

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

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

3 138 514

②1 N° d'enregistrement national : 22 07879

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : G 01 D 5/20 (2022.01), G 01 B 7/30

①2 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 29.07.22.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 02.02.24 Bulletin 24/05.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : Safran Electronics & Defense Société  
par actions simplifiée (SAS) — FR.

⑦2 Inventeur(s) : LAPÔTRE Blaise et RABRET Bernard.

⑦3 Titulaire(s) : Safran Electronics & Defense Société par  
actions simplifiée (SAS).

⑦4 Mandataire(s) : REGIMBEAU.

⑤4 Résolveur à réductance variable.

⑤7 L'invention concerne un résolveur à réductance variable (10), comprenant un rotor (20) et un stator (30) coaxial avec ledit rotor (20),

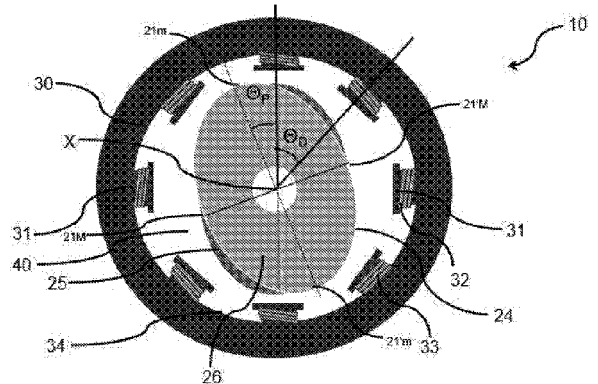
ledit stator (30) comprenant une pluralité de dents (31), deux dents (31) consécutives formant un angle de denture ( $\Theta D$ ),

caractérisé en ce que ledit rotor (20) comprend un empilement de strates élémentaires empilés de manière coaxiale le long d'un axe central (X), chaque strate élémentaire définissant au moins une paire de pôles (21M, 21m) l'empilement comprenant une première strate élémentaire (25) définissant le fond de l'empilement et au moins une strate élémentaire supérieure (26) superposée sur ladite première strate élémentaire (25),

chaque strate élémentaire supérieure (26) étant angulairement décalée d'un angle de décalage ( $\Theta P$ ) autour de l'axe central (X) par rapport à la strate élémentaire sous-jacente,

l'angle de décalage ( $\Theta P$ ) étant égal à l'angle de denture ( $\Theta D$ ) multiplié par  $(N-1)/N$ , N étant le nombre de strates élémentaires (25, 26) empilées.

Figure pour l'abrégé : Fig 1



FR 3 138 514 - A1



## Description

### Titre de l'invention : Résolveur à réluctance variable

#### Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un résolveur à réluctance variable.

#### Etat de la technique

[0002] Un résolveur à reluctance variable est un type de capteur permettant de mesurer précisément l'angle de rotation de tout système rotatif. On peut notamment les retrouver dans toutes les machines présentant des moteurs électriques, par exemple les actionneurs aéronautiques ou des systèmes optroniques. Un résolveur à reluctance variable peut également être utilisé comme capteur pour renvoyer une information de position (par exemple, les manettes de gaz, les volets, les ailerons).

[0003] Un résolveur à reluctance variable comprend une partie rotative, appelée rotor, et une partie fixe appelée stator. Lesdites parties sont agencés de manière concentrique, soit sous la forme d'un rotor central et un stator annulaire placé de manière coaxiale autour du rotor, soit sous la forme d'un stator central entouré par un rotor comprenant un creux intérieur. Dans chaque configuration, un entrefer est formé entre le rotor et le stator.

[0004] Le rotor présente typiquement une symétrie de rotation autour de l'axe commun avec le stator et une géométrie telle que la largeur de l'entrefer délimitée entre la surface rotorique et la surface statorique en vis-à-vis varie périodiquement entre une valeur maximale et une valeur minimale. Pour un rotor central, chaque valeur maximale de l'entrefer correspond à une ligne de creux sur la surface rotorique de l'entrefer, et chaque valeur minimale de l'entrefer correspond à une ligne de crête sur ladite surface rotorique. Pour un rotor extérieur, chaque valeur minimale de l'entrefer correspond à une ligne de creux sur la surface rotorique de l'entrefer, et chaque valeur maximale de l'entrefer correspond à une ligne de crête sur ladite surface rotorique. Ainsi, lorsque le rotor tourne, la variation périodique de largeur d'entrefer est détectée et indique l'angle de rotation du rotor.

[0005] Le nombre de crêtes et le nombre de creux est identique. Chaque paire de crête et de creux forme une paire de pôles correspondant à une largeur minimale et une largeur maximale de l'entrefer. Le stator comporte une denture formée par un nombre pair de dents faisant saillie en direction de l'entrefer. Ladite denture porte des bobinages en fil électriquement conducteur, de sorte que chaque bobinage soit enroulé autour des dents. L'ensemble des bobinages comprend un bobinage d'excitation sur lequel une tension électrique alternative à une fréquence de quelques kHz est appliquée, et au moins deux bobinages de détection d'angle aux extrémités desquelles on mesure une tension

électrique. On pourra avoir plus de deux bobinages de détection, par exemple pour assurer la redondance de l'information. Le signal mesuré sur un bobinage de détection correspond essentiellement à une courbe sinusoïdale modulée par la fréquence d'excitation.

[0006] Cependant, le signal détecté au niveau des bobinages de détection présente une harmonique de denture qui correspond à une modulation à chaque fois qu'un pôle du rotor passe devant une dent du stator. Cette modulation par l'harmonique de denture complique le traitement du signal détecté et est néfaste pour la précision du résolveur.

### **Exposé de l'invention**

[0007] Un but de l'invention est de proposer un résolveur à réluctance variable permettant de supprimer les signaux d'harmonique de denture dus au passage des pôles du rotor devant chaque dent de la denture du stator.

[0008] A cet effet, l'invention propose un résolveur à réluctance variable comprenant un rotor et un stator coaxial avec ledit rotor par rapport à un axe central, ledit rotor et ledit stator étant séparés par un entrefer, ledit stator comportant une surface statorique dotée d'une denture comprenant une pluralité de dents faisant saillie en direction dudit entrefer, lesdites dents étant disposées de sorte que deux dents consécutives le long de la denture forment un angle de denture par rapport à l'axe central,

[0009] caractérisé en ce que ledit rotor comprend un empilement de strates élémentaires empilées de manière coaxiale à l'axe central, chaque strate élémentaire définissant au moins une paire de pôles agencées sur une surface rotorique dudit entrefer, l'empilement comprenant une première strate élémentaire définissant le fond de l'empilement et au moins une strate élémentaire supérieure superposée sur ladite première strate élémentaire, chaque strate élémentaire supérieure étant angulairement décalée d'un angle de décalage autour de l'axe central par rapport à la strate élémentaire sous-jacente, l'angle de décalage étant égal à l'angle de denture multiplié par  $(N-1)/N$ ,  $N$  étant le nombre de strates élémentaires empilées.

[0010] De préférence, le rotor comprend  $m$  paires de pôles disposés à symétrie de révolution par rapport à l'axe central,  $m$  étant un nombre entier.

[0011] Dans certains modes de réalisation, les strates élémentaires empilées sont des éléments en tôle.

[0012] Dans d'autres modes de réalisation, les strates élémentaires empilées sont des couches liées par frittage ou par une technique de fabrication additive.

[0013] Dans certains modes de réalisation, chaque strate élémentaire empilée présente une épaisseur comprise entre 0.1mm et 1mm le long de l'axe.

[0014] Chaque strate élémentaire peut être en un matériau massif.

[0015] De manière alternative, chaque strate élémentaire du rotor comprend une super-

position d'éléments en tôle sans décalage angulaire entre éléments en tôle respectifs par rapport à l'axe central.

[0016] Dans certains modes de réalisation, le rotor est agencé à l'intérieur d'un creux central du stator.

[0017] Dans d'autres modes de réalisation, le stator est agencé à l'intérieur d'un creux central du rotor.

[0018] L'invention se rapporte aussi à un système de mesure d'un angle et/ou une vitesse de rotation, comprenant

- [0019]
- un résolveur à réluctance variable tel que décrit ci-dessus,
  - un générateur de tension électrique alternative en liaison électrique avec les extrémités du bobinage d'excitation,
  - un détecteur de tension électrique résolu dans le temps en liaison électrique avec les extrémités de chaque bobinage de détection,
  - un système de traitement de données configuré de calculer, à partir des tensions électriques mesurés par le détecteur de tension électrique un angle de rotation du rotor.

[0020] L'invention concerne également un procédé de fabrication d'un résolveur à réluctance variable, comprenant les étapes suivantes :

- [0021]
- la mise à disposition d'un stator comportant, sur une face statorique destinée à former un entrefer avec un rotor, une denture comprenant une pluralité de dents, lesdits dents étant disposées de sorte que deux dents consécutives le long de la denture forment un angle de denture par rapport à un axe central,
  - la mise à disposition d'au moins deux strates élémentaires d'un rotor, chaque strate élémentaire présentant une géométrie identique dans un plan perpendiculaire à l'axe central et comportant, sur une face rotorique destinée à délimiter un entrefer (40) avec la face statorique du stator, au moins
    - une zone en retrait par rapport à un cercle moyen autour de l'axe central, ladite zone délimitant une zone de largeur maximale dudit entrefer et
    - une zone en saillie par rapport à un cercle moyen autour de l'axe central, ladite zone délimitant une zone de largeur minimale dudit entrefer,
  - la définition d'une strate élémentaire de fond,
  - l'empilement d'au moins une deuxième strate élémentaire de manière coaxiale par rapport à l'axe central sur la strate élémentaire de fond, de sorte que chaque strate élémentaire soit décalée angulairement par rapport à une strate élémentaire sous-jacente d'un angle de décalage étant égal à l'angle de denture multiplié par  $(N-1)/N$ , N étant le nombre de strates élémentaires

empilées,

- la fixation des strates élémentaires empilées pour former le rotor,
- l'emboîtement concentrique du rotor et du stator de sorte à former un entrefer entre la face statorique du stator et la face rotorique du rotor.

[0022] Chaque strate élémentaire peut présenter sur sa face rotorique destinée à délimiter l'entrefer avec la face statorique du stator une pluralité de paires de pôles ou une structure excentrique par rapport à l'axe central X.

[0023] L'invention se rapporte aussi à un procédé de mesure d'un angle et/ou d'une vitesse de rotation comprenant les étapes suivantes :

- [0024]
- la mise à disposition d'un résolveur à réductance tel que décrit ci-dessus,
  - l'application d'une tension d'excitation à un bobinage d'excitation porté par la denture,
  - la rotation du rotor relatif au stator autour de l'axe central,
  - la détection d'une tension de détection résolue dans le temps aux extrémités d'au moins un bobinage de détection porté par la denture,
  - le calcul, à partir de la tension de détection résolue dans le temps, d'un angle et/ou d'une vitesse de rotation.

### **Brève description des figures**

[0025] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

[0026] La [Fig.1] illustre un résolveur à réductance variable comprenant un rotor central et un stator annulaire placé de manière coaxiale autour du rotor.

[0027] La [Fig.2] illustre un résolveur à réductance variable comprenant un stator central entouré par un rotor comprenant un creux intérieur.

[0028] La [Fig.3] est une vue en perspective d'un rotor formé par empilement de tôles élémentaires.

[0029] La [Fig.4] est une vue en perspective d'un rotor comprenant un empilement de deux strates élémentaires massives.

[0030] La [Fig.5A] montre un résolveur à réductance variable comprenant un rotor central définissant deux pôles axisymétriques par rapport à l'axe central X.

[0031] La [Fig.5B] montre un résolveur à réductance variable comprenant un rotor central définissant trois pôles axisymétriques par rapport à l'axe central X.

[0032] La [Fig.5C] montre un résolveur à réductance variable comprenant un rotor central définissant quatre pôles axisymétriques par rapport à l'axe central X.

[0033] La [Fig.5D] montre un résolveur à réductance variable comprenant un stator central et un rotor extérieur définissant deux paires de pôles.

[0034] La [Fig.5E] montre un résolveur à réductance variable comprenant un stator central et

un rotor extérieur définissant une seule paire de pôles.

[0035] La [Fig.5F] montre un résolveur à réluctance variable comprenant un rotor central et un stator extérieur définissant une seule paire de pôles

[0036] La [Fig.6] est un graphe de l'erreur de position en raison de l'harmonique de denture pour un résolveur connu et un résolveur selon l'invention.

[0037] La [Fig.7A] une ligne de pôles de même rang sur une surface rotorique d'un rotor connu.

[0038] La [Fig.7B] illustre une ligne de pôles de même rang sur une surface rotorique d'un rotor selon un mode de réalisation de l'invention. La [Fig.8] montre la tension d'excitation et les tensions mesurées sur les bobines de détection en fonction de l'angle de rotation du rotor.

## **Description détaillée de modes de réalisation**

### **Résolveur à réluctance variable**

[0039] Le résolveur 10 comporte un rotor 20 et un stator 30 agencés de manière coaxiale par rapport à un axe central X. Dans un premier mode de réalisation, en référence à la [Fig.1], le stator 30 présente une géométrie annulaire et le rotor 20 est agencé librement rotatif par rapport à l'axe X central du résolveur. De manière alternative, en référence à la [Fig.2], le résolveur 10 comprend un stator 30 central présentant une géométrie essentiellement circulaire, et un rotor 20 en rotation libre entourant le stator 20. L'axe central X du résolveur est identique avec l'axe central du stator 30 et l'axe de rotation du rotor 20.

[0040] Le stator 30 et le rotor 20 sont séparés par un entrefer 40 délimité par une surface statorique 34 et une surface rotorique 24 opposée à ladite surface statorique 34.

[0041] De manière connue, le stator comme le rotor sont des circuits magnétiques généralement formés d'un empilage de tôles en matériau ferromagnétique, avec interposition d'un isolant électrique entre chaque tôle d'un empilement, par exemple une colle isolante. De manière alternative et également connue, le rotor et/ou le stator sont formés par fabrication additive en un matériau ferromagnétique, avec des couches électriquement isolantes interposées entre des couches élémentaires ferromagnétiques.

[0042] En outre du rotor 20 et du stator 30, le résolveur à réluctance variable 10 peut comprendre un boîtier et/ou un système de maintien permettant la rotation du rotor 20 par rapport au stator 30 autour de l'axe central X.

### **Description du stator**

[0043] Le stator 30 présente une géométrie symétrique en révolution par rapport à l'axe central X. La section du stator perpendiculaire à l'axe central X a typiquement une forme circulaire dans le cas d'un stator central, ou annulaire dans le cas d'un stator extérieur. Typiquement, le stator 30 comprend un empilement de plusieurs strates élé-

mentaires empilées de manière coaxiale le long de l'axe central X avec une couche diélectrique interposée entre deux strates successives afin d'éviter des courants électriques par induction. Par exemple, le stator comprend un paquet de tôles en matériau ferromagnétique empilées avec une couche diélectrique interposée entre deux tôles successives. De manière alternative, le stator 30 est en un matériau massif, en une ou plusieurs tranches dans le sens de l'axe central X et comporte, le cas échéant, une couche diélectrique entre deux tranches successives. Dans certains cas, le stator 30 comporte des couches élémentaires fabriquées par exemple par un procédé de frittage ou de fabrication additive.

- [0044] Les strates élémentaires du stator 30 sont typiquement en un matériau ferromagnétique présentant de faibles cycles d'hystérésis, par exemple un alliage comprenant du fer et du nickel.
- [0045] La surface statorique 34 est dotée d'une denture comprenant une pluralité de dents 31. Les dents 31 sont de préférence agencées en direction radiale par rapport à l'axe central X et font saillie en direction de l'entrefer 40 entre le rotor 20 et le stator 30. Typiquement, chaque dent 31 comprend une portion plus fine en liaison avec la portion circulaire ou annulaire du stator 30, ladite portion fine pouvant supporter un ou plusieurs bobinages 32, 33. L'extrémité de chaque dent 31 en direction de l'entrefer est avantageusement plus large, formant une butée pour maintenir les bobinages 32, 33 en place. Les dents 31 sont typiquement formées dans les tôles ou couches élémentaires formant le stator 30.
- [0046] Les dents 31 sont agencées en symétrie de révolution par rapport à l'axe central X. Deux dents 31 consécutives le long de la denture forment entre elles un angle de denture  $\Theta_D$  par rapport à l'axe central X. Par exemple, pour une denture comprenant 10 dents, l'angle  $\Theta_D$  est égal à  $36^\circ$ . Le nombre de dents est typiquement compris entre 8 et 20, formant ainsi des angles  $\Theta_D$  compris entre  $45^\circ$  et  $18^\circ$ .
- [0047] Le stator 30 comporte un bobinage d'excitation 32 et un ou plusieurs bobinages de détection 33 agencés sur les dents de la denture. Les bobinages 32, 33 sont en un fil électriquement conducteur, par exemple un fil en cuivre, portant une isolation électrique. Les extrémités du bobinage d'excitation 32 peuvent être électriquement liées à une source d'alimentation alternative, généralement un générateur de tension électrique alternative ou un générateur de courant sinusoïdal, et les extrémités de chaque bobinage de détection 33 peuvent être électriquement liées à un détecteur de tension.
- [0048] Les bobinages de détection 33 sont agencés sur la denture de sorte que les tensions en sortie des bobinages de détection 33 sont des signaux de forme d'ondes sinusoïdale et cosinusoïdale déphasés, par exemple de  $90^\circ$ . Ce déphasage permet de facilement mesurer une position angulaire, ce qui permet d'en déduire une vitesse d'une variation

de l'entrefer en raison de la rotation du rotor. Le nombre de tours des bobinages d'excitation et de détection sur chaque dent est choisie de sorte que, lors de la rotation du rotor, une excitation par le générateur de tension ou de courant crée une tension induite dans les bobinages de détection de forme sinusoïdale ou cosinusoidale en fonction de la position angulaire.

### **Description du rotor**

- [0049] Le rotor 20 est coaxial avec le stator 30 et librement rotatif par rapport au stator 30 autour de l'axe central X.
- [0050] Le rotor 20 comprend un empilement de plusieurs strates élémentaires 25, 26 empilées de manière coaxiale le long de l'axe central X. De préférence, les strates élémentaires 25, 26 du rotor 20 sont identiques, c'est-à-dire qu'elles présentent la même forme et la même épaisseur. Ainsi, les strates élémentaires 25, 26 peuvent être facilement fabriquées par le même dispositif pour une fabrication plus facile et plus rapide. En outre, des strates élémentaires 25, 26 identiques sont plus facile à empiler de manière régulière. Les strates élémentaires 25, 26 du rotor 20 sont typiquement en un matériau ferromagnétique présentant de faibles cycles d'hystérésis, par exemple un alliage comprenant du fer et du nickel.
- [0051] Dans le cas d'un rotor central, le rotor comporte typiquement un évidement circulaire au centre. Cet évidement peut être pourvu d'une clavette ou d'une encoche (non représentée) pour l'indexation de la position d'origine du système rotatif.
- [0052] La section du rotor 20 perpendiculaire à l'axe central X n'a typiquement pas une forme circulaire dans le cas d'un rotor central, ou parfaitement annulaire dans le cas d'un rotor extérieur, mais la géométrie de la section est choisie de telle sorte que la réluctance de l'intervalle entre le rotor et les bobinages du stator 1 varie de manière sinusoïdale. A cette fin, la surface rotorique 24 délimitant l'entrefer 40 formé entre le rotor 20 et le stator 30 présente sur son pourtour une succession de zones en saillie alternant avec des zones en retrait, dans la direction radiale définissant une succession périodique de maxima 21M, 21'M de largeur de l'entrefer alternant avec des minima 21m, 21'm de largeur d'entrefer déterminant autant de paires de pôles (par analogie avec des paires de pôles nord et sud d'un aimant).
- [0053] La zone en saillie forme une zone de l'entrefer présentant une largeur minimale 21m, et la zone en retrait forme une zone de l'entrefer présentant une largeur maximale 21M par rapport aux autres zones de l'entrefer.
- [0054] Pour chaque section d'un rotor, on peut définir un cercle moyen CM ayant la même aire que le plan de coupe du rotor dans le cas du rotor central, et la même aire que le creux intérieur dans le cas d'un rotor extérieur. Les zones en saillie et en retrait sont à comprendre par rapport à ce cercle moyen.
- [0055] Par exemple dans le cas d'un rotor interne présentant une géométrie d'ellipse, la zone

en saillie correspond au grand axe de l'ellipse et la zone en retrait correspond au petit axe de l'ellipse. Dans le cas d'un rotor extérieur présentant un creux ellipsoïdal, la zone en saillie correspond au bord en proximité du petit axe du creux ellipsoïdal, et la zone en retrait au bord au niveau du grand axe du creux ellipsoïdal.

- [0056] De manière alternative, le rotor comprend une structure excentrique par rapport à l'axe central X définissant une seule paire de pôles. Dans ce cas, la zone en saillie est à comprendre comme étant la portion du rotor la plus éloignée de l'axe central X. La zone en retrait est la portion opposée à la zone en saillie, dans laquelle la distance entre la circonférence du rotor et l'axe central X est minimale.
- [0057] Pour un rotor extérieur présentant une seule paire de pôles, la zone en saillie est donc la zone dans laquelle le rotor s'approche au plus du stator central, et la zone en retrait est à comprendre comme la zone dans laquelle la distance entre la surface du rotor et le stator est maximale.
- [0058] Les zones en saillie et les zones en retrait de chaque strate élémentaire 25, 26 du rotor 20 respective sont angulairement décalées par rapport aux zones de saillie et des zones en retrait des strates élémentaires adjacentes.
- [0059] Une strate élémentaire 25, 26 du rotor 20 peut être fine, par exemple d'une épaisseur comprise entre 100 et 500  $\mu\text{m}$ . Dans ce cas, une multitude de strates élémentaires est empilée pour former le rotor, par exemple entre 5 et 100 strates élémentaires afin d'atteindre une épaisseur du rotor 20 comprise entre 2 et 10 mm. Une strate élémentaire 25, 26 fine est par exemple une tôle élémentaire découpée d'une feuille de tôle ferromagnétique, par exemple par estampage. Dans ce cas, comme illustré dans la [Fig.3], les tôles élémentaires formant le rotor 20 sont empilées le long de l'axe central X et collées ensemble après l'ajustement de l'empilement axial et l'ajustement du décalage des zones en saillie et des zones en retrait. Dans d'autres modes de réalisation, une strate élémentaire 25, 26 fine peut être une couche élémentaire dans un procédé de fabrication additive, ou une épaisseur d'un matériau destiné à être liée à d'autres épaisseurs successives par un procédé de frittage.
- [0060] De manière alternative, une strate élémentaire 25, 26 peut présenter une épaisseur plus importante que celle d'une tôle élémentaire. Par exemple, une strate élémentaire 25, 26 comprend un empilement de tôles élémentaires, de préférence identiques. Dans ce cas, les tôles dans chaque strate élémentaire sont empilées à fleur de surface, sans décalage ni torsion entre les tôles élémentaires respectives. Dans d'autres modes de réalisation, une ou plusieurs strates élémentaires 25, 26 peuvent être formées dans un matériau ferromagnétique massif, par exemple un alliage en FerNickel, par un procédé d'usinage ou de moulage. Un tel rotor 20 comportant deux telles strates élémentaires 25, 26 ayant une certaine épaisseur est illustré dans la [Fig.4].
- [0061] Dans un rotor 20, chaque strate élémentaire 25, 26 comporte le même nombre  $m$  de

zones en saillie correspondant à des sommets, et de zones en retrait correspondant à des vallées sur la face rotorique 24 de l'entrefer 40. Les zones des sommets font saillie radialement dans la direction de l'entrefer. Au-delà de 2 pôles, des zones en retrait (vallées) sont formées entre les zones en saillie (sommets) adjacents. Autrement dit la surface rotorique comprend une succession de sommets et vallées en alternance périodique dans la direction circonférentielle. Les zones en saillie et les zones en retrait de chaque strate élémentaire 25, 26 respectivement sont typiquement agencées symétriques en révolution autour de l'axe central X, c'est-à-dire en succession périodique.

[0062] Les figures 5A à 5F illustrent la géométrie d'une strate élémentaire unique respectivement dans le plan de l'empilement du rotor pour différentes configurations de rotor. La position et géométrie du stator sont indiquées pour la compréhension de ces figures.

[0063] Dans le cas d'un rotor 20 central, en référence à la [Fig.5A], chaque strate élémentaire 25, 26 du rotor 20A peut présenter une forme d'ovale ou d'ellipse dont les deux sommets correspondant aux deux largeurs minimales de l'entrefer, les deux zones en retrait correspondant aux deux largeurs maximales, l'ensemble définissant deux paires de pôles P et P'. La paire de pôles P comprend un maximum 21AM de largeur d'entrefer et un minimum 21Am de largeur d'entrefer, et la paire de pôles P' comprend un maximum 21'AM de largeur d'entrefer et un minimum 21'Am de largeur d'entrefer. Les deux paires de pôles sont décalés de 180° sur la surface de la strate élémentaire 20A du rotor.

[0064] En référence à la [Fig.5B], une telle strate élémentaire du rotor 20B peut présenter une symétrie de révolution à 120°. Un tel rotor comprend trois paires de pôles : une paire de pôles P comprenant le maximum 21BM et le minimum 21Bm, une paire P4 comprenant le maximum 21'BM et le minimum 21'Bm et une troisième paire P'' comprenant le maximum 21''BM et le minimum 21''Bm. Les trois maxima de largeur de l'entrefer 21BM, 21'BM et 21''BM sont agencés sur les sommets d'un premier triangle équilatéral, et les trois minima de largeur de l'entrefer 21Bm, 21'Bm et 21''Bm sur les sommets d'un deuxième triangle équilatéral à contresens par rapport au premier triangle.

[0065] De manière alternative, en référence à la [Fig.5C], la symétrie de révolution peut être de 90°, définissant quatre paires de pôles P, P', P'' et P''' équidistants sur le contour de la strate élémentaire 20C du rotor. Les paires sont définies de manière équivalente à ces des 3 paires de pôles et comprennent les maxima 21CM, 21C'M, 21''CM et 21'''CM et les minima 21Cm, 21'Cm, 21''Cm et 21'''Cm. Des strates élémentaires présentant un nombre plus élevé de paires pôles présentent des géométries équivalentes, les zones en saillie et en retrait étant agencées de manière symétrique sur le pourtour de la strate élémentaire du rotor.

[0066] Dans le cas d'un stator 30 central, chaque strate élémentaire du rotor 20 a une forme

générale annulaire, présentant des zones en retrait et des zones en saillie par rapport au cercle moyen CM en direction de l'entrefer 40. Dans le cas de deux ou plus pôles, le creux intérieur est agencé de manière centrale et symétrique autour de l'axe central X qui correspond à l'axe central du périmètre extérieur du rotor.

- [0067] Par exemple, en référence à la [Fig.5D], le creux intérieur d'une strate élémentaire 20B du rotor peut présenter une forme d'ovale ou d'ellipse. Les deux sommets de l'ellipse correspondent à deux zones en retrait par rapport au cercle moyen sur la surface intérieure de la strate élémentaire. Ces sommets creux 21DM et 21'DM délimitent les zones dans lesquelles l'entrefer est maximal. Les zones en saillie 21Dm et 21'Dm par rapport au cercle moyen CM sont agencées au niveau des extrémités du petit axe de l'ellipse et délimitent les zones dans lesquelles l'entrefer est minimal.
- [0068] Ainsi, les axes de l'ellipse définissent deux pôles P comprenant un maximum 21DM et un minimum 21Dm et P' comprenant un maximum 21'DM et 21'Dm. Les paires de pôles P et P' sont décalés de  $180^\circ$  sur le pourtour intérieur du creux.
- [0069] De manière équivalente aux formes d'un rotor central, un creux intérieur d'une telle strate élémentaire peut présenter une géométrie de révolution autour de l'axe de rotation définissant 3, 4 ou plus de pôles axisymétriques et équidistants sur le pourtour du creux central.
- [0070] Dans le cas d'une seule paire de pôles P, en référence à la [Fig.5E], le creux intérieur est typiquement un cercle excentrique comprenant une zone 21EM délimitant une zone maximale de l'entrefer, et une zone 21Em délimitant une zone minimale de l'entrefer. Dans ce cas, le stator 30 est placé dans un axe central X qui correspond au centre du périmètre extérieur du rotor 20E. La position et la taille du creux excentrique sont choisies de sorte à créer un espace suffisant autour de l'axe central X pour le positionnement de stator 30 et la formation d'un entrefer 40 entre le rotor 20E et le stator 30. Dans ce cas, le décentrage du creux circulaire par rapport au cercle moyen CM définit la position des pôles.

- [0071] La [Fig.5F] illustre le cas d'un rotor intérieur présentant un seul pôle. Dans ce cas, chaque strate élémentaire est circulaire, l'axe de rotation X du rotor étant excentrique par rapport au centre C du cercle de la strate élémentaire. Cette excentricité définit un pôle 21FM correspondant au maximum d'entrefer, et un pôle 21Fm correspondant au minimum d'entrefer.

### **Fabrication du rotor**

- [0072] Pour la fabrication d'un rotor 20 selon l'invention, on commence par la mise à disposition d'une strate élémentaire de fond 25 qui peut être une épaisseur fine telle une tôle élémentaire ou une première couche en procédé de fabrication additive, ou une strate élémentaire présentant une épaisseur plus conséquente, par exemple un paquet de tôles, une superposition de plusieurs couches en fabrication additive, ou une strate élé-

mentaire en un matériau massif obtenue à partir d'un matériau massif, par exemple par usinage. On définit un cercle moyen CM qui correspond, dans le cas d'un rotor central, o un cercle dont le centre passe par l'axe central du rotor et dont l'aire est égale à l'aire de la strate élémentaire perpendiculaire audit axe central X. La strate élémentaire de fond 25 présente au moins une zone en saillie ou en retrait par rapport au cercle moyen CM ou une structure excentrique par rapport à l'axe central X sur la surface destinée à former la surface rotorique 24 de l'entrefer entre le rotor 20 et le stator 30 du résolveur à fabriquer. Cette zone en saillie ou en retrait ou structure excentrique par rapport à l'axe central X définit au moins une paire de pôles 21 pour moduler le signal électrique dans un bobinage de détection 33 du stator 30 lors du passage devant ledit bobinage 33. Dans le cas d'une seule paire de pôles, la strate élémentaire présente ainsi une seule zone en saillie et une seule zone en retrait. Une telle géométrie correspond à une structure excentrique par rapport à l'axe X.

[0073] On empile ensuite une deuxième strate élémentaire 26 sur ladite strate élémentaire de fond 25. La deuxième strate élémentaire est angulairement décalée par rapport à la strate élémentaire du fond par rapport à l'axe central de l'empilement. Dans le cas d'un rotor 20 central, l'axe central correspond au centre du rotor 20. Dans le cas d'un rotor 20 extérieur, l'axe central X est définie par le centre du périmètre extérieur du rotor 20 et le plan de chaque strate élémentaire 25, 26.

[0074] Les strates élémentaires 25, 26 du rotor sont rigidement solidaires entre elles, par exemple par un collage, frittage ou une fabrication à partir d'une seule pièce. La fixation des strates élémentaires 25, 26 peut être effectuée lors de l'empilement de chaque strate élémentaire 25, 26 respective, et/ou après la finalisation de l'empilement. Les strates élémentaires 25, 26 du rotor sont en rotation ensemble lors du fonctionnement du résolveur à réluctance variable 10.

[0075] Décalage angulaire entre les strates élémentaires du rotor

[0076] Les zones en saillie et les zones en retrait ou la structure excentrique par rapport à l'axe central X de chaque strate élémentaire 25, 26 respective du rotor sont angulairement décalées par rapport aux zones de saillie et des zones en retrait des autres strates élémentaires 25, 26. L'angle de décalage  $\Theta_p$  est défini entre deux strates élémentaires 25, 26 directement adjacentes. L'angle  $\Theta_p$  correspond à l'angle le plus petit formé entre un pôle 21 défini par une strate élémentaire 25, 26 du rotor 20, et un pôle 21 formé par une strate élémentaire 25, 26 adjacente du rotor 20. On définit donc l'angle de décalage  $\Theta_p$  entre un pôle 21 d'une première strate élémentaire 25, et un pôle 21 d'une strate élémentaire adjacente 26 en utilisant les pôles 21 les plus rapprochés des deux strate élémentaire 25, 26 respectives.

[0077] L'angle de décalage  $\Theta_p$  entre deux strates élémentaires 25, 26 du rotor 20 est choisi en fonction de l'angle  $\Theta_D$  de denture du stator 30 et le nombre total N des strates élé-

mentaires 25, 26 du rotor.

[0078] De manière générale, l'angle de décalage  $\Theta_p$  est égal à l'angle de denture  $\Theta_D$  multiplié par  $(N-1)/N$ ,  $N$  étant le nombre des strates élémentaires 25, 26 du rotor 20 :

$$[0079] \quad \theta_p = \theta_d \frac{(N-1)}{N}$$

[0080] Ainsi, les pôles 21 des différentes strates élémentaires 25, 26 sont répartis de manière régulière sur l'espace entre deux dents 31 consécutives du stator 30, ou dans la zone autour d'une dent 31, sans passer devant la dent 31 adjacente. Une telle répartition du pôle 21 sur une partie de la circonférence du rotor 20 permet de réduire l'effet du passage du pôle 21 devant une dent 31 du stator 30 et le signal électrique associé avec ce passage.

[0081] Par exemple, en référence à la [Fig.1], quand le rotor 20 comprend deux strates élémentaires 25, 26 ( $N=2$ ), l'angle de décalage  $\Theta_p$  entre la strate élémentaire du fond 25 et la strate élémentaire supérieure 26 de l'empilement correspond à la moitié de l'angle de denture  $\Theta_D$ . Quand un pôle 21 de la strate élémentaire inférieure 25 se situe directement devant une dent 31 de la denture, le pôle 21 le plus proche de la strate élémentaire supérieure 26 se situe au milieu entre la même dent 31 et la dent 31 adjacente.

[0082] Un tel angle de décalage  $\Theta_D$  permet de diminuer considérablement l'harmonique de denture du signal détecté, voire de supprimer complètement l'harmonique de denture. Cette diminution voire suppression augmente considérablement la précision du résolveur 10.

[0083] La [Fig.6] est un graphe de l'erreur de la position du rotor en  $^\circ$  en fonction de la position angulaire du rotor en  $^\circ$ . Pour un rotor connu sans décalage angulaire (courbe 6A), cette erreur correspond à l'harmonique de denture. Dans un exemple, cette erreur varie entre  $0,2^\circ$  et  $-0,2^\circ$ . Pour un rotor selon l'invention (courbe 6B), comprenant des strates élémentaires 25, 26 angulairement décalées selon l'équation (1), l'harmonique de denture est supprimée et l'erreur de position est négligeable.

[0084] La [Fig.7A] montre une vue d'en face d'une portion d'un rotor connu au niveau d'une ligne de pôles de même rang sur une surface rotorique de l'entrefer. Les pôles des strates élémentaires forment une ligne de pôles 71 correspondant à un maximum (pour un rotor extérieur) ou un minimum (pour un rotor central) de largeur de l'entrefer.

[0085] Une telle ligne de pôles 71 correspond à une ligne directrice parallèle à l'axe central X, tous les pôles sont donc directement superposés sans décalage angulaire. En coordonnées cylindriques, une ligne de pôles de même rang d'un tel rotor correspond à l'ensemble des points ayant les mêmes coordonnées radiales et angulaires, c'est-à-dire seulement l'altitude dans l'empilement varie pour les pôles des strates élémentaires respectives. Lors de la rotation du rotor, tous les points d'une ligne de pôles passent si-

multanément devant une dent du stator.

[0086] La [Fig.7B] illustre une ligne de pôles 70 de même rang sur une surface rotorique d'un rotor selon un mode de réalisation possible de l'invention. Les pôles des strates élémentaires respectives présentent un décalage angulaire pseudo-continu. La ligne 70 formée par des tels pôles effectue un tracé en forme de spirale sur la surface rotorique de l'entrefer.

[0087] En coordonnées cylindriques, l'ensemble de points d'une ligne 70 de pôles de même rang correspond toujours à un ensemble des points ayant les mêmes coordonnées radiales, mais ces points présentent un décalage des coordonnées angulaires. Ainsi, l'altitude et la position angulaire des pôles varie de manière pseudo-continue dans l'empilement varie pour les pôles des strates élémentaires respectives. Par conséquence, lors de la rotation du rotor autour de l'axe central X, il y a un décalage temporel entre le passage entre le passage de chacun des points de la ligne devant chaque dent du stator.

[0088] Un système de mesure d'un angle et/ou une vitesse de rotation

[0089] Un système de mesure d'un angle et/ou une vitesse de rotation comprend un résolveur selon l'invention, une source de tension électrique alternative électriquement liée au bobinage d'excitation du stator, et un dispositif de détection de tension électrique résolue dans le temps pour détecter le signal aux bobinages de détection du stator.

[0090] Le système de mesure comprend en outre un dispositif de réception et de traitement de signaux configuré pour calculer une vitesse et un angle de rotation.

[0091] Un tel dispositif mesure une tension électrique résolue en temps pour chaque bobinage de détection. Il comprend un outil informatique configuré pour analyser le signal électrique mesuré sur les bobinages de détection pour le suivi de la position angulaire du rotor et pour calculer un angle et/ou une vitesse angulaire à partir des courbes de détection.

### **Signal mesuré**

[0092] La [Fig.8] montre le signal d'excitation appliqué sur le bobinage d'excitation du stator (courbe 8A) et le signal d'un bobinage de détection sinus (courbe 7B) et un bobinage de détection appelé cosinus présentant un déphasage de  $90^\circ$  par rapport au bobinage de détection sinus (courbe 8C).

[0093] Le signal d'excitation est une tension alternative régulière, à une fréquence typiquement comprise entre 2 et 20 kHz. Chaque signal de détection correspond à une courbe sinusoïdale correspondant au passage d'un pôle du rotor devant le bobinage correspondant du stator, modulée par la fréquence du signal d'excitation. La fréquence de la sinusoïdale enveloppante est donc la fréquence de rotation du rotor, divisé par le nombre de pôles. Le déphasage entre les différentes courbes permet de calculer la

position angulaire du rotor.

- [0094] Dans le cas d'un rotor connu sans décalage angulaire, le signal de détection comprend en outre une erreur de position tel qu'illustré dans la courbe 6A de la [Fig.6]. Dans le cas d'un rotor selon l'invention, l'erreur de position angulaire en raison de l'harmonique de denture est fortement réduite voire supprimée.
- [0095] Du fait que l'erreur de position dans le signal mesuré est supprimée, la vitesse et l'angle de rotation peuvent être déterminés avec une précision améliorée.
- [0096] Par exemple, un résolveur 10 comportant un rotor connu sans décalage angulaire et un stator comprenant un nombre de dents  $N=10$  peut entraîner une erreur de position angulaire de plus de  $0,16^\circ$  pour la dixième harmonique, pendant que l'erreur de position est considérablement plus faible pour les autres harmoniques ne correspondant pas au nombre de dents du stator. Une telle erreur de position angulaire dû à l'harmonique du rang  $N$  est provoquée par le passage de tous les pôles du rotor en un seul instant devant les dents du stator.
- [0097] Pour le rotor 20 selon l'invention, le passage des pôles 21 de même rang devant chaque dent 31 du stator se déroule de manière décalée dans le temps, en lien avec leur décalage angulaire. Le décalage crée un moyennage des erreurs liées au système physique. Ainsi, le résultat mesuré correspond à la moyenne de tous ces angles lus en même temps. Pendant le passage d'une ligne de pôles 21 de même rang de la première strate élémentaire 25 du rotor 20 devant une dent 31 stator 30, les lignes de pôles 21 du même rang des autres portions du rotor 26 sont situés à des positions intermédiaires entre deux dents 31 adjacentes. Lors du passage de la ligne de pôles 21 de la deuxième strate élémentaire 26 du rotor devant la même dent 31 du stator 30, le pôle 21 de la première strate élémentaire 25 est déjà situé au-delà de ladite dent 31. Les éventuelles strates élémentaires successives sont encore positionnées avant la même dent 31. Ainsi, le passage des lignes de pôles 21 devant chaque dent 31 du stator 30 est lissé dans le temps, ce qui a pour effet de supprimer l'erreur d'harmonique de denture.
- [0098] Les erreurs ayant un harmonique de rang élevé peuvent avoir des conséquences importantes lorsque l'on cherche à obtenir la vitesse du système. En les supprimant par un lissage du passage des pôles devant la denture, en utilisant un rotor 20 selon l'invention, on peut réaliser des résolveurs d'une précision élevée.

### **Applications**

- [0099] Le résolveur 10 selon l'invention est en particulier utilisé dans le cas d'applications dans le domaine de l'aéronautique, pour le suivi d'un angle d'un équipement d'un aéronef, notamment pour des suivis de positions de rotation de moteur électrique d'actionneurs de petite ou moyenne puissance, et plus généralement pour le suivi de tout système rotatif (systèmes optroniques avec moteur électrique, rotation des roues, ventilation, etc.). Il peut également être utilisé comme capteur pour renvoyer une in-

formation de position (manettes de gaz, volets, ailerons ...).

## Revendications

- [Revendication 1] Résolveur à réluctance variable (10), comprenant un rotor (20) et un stator (30) coaxial avec ledit rotor (20) par rapport à un axe central (X), ledit rotor (20) et ledit stator (30) étant séparés par un entrefer (40), ledit stator (30) comportant une surface statorique dotée d'une denture comprenant une pluralité de dents (31) faisant saillie en direction dudit entrefer (40), lesdites dents (31) étant disposées de sorte que deux dents (31) consécutives le long de la denture forment un angle de denture ( $\Theta_D$ ) par rapport à l'axe central (X), caractérisé en ce que ledit rotor (20) comprend un empilement de strates élémentaires empilées (25, 26) de manière coaxiale à l'axe central (X), chaque strate élémentaire définissant au moins une paire de pôles (21) agencées sur une surface rotorique dudit entrefer (40), l'empilement comprenant une première strate élémentaire (25) définissant le fond de l'empilement et au moins une strate élémentaire supérieure (26) superposée sur ladite première strate élémentaire (25), chaque strate élémentaire supérieure (26) étant angulairement décalée d'un angle de décalage ( $\Theta_P$ ) autour de l'axe central (X) par rapport à la strate élémentaire sous-jacente, l'angle de décalage ( $\Theta_P$ ) étant égal à l'angle de denture ( $\Theta_D$ ) multiplié par  $(N-1)/N$ , N étant le nombre de strates élémentaires (25, 26) empilées.
- [Revendication 2] Résolveur à réluctance variable selon la revendication 1, dans lequel le rotor (20) comprend m paires de pôles (21) disposés à symétrie de révolution par rapport à l'axe central (X), m étant un nombre entier.
- [Revendication 3] Résolveur à réluctance variable selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel les strates élémentaires empilées (25,26) sont des éléments en tôle.
- [Revendication 4] Résolveur selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel les strates élémentaires empilées (25, 26) sont des couches liées par frittage ou par une technique de fabrication additive.
- [Revendication 5] Résolveur selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel chaque strate élémentaire empilée (25, 26) présente une épaisseur comprise entre 0.1mm et 1mm le long de l'axe (X).
- [Revendication 6] Résolveur selon la revendication 5, dans lequel chaque strate élémentaire (25, 26) est en un matériau massif.
- [Revendication 7] Résolveur selon la revendication 5 dans lequel chaque strate élémentaire

(25, 26) du rotor comprend une superposition d'éléments en tôle sans décalage angulaire entre éléments en tôle respectifs par rapport à l'axe central (X).

[Revendication 8]

Résolveur à réluctance variable selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel le rotor (20) est agencé à l'intérieur d'un creux central du stator (30).

[Revendication 9]

Résolveur à réluctance variable selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel le stator (30) est agencé à l'intérieur d'un creux central du rotor (20).

[Revendication 10]

Système de mesure d'un angle et/ou une vitesse de rotation, comprenant

- un résolveur à réluctance variable selon l'une quelconque des revendications 1 à 9,
- un générateur de tension électrique alternative en liaison électrique avec les extrémités du bobinage d'excitation,
- un détecteur de tension électrique résolu dans le temps en liaison électrique avec les extrémités de chaque bobinage de détection,
- un système de traitement de données configuré de calculer, à partir des tensions électriques mesurés par le détecteur de tension électrique un angle de rotation du rotor.

[Revendication 11]

Procédé de fabrication d'un résolveur à réluctance variable, comprenant les étapes suivantes :

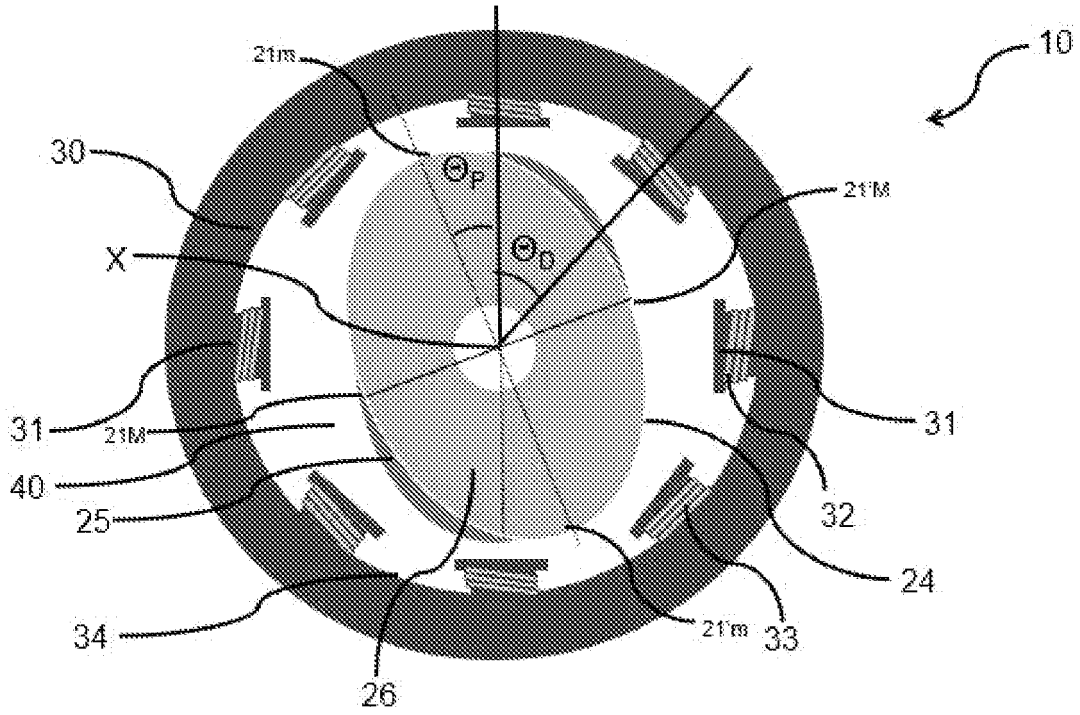
- la mise à disposition d'un stator (30) comportant, sur une face statorique (34) destinée à former un entrefer (40) avec un rotor (20), une denture comprenant une pluralité de dents (31), lesdits dents (31) étant disposées de sorte que deux dents (31) consécutives le long de la denture forment un angle de denture ( $\Theta_D$ ) par rapport à un axe central (X),
  - la mise à disposition d'au moins deux strates élémentaires (25, 26) d'un rotor (20), chaque strate élémentaire (25, 26) présentant une géométrie identique dans un plan perpendiculaire à l'axe central (X) et comportant, sur une face rotorique (24) destinée à délimiter un entrefer (40) avec la face statorique du stator (30), au moins
    - une zone en retrait par rapport à un cercle

- moyen (CM) autour de l'axe central (X), ladite zone délimitant une zone de largeur maximale dudit entrefer (40) et
  - une zone en saillie par rapport à un cercle moyen (CM) autour de l'axe central (X), ladite zone délimitant une zone de largeur minimale dudit entrefer (40),
- la définition d'une strate élémentaire (25) de fond,
- l'empilement d'au moins une deuxième strate élémentaire (26) de manière coaxiale par rapport à l'axe central (X) sur la strate élémentaire de fond (25), de sorte que chaque strate élémentaire (25, 26) soit décalée angulairement par rapport à une strate élémentaire (25, 26) sous-jacente d'un angle de décalage ( $\Theta_p$ ) étant égal à l'angle de denture ( $\Theta_D$ ) multiplié par  $(N-1)/N$ , N étant le nombre de strates élémentaires (25, 26) empilées.
- la fixation des strates élémentaires (25, 26) empilées pour former le rotor (20),
- l'emboîtement concentrique du rotor (20) et du stator (30) de sorte à former un entrefer (40) entre la face statorique(34) du stator et la face rotorique (24) du rotor (20).

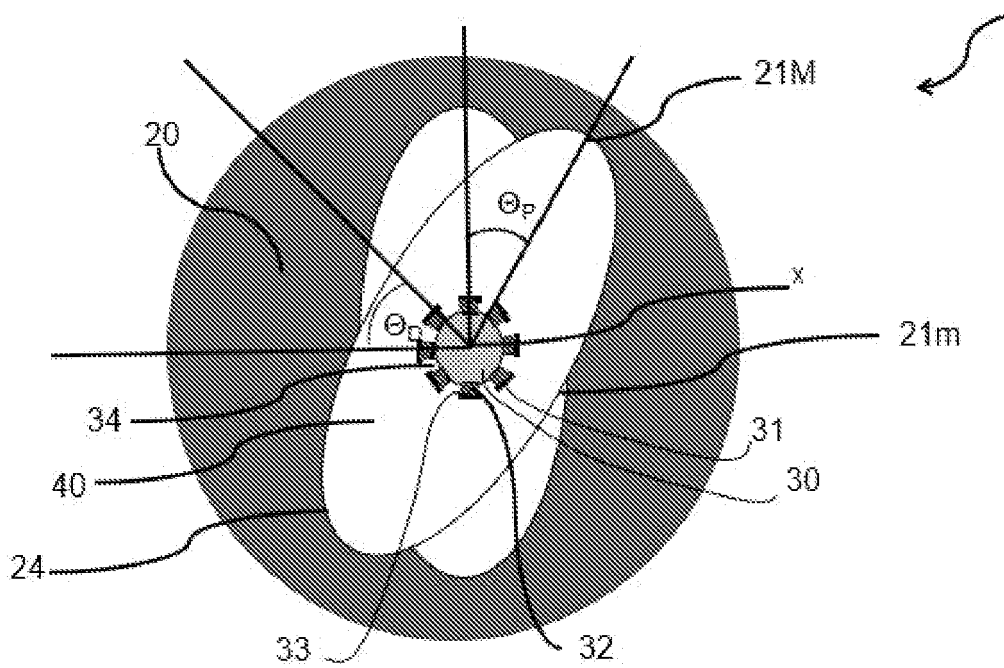
[Revendication 12] Procédé de mesure d'un angle et/ou d'une vitesse de rotation comprenant les étapes suivantes :

- la mise à disposition d'un résolveur à reluctance selon l'une des revendications 1 à 9,
- l'application d'une tension d'excitation à un bobinage d'excitation porté par la denture,
- la rotation du rotor relatif au stator autour de l'axe central (X),
- la détection d'une tension de détection résolue dans le temps aux extrémités d'au moins un bobinage de détection porté par la denture,
- le calcul, à partir de la tension de détection résolue dans le temps, d'un angle et/ou d'une vitesse de rotation.

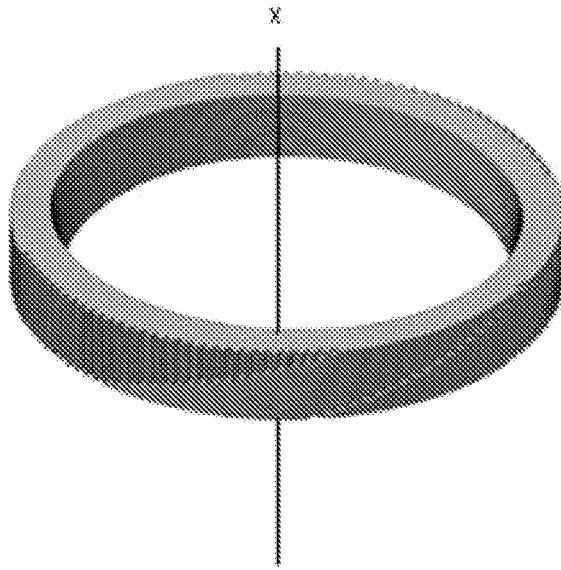
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]

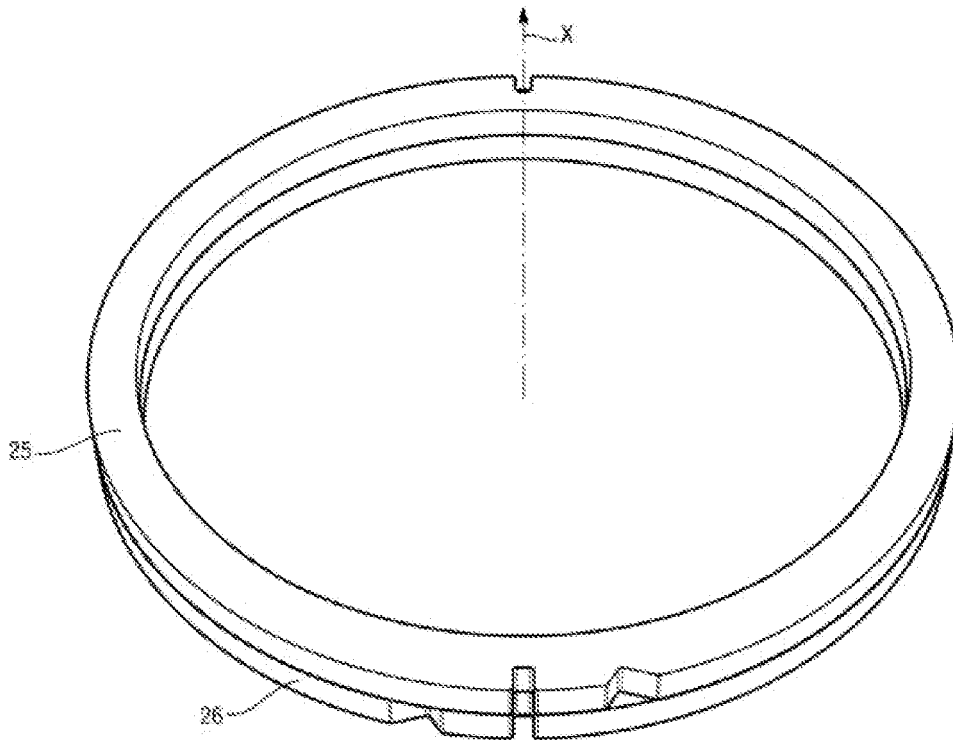
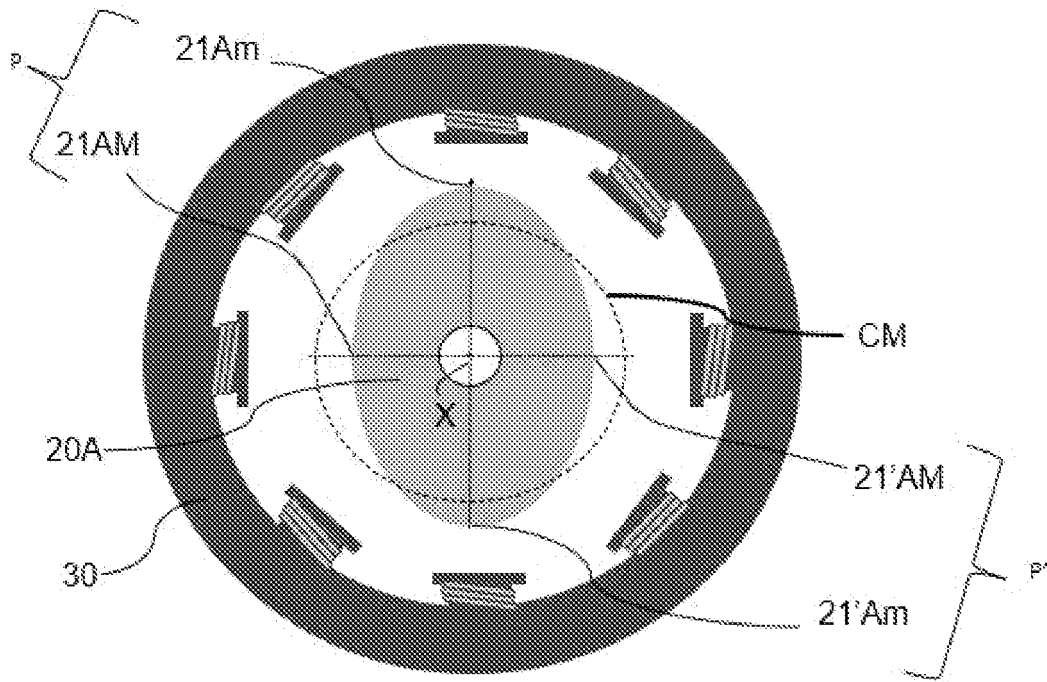
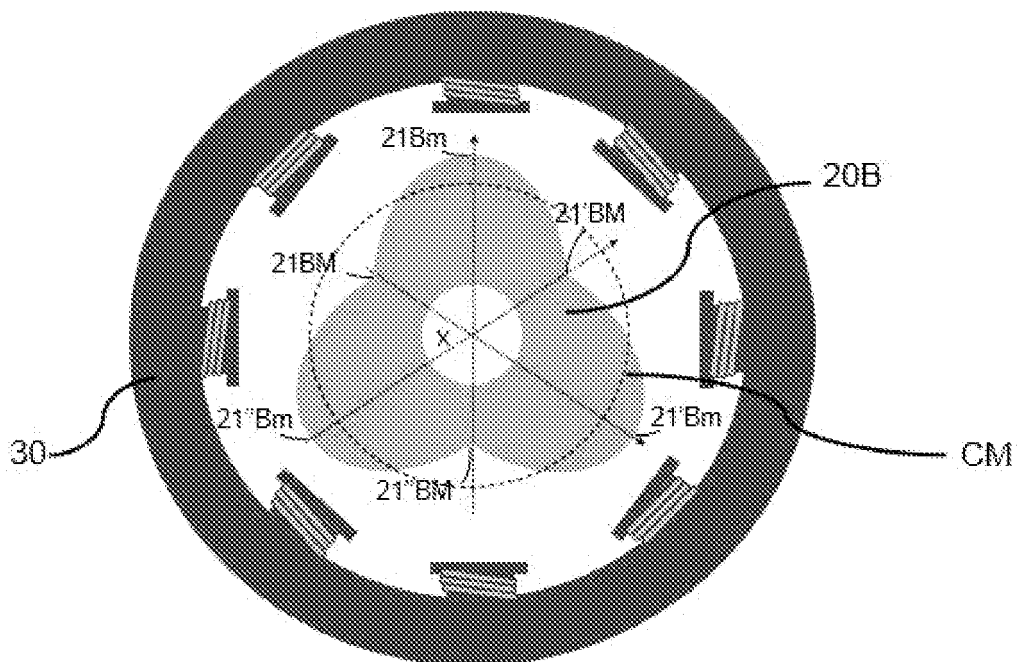


Fig. 4

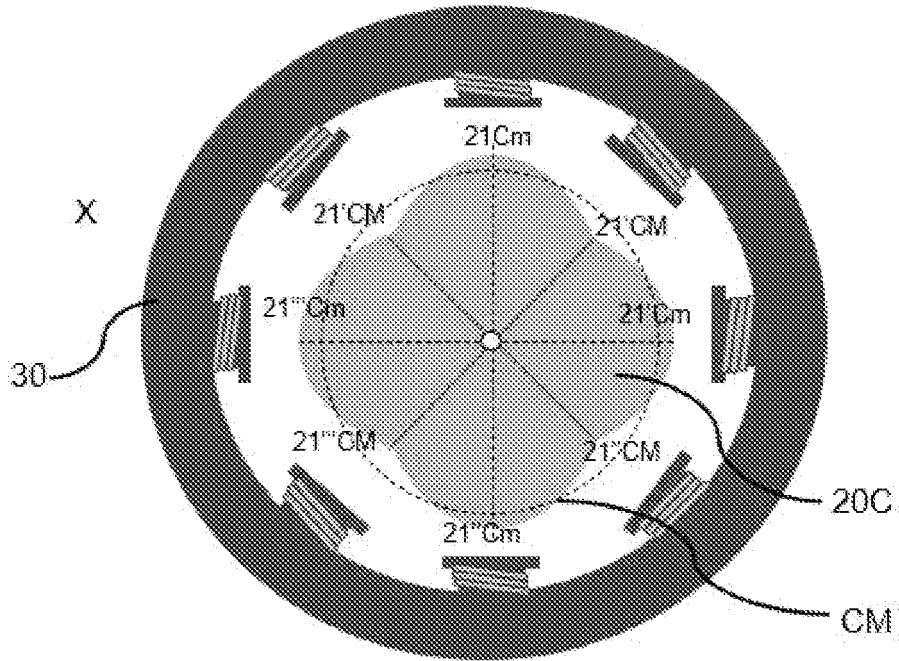
[Fig. 5A]



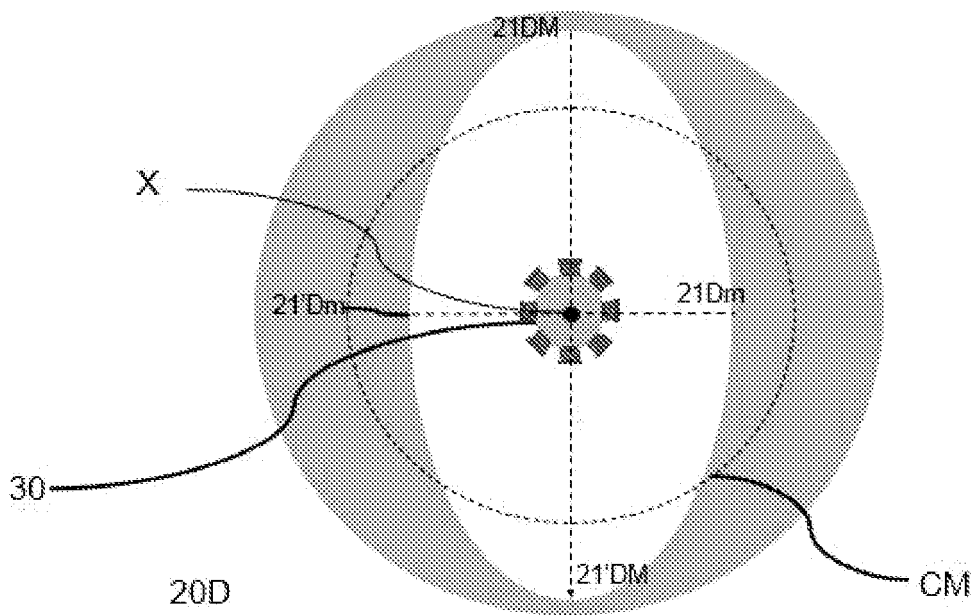
[Fig. 5B]



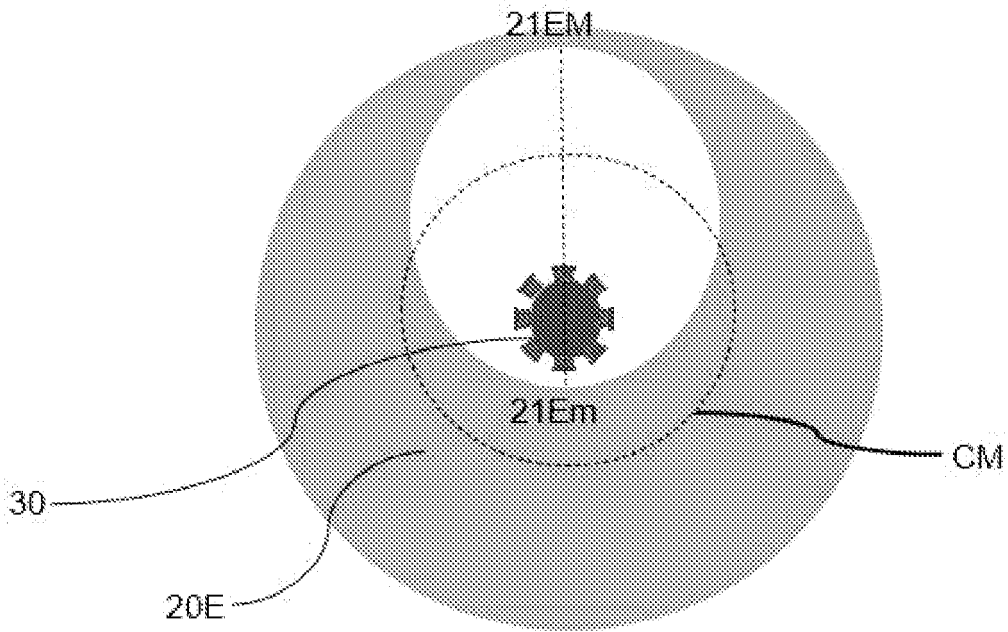
[Fig. 5C]



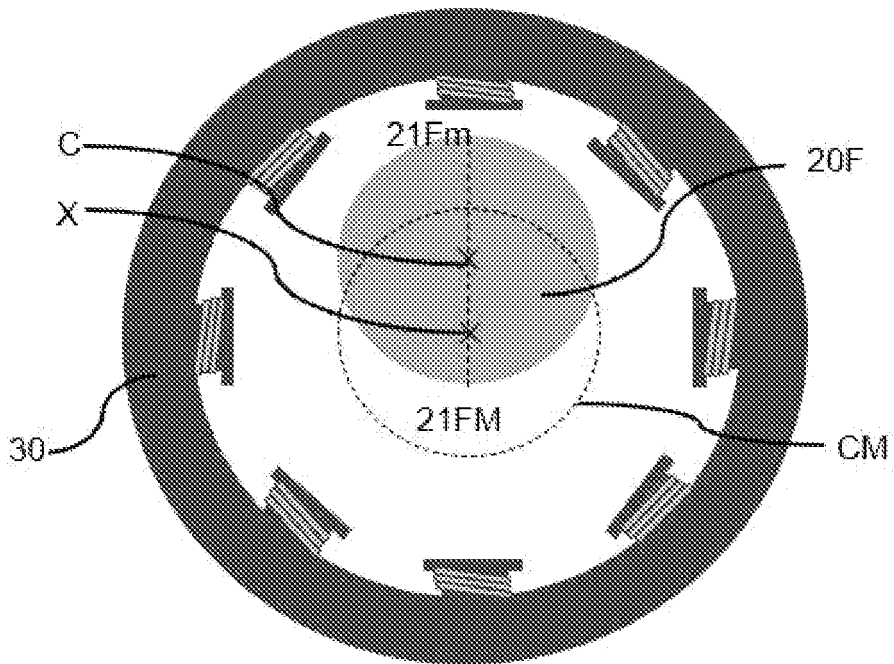
[Fig. 5D]



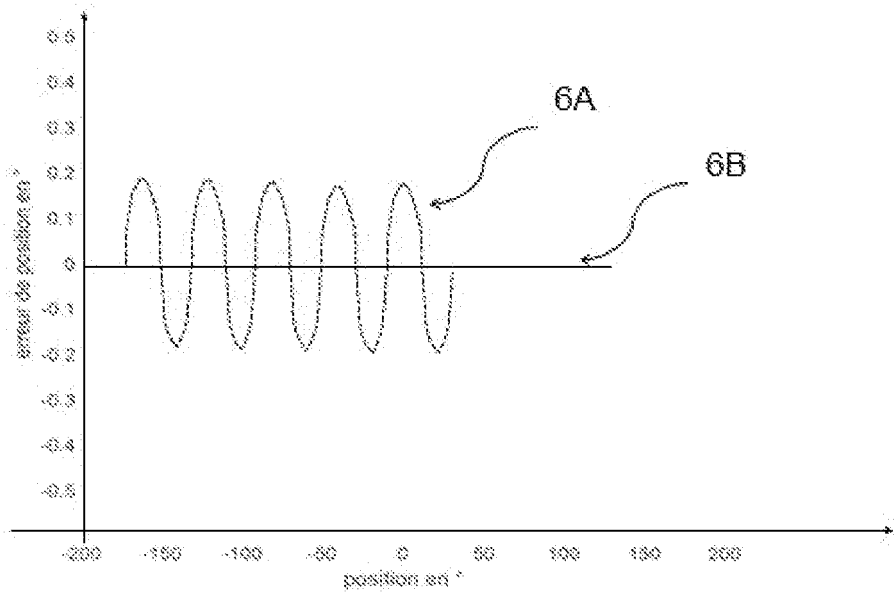
[Fig. 5E]



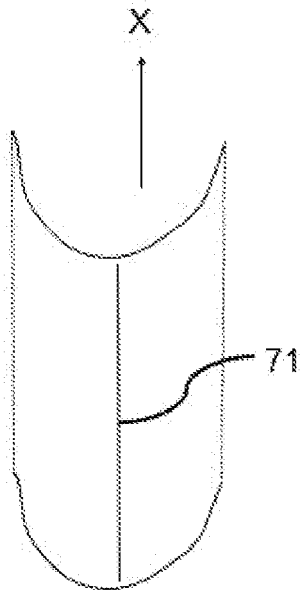
[Fig. 5F]



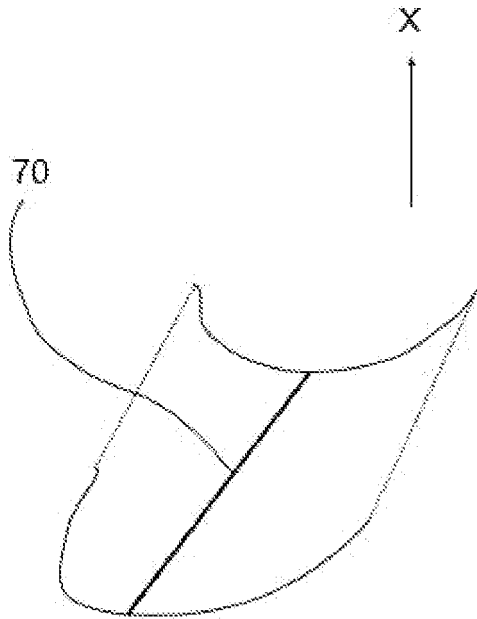
[Fig. 6]



[Fig. 7A]



[Fig. 7B]



[Fig. 8]

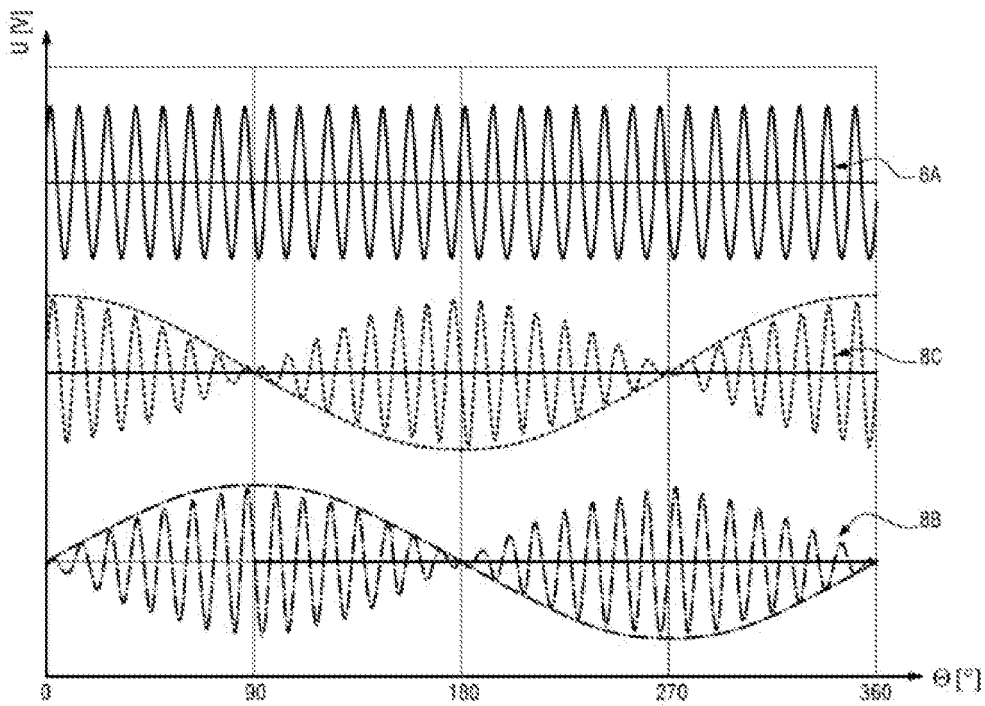


Fig. 8

**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

**FA 909648**  
**FR 2207879**

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
<b>A</b>	<b>US 2013/193957 A1 (ZHOU DAWEI [GB])</b> <b>1 août 2013 (2013-08-01)</b> <b>* alinéas [0001], [0004], [0006],</b> <b>[0010], [0013], [0014], [0016],</b> <b>[0021], [0055], [0057], [0060]; figure</b> <b>3 *</b> -----	<b>1-12</b>	<b>G01D5/20</b> <b>G01B7/30</b>
<b>A</b>	<b>EP 1 122 867 A1 (PARVEX SA [FR])</b> <b>8 août 2001 (2001-08-08)</b> <b>* alinéas [0001], [0025]; figure 1 *</b> -----	<b>1-12</b>	
<b>A</b>	<b>FR 3 066 333 A1 (RENAULT SAS [FR]; NISSAN</b> <b>MOTOR [JP]) 16 novembre 2018 (2018-11-16)</b> <b>* page 1, ligne 18 - ligne 27 *</b> <b>* page 10, ligne 20 - ligne 23 *</b> <b>* page 11, ligne 8 - ligne 15; figure 3 *</b> -----	<b>1-12</b>	
			<b>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)</b>
			<b>G01D</b>
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
<b>17 mars 2023</b>		<b>Bossen, Michael</b>	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul                      Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un                      autre document de la même catégorie                      A : arrière-plan technologique                      O : divulgation non-écrite                      P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention                      E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure                      à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date                      de dépôt ou qu'à une date postérieure.                      D : cité dans la demande                      L : cité pour d'autres raisons                      .....                      &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2207879 FA 909648**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **17-03-2023**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
<b>US 2013193957 A1</b>	<b>01-08-2013</b>	<b>EP 2585798 A2</b>	<b>01-05-2013</b>
		<b>GB 2481406 A</b>	<b>28-12-2011</b>
		<b>US 2013193957 A1</b>	<b>01-08-2013</b>
		<b>WO 2011161452 A2</b>	<b>29-12-2011</b>
-----			
<b>EP 1122867 A1</b>	<b>08-08-2001</b>	<b>EP 1122867 A1</b>	<b>08-08-2001</b>
		<b>FR 2804804 A1</b>	<b>10-08-2001</b>
		<b>US 2001015588 A1</b>	<b>23-08-2001</b>
-----			
<b>FR 3066333 A1</b>	<b>16-11-2018</b>	<b>AUCUN</b>	
-----			