



CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) CH 708 429 A1

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

Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 01408/13

(71) Requéant:
Manufacture et fabrique de montres et chronomètres
Ulysse Nardin Le Locle S.A., Rue du Jardin 3
2400 Le Locle (CH)

(22) Date de dépôt: 19.08.2013

(72) Inventeur(s):
Stéphane Von Gunten, 2035 Corcelles (CH)

(43) Demande publiée: 27.02.2015

(74) Mandataire:
P&TS SA, Av. J.-J. Rousseau 4 P.O. Box 2848
2001 Neuchâtel (CH)

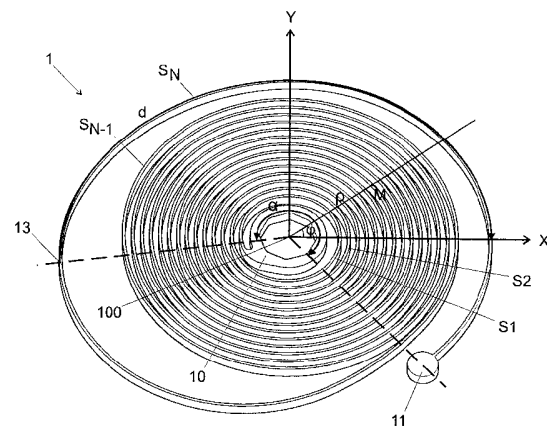
(54) **Spiral pour organe réglant de montre mécanique, organe régulateur muni d'un tel spiral, et procédé de réalisation d'un tel spiral.**

(57) L'invention concerne un spiral plan (1) destiné à être monté sur l'axe de balancier d'un organe régulateur de montre mécanique, le spiral (1) étant formé d'une lame d'épaveur sensiblement constante.

Le spiral (1) comporte:

- a) plusieurs spires internes ($S_1, S_2, \dots, S_{N-1}$) dans lesquelles la distance (ρ) entre chaque point et le centre de rotation varie de façon sensiblement linéaire en fonction de la position angulaire (θ) du point lorsque le spiral (1) est au repos;
- b) une spire externe (S_N) dans laquelle la distance (ρ) entre chaque point et le centre de rotation (100) est une fonction non linéaire de la position angulaire (θ) du point lorsque le spiral (1) est au repos.

Ladite fonction non linéaire a pour effet de réduire la pression latérale exercée par le spiral (1) sur ledit axe de balancier lorsque le spiral (1) est monté sur cet axe et/ou a pour effet de compenser le retard dû à l'échappement aux petites amplitudes d'oscillation.



Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un spiral pour organe réglant de montre mécanique, un organe régulateur muni d'un tel spiral, et un procédé de réalisation d'un tel spiral.

Etat de la technique

[0002] Les mouvements de montres mécaniques sont le plus souvent régulés par un organe réglant comportant un balancier et un spiral.

[0003] Les spiraux horlogers conventionnels sont en forme de spirale d'Archimède, et sont donc définis par l'équation polaire suivante:

$$\rho = a\theta$$

dans laquelle ρ et θ sont les coordonnées polaires tandis que a est une constante positive ou négative. En s'éloignant du centre, le rayon ρ du spiral augmente donc linéairement avec l'angle θ (ou avec la valeur absolue de cet angle si le spiral croît dans le sens horaire). La courbe externe du spiral est souvent modifiée par rapport à cette forme idéale afin d'améliorer l'isochronisme et d'éviter les collisions entre l'avant-dernière spire et le piton.

[0004] L'extrémité externe du spiral est fixée au coq grâce au piton tandis que l'extrémité interne est liée à l'axe du balancier grâce à la virole.

[0005] L'extrémité externe du spiral étant fixe, le centre de gravité du spiral se déplace lors des expansions et contractions successives, en sorte qu'il ne correspond pas en chaque instant avec le centre de rotation du spiral sur l'axe du balancier. La distance entre le centre de gravité et le centre de rotation crée un balourd, ce qui induit une pression latérale (c'est-à-dire radiale) sur l'axe du balancier et sur les pivots de cet axe. Ce balourd et la pression latérale résultante sur l'axe perturbent l'isochronisme.

[0006] Afin de réduire ce balourd, on connaît le spiral de Breguet muni d'une courbe externe repliée dans un autre plan que celui du spiral. De telles courbes terminales nécessitent une hauteur supplémentaire qui n'est pas toujours disponible. Elles sont par ailleurs difficiles à réaliser avec des techniques de photolithographie telles que la LIGA (Lithographie Galvanoformung Abformung) ou la gravure profonde DRIE (Deep Reactive Ion Etching) par exemple. Leur usage est donc avant tout cantonné aux spiraux métalliques mais reste très difficile à réaliser à partir d'un wafer. La photolithographie présente cependant l'avantage de permettre une production très précise et reproductible de spiraux.

[0007] Il existe donc un intérêt pour obtenir des spiraux plans (on parle aussi parfois de spiraux plats), moins encombrants et plus faciles à réaliser avec des procédés de photolithographie ou de gravure ionique.

[0008] Afin de réduire le balourd dans le d'un spiral plan, CH 327 796 propose de modifier la section d'une partie de la lame du spiral en vue d'augmenter sa rigidité et d'obtenir un développement concentrique du spiral.

[0009] Une solution similaire est aussi décrite en 1958 par Emile et Gaston Michel dans l'article «Spiraux plats concentriques sans courbes» de la Société Suisse de Chronométrie (SSC), qui propose de modifier la rigidité d'une portion de spire de manière à maintenir la concentricité du centre de rotation et du centre de gravité de la portion active spiral, c'est-à-dire de la portion du spiral qui se déforme.

[0010] De manière similaire, FR 1 588 702 propose de prolonger l'extrémité extérieure du spiral avec un élément élastique plus rigide que le ressort.

[0011] CH 701 846 décrit un spiral plat dont la rigidité de la lame décroît de manière progressive sur plus de 360° à partir d'un point situé entre son extrémité interne et sa deuxième spire et entre son extrémité externe et l'avant-dernière spire.

[0012] CH 692 532 propose de modifier la rigidité d'une portion du spiral grâce à un traitement thermique additionnel, qui a cependant l'inconvénient de renchérir le coût de fabrication.

[0013] US 209 642 divulgue un spiral horloger plat dont l'épaisseur est modulée afin de modifier la flexibilité des spires et d'améliorer ainsi l'isochronisme.

[0014] US 3 782 169 suggère de modifier l'épaisseur en certains points du spiral, par exemple sur la spire externe, afin de régler sa rigidité et donc la fréquence de l'oscillateur.

[0015] EP 1 431 844 décrit un spiral qui dispose d'un pas variable d'un côté pour obtenir une oscillation constante. Ce document ne décrit pas en quoi ce pas irrégulier permet d'améliorer la régularité de l'oscillation et n'explique pas comment ce spiral doit être dimensionné.

[0016] EP 1 473 604 décrit une méthode analytique pour dimensionner un ressort spiral dont une portion de lame est rigidifiée en augmentant son épaisseur dans le plan du spiral. Cette méthode repose cependant sur un certain nombre d'approximations.

[0017] La portion rigide de ces différents spiraux constitue une zone «morte» qui ne se déforme pratiquement pas lors des contractions et expansions du spiral. La spire externe comporte donc le plus souvent une succession de zones à rigidité

variable. Le calcul des déformations d'un tel spiral à rigidité variable est particulièrement difficile à effectuer, en sorte que la forme de ces spiraux résulte le plus souvent d'approximations.

[0018] La rigidité variable des spiraux est le plus souvent obtenue grâce à une épaisseur variable de la lame du spiral dans le plan du spiral. Pour différentes raisons, il est cependant préférable de réaliser un spiral à partir d'une lame d'épaisseur constante. Dans le cas d'un spiral laminé, par exemple en métal, on évite ainsi des opérations d'usinage ou de pliage qui renchérissent le processus de fabrication.

[0019] Dans le cas d'un spiral à base de silicium et/ou de diamant, on souhaite souvent appliquer un revêtement externe, par exemple un revêtement en dioxyde de silicium afin de compenser les variations en fonction de la température du module d'Young du spiral. Une compensation parfaite est uniquement possible lorsque le rapport entre l'épaisseur du revêtement et celui de l'âme est choisi de manière précise. L'épaisseur de la couche de dioxyde produite par chauffage est cependant constante alors que l'épaisseur de l'âme varie dans le cas d'un spiral d'épaisseur variable. Il en résulte un module d'Young des portions rigidifiées de la spire externe qui dépend de la température, et donc une compensation imparfaite du balourd lorsque cette température varie.

Bref résumé de l'invention

[0020] Un but de la présente invention est donc de proposer un spiral plan pour organe réglant d'horlogerie dont l'isochronisme est amélioré par rapport aux spiraux de l'art antérieur.

[0021] Un autre but est de proposer un spiral plan pour organe réglant d'horlogerie dont le centre de gravité ne se déplace pas ou peu et correspond sensiblement au centre de rotation du spiral.

[0022] Un autre but est de proposer un spiral plan différent des spiraux plans existants.

[0023] Un autre but est de proposer un spiral plan pour organe réglant d'horlogerie qui puisse être optimisé et calculé plus facilement et plus précisément que les spiraux existants.

[0024] Un autre but est de proposer un spiral plan pour organe réglant d'horlogerie dont l'épaisseur de la lame dans le plan du spiral est sensiblement constante.

[0025] Un autre but est de proposer un spiral plan pour organe réglant d'horlogerie dont la variation de rigidité de la lame provient essentiellement du rayon de courbure variable, mais pas d'une variation de section ou de matériaux.

[0026] Selon l'invention, ces buts sont atteints notamment au moyen d'un spiral plan destiné à être monté sur l'axe de balancier d'un organe régulateur de montre mécanique, le spiral étant formé d'une lame d'épaisseur sensiblement constante dans le plan du spiral, le spiral comportant:

plusieurs spires internes dans lesquelles la distance (ρ) entre chaque point et le centre de rotation du spiral varie selon une fonction sensiblement linéaire en fonction de la position angulaire (θ) du point lorsque le spiral est au repos;
une spire externe dans lesquelles la distance (ρ) entre chaque point et le centre de rotation est une fonction non linéaire de la position angulaire (θ) du point lorsque le spiral est au repos;
ladite fonction non linéaire ayant pour effet de réduire la pression latérale exercée par le spiral sur ledit axe de balancier lorsque le spiral est monté sur cet axe.

[0027] Une épaisseur de spiral est considérée comme sensiblement constante si les variations sont dues principalement au processus de fabrication. Une épaisseur de spiral est également considérée comme sensiblement constante si les variations d'épaisseur n'excèdent pas $\pm 10\%$.

[0028] Le coefficient de proportionnalité entre la distance (ρ) et la position angulaire (θ) est positif dans le cas de spires dont le rayon croît dans le sens antihoraire, et négatif dans le cas de spires de rayon croissant dans le sens horaire.

[0029] Cette solution présente l'avantage de réduire la pression latérale sur l'axe du balancier sans nécessiter un spiral sur plusieurs plans et sans nécessiter de modifications de l'épaisseur du spiral.

[0030] Cette solution permet aussi de réaliser un spiral dont le couple de rappel dépend de l'amplitude d'oscillation, de manière par exemple à compenser le retard dû à l'échappement aux petites amplitudes.

[0031] Les déplacements du centre de gravité du spiral sont compensés grâce à la forme géométrique de la dernière spire au moins.

[0032] La fonction non linéaire $\rho = f_2(\theta)$ est avantageusement choisie en sorte que le déplacement du centre de gravité de la dernière spire lors du travail du spiral compense au moins partiellement le déplacement du centre de gravité desdites autres spires.

[0033] Dans les spiraux conventionnels en spirale d'Archimède, le centre de gravité tend à s'éloigner du piton lors de l'expansion du spiral, et à s'en rapprocher lorsque le spiral se contracte. En modifiant, dans le spiral selon l'invention, la forme de la dernière spire, il est par exemple possible de réaliser un spiral dans lequel le centre de gravité de la dernière spire tend à se rapprocher du piton lors de l'expansion du spiral. Ainsi, la spire externe tend à ramener le centre de gravité global du spiral sur le centre de rotation du balancier.

[0034] Dans un mode de réalisation avantageux, la distance (p) entre chaque point de la dernière spire et le centre de rotation augmente puis décroît en fonction de la position angulaire (θ) du point lorsque le spiral est au repos. Le point du spiral le plus distant du centre de rotation est donc distinct de l'extrémité extérieure, et distinct du point d'attache au piton. La fonction non linéaire f_2 comporte donc un maximum, ou en tout cas un maximum local, à distance de son extrémité; elle croît puis décroît. Elle peut aussi comporter un point d'inflexion.

[0035] Il en résulte une forme de spiral hautement inhabituelle avec un rayon de la dernière spire qui décroît en se dirigeant vers l'extérieur sur au moins une portion de la dernière spire. Cette liberté supplémentaire lors de la réalisation du spiral, par rapport aux spiraux conventionnels dans lesquels le rayon est progressivement croissant depuis le centre vers l'extérieur, permet d'obtenir des spires externes qui se déforment davantage lors du travail du spiral, dont le centre de gravité se déplace sur un long chemin, et qui compensent ainsi efficacement le problème du déplacement du balourd des autres spires.

[0036] Le maximum de la fonction f_2 est avantageusement au moins à 180° du piton lorsque le spiral est au repos. Ainsi, ce point à distance importante du centre est éloigné du piton et ne risque pas d'entrer en collision avec le piton lors du travail du spiral ou de chocs.

[0037] Avantageusement, la distance linéaire entre le maximum de la fonction h et l'extrémité externe du spiral se déplace lors du travail du spiral. Cette distance linéaire (mesurée le long du spiral) peut de préférence diminuer lors de l'expansion du spiral.

[0038] De préférence, la distance angulaire entre le point d'inflexion et l'extrémité externe du spiral se déplace lors du travail du spiral. Le maximum est de préférence au moins à 210° , de préférence au moins à 270° du piton lorsque le spiral est au repos.

[0039] Cette distance angulaire entre le point de rayon maximal et l'extrémité externe du spiral diminue pendant au moins une partie de l'expansion du spiral, de manière à rapprocher le point de rayon maximal de la position à 180° du piton, donc à l'éloigner du piton. Cela permet de déplacer le centre de gravité de la dernière spire à l'opposé du piton, et de compenser le déplacement du centre de gravité de l'ensemble formé par les autres spires. Cela permet aussi d'éloigner le point de rayon maximal encore davantage du piton lors de l'expansion du spiral.

[0040] La fonction f_2 non linéaire est de préférence une fonction continue. La dérivée de cette fonction non linéaire est de préférence une fonction continue. Cela permet d'obtenir une déformation concentrique et progressive des spires, sans discontinuité.

[0041] Dans un mode de réalisation, la fonction f_2 est choisie de manière à ce que le couple de rappel C exercé par le spiral sur l'axe du balancier varie sans discontinuités en fonction de l'amplitude, c'est-à-dire de l'angle de rotation du spiral, par exemple selon une fonction linéaire $C=f(\theta)$.

[0042] Selon une caractéristique indépendante, l'invention concerne donc aussi un spiral pour organe réglant de mouvement de montre mécanique dans lequel la forme d'au moins une spire externe est calculée de manière à obtenir un couple de rappel C qui dépend de l'amplitude selon une fonction non linéaire, de manière à compenser le retard dû à l'échappement aux petites amplitudes, respectivement à compenser l'avance aux grandes amplitudes. Si le couple de rappel exercé par le spiral pour une amplitude donnée varie entre la phase d'expansion et de contraction, la forme est choisie de manière à ce que la moyenne du couple exercé par le spiral dépende de l'amplitude. Cela signifie que le spiral sera plus rigide qu'un spiral conventionnel aux petites amplitudes, puis progressivement moins rigide qu'un spiral conventionnel aux grandes amplitudes. La forme de la spire externe du spiral est donc choisie en fonction de l'échappement.

[0043] L'invention a aussi pour objet un organe régulateur de montre mécanique comportant un échappement et un spiral formé d'une lame d'épaisseur sensiblement constante dans le plan du spiral, le spiral comportant plusieurs spires internes $S_1, S_2, \dots, S_{N-1}$ pour lesquelles la distance entre chaque point et le centre de rotation du spiral varie de façon linéaire en fonction de la position angulaire de ce point lorsque le spiral est au repos; le spiral comportant en outre une spire externe pour laquelle la distance entre chaque point et ledit centre de rotation est une fonction non linéaire de la position angulaire du point lorsque le spiral est au repos; la dite fonction non linéaire étant adaptée en fonction de l'échappement, de manière à réduire la pression latérale exercée par le spiral sur l'axe de balancier lorsque le spiral est monté sur cet axe et/ou de manière à compenser le retard dû à l'échappement aux basses amplitudes.

[0044] Cette solution permet donc de proposer un organe réglant dans lequel la courbe externe du spiral est modifiée par rapport à une spirale d'Archimède classique en tenant compte de l'échappement, de manière à réduire la pression sur l'axe et/ou à compenser les dérives de marche dues à l'échappement.

Brève description des figures

[0045] Des exemples de mise en œuvre de l'invention sont indiqués dans la description illustrée par les figures annexées dans lesquelles:

La fig. 1 illustre une vue en perspective d'un spiral selon l'invention.

Les fig. 2 à 11 montrent différentes vues successives depuis le dessus d'un spiral lors de son développement.

Exemple(s) de mode de réalisation de l'invention

[0046] Le spiral 1 illustré sur les figures est un spiral plan, c'est-à-dire que toutes ses spires $S_1, S_2, \dots, S_{N-1}, S_N$ se trouvent dans un même plan. Il peut donc être produit par LIGA, par gravure profonde DRIE, par gravure laser ou par attaque lithographique à partir d'un wafer à base de silicium, de diamant, de verre, de carbone, etc., ou par enroulement d'une bande de métal, par exemple d'Elinvar ou d'alliage Fe/Ni/Cr par exemple. Des spiraux formés de plusieurs matériaux, par exemple à base de silicium revêtu de dioxyde de silicium ou à base de diamant.

[0047] L'extrémité interne du spiral est destinée à être montée sur l'axe d'un balancier non illustré au moyen d'une virole 10. Dans l'exemple illustré, la virole est intégrée au spiral. L'invention s'applique cependant aussi à des spiraux dépourvus de virole intégrée.

[0048] L'extrémité externe du spiral est destinée à être fixée au coq non représenté d'un mouvement au moyen d'un piton 11. Le piton est représenté ici par une pastille venant d'un seul tenant au reste du spiral. Néanmoins, il est évident que l'extrémité du spiral peut être faite à épaisseur constante ou prendre d'autres formes selon la construction souhaitée pour son attache au piton.

[0049] L'organe réglant incorporant le spiral selon l'invention peut inclure des goupilles de raquettes qui pincement le spiral à distance réglable de l'extrémité, afin de régler la longueur active du spiral et donc d'ajuster la fréquence d'oscillation de l'organe réglant.

[0050] L'épaisseur du spiral 1 dans le plan du spiral est sensiblement constante. La section du spiral est de préférence rectangulaire et sensiblement constante entre l'extrémité interne et l'extrémité externe. La modélisation informatique des déformations du spiral est ainsi simplifiée et peut être effectuée sans devoir recourir à des approximations ni à des simplifications.

[0051] La rigidité du spiral est notamment déterminée par sa section, sa longueur et le module d'Young du matériau employé. Dans un mode de réalisation, le spiral comporte une âme dans un premier matériau et une enveloppe thermocompensatrice dans un deuxième matériau. Dans un exemple, l'âme est à base de silicium et l'enveloppe est en dioxyde de silicium produit par oxydation thermique.

[0052] L'enveloppe thermocompensatrice compense les variations du module d'Young de l'âme lorsque la température varie. La proportion entre l'âme et l'enveloppe thermocompensatrice est constante tout au long du spiral. Le module d'Young apparent est ainsi constant tout au long du spiral et pour toute la plage de température thermocompensée.

[0053] De surcroît, toute la longueur du spiral agit comme ressort de rappel; il n'y a pas de zone morte à déformabilité réduite.

[0054] Les spires internes du spiral S_1 jusqu'à S_{N-1} sont en spirale d'Archimède, en sorte que la distance ρ entre chaque point M de ces spires et le centre de rotation 100 du spiral est sensiblement proportionnelle à la position angulaire θ de ce point M lorsque le spiral est au repos. Dans un mode de réalisation préférentiel, toutes les spires du spiral à l'exception de la dernière spire S_N à l'extérieur sont en spirale d'Archimède. Il est aussi possible de prévoir un spiral dans lequel seules certaines spires internes sont en spirale d'Archimède, par exemple les spires S_1 à S_{n-2} , ou les spires S_2 à S_{N-1} , etc.

[0055] Selon l'équation, au moins la spire externe S_N est modifiée et ne correspond pas à une spirale d'Archimède. La distance ρ entre les points de cette dernière spire (ou d'une portion de cette dernière spire, ou de plusieurs spires externes) et le centre de rotation du spiral est une fonction $\rho = f_2(\theta)$ différente de la fonction linéaire $\rho = a\theta$ qui s'applique aux autres spires internes. Dans un mode de réalisation, cette fonction f_2 est une fonction non linéaire de la position angulaire (θ) du point lorsque le spiral est au repos. On peut aussi imaginer faire commencer la fonction à la spire S_{N-2} ou S_{N-3} .

[0056] La fonction f_2 est choisie de manière à réduire la pression latérale exercée par le spiral sur l'axe de balancier lorsque le spiral 1 tourne autour de cet axe. La fonction f_2 peut aussi être choisie de manière à ce que le couple de rappel exercé par le spiral varie en fonction de l'angle de rotation (et donc de l'amplitude) du spiral; la dépendance est de préférence non linéaire de manière à compenser le retard dû à l'échappement aux petites amplitudes. Par rapport à un spiral idéal dans lequel le couple de rappel est proportionnel à l'angle de rotation du balancier, le spiral peut être légèrement plus rigide aux petites amplitudes, respectivement légèrement moins rigide aux grandes amplitudes, ce qui permet de compenser les imperfections de l'échappement. Il est aussi possible de choisir la fonction f_2 de manière à ce que la moyenne du couple exercé lors de la contraction et lors de l'expansion, pour un angle de rotation donné, permette de compenser les imperfections de l'échappement.

[0057] Des formes géométriques qui remplissent cette première condition et/ou cette deuxième condition peuvent être obtenues de manière analytique par un système d'équations en posant la condition que le balourd du spiral doit être minime quelle que soit la position angulaire de la virole 10 et du balancier. Une deuxième condition est de préférence que la fonction f_2 doit être continue. Une troisième condition est que la dérivée de la fonction doit être continue, ne quatrième condition est de préférence que le couple de rappel exercé par le spiral sur l'axe du balancier est proportionnel à l'angle de rotation. Comme la rigidité du spiral peut être constante, ce système d'équation est plus simple à résoudre que si la rigidité

est variable. Il n'est donc pas nécessaire de recourir à des approximations pour le résoudre en sorte qu'il est possible d'arriver par calcul analytique à une solution optimale.

[0058] Des contraintes supplémentaires peuvent être posées pour choisir entre différentes solutions possibles. Par exemple, il est possible de choisir la solution qui minimise le diamètre maximal du spiral, afin de réduire l'encombrement.

[0059] Des formes géométriques qui remplissent ces différentes conditions peuvent aussi être obtenues, plus simplement, par approximations successives au moyen d'un logiciel de simulation qui permet d'estimer le balourd et/ou la pression latérale sur l'axe du balancier en fonction de la forme choisie et de la position angulaire de l'axe du balancier.

[0060] Cette solution présente l'avantage de réduire la pression latérale (c'est-à-dire radiale) sur l'axe du balancier sans nécessiter de spiraux sur plusieurs plans et sans nécessiter de modifications de l'épaisseur ou de la composition du spiral.

[0061] Les déplacements du centre de gravité du spiral sont ainsi compensés par la forme géométrique de la dernière spire S_N .

[0062] Alternativement, ou en combinaison, cette solution permet de réaliser un spiral dans lequel le couple de rappel ne varie pas linéairement en fonction de l'angle de rotation. Par exemple, il est possible de réaliser un spiral qui serait plus rigide aux petites amplitudes qu'un spiral conventionnel dans lequel le couple varie linéairement en fonction de l'amplitude, de manière à augmenter le couple de rappel et donc la fréquence d'oscillations aux petites amplitudes, et de compenser ainsi le retard dû à l'échappement. En option, des goupilles de raquettes non représentées peuvent être déplacées pour modifier la longueur active du spiral et ainsi ajuster finement la marche.

[0063] Des formes géométriques qui remplissent ces différentes conditions peuvent aussi être obtenues par approximations successives au moyen d'un logiciel de simulation qui permet d'estimer le couple de rappel exercé en fonction de la position angulaire du balancier, de manière à exercer le couple qui permette en combinaison avec un échappement donné d'obtenir un isochronisme amélioré quelle que soit l'amplitude des oscillations du balancier.

[0064] La fonction non linéaire $\rho = f_2(\theta)$ est avantageusement choisie en sorte que le déplacement du centre de gravité de la dernière spire S_N lors du travail du spiral 1 compense au moins partiellement le déplacement du centre de gravité des autres spires S_1 à S_{N-1} .

[0065] Dans un mode de réalisation avantageux, la fonction non linéaire f_2 comporte un maxima 13, c'est-à-dire un point où le rayon ρ diminue lorsque la position angulaire θ augmente en valeur absolue en se déplaçant vers l'extérieur du spiral.

[0066] Par conséquent, la distance ρ entre chaque point de la dernière spire S_N et le centre de rotation 100 augmente puis décroît en fonction de la position angulaire $-\theta$ lorsque le spiral est au repos. Le point du spiral le plus distant du centre de rotation est donc distinct de l'extrémité extérieure, et distinct du point d'attache au piton et des goupilles de raquette si de telles goupilles sont présentes.

[0067] Le point de diamètre maximal 13 est avantageusement au moins à 180° en valeur absolue du piton 11 lorsque le spiral est au repos. Ainsi, ce point à distance importante du centre est éloigné du piton et ne risque pas d'entrer en collision avec le piton lors du travail du spiral ou de chocs.

[0068] Avantageusement, la distance linéaire d entre le point de rayon maximal 13 et l'extrémité externe du spiral 11 se déplace lors du travail du spiral. Cette distance linéaire d (mesurée le long du spiral) peut de préférence diminuer lors de l'expansion du spiral, en sorte que le point d'inflexion se rapproche de l'extrémité du spiral.

[0069] La distance angulaire α entre le point de rayon maximal 13 et l'extrémité externe du spiral 11 se déplace lors du travail du spiral. Le point de rayon maximal est de préférence au moins à 210° , de préférence au moins à 270° du piton lorsque le spiral 1 est au repos.

[0070] Cette distance angulaire α entre le point de rayon maximal et l'extrémité externe du spiral diminue pendant au moins une partie de l'expansion du spiral. Lorsque le spiral est complètement détendu, le point de rayon maximal 13 se trouve ainsi presque à l'opposé du piton 11, ou en tout cas à une distance angulaire entre 120° et 240° du piton, et donc à grande distance du piton. Cela permet de déplacer le centre de gravité de la dernière spire à l'opposé du piton, et de compenser le déplacement en direction du piton du centre de gravité de l'ensemble formé par les autres spires lors de l'expansion du spiral. Cela permet aussi d'éloigner le point de rayon maximal 13 du piton lors de l'expansion du spiral.

[0071] La fonction f_2 est de préférence une fonction non linéaire continue. La dérivée de cette fonction est de préférence une fonction continue. Cela permet d'obtenir une déformation concentrique et progressive des spires, sans discontinuité, et donc un couple de rappel exercé par le spiral sur l'axe du balancier qui varie en fonction de l'angle de rotation du spiral, sans discontinuités.

[0072] Dans l'exemple de spiral 1 illustré sur les fig. 1 à 11, le centre de gravité de la dernière spire S_N s'éloigne du piton lors de l'expansion du spiral tandis que le centre de gravité de l'ensemble formé par les autres spires S_1 à S_{N-1} se rapproche du piton lors de cette expansion. Ainsi, la spire externe S_N tend à tirer les autres spires de manière à compenser le déplacement de son propre centre de gravité.

[0073] Les fig. 2 à 11 montrent la forme du spiral dans différentes positions angulaires successives de l'axe de balancier. On observe en particulier le déplacement du point de rayon maximal 13.

[0074] La forme de la dernière spire S_N est optimisée de manière à éviter le risque de contact avec le piton 11 et/ou avec l'avant-dernière spire S_{N-1} .

[0075] Pour définir la forme du spiral on peut par exemple employer le procédé suivant:

- on définit un spiral avec $N-1$ spires S_1 à S_{N-1} en forme de spirale d'Archimède au repos. Le nombre N de spires est déterminé en fonction du matériau et en tenant compte du couple de rappel désirée en fonction du balancier et de la fréquence d'oscillation souhaitée;
- on définit une spire externe S_N obéissant à une équation polaire $\rho = f_2(\theta)$ où f_2 est inconnu;
- on pose comme condition que l'extrémité externe de la spire externe est fixe tandis que l'extrémité interne de cette spire est liée à l'extrémité interne des $N-1$ spires;
- parmi toutes les fonctions f_2 possible, on en retient au moins une qui permet de minimiser la force latérale exercée sur l'axe du balancier quelle que soit la position angulaire du balancier. Alternativement, ou en combinaison, on choisit une fonction qui permette d'obtenir le couple de rappel nécessaire afin de compenser le retard dû à un échappement donné aux petites amplitudes d'oscillation;
- parmi toutes les fonctions f_2 retenues au cours de l'étape précédente, on en retient au moins une qui soit continue, dont la dérivée soit continue, et qui minimise le risque de contact entre le spiral et le piton ainsi que le risque de contact entre spires, quelle que soit la position angulaire du balancier;
- si plusieurs fonctions ont été retenues au cours de l'étape précédente, on en retient au moins une qui comporte un point de rayon maximal à distance de l'extrémité, c'est-à-dire dont le rayon croît puis décroît;
- si plusieurs fonctions ont été retenues au cours de l'étape précédente, on en retient au moins une qui permette de minimiser l'encombrement maximal du spiral quelle que soit la position angulaire du balancier.

[0076] Ces différentes étapes ainsi que les conditions correspondantes peuvent être appliquées dans un autre ordre, ou simultanément. La sélection de fonctions f_2 peut être effectuée par un calcul analytique et/ou par approximations successives.

[0077] La présente invention a aussi pour objet un organe régulateur de montre mécanique comportant un spiral formé d'une lame d'épaisseur sensiblement constante dans le plan du spiral, par exemple un spiral tel que décrit ci-dessus, et un échappement assorti. L'échappement comporte par exemple une ancre suisse et une roue d'ancre. Le spiral est réalisé en fonction de l'échappement, et comporte plusieurs spires internes $S_1, S_2, \dots, S_{N-1}$ en spirale d'Archimède, ainsi qu'une spire externe pour laquelle la distance ρ entre chaque point et le centre de rotation 100 est une fonction non linéaire f_2 de la position angulaire θ du point lorsque le spiral est au repos. Cette fonction est choisie en fonction de l'échappement, de manière à réduire la pression latérale exercée par le spiral sur l'axe de balancier lorsque le spiral est monté sur cet axe et/ou de manière à compenser le retard dû à l'échappement aux basses amplitudes.

Revendications

1. Spiral plan (1) destiné à être monté sur l'axe de balancier d'un organe régulateur de montre mécanique, le spiral étant formé d'une lame d'épaisseur sensiblement constante dans le plan du spiral, le spiral comportant:
plusieurs spires internes ($S_1, S_2, \dots, S_{N-1}$) pour lesquelles la distance (ρ) entre chaque point (M) et le centre de rotation (100) du spiral varie de façon linéaire en fonction de la position angulaire (θ) de ce point lorsque le spiral est au repos;
une spire externe (S_N) pour laquelle la distance (ρ) entre chaque point et ledit centre de rotation (100) est une fonction non linéaire (f_2) de la position angulaire (θ) du point lorsque le spiral est au repos;
ladite fonction non linéaire (f_2) ayant pour effet de réduire la pression latérale exercée par le spiral (1) sur ledit axe de balancier lorsque le spiral est monté sur cet axe.
2. Spiral selon la revendication 1, ladite fonction non linéaire étant choisie en sorte que le déplacement du centre de gravité de la dernière spire (S_N) lors du travail du spiral (1) compense au moins partiellement le déplacement du centre de gravité desdites autres spires.
3. Spiral selon l'une des revendications 1 ou 2, agencé en sorte que le centre de gravité de la dernière spire (S_N) se rapproche du piton (11) lors de l'expansion du spiral tandis que le centre de gravité de l'ensemble formé par les dites spires internes ($S_1, S_2, \dots, S_{N-1}$) s'éloigne du piton lors de cette expansion.
4. Spiral selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la distance (ρ) entre chaque point (M) de la dernière spire (S_N) et le centre de rotation (100) augmente puis décroît en fonction de la position angulaire (θ) du point lorsque le spiral est au repos.
5. Spiral selon la revendication 4, dans lequel le point le plus distant (13) dudit centre de rotation (100) est distinct de l'extrémité extérieure.
6. Spiral selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel ladite fonction non linéaire (f_2) comporte un point (13) de rayon maximal à distance de l'extrémité.
7. Spiral selon la revendication 6, dans lequel le point de rayon maximal (13) est au moins à 180° de l'extrémité externe du spiral (11) lorsque le spiral est au repos.

8. Spiral selon l'une des revendications 6 ou 7, agencé en sorte que la distance (d) mesurée le long du spiral entre le point de rayon maximal (13) et l'extrémité externe du spiral (11) se déplace lors du travail du spiral.
9. Spiral selon l'une des revendications 6 à 8, agencé en sorte que la distance (11) entre le point de rayon maximal (13) et l'extrémité externe du spiral (11) diminue lors de l'expansion du spiral.
10. Spiral selon l'une des revendications 6 à 9, dans lequel l'angle (a) formé par le centre du spiral, le point de rayon maximal (13) et l'extrémité externe du spiral (11) est d'au moins 210° lorsque le spiral est au repos.
11. Spiral selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel ladite fonction non linéaire (f_2) est une fonction continue.
12. Spiral selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel la dérivée de ladite fonction non linéaire (f_2) est une fonction continue.
13. Spiral selon l'une des fonctions 1 à 12, ladite fonction non linéaire (f_2) ayant pour effet de modifier le couple de rappel exercé par le spiral de manière à ce que ce couple de rappel ne dépende pas linéairement de l'amplitude de manière à compenser au moins partiellement les retards de l'organe réglant dû à un échappement donné aux petites amplitudes.
14. Procédé de réalisation de spiral plan destiné à équiper l'axe de balancier d'un organe réglant de mouvement de montre mécanique, comportant les étapes suivantes:
 - on définit un spiral avec N–1 spires internes en forme de spirale d'Archimède au repos;
 - on définit une spire externe f_2 obéissant à une équation polaire inconnue;
 - on pose comme condition que l'extrémité externe de la spire externe est fixe tandis que l'extrémité interne de cette spire est liée à l'extrémité interne des N–1 spires internes;
 - parmi toutes les fonctions f_2 possibles, on en retient au moins une qui permette de minimiser la force latérale exercée sur l'axe du balancier quelle que soit la position angulaire du balancier et/ou qui soit choisie en fonction d'un échappement de manière à compenser le retard dû à cet échappement aux petites amplitudes d'oscillation;
 - parmi toutes les fonctions f_2 retenues au cours de l'étape précédente, on en retient au moins une qui comporte un maxima local à distance de l'extrémité, qui soit continue, dont la dérivée soit continue, et qui minimise le risque de contact entre le spiral et le piton ainsi que le risque de contact entre spires, quelle que soit la position angulaire du balancier.
15. Organe régulateur de montre mécanique comportant un échappement et un spiral formé d'une lame d'épaisseur sensiblement constante dans le plan du spiral, le spiral comportant plusieurs spires internes ($S_1, S_2, \dots, S_{N-1}$) pour lesquelles la distance (ρ) entre chaque point (M) et le centre de rotation (100) du spiral varie de façon linéaire en fonction de la position angulaire (θ) de ce point lorsque le spiral est au repos; le spiral comportant en outre une spire externe (S_N) pour laquelle la distance (ρ) entre chaque point et ledit centre de rotation (100) est une fonction non linéaire (f_2) de la position angulaire (θ) du point lorsque le spiral est au repos; ladite fonction non linéaire étant adaptée en fonction de l'échappement, de manière à réduire la pression latérale exercée par le spiral sur l'axe de balancier lorsque le spiral est monté sur cet axe et/ou de manière à compenser le retard dû à l'échappement aux basses amplitudes.

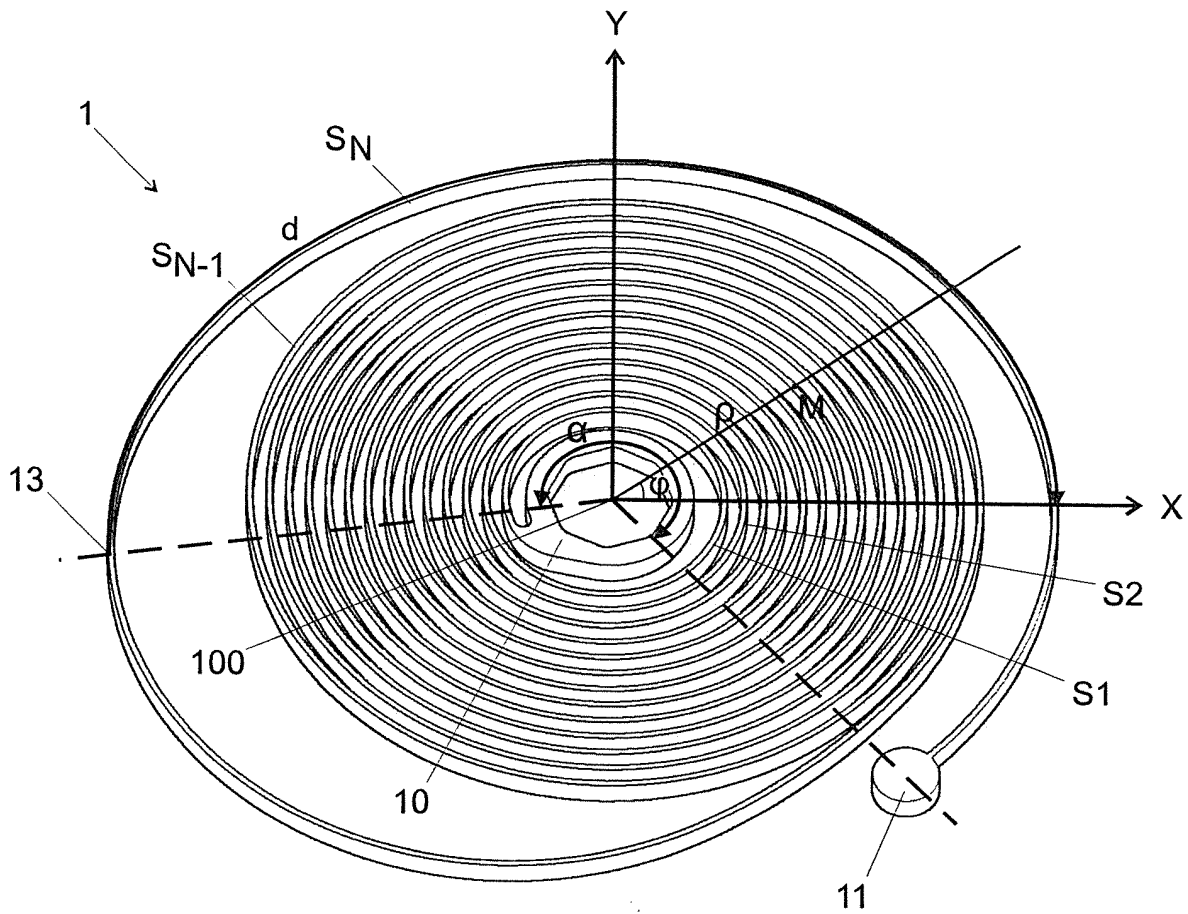


Fig. 1

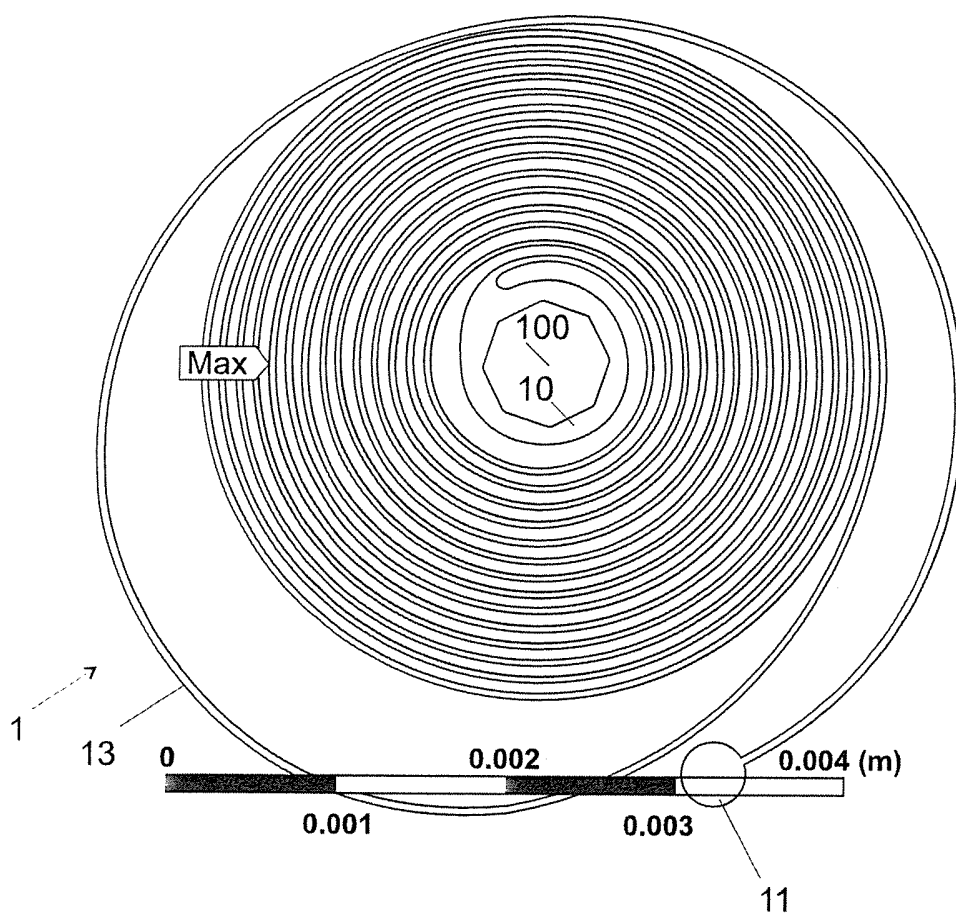


Fig. 2

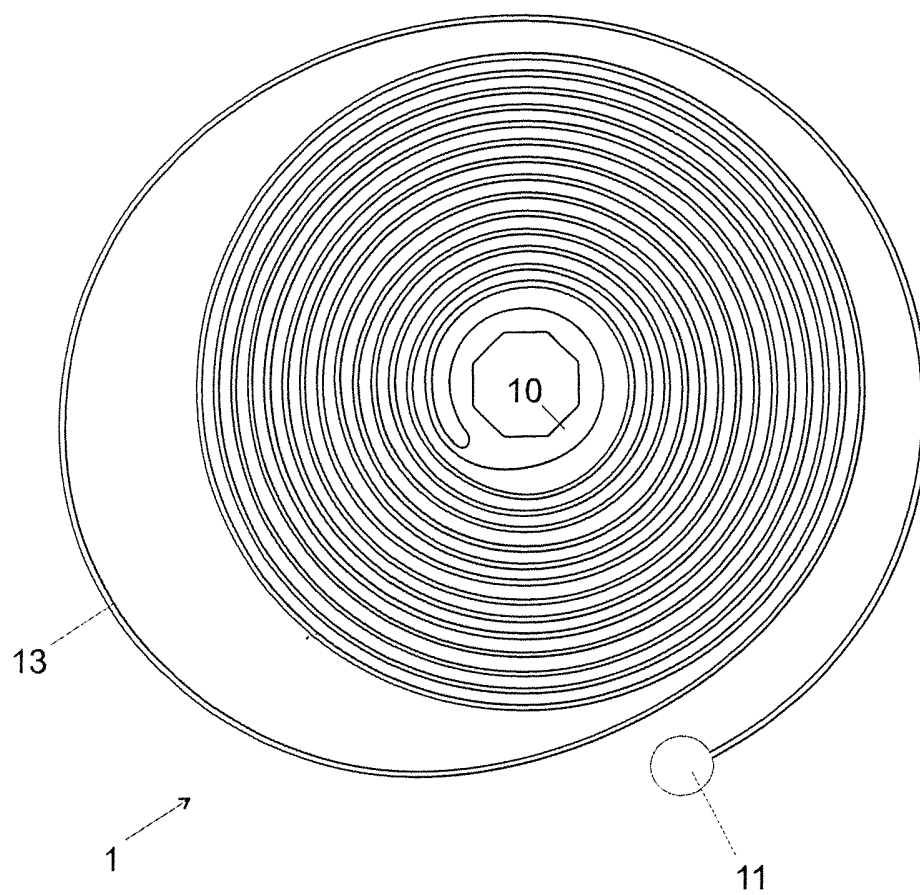


Fig. 3

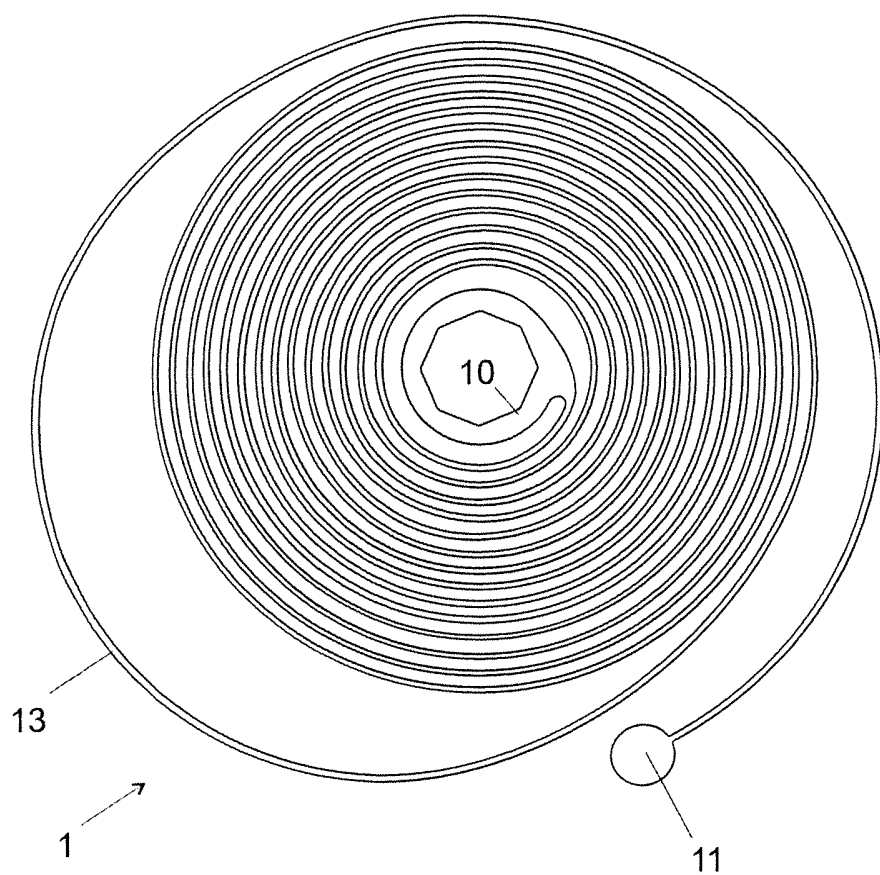


Fig. 4

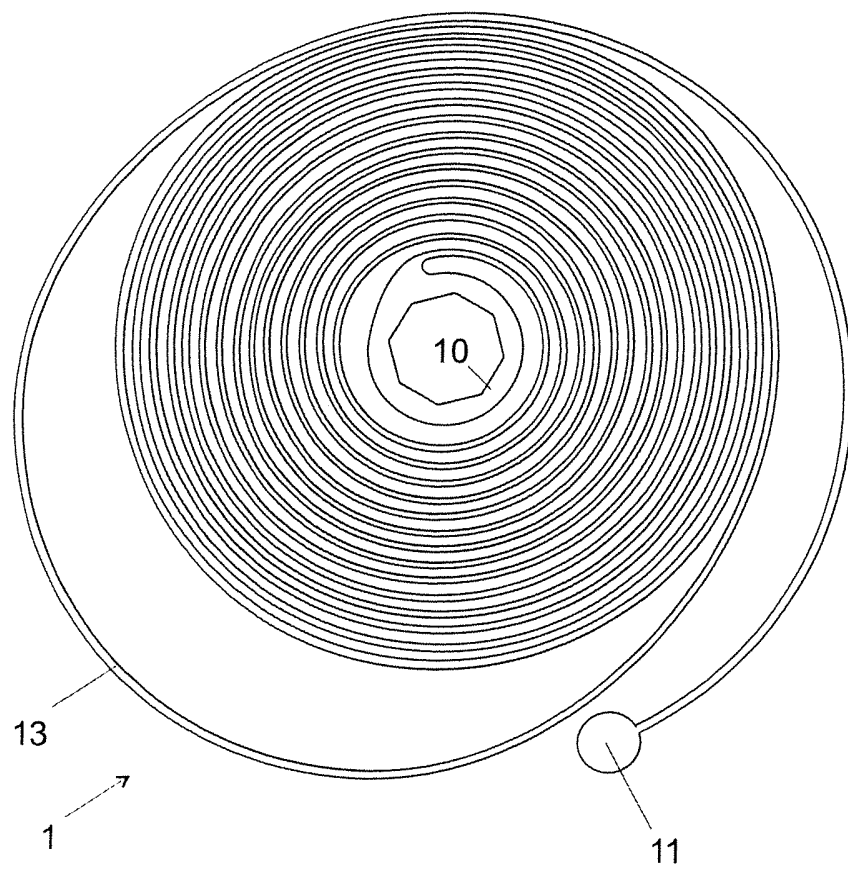


Fig. 5

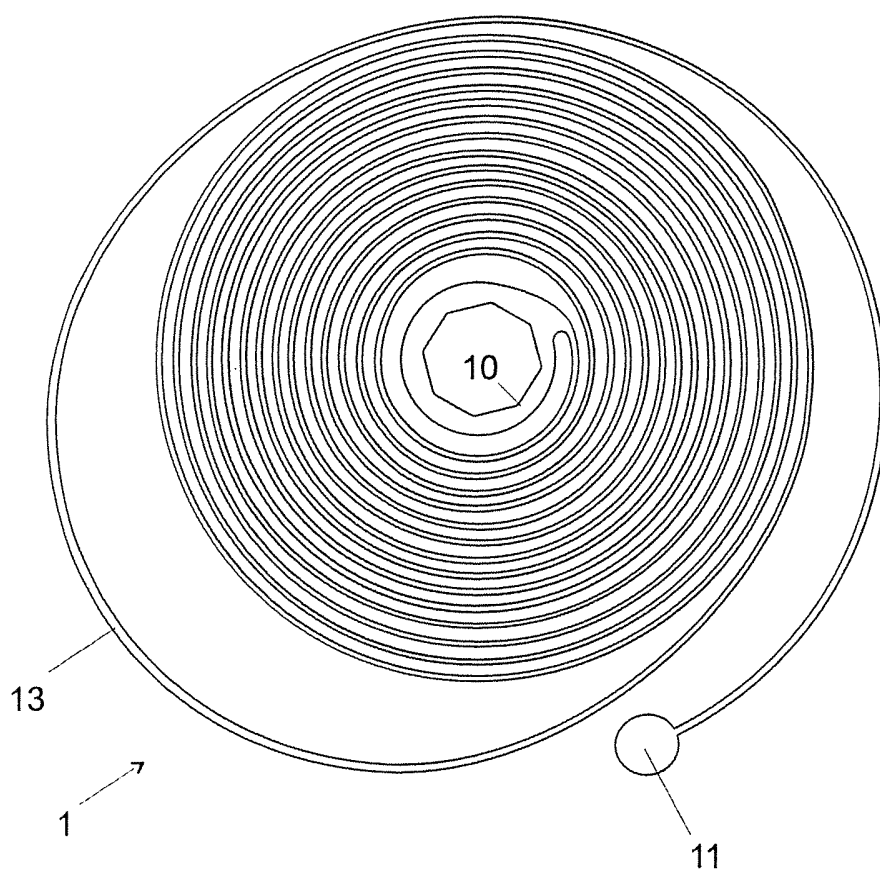


Fig. 6

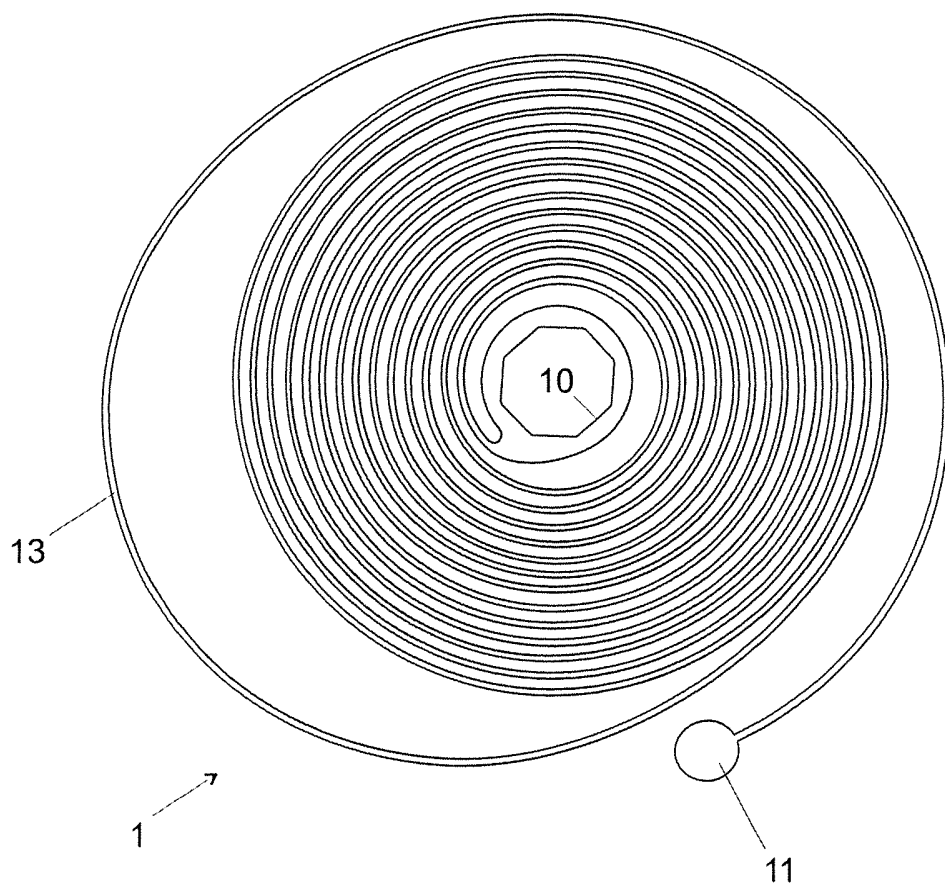


Fig. 7

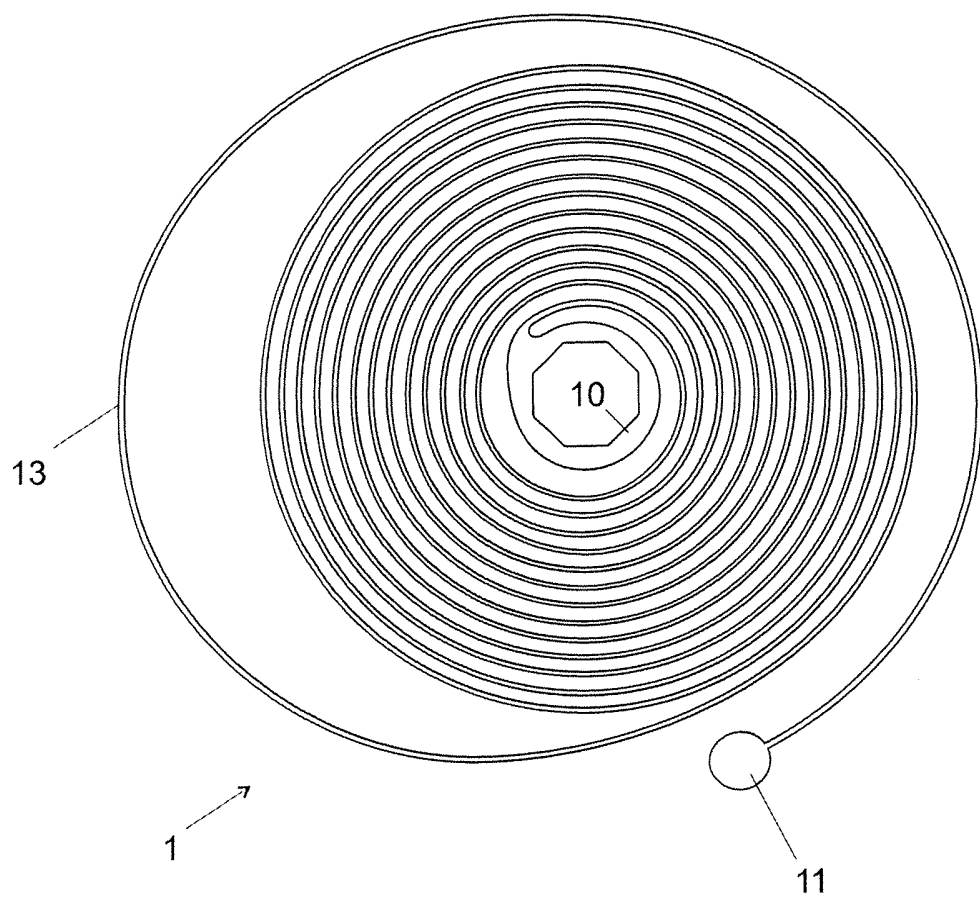


Fig. 8

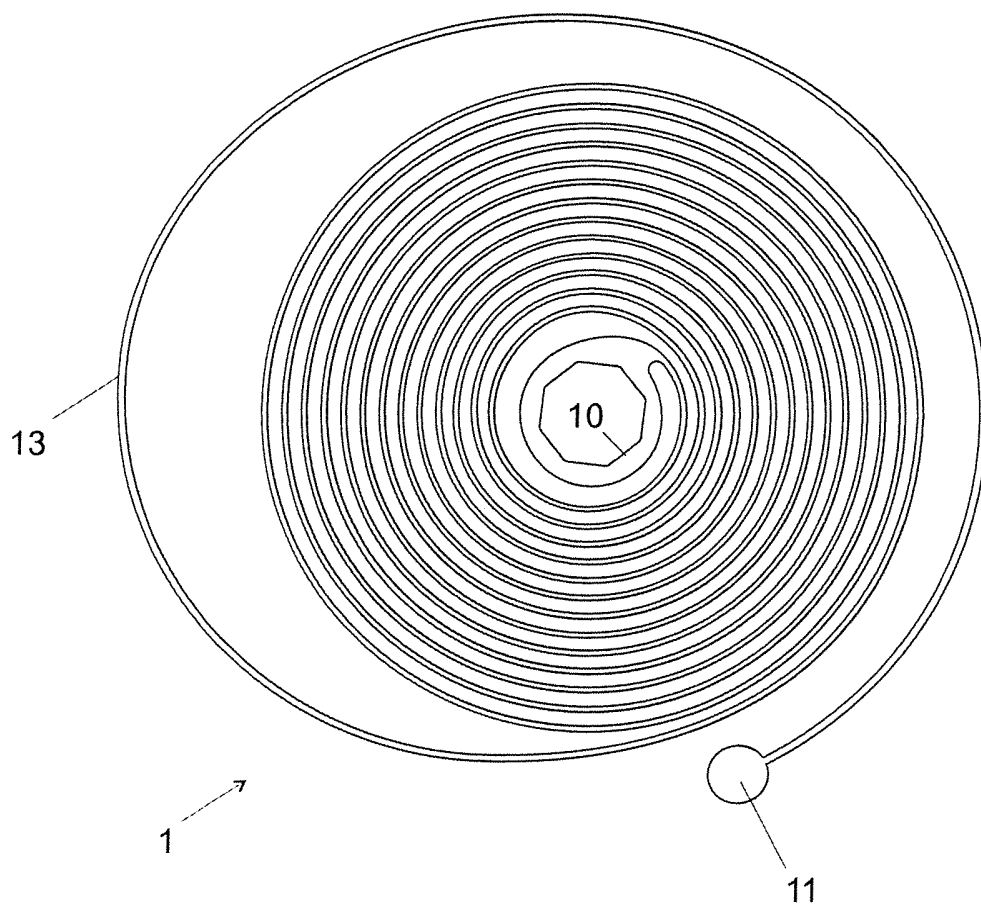


Fig. 9

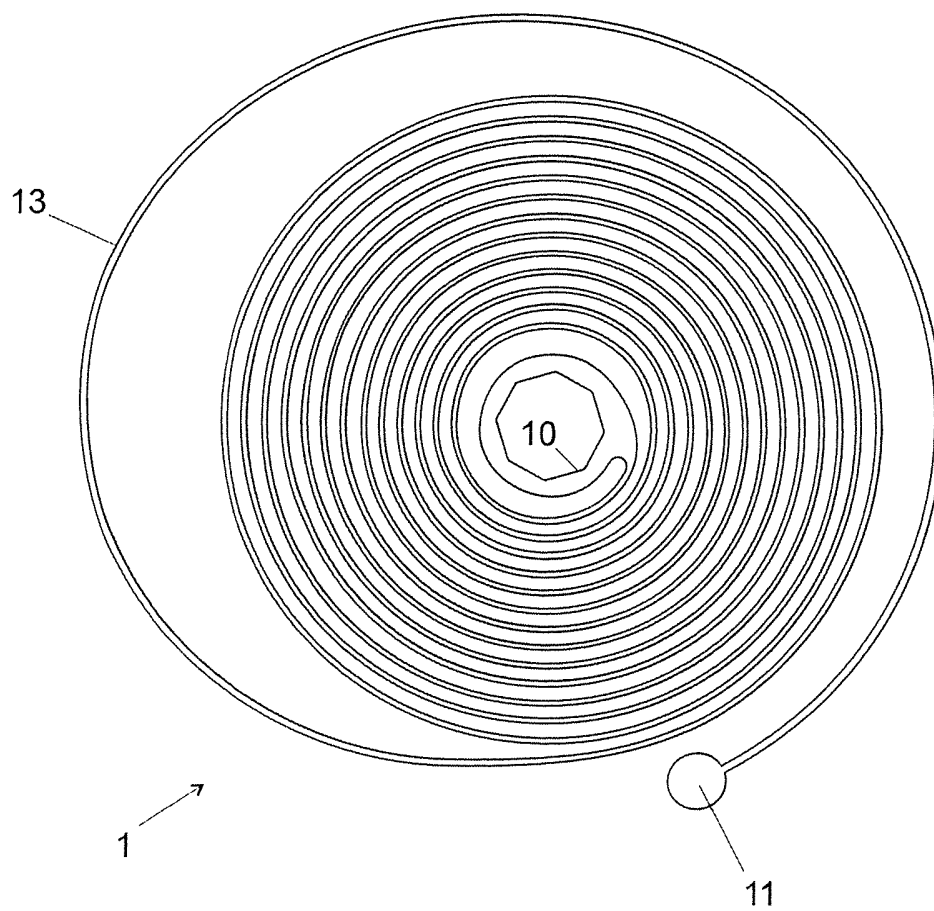


Fig. 10

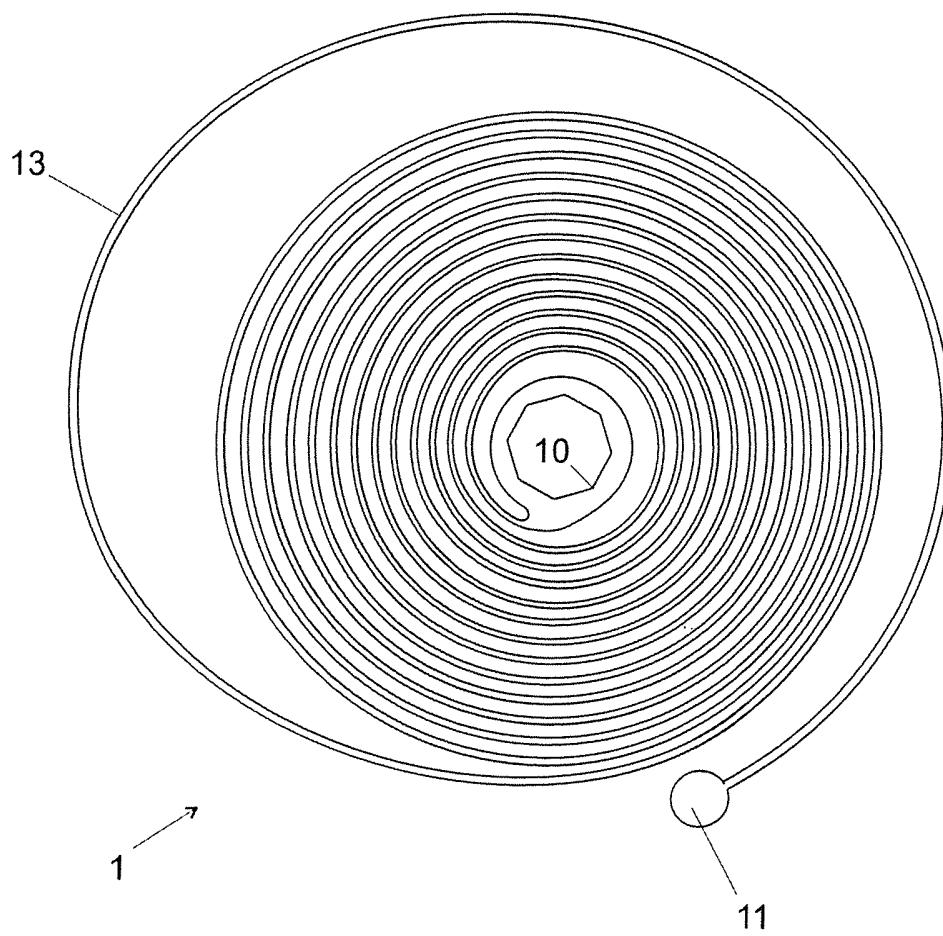


Fig. 11

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

IDENTIFICATION DE LA DEMANDE INTERNATIONALE		COTE DU DOSSIER DU DEPOSANT OU DU MANDATAIRE	
		Nardin-100-CH	
Demande nationale n°		Date du dépôt	
1408/2013		19-08-2013	
Pays du dépôt		Date de priorité revendiquée	
Déposant (Nom)			
Ulysse Nardin Le Locle S.A.			
Date de la requête d'une recherche de type international		Numéro donné par l'administration chargée de la recherche internationale à la requête d'une recherche de type international	
28-08-2013		SN 60615	
I. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE (en cas de plusieurs symboles de la classification, les indiquer tous)			
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB			
G04B17/06			
II. DOMAINES RECHERCHES			
Documentation minimale consultée			
Système de classification		Symboles de la classification	
IPC.8		G04B	
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents font partie des domaines consultés			
III. ☐ IL A ETE ESTIME QUE CERTAINES REVENDICATIONS NE POUVAIENT FAIRE L'OBJET D'UNE RECHERCHE (Observations sur la feuille supplémentaire)			
IV. ☐ ABSENCE D'UNITE DE L'INVENTION (Observations sur la feuille supplémentaire)			

Form PCT/ISA 201 A (11/2000)

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Demande de recherche No

CH 14082013

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. 604B17/06 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTEE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G04B		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où des documents relatifs des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Bases de données électroniques consultées au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie *	Documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 1 605 323 A2 (COREDEM S A [CH]) 14 décembre 2005 (2005-12-14) * alinéas [0001] - [0010] * * figure 9 *	1-15
X	WO 2012/152843 A1 (LVMH SWISS MFT SA [CH]; CORTHESE YVES [CH]) 15 novembre 2012 (2012-11-15) * page 17, ligne 8-13 * * figures 1,3 *	1-8, 11-15
X	WO 2013/034962 A1 (PATEK PHILIPPE SA GENEVE [CH]; BUCAILLE JEAN-LUC [FR]) 14 mars 2013 (2013-03-14) * page 4, ligne 13 - page 8, ligne 23 * * figures 1-9 *	1-4, 11-15
-/-		
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents		☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "B" document antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date "C" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (liste qu'indiquée) "D" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tout autre moyen "E" document publié avant la date de dépôt, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "F" document ultérieur publié après la date de dépôt ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "G" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "H" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "I" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche de type international a été effectivement achevée 17 janvier 2014		Date d'expédition du rapport de recherche de type international 13-01-2014
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentamt 2 NL - 2280 L'Y Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040 Fax: (+31-70) 340-2010		Fonctionnaire autorisé Pirozzi, Giuseppe

Formulaire PCT/IB-A4001 (cinquième édition) (décembre 2004)

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Demande de recherche No

CH 14082013

C. (suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Document cité, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	No. des revendications citées
X	EP 1 473 604 A1 (PATEK PHILIPPE SA [CH]) 3 novembre 2004 (2004-11-03) * alinéas [0012] - [0042] * * figures 1-11 *	1-4, 11-15
X	CH 327 796 A (HORLOGERIE SUISSE S A ASUAG [CH]; COMMUNAUTE D INTERETS DES MANU [CH]) 15 février 1958 (1958-02-15) * page 1, ligne 43 - page 2, ligne 8 * * figure 1 *	1-4, 11-15
X	US 2011/292770 A1 (DAMASKO KONRAD [DE]) 1 décembre 2011 (2011-12-01) * alinéas [0067] - [0070] * * figure 2 *	1-8, 11-15

Formulaire PCT/ISA/205 (recto de la deuxième feuille) (Janvier 2004)

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande de recherche n°

CH 14982013

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1605323	A2	14-12-2005	AUCUN
WO 2012152843	A1	15-11-2012	CH 704906 A1 15-11-2012 WO 2012152843 A1 15-11-2012
WO 2013034962	A1	14-03-2013	CH 705471 A2 15-03-2013 WO 2013034962 A1 14-03-2013
EP 1473604	A1	03-11-2004	CN 1781060 A 31-05-2006 EP 1473604 A1 03-11-2004 EP 2224293 A2 01-09-2010 HK 1066076 A1 30-09-2010 JP 4763595 B2 31-08-2011 JP 2006525504 A 09-11-2006 US 2006262652 A1 23-11-2006 WO 2004097534 A1 11-11-2004
CH 327796	A	15-02-1958	AUCUN
US 2011292770	A1	01-12-2011	EP 2394202 A2 14-12-2011 US 2011292770 A1 01-12-2011