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

(11) **EP 2 546 705 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
06.09.2017 Bulletin 2017/36

(51) Int Cl.:
G04B 17/06 *(2006.01)* ***G04B 17/22*** *(2006.01)*

(21) Numéro de dépôt: **12175239.8**

(22) Date de dépôt: **06.07.2012**

(54) **Méthode de fabrication d'un spiral d'horlogerie**

Verfahren zur Herstellung eines Spiralfeders für Uhren

Method for manufacturing an horological hairsping

(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: **14.07.2011 CH 11782011**

(43) Date de publication de la demande:
16.01.2013 Bulletin 2013/03

(73) Titulaire: **Breitling AG**
2540 Grenchen (CH)

(72) Inventeurs:
- **Thomas, Sébastien**
  1400 Yverdon-Les-Bains (CH)
- **Huot-Marchand, Sylvain**
  2400 Le Locle (CH)

(74) Mandataire: **Gevers SA**
Rue des Noyers 11
2000 Neuchâtel (CH)

(56) Documents cités:
EP-A1- 1 473 604
EP-A1- 1 515 200
EP-A1- 2 017 681
DE-A1-102009 048 733
US-A- 3 154 912

- **SHELDON P. GORDON: "Taylor Polynomial Approximations in Polar Coordinates", THE COLLEGE MATHEMATICS JOURNAL, vol. 24, no. 4, 4 septembre 1993 (1993-09-04), pages 325-330, XP002667230,**
- **PERUCCHI M N: "Problèmes concernant le spiral, rôle de petites déformations", 19660101; 19660000, 1 January 1966 (1966-01-01), pages 344-347, XP001219046,**

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 2 546 705 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Description

Domaine technique

[0001] La présente invention se rapporte au domaine de l'horlogerie mécanique. Elle concerne, plus particulièrement, une méthode fabrication d'un spiral d'un organe réglant horloger, comprenant des étapes particulières de détermination de la géométrie du spiral. Par géométrie du spiral, on définit la forme du spiral, particulièrement la forme de ses spires dans le plan du spiral.

Etat de la technique

[0002] En théorie, le centre de gravité d'un spiral coïncide avec son centre géométrique. En pratique, les spiraux utilisés dans l'horlogerie ne présentent qu'une portion de spirale d'Archimède, celle-ci jouxtant, au centre, une courbe centrale se terminant sur une virole et, à l'extérieur, une courbe extérieure présentant différents profils. Ainsi, on sait que les spires d'un spiral plan se déforment de façon excentrique lorsque le spiral travaille, du fait que le centre de gravité du spiral ne correspond pas initialement au centre de rotation du balancier-spiral et/ou en raison du déplacement du centre de gravité lors des expansions/contractions du spiral. Cet excentricité perturbe le réglage du balancier-spiral et rend ce dernier anisochrone.

[0003] Plusieurs solutions différentes ont été proposées pour maintenir les centres de gravité et de rotation confondus pendant le travail d'un spiral plan et ainsi rendre les déformations des spires concentriques. Parmi ces solutions, on a notamment :

- le spiral Breguet à courbe dite de Philips, dans lequel une courbe extérieure est ramenée dans un second plan par dessus le spiral plan ;
- le spiral à cornière exposé en 1958 par MM. Emile et Gaston Michel dans l'article « Spiraux plats concentriques sans courbes » publié par la Société Suisse de Chronométrie (BE526689A et CH327796A).

[0004] La première solution revient à modifier un spiral plan initial en un spiral s'étendant dans plusieurs plans. Cette solution, dont le document EP 2 017 681 A1 propose un exemple, n'entre pas dans le cadre de la présente invention qui ne s'intéresse qu'aux spiraux plans.

[0005] La seconde solution consiste à rigidifier une portion de spire déterminée en lui donnant la forme d'une cornière. Cette cornière est située soit sur la spire extérieure, soit sur une spire centrale. L'idée d'avoir une portion de rigidification sur la spire extérieure a été reprise dans le document EP1473604, qui propose une portion rigidifiée se terminant avant l'extrémité extérieure du spiral. Particulièrement, ce document propose un spiral dans lequel on a un écart suffisant entre la dernière spire et l'avant dernière spire, pour que l'avant dernière spire reste libre radialement lors des expansions du spiral. Ce document explique, en outre, comment on modélise et on détermine la forme de cette portion de rigidification.

[0006] Ainsi, ce document confirme, à l'instar de l'essentiel des autres publications connues de l'état de la technique, que l'homme du métier a toujours considéré qu'un spiral est un assemblage de trois parties : une partie centrale, une partie spiralée et partie extérieure.

[0007] Toutefois, de l'avis des auteurs de cette solution, si un renfort central apporte une nette amélioration en terme d'isochronisme du balancier-spiral, le renfort sur spire extérieure, lui, ne donne pas satisfaction.

[0008] La présente invention vise à améliorer l'isochronisme d'un balancier-spiral du type proposé ci-dessus.

Divulgation de l'invention

[0009] A cette fin, l'invention propose une méthode de fabrication d'un organe de régulation tel que défini dans la revendication 1 annexée, des modes de réalisation particuliers étant définis dans les revendications dépendantes 2 à 5.

[0010] La présente invention propose une approche totalement différente et novatrice en vue de déterminer une géométrie d'un spiral permettant de faire coïncider le centre géométrique d'un spiral et son centre de gravité, particulièrement lors de ses expansions.

Brève description des dessins

[0011] D'autres détails de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit, faite en référence au dessin annexé dans lequel :

- la figure 1 montre des courbes représentant le rayon d'un spiral selon l'invention et selon l'état de la technique, en fonction de l'angle θ du spiral, depuis la virole,

- la figure 2 montre deux des trois approches décrites ci-après du calcul de l'épaisseur du spiral en fonction de l'angle θ du spiral, et
- les figures 3 et 4 représentent le comportement de spiraux obtenus selon l'invention, et
- la figure 5 représente la moyenne de l'isochronisme mesuré selon les six positions standards, respectivement pour un spiral selon l'invention et un spiral de l'état de la technique, et
- les figures 6 et 7 illustrent des résultats comparatifs, obtenus par simulations, entre un spiral de l'état de la technique et le spiral de la figure 3, obtenu selon l'invention.

Mode(s) de réalisation de l'invention

[0012] Sur la figure 1, la courbe 1 réalisée en pointillé montre l'évolution du rayon d'un spiral conventionnel en fonction de l'angle θ du spiral, depuis la virole. On peut constater les trois zones distinctes que comporte le spiral, évoquées dans l'introduction ci-dessus. Au début de la courbe, le spiral ne démarre pas avec un rayon nul, en raison de son attache sur la virole. Ce point caractéristique constitué par l'attache à la virole est représenté par la lettre A. Le point A trouve également à s'appliquer pour un spiral doté d'une virole intégrée, le point A étant alors, plus précisément, le point de liaison entre la partie spiralée et la virole. Puis, on a la partie en spiral, qui se termine au point B, qui est le point de l'avant-dernière spire situé en regard du piton. Le piton est l'organe de fixation de la spire extérieure du spiral. Généralement, cette partie en spirale s'arrête pour un angle θ_{max} - 2π, laissant ainsi un tour complet à la dernière spire. θ_{max} définit l'angle du spiral, au piton. La position radiale du point B est déterminée de manière à ce que, lors de l'expansion maximale du spiral, l'avant-dernière spire ne vienne pas toucher le piton. La position radiale du point B est donc définie par la position et la géométrie du piton. Enfin, les rayons de la troisième partie de la courbe, qui se termine en C, sont également définis par la position et la géométrie du piton et celle du balancier, le point C définissant le point d'attache du spiral. Ainsi, les points A, B et C sont fixés par la position et la géométrie des organes et éléments d'attache du spiral, en général, la virole et le piton. La courbe présente deux cassures, séparant les trois parties qui sont donc discontinues, au sens mathématique du terme.

[0013] Sur la figure 1, on voit, à titre d'exemple, une courbe représentative de l'invention. En effet, l'idée particulièrement originale sur laquelle repose l'invention, consiste à définir au moins une fonction polynomiale continue caractérisant l'ensemble du spiral, c'est-à-dire caractérisant toute la longueur du spiral, de la jonction avec la virole à θ_0 jusqu'au piton à θ_{max}. Selon cet exemple, il s'agit d'exprimer le rayon du spiral selon une fonction polynomiale du type :

$$R_s(\theta) = a_i\theta^i + \ldots + a_2\theta^2 + a_1\theta + a_0 \quad avec \quad i > 3 \qquad (1)$$

avec

$R_s[m]$ Rayon du spiral
θ [*rad*] Angle du spiral à partir de la virole
a [-] Coefficient polynomial

[0014] Pour déterminer les coefficients du polynôme, on fixe que la courbe représentative de la fonction doit passer par les points A, B, C déterminés par la géométrie de l'organe réglant et par les contingences pratiques de l'attache du spiral. De préférence, on détermine deux autres points D et E, quelconques sur la courbe. A titre d'exemple, ils peuvent correspondre, respectivement, au point de cassure entre la première et la deuxième partie et au milieu du spiral. Le rayon et la position initiale de ces deux points sont susceptibles de varier.

[0015] Ainsi, en positionnant arbitrairement les points D et E, c'est-à-dire en faisant varier leur rayon à θ constant, on détermine des jeux de coefficients polynomiaux. La détermination de ces coefficients se fait par calculs mathématiques, de manière numérique ou analytique.

[0016] Pour chacun des jeux de paramètres, on simule ensuite le comportement élastique du spiral obtenu et on examine le déplacement du centre de gravité du spiral par rapport à son centre géométrique, lors des expansions et contractions. On examine simultanément les forces de réaction au pivot afin de les réduire. Par itérations successives, on détermine, au final, les jeux de paramètres qui permettent d'obtenir un spiral avec des propriétés ad-hoc.

[0017] Un polynôme de degré 4 permet déjà d'obtenir une courbe satisfaisante, c'est-à-dire avec un centre de gravité du spiral très voisin du centre de rotation du spiral, y compris pendant les expansions. Des polynômes de degrés supérieurs peuvent être également envisagés.

[0018] A partir de ce concept de base, la détermination des coefficients du polynôme peut être optimisée. Notamment et de manière préférée mais optionnelle, en raison de contraintes physiques et mécaniques sur le spiral, la détermination des coefficients se fait en respectant le ratio hs/es>F, avec F compris entre 1 et 10. h est la hauteur du spiral, c'est-à-

dire la dimension orthogonale au plan du spiral et e et l'épaisseur, c'est-à-dire la plus petite dimension dans le plan du spiral.

[0019] La détermination des coefficients peut également se faire en respectant le ratio pas/épaisseur suivant :

$$\frac{R(\theta+2\pi)-R(\theta)}{e(\theta)}>\alpha \qquad (2)$$

ou R(θ) est le rayon, e l'épaisseur du spiral
avec α[-] le ratio rayon-épaisseur minimum, compris entre 1 et 5 (bornes incluses).

[0020] Cette approche permet de caractériser l'entier de la longueur d'un spiral, tout en garantissant une continuité, c'est-à-dire sans cassure entre différentes fonctions. Cette démarche permet de faire tout type de forme ou de profil défini par une fonction polynomiale.

[0021] L'épaisseur est également un paramètre sur lequel on peut jouer pour agir sur le comportement du spiral. On définit ainsi une deuxième fonction caractérisant l'épaisseur du spiral sur toute la longueur du spiral. L'épaisseur peut être définie de manière polynomiale en fonction de l'angle θ par une fonction du type

$$e_s(\theta)=b_j\theta^j+\ldots+b_1\theta+b_0 \ \ avec\ j\geq 2 \qquad (3)$$

[0022] Le nombre de conditions limites pour définir les paramètres « b » de cette équation est défini parj+1.

[0023] La position initiale du centre de gravité d'un spiral dépendant uniquement de la variation du rayon en fonction de θ, un autre aspect de l'invention propose de compenser le décentrage du centre de gravité en utilisant la variation de l'épaisseur. De manière avantageuse, on propose de faire varier l'épaisseur de manière inversement proportionnelle au rayon en fonction de θ. On obtient alors une variation de l'épaisseur qui s'exprime comme suit (es sur la figure 2) :

$$e_s(\theta)=\left(\frac{es_{\theta max}-es_0}{R_0-R_{\theta max}}(R_0-R(\theta))\right)+es_0 \qquad (4)$$

[0024] Il est ainsi possible de faire coïncider le centre de gravité du spiral et son centre de rotation, au moins lorsque le spiral est au repos. On optimise ensuite les coefficients afin d'avoir un compromis idéal entre le centrage initial du centre de gravité et son déplacement lors de la contraction et de l'expansion du spiral.

[0025] Une variante de la méthode selon l'invention propose, pour déterminer l'épaisseur du spiral, de multiplier la fonction inverse à la fonction du rayon par une fonction exponentielle.

[0026] L'épaisseur est alors définie par les trois équations suivantes (eslog sur la figure 2) :

$$\beta=\frac{e^{\alpha\theta_{max}}}{(eslog_{\theta max}/es_{\theta max})-1} \qquad (5)$$

$$eslog(\theta)=\left(\frac{e^{\alpha\theta}}{\beta}+1\right)\left(\left(\frac{es_{\theta max}-eslog_0}{R_0-R_{\theta max}}(R_0-R(\theta))\right)+eslog_0\right) \qquad (6)$$

tout en garantissant que

$$es_{moy}=eslog_{moy} \qquad (7)$$

où $eslog_{moy}$ est l'épaisseur moyenne obtenue pour eslog(θ) avec θ compris entre θmin et θmax, et es_{moy} est l'épaisseur moyenne obtenue pour es(θ) (vu dans l'équation (4)) avec θ compris entre θmin et θmax,

[0027] Quelle que soit la modélisation choisie, lorsque le jeu de coefficients est déterminé, le déplacement du centre de gravité est ensuite calculé de manière numérique, typiquement par éléments finis. La diminution de ce déplacement

permet de réduire la force de réaction au pivot. Un plan d'expérience ou une optimisation est utilisé pour diminuer au mieux les déplacements du centre de gravité et/ou les variations de la force de réaction au pivot.

[0028] A titre d'exemple non limitatif, on peut fournir les résultats suivants qui ont été obtenus. Un premier exemple de spiral obtenu selon l'invention est illustré sur la figure 3. Le spiral proposé est défini par un polynôme de degré 4 tel que donné ci-dessus à l'équation (1) :

$$Rs(\theta) = a_4\,\theta^4 + a_3\,\theta^3 + a_2\,\theta^2 + a_1\,\theta + a_0$$

avec a4 = 2.89×10^{-10}
$a_3 = -3.24 \times 10^{-8}$
$a_2 = 1.01 \times 10^{-6}$
$a_1 = 2.00 \times 10^{-5}$
$a_0 = 5.50 \times 10^{-4}$

[0029] Sur la base de ces coefficients, la figure 3a montre le spiral obtenu en vue de dessus, la figure 3b montre les courbes d'épaisseur pour les courbes es et eslog telles que données ci-dessus, la figure 3c représente le rapport pas/épaisseur, tandis que la figure 3d représente les rayons intérieur et extérieur en fonction de θ, toujours en optimisant sur la base des équations données ci-dessus.

[0030] Un deuxième exemple de spiral obtenu selon l'invention est illustré sur la figure 4. Le spiral proposé est défini par un polynôme de degré 4 tel que donné ci-dessus à l'équation (1) :

$$Rs(\theta) = a_4\,\theta^4 + a_3\,\theta^3 + a_2\,\theta^2 + a_1\,\theta + a_0$$

avec $a_4 = 2.78 \times 10^{-10}$
$a_3 = -3.31 \times 10^{-8}$
$a_2 = 1.09 \times 10^{-6}$
$a_1 = 1.88 \times 10^{-5}$
$a_0 = 5.50 \times 10^{-4}$

[0031] Les figures 4a, 4b, 4c et 4d correspondent respectivement aux figures 3a, 3b, 3c et 3d, mais pour le deuxième exemple donné ci-dessus.

[0032] Pour pouvoir comparer avec les spiraux de l'état de la technique, les figures 5, 6 et 7 donnent des courbes comparatives entre un spiral de l'état de la technique et le spiral tel que défini dans le premier exemple donné.

[0033] La figure 5 représente l'isochronisme (en s/j) en fonction de l'amplitude d'un balancier-spiral, comprise entre 150 et 330°. La courbe 50 correspond à un spiral obtenu selon la méthode de l'invention et la courbe 52 correspond à un spiral de l'état de la technique.

[0034] On constate une stabilité beaucoup plus grande de la marche pour le spiral selon l'invention, avec une variation de la marche comprise, avec des spiraux selon l'invention, entre 4 et 16 secondes par jour, pour des amplitudes comprises entre 120 et 310°, à comparer avec une variation de la marche comprise entre 40 et 60 secondes par jour aux mêmes amplitudes, avec des spiraux métalliques de l'état de la technique. Les comparaisons ont bien sûr été faites avec un balancier et un mouvement identiques.

[0035] La figure 6 représente la force résultante au pivot (en N). Les courbes 60 et 61 correspondent au spiral obtenu selon la méthode de l'invention, respectivement en expansion et en contraction, et les courbes 62 et 63 correspondent au spiral de l'état de la technique, respectivement en expansion et en contraction. Les cassures visibles avec le spiral de l'état de la technique représentent le contact avec les goupilles. On constate que, du fait du comportement du spiral, la force résultante au pivot est moindre pour le spiral selon l'invention.

[0036] La figure 7 représente le déplacement (en mm) du centre de gravité en fonction de l'amplitude du balancier-spiral. Les courbes 70 et 71 correspondent au spiral obtenu selon la méthode de l'invention, respectivement en expansion et en contraction, et les courbes 72 et 73 correspondent au spiral de l'état de la technique, respectivement en expansion et en contraction. Les cassures visibles avec le spiral de l'état de la technique représentent le contact avec les goupilles. On constate que, du fait du comportement du spiral, la position de centre de gravité est très stable en fonction de l'amplitude, c'est-à-dire que le centre de gravité se déplace très peu.

[0037] Une fois que la géométrie du spiral est déterminée, celui-ci pourra, de préférence, être réalisé par des techniques de gravure profonde, qui permettent de réaliser des géométries quelconques. Le spiral pourra donc être réalisé à base de silicium ou d'autres matériaux élastiques se prêtant à la fabrication par gravure profonde, par LIGA ou par d'autres

moyens de découpe.

[0038] Il est particulièrement intéressant de constater, au travers des tests effectués, que toutes les géométries définies par la méthode selon l'invention, permettent d'obtenir un spiral avec des propriétés améliorées par rapport à l'état de la technique. Cela démontre que, bien plus que la méthode d'optimisation utilisée, c'est l'idée de modéliser d'une part, le spiral par une fonction polynomiale continue qui définit toute la longueur du spiral, sans cassure entre les traditionnelles trois parties, et d'autre part, de modéliser les variations de son épaisseur sur toute la longueur du spirale, qui permet d'obtenir ces excellents résultats.

[0039] Naturellement, rien n'empêche d'investiguer des géométries de spiraux plus éloignées des géométries traditionnelles, en fixant des points A, B, C différents et quelconques, dans la limite de la géométrie de l'organe réglant.

Revendications

1. Méthode de fabrication d'un spiral d'un organe réglant horloger, comprenant les étapes suivants :

- déterminer la géométrie du spiral ;
- fabriquer le spiral avec la géométrie ainsi déterminée ;

caractérisée en ce que l'étape de détermination de la géométrie du spiral consiste à définir au moins une fonction polynomiale continue caractérisant toute la longueur du spiral, dont la courbe représentative passe par au moins trois points fixés par la position et la géométrie des organes d'attache du spiral, les trois points étant :

- le point défini par l'attache du spiral à à une virole,
- le point de l'avant-dernière spire destiné à être situé au regard d'un piton, et
- le point de la dernière spire destiné à être attaché audit piton, ladite fonction polynomiale étant une fonction qui caractérise le rayon du spiral et qui s'exprime comme suit :

$$R_s(\theta) = a_i\theta^i + ... + a_2\theta^2 + a_1\theta + a_0 \ avec \ i > 3 \qquad (1)$$

avec

R_s[*m*] Rayon du spiral
θ [*rad*] Angle du spiral à partir de la virole
a [-] Coefficient polynomial

et **en ce que** qu'elle consiste en outre à définir une deuxième fonction définissant l'épaisseur du spiral e_s sur toute sa longueur, ladite deuxième fonction étant:

$$e_s(\theta) = b_j\theta^j + ... + b_1\theta + b_0 \ avec \ j \geq 2 \qquad (3)$$

avec

$$e_s(\theta) = \left(\frac{es_{\theta max} - es_0}{R_0 - R_{\theta max}} (R_0 - R(\theta)) \right) + es_0 \qquad (4)$$

ou, alternativement, ladite épaisseur étant définie par les trois équations suivantes :

$$\beta = \frac{e^{\alpha\theta_{max}}}{(eslog_{\theta max} / es_{\theta max}) - 1} \qquad (5)$$

et

$$eslog(\theta) = \left(\frac{e^{\alpha\theta}}{\beta} + 1\right)\left(\left(\frac{es_{\theta max} - eslog_0}{R_0 - R_{\theta max}}(R_0 - R(\theta))\right) + eslog_0\right) \quad (6)$$

tout en garantissant que

$$es_{moy} = eslog_{moy} \quad (7)$$

où $eslog_{moy}$ est l'épaisseur moyenne obtenue pour eslog(θ) avec θ compris entre θ_{min} et θ_{max}, et es_{moy} est l'épaisseur moyenne obtenue pour es(θ) avec θ compris entre θ_{min} et θ_{max} ;

et **en ce qu'**elle consiste à optimiser les coefficients de ladite fonction polynomiale et de ladite deuxième fonction par calculs et simulations en calculant le déplacement du centre de gravité du spiral obtenu et en minorant ce déplacement, et/ou en calculant la force de réaction au pivot du spiral obtenu et en minorant les variations de cette force de réaction.

2. Méthode selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** lesdits calculs et simulations se font numériquement.

3. Méthode selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la détermination des coefficients de la fonction polynomiale et de la deuxième fonction se fait en respectant le ratio hs/es>F, avec F compris entre 1 et 10.

4. Méthode selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la détermination des coefficients de la fonction polynomiale et de la deuxième fonction se fait en respectant le ratio pas/épaisseur :

$$\frac{R(\theta + 2\pi) - R(\theta)}{e(\theta)} > \alpha \quad (2)$$

ou R(θ) est le rayon, e l'épaisseur du spiral avec α [-] le ratio Rayon-épaisseur minimum, compris entre 1 et 5, bornes incluses.

5. Méthode selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les coefficients sont calculés par itération et modélisation.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Spirale eines Uhrenregulierorgans, umfassend die folgenden Schritte:

- Bestimmen der Geometrie der Spirale,
- Herstellen der Spirale mit der derart bestimmten Geometrie,

dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt des Bestimmens der Geometrie der Spirale darin besteht, mindestens eine kontinuierliche polynominale Funktion festzulegen, welche die gesamte Länge der Spirale kennzeichnet, deren repräsentative Kurve durch mindestens drei Punkte verläuft, die von der Position und der Geometrie der Befestigungsorgane der Spirale bestimmt sind, wobei die drei Punkte sind:

- der Punkt, der von der Befestigung der Spirale an einer Spiralrolle bestimmt ist,
- der Punkt der vorletzten Windung, der bestimmt ist, sich gegenüber einem Spiralklötzchen zu befinden,
- der Punkt der letzten Windung, die bestimmt ist, an dem Spiralklötzchen befestigt zu sein,

wobei die polynominale Funktion eine Funktion ist, die den Radius der Spirale kennzeichnet und die sich wie folgt ausdrückt:

$$R_s(\theta) = a_i\theta^i + ... + a_2\theta^2 + a_1\theta + a_0 \ avec\ i > 3 \quad (1)$$

mit R_s*[m]* Spiralradius
θ *[rad]* Winkel der Spirale ab der Spiralrolle
α *[-]* Polynominalkoeffizient

und dass es ferner darin besteht, eine zweite Funktion zu bestimmen, welche die Dicke der Spirale es über ihre gesamte Länge definiert, wobei die zweite Funktion ist:

$$e_s(\theta) = b_j\theta^j + ... + b_1\theta + b_0 \; avec \; j \geq 2 \qquad (3)$$

mit

$$e_s(\theta) = \left(\frac{es_{\theta max} - es_0}{R_0 - R_{\theta max}} (R_0 - R(\theta)) \right) + es_0 \qquad (4)$$

oder, alternativ, wobei die Dicke von den folgenden drei Gleichungen bestimmt ist:

$$\beta = \frac{e^{\alpha\theta_{max}}}{(eslog_{\theta max} / es_{\theta max}) - 1} \qquad (5)$$

und

$$eslog(\theta) = \left(\frac{e^{\alpha\theta}}{\beta} + 1 \right) \left(\left(\frac{es_{\theta max} - eslog_0}{R_0 - R_{\theta max}} (R_0 - R(\theta)) \right) + eslog_0 \right) \qquad (6)$$

dabei sicherstellend, dass

$$es_{moy} = eslog_{moy} \qquad (7)$$

wobei $eslog_{moy}$ die mittlere Dicke ist, erhalten für eslog(θ) mit θ zwischen θ_{min} und θ_{max} inklusive, und es_{moy} die mittlere Dicke ist, erhalten für es(θ) mit θ zwischen θ_{min} und θ_{max} inklusive,

und dass es darin besteht, die Koeffizienten der polynominalen Funktion und der zweiten Funktion durch Berechnungen und Simulationen zu optimieren durch Berechnen der Verlagerung des Schwerkraftzentrums der erhaltenen Spirale und durch Minorieren dieser Verlagerung und/oder durch Berechnen der Reaktionskraft an der Spiralrolle der erhaltenen Spirale und durch Minorieren der Schwankungen dieser Reaktionskraft.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Berechnungen und Simulationen digital erfolgen.

3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bestimmung der Koeffizienten der polynominalen Funktion und der zweiten Funktion unter Beachtung des Verhältnisses hs/es>F mit F zwischen 1 und 10 inklusive erfolgt.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bestimmung der Koeffizienten der polynominalen Funktion und der zweiten Funktion unter Beachtung des Verhältnisses Steigung/Dicke erfolgt:

$$\frac{R(\theta + 2\pi) - R(\theta)}{e(\theta)} > \alpha \qquad (2)$$

wobei R(θ) der Radius ist, e die Dicke der Spirale ist
mit α [-] als Verhältnis Radius-Mindestdicke zwischen 1 und 5 inklusive, Klemmen inbegriffen.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Koeffizienten durch Iteration und Modellierung berechnet werden.

Claims

1. A method for manufacturing a balance-spring of a clockwork regulating organ, comprising the following steps:

- determining the geometry of the balance-spring;
- manufacturing the balance-spring with the geometry thus determined;

characterized in that the step for determining the geometry of the balance-spring consists in defining at least one continuous polynomial function characterizing the entire length of the balance-spring, the representative curve of which passes through at least three points fixed by the position and the geometry of fastening organs of the balance-spring, the three points being:

- the point defined by the fastening of the balance-spring to a collet,
- the point of the next-to-last coil intended to be situated in front of a balance-spring stud, and
- the point of the last coil intended to be fastened to said balance-spring stud,

said polynomial function being a function that characterizes the radius of the balance-spring and is expressed as follows:

$$R_s(\theta) = a_i\theta^i + ... + a_2\theta^2 + a_1\theta + a_0 \ \ avec\ i > 3 \qquad (1)$$

with

R_S*[m]* Radius of the balance-spring
θ*[rad]* Angle of the balance-spring from the collet
a[-] Polynomial coefficient

and **in that** it further consists in defining a second function defining the thickness of the balance-spring e_s over the entire length thereof, said second function being:

$$e_s(\theta) = b_j\theta^j + ... + b_1\theta + b_0 \ \ avec\ j \geq 2 \qquad (3)$$

with

$$e_s(\theta) = \left(\frac{es_{\theta max} - es_0}{R_0 - R_{\theta max}} (R_0 - R(\theta)) \right) + es_0 \qquad (4)$$

or alternatively, said thickness being defined by the following three equations:

$$\beta = \frac{e^{\alpha\theta_{max}}}{(eslog_{\theta max} / es_{\theta max}) - 1} \qquad (5)$$

and

$$eslog(\theta) = \left(\frac{e^{\alpha\theta}}{\beta} + 1\right)\left(\left(\frac{es_{\theta max} - eslog_0}{R_0 - R_{\theta max}}(R_0 - R(\theta))\right) + eslog_0\right) \quad (6)$$

while guaranteeing that

$$es_{moy} = eslog_{moy} \quad (7)$$

where $eslog_{moy}$ is the mean thickness obtained for eslog(θ) with θ comprised between θ_{min} and θ_{max}, and es_{moy} is the mean thickness obtained for es(θ) with θ comprised between θ_{min} and θ_{max};

and **in that** it consists in optimizing the coefficients of said polynomial and said second function by calculations and simulations by calculating the movement of the center of gravity of the obtained balance-spring and decreasing this movement, and/or by calculating the reaction force at the pivot of the obtained balance-spring and decreasing the variations of this reaction force.

2. The method according to claim 1, **characterized in that** said calculations and simulations are done digitally.

3. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the determination of the coefficients of the polynomial function and the second function is done respecting the ratio hs/es>F, with F comprised between 1 and 10.

4. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the determination of the coefficients of the polynomial function and the second function is done respecting the pitch/thickness ratio:

$$\frac{R(\theta + 2\pi) - R(\theta)}{e(\theta)} > \alpha \quad (2)$$

where R(θ) is the radius, e is the thickness of the balance-spring
with α [-] the minimum Radius-thickness ratio, comprised between 1 and 5, inclusive.

5. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the coefficients are calculated by iteration and modeling.

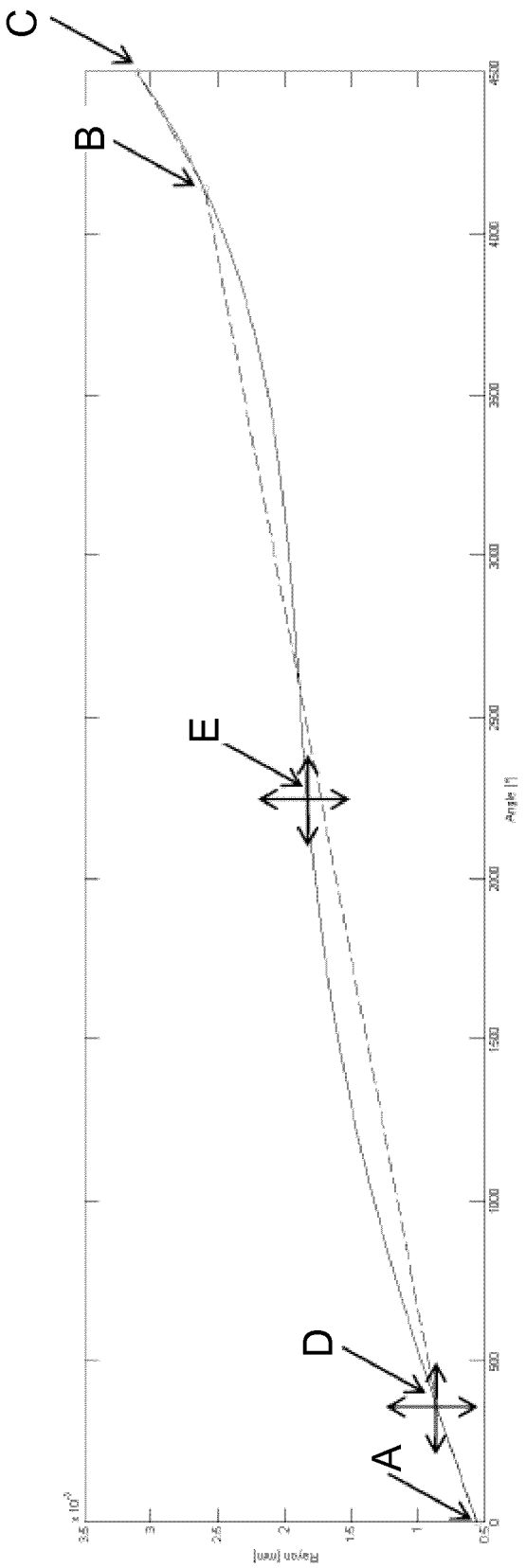


Fig. 1

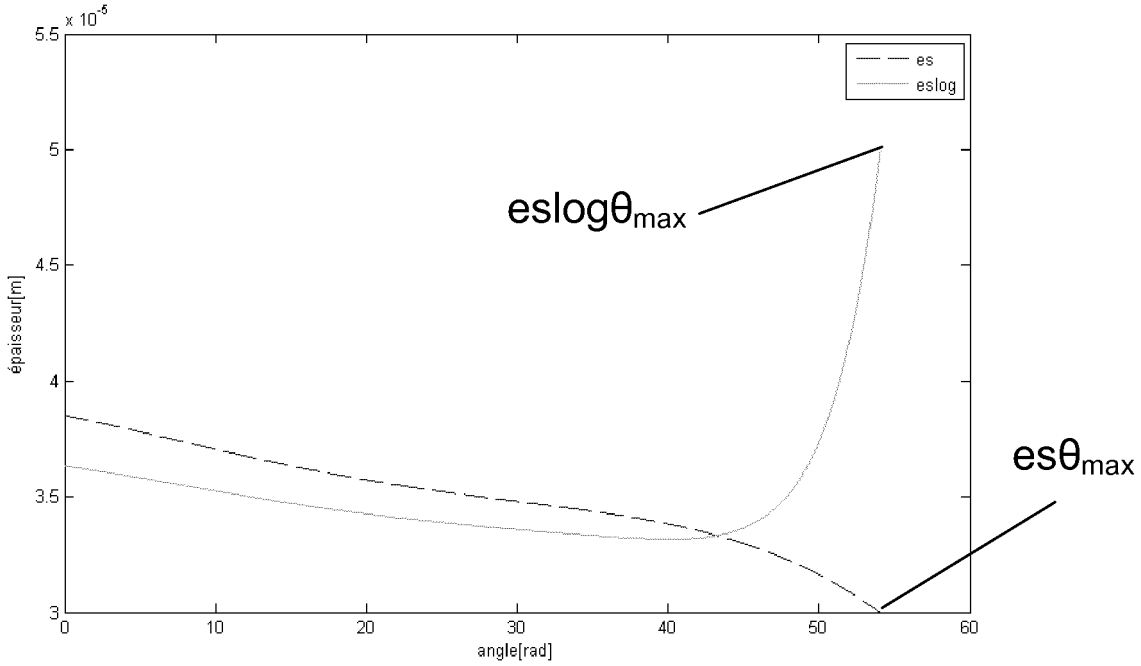

x 10^-5
5.5
5
4.5
4
3.5
3
épaisseur[m]
0
10
20
30
40
50
60
angle[rad]
es
eslog
eslogθmax
esθmax

Fig. 2

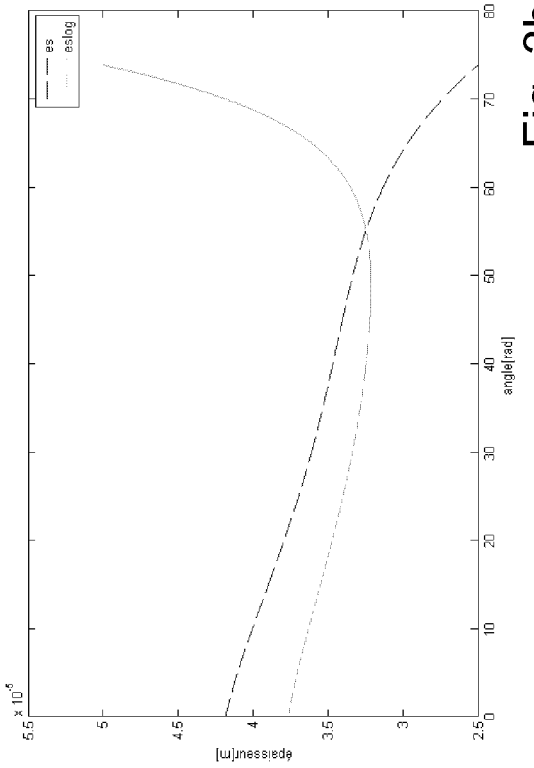


Fig. 3b

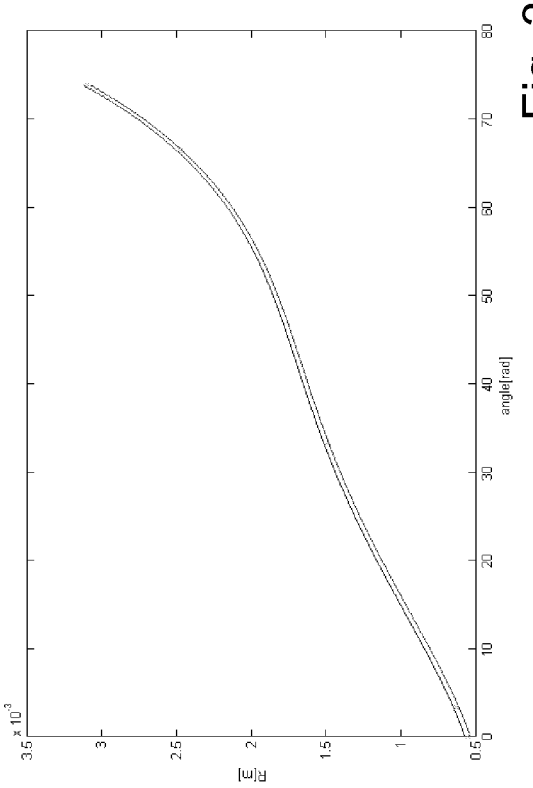


Fig. 3d

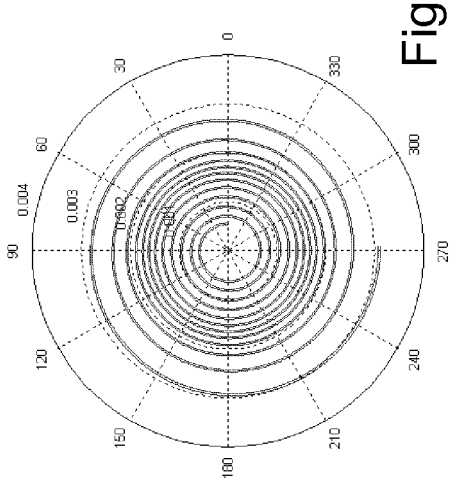


Fig. 3a

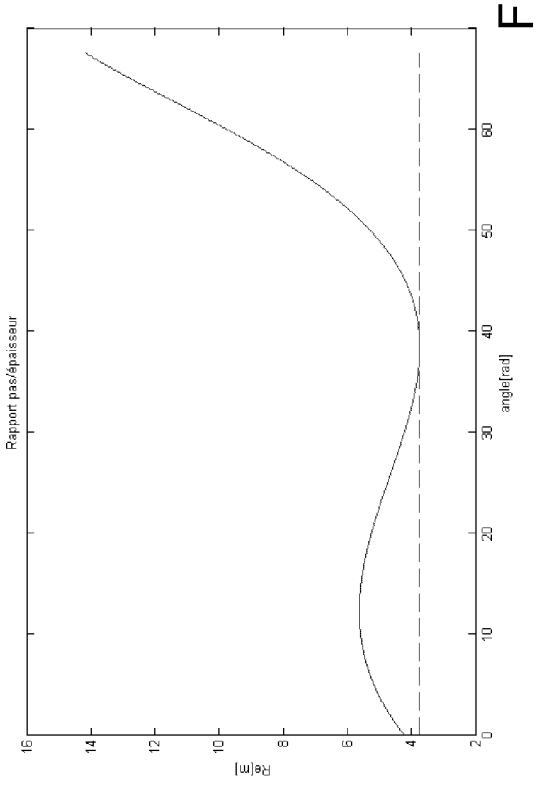


Fig. 3c

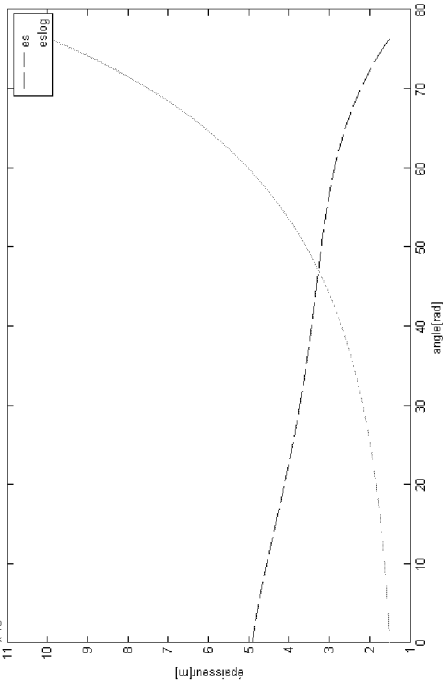


Fig. 4b

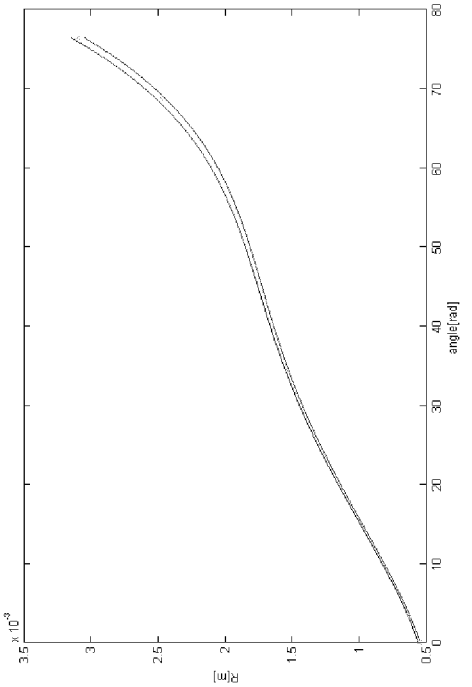


Fig. 4d

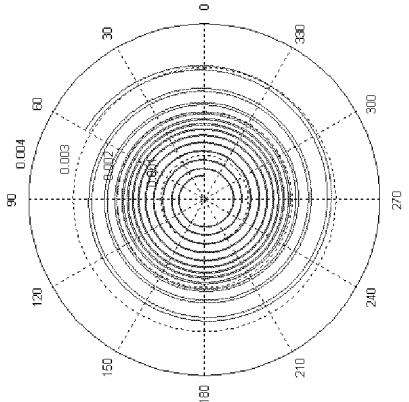


Fig. 4a

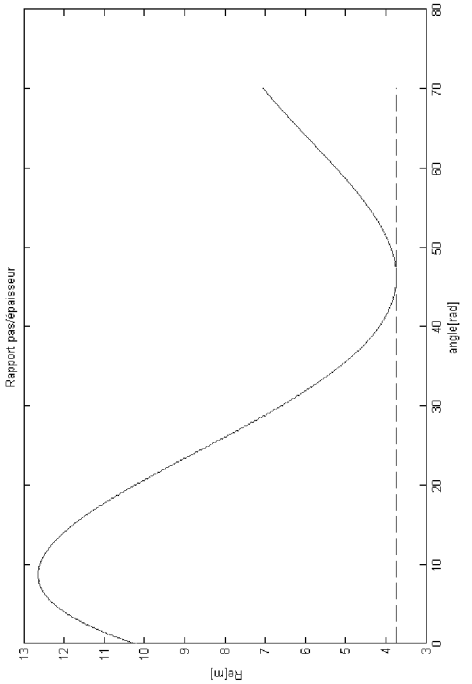


Fig. 4c

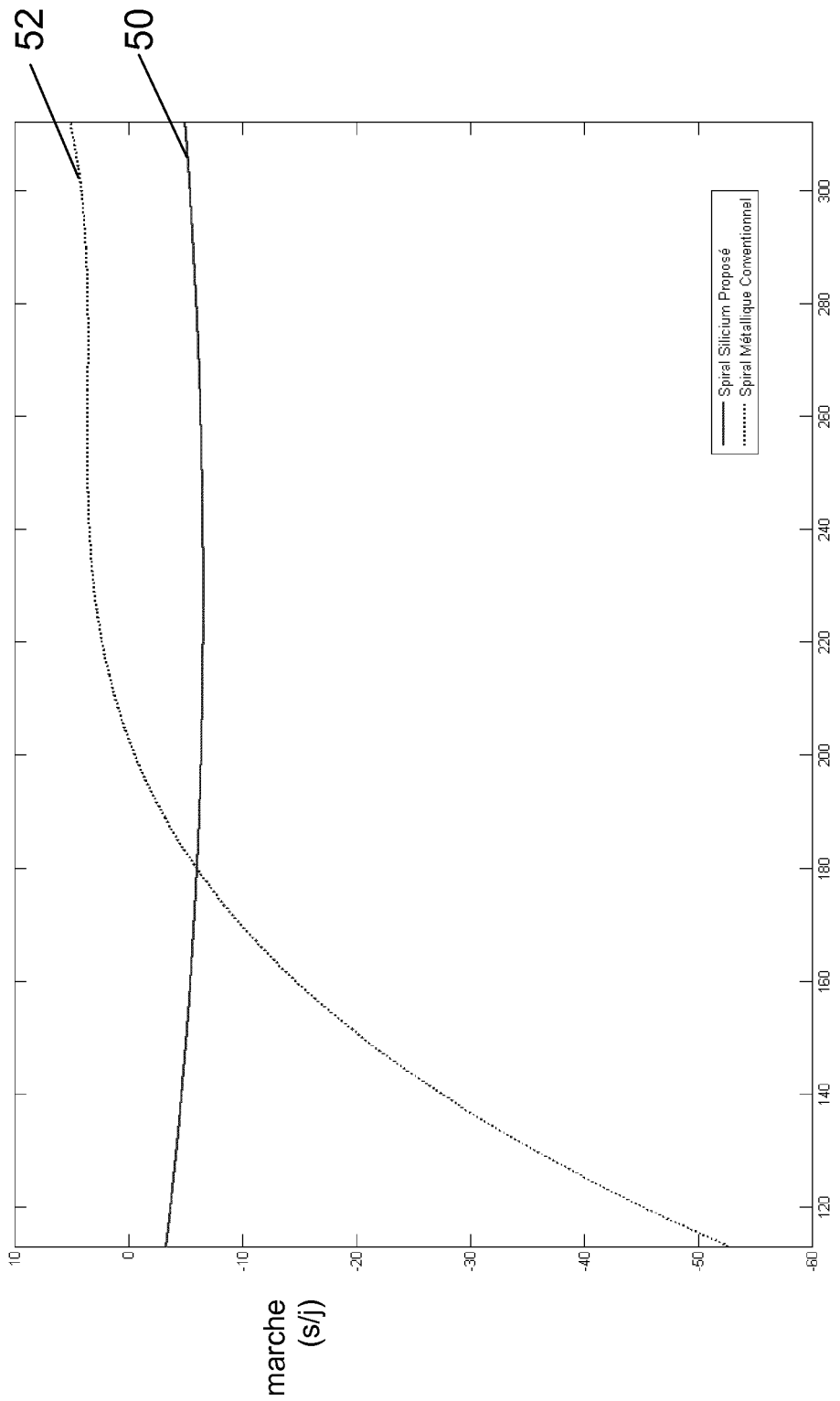

52
50
Spiral Silicium Proposé
Spiral Métallique Conventionnel
marche (s/j)
amplitude en degre (°)
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
120
140
160
180
200
220
240
260
280
300

Fig. 5

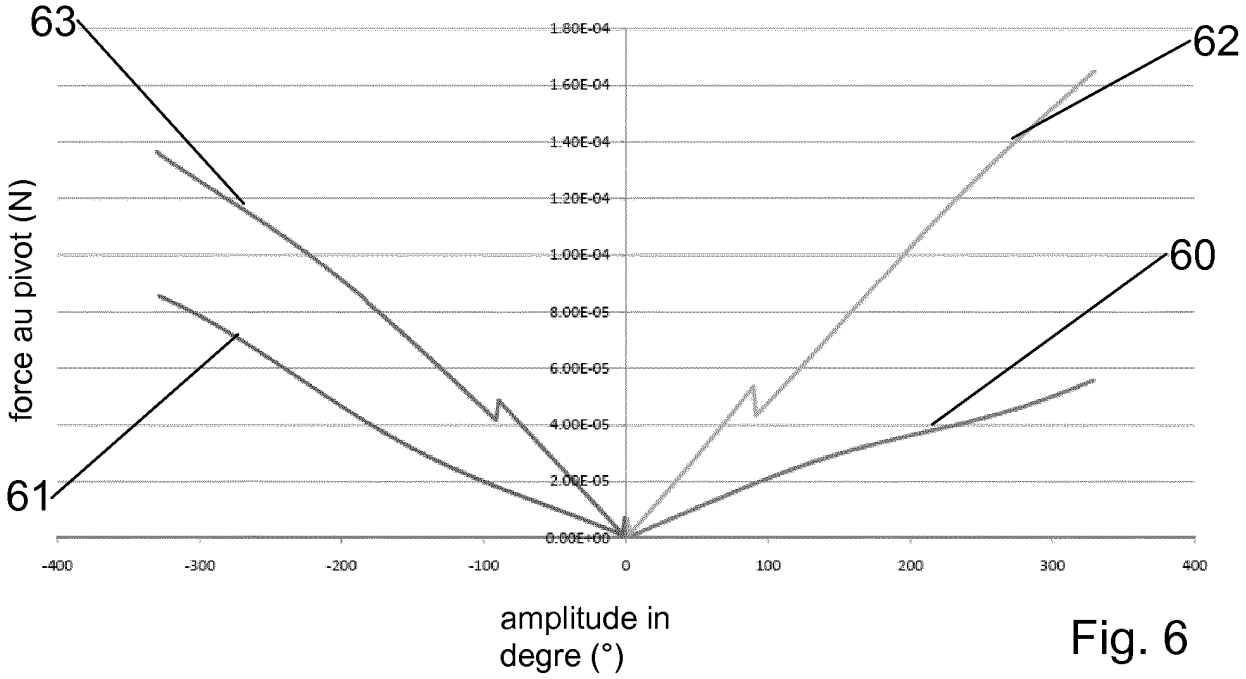

63
62
60
61
force au pivot (N)
1.80E-04
1.60E-04
1.40E-04
1.20E-04
1.00E-04
8.00E-05
6.00E-05
4.00E-05
2.00E-05
0.00E+00
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
amplitude in degre (°)

Fig. 6

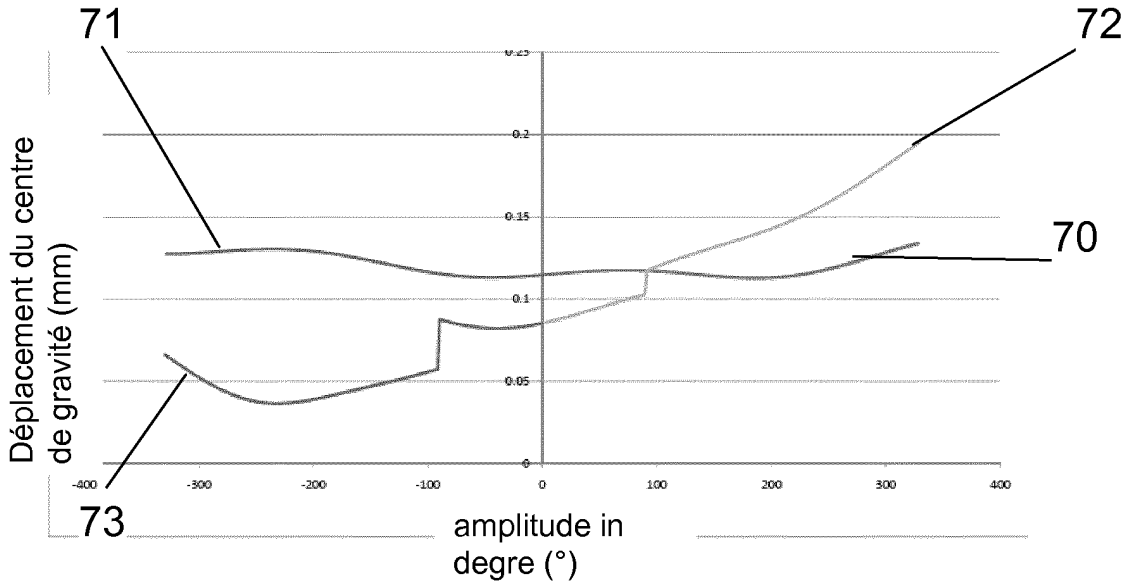

71
72
70
73
Déplacement du centre de gravité (mm)
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
amplitude in degre (°)

Fig. 7

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

- BE 526689 A **[0003]**
- CH 327796 A **[0003]**
- EP 2017681 A1 **[0004]**
- EP 1473604 A **[0005]**