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

(11) **EP 2 405 312 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

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

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

(21) Numéro de dépôt: **10169068.3**

(22) Date de dépôt: **09.07.2010**

(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 SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME RS

(71) Demandeur: **Montres Breguet S.A.**
1344 L'Abbaye (CH)

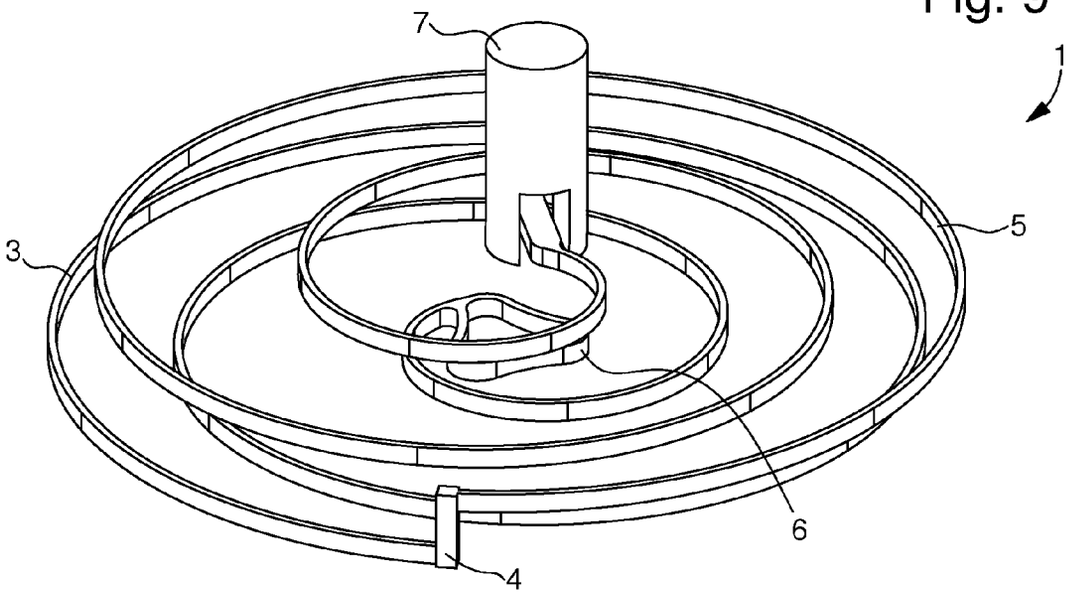
(72) Inventeurs:
- **Helfer, Jean-Luc**
  2502, Bienne (CH)
- **Trümpy, Kaspar**
  4500, Soleures (CH)

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

(54) **Spiral de balancier à deux niveaux et à centre de masse immobile**

(57) Spiral (1,1') pour résonateur du type balancier-spiral 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 un spiral (1,1') double en série. La courbe du premier ressort-spiral (3,3') et la courbe du deuxième ressort-spiral (5,5') comportent chacune un pas continûment variable et sont symétriques par rapport à une droite parallèle aux premier et deuxième plans passant par le plan médian de projection de l'attache (4,4') et en ce que chaque courbe respecte les relations : $P_x^{(0)} = 0$ et $P_y^{(1)} = 2P_y^{(0)}$
afin de réduire les déplacements de son centre de masse lors de ses contraction et expansion.

Fig. 9



EP 2 405 312 A1

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 08 168453, EP 08 171694 et EP 08 153598 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. Ces documents sont incorporés par référence à la présente description.

[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 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 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 passant par le plan médian de projection de l'attache et en ce que 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 :

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

- et, éventuellement :

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

- 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 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 13 et 14.

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 08 168453, EP 08 171694 et EP 08 153598 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 :

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

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

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

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

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

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

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

[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 11 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 08 168453, l'attache peut devenir une masse non négligeable et considérablement amplifier l'anisochronisme comme visible à la figure 12 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 13 et 14. 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 15.

[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') 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 un spiral (1, 1') double en série **caractérisé en ce que** la courbe du premier ressort-spiral (3, 3') et la courbe du deuxième ressort-spiral (5, 5') comportent chacune un pas continûment variable et sont symétriques par rapport à une droite parallèle aux premier et deuxième plans passant par le plan médian de projection de l'attache (4, 4') et **en ce que** 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.

Fig. 1

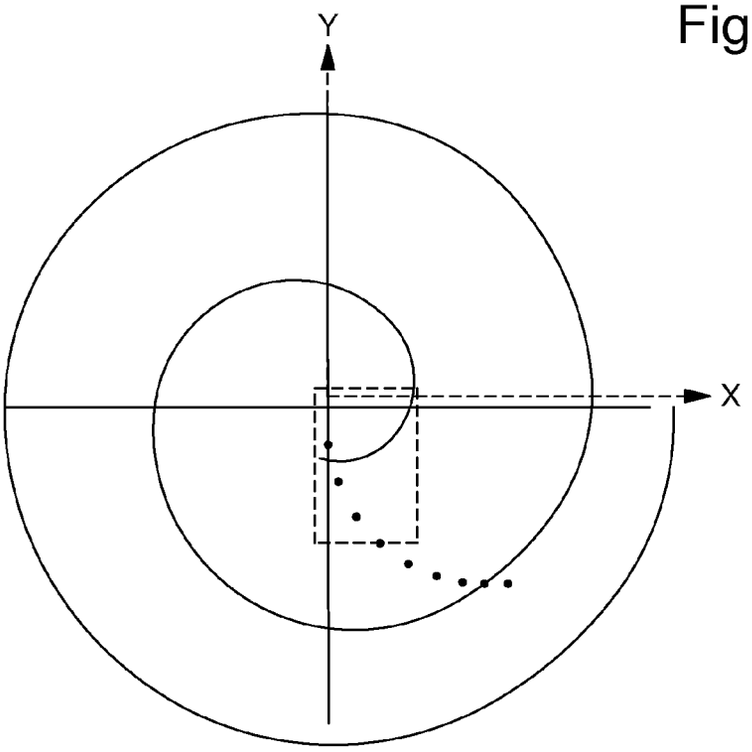
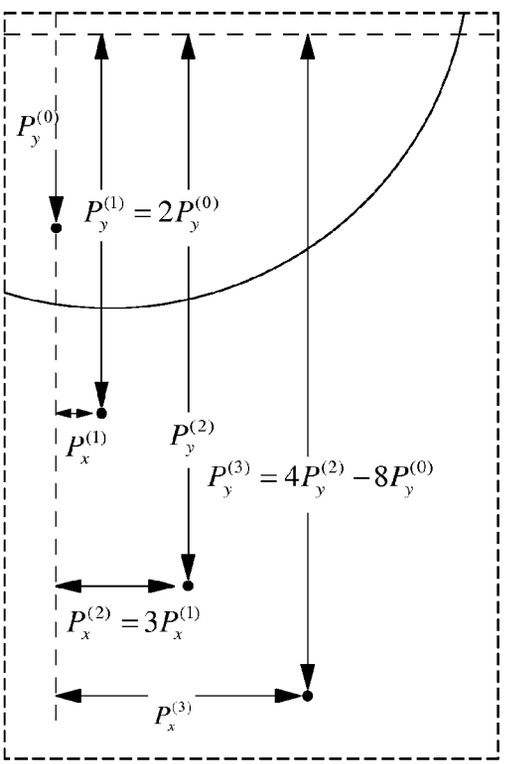


Fig. 2



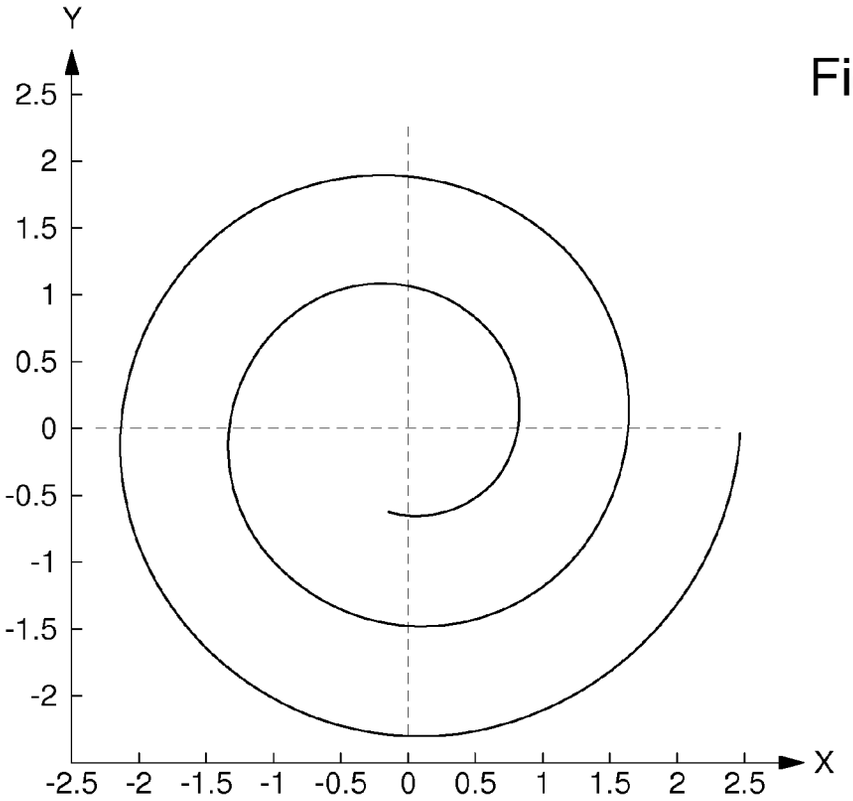

Y
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 2.5
X

Fig. 3

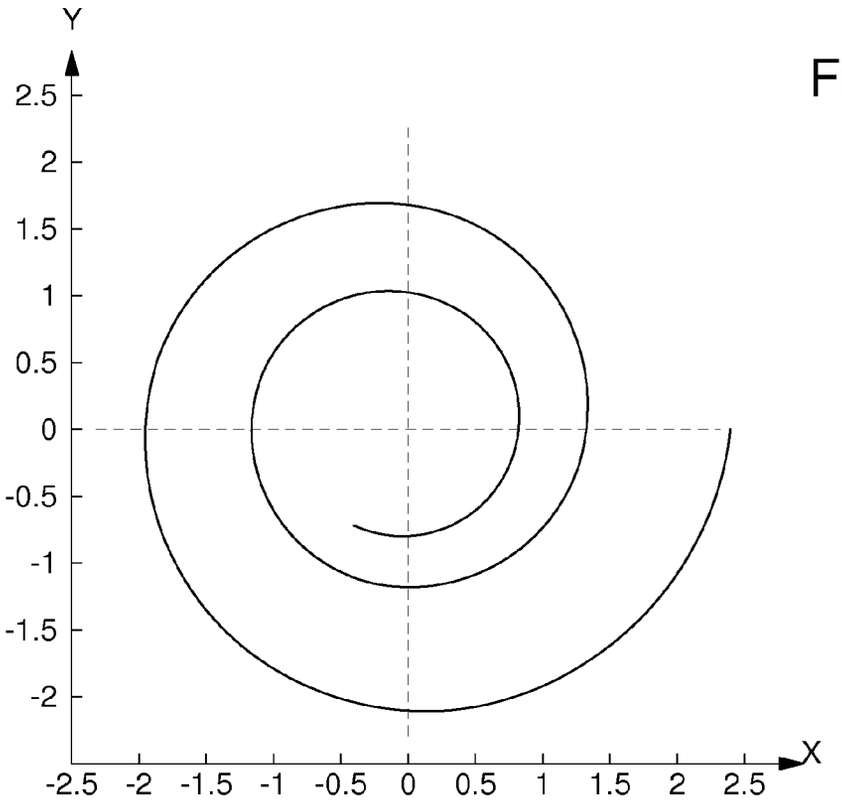

Y
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 2.5
X

Fig. 4

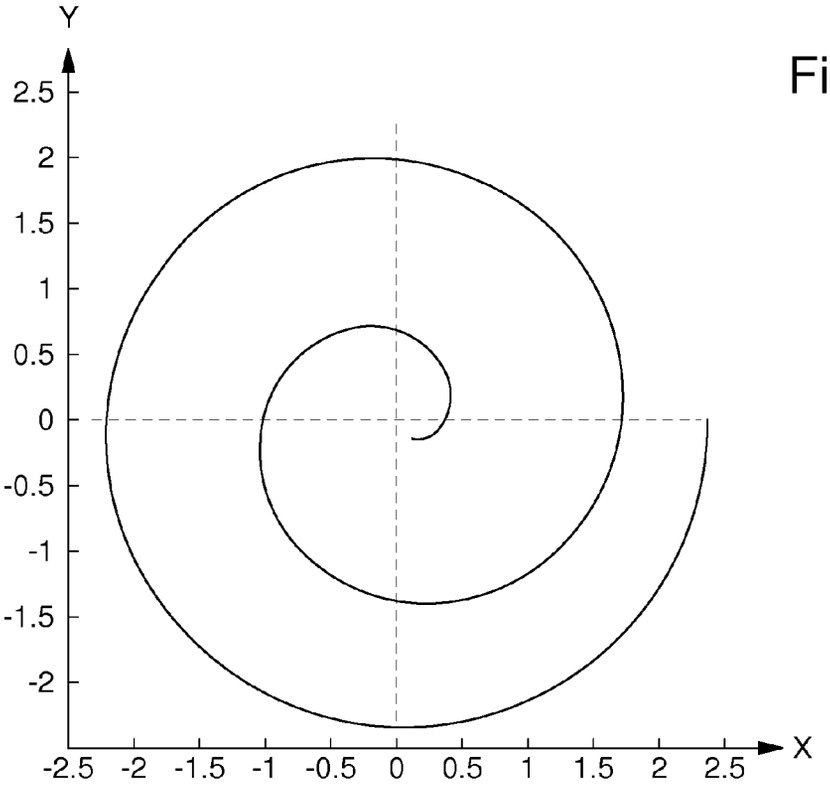

Y
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 2.5
X

Fig. 5

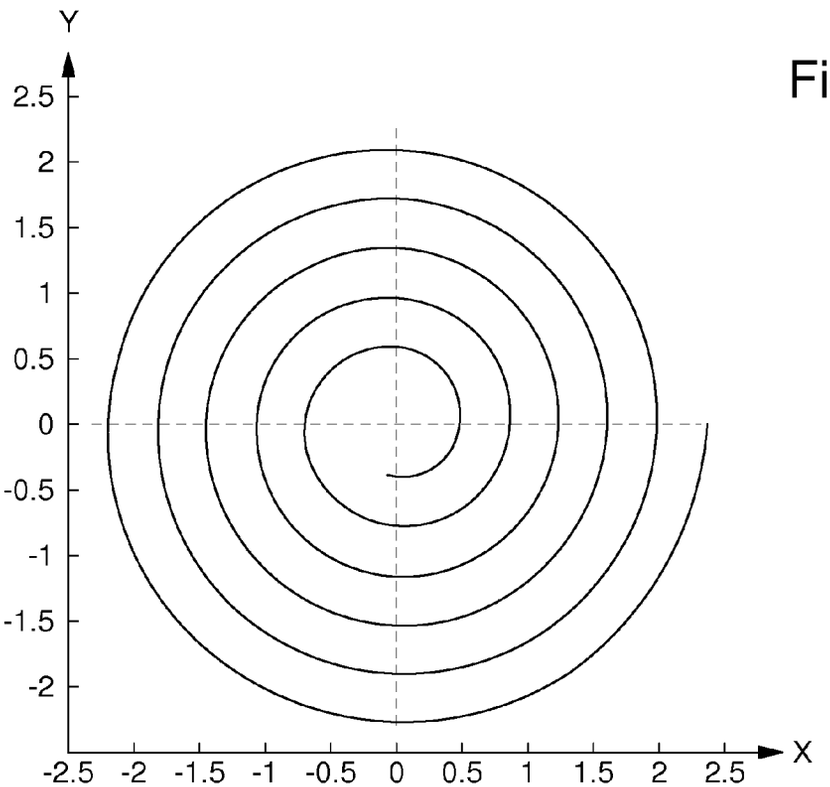

Y
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 2.5
X

Fig. 6

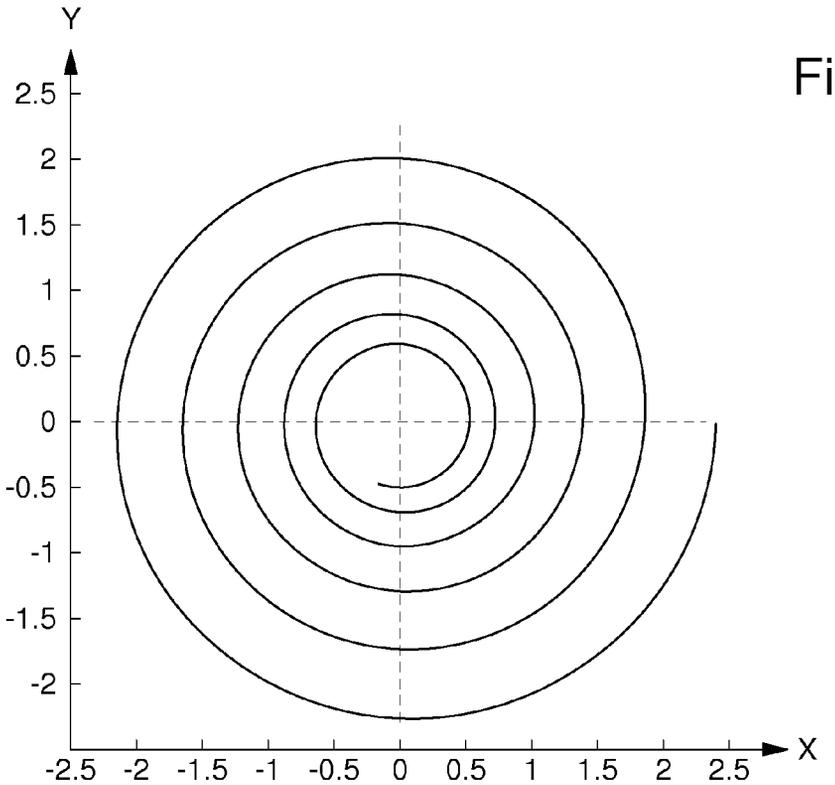

Y
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 2.5
X

Fig. 7

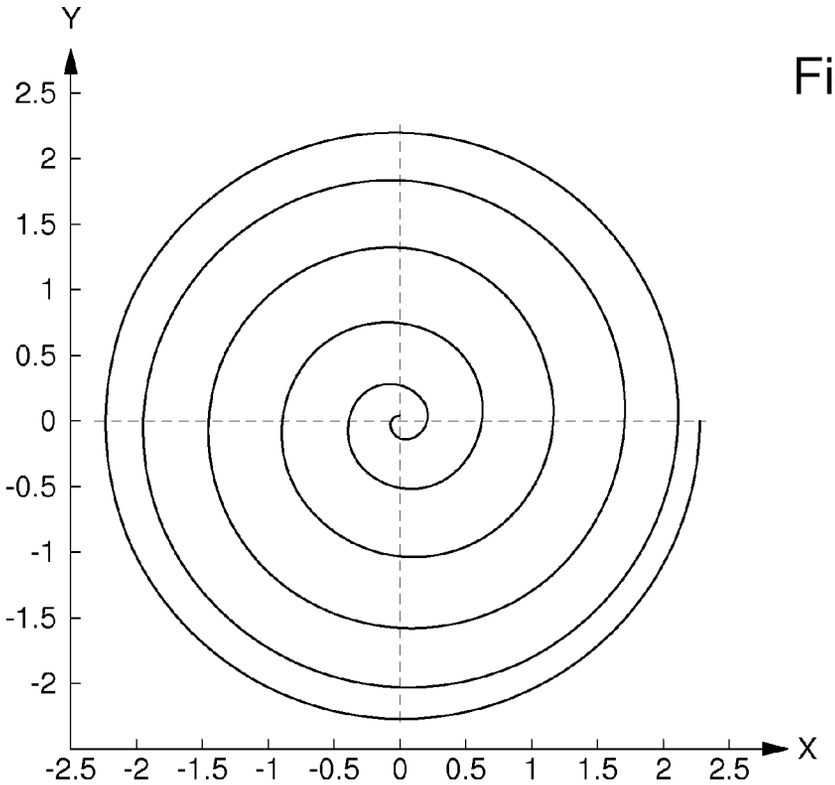

Y
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 2.5
X

Fig. 8

Fig. 9

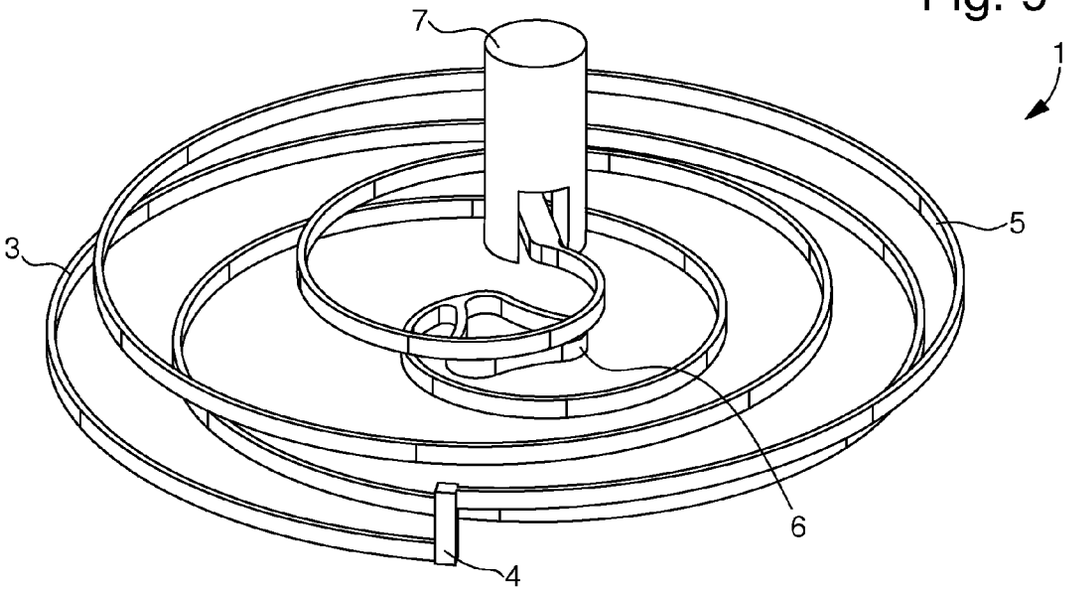


Fig. 10

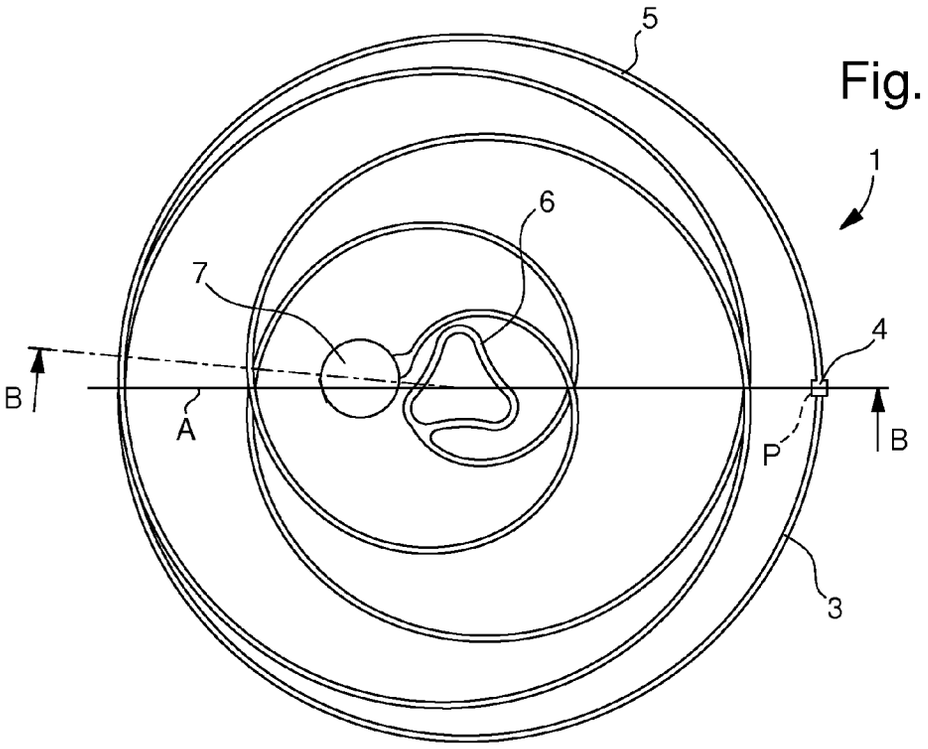
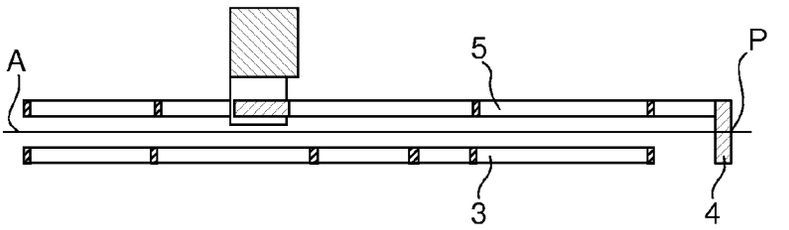


Fig. 11



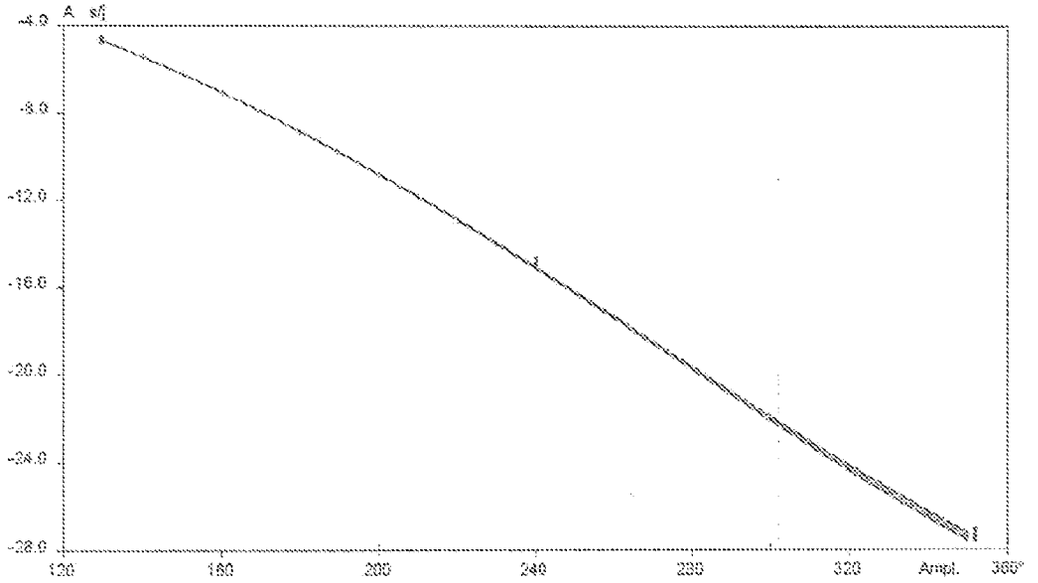

A s/j
-4.0
-8.0
-12.0
-16.0
-20.0
-24.0
-28.0
120
160
200
240
280
320
Ampl.
360°

Fig. 12

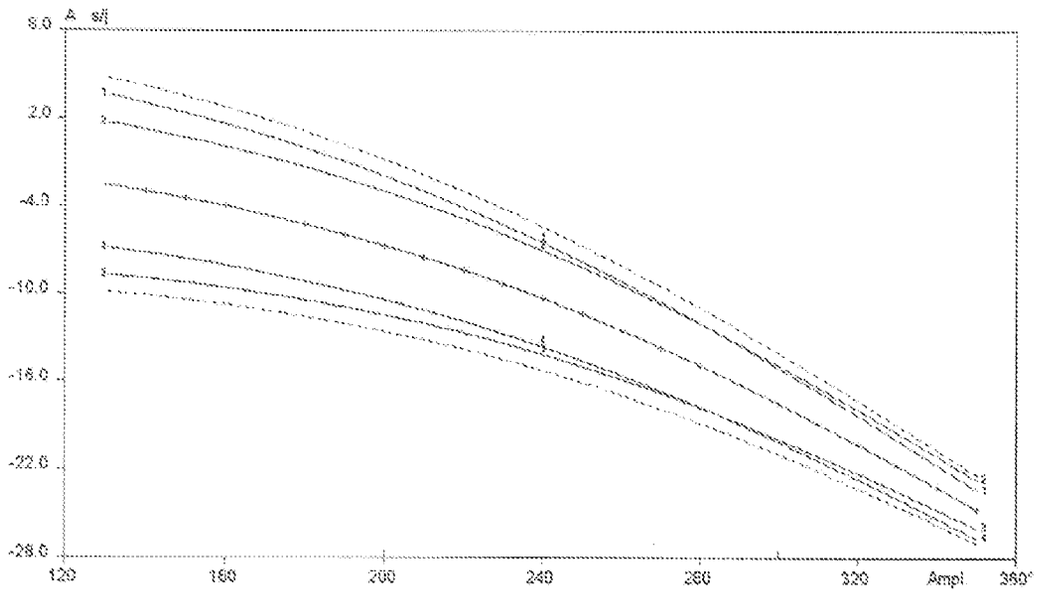

A s/j
8.0
2.0
-4.0
-10.0
-16.0
-22.0
-28.0
120
160
200
240
280
320
Ampl.
360°

Fig. 13

Fig. 14

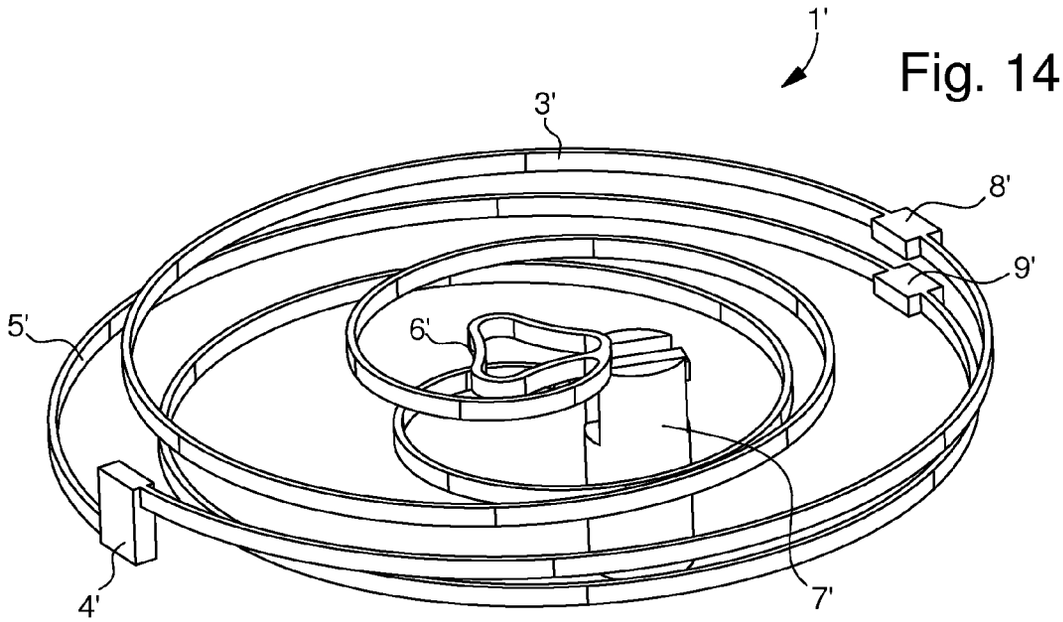
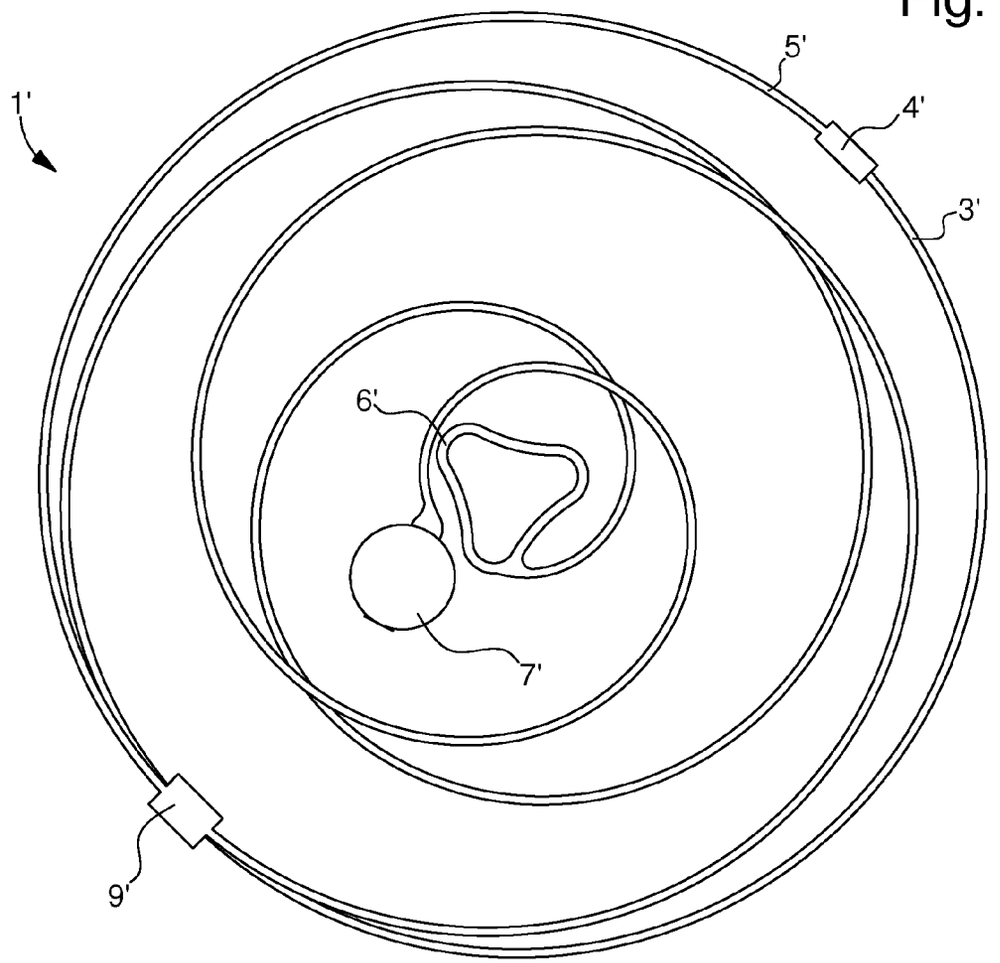


Fig. 15



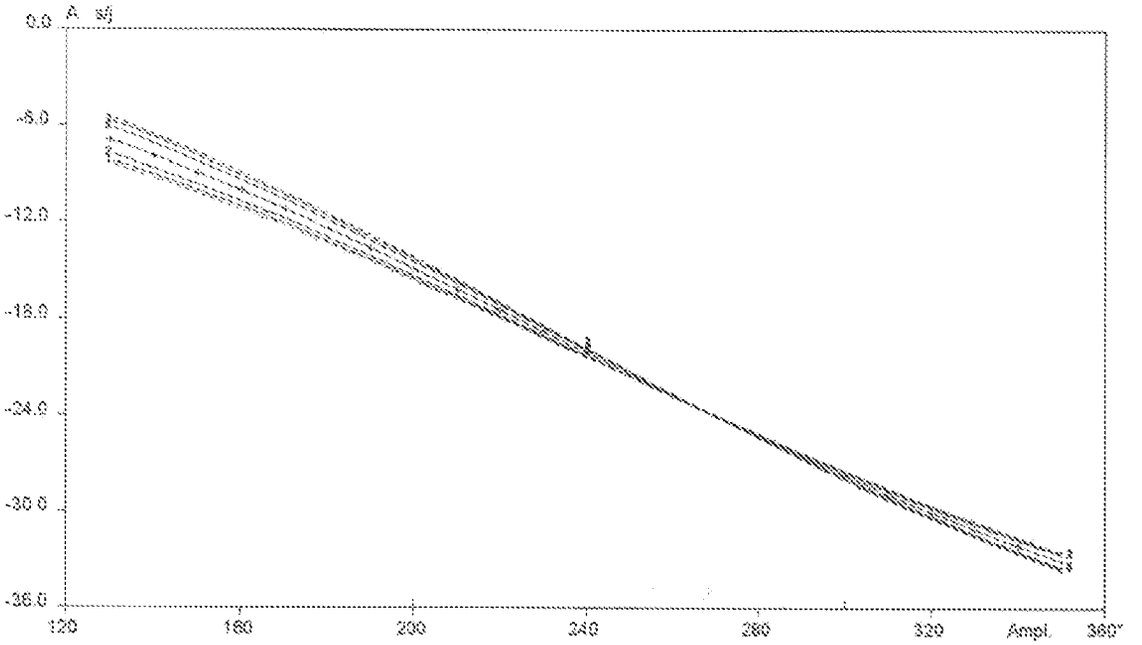


Fig. 16

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 10 16 9068

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A,D	EP 2 104 006 A1 (NIVAROX SA [CH]) 23 septembre 2009 (2009-09-23) * le document en entier * -----	1	INV. G04B17/06
A	EP 2 105 807 A1 (NIVAROX SA [CH]) 30 septembre 2009 (2009-09-30) * le document en entier * -----	1	

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)

G04B

Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications

Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
La Haye	5 janvier 2011	Lupo, Angelo

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

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

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

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO. EP 10 16 9068

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 members 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.

05-01-2011

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2104006 A1	23-09-2009	AT 474250 T	15-07-2010
		CN 101539754 A	23-09-2009
		JP 2009229463 A	08-10-2009
		KR 20090101118 A	24-09-2009
		SG 155864 A1	29-10-2009
		US 2009236782 A1	24-09-2009
EP 2105807 A1	30-09-2009	CN 101550978 A	07-10-2009
		JP 2009244266 A	22-10-2009
		SG 155873 A1	29-10-2009
		US 2009245030 A1	01-10-2009

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 08168453 A **[0002] [0016] [0023]**
- EP 08171694 A **[0002] [0016]**
- EP 08153598 A **[0002] [0016]**