



(11)

EP 3 545 370 B1

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

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

**09.10.2024 Bulletin 2024/41**

(21) Numéro de dépôt: **17803933.5**

(22) Date de dépôt: **22.11.2017**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):

**G04B 31/00** (2006.01)      **G04B 15/14** (2006.01)

**G04B 15/08** (2006.01)      **G04B 17/28** (2006.01)

**G04B 17/04** (2006.01)      **G04B 18/02** (2006.01)

**G04B 17/26** (2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):

**G04B 15/08; G04B 15/14; G04B 17/045;**

**G04B 17/28; G04B 18/02; G04B 31/00;**

**G04B 17/26**

(86) Numéro de dépôt international:

**PCT/EP2017/080121**

(87) Numéro de publication internationale:

**WO 2018/095997 (31.05.2018 Gazette 2018/22)**

**(54) RESONATEUR ROTATIF A GUIDAGE FLEXIBLE ENTRETENU PAR UN ECHAPPEMENT LIBRE A ANCRE**

ROTIERENDER RESONATOR MIT FLEXIBLEM FÜHRUNGSSYSTEM AUF BASIS EINER ABGELÖSTEN ANKERHEMMUNG

ROTARY RESONATOR WITH A FLEXIBLE GUIDE SYSTEM BASED ON A DETACHED LEVER ESCAPEMENT

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **23.11.2016 EP 16200152**

(43) Date de publication de la demande:

**02.10.2019 Bulletin 2019/40**

(73) Titulaire: **ETA SA Manufacture Horlogère Suisse 2540 Grenchen (CH)**

(72) Inventeurs:

- **WINKLER, Pascal**  
**2072 St-Blaise (CH)**
- **HELFER, Jean-Luc**  
**2525 Le Landeron (CH)**

- **DI DOMENICO, Gianni**  
**2000 Neuchâtel (CH)**

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

(56) Documents cités:

<b>EP-A1- 2 990 885</b>	<b>EP-A1- 3 032 352</b>
<b>EP-A2- 2 894 520</b>	<b>WO-A2-2015/097066</b>
<b>CH-A2- 703 464</b>	<b>CH-A2- 710 025</b>
<b>CH-B1- 698 105</b>	

- "Théorie de l'horlogerie", 1 October 1998,  
**LAUSANNE**, article **CHARLES-ANDRÉ REYMONDIN**: "Théorie de l'horlogerie", pages:  
**104, XP055465889**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

**Description**Domaine de l'invention

**[0001]** L'invention concerne un mécanisme régulateur d'horlogerie, comportant, agencés sur une platine, un mécanisme résonateur d'un facteur de qualité Q, et un mécanisme d'échappement agencé pour être soumis à un couple de moyens moteurs que comporte un mouvement, ledit mécanisme résonateur comportant un élément inertiel agencé pour osciller par rapport à ladite platine, ledit élément inertiel étant soumis à l'action de moyens de rappel élastique fixés directement ou indirectement à ladite platine, et ledit élément inertiel étant agencé pour coopérer avec un mobile d'échappement que comporte ledit mécanisme d'échappement.

**[0002]** L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant des moyens moteurs, et un tel mécanisme régulateur, dont le mécanisme d'échappement est soumis au couple de ces moyens moteurs.

**[0003]** L'invention concerne encore une montre, plus particulièrement une montre mécanique, comportant un tel mouvement, et/ou un tel mécanisme régulateur.

**[0004]** L'invention concerne le domaine des mécanismes de régulation d'horlogerie, en particulier pour des montres.

Arrière-plan de l'invention

**[0005]** La plupart des montres mécaniques comportent un oscillateur de type balancier-spiral, coopérant avec un échappement à ancre suisse. Le balancier-spiral constitue la base de temps de la montre. On l'appelle ici résonateur. L'échappement, quant à lui, remplit deux fonctions principales, à savoir entretenir les va-et-vient du résonateur, et compter ces va-et-vient. Cet échappement doit être robuste, ne pas perturber le balancier loin de son point d'équilibre, résister aux chocs, éviter de coincer le mouvement (par exemple lors d'un renversement), et constitue donc un composant névralgique du mouvement d'horlogerie.

**[0006]** Typiquement, un balancier-spiral oscille avec une amplitude de 300°, et l'angle de levée est de 50°. L'angle de levée est l'angle du balancier sur lequel la fourchette de l'ancre interagit avec la cheville, dite aussi ellipse, du balancier. Dans la plupart des échappements à ancre suisse actuels, l'angle de levée se répartit de part et d'autre du point d'équilibre du balancier (+/- 25°), et l'ancre bascule de +/- 7°.

**[0007]** L'échappement à ancre suisse fait partie de la catégorie des échappements libres, car, au-delà du demi-angle de levée, le résonateur ne touche plus l'ancre. Cette caractéristique est essentielle pour obtenir de bonnes propriétés chronométriques.

**[0008]** Un résonateur mécanique comporte un élément inertiel, un guidage et un élément de rappel élastique. Traditionnellement, le balancier constitue l'élément inertiel, et le spiral constitue l'élément de rappel élastique.

que. Le balancier est guidé en rotation par des pivots, qui tournent dans des paliers lisses en rubis. Les frottements associés sont à l'origine de pertes d'énergie et de perturbations de marche. On cherche à supprimer ces perturbations, qui, de plus, dépendent de l'orientation de la montre dans le champ de gravité. Les pertes sont caractérisées par le facteur de qualité Q du résonateur. On cherche généralement à maximiser ce facteur de qualité Q, de façon notamment à obtenir la meilleure réserve de marche possible. On comprend que le guidage constitue un facteur essentiel de pertes.

**[0009]** L'utilisation d'un guidage flexible rotatif, en lieu et place des pivots et du spiral traditionnel, est une solution qui permet de maximiser le facteur de qualité Q.

**[0010]** Les résonateurs à lames flexibles, pour autant qu'ils soient bien conçus, ont des propriétés chronométriques prometteuses, indépendamment de l'orientation dans la gravité, et ont de hauts facteurs de qualité, notamment grâce à l'absence de frottements de pivotement. En outre l'usage de guidages flexibles permet d'éliminer les problèmes d'usure des pivots.

**[0011]** Toutefois, les lames flexibles généralement utilisées dans de tels guidages flexibles rotatifs sont plus rigides que des spiraux. Ceci conduit à travailler à plus haute fréquence, par exemple de l'ordre de 20 Hz, et à plus faible amplitude, par exemple de 10° à 20°. Cela semble de prime abord peu compatible avec un échappement de type à ancre suisse.

**[0012]** Une amplitude de fonctionnement compatible avec un résonateur à guidage flexible rotatif, notamment à lames, est typiquement de 6° à 15°. Il en résulte une certaine valeur d'angle de levée, lequel doit être le double de l'amplitude minimale de fonctionnement.

**[0013]** En l'absence de précautions particulières, un échappement à faible angle de levée peut avoir un rendement médiocre, et provoquer un retard trop important. Toutefois, le cumul d'une haute fréquence et d'une faible amplitude autorise des vitesses de passage du balancier qui sont acceptables, sans être trop élevées, et donc le rendement de l'échappement n'est pas automatiquement médiocre.

**[0014]** Le résonateur doit avoir un encombrement acceptable, compatible avec son logement dans un mouvement d'horlogerie, il n'est pas possible à ce jour de réaliser un guidage flexible rotatif de très grand diamètre, ni à plusieurs paires de niveaux de lames, qui permettraient en théorie, par la mise en série de guidages flexibles successifs, d'obtenir une amplitude d'oscillation de l'élément inertiel de plusieurs dizaines de degrés: il convient donc d'utiliser un guidage flexible à un ou deux niveaux de lames au plus, par exemple tel que connu du document EP3035126 au nom de THE SWATCH GROUP RESEARCH & DEVELOPMENT Ltd. On connaît aussi par exemple les résonateurs des documents EP2894520A2 au nom de NIVAROX SA, EP3032352A1 au nom de LVMH SWISS MANUFACTURES SA et EP2990885A1 au nom de ETA SA.

**[0015]** En somme, l'effet du choix d'un guidage flexible

rotatif est que l'amplitude du balancier est réduite, et que l'on ne peut plus utiliser un échappement à ancre suisse traditionnel, lequel nécessite une amplitude du balancier nettement supérieure au demi-angle de levée, c'est-à-dire supérieure à 25°. Un régulateur comportant un résonateur à guidage flexible nécessite donc un mécanisme d'échappement particulier, avec un dimensionnement différent de ce que serait un échappement à ancre suisse usuel conçu pour fonctionner avec le même élément inertiel du résonateur.

#### Résumé de l'invention

**[0015]** La présente invention a pour objectif global d'augmenter la réserve de marche et la précision des montres mécaniques actuelles. Pour atteindre cet objectif, l'invention combine un résonateur à guidage flexible rotatif avec un échappement à ancre optimisé pour conserver des pertes dynamiques acceptables et limiter l'effet chronométrique du dégagement.

**[0016]** Faute d'enseignement dans l'art antérieur pour le dimensionnement, tant du résonateur que du mécanisme d'échappement, des calculs d'un modèle analytique et une campagne de simulations ont permis de mettre en évidence des paramètres du résonateur et de l'échappement, qui sont compatibles avec un rendement et un retard acceptables.

**[0017]** Ces calculs et ces simulations démontrent que le rapport entre l'inertie de l'élément inertiel, notamment un balancier, et l'inertie de l'ancre, est déterminant.

**[0018]** A cet effet, l'invention concerne un mécanisme régulateur selon la revendication 1.

**[0019]** De tels résonateurs à guidage flexible rotatif ont de très hauts facteurs de qualité, par exemple de l'ordre de 3000, à comparer avec un facteur de qualité de 200 pour une montre usuelle. Or les pertes dynamiques (énergie cinétique du mobile d'échappement et de l'ancre en fin d'impulsion) sont indépendantes du facteur de qualité. Ces pertes peuvent donc devenir trop importantes, à haut facteur de qualité, en niveau relatif par rapport à l'énergie transmise au balancier.

**[0020]** Pour un fonctionnement correct du mécanisme, une cheville de plateau solidaire de l'élément inertiel, doit pénétrer d'une certaine valeur, appelée pénétration, dans l'ouverture de la fourchette d'ancre. De façon similaire, pour assurer les sécurités au dégagement, cette cheville de plateau doit pouvoir ensuite, après dégagement de la cheville, être maintenue à une certaine distance, appelée sécurité, de la corne de la fourchette opposée à celle sur laquelle elle était en contact immédiatement avant son dégagement.

**[0021]** Aussi, l'invention s'attache encore à imposer une relation particulière entre les dimensions de la fourchette d'ancre, les valeurs de pénétration et de sécurité, et les valeurs des angles de levée de l'ancre et de l'élément inertiel, pour assurer que la cheville s'escamote correctement de la fourchette, une fois le demi-angle de levée parcouru.

**[0022]** L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant des moyens moteurs, et un tel mécanisme régulateur, dont le mécanisme d'échappement est soumis au couple de ces moyens moteurs.

**[0023]** L'invention concerne encore une montre, plus particulièrement une montre mécanique, comportant un tel mouvement, et/ou un tel mécanisme régulateur.

#### Description sommaire des dessins

- [0024]** 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 comporte un double graphique comportant sur la même abscisse le rapport entre l'inertie de l'élément inertiel du résonateur et l'inertie de l'ancre, et qui, en ordonnée montre, pour un exemple particulier de mécanisme, d'une part au niveau du graphique supérieur en partie positive l'allure du rendement du régulateur en %, et au niveau du graphique inférieur en partie négative l'allure du retard en secondes par jour; ces graphiques supérieur et inférieur sont établis pour une même géométrie d'échappement donnée, avec des valeurs particulières de facteur de qualité, d'angle de levée d'ancre, et d'amplitude de fonctionnement;
  - la figure 2 représente, de façon schématisée, partielle, et en perspective, un mouvement d'horlogerie, avec une platine porteuse d'un mécanisme régulateur selon l'invention, comportant un résonateur à guidage flexible avec deux lames flexibles disposées sur deux niveaux parallèles et croisées en projection, fixées à la platine par l'intermédiaire d'un élément élastique, ce résonateur comportant un élément inertiel de grande étendue, en forme de lettre oméga, et dont la partie centrale, portée par les deux lames flexibles, porte une cheville agencée pour coopérer avec une ancre symétrique, dont le pivotage par un arbre métallique sur la platine n'est pas représenté, qui coopère elle-même avec une roue d'échappement classique;
  - la figure 3 représente, en vue en plan, le seul mécanisme régulateur de la figure 2, agencé sur la platine du mouvement;
  - la figure 4 représente, en vue en plan, le détail du mécanisme régulateur de la figure 2 ;
  - la figure 5 représente, en perspective partiellement éclatée, le mécanisme régulateur de la figure 2 ;
  - la figure 6 représente, en vue en plan, un détail de la zone de coopération entre la cheville de plateau de l'élément inertiel du résonateur, et la fourchette de l'ancre, représentée dans une position de butée sur une goupille de limitation;
  - la figure 7 représente, en vue en plan, l'ancre du mécanisme de la figure 2, en forme de cornes de bovin watusi ;

- la figure 8 représente, en vue en plan, le guidage flexible du mécanisme de la figure 2 ;
- la figure 9 représente, en vue en plan, une exécution particulière d'un niveau du guidage flexible du mécanisme de la figure 2 ;
- la figure 10 représente, en vue de côté, le mécanisme régulateur de la figure 2 ;
- la figure 11 représente, en perspective, un détail du mécanisme régulateur de la figure 2, concernant des butées anti-choc au niveau de sa platine;
- les figures 12 à 14 sont des graphiques comportant en abscisse le couple appliqué au mobile d'échappement, et en ordonnée, respectivement l'amplitude mesurée en degrés sur la figure 12, le retard en secondes par jour sur la figure 13, et le rendement du régulateur en % sur la figure 14 ;
- la figure 15 est un schéma-blocs qui représente une montre comportant un mouvement avec des moyens moteurs et un mécanisme régulateur selon l'invention ;
- les figures 16 à 19 représentent, en vue en plan, des étapes de la cinématique, déjà symbolisée par la figure 6, au niveau de la cheville de balancier, de la fourchette de l'ancre de la figure 7, et du mobile d'échappement ici constitué par une roue d'échappement traditionnelle :
- figure 16 : repos de la roue d'échappement sur la palette d'entrée, arc libre du résonateur;
- figure 17 : dégagement ;
- figure 18 : début de l'impulsion ;
- figure 19 : repos de la roue d'échappement sur la palette de sortie, arc libre du résonateur, et mise en sécurité ;
- les figures 20 à 24 représentent, en vue en plan, des étapes de la cinématique dans un mécanisme d'échappement à faible angle de levée, comportant un mobile d'échappement constitué par une roue d'échappement à roues coaxiales comportant, sur des niveaux distincts, des dents d'impulsion directe avec le balancier, des dents de repos agencées pour coopérer avec des palettes de repos d'une ancre, et des dents d'impulsion indirecte agencées pour coopérer avec une palette d'impulsion de la même ancre, laquelle comporte encore deux cornes d'ancre définissant une fourchette élargie selon l'invention agencée pour coopérer avec la cheville de balancier dimensionnée selon l'invention, lequel balancier comporte un bras radial porteur d'une palette d'impulsion agencée pour coopérer avec les dents d'impulsion directe du mobile d'échappement :
- figure 20 : dégagement levée de sortie : repos d'une dent de repos de la roue d'échappement sur la palette de repos de sortie de l'ancre, arc libre du résonateur dans le sens anti-horaire jusqu'à venue en butée de la cheville sur une première corne d'ancre, rotation de l'ancre dans le sens horaire ;
- figure 21 : impulsion indirecte : rotation de la roue d'échappement libérée dans le sens anti-horaire, bu-

5 tée d'une dent d'impulsion indirecte de la roue d'échappement sur la palette d'impulsion de l'ancre qui tourne en sens horaire jusqu'à la coopération de la deuxième corne d'ancre avec la cheville, transmettant ainsi indirectement l'impulsion du mobile d'échappement au balancier, au travers de l'ancre ;

10 - figure 22 : repos levée entrée : arrivée en butée d'une dent de repos de la roue d'échappement sur la palette de repos d'entrée de l'ancre, puis fin de l'arc libre du balancier dans le sens anti-horaire ;

15 - figure 23 : dégagement levée entrée : inversion du sens de rotation du balancier qui repart en sens horaire, la cheville prend appui sur la deuxième corne de l'ancre et l'entraîne en sens anti-horaire, jusqu'au dégagement entre la palette de repos d'entrée de l'ancre et la dent de repos de la roue d'échappement, permettant ainsi la rotation de la roue d'échappement;

20 - figure 24 : impulsion indirecte : arrêt d'une dent d'impulsion directe de la roue d'échappement sur la palette d'impulsion du balancier, permettant l'entraînement direct du balancier par le mobile d'échappement.

#### 25 Description détaillée des modes de réalisation préférés

**[0025]** L'invention combine un résonateur à guidage flexible rotatif, afin d'augmenter la réserve de marche et la précision, avec un échappement à ancre optimisé pour conserver des pertes dynamiques acceptables et limiter l'effet chronométrique du dégagement.

**[0026]** L'invention concerne ainsi un mécanisme régulateur 300 d'horlogerie, comportant, agencés sur une platine 1, un mécanisme résonateur 100 de facteur de qualité Q, rotatif autour d'un axe principal DP, et un mécanisme d'échappement 200, lequel est soumis à un couple de moyens moteurs 400 que comporte un mouvement 500.

**[0027]** Ce mécanisme résonateur 100 comporte au moins un élément inertiel 2 qui est agencé pour osciller par rapport à la platine 1, autour d'un axe principal DP. Cet élément inertiel 2 est soumis à l'action de moyens de rappel élastique 3 fixés directement ou indirectement à la platine 1. L'élément inertiel 2 est agencé pour coopérer indirectement avec un mobile d'échappement 4, notamment une roue d'échappement, qui comporte le mécanisme d'échappement 200, et qui pivote autour d'un axe d'échappement DE.

**[0028]** Selon l'invention, ces moyens de rappel élastique 3 comportent au moins deux lames flexibles 5 auxquelles est suspendu cet au moins un élément inertiel 2, notamment un balancier ou similaire, et qui définissent un guidage flexible à pivot virtuel de cet au moins un élément inertiel 2. Cet au moins un élément inertiel 2 porte solidiairement une cheville 6. Et le mécanisme d'échappement 200 comporte une ancre 7 agencée pour pivoter autour d'un axe secondaire DS, et comportant une fourchette d'ancre 8 qui est agencée pour coopérer

avec la cheville 6. Ce mécanisme d'échappement 200 est un mécanisme d'échappement libre, dans le cycle de fonctionnement duquel le mécanisme résonateur 100 possède au moins une phase de liberté où la cheville 6 est à distance de la fourchette d'ancre 8.

**[0029]** Selon l'invention, lors de chaque alternance, dans une phase de contact la cheville 6 pénètre dans la fourchette d'ancre 8 avec une course de pénétration P supérieure ou égale à 40 micromètres et inférieure ou égale à 200 micromètres, et dans une phase de dégagement la cheville 6 reste à distance de la fourchette d'ancre 8 avec une distance de sécurité S supérieure ou égale à 10 micromètres et inférieure ou égale à 60 micromètres. La cheville 6 et la fourchette d'ancre 8 sont dimensionnées pour que la largeur L de la fourchette d'ancre 8 soit supérieure à  $(P+S)/\sin(\alpha/2+\beta/2)$ , la course de pénétration P et la distance de sécurité S étant mesurées radialement par rapport à l'axe principal DP, où  $\alpha$  est l'angle de levée de l'ancre qui correspond à la course angulaire maximale de la fourchette d'ancre 8, et où  $\beta$  est l'angle de levée de résonateur, pendant lequel la cheville 6 est en contact avec la fourchette d'ancre 8.

**[0030]** Plus particulièrement, la course de pénétration P est supérieure ou égale à 80 micromètres et inférieure ou égale à 120 micromètres.

**[0031]** Plus particulièrement encore, la course de pénétration P est supérieure ou égale à 100 micromètres.

**[0032]** Plus particulièrement encore, la distance de sécurité S est supérieure ou égale à 20 micromètres et inférieure ou égale à 30 micromètres.

**[0033]** Plus particulièrement encore, la distance de sécurité S est supérieure ou égale à 25 micromètres.

**[0034]** Plus particulièrement, l'angle de levée de l'ancre  $\alpha$  est supérieur ou égal à 5° et inférieur ou égal à 30°.

**[0035]** Plus particulièrement encore, l'angle de levée de l'ancre  $\alpha$  est inférieur ou égal à 20°.

**[0036]** Plus particulièrement encore, l'angle de levée de l'ancre  $\alpha$  est supérieur ou égal à 12° et inférieur ou égal à 16°.

**[0037]** Plus particulièrement, l'angle de levée de résonateur  $\beta$  est supérieur ou égal à 3° et inférieur ou égal à 30°.

**[0038]** Plus particulièrement encore, l'angle de levée de résonateur  $\beta$  est supérieur ou égal à 8° et inférieur ou égal à 12°.

**[0039]** Plus particulièrement encore, l'angle de levée de résonateur  $\beta$  est inférieur ou égal à 10°.

**[0040]** Plus particulièrement, l'ancre 7 constitue un arêteoir bistable.

**[0041]** Etant donnée une géométrie d'échappement particulière, et une amplitude de fonctionnement particulière, notamment 8°, les simulations multicorps dynamiques (c'est-à-dire relatives à un ensemble de plusieurs composants dont chacun est affecté d'une masse et d'une distribution d'inertie particulière) permettent d'évaluer le rendement et le retard de ce mécanisme d'échappement en fonction du rapport d'inertie entre l'inertie de l'élément inertiel et l'inertie de l'ancre, ce que des simu-

lations cinématiques usuelles ne permettent pas d'établir. Tel que visible sur la figure 1, on constate que, dans les conditions de simulations, il y a un seuil de bon rendement, supérieur à 35%, et de faible retard, inférieur à 8 secondes par jour, pour une inertie de l'élément inertiel, notamment d'un balancier, qui est 10000 fois plus grande que l'inertie de l'ancre.

**[0042]** Le modèle analytique du système a ainsi montré que, si on veut limiter les pertes dynamiques, une condition particulière lie l'inertie de l'ancre, l'inertie de l'élément inertiel, le facteur de qualité du résonateur, et les angles de levée de l'ancre et de l'élément inertiel : pour un coefficient  $\varepsilon$  de pertes dynamiques, l'inertie  $I_B$  de l'ensemble des éléments inertIELS 2 par rapport à l'axe principal DP d'une part, et l'inertie  $I_A$  de l'ancre 7 par rapport à l'axe secondaire DS d'autre part, sont telles que le rapport  $I_B/I_A$  est supérieur à  $2Q.\alpha^2/(\varepsilon.\pi.\beta^2)$ , où  $\alpha$  est l'angle de levée de l'ancre qui correspond à la course angulaire maximale de la fourchette d'ancre 8.

**[0043]** Plus particulièrement, si on veut limiter les pertes dynamiques à un facteur  $\varepsilon=10\%$ , l'inertie  $I_B$  de cet au moins un élément inertiel 2 par rapport à l'axe principal DP d'une part, et l'inertie  $I_A$  de l'ancre 7 par rapport à l'axe secondaire DS d'autre part, sont telles que le rapport  $I_B/I_A$  est supérieur à  $2Q.\alpha^2/(0.1.\pi.\beta^2)$ , où  $\alpha$  est l'angle de levée de l'ancre qui correspond à la course angulaire maximale de la fourchette d'ancre 8.

**[0044]** Plus particulièrement, l'angle de levée de résonateur  $\beta$ , qui est un angle global, pris de part et d'autre de la position de repos, est inférieur au double de l'angle d'amplitude dont s'écarte au maximum l'élément inertiel 2 par rapport à une position de repos, dans un seul sens de son mouvement.

**[0045]** Plus particulièrement, l'angle d'amplitude, dont s'écarte au maximum l'élément inertiel 2 par rapport à une position de repos, est compris entre 5° et 40°.

**[0046]** Plus particulièrement, lors de chaque alternance, dans une phase de contact la cheville 6 pénètre dans la fourchette d'ancre 8 avec une course de pénétration P supérieure à 100 micromètres, et dans une phase de dégagement la cheville 6 reste à distance de la fourchette d'ancre 8 avec une distance de sécurité S supérieure à 25 micromètres.

**[0047]** La fourchette 8 de l'ancre 7 est ainsi élargie par rapport à ce que serait une fourchette classique d'ancre suisse, laquelle est beaucoup plus étroite et autorise moins de liberté à la cheville 6, qui n'arriverait pas à rentrer et sortir de la fourchette d'une ancre suisse classique avec une aussi petite amplitude angulaire. Ce concept de fourchette élargie permet de faire fonctionner un échappement à ancre quand bien même l'amplitude du résonateur est beaucoup plus faible que dans un balancier spiral classique, ce qui est particulièrement intéressant pour des résonateurs à guidage flexibles, qui ont une faible amplitude, comme dans le cas d'espèce. En effet, il est important que, pendant le cycle de fonctionnement le balancier soit entièrement libre à certains instants.

**[0048]** Selon l'invention, la cheville 6 et la fourchette d'ancre 8 sont avantageusement dimensionnées pour que la largeur L de la fourchette d'ancre 8 soit supérieure à  $(P+S)/\sin(\alpha/2+\beta/2)$ , la course de pénétration P et la distance de sécurité S étant mesurées radialement par rapport à l'axe principal DP.

**[0049]** La largeur utile L1 de la cheville 6, visible sur la figure 6, est légèrement inférieure à la largeur L de la fourchette d'ancre 8, et, plus particulièrement, inférieure ou égale à 98% de L. Cette cheville 6 est avantageusement en dépouille derrière sa surface de largeur utile L1, la cheville peut notamment avoir une forme prismatique de section triangulaire telle que suggérée sur la figure, ou similaire.

**[0050]** L'observation des figures montre une action complémentaire sur le positionnement de la cheville 6, située beaucoup plus loin de l'axe de rotation du balancier 2 que dans un mécanisme d'échappement classique : le rayon supérieur combiné avec un angle de pivotement inférieur permet de maintenir une course curviligne équivalente de la cheville 6, ce qui est nécessaire pour lui permettre d'accomplir sa fonction de distribution-comptage. L'utilisation d'un balancier de grand diamètre est donc particulièrement intéressante.

**[0051]** Plus particulièrement, l'excentration E2 de la cheville 6 par rapport à l'axe du balancier, et l'excentration E7 de la corne de fourchette 8 par rapport à l'axe de l'ancre 7, sont comprises entre 40% et 60% de l'entraxe E entre l'axe de l'ancre 7 et l'axe du balancier. Plus particulièrement, l'excentration E2 est comprise entre 55% et 60% de l'entraxe E, et l'excentration E7 est comprise entre 40% et 45% de l'entraxe E. Plus particulièrement, la zone d'interférence entre la cheville 6 et la fourchette 8 s'étend sur 5% à 10% de l'entraxe E.

**[0052]** Ainsi, l'invention définit, par construction, un nouveau tracé cheville-fourchette, qui présente une caractéristique bien particulière, selon laquelle les cornes de la fourchette sont plus écartées, et la cheville est plus large, que pour un mécanisme à ancre suisse de type connu avec un angle de levée usuel de 50°.

**[0053]** Ainsi, en élargissant sensiblement la fourchette de l'ancre par rapport aux proportions habituelles, on peut encore dimensionner un échappement à ancre suisse avec un très petit angle de levée, par exemple de l'ordre de 10°.

**[0054]** La figure 6 montre que, même avec de très petits angles de pivotement, on arrive à rentrer la cheville 6 dans la fourchette 8 avec une bonne pénétration P, et l'en sortir avec une sécurité S suffisante.

**[0055]** Les figures 16 à 19 illustrent la cinématique et montrent que l'on dispose de pénétrations P et de sécurités S adéquates, avec cette conception combinée de la cheville 6 très loin de l'axe du balancier, et d'ancre 7 de forme particulière et notamment à fourchette élargie.

**[0056]** De façon similaire, les figures 20 à 24 illustrent la cinématique dans un autre mécanisme d'échappement 200 à faible angle de levée, qui comporte un mobile d'échappement 4 constitué par une roue d'échappement

à roues coaxiales (qui peuvent constituer un ensemble monobloc dans une réalisation particulière) comportant, sur des niveaux distincts :

- 5 - des dents d'impulsion directe 41 pour une impulsion directe avec le balancier,
- des dents de repos 42 agencées pour coopérer avec des palettes de repos 71 et 72 d'une ancre 7,
- et des dents d'impulsion indirecte 43 agencées pour coopérer avec une palette d'impulsion 73 de la même ancre 7.

**[0057]** Au contraire d'une ancre suisse dont les palettes ont chacune une double fonction, à savoir arrêter la roue d'échappement sur une prise de repos au niveau d'un plan de repos, et donner une impulsion au niveau d'un plan d'impulsion, l'ancre 7 de type coaxial des figures 20 à 24 sépare les fonctions :

- 20 - palettes de repos 71 et 72 : fonction de repos seule ;
- palette d'impulsion 73 : fonction d'impulsion seule.

**[0058]** De façon similaire chaque dent d'une roue d'échappement pour ancre suisse remplit à la fois la fonction de prise de repos et d'impulsion, ce qui est certes avantageux en termes d'encombrement. Mais l'ancre suisse est peu adaptée aux oscillations de faible amplitude qui sont une caractéristique usuelle des résonateurs à guidage flexible, notamment à lames flexibles. Il s'agit d'assurer un fonctionnement parfait du mécanisme d'échappement pour de faibles amplitudes du résonateur, et avec le meilleur rendement possible. Pour cette raison le mobile d'échappement 4 est ici plus complexe, puisqu'il comporte au moins deux niveaux, car :

- 35 - les dents de repos 42, qui coopèrent avec les palettes de repos 71 et 72 pour la fonction de repos, doivent, dans la présente conception particulière et non limitative, passer sous le balancier, en particulier sous sa palette d'impulsion 610,
- 40 - tandis que les dents d'impulsion directe 41, qui coopèrent pour une impulsion directe avec la palette d'impulsion 610 doivent être coplanaires à cette dernière ;
- 45 - les dents d'impulsion indirecte 43, qui coopèrent pour une impulsion indirecte avec la palette d'impulsion 73 de l'ancre, sont, dans la réalisation non limitative illustrée par les figures, sur un troisième niveau, mais il est imaginable de les loger sur un des deux niveaux précédents, à condition de concevoir un mécanisme sans interférence parasite, en particulier en ce qui concerne le bras du balancier qui est porteur de la palette d'impulsion 610.

**[0059]** L'ancre 7 comporte encore deux cornes d'ancre, première corne 81 et deuxième corne 82, qui définissent ensemble une telle fourchette élargie selon l'invention, agencée pour coopérer avec la cheville de ba-

lancier 6 dimensionnée selon l'invention.

**[0060]** Le balancier 2 comporte un bras radial porteur d'une palette d'impulsion 610, qui est agencée pour coöperer avec les dents d'impulsion directe 41 du mobile d'échappement 4.

**[0061]** Les dents d'impulsion directe 41, et les dents d'impulsion indirecte 43 de la variante illustrée sont d'extension radiale très réduite en comparaison de celle des dents de repos 42, notamment entre 20% et 35% ; sur l'exemple illustré l'extension radiale des dents d'impulsion indirecte 43 est de 25% de celle des dents de repos 42, et l'extension radiale des dents d'impulsion directe 41 est de 31% de celle des dents de repos 42, qui est de l'ordre de 49% de l'entraxe E entre l'axe DP du balancier 2 et celui DS de l'ancre 7.

**[0062]** L'encombrement du balancier est en revanche augmenté par rapport à un balancier de balancier-spiral pour ancre suisse, puisqu'il est avantageux d'éloigner la cheville 6 de l'axe de pivotement de la masse inertielle. La surface externe 60 de la cheville 6 est ci sur un rayon de 120% par rapport à l'extension radiale des dents de repos 42, ou, pour se rapporter à l'entraxe E entre l'axe du balancier et celui de l'ancre, à 59% de E.

**[0063]** En ce qui concerne l'ancre, en référence à la même extension radiale des dents de repos 42, la cote radiale de l'extrémité des palettes de repos 71 et 72 est ici de 60% soit 30% de E, celle de la palette d'impulsion 73 de 95%, soit 47% de E, tout comme celles des cornes 81 et 82.

**[0064]** L'entraxe entre l'axe D4 de la roue d'échappement 4 et celui DS de l'ancre 7 est ici de 58% de E, et l'entraxe entre l'axe DP du balancier 2 et celui D4 de la roue d'échappement 4 est de 89% de E.

**[0065]** La figure 20 montre le dégagement levée de sortie : repos d'une dent de repos 42 de la roue d'échappement 4 en arrêt sur la palette de repos de sortie 72 de l'ancre 7, rotation en arc libre du balancier 2 dans le sens anti-horaire A jusqu'à venue en butée de la cheville 6 sur une première corne d'ancre 81 par une première arête 61, le balancier 2 pousse l'ancre 7, la rotation de l'ancre 7 dans le sens horaire C dégage la roue d'échappement de la palette de repos de sortie 72.

**[0066]** La figure 21 montre l'impulsion indirecte : la rotation de la roue d'échappement 4 libérée dans le sens anti-horaire E, butée d'une dent d'impulsion indirecte 43 de la roue d'échappement 4 sur la palette d'impulsion 73 de l'ancre 7. Poussée par la roue d'échappement 4, l'ancre 7 est menante, tourne en sens horaire C jusqu'à rattraper le balancier 2, par la coopération de la deuxième corne d'ancre 82 avec la cheville 6 sur une deuxième arête 62, transmettant ainsi indirectement l'impulsion du mobile d'échappement 4 au balancier 2, au travers de l'ancre 7.

**[0067]** La figure 22 montre le repos levée entrée : arrivée en butée d'une dent de repos 42 de la roue d'échappement 4 sur la palette de repos d'entrée 71 de l'ancre 7. Le balancier 2 continue puis finit son arc libre dans le sens anti-horaire B ; il peut passer à côté de la première

corne d'ancre 81 sans interférer avec elle pendant cette course.

**[0068]** La figure 23 montre le dégagement levée entrée, après la fin de l'arc libre du balancier, il y a inversion du sens de rotation du balancier 2 qui repart en sens horaire B, la cheville 6 prend appui sur la deuxième corne 82 de l'ancre 7 et l'entraîne en sens anti-horaire D, jusqu'au dégagement entre la palette de repos d'entrée 71 de l'ancre 7 et la dent de repos 42 de la roue d'échappement 4, permettant ainsi la rotation de la roue d'échappement 4.

**[0069]** La figure 24 montre l'impulsion indirecte : arrêt d'une dent d'impulsion directe 41 de la roue d'échappement 4 sur la palette d'impulsion 610 du balancier 2, permettant l'entraînement direct du balancier 2 par le mobile d'échappement 4. L'ancre 7 reste entraînée par sa deuxième corne 82 poussée par la cheville 6.

**[0070]** Cette cinématique n'est possible qu'en raison de l'élargissement notable de la fourchette d'ancre entre la première corne 81 et la deuxième corne 82, et l'ajustement de la course de pénétration P et de la distance de sécurité S, qui, ensemble, assurent la possibilité pour la cheville 6 de sortir de la fourchette d'ancre.

**[0071]** On note que cette construction permet de s'affranchir de la présence d'un dard sur l'ancre 7, ce qui autorise la fabrication de celle-ci sur un seul niveau, par exemple en matériau micro-usinable, silicium ou similaire, par procédé « LIGA » ou « MEMS » ou similaire. En effet, ici la première corne 81 appuie sur la cheville 6 quand le balancier 2 parcourt son arc libre, ce qui empêche l'ancre de pivoter en cas de choc, ce qui rend inutile la présence d'un dard, et, a fortiori d'un petit plateau sur le balancier 2, lequel peut ainsi, lui aussi, être réalisé sur un seul niveau.

**[0072]** Et on comprend l'intérêt, pour maximiser le rendement du résonateur, de la relation particulière, exposée plus haut et qui lie l'inertie de l'élément inertielle et l'inertie de l'ancre, dans un rapport supérieur à 10000.

**[0073]** Il est alors particulièrement intéressant de disposer d'une ancre à la fois très petite et très légère, et d'un balancier de grandes dimensions et de forte masse.

**[0074]** Plus particulièrement, l'ancre 7 est en silicium, qui permet une exécution miniaturisée et très précise, avec une densité inférieure au tiers de celle de l'acier. Le fait d'avoir une ancre en silicium permet de diminuer son inertie par rapport à une ancre métallique. Une faible inertie de l'ancre par rapport au balancier est cruciale pour avoir un rendement correct à faible amplitude et haute fréquence, dans le présent cas des résonateurs à guidages flexibles.

**[0075]** Le balancier est, quant à lui, quand la gamme de la montre l'autorise, avantageusement réalisé dans un métal ou alliage lourd, comportant de l'or, du platine, du tungstène, ou similaire, et peut comporter des masselottes de constitution analogue. A défaut le balancier est classiquement réalisé en alliage CuBe2 cuivre-béryllium, ou similaire, et lesté de masselottes d'équilibrage et/ou de masselottes de réglage en maillechort ou autre

alliage.

**[0076]** Plus particulièrement cette ancre 7 est sur un niveau unique de silicium, rapporté sur un arbre, métallique ou similaire, tel que céramique, ou autre, pivoté par rapport à la platine 1.

**[0077]** Plus particulièrement, le mobile d'échappement 4 est une roue d'échappement en matériau micro-usinable, notamment en silicium ou similaire.

**[0078]** Plus particulièrement, le mobile d'échappement 4 est une roue d'échappement qui est ajourée pour minimiser son inertie par rapport à son axe de pivotement DE.

**[0079]** Plus particulièrement, l'ancre 7 est ajourée pour minimiser son inertie  $I_A$  par rapport à l'axe secondaire DS.

**[0080]** De préférence, l'ancre 7 est symétrique par rapport à l'axe secondaire DS, de façon à éviter tout balourd, et éviter les couples parasites lors de chocs linéaires, notamment en translation. Un avantage supplémentaire est alors la grande facilité d'assemblage de ce très petit composant, que l'opérateur effectuant le montage peut manipuler de n'importe quel côté.

**[0081]** La figure 7 montre les deux cornes 81 et 82 agencées pour coopérer avec la cheville 6, les palettes 72 et 73 agencées pour coopérer avec des dents du mobile d'échappement 4, et des fausses cornes 80 et des fausses palettes 70 dont le seul rôle est un équilibrage parfait,

**[0082]** Selon l'invention, la plus grande dimension de cet au moins un élément inertiel 2 est plus grande que la moitié de la plus grande dimension de la platine 1.

**[0083]** Plus particulièrement, l'axe principal DP, l'axe secondaire DS et l'axe de pivotement du mobile d'échappement 4, sont disposés selon un pointage à angle droit dont le sommet est sur l'axe secondaire DS. On comprend qu'ainsi, en référence à une ancre suisse classique en forme de té avec une baguette et deux bras, on supprime la baguette, qui devient l'un des deux bras 76, visible sur la figure 7, qui porte les cornes 81 et 82 et la palette de sortie 72 presque confondue avec la corne 82, l'autre bras 75 portant la palette d'entrée 73.

**[0084]** La comparaison avec l'ancre suisse est à poursuivre en ce qui concerne les moyens de prévention du renversement, usuellement constitués par un dard situé sur un plan déporté de l'ancre. Cette fonction est importante pour éviter tout coincement du balancier. De façon particulière, le balancier est dépourvu de petit plateau et donc d'encoche de plateau prévue pour coopérer avec un tel dard. Ici, du fait des faibles angles de pivotement, la cheville n'est jamais loin de la fourchette. La fonction anti-renversement est alors avantageusement remplie par la combinaison du pourtour 60 en arc de cercle de la cheville 6, et par la surface correspondante 810, 820, de la corne d'ancre 81, 82 concernée : cette corne joue le rôle usuel d'un dard, et la circonférence de la cheville joue le rôle du petit plateau. L'avantage supplémentaire qui en résulte est que, pour ce qui concerne sa coopération avec l'ancre d'un seul niveau, le balancier peut être lui aussi, localement, à un seul niveau, ce qui sim-

plifie sa fabrication et allège son coût.

**[0085]** La conception d'une ancre à un seul niveau, qui simplifie grandement la fabrication de l'ancre, est possible uniquement parce que le renversement est ainsi empêché par la faible amplitude du résonateur, combinée à l'importante largeur de la cheville (largeur environ égale à la fourchette élargie).

**[0086]** Plus particulièrement, le guidage flexible comporte deux lames flexibles 5 croisées en projection sur un plan perpendiculaire à l'axe principal DP, au niveau du pivot virtuel définissant l'axe principal DP, et situées dans deux niveaux parallèles et distincts. Plus particulièrement encore, les deux lames flexibles 5, en projection sur un plan perpendiculairement à l'axe principal DP, forment entre elles un angle compris entre 59.5° et 69.5°, et se croisent entre 10.75% et 14.75% de leur longueur, de façon à procurer au mécanisme résonateur 100 un défaut volontaire d'isochronisme opposé au défaut de retard à l'échappement du mécanisme d'échappement 200.

**[0087]** Le résonateur présente ainsi une courbe d'isochronisme qui compense le retard provoqué par l'échappement. C'est-à-dire que le résonateur libre est conçu avec un défaut d'isochronisme opposé au défaut provoqué par l'échappement à ancre. On compense donc le retard à l'échappement par la conception du résonateur.

**[0088]** Plus particulièrement les deux lames flexibles 5 sont identiques et sont positionnées en symétrie. Plus particulièrement encore, chaque lame flexible 5 appartient à un ensemble monobloc 50, d'une seule pièce avec deux parties massives 51, 55, et avec ses premiers moyens d'alignement 52A, 52B, et de fixation 54 sur la platine 1, ou, avantageusement et tel que visible sur la figure 10, de fixation sur une lame élastique intermédiaire de suspension 9 fixée à la platine 1 et qui est agencée pour autoriser un déplacement du guidage flexible et de cet au moins un élément inertiel 2 selon la direction de l'axe principal DP, de façon à assurer une bonne protection contre les chocs de direction Z perpendiculaire au plan d'un tel ensemble monobloc 10, et donc d'éviter la rupture des lames du guidage flexible. Cette lame élastique intermédiaire de suspension 9 est avantageusement réalisée en alliage « Durimphy » ou similaire.

**[0089]** Dans la variante non limitative illustrée par les figures, les premiers moyens d'alignement sont un premier vé 52A et un premier plat 52B, et les premiers moyens de fixation comportent au moins un premier alésage 54. Une première lame de placage 53 assure l'appui sur les premiers moyens de fixation. De façon similaire, l'ensemble monobloc 50 comporte, pour sa fixation sur l'élément inertiel 2, des deuxièmes moyens d'alignements qui sont un deuxième vé 56A et un deuxième plat 56B, et les deuxièmes moyens de fixation comportent au moins un deuxième alésage 58. Une deuxième lame de placage 57 assure l'appui sur les deuxièmes moyens de fixation.

**[0090]** Le guidage flexible 3 à lames croisées 5 est

avantageusement constitué de deux ensembles monobloc 50 pièces en silicium identiques, assemblés en symétrie pour former le croisement des lames, et alignés précisément l'un par rapport à l'autre grâce aux moyens d'alignement intégrés et à des moyens auxiliaires tels que des goupilles et des vis, non représentés sur les figures.

**[0091]** Ainsi, plus particulièrement, au moins le mécanisme résonateur 100 est fixé sur une lame élastique intermédiaire de suspension 9 fixée à la platine 1 et agencée pour autoriser un déplacement mécanisme résonateur 100 selon la direction de l'axe principal DP, et la platine 1 comporte au moins une butée antichoc 11, 12, au moins selon la direction de l'axe principal DP, et de préférence au moins deux telles butées antichoc 11, 12, qui sont agencées pour coopérer avec au moins un élément rigide de cet au moins un élément inertiel 2, par exemple un flasque 21 ou 22 rapporté lors de l'assemblage de l'élément inertiel avec le guidage flexible 3 comportant les lames 5.

**[0092]** La lame élastique de suspension 9, ou un dispositif similaire, permet des déplacements de tout le résonateur 100 sensiblement selon la direction définie par l'axe de rotation virtuel DP du guidage. Le but de ce dispositif est d'éviter que les lames 5 ne se cassent en cas de choc transversal selon la direction DP.

**[0093]** La figure 11 illustre la présence de butées antichoc limitant la course de cet au moins un élément inertiel 2 selon les trois directions en cas de choc, mais située à une distance suffisante pour que l'élément inertiel ne touche pas les butées sous l'effet de la gravité. Par exemple, le flasque 21 ou 22 comporte un alésage 211 et une face 212, aptes à coopérer respectivement en appui de butée antichoc avec un tourillon 121 et une surface complémentaire 122 au niveau de la butée 21 ou 22.

**[0094]** Plus particulièrement, l'élément inertiel 2 comporte des masselottes 20 de réglage de la marche et du balourd.

**[0095]** Plus particulièrement, la cheville 6 est monobloc avec une lame flexible 5, ou plus particulièrement, un tel ensemble monobloc 50 tel qu'illustré sur les figures.

**[0096]** Plus particulièrement, l'ancre 7 comporte des surfaces d'appui agencées pour coopérer en appui avec des dents que comporte le mobile d'échappement 4 et pour limiter la course angulaire de l'ancre 7. Ces appuis permettent de limiter la course angulaire de l'ancre, comme le ferait des étoqueaux. La course angulaire de l'ancre 78 peut d'ailleurs être classiquement limitée par des goupilles de limitation 700.

**[0097]** Plus particulièrement le guidage flexible 3 est en silicium oxydé pour compenser les effets de la température sur la marche du mécanisme régulateur 300.

**[0098]** L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie 500 comportant des moyens moteurs 400, et un tel mécanisme régulateur 300, dont le mécanisme d'échappement 200 est soumis au couple de ces moyens moteurs 400.

**[0099]** Les graphiques des figures 12 à 14 présentent

une série de résultats de simulations dans lesquelles  $Q=2000$ ,  $I_B=26550 \text{ mg.mm}^2$ , fréquence de 20Hz, mobile d'échappement comportant 20 dents, plus particulièrement l'angle de levée  $\alpha$  de l'ancre est de 14°, et l'angle de levée de résonateur  $\beta$  est de 10°.

**[0100]** L'invention concerne encore une montre 1000, plus particulièrement une montre mécanique, comportant un tel mouvement 500, et/ou un tel mécanisme régulateur 300.

**[0101]** En somme, la présente invention permet d'augmenter la réserve de marche et/ou la précision des montres mécaniques actuelles. Pour une taille de mouvement donné, on peut quadrupler l'autonomie de la montre et à doubler le pouvoir réglant de la montre. Cela revient à dire que l'invention permet un gain d'un facteur 8 sur les performances du mouvement.

**[0102]** L'homme du métier se rapportera avec profit à la thèse N°3806 (2007) de M. Thierry CONUS, à l'EPFL de Lausanne (Suisse) « Conception et optimisation multicritère des échappements libres pour montres-bracelet mécaniques », présentée le 01 juin 2007, et en particulier au chapitre 8 Echappements libres, pages 107 à 141, dont §8.5.1 Arrêtoir bistable et impulsions tangentielle, pages 129 à 132.

**[0103]** L'invention concerne encore différents mécanismes d'échappement très variés, dont, de façon non limitative, tous les échappements libres à arrêtoir bistable dont :

- échappement à ancre suisse
- échappement coaxial
- échappement Fasoldt (page 130 thèse T. Conus)
- échappement à arrêtoir articulé (page 133 thèse T. Conus)
- échappement de Bourquin de la Heute (page 119 thèse T. Conus)
- échappement Daniels (page 123 thèse T. Conus)
- échappement naturel de Breguet (page 133 thèse T. Conus)
- échappement Robin
- échappement à goupilles de type Roskopf (page 121 thèse T. Conus)
- échappement Melly (page 130 thèse T. Conus)
- échappement à deux roues indépendantes de Daniels (page 132 thèse T. Conus).

## Revendications

- 50 1. Mécanisme régulateur (300) d'horlogerie, comportant, agencés sur une platine (1), un mécanisme résonateur (100) d'un facteur de qualité Q, rotatif autour d'un axe principal (DP), et un mécanisme d'échappement (200) lequel est agencé pour être soumis à un couple de moyens moteurs (400) que comporte un mouvement (500), ledit mécanisme résonateur (100) comportant au moins un élément inertiel (2) agencé pour osciller par rapport à ladite

- platine (1), ledit au moins un élément inertiel (2) étant soumis à l'action de moyens de rappel élastique (3) fixés directement ou indirectement à ladite platine (1), et ledit au moins élément inertiel (2) étant agencé pour coopérer indirectement avec un mobile d'échappement (4) que comporte ledit mécanisme d'échappement (200), lesdits moyens de rappel élastique (3) comportant au moins deux lames flexibles (5) auxquelles est suspendu ledit au moins un élément inertiel (2) et qui définissent un guidage flexible à pivot virtuel dudit au moins un élément inertiel (2), ledit au moins un élément inertiel (2) portant solidairement une cheville (6), ledit mécanisme d'échappement (200) comportant une ancre (7) agencée pour pivoter autour d'un axe secondaire (DS) et comportant une fourchette d'ancre (8) agencée pour coopérer avec ladite cheville (6), et étant un mécanisme d'échappement libre dans le cycle de fonctionnement duquel ledit mécanisme résonateur (100) possède au moins une phase de liberté où ladite cheville (6) est à distance de ladite fourchette d'ancre (8), ledit mécanisme régulateur étant configuré pour que, lors de chaque alternance, dans une phase de contact ladite cheville (6) pénètre dans ladite fourchette d'ancre (8) avec une course de pénétration (P) supérieure ou égale à 40 micromètres et inférieure ou égale à 200 micromètres, et dans une phase de dégagement ladite cheville (6) reste à distance de ladite fourchette d'ancre (8) avec une distance de sécurité (S) supérieure ou égale à 10 micromètres et inférieure ou égale à 60 micromètres, ladite cheville (6) et ladite fourchette d'ancre (8) étant dimensionnées pour que la largeur (L) de ladite fourchette d'ancre (8) soit supérieure à  $(P+S)/\sin(\alpha/2+\beta/2)$ , ladite course de pénétration (P) et ladite distance de sécurité (S) étant mesurées radialement par rapport audit axe principal (DP), où  $\alpha$  est l'angle global de levée de l'ancre qui correspond à la course angulaire maximale de ladite fourchette d'ancre (8), et où  $\beta$  est l'angle de levée de résonateur, pendant lequel ladite cheville (6) est en contact avec ladite fourchette d'ancre (8), la plus grande dimension dudit au moins un élément inertiel (2) étant plus grande que la moitié de la plus grande dimension de ladite platine (1).
2. Mécanisme régulateur (300) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ladite course de pénétration (P) est supérieure ou égale à 80 micromètres et inférieure ou égale à 120 micromètres.
3. Mécanisme régulateur (300) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** ladite course de pénétration (P) est supérieure ou égale à 100 micromètres.
4. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** ladite distan-
- ce de sécurité (S) est supérieure ou égale à 20 micromètres et inférieure ou égale à 30 micromètres.
5. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** ladite distance de sécurité (S) est supérieure ou égale à 25 micromètres.
- 10 6. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** ledit angle de levée de l'ancre ( $\alpha$ ) est supérieur ou égal à 5° et inférieur ou égal à 30°.
- 15 7. Mécanisme régulateur (300) selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** ledit angle de levée de l'ancre ( $\alpha$ ) est inférieur ou égal à 20°.
- 20 8. Mécanisme régulateur (300) selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** ledit angle de levée de l'ancre ( $\alpha$ ) est supérieur ou égal à 12° et inférieur ou égal à 16°.
- 25 9. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** ledit angle de levée de résonateur ( $\beta$ ) est supérieur ou égal à 3° et inférieur ou égal à 30°.
- 30 10. Mécanisme régulateur (300) selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** ledit angle de levée de résonateur ( $\beta$ ) est supérieur ou égal à 8° et inférieur ou égal à 12°.
- 35 11. Mécanisme régulateur (300) selon la revendication 9 ou 10, **caractérisé en ce que** ledit angle de levée de résonateur ( $\beta$ ) est inférieur ou égal à 10°.
- 40 12. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** ladite ancre (7) constitue un arrêteoir bistable.
- 45 13. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** l'inertie  $I_B$  de l'ensemble desdits éléments inertIELS (2) par rapport audit axe principal (DP) d'une part, et l'inertie  $I_A$  de ladite ancre (7) par rapport audit axe secondaire (DS) d'autre part, sont telles que le rapport  $I_B/I_A$  est supérieur à  $2Q.\alpha^2/(\pi.\beta^2/10)$ , où  $\alpha$  est l'angle global de levée de l'ancre qui correspond à la course angulaire maximale de ladite fourchette d'ancre (8).
- 50 14. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce que** ledit angle global de levée de résonateur ( $\beta$ ) est inférieur au double de l'angle d'amplitude dont s'écarte au maximum, dans un seul sens de son mouvement ledit au moins un élément inertiel (2) par rapport à une position de repos.

15. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 14, **caractérisé en ce que** l'angle d'amplitude, dont s'écarte au maximum ledit au moins un élément inertiel (2) par rapport à une position de repos, est compris entre 5° et 40°.
16. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 15, **caractérisé en ce que** ladite ancre (7) est en un niveau unique de silicium, rapporté sur un arbre pivoté par rapport à ladite platine (1).
17. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 16, **caractérisé en ce que** ledit mobile d'échappement (4) est une roue d'échappement en silicium.
18. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 17, **caractérisé en ce que** ledit mobile d'échappement (4) est une roue d'échappement qui est ajourée pour minimiser son inertie par rapport à son axe de pivotement.
19. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 18, **caractérisé en ce que** ladite ancre (7) est ajourée pour minimiser sa dite inertie ( $I_A$ ) par rapport audit axe secondaire (DS).
20. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 19, **caractérisé en ce que** ladite ancre (7) est symétrique par rapport audit axe secondaire (DS).
21. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 20, **caractérisé en ce que** ledit axe principal (DP), ledit axe secondaire (DS) et l'axe de pivotement (DE) dudit mobile d'échappement (4), sont disposés selon un pointage à angle droit dont le sommet est sur ledit axe secondaire (DS).
22. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 21, **caractérisé en ce que** ledit guidage flexible comporte deux lames flexibles (5) croisées en projection sur un plan perpendiculaire audit axe principal (DP), au niveau dudit pivot virtuel définissant ledit axe principal (DP), et situées dans deux niveaux parallèles et distincts.
23. Mécanisme régulateur (300) selon la revendication 22, **caractérisé en ce que** lesdites deux lames flexibles (5), en projection sur un plan perpendiculairement audit axe principal (DP), forment entre elles un angle compris entre 59.5° et 69.5°, et se croisent entre 10.75% et 14.75% de leur longueur, de façon à procurer audit mécanisme résonateur (100) un défaut volontaire d'isochronisme opposé au défaut de retard à l'échappement dudit mécanisme d'échappement (200).
24. Mécanisme régulateur (300) selon la revendication 22 ou 23, **caractérisé en ce que** lesdites deux lames flexibles (5) sont identiques et sont positionnées en symétrie.
25. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 22 à 24, **caractérisé en ce que** chaque dite lame flexible (5) appartient à un ensemble monobloc (50) d'une seule pièce avec ses moyens d'alignement et de fixation sur ladite platine (1) ou sur une lame élastique intermédiaire de suspension (9) fixée à ladite platine (1) et agencée pour autoriser un déplacement dudit guidage flexible et dudit au moins un élément inertiel (2) selon la direction dudit axe principal (DP).
26. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 25, **caractérisé en ce que** au moins ledit mécanisme résonateur (100) est fixé sur une lame élastique intermédiaire de suspension (9) fixée à ladite platine (1) et agencée pour autoriser un déplacement du mécanisme résonateur (100) selon la direction dudit axe principal (DP), et **en ce que** ladite platine (1) comporte au moins une butée antichoc (11, 12) au moins selon la direction dudit axe principal (DP), agencée pour coopérer avec au moins un élément rigide dudit au moins un élément inertiel (2).
27. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 26, **caractérisé en ce que** ledit au moins un élément inertiel (2) comporte des masselottes de réglage de la marche et du balourd.
28. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 27, **caractérisé en ce que** ladite cheville (6) est monobloc avec une dite lame flexible (5).
29. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 28, **caractérisé en ce que** ladite ancre (7) comporte des surfaces d'appui agencées pour coopérer en appui avec des dents que comporte ledit mobile d'échappement (4) et pour limiter la course angulaire de ladite ancre (7).
30. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 29, **caractérisé en ce que** ledit guidage flexible est en silicium oxydé pour compenser les effets de la température sur la marche dudit mécanisme régulateur (300).
31. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 30, **caractérisé en ce que** ledit mécanisme d'échappement (200) est un mécanisme d'échappement coaxial.
32. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 30, **caractérisé en ce que** ledit mécanisme d'échappement (200) est un mécanisme

- d'échappement Fasoldt.
33. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 30, **caractérisé en ce que** ledit mécanisme d'échappement (200) est un mécanisme d'échappement à arrêteoir articulé. 5
34. Mouvement d'horlogerie (500) comportant des moyens moteurs (400) et un mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 33, dont ledit mécanisme d'échappement (200) est soumis au couple desdits moyens moteurs (400). 10
35. Montre (1000) comportant un mouvement (500) selon la revendication 34, et/ou un mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 33. 15

### Patentansprüche

- Reguliermechanismus (300) für Uhrmacherei, der, auf einer Platine (1) angeordnet, einen Resonator-Mechanismus (100) mit einem Qualitätsfaktor Q, der um eine Hauptachse (DP) drehend ist, und einen Hemmungsmechanismus (200) beinhaltet, der angeordnet ist, um einem Paar von Antriebsmitteln (400) zu unterliegen, die ein Uhrwerk (500) beinhaltet, wobei der Resonator-Mechanismus (100) mindestens ein Trägheitselement (2) beinhaltet, das angeordnet ist, um in Bezug auf die Platine (1) zu oszillieren, wobei das mindestens eine Trägheitselement (2) der Wirkung von elastischen Rückstellmitteln (3) unterliegt, die direkt oder indirekt an der Platine (1) befestigt sind, und wobei das mindestens eine Trägheitselement (2) angeordnet ist, um indirekt mit einem Hemmungsdrehteil (4) zusammenzuwirken, den der Hemmungsmechanismus (200) beinhaltet, wobei die elastischen Rückstellmittel (3) mindestens zwei flexible Klingen (5) beinhalten, an denen das mindestens eine Trägheitselement (2) aufgehängt ist, und die eine flexible Führung mit virtuellem Zapfen des mindestens einen Trägheitselement (2) definieren, wobei das mindestens eine Trägheitselement (2) fest verbunden einen Stift (6) trägt, wobei der Hemmungsmechanismus (200) einen Anker (7) beinhaltet, der angeordnet ist, um um eine Sekundärachse (DS) herum zu schwenken, und eine Ankergabel (8) beinhaltet, die angeordnet ist, um mit dem Zapfen (6) zusammenzuwirken, und ein freier Hemmungsmechanismus ist, in dessen Betriebszyklus der Resonator-Mechanismus (100) mindestens eine Freiheitsphase besitzt, in welcher der Stift (6) von der Ankergabel (8) beabstandet ist, wobei der Reguliermechanismus konfiguriert ist, damit der Stift (6) bei jeder Halbschwingung in einer Kontaktphase mit einem Eindringweg (P) in die Ankergabel (8) eindringt, der größer oder gleich 40 Mikrometer und kleiner oder gleich 200 Mikrometer ist, 5
  - Reguliermechanismus (300) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Eindringweg (P) größer oder gleich 80 Mikrometer, und kleiner oder gleich 120 Mikrometer ist. 20
  - Reguliermechanismus (300) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Eindringweg (P) größer oder gleich 100 Mikrometer ist. 25
  - Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sicherheitsabstand (S) größer als oder gleich 20 Mikrometer, und kleiner als oder gleich 30 Mikrometer ist. 30
  - Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sicherheitsabstand (S) größer oder gleich 25 Mikrometer ist. 35
  - Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hubwinkel des Ankers ( $\alpha$ ) größer oder gleich 5° und kleiner oder gleich 30° ist. 40
  - Reguliermechanismus (300) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hubwinkel des Ankers ( $\alpha$ ) kleiner oder gleich 20° ist. 45
  - Reguliermechanismus (300) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hubwinkel des Ankers ( $\alpha$ ) größer oder gleich 12° und kleiner oder gleich 16° ist. 50
  - Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Resonator-Hubwinkel ( $\beta$ ) größer als oder gleich 3° und kleiner als oder gleich 30° ist. 55
  - Reguliermechanismus (300) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Resonator-Hub- 60
- und der Stift (6) in einer Freigabephase von der Ankergabel (8) mit einem Sicherheitsabstand (S), der größer oder gleich 10 Mikrometer und kleiner oder gleich 60 Mikrometer ist, beabstandet bleibt, wobei der Stift (6) und die Ankergabel (8) bemessen sind, damit die Breite (L) der Ankergabel (8) größer ist als  $(P+S)/\sin(\alpha/2+\beta/2)$ , wobei der Eindringweg (P) und der Sicherheitsabstand (S) radial in Bezug auf die Hauptachse (DP) gemessen werden, wobei  $\alpha$  der globale Hubwinkel des Ankers ist, der dem maximalen Winkelhub der Ankergabel (8) entspricht, und wobei  $\beta$  der Resonator-Hubwinkel ist, bei dem der Stift (6) in Kontakt mit der Ankergabel (8) ist, wobei die größte Abmessung des mindestens einen Trägheitselementen (2) größer ist als die Hälfte der größten Abmessung der Platine (1).

- winkel ( $\beta$ ) größer oder gleich  $8^\circ$  und kleiner oder gleich  $12^\circ$  ist.
11. Reguliermechanismus (300) nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Resonator-Hubwinkel ( $\beta$ ) kleiner oder gleich  $10^\circ$  ist. 5
12. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anker (7) eine bistabile Arretierung darstellt. 10
13. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Trägheit  $I_B$  der Gesamtheit der Träigkeitselemente (2) in Bezug auf die Hauptachse (DP) einerseits, und die Trägheit  $I_A$  des Ankers (7) in Bezug auf die Nebenachse (DS) andererseits derart sind, dass das Verhältnis  $I_B/I_A$  größer als  $2Q\cdot\alpha^2/(\pi\cdot\beta^2/10)$  ist, wobei  $\alpha$  der globale Hubwinkel des Ankers ist, der dem maximalen Winkelhub der Ankergabel (8) entspricht. 15
14. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der globale Resonator-Hubwinkel ( $\beta$ ) kleiner als das Doppelte des Amplitudenwinkels ist, um den das mindestens eine Träigkeitselement (2) in einer einzigen Richtung seiner Bewegung maximal von einer Ruheposition abweicht. 20
15. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Amplitudenwinkel, um den das mindestens eine Träigkeitselement (2) maximal von einer Ruheposition abweicht, zwischen  $5^\circ$  und  $40^\circ$  liegt. 25
16. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anker (7) aus einer einzigen Siliziumebene besteht, die auf einer Welle beigebracht ist, die in Bezug auf die Platine (1) gedreht wird. 30
17. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hemmungsdrehteil (4) ein Hemmungsrad aus Silizium ist. 35
18. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hemmungsdrehteil (4) ein Hemmungsrad ist, das durchbrochen ist, um seine Trägheit in Bezug auf seine Schwenkachse zu minimieren. 40
19. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anker (7) durchbrochen ist, um seine Trägheit ( $I_A$ ) in Bezug auf die Sekundärachse (DS) zu minimieren. 45
20. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anker (7) in Bezug auf die Nebenachse (DS) symmetrisch ist. 50
21. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hauptachse (DP), die Nebenachse (DS) und die Schwenkachse (DE) des Hemmungsdrehteils (4) in einer rechtwinkligen Ankörnung angeordnet sind, dessen Scheitelpunkt auf der Nebenachse (DS) liegt. 55
22. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** die flexible Führung zwei flexible Klingen (5) umfasst, die in Projektion auf einer Ebene senkrecht zur Hauptachse (DP), auf Höhe des virtuellen Dreiecks, der die Hauptachse (DP) definiert, gekreuzt sind, und sich in zwei parallelen und unterschiedlichen Ebenen befinden.
23. Reguliermechanismus (300) nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden flexiblen Klingen (5) in Projektion auf einer Ebene senkrecht zur Hauptachse (DP) zwischen sich einen Winkel zwischen  $59,5^\circ$  und  $69,5^\circ$  bilden und sich zwischen 10,75% und 14,75% ihrer Länge kreuzen, um dem Resonator-Mechanismus (100) einen beabsichtigten Isochronismus-Fehler entgegengesetzt zum Hemmungsnachlauffehler des Hemmungsmechanismus (200) zu verschaffen. 60
24. Reguliermechanismus (300) nach Anspruch 22 oder 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden flexiblen Klingen (5) identisch sind und symmetrisch positioniert sind. 65
25. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 22 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede der flexiblen Klingen (5) einer einteiligen Einheit (50) aus einem Stück mit ihren Mitteln zur Ausrichtung und Befestigung an der Platine (1) oder an einer elastischen Zwischenaufhängungsklinge (9) angehört, die an der Platine (1) befestigt und angeordnet ist, um eine Verschiebung der flexiblen Führung und des mindestens einen Träigkeitselements (2) in Richtung der Hauptachse (DP) zuzulassen. 70
26. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 25, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens der Resonator-Mechanismus (100) an einer elastischen Zwischenaufhängungsklinge (9) befestigt ist, die an der Platine (1) befestigt und angeordnet ist, um eine Verschiebung des Resonator-Mechanismus (100) in Richtung der Hauptachse (DP) zuzulassen, und dadurch, dass die Platine (1) mindestens einen stosssicheren Anschlag (11, 12) 75

- mindestens in Richtung der Hauptachse (DP) beinhaltet, der angeordnet ist, um mit mindestens einem starren Element des mindestens einen Trägheitselement (2) zusammenzuwirken.
27. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 26, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mindestens eine Trägheitselement (2) Gewichtchen zur Einstellung des Gangs und der Unwucht beinhaltet.
28. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 27, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stift (6) in einem Stück mit einer flexiblen Klinge (5) ist.
29. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 28, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anker (7) Auflageflächen beinhaltet, die angeordnet sind, um in Auflage mit Zähnen zusammenwirken, die der Hemmungsdreiteil (4) beinhaltet, und um den Winkelhub des Ankers (7) zu begrenzen.
30. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 29, **dadurch gekennzeichnet, dass** die flexible Führung aus oxidiertem Silizium besteht, um die Auswirkungen der Temperatur auf den Lauf des Reguliermechanismus (300) zu kompensieren.
31. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 30, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hemmungsmechanismus (200) ein koaxialer Hemmungsmechanismus ist.
32. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 30, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hemmungsmechanismus (200) ein Fasoldt-Hemmungsmechanismus ist.
33. Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 30, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hemmungsmechanismus (200) ein Hemmungsmechanismus mit gelenkiger Arretierung ist.
34. Uhrwerk (500) für Uhrmacherei, das Antriebsmittel (400) und einen Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 33 beinhaltet, wobei der Hemmungsmechanismus (200) dem Drehmoment der Antriebsmittel (400) unterliegt.
35. Uhr (1000), die ein Uhrwerk (500) nach Anspruch 34 und/oder einen Reguliermechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 33 beinhaltet.

## Claims

- Regulating mechanism (300) for a timepiece, includ-

ing, arranged on a plate (1), a resonator mechanism (100) with a quality factor Q, rotatable about a main axis (DP), and an escapement mechanism (200) which is arranged to be subjected to a torque from motor means (400) comprised in a movement (500), said resonator mechanism (100) including at least one inertial element (2) arranged to oscillate with respect to said plate (1), said at least one inertial element (2) being subjected to the action of resilient return means (3) directly or indirectly attached to said plate (1), and said at least one inertial element (2) being arranged to cooperate indirectly with an escape wheel set (4) comprised in said escapement mechanism (200), said resilient return means (3) including at least two flexible blades (5) from which said at least one inertial element (2) is suspended and which define a virtual pivot flexure bearing for said at least one inertial element (2), said at least one inertial element (2) carrying a pin (6) integral therewith, said escapement mechanism (200) including a pallet-lever (7) arranged to pivot about a secondary axis (DS) and including a pallet-lever fork (8) arranged to cooperate with said pin (6), and being a free escapement mechanism in the operating cycle of which said resonator mechanism (100) has at least one phase of freedom where said pin (6) is at a distance from said pallet-lever fork (8), said regulator mechanism being configured so that, during each vibration, in a contact phase, said pin (6) penetrates said pallet-lever fork (8) with a depth of travel (P) greater than or equal to 40 micrometres and less than or equal to 200 micrometres, and in a release phase, said pin (6) remains at a distance from said pallet-lever fork (8) with a safety distance (S) greater than or equal to 10 micrometres and less than or equal to 60 micrometres, said pin (6) and said pallet-lever fork (8) being dimensioned so that the width (L) of said pallet-lever fork (8) is greater than  $(P+S)/\sin(\alpha/2+\beta/2)$ , said depth of travel (P) and said safety distance (S) being measured radially with respect to said main axis (DP), where  $\alpha$  is the overall lift angle of the pallet-lever which corresponds to the maximum angular travel of said pallet-lever fork (8), and where  $\beta$  is the lift angle of the resonator, during which said pin (6) is in contact with said pallet-lever fork (8), the largest dimension of said at least one inertial element (2) being greater than half the largest dimension of said plate (1).

- Regulating mechanism (300) according to claim 1, **characterised in that** said depth of travel (P) is greater than or equal to 80 micrometres and less than or equal to 120 micrometres.
- Regulating mechanism (300) according to claim 1 or 2, **characterised in that** said depth of travel (P) is greater than or equal to 100 micrometres.

4. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 3, **characterised in that** said safety distance (S) is greater than or equal to 20 micrometres and less than or equal to 30 micrometres. 5
5. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 4, **characterised in that** said safety distance (S) is greater than or equal to 25 micrometres. 10
6. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 5, **characterised in that** said lift angle ( $\alpha$ ) of the pallet-lever is greater than or equal to 5° and less than or equal to 30°. 15
7. Regulating mechanism (300) according to claim 6, **characterised in that** said lift angle ( $\alpha$ ) of the pallet-lever is less than or equal to 20°. 20
8. Regulating mechanism (300) according to claim 7, **characterised in that** said lift angle ( $\alpha$ ) of the pallet-lever is greater than or equal to 12° and less than or equal to 16°. 25
9. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 9, **characterised in that** said lift angle ( $\beta$ ) of the resonator is greater than or equal to 3° and less than or equal to 30°. 30
10. Regulating mechanism (300) according to claim 9, **characterised in that** said lift angle ( $\beta$ ) of the resonator is greater than or equal to 8° and less than or equal to 12°. 35
11. Regulating mechanism (300) according to claim 9 or 10, **characterised in that** said lift angle ( $\beta$ ) of the resonator is less than or equal to 10°. 40
12. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 11, **characterised in that** said pallet-lever (7) constitutes a bistable stopper. 45
13. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 12, **characterised in that** the inertia  $I_B$  of all said inertial elements (2) with respect to said main axis (DP) on the one hand, and the inertia  $I_A$  of said pallet-lever (7) with respect to said secondary axis (DS) on the other hand, are such that the ratio  $I_B/I_A$  is greater than  $2Q.\alpha^2/(\pi.\beta^2/10)$ , where  $\alpha$  is the overall angle of lift of the pallet-lever which corresponds to the maximum angular travel of said pallet-lever fork (8). 50
14. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 13, **characterised in that** said overall angle of lift ( $\beta$ ) of the resonator is less than twice the angle of amplitude from which said at least one inertial element (2) deviates at most, in a single direction of its movement, with respect to a rest position. 55
15. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 14, **characterised in that** the angle of amplitude, from which said at least one inertial element (2) deviates at most with respect to a rest position, is between 5° and 40°.
16. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 15, **characterised in that** said pallet-lever (7) is made of a single level of silicon, attached to a shaft pivoted with respect to said plate (1).
17. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 16, **characterised in that** said escape wheel set (4) is a silicon escape wheel.
18. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 17, **characterised in that** said escape wheel set (4) is an escape wheel which is openworked to minimise its inertia relative to its pivot axis.
19. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 18, **characterised in that** said pallet-lever (7) is openworked to minimise its said inertia ( $I_A$ ) with respect to said secondary axis (DS).
20. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 19, **characterised in that** said pallet-lever (7) is symmetrical with respect to said secondary axis (DS).
21. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 20, **characterised in that** said main axis (DP), said secondary axis (DS) and the pivot axis (DE) of said escape wheel set (4) are arranged centred at a right angle, the vertex of which is on said secondary axis (DS).
22. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 21, **characterised in that** said flexure bearing includes two flexible blades (5) which are crossed when projected onto a plane perpendicular to said main axis (DP), at said virtual pivot defining said main axis (DP), and are situated in two parallel and distinct levels.
23. Regulating mechanism (300) according to claim 22, **characterised in that** said two flexible blades (5), projected onto a plane perpendicular to said main axis (DP), form between them an angle of between 59.5° and 69.5°, and cross each other at between 10.75% and 14.75% of their length, so as to provide said resonator mechanism (100) with a deliberate isochronism defect which is the inverse of the escapement delay defect of said escapement mechanism (200).
24. Regulating mechanism (300) according to claim 22 or 23, **characterised in that** said two flexible blades

- (5) are identical and are positioned symmetrically.
25. Regulating mechanism (300) according to one of claims 22 to 24, **characterised in that** each said flexible blade (5) belongs to a one-piece assembly (50) made in one piece with its means of alignment and attachment to said plate (1) or to an intermediate resilient suspension blade (9) attached to said plate (1) and arranged to allow displacement of said flexure bearing and of said at least one inertial element (2) in the direction of said main axis (DP).
26. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 25, **characterised in that** at least said resonator mechanism (100) is attached to an intermediate resilient suspension blade (9) attached to said plate (1) and arranged to allow displacement of the resonator mechanism (100) in the direction of said main axis (DP), and **in that** said plate (1) includes at least one shock-resistant stop (11, 12) at least in the direction of said main axis (DP), arranged to cooperate with at least one rigid element of said at least one inertial element (2).
27. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 26, **characterised in that** said at least one inertial element (2) includes inertia blocks for adjusting the rate and unbalance.
28. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 27, **characterised in that** said pin (6) is integral with a said flexible blade (5).
29. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 28, **characterised in that** said pallet-lever (7) includes bearing surfaces arranged to cooperate, by bearing, with teeth which said escape wheel set (4) includes and to limit the angular travel of said pallet-lever (7).
30. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 29, **characterised in that** said flexure bearing is made of oxidised silicon to compensate for the effects of temperature on the operation of said regulator mechanism (300).
31. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 30, **characterised in that** said escapement mechanism (200) is a coaxial escapement mechanism.
32. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 30, **characterised in that** said escapement mechanism (200) is a Fasoldt escapement mechanism.
33. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 30, **characterised in that** said escape-
- ment mechanism (200) is an escapement mechanism with an articulated stopper.
34. Horological movement (500) including motor means (400) and a regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 33, in which said escapement mechanism (200) is subjected to the torque of said motor means (400).
35. Watch (1000) including a movement (500) according to claim 34, and/or a regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 33.

Fig. 1

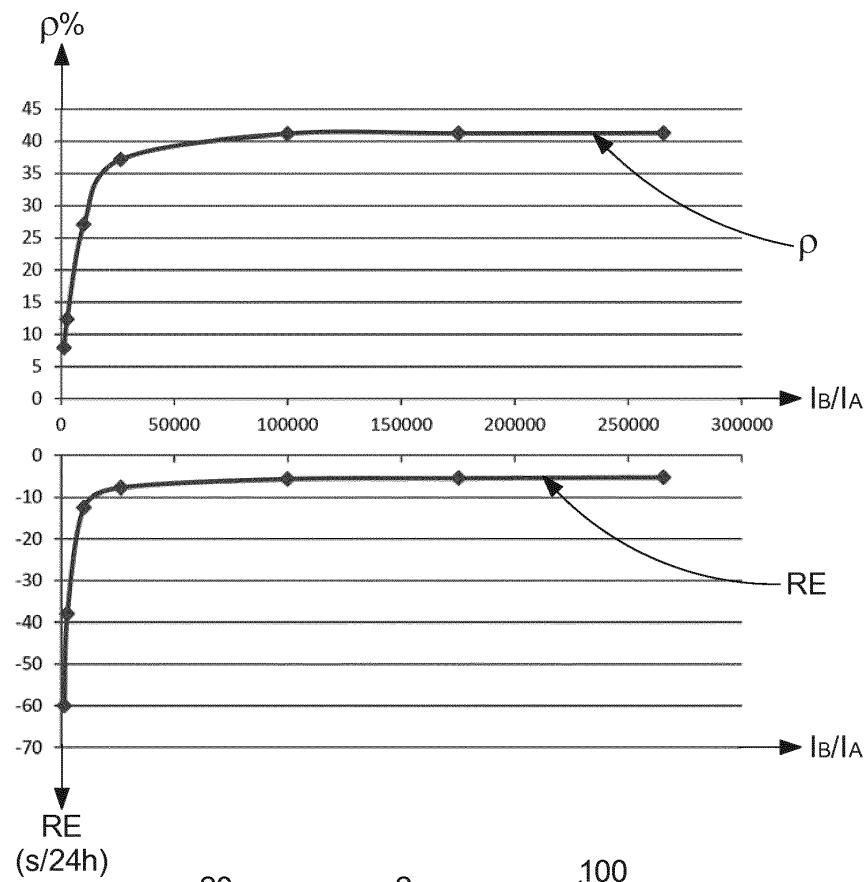


Fig. 2

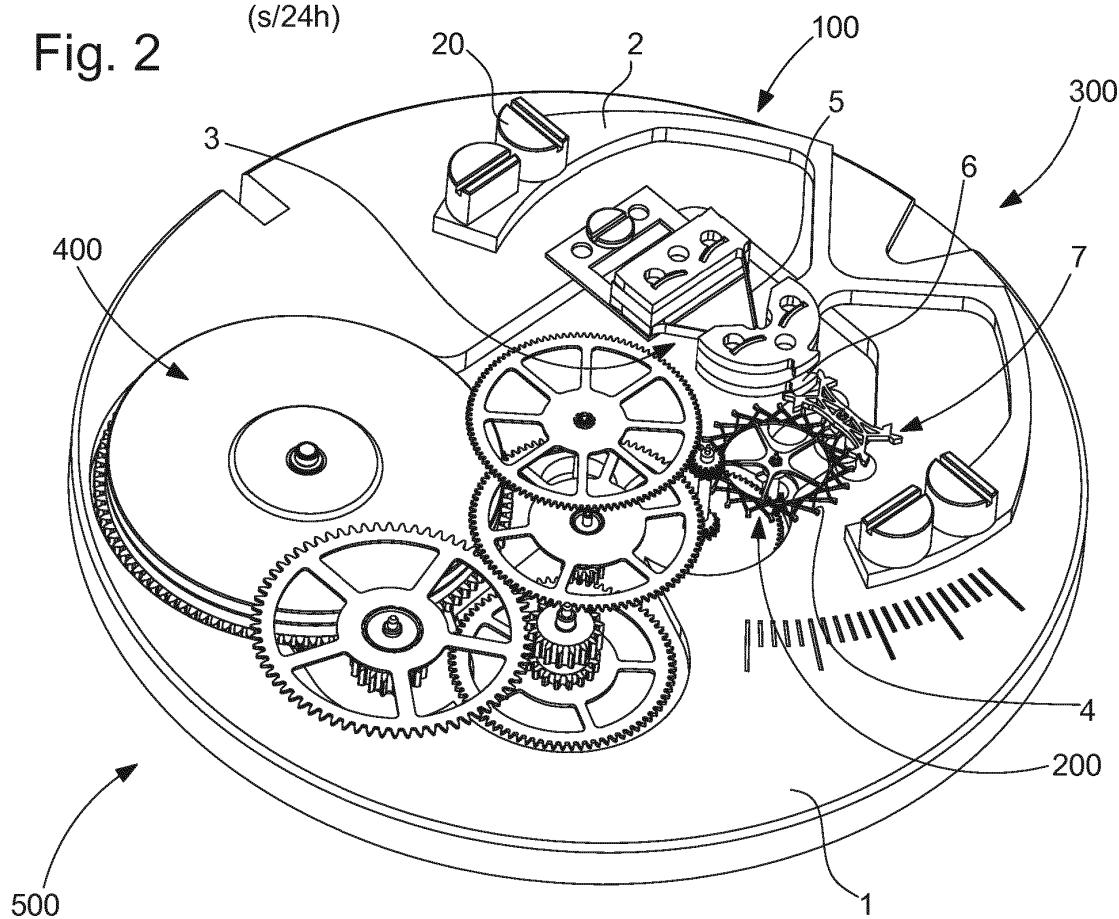


Fig. 3

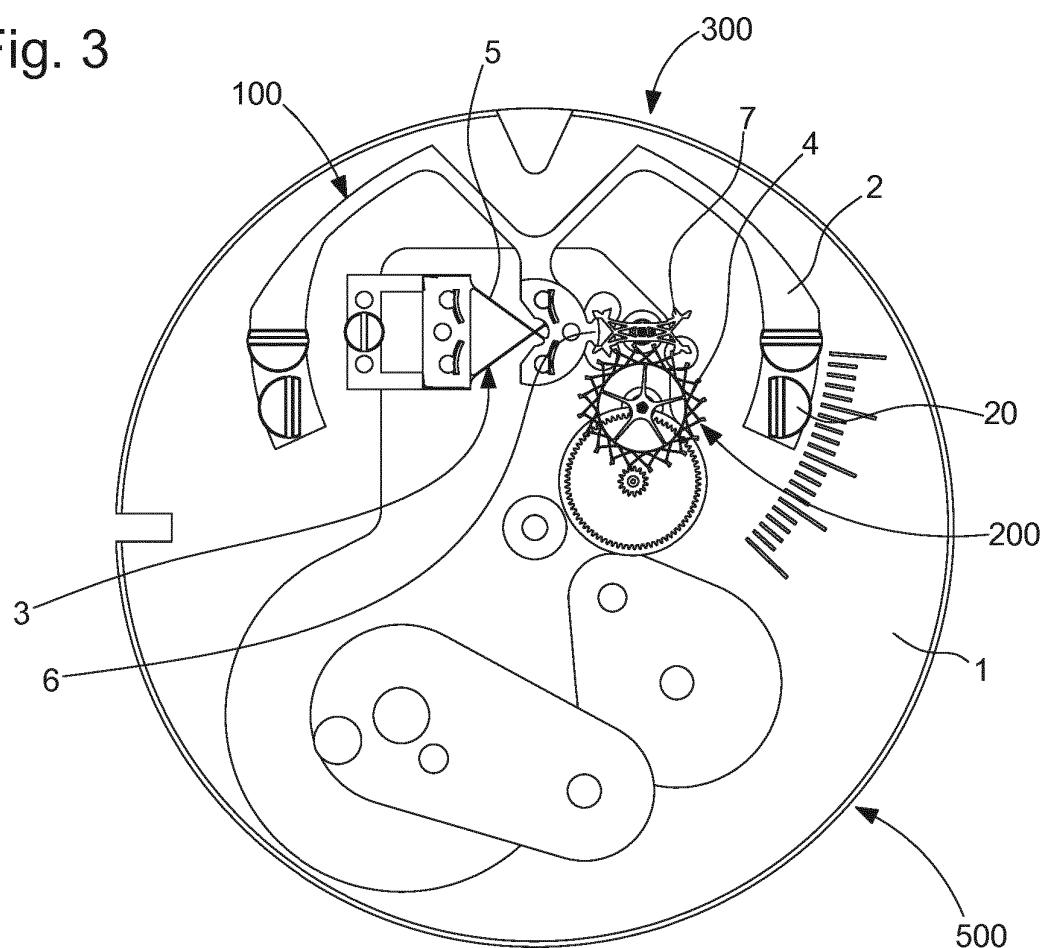


Fig. 4

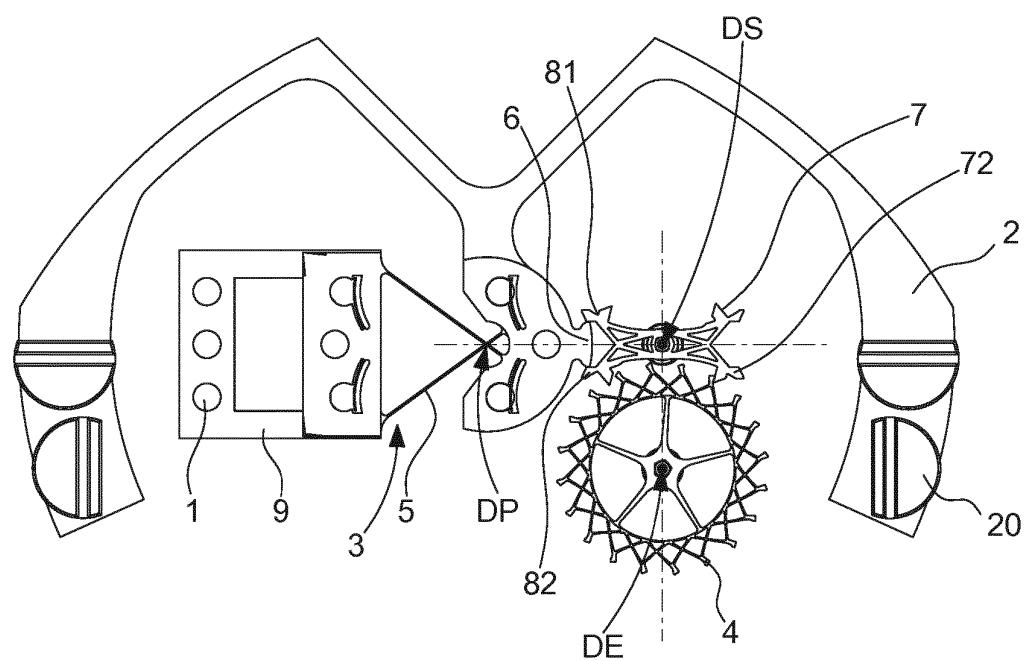


Fig. 5

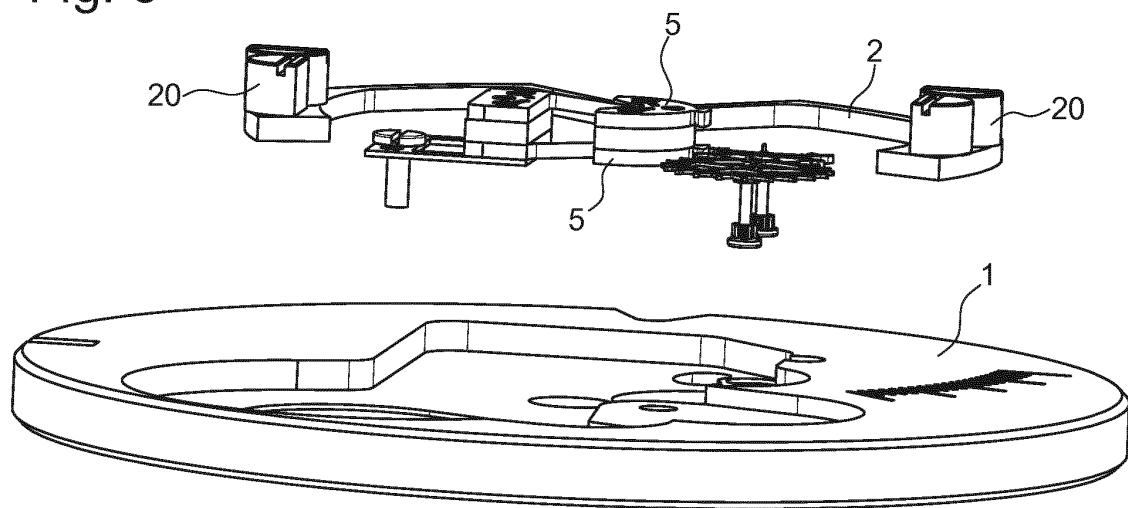


Fig. 6

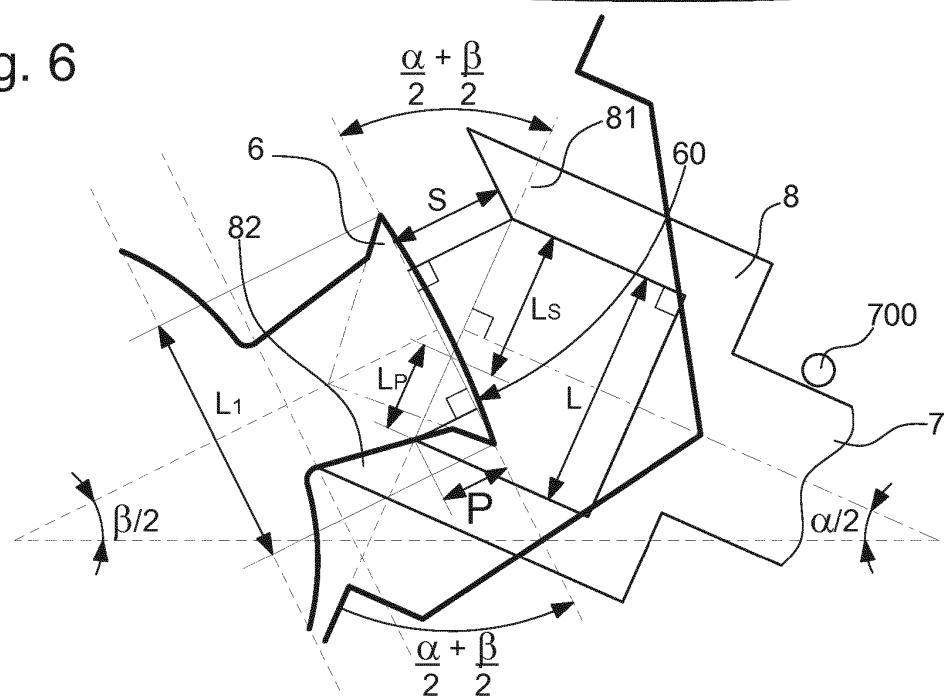


Fig. 7

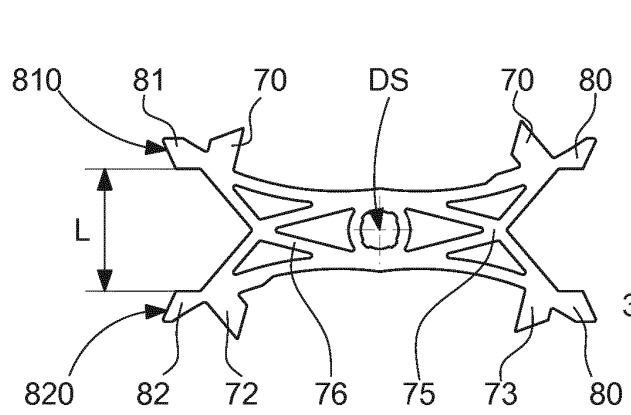


Fig. 8

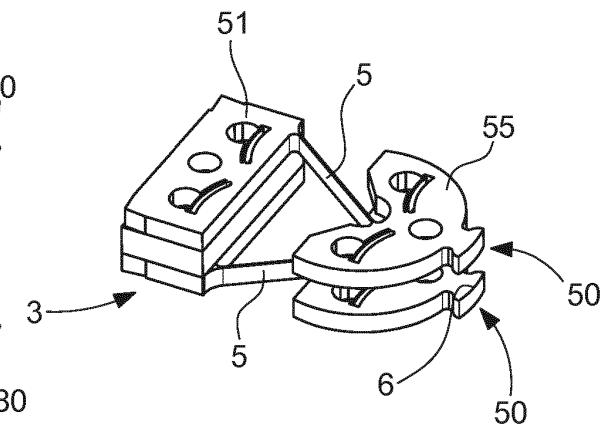


Fig. 9

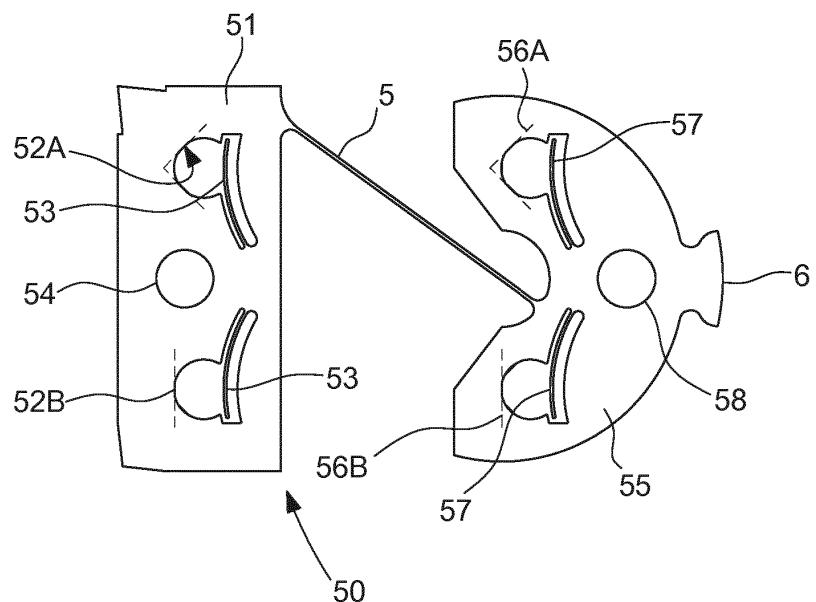


Fig. 10

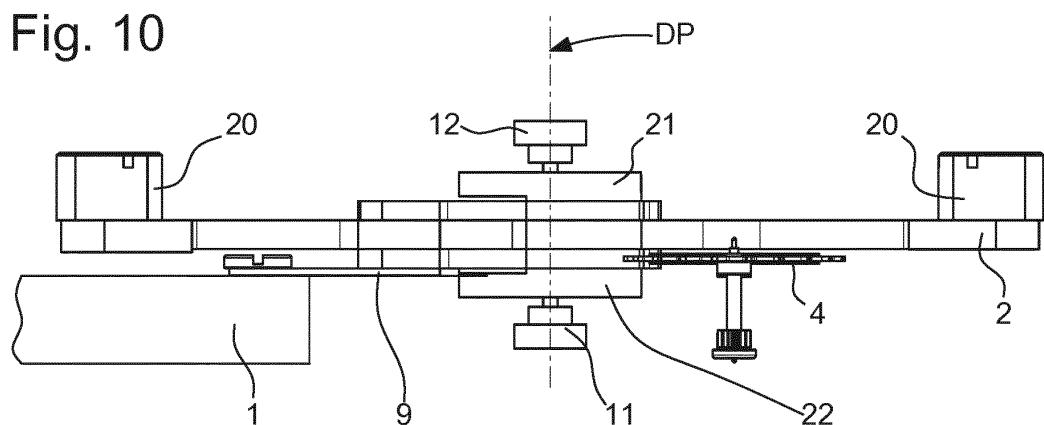


Fig. 11

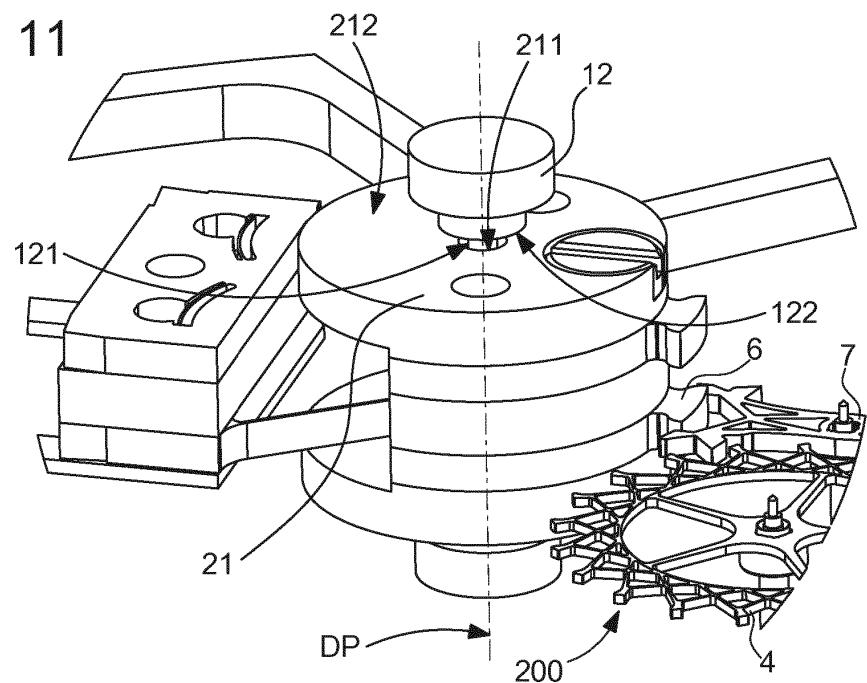


Fig. 12

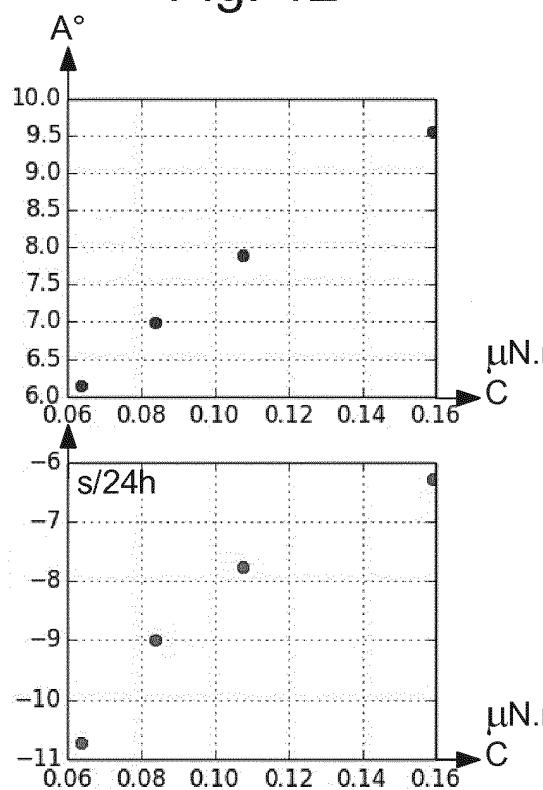


Fig. 14

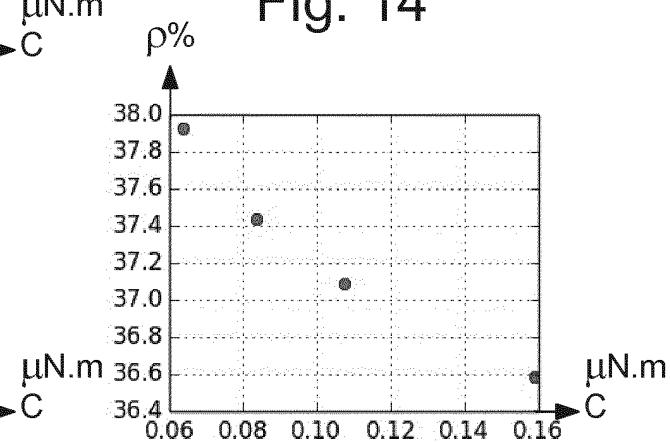


Fig. 13

Fig. 15

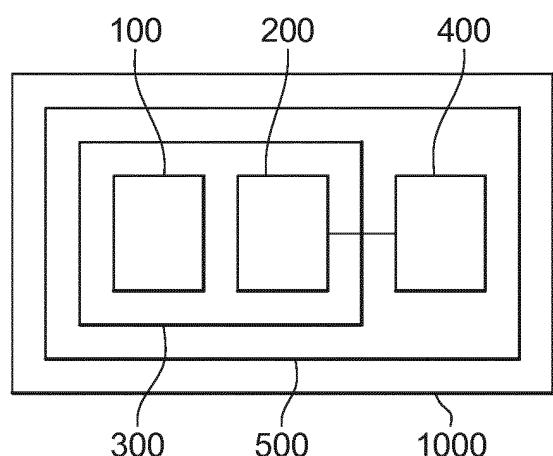


Fig. 16

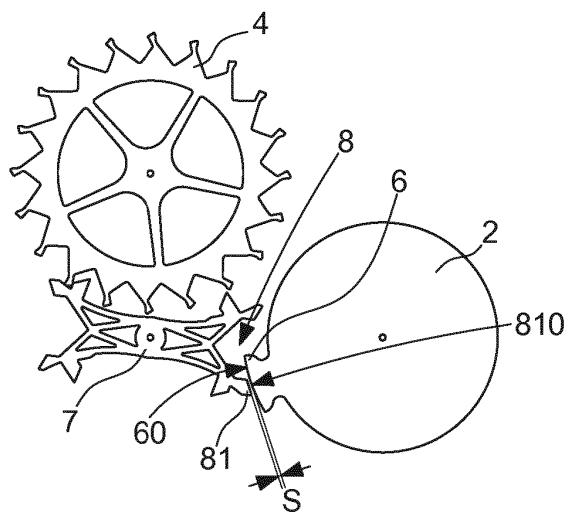
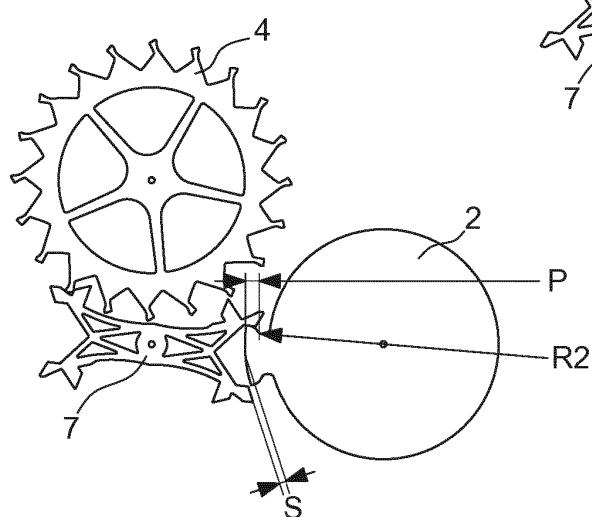


Fig. 17

Fig. 18

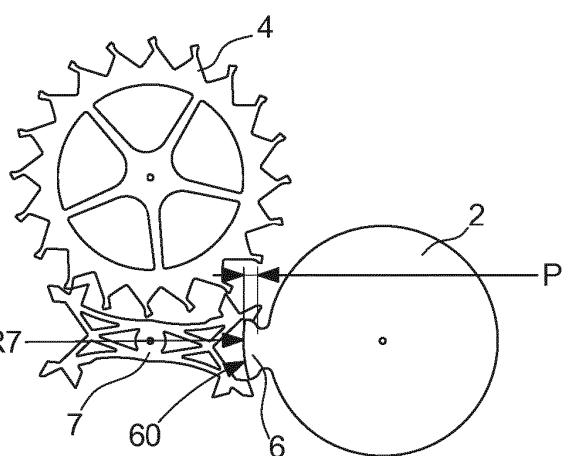
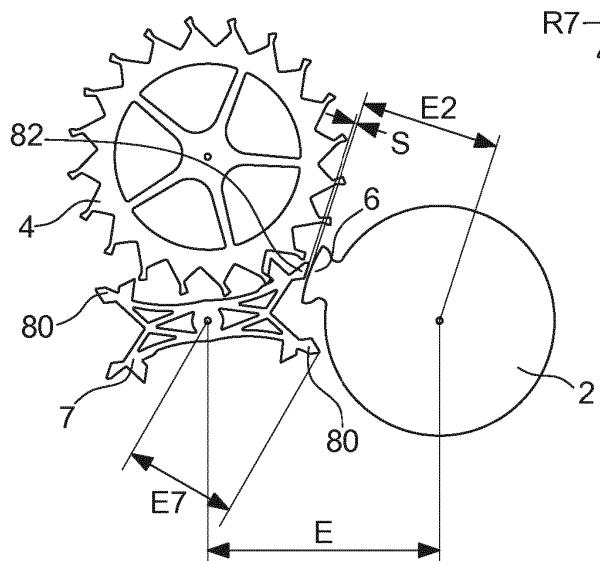


Fig. 19

Fig. 20

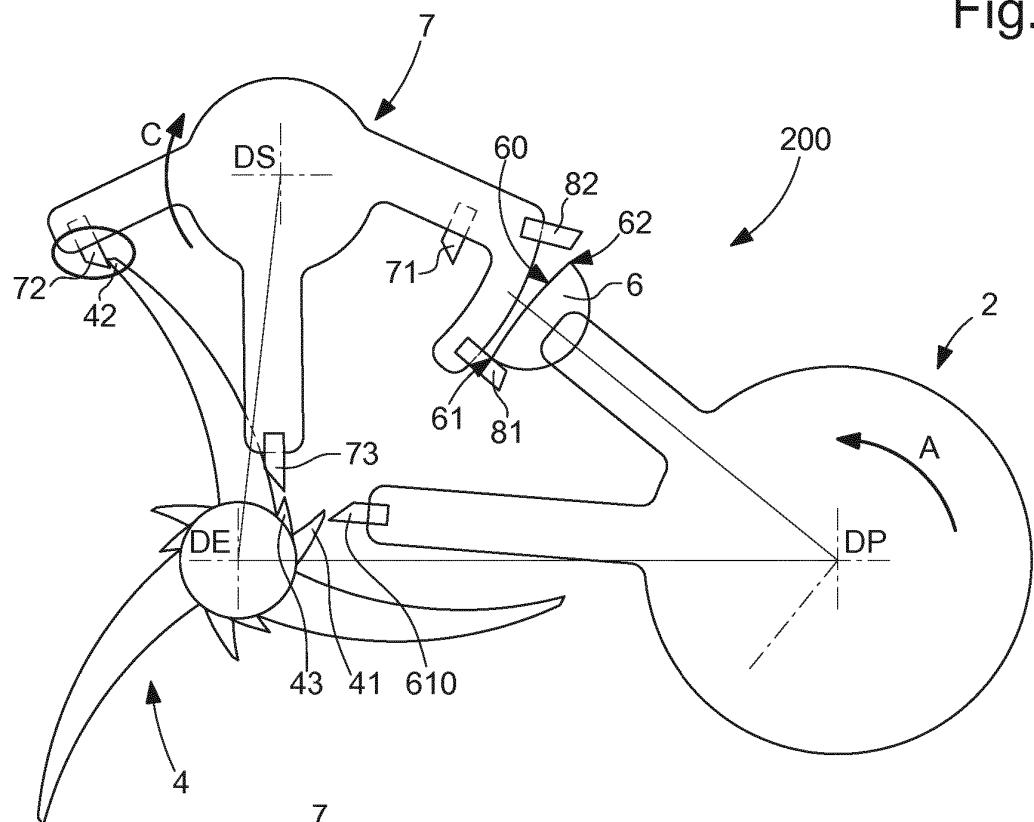


Fig. 21

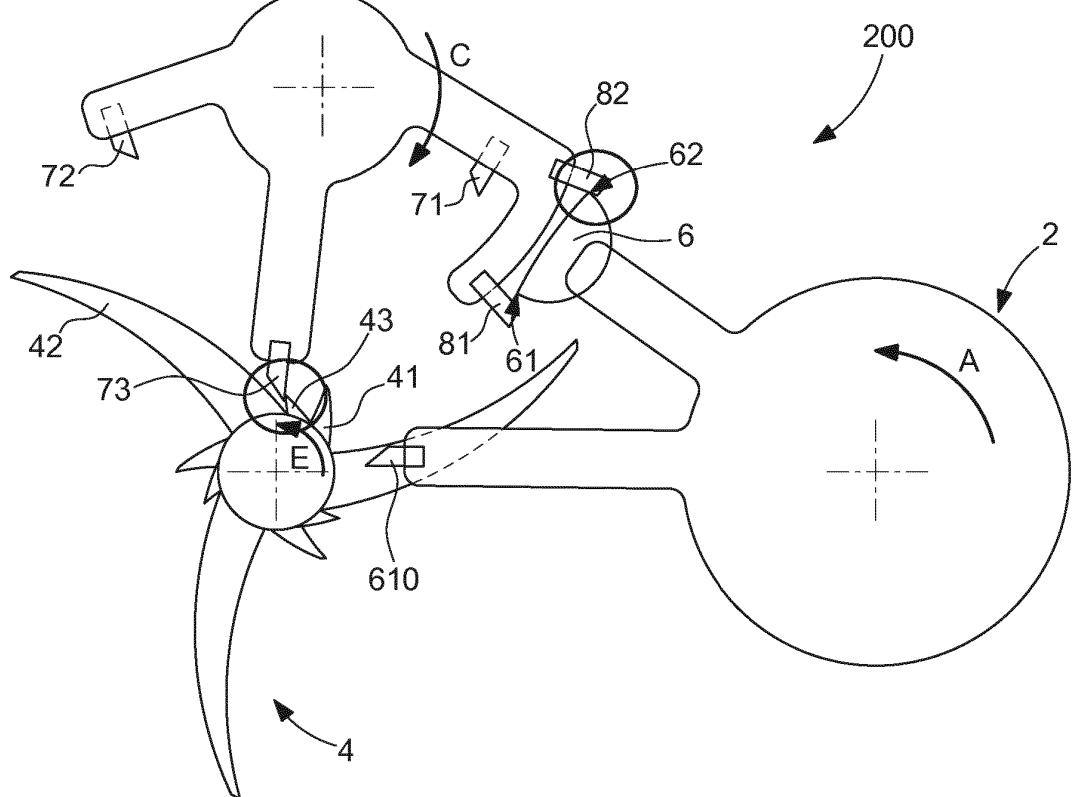


Fig. 22

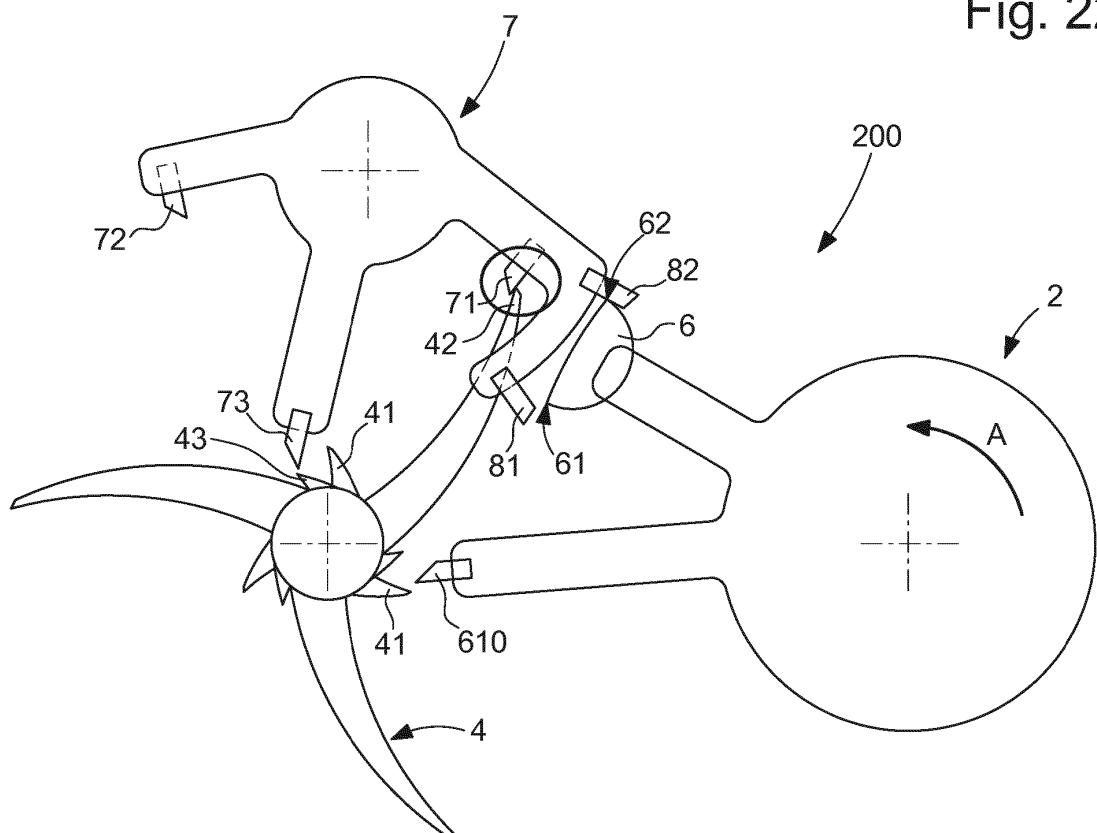


Fig. 23

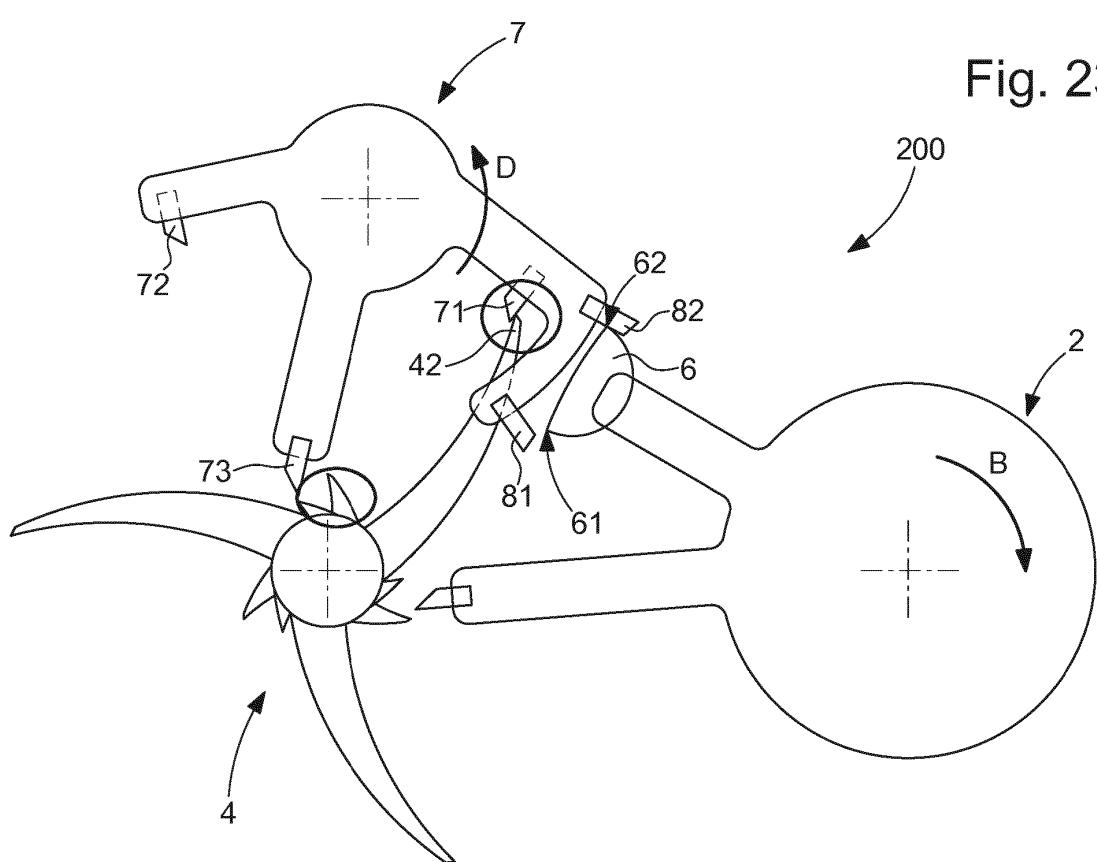
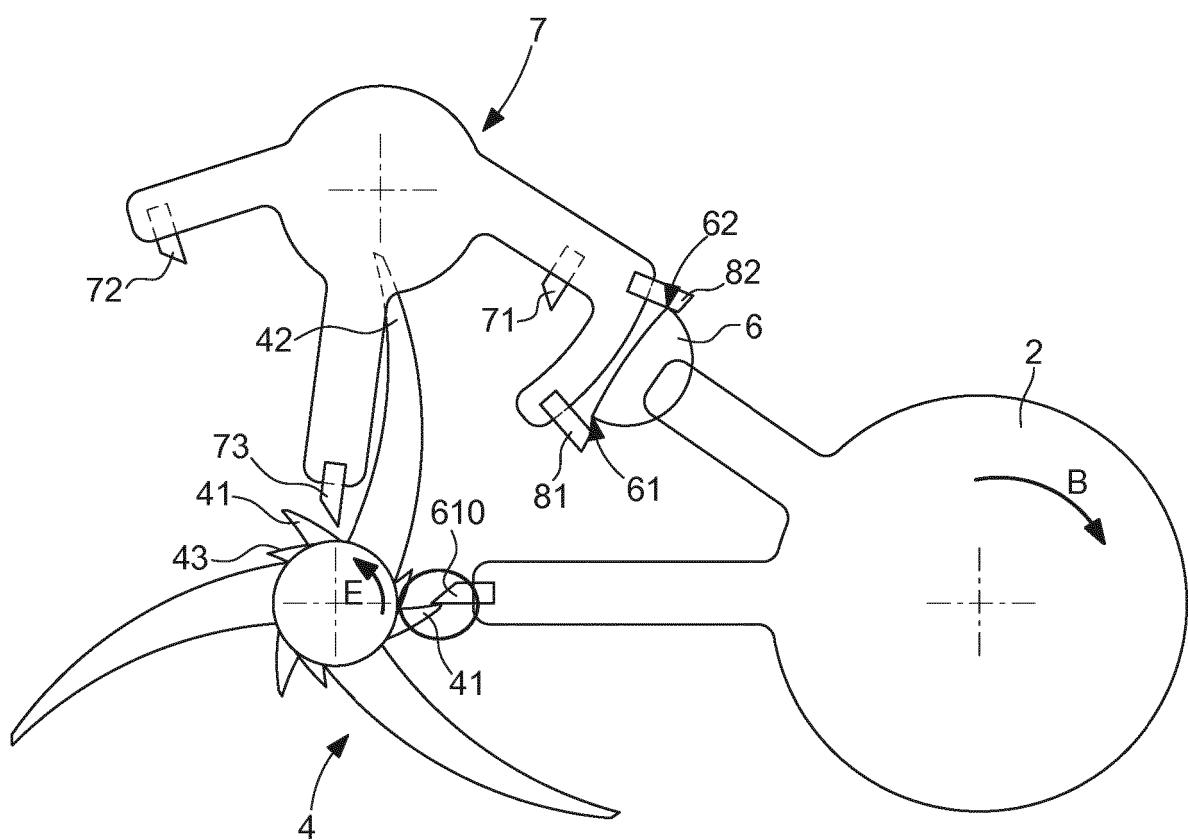


Fig. 24



**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 3035126 A [0013]
- EP 2894520 A2 [0013]
- EP 3032352 A1 [0013]
- EP 2990885 A1 [0013]

**Littérature non-brevet citée dans la description**

- Conception et optimisation multicritère des échappements libres pour montres-bracelet mécaniques. **M. THIERRY CONUS.** thèse N°3806. 01 Juin 2007, 107-141, 129-132 [0102]