

(19)



(11)

EP 2 908 191 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
18.03.2020 Bulletin 2020/12

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

(21) Numéro de dépôt: **15153321.3**

(22) Date de dépôt: **30.01.2015**

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

Frequenzregulierung eines Uhrresonators durch Einwirkung auf die Steifheit eines elastischen Rückstellmittels

Adjustment of the frequency of a clock resonator by changing the rigidity of a resilient return means

(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**

- **Sarchi, Davide**
1020 Renens (CH)
- **Stranczl, Marc**
1260 Nyon (CH)

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

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

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

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

(56) Documents cités:
EP-A1- 1 843 227 EP-A1- 2 690 507
CH-A3- 615 314 CN-A- 103 543 631
DE-B- 1 217 883

(72) Inventeurs:
• **Hessler, Thierry**
2024 St-Aubin (CH)

EP 2 908 191 B1

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

Description

Domaine de l'invention

[0001] L'invention concerne un procédé d'entretien et de régulation 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 œuvre 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.

[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, selon la revendication 1.

[0010] 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, selon la revendication 7.

[0011] L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie, plus particulièrement une montre, 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 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 manœuvré 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

[0013] 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.

[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 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.

[0016] 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 .

[0017] 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.

[0018] 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.

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 Lagrange 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 :

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

$\beta(t) > 0$ 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.

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 $\beta(t)$, $w(t)$, en modifiant au moins la partie réelle de la rigidité, avec une fréquence de régulation ω_R 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.

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.

Dans une variante, la position de repos $x_0(t)$, varie simultanément avec les paramètres $\beta(t)$, $\omega(t)$, avec une fréquence de régulation ω_R 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.

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

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)].

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

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,

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

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

[0025] Dans cet exemple particulier, si la longueur L est modulée dans le temps périodiquement avec une fréquence 2w 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)].

[0026] 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 pignon.

[0027] L'entretien paramétrique d'un tel système balancier-spiral peut notamment être réalisé en rendant ce pignon mobile, de façon périodique.

[0028] L'oscillation peut être maintenue et la précision du système est notablement améliorée.

[0029] 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.

[0030] L'industrialisation de tels systèmes d'oscillateurs paramétriques est liée aux deux fonctions essentielles: la fourniture d'énergie et le comptage.

[0031] 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.

[0032] 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.

[0033] 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.

[0034] Une variante de la présente invention consiste à faire varier la rigidité du spiral.

[0035] L'excitation au double de la fréquence peut être effectuée avec un signal carré, ou encore avec un signal impulsif, il n'est pas indispensable d'avoir une excitation sinusoïdale.

[0036] 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.

[0037] Dans une réalisation préférée, il n'y a pas de ressort de couplage entre ces deux oscillateurs.

[0038] 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.

[0039] 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.

[0040] Ainsi, l'invention concerne un procédé de régulation en fréquence d'un mécanisme résonateur 1 d'horlogerie autour de sa fréquence propre ω₀. Ce procédé met en œuvre 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.

[0041] 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 w_R qui est comprise entre 0.9 fois et 1.1 fois la valeur d'un multiple entier de la fréquence propre ω₀, cet entier étant supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à 10.

[0042] Dans une mise en œuvre 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.

[0043] Dans une réalisation voisine 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.

[0044] 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.

[0045] Dans une mise en œuvre 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 de la position du point de repos du mécanisme résonateur 1.

[0046] Dans une application particulière illustrée par les figures, on met en œuvre 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.

[0047] 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.

[0048] Naturellement, le moyen de rappel élastique 40 considéré ici est le moyen utilisé pour assurer la fréquence d'oscillation du mécanisme résonateur 1.

[0049] 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.

[0050] 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.

[0051] 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.

[0052] 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.

[0053] 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.

[0054] 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.

[0055] 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.

[0056] 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 manœuvré 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.

[0057] 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.

[0058] 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 rapprocher 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.

[0059] 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.

[0060] 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.

[0061] 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 magnétostriktion.

[0062] 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.

[0063] Dans une autre variante encore, on module la rigidité à travers une variation de température.

[0064] Dans une mise en œuvre avantageuse de ce procédé, valable pour toutes les variantes exposées ci-dessus, la fréquence de régulation ω_R est le double de la fréquence propre ω_0 .

[0065] Dans une mise en œuvre 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.

[0066] 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 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 du résonateur 1, ledit entier étant supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à 10.

[0067] 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.

[0068] 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.

[0069] 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.

[0070] 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.

[0071] 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.

[0072] Dans une réalisation particulière, le bras 20 est plus rigide que la courbe terminale externe 17.

[0073] 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 manœuvré 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.

[0074] 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.

[0075] 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.

[0076] 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.

[0077] Dans une autre variante encore, des couches ou éléments électrostatiques peuvent être mis en œuvre 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.

[0078] De préférence, la fréquence de régulation ω_R du dispositif régulateur 2 est le double de la fréquence propre ω_0 du mécanisme résonateur 1.

[0079] 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 (ω_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 œuvre au moins un dispositif régulateur (2) agissant sur ledit mécanisme résonateur (1) avec un mouvement périodique, ledit mouvement périodique imposant une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mécanisme résonateur (1) qui est un résonateur paramétrique, 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 et inférieur ou égal à 10, **caractérisé en ce qu'on fait agir ledit au moins un dispositif régulateur (2) en commandant une variation périodique de la partie réelle de la rigidité d'au moins un dit moyen de rappel élastique (40), ladite partie réelle de la rigidité définissant la fréquence dudit mécanisme résonateur (1).**
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 du module d'élasticité d'au moins un dit moyen de rappel élastique (40).

3. 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 forme d'au moins un dit moyen de rappel élastique (40).
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'on applique** ledit procédé à un dit mécanisme résonateur (1) dont un moyen de rappel élastique (40) comporte 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).
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'on l'applique** à un dit mécanisme résonateur (1) dont un dit moyen de rappel élastique (40) comporte au moins un spiral (4), ledit spiral (4) comporte au moins deux lames conductrices (41 ; 42), dont au moins l'une d'elles constitue ledit composant, et qui sont séparées par des éléments isolants (43), et **en ce qu'on agence** ledit 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).
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **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 dudit mécanisme résonateur (1).
7. 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 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), **caractérisé en ce que** ledit mouvement (10) comporte au moins un dispositif régulateur (2) agencé pour mettre en œuvre le procédé selon une des revendications 1 à 6, et agencé pour agir sur ledit mécanisme résonateur (1) avec un mouvement périodique imposant une modulation périodique de la fréquence de résonance dudit mé-

canisme résonateur (1) qui est un résonateur paramétrique, ledit au moins un dispositif régulateur (2) étant agencé pour commander une variation périodique de la partie réelle 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, **caractérisé 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** :

- ou bien ledit mécanisme résonateur (1) comporte une spire additionnelle (18), constituant ledit composant, et 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), ledit dispositif régulateur (2) étant agencé pour effectuer 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), ou bien pour effectuer de façon périodique un mouvement sur une extrémité (18A) de ladite spire additionnelle (18) opposée audit premier point de jonction (19) ;

- ou bien ledit mécanisme résonateur (1) comporte un bras (20), constituant ledit composant, et qui est fixé à la courbe terminale externe (17) dudit spiral (4) en au moins un deuxième point de jonction (21), et ledit dispositif régulateur (2) est agencé pour effectuer de façon périodique un mouvement sur une extrémité (22) dudit bras (20) opposée audit deuxième point de jonction (21) ;

- ou bien ledit mécanisme résonateur (1) comporte, au voisinage de la courbe terminale externe (17) dudit spiral (4), une autre spire (23) qui constitue ledit composant, et qui est maintenue à une première extrémité par un appui (24) manœuvré 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) ;

- ou bien ledit dispositif régulateur (2) comporte un mobile rotatif (28) équipé d'aimants (29) à sa périphérie et dont le champ coopère périodique-

ment avec au moins un aimant (45), constituant ledit composant, et qui est placé sur la courbe terminale externe (17) dudit spiral (4), pour modifier périodiquement la rigidité dudit spiral (4).

8. Pièce d'horlogerie (30) comportant au moins un mouvement d'horlogerie (10) selon la revendication 7, **caractérisée en ce qu'elle** est une montre.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Aufrechterhalten und Regulieren der Frequenz, um seine Eigenfrequenz (ω_0) herum, eines Uhren-Resonatormechanismus (1), der mindestens ein elastisches Rückstellmittel (40) umfasst, das mindestens eine Spiralfeder (4) oder einen Torsionsdraht (46) oder eine flexible Führung aufweist, wobei mindestens eine Reguliervorrichtung (2) betrieben wird, die auf den Resonatormechanismus (1) mit einer periodischen Bewegung einwirkt, wobei die periodische Bewegung eine periodische Modulation der Resonanzfrequenz des Resonatormechanismus (1), der ein parametrischer Resonator ist, mit einer Regulierungsfrequenz (ω_R) erzwingt, die im Bereich des 0,9-fachen bis 1,1-fachen Wertes eines ganzzahligen Vielfachen der Eigenfrequenz (ω_0) liegt, wobei die ganze Zahl größer oder gleich 2 und kleiner oder gleich 10 ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reguliervorrichtung (2) durch Steuern einer periodischen Veränderung des Realteils der Steifigkeit des mindestens einen elastischen Rückstellmittels (40) zur Wirkung gebracht wird, wobei der Realteil der Steifigkeit die Frequenz des Resonatormechanismus (1) definiert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die periodische Bewegung eine periodische Modulation der Resonanzfrequenz des Resonatormechanismus (1) erzwingt, indem eine Modulation des Elastizitätsmoduls des mindestens einen elastischen Rückstellmittels (40) erzwungen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die periodische Bewegung eine periodische Modulation der Resonanzfrequenz des Resonatormechanismus (1) erzwingt, indem eine Modulation der Form des mindestens einen elastischen Rückstellmittels (40) erzwungen wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren auf einen Resonatormechanismus (1) angewendet wird, von dem ein elastisches Rückstellmittel (40) mindestens einen Torsionsdraht (46) umfasst, und dass mindestens eine Reguliervorrichtung (2) durch Steuern einer periodischen Veränderung der Steifigkeit

des elastischen Rückstellmittels (40) durch periodisches Modulieren der Spannung des Torsionsdrahts (46) zur Wirkung gebracht wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** es auf einen Resonatormechanismus (1) angewendet wird, von dem ein elastisches Rückstellmittel (40) mindestens eine Spiralfeder (4) umfasst, wobei die Spiralfeder (4) mindestens zwei leitende Plättchen (41; 42) aufweist, von denen mindestens eines die Komponente bildet und die durch isolierende Elemente (43) voneinander getrennt sind, und dass die Reguliervorrichtung (2) so angeordnet ist, dass sie an die beiden Plättchen (41; 42) ein elektrisches und/oder magnetisches Feld periodisch anlegt, um den Abstand (E1; E2) zwischen den beiden Plättchen (41; 42) zu verändern. 5 10
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die periodische Bewegung eine periodische Modulation der Resonanzfrequenz des Resonatormechanismus (1) erzwingt, indem sowohl eine Modulation der Steifigkeit eines elastischen Rückstellmittels, das der Resonatormechanismus (1) umfasst, als auch eine Modulation der Trägheit des Resonatormechanismus (1) erzwungen wird. 20 25
7. Uhrwerk (10), umfassend mindestens einen Uhren-Resonatormechanismus (1), der dafür ausgelegt ist, mit einer Eigenfrequenz (ω_0) zu schwingen, wobei der Uhren-Resonatormechanismus (1) mindestens eine Unruh-Spiralfeder-Anordnung (3) umfasst, deren Spiralfeder (4) das elastische Rückstellmittel (40) bildet und zwischen einem Spiralklötzchen (5) an einem ersten, äußeren Ende (6) und einer Spiralrolle (7) an einem zweiten, inneren Ende (8) gehalten wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Werk (10) mindestens eine Reguliervorrichtung (2) umfasst, die dazu vorgesehen ist, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 auszuführen, und dazu vorgesehen ist, auf den Resonatormechanismus (1) mit einer periodischen Bewegung einzuwirken, die eine periodische Modulation der Resonanzfrequenz des Resonatormechanismus (1), der ein parametrischer Resonator ist, erzwingt, wobei die mindestens eine Reguliervorrichtung (2) dazu vorgesehen ist, eine periodische Veränderung des Realteils der Steifigkeit des elastischen Rückstellmittels (40) mit einer Regulierungsfrequenz (ω_R), die im Bereich des 0,9-fachen bis 1,1-fachen Wertes eines ganzzahligen Vielfachen der Eigenfrequenz (ω_0) des Resonators (1) liegt, zu steuern, wobei die ganze Zahl größer oder gleich 2 und kleiner oder gleich 10 ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reguliervorrichtung (2) dazu vorgesehen ist, mindestens eine Komponente des Resonatormechanismus (1) in eine periodische Bewegung zu versetzen, 30 35 40 45 50 55

um auf die Komponente eine Dreh- oder Zug- oder Druckkraft auszuüben und/oder mindestens ein Werkzeug, das die Position einer solchen Komponente des Resonatormechanismus (1) beeinflusst, in eine periodische Bewegung zu versetzen, und dass:

- entweder der Resonatormechanismus (1) eine zusätzliche Windung (18) aufweist, die die Komponente bildet und an der Spiralfeder (4) an mindestens einem ersten Verbindungspunkt (19) befestigt ist und mit der äußeren Endkrümmung (17) der Spiralfeder (4) gebietsweise einen Mitläufer bildet, wobei die Reguliervorrichtung (2) so angeordnet ist, dass sie an der äußeren Endkrümmung (17) und an der zusätzlichen Windung (18) periodisch Torsionen in entgegengesetzten Richtungen bewirkt, indem sie auf das Spiralklötzchen (5) für die äußere Endkrümmung (17) und auf ein dem ersten Verbindungspunkt (19) gegenüberliegendes Ende (18A) der zusätzlichen Windung (18) einwirkt, oder dass sie ein dem ersten Verbindungspunkt (19) gegenüberliegendes Ende (18A) der zusätzlichen Windung (18) periodisch in Bewegung versetzt;
- oder der Resonatormechanismus (1) einen Arm (20) umfasst, der die Komponente bildet und der an der äußeren Endkrümmung (17) der Spiralfeder (4) an mindestens einem zweiten Verbindungspunkt (21) befestigt ist, und die Reguliervorrichtung (2) so angeordnet ist, dass sie ein dem zweiten Verbindungspunkt (21) gegenüberliegendes Ende (22) des Arms (20) periodisch in Bewegung versetzt;
- oder der Resonatormechanismus (1) in der Nähe der äußeren Endkrümmung (17) der Spiralfeder (4) eine weitere Windung (23) aufweist, die die Komponente bildet und die an einem ersten Ende durch einen Festpunkt (24), der durch die Reguliervorrichtung (2) betätigt wird, gehalten wird und an einem zweiten Ende (25) frei ist, das so angeordnet ist, dass es mit der äußeren Endkrümmung (17) unter der Einwirkung der Reguliervorrichtung (2) auf den Festpunkt (24) periodisch in Kontakt gelangt;
- oder die Reguliervorrichtung (2) ein Drehteil (28) umfasst, das an seinem Umfang mit Magneten (29) ausgestattet ist und dessen Feld mit mindestens einem Magneten (45), der die Komponente bildet und der an der äußeren Endkrümmung (17) der Spiralfeder (4) angeordnet ist, periodisch zusammenwirkt, um die Steifigkeit der Spiralfeder (4) periodisch zu verändern.

8. Uhr (30), umfassend mindestens ein Uhrwerk (10) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine tragbare Uhr ist.

Claims

1. A method of maintaining and regulating the frequency of a timepiece resonator mechanism (1) about the natural frequency (ω_0) thereof, the mechanism including at least one elastic return means (40) that includes at least one balance spring (4) or torsion wire (46) or flexible guide member, where at least one regulator device (2) is implemented, acting on said resonator mechanism (1) with a periodic motion, said periodic motion imposing a periodic modulation of the resonant frequency of said resonator mechanism (1), which is a parametric resonator, with a regulation frequency (ω_R) that is comprised between 0.9 times and 1.1 times the value of an integer multiple of said natural frequency (ω_0), said integer being greater than or equal to 2 and less than or equal to 10, **characterized in that** said at least one regulator device (2) is made to act by controlling a periodic variation in the real part of the rigidity of at least one said elastic return means (40), said real part of the rigidity defining the frequency of said resonator mechanism (1).
2. The method according to claim 1, **characterized in that** said periodic motion imposes a periodic modulation of the resonant frequency of said resonator mechanism (1), by imposing a modulation of the modulus of elasticity of at least one said elastic return means (40).
3. The method according to claim 1, **characterized in that** said periodic motion imposes a periodic modulation of the resonant frequency of said resonator mechanism (1), by imposing a modulation of the shape of at least one said elastic return means (40).
4. The method according to one of claims 1 to 3, **characterized in that** said method is applied to a said resonator mechanism (1), an elastic return means (40) whereof includes at least one torsion wire (46), and **in that** at least one said regulator device (2) is made to act by controlling a periodic variation of the rigidity of said elastic return means (40) by periodically modulating the tension of said torsion wire (46).
5. The method according to one of claims 1 to 3, **characterized in that** said method is applied to a said resonator mechanism (1), an elastic return means (40) whereof includes at least one balance spring (4), said balance spring (4) includes at least two conductive strips (41; 42), at least one whereof constitutes said component, and which are separated by isolating elements (43), and **in that** said regulator device (2) is arranged to periodically apply an electrical and/or magnetic field to said two strips (41; 42) so as to modify the distance (E1; E2) between the two said strips (41; 42).
6. The method according to one of claims 1 to 3, **characterized in that** said periodic motion imposes a periodic modulation of the resonant frequency of said resonator mechanism (1) by imposing both a modulation of the rigidity of an elastic return means comprised in said resonator mechanism (1) and a modulation of the inertia of said resonator mechanism (1).
7. A timepiece movement (10) including at least one timepiece resonator mechanism (1) devised to oscillate at a natural frequency (ω_0), said timepiece resonator mechanism (1) including at least one sprung balance assembly (3), the balance spring (4) whereof forms the elastic return means (40) and is held between a balance spring stud (5) at a first outer end (6) and on a collet (7) at a second inner end (8), **characterized in that** said movement (10) comprises at least one regulator device (2) arranged to implement the method according to one of claims 1 to 6, and arranged to act on said resonator mechanism (1) with a periodic motion imposing a periodic modulation of the resonant frequency of said resonator mechanism (1), which is a parametric resonator, said at least one regulator device (2) being arranged to control a periodic variation in the real part of the rigidity of said elastic return means (40) with a regulation frequency (ω_R) that is comprised between 0.9 times and 1.1 times the value of an integer multiple of said natural frequency (ω_0) of said resonator (1), said integer being greater than or equal to 2 and less than or equal to 10, **characterized in that** said regulator device (2) is arranged to impart a periodic motion to at least one component of said resonator mechanism (1) to exert on said component a twisting or traction or compression force, and/or to impart a periodic motion to at least one tool affecting the position of such a component of said resonator mechanism (1), and **in that**:
 - either said resonator mechanism (1) comprises an additional coil (18), forming said component, and fixed to said balance spring (4) at at least a first attachment point (19) and locally lining the outer terminal curve (17) of said balance spring (4), said regulator device (2) being arranged so as to periodically create twists in opposite directions on said outer terminal curve (17) and on said additional coil (18), by acting on said balance spring stud (5) for said outer terminal curve (17), and on one end (18A) of said additional coil (18) opposite said first attachment point (19), or so as to periodically perform a motion on an end (18A) of said additional coil (18) opposite said first attachment point (19);
 - or said resonator mechanism (1) includes an arm (20), forming said component, and which is fixed to the outer terminal curve (17) of said balance spring (4) at at least a second attachment

point (21), and said regulator device (2) is arranged so as to periodically perform a motion on an end (22) of said arm (20) opposite said second attachment point (21);

- or said resonator mechanism (1) includes, in 5
proximity to the outer terminal curve (17) of said
balance spring (4), another coil (23) which forms
said component, and which is held at a first end
by a support (24) operated by said regulator de- 10
vice (2), and which is free at a second end (25)
arranged to periodically come into contact with
said outer terminal curve (17) under the action
of said regulator device (2) on said support (24);
- or said resonator mechanism (1) includes a 15
rotating wheel set (28) provided with magnets
(29) at the periphery thereof and whose field pe-
riodically cooperates with at least one magnet
(45) forming said component, and which is 20
placed on the outer terminal curve (17) of said
balance spring (4), to periodically modify the ri-
gidity of said balance spring (4).

8. A timepiece (30) including at least one timepiece 25
movement (10) according to claim 7, **characterized**
in that the timepiece is a watch.

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

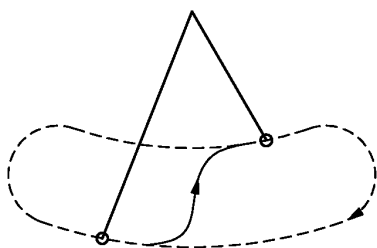


Fig. 2

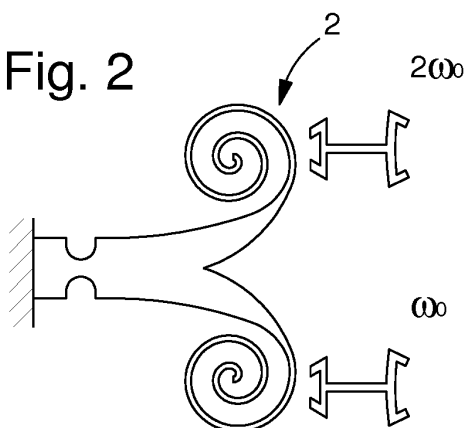


Fig. 3

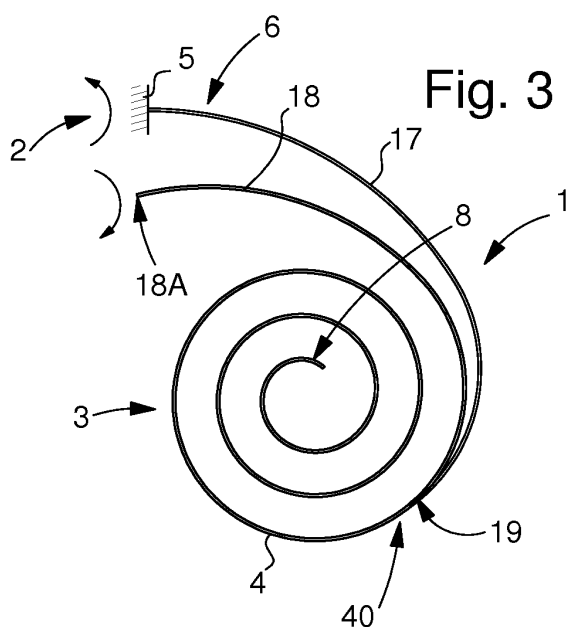


Fig. 4

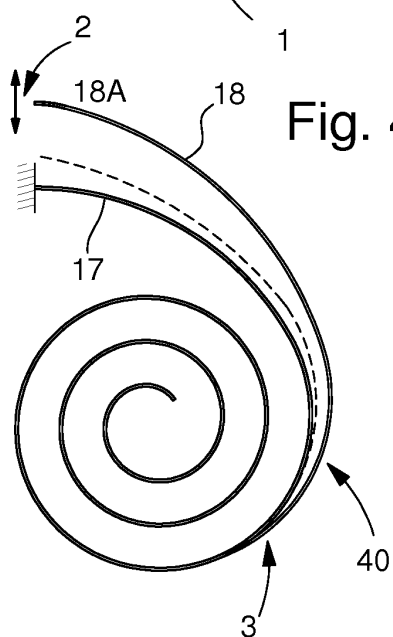


Fig. 5

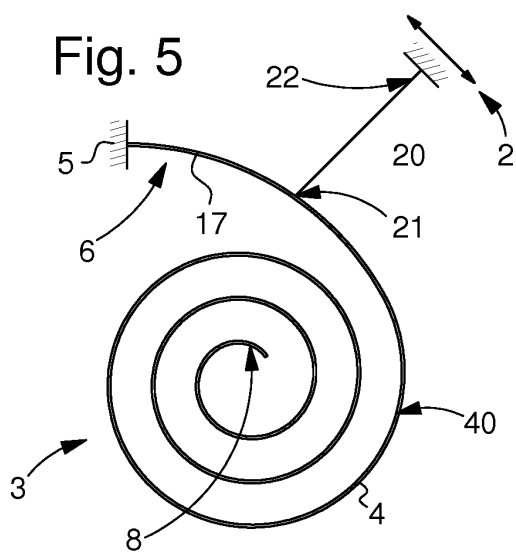


Fig. 6

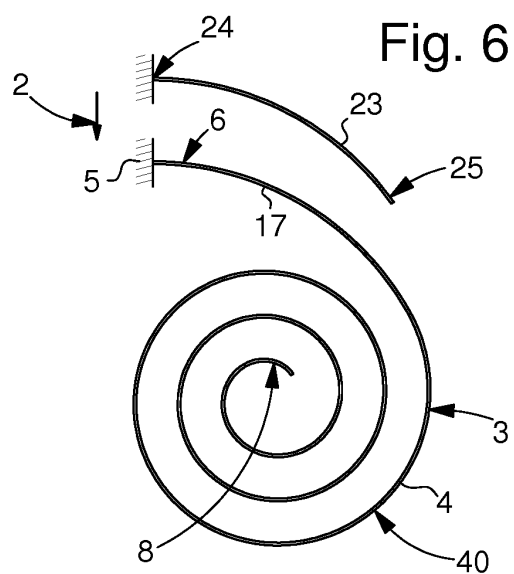


Fig. 7

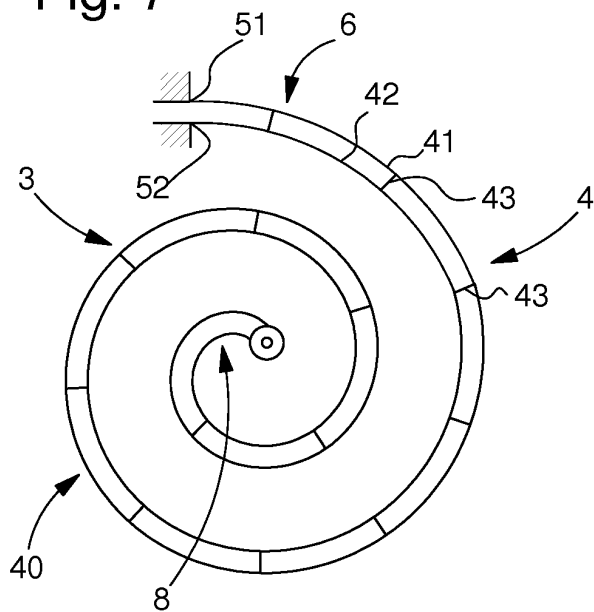


Fig. 7A

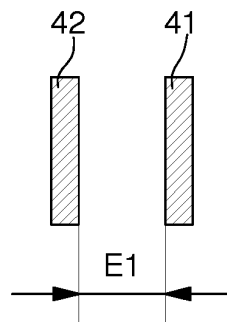


Fig. 7B

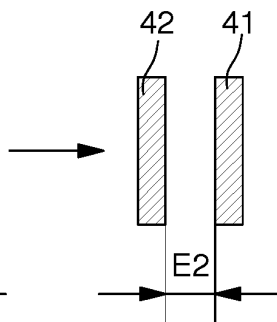


Fig. 8

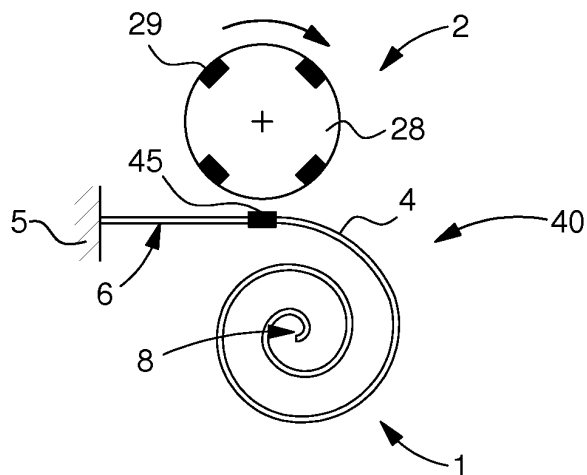


Fig. 9

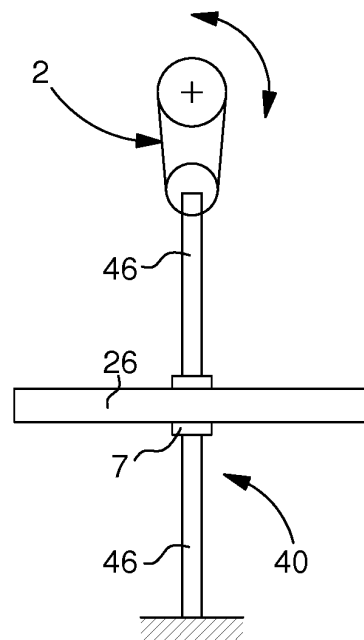
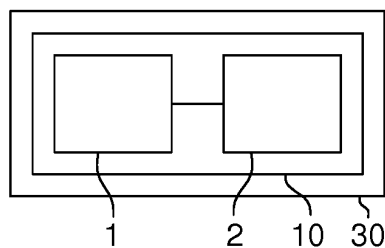


Fig. 10



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 [0023]
- **D. RUGAR ; P. GRUTTER.** Mechanical parametric amplification and thermomechanical noise squeezing. *PRL*, 1991, vol. 67, 699 [0025]
- **A. H. NAYFEH ; D. T. MOOK.** Nonlinear Oscillations. Wiley-Interscience, 1977 [0025]