

(19)



(11)

EP 2 908 187 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
19.10.2016 Bulletin 2016/42

(51) Int Cl.:
G04B 17/26 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **14155431.1**

(22) Date de dépôt: **17.02.2014**

(54) **Régulation d'un résonateur d'horlogerie par action sur la longueur active d'un spiral**

Regulierung eines Resonators einer Uhr durch Einwirkung auf die aktive Länge einer Spiralfeder

Adjustment of a clock piece resonator by changing the active length of a hairspring

(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**

(43) Date de publication de la demande:
19.08.2015 Bulletin 2015/34

(73) Titulaire: **The Swatch Group Research and
Development Ltd.
2074 Marin (CH)**

(72) Inventeurs:
• **Hessler, Thierry
2024 St-Aubin (CH)**
• **Sarchi, Davide
1020 Renens (CH)**

• **Stranczl, Marc
1260 Nyon (CH)**

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

(56) Documents cités:
**EP-A1- 1 843 227 EP-A1- 2 690 507
CH-A- 442 153 CH-A2- 705 605
CH-A3- 615 314 DE-B- 1 217 883
FR-A- 833 085**

EP 2 908 187 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

Domaine de l'invention

[0001] L'invention concerne un procédé d'entretien et de régulation d'un mécanisme résonateur d'horlogerie autour de sa fréquence propre.

[0002] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant au moins un mécanisme résonateur comportant au moins un ensemble balancier-spiral, dont le spiral est maintenu entre un piton à une première extrémité externe et une virole à une deuxième extrémité interne.

[0003] L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie comportant au moins un tel mouvement d'horlogerie.

[0004] L'invention concerne le domaine des bases de temps en horlogerie mécanique, en particulier basées sur un mécanisme résonateur à balancier-spiral.

Arrière-plan de l'invention

[0005] La recherche de l'amélioration de performances des bases de temps horlogères est une préoccupation constante.

Une limitation importante à la performance chronométrique des montres mécaniques réside dans l'utilisation des échappements impulsions conventionnels, et aucune solution d'échappement n'a jamais pu éviter ce type de perturbation.

[0006] EP1843227 divulgue un procédé d'entretien et de régulation d'un mécanisme résonateur d'horlogerie autour de sa fréquence propre, dans lequel on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur agissant sur ledit mécanisme résonateur avec un mouvement périodique, ledit mouvement périodique imposant une modulation périodique du point de repos dudit mécanisme résonateur, avec une fréquence de régulation qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre, ledit entier étant supérieur ou égal à 2.

[0007] FR833085 divulgue une modulation de la longueur active du ressort spiral suivant la grandeur de l'écart existant entre le nombre d'oscillations du balancier à spiral et le nombre d'oscillations normal, mais cette modulation n'est pas avec une fréquence qui est un multiple entier (>2) de la fréquence propre.

Résumé de l'invention

[0008] L'invention se propose de fabriquer une base de temps la plus précise possible.

A cet effet, l'invention concerne un procédé d'entretien et de régulation d'un mécanisme résonateur d'horlogerie autour de sa fréquence propre, dans lequel on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur agissant sur ledit mécanisme résonateur avec un mouvement périodique, et ledit mouvement périodique impose une modulation

périodique au moins de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur, en imposant au moins une modulation de la longueur active d'un ressort que comporte ledit mécanisme résonateur avec une fréquence de régulation qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre, ledit entier étant supérieur ou égal à 2.

[0009] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant au moins un mécanisme résonateur comportant au moins un ensemble balancier-spiral, dont le spiral est maintenu entre un piton à une première extrémité externe et une virole à une deuxième extrémité interne, caractérisé en ce qu'il comporte au moins un dispositif régulateur agencé pour imposer une variation périodique de la longueur active dudit spiral.

[0010] L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie comportant au moins un tel mouvement d'horlogerie.

20 Description sommaire des dessins

[0011] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, où :

- la figure 1 représente, de façon schématisée, un diapason avec deux balanciers-spiraux attachés l'un à l'autre ;
- la figure 2 représente, de façon schématisée, un spiral équipé d'un mécanisme de raquetterie à deux goupilles, avec une raquette pivotante entre deux positions de contact différentes où les deux goupilles que porte cette raquette viennent pincer la spire externe du spiral, pour varier de façon discrète la longueur active du spiral ;
- la figure 3 représente, de façon schématisée, un spiral équipé d'un mécanisme de raquetterie à deux goupilles, ce spiral étant porteur d'une structure comportant un logement conçu pour recevoir au moins une des deux goupilles, ou bien les deux goupilles, cette structure solidaire du spiral étant agencée pour se verrouiller avec les goupilles, pour varier de façon discrète la longueur active du spiral ;
- la figure 4 représente, de façon schématisée, un spiral équipé d'un mécanisme de raquetterie à deux goupilles, avec un système bielle-manivelle pour actionner un déplacement continu de la raquette, pour une variation continue de la longueur active du spiral ;
- la figure 5 représente, de façon schématisée, un spiral sur lequel appuie une came, pour une variation continue de la longueur active du spiral ;
- la figure 6 représente, de façon schématisée, un spiral pincé, au voisinage de son piton, par deux lames flexibles, et positionnées de part et d'autre du spiral au voisinage du piton, et qui viennent pincer sa courbe terminale, pour une variation continue de la longueur active du spiral ;

- la figure 7 représente une variante de la figure 6 où le système de guidage flexible actionne les deux lames flexibles à partir d'un seul déplacement, pour une variation continue de la longueur active du spiral ;
- la figure 8 représente, de façon schématisée, un mécanisme résonateur comportant un ensemble balancier-spiral, dont le spiral est maintenu entre un piton à une première extrémité externe et une virole à une deuxième extrémité interne, et un dispositif régulateur commandant une variation périodique de la longueur active du spiral ;
- la figure 9 représente, sous forme d'un schéma-blocs, une montre comportant un mouvement mécanique avec un mécanisme résonateur réglé selon l'invention ;
- la figure 10 montre une variante de la figure 4, où l'une des goupilles est à l'extrémité extérieure d'un premier résonateur à fréquence double, qui effectue le couplage ;
- la figure 11 montre le principe de la modification de la longueur active du spiral par un autre résonateur à fréquence double, et où au moins une des goupilles est située sur un balancier.

Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0012] Le but de l'invention est de fabriquer une base de temps pour rendre une pièce d'horlogerie mécanique, notamment une montre mécanique, la plus précise possible.

[0013] Une manière d'y parvenir consiste à associer différents résonateurs, soit directement, soit via l'échappement.

[0014] Pour pallier le facteur d'instabilité lié au mécanisme d'échappement, un système de résonateur paramétrique permet de diminuer l'influence de l'échappement et de rendre ainsi la montre plus précise.

[0015] Un oscillateur paramétrique selon l'invention utilise, pour le maintien des oscillations, une actuation paramétrique qui consiste à faire varier un des paramètres de l'oscillateur avec une fréquence de régulation ωR qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre du système oscillateur à réguler, ledit entier étant supérieur ou égal à 2. Cette fréquence de régulation ωR est de préférence multiple entière, notamment double, de la fréquence propre ω_0 .

[0016] Par convention et afin de bien les distinguer, on appelle ici « régulateur » 2 l'oscillateur qui sert à l'entretien et à la régulation de l'autre système entretenu, lequel est dénommé « le résonateur » 1.

[0017] La lagrangienne L d'un résonateur paramétrique de dimension 1 est :

$$L = T - V = \frac{1}{2} I(t) \dot{x}^2 - \frac{1}{2} k(t) [x - x_0(t)]^2$$

où T est l'énergie cinétique et V l'énergie potentielle et l'inertie $I(t)$, la rigidité $k(t)$ et la position de repos $x_0(t)$ dudit résonateur sont une fonction périodique du temps. x est la coordonnée généralisée du résonateur.

- 5 **[0018]** L'équation du résonateur paramétrique forcé et amorti est obtenue par l'équation de Lagrange pour la lagrangienne L en ajoutant un forçant $f(t)$ et une force de Langevin prenant en compte les mécanismes dissipatifs :

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + \gamma(t) \frac{\partial x}{\partial t} + \omega^2(t) [x - x_0(t)] = f(t)$$

- 10 15 où le coefficient de la dérivée du premier ordre en x est :

$$\gamma(t) = [\beta(t) + \dot{I}(t)]/I(t),$$

- 20 $\beta(t) > 0$ étant le terme décrivant les pertes, et où le coefficient du terme d'ordre nul dépend de la fréquence du résonateur $\omega(t) = \sqrt{k(t)/I(t)}$. La fonction $f(t)$ prend la valeur 0 dans le cas d'un oscillateur non-forcé.

- 25 Cette fonction $f(t)$ peut, encore, être une fonction périodique, ou encore être représentative d'une impulsion de type Dirac.

- 30 **[0019]** L'invention consiste à faire varier, par l'action d'un oscillateur d'entretien ou régulateur, la longueur active et donc la rigidité $k(t)$ dudit résonateur (1) avec une fréquence de régulation qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre ω_0 du système oscillateur à réguler, cet entier étant supérieur ou égal à 2.

- 35 **[0020]** Dans une réalisation particulière, la fréquence de régulation ωR est multiple entière, notamment double, de la fréquence propre ω_0 du système résonateur à réguler.

- 40 **[0021]** Dans une version alternative, en plus de la rigidité du résonateur (1), tous les termes $\beta(t)$, $I(t)$, $x_0(t)$, varient avec une fréquence de régulation ωR qui est de préférence multiple entière, notamment double, de la fréquence propre ω_0 du système résonateur à réguler.

- 45 **[0022]** Généralement, l'oscillateur d'entretien ou régulateur, en plus de la modulation des termes paramétriques, introduit aussi un terme d'entretien non paramétrique $f(t)$, dont l'amplitude est négligeable une fois que le régime paramétrique est atteint [W. B. Case, The pumping of a swing from the standing position, Am. J. Phys. 64, 215 (1996)].

- 50 Dans une variante, le terme forçant $f(t)$ peut être introduit par un deuxième mécanisme d'entretien.

- Les paramètres de cette équation sont la fréquence et le terme de frottements β . Le facteur de qualité de l'oscillateur est défini par $Q = \omega/\beta$.

- 55 Pour mieux comprendre le phénomène, on peut se rapprocher de l'exemple d'un pendule dont on fait varier la

longueur. Dans ce cas.

$$\omega^2 = \frac{g}{L}$$

avec L la longueur du pendule, et g l'attraction de la pesanteur.

[0023] Dans cet exemple particulier, si la longueur L est modulée dans le temps périodiquement avec une fréquence 2ω et une amplitude de modulation δL suffisante ($\delta L/L > 2\beta/\omega$), le système oscille à la fréquence ω sans s'amortir.

[0024] [D. Rugar et P. Grutter, Mechanical parametric amplification and thermomechanical noise squeezing, PRL 67, 699 (1991), A. H. Nayfeh and D. T. Mook, Non-linear Oscillations, Wiley-Interscience, (1977)].

[0025] Le principe peut être repris, notamment mais non limitativement, dans une pièce d'horlogerie ou une montre qui comporte un résonateur mécanique à balancier-spiral, avec une extrémité du spiral fixée à une virole solidaire du balancier, et l'autre extrémité fixée à un piton.

[0026] L'entretien paramétrique d'un tel système balancier-spiral peut notamment être réalisé en rendant ce piton mobile, de façon périodique.

[0027] L'oscillation peut être maintenue et la précision du système est notoirement améliorée.

[0028] Le choix particulier d'une fréquence d'un oscillateur d'excitation au double de la fréquence du système que l'on veut stabiliser en régularité d'oscillation permet d'effectuer la modulation sur une alternance complète, et d'obtenir un amortissement nul ou négatif.

[0029] L'industrialisation de tels systèmes d'oscillateurs paramétriques est liée aux deux fonctions essentielles: la fourniture d'énergie et le comptage.

[0030] Ces deux fonctions peuvent être séparées, comme illustré par la figure 1, en utilisant un diapason avec deux balanciers-spiraux attachés l'un à l'autre, où l'un oscillant à une fréquence 2ω est lié à l'échappement, et l'autre oscillant à une fréquence ω est lié au comptage. Cette figure 1 illustre le principe général de l'invention de régulation par oscillateur harmonique. L'objet particulier de l'invention, qui concerne la modulation de la longueur active d'un ressort que comporte un mécanisme résonateur, est illustré par les autres figures.

[0031] Il est encore possible de privilégier une modification des pertes par frottements dans l'air, plutôt que de faire osciller le terme de fréquence (ce qui correspond, pour le cas balancier spiral, à faire varier l'inertie ou la rigidité), ou encore de modifier l'inertie du balancier par un balourd.

[0032] Pour une efficacité maximale, l'entretien est avantageusement effectué avec une fréquence multiple entière, notamment double, de la fréquence du résonateur entretenu. Les moyens mécaniques d'entretien peuvent prendre différentes formes.

[0033] Ainsi, l'invention concerne un procédé d'entre-

tien et de régulation d'un mécanisme résonateur 1 d'horlogerie autour de sa fréquence propre ω_0 .

[0034] Selon l'invention, on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur 2 agissant sur ledit mécanisme résonateur 1 avec un mouvement périodique.

[0035] Et ce mouvement périodique impose une modulation périodique au moins de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1, avec une fréquence de régulation ω_R qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre ω_0 , cet entier étant supérieur ou égal à 2.

[0036] Dans une variante particulière de l'invention, le mouvement périodique impose une modulation périodique au moins de la fréquence de résonance, et du facteur de qualité et/ou du point de repos, dudit mécanisme résonateur 1, avec une fréquence de régulation ω_R qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre ω_0 , cet entier étant supérieur ou égal à 2.

[0037] De façon avantageuse, le mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1, en agissant au moins sur la rigidité du mécanisme résonateur 1.

[0038] Dans une variante particulière, le mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1, en imposant une modulation de la rigidité du mécanisme résonateur 1 et une modulation d'inertie du mécanisme résonateur 1.

[0039] De façon particulière, quand le mécanisme résonateur 1 comporte au moins un moyen de rappel constitué par un ressort ou similaire, le mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1, en imposant au moins une modulation de la longueur active d'un ressort que comporte le mécanisme résonateur 1.

[0040] Dans une variante particulière, le mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1, en imposant au moins une modulation de la longueur active d'un ressort que comporte le mécanisme résonateur 1, et/ou une modulation de la section d'un ressort que comporte le mécanisme résonateur 1, et/ou une modulation du module d'élasticité d'un moyen de rappel que comporte le mécanisme résonateur 1, et/ou une modulation de la forme d'un moyen de rappel que comporte le mécanisme résonateur 1.

[0041] L'invention, telle qu'illustrée, concerne plus particulièrement la régulation d'un résonateur d'horlogerie avec action sur la longueur active d'un spiral.

[0042] La présente invention consiste à faire varier la longueur active du spiral, et donc sa rigidité.

[0043] On connaît la limitation de la longueur active d'un spiral par l'emploi d'un mécanisme de raquetterie à goupilles, comportant une raquette porteuse de deux goupilles entre lesquelles passe le spiral, la limitation de la longueur active résultant du contact du spiral avec au moins l'une de ces goupilles.

[0044] On peut faire varier la longueur active du spiral :

- de manière binaire : le spiral peut avoir deux longueurs utiles, sans état intermédiaire ;
- de manière continue.

[0045] Pour faire varier la longueur active du spiral de manière binaire, une première solution simple consiste à agencer le couple de goupilles de raquette de façon à pivoter entre deux positions de contact différentes où les deux goupilles viennent pincer la spire externe du spiral pour varier la longueur active, tel que visible sur la figure 2. (Cela engendre également une légère rotation du spiral qui peut aider à l'auto démarrage. Dans ce cas précis, on fait varier la longueur active de manière binaire et on modifie également le point de repos, donc deux paramètres).

[0046] Une deuxième solution consiste à équiper le spiral d'une structure comportant un logement conçu pour recevoir au moins une goupille, ou bien les deux goupilles si la raquette en comporte deux, cette structure solidaire du spiral se verrouille avec les goupilles, tel que visible sur la figure 3. Cette variation est binaire. Il est également possible de changer la longueur active, selon un principe similaire, en un certain nombre de pas définis par autant d'encoches élastiques non bloquantes sur la spire, chacune agencée pour coopérer, ou bien avec une goupille simple, ou bien avec un couple de goupilles classique. Une telle structure est connue du document EP 2 434 353 au nom de MONTRES BREGUET SA.

[0047] Pour faire varier la longueur active du spiral de manière continue, une troisième solution visible sur la figure 4 consiste à équiper le mécanisme d'un système bielle-manivelle pour actionner la raquette, tel que visible sur la figure 4, où les deux goupilles 11 de la raquette 12 décrivent chacune un arc, modifiant ainsi la longueur active de manière continue.

[0048] Une quatrième solution autorise la variation de la longueur active en continu avec une came, tel que visible sur la figure 5. A la différence des solutions précédentes, la précontrainte du spiral et la position radiale du point de comptage varient aussi au cours du temps.

[0049] Une cinquième solution consiste à faire varier la longueur active du spiral en continu avec deux lames flexibles, positionnées de part et d'autre du spiral au voisinage du piton, et qui viennent pincer sa courbe terminale, tel que visible sur la figure 6. Un système de guidage flexible peut actionner les deux lames à partir d'un seul déplacement, tel que visible sur la figure 7; dans cette variante les lames 15 peuvent être élastiques ou bien rigides, leurs extrémités à l'opposé du piton peuvent être maintenues par des ressorts.

[0050] Certains de ces mécanismes peuvent être combinés entre eux, par exemple et non limitativement ceux des figures 2 et 6, des figures 2 et 3, des figures 2 et 4, ou encore des figures 4 et 6, ou autres. En particulier, des aimants peuvent être avantageusement utilisés pour faire varier la longueur active du spiral.

[0051] Ces mécanismes peuvent, encore, être combinés avec un mécanisme modifiant la rigidité du spiral, tel qu'un mobile rotatif équipé d'aimants à sa périphérie et coopérant périodiquement avec un aimant placé sur la courbe terminale du spiral, ou autre.

[0052] De même, des couches ou éléments électrostatiques peuvent être mis en oeuvre pour faire varier la longueur active du spiral. Il est même envisageable, dans un environnement de système hybride, de pouvoir modifier la rigidité d'un spiral en le recouvrant partiellement ou complètement d'une couche piézoélectrique activée par un petit module électronique.

[0053] Un échappement paramétrique à système bielle-manivelle permet de faire bouger de façon périodique la ou les goupilles de raquette, ou la raquette elle-même, ou de telles lames flexibles.

[0054] Il n'est pas indispensable d'avoir une excitation sinusoïdale, l'excitation au double de la fréquence peut être effectuée par un signal périodique multi-fréquentiel, c'est-à-dire une superposition de signaux sinusoïdaux, ou encore par un signal carré (step-fonction). Dans une réalisation particulière, on effectue une superposition de signaux sinusoïdaux, dont les fréquences sont des multiples pairs de la fréquence du résonateur.

[0055] Le régulateur d'entretien n'a pas besoin d'être très précis: son défaut de précision éventuel se traduit seulement par une perte d'amplitude, mais sans variation de la fréquence (sauf bien sûr si cette fréquence est très variable, ce qui est à éviter). En fait, ces deux oscillateurs, régulateur d'entretien et résonateur entretenu, ne sont pas couplés, mais l'un entretient l'autre, à sens unique.

[0056] Dans une réalisation préférée, il n'y a pas de ressort de couplage entre ces deux oscillateurs.

[0057] On comprend bien que l'invention se distingue des oscillateurs couplés connus par ailleurs: en effet, on ne souhaite pas, dans la mise en oeuvre de l'invention, de réversibilité du transfert d'énergie entre deux oscillateurs, mais plutôt, dans la mesure du possible un transfert d'énergie à sens unique d'un oscillateur vers l'autre.

[0058] Dans une variante particulière de l'invention, on effectue de surcroît un déplacement continu et monotone du comptage-repos.

[0059] Ainsi, l'invention concerne un procédé de régulation d'un mécanisme résonateur 1 d'horlogerie autour de sa fréquence propre ω_0 . Ce procédé met en oeuvre au moins un dispositif régulateur 2 imposant une variation périodique de la longueur active dudit résonateur 1.

[0060] Selon l'invention, on imprime le mouvement périodique avec une fréquence de régulation qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre, cet entier étant supérieur ou égal à 2.

[0061] Selon l'invention, on applique ce procédé à un mécanisme résonateur 1 comportant au moins un ensemble balancier-spiral 3, dont le spiral 4 est maintenu entre un piton 5 à une première extrémité externe 6 et une virole 7 à une deuxième extrémité interne 8, et on fait agir au moins un dispositif régulateur 2 en comman-

dant une variation périodique de la longueur active du spiral 4.

[0062] Dans une mise en oeuvre préférée, la fréquence de régulation ωR est le double de la fréquence propre ω_0 .

[0063] La présente description présente ci-après différentes variantes décrites avec une raquette comportant deux goupilles de part et d'autre du spiral, selon un agencement classique, qui constituent un mode de réalisation avantageux, mais qui n'est pas limitatif. En particulier il est parfaitement possible d'utiliser une goupille unique pour modifier la longueur utile du spiral. Seules des réalisations à deux goupilles sont illustrées par les figures.

[0064] Dans un premier mode de mise en oeuvre du procédé, on équipe le mécanisme résonateur 1 d'un mécanisme de raquetterie comportant au moins une goupille de raquette 11, et on fait varier la longueur du spiral 4 de façon discrète ou de manière binaire, selon deux longueurs sans état intermédiaire entre les deux longueurs.

[0065] Dans une première variante de ce premier mode, on équipe le mécanisme de raquetterie d'une raquette 12 pivotante comportant au moins une goupille de raquette 11, notamment deux goupilles de raquette 11, et on commande le pivotement périodique de la raquette 12 pour modifier périodiquement les points de contact entre au moins une dite goupille 11, plus particulièrement les goupilles 11, et le spiral 4 pour modifier la longueur utile du spiral 4.

[0066] Dans une deuxième variante de ce premier mode, on équipe le spiral 4 d'une structure 13 comportant un logement 130 conçu pour recevoir au moins une telle goupille 11, ou bien deux goupilles 11, et on déplace au moins une goupille 11 pour la loger dans la structure 13 solidaire du spiral 4, qui se verrouille avec la ou les goupilles 11.

[0067] Dans un deuxième mode de mise en oeuvre du procédé, on fait varier la longueur du spiral 4 de manière continue.

[0068] Dans une première variante de ce deuxième mode, on équipe le mécanisme résonateur 1 d'un mécanisme de raquetterie avec une raquette 12 comportant au moins une goupille de raquette 11, notamment deux goupilles de raquette 11, et on utilise un dispositif régulateur 2 comportant un système bielle-manivelle pour actionner en continu la raquette 12 et la déplacer.

[0069] Dans une deuxième variante de ce deuxième mode, on utilise un dispositif régulateur 2 comportant une came 14 pour modifier en continu la longueur utile du spiral 4 en modifiant la position le long du spiral 4 du point de contact entre la came 14 et le spiral 4.

[0070] Dans une troisième variante de ce deuxième mode, on utilise un dispositif régulateur 2 comportant deux lames flexibles 15 agencées de part et d'autre du spiral 4, et on appuie les lames flexibles 15 sur le spiral 4 selon un arc de contact 16 de longueur continûment variable avec la courbe terminale 17 du spiral 4. Plus

particulièrement, on utilise un dispositif régulateur 2 comportant un système de guidage flexible pour actionner les deux lames flexibles 15 à partir d'un seul déplacement.

[0071] D'autres variantes de mise en oeuvre de l'invention sont encore possibles. Il est notamment envisageable de modifier la longueur active du spiral 4 par son centre, plutôt que par sa périphérie. Ou encore d'agir sur les spires intermédiaires du spiral, par exemple en utilisant des mécanismes de couplage de spires entre elles tels qu'utilisés dans les systèmes anti-galop décrits par EP2434353 au nom de MONTRES BREQUET SA, ou tout autre système permettant de rigidifier une portion de longueur variable de spire.

[0072] La figure 10 montre encore une variante de la figure 4, où l'une au moins des goupilles est à l'extrémité extérieure d'un premier résonateur à fréquence double, qui effectue le couplage. Les oscillateurs peuvent, encore, avantageusement, être superposés.

[0073] La figure 11 montre le principe de la modification de la longueur active du spiral par un autre résonateur à fréquence double, et où au moins une des goupilles est située sur un balancier. Là également, les systèmes peuvent être superposés.

[0074] Les variantes décrites ici ne sont pas limitatives, puisqu'on peut imaginer l'intégration de tous types de résonateurs, poutres, guidages flexibles, ou autres.

[0075] De façon avantageuse, l'amplitude relative de la modulation de la fréquence naturelle du balancier-spiral 3 est supérieure à l'inverse du facteur de qualité de ce balancier-spiral 3.

[0076] La longueur active du ressort, notamment du spiral, peut, encore, être modifiée par une modification locale de la rigidité du ressort, notamment du spiral, obtenue par l'utilisation d'aimants et/ou de couches-composants électrostatiques, notamment des électrets.

[0077] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie 10 comportant au moins un mécanisme résonateur d'horlogerie 1 comportant au moins un ensemble balancier-spiral 3, dont le spiral 4 est maintenu entre un piton 5 à une première extrémité externe 6 et une virole 7 à une deuxième extrémité interne 8. Ce mouvement 10 comporte au moins un dispositif régulateur 2 commandant une variation périodique de la longueur active du spiral 4.

[0078] Dans une variante, ce mouvement 10 comporte un mécanisme de raquetterie à goupille de raquette 11 comportant une raquette 12 pivotante comportant au moins une goupille de raquette 11, notamment deux goupilles de raquette 11, et le dispositif régulateur 2 commande le pivotement périodique de la raquette 12 pour modifier périodiquement les points de contact entre au moins une goupille 11 et le spiral 4 pour modifier la longueur utile du spiral 4.

[0079] Dans une autre variante, ce mouvement 10 comporte un mécanisme de raquetterie comportant au moins une goupille de raquette 11, notamment deux goupilles de raquette 11, et le spiral 4 comporte une structure

13 comportant un logement 130 conçu pour recevoir au moins une goupille 11, ou bien les deux goupilles 11 si la raquette en comporte deux, et le dispositif régulateur 2 commande le déplacement périodique d'au moins une des goupilles 11 pour la loger dans la structure 13 solidaire du spiral 4, qui se verrouille avec au moins une goupille 11.

[0080] Dans une variante, ce mouvement 10 comporte un mécanisme de raquetterie à goupilles de raquette 11 comportant une raquette 12 comportant au moins une goupille de raquette 11, notamment deux goupilles de raquette 11, et le dispositif régulateur 2 comporte un système bielle-manivelle pour actionner en continu la raquette 12 et la déplacer.

[0081] Dans une variante, ce mouvement 10 comporte un dispositif régulateur 2 comportant une came 14 pour modifier en continu la longueur utile du spiral 4 en modifiant la position le long du spiral 4 du point de contact entre la came 14 et le spiral 4.

[0082] Dans une variante, ce mouvement 10 comporte un dispositif régulateur 2 comportant deux lames flexibles 15 agencées de part et d'autre du spiral 4, et qui appuie sur le spiral 4 les lames flexibles 15 selon un arc de contact 16 de longueur continûment variable avec la courbe terminale 17 du spiral 4. Plus particulièrement, ce dispositif régulateur 2 comporte un système de guidage flexible pour actionner les deux lames flexibles 15 à partir d'un seul déplacement.

[0083] L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie 30 comportant au moins un tel mouvement d'horlogerie 10.

Revendications

1. Procédé d'entretien et de régulation d'un mécanisme résonateur (1) d'horlogerie autour de sa fréquence propre (ω_0), dans lequel on, met en oeuvre au moins un dispositif régulateur (2) agissant sur ledit mécanisme résonateur (1) avec un mouvement périodique, et ledit mouvement périodique impose une modulation périodique au moins de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1), en imposant au moins une modulation de la longueur active d'un ressort que comporte ledit mécanisme résonateur (1), avec une fréquence de régulation (ω_R) qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre (ω_0), ledit entier étant supérieur ou égal à 2.
2. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1), en imposant encore une modulation de la section d'un ressort que comporte ledit mécanisme résonateur (1) et/ou une modulation du module d'élasticité d'un moyen de rappel que comporte ledit mécanisme ré-

sonateur (1) et/ou une modulation de la forme d'un moyen de rappel que comporte ledit mécanisme résonateur (1).

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'on** l'applique à un dit mécanisme résonateur (1) comportant au moins un ensemble balancier-spiral (3) comportant un spiral (4) maintenu entre un piton (5) à une première extrémité externe (6) et une virole (7) à une deuxième extrémité interne (8), et **en ce qu'on** fait agir au moins un dit dispositif régulateur (2) en commandant une variation périodique de la longueur active dudit spiral (4).
4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce qu'on** équipe ledit mécanisme résonateur (1) d'un mécanisme de raquetterie à au moins une goupille de raquette (11), et qu'on fait varier ladite longueur dudit spiral (4) de façon discrète ou de manière binaire, selon deux longueurs sans état intermédiaire entre lesdites deux longueurs.
5. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'on** équipe ledit mécanisme de raquetterie d'une raquette (12) pivotante porteuse d'au moins une goupille de raquette (11), et qu'on commande le pivotement périodique de ladite raquette (12) pour modifier périodiquement les points de contact entre ladite au moins une goupille (11) et ledit spiral (4) pour modifier la longueur active dudit spiral (4).
6. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce qu'on** équipe ledit spiral (4) d'une structure (13) comportant un logement (130) conçu pour recevoir au moins une dite goupille (11), et **en ce qu'on** déplace au moins une dite goupille (11) pour la loger dans ladite structure (13) solidaire dudit spiral (4), qui se verrouille avec ladite au moins une goupille (11).
7. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce qu'on** fait varier la longueur active dudit spiral (4) de manière continue.
8. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'on** équipe ledit mécanisme résonateur (1) d'un mécanisme de raquetterie comportant une raquette (12) porteuse d'au moins une goupille de raquette (11), et qu'on utilise un dit dispositif régulateur (2) comportant un système bielle-manivelle pour actionner en continu ladite raquette (12) et la déplacer.
9. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'on** utilise un dit dispositif régulateur (2) comportant une came (14) pour modifier en continu la longueur utile dudit spiral (4) en modifiant la position le

long dudit spiral (4) du point de contact entre ladite came (14) et ledit spiral (4).

10. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'on** utilise un dit dispositif régulateur (2) comportant deux lames flexibles (15) agencées de part et d'autre dudit spiral (4), et qu'on appuie lesdites lames flexibles (15) selon un arc de contact (16) de longueur continûment variable avec la courbe terminale (17) dudit spiral (4).
11. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'on** utilise un dit dispositif régulateur (2) comportant un système de guidage flexible pour actionner les deux dites lames flexibles (15) à partir d'un seul déplacement.
12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'on** met en oeuvre des aimants et/ou couches-composants électrostatiques et/ou électrets pour une modification locale de la rigidité dudit ressort entraînant une modification de la longueur active dudit ressort.
13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ladite fréquence de régulation (ωR) est le double de ladite fréquence propre ($\omega 0$).
14. Mouvement (10) comportant au moins un mécanisme résonateur d'horlogerie (1) comportant au moins un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) est maintenu entre un piton (5) à une première extrémité externe (6) et une virole (7) à une deuxième extrémité interne (8), **caractérisé en ce que** ledit mouvement (10) comporte au moins un dispositif régulateur (2) agencé pour imposer une variation périodique de la longueur active dudit spiral (4) avec une fréquence de régulation (ωR) qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de ladite fréquence propre ($\omega 0$), ledit entier étant supérieur ou égal à 2.
15. Mouvement (10) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'il** comporte un mécanisme de raquetterie avec au moins une goupille de raquette (11) comportant une raquette (12) pivotante porteuse de ladite au moins une goupille de raquette (11), et **en ce que** ledit dispositif régulateur (2) est agencé pour commander le pivotement périodique de ladite raquette (12) pour modifier périodiquement les points de contact entre au moins une dite goupille (11) et ledit spiral (4) pour modifier la longueur utile dudit spiral (4).
16. Mouvement (10) selon la revendication 14, **caractérisé en ce qu'il** comporte un mécanisme de raquetterie avec au moins une goupille de raquette

(11), et **en ce que** ledit spiral (4) comporte une structure (13) comportant un logement (14) conçu pour recevoir au moins une dite goupille (11), et **en ce que** ledit dispositif régulateur (2) est agencé pour commander le déplacement périodique d'au moins une dite goupille (11) pour la loger dans ladite structure (13) solidaire dudit spiral (4), qui se verrouille avec ladite goupille (11).

17. Mouvement (10) selon la revendication 14, **caractérisé en ce qu'il** comporte un mécanisme de raquetterie avec au moins une goupille de raquette (11) comportant une raquette (12) porteuse de ladite au moins une goupille de raquette (11), et **en ce que** ledit dispositif régulateur (2) comporte un système bielle-manivelle pour actionner en continu ladite raquette (12) et la déplacer.
18. Mouvement (10) selon la revendication 14, **caractérisé en ce qu'il** comporte un dispositif régulateur (2) comportant une came (14) pour modifier en continu la longueur utile dudit spiral (4) en modifiant la position le long dudit spiral (4) du point de contact entre ladite came (14) et ledit spiral (4).
19. Mouvement (10) selon la revendication 14, **caractérisé en ce qu'il** comporte un dispositif régulateur (2) comportant deux lames flexibles (15) agencées de part et d'autre dudit spiral (4), et qui est agencé pour appuyer sur ledit spiral (4) lesdites lames flexibles (15) selon un arc de contact (16) de longueur continûment variable avec la courbe terminale (17) dudit spiral (4).
20. Mouvement (10) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** ledit dispositif régulateur (2) comporte un système de guidage flexible agencé pour actionner les deux dites lames flexibles (15) à partir d'un seul déplacement.
21. Mouvement (10) selon la revendication 17, **caractérisé en ce que** ledit dispositif régulateur (2) comporte un système de guidage flexible agencé pour actionner les deux dites lames flexibles (15) à partir d'un seul déplacement.
22. Pièce d'horlogerie (30) comportant au moins un mouvement selon l'une des revendications 14 à 21.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Warten und Regulieren eines Uhren-Resonatormechanismus (1) um seine Eigenfrequenz ($\square 0$) herum, in dem wenigstens eine Regulierervorrichtung (2) betrieben wird, die auf den Resonatormechanismus (1) mit einer periodischen Bewegung einwirkt, wobei die periodische Bewegung

eine periodische Modulation wenigstens der Resonanzfrequenz des Resonatormechanismus (1) bewirkt, indem sie wenigstens eine Modulation der aktiven Länge einer Feder, die der Resonatormechanismus (1) aufweist, mit einer Regulierungsfrequenz (ω_R), die zwischen dem 0,9- und 1,1-fachen Wert eines ganzzahligen Vielfachen der Eigenfrequenz (ω_0) liegt, bewirkt, wobei die ganze Zahl größer oder gleich 2 ist.

2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die periodische Bewegung eine periodische Modulation der Resonanzfrequenz des Resonatormechanismus (1) bewirkt, indem sie außerdem eine Modulation des Querschnitts einer Feder, die der Resonatormechanismus (1) umfasst, und/oder eine Modulation des Elastizitätsmoduls eines Rückstellmittels, das der Resonatormechanismus (1) umfasst, und/oder eine Modulation der Form eines Rückstellmittels, das der Resonatormechanismus (1) umfasst, bewirkt.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es auf einen Resonatormechanismus (1) angewendet wird, der wenigstens eine Unruh-Spiralfeder-Anordnung (3) umfasst, die eine zwischen einem Spiralklötzchen (5) an einem ersten äußeren Ende (6) und einer Spiralfederrolle (7) an einem zweiten inneren Ende (8) gehaltene Spiralfeder (4) aufweist, und dadurch, dass wenigstens eine Regulierervorrichtung (2) aktiviert wird, indem eine periodische Veränderung der aktiven Länge der Spiralfeder (4) gesteuert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Resonatormechanismus (1) mit einem Rückermechanismus mit wenigstens einem Rückerstift (11) ausgestattet ist und dass die Veränderung der Länge der Spiralfeder (4) auf diskrete oder binäre Weise längs zweier Längen ohne Zwischenzustand zwischen den zwei Längen bewirkt wird.
5. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rückermechanismus mit einem Schwenkrücker (12) ausgerüstet wird, der wenigstens einen Rückerstift (11) trägt, und dass die periodische Schwenkung des Rückers (12) gesteuert wird, um die Kontaktpunkte zwischen dem wenigstens einen Stift (11) und der Spiralfeder (4) periodisch zu modifizieren, um die aktive Länge der Spiralfeder (4) zu modifizieren.
6. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spiralfeder (4) mit einer Struktur (13) versehen ist, die einen Aufnahmeraum (130) aufweist, der dazu ausgelegt ist, wenigstens einen Stift (11) aufzunehmen, und dadurch, dass wenigstens

ein Stift (11) verlagert wird, um ihn in der mit der Spiralfeder (4) fest verbundenen Struktur (13) aufzunehmen, die sich mit dem wenigstens einen Stift (11) verriegelt.

7. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aktive Länge der Spiralfeder (4) ununterbrochen verändert wird.
8. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Resonatormechanismus (1) mit einem Rückermechanismus versehen ist, der einen Rücker (12) umfasst, der wenigstens einen Rückerstift (11) trägt, und dass eine Regulierervorrichtung (2) verwendet wird, die ein Pleuel-Kurbel-System umfasst, um den Rücker (12) ununterbrochen zu betätigen und zu verschieben.
9. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine solche Regulierervorrichtung (2), die einen Nocken (14) umfasst, um die Nutzlänge der Spiralfeder (4) ununterbrochen zu modifizieren, verwendet wird, indem die Position des Kontaktpunkts längs der Spiralfeder (4) zwischen dem Nocken (14) und der Spiralfeder (4) modifiziert wird.
10. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Regulierervorrichtung (2) verwendet wird, die zwei biegsame Plättchen (15) umfasst, die beiderseits der Spiralfeder (4) angeordnet sind, und dass die flexiblen Plättchen (15) längs eines Kontaktbogens (16) mit einer Länge, die mit der Endkrümmung (17) der Spiralfeder (4) ununterbrochen veränderlich ist, angedrückt werden.
11. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Regulierervorrichtung (2) verwendet wird, die ein biegsames Führungssystem umfasst, um die zwei biegsamen Plättchen (15) anhand einer einzigen Verlagerung zu betätigen.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Magneten und/oder Schichten aus elektrostatischen und/oder Elektret-Komponenten verwendet werden, um die Steifigkeit der Feder, die eine Modifikation der aktiven Länge der Feder bewirkt, lokal zu modifizieren.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regulierungsfrequenz (ω_R) gleich der doppelten Eigenfrequenz (ω_0) ist.
14. Uhrwerk (10), das wenigstens einen Uhren-Resonatormechanismus (1) umfasst, der wenigstens eine Unruh-Spiralfeder-Anordnung (3) umfasst, deren Spiralfeder (4) zwischen einem Spiralklötzchen (5)

an einem ersten äußeren Ende (6) und einer Spiralfederrolle (7) an einem zweiten inneren Ende (8) gehalten wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Uhrwerk (10) wenigstens eine Regulierervorrichtung (2) umfasst, die dafür ausgelegt ist, eine periodische Veränderung der aktiven Länge der Spiralfeder (4) mit einer Regulierungsfrequenz (ωR), die zwischen dem 0,9- und 1,1-fachen Wert eines ganzzahligen Vielfachen der Eigenfrequenz ($\omega 0$) liegt, zu bewirken, wobei die ganze Zahl größer oder gleich 2 ist.

15. Uhrwerk (10) nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen Rückermechanismus mit wenigstens einem Rückerstift (11) umfasst, der einen Schwenkrücker (12) umfasst, der den wenigstens einen Rückerstift (11) trägt, und dadurch, dass die Regulierervorrichtung (2) dafür ausgelegt ist, das periodische Schwenken des Rückers (12) zu steuern, um die Kontaktpunkte zwischen dem wenigstens einen Stift (11) und der Spiralfeder (4) periodisch zu modifizieren, um die Nutzlänge der Spiralfeder (4) zu modifizieren.

16. Uhrwerk (10) nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen Rückermechanismus mit wenigstens einem Rückerstift (11) umfasst und dass die Spiralfeder (4) eine Struktur (13) umfasst, die einen Aufnahmeraum (14) aufweist, der dafür ausgelegt ist, wenigstens einen Stift (11) aufzunehmen, und dadurch, dass die Regulierervorrichtung (2) dafür ausgelegt ist, die periodische Verlagerung wenigstens eines Stifts (11) zu steuern, um ihn in der an der Spiralfeder (4) befestigten Struktur (13) aufzunehmen, die mit dem Stift (11) verriegelt.

17. Uhrwerk (10) nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen Rückermechanismus mit wenigstens einem Rückerstift (11) umfasst, der einen Rücker (12) umfasst, der den wenigstens einen Rückerstift (11) trägt, und dadurch, dass die Regulierervorrichtung (2) ein Pleuel-Kurbel-System umfasst, um den Rücker (12) ununterbrochen zu betätigen und ihn zu verlagern.

18. Uhrwerk (10) nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine Regulierervorrichtung (2) umfasst, die einen Nocken (14) umfasst, um die Nutzlänge der Spiralfeder (4) ununterbrochen zu modifizieren, indem die Position des Kontaktpunkts längs der Spiralfeder (4) zwischen dem Nocken (14) und der Spiralfeder (4) modifiziert wird.

19. Uhrwerk (10) nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine Regulierervorrichtung (2) umfasst, die zwei biegsame Plättchen (15) umfasst, die beiderseits der Spiralfeder (4) angeordnet sind, und die dafür ausgelegt ist, die biegsamen Plättchen (15) längs eines Kontaktbogens (16) mit einer Län-

ge, die mit der Endkrümmung (17) der Spiralfeder (4) ununterbrochen veränderlich ist, gegen die Spiralfeder (4) zu drücken.

20. Uhrwerk (10) nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regulierervorrichtung (2) ein biegsames Führungssystem umfasst, das dafür ausgelegt ist, die beiden biegsamen Plättchen (15) anhand einer einzigen Verlagerung zu betätigen.

21. Uhrwerk (10) nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regulierervorrichtung (2) ein biegsames Führungssystem umfasst, das dafür ausgelegt ist, die zwei biegsamen Plättchen (15) anhand einer einzigen Verlagerung zu betätigen.

22. Zeitmessgerät (30), das wenigstens ein Uhrwerk nach einem der Ansprüche 14 bis 21 umfasst.

Claims

1. Method for maintaining and regulating a timepiece resonator mechanism (1) around the natural frequency ($\omega 0$) thereof, wherein at least one regulator device (2) is implemented, acting on said resonator mechanism (1) with a periodic motion, and said periodic motion imposes a periodic modulation of at least the resonant frequency of said resonator mechanism (1), by imposing at least a modulation of the active length of a spring comprised in said resonator mechanism (1), with a regulation frequency (ωR) which is comprised between 0.9 times and 1.1 times the value of an integer multiple of said natural frequency ($\omega 0$), said integer being greater than or equal to 2.

2. Method according to the preceding claim, **characterized in that** said periodic motion imposes a periodic modulation of the resonant frequency of said resonator mechanism (1), by also imposing at least a modulation of the section of a spring comprised in said resonator mechanism (1) and/or a modulation of the modulus of elasticity of a return means comprised in said resonator mechanism (1), and/or a modulation of the shape of a return means comprised in said resonator mechanism (1).

3. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the method is applied to a said resonator mechanism (1) including at least one sprung balance assembly (3), including a balance spring (4) held between a balance spring stud (5) at a first outer end (6) and a collet (7) at a second inner end (8), and **in that** at least one said regulator device (2) is made to act by controlling a periodic variation of the active length of said balance spring (4).

4. Method according to claim 3, **characterized in that** said resonator mechanism (1) is provided with an index mechanism including at least one index pin (11), and **in that** said length of said balance spring (4) is varied in a discrete or binary manner, in two lengths with no intermediate state between said two lengths. 5
5. Method according to the preceding claim, **characterized in that** said index mechanism is provided with a pivoting index (12) carrying at least one index pin (11), and **in that** the periodic pivoting of said index (12) is controlled to periodically modify the points of contact between said at least one pin (11) and said balance spring (4) in order to modify the active length of said balance spring (4). 10
6. Method according to claim 4, **characterized in that** said balance spring (4) is provided with a structure (13) including a housing (130) devised to accommodate at least one said pin (11), and **in that** at least one said pin (11) is moved to be housed inside said structure (13) integral with said balance spring (4), which is locked with said at least one pin (11). 15
7. Method according to claim 3, **characterized in that** the active length of said balance spring (4) is continuously varied. 20
8. Method according to the preceding claim, **characterized in that** said resonator mechanism (1) is provided with an index mechanism comprising an index (12) carrying at least one index pin (11), and **in that** a said regulator device (2), including a crank rod system, is used to continuously actuate and move said index (12). 25
9. Method according to claim 7, **characterized in that** a said regulator device (2), including a cam (14), is used to continuously modify the useful length of said balance spring (4) by modifying the position along said balance spring (4) of the contact point between said cam (14) and said balance spring (4). 30
10. Method according to claim 7, **characterized in that** a said regulator device (2) is used, including two flexible strips (15) arranged on either side of said balance spring (4), and said flexible strips (15) are pressed in an arc of contact (16) of continuously variable length with the terminal curve (17) of said balance spring (4). 35
11. Method according to the preceding claim, **characterized in that** a said regulator device (2) is used, including a flexible bearing system for actuating the two flexible strips (15) from a single motion. 40
12. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** magnets and/or electrostatic layers/components and/or electrets are used to modify locally the stiffness of said spring causing a modification of the active length of said spring. 45
13. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** said regulation frequency (ω_R) is double said natural frequency (ω_0). 50
14. Movement (10) including a least one timepiece resonator mechanism (1) including at least one sprung balance assembly (3), whose balance spring (4) is held between a balance spring stud (5) at a first outer end (6) and a collet (7) at a second inner end (8), **characterized in that** said movement (10) includes at least one said regulator device (2) arranged to impose a periodic variation in the active length of said balance spring (4) with a regulation frequency (ω_R) which is comprised between 0.9 times and 1.1 times the value of an integer multiple of said natural frequency (ω_0), said integer being greater than or equal to 2. 55
15. Movement (10) according to the preceding claim, **characterized in that** the movement includes an index mechanism with at least one index pin (11) including a pivoting index (12) carrying said at least one index pin (11), and **in that** said regulator device (2) is arranged to control the periodic pivoting of said index (12) to periodically modify the points of contact between at least one said pin (11) and said balance spring (4) in order to modify the active length of said balance spring (4).
16. Movement (10) according to claim 14, **characterized in that** the movement includes an index mechanism with at least one index pin (11), and **in that** said balance spring (4) includes a structure (13) comprising a housing (14) devised to accommodate at least one said pin (11), and **in that** said regulator device (2) is arranged to control the periodic motion of at least one said pin (11) to house said pin inside said structure (13) integral with said balance spring (4), which is locked with said pin (11).
17. Movement (10) according to claim 14, **characterized in that** the movement includes an index mechanism with at least one index pin (11) comprising an index (12) carrying said at least one index pin (11), and **in that** said regulator device (2) includes a crank rod system for continuously actuating and moving said index (12).
18. Movement (10) according to claim 14, **characterized in that** the movement includes a regulator device (2) including a cam (14) for continuously modifying the useful length of said balance spring (4) by modifying the position along said balance spring (4) of

the contact point between said cam (14) and said balance spring (4).

19. Movement (10) according to claim 14, **characterized in that** the movement includes a regulator device (2) including two flexible strips (15), arranged on either side of said balance spring (4), and which is arranged to press said flexible strips (15) onto said balance spring (4) in an arc of contact (16) of continuously variable length with the terminal curve (17) of said balance spring (4). 5 10
20. Movement (10) according to the preceding claim, **characterized in that** said regulator device (2) includes a flexible bearing system arranged to actuate the two said flexible strips (15) from a single motion. 15
21. Movement (10) according to claim 17, **characterized in that** said regulator device (2) includes a flexible bearing system arranged to actuate the two said flexible strips (15) from a single motion. 20
22. Timepiece (30) including at least one movement according to any of claims 14 to 21. 25

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

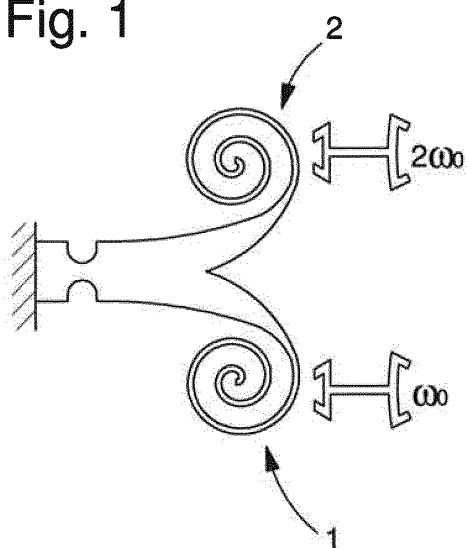


Fig. 2

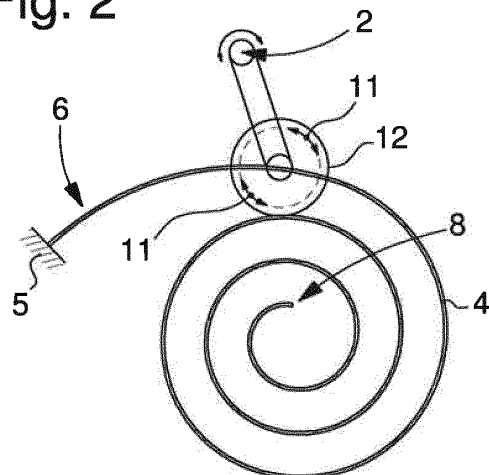


Fig. 3

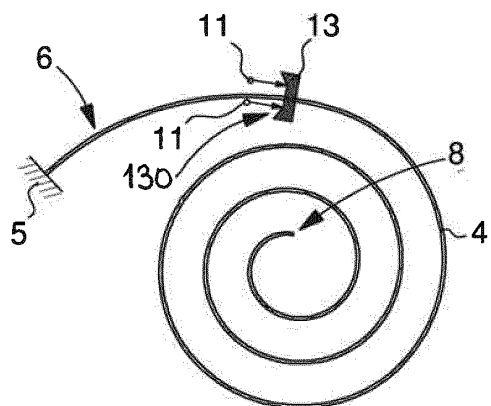


Fig. 4

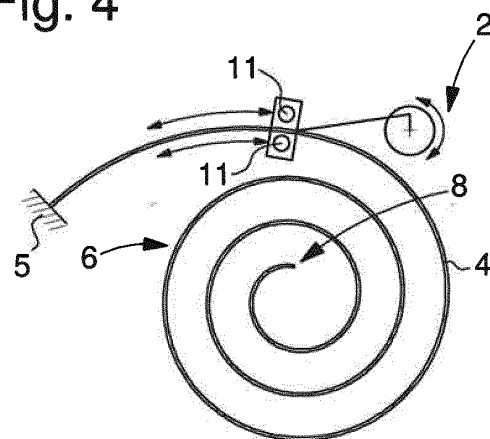


Fig. 5

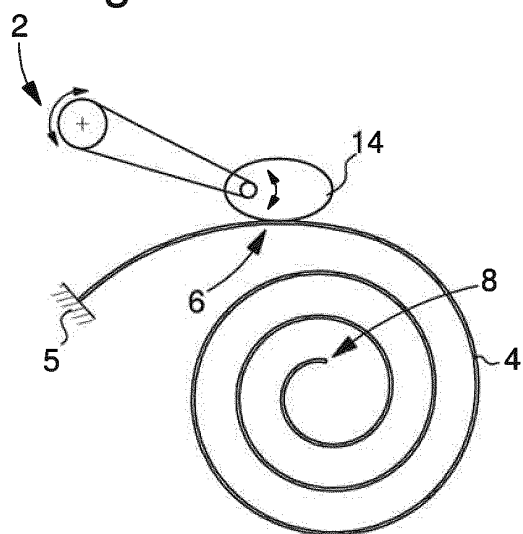


Fig. 6

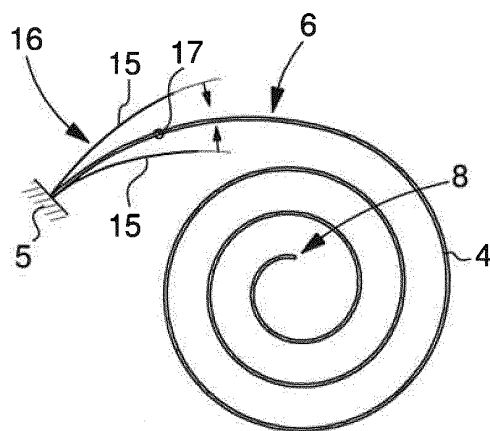


Fig. 7

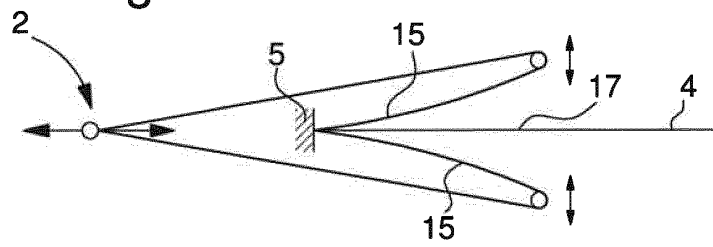


Fig. 8

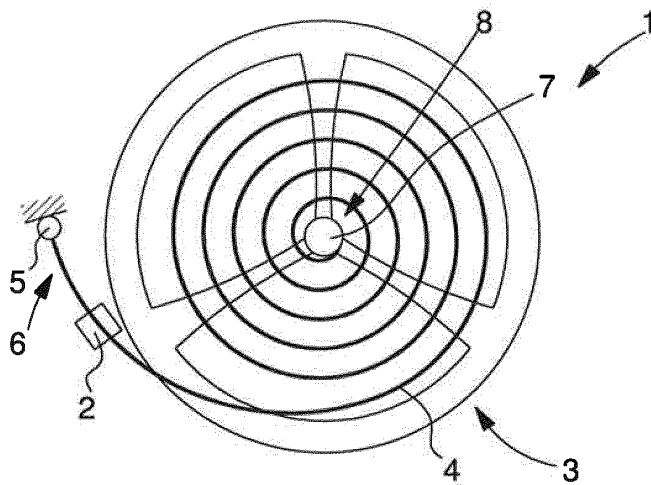


Fig. 9

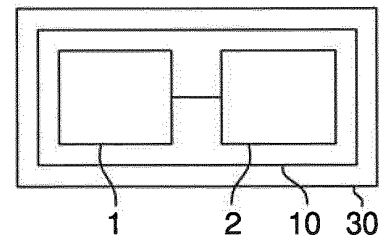


Fig. 10

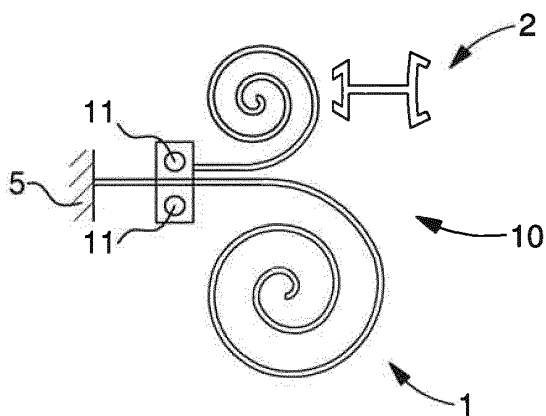
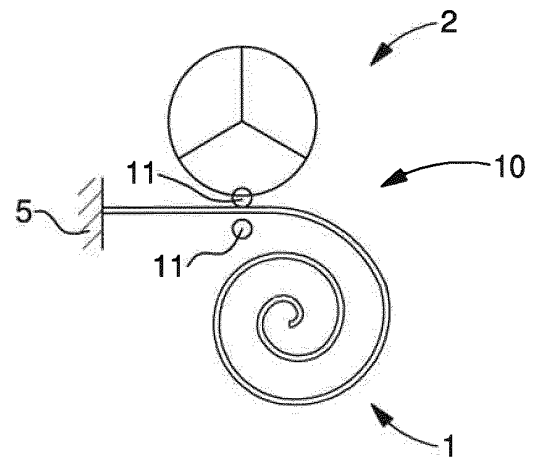


Fig. 11



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 1843227 A [0006]
- FR 833085 [0007]
- EP 2434353 A [0046] [0071]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **W. B. CASE.** The pumping of a swing from the standing position. *Am. J. Phys.*, 1996, vol. 64, 215 [0022]
- **D. RUGAR ; P. GRUTTER.** Mechanical parametric amplification and thermomechanical noise squeezing. *PRL*, 1991, vol. 67, 699 [0024]
- **A. H. NAYFEH ; D. T. MOOK.** Nonlinear Oscillations. Wiley-Interscience, 1977 [0024]