



(43) Date de la publication internationale
28 septembre 2017 (28.09.2017)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2017/163148 A1

(51) Classification internationale des brevets :

G04B 17/06 (2006.01) G04D 7/08 (2006.01)

G04B 17/28 (2006.01) G04D 7/10 (2006.01)

G04B 17/26 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/IB2017/051480

(22) Date de dépôt international :

15 mars 2017 (15.03.2017)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

16161964.8 23 mars 2016 (23.03.2016) EP

(71) Déposant : PATEK PHILIPPE SA GENEVE [CH/CH];
Rue du Rhône 41, 1204 Genève (CH).

(72) Inventeur : BUCAILLE, Jean-Luc; Chemin des Champs
91, 74160 Présilly (FR).

(74) Mandataire : MICHELI & CIE SA; 122, Rue de Ge-
nève, CP 61, 1226 Thônex (CH).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,

BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG,
NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS,
RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY,
TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN,
ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,
LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des
revendications, sera republiée si des modifications sont re-
çues (règle 48.2.h)

(54) Title : BALANCE WHEEL OSCILLATOR FOR TIMEPIECE

(54) Titre : OSCILLATEUR BALANCIER-SPIRAL POUR PIECE D'HORLOGERIE

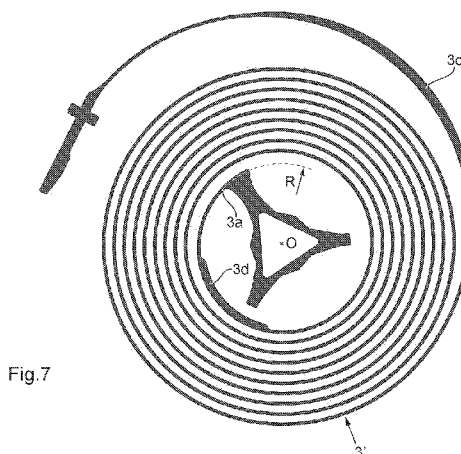


Fig. 7

(57) Abstract : The invention relates to an oscillator for a timepiece, comprising a balance (1) and a spiral hairspring (3; 3'), the balance having a balance defect. The balance defect of the balance and the geometry of the spiral hairspring are such that: (a) the curves (S1-S4; S1'-S4') representing the rate of the oscillator as a result of the weight of the spring according to the amplitude of oscillation of the balance in at least four vertical positions of the oscillator interspaced by 90° each pass through zero at an amplitude of oscillation of the balance of between 200° and 240°; (b) between the amplitude of oscillation of 150° and the amplitude of oscillation of 280°, the curves (B1 - B4; B1'-B4') representing the rate of the oscillator as a result of the balance defect of the balance according to the amplitude of oscillation of the balance in said vertical positions of the oscillator each have an average slope of an opposite sign to the average slope of the corresponding curve among said curves (S1-S4; S1'-S4') representing the rate of the oscillator as a result of the weight of the spiral hairspring. The rate deviations between the vertical positions can thereby be reduced.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



Oscillateur pour pièce d'horlogerie, comprenant un balancier (1) et un spiral (3; 3'), le balancier présentant un défaut d'équilibre. Le défaut d'équilibre du balancier et la géométrie du spiral sont tels que : (a) les courbes (S1-S4; 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; B1'-B4') représentant la marche de l'oscillateur due au défaut d'équilibre du balancier 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; S1'-S4') représentant la marche de l'oscillateur due au poids du spiral. Une diminution des écarts de marche entre les positions verticales peut ainsi être obtenue.

Oscillateur balancier-spiral pour pièce d'horlogerie

La présente invention concerne un oscillateur de type balancier-spiral pour pièce d'horlogerie, 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.

La marche d'un oscillateur balancier-spiral est égale à la somme de la marche due au défaut d'équilibre du balancier et de la marche due au spiral. 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'arbre 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.

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 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$.

La présente invention vise à proposer 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.

A cette fin, il est prévu un oscillateur pour pièce d'horlogerie, comprenant un balancier et un spiral, le balancier présentant un défaut d'équilibre, caractérisé en ce que le défaut d'équilibre du balancier et la géométrie du spiral sont 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° , de préférence dans toutes les positions verticales, passent chacune par la valeur zéro à une amplitude d'oscillation du balancier comprise entre 200° et 240° , de préférence entre 210° et 230° , de préférence encore entre 215° et 225° ;
- 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 du balancier 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'oscillateur due au poids du spiral.

Ainsi, la présente invention propose de concevoir le balancier et le spiral de telle manière que 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. Contrairement à l'état de la technique, on ne cherche donc pas dans la présente invention 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. Cette nouvelle approche 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.

En pratique, l'amplitude d'oscillation à laquelle les courbes représentant la
5 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.

Dans des exemples de réalisation préférentiels, le défaut d'équilibre du
balancier et la géométrie du spiral sont tels que la pente moyenne de chaque courbe
10 parmi lesdites courbes représentant la marche de l'oscillateur due au défaut
d'équilibre du balancier 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°.

15 Le défaut d'équilibre du balancier et la géométrie du spiral peuvent être tels
que l'écart maximum de la marche de l'oscillateur due au défaut d'équilibre du
balancier 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.

20 La distance entre l'extrémité intérieure du spiral et le centre de rotation du
spiral peut être supérieure à 500 μm , voire à 600 μm , voire encore à 700 μm .

Le balourd du balancier peut être supérieur à 0,5 $\mu\text{g.cm}$, voire à 1 $\mu\text{g.cm}$.

Dans des exemples typiques de réalisation, la spire intérieure du spiral
présente une portion rigidifiée et/ou est conformée selon une courbe Grossmann.

25 La spire extérieure du spiral peut elle aussi présenter une portion rigidifiée.

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

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 :

- 5 - la figure 1 montre un oscillateur balancier-spiral selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 2 montre le spiral de l'oscillateur selon le premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 3 montre le balancier de l'oscillateur selon l'invention, vu depuis l'autre côté par rapport à la figure 1 ;
- 10 - la figure 4 montre des courbes représentant la marche de l'oscillateur due au poids du spiral selon le premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 5 montre des courbes représentant la marche de l'oscillateur due au défaut d'équilibre du balancier selon le premier mode de réalisation de l'invention ;
- 15 - la figure 6 montre des courbes représentant la marche de l'oscillateur due à la fois au défaut d'équilibre du balancier et au poids du spiral selon le premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 7 montre le spiral d'un oscillateur selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- 20 - la figure 8 montre des courbes représentant la marche de l'oscillateur due au poids du spiral selon le deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 9 montre des courbes représentant la marche de l'oscillateur due au défaut d'équilibre du balancier selon le deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- 25 - la figure 10 montre des courbes représentant la marche de l'oscillateur due à la fois au défaut d'équilibre du balancier et au poids du spiral selon le deuxième mode de réalisation de l'invention.

En référence aux figures 1 à 3, un oscillateur balancier-spiral selon un premier mode de réalisation 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. L'axe de balancier 2 porte aussi un plateau ou double plateau 7 portant lui-même une cheville de plateau 8 et faisant partie d'un échappement servant à entretenir et compter les oscillations de l'oscillateur.

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.

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
5 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
10 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.

La marche d'un oscillateur balancier-spiral est égale à la somme de la marche due au balancier et de la marche due au spiral. Le balancier influence la
15 marche dans les positions verticales uniquement. La marche de l'oscillateur due au balancier est causée par le défaut d'équilibre du balancier, c'est-à-dire par le fait que, en raison des tolérances de fabrication, le centre de gravité du balancier n'est pas sur l'axe de rotation de ce dernier. En référence à la figure 3, si l'on définit par
d la position radiale du centre de gravité G du balancier 1 (par rapport au centre de
20 rotation O du balancier, en projection dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation 2) et par M_b la masse du balancier, la grandeur $A = d.M_b$ est le balourd du balancier. Comme on le verra par la suite, le balourd A du balancier et la position angulaire θ_b de son centre de gravité G (définie par exemple par rapport à un bras
du balancier, en projection dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation 2,
25 comme illustré à la figure 3) sont des paramètres d'ajustement de la marche due au défaut d'équilibre du balancier. 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 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'affaissement gravitationnel élastique du spiral, qui est négligé dans la présente invention.

5 D'après la théorie, la courbe représentant la marche de l'oscillateur due au défaut d'équilibre du balancier 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
10 d'Archimède parfaite, la 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 $163,5^\circ$ et de $330,5^\circ$.

La présente invention repose sur la constatation qu'il est possible de choisir
15 des paramètres A , θ_b de balanciers et des géométries de spiraux pour que la marche due au défaut d'équilibre du balancier et la marche 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.

Dans l'exemple de la figure 2, le spiral 3 présente 14 spires. L'épaisseur e_0
20 de la lame formant le spiral, mesurée suivant un rayon partant du centre de rotation O du spiral, est de $28,1 \mu\text{m}$, 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 $86,8 \mu\text{m}$. 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
25 centre O passant par le milieu (à la moitié de l'épaisseur e_0) de l'extrémité intérieure 3a, est de $545 \mu\text{m}$. 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 $73 \mu\text{m}$. 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 par rapport à l'extrémité intérieure 3a), mesurée depuis le centre de courbure C_d , est de 82° . L'épaisseur maximale e_c de la portion rigidifiée extérieure 3c, mesurée suivant un rayon partant du centre de courbure C_c de la partie terminale 3f du spiral 3, est de $88 \mu\text{m}$. 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 C_c , sont respectivement de 94° et de 110° .

On a représenté à la figure 4 la marche de l'oscillateur 1, 2, 3 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 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 :

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

20

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

25

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 numériquement.

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. 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.

La figure 5 représente la marche de l'oscillateur 1, 2, 3 due au défaut d'équilibre du balancier 1 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 :

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

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_b est la masse du balancier, g est la constante de gravité, d est la position radiale du centre de gravité du balancier, J_b est le moment d'inertie du balancier, 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 du balancier par rapport à la cheville de plateau 8 (cf. figure 3 ; $\beta = \theta_b - 45^\circ$) et ϕ est la position angulaire de la cheville de plateau 8 par rapport à la direction de la gravité.

5 Plus particulièrement, le diagramme de la figure 5 est celui d'un balancier ayant un balourd A de $0,6 \mu\text{g.cm}$ et dont la position angulaire θ_b 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

10 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

15 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 du balancier 1 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

20 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 du balancier et la position angulaire θ_b de son centre de gravité. À balourd A constant, faire varier la position angulaire θ_b du centre de gravité du balancier change la position relative des

25 courbes B1 à B4. Il convient donc de choisir une valeur θ_b 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_b 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 le balancier et le spiral.

La figure 6 montre la marche de l'oscillateur due au défaut d'équilibre du balancier et au poids du spiral (somme de la marche due au défaut d'équilibre du balancier 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.

En pratique, sur un balancier fabriqué, on peut régler le balourd A et la position angulaire θ_b du centre de gravité par fraisage et/ou au moyen de vis de réglage qui équipent le balancier et/ou au moyen de masselottes qui équipent le balancier. Pour toutefois faciliter la fabrication et le réglage du balancier, il est prévu selon un deuxième mode de réalisation de l'invention de choisir un plus grand balourd A. Cependant, l'augmentation du balourd A entraîne une augmentation de la pente des courbes B1 à B4. Afin de permettre au spiral de compenser la marche due au défaut d'équilibre du balancier, il est également prévu selon ce deuxième mode de réalisation de l'invention d'augmenter le rayon de la virole 4 pour augmenter la pente des courbes S1 à S4.

Ainsi, la figure 7 montre un spiral 3' du même type que le spiral 3 illustré à la figure 2 mais dont le rayon de virole R a été augmenté de 545 μm à 760 μm . Les valeurs e_0 , e_c , e_d , θ_c , θ_d , α_c , α_d , mesurées de la même manière que pour le spiral 3, sont les suivantes :

$$e_0 = 25,9 \mu\text{m}$$

$$e_c = 86 \mu\text{m}$$

$$e_d = 71 \mu\text{m}$$

$$\theta_c = 94^\circ$$

$$\theta_d = 78^\circ$$

$$\alpha_c = 90^\circ$$

$$\alpha_d = 88^\circ$$

Le pas du spiral 3' est de 96,5 μm . Le nombre de spires est de 10.

A la figure 8 est représentée la marche de l'oscillateur 1, 2, 3' due au poids du spiral 3' en fonction de l'amplitude d'oscillation du balancier 1 dans chacune des quatre positions verticales précitées, à savoir la position verticale haute VH (courbe S1'), la position verticale droite VD (courbe S2'), la position verticale gauche VG (courbe S3') et la position verticale basse VB (courbe S4'). Ces courbes S1' à S4' se croisent sensiblement en un point P1' situé sur l'axe des abscisses et correspondant à une amplitude d'oscillation du balancier d'environ 223°.

La figure 9 montre la marche de l'oscillateur 1, 2, 3' due au défaut d'équilibre du balancier 1 en fonction de l'amplitude d'oscillation du balancier 1 dans chacune des quatre positions verticales précitées, 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'). Le diagramme de la figure 9 a été obtenu avec un balancier ayant un balourd A de 1,25 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}$ et dont la position angulaire θ_b du centre de gravité est de 55°. On peut constater que les pentes des courbes S1' à S4' et les pentes des courbes B1' à B4' permettent une compensation de marche entre le balancier 1 et le spiral 3'.

La figure 10 montre la marche de l'oscillateur 1, 2, 3' due au défaut d'équilibre du balancier 1 et au poids du spiral 3' (somme de la marche due au défaut d'équilibre du balancier 1 et de la marche due au poids du spiral 3') 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.

Les exemples de réalisation décrits ci-dessus ne sont nullement limitatifs. Il va de soi que de nombreuses configurations sont possibles pour réaliser l'invention telle que revendiquée.

REVENDICATIONS

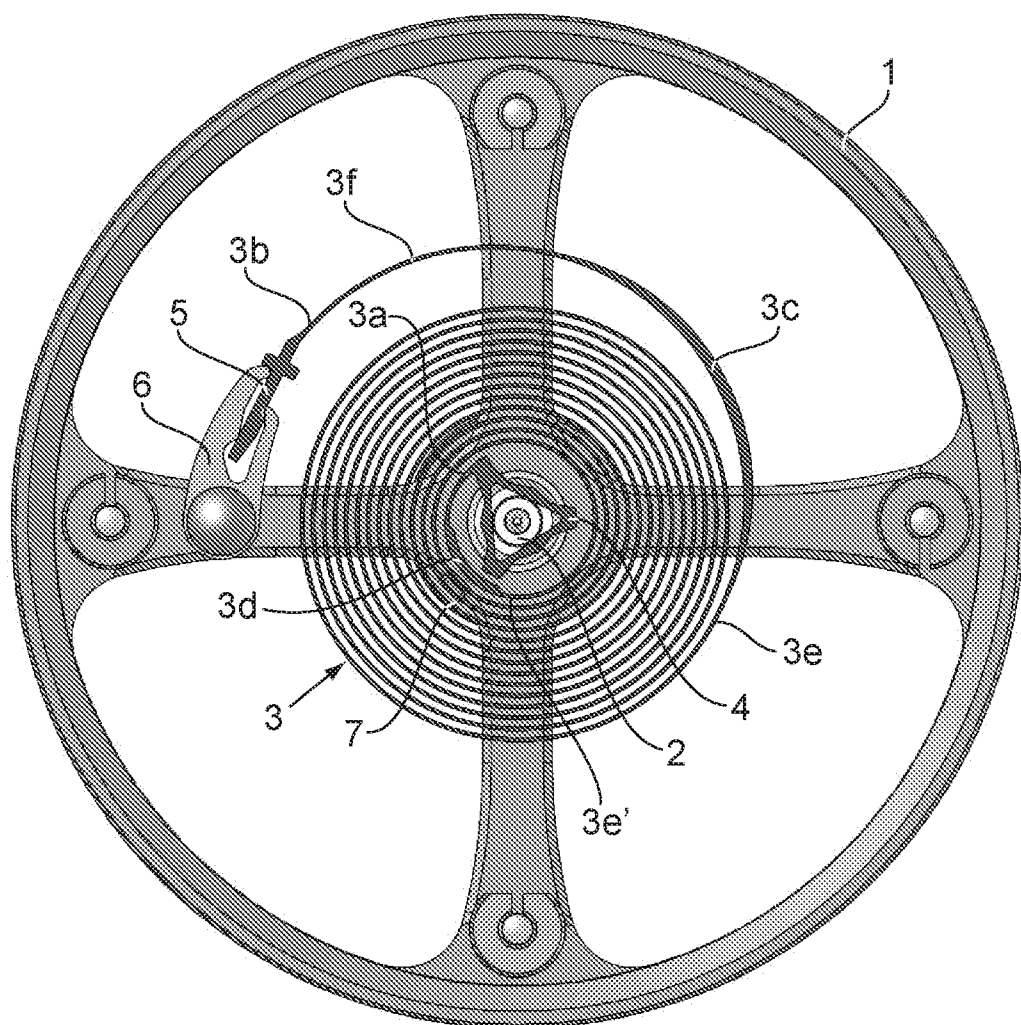
1. Oscillateur pour pièce d'horlogerie, comprenant un balancier (1) et un spiral (3 ; 3'), le balancier présentant un défaut d'équilibre, caractérisé en ce que le défaut d'équilibre du balancier et la géométrie du spiral sont tels que
- a) les courbes (S1-S4 ; S1'-S4') représentant la marche de l'oscillateur 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 ; B1'-B4') représentant la marche de l'oscillateur due au défaut d'équilibre du balancier 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 ; S1'-S4') représentant la marche de l'oscillateur due au poids du spiral.
2. Oscillateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la géométrie du spiral est telle que lesdites courbes (S1-S4 ; 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 ; 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 du balancier et la géométrie du spiral sont tels que la pente moyenne de chaque courbe parmi lesdites courbes (B1-B4 ; B1'-B4') représentant la marche de l'oscillateur due au défaut d'équilibre du balancier a sensiblement la même valeur absolue que la pente moyenne de la courbe correspondante parmi lesdites courbes (S1-S4 ; 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 du balancier et la géométrie du spiral sont tels que l'écart maximum de la marche de l'oscillateur due au défaut d'équilibre du balancier 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 supérieure à 500 μm , de préférence supérieure à 600 μm , de préférence encore supérieure à 700 μm .
7. Oscillateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le balourd du balancier est supérieur à 0,5 $\mu\text{g.cm}$, de préférence supérieur à 1 $\mu\text{g.cm}$.
8. Oscillateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la spire intérieure du spiral (3 ; 3') présente une portion rigidifiée (3d) et/ou est conformée selon une courbe Grossmann.

9. Oscillateur selon la revendication 8, caractérisé en ce que la spire extérieure du spiral (3 ; 3') présente une portion rigidifiée (3c).
- 5 10. Oscillateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le spiral présente une rigidité et/ou un pas qui varient continûment sur au moins plusieurs spires.

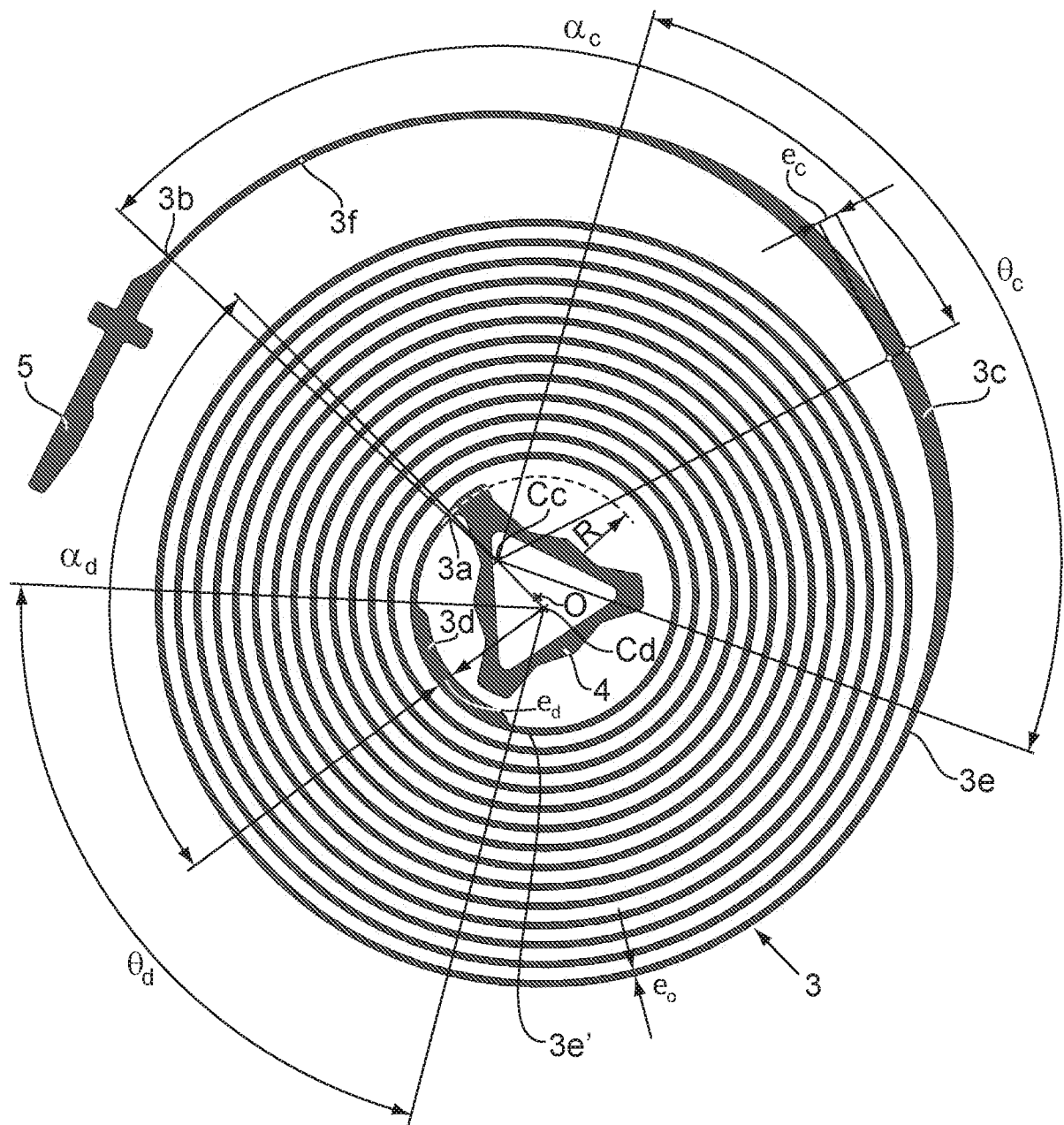
1/6

Fig.1



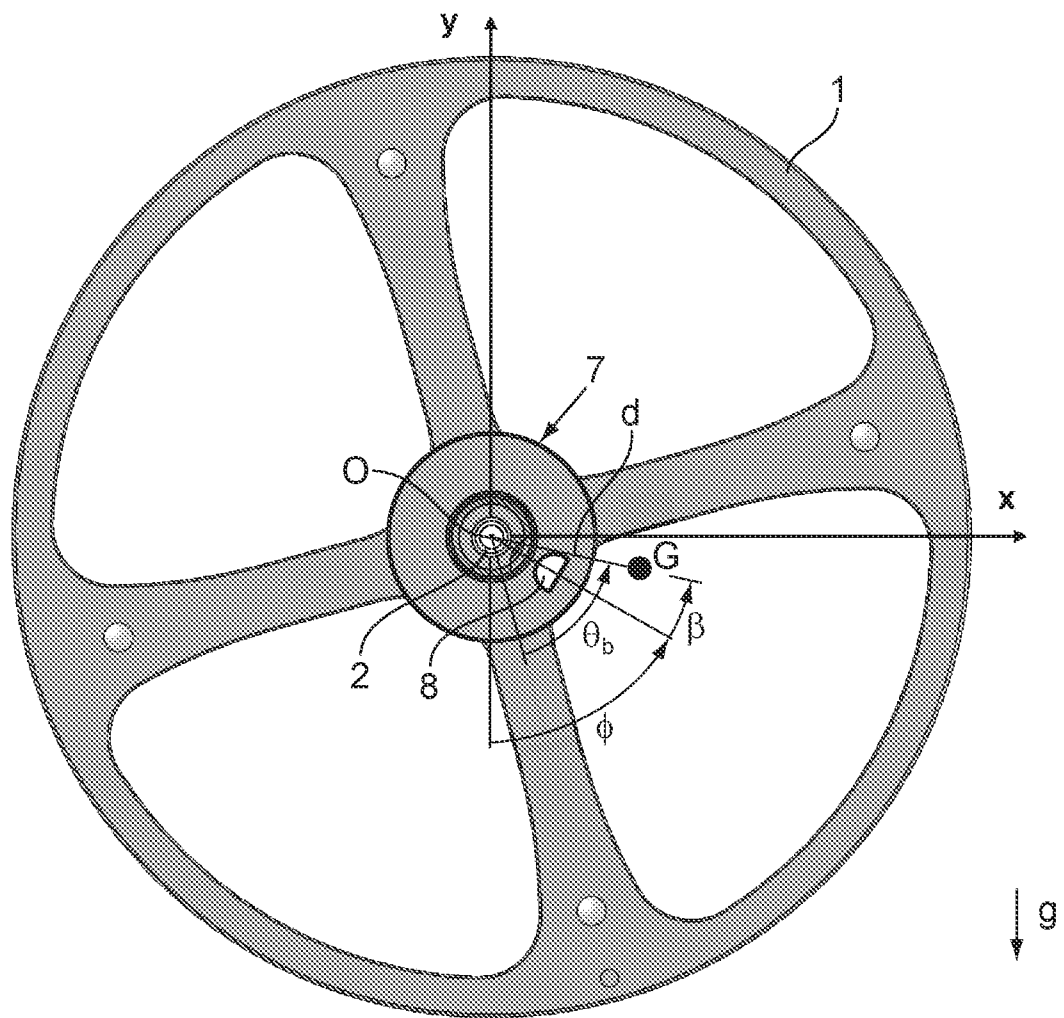
2/6

Fig.2



3/6

Fig.3



4/6

Fig.4

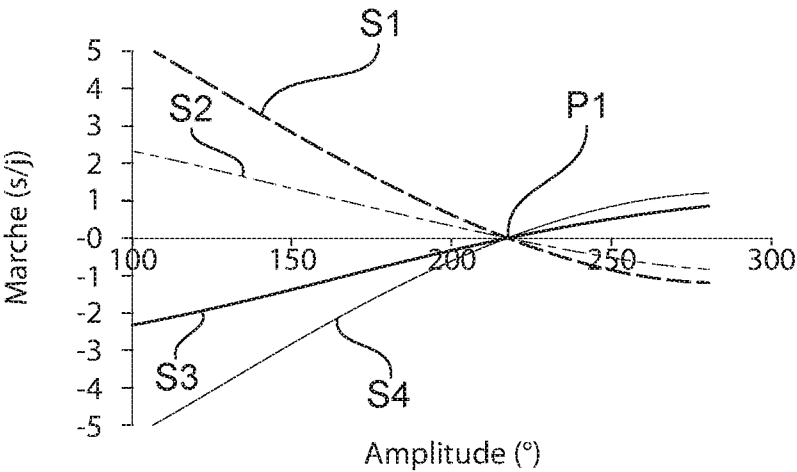


Fig.5

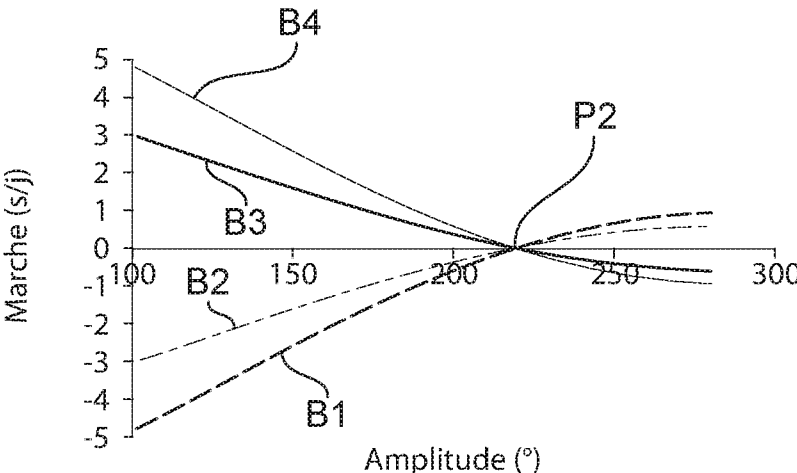
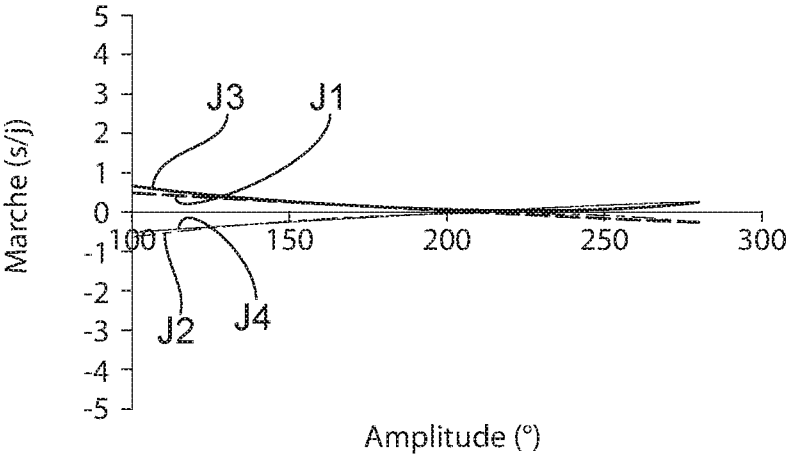
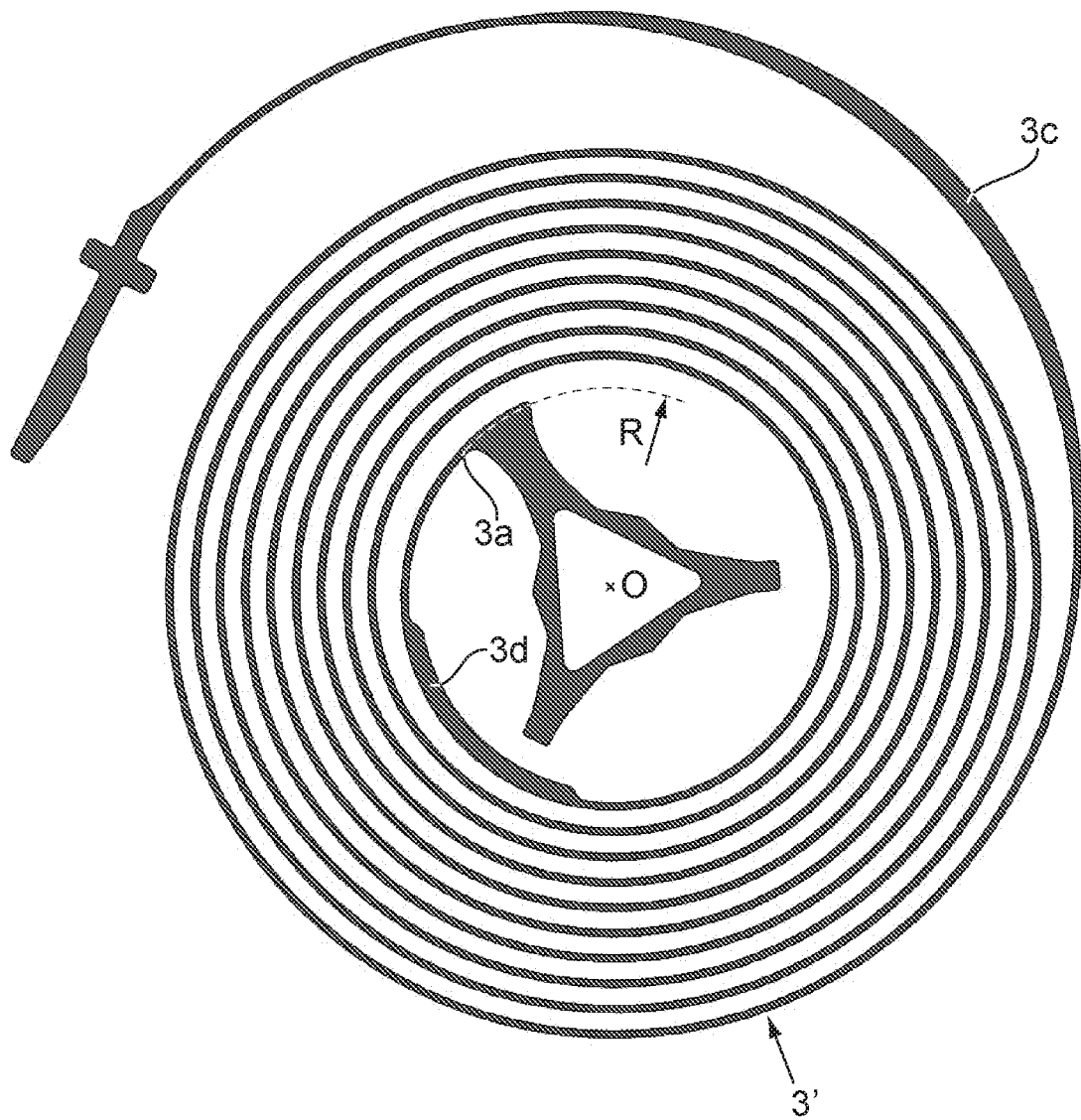


Fig.6



5/6

Fig.7



6/6

Fig.8

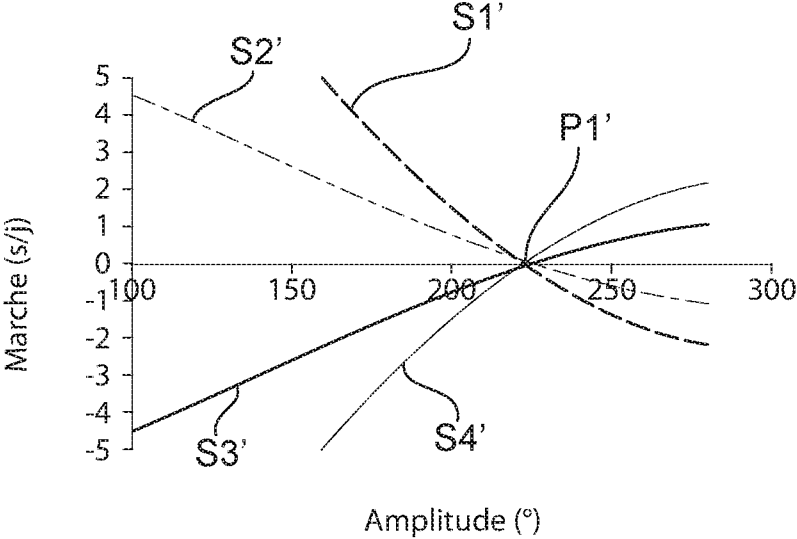


Fig.9

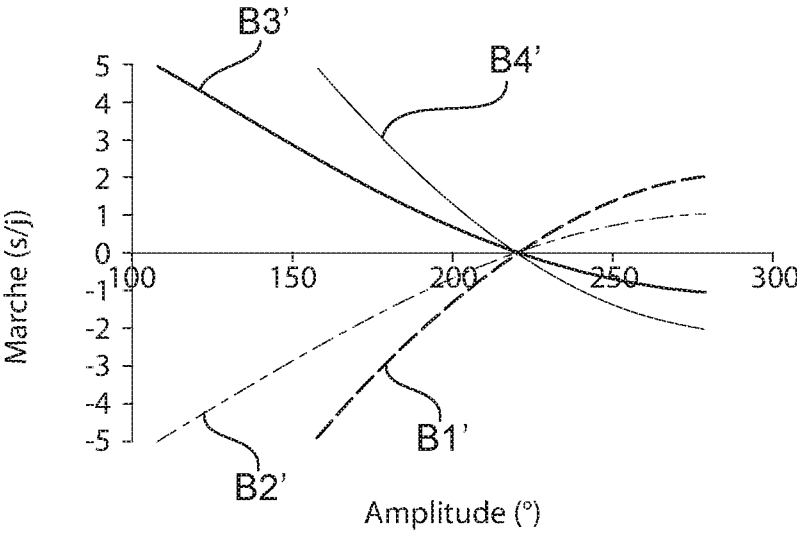
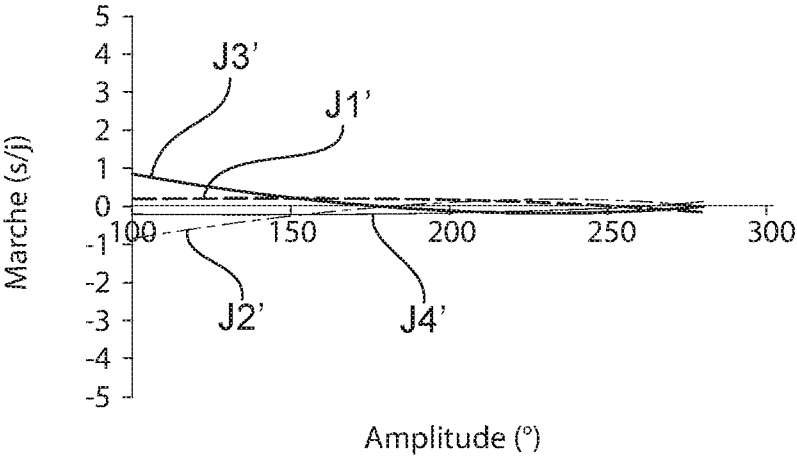


Fig.10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/IB2017/051480

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G04B17/06 G04B17/28 G04B17/26 G04D7/08 G04D7/10
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G04B G04D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	W0 2014/001341 A1 (ROLEX SA [CH]) 3 January 2014 (2014-01-03) page 12, lines 17-19 page 18, lines 4-8 ----- -/--	1-7,9 8,10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 July 2017

Date of mailing of the international search report

31/07/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Cavallin, Alberto

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/IB2017/051480

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JEAN PIRANDA ET AL: "De la conception pragmatique à la conception assistée par ordinateur : évolution du spiral de balancier", ANNALES FRANCAISES DE CHRONOMÉTRIE ET DE MICROMÉCANIQUE : PUBLICATION TRIMESTRIELLE DE LA SOCIÉTÉ CHRONOMÉTRIQUE DE FRANCE., 1 January 2011 (2011-01-01), pages 71-82, XP055302311, DOI: http://bdchrono.ssc.ch/Conference.aspx?Mode=Search&From=List&Page=0&intItem=0&Col=Annee&Sens=DESC&idConference=C04826	1-7,9
A	page 79; figures 2,9b,10,11 page 80, line 5 - page 81, line 11 -----	8,10
A	W0 2015/132259 A2 (RICHEMONT INT SA [CH]) 11 September 2015 (2015-09-11) paragraph [0026] - paragraph [0042] page 10, paragraph 17-22 -----	1-10
A	EP 1 445 670 A1 (ETA SA MFT HORLOGERE SUISSE [CH]) 11 August 2004 (2004-08-11) cited in the application paragraphs [0019], [0023], [0025]; figures 6,8 -----	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/IB2017/051480

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2014001341 A1	03-01-2014	CN 104520775 A EP 2864844 A1 JP 2015525871 A US 2015338829 A1 WO 2014001341 A1	15-04-2015 29-04-2015 07-09-2015 26-11-2015 03-01-2014
WO 2015132259 A2	11-09-2015	EP 3114535 A2 WO 2015132259 A2	11-01-2017 11-09-2015
EP 1445670 A1	11-08-2004	AT 486304 T CN 1745341 A EP 1445670 A1 EP 1593004 A2 EP 1655642 A2 EP 2175328 A2 HK 1084737 A1 JP 5122073 B2 JP 5389999 B2 JP 2006516718 A JP 2013015534 A KR 20050098881 A TW 200426547 A US 2006055097 A1 US 2015277382 A1 WO 2004070476 A2	15-11-2010 08-03-2006 11-08-2004 09-11-2005 10-05-2006 14-04-2010 07-08-2009 16-01-2013 15-01-2014 06-07-2006 24-01-2013 12-10-2005 01-12-2004 16-03-2006 01-10-2015 19-08-2004

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/IB2017/051480

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. G04B17/06 G04B17/28 G04B17/26 G04D7/08 G04D7/10
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

G04B G04D

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	WO 2014/001341 A1 (ROLEX SA [CH])	1-7,9
A	3 janvier 2014 (2014-01-03) page 12, lignes 17-19 page 18, lignes 4-8 ----- -/--	8,10

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

18 juillet 2017

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

31/07/2017

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Cavallin, Alberto

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/IB2017/051480

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	JEAN PIRANDA ET AL: "De la conception pragmatique à la conception assistée par ordinateur : évolution du spiral de balancier", ANNALES FRANCAISES DE CHRONOMÉTRIE ET DE MICROMÉCANIQUE : PUBLICATION TRIMESTRIELLE DE LA SOCIÉTÉ CHRONOMÉTRIQUE DE FRANCE., 1 janvier 2011 (2011-01-01), pages 71-82, XP055302311, DOI: http://bdchrono.ssc.ch/Conference.aspx?Mode=Search&From=List&Page=0&intItem=0&Col=Annee&Sens=DESC&idConference=C04826	1-7,9
A	page 79; figures 2,9b,10,11 page 80, ligne 5 - page 81, ligne 11 -----	8,10
A	W0 2015/132259 A2 (RICHEMONT INT SA [CH]) 11 septembre 2015 (2015-09-11) alinéa [0026] - alinéa [0042] page 10, alinéa 17-22 -----	1-10
A	EP 1 445 670 A1 (ETA SA MFT HORLOGERE SUISSE [CH]) 11 août 2004 (2004-08-11) cité dans la demande alinéas [0019], [0023], [0025]; figures 6,8 -----	1-10

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/IB2017/051480

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2014001341 A1	03-01-2014	CN 104520775 A	15-04-2015
		EP 2864844 A1	29-04-2015
		JP 2015525871 A	07-09-2015
		US 2015338829 A1	26-11-2015
		WO 2014001341 A1	03-01-2014
WO 2015132259 A2	11-09-2015	EP 3114535 A2	11-01-2017
		WO 2015132259 A2	11-09-2015
EP 1445670 A1	11-08-2004	AT 486304 T	15-11-2010
		CN 1745341 A	08-03-2006
		EP 1445670 A1	11-08-2004
		EP 1593004 A2	09-11-2005
		EP 1655642 A2	10-05-2006
		EP 2175328 A2	14-04-2010
		HK 1084737 A1	07-08-2009
		JP 5122073 B2	16-01-2013
		JP 5389999 B2	15-01-2014
		JP 2006516718 A	06-07-2006
		JP 2013015534 A	24-01-2013
		KR 20050098881 A	12-10-2005
		TW 200426547 A	01-12-2004
		US 2006055097 A1	16-03-2006
		US 2015277382 A1	01-10-2015
		WO 2004070476 A2	19-08-2004