

(19)



(11)

EP 2 613 206 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

11.05.2022 Bulletin 2022/19

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
G04B 17/06 (2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
G04B 17/066

(21) Numéro de dépôt: **12194292.4**

(22) Date de dépôt: **26.11.2012**

(54) **Spiral à deux ressort-spiraux à isochronisme amélioré**

Spirale mit zwei Spiralfedern mit verbessertem Isochronismus

Hairspring with two spiral springs with improved isochronism

(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: **05.01.2012 EP 12150230**

(43) Date de publication de la demande:
10.07.2013 Bulletin 2013/28

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

(72) Inventeurs:

- **Helfer, Jean-Luc
2525 Le Landeron (CH)**

- **Trümpy, Kaspar
4500 Soleure (CH)**

(74) Mandataire: **Collé, Emmanuel 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
EP-A1- 2 405 312**

EP 2 613 206 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).

DescriptionDomaine de l'invention

- 5 **[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

- 10 **[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.

- [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.
- 15

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.
- 20

- [0005]** A cet effet, l'invention se rapporte à un spiral comportant un premier ressort-spiral dont la courbe s'étend dans un premier plan et dont la spire interne comporte une virole, un deuxième ressort-spiral dont la courbe s'étend dans un deuxième plan parallèle au premier plan, une attache solidarissant la spire externe du premier ressort-spiral à la spire externe du deuxième ressort-spiral afin de former un spiral double en série caractérisé en ce que la courbe du premier ressort-spiral et la courbe du deuxième ressort-spiral comportent chacune un pas continûment variable et sont symétriques par rapport à une droite parallèle aux premier et deuxième plans et passant par le plan médian de projection de l'attache, chaque courbe étant telle que le moment du spiral d'ordre n défini par la relation suivante soit sensiblement nulle :
- 25

30

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

35 où :

- n est un nombre entier supérieur ou égal à zéro ;
 - $\vec{P}^{(n)}$ 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 ;
 - $\vec{x}(s)$ est la paramétrisation du spiral par son abscisse curviligne, afin de réduire les déplacements de son centre de masse lors de ses contraction et expansion et en ce que chaque ressort-spiral comporte en outre au moins deux contrepoids afin de compenser le balourd formé par la masse de l'attache et personnaliser la pente d'anisochronisme du spiral, lesdits au moins deux contrepoids étant symétriques selon ladite même droite que les courbures, deux contrepoids (8, 8') étant situés à côté de l'attache et deux autres contrepoids étant situés du côté opposé à l'attache afin de minimiser le balourd.
- 40
- 45

[0006] Conformément à d'autres caractéristiques avantageuses de l'invention :

- chaque contrepoids est sensiblement en forme de H, les bras parallèles du H étant sensiblement parallèles à la courbure locale du ressort-spiral auquel il est associé ;
 - les faces principales de l'attache sont sensiblement parallèles à ladite droite de symétrie ;
 - la spire interne du deuxième ressort-spiral comporte un dispositif de décalage agencé pour s'attacher à un piton dans le plan du deuxième ressort-spiral ;
 - le dispositif de décalage comporte une pièce en prolongement de la spire interne du deuxième ressort-spiral, ladite pièce étant plus rigide que ledit deuxième ressort-spiral afin de ne pas fournir de couple élastique ;
 - la pièce en prolongement est reliée à la spire interne à l'aide d'un coude sensiblement en forme de U ;
 - la pièce en prolongement est venue de matière avec le deuxième ressort-spiral ;
- 50
- 55

- la pièce en prolongement est rendue plus rigide par une épaisseur au moins trois fois supérieure par rapport à celle dudit deuxième ressort-spiral ;
- la pièce peut être partiellement ajourée pour diminuer sa masse ;
- la spire interne du premier ressort-spiral comporte un dispositif d'agrandissement de la virole dans le plan du premier ressort-spiral ;
- le dispositif d'agrandissement comporte un bourrelet prolongeant la spire interne du premier ressort-spiral, ledit bourrelet étant plus rigide que ledit premier ressort-spiral afin de ne pas fournir de couple élastique ;
- le bourrelet est sensiblement en forme de U ;
- le bourrelet est venu de matière avec le premier ressort-spiral ;
- le spiral est formé en 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.

[0007] Par conséquent, avantageusement selon l'invention, un spiral peut être fabriqué en respectant des conditions prédéterminées afin de réduire le déplacement du centre de masse du spiral en contraction et en expansion. Ce déplacement faible ou négligeable permet avantageusement de réduire le ventre des courbes d'anisochronisme à une valeur sensiblement égale ou inférieure $0,5 \text{ s.j}^{-1}$. De plus, avantageusement selon l'invention, la pente d'anisochronisme du spiral peut être personnalisée afin de compenser celle donnée par le retard à l'échappement.

[0008] De plus, l'invention se rapporte à un résonateur pour une pièce d'horlogerie comportant un balancier caractérisé en ce que le résonateur comprend un spiral conforme à l'une des variantes précédentes, coopérant avec le balancier.

Description sommaire des dessins

[0009] 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 en perspective d'un spiral selon l'invention ;
- la figure 11 est une représentation vue de dessus du spiral des figures 9 et 10.

Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0010] 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}).

[0011] 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.

[0012] 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.

[0013] 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.

[0014] On définit un « moment du spiral d'ordre n », $\vec{P}^{(n)}$, par la formule suivante :

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

où :

- n est un nombre entier supérieur ou égal à zéro ;
- 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.

[0015] 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 peuvent pas être calculés puisqu'il en existe un nombre infini. Ainsi, plus un nombre important d'ordres dont la relation (1) nulle est respectée, plus la quantité de déplacement du centre de masse sera diminuée.

[0016] 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 ».

[0017] Dans le but d'appliquer ces conditions du moment du spiral nul, on part d'un spiral du type des figures 9 à 11, 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 est préférentiellement solidarisée par une attache 4 afin de former un spiral double en série.

[0018] 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.

[0019] 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 le centre du plan médian P de projection de l'attache 4 et le centre de l'axe du balancier.

[0020] Par conséquent, à titre d'exemple, pour chaque ressort-spiral 3, 5, les sept premiers ordres doivent respecter les relations suivantes :

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

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

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

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

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

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

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

[0021] 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.

[0022] 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.

[0023] 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.

[0024] Comme illustré aux figures 9 à 11, l'extrémité 6 du ressort-spiral 3 est reliée à une virole 10 en une seule pièce et l'extrémité 7 du ressort-spiral 5, qui est opposée à l'attache 4, est agencée pour coopérer avec un piton (non représenté). De plus, comme visibles aux figures 9 à 11, les faces principales 11, 12 de l'attache 4 sont sensiblement parallèles à la droite de symétrie A.

[0025] Dans le cas particulier des figures 9 à 11 dans lequel le spiral 1 est formé à partir de trois parties comme expliqué dans le document EP 2 184 652, en plus de respecter le plus de relations (2)-(8), il devient alors nécessaire de compenser le balourd engendré par l'attache 4, c'est-à-dire compenser la masse de l'attache 4 par rapport à son éloignement de l'axe du balancier.

[0026] Ainsi, comme illustré aux figures 9 à 11, chaque ressort-spiral 3, 5 comporte, de manière préférée, au moins deux contrepoids 8-9, 8'-9' qui sont symétriques selon la même droite A que les courbures afin de compenser le balourd formé par la masse de l'attache 4 et personnaliser la pente d'anisochronisme du spiral 1. Préférentiellement, les masses des contrepoids 8, 8' et 9, 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, 8', 9, 9' et ledit axe de balancier.

[0027] En effet, il a été montré empiriquement que deux uniques contrepoids sur le côté opposé de l'attache ne permettaient pas de baisser le ventre de la variation de marche en dessous de $1,4 \text{ s.j}^{-1}$. Cela vient du fait que même si les contrepoids équilibrent parfaitement le balourd pour un angle de rotation de la virole de 0° , cela n'est plus le cas lorsque la virole tourne d'un certain angle car la distance radiale de l'attache 4 ne varie pas de la même manière que la distance radiale des contrepoids 9, 9'.

[0028] C'est pourquoi pour mieux équilibrer le balourd sur une plage d'angle de rotation habituelle de 0° à sensiblement 300° , on ajoute au moins deux contrepoids 8, 8' supplémentaires en les plaçant à d'autres endroits sur les ressorts-spiraux 3, 5. Ainsi, il a été trouvé que quatre contrepoids 8, 8', 9, 9' tous alignés sur l'axe A comme visible à la figure 11, deux 8, 8' à côté de l'attache 4 et deux 9, 9' du côté opposé à l'attache 4 permettent d'optimiser le balourd en le rendant quasiment nul quelque soit l'angle de la virole 10.

[0029] Préférentiellement selon l'invention, chaque contrepoids 8, 8', 9, 9' est sensiblement en forme de H, les bras parallèles du H étant sensiblement parallèles à la courbure locale du ressort-spiral 3, 5 auquel il est associé. Comme visible aux figures 9 à 11, on remarque que ces formes en H apportent une surépaisseur locale de chaque ressort-spiral 3, 5 qui augmente localement leur raideur.

[0030] Ainsi, avantageusement selon l'invention, les raideurs et/ou les masses apportées localement par les contrepoids 8, 8', 9, 9' et l'attache 4 sont utilisées pour modifier la pente d'anisochronisme du spiral 1.

[0031] Une simulation du ventre et de la pente d'anisochronisme du spiral 1 selon l'invention a été réalisée en variant la longueur de l'attache 4 ou des contrepoids 8, 8', 9, 9' le long du spiral 1 :

Attache 4	Contrepoids 9, 9'	Contrepoids 8, 8'	Pente	Ventre
[mm]	[mm]	[mm]	[s/j/100°]	[s/j]
0,22	0,1	0,1	-8,54	0,26
0,1	0,1	0,1	-7,51	0,35
0,22	0,04	0,22	-12,97	1,14
0,22	0,22	0,04	-7,88	0,54
0,22	0,44	0,22	-5,49	0,22
0,22	0,33	0,22	-5,05	0,29
0,22	0,33	0,25	-4,3	0,49

[0032] La longueur représente la longueur de la portion du spiral 1 qui est rigidifié par l'attache 4 ou le contrepoids 8, 8', 9, 9'. Pour la simulation, il a été choisi une inertie de balancier s'élevant à 2,5 mg.cm² et un spiral 1 en silicium d'une section de 0,033 mm x 0,1 mm et une longueur L de 45 mm.

[0033] On s'aperçoit qu'en diminuant la longueur de l'attache 4, la pente d'anisochronisme tend à se redresser alors que le ventre reste avantageusement inférieur à 0,4 s.j⁻¹. De plus, en diminuant la longueur des contrepoids 9, 9', la pente d'anisochronisme tend à se redresser alors que le ventre reste avantageusement inférieur à 0,3 s.j⁻¹. Enfin, en augmentant la longueur des contrepoids 8, 8', la pente d'anisochronisme tend à se redresser alors que le ventre reste avantageusement inférieur à 0,5 s.j⁻¹.

[0034] Bien entendu, la masse de l'attache 4 et donc des contrepoids 8, 8', 9, 9' peut également être modifiée pour adapter la pente d'anisochronisme :

Attache 4	Contrepoids 9, 9'	Contrepoids 8, 8'	Attache Pente 4	Ventre
[mm]	[mm]	[mm]	[mm ³] [s/j/100°]	[s/j]
0,22	0,1	0,1	0,016 -8,54	0,26
0,22	0,1	0,1	0,008 -5,58	0,56
0,22	0,1	0,1	0,002 -4,58	0,53

[0035] On s'aperçoit alors qu'en diminuant la masse de l'attache 4, la pente d'anisochronisme tend à se redresser alors que le ventre reste avantageusement inférieur à 0,6 s.j⁻¹. Par conséquent, avantageusement selon l'invention, la pente d'anisochronisme du spiral 1 peut être personnalisée afin de compenser celle donnée par le retard à l'échappement.

[0036] 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.

[0037] En outre, avantageusement selon l'invention, la spire interne 7 du deuxième ressort-spiral 5 comporte, de manière préférée, un dispositif de décalage 13 agencé pour s'attacher à un piton (non représenté) dans le plan du deuxième ressort-spiral 5. Le dispositif de décalage 13 est notamment utile pour éviter que des formes particulières du spiral 1 rendent impossible son montage à cause de la proximité de son extrémité libre 7 par rapport à l'axe de balancier.

[0038] Comme visible aux figures 9 à 11, le dispositif de décalage 13 comporte une pièce 14 en prolongement de la spire interne 7 du deuxième ressort-spiral 5. Préférentiellement, la pièce 14 est plus rigide que le deuxième ressort-spiral 5 afin de ne pas fournir de couple élastique au résonateur balancier - spiral. De plus, la pièce 14 est préférentiellement rendue plus rigide par une épaisseur supérieure, comme par exemple au moins trois fois supérieure, par rapport à l'épaisseur du deuxième ressort-spiral 5, c'est-à-dire la largeur de sa lame. On comprend donc que la forme de la pièce 14 est en partie adaptée en fonction de la courbure des spires du deuxième ressort-spiral 5 afin qu'aucun contact n'ait lieu.

[0039] De plus, selon une alternative particulière, il est préféré que la pièce 14 soit venue de matière avec le deuxième ressort-spiral 5 et, de manière préférée, que ce dernier comporte une hauteur sensiblement égale à celle de la pièce 14, c'est-à-dire que cette dernière est contenue dans le même plan.

[0040] La pièce en prolongement 14 est en outre reliée, de manière préférée, à la spire interne 7 du deuxième ressort-spiral 5 à l'aide d'un coude 15 sensiblement en forme de U afin de limiter d'avantage la fourniture d'un quelconque couple élastique. On comprend que la pièce en prolongement 14 et le coude 15 permettent de virtuellement rapprocher le point fixe formé par le piton (non représenté) à l'extrémité 7 du spiral 1.

[0041] De plus, la pièce 14 comporte un évidement 16, borgne ou traversant, de section sensiblement asymétrique et destiné à coopérer avec le piton (non représenté). Enfin, comme visible aux figures 9 à 11, la pièce 14 peut être partiellement ajourée par des trous 19 pour diminuer sa masse et ainsi rendre moins pénalisant son poids lors du montage du spiral 1.

[0042] De manière similaire, la spire interne 6 du premier ressort-spiral 3 comporte un dispositif d'agrandissement 17 de la virole 10 dans le plan du premier ressort-spiral 3. Le dispositif d'agrandissement 17 est notamment utile pour éviter que des formes particulières du spiral 1 rendent impossible son montage à cause de la proximité de son extrémité libre 6 par rapport à l'axe de balancier. On comprend donc que sans le dispositif d'agrandissement 17, la virole 10 serait nécessairement d'un plus petit diamètre à cause de la proximité de la spire interne 6.

[0043] Préférentiellement, le dispositif d'agrandissement 17 comporte un bourrelet 18 prolongeant la spire interne 6 du premier ressort-spiral 3, le bourrelet 18 étant plus rigide que le premier ressort-spiral 3 afin de ne pas fournir de couple élastique. De plus, le bourrelet 18 est préférentiellement rendue plus rigide par une épaisseur supérieure par rapport à l'épaisseur du premier ressort-spiral 3, c'est-à-dire la largeur de sa lame.

[0044] En outre, selon une alternative particulière, il est préféré que le bourrelet 18 soit sensiblement en forme de U. Enfin, le bourrelet 18 est préférentiellement venu de matière avec le premier ressort-spiral 3.

[0045] Par conséquent, avantageusement selon l'invention, un spiral peut être fabriqué en respectant des conditions prédéterminées afin de réduire le déplacement du centre de masse du spiral en contraction et en expansion. Ce déplacement faible ou négligeable permet avantageusement de réduire le ventre des courbes d'anisochronisme à une valeur sensiblement égale ou inférieure $0,5 \text{ s} \cdot \text{j}^{-1}$. De plus, avantageusement selon l'invention, la pente d'anisochronisme du spiral peut être personnalisée afin de compenser celle donnée par le retard à l'échappement.

[0046] Enfin, la configuration des figures 9 à 11 définit un axe A de symétrie très robuste qui permet de minimiser les défauts chronométriques induits par des perturbations dans la direction orthogonale à l'axe A. On comprend donc qu'il est possible de maximiser la précision de fabrication dans la direction attache - contrepoids, c'est-à-dire l'axe A, comme seule direction critique au lieu de deux habituellement.

[0047] 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, les contrepoids 8, 8', 9, 9' peuvent être de forme et/ou de géométrie différentes sans sortir du cadre de l'invention. Il est également possible d'augmenter leur nombre et/ou les distribuer de manière différente, c'est-à-dire notamment que les contrepoids 8, 8', 9, 9' ne sont pas nécessairement symétriques selon la droite A comme les courbures.

[0048] Ainsi, à titre d'exemple, il est parfaitement envisageable, pour chaque ressort-spiral 3, 5, d'ajouter deux contrepoids supplémentaires, c'est-à-dire d'avoir quatre contrepoids, afin de les distribuer sensiblement à 90° les uns des autres.

[0049] 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. On comprend alors que la variation de section des contrepoids 8, 8', 9, 9' modifie également la compensation thermique locale du spiral.

[0050] Enfin, il peut être envisagé de compenser également le balourd induit par le bourrelet 18 en ajoutant un contrepoids supplémentaire sur le côté opposé de virole 10.

Revendications

1. Spiral (1) comportant un premier ressort-spiral (3) dont la courbe s'étend dans un premier plan et dont la spire interne (6) comporte une virole (10), un deuxième ressort-spiral (5) dont la courbe s'étend dans un deuxième plan parallèle au premier plan, une attache (4) solidarissant la spire externe du premier ressort-spiral (3) à la spire externe du deuxième ressort-spiral (5) afin de former un spiral (1) double en série **caractérisé en ce que** la courbe du premier ressort-spiral (3) et la courbe du deuxième ressort-spiral (5) comportent chacune un pas continûment variable et sont symétriques par rapport à une droite (A) parallèle aux premier et deuxième plans et passant par le plan médian de projection (P) de l'attache (4), chaque courbe étant telle que le moment du spiral d'ordre n défini par 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 :

- n est un nombre entier supérieur ou égal à zéro ;
- $\vec{P}^{(n)}$ 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 ;
- $\vec{x}(s)$ est la paramétrisation du spiral par son abscisse curviligne,

afin de réduire les déplacements de son centre de masse lors de ses contraction et expansion et **en ce que** chaque ressort-spiral (3, 5) comporte en outre au moins deux contrepoids (8, 8', 9, 9') afin de compenser le balourd formé par la masse de l'attache (4) et personnaliser la pente d'anisochronisme du spiral (1), lesdits au moins deux contrepoids (8, 8', 9, 9') étant symétriques selon ladite même droite (A) que les courbures, deux contrepoids (8, 8') et étant situés à côté de l'attache (4) et deux autres contrepoids (9, 9') étant situés du côté opposé à l'attache (4) afin de minimiser le balourd.

2. Spiral (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** chaque contrepoids (8, 8', 9, 9') est sensiblement

en forme de H, les bras parallèles du H étant sensiblement parallèles à la courbure locale du ressort-spiral (3, 5) auquel il est associé.

- 5 3. Spiral (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les faces principales (11, 12) de l'attache (4) sont sensiblement parallèles à ladite droite de symétrie (A).
- 10 4. Spiral (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la spire interne (7) du deuxième ressort-spiral (5) comporte un dispositif de décalage (13) agencé pour être attaché à un piton dans le plan du deuxième ressort-spiral (5).
- 15 5. Spiral (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le dispositif de décalage (13) comporte une pièce en prolongement (14) de la spire interne (7) du deuxième ressort-spiral (5), ladite pièce étant plus rigide que ledit deuxième ressort-spiral afin de ne pas fournir de couple élastique.
- 20 6. Spiral (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la pièce en prolongement (14) est reliée à la spire interne à l'aide d'un coude (15) sensiblement en forme de U.
- 25 7. Spiral (1) selon la revendication 5 ou 6 **caractérisé en ce que** la pièce en prolongement (14) est venue de matière avec le deuxième ressort-spiral (5).
- 30 8. Spiral (1) selon l'une des revendications 5 à 7, **caractérisé en ce que** la pièce en prolongement (14) est rendue plus rigide par une épaisseur au moins trois fois supérieure par rapport à celle dudit deuxième ressort-spiral.
- 35 9. Spiral (1) selon l'une des revendications 5 à 8, **caractérisé en ce que** la pièce (14) peut être partiellement ajourée pour diminuer sa masse.
- 40 10. Spiral (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la spire interne (6) du premier ressort-spiral (3) comporte un dispositif d'agrandissement (17) de la virole (10) dans le plan du premier ressort-spiral (3).
- 45 11. Spiral (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le dispositif d'agrandissement (17) comporte un bourrelet (18) prolongeant la spire interne (6) du premier ressort-spiral (3), ledit bourrelet étant plus rigide que ledit premier ressort-spiral afin de ne pas fournir de couple élastique.
- 50 12. Spiral (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le bourrelet (18) est sensiblement en forme de U.
- 55 13. Spiral (1) selon la revendication 11 ou 12, **caractérisé en ce que** le bourrelet (18) est venu de matière avec le premier ressort-spiral (3).
14. Spiral (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** est formé en silicium.
15. Spiral (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.
16. Résonateur pour une pièce d'horlogerie comportant un spiral (1) selon l'une quelconques des revendications précédentes et un balancier, **caractérisé en ce que** le balancier coopère avec ledit spiral (1).

Patentansprüche

- 50 1. Spirale (1), umfassend eine erste Spiralfeder (3), deren Kurve sich in einer ersten Ebene erstreckt und deren innere Windung (6) eine Spiralrolle (10) umfasst, eine zweite Spiralfeder (5), deren Kurve sich in einer zweiten Ebene parallel zu der ersten Ebene erstreckt, eine Befestigung (4), welche die äußere Windung der ersten Spiralfeder (3) mit der äußeren Windung der zweiten Spiralfeder (5) fest verbindet, um eine Doppelspirale (1) in Serie zu bilden, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kurve der ersten Spiralfeder (3) und die Kurve der zweiten Spiralfeder (5) jeweils eine kontinuierlich variable Steigung umfassen und in Bezug auf eine Gerade (A), die parallel zu der ersten und zweiten Ebene und durch die Projektionsmittelebene (P) der Befestigung (4) verläuft, symmetrisch sind, wobei jede Kurve so ist, dass das Moment der Spirale n. Ordnung, das durch die folgende Gleichung definiert wird, im Wesentlichen null ist:
- 55

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

wobei:

- n eine ganze Zahl größer oder gleich null ist;
- $\vec{P}^{(n)}$ das Moment der Spirale n. Ordnung ist;
- L die Länge der Spirale ist;
- s^n die Bogenlänge entlang der Spirale mit der Potenz n. Ordnung darstellt;
- $\vec{x}(s)$ die Parametrierung der Spirale durch ihre Bogenlänge ist,

um die Bewegungen ihres Massenmittelpunkts bei ihrer Zusammenziehung und Ausdehnung zu reduzieren, und dadurch, dass jede Spiralfeder (3, 5) weiter wenigstens zwei Gegengewichte (8, 8', 9, 9') umfasst, um das Ungleichgewicht auszugleichen, das von der Masse der Befestigung (4) gebildet wird, und die Anisochronismus-Steigung der Spirale (1) zu personalisieren, wobei die wenigstens zwei Gegengewichte (8, 8', 9, 9') symmetrisch gemäß der gleichen Geraden (A) wie die Krümmungen sind, wobei sich zwei Gegengewichte (8, 8') neben der Befestigung (4) befinden und sich zwei andere Gegengewichte (9, 9') auf der gegenüberliegenden Seite der Befestigung (4) befinden, um das Ungleichgewicht zu minimieren.

2. Spirale (1) nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** jedes Gegengewicht (8, 8', 9, 9') im Wesentlichen H-förmig ist, wobei die parallelen Arme des H im Wesentlichen parallel zu der lokalen Krümmung der Spiralfeder (3, 5) verlaufen, zu der es gehört.
3. Spirale (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hauptstirnflächen (11, 12) der Befestigung (4) im Wesentlichen parallel zu der Symmetriegeraden (A) verlaufen.
4. Spirale (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die innere Windung (7) der zweiten Spiralfeder (5) eine Verschiebungsvorrichtung (13) umfasst, die angeordnet ist, um an einem Spiralklötzchen in der Ebene der zweiten Spiralfeder (5) befestigt zu werden.
5. Spirale (1) nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verschiebungsvorrichtung (13) ein Stück in Verlängerung (14) der inneren Windung (7) der zweiten Spiralfeder (5) umfasst, wobei das Stück steifer ist als die zweite Spiralfeder, um kein elastisches Drehmoment bereitzustellen.
6. Spirale (1) nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Stück in Verlängerung (14) mit der inneren Windung mithilfe eines Winkelstücks (15) verbunden ist, das im Wesentlichen U-förmig ist.
7. Spirale (1) nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Stück in Verlängerung (14) einstückig mit der zweiten Spiralfeder (5) ausgebildet ist.
8. Spirale (1) nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Stück in Verlängerung (14) durch eine Dicke steifer gemacht wird, die wenigstens drei Mal größer ist in Bezug auf jene der zweiten Spiralfeder.
9. Spirale (1) nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Stück (14) teilweise durchbrochen sein kann, um seine Masse zu verringern.
10. Spirale (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die innere Windung (6) der ersten Spiralfeder (3) eine Vergrößerungsvorrichtung (17) der Spiralrolle (10) in der Ebene der ersten Spiralfeder (3) umfasst.
11. Spirale (1) nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vergrößerungsvorrichtung (17) einen Wulst (18) umfasst, der die innere Windung (6) der ersten Spiralfeder (3) verlängert, wobei der Wulst steifer ist als die erste Spiralfeder, um kein elastisches Drehmoment bereitzustellen.
12. Spirale (1) nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wulst (18) im Wesentlichen U-förmig ist.

13. Spirale (1) nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wulst (18) einstückig mit der ersten Spiralfeder (3) ausgebildet ist.
14. Spirale (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie aus Silizium gebildet ist.
15. Spirale (1) nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie wenigstens einen mit Siliziumdioxid bedeckten Teil umfasst, um ihre Empfindlichkeit gegenüber Temperaturschwankungen und mechanischen Stößen zu beschränken.
16. Resonator für ein Teil für die Uhrmacherei, umfassend eine Spirale (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche und eine Unruh, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Unruh mit der Spirale (1) zusammenwirkt.

Claims

1. Balance spring (1) including a first hairspring (3), the curve of which extends in a first plane and the inner coil (6) of which includes a collet (10), a second hairspring (5), the curve of which extends in a second plane parallel to the first plane, an attachment member (4) securing the outer coil of the first hairspring (3) to the outer coil of the second hairspring (5) so as to form a dual balance spring (1) in series, **characterised in that** the curve of the first hairspring (3) and the curve of the second hairspring (5) each have a continuously variable pitch and are symmetrical relative to a straight line (A) parallel to the first and second planes and passing through the median plane of projection (P) of the attachment member (4), each curve being such that the moment of the balance spring of order n defined by the following relation is substantially zero:

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

where:

- n is an integer greater than or equal to zero;
- $\vec{P}^{(n)}$ is the moment of the balance spring of 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 parameterisation of the balance spring by the curvilinear abscissa thereof.

so as to reduce the displacements of the centre of mass thereof during contraction and expansion and **in that** each hairspring (3, 5) further includes at least two counterweights (8, 8', 9, 9') so as to compensate for the unbalance formed by the mass of the attachment member (4) and personalise the anisochronism slope of the balance spring (1), said at least two counterweights (8, 8', 9, 9') being symmetrical along said same straight line (A) as the curves, two counterweights (8, 8') being located beside the attachment member (4) and two other counterweights (9, 9') being located on the side opposite the attachment member (4) so as to minimise the unbalance.

2. Balance spring (1) according to the preceding claim, **characterised in that** each counterweight (8', 8', 9, 9') is substantially H-shaped, the parallel arms of the H being substantially parallel to the local curvature of the hairspring (3, 5) with which said counterweight is associated.
3. Balance spring (1) according to any of the preceding claims, **characterised in that** the main faces (11, 12) of the attachment member (4) are substantially parallel to said line of symmetry (A).
4. Balance spring (1) according to any of the preceding claims, **characterised in that** the inner coil (7) of the second hairspring (5) includes a shifting device (13) arranged to be attached to a balance spring stud in the plane of the second hairspring (5).
5. Balance spring (1) according to the preceding claim, **characterised in that** the shifting device (13) comprises a piece (14) extending from the inner coil (7) of the second hairspring (5), said piece being more rigid than said second hairspring to avoid providing elastic torque.

6. Balance spring (1) according to the preceding claim, **characterised in that** the extension piece (14) is connected to the inner coil via a substantially U-shaped bend (15).
- 5 7. Balance spring (1) according to claim 5 or 6, **characterised in that** the extension piece (14) is integral with the second hairspring (5).
8. Balance spring (1) according to any of claims 5 to 7, **characterised in that** the extension piece (14) is made more rigid by a thickness that is at least three times greater than that of said second hairspring.
- 10 9. Balance spring (1) according to any of claims 5 to 8, **characterised in that** the piece (14) may be pierced to reduce the mass thereof.
- 15 10. Balance spring (1) according to any of the preceding claims, **characterised in that** the inner coil (6) of the first hairspring (3) includes a device (17) for enlarging the collet (10) in the plane of the first hairspring (3).
11. Balance spring (1) according to the preceding claim, **characterised in that** the enlarging device (17) includes a flange (18) extending the inner coil (6) of the first hairspring (3), said flange being more rigid than said first hairspring to avoid providing any elastic torque.
- 20 12. Balance spring (1) according to the preceding claim, **characterised in that** the flange (18) is substantially U-shaped.
13. Balance spring (1) according to claim 11 or 12, **characterised in that** the flange (18) is integral with the first hairspring (3).
- 25 14. Balance spring (1) according to any of the preceding claims, **characterised in that** it is formed from silicon.
15. Balance spring (1) according to the preceding claim, **characterised 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.
- 30 16. Resonator for a timepiece including a balance spring (1) according to any one of the preceding claims and a balance, **characterised in that** the balance cooperates with said balance spring (1).

Fig. 1

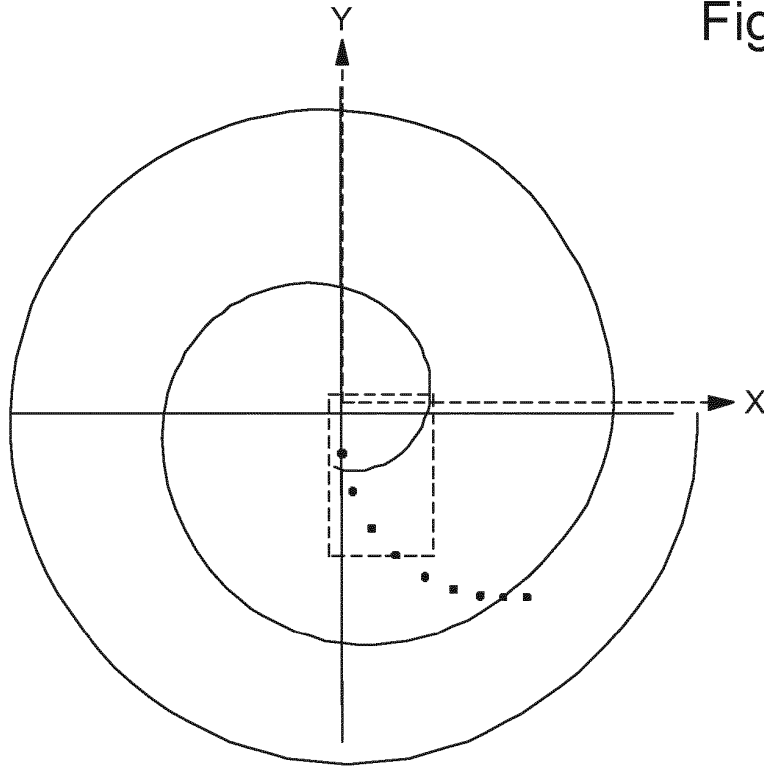
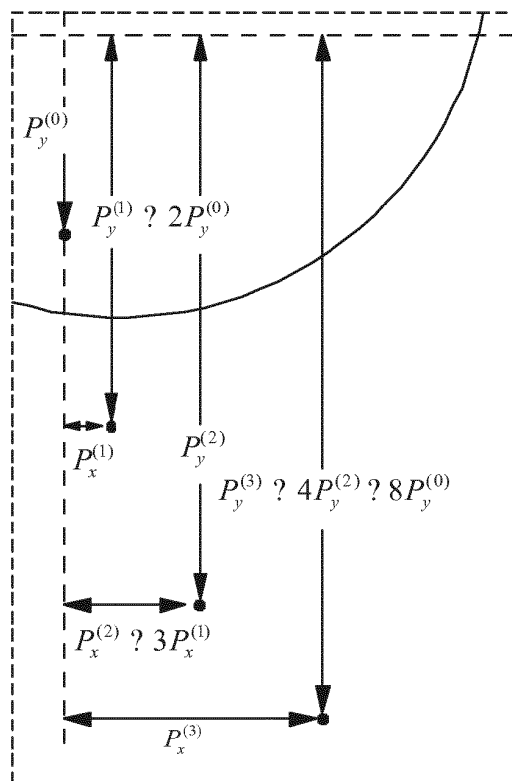


Fig. 2



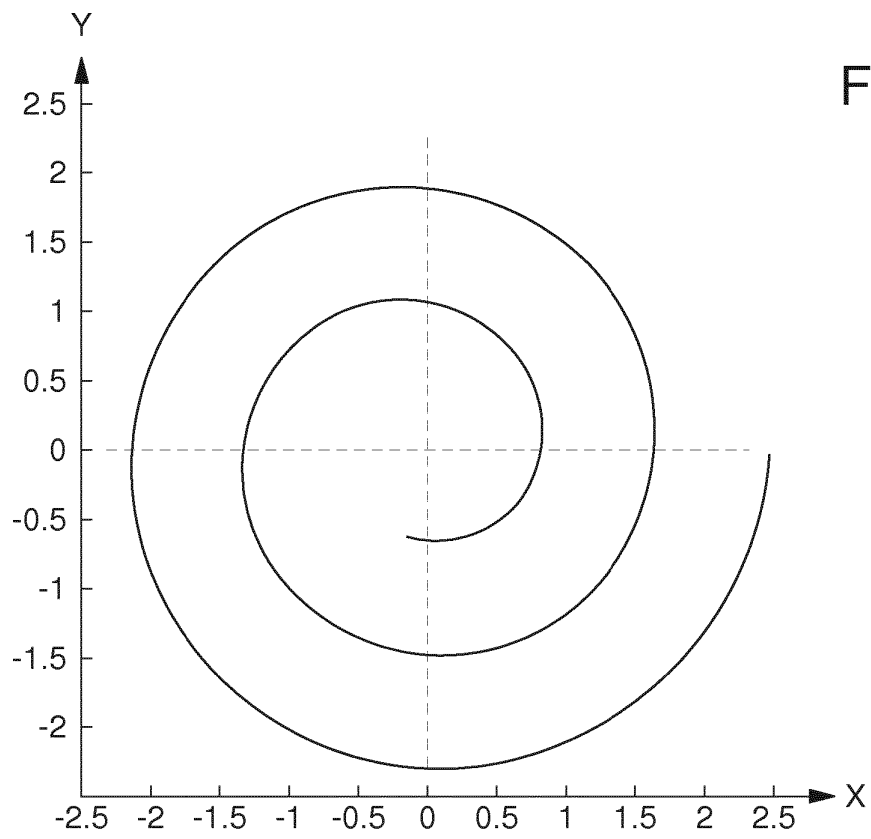


Fig. 3

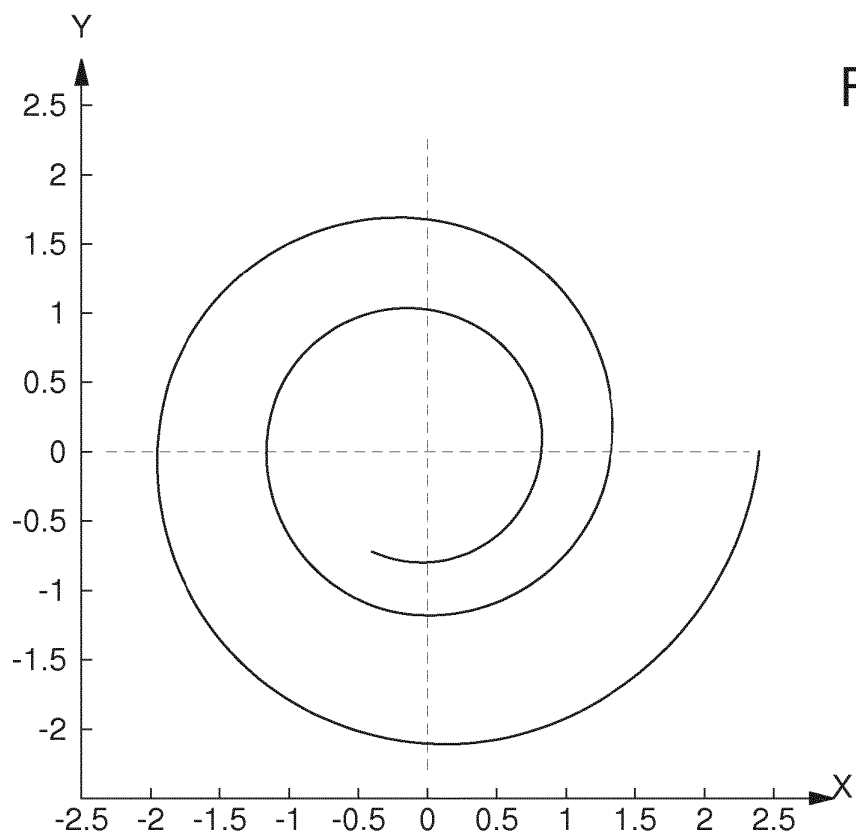


Fig. 4

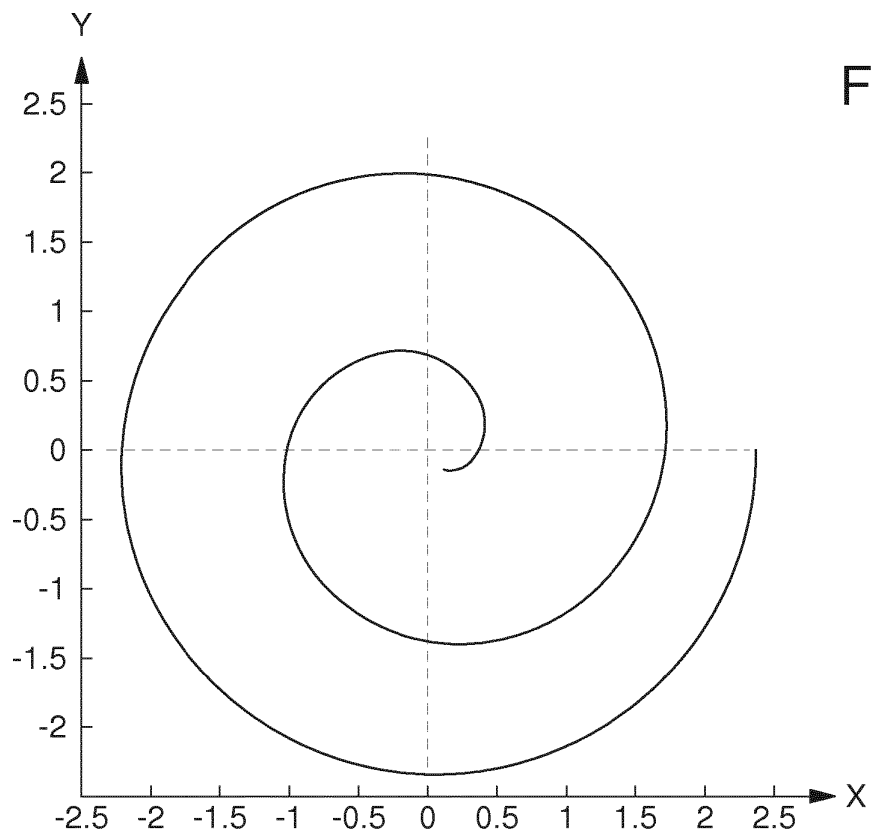


Fig. 5

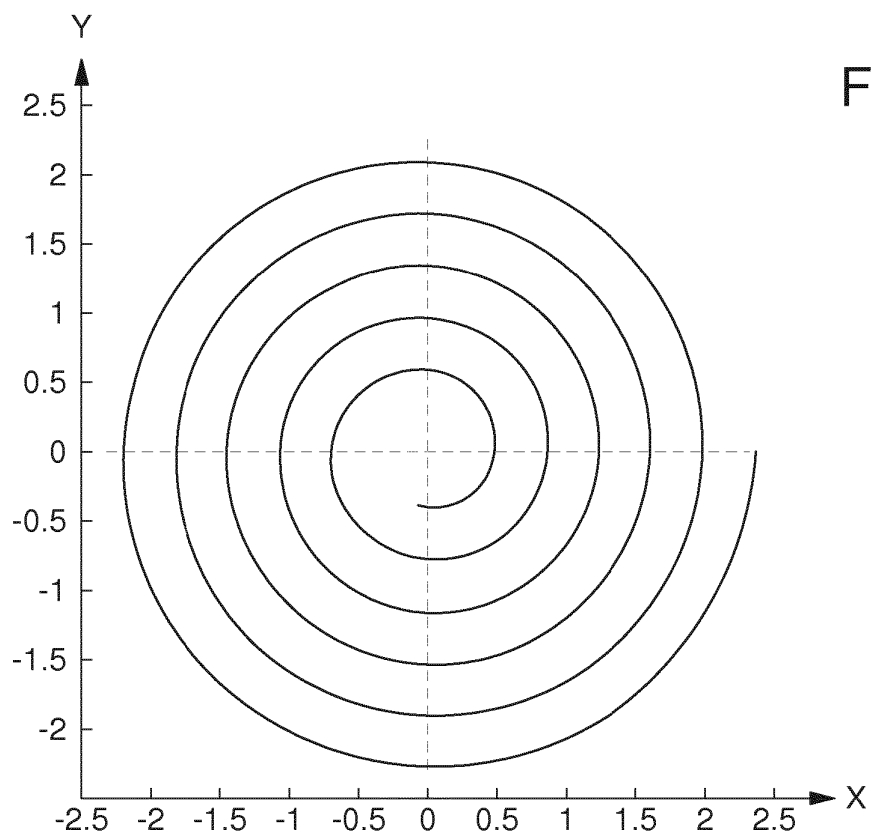


Fig. 6

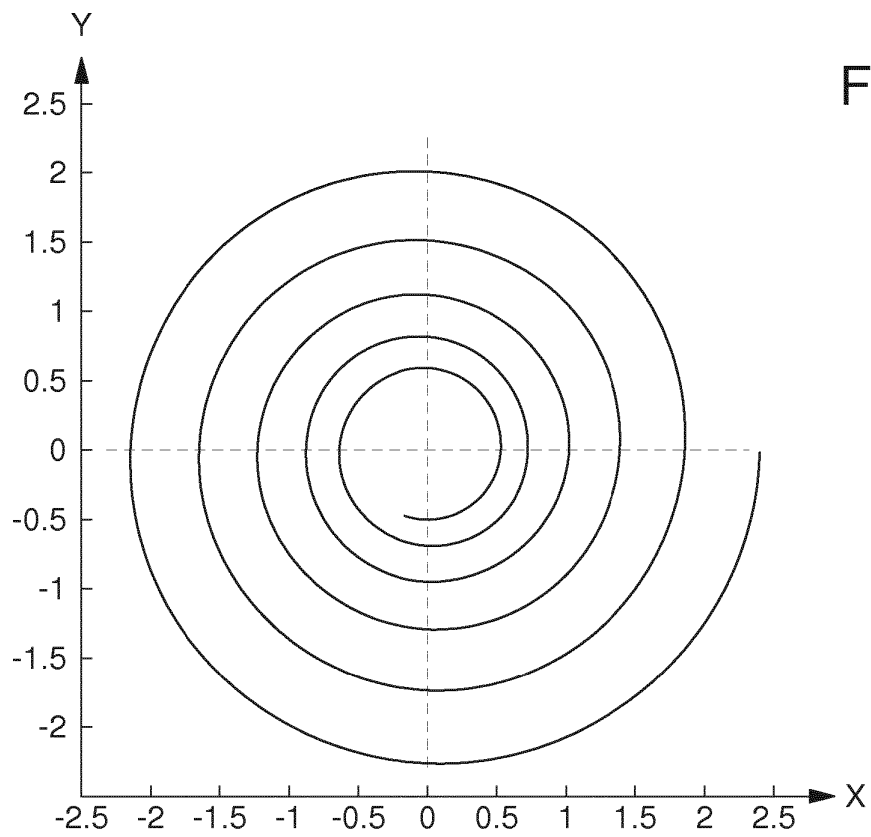


Fig. 7

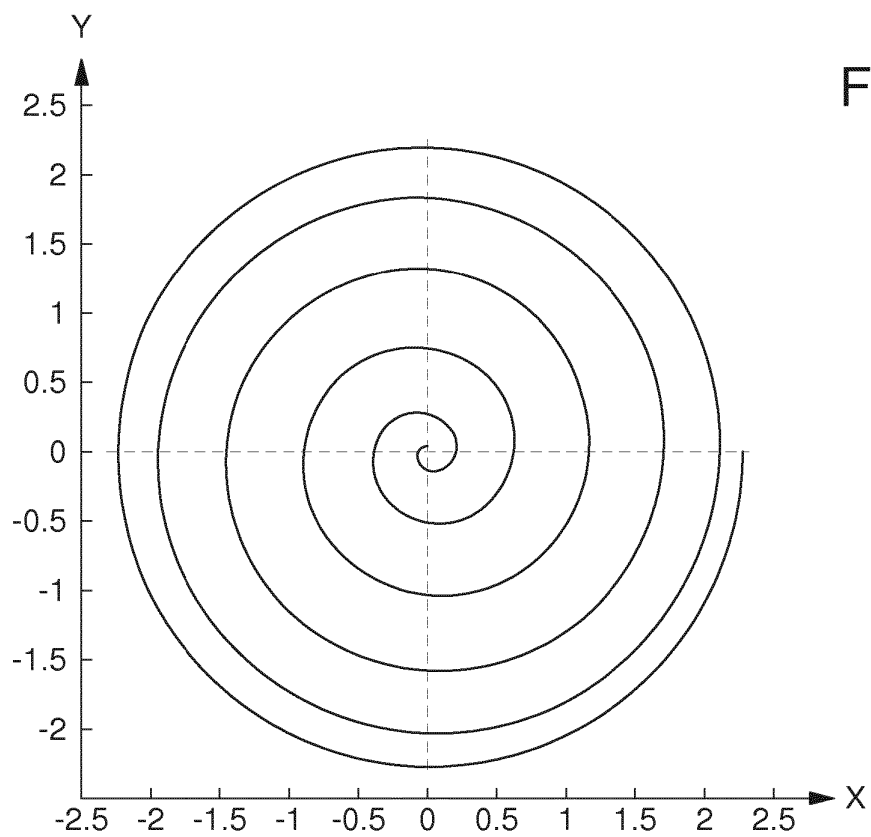


Fig. 8

Fig. 9

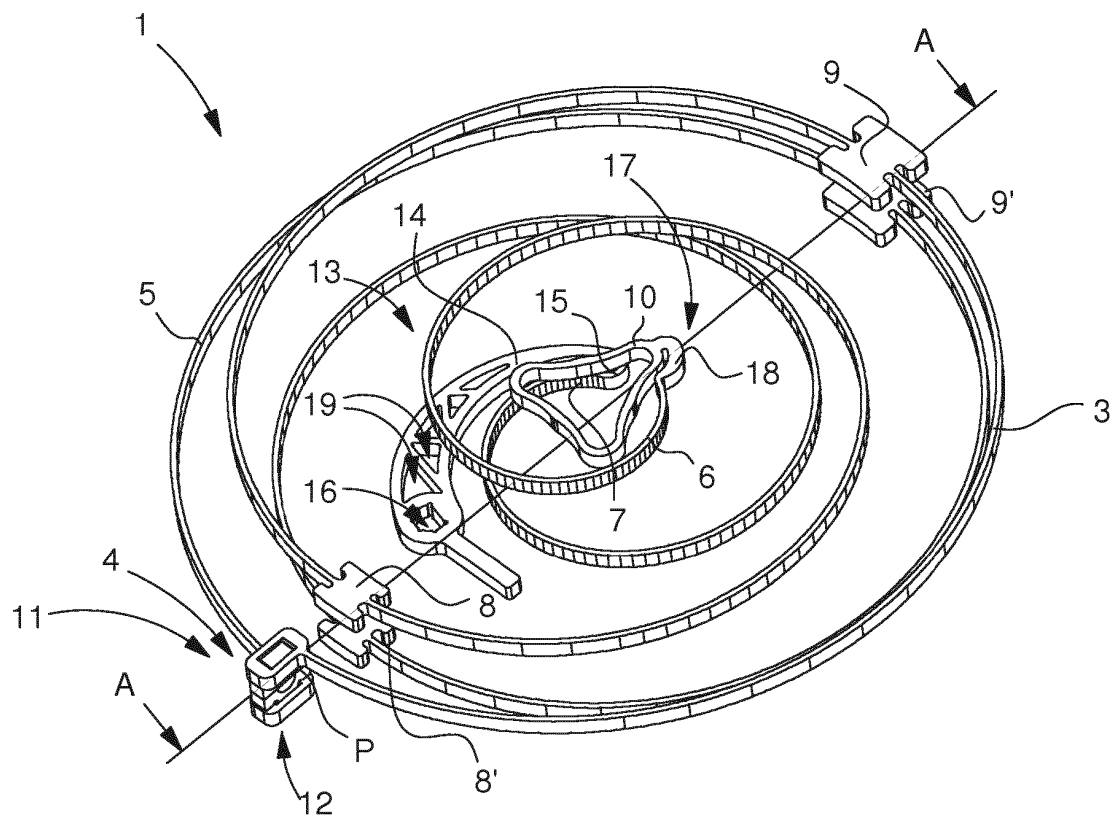


Fig. 10

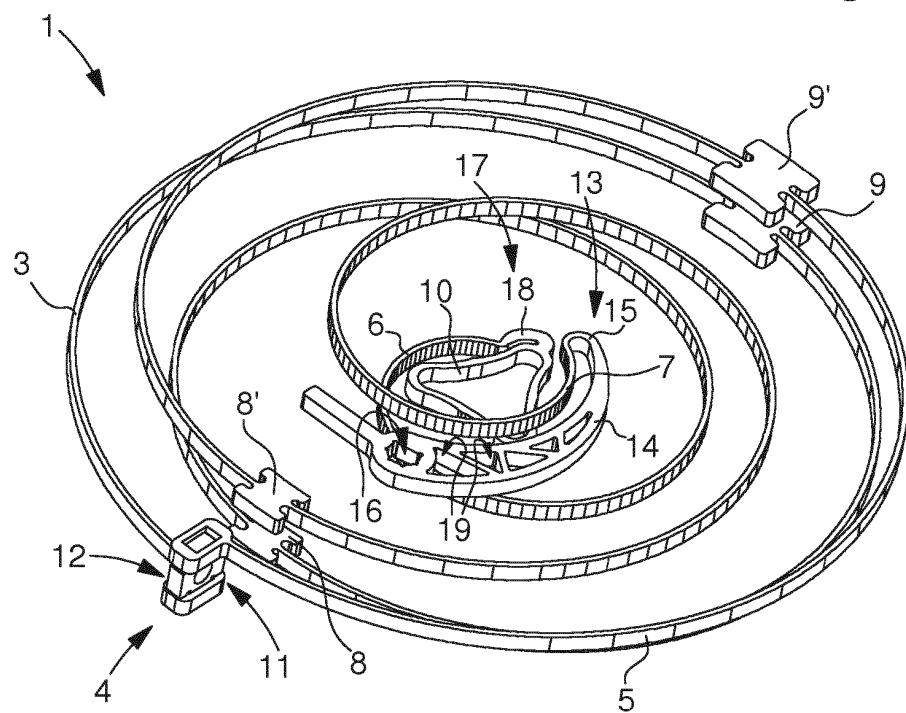
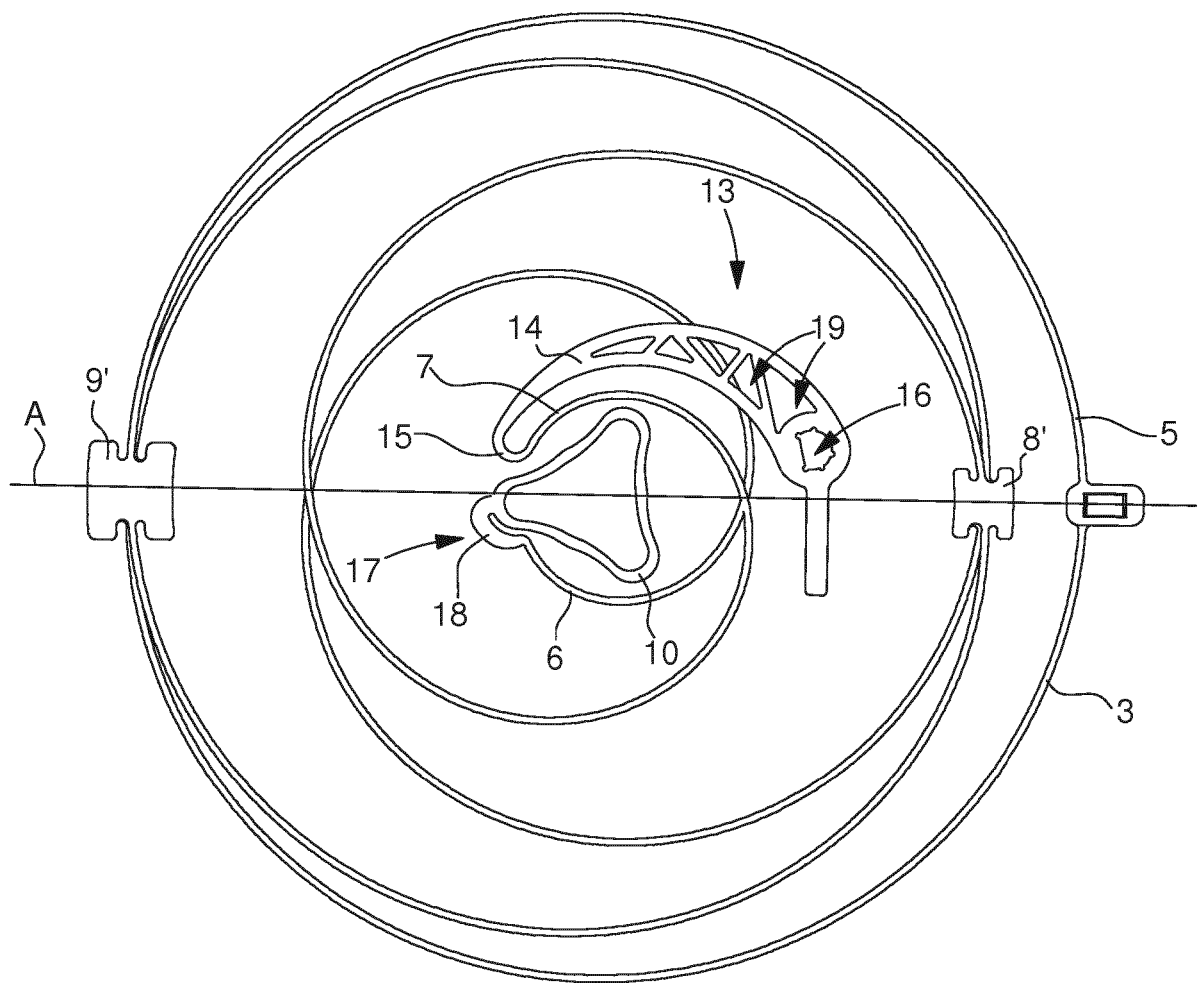


Fig. 11



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] [0018] [0025]
- EP 2196867 A [0002] [0018]
- EP 2105807 A [0002] [0018]