



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
01.10.2014 Bulletin 2014/40

(51) Int Cl.:
G04B 17/32 (2006.01) G04B 15/14 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **13161123.8**

(22) Date de dépôt: **26.03.2013**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME

- **Sarchi, Davide**
1020 Renens (CH)
- **Karapatis, Polychronis (Nakis)**
1324 Premier (CH)
- **Verardo, Marco**
2336 Les Bois (CH)

(71) Demandeur: **Montres Breguet SA**
1344 L'Abbaye (CH)

(74) Mandataire: **Giraud, Eric et al**
ICB
Ingénieurs Conseils en Brevets SA
Faubourg de l'Hôpital 3
2001 Neuchâtel (CH)

(72) Inventeurs:
• **Zaugg, Alain**
1347 Le Sentier (CH)

(54) **Arbre de mobile à géométrie optimisée en environnement magnétique**

(57) Arbre (1) de mobile (10) d'horlogerie comportant une partie saillante (11) de plus grand rayon (RMAX) autour d'un axe de pivotement (D).

Ladite partie saillante (11) est délimitée par deux surfaces (14 ; 15) définissant un profil (12) inscrit dans un rectangle (R) dont le rapport de forme est supérieur à 2, dont la direction de la longueur (LR) définit un axe principal (DP).

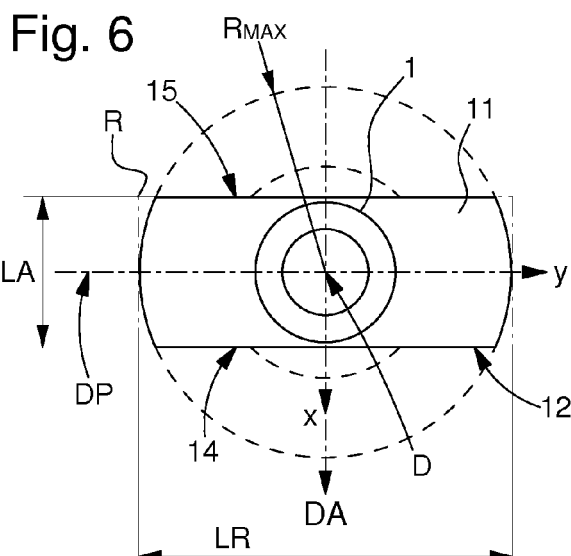
Mobile (10) d'horlogerie comportant un tel arbre (1) en acier, et oscillant autour d'une position de repos dé-

finie par un plan de repos.

Dans ladite position de repos ledit axe principal (DP) occupe une position angulaire déterminée par rapport audit plan de repos.

Mécanisme (20) comportant un tel mobile (10) et ayant une direction d'aimantation préférentielle (DA).

Dans ladite position de repos, ledit axe principal (DP) est orthogonal à ladite direction d'aimantation préférentielle (DA).



Description

Domaine de l'invention

[0001] L'invention concerne un arbre de mobile d'horlogerie destiné à pivoter autour d'un axe de pivotement et comportant au moins une partie saillante de plus grand rayon autour dudit axe de pivotement.

[0002] L'invention concerne encore un mobile d'horlogerie comportant un tel arbre, ledit arbre étant en acier, ledit mobile oscillant autour d'une position de repos définie par un plan de repos passant par ledit axe de pivotement.

[0003] L'invention concerne encore un mécanisme comportant un tel mobile rappelé vers ladite position de repos par des moyens de rappel élastique, ledit mécanisme ayant une direction d'aimantation préférentielle.

[0004] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant au moins un tel mécanisme.

[0005] L'invention concerne encore une montre comportant au moins un tel mouvement d'horlogerie, ou/et comportant au moins un tel mécanisme.

[0006] L'invention concerne le domaine des mécanismes d'horlogerie, en particulier le domaine des organes réglants, en particulier pour des montres mécaniques.

Arrière-plan de l'invention

[0007] L'organe réglant d'une montre mécanique est constitué par un oscillateur harmonique, le balancier-spiral, dont la fréquence propre d'oscillation dépend principalement de l'inertie du balancier et de la rigidité élastique du spiral.

[0008] Les oscillations du balancier-spiral, autrement amorties, sont entretenues par les impulsions fournies par un échappement généralement composé par un ou deux mobiles pivotants. Dans le cas de l'échappement à ancre suisse, ces mobiles pivotants sont l'ancre et la roue d'échappement. La marche de la montre est déterminée par la fréquence du balancier-spiral et par la perturbation générée par l'impulsion de l'échappement, qui généralement ralentit l'oscillation propre du balancier-spiral et donc provoque un retard de marche.

[0009] La marche de la montre est donc perturbée par tous les phénomènes qui peuvent altérer la fréquence propre du balancier-spiral et/ou la dépendance temporelle de l'impulsion fournie par l'échappement.

[0010] En particulier, suite à l'exposition transitoire d'une montre mécanique à un champ magnétique, des défauts de marche (liés à l'effet résiduel du champ) sont généralement observés. L'origine de ces défauts est la magnétisation permanente des composants ferromagnétiques fixes du mouvement ou de l'habillage et la magnétisation permanente ou transitoire des composants magnétiques mobiles faisant partie de l'organe réglant (balancier-spiral) et/ou de l'échappement.

[0011] Après l'exposition au champ, les composants mobiles (balancier, spiral, échappement) magnétisés ou

perméables magnétiquement sont soumis à un couple magnétostatique et/ou à des forces magnétostatiques. En principe, ces interactions modifient la rigidité apparente du balancier-spiral, la dynamique des mobiles d'échappement et les frottements. Ces modifications produisent un défaut de marche qui peut aller de quelques dizaines à quelques centaines de secondes par jour.

[0012] L'interaction du mouvement horloger avec le champ externe, lors de l'exposition, peut aussi mener à l'arrêt du mouvement. En principe, l'arrêt sous champ et le défaut de marche résiduel ne sont pas corrélés, parce que l'arrêt sous champ dépend de l'aimantation transitoire, sous-champ, des composants (et donc de la perméabilité et du champ de saturation des composants), tandis que le défaut de marche résiduel dépend de l'aimantation résiduelle (et donc, principalement, du champ coercitif des composants) qui peut être faible même en présence d'une perméabilité magnétique importante.

[0013] Après l'introduction des spiraux fabriqués en matériaux très faiblement paramagnétiques (par exemple, en silicium), le spiral n'est plus responsable du défaut de marche des montres. Les perturbations magnétiques encore observables pour des champs d'aimantation inférieurs à 1,5 Tesla sont donc dues à l'aimantation de l'arbre de balancier et à l'aimantation des mobiles d'échappement.

[0014] Le corps d'ancre et la roue d'échappement peuvent être fabriqués en matériaux très faiblement paramagnétiques, sans que leur performance mécanique en soit affectée. Au contraire, les arbres des mobiles nécessitent de très bonnes performances mécaniques (bonne tribologie, faible fatigue) pour permettre un pivotement optimal et constant dans le temps, et il est donc préférable de les fabriquer en acier trempable (typiquement en acier au carbone de type 20AP ou similaire). Or de tels aciers sont des matériaux sensibles aux champs magnétiques parce qu'ils présentent un champ de saturation élevé combiné à un champ coercitif élevé. Les arbres de balancier, ancre et roue d'échappement sont actuellement les composants les plus critiques face aux perturbations magnétiques de la montre.

[0015] En particulier, l'arbre de balancier est le composant le plus sensible pour la chronométrie (effet résiduel), parce qu'un couple perturbateur d'origine magnétique agissant sur l'arbre modifie directement la fréquence d'oscillation du balancier-spiral, et cette modification est, en principe, illimitée (elle dépend uniquement de l'intensité des champs magnétiques résiduels et de la rigidité du spiral), tandis qu'une perturbation de la fonction d'échappement donne un défaut de marche limité par le retard à l'échappement nominal (la perturbation résultante ne peut pas être beaucoup plus importante que la perturbation déjà produite par l'échappement en conditions normales).

Résumé de l'invention

[0016] L'invention se propose de limiter l'interaction magnétique sur un arbre de mobile, en particulier sur un arbre de balancier.

[0017] A cet effet, l'invention concerne un arbre de mobile d'horlogerie destiné à pivoter autour d'un axe de pivotement et comportant au moins une partie saillante de plus grand rayon autour dudit axe de pivotement, **caractérisé en ce que** au moins ladite partie saillante est délimitée, de part et d'autre dudit axe de pivotement, par deux surfaces, qui définissent, en projection sur un plan perpendiculaire audit axe de pivotement, un profil inscrit dans un rectangle dont le rapport de la longueur à la largeur définit un rapport de forme qui est supérieur ou égal à 2, la direction de ladite longueur définissant un axe principal.

[0018] Selon une caractéristique de l'invention, au moins une partie de profil rectangulaire délimité sur deux côtés antagonistes par lesdites deux surfaces, que comporte ledit arbre comporte, comporte au moins une découpe centrée sur ledit axe de pivotement et s'étendant selon une axe principal qui est celle de la longueur dudit rectangle.

[0019] Selon une caractéristique de l'invention, lesdites deux surfaces sont symétriques par rapport audit axe de pivotement.

[0020] Selon une caractéristique de l'invention, lesdites deux surfaces sont planes et parallèles audit axe de pivotement.

[0021] L'invention concerne encore un mobile d'horlogerie comportant un tel arbre, ledit arbre étant en acier, ledit mobile oscillant autour d'une position de repos définie par un plan de repos passant par ledit axe de pivotement, **caractérisé en ce que**, dans ladite position de repos dudit mobile, ledit axe principal occupe une position angulaire déterminée par rapport audit plan de repos.

[0022] Selon une caractéristique de l'invention, ledit arbre en acier présente un champ de saturation élevé de valeur supérieure à 1 T, une perméabilité magnétique maximale supérieure à 50, et un champ coercitif supérieur à 3 kA/m.

[0023] L'invention concerne encore un mécanisme comportant un tel mobile selon rappelé vers ladite position de repos par des moyens de rappel élastique, ledit mécanisme ayant une direction d'aimantation préférentielle, et **caractérisé en ce que**, dans ladite position de repos, ledit axe principal est orthogonal à ladite direction d'aimantation préférentielle.

[0024] Selon une caractéristique de l'invention, ledit mécanisme est un mécanisme d'échappement, et ledit mobile est un balancier ramené vers ladite position de repos par au moins un ressort-spiral, et ledit arbre est un arbre de balancier.

[0025] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant au moins un tel mécanisme.

[0026] L'invention concerne encore une montre comportant au moins un tel mouvement d'horlogerie, ou/et

comportant au moins un tel mécanisme.

Description sommaire des dessins

- [0027]** D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, où :
- 10 - la figure 1 représente, sous forme d'un schéma tridimensionnel, une première variante d'arbre de mobile selon l'invention, comportant des usinages de révolution autour d'un axe de pivotement, dont une partie saillante de plus grand encombrement radial que les autres, cet arbre comportant deux surfaces latérales symétriques par rapport à cet axe de pivotement, et à une distance l'une de l'autre telle que le rapport de forme de cette partie saillante, en projection selon un plan perpendiculaire à l'axe de pivotement, est supérieur à 2, et où la plus grande dimension, dite « axe principal » s'étend de façon orthogonale à une direction d'aimantation préférentielle de l'environnement immédiat du mobile ;
 - 20 - la figure 2 représente, de façon similaire à la figure 1, une deuxième variante d'arbre de mobile selon l'invention, où la partie saillante est de profil rectangulaire avec un rapport de forme supérieur à 2, et où certaines parties constituant des support d'autres composants sont également de profil rectangulaire ;
 - 30 - la figure 3 représente une variante de la figure 2, où la partie saillante et une autre partie de profil rectangulaire comportent des découpes s'étendant selon leur plus grande dimension ;
 - 35 - la figure 4 représente, de façon schématisée, en vue de bout selon la direction de l'axe principal de l'arbre de la figure 2, et avec une coloration grisée d'autant plus intense que le champ rémanent est élevé, après son exposition à un champ magnétique selon la direction d'aimantation préférentielle de l'environnement du mobile ;
 - 40 - la figure 5 illustre, sous forme d'un graphe, la comparaison des couples magnétiques exercés sur un arbre de balancier traditionnel selon le graphe GT représenté en trait interrompu, et sur un arbre optimisé selon l'invention selon le graphe GO est représenté en trait continu. En abscisse figure l'angle en degrés, et en ordonnée le couple exercé sur le balancier, en mN.mm ;
 - 45 - la figure 6 est une vue de bout, selon la direction de l'axe de pivotement, d'un arbre selon la figure 1, et illustré comme la transformation d'un arbre entièrement de révolution et de plus grand rayon RMAX ;
 - 50
 - 55

- la figure 7 représente, sous forme d'un schéma-blocs, une pièce d'horlogerie, comportant un mouvement comportant un mécanisme comportant un mobile équipé d'un arbre selon l'invention.

Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0028] L'invention plus particulièrement le domaine des organes réglants d'horlogerie pour des montres mécaniques.

[0029] L'invention se propose de limiter l'interaction magnétique sur un arbre de mobile, en particulier sur un arbre de balancier.

[0030] L'invention concerne ainsi un arbre de mobile à géométrie optimisée en environnement magnétique

[0031] L'invention peut permettre à des montres avec spiral, corps d'ancre et roue d'échappement amagnétiques de résister, sans s'arrêter, à des champs magnétiques de intensité élevée, de l'ordre de 0,5 Tesla, sans que les performances mécaniques (chronométrie et vieillissement des mobiles) soient affectées.

[0032] La mise en oeuvre de l'invention permet de réduire l'effet résiduel des montres avec spiral, corps d'ancre et roue d'échappement amagnétiques à moins de une seconde par jour.

[0033] Par convention, on appelle, dans la présente description « axe » un élément géométrique virtuel tel qu'un axe de pivotement, et « arbre » un élément mécanique réel, réalisé en une ou plusieurs parties. Par exemple, une paire de pivots 2A et 2B alignés et rapportés de part et d'autre d'une partie médiane 6 d'un mobile 10, pour le guider en pivotement est aussi dénommée « arbre ».

[0034] Dans la suite de l'exposé, on définit par matériaux « perméables magnétiquement », des matériaux qui ont une perméabilité relative comprise entre 10 et 10000, comme des aciers, qui ont une perméabilité relative voisine de 100 pour des arbres de balanciers par exemple, ou voisine de 4000 pour les aciers utilisés couramment dans les circuits électriques, ou encore d'autres alliages dont la perméabilité relative atteint des valeurs de 8000 à 10000.

[0035] On appellera matériaux « magnétiques », par exemple dans le cas de masses polaires, des matériaux aptes à être aimantés de façon à présenter un champ rémanent compris entre 0,1 et 1,5 Tesla, comme par exemple le « Neodymium Iron Boron » d'une densité d'énergie magnétique E_m voisine de 512 kJ/m³ et donnant un champ rémanent de 0,5 à 1,3 Tesla. Un niveau de champ rémanent inférieur, vers la partie inférieure de la fourchette peut être utilisé en cas de combinaison, dans un couple d'aimantation, d'un tel matériau magnétique avec un composant antagoniste perméable magnétiquement de perméabilité élevée, plus proche de 10000, dans la fourchette de 100 à 10000.

[0036] On appellera matériaux « ferromagnétiques » des matériaux dont les caractéristiques sont : champ de saturation $B_s > 0$ à la température $T = 23^\circ\text{C}$, champ coercitif $H_c > 0$ à la température $T = 23^\circ\text{C}$, perméabilité magnétique maximale $\mu_R > 2$ à la température $T = 23^\circ\text{C}$, température de Curie $T_c > 60^\circ\text{C}$.

citif $H_c > 0$ à la température $T = 23^\circ\text{C}$, perméabilité magnétique maximale $\mu_R > 2$ à la température $T = 23^\circ\text{C}$, température de Curie $T_c > 60^\circ\text{C}$.

[0037] Plus particulièrement, on qualifiera de « faiblement ferromagnétiques » ceux dont les caractéristiques sont : champ de saturation $B_s < 0,5 \text{ T}$ à la température $T = 23^\circ\text{C}$, champ coercitif $H_c < 1'000 \text{ kA/m}$ à la température $T = 23^\circ\text{C}$, perméabilité magnétique maximale $\mu_R < 10$ à la température $T = 23^\circ\text{C}$, température de Curie $T_c > 60^\circ\text{C}$.

[0038] Plus particulièrement, on qualifiera de « fortement ferromagnétiques » ceux dont les caractéristiques sont : champ de saturation $B_s > 1 \text{ T}$ à la température $T = 23^\circ\text{C}$, champ coercitif $H_c > 3'000 \text{ kA/m}$ à la température $T = 23^\circ\text{C}$, perméabilité magnétique maximale $\mu_R > 50$ à la température $T = 23^\circ\text{C}$, température de Curie $T_c > 60^\circ\text{C}$.

[0039] On appellera matériaux « paramagnétiques » des matériaux de perméabilité magnétique relative comprise entre 1,0001 et 100, par exemple pour des entretoises interposées entre un matériau magnétique et un composant antagoniste perméable magnétiquement, ou encore entre deux matériaux magnétiques, par exemple une entretoise entre un composant et une masse polaire.

Par exemple, des matériaux faiblement paramagnétiques sont : aluminium, or, laiton ou similaire (perméabilité magnétique inférieure à 2).

[0040] On appellera matériaux « diamagnétiques » des matériaux de perméabilité magnétique relative inférieure à 1 (susceptibilité magnétique négative, inférieure ou égale à -10^{-5}), tels que graphite ou graphène.

[0041] On appellera enfin matériaux « magnétiques doux », pour ne pas dire amagnétiques, notamment pour des blindages, des matériaux ayant une perméabilité élevée mais une haute saturation, car on ne veut pas qu'ils soient aimantés de manière permanente: ils doivent conduire le mieux possible le champ, de manière à réduire le champ à leur extérieur. De tels composants peuvent alors protéger aussi un système magnétique des champs externes. Ces matériaux sont choisis de préférence de perméabilité magnétique relative comprise entre 50 et 200, et avec un champ de saturation supérieur à 500 A/m.

[0042] Des matériaux qualifiés d'« amagnétiques », ont quant à eux une perméabilité magnétique relative très légèrement supérieure à 1, et inférieure à 1,0001, comme typiquement le silicium, le diamant, le palladium et similaires. Ces matériaux peuvent en général être obtenus par des technologies MEMS ou par le procédé « LIGA ».

[0043] L'invention concerne un arbre 1 d'horlogerie, pour un mobile 10, et optimisé pour le fonctionnement de ce mobile 10 dans un environnement où règne un champ magnétique résiduel selon une direction d'aimantation préférentielle DAP.

[0044] Dans une réalisation préférée et décrite ci-après en détail et illustrée par les figures, ce mobile 10 est un balancier. L'homme du métier saura extrapoler l'invention à d'autres mobiles horlogers pour lesquels il

souhaite se soustraire à l'influence d'un champ magnétique résiduel.

[0045] La géométrie d'un arbre 1 de balancier 10 usuel, relativement standard dans l'industrie horlogère, n'est pas optimisée pour limiter son aimantation sous un champ externe. En fait, la partie médiane 6 de l'arbre 1, ayant un plus grand rayon RMAX, est fortement aimantée par un champ magnétique orthogonal ou oblique par rapport à la direction de l'axe de pivotement D. A cause de cette aimantation, en présence d'un champ environnemental (champ externe ou créé par les composants magnétisés du mouvement ou de la montre), l'arbre 1 est soumis à un couple magnétique important.

[0046] Le balancier 10 fait partie d'un mécanisme d'échappement 20, dans un mouvement 30 d'une montre 40.

[0047] L'invention se propose de modifier la géométrie de l'arbre 1 de balancier, en modifiant le rapport de forme de la partie dite saillante 11, qui est la partie de plus grand encombrement radial de cet arbre de balancier, en lui donnant, en projection sur un plan perpendiculaire à l'axe de pivotement D de l'arbre 1 du balancier 10, un rapport de forme très différent de 1, de préférence supérieur ou égal à 2.

[0048] L'idée est de réduire une des deux dimensions x ou y (en projection dans un plan perpendiculaire à l'axe de pivotement D), la manière la plus simple est de limiter localement l'arbre 1 par deux surfaces 14, 15, sensiblement parallèles à l'axe D, lesquelles surfaces 14 et 15 sont de préférence deux plans parallèles à l'axe D ; en effet, si les surfaces, notamment les plans, ne sont pas parallèles, il reste alors une partie plus large qui peut s'aimanter davantage que le reste. Ces deux surfaces 14 et 15 sont de préférence très proches l'une de l'autre, pour réduire l'aimantation dans cette direction, et pour bien définir une seule direction privilégiée d'aimantation dans le plan xy.

[0049] La projection de cette partie saillante 11 selon un plan perpendiculaire à l'axe de pivotement D du balancier 10, a un profil 12, qui s'inscrit dans un rectangle R symétrique par rapport à deux axes orthogonaux, dont un axe principal DP selon lequel s'étend la plus grande dimension de cette partie saillante 11. Le rapport de forme est le rapport entre les deux dimensions du rectangle, longueur LR et largeur LA.

[0050] De ce fait, après transformation, l'arbre 1 de balancier n'a plus de symétrie de révolution.

[0051] Selon l'invention, en position de repos du balancier, cet axe principal DP, selon lequel s'étend la plus grande dimension de cette partie saillante 11 se trouve en position orthogonale par rapport à la direction d'aimantation préférentielle DA de l'environnement du mouvement. Cet axe principal DA est généralement déterminée par des ponts, des barrettes, des vis, ou similaires ; elle dépend directement de la construction et généralement elle est assez évidente, par l'examen du facteur de forme des composants en acier près de l'axe ; dans des situations ambiguës, il suffit de réaliser une

simulation par éléments fini ou par charges équivalentes pour la déterminer facilement.

[0052] Cette position dite « de repos » du balancier correspond à celle qu'il occupe quand le spiral est au repos : c'est la position dans laquelle le mouvement est le moins souvent, mais, comme expliqué dans la suite de l'exposé, c'est la position moyenne et, pour les champs externes très intenses, c'est la position qui définit l'aimantation résultante.

[0053] Dans une réalisation particulière, le plateau du balancier a sa plus grande dimension perpendiculaire à la ligne d'échappement, ce qui permet de maximiser les effets de surface face aux effets de volume, de manière à réduire au minimum l'aimantation dans la direction du champ et, partant, les effets « boussole » qui créent un couple perturbateur.

[0054] La combinaison de la fabrication de l'arbre 1 selon un tel profil 12, avec l'orientation orthogonale de son axe principal DP par rapport à la direction d'aimantation préférentielle DA, est appelée « géométrie magnétiquement optimisée ».

[0055] Plusieurs variantes sont illustrées par les figures.

[0056] La figure 1 montre un arbre 1 de balancier avec une géométrie magnétiquement optimisée réaliste. Les parties les plus larges, qui sont utilisées comme support, ont un rapport de forme important, la dimension la plus grande étant orientée avec son axe principal DP dans la direction orthogonale à la direction d'aimantation préférentielle DA de l'environnement du mouvement. Cet arbre 1 est dessiné sur une base classique d'arbre de balancier, avec des portées tournées de pivots, de supports : d'appui de virole, de serge, d'assiette, de double plateau, ou autres. Sur cet exemple, la partie de plus grand diamètre 11 sert d'appui à une face d'une serge 50, non représentée sur la figure, l'arbre 1 comportant une portée 13 de centrage de cette serge ; le profil 12 est ici réalisé par usinage, notamment par fraisage ou tournage, ou similaire, de deux surfaces antagonistes 14 et 15, tel que visible aussi sur la figure 6, ces surfaces sont des surfaces planes dans une exécution simplifiée et préférée. Cette variante permet de transformer à peu de frais des arbres de balanciers existants pour les adapter à l'invention, les autres composants du balancier, ou du mécanisme dans lequel il est intégré, ne nécessitant aucune modification géométrique.

[0057] La figure 2 montre un arbre 1 de balancier avec une géométrie magnétiquement optimisée schématisée. Les parties les plus larges, qui sont utilisées comme support, ont un rapport de forme important, la dimension la plus grande étant orientée avec son axe principal DP dans la direction orthogonale à la direction d'aimantation préférentielle DA de l'environnement du mouvement. Si certaines portées, notamment les pivots, restent de révolution, la partie saillante 11 est ici de forme prismatique, avec les surfaces antagonistes 14 et 15, et des surfaces de bout 16 et 17 sur les petits côtés du rectangle enveloppe du profil 12, qui sont toutes planes, dans une réa-

lisation particulière. Pour d'autres fonctions d'appui de l'arbre 1 de balancier, d'autres parties 11A, 11B, avec un rapport de forme supérieur à 1 sont ménagées parallèlement à la partie saillante principale 11, et ont toutes leur axe principal DP dans la direction orthogonale à la direction d'aimantation préférentielle DA. Le fraisage en bout des faces 16A, 16B, 17A, 17B, conjugué avec le fraisage des prolongements des plans 14 et 15 au niveau de ecs parties 11A, 11B, offre l'avantage de permettre la fuite des champs magnétiques, et de réduire d'avantage l'aimantation résiduelle.

[0058] La figure 3 illustre une géométrie optimisée alternative, dérivée de celle de la figure 2. Dans ce cas, les parties de support les plus longues, de la partie saillante principale 11, mais aussi des autres parties 11A, 11B, sont découpées et comportent des découpes 18, notamment sous forme de fentes, pour induire une auto-démagnétisation partielle en absence du champ externe. Ces découpes 18 s'étendent selon une direction parallèle à l'axe principal DP. Comme précédemment, les parties les plus longues, utilisées comme support, ont un rapport de forme important, la dimension la plus grande étant orientée avec son axe principal DP dans la direction orthogonale à la direction d'aimantation préférentielle DA de l'environnement du mouvement. De préférence, la profondeur des découpes 18 est supérieure ou égale à la moitié de la longueur de la partie 11 ou 11A considérée dépassant le rayon moyen de la partie cylindrique de l'arbre 1.

[0059] Même si l'exécution délimitée par des surfaces 14 et 15 qui sont des plans parallèles est très favorable, en termes de résultat comme de coût de production, il faut remarquer que, dès qu'on a un rapport de forme supérieur à 2, selon l'invention, une direction d'aimantation préférentielle dans le plan xy est établie, ce que confirment les simulations par éléments finis.

[0060] De façon préférée, pour éviter la création de balourds, l'arbre 1 selon l'invention est symétrique par rapport à un plan passant par l'axe de pivotement D et parallèle à la direction de l'axe principal DP.

[0061] Les surfaces de révolution 19, notamment les pivots et le corps cylindrique de l'arbre du balancier peuvent être identiques aux pivots et au corps cylindrique d'un arbre de balancier traditionnel : les performances mécaniques du composant sont donc inaltérées par rapport aux arbres de balancier existants.

[0062] Les arbres présentés sur les figures possèdent une direction préférentielle d'aimantation parallèle à l'axe principal DP et choisie de telle manière à être orthogonale à la direction d'aimantation préférentielle DA de l'environnement du mouvement (quand le balancier spiral est au repos).

Cas d'un arbre de balancier traditionnel :

[0063] En ce qui concerne l'effet résiduel, pour un arbre de balancier traditionnel, deux régimes d'aimantation sont possibles, suite à l'exposition à un champ magné-

tique intense, notamment sous l'influence d'un champ externe statique puissant ($> 5\,000\text{ kA/m}$), capable de saturer l'acier au carbone (20 AP) dont est généralement fabriqué l'arbre de balancier, et orienté orthogonalement à l'axe de pivotement de cet arbre (on néglige le cas où le champ est parallèle à l'axe, parce que ce cas ne produit pas de défauts importants à la chronométrie):

- premier cas : le mouvement du balancier 10 s'arrête sous le champ externe, et le mouvement 30 est stoppé. Puisque le mouvement s'arrête proche de sa position de repos (généralement à moins de 20° , parce que l'arbre a une symétrie cylindrique et le spiral est amagnétique), le champ rémanent dans l'arbre du balancier est orienté comme le champ externe « vu » depuis la position de repos.
- deuxième cas : le mouvement ne s'arrête pas, donc l'aimantation de l'arbre a lieu dynamiquement : à chaque oscillation, la direction du champ externe « vu » par l'arbre se modifie, le champ dans la matière subit plusieurs cycles d'hystérèse avec la formation progressive (à chaque cycle) d'un champ rémanent (le champ externe est intense, donc il aimante fortement l'arbre, mais, quand l'orientation de l'arbre change, le même champ externe réduit et réoriente partiellement le champ rémanent créé). A cause de la formation progressive et cyclique d'une aimantation permanente, le champ rémanent finalement formé (au bout de quelques oscillations complètes, c'est-à-dire après 0,5 s à 1 s, selon la fréquence) dans l'arbre sera orienté comme si l'arbre était immobile dans sa position moyenne, c'est-à-dire dans sa position de repos (exactement comme si l'arbre s'était arrêté sous le champ).

[0064] Indépendamment de l'arrêt sous champ du mouvement, le champ rémanent sera orienté préférentiellement comme le champ externe tandis que le champ rémanent créé dans l'environnement du mouvement sera orienté selon l'orientation des composants ferromagnétiques fixes (barrettes, vis, ponts), selon la direction d'aimantation préférentielle DA.

[0065] Après l'élimination du champ externe, un couple magnétique résiduel agit sur l'arbre de balancier comme sur une aiguille de boussole. Le défaut de marche dépend de la symétrie du couple magnétique par rapport à la position de repos du balancier (angle d'oscillation = 0): si le couple est une fonction impaire de l'angle, le défaut de marche est maximum, si le couple est une fonction paire de l'angle, le défaut de marche est nul (mais ce dernier résultat est très improbable pour un arbre traditionnel).

Cas d'un arbre de balancier selon l'invention:

[0066] L'effet résiduel pour un arbre 1 optimisé géométriquement selon l'invention est différent de celui

constaté pour un arbre traditionnel.

[0067] Les arbres 1 représentés en figure 1 et en figure 2 présentent un rapport de forme d'environ 2. Pour des arbres ayant un rapport de forme de 2 ou supérieur à 2, les régimes d'aimantation possibles sont :

- premier cas : le mouvement s'arrête sous le champ externe. La présence d'une direction d'aimantation préférentielle affaiblit l'aimantation dans la direction orthogonale.
- deuxième cas : le mouvement ne s'arrête pas, donc l'aimantation de l'arbre a lieu dynamiquement: à chaque oscillation, la direction du champ externe « vu » par l'arbre se modifie, le champ dans la matière subit plusieurs cycles d'hystérèse avec la formation progressive (à chaque cycle) d'un champ rémanent. A cause de la présence d'une direction d'aimantation préférentielle, l'aimantation sera :
- orientée selon cette direction, si le champ externe est orienté selon une direction quelconque sauf la direction exactement orthogonale ;
- orientée dans la direction orthogonale mais très faible, si le champ externe est orienté dans la direction orthogonale à l'axe principal DP de l'arbre.

[0068] Puisque l'axe principal DP de l'arbre 1 est orthogonal à la direction préférentielle d'aimantation DAP de l'environnement, pour presque toutes les orientations possibles du champ externe (sauf l'orientation selon la direction préférentielle d'aimantation DAP de l'environnement) le couple magnétique résiduel résultant sur l'arbre 1 est une fonction paire de l'angle d'oscillation, ce qui rend presque nul le défaut de marche résiduel.

[0069] Si le champ est orienté exactement selon la direction préférentielle d'aimantation de l'environnement DAP, l'arbre est aimanté dans la même direction, donc orthogonalement à l'axe principal DP, mais dans ce cas son aimantation est faible, inférieure à 0,2 T, comme le montre la figure 4 qui illustre la répartition du champ rémanent, après aimantation à 0,2 T selon la direction orthogonale à l'axe principal DP, d'un arbre 1 de balancier optimisé en acier 20 AP. Le couple magnétique est, dans ce cas, une fonction impaire de l'angle d'oscillation, mais il est entre 10 et 100 fois (en dépendance de la géométrie) plus faible que le couple agissant sur un arbre traditionnel, tel que visible sur la figure 5, qui illustre, sous forme d'un graphe, la comparaison des couples magnétiques exercés sur un arbre de balancier traditionnel selon le graphe GT représenté en trait interrompu, et sur un arbre 1 optimisé selon l'invention selon le graphe GO est représenté en trait continu. En abscisse figure l'angle en degrés, et en ordonnée le couple exercé sur le balancier, en mN.mm. Le défaut de marche résiduel est alors réduit d'un facteur entre 3 et 10.

[0070] Indépendamment de la direction du champ ex-

terne, l'optimisation géométrique de l'arbre permet donc de réduire considérablement le défaut de marche résiduel.

[0071] De préférence, la matière de l'arbre 1 est magnétiquement homogène dans la réalisation simple illustrée par les figures. Cette exécution particulière n'exclut nullement des réalisations où l'arbre 1 est magnétiquement inhomogène.

[0072] L'invention apporte des avantages conséquents :

- champ d'arrêt sous-champ augmenté pour les montres avec spiral, corps d'ancre et roue d'échappement amagnétique ;
- effet résiduel réduit pour les montres avec spiral, corps d'ancre et roue d'échappement amagnétique ;
- performances mécaniques identiques aux montres de l'état actuel de la technique.

[0073] L'invention permet, ainsi, de modifier la géométrie de l'arbre du balancier (et non pas du balancier tout entier), parce que l'arbre est en général le seul composant magnétique, qu'il est difficile de le remplacer par un matériau amagnétique. Et c'est bien l'influence de l'arbre lui-même qu'il faut réduire, ce but est atteint par l'invention.

[0074] Il n'est pas nécessaire d'adapter la géométrie des composants se montant sur l'arbre de balancier, car les surfaces de support sont maintenues, même si elles sont localement modifiées par la mise en oeuvre de l'invention, par rapport à un balancier traditionnel.

[0075] En somme, même si on peut naturellement envisager, autour du concept inventif de l'invention, différentes constructions très spécifiques selon le cas d'espèce, et surtout pour simplifier la fabrication et la fixation des composants, l'important est d'appliquer ce concept de base: il faut définir une direction préférentielle d'aimantation de l'arbre de balancier, adaptée à la direction d'aimantation préférentielle de l'environnement. La manière la plus simple est d'avoir une géométrie prismatique plutôt que cylindrique (avec un facteur de forme de 2 ou plus).

[0076] Pour arriver à ce résultat, il a fallu étudier le mécanisme d'aimantation d'un composant ferromagnétique en mouvement, un problème qui n'a jamais été attaqué en horlogerie et qui a été étudié dans le domaine des machines rotatives lourdes seulement à partir des années 2000.

[0077] L'homme du métier peut consulter à ce sujet différents articles :

- Diala E.A. (2008), "Magnetodynamic vector hysteresis models for steel laminations of rotating electrical machines", Helsinki University of Technology, ISBN 978-951-22-9276-9 / 978-951-22-9277-6, ISSN 1795-2239/1795-4584.

- Fuzi, J. (1999), "Computationally efficient rate dependent hysteresis model", COMPEL, 18, 445-457.
- Zirka, S. E., Moroz, Y. I., Marketos, P., and Moses, A. J. (2004c), "Properties of dynamic Preisach models", Physica B: Condensed Matter, 343, 85-89.
- Zirka, S. E., Moroz, Y. I., Marketos, P., and Moses, A. J. (2005b), "A viscous-type dynamic hysteresis model as a tool of loss separation in conducting ferromagnetic laminations", IEEE Trans. Magn., 41, 1109-1111.

Revendications

1. Arbre (1) de mobile (10) d'horlogerie destiné à pivoter autour d'un axe de pivotement (D) et comportant au moins une partie saillante (11) de plus grand rayon (RMAX) autour dudit axe de pivotement (D), **caractérisé en ce que** au moins ladite partie saillante (11) est délimitée, de part et d'autre dudit axe de pivotement (D), par deux surfaces (14 ; 15), qui définissent, en projection sur un plan perpendiculaire audit axe de pivotement (D), un profil (12) inscrit dans un rectangle (R) dont le rapport de la longueur (LR) à la largeur (LA) définit un rapport de forme qui est supérieur ou égal à 2, la direction de ladite longueur (LR) définissant un axe principal (DP).
2. Arbre (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** comporte au moins une autre partie (11A) ayant, en projection sur un plan perpendiculaire audit axe de pivotement (D), un profil rectangulaire délimité sur deux côtés antagonistes par lesdites deux surfaces (14 ; 15).
3. Arbre (1) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** au moins une partie (11, 11A), de profil rectangulaire délimité sur deux côtés antagonistes par lesdites deux surfaces (14 ; 15), que comporte ledit arbre (1), comporte au moins une découpe (18) centrée sur ledit axe de pivotement (D) et s'étendant selon une axe principal (DP) qui est celle de la longueur dudit rectangle (R).
4. Arbre (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** lesdites deux surfaces (14 ; 15) sont symétriques par rapport audit axe de pivotement (D).
5. Arbre (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** lesdites deux surfaces (14 ; 15) sont planes et parallèles audit axe de pivotement (D).
6. Mobile (10) d'horlogerie comportant un arbre (1) selon l'une des revendications précédentes, ledit arbre (1) étant en acier, ledit mobile (10) oscillant autour

d'une position de repos définie par un plan de repos passant par ledit axe de pivotement (D), **caractérisé en ce que**, dans ladite position de repos dudit mobile (10), ledit axe principal (DP) occupe une position angulaire déterminée par rapport audit plan de repos.

7. Mobile (10) d'horlogerie selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** ledit arbre (1) en acier, présente un champ de saturation élevé de valeur (Bs) supérieure à 1 T, une perméabilité magnétique maximale (μ_R) supérieure à 50, et un champ coercitif (Hc) supérieur à 3 kA/m.
8. Mécanisme (20) comportant un mobile (10) selon la revendication 6 ou 7 rappelé vers ladite position de repos par des moyens de rappel élastique, ledit mécanisme (20) ayant une direction d'aimantation préférentielle (DA), et **caractérisé en ce que**, dans ladite position de repos, ledit axe principal (DP) est orthogonal à ladite direction d'aimantation préférentielle (DA).
9. Mécanisme (20) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** ledit mécanisme (20) est un mécanisme d'échappement, et **en ce que** ledit mobile (10) est un balancier ramené vers ladite position de repos par au moins un ressort-spiral, et **en ce que** ledit arbre (1) est un arbre de balancier.
10. Mouvement d'horlogerie (30) comportant au moins un mécanisme (20) selon l'une des revendications 8 ou 9.
11. Montre (40) comportant au moins un mouvement d'horlogerie (30) selon la revendication précédente, ou/et comportant au moins un mécanisme (20) selon l'une des revendications 8 ou 9.

Fig. 1

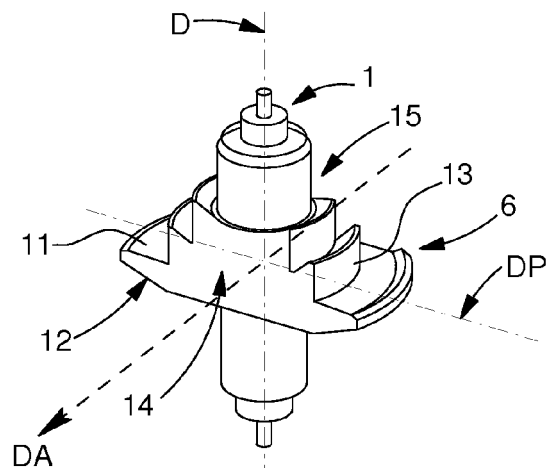


Fig. 2

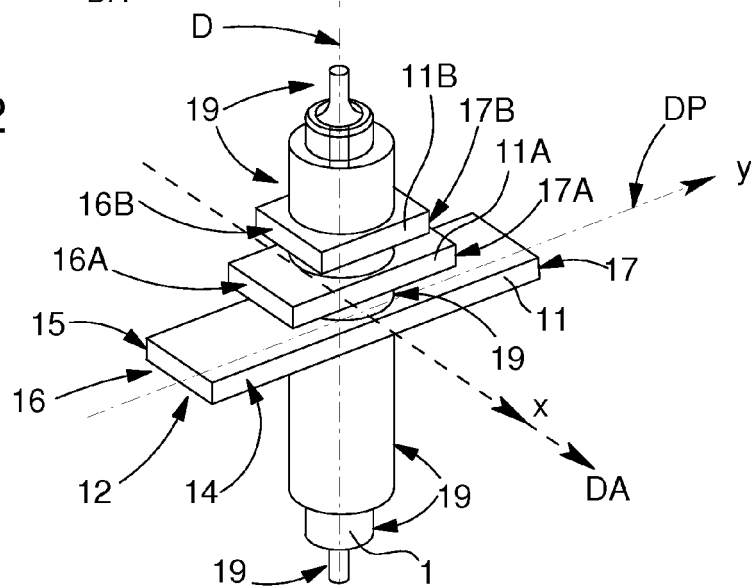


Fig. 3

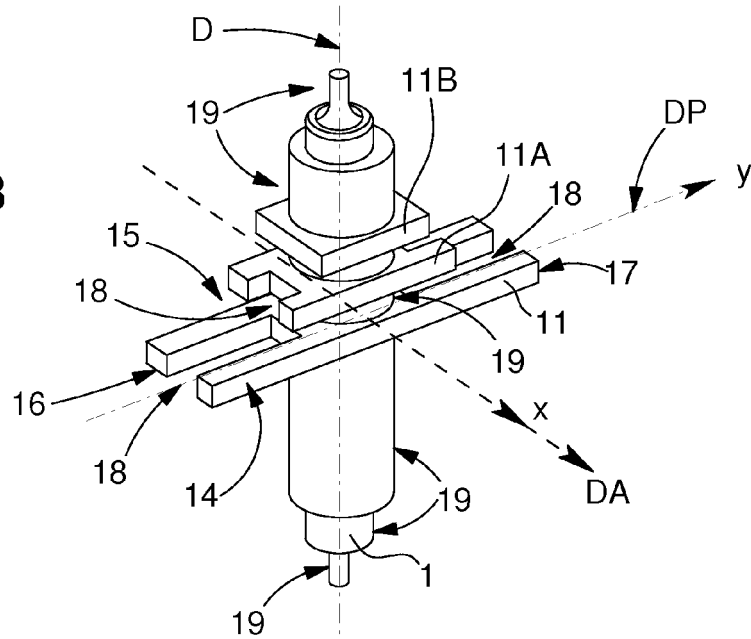


Fig. 4

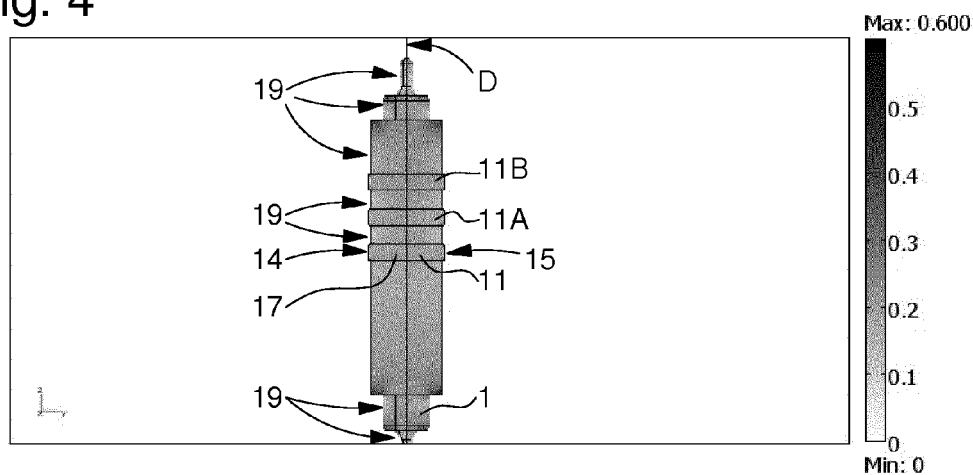


Fig. 5

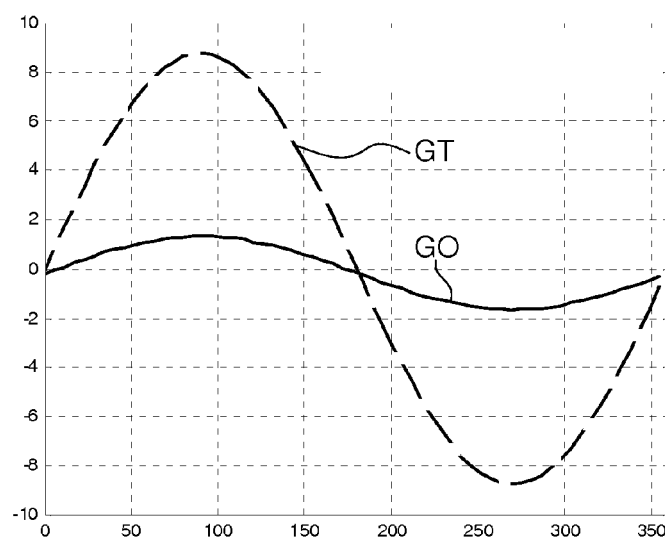


Fig. 6

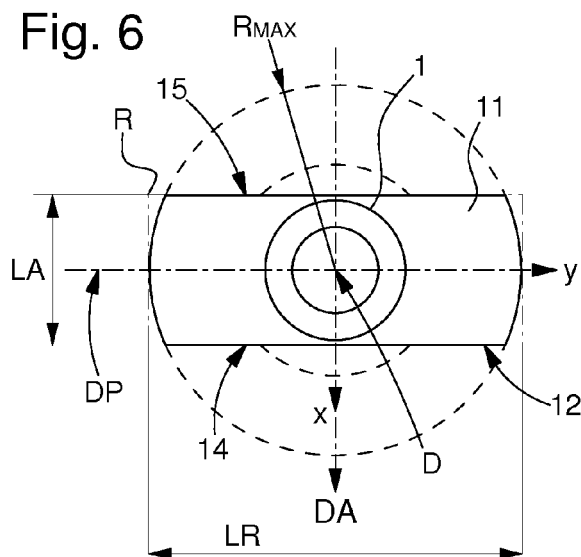
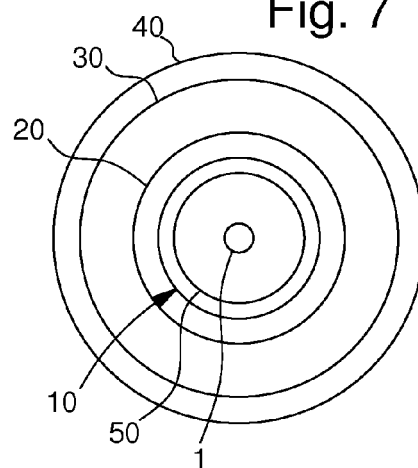


Fig. 7





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 13 16 1123

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	FR 2 275 815 A1 (NIVAROX SA [CH]) 16 janvier 1976 (1976-01-16)	1,2,4	INV.
Y	* page 1 - page 2; figures 1-4 *	9	G04B17/32 G04B15/14
X	FR 2 090 784 A5 (FEINMETALL GMBH) 14 janvier 1972 (1972-01-14) * page 2; figure 2 *	1,2,4,5	
X	JP S62 63884 A (ZENKOSHA TOKEI KK) 20 mars 1987 (1987-03-20) * abrégé; figures 1-5 *	1-4,6	
X	WO 01/77759 A1 (DETRA SA [CH]; SCHWAB MICHEL [CH]; TU MAI XUAN [CH]) 18 octobre 2001 (2001-10-18)	1-4,6-8, 10,11	
Y	* page 2 - page 5; figures 1-6 *	9	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B G04C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 16 juillet 2013	Examineur Mérimèche, Habib
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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 T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 13 16 1123

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

16-07-2013

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
FR 2275815	A1	16-01-1976	CH	592906 B5	15-11-1977
			CH	835174 A4	31-03-1977
			DE	2521032 A1	08-01-1976
			DE	7515173 U	03-08-1978
			FR	2275815 A1	16-01-1976
			JP	S5114057 A	04-02-1976
			JP	S5525794 B2	08-07-1980
			SU	558653 A3	15-05-1977

FR 2090784	A5	14-01-1972	CH	544331 A	13-04-1973
			CH	630971 A4	13-04-1973
			DE	2024083 A1	02-12-1971
			FR	2090784 A5	14-01-1972

JP S6263884	A	20-03-1987	AUCUN		

WO 0177759	A1	18-10-2001	AT	409895 T	15-10-2008
			AU	3531401 A	23-10-2001
			CN	1422397 A	04-06-2003
			EP	1272906 A1	08-01-2003
			HK	1054796 A1	11-08-2006
			JP	2003530560 A	14-10-2003
			US	2003090962 A1	15-05-2003
WO	0177759 A1	18-10-2001			

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Littérature non-brevet citée dans la description

- **DIALA E.A.** *Magnetodynamic vector hysteresis models for steel laminations of rotating electrical machines*, 2008, ISSN 1795-2239/1795-4584, ISBN 978-951-22-9276-9 / 978-951-22-9277-6 [0077]
- **FUZI, J.** Computationally efficient rate dependent hysteresis model. *COMPEL*, 1999, vol. 18, 445-457 [0077]
- **ZIRKA, S. E. ; MOROZ, Y. I. ; MARKETOS, P. ; MOSES, A. J.** Properties of dynamic Preisach models. *Physica B: Condensed Matter*, 2004, vol. 343, 85-89 [0077]
- **ZIRKA, S. E. ; MOROZ, Y. I. ; MARKETOS, P. ; MOSES, A. J.** A viscous-type dynamic hysteresis model as a tool of loss separation in conducting ferromagnetic laminations. *IEEE Trans. Magn.*, 2005, vol. 41, 1109-1111 [0077]