



(43) Date de la publication internationale
24 mars 2016 (24.03.2016)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/041908 A1

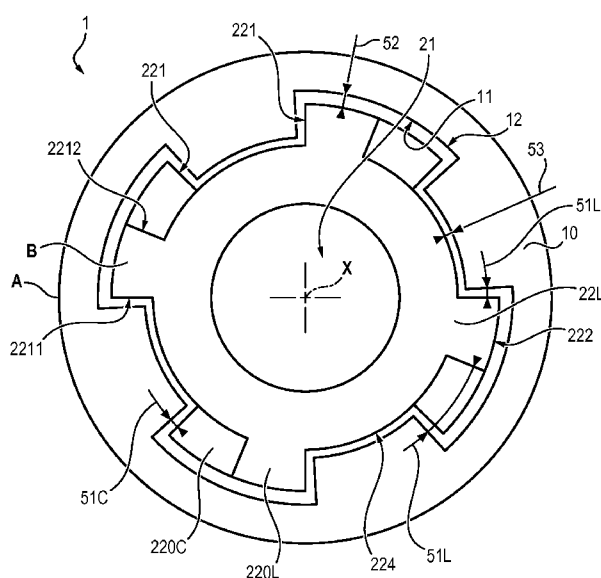
- (51) Classification internationale des brevets :
G01L 1/12 (2006.01) **G01B 7/30** (2006.01)
G01D 5/22 (2006.01) **G01L 3/10** (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2015/070976
- (22) Date de dépôt international :
14 septembre 2015 (14.09.2015)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1458647 15 septembre 2014 (15.09.2014) FR
- (71) Déposant : SAGEM DEFENSE SECURITE [FR/FR];
18/20 Quai du Point du Jour, F-92100 Boulogne-Billancourt (FR).
- (72) Inventeurs : CAGNAC, Bastien; SAGEM DEFENSE SECURITE, 18/20 Quai du Point du Jour, F-92100 Boulogne-Billancourt (FR). PIATON, Jérôme; SAGEM DEFENSE SECURITE, 18/20 Quai du Point du Jour, F-92100 Boulogne-Billancourt (FR). BRENUGAT, Kevin; SAGEM DEFENSE SECURITE, 18/20 Quai du Point du Jour, F-92100 Boulogne-Billancourt (FR).
- (74) Mandataire : REGIMBEAU; 20, rue de Chazelles, F-75847 Paris Cedex 17 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : INDUCTIVE ROTATION SENSOR WITH IMPROVED ACCURACY

(54) Titre : CAPTEUR DE ROTATION INDUCTIF A PRECISION AMELIOREE

FIG. 2c



(57) Abstract : The invention relates to a rotation sensor, comprising: - a stator (A) and rotor (B), arranged coaxially and forming a magnetic circuit (10, 20), the rotor being mounted angularly displaced with respect to the stator, - a primary winding, suitable for generating a magnetic field in the magnetic circuit, and - at least one secondary winding, characterized in that the magnetic circuit comprises at least one tooth (220) extending radially with respect to the axis (X-X) of the stator and of the rotor, and at least one notch (12) suitable for receiving said tooth, such that the tooth is separated from the notch by at least one tangential air gap (51) that is variable according to the angular displacement of the rotor with respect to the stator, the tooth and the notch being shaped so that, during a rotation of the rotor with respect to the stator, a variation in the width of the tangential air gap causes an increase or a decrease in the permeance of the air and, respectively, an increase or a decrease in the voltage at the terminals of the secondary winding.

(57) Abrégé : L'invention concerne

[Suite sur la page suivante]

**Déclarations en vertu de la règle 4.17 :**

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

un capteur de rotation comprenant : - un stator (A) et un rotor (B) coaxiaux et formant un circuit magnétique (10, 20), le rotor étant monté à débattement angulaire par rapport au stator, - un bobinage primaire, adapté pour générer un champ magnétique dans le circuit magnétique, et - au moins un bobinage secondaire, caractérisé en ce que le circuit magnétique comporte au moins un dent (220) s'étendant radialement par rapport à l'axe (X-X) du stator et du rotor, et au moins une encoche (12) adaptée pour recevoir ladite dent de sorte que la dent soit séparée de l'encoche par au moins un entrefer (51) tangentiel, variable en fonction du débattement angulaire du rotor par rapport au stator, la dent et l'encoche étant conformées pour que lors d'une rotation du rotor par rapport au stator, une variation de largeur d'un entrefer tangentiel entraîne une augmentation ou une diminution de la perméance de l'entrefer et respectivement une augmentation ou une diminution de la tension aux bornes du bobinage secondaire.

CAPTEUR DE ROTATION INDUCTIF A PRECISION AMELIOREE

DOMAINE DE L'INVENTION

Le domaine de l'invention est celui des capteurs de rotation en particulier
5 des capteurs du type inductif, connus sous l'acronyme anglais RVDT pour Rotary
Variable Differential Transformer.

L'invention est notamment applicable à la mesure de faibles angles de
rotation relative entre deux arbres.

L'invention trouve une application avantageuse dans la mesure de couple de
10 torsion appliqué à un arbre.

ETAT DE LA TECHNIQUE

Il est connu de mesurer un couple en sortie d'un actionneur par une mesure
de torsion de l'arbre de sortie.

15 Plusieurs moyens de mesure ont ainsi été proposés. Par exemple, on
connaît le positionnement, sur l'arbre de sortie de l'actionneur, d'une ou plusieurs
jauges de contraintes, dont la déformation en torsion peut être mesurée pour en
dédire le couple délivré par l'actionneur.

Dans un contexte où l'actionneur est un actionneur de vol dans un aéronef,
20 l'utilisation de jauges de contraintes n'est cependant pas désirée, car ces jauges
étant collées sur l'arbre de sortie, elles sont difficilement remplaçables. En
particulier, elles ne sont pas remplaçables sans démonter l'actionneur de l'aéronef :
ce sont des pièces dites « non-LRU », pour l'acronyme anglais Line-Replaceable
Unit, soit « non-remplaçables en ligne ».

25 Une déformation en torsion entre deux arbres peut aussi être mesurée par la
rotation relative entre les arbres.

Des capteurs de rotation, par exemple des capteurs inductifs ou capteurs
RVDT, sont connus.

Ces capteurs comprennent un rotor et un stator, respectivement liés à un
30 arbre libre et un arbre de torsion entraînés par un actionneur.

Une bobine primaire alimentée par un courant alternatif génère un champ
magnétique dans un circuit formé par le rotor et le stator.

Deux bobines secondaires produisent, en réaction à ce champ magnétique, des tensions respectives dont les valeurs dépendent de la position angulaire du rotor par rapport au stator.

On peut ainsi déduire de la mesure des tensions aux bornes des bobines secondaires une rotation relative entre le rotor et le stator.

Les capteurs RVDT connus sont adaptés pour mesurer des angles de l'ordre de la dizaine de degrés.

Or, en l'occurrence, les angles de torsion à mesurer sur un arbre de sortie d'un actionneur de vol d'un aéronef sont très faibles, par exemple de l'ordre de 1° ou moins.

L'utilisation d'un capteur RVDT connu pour mesurer un angle de torsion d'un tel arbre présenterait donc une sensibilité très faible, à moins de fortement diminuer la raideur de l'arbre de sortie pour augmenter l'amplitude des mouvements de rotation en sortie.

Ceci n'est pas souhaitable dans le contexte de l'invention. Il existe donc un besoin pour un capteur de couple par mesure de faibles déformations.

PRESENTATION DE L'INVENTION

L'invention a pour but de proposer un capteur de rotation présentant une sensibilité plus élevée.

Un autre but de l'invention est de proposer un capteur de couple par mesure de déformations de faibles amplitudes d'un arbre.

A cet égard, l'invention a pour objet un capteur de rotation comprenant :

- un stator et un rotor coaxiaux, le rotor étant monté à débattement angulaire par rapport au stator, le stator et le rotor formant un circuit magnétique,
- un bobinage primaire, adapté pour générer un champ magnétique dans le circuit magnétique quand il est alimenté par un courant alternatif, et
- au moins un bobinage secondaire, adapté pour présenter à ses bornes une différence de potentiel en réponse à une excitation magnétique,

caractérisé en ce que le circuit magnétique comporte au moins une dent s'étendant radialement par rapport à l'axe du stator et du rotor, et au moins une encoche adaptée pour recevoir ladite dent de sorte que la dent soit séparée de l'encoche par

au moins un entrefer dit tangentiel, variable en fonction du débattement angulaire du rotor par rapport au stator,

et en ce que la dent et l'encoche sont conformées pour que lors d'une rotation du rotor par rapport au stator, une variation de largeur d'un entrefer tangentiel entraîne
5 une augmentation ou une diminution de la perméance de l'entrefer et respectivement une augmentation ou une diminution de la tension aux bornes du bobinage secondaire.

Avantageusement, mais facultativement, le capteur de rotation selon l'invention peut
10 en outre comprendre au moins l'une des caractéristiques suivantes :

- le circuit magnétique comporte au moins deux dents alignées axialement et solidaires l'une de l'autre, l'encoche étant adaptée pour recevoir les dents de sorte que chaque dent soit séparée de l'encoche par au moins un entrefer tangentiel, les dents et l'encoche étant conformées de sorte que, lorsqu'une
15 dent est séparée de l'encoche par deux entrefers tangentiels de largeurs identiques, l'autre dent est séparée de l'encoche correspondante par deux entrefers tangentiels de largeurs différentes, et de préférence un entrefer présente une largeur supérieure ou égale au double de la largeur de l'autre entrefer.
- 20 - le circuit magnétique comporte au moins trois dents alignées axialement et solidaires l'une de l'autre, comprenant une dent centrale et deux dents latérales, l'encoche étant adaptée pour recevoir les dents de sorte que chaque dent soit séparée de l'encoche qui la reçoit par au moins un entrefer tangentiel, les dents et les encoches étant conformées de sorte que :
 - 25 o lorsque la dent centrale est séparée de l'encoche par deux entrefers tangentiels de largeurs identiques, chacune des deux autres dents est séparée de l'encoche par deux entrefers tangentiels de largeurs différentes, et
 - o l'entrefer le plus large s'étendant entre une dent latérale et l'encoche
30 est aligné avec l'entrefer le plus étroit s'étendant entre l'autre dent latérale et l'encoche.
- Le capteur comprend deux bobinages secondaires, chaque bobinage étant adapté pour présenter une différence de potentiel variable en fonction de la

valeur de largeur de l'entrefer tangentiel le plus étroit entre une dent latérale et l'encoche.

- Les dents latérales présentent une ouverture angulaire inférieure ou égale à la moitié de l'ouverture angulaire de la dent centrale.
- 5 - Chaque dent est en outre séparée d'une surface de son encoche respective par un entrefer dit radial, et le plus petit entrefer tangentiel entre une dent latérale et l'encoche présente une largeur inférieure à celle de l'entrefer radial.
- 10 - L'un du rotor ou du stator comprend au moins deux disques, chaque dent étant portée par un disque, et un cylindre s'étendant entre les disques, le bobinage primaire et un bobinage secondaire étant enroulés autour du cylindre.
- Le bobinage secondaire est enroulé autour du cylindre et le bobinage primaire est entouré autour du bobinage secondaire.
- 15 - Le capteur comprend en outre une unité d'acquisition et de traitement, adaptée pour mesurer une tension aux bornes des bobinages secondaires et pour en déduire un angle de rotation du rotor par rapport au stator.

L'invention a également pour objet un ensemble comprenant :

- 20 - un arbre de torsion et un arbre libre, concentriques et montés à débattement angulaire l'un par rapport à l'autre,
- un actionneur, comprenant un arbre de sortie rotatif entraînant les deux arbres, et
- 25 - un capteur de rotation selon la description qui précède, le rotor du capteur étant solidaire en rotation de l'arbre libre et le stator étant solidaire en rotation de l'arbre de torsion,

dans lequel l'unité d'acquisition et de traitement du capteur est en outre adaptée pour déterminer, à partir d'un angle de rotation du rotor, un couple subi par l'arbre de torsion.

30

Le capteur de rotation proposé permet, par sa structure comprenant des entrefers asymétriques entre le rotor et le stator, de détecter une rotation relative même minime entre le rotor et le stator. Ainsi il est possible d'utiliser un tel capteur

pour mesurer un couple directement sur l'arbre de sortie d'un actionneur sans impacter sa raideur.

5 DESCRIPTION DES FIGURES

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- La figure 1 représente une vue en perspective d'un capteur de rotation selon un mode de réalisation de l'invention,
- La figure 2a représente une vue en coupe du capteur de la figure 1,
- La figure 2b représente une vue en perspective des disques du rotor du capteur de la figure 1,
- La figure 2c représente une vue de face du capteur de la figure 1,
- La figure 3a représente la perméance magnétique des entrefers d'un capteur selon un mode de réalisation de l'invention en fonction de l'angle de rotation relative du rotor et du stator.
- La figure 3b représente les flux magnétiques dans les bobinages primaires et secondaires du capteur en fonction de l'angle de rotation.
- La figure 3c représente les tensions des bobinages secondaires du capteur en fonction de l'angle de rotation,
- La figure 3d représente la sensibilité du capteur en fonction de l'angle de rotation,
- La figure 3e représente la sensibilité du capteur en fonction d'un effort de torsion.
- La figure 4 représente schématiquement un ensemble comprenant un actionneur et un capteur de couple.

DESCRIPTION DETAILLÉE D'AU MOINS UN MODE DE RÉALISATION DE L'INVENTION

Structure du capteur de couple

En référence à la figure 1, on a représenté un capteur de rotation 1.

Ce capteur comprend un stator A, et un rotor B, qui sont deux pièces concentriques autour d'un axe X-X. Le rotor B est monté rotatif par rapport au stator A, ou au moins, compte-tenu des faibles angles de rotation à mesurer, monté à débattement angulaire par rapport au stator.

5 Avantageusement, mais facultativement, le stator A et le rotor B sont des pièces de révolution autour de l'axe X-X.

Le stator A et le rotor B forment ensemble un circuit magnétique. A cet égard, ils sont formés en un matériau magnétique, par exemple en fer.

10 Le capteur de rotation 1 comprend en outre un bobinage primaire 30, qui est adapté pour générer un champ magnétique dans le circuit magnétique en réponse à l'application sur le bobinage d'un courant alternatif.

Le capteur de rotation 1 comprend enfin au moins bobinage secondaire 40, qui est adapté pour présenter une différence de potentiel en réaction à une excitation magnétique. En particulier, la génération d'un champ magnétique dans le circuit magnétique par le bobinage primaire, suscite l'apparition d'une différence de
15 potentiel aux bornes du bobinage secondaire.

Cette différence de potentiel varie en fonction du débattement angulaire du rotor par rapport au stator, comme expliqué ci-après, et est mesurée par une unité
20 d'acquisition et de traitement du capteur 1, pour en déduire l'angle de rotation du rotor par rapport au stator.

Avantageusement, et comme représenté sur les figures, le rotor s'étend à l'intérieur du stator en étant monté rotatif dans celui-ci. Alternativement, le rotor B pourrait s'étendre autour du stator A.

25 Ainsi, pour conserver la généralité de l'invention, on note 10 la pièce radialement externe, cette pièce pouvant être le rotor ou le stator, et 20 la pièce radialement interne.

La pièce radialement interne 20 comprend au moins un disque 22 coaxial avec l'axe X-X. Cette pièce 20 comprend de préférence deux disques 22 coaxiaux et solidaires en rotation, et encore plus avantageusement trois disques 22 coaxiaux, et solidaires en rotation. Dans ce cas on note 22L les deux disques latéraux, et 22C
30 le disque central, disposé entre les disques latéraux et à égales distances de ceux-ci. Avantageusement, les disques latéraux 22L se trouvent aux extrémités axiales de la pièce radialement interne 20, comme visible par exemple sur la figure 2a.

Dans le cas où la pièce radialement interne 20 comprend deux disques 22, elle comprend en outre un cylindre 23 s'étendant les disques 22. Dans le mode de réalisation préféré dans lequel la pièce 20 comprend trois disques, elle comprend deux cylindres 23, chaque cylindre s'étendant entre deux disques adjacents. Dans
5 ce cas, chaque cylindre 23 s'étend entre le disque central 22C et un disque latéral 22L.

Les disques 22 sont solidaires en rotation. Avantageusement, pour ce faire les disques 22 sont formés d'une seule pièce avec le ou les cylindres intermédiaires 23, de sorte que l'ensemble des disques 22 et des cylindres 23 forme une seule
10 pièce monobloc.

Les disques 22 et les cylindres 23 du rotor sont formés en un matériau magnétique, par exemple du fer.

Avantageusement, la pièce radialement interne comprend une ouverture traversante 21 de section circulaire et centrée, rendant ainsi cette pièce 20 tubulaire et creuse, de manière à pouvoir la fixer à un arbre. Dans ce cas, si l'arbre est rotatif,
15 des moyens d'accouplement en rotation de la pièce 20 à l'arbre sont avantageusement prévus sur la surface interne de la pièce, c'est-à-dire sur le pourtour de l'ouverture 21.

20 Autour de chaque cylindre 23 est enroulée une partie du bobinage primaire 30 et un bobinage secondaire 40. Avantageusement, les cylindres 23 présentent un rayon strictement inférieur aux rayons des disques 22, formant ainsi des encoches dans lesquels les bobinages peuvent être positionnés.

De plus, comme visible sur la figure 2a, chaque bobinage secondaire 40 est
25 avantageusement enroulé directement autour du cylindre 23 respectif, tandis que le bobinage primaire 30 est enroulé autour des bobinages secondaires, de manière à obtenir successivement, à rayon croissant par rapport à l'axe X-X :

- Un cylindre 23,
- Un bobinage secondaire 40, et
- 30 - Une partie de bobinage primaire 30.

Comme expliqué ci-après, le circuit magnétique créé par le rotor et le stator lors de l'excitation du bobinage primaire se trouvant au niveau des extrémités radialement externes des disques 22, le bobinage primaire 30 se trouve ainsi plus près de ce circuit et les fuites de champ magnétique sont donc réduites.

On comprend ainsi que lorsque la pièce 20 comprend deux disques, elle comporte un seul bobinage secondaire, et lorsqu'elle comprend trois disques, elle comporte deux bobinages secondaires enroulés autour de cylindres respectifs. Ce mode de réalisation permet, comme décrit ci-après, de rendre la mesure de rotation
5 insensible à la tension d'excitation, en effectuant un traitement différentiel entre les tensions des bobinages secondaires.

Circuit magnétique

Le circuit magnétique comprend au moins une dent 220, s'étendant
10 radialement par rapport à l'axe X-X, et une encoche 12, adaptée pour recevoir ladite dent. La dent 220 est montée à débattement angulaire par rapport à l'encoche 12. Avantagusement, la dent 220 est solidaire du rotor ou du stator, et l'encoche 12 est solidaire du stator ou du rotor, pour qu'une rotation du rotor relativement au stator entraîne une rotation de la dent par rapport à l'encoche.

15 Dans l'exemple non limitatif qui suit et représenté sur les figures, chaque dent 220 est portée par un disque 22 de la pièce radialement interne 20, et l'encoche 12 est portée par la pièce radialement externe. Alternativement, l'encoche 12 pourrait être constituée d'une pluralité d'encoches formées sur les disques, les encoches étant identiques et alignées, et les dents pourraient être formées sur une
20 surface radialement interne de la pièce externe 10.

Pour reprendre l'exemple des figures, comme visible sur la figure 2c, la pièce radialement externe 10 comprend, sur une surface radialement interne 11, au moins une encoche 12, s'étendant selon un axe parallèle à l'axe X-X, et présentant une
25 ouverture angulaire constante sur toute sa longueur, c'est-à-dire sur toute son extension axiale. Alternativement, une encoche 12 peut être formée par plusieurs encoches identiques et alignées entre elles.

De préférence, la pièce radialement externe 10 comprend une pluralité d'encoches toutes identiques et réparties à intervalles angulaires constant sur la
30 circonférence de sa surface interne 11, et chaque disque 22 présente une pluralité de dents 220 en saillie, les dents étant reçues dans les encoches 12 du stator de sorte que chaque encoche du stator reçoive une dent 220 de chaque disque 22 du rotor 20.

Ainsi, si la pièce externe 10 comprend une pluralité d'encoches 12 réparties angulairement sur la surface interne 11 du stator, alors chaque disque 22 comprend autant de dents 220, les dents d'un même disque étant identiques, et réparties régulièrement sur la circonférence du disque de sorte que toutes les dents 220
5 soient reçues dans des encoches 12 correspondantes.

Comme visible sur la figure 2c, chaque dent 220 est donc séparée d'une paroi de l'encoche 12 qui la reçoit par un interstice qui comprend :

- 10 - deux entrefers tangentiels 51 s'étendant entre les parois latérales 221 d'une dent et celles 121 de l'encoche dans laquelle se trouve la dent, les parois latérales étant les parois s'étendant selon un plan parallèle à l'axe X-X, et avantageusement radial, l'entrefer est donc mesuré orthogonalement à ce plan, c'est-à-dire qu'il est tangentiel autour de l'axe X-X,
- 15 - Un premier entrefer radial 52 en tête de dent 220, s'étendant entre une paroi radialement externe 222 d'une dent et la surface interne de la pièce 10 au niveau de l'encoche 12, et
- Un second entrefer radial 53, s'étendant entre la surface interne 11 de la pièce 10 entre deux encoches 12 consécutives et la surface externe 224 du disque en regard de celle-ci.

20 Les dents 220 et les sections des encoches sont de préférence conformées de sorte que les largeurs des entrefers tangentiels 51, mesurées orthogonalement aux parois latérales des dents 220 et des encoches, soient constantes sur toute la surface de l'entrefer.

25 Le capteur 1 comprend au moins un couple dent-encoche conformé de telle sorte qu'une rotation du rotor par rapport au stator cause une variation de largeur d'un entrefer tangentiel 51 entre la dent 220 et l'encoche 22, induisant une variation de la différence de potentiel aux bornes du bobinage secondaire 40.

Avantageusement, en référence aux figures 2b et 2c, le circuit magnétique
30 comporte au moins une dent 220 conformée de sorte que les entrefers tangentiels 51 s'étendant de part et d'autre de la dent présentent des largeurs différentes. De plus, l'un des entrefers tangentiels 53 présente avantageusement une largeur supérieure ou égale au moins au double de l'autre entrefer tangentiel, pour minimiser le champ magnétique passant par l'entrefer le plus large.

De cette façon, lors d'une rotation du rotor par rapport au stator, la dent 220 se rapproche ou s'éloigne de l'encoche 12 au niveau de son entrefer tangentiel le plus étroit, causant respectivement une augmentation ou une diminution de la perméance de l'entrefer, et par conséquent, une augmentation ou une diminution de la tension aux bornes du bobinage secondaire. En revanche, du côté de l'entrefer le plus large, le champ magnétique passant par cet entrefer reste négligeable quel que soit le débattement angulaire de la dent dans l'encoche.

Dans le mode de réalisation où la pièce interne 20 comporte deux disques 22, les dents 220 d'un disque 22 sont conformées de sorte que les entrefers tangentiels 51 entre chaque dent 220 du disque et l'encoche soient asymétriques par rapport à la dent, quand les entrefers tangentiels entre les dents de l'autre disque et l'encoche sont symétriques.

Le premier disque, formant les entrefers asymétriques, induit par sa rotation relative dans la pièce externe une variation du champ magnétique, et le second disque ferme le circuit magnétique sans impacter le champ.

Dans le mode de réalisation préféré où la pièce interne 20 comporte trois disques, les dents 220L des disques latéraux 22L sont conformées de sorte que les entrefers tangentiels entre chaque dent 220L et l'encoche 12 soient asymétriques, en particulier présentent des largeurs différentes, quand les entrefers tangentiels entre les dents 220C du disque central 22 C et l'encoche sont symétriques.

De plus, pour chaque encoche 12, l'entrefer latéral le plus large pour la dent 220L d'un premier disque latéral 22L correspond à l'entrefer latéral le plus étroit pour la dent 220L de l'autre disque latéral 22L. Ainsi l'entrefer le plus étroit du côté d'un premier disque latéral est en regard de l'entrefer le plus large du côté de l'autre disque latéral.

On a indiqué ci-avant que dans ce cas le capteur comprend deux bobinages secondaires 40, chaque bobinage étant enroulé autour d'un cylindre respectif.

On comprend dans ce cas que les bobinages secondaires 40 ne sont pas soumis au même champ magnétique et ne présentent donc pas la même différence de potentiel à leurs bornes selon le sens de rotation du rotor par rapport au stator.

En effet, pour un disque latéral 22L, l'entrefer tangentiel le plus étroit se trouve toujours d'un même côté par rapport à une dent. Si le rotor tourne par rapport au stator de façon à diminuer la largeur de l'entrefer, la perméance de cet entrefer

augmente, et la tension aux bornes du bobinage secondaire correspond augmente aussi. Cependant, la perméance de l'entrefer tangentiel le plus étroit de l'autre disque latéral 22L diminue avec la rotation du rotor, et donc diminue la tension aux bornes du bobinage secondaire correspondant.

- 5 Ainsi, cette configuration permet de faire varier la tension aux bornes de chaque bobinage secondaire en fonction du sens de rotation du rotor, et donc de déterminer ce sens de rotation à partir de la tension mesurée sur les bobinages secondaires.

10 Dans ce cas, toutes les dents 220L d'un disque latéral 22L sont conformées identiquement de sorte que l'entrefer le plus large se trouve toujours d'un même côté de la dent, pour maximiser la variation de la perméance de l'entrefer total entre le disque et la pièce externe 10 en cas de rotation relative des deux pièces.

15 Selon un mode de réalisation préféré, les dents 220L des disques latéraux 22L présentent une ouverture angulaire réduite par rapport aux dents 220C du disque central. Dans le cas où le capteur ne comprend que deux disques, les dents du disque correspondant aux entrefers asymétriques présentent une ouverture angulaire réduite par rapport aux dents de l'autre disque.

20 Avantageusement l'ouverture angulaire des dents 220L des deux disques latéraux est identique et inférieure ou égale à 50%, et de préférence inférieure à 30%, de celle des dents 220C du disque central 22C.

De plus, dans chaque encoche, comme visible sur la figure 2b, les dents sont avantageusement disposées relativement les unes aux autres comme suit :

- 25 - Une première paroi latérale 2211 d'une dent 220C du disque central est alignée avec une paroi latérale correspondante d'une dent 220L d'un premier disque latéral, et
- La paroi latérale opposée 2212 de la dent 220C est alignée avec la paroi latérale correspondante de la dent 220L du second disque latéral.

On va maintenant décrire le fonctionnement de ce capteur.

30 La description qui suit porte sur le mode de réalisation préféré dans lequel :

- La pièce radialement interne 20 comporte trois disques, pour différencier les sens de rotation du rotor,
- La pièce radialement interne 20 est le rotor, et la pièce externe 10 est le stator, et

- La pièce radialement interne 20 porte les dents, et la pièce externe 10 les encoches.

Le même fonctionnement serait obtenu dans les variantes de réalisation du capteur dans lequel le rotor et le stator sont interchangés, et/ou les dispositions des dents et
5 des encoches.

Le bobinage primaire 30, alimenté par un courant électrique, génère dans chaque cylindre un champ magnétique.

Le champ magnétique passe par chaque disque latéral puis vers le stator au travers d'un entrefer.

10 Selon la configuration décrite précédemment, l'entrefer latéral le plus large d'une dent – par exemple du côté opposé à celui où les parois des dents d'un disque latéral et du disque central sont alignées – est suffisamment large pour que le flux magnétique passant pas cet entrefer soit négligeable.

Alors, le champ magnétique généré par le bobinage primaire privilégie, pour
15 chaque dent d'un disque latéral, l'entrefer latéral le plus étroit.

Il parcourt ensuite le stator, puis un entrefer latéral d'une dent du disque central, ce qui génère une tension dans le bobinage secondaire se trouvant entre le disque central et le disque latéral concerné.

Or, l'entrefer le plus étroit, appelé également entrefer de mesure, est
20 avantageusement d'une largeur inférieure à 0,5 mm, et avantageusement de 0,3 mm lorsque la rotation relative du rotor et du stator est nulle, c'est-à-dire que les entrefers de part et d'autre d'une dent du disque central sont égaux.

Du fait de cette dimension, la perméance de l'entrefer varie significativement en cas de rotation du rotor dans le stator, ce qui induit une variation de tension dans
25 les bobinages secondaires qui permet d'en déduire l'ampleur de la rotation relative du rotor et du stator.

Enfin, dans chaque encoche du stator, comme les entrefers les plus étroits se trouvent sur les côtés opposés pour les dents des deux disques latéraux, les perméances de chaque entrefer (donc les tensions des secondaires
30 correspondants) présentent des pentes de signe opposé pour une rotation relative donnée, Ceci permet de déduire des tensions aux bornes des secondaires le sens et la valeur absolue de la rotation relative entre le rotor et le stator.

Ainsi par exemple, sur la configuration représentée en figure 2c : si le rotor tourne vers le côté gauche sur le plan de la figure, la largeur de chaque entrefer de

mesure au niveau du premier disque latéral est réduite. La perméance de chaque entrefer est augmentée, et la tension du bobinage secondaire correspondant à ce disque augmente.

De l'autre côté du disque central se trouve l'autre disque latéral (non visible).

- 5 Pour ce disque, la largeur de l'entrefer de mesure augmente lorsque le rotor tourne vers la gauche, et donc sa perméance diminue. Il en résulte que la tension du bobinage secondaire correspondant à ce disque diminue.

Ainsi en relevant les tensions des deux bobinages secondaires, on en déduit la direction de la rotation et l'ampleur de la rotation du rotor dans le stator.

10

On a représenté sur les figures 3a à 3e, des données expérimentales d'un capteur du type décrit précédemment.

- Les dimensions de ce capteur sont un diamètre intérieur (au niveau de l'ouverture traversante 21) de 15 mm, et un diamètre extérieur, au niveau de la surface radialement externe du stator, de 40 mm.

L'entrefer de mesure de chaque dent présente une largeur de 0,3 mm quand les entrefers de part et d'autre des dents du disque central sont égaux. Les entrefers tangentiels 52 et 53 présentent des largeurs de 0,6 mm.

- Enfin, le stator présente quatre encore et chaque disque présente quatre dents, les dents des disques latéraux 22L présentant une ouverture angulaire de 20% de celles du disque central 22C.

- Sur la figure 3a, on a représenté la perméance des entrefers de mesure en fonction de l'angle de déformation. On a noté P_{22L1} et P_{22L2} les perméances des entrefers de mesure (les plus étroits) des deux disques latéraux et P_{22C} la perméance du disque central (perméances cumulées des entrefers latéraux).

La perméance est fournie par la formule : $P = \frac{\mu \cdot S}{l}$, où μ est la perméabilité magnétique du milieu, S la section de l'entrefer, et l sa largeur.

- On constate sur la figure 3a que la perméance des entrefers d'un disque latéral augmente avec l'angle rotation quand la perméance de l'autre disque diminue.

Sur la figure 3b, on a représenté les valeurs des flux magnétiques au bobinage primaire 30 et aux bobinages secondaires 40, en notant Φ_P et Φ_S les flux

magnétiques au primaire et au secondaire, n_p et n_s le nombre de spires des bobinages correspondant, et i le courant dans le bobinage primaire.

Les flux magnétiques au secondaire varient en fonction de la perméance des entrefers.

- 5 Sur la figure 3c, on a représenté les valeurs des tensions aux secondaires induites par les flux magnétiques. On constate sur la figure que la valeur de la tension à chaque bobinage fournit une information à la fois sur la valeur de l'angle de rotation entre le rotor et le stator, mais aussi sur la direction de la rotation.

- 10 En exprimant la sensibilité du capteur en V/V/deg, cette sensibilité est représentée en figure 3d. On constate une sensibilité du capteur pour des angles à partir de 0,1 ou 0,2°, ce qui démontre une précision accrue par rapport à des capteurs de type RVDT précédemment proposés, pour lesquels la sensibilité était de l'ordre de quelques degrés.

- 15 On a représenté sur la figure 4 l'utilisation du capteur 1 pour la mesure du couple délivré par un actionneur.

- La figure 4 représenté un ensemble comprenant un actionneur 2, comprenant un arbre de sortie rotatif 120 entraînant un arbre de torsion 130, ou corps d'épreuve, sur lequel est montée une charge 4 à entraîner. On a représenté par 20 131 la partie de l'arbre de torsion entraînant la charge 4, et par 132 la partie d'extrémité de l'arbre au-delà de la charge, cette partie n'étant pas soumise au couple transmis à la charge.

L'ensemble comprend en outre un arbre 131 coaxial à l'arbre de torsion. Cet arbre 3 n'étant pas soumis à un couple, il ne se déforme pas.

- 25 Les deux arbres sont entraînés en rotation par l'arbre de sortie de l'actionneur.

- Le capteur est positionné de sorte que le stator A soit solidaire en rotation de l'un des arbres, avantageusement l'arbre de torsion, et le rotor B soit solidaire en rotation de l'autre arbre, avantageusement l'arbre libre. Le capteur est disposé à 30 l'extrémité opposée des arbres par rapport à l'actionneur pour ne pas gêner la transmission de couple entre l'actionneur et l'arbre de torsion 3 pour entraîner la charge.

L'unité de traitement 50 du capteur mesure donc une rotation relative entre l'arbre libre et l'arbre de torsion. Dans ce cas où le capteur de rotation est utilisé en

tant que capteur de couple, l'unité de traitement 50 est en outre adaptée pour déduire, d'une valeur d'angle relatif entre l'arbre de torsion et l'arbre livre, un couple appliqué par l'actionneur sur l'arbre de torsion, en fonction de la raideur de l'arbre de torsion, ce couple étant le résultat du produit de la raideur par la valeur absolue de l'angle mesuré.

5 Pour une raideur en torsion de 3800 N.m/deg de l'arbre de torsion, on obtient une sensibilité du capteur 1 de couple, en fonction de l'effort représentée en figure 3e. Cette sensibilité correspond à la pente des tensions aux bornes des bobinages secondaires en fonction du couple appliqué par l'actionneur sur l'arbre de torsion.

10

Ainsi le capteur proposé présente une sensibilité élevée pour de faibles rotations et permet donc de mesurer le couple délivré par un actionneur sans impacter la raideur de son arbre de sortie.

REVENDEICATIONS

1. Capteur de rotation (1), comprenant :

- un stator (A) et un rotor (B) coaxiaux, le rotor (B) étant monté à débattement angulaire par rapport au stator (A), le stator (A) et le rotor (B) formant un circuit magnétique (10, 20),
 - un bobinage primaire (30), adapté pour générer un champ magnétique dans le circuit magnétique quand il est alimenté par un courant alternatif, et
 - au moins un bobinage secondaire (40), adapté pour présenter à ses bornes une différence de potentiel en réponse à une excitation magnétique,
- caractérisé en ce que le circuit magnétique comporte au moins un dent (220) s'étendant radialement par rapport à l'axe (X-X) du stator et du rotor, et au moins une encoche (12) adaptée pour recevoir ladite dent de sorte que la dent soit séparée de l'encoche par au moins un entrefer (51) dit tangentiel, variable en fonction du débattement angulaire du rotor par rapport au stator, et en ce que la dent (220) et l'encoche (12) sont conformées pour que lors d'une rotation du rotor par rapport au stator, une variation de largeur d'un entrefer tangentiel entraîne une augmentation ou une diminution de la perméance de l'entrefer et respectivement une augmentation ou une diminution de la tension aux bornes du bobinage secondaire.

2. Capteur de rotation (1) selon la revendication 1, dans lequel le circuit magnétique comporte au moins deux dents alignées (220) axialement et solidaires l'une de l'autre,

- l'encoche (12) étant adaptée pour recevoir les dents de sorte que chaque dent soit séparée de l'encoche par au moins un entrefer tangentiel (51),
- les dents (220) et l'encoche (12) étant conformées de sorte que, lorsqu'une dent (220) est séparée de l'encoche par deux entrefers tangentiels de largeurs identiques, l'autre dent est séparée de l'encoche correspondante par deux entrefers tangentiels de largeurs différentes, et de préférence un entrefer présente une largeur supérieure ou égale au double de la largeur de l'autre entrefer.

3. Capteur de rotation (1) selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel le circuit magnétique (10, 20) comporte au moins trois dents alignées (220L, 220C)

axialement et solidaires l'une de l'autre, comprenant une dent centrale (220C) et deux dents latérales (220L),

l'encoche (12) étant adaptée pour recevoir les dents de sorte que chaque dent soit séparée de l'encoche qui la reçoit par au moins un entrefer tangentiel,

5 les dents et les encoches étant conformées de sorte que :

- lorsque la dent centrale (220C) est séparée de l'encoche (12) par deux entrefers tangentiels (51C) de largeurs identiques, chacune des deux autres dents (220L) est séparée de l'encoche par deux entrefers tangentiels (51L) de largeurs différentes, et
- 10 - l'entrefer le plus large s'étendant entre une dent latérale (220L) et l'encoche (12) est aligné avec l'entrefer le plus étroit s'étendant entre l'autre dent latérale (220L) et l'encoche.

4. Capteur (1) de rotation selon la revendication 3, comprenant deux bobinages
15 secondaires (40), chaque bobinage étant adapté pour présenter une différence de potentiel variable en fonction de la valeur de largeur de l'entrefer tangentiel (51L) le plus étroit entre une dent latérale (220L) et l'encoche.

5. Capteur (1) de rotation selon l'une des revendications 3 ou 4, dans lequel les
20 dents latérales (220L) présentent une ouverture angulaire inférieure ou égale à la moitié de l'ouverture angulaire de la dent centrale (220C).

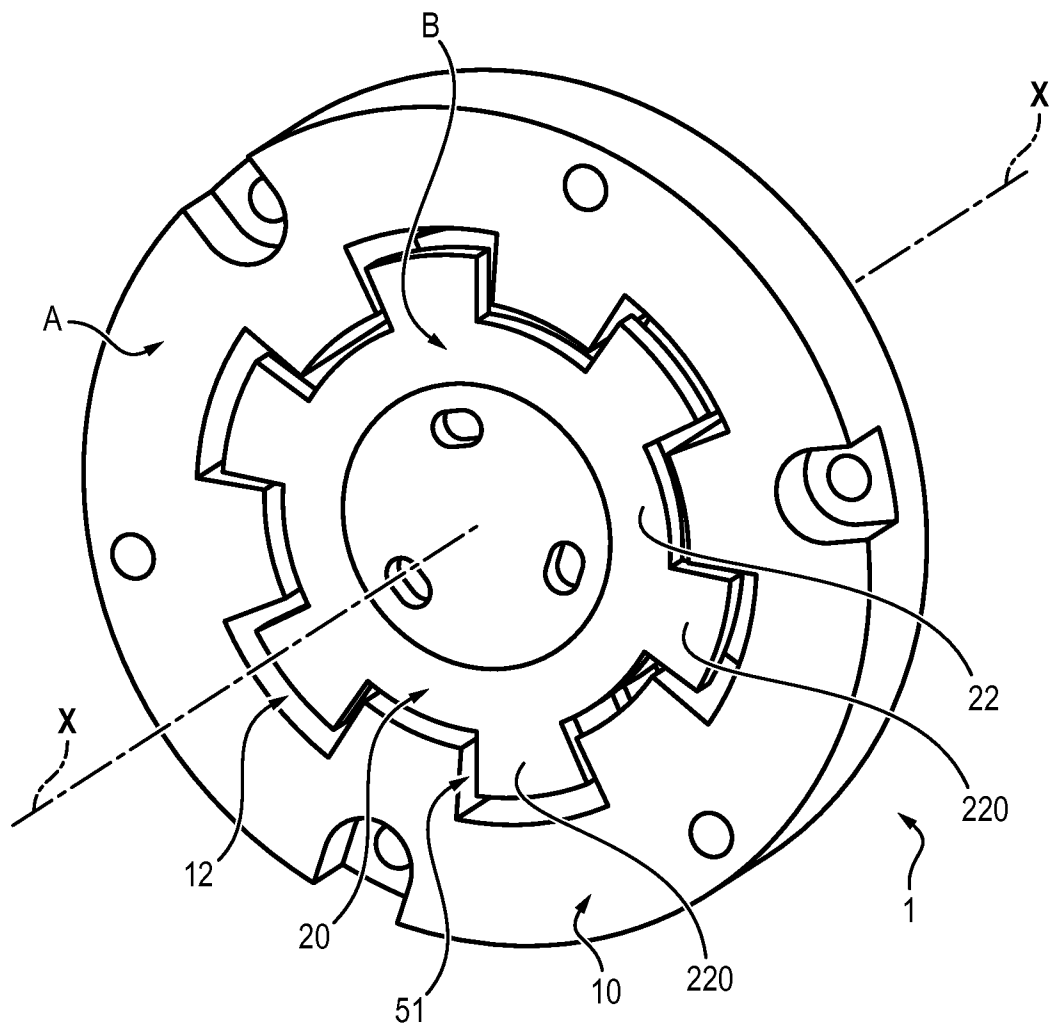
6. Capteur (1) de rotation selon l'une des revendications précédentes, dans lequel
chaque dent (220) est en outre séparée d'une surface de son encoche respective
25 par un entrefer dit radial (52),
dans lequel le plus petit entrefer tangentiel (51L) entre une dent latérale (220L) et l'encoche présente une largeur inférieure à celle de l'entrefer radial (52).

7. Capteur (1) de rotation selon l'une des revendications 2 à 6, dans lequel l'un du
30 rotor (B) ou du stator (A) comprend au moins deux disques (22), chaque dent (220) étant portée par un disque, et un cylindre (23) s'étendant entre les disques, le bobinage primaire (30) et un bobinage secondaire (40) étant enroulés autour du cylindre (23).

8. Capteur (1) de rotation selon la revendication 7, dans lequel le bobinage secondaire (40) est enroulé autour du cylindre (23) et le bobinage primaire (30) est entouré autour du bobinage secondaire (40).
- 5 9. Capteur (1) de rotation selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre une unité d'acquisition et de traitement (50), adaptée pour mesurer une tension aux bornes des bobinages secondaires et pour en déduire un angle de rotation du rotor par rapport au stator.
- 10 10. Ensemble comprenant :
- un arbre de torsion (130) et un arbre libre (3), concentriques et montés à débattement angulaire l'un par rapport à l'autre,
 - un actionneur (2), comprenant un arbre de sortie (120) rotatif entraînant les deux arbres (130, 3), et
 - 15 - un capteur de rotation (1) selon la revendication 9, le rotor (20) du capteur étant solidaire en rotation de l'arbre libre et le stator (10) étant solidaire en rotation de l'arbre de torsion,
- dans lequel l'unité (50) d'acquisition et de traitement du capteur est en outre adaptée pour déterminer, à partir d'un angle de rotation du rotor, un couple subi par
- 20 l'arbre de torsion.

1/7

FIG. 1



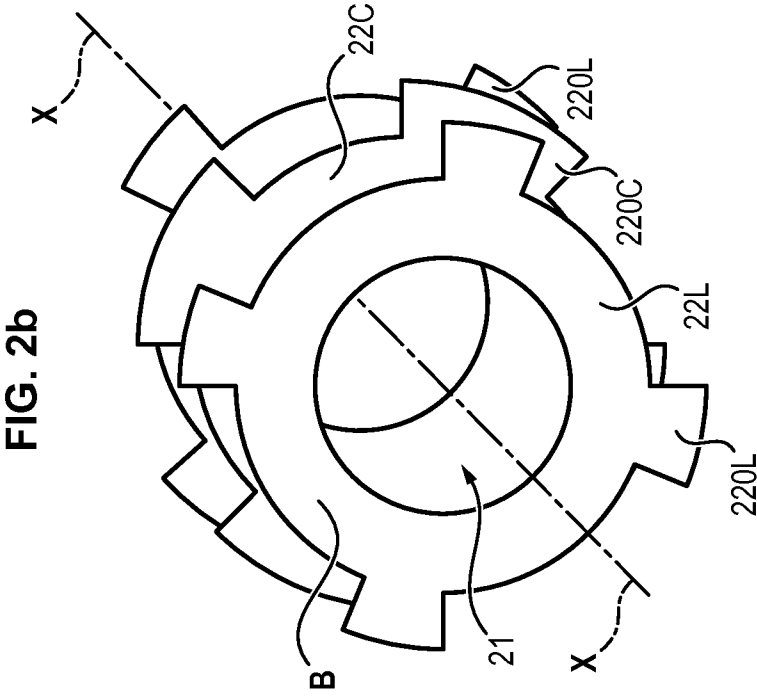
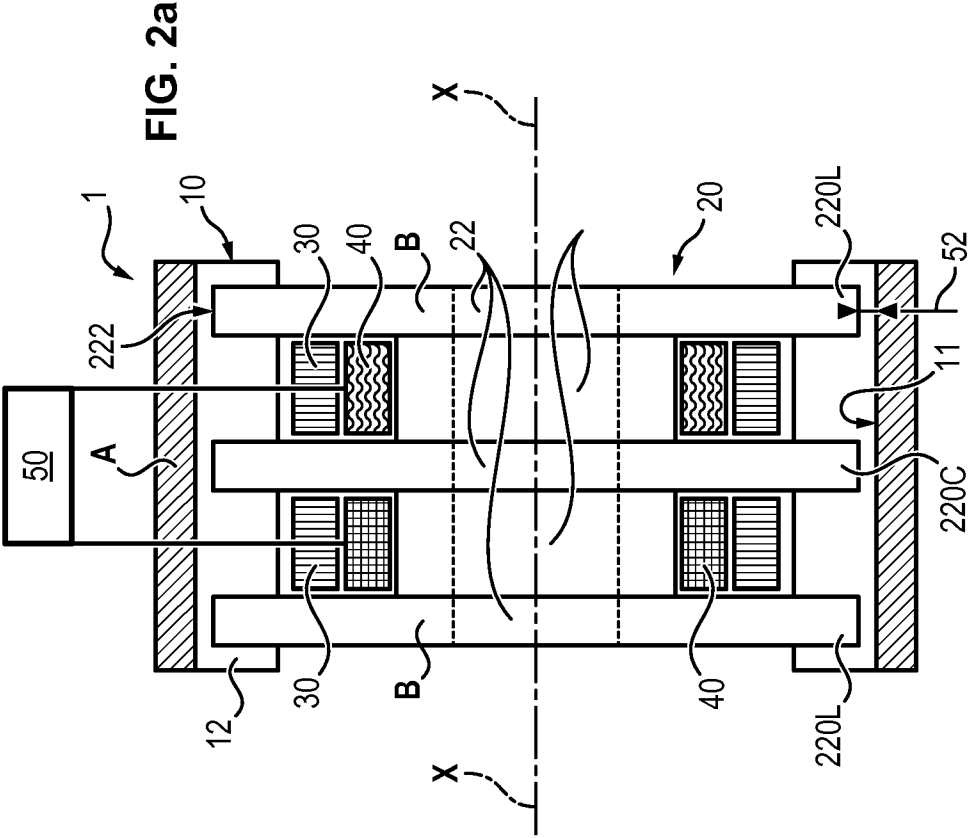
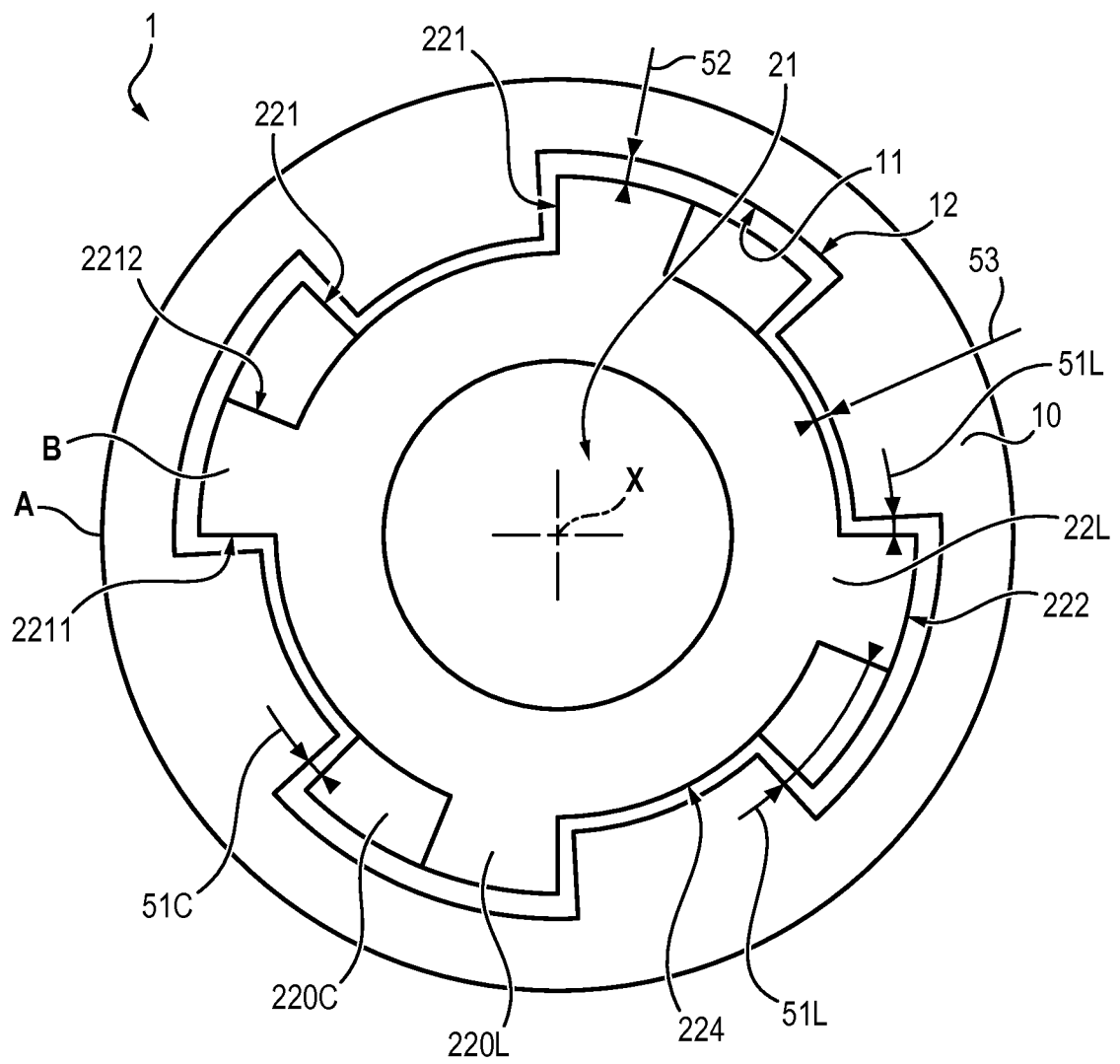


FIG. 2c



4/7

FIG. 3a

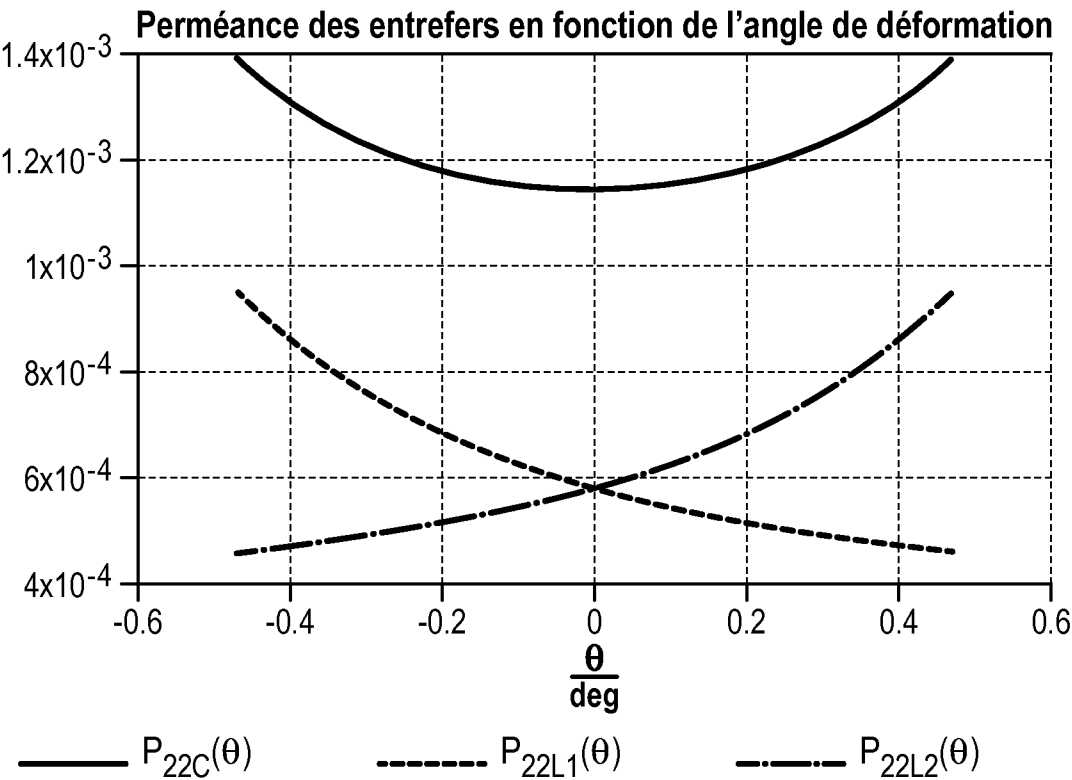
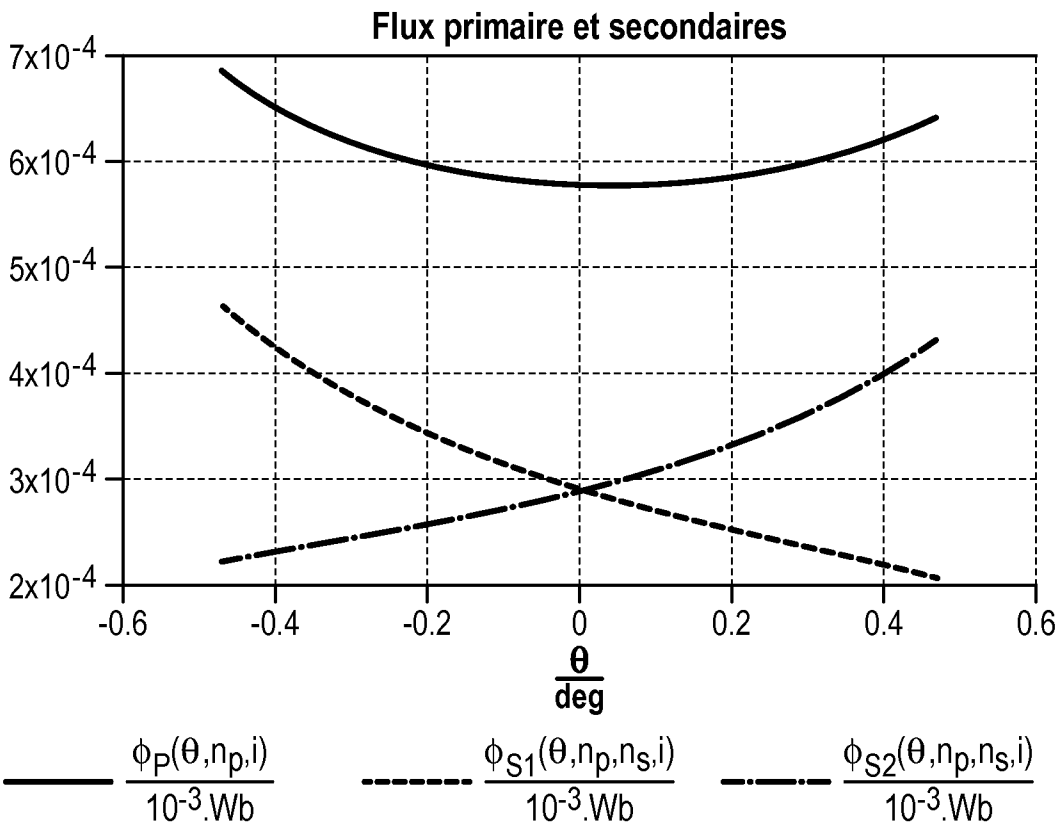


FIG. 3b



5/7

FIG. 3c

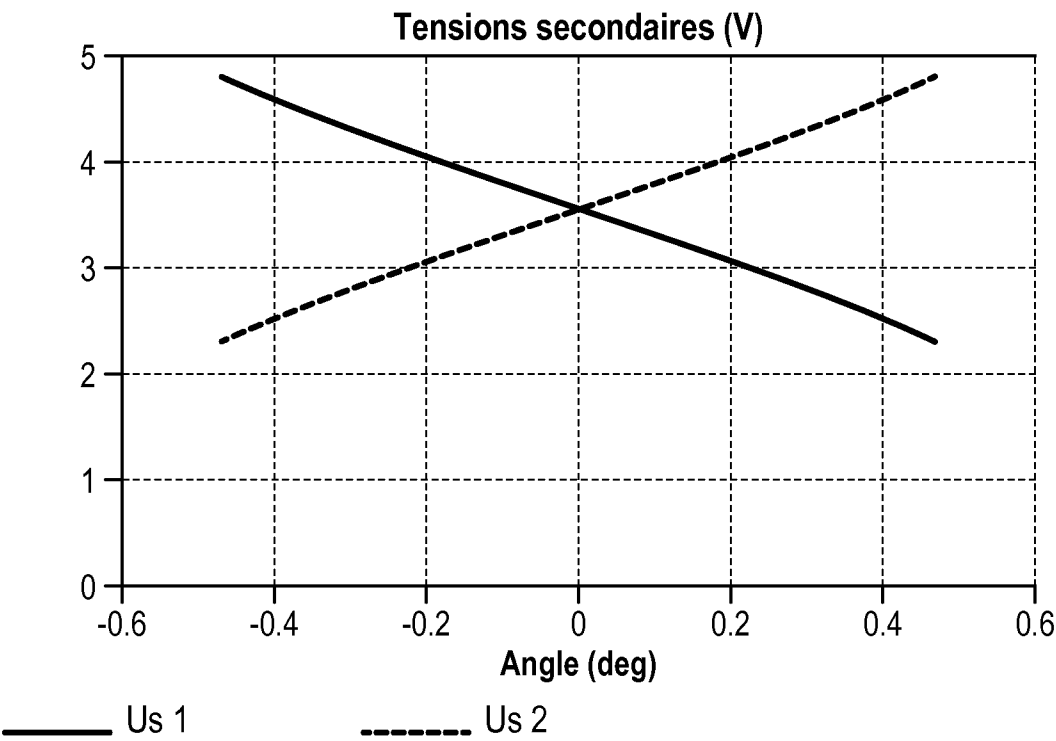
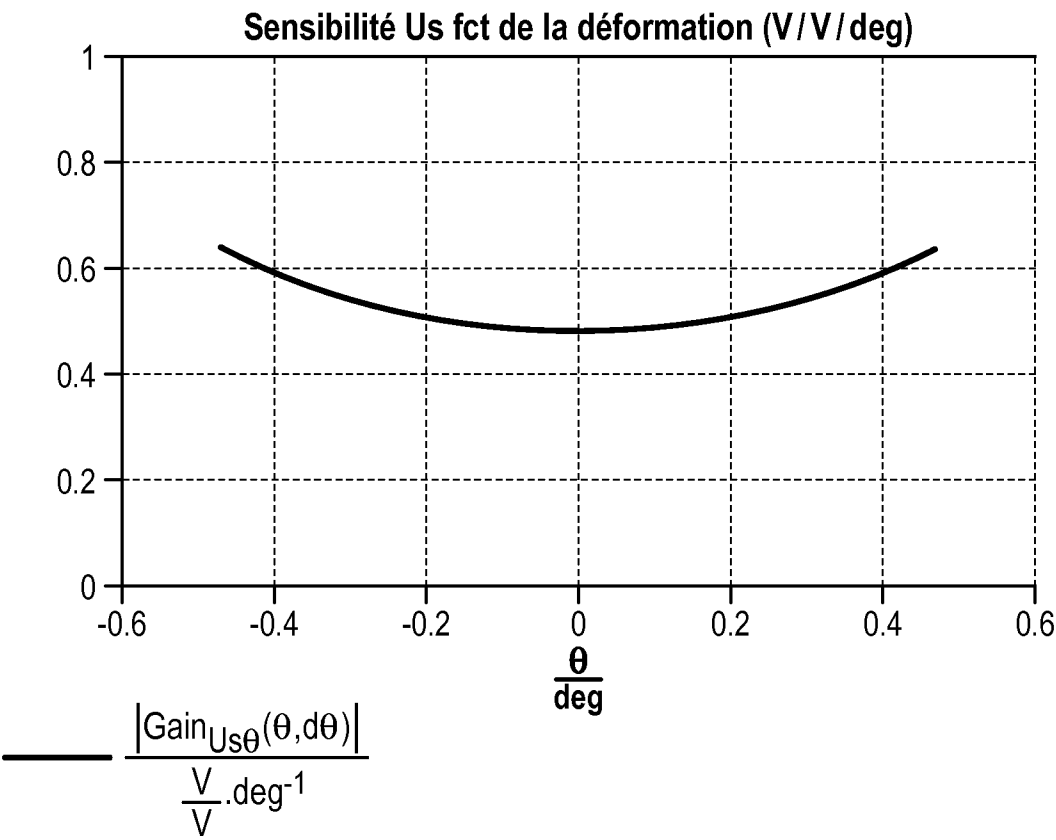


FIG. 3d



6/7

FIG. 3e

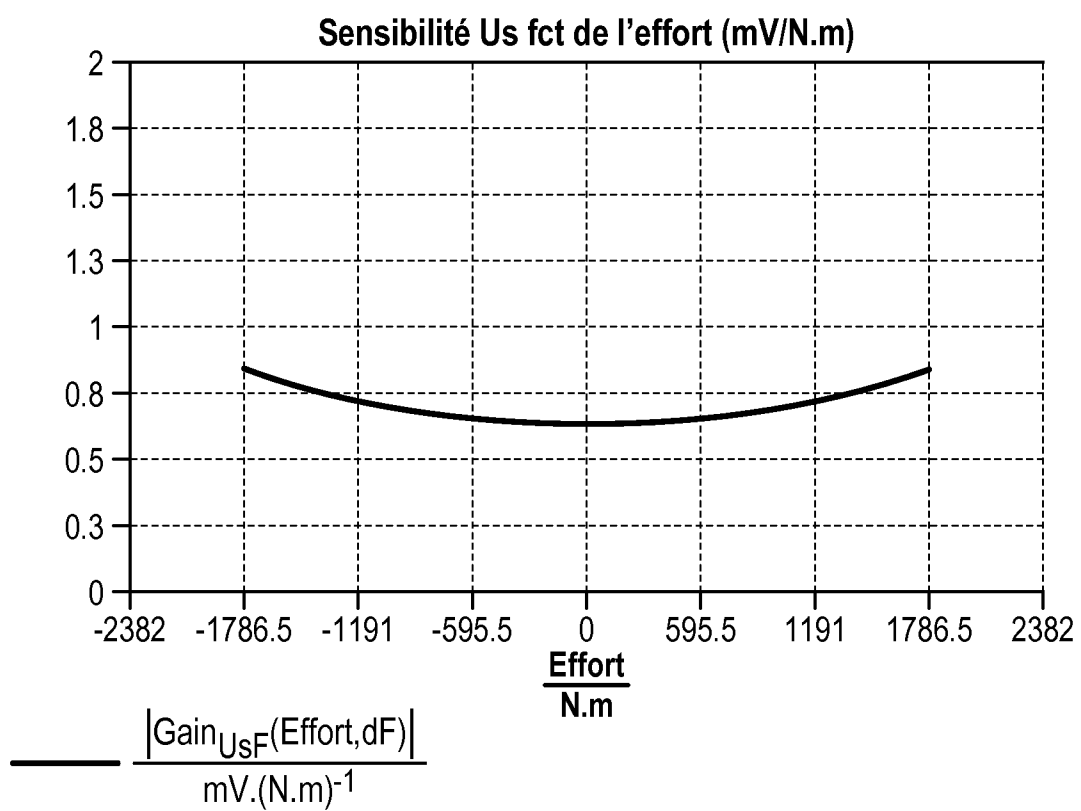
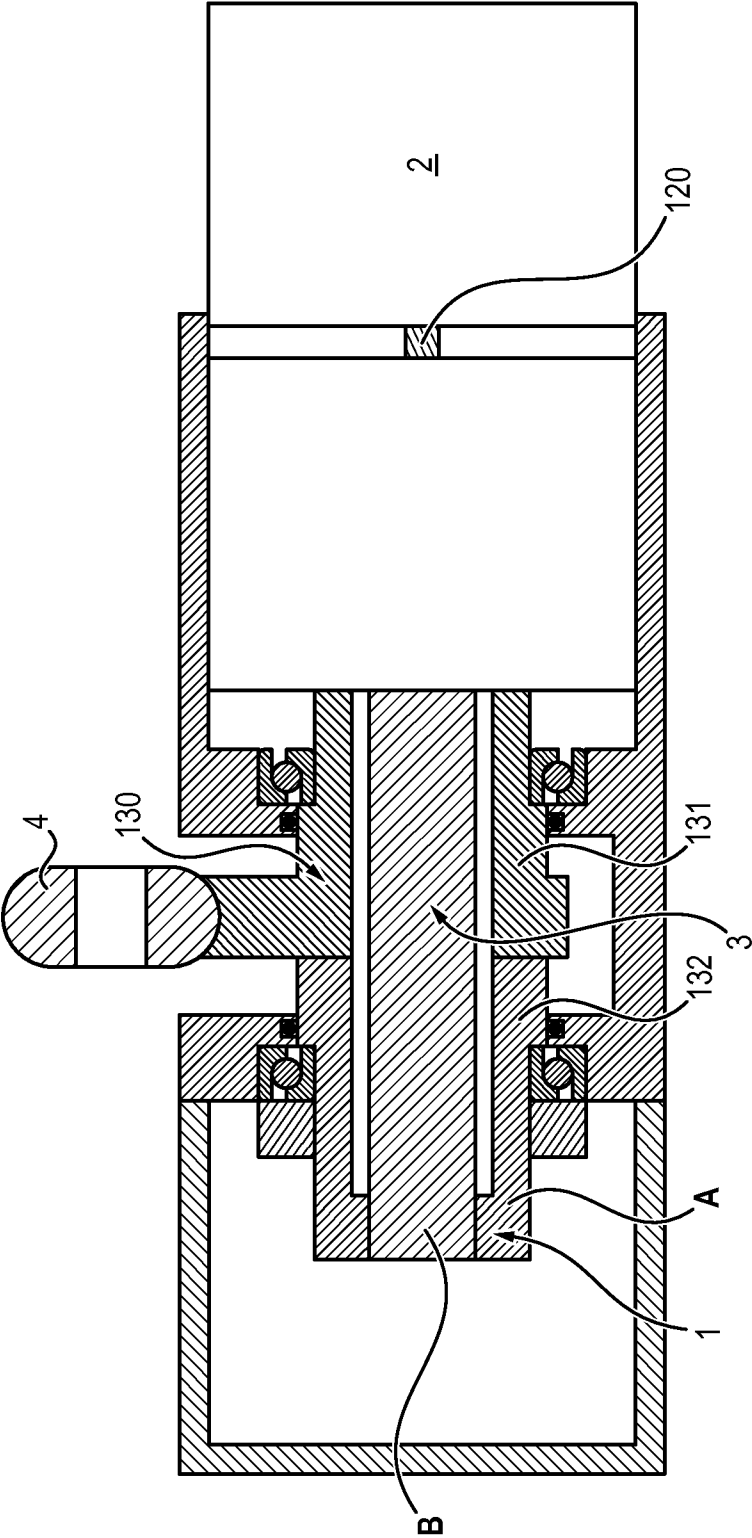


FIG. 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/070976

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01L1/12 G01D5/22 G01B7/30 G01L3/10 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01L G01D G01B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 2 050 623 A (SANGAMO WESTON) 7 January 1981 (1981-01-07) abstract; claim 1; figures 1, 3, 8 page 2, lines 40-57, 66-72 -----	1-10
A	US 2008/258715 A1 (REICHERT ANDREAS [DE]) 23 October 2008 (2008-10-23) abstract; claims 1, 12; figures 1-10 paragraph [0020] -----	1-10
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search 20 October 2015	Date of mailing of the international search report 27/10/2015	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Moscelli, Nicola	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/070976

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 2050623	A	07-01-1981	NONE

US 2008258715	A1	23-10-2008	CN 101213431 A 02-07-2008
			DE 102005031086 A1 18-01-2007
			EP 1902288 A1 26-03-2008
			JP 4819889 B2 24-11-2011
			JP 2008545146 A 11-12-2008
			KR 20080021118 A 06-03-2008
			US 2008258715 A1 23-10-2008
			WO 2007003468 A1 11-01-2007

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2015/070976

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01L1/12 G01D5/22 G01B7/30 G01L3/10 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01L G01D G01B		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	GB 2 050 623 A (SANGAMO WESTON) 7 janvier 1981 (1981-01-07) abrégé; revendication 1; figures 1, 3, 8 page 2, lignes 40-57, 66-72 -----	1-10
A	US 2008/258715 A1 (REICHERT ANDREAS [DE]) 23 octobre 2008 (2008-10-23) abrégé; revendications 1, 12; figures 1-10 alinéa [0020] -----	1-10
☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
20 octobre 2015	27/10/2015	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale		Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Moscelli, Nicola

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2015/070976

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
GB 2050623	A	07-01-1981	AUCUN	

US 2008258715	A1	23-10-2008	CN 101213431 A	02-07-2008
			DE 102005031086 A1	18-01-2007
			EP 1902288 A1	26-03-2008
			JP 4819889 B2	24-11-2011
			JP 2008545146 A	11-12-2008
			KR 20080021118 A	06-03-2008
			US 2008258715 A1	23-10-2008
			WO 2007003468 A1	11-01-2007
