



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
06.01.2010 Bulletin 2010/01

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

(21) Numéro de dépôt: **08159759.3**

(22) Date de dépôt: **04.07.2008**

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

- **Trümpy, Kaspar**
4500, Soleures (CH)
- **Helfer, Jean-Luc**
2502, Bienne (CH)
- **Conus, Thierry**
2543, Lengnau (CH)

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

(74) Mandataire: **Ravenel, Thierry Gérard Louis et al**
ICB
Ingénieurs Conseils en Brevets SA
Faubourg de l'Hôpital 3
CH-2001 Neuchâtel (CH)

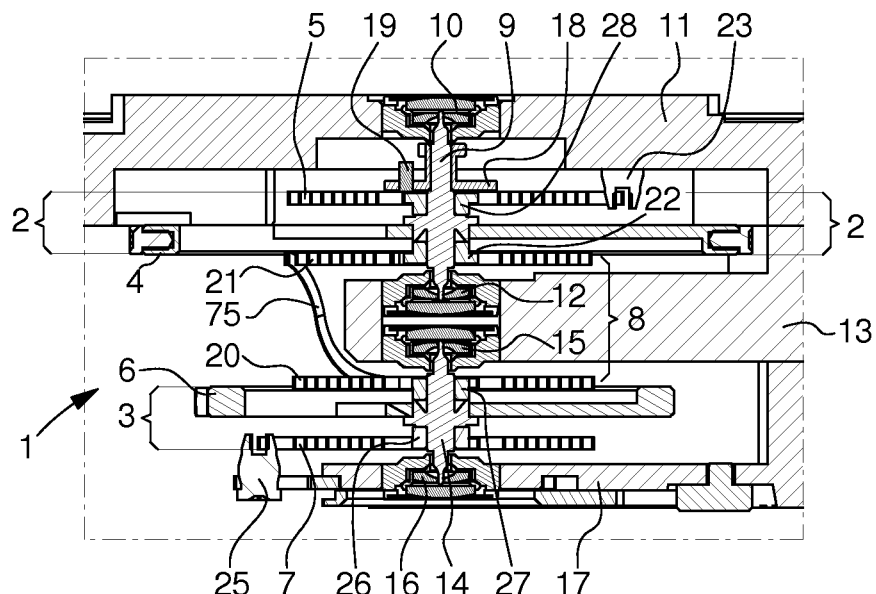
(72) Inventeurs:
• **Hessler, Thierry**
2024, St-Aubin (CH)

(54) **Résonateurs couplés pour pièce d'horlogerie**

(57) Le résonateur (1) pour pièce d'horlogerie résulte du couplage d'un premier résonateur (2) à basse fréquence avec un second résonateur (3) à plus haute fréquence. Le premier résonateur (2) comporte un premier balancier (4) associé à un premier ressort spiral (5). Le

second résonateur (3) comporte un second balancier (6) associé à un deuxième ressort spiral (7). Un troisième ressort spiral est disposé entre les premier (4) et second (6) balanciers pour coupler lesdits premier (2) et second (3) résonateurs.

Fig. 4



Description

[0001] La présente invention est relative à un résonateur pour pièce d'horlogerie résultant du couplage d'un premier résonateur à basse fréquence avec un second résonateur à plus haute fréquence.

[0002] Un résonateur répondant à la définition qui vient d'être donnée a été décrit dans le document EP 1 843 227 A1. Dans cet exposé le premier résonateur à basse fréquence est un balancier-spiral et le second résonateur à haute fréquence est un diapason. Une branche du diapason est directement liée à la spire extérieure du spiral pour former le couplage entre les deux résonateurs. Le but de cette disposition est de stabiliser la fréquence de fonctionnement de la pièce d'horlogerie et de rendre cette fréquence plus indépendante des sollicitations extérieures pour finalement améliorer la précision de marche de cette même pièce. Dans la disposition décrite la fréquence propre du premier résonateur est de quelques hertz, celle du second résonateur étant de l'ordre du kHz. L'idée est donc d'asservir un premier résonateur très sensible aux perturbations extérieures à un second résonateur qui, de par sa fréquence de fonctionnement élevée, est bien moins sensible aux dites perturbations. De cet asservissement va résulter une amélioration des performances du premier résonateur quant à sa résistance aux chocs par exemple, ce premier résonateur coopérant avec un système d'échappement classique.

[0003] La réalisation qui vient d'être décrite fait appel cependant à deux résonateurs très différents l'un de l'autre dont on peut penser que le couplage et l'ajustage vont présenter des difficultés, certes non pas insurmontables, mais tout de même suffisamment grandes eu égard à la faible inertie du résonateur à haute fréquence et donc à sa capacité d'influencer la marche du premier résonateur à basse fréquence.

[0004] Il résulte de ce qui vient d'être décrit que si l'on parvient à régler la marche d'un premier résonateur à basse fréquence utilisant un balancier-spiral au moyen d'un second résonateur à plus haute fréquence utilisant aussi un balancier-spiral, on sera parvenu à stabiliser jusqu'à un certain point la fréquence de fonctionnement de la pièce d'horlogerie et cela en mettant en oeuvre des résonateurs qui n'ont plus de secret pour l'homme du métier.

[0005] On utilise couramment en horlogerie pour le résonateur balancier-spiral, les nombres d'alternances à l'heure de 18000, 21600 et 28800, correspondant à des fréquences d'oscillation de 2,5, 3 et 4Hz. On connaît cependant des montres équipées de résonateurs à balancier-spiral oscillant à des fréquences plus élevées, le but recherché étant de permettre à la montre d'atteindre de meilleures performances chronométriques au porter.

[0006] Comme le montre l'ouvrage « Echappement et Moteurs pas à pas » de Charles Huguenin et al (FET, Neuchâtel 1974, pages 137 à 148) le fait de multiplier la fréquence par deux diminue l'effet d'un défaut d'équilibre sur la marche diurne de quatre fois. Ainsi une augmen-

tation de la fréquence d'oscillation du balancier a le double avantage d'augmenter le pouvoir réglant du résonateur et de rendre moins sensible la marche de la montre aux changements de positions.

[0007] Ces avantages doivent cependant se payer par une augmentation du nombre de dents de la roue d'échappement. En effet, la roue d'échappement classique a généralement 15 dents pour des fréquences du résonateur balancier-spiral de 2,5 à 3Hz. Ce nombre a été longuement admis comme tel, car il tient compte des problèmes de fabrication de la roue d'échappement et d'une répartition judicieuse des rapports et des nombres de dents des roues et des pignons du rouage de finissage de la montre. Avec des fréquences plus élevées du résonateur se situant entre 4 et 10Hz, les rapports d'engrenages deviennent trop grands, mais cet inconvénient disparaît si l'on augmente le nombre de dents de la roue d'échappement. Le nombre de 21 dents est cité pour une fréquence d'oscillation de 5Hz, ce changement amenant cependant une réduction des sécurités telles que repos et chutes qui nécessitent un soin particulier lors du remontage. D'autre part et généralement, il est bien connu que le rendement d'un échappement à ancre suisse diminue fortement au-dessus de 4 ou 5 Hz.

[0008] Ainsi pour bénéficier des avantages que présente un résonateur à haute fréquence on va le coupler avec un résonateur à basse fréquence ce dernier étant commandé par un échappement classique sans augmentation du nombre de dents de la roue d'échappement et avec les sécurités bien connues qui accompagnent ce type d'échappement.

[0009] Cette disposition est représentée dans le schéma-bloc de la figure 1. Dans cette figure, le premier résonateur à basse fréquence 2,41 est constitué par un balancier-spiral entraîné par un échappement et un rouage de finissage 70, ce rouage étant actionné par un barillet 71. Dérivé du rouage 70, on trouve l'affichage de l'heure 72 matérialisé par des aiguilles par exemple. Le second résonateur à plus haute fréquence est représenté par le bloc 3,42. Le couplage entre les deux résonateurs est représenté par le bloc à double flèche 8,46.

[0010] La présente invention présente deux modes de réalisation, le second mode étant un cas particulier du premier mode.

[0011] Le premier mode de réalisation, en plus qu'il satisfait à ce qui est dit au premier paragraphe de cette description, est remarquable en ce que le premier résonateur comporte une première masse d'inertie associée à un premier ressort, en ce que le second résonateur comporte une seconde masse d'inertie associée à un deuxième ressort et en ce qu'un troisième ressort est disposé entre les première et seconde masses d'inertie pour coupler lesdits premier et second résonateurs.

[0012] Le second mode de réalisation, en plus qu'il satisfait à ce qui est dit au premier paragraphe de cette description, est remarquable en ce que le premier résonateur comporte une première masse d'inertie associée à un premier ressort, en ce que le second résonateur

comporte une seconde masse d'inertie associée à un second ressort spiral et en ce que ledit second ressort relie lesdites première et seconde masses d'inertie pour coupler lesdits premier et second résonateurs.

[0013] L'invention va être expliquée maintenant en détail ci-dessous au moyen de dessins illustrant les deux modes de réalisation cités plus haut, ces modes étant donnés à titre d'exemple non limitatif, dessins dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma bloc illustrant le résonateur de l'invention et son implication dans une pièce d'horlogerie,
- la figure 2 est un schéma équivalent montrant comment sont arrangés et couplés les deux résonateurs selon le premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 3 est une vue en plan du premier mode de réalisation d'un résonateur résultant du couplage de résonateurs composés chacun d'un balancier-spiral,
- la figure 4 est une coupe selon la ligne IV-IV de la figure 3,
- les figures 5 et 6 sont des vues en perspective du résonateur montré en plan et en coupe sur les figures 3 et 4.
- la figure 7 est un graphique montrant la fréquence d'oscillation propre de chacun des résonateurs lorsqu'on fait varier le couple du ressort spiral reliant les deux résonateurs,
- la figure 8 est un graphique montrant l'effet stabilisant résultant du couplage des premier et second résonateurs sur des perturbations affectant soit le couple du ressort spiral du premier résonateur, soit la masse d'inertie du balancier dudit premier résonateur lorsqu'on fait varier le couple du ressort spiral reliant les deux résonateurs,
- la figure 9 est un schéma équivalent montrant comment sont arrangés et couplés les deux résonateurs selon le second mode de réalisation de l'invention,
- la figure 10 est une vue en plan du second mode de réalisation d'un résonateur résultant du couplage de résonateurs composés chacun d'un balancier-spiral,
- la figure 11 est une coupe selon la ligne XI-XI de la figure 10,
- les figures 12 et 13 sont des vues en perspective du résonateur montré en plan et en coupe sur les figures 10 et 11,

- la figure 14 est un graphique montrant la fréquence d'oscillation propre de chacun des résonateurs lorsqu'on fait varier le couple du ressort spiral du premier résonateur, et

- la figure 15 est un graphique montrant l'effet stabilisant résultant du couplage des premier et second résonateurs sur des perturbations affectant soit le ressort spiral du premier résonateur, soit la masse d'inertie du balancier dudit premier résonateur lorsqu'on fait varier le couple du ressort spiral de ce même premier résonateur.

Premier mode d'exécution de l'invention

[0014] On peut assimiler le résonateur 1 exécuté selon le premier mode de réalisation de l'invention au schéma équivalent de la figure 2. Ce résonateur 1 résulte du couplage d'un premier résonateur 2 avec un second résonateur 3. Le premier résonateur 2 comporte une première masse d'inertie 4 (illustrée ici par une masse carrée) associée à un premier ressort 5 (illustré ici par un ressort hélicoïdal dont une extrémité est attachée à la masse carrée et dont l'autre extrémité est attachée à une partie fixe 73 de la pièce d'horlogerie, par exemple à la platine). Le second résonateur 3 comporte une seconde masse d'inertie 6 (illustrée ici par une masse carrée) associée à un deuxième ressort 7 (illustré ici par un ressort hélicoïdal dont une extrémité est attachée à la masse carrée et dont l'autre extrémité est attachée à une partie fixe 74 de la pièce d'horlogerie, par exemple à un pont). Un troisième ressort 8 (représenté ici par un ressort hélicoïdal) est disposé entre les première (4) et seconde (6) masses d'inertie pour coupler lesdits premier (2) et second (3) résonateurs.

[0015] Les figures 3 à 6 illustrent une construction pratique du premier mode de réalisation de l'invention. Ici les première et seconde masses d'inertie sont constituées respectivement par des premier et second balanciers 4 et 6, et les premier, deuxième et troisième ressorts sont respectivement des premier, deuxième et troisième ressorts spiraux 5, 7 et 8.

[0016] On s'aperçoit aussi que, selon un mode préféré de l'invention, les premier et second résonateurs 2 et 3 sont disposés coaxialement à l'intérieur de la pièce d'horlogerie entre une platine 11 et un pont 17. L'invention n'est cependant pas limitée à cette disposition, les deux résonateurs pouvant être disposés, par exemple, côte à côte dans la pièce d'horlogerie.

[0017] Plus particulièrement et comme cela apparaît bien sur la figure 4, le premier résonateur 2 comprend essentiellement un premier balancier 4 auquel est associé un premier ressort spiral 5. Ce premier résonateur 2 est monté sur un premier arbre 9 qui pivote à sa première extrémité dans un palier 10 fixé dans une platine 11 et à sa seconde extrémité dans un palier 12 fixé dans un pont intermédiaire 13. Les spires extérieure et intérieure du premier ressort spiral 5 sont fixées respectivement sur

un piton 23 porté par la platine 11 et sur un point d'attache intérieur 28 fixé sur le premier arbre 9.

[0018] Le second résonateur 3 comprend essentiellement un second balancier 6 auquel est associé un second ressort spiral 7. Ce second résonateur 3 est monté sur un second arbre 14 qui pivote à sa première extrémité dans un palier 15 fixé dans le pont intermédiaire 13 et à sa seconde extrémité dans un palier 16 fixé dans un pont 17. Les spires extérieure et intérieure du deuxième ressort spiral 7 sont fixées respectivement sur un piton 25 porté par le pont 17 et sur un point d'attache intérieur 26 fixé sur le second arbre 14.

[0019] L'examen des figures 3 à 6 montre encore que le premier résonateur 2 comprend un balancier 4 présentant un plus grand diamètre que le balancier 6 du résonateur 3, ce qui indique que la fréquence du premier résonateur est plus basse que la fréquence du second résonateur, à condition bien sûr que le couple développé par chacun des ressorts spiraux soit sensiblement le même. Dans ces conditions, on comprendra que le mécanisme d'échappement devra être lié au premier résonateur, celui qu'il s'agit d'asservir au second pour améliorer sa résistance aux perturbations. La figure 4 montre que le premier arbre 9 auquel est attaché le premier résonateur 2 porte un plateau 18 et une cheville de plateau 19, cette dernière coopérant par exemple avec une ancre laquelle coopère à son tour avec une roue d'échappement.

[0020] Reste à décrire le couplage existant entre les résonateurs 2 et 3. Ce couplage est réalisé au moyen d'un troisième ressort spiral 8. Les figures 4 et 5 montrent que ce ressort spiral 8 comporte deux enroulements 20 et 21 disposés en série et montés de part et d'autre du pont intermédiaire 13. Dans cette façon de faire, la spire intérieure du premier enroulement 20 est fixée à un point d'attache intérieur 27 fixé sur le second arbre 14 alors que la spire intérieure du second enroulement 21 est fixée à un point d'attache intérieur 22 fixé sur le premier arbre 9, les spires extérieures desdits enroulements étant reliées l'une à l'autre par un ruban 75.

[0021] L'invention n'est pas limitée à ce qui vient d'être dit. En effet le troisième ressort spiral peut ne comporter qu'un seul enroulement. Dans ce cas, et sans qu'il soit nécessaire de le montrer par un dessin, la spire intérieure de cet enroulement unique est fixée à un point d'attache 27 fixé sur le second arbre 14 tandis que la spire extérieure est fixée à un piton porté par le premier balancier 4.

[0022] On va montrer maintenant de façon sommaire l'avantage qu'il y a de coupler deux résonateurs oscillant l'un à basse fréquence et l'autre à plus haute fréquence dans le but de rendre plus stable le résonateur oscillant à basse fréquence.

[0023] Un résonateur mécanique composé d'une masse et d'un ressort est caractérisé par le poids de sa masse m et la constante de son ressort k qui s'expriment, dans le cas du schéma équivalent de la figure 2 et dans les ordres de grandeur relatives à l'horlogerie, respectivement en milligramme (mg) et en micronewton par mètre

($\mu\text{N/m}$). Dans le cas présent la masse m est un balancier caractérisé par sa masse d'inertie exprimée en milligramme centimètre carré ($\text{mg}\cdot\text{cm}^2$), et la constante k est relative à un ressort spiral qui est caractérisé par son couple unitaire exprimé en micronewtonmètre par radian ($\mu\text{N}\cdot\text{m/rad}$). Ceci étant, la fréquence d'un résonateur s'écrit :

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

[0024] Pour prendre un exemple relevé sur un calibre horloger courant se trouvant dans le commerce, on a $k=1\cdot 10^{-6} \text{ Nm/rad}$ et $m = 16\cdot 10^{-10} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, d'où résulte la fréquence $f=4\text{Hz}$.

[0025] La question centrale est de savoir si la présence du second résonateur à plus haute fréquence stabilise la fréquence du premier résonateur à basse fréquence. Cet effet est pris en compte par le facteur de stabilisation S défini par :

$$S = \frac{\omega_{1p} - \omega_1}{\omega_1} \frac{\Omega_1}{\Omega_{1p} - \Omega_1}$$

relation dans laquelle ω_1 est la pulsation normale du premier résonateur seul, ω_{1p} la pulsation perturbée du premier résonateur seul, Ω_1 la pulsation normale du système couplé et Ω_{1p} la pulsation perturbée du système couplé. On comprendra que si le facteur de stabilisation S est égal à deux, la pièce d'horlogerie est deux fois plus précise avec un système de résonateurs couplés qu'avec le premier résonateur seulement. Par exemple, une pièce d'horlogerie ayant une avance de dix secondes par jour n'en n'aura plus que cinq pour la même période.

[0026] On va prendre maintenant un exemple pratique mettant en oeuvre des premier et second résonateurs ayant les caractéristiques suivantes :

Résonateur 1 : $m_1=21 \text{ mg}\cdot\text{cm}^2$, $k_1=1\mu\text{N}\cdot\text{m/rad}$ d'où $f_1=3,47\text{Hz}$

Résonateur 2 : $m_2=21 \text{ mg}\cdot\text{cm}^2$, $k_2=5\mu\text{N}\cdot\text{m/rad}$ d'où $f_2=7,75\text{Hz}$

ces résonateurs étant couplés par un ressort spiral de constante k_c .

[0027] Si l'on se réfère aux figures 2 et 4, le résonateur 1 à basse fréquence porte la référence 2, m_1 étant le balancier 4, k_1 étant la constante du ressort spiral 5. Le résonateur 2 à plus haute fréquence porte la référence 3, m_2 étant le balancier 6, k_2 étant la constante du ressort spiral 7. On remarquera cependant que dans cet exem-

ple pratique les balanciers sont de mêmes dimensions, ce qui n'est pas le cas des balanciers de la figure 4, le second résonateur ayant une fréquence propre plus élevée de par sa constante de ressort également plus élevée.

[0028] Des calculs analytiques ont permis d'établir les graphiques des figures 7 et 8 sur la base des données pratiques énoncées ci-dessus.

[0029] La figure 7 est un graphique montrant l'évolution des fréquences propres f_1 et f_2 du système de résonateurs couplés en fonction de la constante k_c du ressort spiral qui couple les deux résonateurs.

[0030] La figure 8 est un graphique montrant l'évolution du facteur de stabilisation S en fonction de la constante k_c du ressort spiral 8 qui couple les deux résonateurs.

[0031] La courbe S_m montre l'effet stabilisant qui résulte du couplage des premier et second résonateurs sur des perturbations affectant la masse d'inertie du balancier du premier résonateur à basse fréquence quand on fait varier la constante k_c . Cet effet n'est pas très prononcé, ce qui est relativement peu important, la masse d'inertie du balancier étant peu influencée par des perturbations extérieures.

[0032] La courbe S_k montre l'effet stabilisant qui résulte du couplage des premier et second résonateurs sur des perturbations affectant le couple du ressort spiral du premier résonateur, soit celui entraîné par le système d'échappement. On voit que pour une valeur de k_c de 1 pNm/rad, le facteur de stabilisation n'est pas loin d'atteindre 2, ce qui est positif, car c'est surtout sur le ressort spiral que se portent les perturbations, dues entre autres à la position du ressort, aux chocs et aux variations de température.

Second mode d'exécution de l'invention

[0033] On peut assimiler le résonateur 40 exécuté selon le second mode de réalisation de l'invention au schéma équivalent de la figure 9. Le résonateur 40 résulte du couplage d'un premier résonateur 41 avec un second résonateur 42. Le premier résonateur 41 comporte une première masse d'inertie 43 (illustrée ici par une masse carrée) associée à un premier ressort 44 (illustré ici par un ressort hélicoïdal dont une extrémité est attachée à la masse carrée et dont l'autre extrémité est attachée à une partie fixe 73 de la pièce d'horlogerie, par exemple à la platine). Le second résonateur 42 comporte une seconde masse d'inertie 45 (illustrée ici par une masse carrée) associée à un second ressort 46 (illustré ici par un ressort hélicoïdal dont une extrémité est attachée à la masse carrée 43 et dont l'autre extrémité est attachée à la masse carrée 45). Ce second ressort spiral 46 relie donc les première (43) et seconde (45) masses d'inertie pour coupler lesdits premier (41) et second (42) résonateurs. En fait le ressort 46 joue ici un double rôle : celui de former le second résonateur 42 et celui de coupler les premier et second résonateurs 41 et 42.

[0034] Ce second mode d'exécution peut être considéré comme un cas particulier du premier mode d'exécution. En effet, si dans ce premier mode représenté par la figure 2, on supprime le troisième ressort 7 ainsi que son attache à un point fixe 74, on retrouve le schéma équivalent de la figure 9 qui illustre le second mode d'exécution et qui va être expliqué maintenant en détail en s'aidant des figures 10 à 13.

[0035] Les figures 10 à 13 illustrent une construction pratique du second mode de réalisation de l'invention. Ici, comme cela a été dit à propos du premier mode d'exécution de l'invention, les première et seconde masses d'inertie sont constituées respectivement par des premier et second balanciers 43 et 45, et les premier et second ressorts sont respectivement des premier et second ressorts spiraux 44 et 46.

[0036] On s'aperçoit aussi que le premier balancier 43 présente une cage circulaire à l'intérieur de laquelle est confiné le second résonateur 42 à plus haute fréquence, ladite cage circulaire 43 formant avec le premier ressort spiral 44 le premier résonateur 41 à basse fréquence.

[0037] Comme le montre bien la coupe de la figure 11, la cage circulaire 43 formant le premier balancier est équipée d'une première joue 47 portant un premier tourillon 48 pivotant dans un palier 49 fixé dans une platine 50. Ce premier tourillon 48 porte un plateau 51 et une cheville de plateau 52, cette dernière coopérant par exemple avec une ancre laquelle coopère à son tour avec une roue d'échappement. La cage circulaire 43 est équipée encore d'une seconde joue 53 portant un second tourillon 54 pivotant dans un palier 55 fixé dans un pont 56. Le pont 56 est équipé d'un piton 57 auquel est fixé la spire extérieure du premier ressort spiral 44, la spire intérieure dudit premier ressort spiral 44 étant fixée à un point d'attache intérieur 58 fixé sur le second tourillon 54. La cage circulaire ou balancier 43 et le ressort spiral 44 forment le premier résonateur 41 à basse fréquence, celui dont il s'agit d'améliorer les performances.

[0038] La figure 11 montre encore que les second balancier 45 et ressort spiral 46 constituant le second résonateur 42 - et qui est confiné dans la cage 43 - sont supportés par un arbre 59 pivotant à sa première extrémité dans un palier 60 fixé dans la première joue 47 de la cage 43 et à sa seconde extrémité dans un palier 61 fixé dans la seconde joue 53 de la cage. De plus, les spires extérieure et intérieure du second ressort spiral 46 sont fixées respectivement à un piton 62 porté par la seconde joue 53 de la cage 43 et à un point d'attache intérieur 63 fixé sur l'arbre 59.

[0039] L'examen des figures 10 à 12 montre que le premier résonateur 41 comprend un balancier ou cage 43 présentant un plus grand diamètre que le balancier 45 du second résonateur 42, ce qui indique que la fréquence du premier résonateur est plus basse que la fréquence du second résonateur, le couple développé par chacun des ressorts spiraux étant égal par ailleurs. On comprendra donc que le mécanisme d'échappement sera lié au premier résonateur, celui qu'il s'agit d'asservir

au second pour améliorer sa résistance aux perturbations.

[0040] On a montré, lors des propos tenus au sujet du premier mode d'exécution, l'avantage qu'il y avait de coupler deux résonateurs oscillant l'un à basse fréquence et l'autre à plus haute fréquence dans le but d'améliorer les performances du résonateur oscillant à basse fréquence. On ne reviendra donc pas ici sur la théorie développée qui s'applique également au second mode de réalisation qu'on vient de décrire.

On va prendre cependant un exemple pratique, soit :

résonateur 1 : $m_1 = 20 \text{ mg} \cdot \text{cm}^2$, $k_1 = \text{variable}$

résonateur 2 : $m_2 = 6,4 \text{ mg} \cdot \text{cm}^2$, $k_c = 0,4 \mu\text{N} \cdot \text{m/rad}$, $k_2 = 0$

[0041] Si l'on se réfère aux figures 9 et 11, le résonateur 1 à basse fréquence porte la référence 41, m_1 étant le balancier ou la cage 43, k_1 étant la constante du ressort spiral 44 et le résonateur 2 à plus haute fréquence porte la référence 42, m_2 étant le balancier 45, k_c étant la constante du ressort spiral 46, k_c étant aussi le ressort spiral qui couple les deux résonateurs.

[0042] Sur la base des données pratiques énoncées ci-dessus, des calculs analytiques ont permis d'établir les graphiques des figures 14 et 15. La variable choisie n'est plus k_c comme dans le premier mode d'exécution mais k_1 qui a paru être le paramètre le plus déterminant.

[0043] La figure 14 est un graphique montrant l'évolution des fréquences propres f_1 et f_2 du système de résonateurs couplés en fonction de la constante k_1 du ressort spiral 44 composant le premier résonateur 41.

[0044] La figure 15 est un graphique montrant l'évolution du facteur de stabilisation - qui a été défini plus haut à propos du premier mode de réalisation - en fonction de la constante k_1 du ressort spiral 44 affectant le premier résonateur 41.

[0045] La courbe S_m montre l'effet stabilisant qui résulte du couplage des premier et second résonateurs 41 et 42 sur des perturbations affectant la masse d'inertie du balancier du premier résonateur à basse fréquence 41 quand on fait varier la constante k_1 du ressort spiral 44. Cet effet est beaucoup plus prononcé que celui observé à propos du premier mode de réalisation.

[0046] La courbe S_k montre l'effet stabilisant qui résulte du couplage des premier et second résonateurs 41 et 42 sur des perturbations affectant le couple du ressort spiral 44 du premier résonateur 41. On voit que pour une valeur de k_1 de $2 \mu\text{N} \cdot \text{m/rad}$, le facteur de stabilisation S est de l'ordre de 2,5.

Conclusions

[0047] Les deux modes d'exécution présentés ont montré que les performances d'un premier résonateur à balancier-spiral à basse fréquence, cette dernière étant de l'ordre de 2 à 6 Hz, peuvent être améliorées si on le

couple à un second résonateur à balancier-spiral à plus haute fréquence, cette dernière étant de l'ordre de 10 Hz. Le premier résonateur à basse fréquence est plus sensible à certaines perturbations dues par exemple au porter, ou aux chocs que le second résonateur à plus haute fréquence. On peut imaginer compenser la variation thermique et/ou le défaut d'isochronisme du premier résonateur par ceux du second. Par ailleurs le premier résonateur coopère aisément avec un système d'échappement usuel alors que ce n'est pas le cas du second résonateur. Il est donc logique de coupler les deux résonateurs en question pour bénéficier à la fois de la bonne adaptation du premier au système d'échappement et de la bonne insensibilisation du second aux perturbations citées ci-dessus.

Revendications

1. Résonateur (1) pour pièce d'horlogerie résultant du couplage d'un premier résonateur (2) à basse fréquence avec un second résonateur (3) à plus haute fréquence, **caractérisé en ce que** le premier résonateur (2) comporte une première masse d'inertie (4) associée à un premier ressort (5), **en ce que** le second résonateur (3) comporte une seconde masse d'inertie (6) associée à un deuxième ressort (7) et **en ce qu'un** troisième ressort (8) est disposé entre les première (4) et seconde (6) masses d'inertie pour coupler lesdits premier (2) et second (3) résonateurs.
2. Résonateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les première et seconde masses d'inertie sont constituées respectivement par des premier (4) et second (6) balanciers et **en ce que** les premier, deuxième et troisième ressorts sont respectivement des premier (5), deuxième (7) et troisième (8) ressorts spiraux.
3. Résonateur selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** les premier (2) et second (3) résonateurs sont disposés coaxialement à l'intérieur de la pièce d'horlogerie.
4. Résonateur selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** le premier résonateur (2) est monté sur un premier arbre (9) pivotant à sa première extrémité dans un palier (10) fixé dans une platine (11) et à sa seconde extrémité dans un palier (12) fixé dans un pont intermédiaire (13), les spires extérieure et intérieure du premier ressort spiral (5) dudit premier résonateur (2) étant fixées respectivement sur un piton (23) porté par la platine (11) et sur un point d'attache intérieur (28) fixé sur ledit premier arbre (9) et **en ce que** le second résonateur (3) est monté sur un second arbre (14) pivotant à sa première extrémité dans un palier (15) fixé dans ledit pont intermédiaire (13) et à sa seconde extrémité dans un palier (16)

- fixé dans un pont (17), les spires extérieure et intérieure du deuxième ressort spiral (7) dudit second résonateur (3) étant fixées respectivement sur un piton (25) porté par le pont (17) et sur un point d'attache intérieur (26) fixé sur ledit second arbre (14). 5
5. Résonateur selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** le premier arbre (9) porte un plateau (8) et une cheville (19) de plateau, cette dernière coopérant avec un mécanisme d'échappement. 10
6. Résonateur selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** le troisième ressort spiral (8) comporte deux enroulements (20, 21) disposés en série et montés de part et d'autre du pont intermédiaire (13), la spire intérieure du premier enroulement (20) étant fixée à un point d'attache intérieur (27) fixé sur le second arbre (14) et la spire intérieure du second enroulement (21) étant fixée à un point d'attache intérieur (22) fixé sur le premier arbre (9). 15 20
7. Résonateur (40) pour pièce d'horlogerie résultant du couplage d'un premier résonateur (41) à basse fréquence avec un second résonateur (42) à plus haute fréquence, **caractérisé en ce que** le premier résonateur (41) comporte une première masse d'inertie (43) associée à un premier ressort (44), **en ce que** le second résonateur (42) comporte une seconde masse d'inertie (45) associée à un second ressort (46) et **en ce que** ledit second ressort relie lesdites première et seconde masses d'inertie pour coupler lesdits premier (41) et second (42) résonateurs. 25 30
8. Résonateur selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** les première et seconde masses d'inertie sont constituées respectivement par des premier (43) et second (45) balanciers et **en ce que** les premier et second ressorts sont respectivement des premier (44) et second (46) ressorts spiraux. 35 40
9. Résonateur selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le premier balancier (43) présente une cage circulaire (43) à l'intérieur de laquelle est confiné le second résonateur (42) à plus haute fréquence, ladite cage circulaire (43) formant avec le premier ressort spiral (44) le premier résonateur (41) à basse fréquence. 45
10. Résonateur selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** la cage circulaire (43) est équipée d'une première joue (47) portant un premier tourillon (48) pivotant dans un palier (49) fixé dans une platine (50), ce premier tourillon (48) portant un plateau (51) et une cheville (52) de plateau pour coopérer avec un mécanisme d'échappement, et **en ce que** cette cage circulaire (43) est équipée d'une seconde joue (53) portant un second tourillon (54) pivotant dans un palier (55) fixé dans un pont (56), ce dernier étant équi-

pé d'un piton (57) auquel est fixée la spire extérieure du premier ressort spiral (44), la spire intérieure dudit premier ressort spiral étant fixée à un point d'attache intérieur (58) fixé sur le second tourillon (54), et **en ce que** les seconds balancier (45) et ressort spiral (46) constituant le second résonateur (42) sont supportés par un arbre (59) pivotant à sa première extrémité dans un palier (60) fixé dans la première joue (47) de la cage (43) et à sa seconde extrémité dans un palier (61) fixé dans la seconde joue (53) de la cage (43), les spires extérieure et intérieure du second ressort spiral (46) étant fixées respectivement à un piton (62) porté par la seconde joue (53) de la cage (43) et à un point d'attache intérieur (63) fixé sur l'arbre (59).

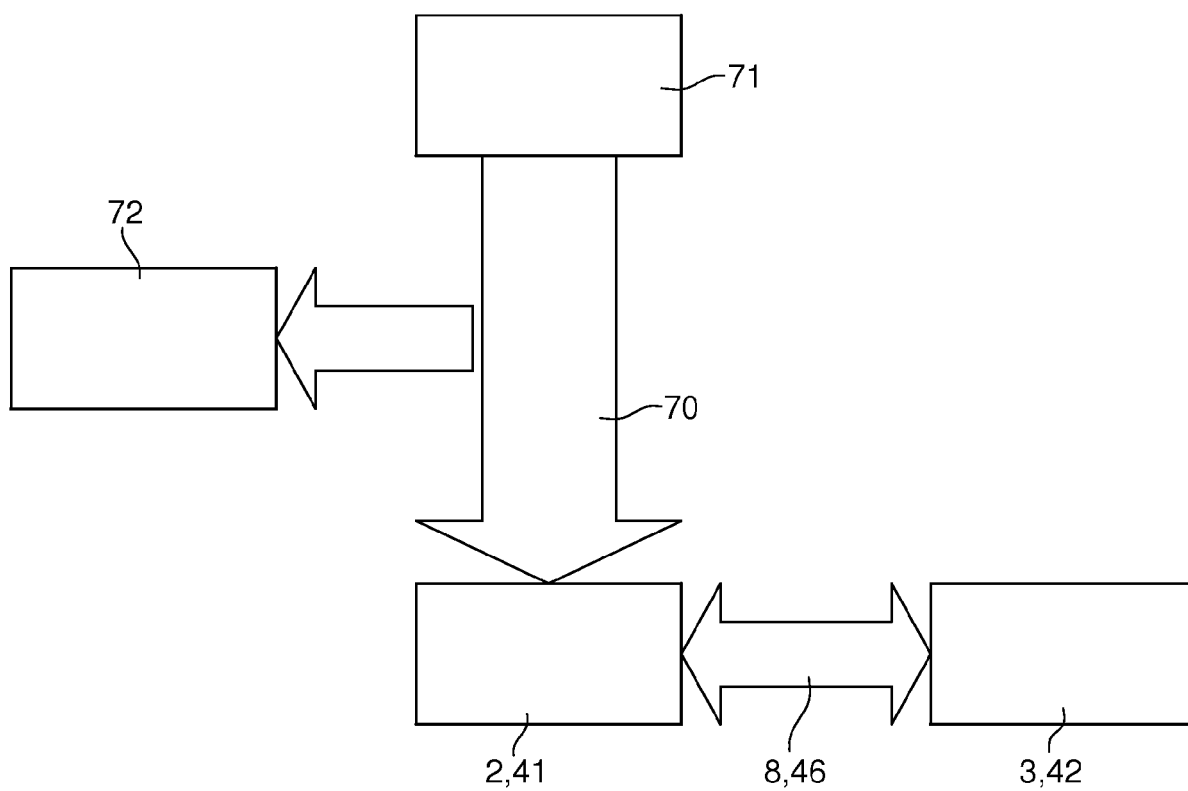


Fig. 1

Fig. 2

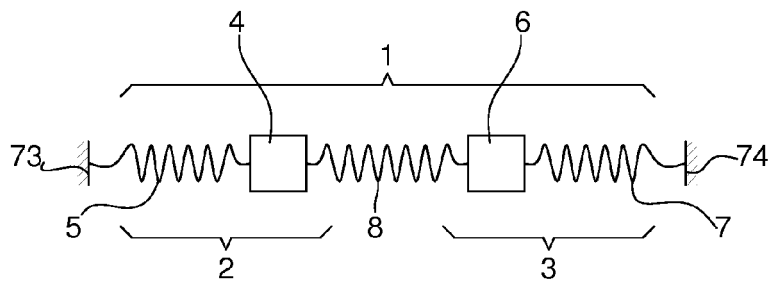


Fig. 3

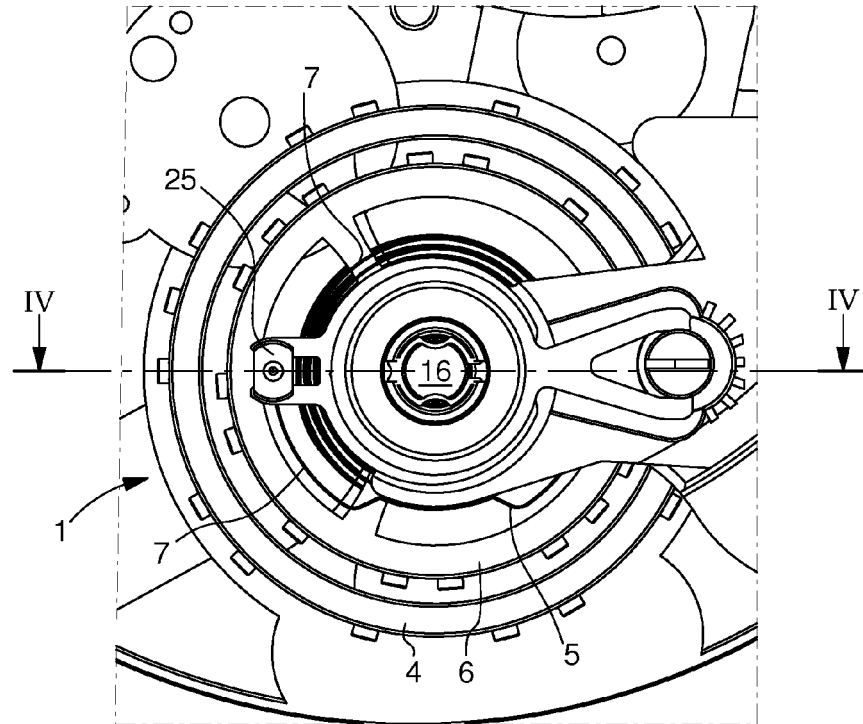
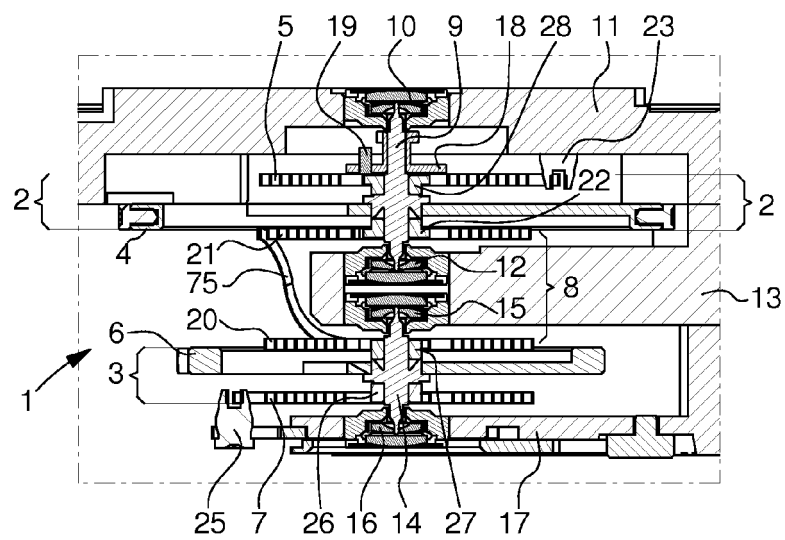


Fig. 4



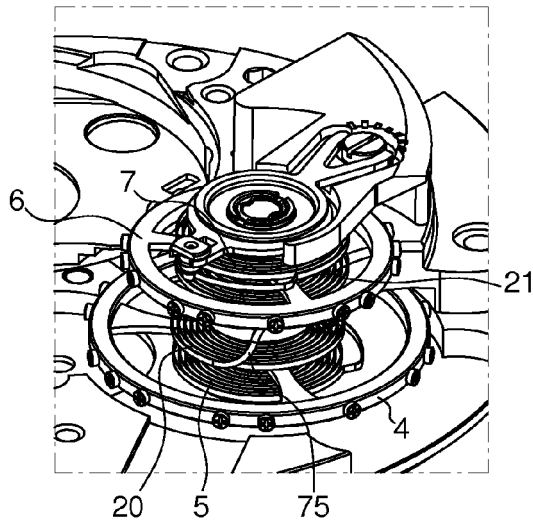


Fig. 5

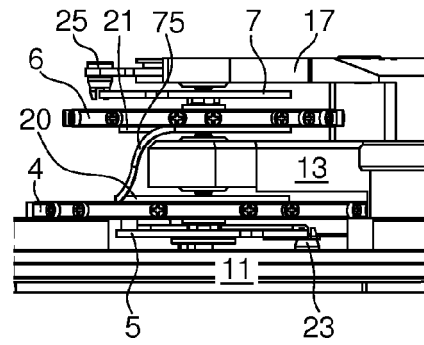


Fig. 6

Fig. 7

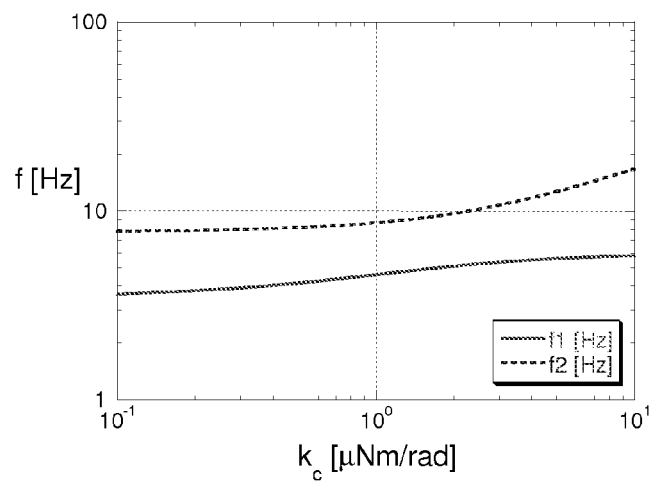


Fig. 8

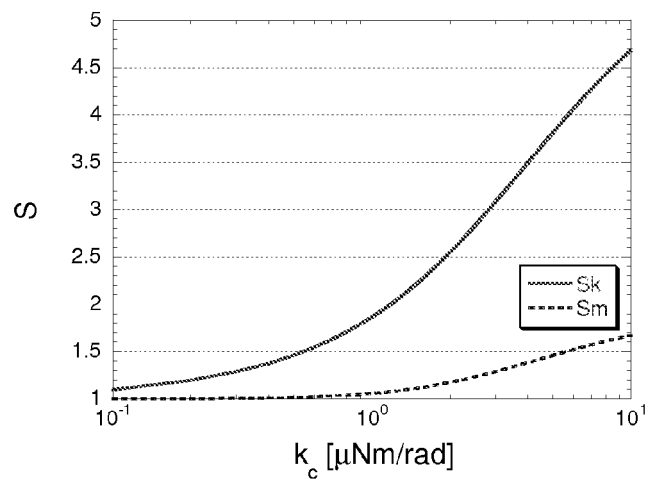


Fig. 9

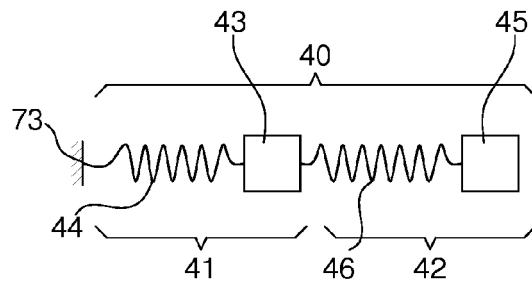


Fig. 10

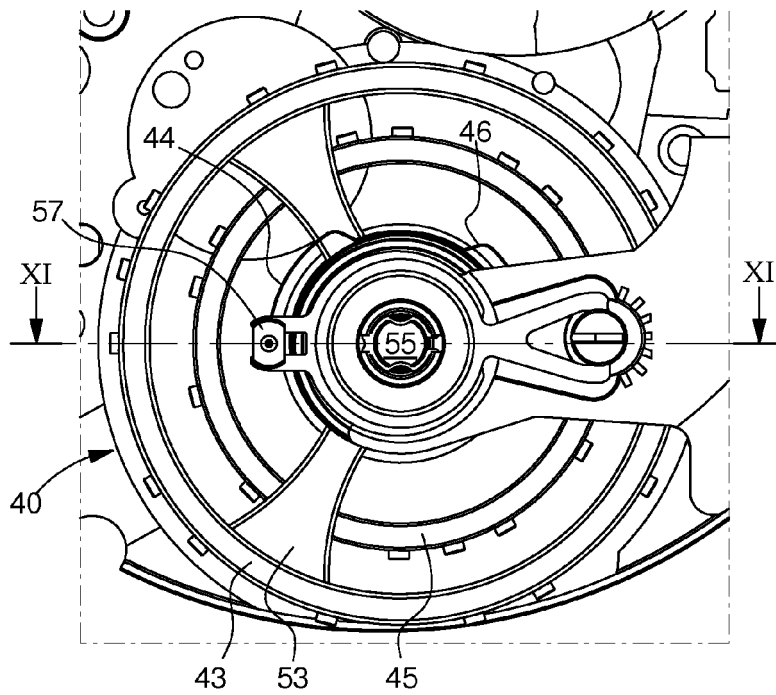
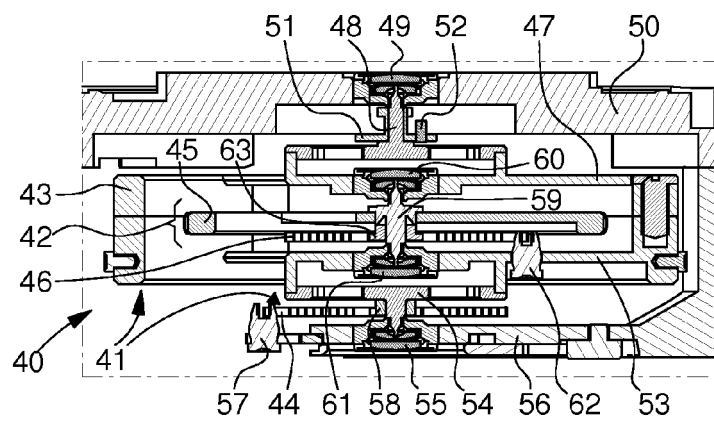


Fig. 11



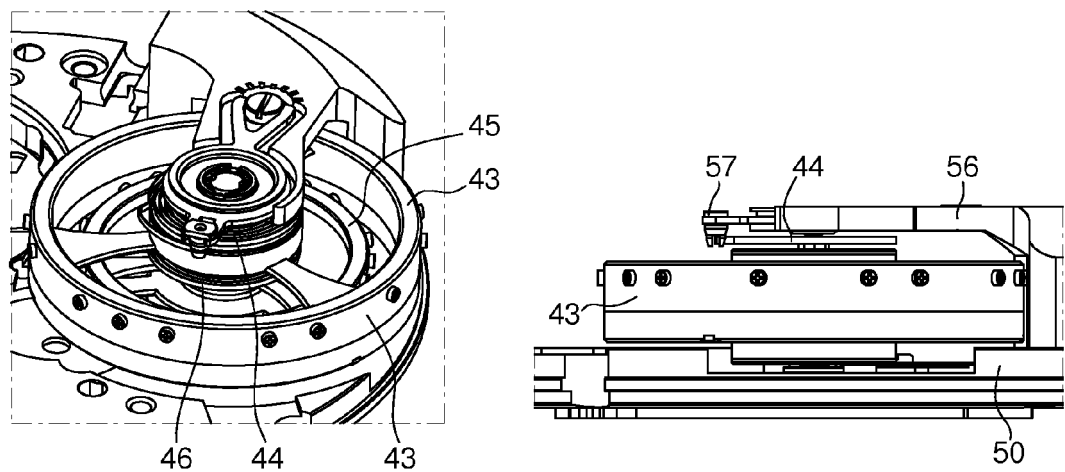


Fig. 12

Fig. 13

Fig. 14

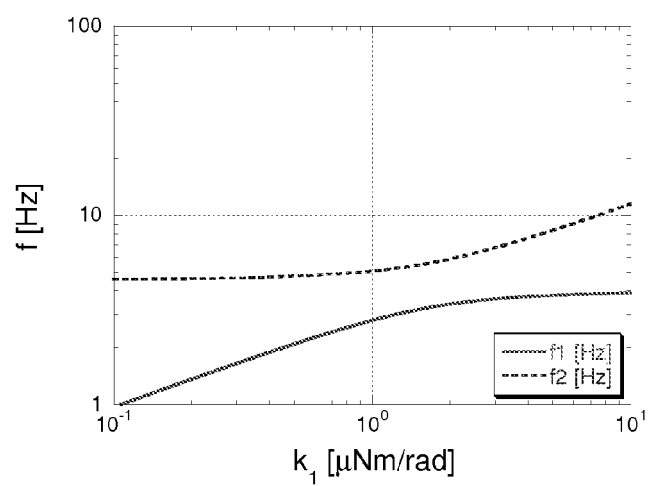
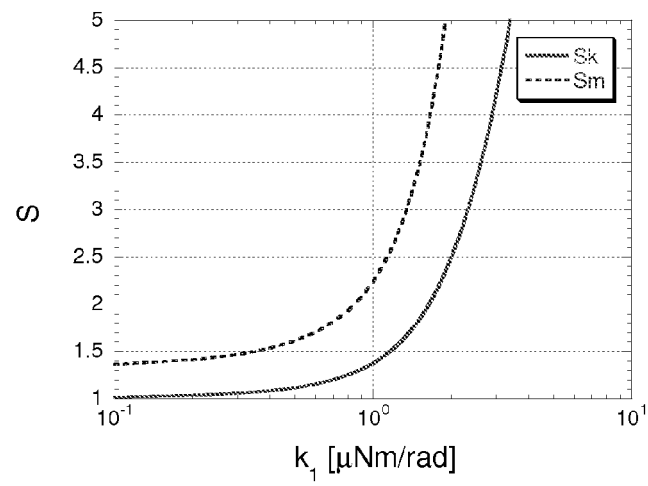


Fig. 15





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 08 15 9759

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	FR 563 314 A (HEINRICH SCHIEFERSTEIN) 3 décembre 1923 (1923-12-03)	1	INV.
Y	* page 4, ligne 23 - ligne 47; revendication 4 *	7-10	G04B17/06
A	* page 5, ligne 51 - ligne 62 *	2-6	G04B17/20
Y	CH 276 465 A (BUEHLER HEINRICH [CH]) 15 juillet 1951 (1951-07-15)	7-10	
A	* le document en entier *	1-6	
A	FR 2 021 817 A (KIENZLE UHRENFABRIKEN GMBH) 24 juillet 1970 (1970-07-24) * page 2, ligne 17 - ligne 27; figure 2 *	1-10	
D,A	EP 1 843 227 A (SWATCH GROUP RES AND DEV LTD [CH]) 10 octobre 2007 (2007-10-10) * abrégé *	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B G04C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 12 février 2009	Examineur Guidet, Johanna
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

2
EPO FORM 1503 03.92 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 08 15 9759

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

12-02-2009

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 563314	A	03-12-1923	AUCUN	
CH 276465	A	15-07-1951	AUCUN	
FR 2021817	A	24-07-1970	DE 1805777 A1	21-05-1970
			US 3600973 A	24-08-1971
EP 1843227	A	10-10-2007	EP 2008160 A1	31-12-2008
			WO 2007115985 A1	18-10-2007

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

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 [0002]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **Charles Huguenin et al.** Echappement et Moteurs pas à pas. *FET*, 1974, 137-148 [0006]