



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
24.11.2021 Bulletin 2021/47

(51) Int Cl.:
G04B 17/34 (2006.01) **G04B 17/06 (2006.01)**
G04B 17/26 (2006.01) **G04B 17/28 (2006.01)**
G04D 7/08 (2006.01) **G04D 7/10 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **20175995.8**

(22) Date de dépôt: **22.05.2020**

(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
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **DOMANGE, Séverine**
74350 Cercier (FR)
• **BUCAILLE, Jean-Luc**
74160 Présilly (FR)

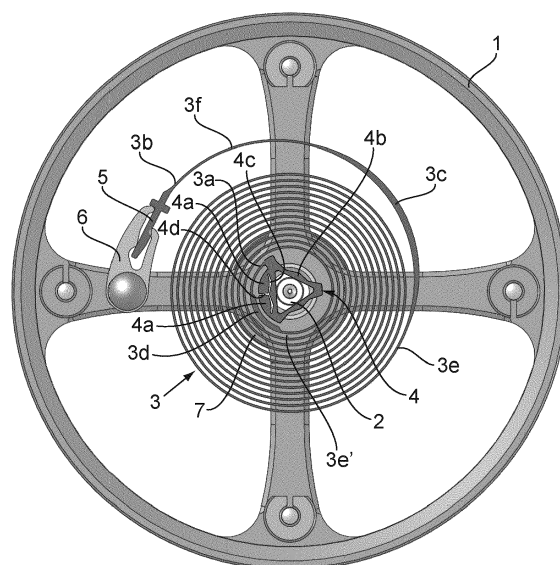
(74) Mandataire: **Micheli & Cie SA**
Rue de Genève 122
Case Postale 61
1226 Genève-Thônex (CH)

(71) Demandeur: **Patek Philippe SA Genève**
1204 Genève (CH)

(54) **OSCILLATEUR POUR PIÈCE D'HORLOGERIE**

(57) L'invention concerne un oscillateur pour pièce d'horlogerie comprenant, sur un axe (2), un balancier (1), un plateau d'échappement (7) et un spiral (3), le spiral (3) étant monté sur l'axe (2) par l'intermédiaire d'une virole (4), l'ensemble axe-balancier-plateau-virole présentant un défaut d'équilibre. Le défaut d'équilibre de l'ensemble axe-balancier-plateau-virole et la géométrie du spiral sont tels que : les courbes (S1-S4) représentant la marche de l'oscillateur due au poids du spiral en fonction de l'amplitude d'oscillation du balancier dans au moins quatre positions verticales de l'oscillateur espacées de 90° passent chacune par la valeur zéro à une amplitude d'oscillation du balancier comprise entre 200° et 240° ; et entre l'amplitude d'oscillation de 150° et l'amplitude d'oscillation de 280°, les courbes (B1 - B4) représentant la marche de l'oscillateur due au défaut d'équilibre de l'ensemble axe-balancier-plateau-virole en fonction de l'amplitude d'oscillation du balancier dans lesdites positions verticales de l'oscillateur ont chacune une pente moyenne de signe opposé à la pente moyenne de la courbe correspondante parmi lesdites courbes (S1-S4) représentant la marche de l'oscillateur due au poids du spiral. Le balourd de la virole (4) compense en partie, ou surcompense, le balourd de l'ensemble axe-balancier-plateau de sorte que ce dernier peut être élevé et facilement mesurable.

Fig.1



Description

[0001] La présente invention concerne un oscillateur pour pièce d'horlogerie comprenant, sur un axe, un balancier, un plateau d'échappement et un spiral, le spiral étant monté sur l'axe par l'intermédiaire d'une virole.

[0002] La présente invention concerne plus particulièrement un tel oscillateur dont l'isochronisme est amélioré. Par isochronisme on entend les variations de la marche en fonction de l'amplitude d'oscillation du balancier et en fonction de la position de la pièce d'horlogerie. Plus ces variations sont faibles, plus l'oscillateur est isochrone.

[0003] La marche d'un tel oscillateur à balancier et spiral est égale à la somme de la marche due au défaut d'équilibre du balancier et de la marche due au spiral. L'axe de l'oscillateur et le plateau d'échappement, avec sa cheville, participent au défaut d'équilibre du balancier. La contribution de la virole à ce défaut d'équilibre est en revanche négligée car il est admis qu'une virole doit être la plus équilibrée possible ou la plus petite possible (cf. par exemple l'ouvrage « Théorie d'horlogerie » édité par la Fédération des Ecoles Techniques, 1998, page 142 et la demande de brevet EP 1584994, paragraphes 2 et 6). En position verticale, le défaut d'équilibre ou balourd du balancier perturbe la régularité des oscillations. Pour minimiser cette perturbation, il est d'usage de rééquilibrer le balancier par fraisage ou au moyen de vis de réglage équipant le balancier. Les variations de marche dues au spiral sont, elles, provoquées principalement par le développement excentrique et le poids du spiral. Le développement excentrique du spiral génère un couple perturbateur, le même dans toutes les positions, créé par les forces de rappel entre les pivots de l'axe de l'oscillateur et les paliers dans lesquels ils tournent. Le poids du spiral génère un autre couple perturbateur, fonction de l'inclinaison de la pièce d'horlogerie par rapport à la position horizontale.

[0004] Ces dernières années, des améliorations ont été apportées à la géométrie des spiraux pour diminuer leur contribution au défaut d'isochronisme de l'oscillateur. On peut citer notamment les demandes de brevet EP 1445670, EP 1473604, EP 2299336 et WO 2014/072781 qui décrivent des spiraux comprenant des variations de rigidité et/ou de pas le long de leur lame. Les techniques modernes de fabrication et les matériaux tels que le silicium permettent l'obtention de tels spiraux. Toutefois, cette approche consistant à traiter la marche due au spiral séparément de la marche due au balancier limite le gain possible en matière d'isochronisme global de l'oscillateur. En effet, il apparaît difficile de réduire encore les écarts de marche entre les positions verticales dus au spiral. Malgré la variété de géométries de spiral qui ont été proposées, on ne parvient pas, ou très difficilement, à descendre au-dessous d'écarts de marche de l'ordre de 1 seconde/jour pour le spiral. En ce qui concerne le balancier, il est presque impossible d'obtenir en production industrielle des balanciers ayant un balourd inférieur à 0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$.

[0005] Dans la demande de brevet WO 2017/163148 de la demanderesse, il est proposé une autre approche pour améliorer l'isochronisme d'un oscillateur balancier-spiral et pour en particulier réduire les écarts de marche entre ses différentes positions verticales. Dans l'oscillateur décrit, la marche due au défaut d'équilibre du balancier et la marche due au poids du spiral se compensent au moins partiellement et de préférence sensiblement entièrement dans toute ou presque toute la plage de fonctionnement normal du balancier. On ne cherche donc pas ici à annuler le balourd du balancier, celui-ci peut même être élevé. De même, on ne cherche pas à réduire au minimum la marche due au poids du spiral. L'approche proposée dans cette demande de brevet WO 2017/163148 permet l'obtention de très petits écarts de marche entre les différentes positions verticales de l'oscillateur et améliore donc la précision de la pièce d'horlogerie.

[0006] Cependant, en pratique, le balourd du balancier de cet oscillateur est encore relativement petit (0,6 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$ dans le premier mode de réalisation décrit). Or un balancier dont le balourd cible est faible est moins facile à fabriquer et à régler qu'un balancier dont le balourd cible est élevé. On peut augmenter le balourd du balancier en le compensant par un accroissement du rayon de la virole, à l'instar du deuxième mode de réalisation exposé dans la demande de brevet WO 2017/163148. Mais un rayon de virole accru à encombrement et raideur du spiral constants impose de diminuer le nombre de spires du spiral, donc l'épaisseur des spires, ce qui augmente la dispersion de fabrication, en particulier la dispersion du couple élastique, entre différents lots de spiraux et même entre les spiraux d'un même lot.

[0007] La présente invention vise à permettre une augmentation du balourd du balancier tout en compensant au moins partiellement la marche due au défaut d'équilibre du balancier par la marche due au poids du spiral, ceci sans nécessiter de modifier les caractéristiques géométriques et dimensionnelles du spiral.

[0008] A cette fin, il est proposé un oscillateur pour pièce d'horlogerie comprenant, sur un axe, un balancier, un plateau d'échappement et un spiral, le spiral étant monté sur l'axe par l'intermédiaire d'une virole, l'ensemble axe-balancier-plateau-virole présentant un défaut d'équilibre, ledit défaut d'équilibre et la géométrie du spiral étant tels que

a) les courbes représentant la marche de l'oscillateur due au poids du spiral en fonction de l'amplitude d'oscillation du balancier dans au moins quatre positions verticales de l'oscillateur espacées de 90° passent chacune par la valeur zéro à une amplitude d'oscillation du balancier comprise entre 200° et 240° ;

b) entre l'amplitude d'oscillation de 150° et l'amplitude d'oscillation de 280°, les courbes représentant la marche de l'oscillateur due au défaut d'équilibre de l'ensemble axe-balancier-plateau-virole en fonction de l'amplitude d'oscillation du balancier dans lesdites positions verticales de l'oscillateur ont chacune une pente moyenne de signe opposé à la pente moyenne de la courbe correspondante parmi lesdites courbes représentant la marche de l'os-

cillateur due au poids du spiral,

oscillateur dans lequel l'inégalité suivante est vérifiée :

5

$$m_{bv} \|\overrightarrow{OG_{bv}}\| < m_b \|\overrightarrow{OG_b}\|$$

10

où m_{bv} est la masse de l'ensemble axe-balancier-plateau-virole, O est le centre de rotation de cet ensemble en projection orthogonale dans un plan perpendiculaire à l'axe, G_{bv} est le centre de gravité de l'ensemble axe-balancier-plateau-virole en projection orthogonale dans ledit plan, m_b est la masse de l'ensemble axe-balancier-plateau et G_b est le centre de gravité de l'ensemble axe-balancier-plateau en projection orthogonale dans ledit plan.

15

[0009] Ainsi, à la différence de l'enseignement de la demande de brevet WO 2017/163148, le balourd de la virole n'est pas négligé dans la présente invention. La présente invention va même à l'encontre du principe admis dans l'état de la technique selon lequel la virole doit déséquilibrer le moins possible le balancier. La virole selon l'invention est volontairement déséquilibrée d'une valeur (balourd) qui peut être grande et dans une direction telle que son balourd compense en partie, ou surcompense, le balourd de l'ensemble axe-balancier-plateau. Dès lors, le défaut d'équilibre de l'ensemble axe-balancier-plateau-virole peut compenser la marche due au poids du spiral, par analogie avec l'enseignement de la demande de brevet WO 2017/163148, et le balourd de l'ensemble axe-balancier-plateau peut être élevé, facilitant ainsi la fabrication et le réglage du balancier. De plus, comme tous les organes portés par l'axe de l'oscillateur sont pris en compte pour déterminer le balourd, la performance de l'oscillateur en termes d'isochronisme est améliorée.

20

[0010] En pratique, l'amplitude d'oscillation à laquelle les courbes représentant la marche de l'oscillateur due au poids du spiral passent par zéro peut être légèrement différente d'une courbe à l'autre. De préférence, lesdites courbes passent par zéro à la même amplitude d'oscillation et se croisent donc en un même point.

25

[0011] Dans des exemples de réalisation préférentiels, le défaut d'équilibre de l'ensemble axe-balancier-plateau-virole et la géométrie du spiral sont tels que la pente moyenne de chaque courbe parmi lesdites courbes représentant la marche de l'oscillateur due audit défaut d'équilibre a sensiblement la même valeur absolue que la pente moyenne de la courbe correspondante parmi lesdites courbes représentant la marche de l'oscillateur due au poids du spiral, dans la plage d'amplitudes d'oscillation de 150° à 280°.

30

[0012] Le défaut d'équilibre de l'ensemble axe-balancier-plateau-virole et la géométrie du spiral peuvent être tels que l'écart maximum de la marche de l'oscillateur due audit défaut d'équilibre et au poids du spiral entre lesdites positions verticales dans la plage d'amplitudes d'oscillation de 150° à 280° est inférieur à 4 secondes/jour, voire à 2 secondes/jour, voire encore à 1 seconde/jour, voire encore à 0,7 seconde/jour.

35

[0013] La distance (rayon de virole) entre l'extrémité intérieure du spiral et le centre de rotation du spiral est de préférence d'au plus 800 μm , voire d'au plus 700 μm , voire d'au plus 600 μm .

[0014] Le balourd de l'ensemble axe-balancier-plateau est de préférence d'au moins 0,8 $\mu\text{g.cm}$, voire d'au moins 1 $\mu\text{g.cm}$, voire d'au moins 1,2 $\mu\text{g.cm}$, voire d'au moins 1,4 $\mu\text{g.cm}$.

[0015] Le balourd de la virole est de préférence d'au moins 0,3 $\mu\text{g.cm}$, voire d'au moins 0,4 $\mu\text{g.cm}$, voire d'au moins 0,5 $\mu\text{g.cm}$, voire d'au moins 0,6 $\mu\text{g.cm}$, voire d'au moins 0,7 $\mu\text{g.cm}$, voire d'au moins 0,8 $\mu\text{g.cm}$, voire d'au moins 0,9 $\mu\text{g.cm}$.

40

[0016] Toutes les combinaisons des plages de valeurs mentionnées ci-dessus sont possibles dans l'invention. On peut en particulier combiner n'importe quelle plage de valeurs du rayon de virole avec n'importe quelle plage de valeurs du balourd de l'ensemble axe-balancier-plateau et/ou avec n'importe quelle plage de valeurs du balourd de la virole.

[0017] Dans des exemples typiques de réalisation, la spire intérieure du spiral présente une portion rigidifiée et/ou est conformée selon une courbe Grossmann. La spire extérieure du spiral peut elle aussi présenter une portion rigidifiée.

45

[0018] Dans d'autres exemples de réalisation, le spiral présente une rigidité et/ou un pas qui varient continûment sur au moins plusieurs spires.

[0019] Avantagusement, la virole et/ou le spiral sont en un matériau à base de silicium.

[0020] La présente invention propose en outre un mouvement horloger comprenant l'oscillateur défini ci-dessus.

50

[0021] La présente invention propose enfin une pièce d'horlogerie, telle qu'une montre-bracelet ou une montre de poche, comprenant ce mouvement horloger ou l'oscillateur défini ci-dessus.

[0022] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée suivante faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

55

- la figure 1 montre un oscillateur mécanique horloger selon un mode de réalisation particulier de l'invention ;
- la figure 2 montre le spiral de cet oscillateur ;
- la figure 3 montre le balancier de cet oscillateur, vu depuis l'autre côté par rapport à la figure 1 ;
- la figure 4 montre des courbes représentant la marche de cet oscillateur due au poids du spiral ;

- la figure 5 montre des courbes représentant la marche de cet oscillateur due au défaut d'équilibre d'un ensemble axe-balancier-plateau-virole ;
- la figure 6 montre des courbes représentant la marche de cet oscillateur due à la fois au défaut d'équilibre de l'ensemble axe-balancier-plateau-virole et au poids du spiral ;
- la figure 7 montre différentes configurations, conformes à l'invention, de défauts d'équilibre de l'ensemble axe-balancier-plateau-virole, de la virole et de l'ensemble axe-balancier-plateau.

[0023] En référence aux figures 1 à 3, un oscillateur selon un mode de réalisation particulier de l'invention, pour un mouvement horloger destiné à équiper une pièce d'horlogerie telle qu'une montre-bracelet ou une montre de poche, comprend un balancier 1 monté sur un axe de balancier 2 et un spiral 3 dont l'extrémité intérieure 3a est fixée à l'axe de balancier 2 par l'intermédiaire d'une virole 4 et dont l'extrémité extérieure 3b est fixée au bâti du mouvement par l'intermédiaire d'un ou plusieurs organes. Dans l'exemple représenté, l'extrémité extérieure 3b du spiral 3 est prolongée par une partie rigide de fixation 5 qui est tenue par une pince 6 montée sur le bâti du mouvement, comme décrit dans le brevet EP 1780611 de la demanderesse. L'extrémité extérieure 3b pourrait cependant être fixée au bâti d'une autre manière, par exemple au moyen d'un piton traditionnel. L'ensemble comprenant le spiral 3, la virole 4 et la partie rigide de fixation 5 peut être monolithique et réalisé par exemple en silicium ou en diamant, de préférence en silicium recouvert d'une couche d'oxyde de silicium. L'oscillateur comprend aussi, monté sur l'axe de balancier 2, un plateau d'échappement 7 qui peut être simple (sans petit plateau) ou double (avec un petit plateau à encoche 7a destiné à coopérer avec un dard, comme représenté), ce plateau d'échappement 7 comprenant une rondelle 7b (« grand plateau ») et une cheville de plateau 8 portée par la rondelle 7b et destinée à coopérer de manière classique avec la fourchette d'une ancre d'échappement. La cheville de plateau 8 peut faire saillie hors du plan de la rondelle 7b, de manière traditionnelle, ou s'étendre radialement depuis le pourtour de la rondelle, comme cela est également connu.

[0024] Le spiral 3 n'a pas la forme traditionnelle d'une spirale d'Archimède à section de lame constante. La géométrie du spiral est en effet irrégulière en ce sens qu'elle présente une section et/ou un pas qui varient le long de sa lame. Dans l'exemple représenté, une portion 3c de la spire extérieure (ci-après « portion rigidifiée extérieure ») et une portion 3d de la spire intérieure (ci-après « portion rigidifiée intérieure ») ont une plus grande section, donc une plus grande rigidité, que le reste de la lame formant le spiral 3. En dehors de ces portions 3c et 3d la section de la lame est constante. Le pas du spiral 3 est constant depuis un point 3e' situé sur sa spire intérieure jusqu'à un point 3e situé sur sa spire extérieure. De l'extrémité intérieure 3a au point 3e' le pas augmente légèrement. Après le point 3e le pas augmente nettement, la spire extérieure s'écartant de l'avant-dernière spire par rapport au tracé de la spirale d'Archimède pour éviter que ces deux spires ne se touchent lors des expansions du spiral. La partie terminale 3f du spiral 3 s'étendant entre les points 3e et 3b comprend au moins une partie de, typiquement toute, la portion rigidifiée extérieure 3c.

[0025] De nombreuses autres géométries du spiral 3 sont toutefois possibles. Par exemple, en remplacement ou en plus de la portion rigidifiée intérieure 3d, la spire intérieure pourrait être conformée selon une courbe Grossmann. On pourrait aussi ne pas avoir de portion rigidifiée extérieure 3c. Dans d'autres variantes, au lieu de changer la section de la lame du spiral uniquement localement au niveau de la spire intérieure et de la spire extérieure, on pourrait changer continûment la section tout le long de la lame ou sur plusieurs spires, c'est-à-dire sur un nombre (pas nécessairement entier) de spires plus grand que 1, par exemple égal à 2 ou plus. On pourrait aussi faire varier continûment le pas du spiral tout le long de la lame ou sur plusieurs spires, en remplacement ou en plus de la variation de section. De plus, on pourrait faire varier la rigidité du spiral le long de sa lame d'une autre manière qu'en changeant sa section, par exemple par dopage ou traitement thermique.

[0026] La marche d'un tel oscillateur est égale à la somme de la perturbation due à l'ensemble axe 2 - balancier 1 - plateau 7 - virole 4 et de la perturbation due au spiral 3. L'ensemble rigide axe-balancier-plateau-virole, que l'on nommera dans la suite « ensemble oscillant », influence la marche dans les positions verticales uniquement. La marche de l'oscillateur dans les positions verticales due à cet ensemble oscillant est causée par le défaut d'équilibre de ce dernier, c'est-à-dire par le fait que, en raison des tolérances de fabrication, le centre de gravité de l'ensemble oscillant n'est pas sur l'axe imaginaire de rotation. En référence à la figure 3, si l'on désigne par d la position radiale du centre de gravité G_{bv} de l'ensemble oscillant 1, 2, 4, 7 (par rapport au centre de rotation O de cet ensemble oscillant, en projection orthogonale dans un plan perpendiculaire à l'axe de balancier 2) et par m_{bv} la masse de cet ensemble oscillant, la grandeur $A = d \cdot m_{bv}$ est le balourd de cet ensemble oscillant. Comme on le verra par la suite, le balourd A et la position angulaire θ_{bv} du centre de gravité G_{bv} (définie par exemple par rapport à un bras du balancier, en projection orthogonale dans un plan perpendiculaire à l'axe de balancier 2, comme illustré à la figure 3) sont des paramètres d'ajustement de la marche due au défaut d'équilibre de l'ensemble oscillant. Le spiral, lui, influence la marche dans la position horizontale et dans les positions verticales. Le développement excentrique du spiral provoque dans les paliers de l'axe de balancier 2 des réactions qui varient, ceci dans toutes les positions de l'oscillateur. De plus, dans les positions verticales, le déplacement du centre de gravité du spiral causé par le développement excentrique de ce dernier crée un défaut d'isochronisme dû au poids du spiral appliqué audit centre de gravité. Cette perturbation est différente de l'effet d'affaïssissement gravitationnel élastique du spiral, qui est négligé dans la présente invention.

[0027] D'après la théorie, la courbe représentant la marche de l'oscillateur due au défaut d'équilibre du balancier, plus exactement de l'ensemble oscillant, en fonction de l'amplitude d'oscillation du balancier, dans toute position verticale de ce dernier, passe par la valeur zéro (c'est-à-dire croise l'axe des abscisses) à une amplitude d'oscillation de 220°. Egalement d'après la théorie, pour un spiral à section de lame constante en forme de spirale d'Archimède parfaite, la

5 courbe représentant la marche de l'oscillateur due au poids du spiral en fonction de l'amplitude d'oscillation du balancier, dans toute position verticale de ce dernier, passe par la valeur zéro (c'est-à-dire croise l'axe des abscisses) à des amplitudes d'oscillation de 163,5° et de 330,5°.

[0028] La présente invention repose sur la constatation qu'il est possible de choisir des paramètres A, θ_{bv} d'ensembles oscillants et des géométries de spiraux pour que la marche due au défaut d'équilibre de l'ensemble oscillant et la marche

10 due au poids du spiral se compensent, permettant ainsi de diminuer, voire de rendre sensiblement nuls, les écarts de marche entre les différentes positions verticales.

[0029] Dans l'exemple de la figure 2, le spiral 3 présente 14 spires. L'épaisseur e_o de la lame formant le spiral, mesurée suivant un rayon partant du centre de rotation O du spiral, est de 28,1 μm , sauf le long de la portion rigidifiée extérieure 3c et de la portion rigidifiée intérieure 3d où elle est plus grande. Le pas du spiral entre les points 3e' et 3e est de 86,8

15 μm . Le rayon R de la virole 4, ou distance entre l'extrémité intérieure 3a du spiral et le centre O, défini comme le rayon du cercle de centre O passant par le milieu (à la moitié de l'épaisseur e_o) de l'extrémité intérieure 3a, est de 545 μm . L'épaisseur e_d maximale de la portion rigidifiée intérieure 3d, mesurée suivant un rayon partant du centre de courbure Cd du début de la spire intérieure (entre les points 3a et 3e'), est de 73 μm . L'étendue angulaire θ_d de la portion rigidifiée intérieure 3d, mesurée depuis le centre de courbure Cd, est de 78°. Sa position angulaire α_d (position de son centre

20 par rapport à l'extrémité intérieure 3a), mesurée depuis le centre de courbure Cd, est de 82°. L'épaisseur maximale e_c de la portion rigidifiée extérieure 3c, mesurée suivant un rayon partant du centre de courbure Cc de la partie terminale 3f du spiral 3, est de 88 μm . L'étendue angulaire θ_c et la position angulaire α_c (position de son centre par rapport à l'extrémité extérieure 3b du spiral 3) de la portion rigidifiée extérieure 3c, mesurées depuis le centre de courbure Cc, sont respectivement de 94° et de 110°.

25 **[0030]** On a représenté à la figure 4 la marche de l'oscillateur 1, 2, 3, 4, 7 due au poids du spiral 3 en fonction de l'amplitude d'oscillation du balancier 1 dans chacune de quatre positions verticales de l'oscillateur espacées de 90°, à savoir une position verticale haute VH (3 heures en haut) (courbe S1), une position verticale droite VD (12 heures en haut) (courbe S2), une position verticale gauche VG (6 heures en haut) (courbe S3) et une position verticale basse VB (9 heures en haut) (courbe S4). En abscisses du diagramme de la figure 4 est portée l'amplitude d'oscillation du balancier

30 1 exprimée en degrés par rapport à la position d'équilibre et en ordonnées est représentée la marche en secondes par jour (s/j). Chaque courbe S1 à S4 a été obtenue en utilisant la formule suivante :

$$\mu(\theta_0) = -86400 \cdot \frac{m_s \cdot L}{E \cdot I} \cdot g \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \theta_0^2} \int_0^{2\pi} \frac{\delta y_g(\theta(\varphi))}{\delta \theta} \cdot \theta(\varphi) \cdot d\varphi$$

proposée dans l'ouvrage « Traité de construction horlogère » de M. Vermot, P. Bovay, D. Prongué et S. Dordor, édité par les Presses polytechniques et universitaires romandes, 2011, où μ est la marche, m_s est la masse du spiral, L est la longueur du spiral, E est le module de Young du spiral, I est le moment quadratique du spiral, g est la constante de gravité, θ est l'élongation du balancier par rapport à sa position d'équilibre, θ_0 est l'amplitude du balancier par rapport à sa position d'équilibre, φ est la phase ($\theta = \theta_0 \cos \varphi$), y_g est l'ordonnée du centre de gravité du spiral dans le repère (O, x, y) de la figure 3 où l'axe y est opposé à la gravité, et δ désigne la dérivée. Le déplacement du centre de gravité du spiral (variation de la grandeur y_g) a été calculé par éléments finis. La dérivée et l'intégrale ont ensuite été calculées

45 numériquement.

[0031] Comme on peut le voir, les courbes S1 à S4 se croisent en un point P1 situé sur l'axe des abscisses à une amplitude d'oscillation d'environ 218°, amplitude qui est donc proche de l'amplitude d'oscillation de 220° à laquelle se croisent les courbes correspondantes d'un balancier ou d'un ensemble axe-balancier-plateau-virole. La partie du spiral 3 qui a le plus d'influence sur la position du point de croisement P1 est la portion rigidifiée intérieure 3d. La portion rigidifiée extérieure 3c permet d'affiner le réglage du point de croisement P1, et/ou de produire une avance de marche qui compense un retard de marche causé par l'échappement comme décrit dans les demandes de brevet WO 2013/034962 et WO 2014/072781 de la présente demanderesse. En pratique, le croisement au point P1 ou au voisinage du point P1 se produit dans toutes les positions verticales de l'oscillateur.

55 **[0032]** La figure 5 représente la marche de l'oscillateur 1, 2, 3, 4, 7 due au défaut d'équilibre de l'ensemble oscillant 1, 2, 4, 7 en fonction de l'amplitude d'oscillation du balancier 1 dans chacune des quatre positions verticales précitées de l'oscillateur, à savoir la position verticale haute VH (courbe B1), la position verticale droite VD (courbe B2), la position verticale gauche VG (courbe B3) et la position verticale basse VB (courbe B4). Chaque courbe B1 à B4 a été obtenue en utilisant la formule suivante :

$$\mu(\theta_0) = 86400 \cdot \frac{m_{bv} \cdot g \cdot d}{J_{bv} \cdot \omega_0^2} \cdot \frac{J_1(\theta_0)}{\theta_0} \cdot \cos(\phi + \beta)$$

proposée dans l'ouvrage précité « Traité de construction horlogère », où μ est la marche, θ_0 est l'amplitude du balancier par rapport à sa position d'équilibre, m_{bv} est la masse de l'ensemble oscillant, g est la constante de gravité, d est la position radiale du centre de gravité de l'ensemble oscillant, J_{bv} est le moment d'inertie de l'ensemble oscillant, ω_0 est la pulsation propre de l'oscillateur, J_1 est la fonction de Bessel d'ordre 1 (qui s'annule pour une valeur de θ_0 d'environ 220°), β est la position angulaire du centre de gravité de l'ensemble oscillant par rapport à la cheville de plateau 8 (cf. figure 3 ; $\beta = \theta_{bv} - 45^\circ$) et ϕ est la position angulaire de la cheville de plateau 8 par rapport à la direction de la gravité.

[0033] Plus particulièrement, le diagramme de la figure 5 est celui d'un ensemble oscillant ayant un balourd A de 0,6 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$ et dont la position angulaire θ_{bv} du centre de gravité est de 60° . On constate que la pente, en particulier la pente moyenne, de chaque courbe B1 à B4 est de signe opposé à celui de la pente, en particulier la pente moyenne, de chaque courbe S1 à S4 respectivement. En d'autres termes, les courbes S1 et S2 décroissent alors que les courbes B1 et B2 croissent, et les courbes S3 et S4 croissent alors que les courbes B3 et B4 décroissent. Ceci est vrai notamment dans la plage de fonctionnement courante d'un balancier en position verticale, à savoir la plage d'amplitudes d'oscillation de 150° à 280° . Cette caractéristique relative aux pentes des courbes S1 à S4 et B1 à B4 combinée au fait que le point de croisement P1 des courbes S1 à S4 est proche du point de croisement P2, à 220° , des courbes B1 à B4, permet à la marche due au défaut d'équilibre de l'ensemble oscillant 1, 2, 4, 7 et à la marche due au poids du spiral 3 de se compenser mutuellement, au moins partiellement. De préférence, la pente moyenne de chaque courbe S1 à S4 a sensiblement la même valeur absolue que la pente moyenne de la courbe B1 à B4 correspondante dans la plage d'amplitudes d'oscillation de 150° à 280° . Le réglage des pentes des courbes B1 à B4 lors de la conception de l'oscillateur s'effectue en faisant varier le balourd A de l'ensemble oscillant et la position angulaire θ_{bv} de son centre de gravité G_{bv} . À balourd A constant, faire varier la position angulaire θ_{bv} du centre de gravité de l'ensemble oscillant change la position relative des courbes B1 à B4. Il convient donc de choisir une valeur θ_{bv} pour que l'ordre des courbes B1 à B4 (selon leur pente) soit l'inverse de celui des courbes S1 à S4. À valeur θ_{bv} constante, faire varier le balourd A augmente ou diminue la pente de chaque courbe B1 à B4, ce qui permet d'optimiser le degré de compensation entre l'ensemble oscillant et le spiral.

[0034] La figure 6 montre la marche de l'oscillateur due au défaut d'équilibre de l'ensemble oscillant et au poids du spiral (somme de la marche due au défaut d'équilibre de l'ensemble oscillant et de la marche due au poids du spiral) dans chacune des quatre positions verticales précitées, à savoir la position verticale haute VH (courbe J1), la position verticale droite VD (courbe J2), la position verticale gauche VG (courbe J3) et la position verticale basse VB (courbe J4). On peut noter que les écarts de marche entre ces positions verticales sont très faibles, l'écart de marche maximal dans la plage d'amplitudes d'oscillation de 150° à 280° étant inférieur à 0,7 s/j.

[0035] Comme cela est visible sur les figures 1 et 2, la virole 4 de l'oscillateur est déséquilibrée - son centre de gravité n'est pas sur l'axe imaginaire de rotation - et la virole 4 comprend à cet effet une ou des parties de déséquilibre 4a. La position du centre de gravité de la virole 4 est telle qu'une compensation partielle s'opère entre le balourd de l'ensemble axe-balancier-plateau 1, 2, 7 et le balourd de la virole 4. Cette compensation partielle permet à l'ensemble oscillant 1, 2, 4, 7 (axe-balancier-plateau-virole) d'avoir par exemple la valeur de balourd A de 0,6 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$ évoquée plus haut (et l'angle θ_{bv} de 60°) pour compenser la marche due au poids du spiral 3, et à l'ensemble axe-balancier-plateau 1, 2, 7 d'avoir un balourd plus grand, tel qu'un balourd d'au moins 0,8 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$, voire d'au moins 1 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$, voire d'au moins 1,2 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$, voire d'au moins 1,4 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$. En pratique, en effet, il est difficile d'obtenir un ensemble axe-balancier-plateau de faible balourd cible à cause notamment de l'imprécision de mesure des petits balourds. Le balourd de l'ensemble axe-balancier-plateau et la position angulaire de son centre de gravité peuvent être réglés par fraisage du balancier ou en tournant des vis de réglage et/ou des masselottes qui équipent le balancier. La virole, elle, peut être fabriquée très précisément, avec un défaut d'équilibre contrôlé, par exemple par gravure ionique réactive profonde dite DRIE. Le balourd de la virole est de préférence d'au moins 0,3 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$, de préférence d'au moins 0,4 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$, de préférence d'au moins 0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$, de préférence d'au moins 0,6 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$, de préférence d'au moins 0,7 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$, de préférence d'au moins 0,8 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$, de préférence d'au moins 0,9 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$. Il est typiquement compris entre 0,8 et 1 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$.

[0036] Concrètement, si l'on désigne par O le centre de rotation de l'ensemble oscillant 1, 2, 4, 7 (axe-balancier-plateau-virole) en projection orthogonale dans un plan perpendiculaire à l'axe 2, par G_{bv} le centre de gravité de l'ensemble oscillant 1, 2, 4, 7 en projection orthogonale dans ledit plan, par G_b le centre de gravité de l'ensemble axe-balancier-plateau 1, 2, 7 en projection orthogonale dans ledit plan, par m_{bv} la masse de l'ensemble oscillant 1, 2, 4, 7 et par m_b la masse de l'ensemble axe-balancier-plateau 1, 2, 7, l'inégalité suivante est vérifiée dans la présente invention :

$$m_{bv} \|\overrightarrow{OG_{bv}}\| < m_b \|\overrightarrow{OG_b}\|$$

Le premier terme de cette inégalité représente le balourd de l'ensemble oscillant (soit la grandeur A mentionnée précédemment) tandis que le deuxième terme représente le balourd de l'ensemble axe-balancier-plateau. Le vecteur $m_{bv} \cdot \overrightarrow{OG_{bv}}$ représente le défaut d'équilibre de l'ensemble oscillant et le vecteur $m_b \cdot \overrightarrow{OG_b}$ représente le défaut d'équilibre de l'ensemble axe-balancier-plateau. Ces vecteurs satisfont à la relation

$$m_{bv} \cdot \overrightarrow{OG_{bv}} = m_b \cdot \overrightarrow{OG_b} + m_v \cdot \overrightarrow{OG_v}$$

où m_v est la masse de la virole 4 et G_v est le centre de gravité de la virole 4 en projection orthogonale dans ledit plan.

[0037] La figure 7 illustre différents cas conformes à l'invention. Dans le premier cas (figure 7(a)), les vecteurs $m_v \cdot \overrightarrow{OG_v}$ et $m_b \cdot \overrightarrow{OG_b}$ sont colinéaires et de sens opposés et le balourd $m_v \cdot \|\overrightarrow{OG_v}\|$ de la virole est plus petit que le balourd $m_b \cdot \|\overrightarrow{OG_b}\|$ de l'ensemble axe-balancier-plateau. Il s'agit du cas préféré. Le balourd de l'ensemble axe-balancier-plateau est compensé partiellement par celui de la virole et peut être très élevé. Dans le deuxième cas (figure 7(b)), les vecteurs $m_v \cdot \overrightarrow{OG_v}$ et $m_b \cdot \overrightarrow{OG_b}$ ne sont pas colinéaires mais le vecteur $m_v \cdot \overrightarrow{OG_v}$ présente une composante orientée dans le sens opposé au vecteur $m_b \cdot \overrightarrow{OG_b}$. Le balourd de l'ensemble axe-balancier-plateau est compensé partiellement par celui de la virole et peut être élevé. Dans le troisième cas (figure 7(c)), les vecteurs $m_v \cdot \overrightarrow{OG_v}$ et $m_b \cdot \overrightarrow{OG_b}$ sont colinéaires et de sens opposés et le balourd $m_v \cdot \|\overrightarrow{OG_v}\|$ de la virole est plus grand que le balourd $m_b \cdot \|\overrightarrow{OG_b}\|$ de l'ensemble axe-balancier-plateau. Le balourd de l'ensemble axe-balancier-plateau est surcompensé par celui de la virole et peut être élevé, à condition que le balourd de la virole soit lui-même élevé.

[0038] Le principe sous-jacent à l'invention peut être combiné à celui incarné par le deuxième mode de réalisation de la demande de brevet WO 2017/163148 et consistant à augmenter le rayon de virole R. Cependant, le rayon de virole R restera de préférence d'au plus 800 μm , voire d'au plus 700 μm , voire d'au plus 600 μm dans la présente invention.

[0039] Pour apporter le défaut d'équilibre souhaité à la virole 4, on peut jouer sur sa géométrie en formant pendant sa fabrication des parties de déséquilibre 4a. On peut aussi, en variante ou en plus des parties de déséquilibre 4a, ajouter de la matière à la virole, par exemple par PVD (dépôt physique en phase vapeur), CVD (dépôt chimique en phase vapeur) ou brasage.

[0040] Les parties de déséquilibre 4a peuvent avantageusement consister en des excroissances périphériques séparées d'une partie centrale de serrage élastique 4b de la virole 3 par des interstices 4c en forme de fentes de sorte à sensiblement ne pas modifier l'élasticité de la partie centrale 4b et donc la tenue de la virole 4 sur l'axe de balancier 2. Ces excroissances périphériques peuvent aussi avantageusement être séparées l'une de l'autre ou les unes des autres par un ou des interstices en forme de fentes 4d.

[0041] La présente invention permet l'obtention d'un oscillateur horloger dont les écarts de marche entre les différentes positions verticales sont minimaux et qui se prête bien à une production industrielle grâce à l'augmentation du balourd de l'ensemble axe-balancier-plateau qu'elle rend possible.

Revendications

1. Oscillateur pour pièce d'horlogerie comprenant, sur un axe (2), un balancier (1), un plateau d'échappement (7) et un spiral (3), le spiral (3) étant monté sur l'axe (2) par l'intermédiaire d'une virole (4), l'ensemble axe-balancier-plateau-virole présentant un défaut d'équilibre, ledit défaut d'équilibre et la géométrie du spiral étant tels que

a) les courbes (S1-S4) représentant la marche de l'oscillateur due au poids du spiral en fonction de l'amplitude d'oscillation du balancier dans au moins quatre positions verticales de l'oscillateur espacées de 90° passent chacune par la valeur zéro à une amplitude d'oscillation du balancier comprise entre 200° et 240° ;

b) entre l'amplitude d'oscillation de 150° et l'amplitude d'oscillation de 280°, les courbes (B1-B4) représentant la marche de l'oscillateur due au défaut d'équilibre de l'ensemble axe-balancier-plateau-virole en fonction de l'amplitude d'oscillation du balancier dans lesdites positions verticales de l'oscillateur ont chacune une pente moyenne de signe opposé à la pente moyenne de la courbe correspondante parmi lesdites courbes (S1-S4) représentant la marche de l'oscillateur due au poids du spiral,

oscillateur dans lequel l'inégalité suivante est vérifiée :

$$m_{bv} \cdot \|\overrightarrow{OG_{bv}}\| < m_b \cdot \|\overrightarrow{OG_b}\|$$

où m_{bv} est la masse de l'ensemble axe-balancier-plateau-virole, O est le centre de rotation de cet ensemble en projection orthogonale dans un plan perpendiculaire à l'axe (2), G_{bv} est le centre de gravité de l'ensemble axe-balancier-plateau-virole en projection orthogonale dans ledit plan, m_b est la masse de l'ensemble axe-balancier-plateau et G_b est le centre de gravité de l'ensemble axe-balancier-plateau en projection orthogonale dans ledit plan.

2. Oscillateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la géométrie du spiral est telle que lesdites courbes (S1-S4) représentant la marche de l'oscillateur due au poids du spiral passent chacune par la valeur zéro à une amplitude d'oscillation du balancier comprise entre 210° et 230°.
3. Oscillateur selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** la géométrie du spiral est telle que lesdites courbes (S1-S4) représentant la marche de l'oscillateur due au poids du spiral passent chacune par la valeur zéro à une amplitude d'oscillation du balancier comprise entre 215° et 225°.
4. Oscillateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le défaut d'équilibre de l'ensemble axe-balancier-plateau-virole et la géométrie du spiral sont tels que la pente moyenne de chaque courbe parmi lesdites courbes (B1-B4) représentant la marche de l'oscillateur due audit défaut d'équilibre a sensiblement la même valeur absolue que la pente moyenne de la courbe correspondante parmi lesdites courbes (S1-S4) représentant la marche de l'oscillateur due au poids du spiral, dans la plage d'amplitudes d'oscillation de 150° à 280°.
5. Oscillateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le défaut d'équilibre de l'ensemble axe-balancier-plateau-virole et la géométrie du spiral sont tels que l'écart maximum de la marche de l'oscillateur due audit défaut d'équilibre et au poids du spiral entre lesdites positions verticales dans la plage d'amplitudes d'oscillation de 150° à 280° est inférieur à 4 secondes/jour, de préférence à 2 secondes/jour, de préférence encore à 1 seconde/jour, de préférence encore à 0,7 seconde/jour.
6. Oscillateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** la distance (R) entre l'extrémité intérieure (3a) du spiral (3') et le centre de rotation (O) du spiral (3') est d'au plus 800 μm , de préférence d'au plus 700 μm , de préférence d'au plus 600 μm .
7. Oscillateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le balourd $m_b \|\overrightarrow{OG_b}\|$ de l'ensemble axe-balancier-plateau est d'au moins 0,8 $\mu\text{g.cm}$, de préférence d'au moins 1 $\mu\text{g.cm}$, de préférence d'au moins 1,2 $\mu\text{g.cm}$, de préférence d'au moins 1,4 $\mu\text{g.cm}$.
8. Oscillateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le balourd $m_v \|\overrightarrow{OG_v}\|$ de la virole (4), où m_v est la masse de la virole (4) et G_v est le centre de gravité de la virole (4) en projection orthogonale dans ledit plan, est d'au moins 0,3 $\mu\text{g.cm}$, de préférence d'au moins 0,4 $\mu\text{g.cm}$, de préférence d'au moins 0,5 $\mu\text{g.cm}$, de préférence d'au moins 0,6 $\mu\text{g.cm}$, de préférence d'au moins 0,7 $\mu\text{g.cm}$, de préférence d'au moins 0,8 $\mu\text{g.cm}$, de préférence d'au moins 0,9 $\mu\text{g.cm}$.
9. Oscillateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** la virole (4) comprend au moins une excroissance de déséquilibre (4a) séparée d'une partie élastique (4b) de la virole (4) serrant élastiquement l'arbre (2) par au moins un interstice (4c) de préférence en forme de fente.
10. Oscillateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** la spire intérieure du spiral (3 ; 3') présente une portion rigidifiée (3d) et/ou est conformée selon une courbe Grossmann.
11. Oscillateur selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** la spire extérieure du spiral (3 ; 3') présente une portion rigidifiée (3c).
12. Oscillateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** le spiral présente une rigidité et/ou un pas qui varient continûment sur au moins plusieurs spires.
13. Oscillateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** la virole (4) est en un matériau à base de silicium.
14. Oscillateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce que** le spiral (3) est en un matériau à base de silicium.

EP 3 913 441 A1

- 15.** Mouvement horloger comprenant un oscillateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 14.
- 16.** Pièce d'horlogerie, telle que montre-bracelet ou montre de poche, comprenant un oscillateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 14 ou un mouvement horloger selon la revendication 15.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig.1

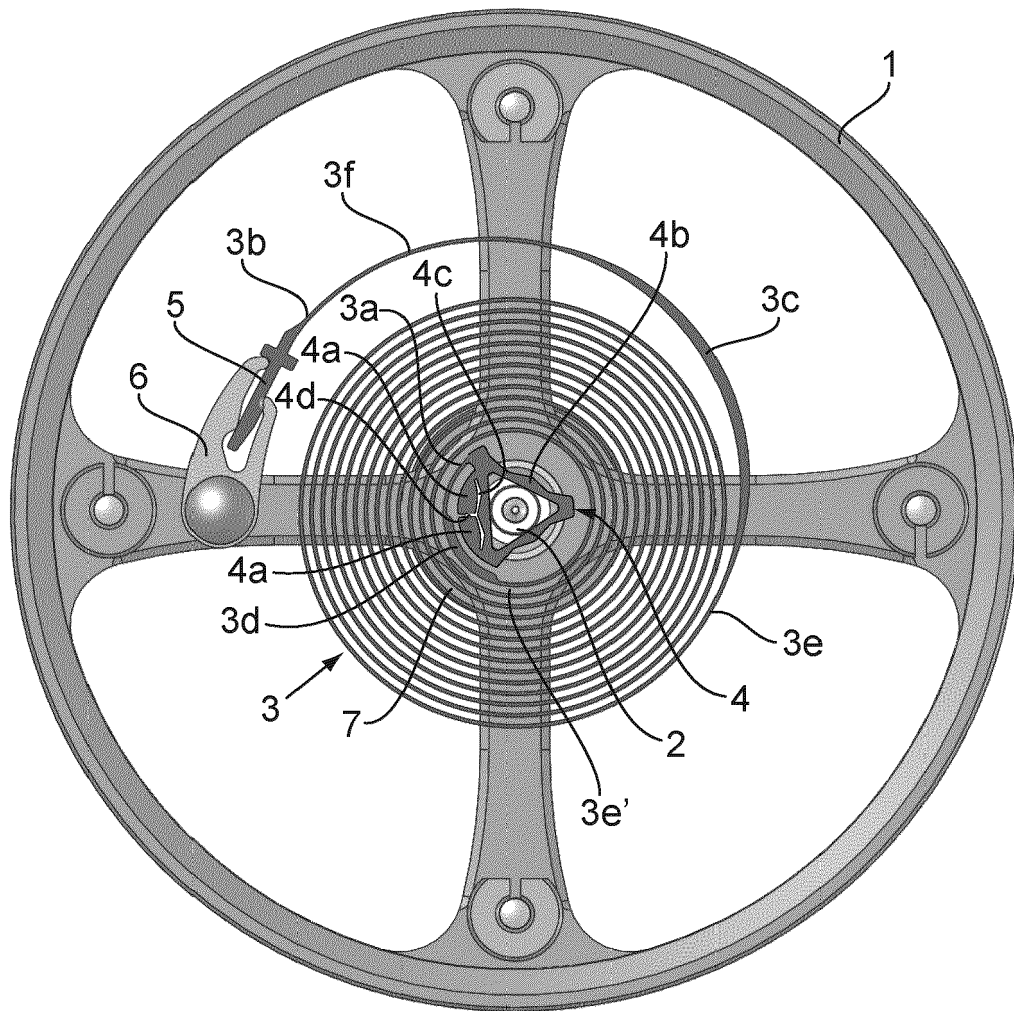


Fig.2

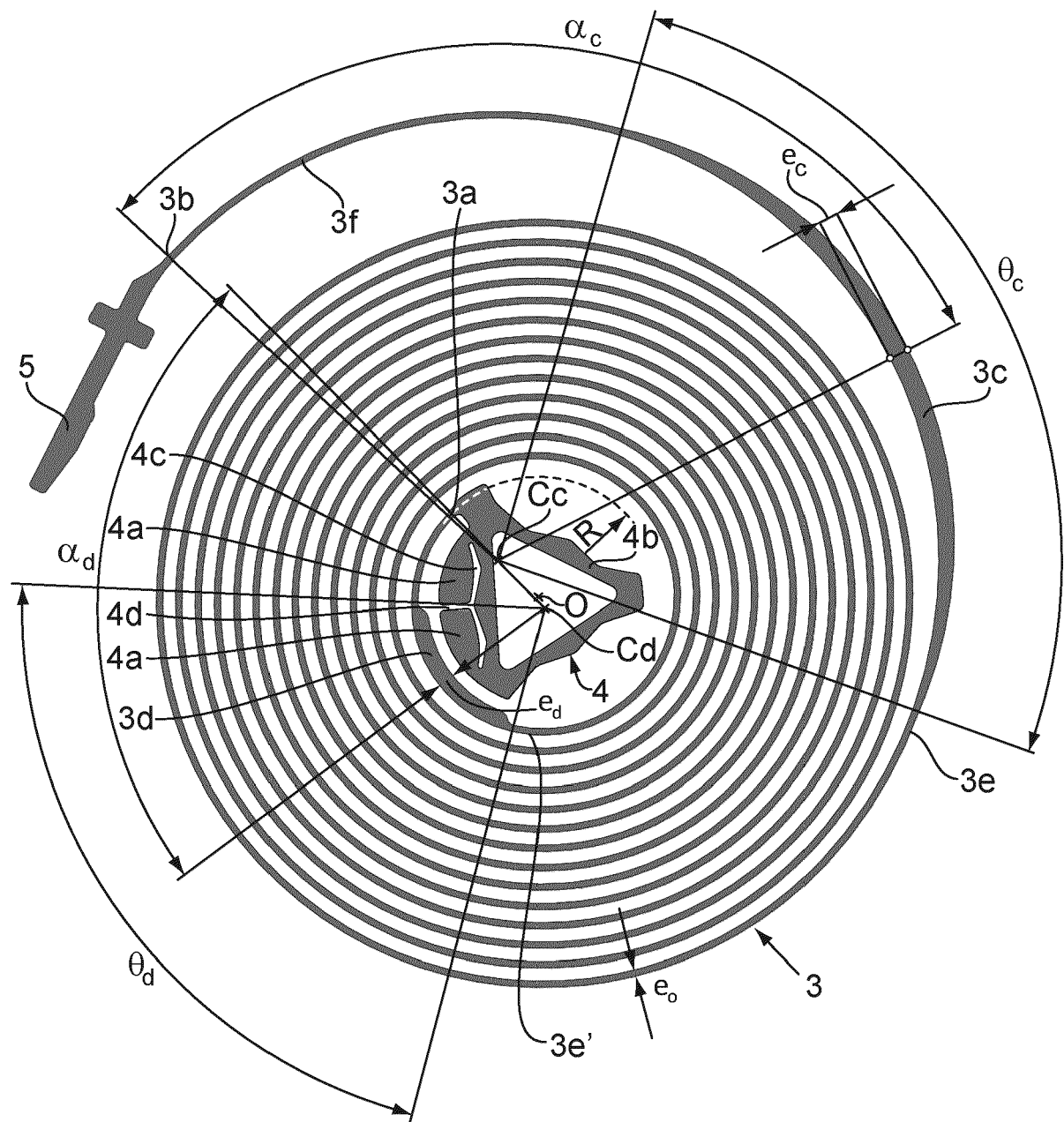


Fig.3

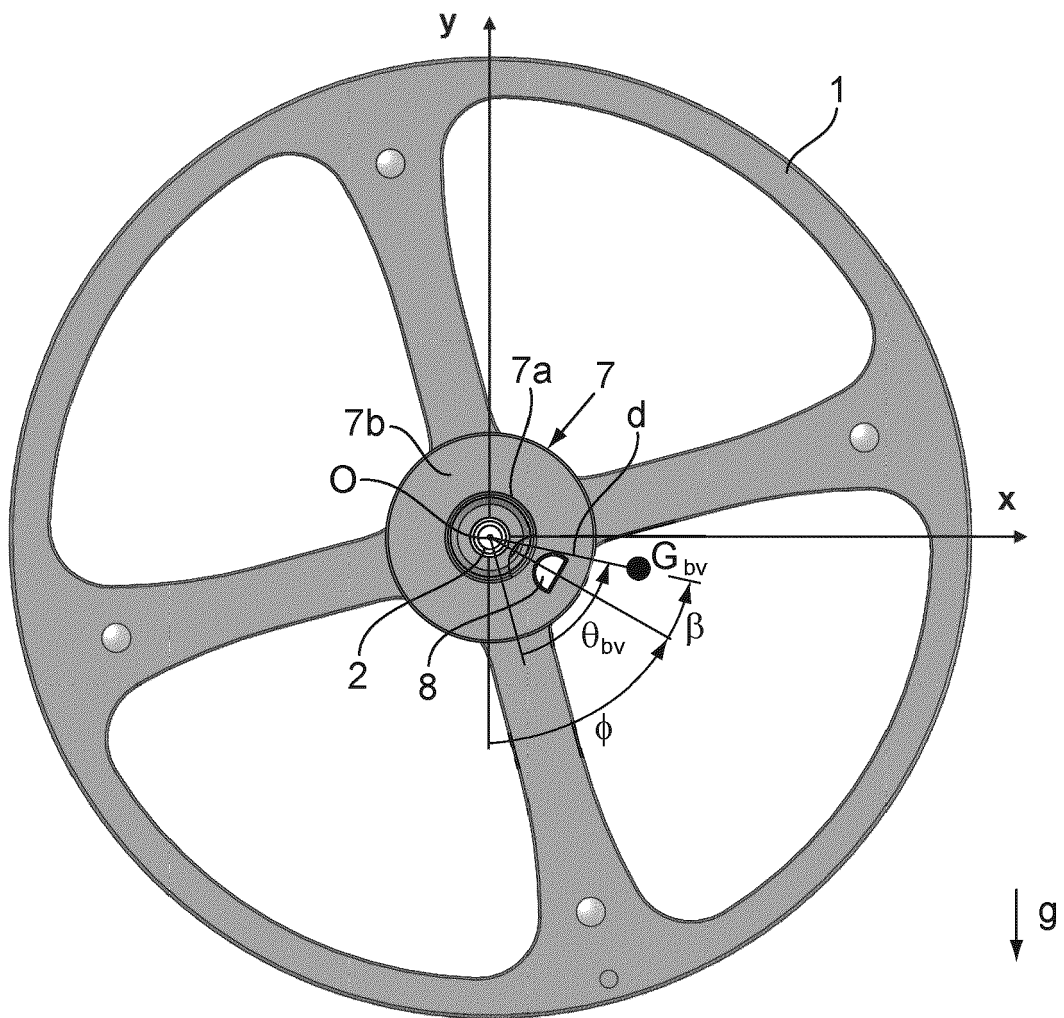


Fig.4

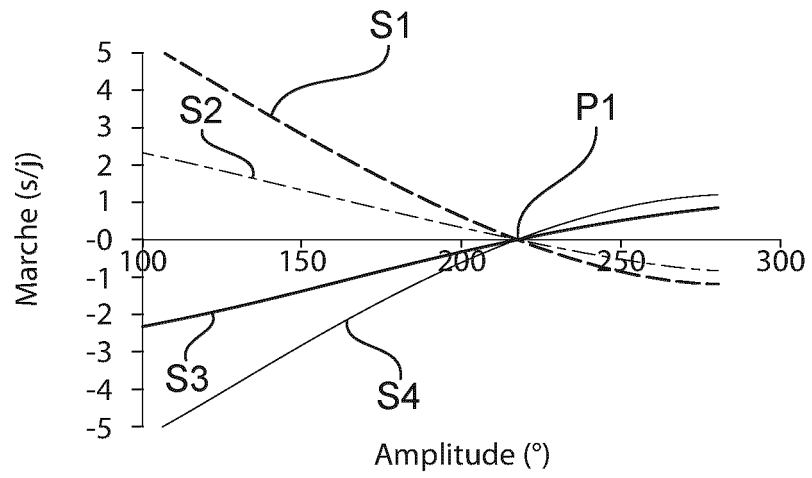


Fig.5

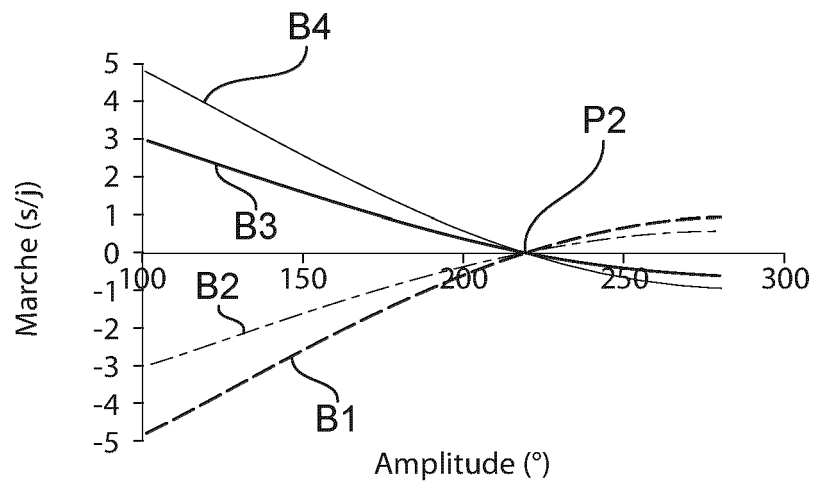


Fig.6

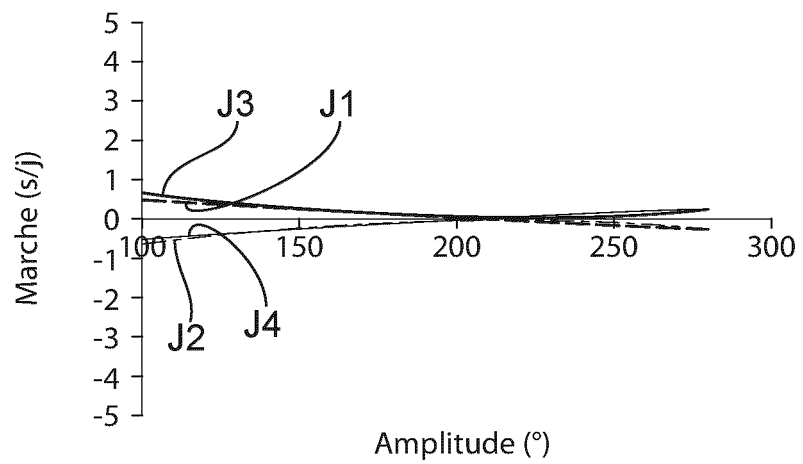
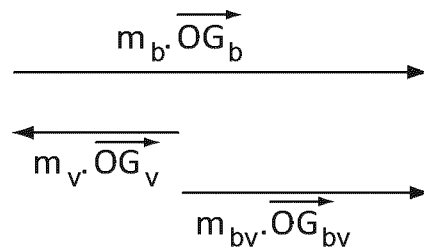
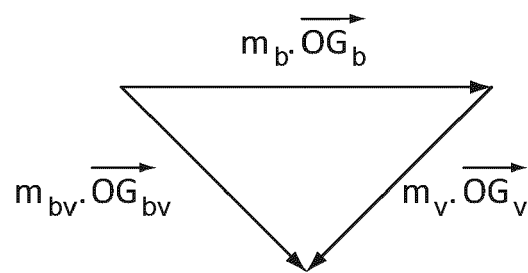


Fig.7

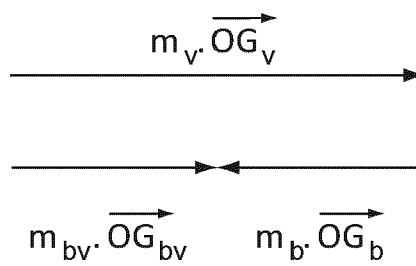
(a)



(b)



(c)





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 20 17 5995

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Y,D	WO 2017/163148 A1 (PATEK PHILIPPE SA GENEVE [CH]) 28 septembre 2017 (2017-09-28) * page 1 - page 12; revendication 1; figures 1-10 *	1-16	INV. G04B17/34 G04B17/06 G04B17/26 G04B17/28 G04D7/08 G04D7/10
Y	CH 702 708 B1 (SIGATEC S A [CH]) 31 août 2011 (2011-08-31) * alinéas [0020], [0022], [0025] - [0030]; figure 3 *	1-16	
A	WO 2014/001341 A1 (ROLEX SA [CH]) 3 janvier 2014 (2014-01-03) * page 12, lignes 17-19 * * page 18, lignes 4-8 *	1-16	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B G04D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 26 octobre 2020	Examineur Cavallin, Alberto
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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 20 17 5995

5 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.

26-10-2020

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2017163148 A1	28-09-2017	CN 108885426 A EP 3433680 A1 JP 2019509492 A KR 20180127367 A SG 11201806735Q A US 2019049900 A1 WO 2017163148 A1	23-11-2018 30-01-2019 04-04-2019 28-11-2018 27-09-2018 14-02-2019 28-09-2017
CH 702708 B1	31-08-2011	AUCUN	
WO 2014001341 A1	03-01-2014	CN 104520775 A EP 2864844 A1 JP 6254584 B2 JP 2015525871 A US 2015338829 A1 WO 2014001341 A1	15-04-2015 29-04-2015 27-12-2017 07-09-2015 26-11-2015 03-01-2014

EPO FORM P0460

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.

Documents brevets cités dans la description

- EP 1584994 A [0003]
- EP 1445670 A [0004]
- EP 1473604 A [0004]
- EP 2299336 A [0004]
- WO 2014072781 A [0004] [0031]
- WO 2017163148 A [0005] [0006] [0009] [0038]
- EP 1780611 A [0023]
- WO 2013034962 A [0031]