

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 136 611

②① N° d'enregistrement national : **22 05514**

⑤① Int Cl⁸ : **H 02 K 1/27 (2022.01), H 02 K 15/02, H 02 K 1/28**

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Rotor de machine électrique tournante.

②② Date de dépôt : 09.06.22.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 15.12.23 Bulletin 23/50.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 02.08.24 Bulletin 24/31.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *NIDEC PSA EMOTORS SAS — FR.*

⑦② Inventeur(s) : *DESJOURS STEPHANE.*

⑦③ Titulaire(s) : *NIDEC PSA EMOTORS SAS.*

⑦④ Mandataire(s) : *PSA AUTOMOBILES SA.*

FR 3 136 611 - B1



Description

Titre de l'invention : Rotor de machine électrique tournante

[0001] La présente invention concerne les machines électriques tournantes, et plus particulièrement les rotors de telles machines. L'invention s'intéresse notamment à la fabrication de la masse rotorique du rotor, et en particulier à la configuration de celle-ci dans le cas où elle est réalisée en plusieurs paquets alignés suivant la direction axiale, par exemple au moins deux paquets. Chacun des paquets peut être décalé angulairement par rapport aux paquets adjacents (on parle de « *step skew* » en anglais).

Domaine technique

[0002] L'invention porte plus particulièrement sur les machines synchrones ou asynchrones, à courant alternatif. Elle concerne notamment les machines de traction ou de propulsion de véhicules automobiles électriques (*Battery Electric Vehicle*) et/ou hybrides (*Hybrid Electric Vehicle – Plug-in Hybrid Electric Vehicle*), telles que voitures individuelles, camionnettes, camions ou bus. L'invention s'applique également à des machines électriques tournantes pour des applications industrielles et/ou de production d'énergie, notamment navales, aéronautiques ou éoliennes.

Technique antérieure

- [0003] Il est connu de prévoir un décalage angulaire entre des paquets du rotor. On peut alors parler de vrillage au rotor.
- [0004] Il peut être utile, notamment en cas de décalage angulaire entre des paquets du rotor, de procéder au contrôle du positionnement angulaire des différents paquets du rotor.
- [0005] A cet effet, il est possible de réaliser le contrôle de conformité du décalage angulaire par analyse des lignes de champ du rotor, mais cette analyse est peu précise. On peut également démonter le rotor, mais avec l'inconvénient de détruire celui-ci dans l'opération.
- [0006] Il est également connu d'utiliser un repérage des paquets, en réalisant une découpe sur la surface extérieure de ceux-ci du côté de l'entrefer. Cependant, une telle découpe peut affecter les performances électromagnétiques du rotor.
- [0007] Il est connu également par la demande US 2020/321813 de réaliser des marques de soudure sur les paquets de tôles du stator et non pas du rotor.
- [0008] Dans la demande CN 107404169, on réalise des rainures sur certains paquets de tôles afin de réaliser un test d'équilibrage du rotor.
- [0009] Par ailleurs, il est connu par la demande DE 10 2014 208866 d'utiliser un traitement thermique pour renforcer les tôles du rotor.
- [0010] Il est également connu par la demande US 2018/254675 de modifier la perméabilité magnétique du rotor au niveau de l'entrefer en procédant à une déformation des tôles.

[0011] Il existe un besoin pour encore améliorer le contrôle du positionnement angulaire des différents paquets du rotor, et notamment de le faciliter et d'en réduire le coût, tout en améliorant la précision.

Résumé de l'invention

[0012] L'invention vise à répondre à ce besoin et a ainsi pour objet, selon un premier de ses aspects, un rotor de machine électrique tournante, comportant une masse rotorique et des aimants permanents insérés dans celle-ci, la masse rotorique étant composée d'une pluralité de paquets disposés consécutivement le long d'un axe de rotation du rotor, deux paquets consécutifs étant notamment décalés angulairement autour de l'axe de rotation du rotor d'un angle élémentaire δ l'un par rapport à l'autre,

au moins un paquet portant une marque indiquant son orientation angulaire autour de l'axe de rotation du rotor.

[0013] Le rotor selon l'invention est configuré pour permettre de vérifier le placement des paquets les uns par rapport aux autres, par exemple le cas échéant de vérifier le bon décalage angulaire des paquets les uns par rapport aux autres, notamment après l'assemblage complet des paquets. Les paquets peuvent être ou non décalés angulairement autour de l'axe de rotation du rotor les uns par rapport aux autres.

[0014] Ainsi, on peut contrôler le bon alignement des paquets les uns par rapport aux autres. L'invention permet de mesurer l'écart angulaire entre les paquets. La mesure peut être effectuée grâce à l'invention avec une meilleure précision qu'une mesure magnétique. Elle peut être effectuée aussi bien après qu'avant la magnétisation du rotor, et sans destruction du rotor. Elle est ainsi compatible avec toute utilisation ultérieure du rotor.

[0015] Dans une chaîne de montage, on peut contrôler tous les rotors ou quelques rotors choisis dans la chaîne de production. L'invention peut ainsi permettre de contrôler l'outil de production des rotors.

[0016] Par ailleurs, le marquage selon l'invention peut être utilisé pour identifier les paquets, ce qui peut notamment être utile lorsque le rotor comporte plusieurs types de paquets.

[0017] Dans un mode de réalisation, au moins deux paquets consécutifs du rotor sont décalés angulairement autour de l'axe de rotation du rotor d'un angle élémentaire δ l'un par rapport à l'autre.

[0018] Dans l'invention, la marque est disposée à l'extérieur du paquet, notamment sur la tranche de celui-ci. Ainsi, le positionnement des paquets, notamment leur décalage angulaire, peut être toujours visible sur le rotor, que celui-ci soit magnétisé ou non.

Exposé de l'invention

[0019] Dans un mode de réalisation, la marque peut être disposée à la périphérie du rotor, au niveau de l'entrefer. L'entrefer peut être constant. Il peut ne pas être variable. En variante, l'entrefer peut être variable.

- [0020] La marque peut ne pas être disposée à l'une ou aux extrémités libres du rotor, et ne pas être disposée sur les faces du rotor perpendiculaires à l'axe de rotation du rotor.
- [0021] La marque peut avoir une largeur comprise entre 0,05 et 10 mm. La largeur de la marque est mesurée perpendiculairement à l'axe de rotation du rotor.
- [0022] La largeur de la marque peut par exemple être inférieure à 5 mm, mieux inférieure à 3 mm, voire inférieure à 2 mm, mieux encore inférieure à 1 mm. Une largeur suffisamment faible permet d'améliorer la précision angulaire du positionnement de la marque.
- [0023] La largeur de la marque peut par exemple être supérieure à 0,05 mm, mieux supérieure à 0,1 mm, voire supérieure à 0,5 mm. Une largeur suffisante permet de faciliter la lecture de la marque par un moyen de contrôle optique, afin de permettre de mesurer le positionnement du paquet correspondant avec précision.
- [0024] Une tolérance dans le positionnement de la marque peut être de l'ordre de $\pm 0,1^\circ$, notamment de l'ordre de $\pm 0,05^\circ$, mieux de l'ordre de $\pm 0,02^\circ$.
- [0025] Une tolérance dans le positionnement angulaire d'un paquet peut être de l'ordre de $\pm 0,8^\circ$, notamment de l'ordre de $\pm 0,4^\circ$, mieux de l'ordre de $\pm 0,2^\circ$. Dans un exemple de réalisation, la tolérance angulaire dans le positionnement angulaire d'un paquet est de l'ordre de $\pm 0,4^\circ$, pour un diamètre du rotor de 150 mm.
- [0026] La marque peut être en relief, formant une surépaisseur sur le paquet. En variante, la marque peut être en creux.
- [0027] Une profondeur de la marque peut par exemple être inférieure à 5 mm, mieux inférieure à 3 mm, voire inférieure à 2 mm, mieux encore inférieure à 1 mm. Une profondeur suffisamment faible permet de ne pas affecter l'entrefer. Cela permet de minimiser l'impact électromagnétique de la présence de la marque.
- [0028] La marque peut être optiquement observable.
- [0029] La marque peut avoir une forme choisie dans la liste suivante, qui n'est pas limitative : trait, notamment trait rectiligne ou non, trait courbé, trait formant des motifs, notamment en zig-zag, en ondulation, trait continu ou non, trait parallèle à l'axe de rotation du rotor ou incliné par rapport à celui-ci, un ou plusieurs traits, traits parallèles ou non.
- [0030] Une marque d'un paquet peut comporter plusieurs traits parallèles à l'axe de rotation du rotor. Deux ou plusieurs paquets consécutifs peuvent chacun comporter une marque comportant plusieurs traits parallèles à l'axe de rotation du rotor. Lorsque deux ou plusieurs paquets consécutifs peuvent chacun comporter une marque comportant plusieurs traits parallèles à l'axe de rotation du rotor, on peut obtenir par exemple un effet dit vernier comme sur un pied à coulisse, qui permet de mesurer plus précisément l'écart angulaire entre les paquets consécutifs, sans utiliser de moyen de mesure.
- [0031] Le nombre de traits peut être un indicateur de la diversité des types de paquets. Par

exemple, une marque peut servir pour la mesure du décalage angulaire et d'autres marques peuvent servir à caractériser un type de paquet, notamment leur diversité en nombre d'aimants et en grade d'aimants, par exemple.

- [0032] La marque peut comporter une modification de la matière du paquet. En particulier, la marque peut résulter d'une modification du matériau métallique du paquet et/ou d'un vernis le recouvrant. La marque peut par exemple traverser le vernis. Dans l'invention, on ne fait pas fondre le matériau métallique du paquet. Dans le cas où le paquet est formé d'un empilement de tôles métalliques, on distingue les tôles entre elles y compris au niveau de la marque. La marque peut être réalisée sans faire fondre de matériau. La marque peut ne pas être formée d'un matériau fondu.
- [0033] Dans l'invention, la marque peut être réalisée sans déformation du paquet.
- [0034] La marque peut être réalisée au moyen d'un laser de marquage. La puissance du laser de marquage utilisé peut avoir une puissance de crête d'environ 200 W. La marque peut être réalisée sans traitement thermique risquant d'entraîner une démagnétisation du paquet. Le laser utilisé peut être choisi dans la liste suivante, qui n'est pas limitative : YOV4, laser hybride, par exemple.
- [0035] Le marquage peut être effectué sans ajout de matière, ce qui permet d'éviter toute pollution supplémentaire.
- [0036] La marque peut être réalisée par enlèvement de matière, notamment par une rainure ou entaille ménagée dans le paquet, ou par usinage.
- [0037] En variante, la marque peut être réalisée par ajout de matière, notamment jet d'encre, feutre, peinture, résine, notamment colorée, cette liste n'étant pas limitative. Dans un mode de réalisation, la matière ajoutée peut être magnétisable, et être retirée après la mesure de l'alignement des paquets du rotor, lorsque cette mesure est effectuée avant la magnétisation du rotor.
- [0038] La marque peut ne pas être positionnée de manière déterminée par rapport à un pôle du rotor. En variante, la marque peut être positionnée de manière déterminée par rapport à une référence, par exemple un plan passant par un point particulier d'un pôle, notamment l'axe d'un pôle.
- [0039] Le repérage de l'orientation du paquet peut être fait au moyen d'une caméra disposée sur l'axe de rotation du rotor, c'est-à-dire observant une face du paquet. On peut ainsi bien observer le positionnement des logements des aimants permanents dans les pôles du rotor.
- [0040] Le marquage peut être effectué avant l'assemblage des paquets du rotor, avant de les monter et de les fretter sur un arbre du rotor.
- [0041] La marque peut être positionnée de manière déterminée par rapport à un pôle du rotor. Dans un mode de réalisation, la marque peut être positionnée au centre d'un pôle du rotor. Le rotor peut comporter plusieurs marques, chacune positionnée au centre

d'un pôle du rotor. En variante, la marque peut être placée au niveau d'un pont de matière fermant un logement d'au moins un aimant permanent.

- [0042] Il est possible d'adapter le nombre de marques au contrôle. Par exemple, dans un mode de réalisation, le rotor comporte une marque par pôle. Une telle configuration permet avantageusement de ne pas avoir besoin de procéder à un repérage angulaire du rotor complet.
- [0043] En variante, le rotor peut comporter une marque sur certains des pôles, par exemple sur un pôle sur deux ou un pôle sur trois.
- [0044] Plusieurs paquets du rotor peuvent chacun comporter au moins une marque, voire plusieurs marques. Dans un mode de réalisation, tous les paquets du rotor peuvent comporter chacun au moins une marque, voire plusieurs marques. En variante, le rotor peut comporter un ou plusieurs paquets dépourvus de marque.
- [0045] Chaque marque de chaque paquet peut être positionnée par rapport à la référence. Chaque marque de chaque paquet peut ne pas être positionnée par rapport à une marque d'un autre paquet. Ce positionnement des marques par rapport à la référence peut permettre d'améliorer la précision du positionnement des marques.

Paquets

- [0046] La masse rotorique peut comporter un nombre pair de paquets. En variante, la masse rotorique peut comporter un nombre impair de paquets.
- [0047] Deux paquets consécutifs peuvent être décalés angulairement autour de l'axe de rotation du rotor d'un angle élémentaire δ .
- [0048] Le décalage angulaire entre deux paquets consécutifs peut être constant lorsque l'on se déplace le long de l'axe de rotation du rotor, ou en variante il peut varier.
- [0049] Les paquets de la masse rotorique peuvent être décalés angulairement tous dans un même sens autour de l'axe de rotation du rotor.
- [0050] En variante, ils peuvent être décalés angulairement successivement dans un sens puis dans l'autre, étant disposés en V. Ils peuvent être disposés en V, étant décalés symétriquement par rapport à un plan de symétrie perpendiculaire à l'axe de rotation du rotor. Un avantage de la configuration en V est de permettre de minimiser la force axiale.
- [0051] La masse rotorique peut comporter un seul paquet central coupé en deux par ledit plan de symétrie.
- [0052] En variante, la masse rotorique peut comporter deux paquets centraux séparés par ledit plan de symétrie. Les deux paquets centraux peuvent ne pas être décalés angulairement l'un par rapport à l'autre.
- [0053] En variante encore, les paquets de la masse rotorique peuvent être décalés angulairement successivement dans un sens puis dans l'autre, étant disposés en chevrons.
- [0054] Tous les paquets du rotor peuvent avoir chacun la même longueur ou des longueurs

différentes.

- [0055] En variante, deux paquets peuvent avoir des longueurs différentes. Par exemple, la disposition des paquets dans la masse rotorique peut être telle que la longueur des paquets peut augmenter puis diminuer lorsque l'on se déplace le long de l'axe de rotation, ou augmenter tout le long du rotor, ou diminuer tout le long du rotor.
- [0056] En variante encore, la longueur des paquets peut varier avec une variation en dents de scie lorsque l'on se déplace le long de l'axe de rotation.
- [0057] Dans un mode de réalisation, le ou les paquets centraux peuvent avoir une longueur différente des autres paquets, par exemple une longueur plus courte ou plus longue.

Rotor

- [0058] Le rotor peut comporter des aimants permanents insérés dans la masse rotorique. La masse rotorique peut comporter des tôles rotoriques. Le rotor peut comporter des aimants permanents, avec notamment des aimants surfaciques ou enterrés. Le rotor peut être à concentration de flux. Il peut comporter une ou plusieurs couches d'aimants disposées en I, en U ou en V. Les logements des aimants permanents peuvent être réalisés entièrement par découpage dans les tôles. Chaque tôle de l'empilement de tôles peut être monobloc.
- [0059] En variante, il peut s'agir d'un rotor bobiné ou à cage d'écureuil, ou d'un rotor à réluctance variable.
- [0060] Le nombre de paires de pôles p au rotor est par exemple compris entre 1 et 24, étant par exemple de 1, 2, 3, 4, 5 ou 6. Le rotor peut comporter 6 ou 8 pôles.
- [0061] Le diamètre du rotor peut être inférieur à 600 mm, voire inférieur à 400 mm, mieux inférieur à 300 mm, mieux encore inférieur à 200 mm, et supérieur à 40 mm, mieux supérieur à 60 mm, étant par exemple compris entre 80 et 160 mm.
- [0062] Chaque tôle est par exemple découpée dans une feuille d'acier magnétique ou contenant de l'acier magnétique, par exemple de l'acier de 0,1 à 1,5 mm d'épaisseur. Les tôles peuvent être revêtues d'un vernis isolant électrique sur leurs faces opposées avant leur assemblage au sein de l'empilement. L'isolation électrique peut encore être obtenue par un traitement thermique des tôles, le cas échéant.
- [0063] Le rotor peut comporter un arbre sur lequel est placée la masse rotorique. L'arbre peut être lisse ou non.
- [0064] L'arbre peut être réalisé dans un matériau magnétique, ce qui permet avantageusement de diminuer le risque de saturation dans la masse rotorique et d'améliorer les performances électromagnétiques du rotor.
- [0065] En variante, le rotor comporte un arbre amagnétique sur lequel est disposée la masse rotorique. L'arbre peut être réalisé au moins en partie dans un matériau de la liste suivante, qui n'est pas limitative : acier, inox, titane ou tout autre matériau amagnétique.

- [0066] La masse rotorique peut dans un mode de réalisation être disposée directement sur l'arbre amagnétique, par exemple sans jante intermédiaire. En variante, notamment dans le cas où l'arbre n'est pas amagnétique, le rotor peut comporter une jante entourant l'arbre du rotor et venant prendre appui sur ce dernier.
- [0067] La masse rotorique peut comporter un ou plusieurs trous pour alléger le rotor, permettre son équilibrage ou pour l'assemblage des tôles rotoriques la constituant. Des trous peuvent permettre le passage de tirants maintenant solidaires entre elles les tôles.
- [0068] Les tôles peuvent être découpées dans un outil à la suite les unes des autres. Elles peuvent être empilées et clipsées ou collées dans l'outil, en paquets complets ou sous-paquets. Les tôles peuvent être encliquetées les unes sur les autres. En variante, le paquet de tôles peut être empilé et soudé en dehors de l'outil.
- [0069] La masse rotorique peut présenter un contour extérieur qui est circulaire ou multilobé, une forme multilobée pouvant être utile par exemple pour réduire les ondulations de couple ou les harmoniques de courant ou de tension.
- [0070] Le rotor peut comporter au moins un flasque qui peut être disposé à une extrémité du paquet de tôles rotoriques. Dans un mode de réalisation, le rotor comporte deux flasques chacun disposé à une extrémité du paquet de tôles rotoriques.
- [0071] Le rotor peut être monté en porte à faux ou non, par rapport aux roulements utilisés pour guider l'arbre.

Machine et stator

- [0072] L'invention a encore pour objet, indépendamment ou en combinaison avec ce qui précède, une machine électrique tournante comportant un rotor tel que défini plus haut.
- [0073] La machine peut comporter un stator comportant des dents et des encoches entre les dents, des conducteurs électriques étant logés dans les encoches
- [0074] La machine peut être utilisée comme moteur ou comme générateur. La machine peut être à reluctance. Elle peut constituer un moteur synchrone ou en variante un générateur synchrone. En variante encore, elle constitue une machine asynchrone.
- [0075] La vitesse maximale de rotation de la machine peut être élevée, étant par exemple supérieure à 10 000 tr/min, mieux supérieure à 12 000 tr/min, étant par exemple de l'ordre de 14 000 tr/min à 15 000 tr/min, voire même de 20 000 tr/min ou de 24 000 tr/min ou de 25 000 tr/min. La vitesse maximale de rotation de la machine peut être inférieure à 100 000 tr/min, voire à 60 000 tr/min, voire encore inférieure à 40 000 tr/min, mieux inférieure à 30 000 tr/min.
- [0076] L'invention peut convenir tout particulièrement pour des machines de forte puissance.
- [0077] La machine peut comporter un seul rotor intérieur ou, en variante, un rotor intérieur et un rotor extérieur, disposés radialement de part et d'autre du stator et accouplés en rotation.

[0078] La machine peut être insérée seule dans un carter ou insérée dans un carter de boîte de vitesse. Dans ce cas, elle est insérée dans un carter qui loge également une boîte de vitesse.

[0079] La machine comporte un stator. Ce dernier comporte des dents définissant entre elles des encoches. Le stator peut comporter des conducteurs électriques, au moins une partie des conducteurs électriques, voire une majorité des conducteurs électriques, pouvant être en forme d'épingle en U ou en I.

Masse statorique

[0080] Le stator peut comporter une masse statorique comportant les dents et les encoches précitées.

[0081] Les encoches peuvent être au moins partiellement fermées. Une encoche partiellement fermée permet de ménager une ouverture au niveau de l'entrefer, qui peut servir par exemple à la mise en place des conducteurs électriques pour le remplissage de l'encoche. Une encoche partiellement fermée est notamment ménagée entre deux dents qui comportent chacune des épanouissements polaires au niveau de leur extrémité libre, lesquels viennent fermer l'encoche au moins en partie.

[0082] En variante, les encoches peuvent être entièrement fermées. Par « encoche entièrement fermée », on désigne des encoches qui ne sont pas ouvertes radialement vers l'entrefer.

[0083] Dans un mode de réalisation, au moins une encoche, voire chaque encoche, peut être continûment fermée du côté de l'entrefer par un pont de matière venu d'un seul tenant avec les dents définissant l'encoche. Toutes les encoches peuvent être fermées du côté de l'entrefer par des ponts de matière fermant les encoches. Les ponts de matière peuvent être venus d'un seul tenant avec les dents définissant l'encoche. La masse statorique est alors dépourvue de découpe entre les dents et les ponts de matière fermant les encoches, et les encoches sont alors continûment fermées du côté de l'entrefer par les ponts de matière venus d'un seul tenant avec les dents définissant l'encoche.

[0084] En outre, les encoches peuvent également être fermées du côté opposé à l'entrefer par une culasse rapportée ou d'un seul tenant avec les dents. Les encoches ne sont alors pas ouvertes radialement vers l'extérieur. La masse statorique peut être dépourvue de découpe entre les dents et la culasse.

[0085] Dans un mode de réalisation, chacune des encoches est de contour continûment fermé. Par « continûment fermé », on entend que les encoches présentent un contour fermé continu lorsqu'elles sont observées en section transversale, prise perpendiculairement à l'axe de rotation de la machine. On peut faire le tour complet de l'encoche sans rencontrer de découpe dans la masse statorique.

[0086] La masse statorique peut être réalisée par empilement de tôles magnétiques, les

encoches étant venues par découpage des tôles. La masse statorique peut en variante être réalisée par taillage dans une masse de poudre magnétique frittée ou agglomérée. La fermeture des encoches du côté de l'entrefer est obtenue par des ponts de matière venus d'un seul tenant avec le reste des tôles ou du bloc formant la masse statorique.

- [0087] Le stator peut être dépourvu de cales magnétiques rapportées de fermeture des encoches. On élimine ainsi le risque de détachement accidentel de ces cales.
- [0088] Le stator peut comporter des bobines disposées de manière répartie dans les encoches, ayant notamment des conducteurs électriques disposés de manière rangée dans les encoches. Par « *réparti* », on entend qu'au moins l'une des bobines passe successivement dans deux encoches non adjacentes.
- [0089] Les conducteurs électriques peuvent former un bobinage distribué. Le bobinage n'est dans ce cas pas concentré ou bobiné sur dent.
- [0090] Les conducteurs électriques peuvent ne pas être disposés dans les encoches en vrac mais de manière ordonnée. Ils sont empilés dans les encoches de manière non aléatoire, étant par exemple disposés en rangées de conducteurs électriques alignés. L'empilement des conducteurs électriques est par exemple un empilement selon un réseau hexagonal dans le cas de conducteurs électriques de section transversale circulaire.
- [0091] Le stator peut comporter des conducteurs électriques logés dans les encoches. Des conducteurs électriques au moins, voir une majorité des conducteurs électriques, peuvent être en forme d'épingles, de U ou de I. L'épingle peut être en forme de U (« *U-pin* » en anglais) ou droite, étant en forme de I (« *I-pin* » en anglais).
- [0092] Chaque conducteur électrique peut comporter un ou plusieurs brins (« *wire* » ou « *strand* » en anglais). Par « brin », on entend l'unité la plus élémentaire pour la conduction électrique. Un brin peut être de section transversale ronde, on peut alors parler de 'fil', ou en méplat. Les brins en méplat peuvent être mis en forme en épingles, par exemple en U ou en I. Chaque brin est revêtu d'un émail isolant.
- [0093] Les conducteurs électriques peuvent former un bobinage unique, notamment entier ou fractionnaire. Par « bobinage unique », on entend que les conducteurs électriques sont reliés électriquement ensemble dans le stator, et que les connexions entre les phases sont faites dans le stator, et non pas à l'extérieur du stator, par exemple dans une boîte à bornes. Un bobinage est constitué d'un nombre de phases m décalées dans l'espace de telle façon que lorsqu'elles sont alimentées par un système de courant multi-phasés, elles produisent un champ tournant.
- [0094] Le bobinage peut être dans l'invention entier ou fractionnaire. Le bobinage peut être entier à pas avec ou sans raccourcissement, ou en variante fractionnaire. Dans un mode de réalisation, les conducteurs électriques forment un bobinage fractionnaire, notamment à pas raccourci.

- [0095] Pour un bobinage fractionnaire, le nombre d'encoches par pôle et par phase est fractionnaire, c'est-à-dire que le rapport q défini par $Z=Ns/(2pq)$ s'écrit sous la forme d'une fraction irréductible z/m , z et m étant deux nombres entiers non nuls, m étant différent de 1, où Ns est le nombre d'encoches du stator, q le nombre de phases du bobinage et p le nombre de paires de pôles.
- [0096] Le nombre d'encoches du stator peut être compris entre 18 et 96, mieux entre 30 et 84, étant par exemple de 18, 24, 27, 30, 36, 42, 45, 48, 54, 60, 63, 72, 81, 92, 96, mieux étant de 48 ou 60 ou 63. Le nombre de pôles du stator peut être compris entre 2 et 24, voire entre 4 et 12, étant par exemple de 6 ou de 8.
- [0097] La combinaison nombre d'encoches/nombre de pôles du stator peut être choisie parmi les combinaisons de la liste suivante, qui n'est pas limitative : 30/4, 42/4, 45/6, 48/8, 63/6, 60/8, 84/8.
- [0098] Dans un mode de réalisation, la combinaison nombre d'encoches/nombre de pôles du stator est 48/8. On a dans ce cas $Z=48/(2*4*3)=2$.
- [0099] Dans un mode de réalisation, la combinaison nombre d'encoches/nombre de pôles du stator est 63/6. On a dans ce cas $Z=63/(2*3*3)=7/2$.
- [0100] Le bobinage peut être ondulé. La mise en série des conducteurs électriques peut être faite en bobinage dit ondulé. Par « bobinage ondulé », on entend un bobinage dans lequel les conducteurs électriques d'une même phase et d'un même pôle sont reliés électriquement l'un à l'autre de façon que, pour une voie d'enroulement, le courant électrique de la phase circule dans les conducteurs électriques en tournant autour de l'axe de rotation de la machine toujours dans un seul sens. Pour une voie d'enroulement, les conducteurs électriques d'une même phase et d'un même pôle ne se chevauchent pas lorsqu'observés perpendiculairement à l'axe de rotation de la machine.
- [0101] Le bobinage peut comporter une seule voie d'enroulement ou plusieurs voies d'enroulement. Dans un « conducteur électrique » circule le courant d'une même phase par voie d'enroulement. Par « voie d'enroulement », on entend l'ensemble des conducteurs électriques de la machine qui sont parcourus par un même courant électrique d'une même phase. Ces conducteurs électriques peuvent être connectés entre eux en série ou en parallèle ou en série-parallèle. Dans le cas où on a une seule voie, les conducteurs électriques sont connectés en série. Dans le cas où on a plusieurs voies, les conducteurs électriques de chaque voie sont connectés en série, et les voies sont connectées en parallèle.
- [0102] Les conducteurs électriques peuvent ainsi former un bobinage distribué. Le bobinage peut ne pas être concentré ou bobiné sur dent.
- [0103] Dans une variante de réalisation, le stator est à bobinage concentré. Le stator peut comporter des dents et des bobines disposées sur les dents. Le stator peut ainsi être

bobiné sur dents, autrement dit à bobinage non réparti.

- [0104] Les dents du stator peuvent comporter des épanouissements polaires. En variante, les dents du stator sont dépourvues d'épanouissements polaires.
- [0105] Le stator peut comporter une carcasse extérieure entourant la culasse.
- [0106] Les dents du stator peuvent être réalisées avec un empilement de tôles magnétiques, recouvertes chacune d'un vernis isolant, afin de limiter les pertes par courants induits.

Procédé

- [0107] L'invention a encore pour objet, indépendamment ou en combinaison avec ce qui précède, un procédé de fabrication d'un rotor tel que défini plus haut.
- [0108] L'invention a notamment pour objet un procédé de fabrication d'un rotor de machine électrique tournante, notamment tel que défini plus haut, comportant une masse rotorique et des aimants permanents insérés dans celle-ci, la masse rotorique étant composée d'une pluralité de paquets disposés consécutivement le long d'un axe de rotation du rotor, comportant les étapes suivantes :
- (a) réaliser une marque sur au moins un paquet permettant de repérer son orientation angulaire autour de l'axe de rotation du rotor,
 - (b) assembler les paquets du rotor, deux paquets consécutifs étant notamment décalés angulairement autour de l'axe de rotation du rotor d'un angle élémentaire δ l'un par rapport à l'autre.
- [0109] Dans l'invention, l'étape (a) est effectuée avant l'étape (b).
- [0110] A l'étape (b), on peut assembler les paquets, les monter et les fretter sur un arbre du rotor.
- [0111] Le procédé peut comporter l'étape suivante :
- (c) contrôler l'orientation angulaire des paquets du rotor les uns par rapport aux autres par repérage de la ou des marques des paquets.
- [0112] Le contrôle de l'orientation angulaire des paquets peut être effectué par un capteur optique, ou un laser, ou encore visuellement par un opérateur. Le contrôle visuel peut être effectué avec un masque, par exemple un masque papier, ou un projecteur. Ce masque ou ce projecteur peuvent permettre d'afficher les bornes de la tolérance du décalage angulaire.
- [0113] La marque peut être réalisée par ajout de matière. Dans un mode de réalisation, la matière ajoutée peut être magnétisable.
- [0114] Dans ce cas, le procédé peut comporter l'étape supplémentaire suivante :
- (d) retirer la matière ajoutée après la mesure de l'alignement des paquets du rotor, notamment lorsque cette mesure est effectuée avant la magnétisation du rotor.

Brève description des dessins

- [0115] L'invention pourra être mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre,

d'exemples de mise en œuvre non limitatifs de celle-ci, et à l'examen du dessin annexé, sur lequel :

- [0116] [Fig.1] La [Fig.1] est une vue de côté, schématique et partielle, d'un rotor réalisé conformément à l'invention.
- [0117] [Fig.2] La [Fig.2] est une vue en perspective, schématique et partielle, d'un paquet du rotor de la [Fig.1].
- [0118] [Fig.3a] La [Fig.3a] est une vue de côté, schématique et partielle, d'une variante de réalisation.
- [0119] [Fig.3b] La [Fig.3b] est une vue de côté, schématique et partielle, d'une variante de réalisation.
- [0120] [Fig.3c] La [Fig.3c] est une vue de côté, schématique et partielle, d'une variante de réalisation.
- [0121] [Fig.3d] La [Fig.3d] est une vue de côté, schématique et partielle, d'une variante de réalisation.
- [0122] [Fig.4a] La [Fig.4a] est une vue en perspective, schématique et partielle, d'une variante de réalisation.
- [0123] [Fig.4b] La [Fig.4b] est une vue en perspective, schématique et partielle, d'une variante de réalisation.
- [0124] [Fig.4c] La [Fig.4c] est une vue en perspective, schématique et partielle, d'une variante de réalisation.
- [0125] [Fig.4d] La [Fig.4d] est une vue en perspective, schématique et partielle, d'une variante de réalisation.
- [0126] [Fig.4e] La [Fig.4e] est une vue en perspective, schématique et partielle, d'une variante de réalisation.
- [0127] [Fig.4f] La [Fig.4f] est une vue en perspective, schématique et partielle, d'une variante de réalisation.

Description détaillée

- [0128] On a illustré à la [Fig.1] un rotor intérieur 1 de machine électrique tournante, comportant également un stator extérieur non représenté. Le stator permet de générer un champ magnétique tournant d'entraînement du rotor 1 en rotation, dans le cadre d'un moteur synchrone, et dans le cas d'un alternateur, la rotation du rotor induit une force électromotrice dans les conducteurs électriques du stator.
- [0129] Le stator comporte des dents et des encoches entre les dents, des conducteurs électriques étant logés dans les encoches. Les conducteurs électriques forment un bobinage fractionnaire ou entier.
- [0130] Le rotor 1 représenté à la [Fig.1] comporte une masse magnétique rotorique 3 s'étendant axialement selon l'axe de rotation X du rotor, cette masse rotorique étant

formée par une pluralité de paquets 5 disposés consécutivement le long de l'axe de rotation X du rotor 1, à savoir quatre paquets consécutifs dans l'exemple de la [Fig.1]. Les paquets 5 sont chacun composés de tôles rotoriques magnétiques empilées selon l'axe X, les tôles étant par exemple identiques et superposées exactement. Les tôles magnétiques sont de préférence en acier magnétique. Toutes les nuances d'acier magnétique peuvent être utilisées.

- [0131] Deux paquets 5 consécutifs sont décalés angulairement autour de l'axe de rotation X du rotor d'un angle élémentaire δ , comme illustré.
- [0132] Conformément à l'invention, chacun des quatre paquets 5 comporte des marques 10 indiquant son orientation angulaire autour de l'axe de rotation du rotor. Les marques 10 sont disposées à la périphérie du rotor, au niveau de l'entrefer. Ainsi, le positionnement des paquets, notamment leur décalage angulaire, peut être toujours visible sur le rotor, comme illustré à la [Fig.1].
- [0133] Dans cet exemple, chaque marque 10 comporte un unique trait rectiligne s'étendant parallèlement à l'axe de rotation X du rotor. Chaque paquet comporte autant de marques 10 que de pôles du rotor. Le nombre de pôle du rotor est ici de 8, comme visible sur la [Fig.2] où un paquet 5 a été représenté isolément.
- [0134] On voit sur la [Fig.2] que chaque marque 10 est disposée à l'extérieur du paquet, sur la tranche de celui-ci, et que le paquet 5 comporte des marques 10 positionnées de manière déterminée par rapport à un pôle du rotor. Chaque marque 10 est ici positionnée au centre d'un pôle du rotor, et le rotor comporte une marque par pôle.
- [0135] Le repérage de l'orientation du paquet peut être fait au moyen d'une caméra disposée sur l'axe de rotation X du rotor, c'est-à-dire observant une face du paquet. On peut ainsi bien observer le positionnement des logements des aimants permanents dans les pôles du rotor.
- [0136] Comme illustré à la [Fig.2], chaque marque du paquet 5 est positionnée par rapport à une référence R de manière déterminée, la référence R étant par exemple un plan passant par un point particulier d'un pôle, notamment l'axe d'un pôle, comme illustré.
- [0137] Les marques 10 de cet exemple de réalisation ont une largeur qui est la largeur du trait, mesurée perpendiculairement à l'axe de rotation du rotor, qui est de l'ordre de 0,1 mm.
- [0138] Une tolérance dans le positionnement de la marque peut être de l'ordre de $\pm 0,02^\circ$. Une tolérance dans le positionnement angulaire d'un paquet peut être de l'ordre de $\pm 0,4^\circ$, pour un diamètre du rotor de 150 mm.
- [0139] Dans des variantes de réalisation, la marque peut avoir une forme différente.
- [0140] A titre d'exemple, on a illustré à la [Fig.3a] des paquets 5 ayant chacun une marque formée de trois traits parallèles à l'axe de rotation du rotor, ce qui peut permettre d'obtenir un effet dit vernier comme sur un pied à coulisse, qui permet de mesurer plus

précisément l'écart angulaire entre les paquets consécutifs, sans utiliser de moyen de mesure.

- [0141] Dans le mode de réalisation de la [Fig.3b], les marques 10 sont formées chacune par un trait unique rectiligne, incliné par rapport à l'axe de rotation du rotor. Les traits des marques 10 des différents paquets 5 sont alignés entre eux.
- [0142] Dans le mode de réalisation de la [Fig.3c], les marques 10 ont chacune une forme courbée.
- [0143] Enfin, dans l'exemple de la [Fig.3d], les marques 10 sont formées chacune de plusieurs traits parallèles à l'axe de rotation du rotor 1, à savoir trois ou quatre traits, qui sont décalés les uns par rapport aux autres.
- [0144] On va maintenant décrire le procédé de fabrication du rotor 1.
- [0145] Dans une première étape (a), on réalise une marque 10 sur au moins un paquet 5 permettant de repérer son orientation angulaire autour de l'axe de rotation X du rotor. Dans l'exemple décrit en référence aux figures 1 et 2, on réalise plusieurs marques 10 sur chacun des quatre paquets 5.
- [0146] Dans une deuxième étape (b), on assemble les paquets 5 du rotor, deux paquets 5 consécutifs étant notamment décalés angulairement autour de l'axe de rotation du rotor d'un angle élémentaire δ l'un par rapport à l'autre.
- [0147] Enfin, dans une troisième étape (c), on peut contrôler l'orientation angulaire des paquets 5 du rotor les uns par rapport aux autres par repérage de la ou des marques 10 des paquets 5. Sur le rotor 1 marqué et monté, on peut mesurer la distance angulaire entre les marques des paquets et ainsi mesurer le décalage angulaire δ entre deux paquets 5 consécutifs.
- [0148] La masse rotorique peut comporter un nombre pair de paquets, comme illustré à la [Fig.1].
- [0149] En variante, la masse rotorique peut comporter un nombre impair de paquets, comme illustré à la [Fig.4a], où le rotor comporte trois paquets 5 tous identiques, décalés angulairement d'un angle δ tous dans un même sens autour de l'axe de rotation X du rotor. Le décalage angulaire entre deux paquets consécutifs est ici constant lorsque l'on se déplace le long de l'axe de rotation du rotor.
- [0150] Les paquets 5 peuvent être décalés angulairement successivement dans un sens puis dans l'autre, étant disposés en V et décalés symétriquement par rapport à un plan de symétrie S perpendiculaire à l'axe de rotation X du rotor.
- [0151] La masse rotorique peut comporter un seul paquet 5 central coupé en deux par ledit plan de symétrie S, comme illustré à la [Fig.4b], avec trois paquets 5 consécutifs dont un central.
- [0152] En variante, la masse rotorique peut comporter deux paquets centraux séparés par ledit plan de symétrie S, comme illustré à la [Fig.4c] avec quatre paquets 5 dont deux

centraux sans décalage angulaire entre eux.

- [0153] Dans l'exemple de la [Fig.4d], le rotor comporte sept paquets consécutifs 5 disposés en V, avec un paquet central.
- [0154] Tous les paquets du rotor peuvent avoir chacun la même longueur, comme illustré aux figures 1 à 4d.
- [0155] En variante, deux paquets peuvent avoir des longueurs différentes, comme illustré à la [Fig.4e]. Dans ce mode de réalisation, les deux paquets centraux ont une longueur l2 plus grande que la longueur l1 des autres paquets.
- [0156] Par ailleurs, il est possible de reproduire plusieurs fois le motif simple en V ou en chevrons. A titre d'exemple, on a illustré à la [Fig.4f] un exemple de réalisation dans lequel on reproduit 3 fois le motif du mode de réalisation de la [Fig.1].

Revendications

- [Revendication 1] Rotor (1) de machine électrique tournante, comportant une masse rotorique (3) et des aimants permanents insérés dans celle-ci, la masse rotorique (3) étant composée d'une pluralité de paquets (5) disposés consécutivement le long d'un axe de rotation (X) du rotor, deux paquets consécutifs étant notamment décalés angulairement autour de l'axe de rotation (X) du rotor d'un angle élémentaire (δ) l'un par rapport à l'autre,
au moins un paquet (5) portant une marque (10) indiquant son orientation angulaire autour de l'axe de rotation (X) du rotor, la marque (10) ayant une largeur comprise entre 0,05 et 10 mm, la marque (10) étant positionnée de manière déterminée par rapport à un pôle du rotor (1) ou par rapport à une référence.
- [Revendication 2] Rotor selon la revendication précédente, la marque (10) étant disposée à la périphérie du rotor (1), au niveau de l'entrefer.
- [Revendication 3] Rotor selon l'une quelconque des revendications précédentes, une marque (10) d'un paquet (5) comportant plusieurs traits parallèles à l'axe de rotation (X) du rotor.
- [Revendication 4] Rotor selon l'une quelconque des revendications précédentes, la marque (10) comportant une modification de la matière du paquet (5).
- [Revendication 5] Rotor selon l'une quelconque des revendications précédentes, la marque (10) étant réalisée au moyen d'un laser de marquage.
- [Revendication 6] Rotor selon l'une quelconque des revendications précédentes, les paquets (5) de la masse rotorique (3) étant décalés angulairement tous dans un même sens autour de l'axe de rotation (X) du rotor.
- [Revendication 7] Rotor selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, les paquets (5) de la masse rotorique (3) étant décalés angulairement successivement dans un sens puis dans l'autre, étant disposés en V.
- [Revendication 8] Rotor selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, les paquets (5) de la masse rotorique (3) étant décalés angulairement successivement dans un sens puis dans l'autre, étant disposés en chevrons.
- [Revendication 9] Rotor selon l'une quelconque des revendications précédentes, tous les paquets (5) du rotor (1) ayant chacun la même longueur.
- [Revendication 10] Rotor selon l'une quelconque des revendications précédentes, le rotor (1) comportant 6 ou 8 pôles.
- [Revendication 11] Machine électrique tournante comportant :
- un rotor (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes et

- un stator comportant des dents et des encoches entre les dents, des conducteurs électriques étant logés dans les encoches.

[Revendication 12]

Procédé de fabrication d'un rotor (1) de machine électrique tournante, notamment selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, comportant une masse rotorique (3) et des aimants permanents insérés dans celle-ci, la masse rotorique (3) étant composée d'une pluralité de paquets (5) disposés consécutivement le long d'un axe de rotation (X) du rotor, comportant les étapes suivantes :

(a) réaliser une marque (10) sur au moins un paquet (5) permettant de repérer son orientation angulaire autour de l'axe de rotation (X) du rotor,

(b) assembler les paquets (5) du rotor (1), deux paquets (5) consécutifs étant notamment décalés angulairement autour de l'axe de rotation du rotor d'un angle élémentaire (δ) l'un par rapport à l'autre.

[Revendication 13]

Procédé selon la revendication précédente, comportant l'étape suivante :

(c) contrôler l'orientation angulaire des paquets (5) du rotor les uns par rapport aux autres par repérage de la ou des marques (10) des paquets (5).

[Fig. 1]

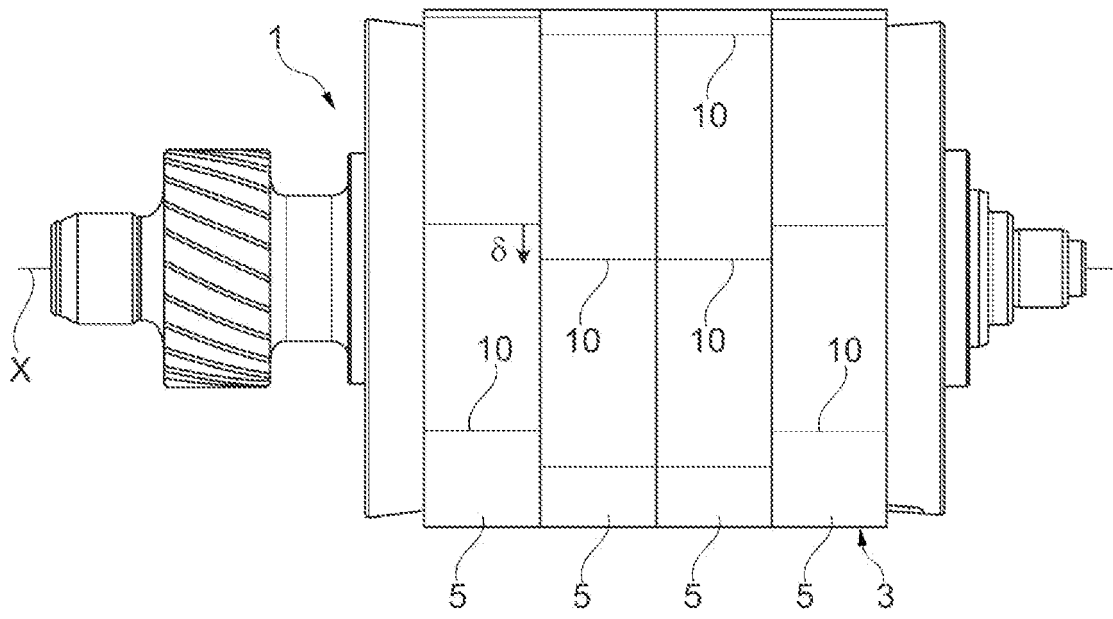


Fig. 1

[Fig. 2]

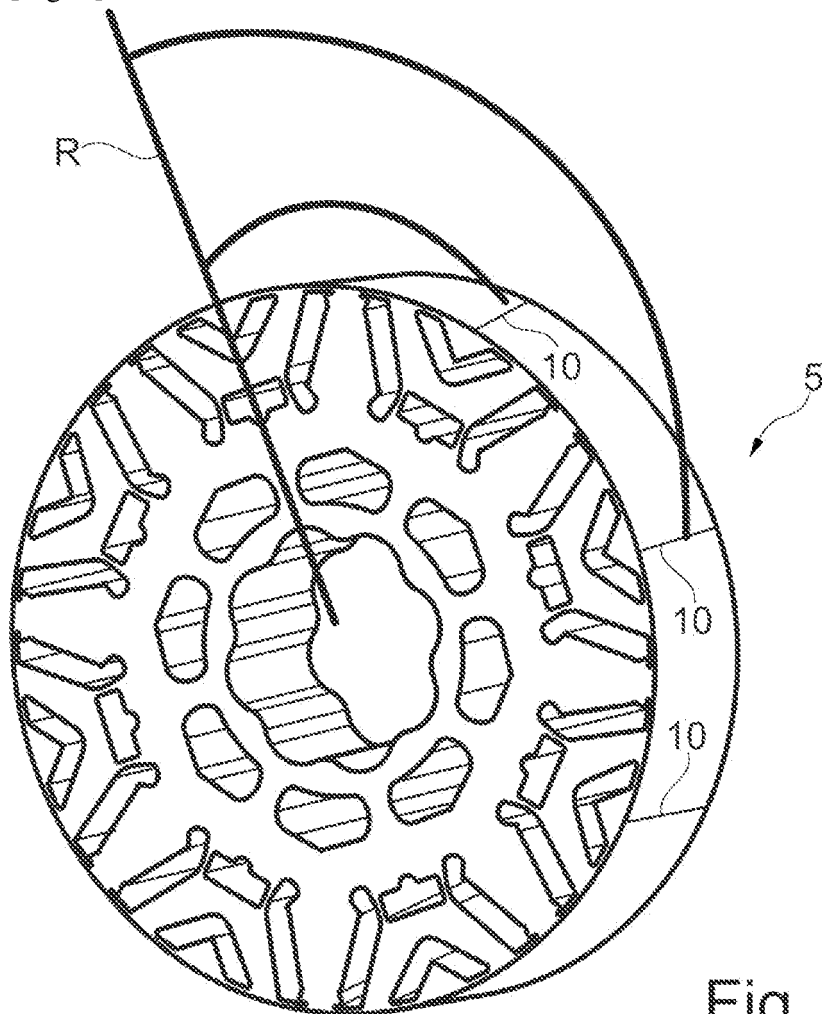


Fig. 2

[Fig. 3a]

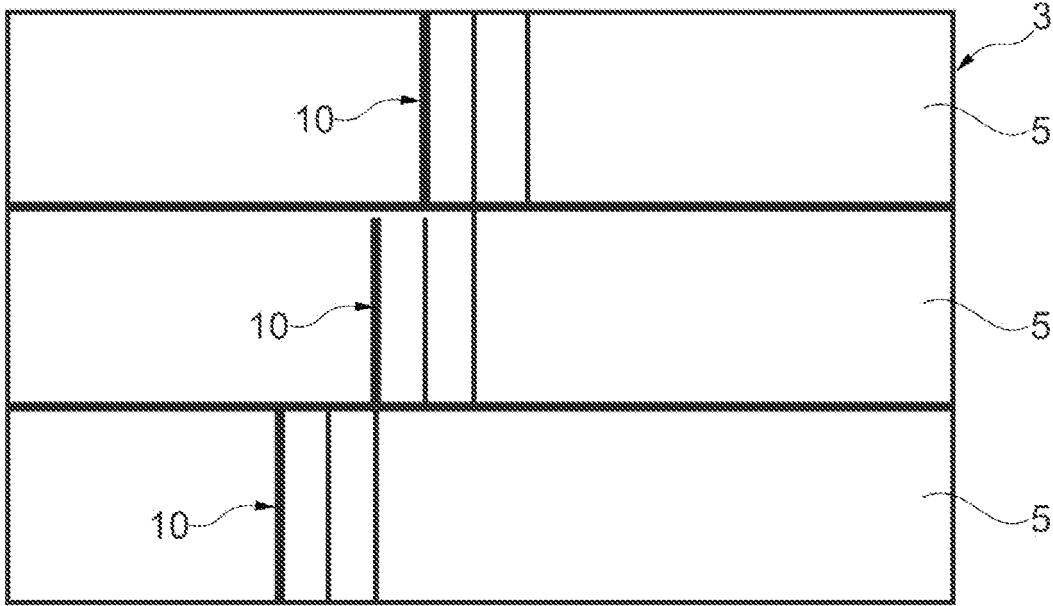


Fig. 3a

[Fig. 3b]

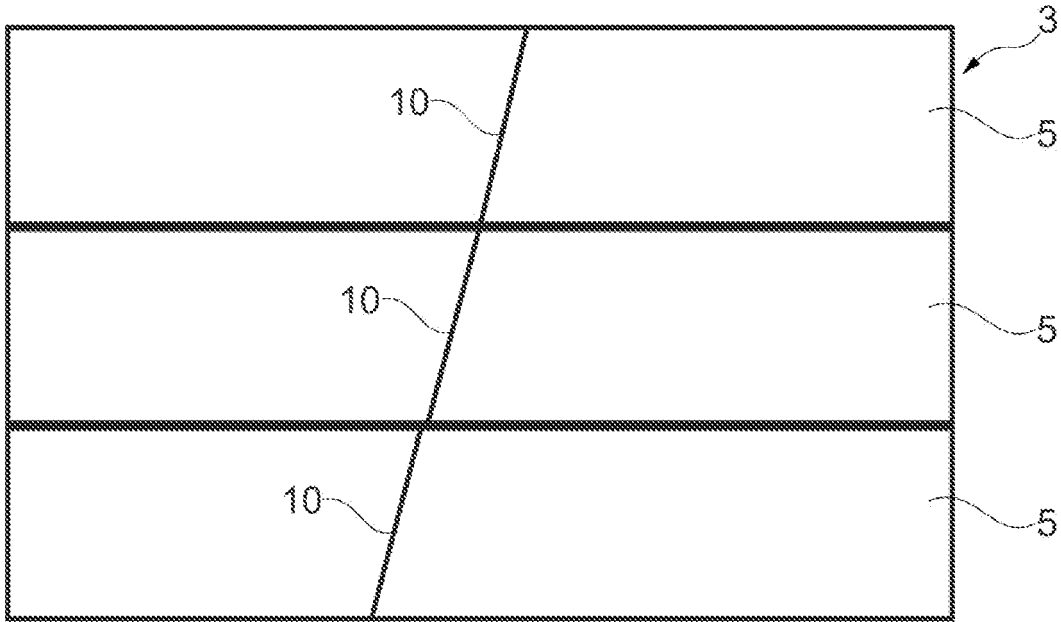


Fig. 3b

[Fig. 3c]

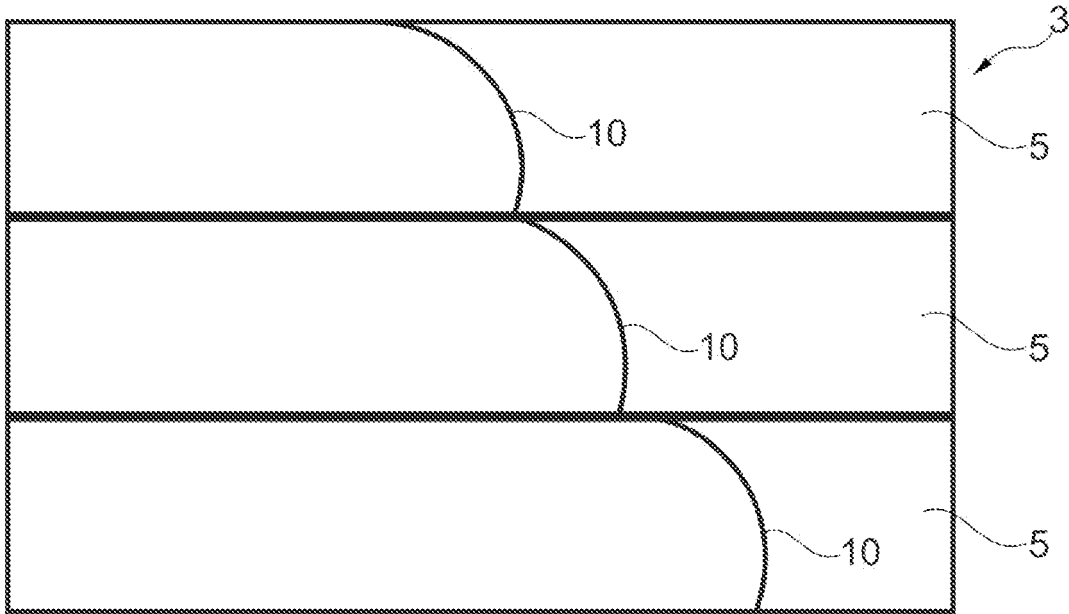


Fig. 3c

[Fig. 3d]

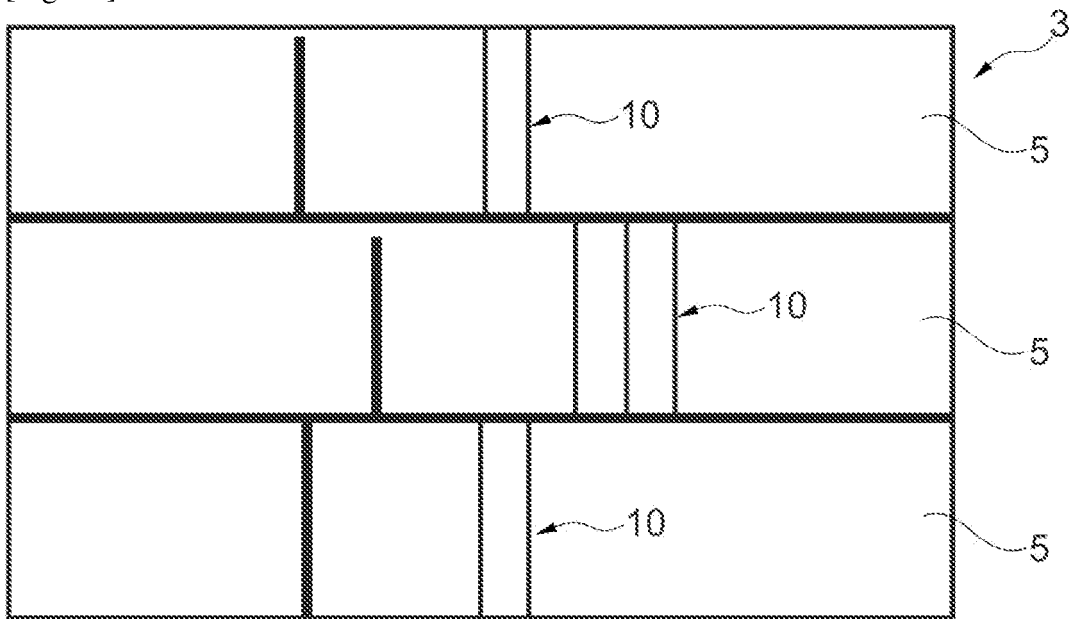


Fig. 3d

[Fig. 4a]

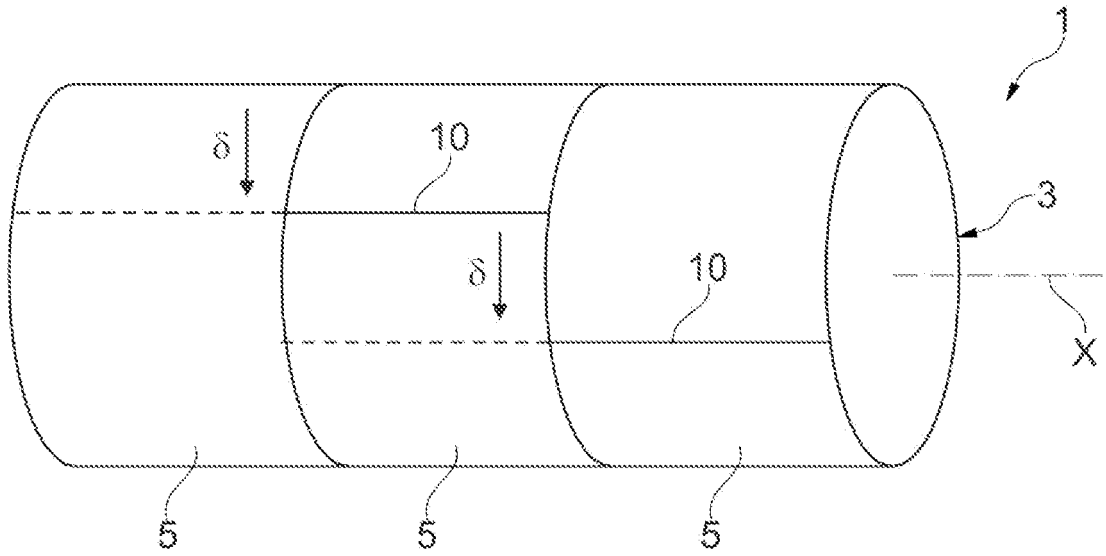


Fig. 4a

[Fig. 4b]

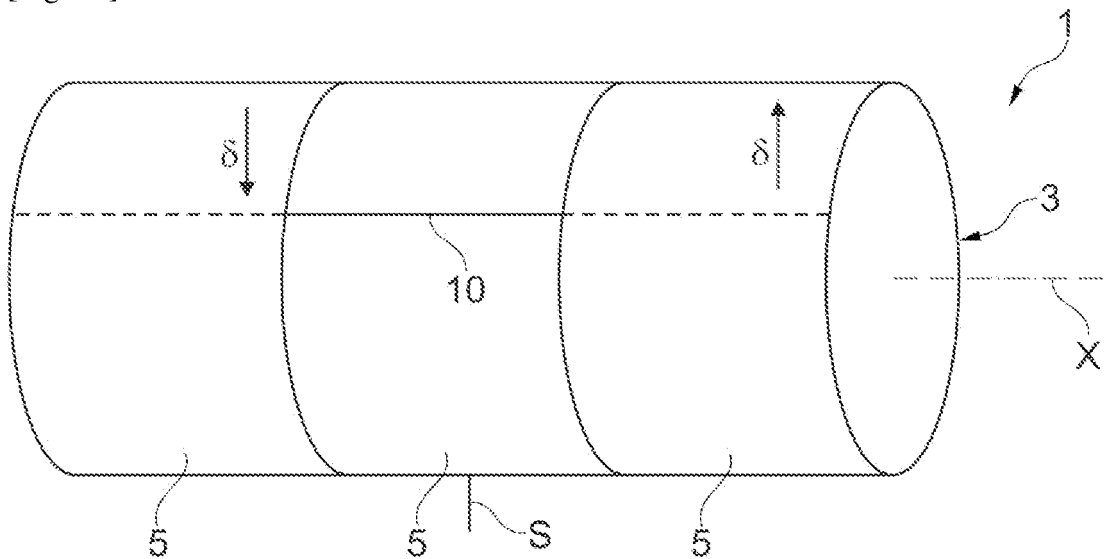


Fig. 4b

[Fig. 4c]

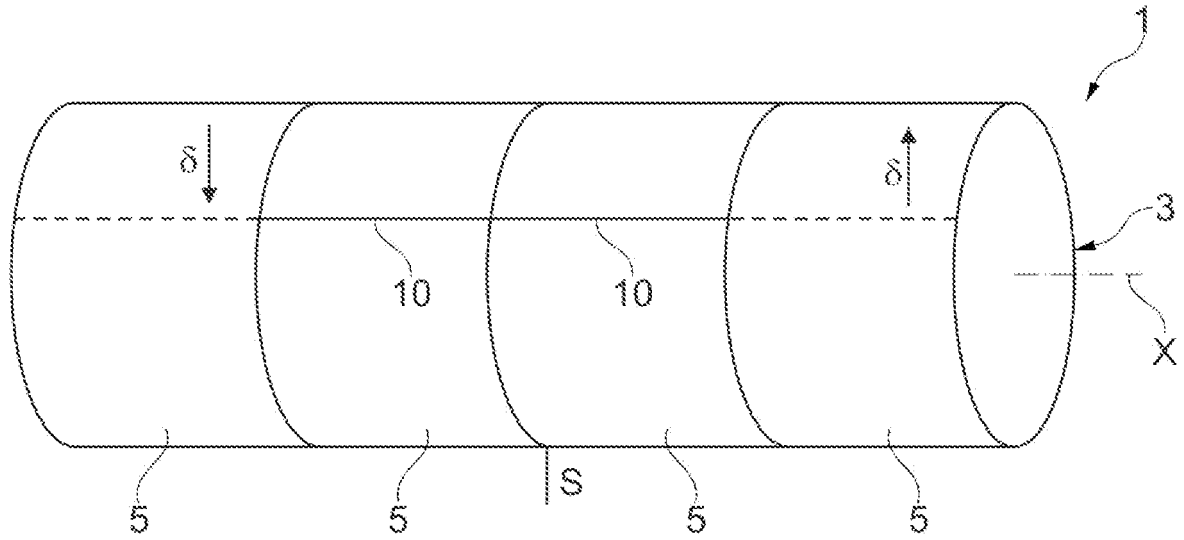


Fig. 4c

[Fig. 4d]

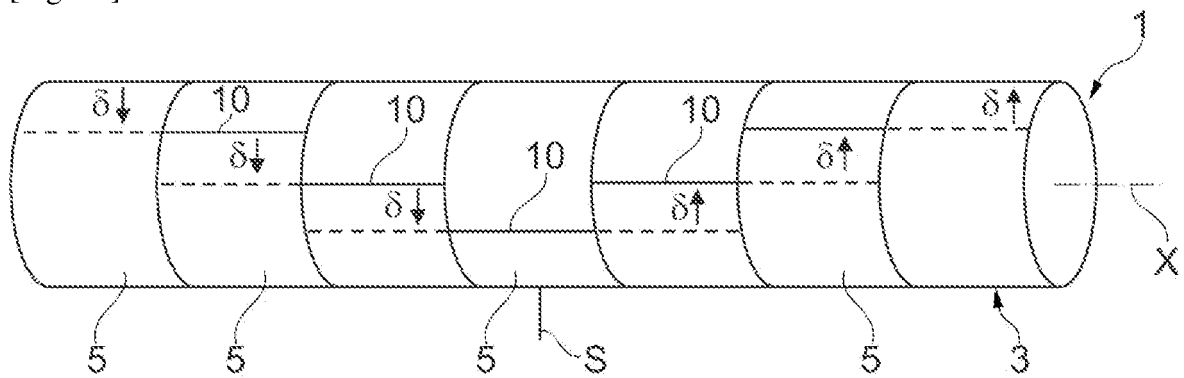
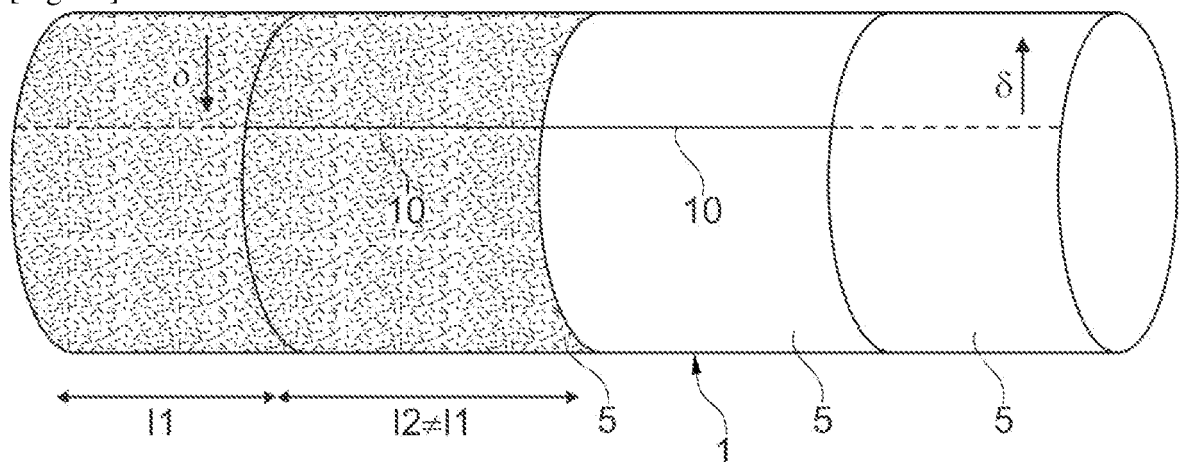


Fig. 4d

[Fig. 4e]



[Fig. 4f]

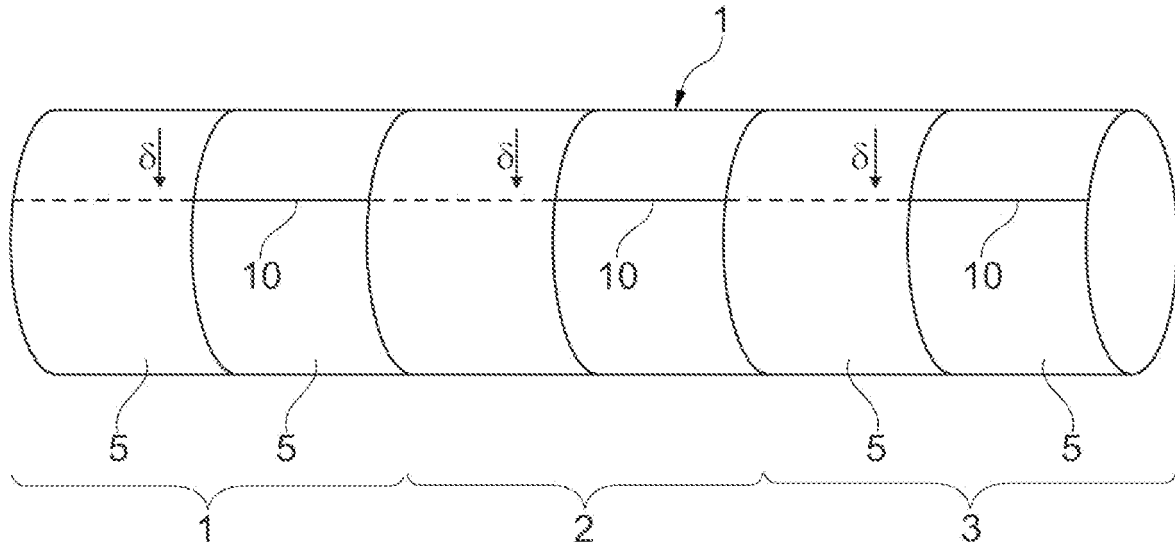


Fig. 4f

RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

US 10 855 150 B2 (THYSSENKRUPP PRESTA
TECCT AG [LI]; THYSSENKRUPP AG [DE])
1 décembre 2020 (2020-12-01)

CN 209 608 509 U (JIANGSU LIANBO PRECISION
TECH CO LTD) 8 novembre 2019 (2019-11-08)

FR 3 112 906 A1 (NIDEC PSA EMOTORS [FR])
28 janvier 2022 (2022-01-28)

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

NEANT

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

NEANT