



(11) **EP 2 908 191 A2**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

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

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

(21) Numéro de dépôt: **15153321.3**

(22) Date de dépôt: **30.01.2015**

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA ME

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

(30) Priorité: **17.02.2014 EP 14155433**

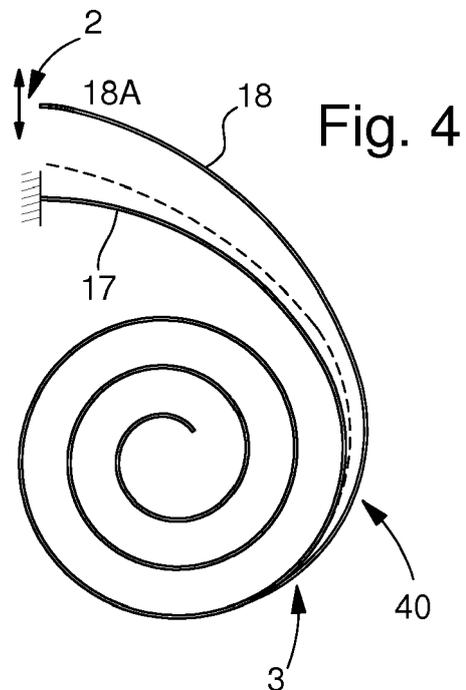
(71) Demandeur: **The Swatch Group Research and
Development Ltd.**
2074 Marin (CH)

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

(54) **Régulation en fréquence d'un résonateur d'horlogerie par action sur la rigidité d'un moyen de rappel élastique**

(57) Procédé de régulation en fréquence, autour de sa fréquence propre (ω_0), d'un mécanisme résonateur (1) comportant un moyen de rappel élastique (40) avec un spiral (4) ou un fil de torsion (46), où un dispositif régulateur (2) agit sur ledit mécanisme résonateur (1) avec un mouvement périodique, avec une fréquence de régulation (ω_R) qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier entre 2 et 10 de ladite fréquence propre (ω_0), commandant une variation périodique de la partie réelle et/ou de la partie imaginaire de la rigidité dudit moyen de rappel élastique (40).

Mouvement d'horlogerie (10) comportant un tel mécanisme résonateur (1) et comportant un tel dispositif régulateur (2) agencé pour commander une variation périodique de la rigidité dudit moyen de rappel élastique (40).



EP 2 908 191 A2

DescriptionDomaine de l'invention

[0001] L'invention concerne un procédé d'entretien et de régulation en fréquence, autour de sa fréquence propre, d'un mécanisme résonateur d'horlogerie comportant au moins un moyen de rappel élastique lequel comporte au moins un spiral ou un fil de torsion ou un guidage flexible, où on met en oeuvre au moins un dispositif régulateur agissant sur ledit mécanisme résonateur avec un mouvement périodique.

[0002] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant au moins un mécanisme résonateur d'horlogerie conçu pour osciller à une fréquence propre, ledit mécanisme résonateur d'horlogerie comportant au moins un moyen de rappel élastique comportant au moins un spiral ou un fil de torsion ou un guidage flexible.

[0003] L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie, plus particulièrement une montre, 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] Le document EP 1 843 227 A1 du même déposant décrit un résonateur couplé comportant un premier résonateur à basse fréquence par exemple de l'ordre de quelques hertz et un deuxième résonateur à plus haute fréquence, par exemple de l'ordre du kilohertz. L'invention est caractérisée en ce que le premier résonateur et le deuxième résonateur comportent des moyens de couplage mécanique permanent, ledit couplage permettant de stabiliser la fréquence en cas de perturbations extérieures, par exemple en cas de chocs.

[0007] Le document CH 615 314 A3 au nom de PATEK PHILIPPE SA décrit un ensemble mobile de régulation de mouvement d'horlogerie, comportant un balancier oscillant entretenu mécaniquement par un ressort spiral, et un organe vibrant couplé magnétiquement avec un organe fixe pour la synchronisation du balancier. Le balancier et l'organe vibrant sont constitués par un seul et même élément mobile vibrant et oscillant simultanément. La fréquence de vibration de l'organe vibrant est un multiple entier de la fréquence d'oscillation du balancier.

Résumé de l'invention

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

5 **[0009]** A cet effet, l'invention concerne un procédé d'entretien et de régulation en fréquence, autour de sa fréquence propre, d'un mécanisme résonateur d'horlogerie comportant au moins un moyen de rappel élastique lequel comporte au moins un spiral ou un fil de torsion ou un guidage flexible, où on met en oeuvre 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, 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 et inférieur ou égal à 10, en commandant une variation périodique de la partie réelle et/ou de la partie imaginaire de la rigidité d'au moins un dit moyen de rappel élastique.

15 **[0010]** Selon une caractéristique de l'invention, ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur, en imposant une modulation de la section d'au moins un dit moyen de rappel élastique, et/ou une modulation du module d'élasticité d'au moins un dit moyen de rappel élastique, et/ou une modulation de la forme d'au moins un dit moyen de rappel élastique, ou/et une modulation des contraintes aux points de fixation d'au moins un dit moyen de rappel élastique.

20 **[0011]** Selon une caractéristique de l'invention, on met en oeuvre au moins un dit dispositif régulateur imprimant un mouvement périodique à au moins un composant dudit mécanisme résonateur ou à un outillage influant sur la position d'un tel composant dudit mécanisme résonateur et on imprime ledit mouvement périodique à un dit mécanisme résonateur comportant au moins un moyen de rappel élastique comportant au moins un spiral ou un fil de torsion ou un guidage flexible, et on fait agir au moins un dit dispositif régulateur en commandant une variation périodique de la rigidité dudit moyen de rappel élastique en modulant sa section et/ou son module d'élasticité et/ou sa forme et/ou les contraintes à ses points de fixation.

25 **[0012]** L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant au moins un mécanisme résonateur d'horlogerie conçu pour osciller à une fréquence propre, ledit mécanisme résonateur d'horlogerie comportant au moins un moyen de rappel élastique comportant au moins un spiral ou un fil de torsion ou un guidage flexible, caractérisé en ce que ledit mouvement comporte au moins un dispositif régulateur agencé pour commander une variation périodique de la rigidité dudit moyen de rappel élastique 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 dudit résonateur, ledit entier étant supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à 10, et en ce que ledit dispositif régulateur est agencé

pour imprimer un mouvement périodique à au moins un composant dudit mécanisme résonateur pour exercer sur ledit composant un effort de vrillage ou de traction ou de compression, ou/et pour imprimer un mouvement périodique à au moins un outillage influant sur la position d'un tel composant dudit mécanisme résonateur, et en ce que au moins un dit dispositif régulateur est agencé pour imposer une modulation de la section d'au moins un dit moyen de rappel élastique, et/ou une modulation du module d'élasticité d'au moins un dit moyen de rappel élastique, et/ou une modulation de la forme d'au moins un dit moyen de rappel élastique, ou/et une modulation des contraintes aux points de fixation d'au moins un dit moyen de rappel élastique.

[0013] L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie, plus particulièrement une montre, comportant au moins un tel mouvement d'horlogerie.

Description sommaire des dessins

[0014] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit, en référence aux dessins annexés, où :

- la figure 1 représente, de façon schématisée, un pendule dont on fait varier la longueur ;
- la figure 2 représente, de façon schématisée, un diapason avec deux balanciers-spiraux attachés l'un à l'autre
- la figure 3 représente, de façon schématisée, et partielle, le spiral d'un ensemble balancier-spiral, avec une spire additionnelle fixée à ce spiral et venant en doublure localement avec la courbe terminale externe du spiral, et un dispositif régulateur pour effectuer des torsions de sens opposés sur la courbe terminale externe et sur cette spire additionnelle ;
- la figure 4 représente, de façon similaire à la figure 3, une spire additionnelle et un dispositif régulateur actionnant une extrémité de cette spire additionnelle ;
- la figure 5 représente un spiral auquel est fixé un bras, et un dispositif régulateur actionnant une extrémité de ce bras ;
- la figure 6 illustre un spiral avec, au voisinage de sa courbe terminale externe, une autre spire qui est maintenue à une première extrémité par un appui manoeuvré par un dispositif régulateur, et qui est libre à une deuxième extrémité agencée pour venir périodiquement en contact avec la courbe terminale externe sous l'action du dispositif régulateur sur cet appui ;
- la figure 7 illustre un spiral comportant deux lames conductrices séparées par des éléments isolants, et les figures 7A et 7B montrent, en coupe, deux sections de ce spiral selon les champs électriques appliqués à ce spiral ;
- la figure 8 illustre un dispositif régulateur comportant un mobile rotatif équipé d'aimants à sa périphérie et

dont le champ coopère périodiquement avec un aimant placé sur la courbe terminale externe d'un spiral ;

- la figure 9 illustre un mécanisme résonateur comportant un balancier comportant une virole maintenant un fil de torsion, dont un dispositif régulateur commande une variation périodique de la tension ;
- la figure 10 représente, sous forme d'un schéma-blocs, une montre comportant un mouvement mécanique avec un mécanisme résonateur régulé selon l'invention.

Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0015] 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.

[0016] Une manière d'y parvenir consiste à associer différents résonateurs, soit directement, soit via l'échappement.

[0017] 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.

[0018] Selon l'invention, un oscillateur paramétrique 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 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, et qui est de préférence multiple entière, notamment double, de la fréquence propre ω_0 .

[0019] Par convention et afin de bien les distinguer, on appelle ici « régulateur » 2 l'oscillateur qui sert à l'entretien et à la régulation en fréquence de l'autre système entretenu, lequel est dénommé « le résonateur » 1.

[0020] 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.

[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 :

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

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 $\omega(t) = \sqrt{k(t)/I(t)}$.

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

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, l'un ou l'autre, ou tous, les termes $\beta(t)$, $\omega(t)$, en modifiant la partie réelle et/ou imaginaire de la rigidité, avec une fréquence de régulation ωR qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier, cet entier étant supérieur ou égal à 2, notamment double, de la fréquence propre ω_0 du système oscillateur à réguler.

[0023] 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.

[0024] Dans une variante, la position de repos $x_0(t)$, varie simultanément avec les paramètres $\beta(t)$, $\omega(t)$, avec une fréquence de régulation ωR qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier, cet entier étant supérieur ou égal à 2, notamment double, de la fréquence propre ω_0 du système oscillateur à réguler.

[0025] De préférence, tous les termes $\beta(t)$, $\omega(t)$, $x_0(t)$, 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.

[0026] Généralement, l'oscillateur d'entretien ou régulateur, en plus que 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)].

[0027] Dans une variante, le terme forçant $f(t)$ peut être introduit par un deuxième mécanisme d'entretien.

[0028] Les paramètres de cette équation sont le terme de fréquence ω et le terme de pertes et frottements β . 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,

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

5

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

[0029] 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.

[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 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 notamment améliorée.

[0033] Le choix 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 figure 2, 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.

[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, 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] La présente invention consiste à faire varier la rigidité du spiral.

[0039] L'excitation au double de la fréquence peut être effectuée avec un signal carré, ou encore avec un signal impulsionnel, il n'est pas indispensable d'avoir une excitation sinusoïdale.

[0040] 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.

[0041] Dans une réalisation préférée, il n'y a pas de ressort de couplage entre ces deux oscillateurs.

[0042] 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.

[0043] L'invention concerne plus particulièrement la régulation en fréquence d'un résonateur d'horlogerie par action sur la rigidité d'un moyen de rappel élastique.

[0044] Ainsi, l'invention concerne un procédé de régulation en fréquence 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 imprimant un mouvement périodique à au moins un composant du mécanisme résonateur 1 ou à un outillage influant sur la position ou sur la rigidité d'un tel composant du mécanisme résonateur 1.

[0045] Et ce mouvement périodique impose une modulation périodique au moins de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1, en agissant au moins sur la rigidité d'un moyen de rappel élastique que comporte ce 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 et inférieur ou égal à 10.

[0046] Dans une mise en oeuvre particulière de l'invention, le mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1, en imposant à la fois une modulation de la rigidité du mécanisme résonateur 1 et une modulation d'inertie du mécanisme résonateur 1.

[0047] Dans une mise en oeuvre particulière de l'invention, le mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1, en imposant une modulation de la section d'un moyen de rappel élastique, notamment mais non limitativement un ressort, que comporte ledit mécanisme résonateur 1 et/ou une modulation du module d'élasticité d'un moyen de rappel élastique que comporte le mécanisme résonateur 1, et/ou une modulation de la forme d'un moyen de rappel élastique que comporte le mécanisme résonateur 1.

[0048] Dans une application particulière, ce mouvement périodique peut, encore, imposer une modulation périodique de la fréquence de résonance du mécanisme résonateur 1, en imposant, encore, une modulation de la longueur active d'un moyen de rappel élastique, notamment d'un ressort, que comporte ce mécanisme résonateur 1.

[0049] Dans une mise en oeuvre particulière de l'invention, le mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance du méca-

nisme résonateur 1 en imposant à la fois une modulation de la rigidité du mécanisme résonateur 1, et une modulation du point de repos du mécanisme résonateur 1.

[0050] Dans une application particulière illustrée par les figures, on met en oeuvre au moins un dit dispositif régulateur 2 imprimant un mouvement périodique à au moins un composant du mécanisme résonateur 1, ou à un outillage influant sur la position d'un tel composant du mécanisme résonateur 1, et on imprime ce mouvement périodique à un mécanisme résonateur 1 comportant au moins un moyen de rappel élastique 40 comportant au moins un spiral 4 ou un fil de torsion 46, ou un guidage flexible élastique notamment à pivot virtuel (tel que guidage papillon, ou RCC 4 cols, combinaison de lames flexibles, ou ensemble de lames croisées, ou similaire, réalisable de façon monobloc par les technologies des matériaux micro-usinables, « MEMS », « LIGA » ou similaires), et on fait agir au moins un dit dispositif régulateur 2 en commandant une variation périodique de la rigidité du moyen de rappel élastique 40 en modulant sa section et/ou son module d'élasticité et/ou sa forme et/ou les contraintes à ses points de fixation.

[0051] Par modulation de forme on entend ici une déformation, sous l'effet d'une contrainte externe, par rapport à la forme à vide du moyen de rappel élastique, et non la déformation normale en service que prend par exemple un ressort spiral au cours de sa contraction et de son élancement. Il s'agit par exemple d'une déformation induite par un contact, par un frottement aérodynamique, un effort sans contact tel qu'une force d'origine magnétique ou électrostatique, ou autre.

[0052] Naturellement, le moyen de rappel élastique 40 considéré ici est le moyen utilisé pour assurer la fréquence d'oscillation du mécanisme résonateur 1.

[0053] L'application préférée de l'invention concerne les montres, tout particulièrement pour une application où le moyen de rappel élastique 40 est constitué par un fil de torsion.

[0054] Selon l'invention, on applique ce procédé à un mécanisme résonateur 1 comportant au moins un moyen de rappel élastique 40 comportant au moins un spiral 4 ou un fil de torsion 46 ou un guidage flexible 46, et on fait agir au moins un tel dispositif régulateur 2 en commandant une variation périodique de la partie réelle et/ou de la partie imaginaire de la rigidité de ce moyen de rappel élastique 40, la partie réelle de la rigidité définissant la fréquence de ce mécanisme résonateur 1, et la partie imaginaire de la rigidité définissant le facteur de qualité de ce mécanisme résonateur 1.

[0055] Dans les variantes illustrées aux figures 3 à 8 (où le balancier n'est pas représenté pour ne pas encombrer les figures), on applique ce procédé à un ensemble balancier-spiral 3, dont le spiral 4 constitue le moyen de rappel élastique 40 et 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 tel dispositif régulateur 2 en commandant une variation périodique de la partie réelle et/ou de la partie imaginaire

de la rigidité du spiral 4.

[0056] Dans la variante de la figure 3, on double localement la courbe terminale externe 17 du spiral 4 par une spire additionnelle 18 fixée à ce spiral 4 en au moins un premier point de jonction 19, et on effectue de façon périodique avec le dispositif régulateur 2 des torsions de sens opposés sur la courbe terminale externe 17 et sur la spire additionnelle 18, en agissant sur le piton 5 pour la courbe terminale externe 17, et sur une extrémité 18A opposée à ce premier point de jonction 19 de la spire additionnelle 18 pour la spire additionnelle 18. Cette double torsion présente l'avantage de permettre la modification de la rigidité du spiral, sans modifier sa position dans son plan.

[0057] Dans la variante de la figure 4, on double localement la courbe terminale externe 17 du spiral 4 par une spire additionnelle 18 fixée à ce spiral 4 en au moins un premier point de jonction 19, et on effectue de façon périodique avec le dispositif régulateur 2 un mouvement sur une extrémité 18A opposée à ce premier point de jonction 19 de la spire additionnelle 18. On modifie, ainsi, la rigidité de la courbe terminale externe, et, par conséquent, celle du spiral. On peut, aussi, utiliser le dispositif régulateur 2 pour mouvoir le piton 5 et l'extrémité 18A.

[0058] On peut choisir de donner une rigidité particulière à cette spire additionnelle 18, et notamment :

- ou bien on choisit une telle spire additionnelle 18 de souplesse équivalente à celle de la courbe terminale externe 17,
- ou bien on choisit une telle spire additionnelle 18 plus rigide que la courbe terminale externe 17.

[0059] Dans la variante de la figure 5, on fixe à la courbe terminale externe 17 du spiral 4 un bras 20 en au moins un deuxième point de jonction 21, et on effectue de façon périodique avec le dispositif régulateur 2 un mouvement sur une extrémité 22 du bras 20 opposée à ce deuxième point de jonction 21. Dans une variante particulière, on choisit le bras 20 plus rigide que la courbe terminale externe 17.

[0060] Dans la variante de la figure 6, on positionne, au voisinage de la courbe terminale externe 17 du spiral 4, une autre spire 23, qui à l'état au repos du mécanisme résonateur 1 est complètement indépendante du moyen de rappel élastique 40, et à distance de ce dernier, et qui est maintenue à une première extrémité par un appui 24 manoeuvré par le dispositif régulateur 2, et qui est libre à une deuxième extrémité 25 agencée pour venir périodiquement en contact avec la courbe terminale externe 17 sous l'action du dispositif régulateur 2 sur cet appui 24. Cette autre spire 23 courbe vient ainsi se rapprocher, et éventuellement coller, périodiquement au spiral 4, pour modifier la rigidité du composant de rappel.

[0061] Dans la variante de la figure 7, on réalise le spiral 4 avec au moins deux lames conductrices 41, 42, séparées par des éléments isolants 43 et on utilise un tel dispositif régulateur 2 pour appliquer périodiquement

un champ aux deux lames 41, 42, de façon à modifier l'écart E1 (figure 7A) ou E2 (figure 7B) entre ces deux lames 41,42, et ainsi à modifier la section totale et la rigidité du spiral 4. Dans une variante, on leur applique périodiquement un champ différent.

[0062] Notamment on soumet les deux lames 41, 42, à un champ, électromagnétique et/ou électrostatique et/ou magnétostatique, différent, par un mouvement imprimé à une masse polaire ferromagnétique ou magnétisée ou électrostatiquement conductrice ou électrisée (notamment aimants ou électrets) à proximité immédiate de chaque lame de façon à faire naître une force électrique ou magnétique ou électrostatique ou magnétostatique entre elles, et les approcher ou les éloigner l'une de l'autre. La rigidité du spiral 4 est modifiée car sa section varie. Le mouvement est de préférence imprimé mécaniquement à ces masses polaires.

[0063] Dans une variante on soumet les deux lames 41, 42, à un champ électrique ou électrostatique de façon à polariser localement le spiral 4 et à modifier localement sa rigidité 4.

[0064] Dans la variante de la figure 8, on utilise un tel dispositif régulateur 2 comportant un mobile rotatif 28 équipé d'aimants 29 à sa périphérie et dont le champ coopère périodiquement avec au moins un aimant 45 placé sur le spiral 4 (on peut imaginer placer l'aimant du côté de la virole), pour modifier périodiquement la rigidité du spiral 4. La précontrainte du spiral et la position radiale du point de comptage sont également modifiées périodiquement.

[0065] Dans une autre variante, on utilise un mobile rotatif 28 aimanté de manière inhomogène pour modifier périodiquement la rigidité du spiral 4 par le phénomène de la magnétostriction.

[0066] Dans une variante électrostatique, on utilise un tel dispositif régulateur 2 comportant un mobile rotatif 28 similaire, cette fois équipé d'électrets à sa périphérie, et dont le champ électrique coopère périodiquement avec au moins un électret placé sur la courbe terminale externe 17 du spiral 4, pour modifier périodiquement la rigidité du spiral 4, par le phénomène de la piézoélectricité.

[0067] Dans une autre variante encore, on module la rigidité à travers une variation de température.

[0068] Dans une mise en oeuvre avantageuse de ce procédé, valable pour toutes les variantes exposées ci-dessus, la fréquence de régulation ωR est le double de la fréquence propre ω_0 .

[0069] Dans une mise en oeuvre avantageuse du procédé, l'amplitude relative de la modulation de la partie réelle de la rigidité du mécanisme résonateur 1 est supérieure à deux fois l'inverse du facteur de qualité du mécanisme résonateur 1.

[0070] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie 10, comportant au moins un mécanisme résonateur 1 d'horlogerie conçu pour osciller à une fréquence propre ω_0 , ce mécanisme résonateur 1 d'horlogerie comportant au moins un moyen de rappel élastique 40 comportant au moins un spiral 4 ou un fil de torsion

46 ou un guidage flexible. Selon l'invention ce mouvement 10 comporte au moins un dispositif régulateur 2 commandant une variation périodique de la rigidité du moyen de rappel élastique 40 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 résonateur 1, ledit entier étant supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à 10.

[0071] Dans les variantes illustrées aux figures 3 à 8, le mécanisme résonateur d'horlogerie 1 comporte au moins un ensemble balancier-spiral 3, dont le spiral 4 constitue le moyen de rappel élastique 40 et est maintenu entre un piton 5 à une première extrémité externe 6 et à une virole 7 à une deuxième extrémité interne 8, et le dispositif régulateur 2 commande une variation périodique de la rigidité du spiral 4.

[0072] Dans la variante de la figure 3, le mouvement 10 comporte une spire additionnelle 18 fixée à ce spiral 4 en au moins un premier point de jonction 19 et venant en doublure localement avec la courbe terminale externe 17 du spiral 4. Et le dispositif régulateur 2 effectue de façon périodique des torsions de sens opposés sur la courbe terminale externe 17 et sur la spire additionnelle 18, en agissant sur le piton 5 pour la courbe terminale externe 17, et sur une extrémité 18A de la spire additionnelle 18 opposée à ce premier point de jonction 19.

[0073] Dans la variante de la figure 4, le mouvement 10 comporte une spire additionnelle 18 fixée à ce spiral 4 en au moins un premier point de jonction 19 et venant en doublure localement avec la courbe terminale externe 17 du spiral 4, et le dispositif régulateur 2 effectue de façon périodique un mouvement sur une extrémité 18A de la spire additionnelle 18 opposée à ce premier point de jonction 19.

[0074] La spire additionnelle 18 est, ou bien de souplesse équivalente à celle de la courbe terminale externe 17, ou bien plus rigide que la courbe terminale externe 17.

[0075] Dans la variante de la figure 5, le mouvement 10 comporte un bras 20 fixé à la courbe terminale externe 17 du spiral 4 en au moins un deuxième point de jonction 21, et le dispositif régulateur 2 effectue de façon périodique un mouvement sur une extrémité 22 du bras 20 opposée à ce deuxième point de jonction 21.

[0076] Dans une réalisation particulière, le bras 20 est plus rigide que la courbe terminale externe 17.

[0077] Dans la variante de la figure 6, le mouvement 10 comporte, au voisinage de la courbe terminale externe 17 du spiral 4, une autre spire 23 qui est maintenue à une première extrémité par un appui 24 manoeuvré par le dispositif régulateur 2, et qui est libre à une deuxième extrémité 25 agencée pour venir périodiquement en contact avec la courbe terminale externe 17 sous l'action du dispositif régulateur 2 sur cet appui 24.

[0078] Dans la variante de la figure 7, le spiral 4 comporte au moins deux lames conductrices 41, 42, séparées par des éléments isolants 43, et le dispositif régulateur 2 est agencé pour soumettre périodiquement les deux lames 41, 42, à un champ électrique et/ou magné-

tique (au sens large, selon la définition de champs plus haut), de façon à modifier l'écart E1, E2, entre les deux lames 41, 42, et ainsi à modifier la section totale et la rigidité du spiral 4. De façon particulière, le régulateur 2 est agencé pour soumettre périodiquement les deux lames 41, 42, à un champ électrique différent.

[0079] Dans la variante de la figure 8, le dispositif régulateur 2 comporte un mobile rotatif 28 équipé d'aimants 29 à sa périphérie et dont le champ magnétique coopère périodiquement avec au moins un aimant 45 placé sur la courbe terminale externe 17 du spiral 4, pour modifier périodiquement la rigidité du spiral 4.

[0080] Dans la variante de la figure 9, le mécanisme résonateur 1 comporte au moins un balancier 26 comportant une virole 7 maintenant un fil de torsion 46 lequel constitue le moyen de rappel élastique 40, et le dispositif régulateur 2 commande une variation périodique de la tension du fil de torsion 46.

[0081] Dans une autre variante encore, des couches ou éléments électrostatiques peuvent être mis en oeuvre pour faire varier la rigidité d'un ressort ou spiral en le recouvrant partiellement ou complètement d'une couche piézoélectrique activée par un petit module électronique.

[0082] De préférence, la fréquence de régulation ωR du dispositif régulateur 2 est le double de la fréquence propre $\omega 0$ du mécanisme résonateur 1.

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

Revendications

1. Procédé d'entretien et de régulation en fréquence, autour de sa fréquence propre ($\omega 0$), d'un mécanisme résonateur (1) d'horlogerie comportant au moins un moyen de rappel élastique (40) lequel comporte au moins un spiral (4) ou un fil de torsion (46) ou un guidage flexible, où on met en oeuvre 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, 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 et inférieur ou égal à 10, en commandant une variation périodique de la partie réelle et/ou de la partie imaginaire de la rigidité d'au moins un dit moyen de rappel élastique (40).
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1), en imposant une modulation de la section d'au moins un dit moyen de rappel élastique (40), et/ou une modulation du module d'élasticité d'au moins un dit moyen de rappel élas-

- tique (40), et/ou une modulation de la forme d'au moins un dit moyen de rappel élastique (40), ou/et une modulation des contraintes aux points de fixation d'au moins un dit moyen de rappel élastique (40).
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1), en imposant une modulation de la section d'au moins un dit moyen de rappel élastique (40).
 4. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1), en imposant une modulation du module d'élasticité d'au moins un dit moyen de rappel élastique (40).
 5. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1), en imposant une modulation de la forme d'au moins un dit moyen de rappel élastique (40).
 6. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1), en imposant une modulation des contraintes aux points de fixation d'au moins un dit moyen de rappel élastique (40).
 7. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'on** applique ledit procédé à un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) constitue ledit moyen de rappel élastique (40) et 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** double localement la courbe terminale externe (17) dudit spiral (4) par une spire additionnelle (18) fixée audit spiral (4) en au moins un premier point de jonction (19), et **en ce qu'on** effectue de façon périodique avec ledit dispositif régulateur (2) des torsions de sens opposés sur ladite courbe terminale externe (17) et sur ladite spire additionnelle (18), en agissant sur ledit piton (5) pour ladite courbe terminale externe (17), et sur une extrémité (18A) opposée audit premier point de jonction (19) de ladite spire additionnelle (18) pour ladite spire additionnelle (18).
 8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'on** choisit une dite spire additionnelle (18) de souplesse équivalente à celle de ladite courbe terminale externe (17).
 9. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'on** choisit une dite spire additionnelle (18) plus rigide que ladite courbe terminale externe (17).
 10. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'on** applique ledit procédé à un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) constitue ledit moyen de rappel élastique (40) et 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** double localement la courbe terminale externe (17) dudit spiral (4) par une spire additionnelle (18) fixée audit spiral (4) en au moins un premier point de jonction (19), et **en ce qu'on** effectue de façon périodique avec ledit dispositif régulateur (2) un mouvement sur une extrémité (18A) opposée audit premier point de jonction (19) de ladite spire additionnelle (18).
 11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce qu'on** choisit une dite spire additionnelle (18) de souplesse équivalente à celle de ladite courbe terminale externe (17).
 12. Procédé selon la revendication 5 ou 6, **caractérisé en ce qu'on** choisit une dite spire additionnelle (18) plus rigide que ladite courbe terminale externe (17).
 13. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'on** applique ledit procédé à un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) constitue ledit moyen de rappel élastique (40) et 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** fixe à la courbe terminale externe (17) dudit spiral (4) un bras (20) en au moins un deuxième point de jonction (21), et **en ce qu'on** effectue de façon périodique avec ledit dispositif régulateur (2) un mouvement sur une extrémité (22) dudit bras (20) opposée audit deuxième point de jonction (21).
 14. Procédé selon la revendication 13, **caractérisé en ce qu'on** choisit ledit bras (20) plus rigide que ladite courbe terminale externe (17).
 15. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'on** applique ledit procédé à un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) constitue ledit moyen de rappel élastique (40) et 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** positionne, au voisinage de la courbe terminale externe (17) dudit spiral (4), une autre spire (23) maintenue à une première extrémité par un appui (24) manoeuvré par ledit dispositif régulateur (2), et libre à une deuxième extrémité (25) agencée pour venir périodiquement en contact avec ladite courbe terminale externe (17) sous l'action dudit dispositif

régulateur (2) sur ledit appui (24).

16. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'on** applique ledit procédé à un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) constitue ledit moyen de rappel élastique (40) et 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** réalise ledit spiral (4) avec au moins deux lames conductrices (41 ; 42) séparées par des éléments isolants (43) et **en ce qu'on** utilise un dit dispositif régulateur (2) pour appliquer périodiquement un champ électrique et/ou magnétique auxdites deux lames (41 ; 42) de façon à modifier l'écart (E1 ; E2) entre les deux dites lames (41 ; 42) et ainsi à modifier la section totale et la rigidité dudit spiral (4).
17. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'on** applique ledit procédé à un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) constitue ledit moyen de rappel élastique (40) et 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** réalise ledit spiral (4) avec au moins deux lames conductrices (41 ; 42) séparées par des éléments isolants (43) et **en ce qu'on** utilise un dit dispositif régulateur (2) pour soumettre périodiquement lesdites deux lames (41 ; 42) à un champ électrique ou électrostatique différent de façon à polariser localement ledit spiral (4) et modifier localement sa rigidité (4).
18. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'on** applique ledit procédé à un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) constitue ledit moyen de rappel élastique (40) et 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** utilise un dit dispositif régulateur (2) comportant un mobile rotatif (28) équipé d'aimants (29) à sa périphérie et dont le champ coopère périodiquement avec au moins un aimant (45) placé sur la courbe terminale externe (17) dudit spiral (4), pour modifier périodiquement la rigidité dudit spiral (4).
19. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'on** applique ledit procédé à un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) constitue ledit moyen de rappel élastique (40) et 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** utilise un dit dispositif régulateur (2) comportant un mobile rotatif (28) équipé d'électrets à sa périphérie et dont le champ électrique coopère périodiquement avec au moins un électret placé sur la courbe terminale externe (17) dudit spiral (4), pour modifier périodiquement la rigidité dudit spiral (4).
20. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'on** applique ledit procédé à un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) constitue ledit moyen de rappel élastique (40) et 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** utilise un dit dispositif régulateur (2) comportant un mobile rotatif (28) aimanté de manière inhomogène pour modifier périodiquement la rigidité dudit spiral (4) par le phénomène de la magnétostriction.
21. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'on** applique ledit procédé à un dit mécanisme résonateur (1) comportant au moins un moyen de rappel élastique (40) comportant au moins un fil de torsion (46), et **en ce qu'on** fait agir au moins un dit dispositif régulateur (2) en commandant une variation périodique de la rigidité dudit moyen de rappel élastique (40) en modulant de façon périodique la tension dudit fil de torsion (46)..
22. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'on** fait agir au moins un dit dispositif régulateur (2) pour appliquer périodiquement un champ électrique et/ou magnétique sur au moins un élément d'au moins un moyen de rappel élastique (40) pour modifier sa rigidité.
23. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1), en imposant à la fois une modulation de la rigidité d'un moyen de rappel élastique que comporte ledit mécanisme résonateur (1) et une modulation d'inertie d'un balourd dudit mécanisme résonateur (1).
24. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ledit mouvement périodique impose une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1) en imposant une modulation de la rigidité dudit mécanisme résonateur (1), et une modulation de la position du point de repos dudit mécanisme résonateur (1).
25. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ladite fréquence de régulation (ωR) est le double de ladite fréquence propre ($\omega 0$)
26. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'amplitude relative de la modulation de la partie réelle de la rigidité dudit mécanisme résonateur (1) est supérieure à deux fois l'inverse du facteur de qualité dudit mécanisme résonateur (1).
27. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'on** fait agir au moins un dit dispositif régulateur

(2) pour appliquer périodiquement un champ électrique et/ou magnétique

28. Mouvement d'horlogerie (10) comportant au moins un mécanisme résonateur (1) d'horlogerie conçu pour osciller à une fréquence propre (ω_0), ledit mécanisme résonateur (1) d'horlogerie comportant au moins un moyen de rappel élastique (40) comportant au moins un spiral (4) ou un fil de torsion (46) ou un guidage flexible, **caractérisé en ce que** ledit mouvement (10) comporte au moins un dispositif régulateur (2) agencé pour commander une variation périodique de la rigidité dudit moyen de rappel élastique (40) 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) dudit résonateur (1), ledit entier étant supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à 10, et **en ce que** ledit dispositif régulateur (2) est agencé pour imprimer un mouvement périodique à au moins un composant dudit mécanisme résonateur (1) pour exercer sur ledit composant un effort de vrillage ou de traction ou de compression, ou/et pour imprimer un mouvement périodique à au moins un outillage influant sur la position d'un tel composant dudit mécanisme résonateur (1), et **en ce que** au moins un dit dispositif régulateur (2) est agencé pour imposer une modulation de la section d'au moins un dit moyen de rappel élastique (40), et/ou une modulation du module d'élasticité d'au moins un dit moyen de rappel élastique (40), et/ou une modulation de la forme d'au moins un dit moyen de rappel élastique (40), ou/et une modulation des contraintes aux points de fixation d'au moins un dit moyen de rappel élastique (40).
29. Mouvement d'horlogerie (10) selon la revendication 28, **caractérisé en ce que** ledit mécanisme résonateur d'horlogerie (1) comporte au moins un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) constitue ledit moyen de rappel élastique (40) et 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 que** ledit dispositif régulateur (2) commande une variation périodique de la rigidité dudit spiral (4), et **en ce que** ledit mécanisme résonateur (1) comporte une spire additionnelle (18) fixée audit spiral (4) en au moins un premier point de jonction (19) et venant en doubleur localement avec la courbe terminale externe (17) dudit spiral (4), et **en ce que** ledit dispositif régulateur (2) effectue de façon périodique des torsions de sens opposés sur ladite courbe terminale externe (17) et sur ladite spire additionnelle (18), en agissant sur ledit piton (5) pour ladite courbe terminale externe (17), et sur une extrémité (18A) de ladite spire additionnelle (18) opposée audit premier point de jonction (19).
30. Mouvement (10) selon la revendication 29, **caractérisé en ce que** ladite spire additionnelle (18) est de souplesse équivalente à celle de ladite courbe terminale externe (17).
31. Mouvement (10) selon la revendication 29, **caractérisé en ce que** ladite spire additionnelle (18) est plus rigide que ladite courbe terminale externe (17).
32. Mouvement d'horlogerie (10) selon la revendication 28, **caractérisé en ce que** ledit mécanisme résonateur d'horlogerie (1) comporte au moins un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) constitue ledit moyen de rappel élastique (40) et 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 que** ledit dispositif régulateur (2) commande une variation périodique de la rigidité dudit spiral (4). Et **en ce que** ledit mécanisme résonateur (1) comporte une spire additionnelle (18) fixée audit spiral (4) en au moins un premier point de jonction (19) et venant en doubleur localement avec la courbe terminale externe (17) dudit spiral (4), et **en ce que** ledit dispositif régulateur (2) effectue de façon périodique un mouvement sur une extrémité (18A) de ladite spire additionnelle (18) opposée audit premier point de jonction (19).
33. Mouvement (10) selon la revendication 32, **caractérisé en ce que** ladite spire additionnelle (18) est de souplesse équivalente à celle de ladite courbe terminale externe (17).
34. Mouvement (10) selon la revendication 32, **caractérisé en ce que** ladite spire additionnelle (18) est plus rigide que ladite courbe terminale externe (17).
35. Mouvement d'horlogerie (10) selon la revendication 28, **caractérisé en ce que** ledit mécanisme résonateur d'horlogerie (1) comporte au moins un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) constitue ledit moyen de rappel élastique (40) et 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 que** ledit dispositif régulateur (2) commande une variation périodique de la rigidité dudit spiral (4). et **en ce que** ledit mécanisme résonateur (1) comporte un bras (20) fixé à la courbe terminale externe (17) dudit spiral (4) en au moins un deuxième point de jonction (21), et **en ce que** ledit dispositif régulateur (2) effectue de façon périodique un mouvement sur une extrémité (22) dudit bras (20) opposée audit deuxième point de jonction (21).
36. Mouvement (10) selon la revendication 35, **caractérisé en ce que** ledit bras (20) est plus rigide que ladite courbe terminale externe (17).
37. Mouvement d'horlogerie (10) selon la revendication

- 28, **caractérisé en ce que** ledit mécanisme résonateur d'horlogerie (1) comporte au moins un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) constitue ledit moyen de rappel élastique (40) et 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 que** ledit dispositif régulateur (2) commande une variation périodique de la rigidité dudit spiral (4), et **en ce que** ledit mécanisme résonateur (1) comporte, au voisinage de la courbe terminale externe (17) dudit spiral (4), une autre spire (23) qui est maintenue à une première extrémité par un appui (24) manoeuvré par ledit dispositif régulateur (2), et qui est libre à une deuxième extrémité (25) agencée pour venir périodiquement en contact avec ladite courbe terminale externe (17) sous l'action dudit dispositif régulateur (2) sur ledit appui (24).
38. Mouvement d'horlogerie (10) selon la revendication 28, **caractérisé en ce que** ledit mécanisme résonateur d'horlogerie (1) comporte au moins un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) constitue ledit moyen de rappel élastique (40) et 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 que** ledit dispositif régulateur (2) commande une variation périodique de la rigidité dudit spiral (4). et **en ce que** ledit spiral (4) comporte au moins deux lames conductrices (41 ; 42) séparées par des éléments isolants (43), et **en ce que** ledit dispositif régulateur (2) est agencé pour appliquer périodiquement un champ électrique et/ou magnétique auxdites deux lames (41 ; 42) de façon à modifier l'écart (E1 ; E2) entre les deux dites lames (41 ; 42) et ainsi à modifier la section totale et la rigidité dudit spiral (4).
39. Mouvement d'horlogerie (10) selon la revendication 28, **caractérisé en ce que** ledit mécanisme résonateur d'horlogerie (1) comporte au moins un ensemble balancier-spiral (3), dont le spiral (4) constitue ledit moyen de rappel élastique (40) et 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 que** ledit dispositif régulateur (2) commande une variation périodique de la rigidité dudit spiral (4), et **en ce que** ledit mécanisme résonateur (1) **en ce que** ledit dispositif régulateur (2) comporte un mobile rotatif (28) équipé d'aimants (29) à sa périphérie et dont le champ coopère périodiquement avec au moins un aimant (45) placé sur la courbe terminale externe (17) dudit spiral (4), pour modifier périodiquement la rigidité dudit spiral (4).
40. Mouvement (10) selon l'une des revendication 28, **caractérisé en ce que** ladite fréquence de régulation (ωR) dudit dispositif régulateur (2) est le double de ladite fréquence propre ($\omega 0$) dudit mécanisme résonateur (1).
41. Pièce d'horlogerie (30) comportant au moins un mouvement d'horlogerie (10) selon la revendication 28, **caractérisée en ce qu'elle est une montre..**

Fig. 1

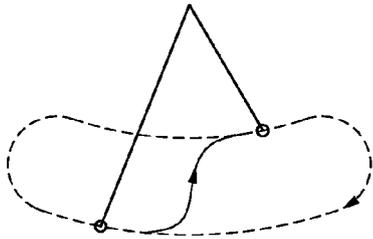


Fig. 2

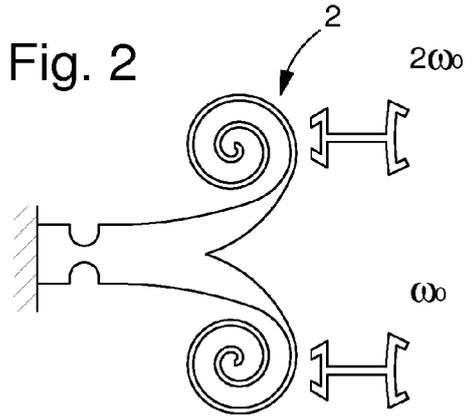


Fig. 3

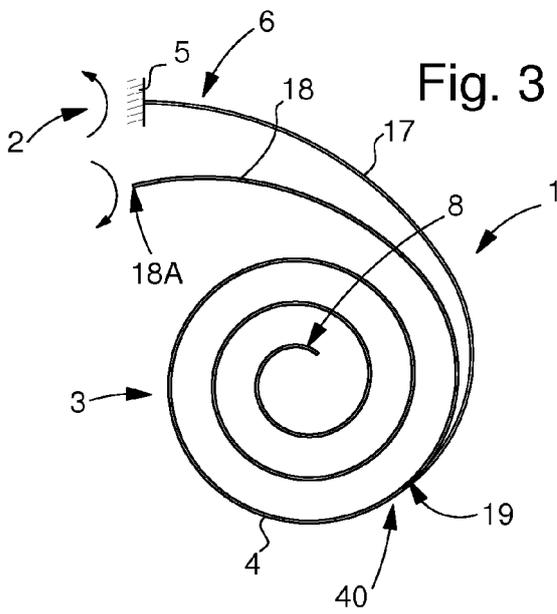


Fig. 4

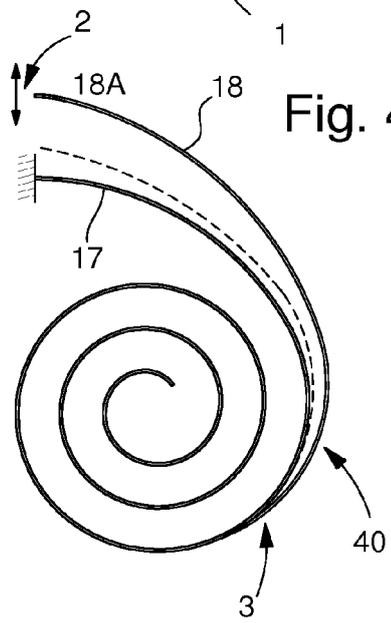


Fig. 5

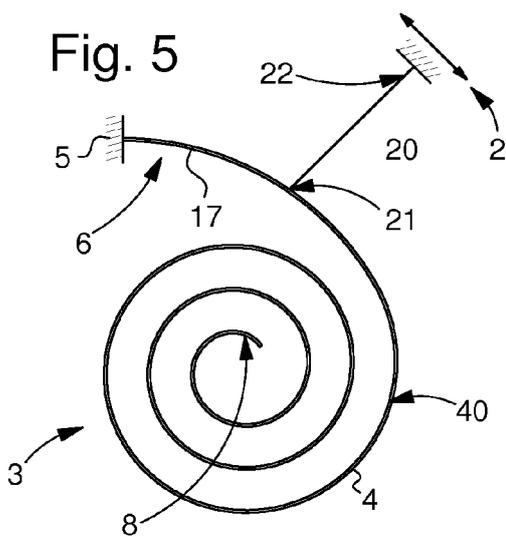


Fig. 6

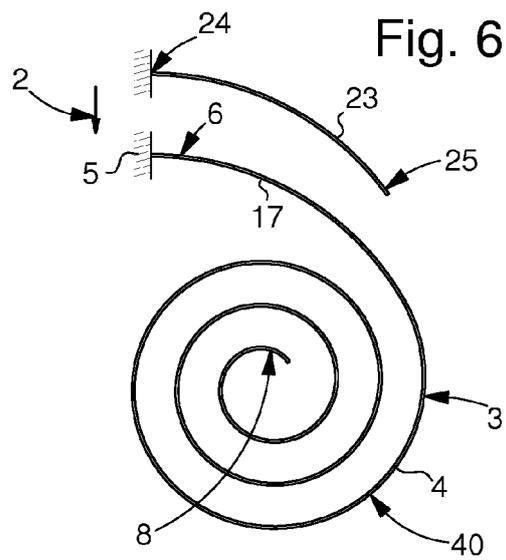


Fig. 7

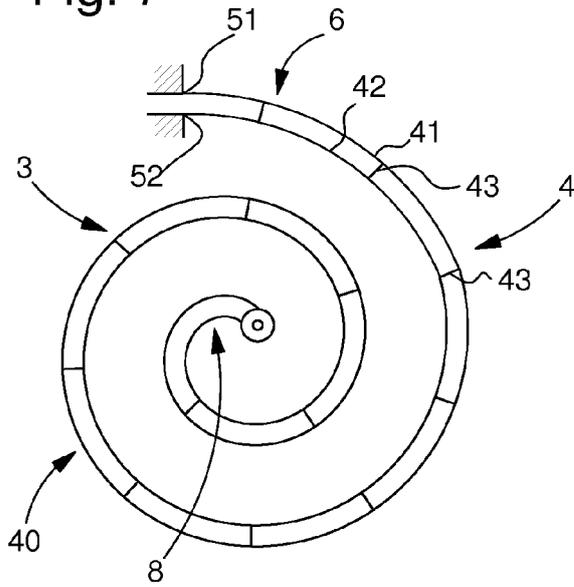


Fig. 7A

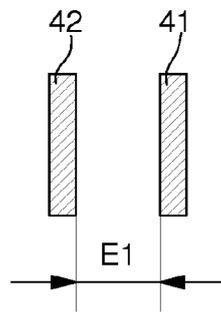


Fig. 7B

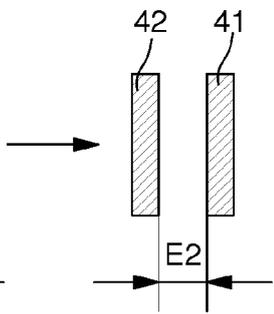


Fig. 8

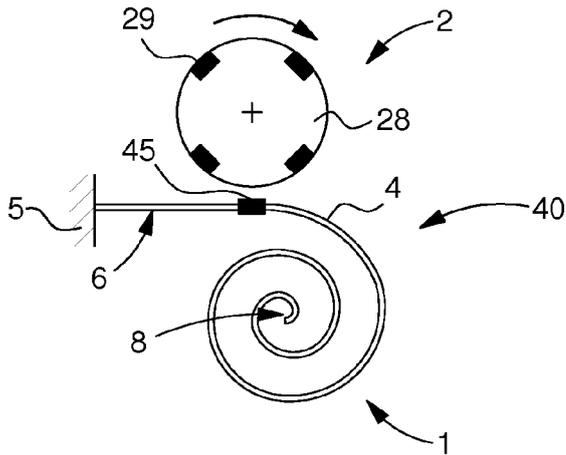


Fig. 9

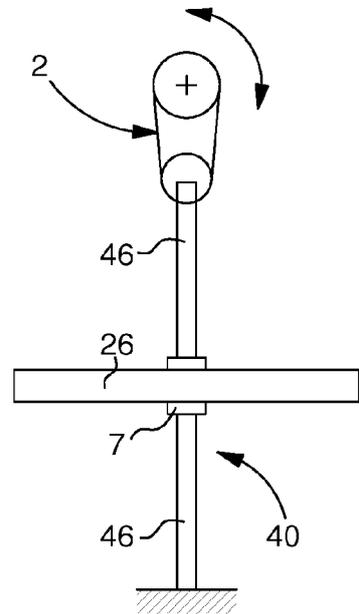
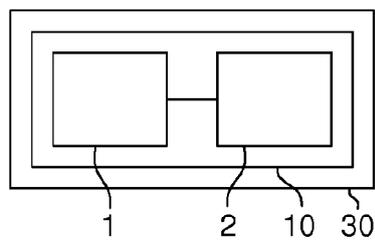


Fig. 10



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 A1 [0006]
- CH 615314 A3 [0007]

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 [0026]
- **D. RUGAR ; P. GRUTTER.** Mechanical parametric amplification and thermomechanical noise squeezing. *PRL*, 1991, vol. 67, 699 [0029]
- **A. H. NAYFEH ; D. T. MOOK.** Nonlinear Oscillations. Wiley-Interscience, 1977 [0029]