des applications aussi bien dans les véhicules de type « tout électrique » que dans les véhicules à bas CO2 de types dits « mild-hybrid » et « full-hybrid » (en terminologie anglaise).

20 Les applications « mild-hybrid » concernent généralement des machines électriques de l'ordre de 8 à 10 KW, par exemple, un moteur électrique monté en face avant d'un moteur thermique et couplé à celui-ci par une courroie de transmission. Il est possible avec un tel moteur électrique de réduire la cylindrée de la motorisation thermique (« engine downsizing » en terminologie anglaise) en
25 prévoyant une assistance électrique en couple qui fournit un appoint de puissance, notamment lors des reprises. De plus, une traction à faible vitesse, par exemple en environnement urbain, peut également être assurée par ce même moteur électrique.

Un autre exemple d'application de machines électriques de cette gamme de
30 puissance est l'entraînement d'un compresseur centrifuge d'un système de double suralimentation d'un moteur thermique. Le compresseur électrique assiste à bas régime le turbo-compresseur entraîné par les gaz d'échappement et permet de franchir une étape supplémentaire dans la réduction des cylindrées.

Les applications de type « full-hybrid » concernent généralement des moteurs
35 de 30 à 50 KW pour des architectures de type série et/ou parallèle avec un niveau

d'intégration plus abouti du ou des moteurs électriques dans la chaîne de traction du véhicule.

Les remarquables performances des machines à aimants permanents actuelles sont pour une grande part dues au développement des aimants aux terres rares tels que les aimants de type Néodyme-Fer-Bore (NeFeB), Samarium-Fer (SmFe), ou Samarium-Cobalt (SmCo), qui peuvent présenter des rémanences dépassant le tesla.

Cependant, des machines à aimants permanents comprenant un rotor présentant une structure dite "à concentration de flux" avaient de longue date permis d'obtenir des flux magnétiques importants avec des aimants de moindre rémanence, par exemples des aimants obtenus à partir de ferrites frittées ou liées.

De longue date également, les caractéristiques dimensionnelles et magnétiques ce type de structure ont été optimisées, soit en menant de nombreux essais, soit, plus récemment en réalisant des simulations sur ordinateur, de manière à améliorer le rendement électrique des machines.

Un exemple d'optimisation dimensionnelle des aimants et des pôles magnétiques d'un rotor à aimants permanents a été divulgué en 1971 dans le brevet d'invention FR 2.084.279.

L'optimisation dimensionnelle des pôles magnétiques a reçu récemment un regain d'attention comme suite au renchérissement des aimants aux terres rares lié à une conjoncture géo-politique défavorable.

La mise en œuvre d'aimants aux terres rares dans un rotor de machine électrique destinée aux applications de l'automobile n'étant plus économiquement rentable, et probablement non pérenne, l'autre terme de l'alternative est constitué par les aimants basés sur des ferrites.

Mais la rémanence d'une ferrite étant plus faible que celle d'un aimant aux terres rares, le remplacement des aimants aux terres rares par des ferrites conduit à une machine de moindres performances.

30 DESCRIPTION GENERALE DE L'INVENTION.

Le but de la présente invention est donc d'optimiser la forme des pôles d'un rotor pour maximiser le flux magnétique dans les pôles et préserver ainsi notamment le couple de la machine.

Elle a précisément pour objet un rotor de machine électrique tournante comprenant une pluralité de pôles Nord et pôles Sud alternés et formés à partir d'une pluralité d'aimants permanents agencés dans des premiers évidements.

Ces premiers évidements se prolongent le long d'un axe du rotor et sont
5 répartis régulièrement entre une partie circonférentielle et une partie centrale de la masse magnétique du rotor de manière à définir une pluralité de sections polaires circonférentielles.

Les aimants permanents du type de rotor dont il s'agit présentent une première section radiale polygonale et un premier plan de symétrie axial.

10 La partie circonférentielle comporte, quant à elle, des rainures axiales qui sont agencées entre les sections polaires en regard des aimants permanents et qui forment ouverture des premiers évidements.

Le rotor selon l'invention est remarquable en ce que cette ouverture présente une première largeur prédéterminée de manière à rendre minimum un flux
15 magnétique de fuite circulant dans une direction circonférentielle dans la partie circonférentielle et à rendre maximum un flux magnétique utile circulant radialement dans chacune des sections polaires, cette partie circonférentielle présente un ratio d'ouverture prédéterminé de manière à rendre minimum le flux magnétique de fuite et à rendre maximum le flux magnétique utile, ce ratio d'ouverture étant égal à un
20 premier rapport de la première largeur de l'ouverture à une deuxième largeur des aimants permanents dans une direction circonférentielle et ce ratio d'ouverture est sensiblement compris entre 0,35 et 0,8.

Le rotor selon l'invention est aussi remarquable en ce que la première section radiale des aimants permanents comporte une partie rectangulaire proche de la
25 partie circonférentielle adjacente à une partie en forme de coin proche de la partie centrale.

Avantageusement, le rotor selon l'invention comprend en outre au moins une pluralité de seconds évidements qui se prolongent axialement et qui sont agencés entre les aimants permanents dans une partie intermédiaire du rotor entre la partie
30 centrale et la partie circonférentielle.

Des tirants amagnétiques sont de préférence agencés dans ces seconds évidements.

Dans une variante de réalisation du rotor selon l'invention, les sections polaires présentent en outre fort avantageusement une seconde section radiale
35 formant lobe extérieurement et un second plan de symétrie axial.

Un second rapport de la deuxième largeur des aimants à une somme de la première largeur de l'ouverture et d'une troisième largeur du lobe, dans la direction circonférentielle, sensiblement compris entre 0,25 et 0,6 caractérise de préférence le rotor dans cette variante.

5 On tirera bénéfice du fait que les aimants permanents du rotor de machine électrique tournante selon l'invention sont constitués de ferrite.

L'invention concerne également une machine électrique tournante qui comprend un rotor présentant les caractéristiques ci-dessus.

10 Ces quelques spécifications essentielles auront rendu évidents pour l'homme de métier les avantages apportés par le rotor de machine électrique tournante selon l'invention, ainsi que par la machine électrique correspondante, par rapport à l'état de la technique antérieur.

15 Les spécifications détaillées de l'invention sont données dans la description qui suit en liaison avec les dessins ci-annexés. Il est à noter que ces dessins n'ont d'autre but que d'illustrer le texte de la description et ne constituent en aucune sorte une limitation de la portée de l'invention.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS.

20 La **Figure 1** montre une vue en coupe radiale simplifiée d'un rotor à aimants permanents dans un mode de réalisation principal de l'invention, agencé dans un stator, montré en coupe radiale partielle, d'une machine électrique tournante selon l'invention.

25 La **Figure 2** montre un modèle simplifié de l'influence des rainures formant ouverture de la partie circonférentielle du rotor sur la circulation des flux magnétique dans le rotor selon l'invention.

La **Figure 3** montre la variation relative du flux utile au voisinage d'un flux utile maximum en fonction du ratio d'ouverture obtenue par le modèle simplifié montré sur la **Figure 2**.

30 La **Figure 4** montre les variations absolue et relative, au voisinage d'un maximum, de la constante de force électromotrice entre phases en fonction du ratio d'ouverture obtenues par une simulation sur ordinateur d'une machine complète comprenant un rotor selon le mode de réalisation montré sur la **Figure 1**.

La **Figure 5** montre une vue en coupe radiale simplifiée d'un rotor à aimants permanents selon une variante de réalisation de l'invention, agencé dans un stator,

montré en coupe radiale partielle, d'une machine électrique tournante selon l'invention.

Les **Figures 6a et 6b** montrent respectivement la forme d'onde de la force électromotrice entre phases à vide et les niveaux d'harmoniques correspondants d'une machine électrique tournante comprenant un rotor selon la variante de réalisation de l'invention montrée sur la **Figure 5**.

Les **Figures 7a et 7b** montrent respectivement la forme d'onde de la force électromotrice entre phases à vide et les niveaux d'harmoniques correspondants d'une machine électrique tournante du type de celle montrée sur la **Figure 5** mais dont la partie circumférentielle du rotor ne comprendrait pas de rainures formant ouverture.

DESCRIPTION DES MODES DE REALISATIONS PREFERES DE L'INVENTION.

La coupe radiale simplifiée d'un rotor 1 à aimants permanents dans le mode de réalisation principal de l'invention, représentée sur la **Figure 1**, montre bien l'agencement dans la masse magnétique 2 des aimants permanents 3 dans des premiers évidements 4 répartis régulièrement entre une partie circumférentielle 5 et une partie centrale 6 de manière à former une pluralité de pôles Nord N et pôles Sud S alternés.

Le rotor 1 selon l'invention est du type à concentration de flux. Les aimants permanents 3 sont globalement de section sensiblement rectangulaire, mais chanfreinés en forme de coin vers l'axe X-X' du rotor 1. Ils s'étendent symétriquement au voisinage de plans axiaux équi-angulaires.

Les premiers évidements 4 dans lesquels sont agencés les aimants permanents 3 délimitent dix sections polaires 7 circumférentielles.

La partie circumférentielle 5 comporte des rainures axiales 8 qui sont agencées entre les sections polaires 7 en regard des aimants permanents 3 et qui forment ouverture des premiers évidements 4.

Les sections polaires 7 comportent des deuxièmes évidements 9 agencés entre les aimants permanents 3. Elles s'étendent symétriquement au voisinage de plans axiaux équi-angulaires.

Ces deuxièmes évidements 9 présentent une section circulaire et reçoivent des tirants amagnétiques maintenant les paquets de tôles métalliques formant des masses magnétiques 2, 10 du rotor 1 et d'un stator 11.

Ces deuxièmes évidements 9 contribuent également au contrôle du champ

magnétique dans le rotor 1.

Dans une forme de réalisation particulière de cette machine, le rotor 1 comportant dix aimants permanents 3 tourne à l'intérieur d'un stator 11 présentant une pluralité d'encoches 12 définissant une pluralité de dents statoriques 13 autour
5 desquelles sont agencés des bobinages statoriques 14

Une réalisation concrète d'une machine comprenant un tel rotor 1 est par exemple un moteur/génératrice de 8 à 10 KW pour des applications dans des véhicules automobiles du type dits «mild-hybrid».

Dans son mode de fonctionnement en moteur cette machine peut être
10 conçue pour le démarrage du moteur thermique, l'assistance en couple du moteur thermique, la traction électrique à faible vitesse du véhicule ainsi que pour l'entraînement d'un compresseur centrifuge.

Les bobinages statoriques 14 sont parcourus par un courant statorique et créent un champ magnétique tournant entraînant le rotor 1. Le couple moteur fourni
15 dépend notamment de l'intensité du courant statorique et du flux magnétique dans le rotor 1.

Ainsi que cela a été expliqué en préambule, le remplacement des aimants permanents 3 aux terres rares par des aimants permanents 3 en ferrite nécessite une optimisation des pôles magnétiques N, S pour obtenir un flux magnétique
20 similaire dans le rotor 1, et conserver ainsi un même couple moteur pour une même intensité statorique.

Des simulations sur ordinateur de machines électriques comprenant un rotor 1 ayant les caractéristiques ci-dessus ont permis à l'entité inventive d'établir la distribution du flux magnétique dans le rotor 1 et le stator 11.

25 Il a été établi que le flux magnétique créé par les aimants permanents 3 et circulant dans la masse magnétique 2 du rotor 1 se répartissait entre un flux magnétique utile Φ_U circulant radialement dans une section polaire 7 et un flux magnétique de fuite Φ_L circulant dans une direction circonférentielle dans la partie circonférentielle 5 du rotor 1.

30 Le flux magnétique de fuite Φ_L dépend de la première largeur a de l'ouverture 8 des évidements 4 contenant les aimants permanents 3. Plus cette première largeur a est importante et plus le flux magnétique de fuite Φ_L diminue car une première réluctance à cet endroit de la partie circonférentielle 5 augmente, mais le flux magnétique utile Φ_U diminue aussi du fait qu'une surface d'un pôle N, S en regard avec une dent statorique 13 diminue.
35

Il existe donc une première largeur a optimale de l'ouverture 8, qui est déterminée par la simulation, pour laquelle le flux magnétique de fuite Φ_L est minimum et le flux magnétique utile Φ_U est maximum.

Un modèle simplifié de l'influence de la première largeur a sur la distribution des flux magnétiques utile et de fuite Φ_U, Φ_L dans le rotor 1 est montré sur la **Figure 2**.

Les variations de la première largeur a de l'ouverture 8 sont rapportées aux variations d'un ratio d'ouverture g égal à un rapport de la première largeur a à une deuxième largeur w des aimants permanents 3. De la sorte ce ratio g varie de 0, quand les premiers évidements 4 sont complètement ouverts vers l'extérieur, à 1, quand ces premiers évidements 4 sont complètement fermés.

La première réluctance résulte de la somme des réluctances d'un premier segment 8 de la partie circumférentielle 5 du rotor 1 d'une première longueur égale à g , présentant une première perméabilité relative μ_θ (égale à celle de l'air), et d'un second segment 5 d'une deuxième longueur $1 - g$, dont une deuxième perméabilité relative μ_1 est celle de la première carcasse 2 du rotor 1. Les premier et second segments 8, 5 présentent une épaisseur e avec w comme unité.

Une deuxième réluctance intervenant dans ce modèle simplifié est celle d'un circuit magnétique, dans lequel circule le flux magnétique utile Φ_U entre les pôles N, S du rotor 1 et les dents statoriques 13 du stator 11, ayant une troisième longueur L_{st} , et dont une troisième perméabilité relative μ_2 est celle d'une seconde carcasse 10 du stator 11.

Dans ce modèle simplifié, on considère que la surface d'un pôle N, S en regard avec une dent statorique 13 varie linéairement en fonction de g selon une loi $L_{st}^*(1.5 - g)$, de sorte qu'une dimension de ce circuit dans la direction circumférentielle varie selon la même loi.

Les aimants permanents 3 sont considérés comme un générateur de flux $\Phi = \Phi_U + \Phi_L$ présentant une troisième réluctance en parallèle résultant d'un milieu de taille égale à 1 dans la direction circumférentielle, d'une hauteur égale à h avec w comme unité, et d'une quatrième perméabilité relative μ_3 .

La **Figure 3** montre la variation relative du flux magnétique utile au voisinage du maximum $\Phi_U \max$ en fonction de g .

On constate que le flux magnétique utile s'accroît quand le ratio d'ouverture g va jusqu'à 0.80.

Dans ce modèle simplifié, une fourchette de valeurs de g comprises

entre sensiblement 0,35 et 0,80 permet de rendre le flux magnétique utile OU maximum, le flux utile OU ne variant que de 0,5% dans cette fourchette Ag.

Une simulation sur ordinateur plus réaliste d'une machine électrique tournante comprenant un rotor 1 selon l'invention, confirme l'existence d'un maximum du flux utile OU pour une valeur du ratio d'ouverture g sensiblement égal à 0,8, comme le montre la **Figure 4**.

Cette figure montre l'évolution de la constante de force électromotrice entre phases Ke pour des valeurs du ratio d'ouverture g comprises sensiblement entre 0,3 et 0,9.

La constante Ke est représentative du flux magnétique utile OU. On constate qu'elle augmente pour atteindre un maximum vers un ratio d'ouverture g de l'ordre de 0,8.

La structure optimisée du rotor 1 concourt à la préservation des performances de la machine quand des ferrites sont utilisées à la place d'aimants aux terres rares, sans trop accroître la masse des aimants permanents 3.

A technologie constante, l'invention qui contribue à l'augmentation du flux magnétique dans le rotor 1 permet également de réduire l'intensité du champ magnétique tournant créé par le stator 11 nécessaire pour produire un couple donné, et par conséquent permet de réduire la masse de cuivre nécessaire pour réaliser les bobinages statoriques 14.

La réduction de la masse des aimants permanents 3 et du cuivre permet de diminuer les coûts de fabrication et procure donc un avantage commercial dans le domaine très concurrentiel des équipements des véhicules.

Cependant, les possibilités d'optimisation du flux magnétique utile OU dans le mode de réalisation principal de l'invention décrit ci-dessus, en jouant sur la première largeur a de l'ouverture des premiers évidements 4, sont limitées par le fait que les sections polaires 7 circonférentielles présentent une troisième largeur p qui tend à diminuer quand a augmente, entraînant une augmentation rapide de la deuxième réluctance du circuit magnétique entre les pôles N, S du rotor 1 et les dents statoriques 13 du stator 11.

Dans une variante de réalisation, visant à réduire les effets négatifs de l'accroissement de la première largeur a, montrée sur la **Figure 5**, les sections polaires 7 présentent une seconde section radiale formant lobe 15.

L'ensemble de ces sections polaires 7 forme alors en coupe radiale une figure sensiblement circulaire à plusieurs lobes 15, correspondant à la saillance des

pôles N, S.

De la sorte, le recouvrement partiel des aimants permanents 3 par les lobes 15 à la périphérie du rotor 1 augmente l'épaisseur de la partie circonférentielle 5 (le trait en pointillé sur la **Figure 5** montre la surface extérieure du rotor dans le mode principal de réalisation), et contribue à atténuer l'augmentation de la deuxième réluctance du circuit magnétique rotor 1 - stator 11 quant le ratio d'ouverture g augmente, c'est-à-dire concourt à maximiser le flux magnétique cùtiletout minimisant le flux magnétique de fuite Φ_L .

Dans cette variante de réalisation, l'entité inventive a déterminé qu'un second rapport de la deuxième largeur w des aimants permanents 3 à une somme de la première largeur a de l'ouverture 8 et de la troisième largeur p du lobe sensiblement compris entre 0.25 et 0.6 est optimal.

L'avantage de cette variante est un bruit magnétique généré par la machine réduit grâce à la diminution des distorsions harmoniques de la force électromotrice et du couple, comme le montrent les **Figures 6a et 6b**.

En effet, une forme d'onde 17 de la force électromotrice entre phases $U_{1\text{ph-ph}}$ à vide d'une machine comprenant un rotor 1 selon cette variante (**Figure 5**) apparaît comme sensiblement sinusoïdale sur la **Figure 6a**.

La **Figure 6b** confirme qu'il n'y a pas d'autres harmoniques que l'harmonique fondamental 18.

Par comparaison, les **Figures 7a et 7b** montrent les mêmes caractéristiques correspondant à une machine électrique tournante (non représentée) du type de celle montrée sur la **Figure 5** mais dont la partie circonférentielle 5 du rotor 1 ne comprendrait pas de rainures 8 formant ouverture.

Sur la **Figure 7a**, il apparaît clairement que l'autre force électromotrice entre phases $U_{2\text{ph-ph}}$ présente des distorsions 19 par rapport à une forme d'onde sinusoïdale 17.

La **Figure 7b** confirme qu'un harmonique de cinquième rang 20 ayant une amplitude représentant plus de 6% de l'harmonique fondamental 18 est présent dans ce cas, alors qu'il n'existait pour la machine comprenant un rotor 1 selon la variante de réalisation (**Figure 5**).

Comme il va de soi, l'invention ne se limite pas aux seuls modes de réalisation préférentiels décrits ci-dessus.

D'autres modes de réalisation basés sur des valeurs numériques différentes de celles spécifiées ci-dessus, notamment un nombre de pôles N_p différent, et correspondant à d'autres essais ou simulations de machines électriques tournantes comportant un rotor du type décrit, ne sortiraient pas du cadre de la présente invention dans la mesure où ils résultent des revendications ci-après.

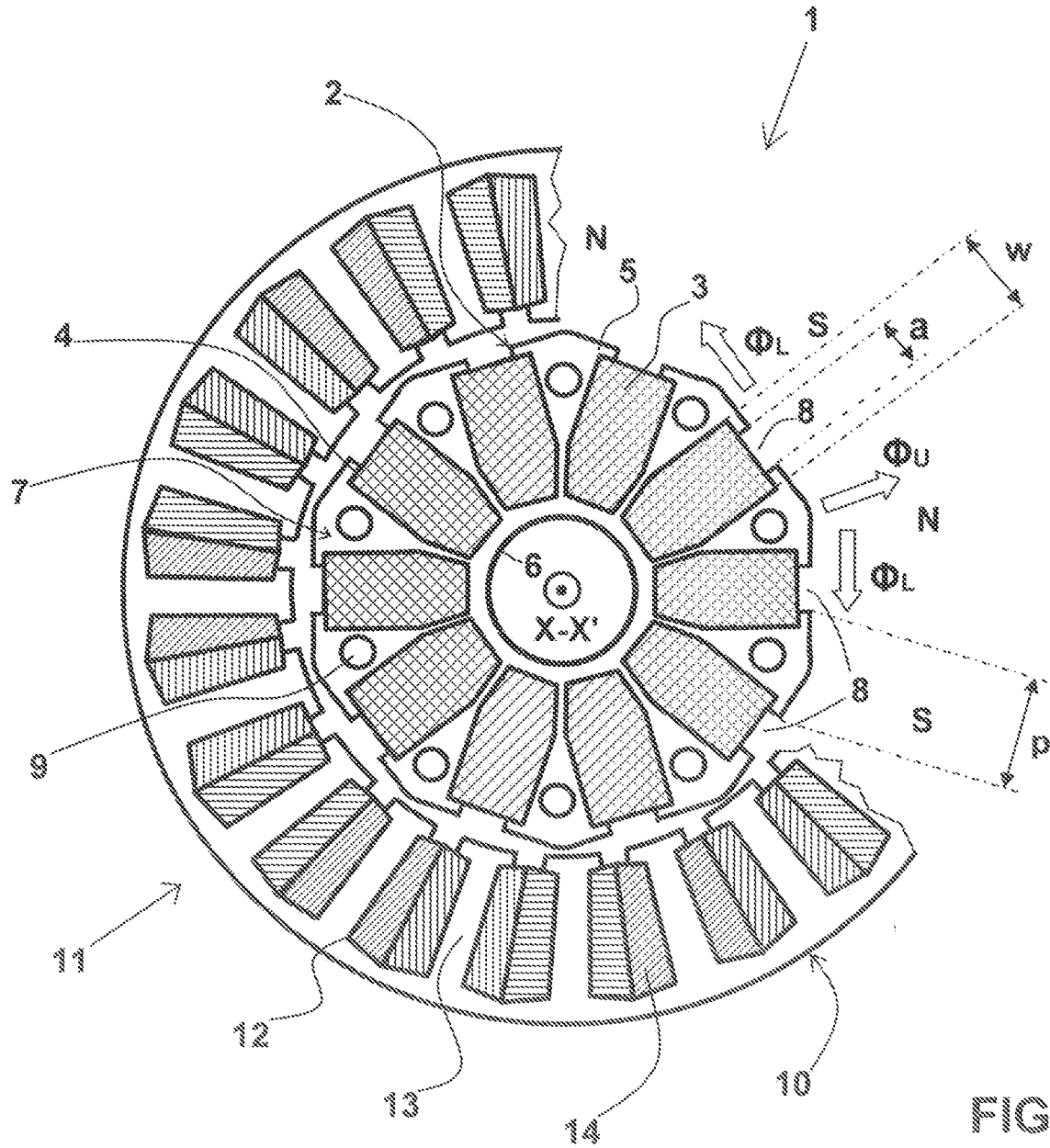
REVENDICATIONS

1) Rotor (1) de machine électrique tournante comprenant une pluralité de pôles Nord (N) et pôles Sud (S) alternés et formés à partir d'une pluralité d'aimants permanents (3) agencés dans des premiers évidements (4) se prolongeant le long d'un axe (X-X') dudit rotor (1) et répartis régulièrement entre une partie circonférentielle (5) et une partie centrale (6) de la masse magnétique (2) dudit rotor (1) de manière à définir une pluralité de sections polaires (7) circonférentielles, lesdits aimants permanents (3) présentant une première section radiale polygonale et un premier plan de symétrie axial, et ladite partie circonférentielle (5) comportant des rainures axiales (15) agencées entre lesdites sections polaires (7) en regard desdits aimants permanents (3) et formant ouverture desdits premiers évidements (4), caractérisé en ce que ladite ouverture (8) présente une première largeur (a) prédéterminée de manière à rendre minimum un flux magnétique de fuite (Φ_L) circulant dans une direction circonférentielle dans ladite partie circonférentielle (5) et à rendre maximum un flux magnétique utile (OU) circulant radialement dans chacune desdites sections polaires (7), ladite partie circonférentielle (5) présente un ratio d'ouverture (g) prédéterminé de manière à rendre minimum ledit flux magnétique de fuite (Φ_L) et à rendre maximum ledit flux magnétique utile (OU), ledit ratio d'ouverture étant égal à un premier rapport de ladite première largeur (a) à une deuxième largeur (w) desdits aimants permanents (3) dans une direction circonférentielle et ledit ratio d'ouverture (g) est sensiblement compris entre 0,35 et 0,8.

2) Rotor (1) de machine électrique tournante selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite première section radiale comporte une partie rectangulaire proche de ladite partie circonférentielle (5) adjacente à une partie en forme de coin proche de ladite partie centrale (6).

3) Rotor (1) de machine électrique tournante selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une pluralité de seconds évidements (9) se prolongeant axialement et agencés entre lesdits aimants permanents (3) dans une partie intermédiaire dudit rotor (1) entre ladite partie centrale (6) et ladite partie circonférentielle (5).

- 4) Rotor (1) de machine électrique tournante selon la revendication 3 précédente, caractérisé en ce que des tirants amagnétiques sont agencés dans lesdits seconds évidements (9).
- 5) Rotor (1) de machine électrique tournante selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 précédentes, caractérisé en ce que lesdits aimants permanents (3) sont constitués de ferrite.
- 6) Rotor (1) de machine électrique tournante selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 précédentes, caractérisé en ce que lesdites sections polaires (7) présentent une seconde section radiale formant lobe (15) extérieurement et un second plan de symétrie axial.
- 7) Rotor (1) de machine électrique tournante selon la revendication 6 précédente, caractérisé en ce qu'un second rapport de ladite deuxième largeur (w) à une somme de ladite première largeur (a) et d'une troisième largeur (p) dudit lobe (15) dans ladite direction circonférentielle est sensiblement compris entre 0,25 et 0,6.
- 8) Machine électrique tournante, caractérisée en ce qu'elle comprend un rotor (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 précédentes.



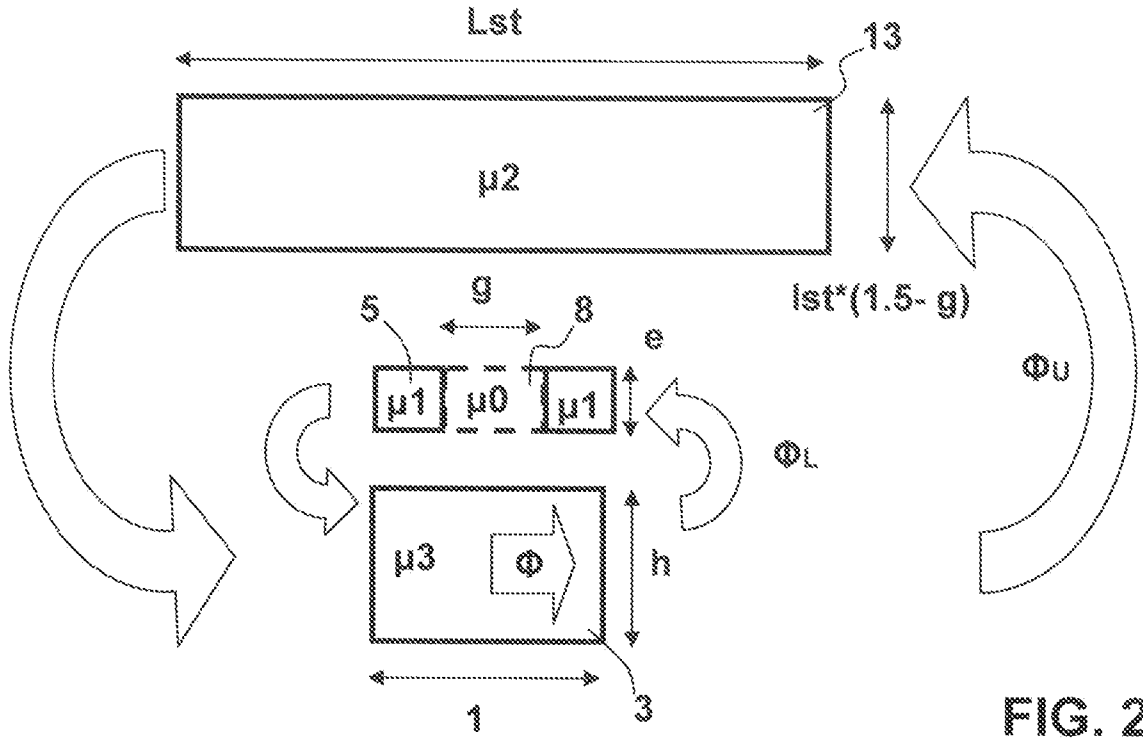


FIG. 2

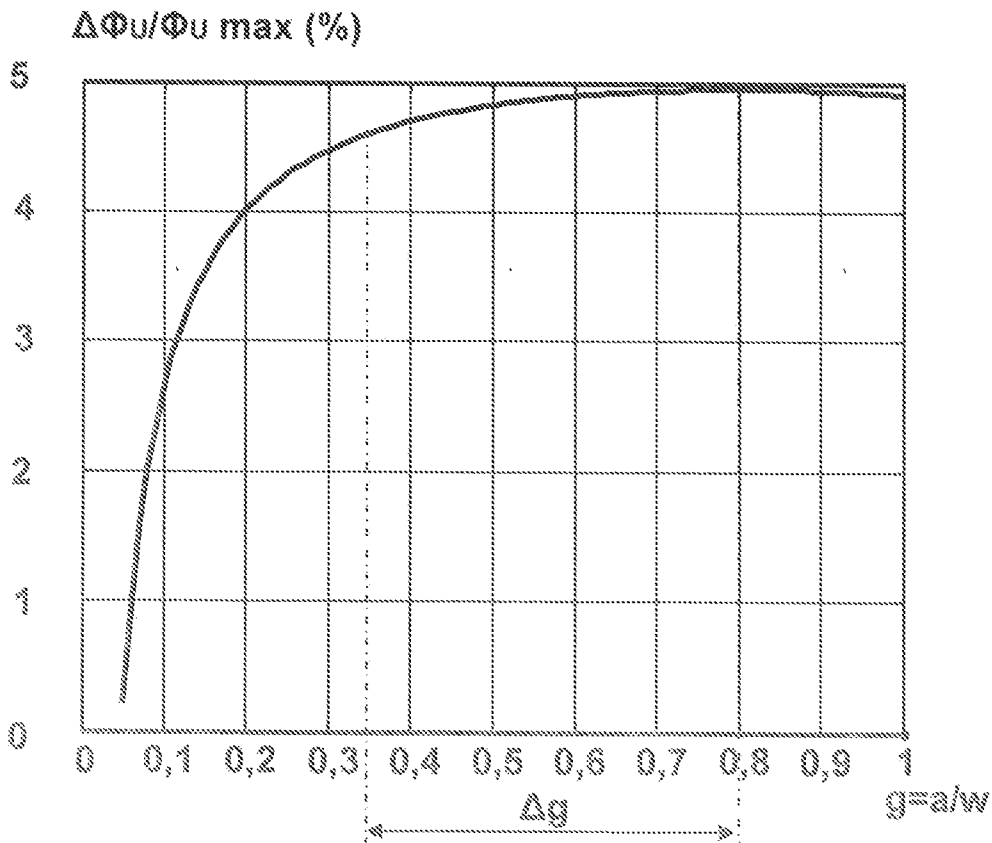


FIG. 3

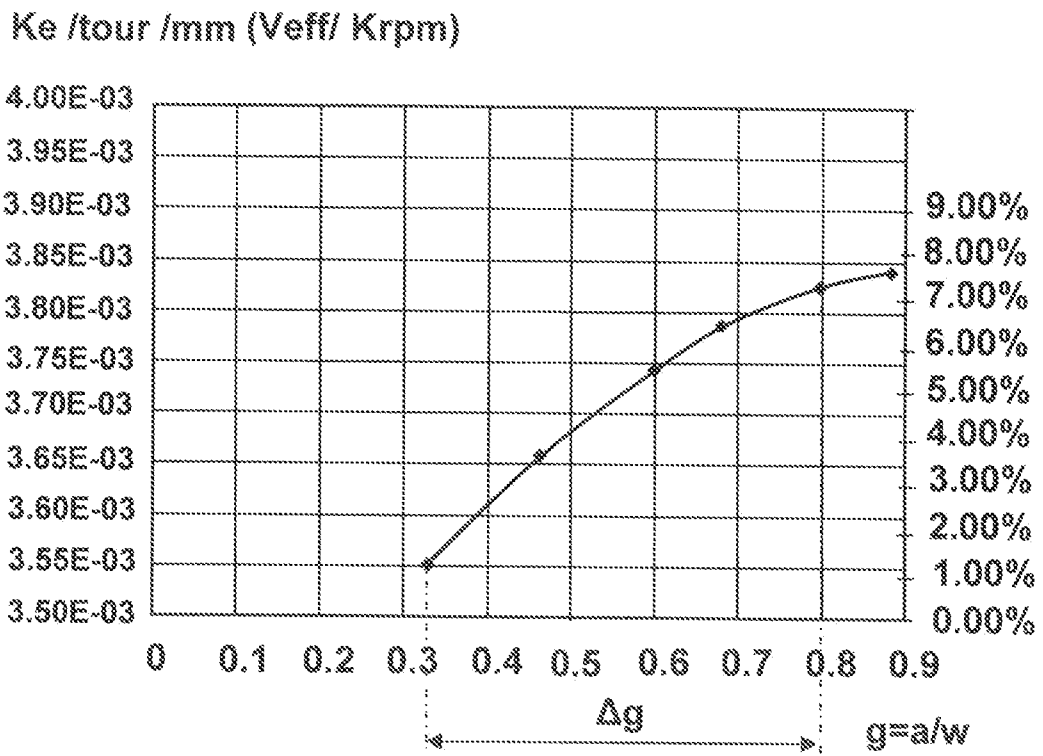


FIG. 4

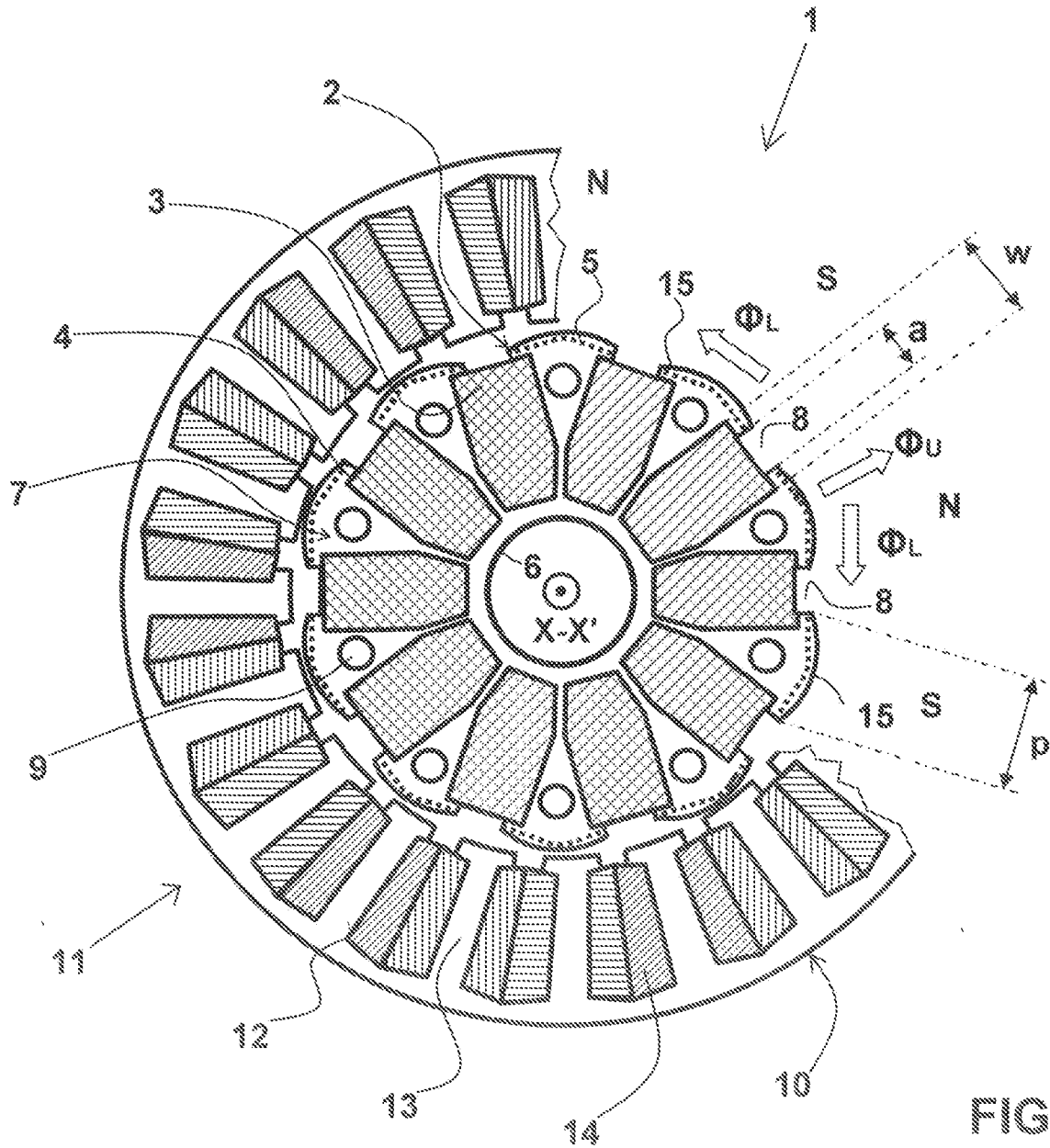


FIG. 5

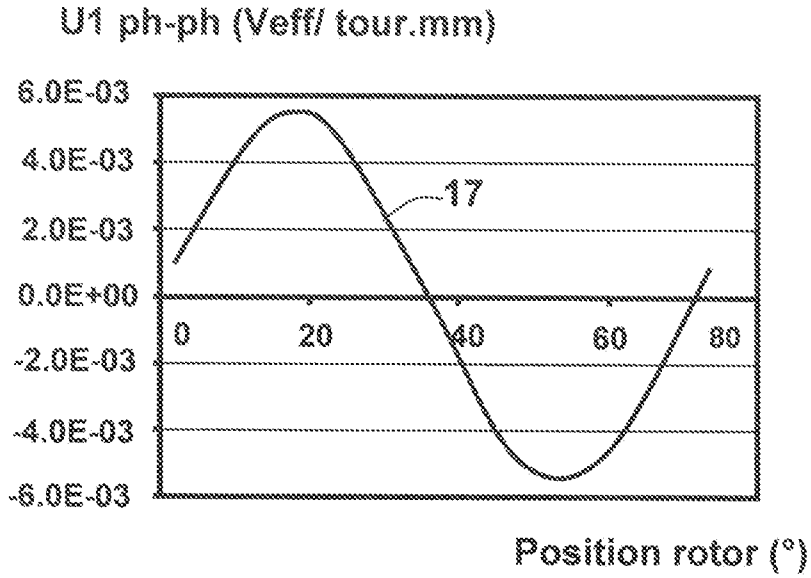


FIG. 6a

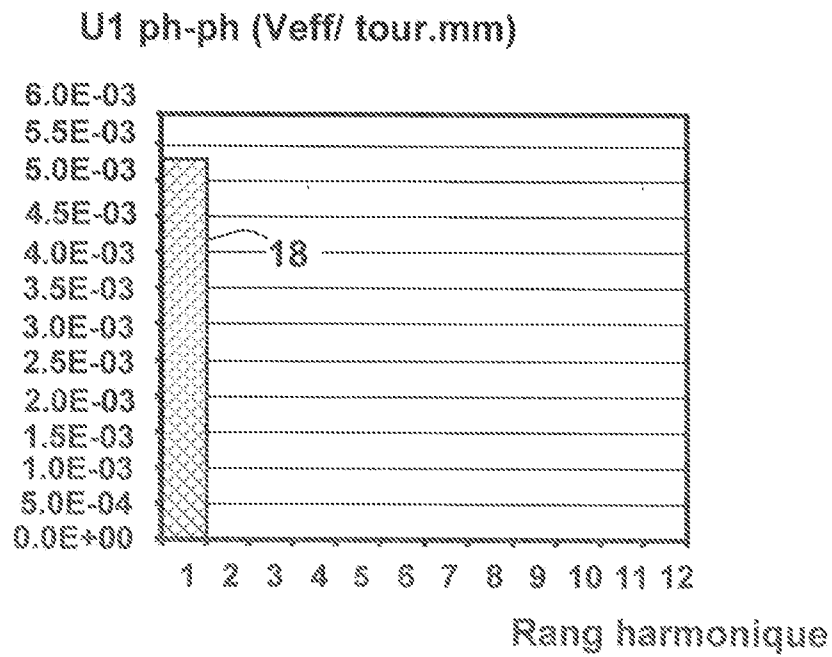


FIG. 6b

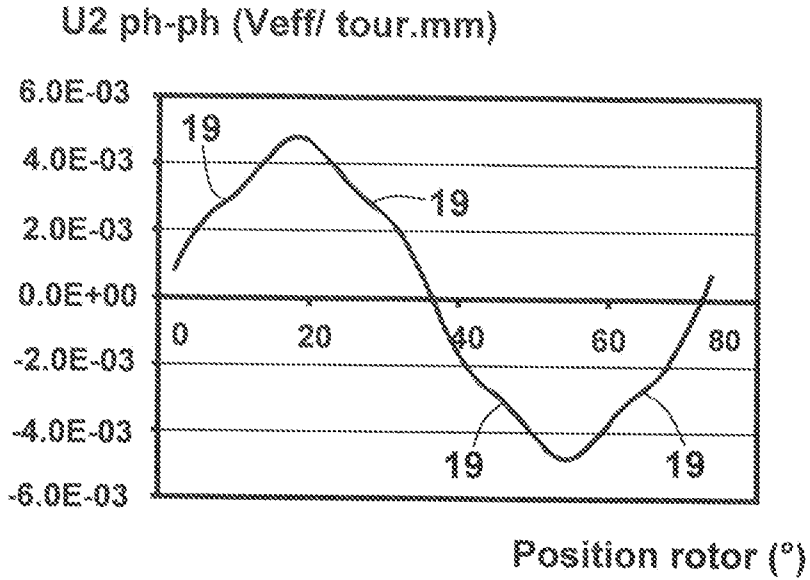


FIG. 7a

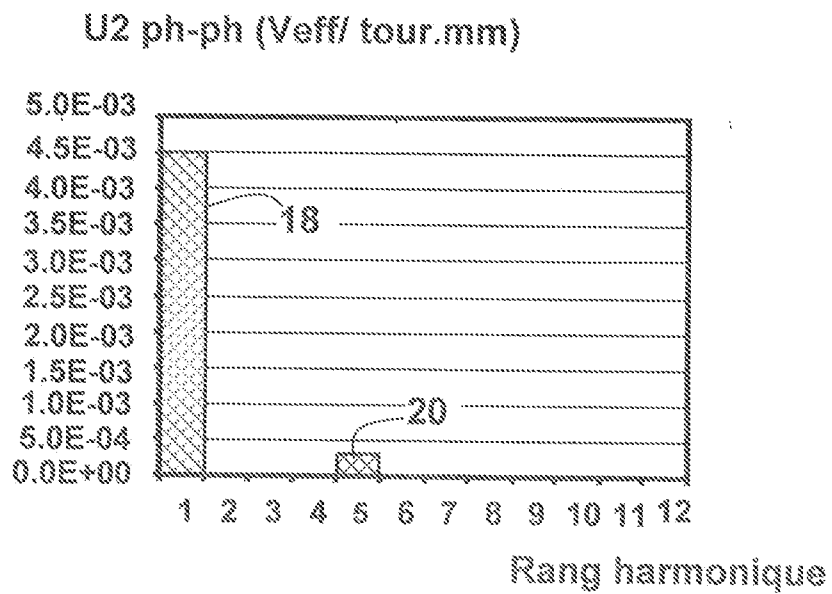


FIG. 7b