



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
02.05.2018 Bulletin 2018/18

(51) Int Cl.:
G04B 17/30 (2006.01) **G04B 21/06 (2006.01)**
G04B 17/28 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **17194636.1**

(22) Date de dépôt: **03.10.2017**

(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**
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
MA MD

(72) Inventeurs:
• **WINKLER, Pascal**
2072 St-Blaise (CH)
• **HELPER, Jean-Luc**
2525 Le Landeron (CH)
• **DI DOMENICO, Gianni**
2000 Neuchâtel (CH)

(30) Priorité: **25.10.2016 EP 16195399**

(74) Mandataire: **ICB SA**
Faubourg de l'Hôpital, 3
2001 Neuchâtel (CH)

(71) Demandeur: **ETA SA Manufacture Horlogère
Suisse**
2540 Grenchen (CH)

(54) **MONTRE MÉCANIQUE AVEC RÉSONATEUR ROTATIF ISOCHROME, INSENSIBLE AUX POSITIONS**

(57) Mécanisme résonateur (100) d'horlogerie, comportant un mobile central (30), solidaire en rotation autour d'un axe (D) d'un mobile d'entrée (1) soumis à un couple moteur, agencé pour tourner en continu, et comportant, une pluralité de N éléments inertiels (2), chacun mobile selon un degré de liberté par rapport au mobile central (30) et rappelé vers l'axe (D) par des moyens de rappel élastique (4), ledit mécanisme (100) présentant une symétrie de rotation d'ordre N, où ce mécanisme (100) comporte des moyens de liaison cinématique entre tous les

éléments inertiels (2), agencés pour maintenir, à tout instant, tous les centres de masse des éléments inertiels (2) à la même distance, R, de l'axe (D), et où les moyens de rappel élastique (4) provoquent un potentiel élastique tel que : $V_{tot} = \frac{\omega^2}{2} \cdot \sum_j (M_j \cdot R_j^2)$, - V_{tot} étant le potentiel élastique, - $\sum_j$ étant la somme sur les j de la quantité entre parenthèses, - ω étant la vitesse de rotation qu'on veut imposer, - $R_j = R$ étant la position du centre de masse G j de l'élément inertiel j de masse M j.

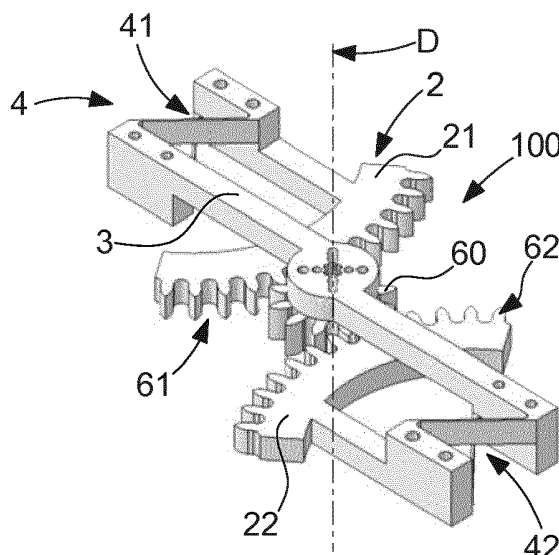


Fig. 10

DescriptionDomaine de l'invention

5 **[0001]** L'invention concerne un mécanisme résonateur pour mouvement d'horlogerie, comportant un mobile d'entrée monté pivotant autour d'un axe de rotation et soumis à un couple moteur, et comportant un mobile central, solidaire en rotation avec ledit mobile d'entrée autour dudit axe de rotation et agencé pour tourner en continu, ledit mécanisme résonateur comportant une pluralité de N éléments inertiels, chacun mobile selon au moins un degré de liberté par rapport audit mobile central, et rappelé vers ledit axe de rotation par des moyens de rappel élastique, qui sont agencés
10 pour provoquer un effort de rappel sur le centre de masse dudit élément inertiel, ledit mécanisme résonateur présentant une symétrie de rotation d'ordre N.

[0002] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant au moins un tel mécanisme résonateur.

[0003] L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie, notamment une montre, comportant un tel mouvement d'horlogerie.

15 **[0004]** L'invention concerne le domaine des mécanismes résonateurs d'horlogerie, constituant des bases de temps.

Arrière-plan de l'invention

20 **[0005]** La plupart des montres mécaniques actuelles sont munie d'un balancier-spiral et d'un mécanisme d'échappement à ancre suisse. Le balancier-spiral constitue la base de temps de la montre. On l'appelle aussi résonateur.

[0006] L'échappement, quant à lui, remplit deux fonctions principales:

- entretenir les va-et-vient du résonateur ;
- compter ces va-et-vient.

25 **[0007]** En plus de ces deux fonctions principales, l'échappement doit être robuste, résister aux chocs, et éviter de coincer le mouvement (renversement).

[0008] Le mécanisme d'échappement à ancre suisse a un rendement énergétique faible (environ 30%). Ce faible rendement provient du fait que les mouvements de l'échappement sont saccadés, qu'il y a des chutes ou chemin perdus pour s'accommoder des erreurs d'usinage, et, aussi du fait que plusieurs composants se transmettent leur mouvement via des plans inclinés qui frottent les uns par rapport aux autres.

30 **[0009]** Pour constituer un résonateur mécanique, il faut un élément inertiel, un guidage et un élément de rappel élastique. Traditionnellement, un ressort spiral joue le rôle d'élément de rappel élastique pour l'élément inertiel que constitue un balancier. Ce balancier est guidé en rotation par des pivots qui tournent dans des paliers lisses en rubis. Cela donne lieu à des frottements, et donc à des pertes d'énergie et des perturbations de marche, qui dépendent des positions, et que l'on cherche à supprimer. Les pertes sont caractérisées par le facteur de qualité Q. On cherche à maximiser ce facteur Q.

35 **[0010]** La demande EP2847547 au nom de Montres BREGUET décrit un mécanisme de régulation de la vitesse de pivotement, autour d'un premier axe de pivotement, d'un mobile, notamment de sonnerie, comportant une masselotte pivotante autour d'un deuxième axe de pivotement parallèle au premier. Le régulateur comporte des moyens de rappel de la masselotte vers le premier axe. Quand le mobile pivote à une vitesse inférieure à une vitesse de consigne, la masselotte reste confinée dans un premier volume de révolution autour du premier axe. Quand ce mobile pivote à une vitesse supérieure à la vitesse de consigne, la masselotte s'engage dans un second volume de révolution autour du premier axe, contigu et extérieur au premier volume de révolution, et une portion périphérique de la masselotte coopère
40 dans ce second volume de révolution avec des moyens de régulation agencés pour provoquer le freinage du mobile et ramener sa vitesse de pivotement à la vitesse de consigne, et pour dissiper l'énergie excédentaire. En particulier le mobile est soumis à un couple de freinage par courants de Foucault.

[0011] La demande EP14184155 au nom de ETA Manufacture Horlogère Suisse décrit un mécanisme régulateur d'horlogerie comportant, montés mobiles, au moins en pivotement par rapport à une platine, une roue d'échappement agencée pour recevoir un couple moteur via un rouage, et un premier oscillateur comportant une première structure rigide reliée à la platine par des premiers moyens de rappel élastique. Ce mécanisme régulateur comporte un deuxième oscillateur comportant une deuxième structure rigide reliée à la première structure rigide par des deuxièmes moyens de rappel élastique, et qui comporte des moyens de guidage agencés pour coopérer avec des moyens de guidage complémentaire que comporte la roue d'échappement, synchronisant le premier oscillateur et le deuxième oscillateur
45 avec le rouage.

[0012] La demande EP15153657 au nom de ETA Manufacture Horlogère Suisse décrit un oscillateur horloger comportant une structure et des résonateurs primaires distincts, déphasés temporellement et géométriquement, comportant chacun une masse rappelée vers la structure par un moyen de rappel élastique. Cet oscillateur horloger comporte des

moyens de couplage pour l'interaction des résonateurs primaires, comportant des moyens moteurs pour entraîner en mouvement un mobile lequel comporte des moyens d'entraînement et de guidage agencés pour entraîner et guider un moyen de commande articulé avec des moyens de transmission chacun articulé, à distance du moyen de commande, avec une masse d'un résonateur primaire, et les résonateurs primaires et le mobile sont agencés de telle façon que les axes des articulations de deux quelconques des résonateurs primaires et l'axe d'articulation du moyen de commande ne sont jamais coplanaires.

[0013] La demande internationale PCT/EP2015/065434 au nom de The Swatch Group Research & Development Ltd décrit un ensemble horloger comportant un résonateur combiné à isochronisme amélioré, à au moins deux degrés de liberté, lequel comporte un premier oscillateur linéaire ou rotatif à amplitude réduite selon une première direction, par rapport auquel oscille un deuxième oscillateur linéaire ou rotatif à amplitude réduite selon une deuxième direction sensiblement orthogonale à la première direction, ce deuxième oscillateur comportant une deuxième masse porteuse d'un coulisseau. Cet ensemble horloger comporte un mobile agencé pour l'application d'un couple au résonateur, ce mobile comportant une rainure dans laquelle le coulisseau coulisse à jeu minimal. Ce coulisseau est agencé pour au moins, ou bien suivre la courbure de la rainure quand elle en comporte une, ou bien frotter à friction dans la rainure, ou bien repousser les surfaces latérales intérieures que comporte la rainure par des surfaces magnétisées ou électrisées que comporte le coulisseau.

[0014] Le document FR630831A au nom de Schieferstein décrit un procédé et un dispositif pour la transmission de puissance entre des systèmes mécaniques ou pour la commande de systèmes mécaniques, où deux mouvements oscillants de mécanismes souples, formant un angle convenable entre eux, agissent l'un sur l'autre de manière qu'il se produit une oscillation qui a lieu suivant une courbe fermée, et qui, dans le but de la transmission de force ou de la commande, est accouplée de manière lâche conforme avec un mouvement rotatif. Les moyens de rappel associés sont attachés à la platine. Les éléments de jonction entre les masses sont élastiques, et par conséquent, ne constituent pas des moyens de liaisons cinématiques.

[0015] Le document EP3095011A2 et le document WO2015/104962 au nom de l'EPFL au nom de l'EPFL décrivent un oscillateur harmonique isotrope mécanique, comprenant au moins une liaison à deux degrés de liberté, supportant une masse en orbite par rapport à une base fixe avec des ressorts ayant des propriétés de rappel isotropes et linéaires. Plus particulièrement un étage de ressort plan forme une liaison à deux degrés de liberté entraînant un mouvement purement translationnel de la masse en orbite, de sorte que la masse se déplace le long de son orbite tout en maintenant une orientation fixe. Dans une variante chaque étage de ressort comprend au moins deux ressorts parallèles. Là encore, les ressorts ou autres moyens de rappel associés sont attachés à la platine.

[0016] Quand une masse, guidée en rotation autour d'un axe fixe, et reliée à cet axe par un ressort de rappel radial linéaire, est entraînée dans sa rotation par une roue à rainure, si on fixe sur la masse une goupille travaillant dans cette rainure, si cette masse est ponctuelle, ses trajectoires sont des ellipses ou des cercles, et sont toutes isochrones. Si la masse a une inertie de rotation, alors seules les trajectoires circulaires sont isochrones. Des conditions particulières, assez délicates à mettre au point, peuvent permettre de stabiliser les trajectoires sur des cercles, le résonateur restant alors isochrone en fonction du couple d'entraînement de la roue.

Résumé de l'invention

[0017] La présente invention se propose d'atteindre deux objectifs, à savoir :

- supprimer les perturbations dues aux frottements des pivots du résonateur pour augmenter son facteur de qualité ;
- supprimer les saccades de l'échappement afin d'augmenter le rendement du mécanisme, et notamment le rendement de la fonction d'entretien et de comptage, habituellement dévolue à un mécanisme d'échappement.

[0018] Pour atteindre ces objectifs, l'invention propose un mécanisme résonateur rotatif selon la revendication 1.

[0019] Historiquement, les horlogers n'ont pas considéré les résonateurs rotatifs comme base de temps pour les montres car ils ne sont généralement pas isochrones, et ils sont sensibles à la gravité.

[0020] Aussi un mécanisme résonateur rotatif selon l'invention est en particulier conçu de façon à comporter des guidages, dans lesquels des frottements de guidage ne dissipent pas d'énergie en régime stationnaire, améliorant ainsi le facteur de qualité.

[0021] Et, dans ce mécanisme résonateur rotatif particulier, l'entretien de la rotation est effectué par un couple appliqué directement sur un arbre du résonateur, évitant ainsi les pertes dynamiques d'un échappement à ancre classique.

[0022] Pour obtenir un mécanisme résonateur rotatif utilisable comme base de temps pour un instrument horaire, l'invention s'attache à respecter les conditions principales :

- condition d'isochronisme : le mécanisme résonateur rotatif comporte une pluralité d'éléments inertiels mobiles, chacun rappelé vers un axe de rotation principal par des moyens de rappel élastique, dont l'effort élastique de rappel

provoque sur le centre de masse de cet élément inertiel une force centrale d'intensité proportionnelle à la distance entre l'axe de rotation et ce centre de masse ;

- condition d'insensibilité aux positions : l'utilisation d'une pluralité d'éléments inertiels mobiles, chacun guidé de façon à pouvoir s'éloigner de l'axe de rotation, en combinaison avec :

- ou bien une fréquence élevée, c'est-à-dire supérieure à 20 Hz, dans le cas d'une application à une montre ;
 - ou bien un mécanisme de liaison agencé pour forcer le centre de masse global (de l'ensemble de ces éléments inertiels) à rester sur l'axe de rotation quelle que soit l'amplitude, c'est-à-dire un lien cinématique qui force les centres de masse des différents éléments inertiels à être sur un même rayon, par rapport à l'axe de rotation, à chaque instant ;

- condition d'insensibilité aux chocs et perturbations : frottement radial permettant de ramener les centres de masse des éléments inertiels sur une trajectoire circulaire suite à une perturbation de trajectoire. Ce frottement radial peut être réalisé par frottement de l'air, frottement d'un pivot, d'une glissière, ou similaire.

[0023] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant au moins un tel mécanisme résonateur.

[0024] L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie, notamment une montre, comportant un tel mouvement d'horlogerie.

Description sommaire des dessins

[0025] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, où :

- la figure 1 représente, de façon schématisée et en vue en plan, un mouvement mécanique d'horlogerie, comportant un barillet entraînant un rouage de finissage, qui entraîne un mobile d'entrée d'un mécanisme régulateur rotatif continu selon l'invention, dans une variante articulée comportant deux éléments inertiels portés par des bras montés pivotants par rapport à une structure commune tournant autour de l'axe de rotation du mobile d'entrée, chaque bras étant rappelé vers cet axe par des moyens de rappel élastique particuliers;
- la figure 2 représente, de façon similaire à la figure 1, un mécanisme dérivé de celui de la figure 1, comportant des moyens pour maintenir à tout instant les centres de masse des éléments inertiels à la même distance de l'axe de rotation de façon à rendre le mécanisme régulateur rotatif continu insensible aux effets du champ de gravité, ces moyens comportant ici un pantographe articulé ;
- la figure 3 est une variante du mécanisme de la figure 2, où les éléments inertiels sont combinés avec des bras adjacents du pantographe ;
- la figure 4 est une variante du mécanisme de la figure 3, où les bras sont tous remplacés par des éléments inertiels articulés sur un mobile central entraîné par le rouage, et un mobile central secondaire constituant ensemble une croix au coeur du pantographe ;
- la figure 5 est un schéma d'un losange formant demi-pantographe à côtés de dimensions quelconques, et la figure 6 est un schéma du même demi-pantographe montrant les coordonnées polaires du centre de masse d'un segment j ;
- la figure 7, similaire à la figure 6, concerne le cas particulier d'un demi-pantographe en losange isocèle régulier, où tous les bras entre articulations sont de longueur égale ;
- la figure 8 représente, de façon schématisée et en perspective, une autre variante, avec une structure voisine de celles des figures 3 et 4, dépourvue d'articulation à pivot, sauf au niveau de l'axe de rotation, et dont les bras constituant les segments du pantographe forment les éléments inertiels, et où les liaisons entre ces bras comportent des guidages flexibles à lames croisées en projection ;
- la figure 8A représente, de façon similaire à la figure 8, une variante avantageuse de réalisation comportant, en superposition, une structure supérieure monobloc, qui comporte toutes les lames supérieures, et une structure inférieure monobloc, qui comporte toutes les lames inférieures ; les figures 8B et 8C sont des vues de côté du mobile central et du mobile central secondaire de ce pantographe ;
- les figures 9 et 10 représentent, de façon schématisée, respectivement en plan et en perspective, une variante de liaison cinématique rigide entre deux éléments inertiels, comportant une roue dentée axiale folle, qui coopère en permanence avec deux secteurs dentés solidaires des éléments inertiels, lesquels sont articulés sur la structure commune par des guidages flexibles à lames croisées en projection ;
- la figure 11 représente, de façon schématisée et en vue en plan, une variante de pantographe, dont le mobile central est fixé au mobile d'entrée par une liaison élastique, et le mobile central secondaire est fixé au mobile d'entrée par une autre liaison élastique ;
- la figure 12 représente, de façon schématisée et en vue en plan, une autre variante de liaison cinématique en

guidage linéaire radial, avec une barre de guidage radiale coulissant dans des alésages des éléments inertiels, les moyens de rappel élastique des éléments inertiels étant constitués par des ressorts en v ;

- la figure 13 représente, de façon schématisée et en vue en plan, une autre variante encore, dans laquelle la liaison cinématique comporte des moyens de guidage curviligne, combinant une rainure courbe du mobile central, et un pion porté par l'élément inertiel concerné, et où les moyens de rappel élastique comportent deux lames élastiques parallèles l'une à l'autre, pour limiter le mouvement de chaque élément inertiel selon un seul degré de liberté ;
- la figure 14 représente, de façon schématisée et en vue en plan, une structure voisine de celle de la figure 9, comportant une roue dentée axial folle coopérant avec deux roues intermédiaires qui elles-mêmes engrènent avec des roues solidaires des éléments inertiels et des bras, lesquels sont articulés sur la structure commune par des ressorts de traction classiques ;
- la figure 15 représente, de façon schématisée et en vue en plan, une variante où la liaison cinématique est flexible, la structure commune étant une lame flexible qui porte les éléments inertiels, qui portent chacun un bras porteur d'un élément de crémaillère coopérant avec une roue folle axiale ;
- la figure 16 représente, de façon schématisée et en vue en plan, une variante de la figure 15, comportant des moyens de rappel élastique comportant, pour chaque élément inertiel, deux lames élastiques parallèles, pour limiter le mouvement de chaque élément inertiel selon un seul degré de liberté ;
- la figure 17 est un schéma-blocs représentant une montre comportant un mouvement qui comporte lui-même un mécanisme régulateur rotatif continu selon l'invention.

Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0026] L'invention concerne un mécanisme résonateur 100, prévu pour un mouvement d'horlogerie 200 destiné principalement à être intégré dans une montre 300. En effet, le mécanisme résonateur 100 selon l'invention est étudié pour être isochrone, insensible aux positions dans le champ de gravité, et, sinon insensible aux chocs et perturbations, du moins agencé pour reprendre très vite sa marche normale.

[0027] Ce mécanisme résonateur 100 est un résonateur rotatif. Il présente la particularité d'être dépourvu de mécanisme d'échappement usuel, et de fonctionner en continu. L'absence de saccades permet d'améliorer considérablement le rendement énergétique, en comparaison avec un résonateur classique, de type balancier-spiral couplé avec un échappement à ancre.

[0028] Ce mécanisme résonateur 100 comporte un mobile d'entrée 1, monté pivotant autour d'un axe de rotation D. Ce mobile d'entrée 1 est soumis à un couple moteur. La figure 1 illustre une configuration classique d'un mouvement d'horlogerie 200 qui comporte des moyens d'accumulation et de stockage d'énergie 210, ici comportant de façon non limitative un barillet 211, agencés pour entraîner classiquement un rouage 220, en particulier un rouage de finissage, dont l'élément le plus en aval entraîne le mobile d'entrée 1, ainsi soumis au couple du rouage de finissage.

[0029] Selon l'invention, le mécanisme résonateur 100 comporte une structure commune, qui est déformable ou articulée, et qui est solidaire en rotation avec le mobile d'entrée 1 autour de l'axe de rotation D. Cette structure commune porte, ou comporte, une pluralité d'éléments inertiels 2. Et cette structure commune tourne en continu. Il n'y a pas de mouvement de va-et-vient : une fois soumis à un couple moteur, la structure commune tourne dans un sens unique de rotation. Ceci n'empêche pas que la structure puisse être réversible, et apte à tourner dans l'autre sens si elle est soumise à un couple de sens opposé.

[0030] Chaque élément inertiel 2 est guidé, selon au moins un degré de liberté par rapport à la structure commune.

[0031] Chaque élément inertiel 2 est rappelé vers l'axe de rotation D par des moyens de rappel élastique 4, qui sont agencés pour provoquer un effort de rappel sur le centre de masse de cet élément inertiel 2.

[0032] Selon l'invention, ces moyens de rappel élastique 4 sont embarqués dans le mécanisme résonateur rotatif 100.

[0033] Cet effort de rappel est dirigé vers l'axe de rotation D, et présente une intensité proportionnelle à la distance R_G entre l'axe de rotation D et le centre de masse de l'élément inertiel 2 considéré.

[0034] Dans une variante particulière, des mêmes moyens de rappel élastique 4 sont communs à plusieurs éléments inertiels 2, et peuvent notamment consister en un ressort de traction joignant des tourillons disposés sur les masses inertielles, ou similaire.

[0035] Dans une autre variante, illustrée notamment par les figures 1, 2, 12, 13, 14, où le mécanisme résonateur 100 est articulé, de tels moyens de rappel élastiques 4 sont agencés entre, d'une part la structure commune, et d'autre part une masse inertielle 2, ou bien un bras 31, 32, porteur d'une masse inertielle 2.

[0036] Dans une autre variante encore, tel que visible à la figure 15, la structure commune est déformable élastiquement, et constitue de tels moyens de rappel élastiques 4.

[0037] Le mécanisme résonateur 100 présente une symétrie de rotation d'ordre N, N étant le nombre des masses inertielles 2. Ce qui n'est pas le cas de l'art antérieur cité plus haut.

[0038] Dans une variante où le mécanisme résonateur 100 est articulé, chaque élément inertiel 2 est guidé, directement ou indirectement par l'intermédiaire de bras ou de systèmes articulés secondaires, par rapport à la structure commune

par au moins un moyen de guidage 5.

[0039] La figure 1 illustre ainsi un exemple où la structure commune comporte un mobile central 30, lequel porte à ses deux extrémités, des pivots d'articulation 51, 52, autour d'axes D31 et D32, et qui portent respectivement des bras 31, 32, lesquels sont eux-mêmes porteurs d'éléments inertiels 2 : 21 et 22, qui, selon la variante d'exécution, peuvent être, ou bien montés fous sur ces bras 31, 32, au niveau d'axes D1, D2, passant par leur centre de masse, ou bien montés fixes par rapport à ces bras.

[0040] Dans cette variante de la figure 1, les moyens de rappel élastiques 4 sont en rotation, et séparés: 41 et 42, agencés entre, d'une part le mobile central 30 de la structure commune 3 au niveau d'une attache intérieure 410, 420, et d'autre part le bras 31, 32, au niveau d'une attache extérieure 411, 421.

[0041] On comprend, que chaque élément inertiel 2 peut comporter un degré de liberté en rotation, comme sur la plupart des présentes figures, ou bien encore un degré de liberté en translation comme sur la figure 12.

[0042] Dans la variante où chaque élément inertiel 2 comporte un degré de liberté en rotation, plus particulièrement, les moyens de rappel élastique 4 provoquent un potentiel élastique, assimilable à une énergie potentielle élastique totale, caractérisé par la relation suivante :

$$V_{\text{tot}} = \frac{1}{2} \cdot \omega_0^2 \cdot \sum_j (M_j \cdot R_j^2(\beta_i)),$$

où :

- V_{tot} est le potentiel élastique, qui représente une énergie élastique,
- $\sum_j$ est la somme sur les j de la quantité entre parenthèses,
- ω_0 est la vitesse de rotation qu'on veut imposer,
- $R_j(\beta_i)$ est la position du centre de masse de l'élément inertiel j , en fonction de la valeur du degré de liberté β_i ,
- M_j est la masse de l'élément inertiel j .

[0043] On comprend que, dans l'exemple articulé de la figure 1, comportant deux éléments inertiels 21 et 22, le mécanisme résonateur 100 selon l'invention doit piloter, à tout instant, trois angles : celui que fait la structure commune 3 avec une platine du mouvement d'horlogerie, ou similaire, et ceux, β_1 et β_2 , que font les centres de masse des éléments inertiels 21 et 22 par rapport à la structure commune 3, en référence aux axes D31 et D32 des guidages 51 et 52 respectifs. Bien sûr, en cas de N éléments inertiels, il s'agit de piloter $N+1$ angles.

[0044] Le système est auto-régulé : sous l'effet du couple imprimé par les moyens moteurs du mouvement, chaque élément inertiel tend à s'écarter de l'axe de rotation D, jusqu'à une position radiale où les frottements de l'air impriment un couple résistant qui équilibre, selon une direction tangentielle, l'effet du couple appliqué sur le mobile d'entrée 1, rapporté au centre de masse de l'élément inertiel. Selon la direction radiale, c'est la force centrifuge qui équilibre la composante radiale de l'effort de rappel imprimé par les moyens de rappel élastique 4. Ce double équilibre, tangentiel et radial, détermine la position radiale du centre de masse à tout instant, en fonction de la valeur instantanée du couple émis par les moyens moteurs. La vitesse angulaire de rotation est égale à la racine carrée du quotient de la raideur des moyens de rappel élastique par la masse de l'élément inertiel, tandis que le rayon instantané du centre de masse par rapport à l'axe de rotation D est égal à la racine carrée du quotient entre le couple moteur et le produit de la vitesse angulaire et du coefficient de frottement entre le milieu ambiant et l'élément inertiel.

[0045] Les centres de masse des éléments inertiels tendent à atteindre l'axe de rotation D, quand les moyens moteurs sont à l'arrêt, cette position correspondant à l'exercice d'un effort de traction nul de la part des moyens de rappel élastique 4. Il peut être plus facile de réaliser un mécanisme résonateur 100 où les masses inertiels 2 s'approchent de l'axe de rotation, surtout si ces masses inertiels 2 sont dans un même plan, et viennent par exemple en contact l'une avec l'autre dans une position de repos, les moyens de rappel élastique 4 étant alors assemblés avec une précontrainte.

[0046] La perturbation due au champ de gravité tend, dans certaines positions de la montre 300, à différencier le comportement des éléments inertiels. Par exemple, la figure 1 comporte une référence Z, dans le plan de la feuille et dirigée vers le bas de la feuille, qui indique la verticale du lieu et le champ de gravité, l'élément inertiel 22 tend à s'écarter de la structure commune 3, tandis que l'élément inertiel 21 tend à s'en approcher. Si les éléments inertiels 2 sont complètement libres radialement, il se peut ainsi qu'ils soient situés sur des rayons différents par rapport à l'axe de rotation D.

[0047] Il est donc avantageux, pour s'affranchir de cet effet du champ de gravité, d'effectuer un transfert de mouvement réduisant le nombre de degrés de liberté de chaque élément inertiel 2, et d'établir un couplage mécanique qui force la position radiale, par rapport à l'axe de rotation D, de chaque élément inertiel 2 par rapport aux autres. Ainsi le centre de masse global du mécanisme résonateur tout entier peut rester sur l'axe de rotation D. De préférence, on établit une symétrie par rapport à l'axe de rotation D.

[0048] A cet effet, le mécanisme résonateur rotatif 100 comporte avantageusement une liaison cinématique, et plus

particulièrement une liaison cinématique rigide, entre au moins deux éléments inertiels 2, et de préférence entre tous les éléments inertiels 2. Cette liaison force les éléments inertiels 2 à se trouver à la même distance de l'axe de rotation D, en permanence. C'est-à-dire que les éléments inertiels 2 n'ont plus qu'un degré de liberté par rapport à la structure commune 3.

[0049] Cette liaison cinématique est utile aux petites fréquences, 2 à 5 Hz notamment. En revanche, si la vitesse de rotation de la structure commune 3 est élevée, notamment correspondant à une période supérieure ou égale à 20 Hz, par exemple de l'ordre de 50 Hz, l'effet du champ de pesanteur est négligeable devant les effets de l'inertie, et une telle liaison cinématique n'est pas indispensable. Une telle réalisation très simple peut convenir à des applications à usage unique, comme des pièces d'artifice ou similaires. La liaison cinématique devient nécessaire, en revanche, dès que l'on cherche à atteindre de bonnes performances chronométriques, notamment pour l'emploi dans une montre.

[0050] Différents exemples de telles liaisons cinématiques sont illustrés sur les figures 2, 3, 4, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15 et 16, et seront exposés plus loin. La plupart sont des liaisons cinématiques rigides articulées, certaines illustrant des liaisons cinématiques flexibles.

[0051] La figure 2 illustre, dans une position déployée, une réalisation avantageuse de l'invention, où la liaison cinématique est réalisée grâce à une structure en pantographe : le mécanisme résonateur 100 comporte une structure articulée en pantographe en symétrie autour de l'axe de rotation D, comportant au moins tous les éléments inertiels 2, articulés directement, ou articulés indirectement par l'intermédiaire de bras qui sont désignés, selon les variantes, par les repères 31, 32, 131, 132, 121, 122, 123, 124, autour du mobile central 30 et d'un mobile central secondaire 130 qui est agencé pour pivoter autour de l'axe de rotation (D et qui constitue avec le mobile central 30 une structure croisée. Par « bras » on entend ici un composant comportant deux articulations.

[0052] On appelle ici « pantographe » une structure articulée double, autour d'un axe central, la forme en double losange est plus particulièrement illustrée sur les figures ; on appelle « demi-pantographe » la partie de la structure située d'un seul côté de l'axe central. Le pantographe comporte deux demi-pantographes, comportant des éléments communs, formant une structure croisée.

[0053] Plus particulièrement, cette structure croisée constituée par le mobile central 30 et le mobile central secondaire 130 a son centre de masse sur l'axe de rotation D.

[0054] Ainsi, sur la figure 2, la liaison cinématique et les guidages sont réalisés en combinant, sur la base de l'exemple de la figure 1, un mobile central 30, un mobile central secondaire 130 pivotant autour de l'axe de rotation D au niveau d'un pivot axial, les deux bras 31 et 32 pivotés sur le mobile central 30, deux autres bras secondaires 131 et 132 pivotés fous, à la fois sur le mobile central secondaire 130 autour d'axes D131 et D132, au niveau de pivots non détaillés, et sur les éléments inertiels 21 et 22 au niveau des axes D1 et D2, et les sept articulations nécessaires à son fonctionnement, de manière à former un pantographe présentant une symétrie de rotation d'ordre 2.

[0055] Dans une variante particulière, le mobile central secondaire 130 pivote fou autour de l'axe de rotation D.

[0056] Les moyens de rappel élastiques 41 et 42 sont les mêmes que sur la figure 1, puisque l'embellage formé par les deux bras 131 et 132 autour du mobile central secondaire 130 est passif, sa seule fonction étant de maintenir les centres de masse des éléments inertiels 21 et 22 en symétrie par rapport à l'axe de rotation D.

[0057] Naturellement, tel que visible sur les variantes illustrées aux figures 3 et 4, certains bras peuvent constituer des éléments inertiels. La variante de la figure 3, très proche de celle de la figure 2, illustrée dans une position repliée, combine l'élément inertiel 21 et le bras secondaire 131 pour constituer un élément inertiel 121, et combine l'élément inertiel 22 et le bras secondaire 132 pour constituer un élément inertiel 123, le bras 31 constituant un élément inertiel 122, et le bras 32 constituant un élément inertiel 124.

[0058] Plus particulièrement, tous les éléments inertiels 2 sont articulés directement sur le mobile central 30 et le mobile central secondaire 130. Ainsi, la variante de la figure 4, très compacte, comporte quatre éléments inertiels qui constituent aussi des bras 31, 32, 131, 132, articulés en pantographe autour du mobile central 30 et du mobile central secondaire 130.

[0059] Les figures 5 et 6 sont des schémas du demi-pantographe, avec en figure 6 les coordonnées polaires du centre de masse d'un segment j. On appelle ici « segment » la définition géométrique d'un côté du losange du demi-pantographe, et on désigne par « bras » le composant physique incorporé au mécanisme.

[0060] La figure 7 illustre le cas particulier d'un demi-pantographe en losange isocèle et régulier, où :

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4,$$

avec les centres de masse G3 et G4 des segments 73 et 74 qui sont situés sur la droite qui lie les rotules de part et d'autre du segment concerné, respectivement A13 à A34, et A24 à A34.

[0061] Dans le cas d'un demi-pantographe quelconque, tel que visible sur les figures 5 et 6, chaque membre, en forme de quadrilatère, du pantographe comporte quatre segments 71, 72, 73, 74, articulés entre eux et par rapport à un axe de pivotement constitué par une rotule principale 70 ou l'axe de rotation D. Le mobile central 30 est constitué de deux

premiers segments 71 dans le prolongement l'un de l'autre par rapport à la rotule principale 70, et le mobile central secondaire 130 est constitué de deux deuxièmes segments 72 dans le prolongement l'un de l'autre par rapport à la rotule principale 70. Et les moyens de rappel élastique 4 engendrent une énergie potentielle V qui est fonction de l'angle de déformation β_1 du membre de pantographe, satisfaisant la relation :

$$\partial V(\beta_1)/\partial \beta_1 = \frac{1}{2} \cdot (d\alpha_0/dt)^2 \cdot \sum_j (M_j \cdot R_j(\beta_1) \cdot R'_j(\beta_1)),$$

(cette condition permet de garantir l'isochronisme d'un pantographe quelconque), où :

- $V(\beta_1)$ est le potentiel en fonction de l'angle β_1 ,
- β_1 est l'angle d'ouverture du pantographe, c'est-à-dire l'angle entre d'une part la droite qui joint la pointe du pantographe opposée à l'axe de pivotement à l'axe de pivotement, et d'autre part le segment considéré,

$$\omega_0 = d\alpha_0/dt$$

est la vitesse de rotation du mécanisme résonateur rotatif 100,

- $\sum_j$ est la somme sur les j de la quantité entre parenthèses,
- M_j est la masse de l'élément inertiel 2 de rang j
- $R_j(\beta_1)$ est la distance de l'axe de rotation au centre de masse G_j de l'élément inertiel 2 de rang j ,
- $R'_j(\beta_1)$ est la dérivée de la distance entre l'axe de pivotement et le centre de masse de l'élément inertiel 2 de rang j par rapport à β_1 .

[0062] Plus particulièrement, le centre de masse de chaque bras (31 ; 32 ; 131 ; 132 ; 121 ; 122 ; 123 ; 124) qui est compris entre deux articulations, est situé sur une droite joignant les deux articulations de part et d'autre du bras considéré.

[0063] Plus particulièrement, et notamment dans la variante des figures 4 et 7, chaque membre du demi-pantographe comporte quatre segments de longueur égale L , constituant ensemble un losange régulier. Et le centre de masse du mobile central 30 et celui du mobile central secondaire 130 se trouvent sur l'axe de rotation D du mécanisme résonateur 100, et les centres de masse de chacun des bras inertiels se trouvent sur une ligne définie par les deux articulations du bras correspondant.

[0064] Plus particulièrement, en référence aux notations de la figure 7, l'énergie potentielle V_{tot} des moyens de rappel élastique est reliée à leur angle de déformation par la relation :

$$V_{\text{tot}}(\beta_1) = L (M_3 \cdot R_3 + M_4 \cdot R_4) \cdot (d\alpha_0/dt)^2 \cdot \cos 2\beta_1$$

où :

- β_1 est l'angle d'ouverture du pantographe,
- L est la longueur de chaque segment entre les articulations,
- M_3 est la masse d'un troisième segment 73 formant un des deux éléments inertiels opposés à l'axe de pivotement constitué par une rotule principale 70 ou par l'axe de rotation D , et compris entre une première rotule latérale $A13$ et une rotule de sommet $A34$ opposée à une rotule d'axe $A12$ constituant la rotule principale 70,
- M_4 est la masse d'un quatrième segment 74 formant l'autre des deux éléments inertiels opposés audit axe de pivotement, et compris entre une deuxième rotule latérale $A24$ et la rotule de sommet $A34$,
- R_3 est la distance de la première rotule latérale $A13$ au centre de masse $G3$ du troisième segment 73,
- R_4 est la distance de deuxième rotule latérale $A24$ au centre de masse $G4$ du quatrième segment 74,
- $d\alpha_0/dt$ est la vitesse de rotation du résonateur rotatif.

[0065] Une telle structure de type pantographe, combinée avec des moyens de rappel élastique adéquats, constitue ainsi un mécanisme qui, sur le plan théorique, permet de garantir la constance de la période de rotation du mobile d'entrée 1, et d'assurer l'insensibilité aux changements de position dans le champ de gravité.

[0066] La réalisation pratique nécessite néanmoins des précautions d'exécution, en raison du grand nombre des guidages d'articulation, synonymes de frottements et de perte de rendement.

[0067] D'autres types de liaison cinématique seront présentés plus loin.

[0068] Pour s'affranchir du coût d'un système articulé, lié à la précision d'usinage et au parallélisme des axes, et de l'altération du rendement par les frottements aux pivots, un mode de réalisation particulier de l'invention concerne un

mécanisme dont au moins un des éléments de guidage et au moins un des moyens de rappel élastique 4 sont réalisés de manière conjointe par un guidage flexible. C'est-à-dire que les fonctions distinctes de guidage et d'élasticité sont réalisées par un guidage flexible unique. Plus particulièrement, à l'exception des guidages au niveau de l'axe de rotation, la totalité des guidages en rotation et des moyens de rappel élastique est réalisée par des guidages flexibles.

[0069] Plus particulièrement, au moins un tel guidage flexible comporte au moins deux lames comprises dans des plans, et qui définissent l'une avec l'autre l'axe de rotation virtuel d'un guidage flexible rotatif.

[0070] Plus particulièrement, dans une structure de type pantographe telle que décrite ci-dessus, au moins quatre de ses articulations sont réalisées par des guidages flexibles rotatifs.

[0071] La figure 8 illustre ainsi une structure voisine de celles des figures 3 et 4, dépourvue d'articulation à pivot, sauf au niveau de l'axe de rotation D, et dont les bras 31, 131, 32, 132, constituant les segments du pantographe forment les éléments inertiels. Dans cette variante non limitative, les guidages flexibles comportent chacun deux lames, disposées selon des niveaux parallèles et distincts, et qui, en projection sur un plan parallèle, se croisent au niveau des axes d'articulation D31, D1, D131, D132, D2, et D32.

[0072] Une réalisation simple est illustrée aux figures 8A, 8B et 8C, et consiste en la superposition d'une structure supérieure 101 monobloc, qui comporte toutes les lames supérieures 103, et d'une structure inférieure 102 monobloc, qui comporte toutes les lames inférieures 102. Ces structure supérieure 101 et structure inférieure 102 peuvent être très facilement assemblées l'une à l'autre, par collage, rivetage, ou autre, et les positions radiales des différentes articulations, ainsi que la symétrie des éléments inertiels, par rapport à l'axe de rotation D, sont parfaitement garanties.

[0073] Plus particulièrement, ces guidages flexibles rotatifs entre deux composants sont du type à lames croisées en projection, tel qu'exposé ci-dessus, dont l'angle d'ouverture θ , lu sur le plan de projection entre l'axe de croisement C et les points d'encastrement des lames sur un des composants, a une valeur de $40^\circ \pm 4^\circ$, et les lames se croisant à une proportion de longueur de 0.15 ± 0.015 . Ce croisement peut être effectué aussi bien à proximité du composant le plus mobile, c'est-à-dire dont la course est la plus importante, que du composant le moins mobile, et il est en général déterminé par le dimensionnement des composants pour assurer la distance requise entre les points d'encastrement des lames.

[0074] Plus particulièrement, les guidages flexibles sont en silicium oxydé pour compenser les effets thermiques.

[0075] Les figures 9 à 16 illustrent plusieurs variantes permettant de garantir la symétrie radiale de mouvement des centres de masse des éléments inertiels, selon le cas sur la base de liaisons cinématiques rigides articulées, ou bien de liaisons cinématiques flexibles.

[0076] La réalisation des figures 9 et 10 comporte, pour établir la liaison cinématique rigide entre les éléments inertiels 2 (21 et 22) est réalisée au moyen d'une roue dentée 60 montée folle concentriquement à l'axe de rotation D, et qui coopère en permanence avec deux secteurs dentés 61 et 62 solidaires des éléments inertiels 21 et 22. Ces derniers sont représentés ici articulés sur la structure commune 3 par de tels guidages flexibles à lames croisées en projection 41 et 42.

[0077] Dans une variante particulière de la structure de type pantographe, comportant un mobile central 30 et un mobile central secondaire 130, le mobile central 30 est fixé au mobile d'entrée 1 par une liaison élastique 80, et le mobile central secondaire 130 pivote autour de l'axe de rotation D, mais ce pivotement est limité par une liaison élastique 80 le reliant au mobile d'entrée 1. Dans cette variante particulière illustrée par la figure 11, le mobile central 30 et le mobile central secondaire 130 sont chacun soumis à un couple d'entraînement équivalent à la moitié du couple d'échappement équivalent dans un mécanisme d'échappement classique.

[0078] Plus particulièrement, cette liaison élastique 80 est un guidage flexible rotatif, notamment comportant deux lames élastiques.

[0079] La figure 12 illustre une autre variante, dans laquelle la liaison cinématique comporte des moyens de guidage linéaire radial 90, avec une barre de guidage radiale 91 coulissant dans des alésages 911 et 912 des éléments inertiels 21 et 22. Les moyens de rappel élastique 4 sont ici constitués à chaque fois par un ressort en v^e 41, 42.

[0080] La figure 13 illustre une autre variante encore, dans laquelle la liaison cinématique comporte des moyens de guidage curviligne 95, combinant une rainure courbe 35 du mobile central 30, et un pion 25 porté par l'élément inertiel 21, 22, concerné. Dans cette variante, les moyens de rappel élastique 4 comportent, pour la suspension et le rappel de chaque élément inertiel 21, 22, deux lames élastiques 45 et 46 sensiblement parallèles l'une à l'autre, de façon à limiter le mouvement de chaque élément inertiel 21, 22, selon un seul degré de liberté.

[0081] La figure 14 représente une structure voisine de celle de la figure 9, comportant une roue dentée 60 montée folle concentriquement à l'axe de rotation D, et qui coopère en permanence avec deux roues intermédiaires 610 et 620, qui elles-mêmes engrènent avec des roues ou des secteurs dentés 61 et 62 solidaires des éléments inertiels 21 et 22 et des bras 31 et 32. Ces derniers sont représentés ici articulés sur la structure commune 3 par des ressorts de traction classiques.

[0082] La figure 15 illustre une variante où la liaison cinématique n'est pas rigide, mais flexible, la structure commune 30 étant une lame flexible qui porte les éléments inertiels 21 et 22, qui portent chacun un bras porteur d'un élément de crémaillère 161, 162, qui coopère avec une roue folle axiale 60. Dans ce mécanisme très simple, les éléments inertiels

21 et 22 peuvent toutefois se mouvoir selon deux degrés de liberté.

[0083] La réalisation de la figure 16 résout ce problème, grâce à l'emploi, comme dans la réalisation de la figure 13, de moyens de rappel élastique 4 qui comportent, pour la suspension et le rappel de chaque élément inertiel 21, 22, deux lames élastiques 45 et 46 sensiblement parallèles l'une à l'autre, de façon à limiter le mouvement de chaque élément inertiel 21, 22, selon un seul degré de liberté.

[0084] Dans une réalisation particulière, le mécanisme résonateur 100 complet (guidage, élément inertiel, moyens de rappel élastique, bras, mobile) est d'une seule pièce. On peut réaliser l'ensemble du résonateur rotatif en silicium usiné par DRIE multi-niveaux, par exemple. Quand cette exécution est malcommode, notamment lors de l'emploi de lames croisées dans des niveaux différents, on peut avantageusement, comme dans le cas de la figure 8A, superposer une structure supérieure 101 monobloc et une structure inférieure 102 monobloc, chacune simple à fabriquer, et qui peuvent être très facilement assemblées l'une à l'autre, par collage, rivetage, vissage ou autre. Plus particulièrement, la structure supérieure 101 monobloc et la structure inférieure 102 monobloc, sont assemblées l'une à l'autre de façon irréversible pour créer un composant monobloc indémontable.

[0085] Dans une variante particulière, la fréquence de rotation du mécanisme résonateur rotatif 100 est supérieure à 20 Hz, et notamment supérieure à 50 Hz. Cette fréquence, relativement élevée, permet de limiter la sensibilité aux positions dans le champ de gravité, dans le cas où il n'y a pas de liaison cinématique.

[0086] On comprend que l'invention, conçue pour le comptage du temps, est aussi utilisable pour d'autres mécanismes, tel qu'un régulateur de sonnerie, ou autre. Les moyens de rappel élastique de l'invention sont embarqués dans le résonateur rotatif, ce qui permet de simplifier sa construction.

[0087] De plus, les moyens de liaisons cinématiques de l'invention réduisent le nombre de degré de liberté du système en liant complètement le déplacement des masses, alors que dans l'art antérieur, le lien est flexible et ne peut réduire le nombre de degrés de liberté.

[0088] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie 200, comportant une platine porteuse de moyens d'accumulation et de stockage d'énergie 210, notamment au moins un barillet 211, agencés pour entraîner classiquement un rouage 220, en particulier un rouage de finissage, dont l'élément le plus en aval est agencé pour entraîner le mobile d'entrée 1 d'un tel mécanisme résonateur rotatif 100, que comporte ce mouvement 200.

[0089] L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie, notamment une montre 300, comportant au moins un mouvement d'horlogerie 200, et/ou un tel mécanisme résonateur rotatif 100.

[0090] Cette invention présente différents avantages, et notamment:

- suppression du mécanisme d'échappement traditionnel, permettant une simplification du mécanisme;
- suppression du travail du frottement des pivots d'un balancier-spiral, permettant d'augmenter le facteur de qualité du mécanisme résonateur ;
- suppression des saccades de l'échappement, permettant d'augmenter le rendement ;
- augmentation de la réserve de marche et/ou de la précision des montres mécaniques actuelles.

[0091] Pour une taille de mouvement donné, il est possible de quintupler l'autonomie de la montre, et de doubler le pouvoir réglant de la montre. Cela revient à dire que l'invention permet un gain d'un facteur 10 sur les performances du mouvement.

Revendications

1. Mécanisme résonateur (100) pour mouvement d'horlogerie, comportant un mobile d'entrée (1), monté pivotant autour d'un axe de rotation (D) et soumis à un couple moteur, et comportant un mobile central (30), solidaire en rotation avec ledit mobile d'entrée (1) autour dudit axe de rotation (D) et agencé pour tourner en continu, ledit mécanisme résonateur (100) comportant une pluralité de N éléments inertiels (2), chacun mobile par rapport audit mobile central (30), et rappelé vers ledit axe de rotation (D) par des moyens de rappel élastique (4) que comporte ledit mécanisme résonateur (100), qui sont agencés pour provoquer un effort de rappel sur le centre de masse dudit élément inertiel (2), ledit mécanisme résonateur (100) présentant une symétrie de rotation d'ordre N, **caractérisé en ce que** ledit mécanisme résonateur (100) comporte des moyens de liaison cinématique entre tous lesdits éléments inertiels (2) et qui sont agencés pour maintenir, à tout instant, tous les centres de masse desdits éléments inertiels (2) à la même distance dudit axe de rotation (D), et encore **caractérisé en ce que** lesdits moyens de rappel élastique (4), qui sont en rotation et embarqués par ledit mécanisme résonateur (100), provoquent un potentiel élastique **caractérisé par** la relation suivante :

$$V = 1/2. (d\alpha_0/dt)^2 . \sum (M_j R^2$$

où :

- V est le potentiel élastique,
- $\sum_j$ est la somme de la quantité entre parenthèses,
- $(d\alpha_0/dt)$ est la vitesse de rotation qu'on veut imposer,
- R_j est la distance de l'axe de rotation au centre de masse G du dit élément inertiel (2) - M est la masse dudit élément inertiel.

2. Mécanisme résonateur (100) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ledit mécanisme résonateur (100) comporte une structure articulée en pantographe autour dudit axe de rotation (D), comportant au moins tous lesdits éléments inertiels (2), articulés directement, ou articulés indirectement par l'intermédiaire de bras (31 ; 32 ; 131 ; 132 ; 121 ; 122 ; 123 ; 124), autour dudit mobile central (30) et d'un mobile central secondaire (130) agencé pour pivoter autour dudit axe de rotation (D) et qui constitue avec ledit mobile central (30) une structure croisée.

3. Mécanisme résonateur (100) selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** ladite structure croisée constituée par ledit mobile central (30) et ledit mobile central secondaire (130) a son centre de masse sur ledit axe de rotation (D).

4. Mécanisme résonateur (100) selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** chaque membre dudit pantographe comporte quatre segments (71, 72, 73, 74), articulés entre eux et par rapport à un axe de pivotement constitué par une rotule principale (70) ou audit axe de rotation (D), ledit mobile central (30) étant constitué de deux premiers segments (71) dans le prolongement l'un de l'autre par rapport à ladite rotule principale (70), et ledit mobile central secondaire (130) étant constitué de deux deuxièmes segments (72) dans le prolongement l'un de l'autre par rapport à ladite rotule principale (70), et **en ce que** lesdits moyens de rappel élastique 4 engendrent une énergie potentielle V qui est fonction de l'angle de déformation β_1 dudit membre de pantographe, satisfaisant la relation :

$$\partial V(\beta_1)/\partial \beta_1 = \frac{1}{2} \cdot (d\alpha_0/dt)^2 \cdot \sum_j (M_j \cdot R_j(\beta_1) \cdot R'_j(\beta_1)),$$

où :

- $V(\beta_1)$ est le potentiel en fonction de l'angle β_1 ,
- β_1 est l'angle d'ouverture du pantographe, c'est-à-dire l'angle entre d'une part la droite qui joint la pointe du pantographe opposée à l'axe de pivotement à l'axe de pivotement, et d'autre part le segment considéré,
- $d\alpha_0/dt$ est la vitesse de rotation dudit mécanisme résonateur rotatif (100),
- $\sum_j$ est la somme sur les j de la quantité entre parenthèses,
- M_j est la masse de l'élément inertiel 2 de rang j ,
- $R_j(\beta_1)$ est la distance de l'axe de rotation au centre de masse G_j de l'élément inertiel 2,
- $R'_j(\beta_1)$ est la dérivée de la distance entre l'axe de pivotement et le centre de masse de l'élément inertiel 2 par rapport à β_1 .

5. Mécanisme résonateur (100) selon l'une des revendications 2 à 4, **caractérisé en ce que** ladite structure articulée constitue un pantographe en symétrie autour dudit axe de rotation (D), ou en symétrie de rotation d'ordre 2 autour dudit axe de rotation (D).

6. Mécanisme résonateur (100) selon l'une des revendications 2 à 5, **caractérisé en ce que** tous lesdits éléments inertiels (2) sont articulés directement sur ledit mobile central (30) et ledit mobile central secondaire (130).

7. Mécanisme résonateur (100) selon l'une des revendications 2 à 6, **caractérisé en ce que** le centre de masse de chaque dit bras (31 ; 32 ; 131 ; 132 ; 121 ; 122 ; 123 ; 124) qui est compris entre deux articulations, est situé sur une droite joignant les deux articulations de part et d'autre dudit bras considéré.

8. Mécanisme résonateur (100) selon l'une des revendications 2 à 7, **caractérisé en ce que** chaque membre dudit pantographe comporte quatre segments de longueur égale constituant ensemble un losange régulier.

9. Mécanisme résonateur (100) selon les revendications 7 et 8, **caractérisé en ce que** l'énergie potentielle V_{tot} desdits moyens de rappel élastique (4) est reliée à leur angle de déformation par la relation : $V_{\text{tot}}(\beta_1) = L \cdot (M_3 \cdot R_3 + M_4 \cdot R_4) \cdot (d\alpha_0/dt)^2 \cdot \cos 2\beta_1$, où :

- β_1 est l'angle d'ouverture du pantographe, qui est l'angle entre d'une part la droite qui joint la pointe du pantographe opposée à l'axe de pivotement à l'axe de pivotement, et d'autre part le segment considéré,
- L est la longueur de chaque segment entre les articulations,
- M_3 est la masse d'un troisième segment (73) formant un des deux éléments inertiels opposés à l'axe de pivotement constitué par une rotule principale (70) ou par ledit axe de rotation (D), et compris entre une première rotule latérale (A13) et une rotule de sommet (A34) opposée à une rotule d'axe (A12) constituant ladite rotule principale (70),
- M_4 est la masse d'un quatrième segment (74) formant l'autre des deux éléments inertiels opposés audit axe de pivotement, et compris entre une deuxième rotule latérale (A24) et ladite rotule de sommet (A34),
- R_3 est la distance de la première rotule latérale (A13) au centre de masse G3 dudit troisième segment (73),
- R_4 est la distance de deuxième rotule latérale (A24) au centre de masse G4 dudit quatrième segment (74),
- $d\alpha_0/dt$ est la vitesse de rotation du résonateur rotatif.

10. Mécanisme résonateur (100) selon l'une des revendications 2 à 9, **caractérisé en ce que** ledit mobile central (30) et ledit mobile central secondaire (130) sont chacun fixé audit mobile d'entrée (1) par une liaison élastique (80).

11. Mécanisme résonateur (100) selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** ladite liaison élastique (80) est un guidage flexible rotatif comportant deux lames élastiques.

12. Mécanisme résonateur (100) selon la revendication 2 ou l'une des revendications qui en dépendent, **caractérisé en ce que** chaque dit élément inertiel (2) est guidé, directement ou indirectement par l'intermédiaire de bras ou de systèmes articulés secondaires, par rapport à la structure commune par au moins un moyen de guidage (5), et **en ce qu'**au moins un des éléments de guidage (5) et au moins un desdits moyens de rappel élastique (4) sont réalisés de manière conjointe par un guidage flexible.

13. Mécanisme résonateur (100) selon la revendication 12, **caractérisé en ce que**, à l'exception des guidages au niveau dudit axe de rotation (D), la totalité des guidages en rotation et des moyens de rappel élastique (4) que comporte ledit mécanisme résonateur (100) est réalisée par des guidages flexibles.

14. Mécanisme résonateur (100) selon la revendication 12 ou 13, **caractérisé en ce que** au moins un dit guidage flexible comporte au moins deux lames élastiques comprises dans des plans, et qui définissent l'une avec l'autre l'axe de rotation virtuel d'un guidage flexible rotatif.

15. Mécanisme résonateur (100) selon l'une des revendications 2 à 11, **caractérisé en ce que**, dans ladite structure de type pantographe, au moins quatre de ses articulations sont réalisées par des guidages flexibles rotatifs selon la revendication 14.

16. Mécanisme résonateur (100) selon la revendication 14 ou 15, **caractérisé en ce que** au moins un dit guidage flexible rotatif entre deux composants est un guidage à lames croisées en projection sur un plan de projection, dont l'angle d'ouverture θ , lu sur le plan de projection entre l'axe de croisement C des projections desdites lames sur ledit plan et les points d'encastrement des lames sur un des composants, a une valeur de $40^\circ \pm 4^\circ$, et les lames se croisent à une proportion de longueur de 0.15 ± 0.015 .

17. Mécanisme résonateur (100) selon l'une des revendications 12 à 15, **caractérisé en ce que** lesdits guidages flexibles sont en silicium oxydé pour compenser les effets thermiques.

18. Mécanisme résonateur (100) selon l'une des revendications 1 à 17, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de liaison cinématique entre tous lesdits éléments inertiels (2) comportent au moins une roue folle (60) montée folle concentriquement audit axe de rotation (D), et qui coopère en permanence avec un secteur denté ou une crémaillère (61, 62) que comporte chaque dit élément inertiel.

19. Mécanisme résonateur (100) selon l'une des revendications 1 à 17, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de liaison cinématique comportent des moyens de guidage linéaire radial (90), avec une barre de guidage radiale (91) coulissant dans des alésages (911, 912) que comportent lesdits éléments inertiels (2).

20. Mécanisme résonateur (100) selon l'une des revendications 1 à 19, **caractérisé en ce que** ledit mécanisme résonateur (100) complet est d'une seule pièce.

21. Mécanisme résonateur (100) selon l'une des revendications 1 à 19, **caractérisé en ce que** ledit mécanisme résonateur (100) comporte des guidages flexibles à lames croisées dans des niveaux différents, et comporte, superposées, et assemblées l'une à l'autre, une structure supérieure (101) monobloc qui comporte toutes les lames supérieures (103), et une structure inférieure (102) monobloc qui comporte toutes les lames inférieures (102).

5

22. Mécanisme résonateur (100) selon l'une des revendications 1 à 21, **caractérisé en ce que** la fréquence de rotation dudit mécanisme résonateur rotatif (100) est supérieure à 20 Hz.

10

23. Mouvement d'horlogerie (200) comportant un mécanisme résonateur rotatif (100) selon l'une des revendications 1 à 22, et comportant une platine porteuse de moyens d'accumulation et de stockage d'énergie (210) ou au moins un barillet (211), agencés pour entraîner un rouage (220) agencé pour entraîner le mobile d'entrée (1) dudit mécanisme résonateur rotatif (100).

15

24. Montre (300) comportant au moins un mouvement d'horlogerie (200) selon la revendication 23.

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

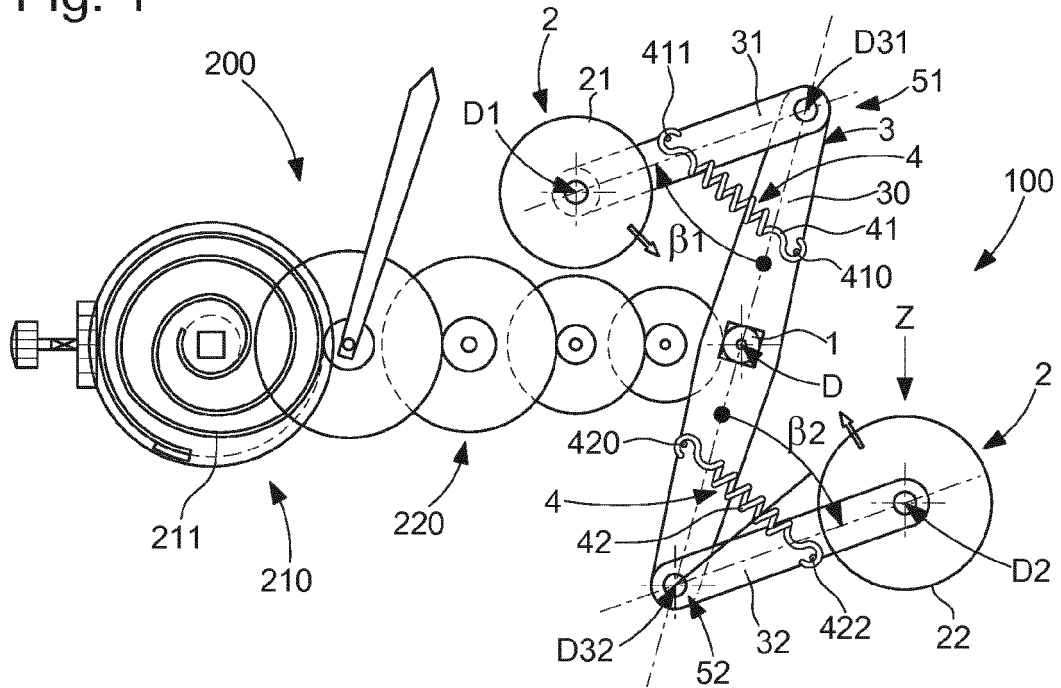


Fig. 2

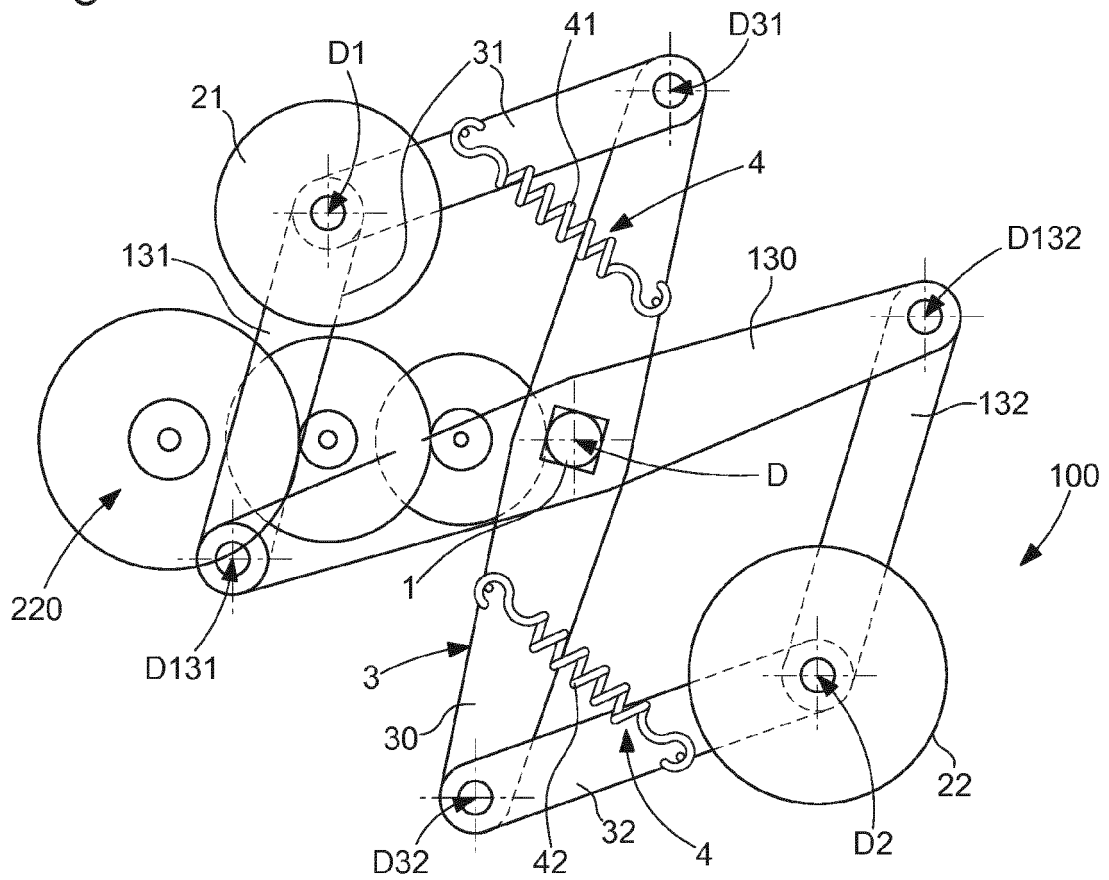


Fig. 3

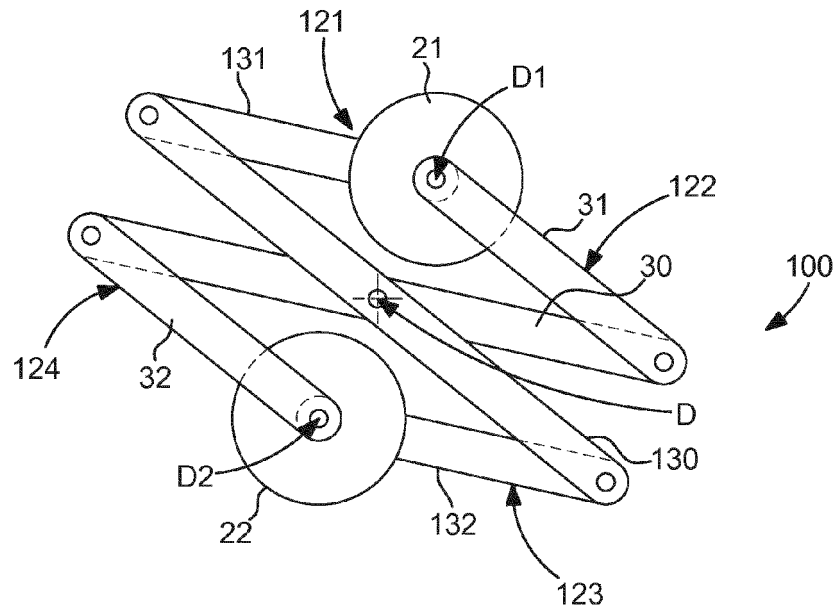


Fig. 4

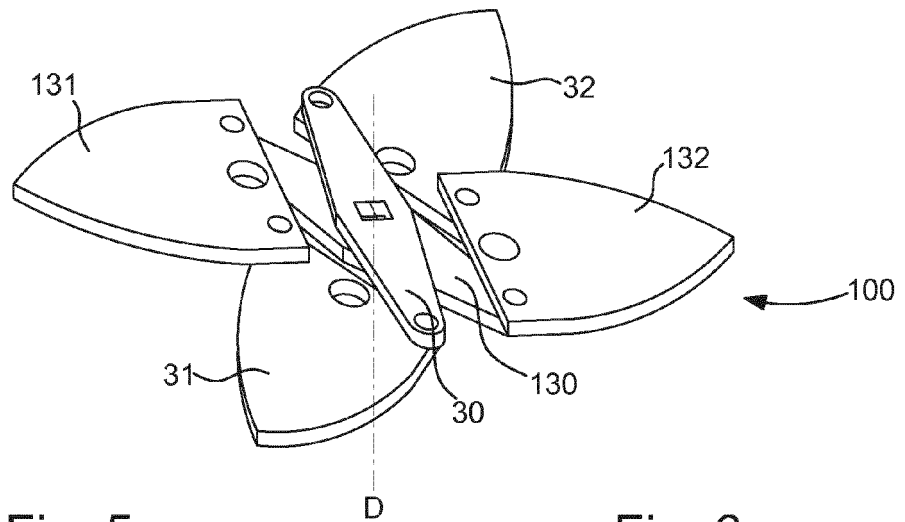


Fig. 5

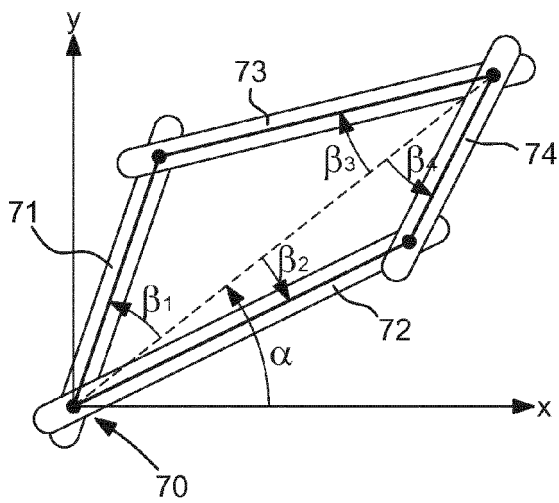


Fig. 6

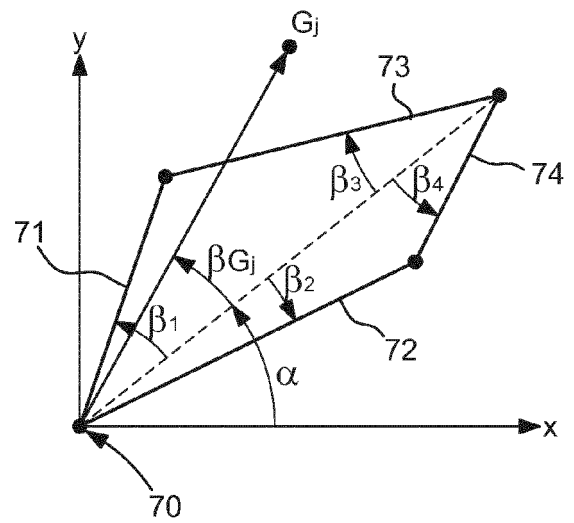


Fig. 7

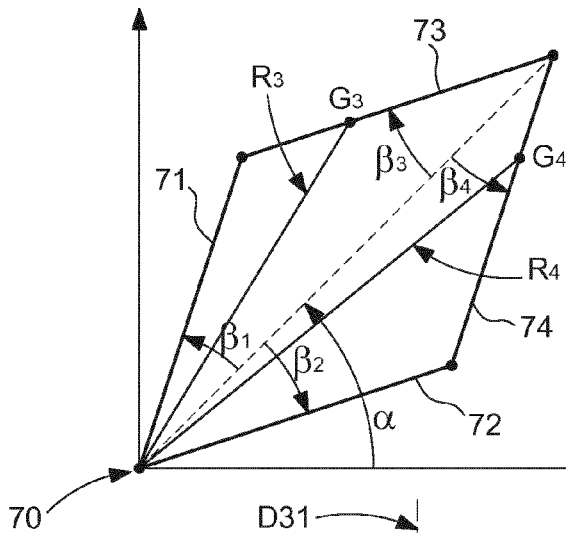


Fig. 8

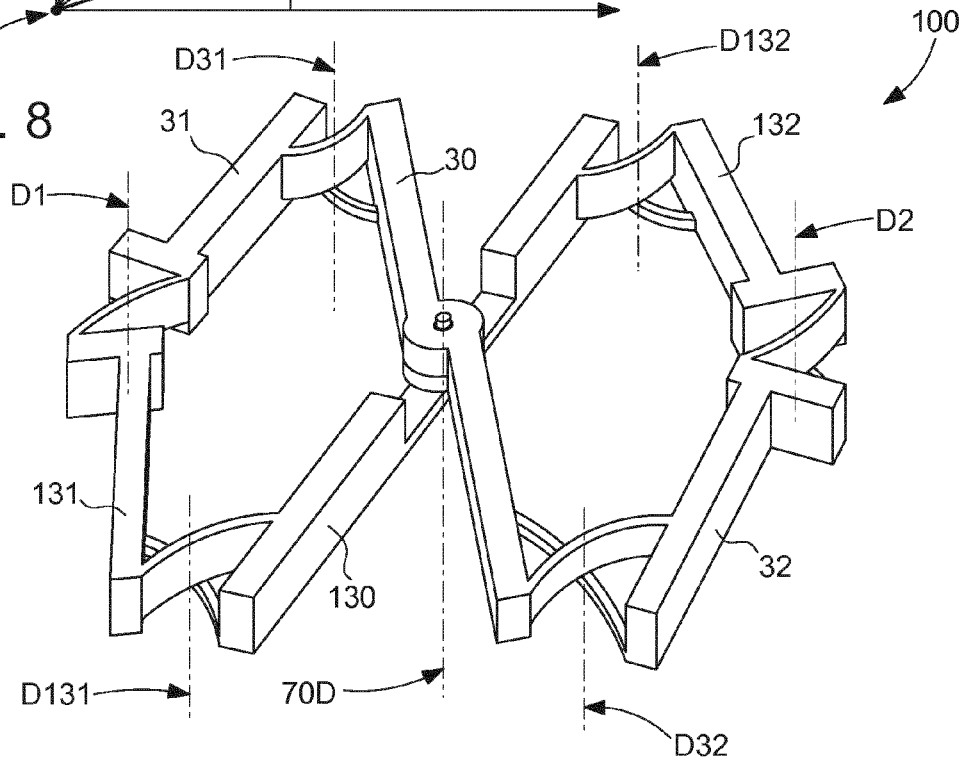


Fig. 8A

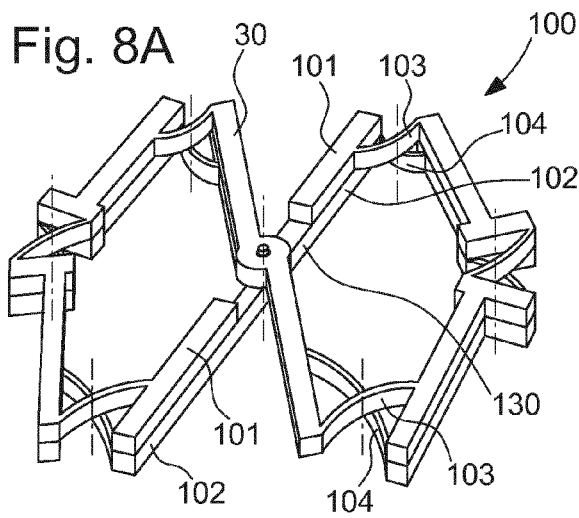


Fig. 8B

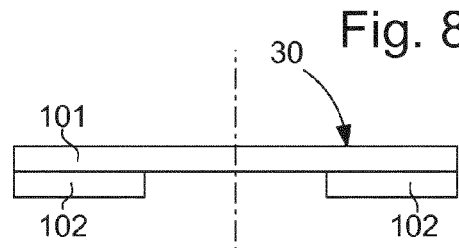


Fig. 8C

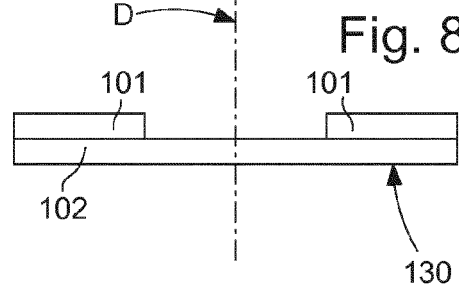


Fig. 9

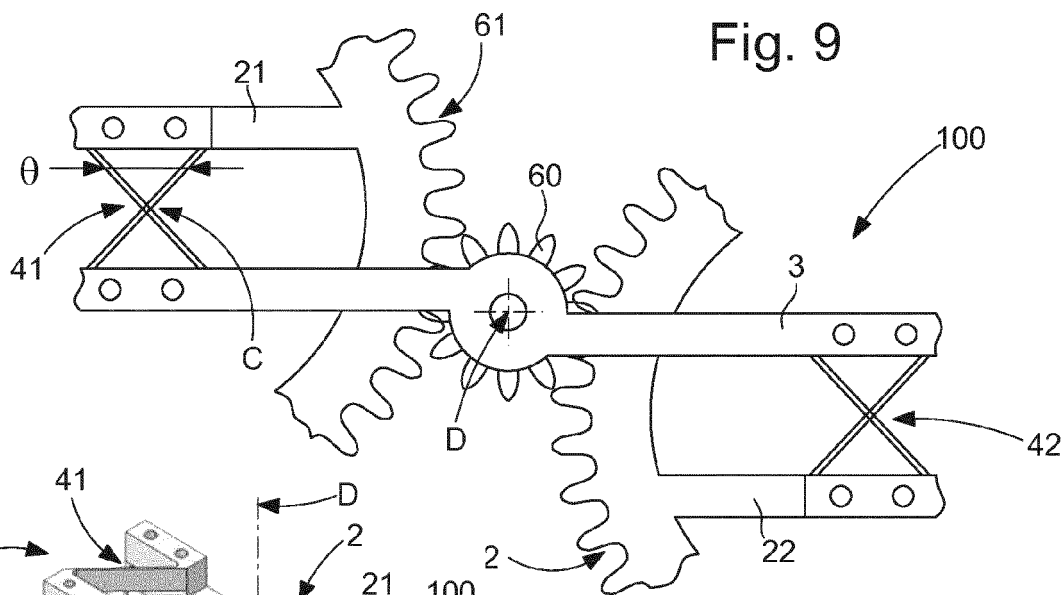


Fig. 10

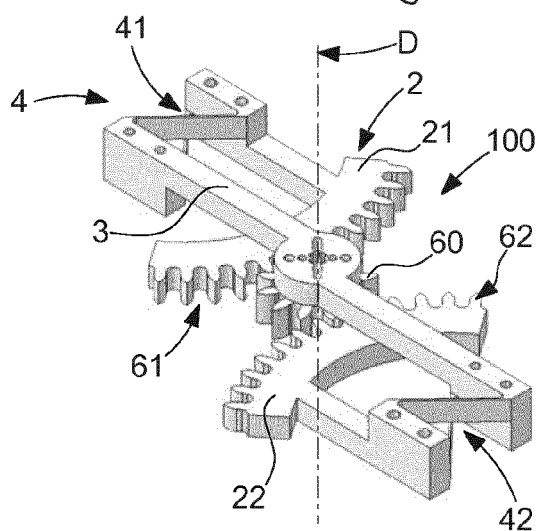


Fig. 11

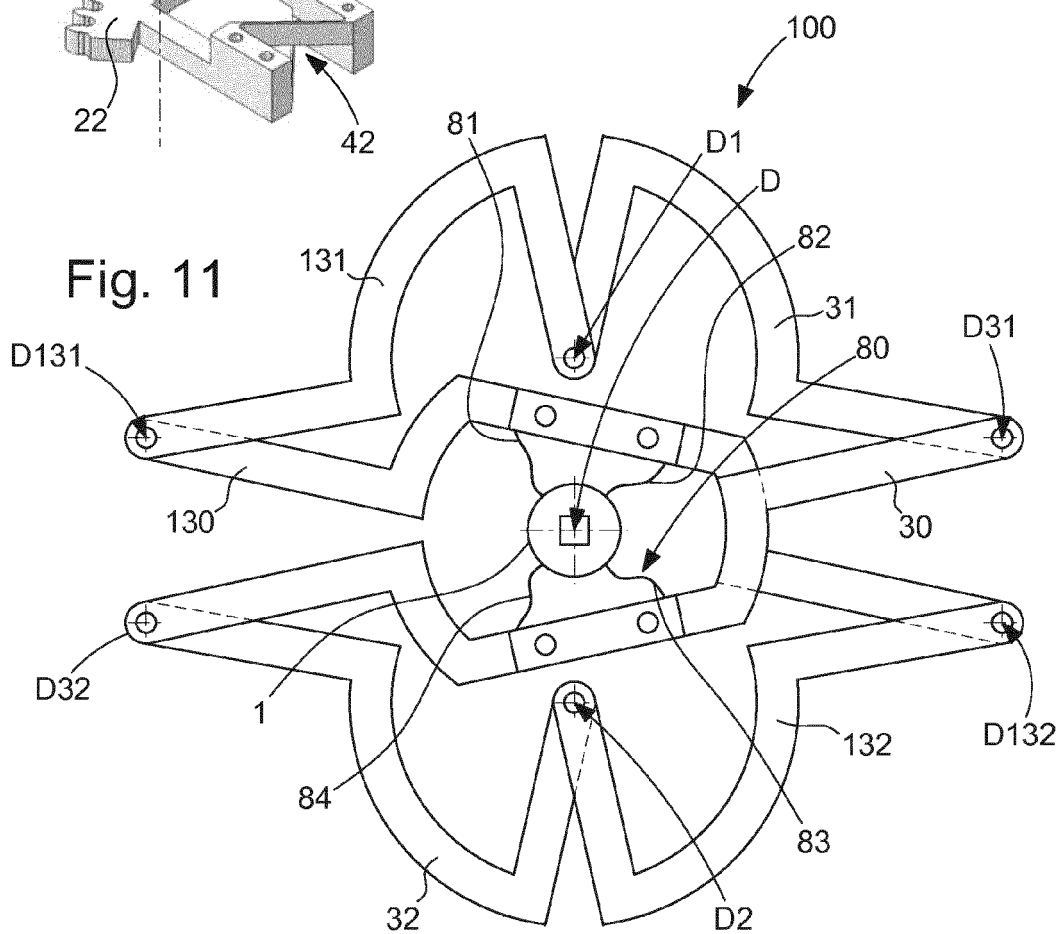


Fig. 12

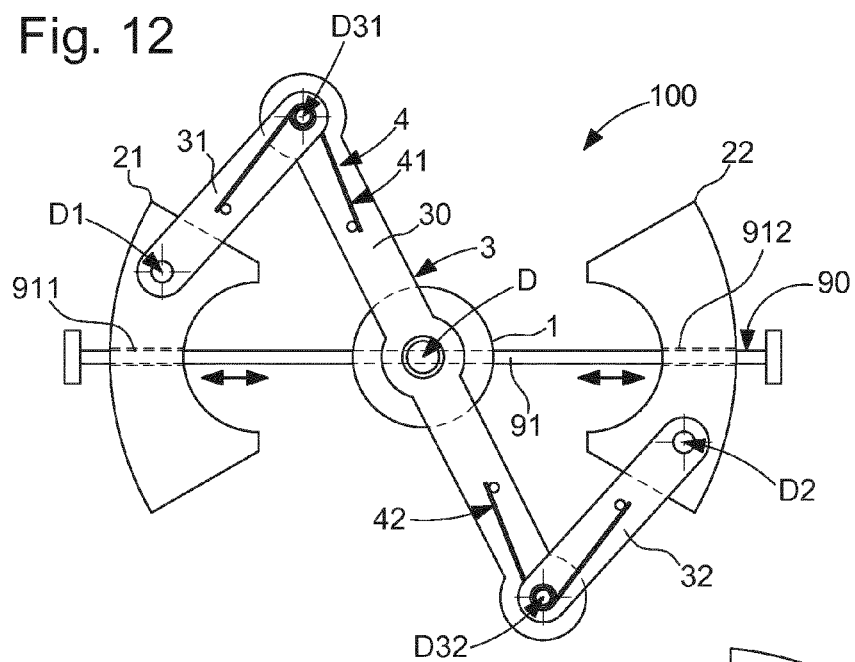


Fig. 13

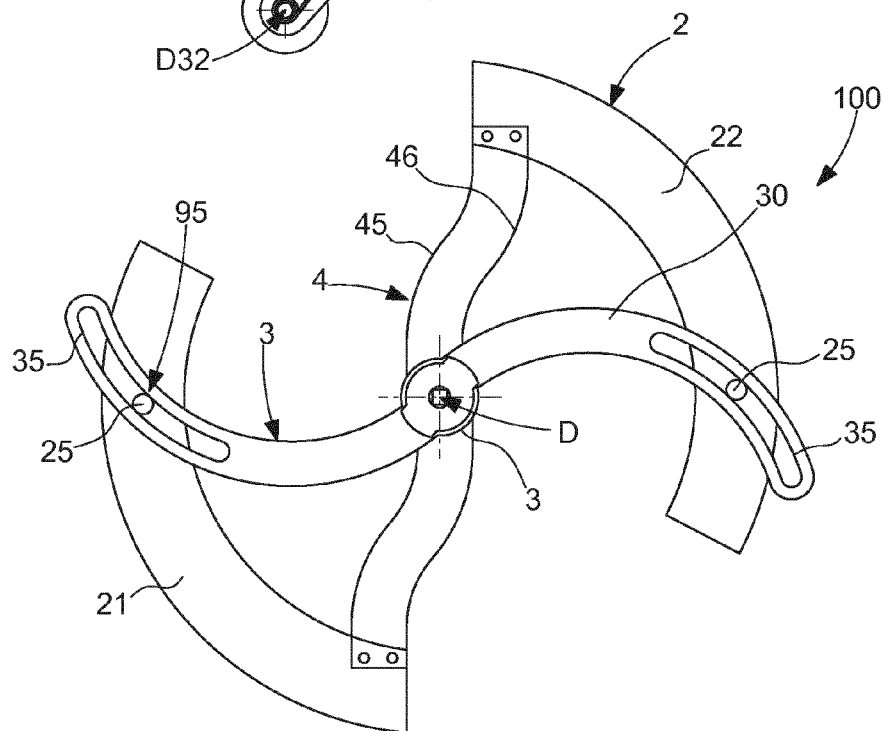


Fig. 16

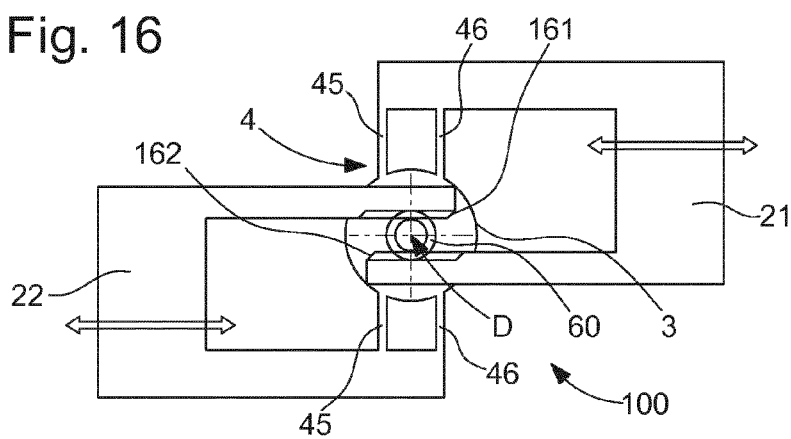


Fig. 14

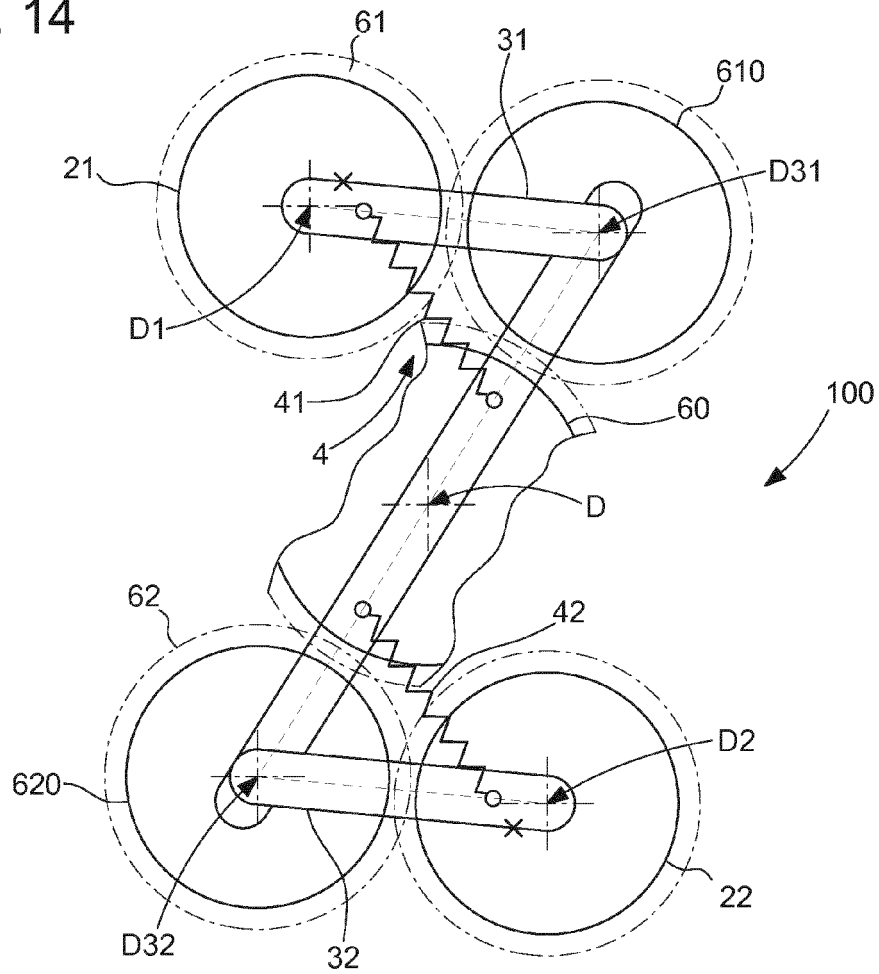


Fig. 15

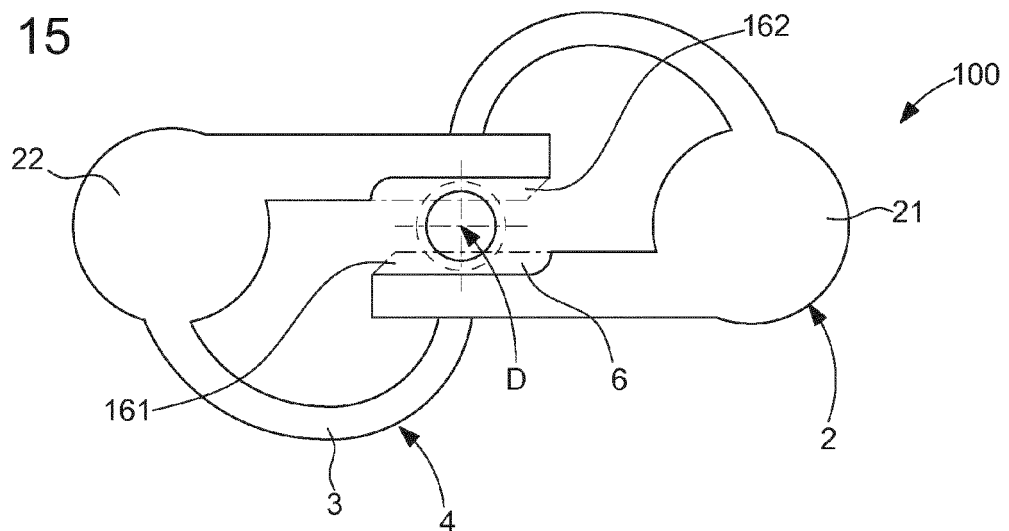
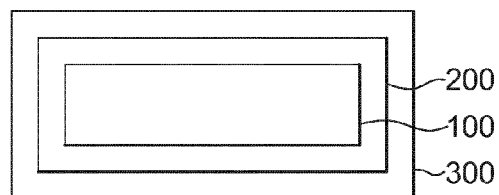


Fig. 17





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 17 19 4636

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	WO 2015/104692 A2 (ECOLE POLYTECH [CH]) 16 juillet 2015 (2015-07-16)	1,23,24	INV. G04B17/30 G04B21/06 G04B17/28
A	* page 24, lignes 10-17, 23 - page 25, ligne 2; figure 10 * * page 33, lignes 12-19 *	2-22	
A	WO 2015/104693 A2 (ECOLE POLYTECH [CH]) 16 juillet 2015 (2015-07-16) * page 16, ligne 40 - page 17, ligne 12; figures 24A,24B * * page 10, lignes 25,26 *	1-24	
A	FR 630 831 A (G. H. SCHIEFERSTEIN) 9 décembre 1927 (1927-12-09) * page 3, colonne 1, lignes 39-48; figure 11 *	1-24	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B G05D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		21 mars 2018	Cavallin, Alberto
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			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 17 19 4636

5 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 membres 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.

21-03-2018

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2015104692 A2	16-07-2015	CN 106462105 A	22-02-2017
		CN 107250925 A	13-10-2017
		EP 2894521 A1	15-07-2015
		EP 3095010 A2	23-11-2016
		EP 3095011 A2	23-11-2016
		HK 1231571 A1	22-12-2017
		HK 1231572 A1	22-12-2017
		JP 2017502317 A	19-01-2017
		JP 2017502318 A	19-01-2017
		RU 2016130167 A	20-02-2018
		RU 2016130168 A	20-02-2018
		US 2016327909 A1	10-11-2016
		US 2016327910 A1	10-11-2016
		WO 2015104692 A2	16-07-2015
		WO 2015104693 A2	16-07-2015
WO 2015104693 A2	16-07-2015	CN 106462105 A	22-02-2017
		CN 107250925 A	13-10-2017
		EP 2894521 A1	15-07-2015
		EP 3095010 A2	23-11-2016
		EP 3095011 A2	23-11-2016
		HK 1231571 A1	22-12-2017
		HK 1231572 A1	22-12-2017
		JP 2017502317 A	19-01-2017
		JP 2017502318 A	19-01-2017
		RU 2016130167 A	20-02-2018
		RU 2016130168 A	20-02-2018
		US 2016327909 A1	10-11-2016
		US 2016327910 A1	10-11-2016
		WO 2015104692 A2	16-07-2015
		WO 2015104693 A2	16-07-2015
FR 630831 A	09-12-1927	CH 113025 A	16-12-1925
		FR 630831 A	09-12-1927
		GB 240505 A	28-09-1925
		US 1595169 A	10-08-1926

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 2847547 A [0010]
- EP 14184155 A [0011]
- EP 15153657 A [0012]
- EP 2015065434 W [0013]
- FR 630831 A [0014]
- EP 3095011 A2 [0015]
- WO 2015104962 A [0015]