(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 405 313 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
16.08.2017 Bulletin 2017/33

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

(21) Numéro de dépôt: **11169540.9**

(22) Date de dépôt: **10.06.2011**

(54) **Spiral à centre de masse immobile**

Spiralfeder mit unbeweglichem Massenzentrum

Spiral with immobile mass centre

(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

(30) Priorité: **09.07.2010 EP 10169068**

(43) Date de publication de la demande:
11.01.2012 Bulletin 2012/02

(73) Titulaire: **Montres Breguet SA**
1344 L'Abbaye (CH)

(72) Inventeurs:
- **Helfer, Jean-Luc**
  2502 Bienne (CH)
- **Trümpy, Kaspar**
  4500 Soleure (CH)

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

(56) Documents cités:
EP-A1- 2 104 006 **EP-A1- 2 105 807**

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).

EP 2 405 313 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Description

Domaine de l'invention

[0001] L'invention se rapporte à un spiral utilisé pour former un résonateur balancier - spiral dont la courbure autorise un développement à centre de masse sensiblement immobile.

Arrière plan de l'invention

[0002] Les documents EP 2 184 652, EP 2 196 867 et EP 2 105 807 expliquent comment fabriquer des spiraux à élévation de courbe en matériaux micro-usinables respectivement à l'aide de trois parties, de deux parties ou de manière monobloc. Le document EP 2 104 006 présente une variante d'un double spiral monobloc.
[0003] Il est connu d'appliquer les critères de Phillips pour déterminer la courbure théorique d'une courbe terminale. Cependant, les critères de Phillips sont en fait une approximation qui ne donne pas forcément satisfaction si un écart de marche encore plus réduit est souhaité.

Résumé de l'invention

[0004] Le but de la présente invention est de pallier tout ou partie les inconvénients cités précédemment en proposant un spiral respectant des conditions prédéterminées apte à réduire le déplacement du centre de masse du spiral en contraction et en expansion.
A cet effet, l'invention se rapporte à un spiral double comportant un premier ressort-spiral dont la courbe s'étend dans un premier plan, un deuxième ressort-spiral dont la courbe s'étend dans un deuxième plan parallèle au premier plan, une attache solidarisant une extrémité de la courbe du premier ressort-spiral à une extrémité de la courbe du deuxième ressort-spiral afin de former un spiral double en série la courbe du premier ressort-spiral et la courbe du deuxième ressort-spiral comportant chacune un pas continûment variable et, ledits premier et deuxième ressort-spiraux étant symétriques par rapport à une droite parallèle aux premier et deuxième plans passant par le plan médian de projection de l'attache, chaque courbe tendant à ce que la relation suivante soit sensiblement nulle :

$$\vec{P}^{(n)} = \frac{n+1}{L^{n+1}} \int_0^L ds \cdot s^n \cdot \vec{x}(s)$$

où:

- $\vec{P}^{(n)}$ est le moment du spiral d'ordre n ;
- L est la longueur du spiral ;
- s'' représente l'abscisse curviligne le long du spiral à la puissance d'ordre n ;
- $x(s)$ est la paramétrisation du spiral par son abscisse curviligne

et en ce chaque courbe respecte les relations :

$$P_x^{(0)} = 0 \text{ et } P_y^{(1)} = 2P_y^{(0)}$$

afin de réduire les déplacements de son centre de masse lors de ses contraction et expansion.
[0005] Conformément à d'autres caractéristiques avantageuses de l'invention :

- chaque courbe respecte en plus la relation suivante :

$$P_x^{(2)} = 3P_x^{(1)} \ ;$$

- et, éventuellement :

$$P_y^{(3)} = 4P_y^{(2)} - 8P_y^{(0)} \quad ;$$

- et, éventuellement :

$$P_x^{(4)} = 5P_x^{(3)} - 20P_x^{(1)} \quad ;$$

- et, éventuellement :

$$P_y^{(5)} = 6P_y^{(4)} - 40P_y^{(2)} + 96P_y^{(0)} \quad ;$$

- et, éventuellement :

$$P_x^{(6)} = 7P_x^{(5)} - 70P_x^{(3)} + 336P_x^{(1)} \quad .$$

- chaque ressort-spiral comporte au moins un contrepoids afin de compenser le balourd formé par la masse de l'attache ;
- le spiral est formé à partir de silicium ;
- le spiral comporte au moins une partie recouverte de dioxyde de silicium afin de limiter sa sensibilité aux variations de température et aux chocs mécaniques.

[0006] De plus, l'invention se rapporte à un résonateur pour une pièce d'horlogerie comportant une inertie comme, par exemple, un balancier caractérisé en ce que l'inertie coopère avec un spiral conforme à l'une des variantes précédentes.

Description sommaire des dessins

[0007] D'autres particularités et avantages ressortiront clairement de la description qui en est faite ci-après, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- les figures 1 et 2 sont des schémas destinés à expliquer les raisonnements suivis ;
- les figures 3 à 5 sont des exemples de calcul de courbures à 2,3 spires respectant respectivement les équations des moments jusqu'à l'ordre 2, 3 et 4 ;
- les figures 6 à 8 sont des exemples de calcul de courbures à 5,3 spires respectant respectivement les équations des moments jusqu'à l'ordre 2, 3 et 4 ;
- les figures 9 et 10 sont des représentations d'un spiral selon l'invention ;
- la figure 11 est une représentation en coupe brisée selon l'axe B-B ;
- la figure 12 est une courbe de simulation de l'anisochronisme du spiral selon les figures 9 et 10 ;
- la figure 13 est une courbe de simulation de l'anisochronisme d'un spiral dont la masse de l'attache n'est pas négligeable ;
- les figures 14 et 15 sont des représentations d'un spiral selon l'invention compensant la masse de l'attache ;
- la figure 16 est une courbe de simulation de l'anisochronisme du spiral selon les figures 14 et 15.

Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0008] Les variations de marche d'une montre mécanique relativement à sa fréquence théorique sont principalement dues à l'échappement et au résonateur balancier - spiral. On distingue deux types de variations de marche suivant qu'elles soient engendrées par l'amplitude d'oscillation du balancier ou par la position du mouvement horloger. C'est pourquoi, pour les tests d'anisochronisme, un mouvement horloger est testé selon six positions, 2 horizontales (cadran vers le haut et vers le bas) et 4 verticales (tige étant tournée de 90° à partir d'une position vers le haut). Des six courbes distinctes obtenues, on détermine l'écart maximal entre ces dernières, également appelé « ventre », exprimant la variation de marche maximale du mouvement en secondes par jour ($s.j^{-1}$).

[0009] L'échappement induit une variation de marche en fonction de l'amplitude du balancier qui est difficile à régler. Par conséquent, le spiral est en général adapté afin que sa variation en fonction de la même amplitude soit sensiblement

opposée à celle de l'échappement. De plus, le spiral est adapté afin que sa variation soit minimale entre les quatre positions verticales.

[0010] Les adaptations nécessaires des spiraux ont tenté d'être posées mathématiquement afin de déterminer par calcul les courbures idéales. Des conditions géométriques ont été énoncées notamment par MM. Phillips et Grossmann afin de construire un spiral satisfaisant, c'est-à-dire dont le centre de masse du spiral reste sur l'axe du balancier. Toutefois, les conditions actuelles sont des approximations grossières. De fait, comme de très faibles déplacements du centre de masse peuvent engendrer de grandes variations de marche, les variations de marche obtenues en suivant les conditions géométriques actuelles sont souvent décevantes.

[0011] C'est pourquoi, avantageusement selon l'invention, de nouvelles conditions sont présentées ci-après afin d'obtenir de meilleurs résultats de variation de marche que par des conditions géométriques actuelles, notamment celles édictées par MM. Phillips et Grossmann.

[0012] On définit un « moment du spiral d'ordre n », $\vec{P}^{(n)}$, par la formule suivante :

$$\vec{P}^{(n)} = \frac{n+1}{L^{n+1}} \int_0^L ds \cdot s^n \cdot \vec{x}(s) \qquad (1)$$

où :

- L est la longueur du spiral ;
- s^n représente l'abscisse curviligne le long du spiral à la puissance d'ordre n ;
- $\vec{x}(s)$ est la paramétrisation du spiral par son abscisse curviligne.

[0013] Ainsi, dans le but d'obtenir un centre de masse immobile, il est nécessaire, pour chaque ordre n, que le moment du spiral $\vec{P}^{(n)}$ soit nul. Tous les ordres ne pouvant pas être calculés puisqu'en nombre infini, plus un nombre important d'ordres dont la relation (1) nulle est respectée, plus la quantité de déplacement du centre de masse sera diminuée.

[0014] Dans l'exemple illustré à la figure 1, huit ordres de moment du spiral sont représentés par des points qui permettent, par une paramétrisation à l'aide d'un polynôme comportant au moins autant de coefficients que d'ordres (dans notre cas au moins huit), de définir une courbure théorique « idéale ».

[0015] Dans le but d'appliquer ces conditions du moment du spiral nul, on part d'un spiral du type des figures 9 et 10, c'est-à-dire, un spiral 1 comportant un premier ressort-spiral 3 dont la courbe s'étend dans un premier plan, un deuxième ressort-spiral 5 dont la courbe s'étend dans un deuxième plan parallèle au premier plan. Chaque extrémité de ressort-spiral 3, 5 étant solidarisée par une attache 4 afin de former un spiral double en série.

[0016] Comme expliqué ci-dessus, la fabrication d'un tel spiral est possible par les procédés expliqués dans les documents EP 2 184 652, EP 2 196 867 et EP 2 105 807 à partir de matériaux micro-usinables tels que le silicium respectivement à l'aide de trois parties, de deux parties ou de manière monobloc. Bien évidemment, un tel spiral peut être fabriqué à partir d'autres procédés et/ou d'autres matériaux.

[0017] Afin de simplifier les calculs, la courbe du premier ressort-spiral 3 et la courbe du deuxième ressort-spiral 5 comportent, de manière préférée, chacune un pas continûment variable et sont symétriques par rapport à une droite A parallèle aux premier et deuxième plans passant par les centres du plan médian P de projection de l'attache 4 et de l'axe du balancier.

[0018] Par conséquent, à titre d'exemple, pour chaque ressort-spiral 3, 5, les sept premiers ordres doivent respecter les relations suivantes :

$$P_x^{(0)} = 0 \qquad (2)$$

$$P_y^{(1)} = 2P_y^{(0)} \qquad (3)$$

$$P_x^{(2)} = 3P_x^{(1)} \qquad (4)$$

$$P_y^{(3)} = 4P_y^{(2)} - 8P_y^{(0)} \qquad (5)$$

$$P_x^{(4)} = 5P_x^{(3)} - 20P_x^{(1)} \quad (6)$$

$$P_y^{(5)} = 6P_y^{(4)} - 40P_y^{(2)} + 96P_y^{(0)} \quad (7)$$

$$P_x^{(6)} = 7P_x^{(5)} - 70P_x^{(3)} + 336P_x^{(1)} \quad (8)$$

[0019] Comme expliqué ci-dessus, plus le nombre de relations (2)-(8) sont respectées, plus le déplacement du centre de masse du spiral 1 sera limité. A titre de comparaison, les conditions de Phillips s'approchent de la relation (2), c'est-à-dire une approximation au premier ordre. Une application des relations (2)-(5) est représentée à la figure 2 qui est une vue partielle et agrandie de la figure 1.

[0020] A l'aide d'une paramétrisation comme expliquée ci-dessus, il est possible de définir une grande variété de courbes de ressort-spiral suivant l'inertie choisie du balancier, le matériau, la section et la longueur du spiral mais également les coefficients des polynômes de paramétrisation. Il est également possible de choisir des solutions particulières en limitant par exemple le nombre d'ordres et/ou le nombre de spires.

[0021] Des simulations de courbes possibles sont représentées aux figures 3 à 8. Ainsi, pour former la figure 3, la paramétrisation s'est limitée aux relations (2) à (4) avec un spiral à 2,3 spires et un polynôme de paramétrisation de degré 2. La figure 4 correspond à la paramétrisation avec un polynôme de degré 3 à partir des relations (2) à (5) toujours en limitant l'enroulement à 2,3 spires. Enfin, la figure 5 correspond à la paramétrisation avec un polynôme de degré 4 à partir des relations (2) à (6) en limitant l'enroulement à 2,3 spires. Les figures 6 à 8 correspondent aux mêmes critères respectivement que les figures 3 à 5 mais en augmentant l'enroulement de 2,3 spires à 5,3 spires. On s'aperçoit qu'il existe une infinité de solutions de courbe tout en respectant les relations (2)-(8) énoncées.

[0022] Une simulation d'anisochronisme a été réalisée à partir de la courbure présentée à la figure 5 formant le spiral 1 des figures 9 et 10. Le ressort-spiral 3 comporte une virole 6 en une seule pièce et l'extrémité du ressort-spiral 5, qui est opposée à l'attache 4, est solidaire d'un piton 7. Il a été choisi une inertie de balancier s'élevant à 8 mg.cm^2 et un spiral 1 en silicium d'une section de 0,0267 mm x 0,1 mm et une longueur L de 46 mm. Le résultat de la simulation illustré à la figure 12 présente un résultat très favorable de 0,3 s.j^{-1} à 300°. On comprend donc immédiatement l'avantage de ces nouvelles conditions par rapport à celles notamment MM. Phillips et Grossmann avec lesquels des ajustements sont encore nécessaires pour diminuer le « ventre ».

[0023] Dans le cas particulier où le spiral est formé à partir de trois parties comme expliqué dans le document EP 2 184 652, l'attache peut devenir une masse non négligeable et considérablement amplifier l'anisochronisme comme visible à la figure 13 dans laquelle la variation de marche atteint 11,8 s.j^{-1} à 200°.

[0024] En plus de respecter le plus de relations (2)-(8), il devient alors nécessaire de compenser le balourd engendré par l'attache, c'est-à-dire compenser la masse de l'attache par rapport à son éloignement de l'axe du balancier. Ainsi, de manière préférée, l'invention propose d'annuler le balourd de l'attache en rapportant symétriquement un balourd sur les deux ressort-spiraux 3, 5. Préférentiellement, le balourd rapporté est formé par deux contrepoids 8', 9' sensiblement identiques sur chaque ressort-spiral 3', 5' comme illustré aux figures 14 et 15. Préférentiellement, les masses des contrepoids 8', 9' sont sensiblement égales et leur somme est plus ou moins grande par rapport à celle de l'attache 4' suivant la différence d'éloignement entre, d'une part, l'attache 4' et l'axe de balancier, et, d'autre part, les contrepoids 8', 9' et ledit axe de balancier. On comprend qu'en cas d'éloignement sensiblement équivalent, les masses additionnées des contrepoids 8', 9' formeront une masse sensiblement équivalente à celle de l'attache 4'. Cela permet avantageusement d'obtenir avec les mêmes critères ci-dessus, une variation de marche favorable de 1,4 s.j^{-1} à 200° comme illustré à la figure 16.

[0025] Bien entendu, la présente invention ne se limite pas à l'exemple illustré mais est susceptible de diverses variantes et modifications qui apparaîtront à l'homme de l'art. En particulier, d'autres critères d'encadrement peuvent être prévus comme par exemple une limitation du rapport entre le rayon intérieur et le rayon extérieur afin que les extrémités des ressort-spiraux ne soient pas trop proches du point d'origine où doit être présent l'axe de balancier.

[0026] De plus, quand le spiral est en silicium, il peut être au moins partiellement recouvert de dioxyde de silicium afin de le rendre moins sensible aux variations de température et aux chocs mécaniques.

[0027] Enfin, chaque contrepoids 8', 9' peut être différent. Ils peuvent notamment, être formés chacun de deux masses distinctes c'est-à-dire qu'il pourrait y avoir quatre contrepoids.

Revendications

1. Spiral (1, 1') double comportant un premier ressort-spiral (3, 3') dont la courbe s'étend dans un premier plan, un deuxième ressort-spiral (5, 5') dont la courbe s'étend dans un deuxième plan parallèle au premier plan, une attache (4, 4') solidarisant une extrémité de la courbe du premier ressort-spiral (3, 3') à une extrémité de la courbe du deuxième ressort-spiral (5, 5') afin de former ledit spiral (1, 1') double en série la courbe du premier ressort-spiral (3, 3') et la courbe du deuxième ressort-spiral (5, 5') comportant chacune un pas continûment variable, ledits premier et deuxième ressort-spiraux étant symétriques par rapport à une droite (A) parallèle aux premier et deuxième plans et passant par le plan médian de projection de l'attache (4, 4'), **caractérisé en ce que** chaque courbe tend à ce que la relation suivante soit sensiblement nulle :

$$\vec{P}^{(n)} = \frac{n+1}{L^{n+1}} \int_0^L ds \cdot s^n \cdot \vec{x}(s)$$

où :

- $\vec{P}^{(n)}$ est le moment du spiral d'ordre n ;
- L est la longueur du spiral ;
- s^n représente l'abscisse curviligne le long du spiral à la puissance d'ordre *n* ;
- *x(s)* est la paramétrisation du spiral par son abscisse curviligne

et en ce chaque courbe respecte les relations :

$$P_x^{(0)} = 0 \text{ et } P_y^{(1)} = 2P_y^{(0)}$$

afin de réduire les déplacements de son centre de masse lors de ses contraction et expansion.

2. Spiral (1, 1') selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** chaque courbe respecte en plus la relation suivante :

$$P_x^{(2)} = 3P_x^{(1)}$$

afin de réduire d'avantage les déplacements de son centre de masse lors de ses contraction et expansion.

3. Spiral (1, 1') selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** chaque courbe respecte en plus la relation suivante :

$$P_y^{(3)} = 4P_y^{(2)} - 8P_y^{(0)}$$

afin de réduire d'avantage les déplacements de son centre de masse lors de ses contraction et expansion.

4. Spiral (1, 1') selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** chaque courbe respecte en plus la relation suivante :

$$P_x^{(4)} = 5P_x^{(3)} - 20P_x^{(1)}$$

afin de réduire d'avantage les déplacements de son centre de masse lors de ses contraction et expansion.

5. Spiral (1, 1') selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** chaque courbe respecte en plus la relation suivante :

$$P_y^{(5)} = 6P_y^{(4)} - 40P_y^{(2)} + 96P_y^{(0)}$$

afin de réduire d'avantage les déplacements de son centre de masse lors de ses contraction et expansion.

6. Spiral (1, 1') selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** chaque courbe respecte en plus la relation suivante :

$$P_x^{(6)} = 7P_x^{(5)} - 70P_x^{(3)} + 336P_x^{(1)}$$

afin de réduire d'avantage les déplacements de son centre de masse lors de ses contraction et expansion.

7. Spiral (1') selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** chaque ressort-spiral (3', 5') comporte au moins un contrepoids (8', 9') afin de compenser le balourd formé par la masse de l'attache (4').

8. Spiral (1, 1') selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**il est formé à partir de silicium.

9. Spiral (1, 1') selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'**il comporte au moins une partie recouverte de dioxyde de silicium afin de limiter sa sensibilité aux variations de température et aux chocs mécaniques.

10. Résonateur pour une pièce d'horlogerie comportant une inertie **caractérisé en ce que** l'inertie coopère avec un spiral conforme à l'une des revendications précédentes.

Patentansprüche

1. Doppelspirale (1, 1'), umfassend:

eine erste Spiralfeder (3, 3'), deren Windung sich in einer ersten Ebene erstreckt, eine zweite Spiralfeder (5, 5'), deren Windung sich in einer zweiten Ebene, die zu der ersten Ebene parallel ist, erstreckt, eine Befestigung (4, 4'), die ein Ende der Windung der ersten Spiralfeder (3, 3') an einem Ende der Windung der zweiten Spiralfeder (5, 5') befestigt, um die in Reihe angeordnete Doppelspirale (1, 1') zu bilden, wobei die Windung der ersten Spiralfeder (3, 3') und die Windung der zweiten Spiralfeder (5, 5') jeweils eine kontinuierlich veränderliche Steigung besitzen, wobei die erste und die zweite Spiralfeder in Bezug auf eine Gerade (A), die zu der ersten und der zweiten Ebene parallel ist und durch die Mittelebene der Projektion der Befestigung (4, 4') verläuft, symmetrisch sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Windung bestrebt ist, dass die folgende Beziehung im Wesentlichen null ist:

$$\vec{P}^{(n)} = \frac{n+1}{L^{n+1}} \int_0^L ds \cdot s^n \cdot \vec{x}(s)$$

wobei:

- $\vec{P}^{(n)}$ das Moment der Spirale mit Ordnung n ist;
- L die Länge der Spirale ist;
- s^n die krummlinige Abszisse entlang der Spirale in der Potenz der Ordnung n ist; und
- $\vec{x}(s)$ die Parametrisierung der Spirale durch ihre gekrümmte Abszisse ist,

und dass jede Windung die folgenden Beziehungen erfüllt:

$$P_x^{(0)} = 0 \text{ und } P_y^{(1)} = 2P_y^{(0)},$$

um die Verlagerungen ihres Massenschwerpunkts bei ihrer Kontraktion und ihrer Expansion zu verringern.

2. Spirale (1, 1') nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Windung ferner die folgende Beziehung erfüllt:

$$P_x^{(2)} = 3P_x^{(1)},$$

um die Verlagerungen ihres Massenschwerpunkts bei ihrer Kontraktion und ihrer Expansion vorteilhaft zu verringern.

3. Spirale (1, 1') nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Windung ferner die folgende Beziehung erfüllt:

$$P_y^{(3)} = 4P_y^{(2)} - 8P_y^{(0)},$$

um die Verlagerungen ihres Massenschwerpunkts bei ihrer Kontraktion und ihrer Expansion vorteilhaft zu verringern.

4. Spirale (1, 1') nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Windung ferner die folgende Beziehung erfüllt:

$$P_x^{(4)} = 5P_x^{(3)} - 20P_x^{(1)},$$

um die Verlagerungen ihres Massenschwerpunkts bei ihrer Kontraktion und ihrer Expansion vorteilhaft zu verringern.

5. Spirale (1, 1') nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Windung ferner die folgende Beziehung erfüllt:

$$P_y^{(5)} = 6P_y^{(4)} - 40P_y^{(2)} + 96P_y^{(0)},$$

um die Verlagerungen ihres Massenschwerpunkts bei ihrer Kontraktion und ihrer Expansion vorteilhaft zu verringern.

6. Spirale (1, 1') nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Windung ferner die folgende Beziehung erfüllt:

$$P_x^{(6)} = 7P_x^{(5)} - 70P_x^{(3)} + 336P_x^{(1)},$$

um die Verlagerungen ihres Massenschwerpunkts bei ihrer Kontraktion und ihrer Expansion vorteilhaft zu verringern.

7. Spirale (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Spiralfeder (3', 5') mindestens ein Ausgleichsgewicht (8', 9') umfasst, um die durch die Masse der Befestigung (4') gebildete Unwucht auszugleichen.

8. Spirale (1, 1') nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie aus Silicium gebildet ist.

9. Spirale (1, 1') nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie mindestens einen mit Siliciumdioxid bedeckten Teil aufweist, um ihre Empfindlichkeit gegenüber Temperaturschwankungen und mechanischen Stößen zu begrenzen.

10. Resonator für ein Zeitmessgerät, der eine Trägheit aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Trägheit mit einer Spirale nach einem der vorhergehenden Ansprüche zusammenwirkt.

Claims

1. Dual balance spring (1, 1') including a first hairspring (3, 3') the curve of which extends in a first plane, a second hairspring (5, 5') the curve of which extends in a second plane parallel to the first plane, an attachment member (4, 4') securing one end of the curve of the first hairspring (3, 3') to one end of the curve of the second hairspring (5, 5') so as to form a dual balance spring (1, 1') in series, the curve of the first hairspring (3, 3') and the curve of the second hairspring (5, 5') each including a continuously variable pitch, said first and second hairsprings being symmetrical relative to a straight line (A) parallel to the first and second planes and passing through the median plane of projection of the attachment member (4, 4'), **characterised in that** each curve tends so that the following relation is substantially equal to zero:

$$\vec{P}^{(n)} = \frac{n+1}{L^{n+1}} \int_0^L ds \cdot s^n \cdot \vec{x}(s)$$

where:

- $\vec{P}^{(n)}$ is the moment of the hairspring of the order n
- L is the length of the balance spring;
- s^n represents the curvilinear abscissa along the balance spring to the power of *n*;
- $\vec{x}(s)$ is the parameterization of the balance spring by the curvilinear abscissa thereof

and **in that**:

$$P_x^{(0)} = 0 \text{ and } P_y^{(1)} = 2P_y^{(0)}$$

in order to reduce displacements of the centre of mass thereof during contraction and expansion.

2. Balance spring (1, 1') according to the preceding claim, **characterized in that** each curve also respects the following relation:

$$P_x^{(2)} = 3P_x^{(1)}$$

so as to further reduce the displacements of the centre of mass thereof during contraction and expansion.

3. Balance spring (1, 1') according to the preceding claim, **characterized in that** each curve also respects the following relation:

$$P_y^{(3)} = 4P_y^{(2)} - 8P_y^{(0)}$$

so as to further reduce the displacements of the centre of mass thereof during contraction and expansion.

4. Balance spring (1, 1') according to the preceding claim, **characterized in that** each curve also respects the following relation:

$$P_x^{(4)} = 5P_x^{(3)} - 20P_x^{(1)}$$

so as to further reduce the displacements of the centre of mass thereof during contraction and expansion.

5. Balance spring (1, 1') according to the preceding claim, **characterized in that** each curve also respects the following relation:

$$P_y^{(5)} = 6P_y^{(4)} - 40P_y^{(2)} + 96P_y^{(0)}$$

so as to further reduce the displacements of the centre of mass thereof during contraction and expansion.

6. Balance spring (1, 1') according to the preceding claim, **characterized in that** each curve also respects the following relation:

$$P_x^{(6)} = 7P_x^{(5)} - 70P_x^{(3)} + 336P_x^{(1)}$$

so as to further reduce the displacements of the centre of mass thereof during contraction and expansion.

7. Balance spring (1') according to any of the preceding claims, **characterized in that** each hairspring (3', 5') includes at least one counterweight (8', 9') so as to compensate for the unbalance formed by the mass of the attachment member (4').

8. Balance spring (1, 1') according to any of the preceding claims, **characterized in that** it is formed from silicon.

9. Balance spring (1, 1') according to the preceding claim, **characterized in that** it includes at least one part coated with silicon dioxide so as to limit the sensitivity thereof to temperature variations and mechanical shocks.

10. Resonator for a timepiece including an inertia, **characterized in that** the inertia cooperates with a balance spring according to any of the preceding claims.

Fig. 1

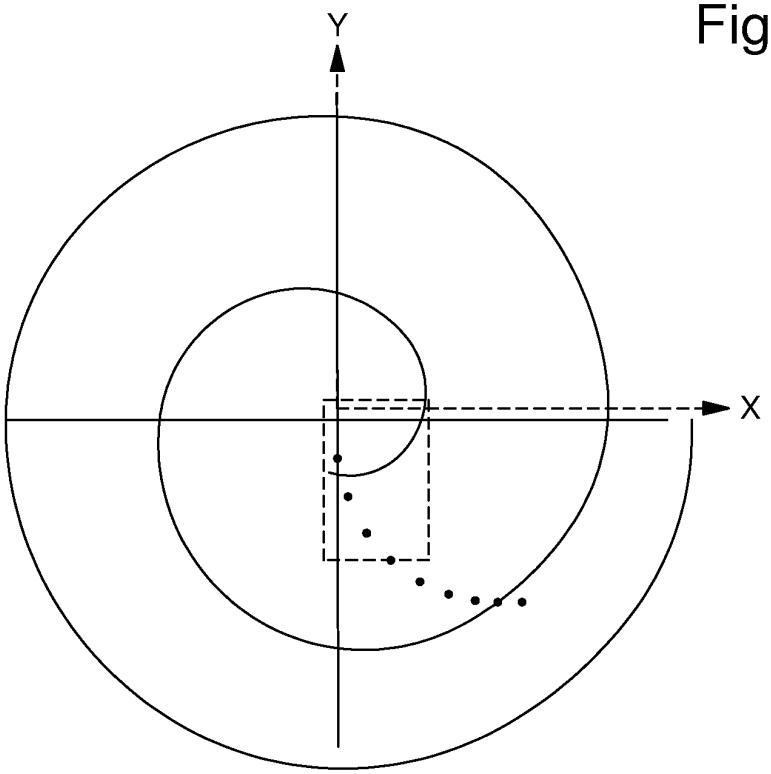
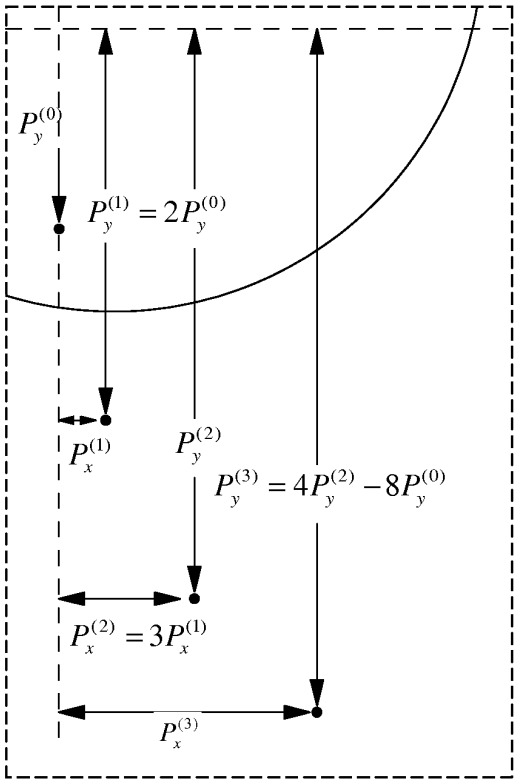


Fig. 2



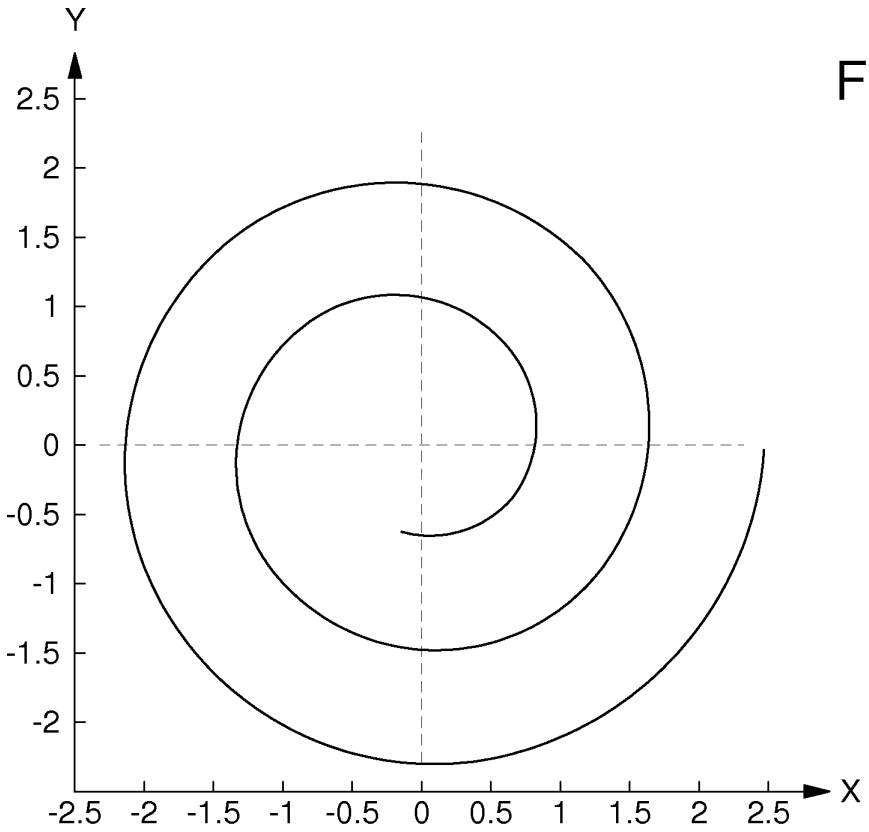

Y
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 2.5
X

Fig. 3

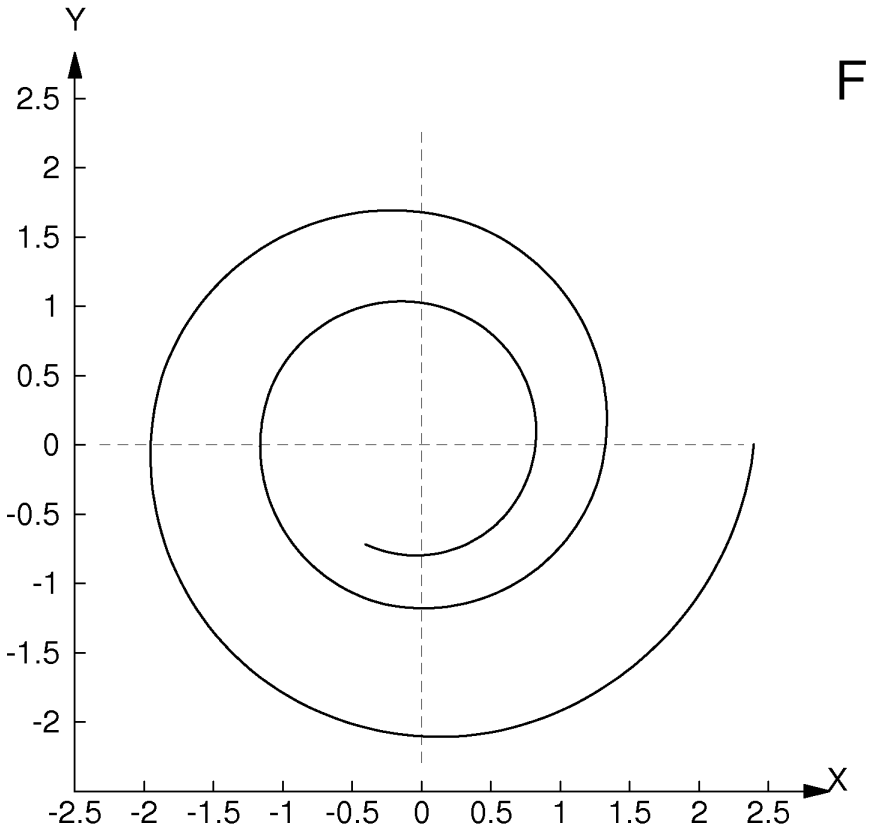

Y
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 2.5
X

Fig. 4

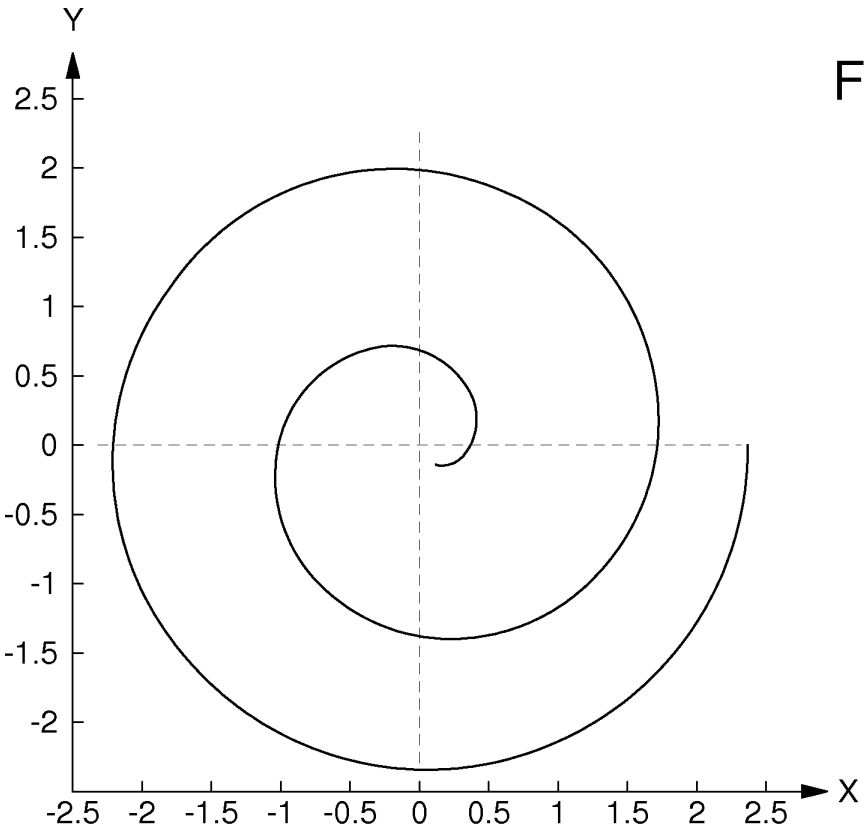

Y
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 2.5
X

Fig. 5

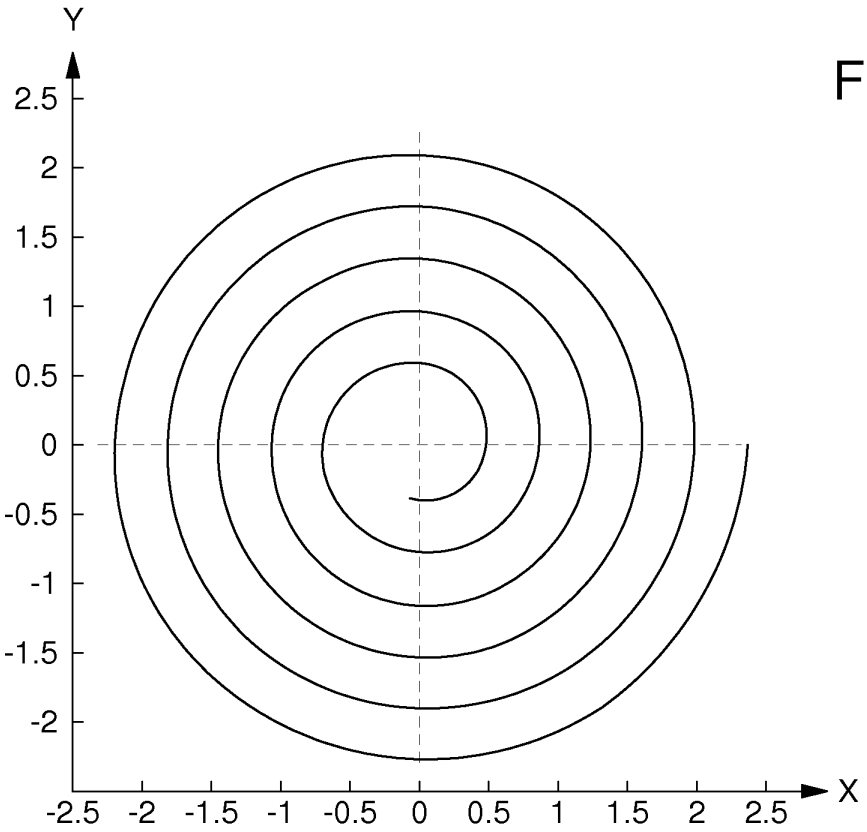

Y
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 2.5
X

Fig. 6

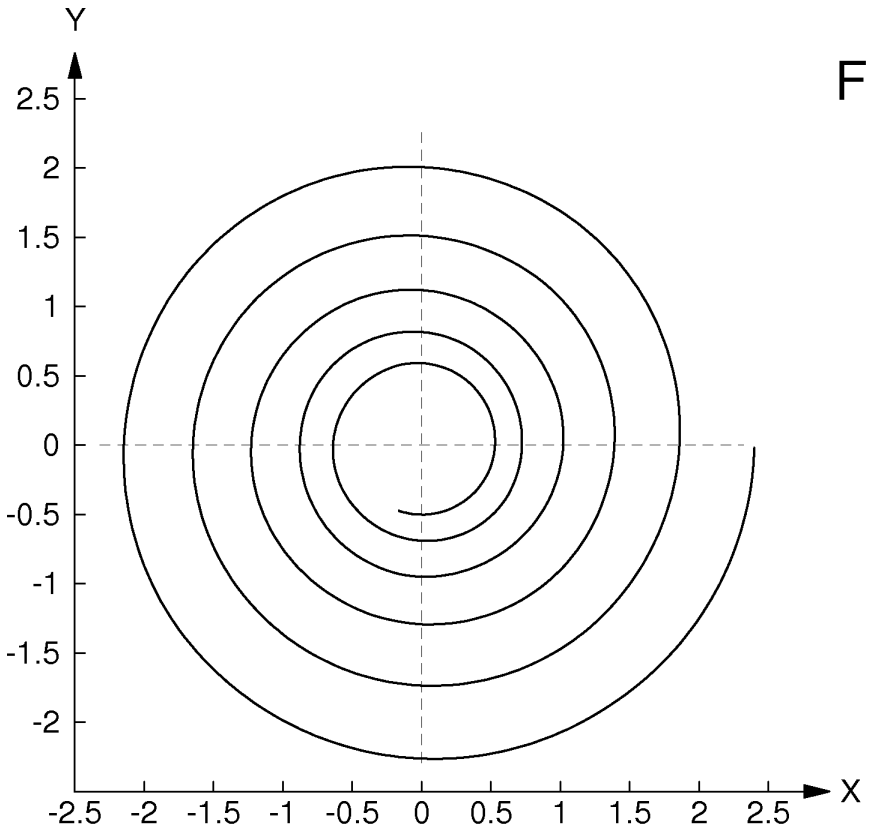

Y
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 2.5
X

Fig. 7

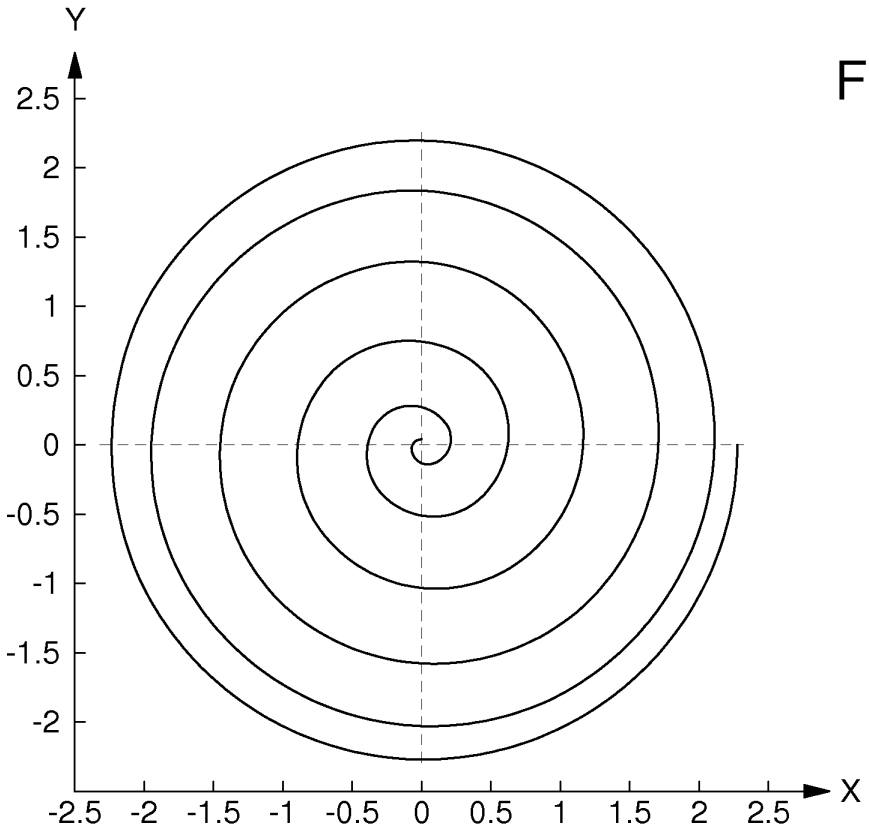

Y
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 2.5
X

Fig. 8

Fig. 9

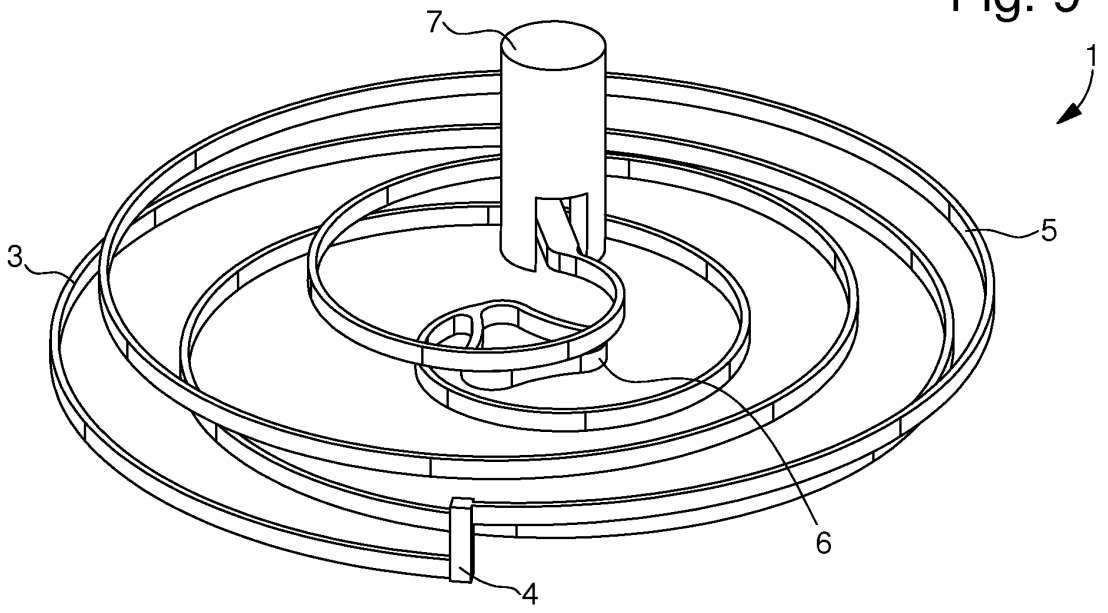


Fig. 10

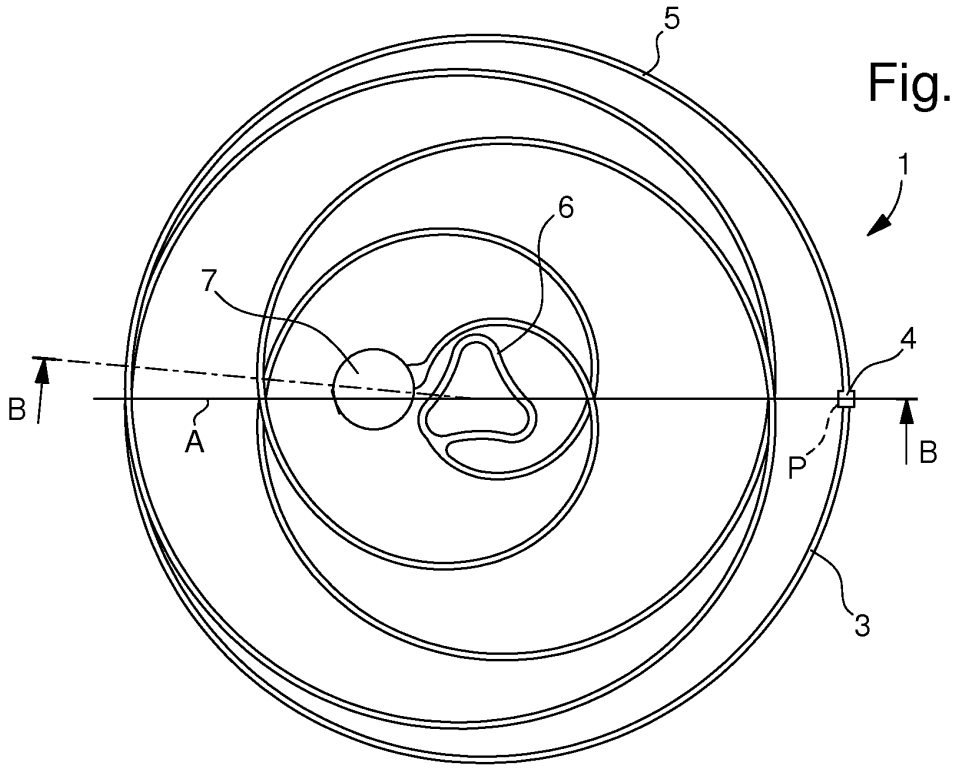
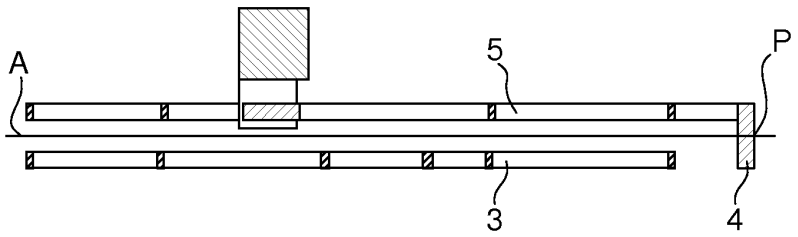


Fig. 11



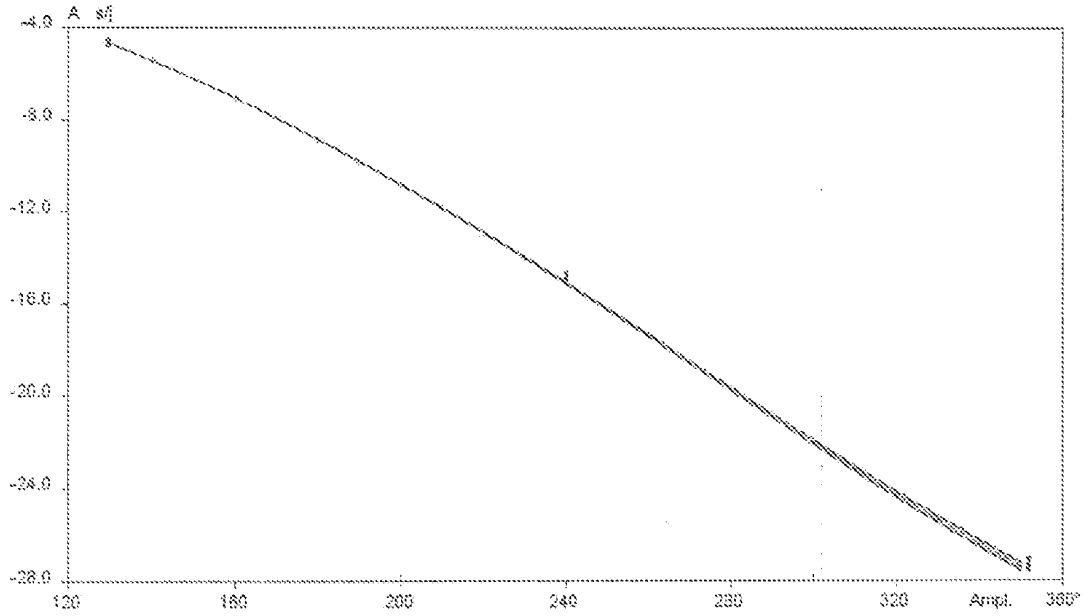

A s/l
-4.0
-8.0
-12.0
-16.0
-20.0
-24.0
-28.0
120
160
200
240
280
320
Ampl.
360°

Fig. 12

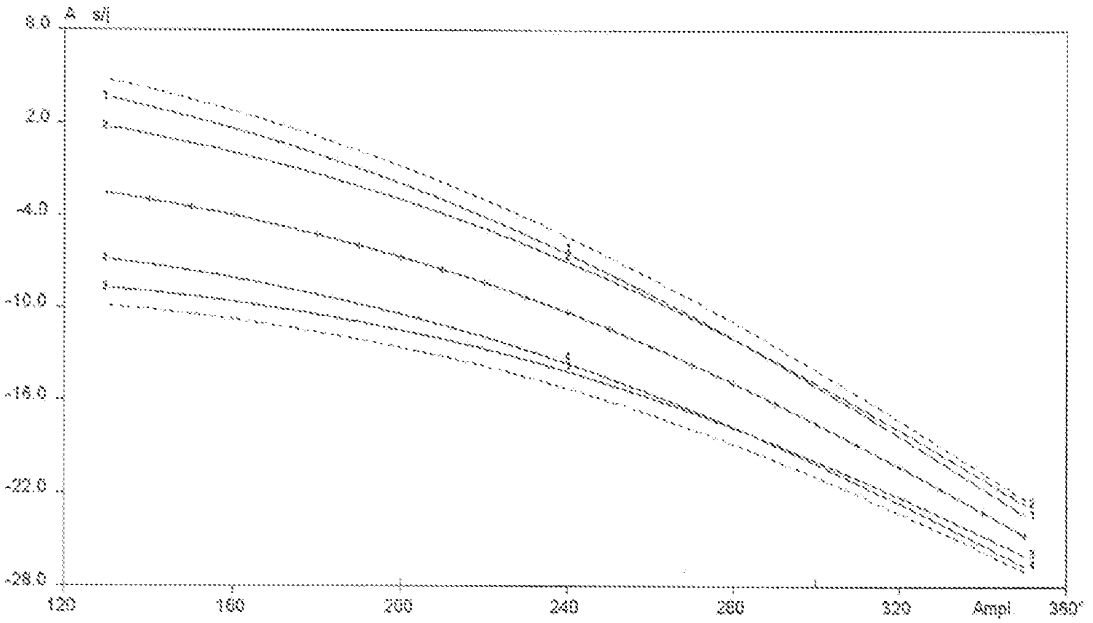

A s/l
8.0
2.0
-4.0
-10.0
-16.0
-22.0
-28.0
120
160
200
240
280
320
Ampl.
360°

Fig. 13

Fig. 14

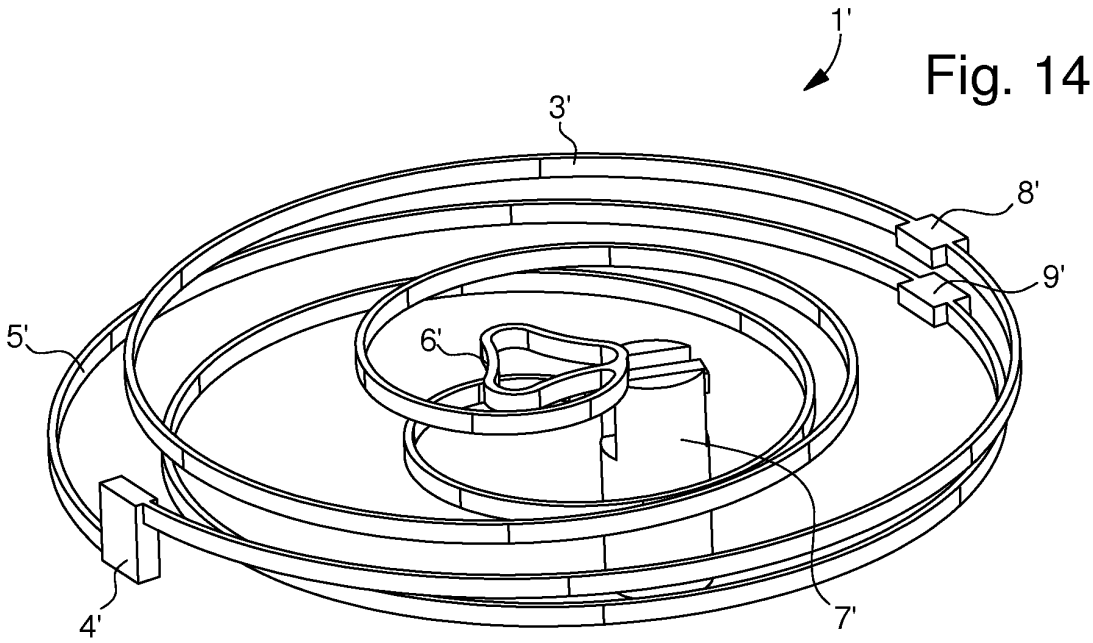
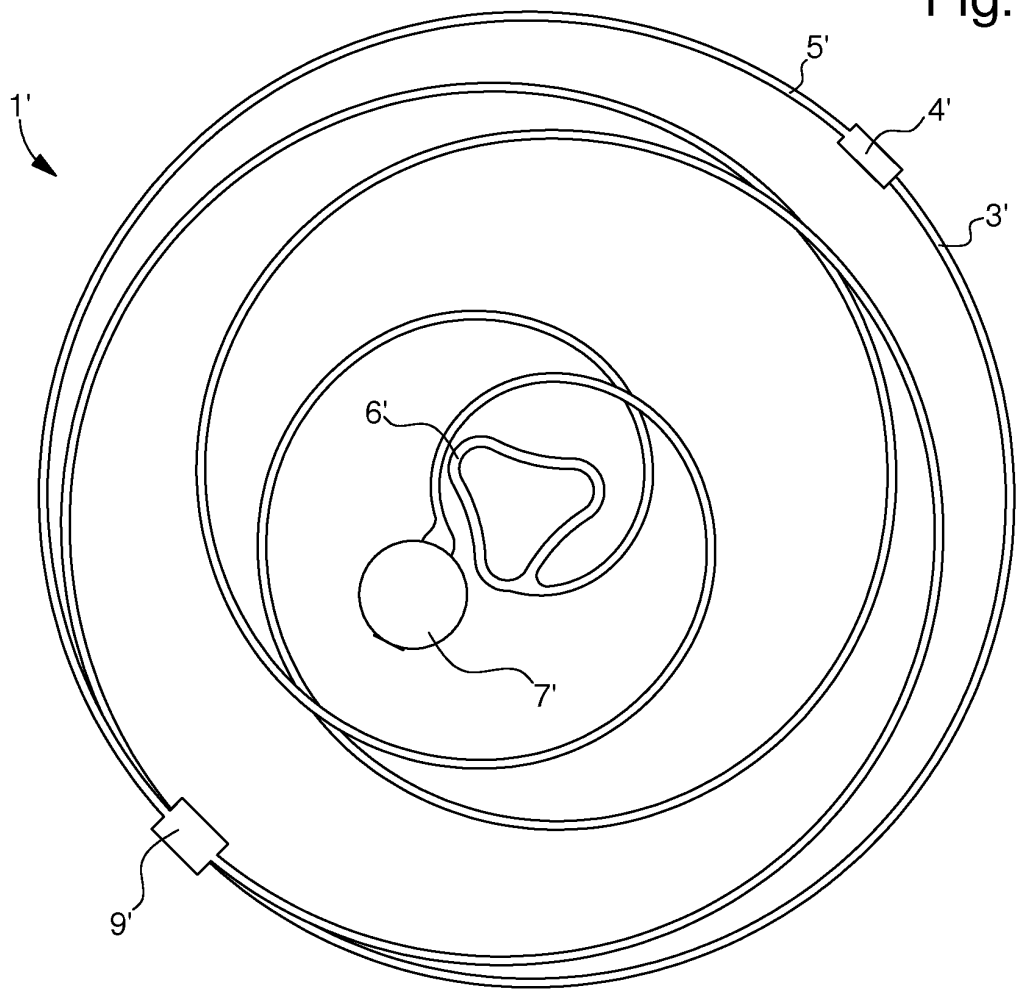


Fig. 15



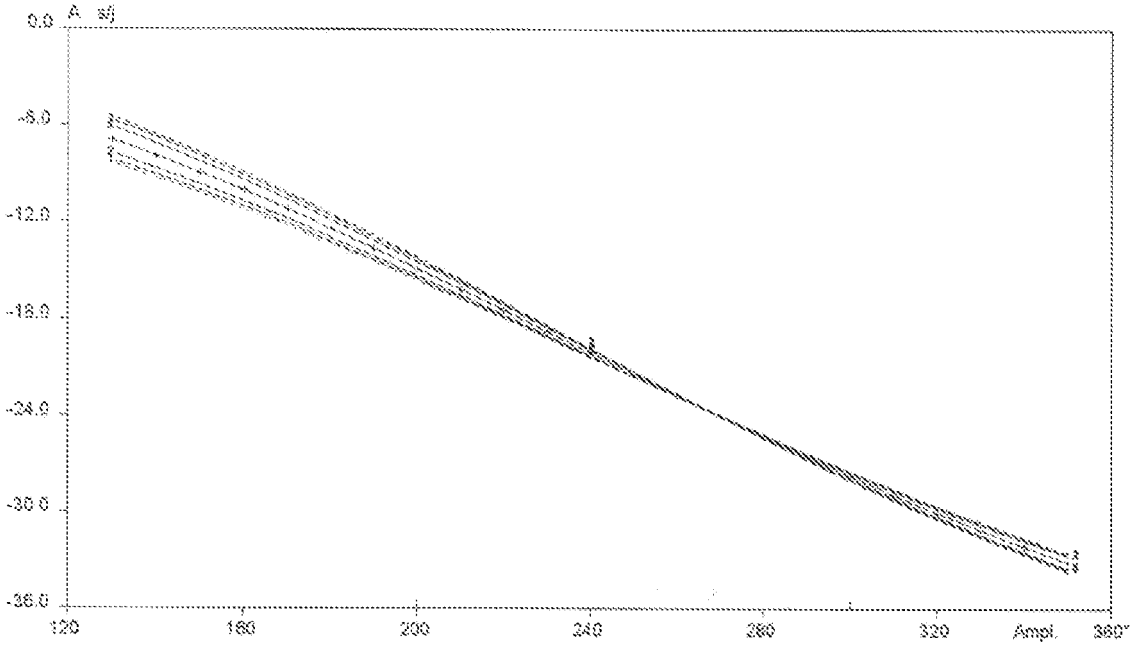


Fig. 16

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 2184652 A **[0002] [0016] [0023]**
- EP 2196867 A **[0002] [0016]**
- EP 2105807 A **[0002] [0016]**
- EP 2104006 A **[0002]**