

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **709 278 A2**

(51) Int. Cl.: **G04B** 17/20 (2006.01)
G04B 17/06 (2006.01)

Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00202/14

(71) Requêteur:
The Swatch Group Research and Development Ltd,
Rue des Sors 3
2074 Marin (CH)

(22) Date de dépôt: 17.02.2014

(72) Inventeur(s):
Thierry Hessler, 2024 St-Aubin (CH)
Davide Sarchi, 1020 Renens (CH)
Marc Stranczl, 1260 Nyon (CH)

(43) Demande publiée: 28.08.2015

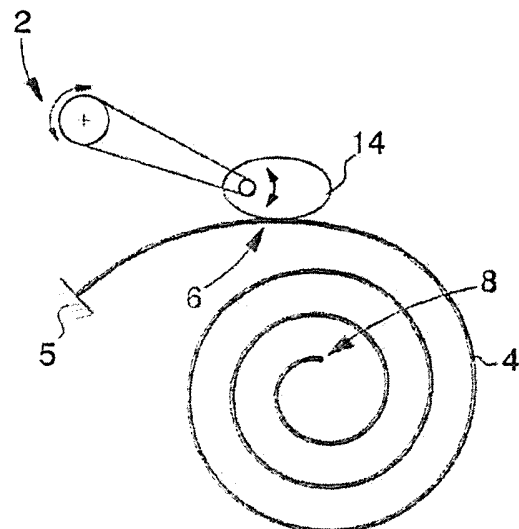
(74) Mandataire:
ICB Ingénieurs Conseils en Brevets SA,
Faubourg de l'Hôpital 3
2001 Neuchâtel (CH)

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

(57) L'invention concerne un procédé d'entretien et de régulation d'un résonateur d'horlogerie autour de sa fréquence propre.

Un dispositif régulateur (2) agit sur ledit résonateur avec un mouvement périodique qui impose une modulation périodique au moins de la fréquence de résonance dudit 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.

L'invention concerne également un mouvement horloger comportant un ensemble balancier – spiral dont la fréquence montre ω_0 est régulée par un tel dispositif régulateur (2) agissant sur le spiral (4).



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.

[0006] 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.

Résumé de l'invention

[0007] L'invention se propose de fabriquer une base de temps la plus précise possible.

[0008] A cet effet, l'invention concerne un procédé d'entretien et de régulation d'un mécanisme résonateur d'horlogerie autour de sa fréquence propre, caractérisé en ce qu'on met en œuvre au moins un dispositif régulateur agissant sur ledit mécanisme résonateur avec un mouvement périodique, caractérisé en ce que 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 dit dispositif régulateur commandant 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.

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 fig. 1 représente, de façon schématisée, un diapason avec deux balanciers-spiraux attachés l'un à l'autre;
- la fig. 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 fig. 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 fig. 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 fig. 5 représente, de façon schématisée, un spiral sur lequel appuie une came, pour une variation continue de la longueur active du spiral;

- la fig. 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 fig. 7 représente une variante de la fig. 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 fig. 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 fig. 9 représente, sous forme d'un schéma-blocs, une montre comportant un mouvement mécanique avec un mécanisme résonateur réglé selon l'invention;
- la fig. 10 montre une variante de la fig. 4, où l'une des goupilles est à l'extrémité extérieure d'un premier résonateur à fréquence double, qui effectue le couplage;
- la fig. 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 ω_R 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 ω_R 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.

[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:

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

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

[0019]

$$\gamma(t) = [\beta(t) + i(t)]/I(t),$$

[0020] $\beta(t) > 0$ 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.

[0021] Cette fonction $f(t)$ peut, encore, être une fonction périodique, ou encore être représentative d'une impulsion de type Dirac.

[0022] 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.

[0023] Dans une réalisation particulière, la fréquence de régulation ω_R est multiple entière, notamment double, de la fréquence propre ω_0 du système résonateur à réguler.

[0024] Dans une version alternative, en plus de la rigidité du résonateur (1), tous les termes $\beta(t)$, $l(t)$, $x_0(t)$, varient avec une fréquence de régulation ω_R qui est de préférence multiple entière, notamment double, de la fréquence propre ω_0 du système résonateur à réguler.

[0025] 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)].

[0026] Dans une variante, le terme forçant $f(t)$ peut être introduit par un deuxième mécanisme d'entretien.

[0027] Les paramètres de cette équation sont la fréquence et le terme de frottements p . Le facteur de qualité de l'oscillateur est défini par $Q = \omega / \beta$.

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.

[0028] 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.

[0029] [D. Rugar et P. Grutter, Mechanical parametric amplification and thermomechanical noise squeezing, PRL 67, 699 (1991), A. H. Nayfeh and D. T. Mook, Nonlinear Oscillations, Wiley-Interscience, (1977)].

[0030] 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.

[0031] L'entretien paramétrique d'un tel système balancier-spiral peut notamment être réalisé en rendant ce piton mobile, de façon périodique.

[0032] L'oscillation peut être maintenue et la précision du système est notoirement améliorée.

[0033] 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.

[0034] L'industrialisation de tels systèmes d'oscillateurs paramétriques est liée aux deux fonctions essentielles: la fourniture d'énergie et le comptage.

[0035] Ces deux fonctions peuvent être séparées, comme illustré par la fig. 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 fig. 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 qui comporte un mécanisme résonateur, est illustré par les autres figures.

[0036] 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.

[0037] 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.

[0038] Ainsi, l'invention concerne un procédé d'entretien et de régulation d'un mécanisme résonateur 1 d'horlogerie autour de sa fréquence propre ω_0 .

[0039] Selon l'invention, on met en œuvre au moins un dispositif régulateur 2 agissant sur ledit mécanisme résonateur 1 avec un mouvement périodique.

[0040] 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.

[0041] 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.

[0042] 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.

[0043] 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.

[0044] 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.

[0045] 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.

[0046] L'invention, telle qu'illustrée, concerne plus particulièrement la régulation d'un résonateur d'horlogerie avec action sur la longueur active d'un spiral.

[0047] La présente invention consiste à faire varier la longueur active du spiral, et donc sa rigidité.

[0048] 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.

[0049] 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.

[0050] 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 fig. 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).

[0051] 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'encoques 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 BREQUET SA.

[0052] Pour faire varier la longueur active du spiral de manière continue, une troisième solution visible sur la fig. 4 consiste à équiper le mécanisme d'un système bielle-manivelle pour actionner la raquette, tel que visible sur la fig. 4, où les deux goupilles 11 de la raquette 12 décrivent chacune un arc, modifiant ainsi la longueur active de manière continue.

[0053] Une quatrième solution autorise la variation de la longueur active en continu avec une came, tel que visible sur la fig. 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.

[0054] 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 fig. 6. Un système de guidage flexible peut actionner les deux lames à partir d'un seul déplacement, tel que visible sur la fig. 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.

[0055] Certains de ces mécanismes peuvent être combinés entre eux, par exemple et non limitativement ceux des fig. 2 et 6, des fig. 2 et 3, des fig. 2 et 4, ou encore des fig. 4 et 6, ou autres. En particulier, des aimants peuvent être avantageusement utilisés pour faire varier la longueur active du spiral.

[0056] 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.

[0057] De même, des couches ou éléments électrostatiques peuvent être mis en œuvre 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.

[0058] 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.

[0059] 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.

[0060] 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.

[0061] Dans une réalisation préférée, il n'y a pas de ressort de couplage entre ces deux oscillateurs.

[0062] On comprend bien que l'invention se distingue des oscillateurs couplés connus par ailleurs: en effet, on ne souhaite pas, dans la mise en œuvre 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.

[0063] Dans une variante particulière de l'invention, on effectue de surcroît un déplacement continu et monotone du comptage-repos.

[0064] 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 œuvre au moins un dispositif régulateur 2 imposant une variation périodique de la longueur active dudit résonateur 1.

[0065] 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.

[0066] 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 commandant une variation périodique de la longueur active du spiral 4.

[0067] Dans une mise en œuvre préférée, la fréquence de régulation ω_R est le double de la fréquence propre ω_0 .

[0068] 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.

[0069] Dans un premier mode de mise en œuvre 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.

[0070] 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.

[0071] 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.

[0072] Dans un deuxième mode de mise en œuvre du procédé, on fait varier la longueur du spiral 4 de manière continue.

[0073] 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.

[0074] 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.

[0075] 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.

[0076] D'autres variantes de mise en œuvre 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 EP 2 434 353 au nom de MONTRES BREGUET SA, ou tout autre système permettant de rigidifier une portion de longueur variable de spire.

[0077] La fig. 10 montre encore une variante de la fig. 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.

[0078] La fig. 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.

[0079] Les variantes décrites ici ne sont pas limitatives, puisqu'on peut imaginer l'intégration de tous types de résonateurs, poutres, guidages flexibles, ou autres.

[0080] 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.

[0081] 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.

[0082] 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.

[0083] 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.

[0084] 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.

[0085] 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.

[0086] 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.

[0087] 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.

[0088] 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), caractérisé en ce qu'on met en œuvre au moins un dispositif régulateur (2) agissant sur ledit mécanisme résonateur (1) avec un mouvement périodique, caractérisé en ce que 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 résonateur (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 raquette 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 raquette 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 raquette 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 œuvre 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 (ω_R) est le double de ladite fréquence propre (ω_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 dit dispositif régulateur (2) agencé pour commander une variation périodique de la longueur active dudit spiral (4) 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.
15. Mouvement (10) selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comporte un mécanisme de raquette 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) commande le pivotement périodique de ladite raquette (12) pour modifier périodiquement les points de contact 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 raquette 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) commande 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 raquette 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 appuie sur ledit spiral (4) lesdites lames

CH 709 278 A2

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 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 pour actionner les deux dites lames flexibles (15) à partir d'un seul déplacement.
22. 22. Pièce d'horlogerie (30) comportant au moins un mouvement selon l'une des revendications 14 à 21.

Fig. 1

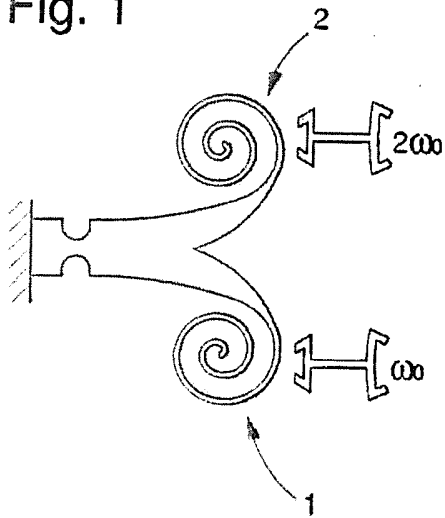


Fig. 2

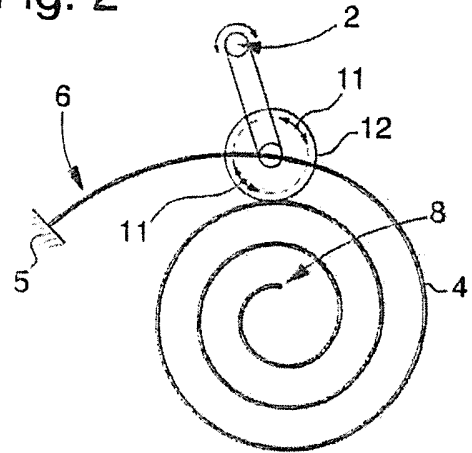


Fig. 3

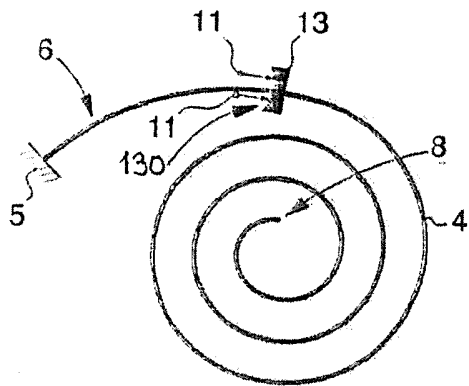


Fig. 4

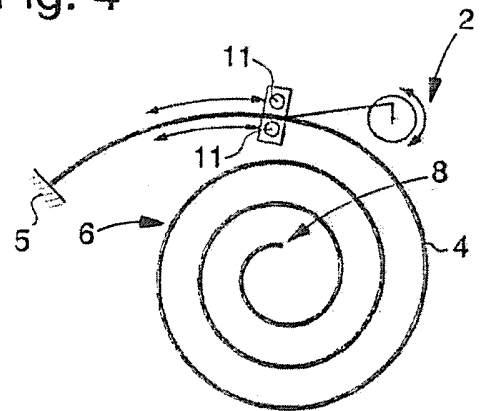


Fig. 5

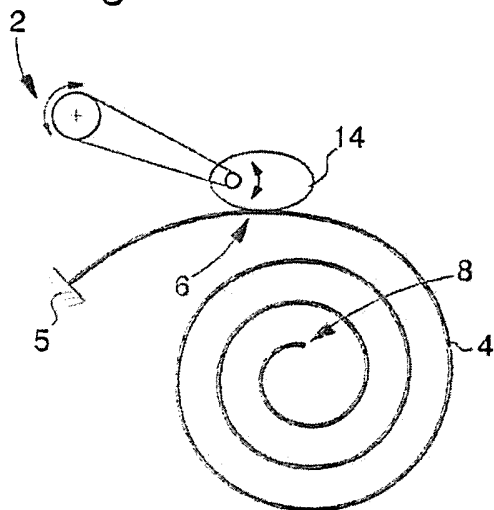


Fig. 6

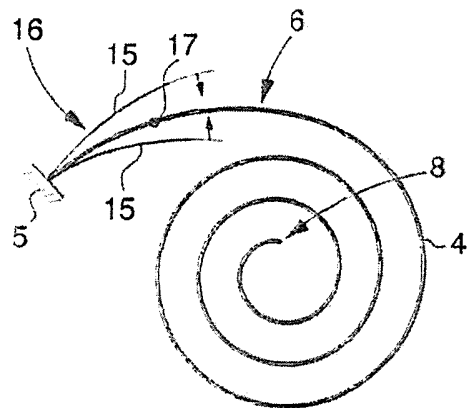


Fig. 7

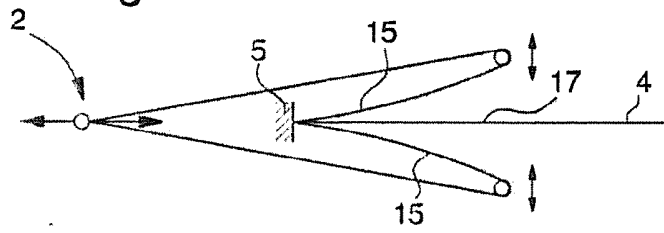


Fig. 8

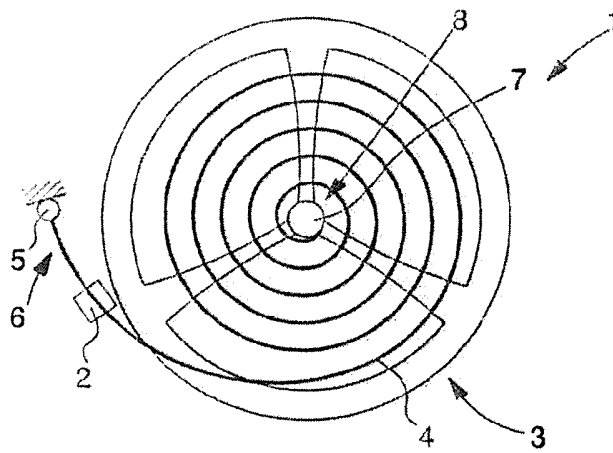


Fig. 9

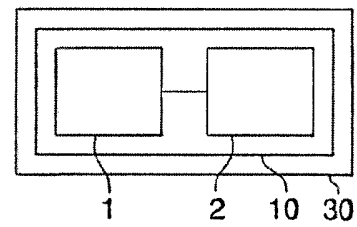


Fig. 10

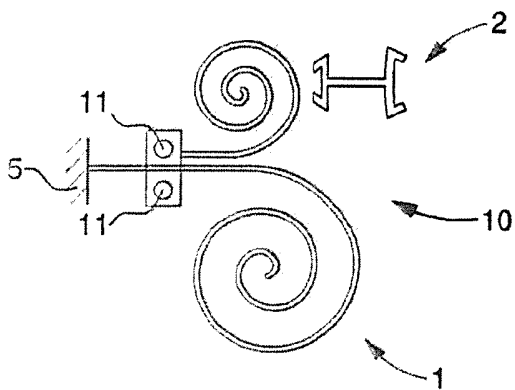


Fig. 11

