(19) CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) CH 709 277 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: 00201/14

(22) Date de dépôt: 17.02.2014

(43) Demande publiée: 28.08.2015

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

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

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

(54) Régulation d'un résonateur d'horlogerie avec déplacement local du spiral.

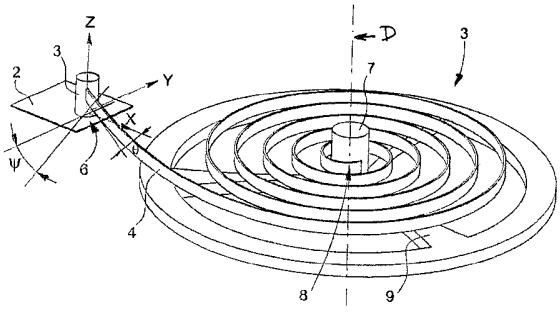
(57) L'invention concerne un procédé d'entretien et de régulation d'un mécanisme résonateur d'horlogerie autour de sa fréquence propre ω0.

On met en œuvre au moins un dispositif régulateur (2) imposant à au moins un composant dudit mécanisme résonateur un mouvement périodique.

Ledit mouvement périodique impose une modulation périodique au moins du point de repos dudit mécanisme résonateur.

On fait osciller ledit mouvement périodique 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 ω0.

Selon l'invention, on-applique ce procédé à un mécanisme résonateur d'un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) est maintenu entre un piton à une première extrémité externe (6) et à une virole (7) à une deuxième extrémité interne (8), et on fait agir au moins un dit dispositif régulateur (2) sur au moins ledit piton.



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 à 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 impulsionnels 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 imprimant à au moins un composant dudit mécanisme résonateur un mouvement périodique, en ce que ledit mouvement périodique impose une modulation périodique au moins du point de repos dudit mécanisme résonateur, et caractérisé en ce que l'on imprime ledit 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, ledit entier étant supérieur ou égal à 2.

[0009] Selon une caractéristique particulière de l'invention, on l'applique à un dit mécanisme résonateur comportant au moins un ensemble balancier-spiral, dont le spiral est maintenu entre un piton à une première extrémité externe et à une virole à une deuxième extrémité interne, et on fait agir au moins un dit dispositif régulateur sur au moins un point dudit spiral ou/et sur ledit piton ou/et sur ladite virole.

[0010] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant au moins un tel mécanisme résonateur comportant au moins un ensemble balancier-spiral, dont le spiral est maintenu entre un piton à une première extrémité externe et à une virole à une deuxième extrémité interne.

[0011] L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie comportant au moins un tel mouvement d'horlogerie.

Description sommaire des dessins

[0012] 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 mécanisme résonateur paramétrique régulé selon l'invention, comportant un balancier-spiral d'horlogerie, dont la spire externe du spiral est fixée à un piton auquel un dispositif régulateur impose un mouvement périodique;
- la fig.2 représente, de façon schématisée, un diapason avec deux balanciers-spiraux attachés l'un à l'autre;
- la fig. 3 représente, sous forme d'un schéma-blocs, une montre comportant un mouvement mécanique avec un mécanisme résonateur régulé selon l'invention;
- la fig. 4 représente un spiral principal fixé à une virole formée par la serge d'un petit balancier-spiral de fréquence double de celle su spiral principal

Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0013] Le but de l'invention est de fabriquer une base de temps pour rendre une pièce d'horlogerie, en particulier une pièce d'horlogerie mécanique, notamment une montre mécanique, la plus précise possible.

[0014] Une manière d'y parvenir consiste à associer différents résonateurs, soit directement, soit via l'échappement.

[0015] Pour pallier le facteur d'instabilité lié à un mécanisme d'échappement, un système de résonateur paramétrique permet notamment de diminuer l'influence de ce mécanisme d'échappement, et de rendre ainsi la montre plus précise.

[0016] Un oscillateur paramétrique selon l'invention utilise, pour le maintien des oscillations, une actuation paramétrique qui consiste à faire varier au moins 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 $\omega 0$ du système oscillateur à réguler, cet entier étant supérieur ou égal à 2.

[0017] Dans une variante particulière, la fréquence de régulation ωR a la valeur d'un multiple entier, notamment double, de la fréquence propre $\omega 0$ du système oscillateur à réguler.

[0018] 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.

[0019] La lagrangienne L d'un résonateur paramétrique de dimension 1 est:

[0020]

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

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.

[0021] 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:

[0022]

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

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

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

$\beta(t) > 0$ étant le terme décrivant les pertes, et où le coefficient du terme d'ordre nul dépend de la fréquence du résonateur $\omega(t) = \sqrt{k(t)/I(t)}$.

[0023] La fonction f(t) prend la valeur 0 dans le cas d'un oscillateur non-forcé.

[0024] Cette fonction f(t) peut, encore, être une fonction périodique, ou encore être représentative d'une impulsion de type Dirac.

[0025] L'invention consiste à faire varier, par l'action d'un oscillateur d'entretien dit régulateur, l'un et/ou l'autre, ou tous, les termes $\beta(t)$, k(t), I(t), $x_0(t)$, avec une fréquence de régulation ωR qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier, notamment double, de la fréquence propre $\omega 0$ du système oscillateur à réguler.

[0026] Dans une réalisation particulière, la fréquence de régulation ωR est multiple entière, notamment double, de la fréquence propre $\omega 0$ du système résonateur à réguler.

[0027] De préférence, un ou plusieurs ou tous les termes $\beta(t)$, k(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 $\omega 0$ du système résonateur à réguler.

[0028] 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)].

[0029] Dans une variante, le terme forçant f(t) peut être introduit par un deuxième mécanisme d'entretien.

[0030] Dans l'exemple de l'oscillateur amorti non forcé, et dans le cas où x_0 est une constante, les paramètres de l'équation se résument au terme de fréquence ω et au terme de pertes β, notamment de pertes par frottements mécaniques, ou aérodynamiques, ou internes, ou autres.

[0031] 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,

[0032]

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

[0033] avec L la longueur du pendule, et g l'attraction de la pesanteur.

[0034] 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 w sans s'amortir.
[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)].

[0035] Le terme d'ordre nul peut encore prendre la forme $\omega^2(A, t)$, où A est l'amplitude d'oscillation.

[0036] Le principe peut être repris 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.

[0037] L'entretien paramétrique d'un tel système balancier-spiral peut notamment être réalisé en rendant mobile, de façon périodique, ce piton, ou cette virole, ou encore un autre point de ce spiral.

[0038] L'oscillation peut être maintenue et la précision du système est notoirement améliorée.

[0039] L'industrialisation de tels systèmes d'oscillateurs paramétriques est liée aux deux fonctions essentielles: la fourniture d'énergie et le comptage.

[0040] Ces deux fonctions peuvent être séparées, comme illustré par la fig. 2, en utilisant un diapason avec deux balanciers-spiraux attachés l'un à l'autre, où l'un oscillant à une fréquence 2uj est lié à l'échappement, et l'autre oscillant à une fréquence w est lié au comptage.

[0041] Il est, encore, possible de privilégier une modification, notamment périodique, des pertes par frottements dans l'air, plutôt que de faire osciller le terme de fréquence, ou encore de modifier l'inertie du balancier par un balourd.

[0042] 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, celle présentée ici consiste dans l'entretien par déplacement du piton.

[0043] Le principe est de faire varier la position du piton en x ou y ou z ou rotation autour de l'axe x ou y ou z, en particulier en rotation selon un angle e dans le plan xy, ou encore en vrillage selon l'angle tel que visible sur la fig. 1.

[0044] L'utilisation d'un échappement paramétrique à système bielle-manivelle permet de secouer le piton tangentiellement, ou encore, de façon avantageuse, selon un arc de cercle ou similaire, autour du balancier.

[0045] L'excitation au double de la fréquence peut être effectuée avec un signal carré ou impulsionnel, il n'est pas indispensable d'avoir une excitation sinusoïdale.

[0046] 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 des deux entretient l'autre, idéalement à sens unique.

[0047] Dans une réalisation préférée, il n'y a pas de ressort de couplage entre ce régulateur d'entretien et le résonateur entretenu.

[0048] 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.

[0049] Dans une variante particulière de l'invention, on effectue un déplacement continu et monotone du comptage-repos.

[0050] Dans une variante particulière de l'invention, on effectue un déplacement impulsionnel du comptage-repos.

[0051] Ainsi, l'invention concerne un procédé d'entretien et de régulation d'un mécanisme résonateur 1 d'horlogerie autour de sa fréquence propre $\omega 0$.

[0052] Selon l'invention, on met en œuvre 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 du point de repos dudit mécanisme résonateur 1, 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.

[0053] Dans un mode particulier de mise en œuvre de l'invention, ce mouvement périodique impose une modulation périodique au moins du facteur de qualité et du point de repos dudit mécanisme résonateur 1, 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 u)0, ledit entier étant supérieur ou égal à 2.

[0054] Dans un mode particulier de mise en œuvre de l'invention, ce mouvement périodique impose une modulation périodique au moins de la fréquence de résonance et du point de repos dudit mécanisme résonateur 1, 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.

[0055] Dans un mode particulier de mise en œuvre de l'invention, ce mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance et du facteur de qualité et du point de repos dudit mécanisme résonateur 1, 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.

[0056] Plus particulièrement, ce mouvement périodique impose une modulation périodique du point de repos dudit mécanisme résonateur 1, par modulation au moins d'un des points de fixation dudit mécanisme résonateur 1

[0057] Dans un mode particulier de mise en œuvre de l'invention, ce mouvement périodique impose une modulation périodique du point de repos dudit mécanisme résonateur 1, par modulation de la position de fixation dudit mécanisme résonateur 1 et/ou par modulation de l'équilibre entre les forces de rappel agissant sur ledit mécanisme résonateur 1.

[0058] Dans un mode particulier de mise en œuvre de l'invention, la fréquence de régulation ωR est un multiple entier de la fréquence propre $\omega 0$, et notamment le double.

[0059] Dans un mode particulier de mise en œuvre de l'invention, la fréquence de régulation ωR qui est comprise entre 1.8 $\omega 0$ et 2.2 $\omega 0$.

[0060] De façon avantageuse, le mouvement périodique imprimé par le mécanisme régulateur 2 a une amplitude supérieure à la valeur définie par le quotient de l'amplitude du résonateur 1 par le facteur de qualité de ce résonateur 1.

[0061] L'invention concerne plus précisément la régulation d'un résonateur d'horlogerie avec déplacement local du spiral.

[0062] Dans une application particulière de l'invention, on l'applique 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 à une virole 7 à une deuxième extrémité interne 8, et on fait agir au moins un dispositif régulateur 2 sur au moins un point du spiral 4 ou/et sur le piton 5 ou/et sur la virole 7, et/ou au moins un point de pivotement du balancier que comporte cet ensemble balancier-spiral 3.

[0063] Tel que visible sur la fig. 1, on fait agir au moins un dispositif régulateur 2 en entretien de l'oscillation du mécanisme résonateur 1 par déplacement périodique du piton 5 et on excite le balancier-spiral 3 en modifiant périodiquement au moins un degré de liberté de son point de pitonnage au niveau du piton 5.

[0064] Ce mouvement périodique imprimé au piton 5 peut être réalisé de différentes manières:

- on modifie la position du piton 5 au moins dans un plan perpendiculaire à l'axe de pivotement D d'un balancier 9 que comporte l'ensemble balancier-spiral 3, ou/et
- on modifie la position du piton 5 au moins selon un axe linéaire parallèle à l'axe de pivotement D d'un balancier 9 que comporte l'ensemble balancier-spiral 3, ou/et
- on modifie la position du piton 5 au moins dans un mouvement de lacet autour d'un axe linéaire parallèle à l'axe de pivotement D d'un balancier 9 que comporte l'ensemble balancier-spiral 3.

[0065] Dans une variante, on fait agir au moins un tel dispositif régulateur 2 sur au moins le point d'attache du spiral 4 à la virole 7. La fig. 4 illustre un exemple où la virole 7 à laquelle est attaché le spiral principal 4 est formée par la serge d'un petit balancier-spiral de fréquence 2 $\omega 0$.

[0066] Dans une autre variante, on fait agir au moins un tel dispositif régulateur 2 sur au moins un point de pivotement du balancier que comporte l'ensemble balancier-spiral 3.

[0067] De façon avantageuse, pour les différentes variantes, la fréquence de régulation ωR est le double de la fréquence propre $\omega 0$.

[0068] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie 10 comportant au moins un mécanisme résonateur 1 comportant au moins un ensemble balancierspiral 3, dont le spiral 4 est maintenu entre un piton 5 à une première extrémité externe 6 et à une virole 7 à une deuxième extrémité interne 8.

[0069] Selon l'invention, ce mouvement 10 comporte au moins un dispositif régulateur 2 modifiant périodiquement la position du piton 5.

[0070] L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie 30, notamment une montre, 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 ($\omega 0$), 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 du point de repos dudit mécanisme résonateur (1), 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.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit mouvement périodique impose une modulation périodique au moins du facteur de qualité et du point de repos dudit mécanisme résonateur (1), 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.
3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit mouvement périodique impose une modulation périodique au moins de la fréquence de résonance et du point de repos dudit mécanisme résonateur (1), 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.

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance et du facteur de qualité et du point de repos dudit mécanisme résonateur (1), 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 (ω0), ledit entier étant supérieur ou égal à 2.
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit mouvement périodique impose une modulation périodique du point de repos dudit mécanisme résonateur (1), par modulation au moins d'un des points de fixation dudit mécanisme résonateur (1)
6. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ledit mouvement périodique impose une modulation périodique du point de repos dudit mécanisme résonateur (1), par modulation de la position de fixation dudit mécanisme résonateur (1) et/ou par modulation de l'équilibre entre les forces de rappel agissant sur ledit mécanisme résonateur (1).
7. Procédé selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce qu'on l'applique à un dit 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 à une virole (7) à une deuxième extrémité interne (8), et en ce qu'on fait agir au moins un dit dispositif régulateur (2) sur au moins un point dudit spiral (4) ou/et sur ledit piton (5) ou/et sur ladite virole (7) et/ou d'au moins un point de pivotement du balancier que comporte ledit ensemble balancier-spiral (3).
8. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'on fait agir au moins un dit dispositif régulateur (2) pour modifier la position d'au moins un point dudit spiral (4) ou/et dudit piton (5) ou/et de ladite virole (7) et/ou d'au moins un point de pivotement du balancier que comporte ledit ensemble balancier-spiral (3).
9. Procédé selon la revendication 8 ou 9, caractérisé en ce qu'on fait agir au moins un dit dispositif régulateur (2) sur au moins ledit piton (5).
10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on excite ledit balancier-spiral (3) en modifiant périodiquement au moins un degré de liberté de son point de pitonnage au niveau dudit piton (5).
11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on modifie la position dudit piton (5) au moins dans un plan perpendiculaire à l'axe de pivotement (D) d'un balancier (9) que comporte ledit ensemble balancier-spiral (3).
12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on modifie la position dudit piton (5) au moins selon un axe linéaire parallèle à l'axe de pivotement (D) d'un balancier (9) que comporte ledit ensemble balancier-spiral (3).
13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on modifie la position dudit piton (5) au moins dans un mouvement de lacet autour d'un axe linéaire parallèle à l'axe de pivotement (D) d'un balancier (9) que comporte ledit ensemble balancier-spiral (3).
14. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on fait agir au moins un dit dispositif régulateur (2) sur au moins le point d'attache dudit spiral (4) à ladite virole (7).
15. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite fréquence de régulation (ωR) est le double de ladite fréquence propre (ω0).
16. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que ladite fréquence de régulation (ωR) est comprise entre 1.8 fois et 2.2 fois ladite fréquence propre (ω0).
17. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le mouvement périodique imprimé par le mécanisme régulateur (2) a une amplitude supérieure à la valeur définie par le quotient de l'amplitude dudit résonateur (1) par le facteur de qualité dudit résonateur (1).
18. Mouvement d'horlogerie (10) comportant au moins 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 à une virole (7) à une deuxième extrémité interne (8), caractérisé en ce que ledit mouvement (10) comporte au moins un dit dispositif régulateur (2) modifiant périodiquement la position d'au moins un point dudit spiral (4) ou/et dudit piton (5) ou/et de ladite virole (7) et/ou d'au moins un point de pivotement du balancier que comporte ledit ensemble balancier-spiral (3).
19. Pièce d'horlogerie (30) comportant au moins un mouvement d'horlogerie (10) selon la revendication précédente.

Fig. 1

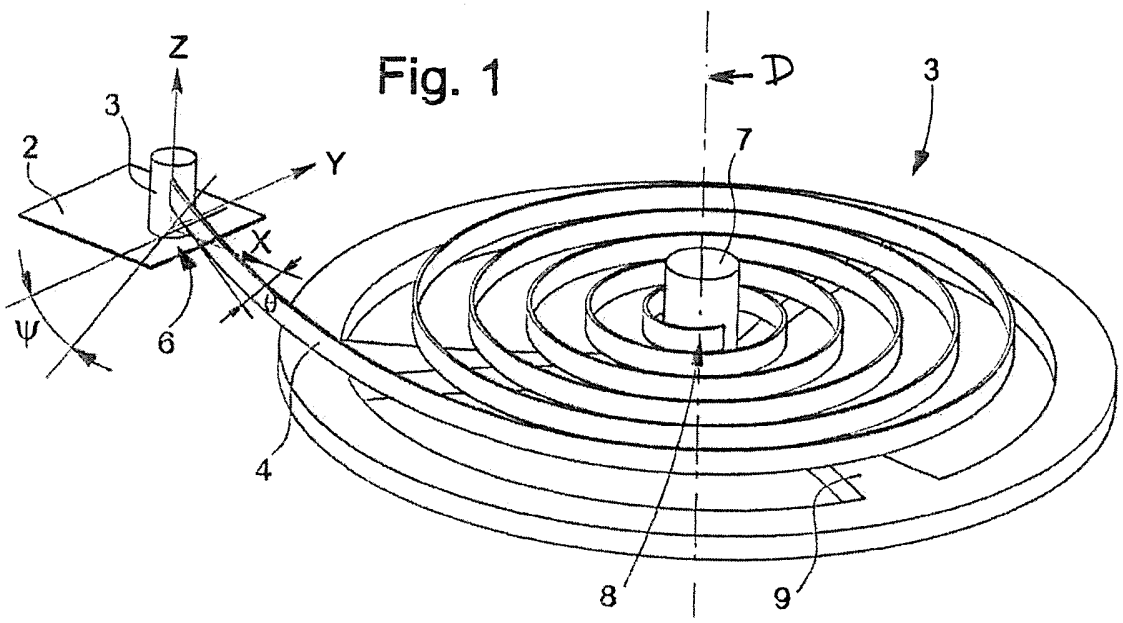


Fig. 2

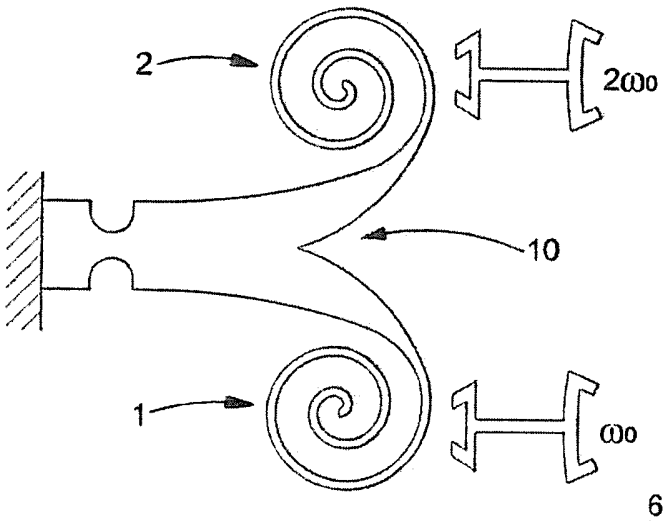


Fig. 3

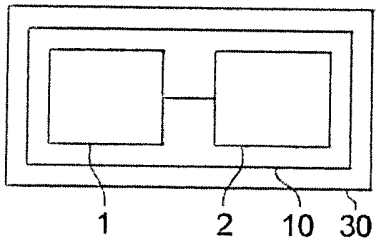


Fig. 4

