



(11) EP 4 160 323 A1

(12)

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**(43) Date de publication:  
**05.04.2023 Bulletin 2023/14**(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):  
**G04B 15/14** (2006.01)      **G04B 15/08** (2006.01)(21) Numéro de dépôt: **21200709.0**(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):  
**G04B 15/14; G04B 15/08**(22) Date de dépôt: **04.10.2021**

(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:  
**KH MA MD TN**

(71) Demandeur: **CSEM Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA - Recherche et Développement 2002 Neuchâtel (CH)**

(72) Inventeurs:  

- **LEASSER, Olivier**  
**2300 La Chaux-de-Fonds (CH)**
- **MUSY, Gregory**  
**1052 Le Mont-sur-Lausanne (CH)**

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

**(54) RÉGULATEUR MÉCANIQUE HORLOGER COMPRENANT UN ÉCHAPPEMENT SEMI-LIBRE AUTO-DÉMARRANT À FAIBLE ANGLE DE LEVÉE**

(57) La présente invention concerne un régulateur mécanique horloger (1) comprenant un échappement (10) coopérant avec un oscillateur pourvu d'un élément inertiel (21) oscillant dans un plan d'oscillation grâce à un élément de rappel (22). L'échappement comprend une cheville (130) rigidement liée à l'élément inertiel (21), une ancre (12) comportant une fourchette (122) coopérant avec la cheville (130), et deux palettes (121, 127) coopérant avec des dents (112) d'une roue d'échappement (11). Le régulateur est configuré de sorte que, pendant une première phase de repos frottant se produisant avant une phase de dégagement, et pendant une seconde phase de repos frottant se produisant après une phase d'impulsion, la cheville (130) est en contact avec la fourchette (122) de manière à la pousser, et une dent (112) de la roue d'échappement (11) est en contact frottant avec l'une des palettes (121, 127).

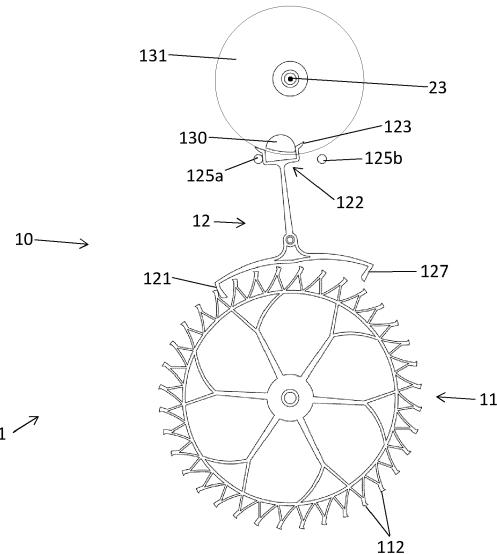


Fig. 3

## Description

### Domaine technique

**[0001]** La présente invention concerne le domaine de l'horlogerie, plus précisément, la présente invention concerne un régulateur mécanique horloger comprenant un échappement et un oscillateur.

### Etat de la technique

**[0002]** Un mécanisme régulateur d'horlogerie comprend typiquement un échappement tel qu'illustré à la **figure 1**. Un tel échappement 10 comprend typiquement une roue d'échappement 11 munie de dents 112 configurées pour coopérer avec des palettes 121 d'une ancre 12. L'ancre 12 comporte une fourchette 122 coopérant avec une cheville 130 d'un plateau 131. Le plateau 131 est lié rigidement à un oscillateur (ou organe régulateur) non représenté. L'échappement a pour but d'entretenir et de compter les oscillations de l'oscillateur. Un oscillateur mécanique comporte un élément inertiel, un guidage et un élément de rappel élastique. Par exemple, l'oscillateur mécanique peut comprendre un balancier spiral dans lequel le balancier constitue l'élément inertiel, le guidage correspond à l'axe de balancier et aux pierres de platine et pont, et le spiral constitue l'élément de rappel élastique.

**[0003]** La **figure 2a** montre un diagramme reportant différents angles d'oscillation du balancier d'un oscillateur balancier spiral, coopérant avec un échappement tel que décrit ci-dessus. Le balancier, ayant une amplitude Ao de l'ordre 300°, peut être caractérisé par une portion d'oscillation libre  $\Theta_{LI}$  et une portion d'oscillation correspondant à l'angle de levée  $\Theta_{LE}$ , de l'ordre de 50°, où le dégagement de la roue d'échappement et l'impulsion de l'échappement à l'élément inertiel se produisent. L'amplitude Ao est la position angulaire maximale, par rapport à la ligne des centres, que prend l'élément inertiel durant une oscillation (ou alternance). La ligne des centres  $\theta_0$  est définie comme la position angulaire de l'élément inertiel à l'équilibre sans l'échappement (lorsque l'élément de rappel élastique est complètement détendu).

**[0004]** Un oscillateur horloger sur guidage flexible, ou à pivot flexible, est un oscillateur dont l'élément inertiel (pouvant comprendre un balancier) est guidé en rotation par un agencement de parties élastiques et non pas par un axe de rotation physique tournant dans des paliers classiques (ex : palier rubis), comme dans le cas d'un balancier spiral. En plus de sa fonction de guidage en rotation, le pivot flexible exerce un couple de rappel élastique sur le balancier à l'instar du spiral d'un oscillateur balancier spiral. La **figure 2b** montre un diagramme reportant différents angles d'oscillation d'un oscillateur sur guidage flexible (par exemple, tel que celui représenté en figure 19) coopérant avec un échappement tel que décrit ci-dessus. Dans cette configuration, l'élément iner-

tel, ayant une amplitude Ao typiquement comprise entre 10° et 50°, est caractérisé par une portion d'oscillation libre  $\Theta_{LI}$  typiquement de l'ordre de 10° à 20°, et par un angle de levée  $\Theta_{LE}$ , de l'ordre de 6° maximum. Par rapport à un oscillateur de type balancier spiral, un oscillateur sur guidage flexible se démarque par une rigidité plus importante de l'élément de rappel élastique et par des amplitudes d'oscillations Ao plus faibles.

**[0005]** Le demi-angle de levée  $\Theta_{LE}/2$  d'un oscillateur correspond à l'angle entre la ligne des centres de l'élément inertiel  $\theta_0$  et sa position angulaire en fin d'impulsion  $\theta_{IM}$ . Ainsi, minimiser l'angle de levée  $\Theta_{LE}$  revient à rapprocher la position angulaire de fin d'impulsion  $\theta_{IM}$  de la ligne des centres  $\theta_0$  et donc de diminuer le couple de rappel élastique de l'oscillateur en fin d'impulsion, ce qui facilite l'auto-démarrage.

**[0006]** Dans le cas d'un échappement 10 traditionnel à ancre suisse coopérant avec un oscillateur sur guidage flexible, il n'est pas possible de redimensionner la fourchette pour rendre cette dernière compatible avec un angle de levée  $\Theta_{LE}$  au balancier de 6° ou moins. En effet, dans ce cas, les jeux et sécurités entre la fourchette et la cheville de plateau seraient irréalisables en pratique. Par ailleurs, du fait de la rigidité plus élevée de l'élément de rappel élastique d'un oscillateur sur guidage flexible par rapport à un balancier spiral, il est alors difficile d'assurer l'auto-démarrage d'un oscillateur sur guidage flexible.

**[0007]** L'auto-démarrage est la propriété d'un échappement qui démarre uniquement grâce au couple fourni par la roue d'échappement suite au remontage du barillet dans sa zone de travail. L'auto-démarrage garantit le démarrage de l'oscillateur sans aide extérieure pendant la phase de remontage du barillet, par exemple après une longue période de stockage de la montre. L'auto-démarrage est une propriété avantageuse à tout échappement d'une montre bracelet car celle-ci est régulièrement sujette à des chocs ce qui provoque des freinages du balancier contre ses antichocs. Ces freinages peuvent mener à des arrêts momentanés du balancier. Si l'échappement n'est pas auto-démarrant, le balancier restera bloqué jusqu'à l'intervention de l'utilisateur ou d'un horloger. Ainsi un échappement qui n'est pas auto-démarrant pose des problèmes de fiabilité dans le contexte de la montre bracelet.

**[0008]** Un système est auto-démarrant lorsque le couple à la roue d'échappement est suffisant pour, entre autres,achever la phase d'impulsion. Le couple de rappel élastique de l'oscillateur (ce couple de rappel élastique qui est directement proportionnel à la raideur du ressort de rappel et à la position angulaire de fin d'impulsion  $\theta_{FI}$ ) est alors contrebalancé par le couple à la roue d'échappement. Augmenter le couple à la roue d'échappement pour assurer l'auto-démarrage d'un oscillateur sur guidage flexible revient à en augmenter la consommation énergétique, ce qui n'est pas une solution satisfaisante étant donné que l'énergie disponible dans une montre bracelet est limitée.

**[0009]** Le document CH715589A1 décrit un échappement à repos frottant qui est adapté à un oscillateur sur guidage flexible. L'avantage d'un échappement à repos frottant est qu'il peut être dimensionné pour être compatible avec un angle de levée  $\Theta_{LE}$  au balancier inférieur à 6°, ce qui est avantageux pour l'auto-démarrage. L'inconvénient est que le balancier est lié à l'ancre (élastiquement dans ce cas précis) ce qui implique une rotation permanente de l'ancre durant l'oscillation du balancier et donc un contact frottant permanent entre la roue d'échappement et l'ancre. La perte d'énergie consécutive à ce contact frottant est substantielle, ce qui limite de facto les amplitudes de fonctionnement de l'oscillateur à de faibles valeurs, de l'ordre de 6 à 8°. Par opposition, l'échappement à ancre suisse est un échappement libre car il n'entre en contact avec l'oscillateur que pendant l'angle de levée pour effectuer les phases de dégagement et d'impulsion.

**[0010]** Un exemple d'échappement libre qui a été adapté pour un oscillateur sur guidage flexible est présenté dans le document CH714361. Ce document décrit un régulateur avec résonateur à pivot flexible muni d'un échappement libre à ancre avec fourchette élargie par rapport à celle d'une ancre suisse classique. L'échappement est particulièrement adapté au pivot flexible présenté dans le document EP3035126 et va de pair avec le mécanisme de résonateur sur guidage flexible dévoilé dans le document EP3545365. Ce dernier document décrit un échappement libre à ancre avec un angle de levée  $\Theta_{LE}$  de 10°, avec des éléments inertIELS aux propriétés spécifiques. Cet échappement a une cinématique traditionnelle avec une phase d'oscillation libre, puis un dégagement suivi d'une phase d'impulsion. Du fait de son angle de levée trop grand (10°), l'échappement en question ne peut pas être à la fois auto-démarrant et avoir un couple à la roue d'échappement suffisamment petit pour avoir une consommation énergétique raisonnable.

#### Bref résumé de l'invention

**[0011]** La présente invention concerne un régulateur mécanique horloger comprenant un échappement cooptérant avec un oscillateur mécanique horloger pourvu d'un élément inertiel oscillant dans un plan d'oscillation grâce à un élément de rappel élastique. L'échappement comprend une cheville liée rigidement à l'élément inertiel, une ancre et une roue d'échappement. L'ancre comporte une fourchette configurée pour coopérer avec la cheville, une palette d'entrée et une palette de sortie, chacune des palettes étant configurée pour coopérer avec des dents de la roue d'échappement. L'échappement est configuré de sorte que, pendant une phase de dégagement, la cheville pousse la fourchette afin de libérer la roue d'échappement de l'une des palettes et, pendant une phase d'impulsion, la fourchette pousse la cheville afin de transmettre à l'élément inertiel le couple de la roue d'échappement qui est en contact avec l'une des palettes. Le régulateur est configuré de sorte que la pha-

se de dégagement est précédée d'une première phase de repos frottant, elle-même précédée par une première phase d'oscillation libre, et la phase d'impulsion est suivie par une seconde phase de repos frottant, elle-même suivie d'une seconde phase d'oscillation libre. Pendant chaque des phases d'oscillation libre, l'élément inertiel oscille librement sans contact entre la cheville et la fourchette; et pendant la première et seconde phase de repos frottant, la cheville est en contact avec la fourchette de manière à la pousser, une dent de la roue d'échappement étant en contact frottant avec l'une des palettes.

**[0012]** L'échappement est à repos frottant pendant une portion d'oscillation donnée, mais est libre en dehors de cette portion d'oscillation. Les portions d'oscillation en repos frottant permettent de garantir l'auto-démarrage de l'oscillateur car, grâce à elles, il est possible de construire un mécanisme fourchette-cheville avec un très faible angle de levée ainsi que des jeux et sécurités raisonnables. Par exemple, l'angle de levée peut être au moins deux fois plus petit que ce qui est atteignable avec les échappements proposés dans l'état de la technique, soit typiquement entre 2° et 6°. L'échappement permet ainsi de récupérer la propriété d'auto-démarrage de l'oscillateur, même dans le cas où l'amplitude de fonctionnement de l'oscillateur est faible et sa rigidité importante.

**[0013]** Le régulateur selon l'invention permet également une portion d'oscillation de l'élément inertiel en grande partie libre et il n'y a donc pas de contact frottant entre la roue d'échappement et l'ancre durant une grande partie de l'oscillation de l'élément inertiel. Cela permet de minimiser la perte d'énergie du régulateur et donc d'obtenir une amplitude de l'élément inertiel plus élevée. Cela permet de garantir l'isochronisme d'un oscillateur à guidage flexible (pour la plupart des oscillateurs à guidage flexible et des échappements, les défauts d'isochronisme sont en général critiques en dessous de 10° d'amplitude) et rend l'élément inertiel moins perturbable par des chocs contre des butées.

**[0014]** Le régulateur décrit ici peut être appliqué à tout type d'échappement dont la roue et l'ancre forment un échappement à double impulsion. Par exemple, le principe peut être facilement appliqué dans le cas d'un échappement libre à ancre. Le régulateur proposé ici simplifie grandement la conception de l'oscillateur par rapport à la solution proposée dans le document CH714361. Par exemple, étant donné les faibles amplitudes caractérisant les oscillateurs sur guidages flexibles, l'ancre de la présente invention n'a pas besoin de dard pour coopérer avec un tel oscillateur. L'ancre et la roue peuvent donc être des pièces produites sur un seul niveau.

**[0015]** Le régulateur décrit ici est simple dans sa mise en oeuvre et permet d'assurer une faible consommation énergétique et l'auto-démarrage d'un oscillateur sur guidage flexible.

## Brève description des figures

**[0016]** Des exemples de mise en oeuvre de l'invention sont indiqués dans la description illustrée par les figures annexées dans lesquelles :

la figure 1 illustre un régulateur classique d'horloge; 5

les figures 2a et 2b montrent l'amplitude d'oscillation et l'angle de levée pour un oscillateur de type balancier spiral (figure 2a) et pour un oscillateur sur guidage flexible (figure 2b); 10

la figure 3 montre un régulateur dont l'échappement comprend une cheville, une fourchette et une roue d'échappement, selon un mode de réalisation; 15

les figures 4a-4c montrent un détail de la palette d'entrée (figure 4a), de la palette de sortie (figure 4b) de la fourchette et d'une dent de la roue d'échappement (figure 4c); 20

Les figures 5a et 5b montrent un diagramme reportant différents angles d'oscillation d'un élément inertiel d'un oscillateur sur guidage flexible coopérant avec l'échappement 10, lorsque l'oscillateur oscille dans le sens anti-horaire (figure 5a) et horaire (figures 5b); 25

la figure 6 montre l'échappement au début d'une première phase de repos frottant lorsque l'oscillateur oscille dans le sens anti-horaire;

la figure 7 montre l'échappement au début d'une phase de dégagement;

la figure 8 montre l'échappement pendant un premier ratrapage de jeu de fourchette;

la figure 9 montre l'échappement au début d'une phase d'impulsion;

la figure 10 montre l'échappement pendant la phase d'impulsion;

la figure 11 montre l'échappement au début d'une première chute de la roue d'échappement;

la figure 12 montre l'échappement au début d'une seconde phase de repos frottant après un deuxième ratrapage de jeu de fourchette;

la figure 13 montre l'échappement à la fin d'une seconde phase de repos frottant;

la figure 14 montre l'échappement pendant une phase d'oscillation libre;

la figure 15 montre l'échappement pendant la première phase de repos frottant, lorsque l'oscillateur oscille dans le sens horaire;

les figures 16a-16f montrent des phases de l'échappement aux faibles amplitudes de l'oscillateur;

Les figures 17a-17b illustrent l'ébat et la pénétration (figure 17a) de la cheville dans la fourchette dans une position de début d'impulsion et l'ébat de dégagement (figure 17b) de la cheville dans la fourchette dans une position de fin de second repos frottant;

les figures 18a-18b montrent des phases de l'échappement pour des amplitudes d'oscillation au-delà du demi-angle de repos frottant;

les figures 19a-19f illustrent différentes positions de la fourchette et d'une dent par rapport aux palettes, pour des amplitudes d'oscillation de l'élément inertiel au-delà du demi-angle de repos frottant;

la figure 20 montre l'échappement coopérant avec oscillateur sur guidage flexible, selon un premier exemple; et

la figure 21 montre un détail de l'échappement de la figure 20.

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

**[0017]** La **figure 3** montre un régulateur 1 comportant un échappement 10, selon un mode de réalisation. L'échappement 10 comprend une roue d'échappement 11 munie de dents 112 configurées pour coopérer avec une palette d'entrée 121 et une palette de sortie 127 d'une ancre 12. L'ancre 12, montée pivotante sur un axe, comporte une fourchette 122 coopérant avec une came d'impulsion 130 (ici une cheville) d'un plateau 131. L'échappement 10 coopère avec un oscillateur (non représenté) comportant un élément inertiel 21 (par exemple un balancier ou autre) apte à osciller autour d'un axe d'oscillateur 23 grâce à un élément de rappel élastique. Le plateau 131 est destiné à coopérer avec l'oscillateur. 40 Par exemple, le plateau 131 peut être安排 concentrique avec l'oscillateur de manière à pivoter avec élément inertiel, comme dans un mécanisme régulateur d'horlogerie conventionnel.

**[0018]** La **figure 4a** montre un détail de la palette d'entrée 121, la **figure 4b** montre un détail de la palette de sortie 127 et la **figure 4c** montre un détail d'une dent 112 comportant un bec de dent 112a et un talon de dent 112b. Chacune de la palette d'entrée 121 et la palette de sortie 127 est dotée d'un plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$ , un plan de dégagement de palette  $P_{DE}$ , et un plan d'impulsion de palette  $P_{IM}$ . Ici, le plan de dégagement de palette  $P_{DE}$  correspond à un plan de repos, c'est-à-dire, le plan sur lequel appuie une dent 112 de la roue d'échappement.

pement au moment de son dégagement.

**[0019]** Dans l'exemple des figures 4a-4b, le plan d'impulsion de palette  $P_{IM}$  comporte trois sections à courbure variable, continues et tangentes. Cependant, le plan d'impulsion de palette  $P_{IM}$  peut également être formé d'une seule ou de plusieurs sections courbes ou planes.. Le plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$  et le plan de dégagement de palette  $P_{DE}$  sont également représentés comme deux sections continues de courbures différentes mais ces deux plans pourraient également être réalisés comme une seule surface plane . Préférablement, le plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$  est à tirage et le plan de dégagement de palette  $P_{DE}$  peuvent être ou non à tirage. Le tirage signifie que ces deux plans de palette peuvent être orientés de telle sorte que la force exercée par le bec de dent 112a de la dent 112 contre l'un de ces plans de palette engendre un couple à l'ancre 12 provoquant la rotation de cette dernière contre l'une de ses butées 125a, 125b. Le tirage permet de s'assurer que l'ancre s'arrête dans une position bien déterminée, définie par ses butées 125, durant l'oscillation libre de l'élément inertiel 21. Pendant la première phase d'oscillation libre il n'y a pas de contact entre la cheville 130 et la fourchette 122. Un contact entre la cheville 130 et la fourchette 122 se produit pendant la première phase de repos frottant.

**[0020]** Les palettes 121, 127 de l'ancre 12 de l'échappement 10 comportent donc un plan de repos additionnel, le plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$ , configuré pour bloquer la roue d'échappement 11 lors des repos frottant de l'échappement.

**[0021]** Les figures 5a et 5b montrent un diagramme reportant différents angles d'oscillation d'un élément inertiel d'un oscillateur sur guidage flexible coopérant avec l'échappement 10, lorsque l'oscillateur oscille dans le sens antihoraire (figure 5a) et horaire (figures 5b). L'échappement 10 possède deux régimes différents de fonctionnement. Au démarrage, l'échappement 10 fonctionne comme un échappement à repos frottant, c'est-à-dire que l'amplitude d'oscillation de l'élément inertiel est supérieure au demi-angle de levée  $\Theta_{LE}/2$  et inférieure au demi-angle de repos frottant  $\Theta_{RF}/2$ . L'angle de levée  $\Theta_{LE}$  correspond à la portion d'oscillation de l'élément inertiel depuis la position angulaire de début de dégagement  $\theta_{DE}$  jusqu'à la position angulaire de fin de l'impulsion  $\theta_{IM}$ . L'angle de repos frottant  $\Theta_{RF}$  correspond à la portion d'oscillation depuis la position angulaire de l'élément inertiel du début du premier repos frottant  $\theta_{RF1}$  jusqu'à la position angulaire de fin du second repos frottant  $\theta_{RF2}$ .

**[0022]** A plus grande amplitude d'oscillation de l'élément inertiel, supérieure au demi-angle de repos frottant à  $\Theta_{RF}/2$ , l'oscillateur a également une portion d'oscillation libre (angle d'oscillation libre  $\Theta_{LI}$ ).

**[0023]** Les figures 6 à 15 montrent l'échappement 10 pendant les différentes phases de son fonctionnement. Le diagramme de la figure 5 est également reproduit : l'angle de l'oscillateur 2 correspondant à la phase illus-

trée y est indiqué par une flèche. Notons qu'une chute (ou ratrappage de jeu de fourchette) intervient comme une transition entre deux phases de fonctionnement de l'échappement et n'est pas considérée comme une phase de l'échappement. A noter que, pour faciliter l'analyse et la compréhension d'un échappement, il est d'usage de faire l'approximation que l'élément inertiel ne pivote pas pendant une chute. La chute est ajoutée dans la construction de l'échappement afin d'éviter le blocage du mécanisme qui serait provoqué par un double contact entre deux pièces d'échappement (sécurités de l'échappement). La chute est dimensionnée en fonction des tolérances d'assemblage et de fabrication du système. Elle doit être minimisée car elle occasionne une perte d'énergie non-contributive à la précision de la base de temps du système.

#### Fonctionnement normal (à grande amplitude)

**[0024]** La figure 6 montre l'échappement 10 au début d'une première phase de repos frottant, lorsque l'oscillateur oscille dans le sens anti-horaire. La première phase de repos frottant se produit à la suite d'une première phase d'oscillation libre pendant laquelle l'élément inertiel 21 oscille librement sans contact entre la cheville 130 et la fourchette 122 . La première phase de repos frottant se produit avant une phase de dégagement de l'échappement 10. Dans la première phase de repos frottant, qui n'existe pas dans un échappement libre à ancre conventionnel, la roue d'échappement 11 est bloquée par l'ancre 12 et ne peut pas avancer. La cheville 130 (par exemple arrangée coaxiale avec un axe de l'élément inertiel) tourne dans le sens anti-horaire et rencontre un premier plan de fourchette 122a de la fourchette 122. L'ancre 12 pivote alors dans le sens horaire (autour de son axe de pivotement 126). Sous l'action de la cheville 130 sur la fourchette 122, la palette 121 va faire légèrement reculer la roue d'échappement 11. Une dent 112 de la roue d'échappement est en contact frottant sur le plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$  de la palette d'entrée 121.

**[0025]** Pendant la première phase de repos frottant d'entrée, l'ancre 12 tourne tandis que la roue d'échappement 11 est presque immobile. Il existe donc un contact frottant entre une dent 112 et la palette d'entrée 121 (sur le plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$ ) de l'ancre 12. Pendant la première phase de repos frottant, l'élément inertiel oscille depuis la position angulaire de début du premier repos frottant  $\theta_{RF1}$  à la position angulaire de début de dégagement  $\theta_{DE}$ .

**[0026]** La figure 7 montre l'échappement 10 au début d'une phase de dégagement, correspondant à la fin du premier repos frottant. Pendant la phase de dégagement, la cheville 130 de balancier continue à tourner dans le sens anti-horaire et à pousser sur le premier plan de fourchette 122a de la fourchette 122. La roue d'échappement 11 est immobile, ou recule légèrement, et l'ancre 12 continue à tourner dans le sens horaire. Une dent 112 de la

roue d'échappement 11 quitte le plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$  pour rejoindre le plan de dégagement de palette  $P_{DE}$  de la palette d'entrée 121. Au début de la phase de dégagement, la position angulaire de l'élément inertiel est celle de début de dégagement  $\theta_{DE}$ .

**[0027]** La figure 8 montre l'échappement 10 au début du rattrapage de jeu de la fourchette 122 se produisant à la fin de la phase de dégagement. Le début du rattrapage de jeu de la fourchette 122 est identique à celle d'un échappement à ancre classique. La cheville 130 continue à tourner dans le sens anti-horaire. Une dent 112 de la roue d'échappement 11 quitte le plan de dégagement de palette  $P_{DE}$  pour rejoindre le plan d'impulsion de palette  $P_{IM}$  de la palette d'entrée 121. La roue d'échappement 11 va alors actionner l'ancre 12 ce qui va permettre au second plan de fourchette 122b de rattraper la cheville 130 et la percuter à la fin du rattrapage de jeu de la fourchette 122. Le couple de rappel élastique de l'oscillateur doit au moins être dimensionné pour pouvoir ramener, sans élan, l'échappement 10 dans la position de la figure 8. Dans le cas contraire l'échappement 10 n'est pas auto-démarrant.

**[0028]** La figure 9 montre l'échappement 10 au début d'une phase d'impulsion se produisant à la fin de la première chute de fourchette et correspond au début de l'impulsion de la palette d'entrée 121. Cette première phase d'impulsion est identique à celle d'un échappement à ancre classique. La cheville 130 continue à tourner dans le sens anti-horaire. Le second plan de fourchette 122b de la fourchette 122 a rejoint la cheville 130 et commence à pousser la cheville 130 dans le sens anti-horaire. La roue d'échappement 11 continue à tourner dans le sens horaire et actionne la cheville 130 par l'intermédiaire de l'ancre 12. Le bec de dent 112a de la dent 112 de la roue d'échappement 11 pousse sur le plan d'impulsion de palette  $P_{IM}$  de la palette d'entrée 121.

**[0029]** La figure 10 montre l'échappement 10 en cours de phase d'impulsion, à la transition entre l'impulsion du bec de dent 112a sur le plan de palette et l'impulsion de plan de dent sur bec de palette. La cheville 130 continue à tourner dans le sens anti-horaire et le second plan de fourchette 122b continue à pousser la cheville 130 dans le sens anti-horaire. La roue d'échappement 11 continue également à tourner dans le sens horaire et actionne la cheville 130 par l'intermédiaire de l'ancre 12. La seconde partie de phase d'impulsion, et avec elle la première impulsion, se termine lorsque le bec de palette 128 rejoint le talon de dent 112b de la roue d'échappement 11 (voir aussi la figure 4a).

**[0030]** La figure 11 montre l'échappement 10 pendant une première chute de la roue d'échappement 11 et une seconde chute de fourchette 122 se produisant à la fin de la phase d'impulsion. Cette transition est identique à celle d'un échappement à ancre conventionnel pour la chute de la roue d'échappement 11. Cependant, dans un échappement conventionnel, il n'y a pas de seconde chute de fourchette 122 car la cheville 130 quitte la fourchette 122 à la fin de l'impulsion sans rejoindre le premier

plan de fourchette 122a. Dans la présente transition, la cheville 130 continue à tourner dans le sens anti-horaire. La cheville 130 quitte le second plan de fourchette 122b car l'ancre 12 n'est plus actionnée par la roue d'échappement 11. Une dent 112 de la roue d'échappement 11 se sépare de l'extrémité du plan d'impulsion de palette  $P_{IM}$  de la palette d'entrée 121. La roue d'échappement 11 chute, c'est-à-dire tourne dans le vide, et va rejoindre le plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$  de la palette de sortie 127.

**[0031]** Durant cette transition correspondant à la chute de la roue d'échappement et de la seconde chute de fourchette, la position angulaire de l'élément inertiel correspond approximativement à la position angulaire de fin d'impulsion  $\theta_{IM}$  par rapport à la position de référence de la ligne des centres  $\theta_0$  (cela correspond au demi-angle de levée  $\Theta_{LE}/2$ ). A la différence d'un échappement conventionnel, l'échappement 10 est caractérisé par un angle de levée  $\Theta_{LE}$  typiquement d'au plus 6°.

**[0032]** La figure 12 montre l'échappement 10 au début d'une seconde phase de repos frottant se produisant après la phase d'impulsion, à la fin de la chute de la roue d'échappement 11 et de la seconde chute de fourchette 122. Cette seconde phase de repos frottant n'existe pas dans un échappement à ancre classique. La cheville 130 continue à tourner dans le sens anti-horaire, rejoint le premier plan de fourchette 122a et pousse la fourchette 122 pour s'en dégager. La roue d'échappement 11 est bloquée par l'ancre 12 mais pivote très légèrement dans le sens horaire du fait du tirage. L'ancre 12 pivote toujours dans le sens horaire sous l'action de la cheville 130. Le bec de dent 112a de la dent 112 de la roue d'échappement 11 va donc frotter contre le plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$  de la palette de sortie 127. Il y a donc un contact frottant entre la roue d'échappement 11 et l'ancre 12 et entre l'ancre 12 et la cheville 130.

**[0033]** Ici, l'expression "contact frottant" signifie qu'au point de contact entre la dent 112 et le plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$  et entre la cheville 130 et le premier plan de fourchette 122a, il y a un déplacement relatif régulier entre ces pièces d'échappement pendant la première et la seconde phase de repos frottant.

**[0034]** Pendant la seconde phase de repos frottant, la position angulaire de l'élément inertiel va de la position angulaire de fin d'impulsion  $\theta_{IM}$  jusqu'à la position angulaire de fin du second repos frottant  $\theta_{RF2}$ .

**[0035]** La figure 13 montre l'échappement 10 à la fin de la seconde phase de repos frottant. La cheville 130 a terminé de pousser le premier plan de fourchette 122a et s'en libère. L'ancre 12 n'a pas encore rejoint la butée de sortie 125b, le tirage n'est donc pas terminé. Une dent 112 de la roue d'échappement 11 est en appui sur le plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$  de la palette de sortie 127. La roue d'échappement 11 transmet un couple à l'ancre 12 qui lui permet de pivoter toujours dans le sens horaire pour rejoindre la butée de sortie 125b et sa position de repos.

**[0036]** Pendant le tirage, la position angulaire de l'élé-

ment inertiel est légèrement supérieure à la position angulaire de fin du second repos frottant  $\theta_{RF2}$ . Similairement aux chutes, on ne considère pas, dans ce document, le tirage comme une phase de l'échappement à proprement parlé.

**[0037]** La figure 14 montre l'échappement 10 pendant une seconde phase d'oscillation libre se produisant après la seconde phase de repos frottant. La cheville 130 est libre et va le rester jusqu'à la prochaine phase de repos frottant. La fourchette 122 de l'ancre 12 a rejoint la butée de sortie 125b. La roue d'échappement 11 est bloquée par l'ancre 12 et sont tous deux à l'arrêt. Pendant la seconde phase d'oscillation libre il n'y a pas de contact entre la cheville 130 et la fourchette 122. Un contact entre la cheville 130 et la fourchette 122 se produit pendant la seconde phase de repos frottant.

**[0038]** Pendant la seconde phase d'oscillation libre, la position angulaire de l'élément inertiel est supérieure à la position angulaire de fin du second repos frottant  $\theta_{RF2}$ .

**[0039]** La figure 15 montre l'échappement 10 au début de la première phase de repos frottant, lorsque l'oscillateur oscille dans le sens horaire. Cette phase n'existe pas dans un échappement à ancre classique. La cheville 130, qui tourne dans le sens horaire, rencontre le second plan de fourchette 122b de l'ancre 12 qui s'apprête à tourner dans le sens anti-horaire. Dans cette position, si le système était à l'arrêt, c'est le couple élastique de l'oscillateur qui ferait tourner l'échappement 10. La roue d'échappement 11 est bloquée par l'ancre 12 et ne peut pas avancer. Lorsque l'ancre 12 tourne, sous l'action de la cheville 130 sur le second plan de fourchette 122b de la fourchette 122, la roue d'échappement 11 va reculer légèrement, repoussée par le plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$  de la palette de sortie 127.

**[0040]** Pendant la première phase de repos frottant, l'élément inertiel pivote depuis la position angulaire de début du premier repos frottant  $\theta_{RF1}$  à la position angulaire de début de dégagement  $\theta_{DE}$ .

**[0041]** La cheville 130 est donc configurée pour pousser la fourchette 122 durant la première phase de repos frottant et la seconde phase de repos frottant. Pendant ces phases, une dent 112 de la roue d'échappement 11 est en contact frottant contre le plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$  de la palette d'entrée 121 ou de la palette de sortie 127. La cheville 130 n'est pas en contact avec la fourchette 122 sur les portions d'oscillations libres de l'élément inertiel, précédant la première phase de repos frottant et suivant la seconde phase de repos frottant.

**[0042]** Il faut noter que l'auto-démarrage de l'échappement 10 ne dépend pas de l'angle de repos frottant  $\Theta_{RF}$  mais uniquement de l'angle de levée  $\Theta_{LE}$ . Ainsi comme l'ajout de ces phases de repos frottant permet de réduire l'angle de levée  $\Theta_{LE}$ , l'échappement proposé facilite considérablement l'auto-démarrage de l'oscillateur. La présence de la première phase de repos frottant et de la première phase d'oscillation libre permet de caractériser l'échappement 10 comme un échappement semi-libre. L'échappement 10 est également auto-démarrant.

**[0043]** L'échappement 10 peut être configuré pour que l'angle de repos frottant  $\Theta_{RF}$ , correspondant à la portion d'oscillation depuis la position angulaire de l'élément inertiel du début du premier repos frottant  $\theta_{RF1}$  jusqu'à la position angulaire de fin du second repos frottant  $\theta_{RF2}$ , soit d'au plus 12°.

**[0044]** Les mêmes phases que celles décrites ci-dessus se reproduisent lorsque l'oscillateur oscille dans le sens horaire.

**[0045]** On notera que pour que la première et la seconde phase de repos frottant puissent se produire, l'échappement doit être configuré pour que la cheville 130 soit en contact avec la fourchette 122 de manière à la pousser lorsque la position angulaire de l'élément inertiel par rapport à la ligne des centre  $\theta_0$  est plus petite que le demi-angle de repos frottant  $\Theta_{RF}/2$  et plus grande que le demi-angle de levée  $\Theta_{LE}/2$ . Plus particulièrement, le premier plan de fourchette 122a et le second plan de fourchette 122b doivent être dimensionnés pour qu'ils puissent être engagés avec la cheville 130 dans cette plage angulaire.

#### Démarrage et faibles amplitudes

**[0046]** Au démarrage de l'oscillateur 2 ou en fonctionnement à amplitudes inférieures ou égales au demi-angle de repos frottant  $\Theta_{RF}/2$ , l'échappement 10 fonctionne comme un échappement à repos frottant. Dans ce mode, les organes anti-renversement sont inutiles puisque la cheville ne quitte pas la fourchette. Si l'échappement 10 peut pousser l'élément inertiel 21 jusqu'à la limite du demi-angle de levée  $\Theta_{LE}/2$  (correspondant à la position angulaire de fin d'impulsion  $\theta_{IM}$ ), alors le système est auto-démarrant. La cinématique de l'échappement 10 au démarrage de l'oscillateur ou en fonctionnement à amplitudes inférieures ou égales à un demi-angle de repos frottant à  $\Theta_{RF}/2$  est illustré aux figures 16a-16c lorsque l'oscillateur oscille dans le sens horaire et aux figures 16d à 16f lorsque l'oscillateur oscille dans le sens anti-horaire.

**[0047]** A la figure 16a, une dent 112 est en appui contre le plan de repos de sortie d'ancre 127a de la palette de sortie 127. Le second plan de fourchette 122b de la fourchette 122 est en contact avec la cheville 130 et suit l'élément inertiel 21 dans son oscillation. Si l'oscillation est suffisamment grande, alors la roue d'échappement 11 esquisse un léger mouvement dû au tirage du plan de repos de sortie d'ancre 127a.

**[0048]** A la figure 16b, l'élément inertiel 21 est entré dans l'angle de levée  $\Theta_{LE}$  et a terminé le dégagement. La fourchette a rattrapé son jeu et pousse la cheville 130 avec le premier plan de fourchette. La dent 112 fournit son impulsion sur la palette de sortie 127, via le plan d'impulsion de sortie d'ancre 127b.

**[0049]** A la figure 16c, l'élément inertiel 21 atteint la limite de l'angle de levée  $\Theta_{LE}$ . A la fin de l'impulsion sur le plan d'impulsion de sortie d'ancre 127b de la palette de sortie 127, une autre dent 112' chute sur le plan de

repos d'entrée d'ancre 121a de la palette d'entrée 121. La cheville 130, toujours engagée dans la fourchette 122, entraînant cette dernière avec elle.

**[0050]** Les figures 16d-16f illustrent les mêmes phases que les figures 16a-16c, respectivement. Une dent 112 vient en contact avec le plan de repos d'entrée d'ancre 121a de la palette d'entrée 121 (figures 16a et 16b). L'élément inertiel 21 et l'ancre 12 tournent dans le sens contraire au sens illustré aux figures 16a-16c. Lorsque le balancier 21 atteint la limite de l'angle de levée  $\Theta_{LE}$  (figure 16f), une autre dent 112' chute sur le plan de repos de sortie d'ancre 127a de la palette de sortie 127.

#### Sécurité et suretés

**[0051]** Le mécanisme fourchette-cheville de l'échappement 10 doit être doté de sécurités et suretés suffisantes afin d'éviter que l'échappement ne puisse être amené dans une position de blocage. Concrètement, les sécurités et suretés en question sont des distances entre la cheville 130 et la fourchette 122 dans des positions particulières de l'échappement 10 et doivent être dimensionnées en fonction des imprécisions de fabrication et d'assemblage des pièces d'échappement. La figure 17a illustre l'ébat E et la pénétration P de la cheville 130 dans la fourchette 122 dans une position de début d'impulsion (correspond à la position de l'échappement à la figure 9). L'ébat E sert à éviter que la cheville ne se coince dans la fourchette et la pénétration P à garantir que le second plan de fourchette 122b pousse la cheville lors de l'impulsion. La figure 17b illustre l'ébat de dégagement D de la cheville 130 dans la fourchette 122 dans une position de fin de second repos frottant (correspond à la position de la figure 13, au tirage près). L'ébat de dégagement D sert à garantir que la cheville 130 puisse sortir de la fourchette 122. Ce sont ces trois distance (E, P et D) qui deviennent trop petite lorsque l'on construit un échappement à ancre libre traditionnel (sans repos frottant) pour des angles de levée inférieur à 10° environ.

**[0052]** Comme montré aux **figures 18a et 18b**, pour des amplitudes d'oscillation de l'élément inertiel 21 au-delà du demi-angle de repos frottant  $\Theta_{RF}/2$ , la cheville 130 sort de la fourchette 122. L'ancre 12 est alors au repos, en appui contre la butée d'entrée 125a (figure 18a) ou la butée de sortie 125b (figure 18b), et la roue d'échappement 11 reste à l'arrêt. L'échappement 10 doit alors comprendre un organe empêchant le renversement, c'est-à-dire empêchant le basculement de l'ancre 12 qui provoquerait la rencontre entre la cheville 130 de plateau et la corne 123. Un organe empêchant le renversement peut comprendre un dard 124 et/ou une paire de cornes 123. Dans le cas d'un oscillateur 2 destiné à l'échappement 10 décrit ici, ses oscillations ont des amplitudes typiquement faibles : Le dard 124 peut alors se révéler inutile et la paire de cornes 123, ou tout système équivalent, peut suffire. Dans le cas où la fourchette (ou la cheville) est suffisamment large il n'y également pas besoin de dard.

**[0053]** Les **figures 19a-19f** illustrent différentes positions de la fourchette 122 et d'une dent 112 par rapport aux palettes 121, 127, pour des amplitudes d'oscillation de l'élément inertiel 21 au-delà du demi-angle de repos frottant  $\Theta_{RF}/2$ . En se référant aux figures 19a et 19d, l'élément inertiel 21 parcourt librement son arc supplémentaire. Grâce au tirage de la dent 112 sur le plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$  de la palette de sortie 127, la fourchette 122 est calée contre la butée de sortie 125b ou contre tout autre organe de limitation. La position de repos est telle qu'au retour de l'élément inertiel 21, la cheville 130 entre librement dans la fourchette 122.

**[0054]** En se référant aux figures 19b et 19e, à la suite d'un choc, la fourchette 122 quitte sa position de repos. Le dard 124 et le petit plateau 132 remplissent leur rôle d'organes anti-renversement. La pointe du dard 124 entre en contact avec le petit plateau 132, empêchant l'ancre 12 de passer du mauvais côté. Le bec de dent 112a est toujours en prise avec le plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$  de la palette de sortie 127. Une fois le choc passé, l'ancre 12 est remise en position de repos grâce au tirage. La cheville 130 passe librement devant la corne 123.

**[0055]** En se référant aux figures 19c et 19f, le dard 124 est entré dans l'encoche 132a du petit plateau 132. Dans cette configuration, le dard 124 est inactif et incapable de retenir l'ancre 12. C'est alors la corne 123, bloquée par la cheville 130, qui empêche le renversement en cas de choc. Le bec de dent 112a de la dent 112 est toujours engagée sur le plan de repos frottant de palette  $P_{RF}$  de la palette de sortie 127. Une fois le choc passé, l'ancre 12 retrouve sa position d'équilibre grâce au tirage.

#### Autres aspects

**[0056]** L'échappement 10 selon l'invention, c'est-à-dire l'ancre 12, la cheville 130, et/ou la roue d'échappement 11, peut être réalisé en silicium en utilisant les techniques de gravure habituelles. Ce matériau possède de nombreux atouts : il ne subit pas de rupture en fatigue, est amagnétique et ne comporte pas de domaine plastique. En outre, le silicium permet de fabriquer des pièces en série avec une grande précision d'usinage, tout en offrant une grande liberté de conception. Alternativement, l'échappement 10 peut être fabriqué en un matériau sélectionné à partir du groupe de matériaux comprenant une céramique, un verre, un alliage ou verre métallique. Par exemple le matériau sélectionné peut comprendre le nitrate de silicium, le carbure de silicium, l'acier, l'or ou l'un de ses alliages, le nickel, le nickel-phosphore, le laiton, l'acier, un alliage amorphe, un alliage cuivreux, le cuivre-béryllium, ou le mallechort.

**[0057]** Comme l'échappement 10 peut être configuré pour que l'angle de repos frottant  $\Theta_{RF}$  soit d'au plus 12°, et que les cornes 123 peuvent empêcher tout renversement de l'ancre jusqu'à une amplitude de 36°, ainsi l'ancre 12 peut ne pas comprendre le dard 124. Il est alors possible de fabriquer l'ancre 12 sur un seul niveau, c'est-

à-dire que l'ancre 12 peut être comprise dans un seul plan, sans le dard 124 fixé sur un niveau au-dessus (ou au-dessous) du niveau de l'ancre 12 et de la fourchette 122.

#### Exemples d'implémentation

**[0058]** Le régulateur 1 décrit ici est particulièrement adapté à un oscillateur 2 sur guidage flexible. Un exemple d'intégration de l'échappement 10 à un oscillateur de type CR3 tel que décrit dans le brevet EP3299905B1 par la présente demanderesse est illustré à la **figure 20**. La **figure 21** montre un détail de l'échappement 10.

**[0059]** Dans cet exemple, la cheville 130 qui interagit avec l'ancre 12, ainsi que les butées 125a, 125b, sont directement intégrées dans l'élément inertiel 21 de l'oscillateur 2. Outre la cheville 130 interagissant avec l'ancre 12, l'oscillateur 2 comprend un élément de rappel élastique comprenant un pivot flexible comportant des lames flexibles 22. Le pivot flexible 22 assure à la fois le rôle de rappel élastique et de guidage en rotation de l'élément inertiel 21. Le pivot flexible 22 est d'un côté fixé à une platine (non-représentée) et de l'autre lié à l'élément inertiel 21.

**[0060]** L'oscillateur 2 a typiquement 20° d'amplitude. Les cornes 123 peuvent empêcher tout renversement de l'ancre 12 jusqu'à une amplitude de 36°, ainsi un dard est inutile dans cet exemple. L'angle de repos frottant  $\Theta_{RF}$  est d'environ 10° et l'angle de levée  $\Theta_{LE}$  est d'environ 5°.

**[0061]** Il est possible de substituer l'oscillateur de type CR3 par un oscillateur de type Wittrick tel que décrit dans le brevet EP3299905B1 par la présente demanderesse.

**[0062]** Bien sûr, ces deux exemples ne sont pas limitatifs et, par sa conception, le présent échappement n'est pas limité à une famille spécifique d'oscillateurs sur guidages flexibles.

#### Numéros de référence employés sur les figures

##### **[0063]**

1	régulateur mécanique horloger
10	échappement
11	roue d'échappement
112, 112'	dent
112a	bec de dent
112b	talon de dent
12	ancre
121	palette d'entrée
122	fourchette
122a	premier plan de fourchette
122b	second plan de fourchette
123	corne
124	dard
125	butée
125a	butée d'entrée
125b	butée de sortie

126	axe de pivotement de l'ancre
127	palette de sortie
128	bec d'impulsion de la palette
130	came d'impulsion, cheville
5 131	plateau
132	petit plateau
132a	encoche du petit plateau
2	oscillateur
21	élément inertiel, balancier
10 22	élément de rappel élastique, lame flexible
23	axe d'oscillateur
$\theta_{DE}$	position angulaire de début de dégagement
$\theta_{IM}$	position angulaire de fin d'impulsion
$\theta_{RF1}$	position angulaire de début du premier repos frottant
15 $\theta_{RF2}$	position angulaire de fin du second repos frottant
$\Theta_{LE}$	angle de levée
$\Theta_{LI}$	angle d'oscillation libre
20 $\Theta_{RF}$	angle de repos frottant
Ao	amplitude d'oscillation
M	couple
P <sub>DE</sub>	plan de dégagement de palette
P <sub>IM</sub>	plan d'impulsion de palette
25 P <sub>RF</sub>	plan de repos frottant de palette
E	ébat entre la fourchette et la cheville
P	pénétration de la cheville dans la fourchette
D	ébat de dégagement de la cheville

30

#### **Revendications**

1. Régulateur mécanique horloger (1) comprenant un échappement (10) coopérant avec un oscillateur pourvu d'un élément inertiel (21) oscillant dans un plan d'oscillation grâce à un élément de rappel élastique (22);

40 l'échappement (10) comprenant une cheville (130) liée rigidement à l'élément inertiel (21), une ancre (12) et une roue d'échappement (11); l'ancre (12) comportant une fourchette (122) configurée pour coopérer avec la cheville (130), une palette d'entrée (121) et une palette de sortie (127), chacune des palettes (121, 127) étant configurées pour coopérer avec des dents (112) de la roue d'échappement (11); l'échappement étant configuré de sorte que, pendant une phase de dégagement, la cheville (130) pousse la fourchette (122) afin de libérer la roue d'échappement (11) de l'une des palettes (121, 127) et, pendant une phase d'impulsion, la fourchette (122) pousse la cheville (130) afin de transmettre à l'élément inertiel (21) le couple de la roue d'échappement (11) qui est en contact avec l'une des palettes (121, 127); **caractérisé en ce que** le régulateur est configuré de sorte que la phase

de dégagement est précédée d'une première phase de repos frottant, elle-même précédée par une première phase d'oscillation libre, et la phase d'impulsion est suivie par une seconde phase de repos frottant, elle-même suivie d'une seconde phase d'oscillation libre; pendant chacune des phases d'oscillation libre, l'élément inertiel (21) oscille librement sans contact entre la cheville (130) et la fourchette (122); et pendant la première et seconde phase de repos frottant, la cheville (130) est en contact avec la fourchette (122) de manière à la pousser, une dent (112) de la roue d'échappement (11) étant en contact frottant avec l'une des palettes (121, 127).

2. Le régulateur (1) selon la revendication 1, dans lequel la fourchette (122) comporte un plan de fourchette (122a, 122b) qui est dimensionné pour qu'il puisse être engagé avec la cheville (130) pendant la première et seconde phase de repos frottant.

3. Le régulateur (1) selon la revendication 1 ou 2, configuré de manière à ce que la cheville n'est pas en contact avec la fourchette pendant les phases 25 d'oscillation libre.

4. Le régulateur (1) selon l'une des revendications 1 à 3,

dans lequel chaque palette (121, 127) est dotée d'un plan de dégagement ( $P_{DE}$ ) venant en contact avec une dent (112) pendant la phase de dégagement, et d'un plan d'impulsion ( $P_{IM}$ ) venant en contact avec une dent (112) pendant la phase d'impulsion; et dans lequel chacune des palettes (121, 127) est en outre dotée d'un plan de repos frottant ( $P_{RF}$ ) configuré pour venir en contact frottant avec une dent (112) pendant la première et seconde pha- 40 se de repos frottant.

5. Le régulateur (1) selon la revendication 4, dans lequel le plan de repos frottant de palette ( $P_{RF}$ ) est configuré pour bloquer la roue d'échappement 45 (11) lorsque la cheville (130) est en contact avec la fourchette (122).

6. Le régulateur (1) selon la revendication 4 ou 5, dans lequel le plan de repos frottant de palette ( $P_{RF}$ ) 50 est à tirage.

7. Le régulateur (1) selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel un angle de levée ( $\Theta_{LE}$ ), correspondant 55 à la portion d'oscillation de l'élément inertiel (21) où le dégagement de la roue d'échappement et l'impulsion de l'échappement à l'élément inertiel se produi-

sent, est d'au plus 6°.

8. Le régulateur (1) selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel un angle de repos frottant ( $\Theta_{RF}$ ) correspondant à la portion d'oscillation de l'élément inertiel (21) du début du premier repos frottant jusqu'à la fin du second repos frottant, est d'au plus 12°.
- 10 9. Le régulateur (1) selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel au moins l'un de l'ancre (12), la cheville (130), et la roue d'échappement (11) est fabriqué en silicium.

- 15 10. Le régulateur selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel l'oscillateur (2) comprend un oscillateur sur guidage flexible.

20

25

30

35

40

45

50

55

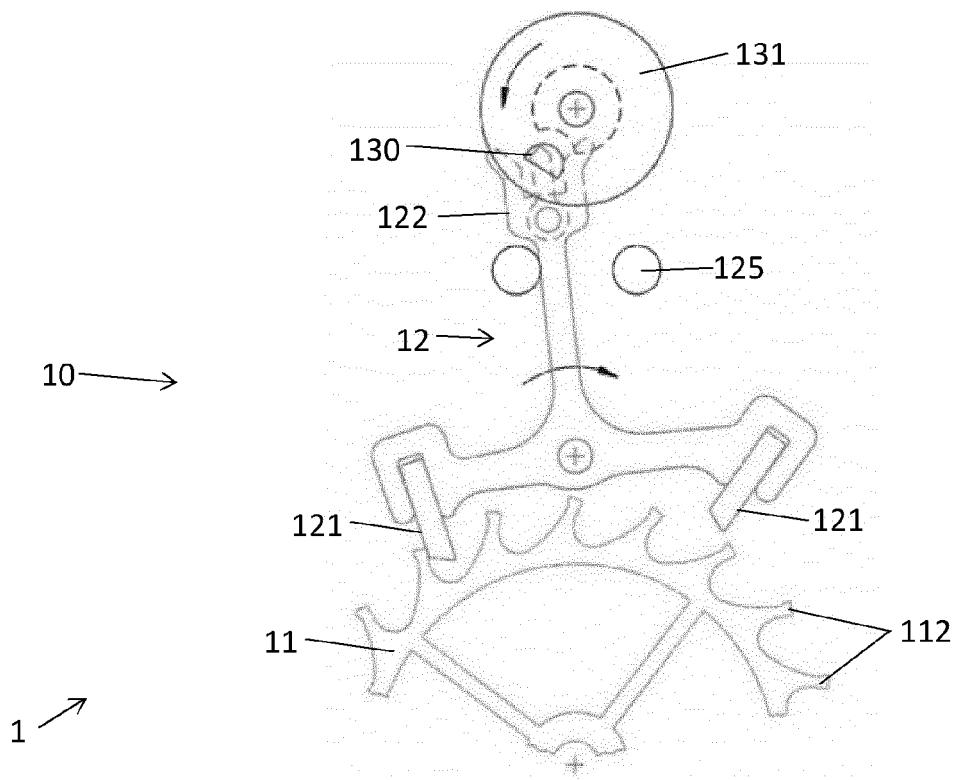


Fig. 1

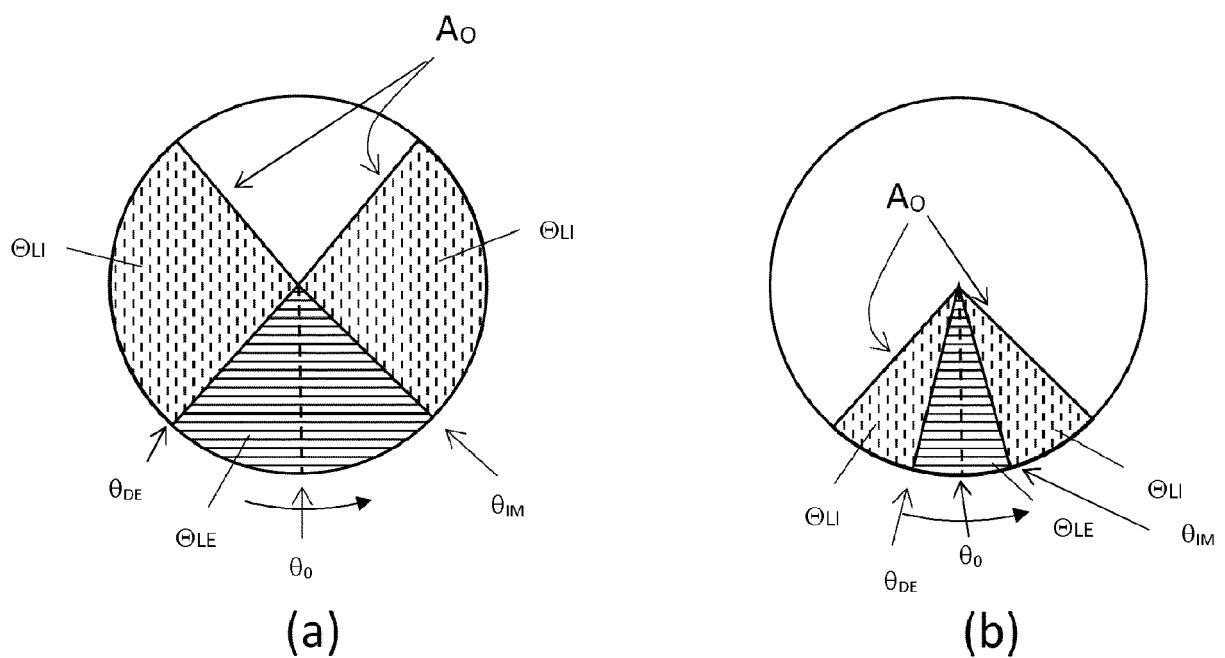


Fig. 2

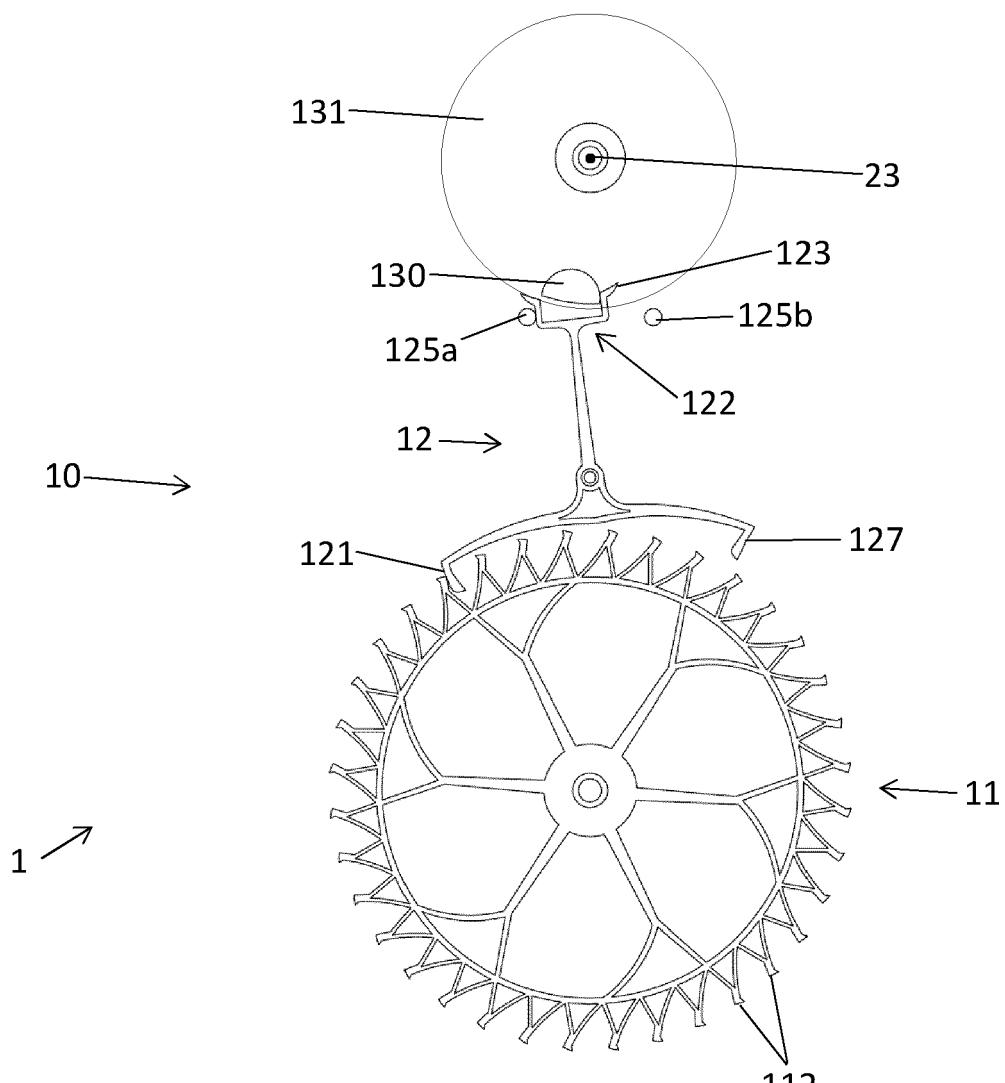


Fig. 3

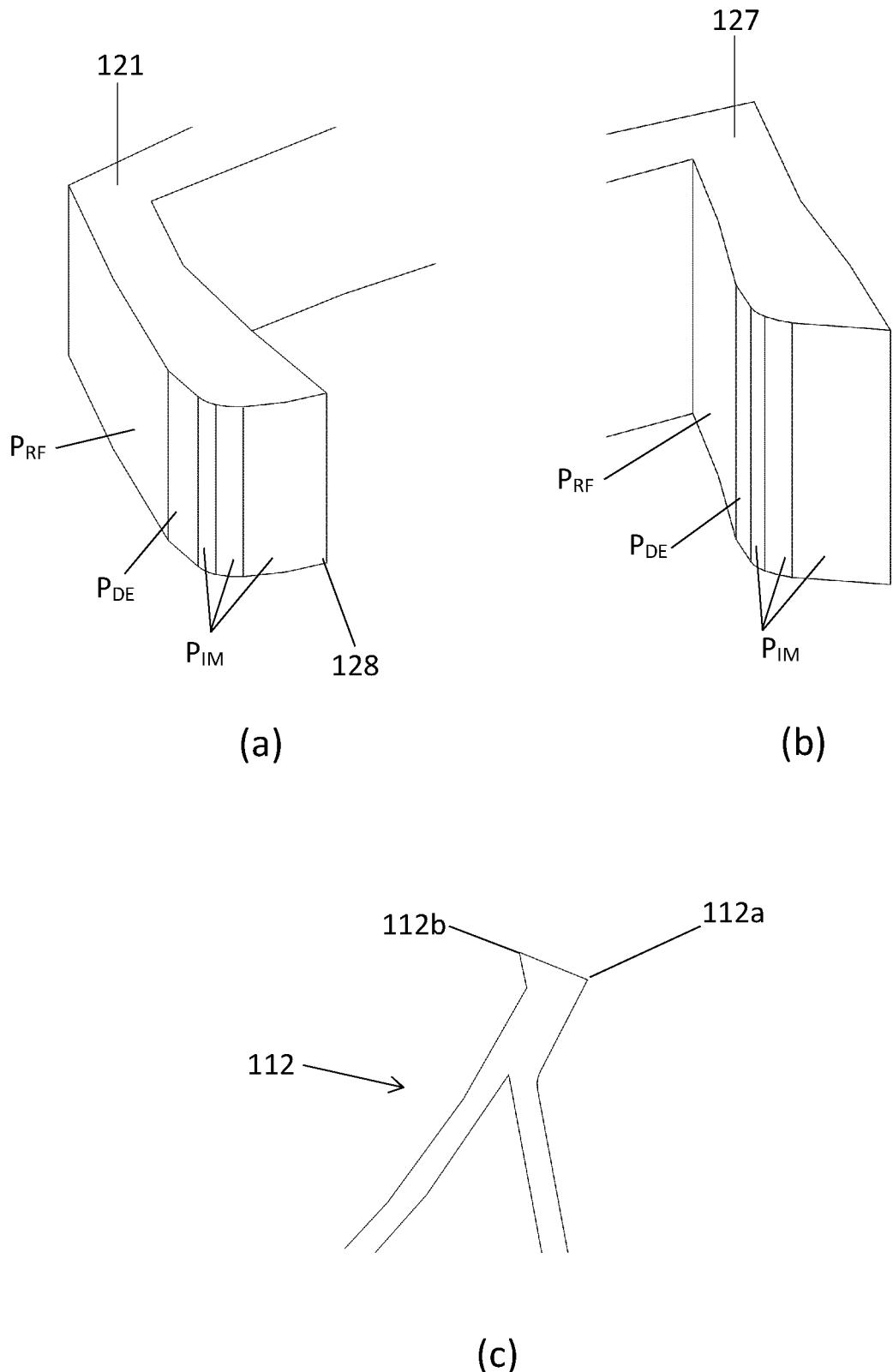


Fig. 4

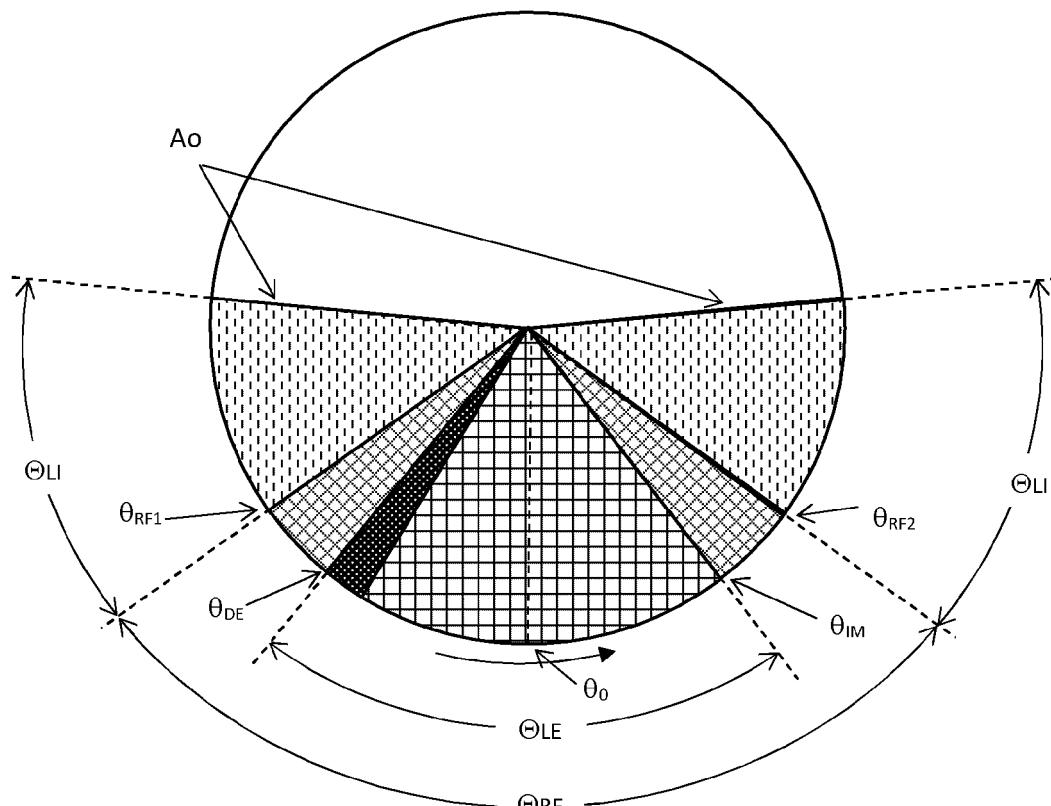


Fig. 5a

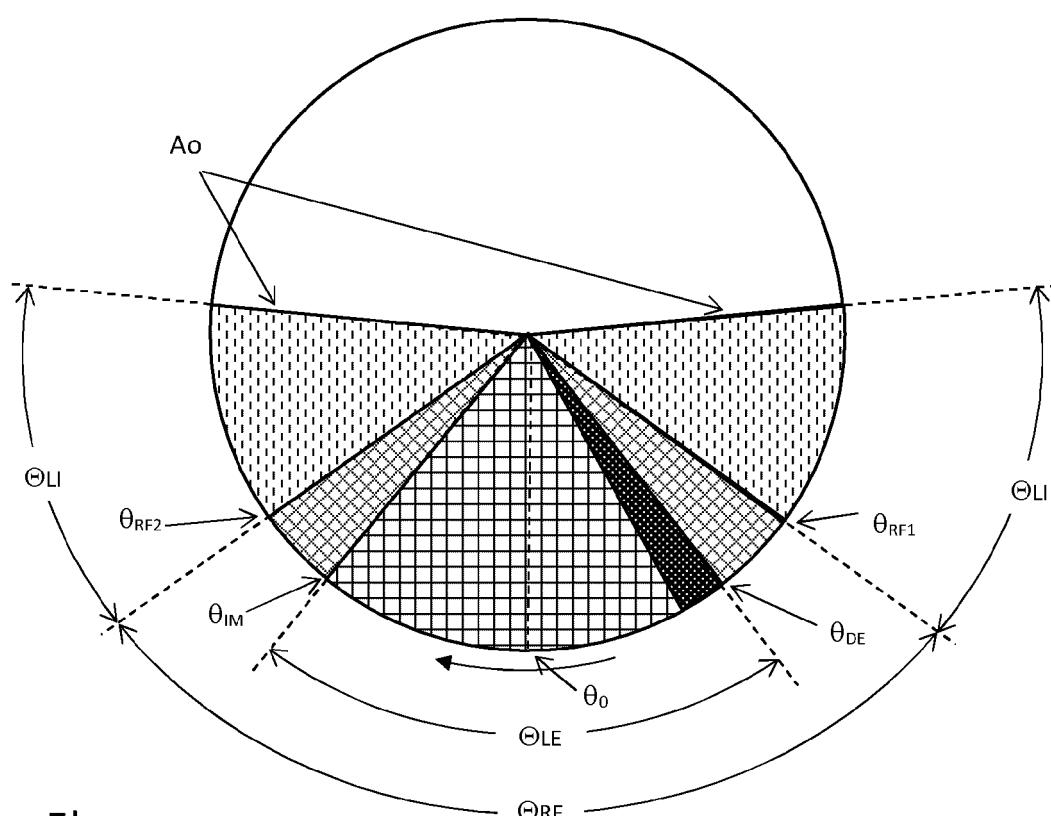


Fig. 5b

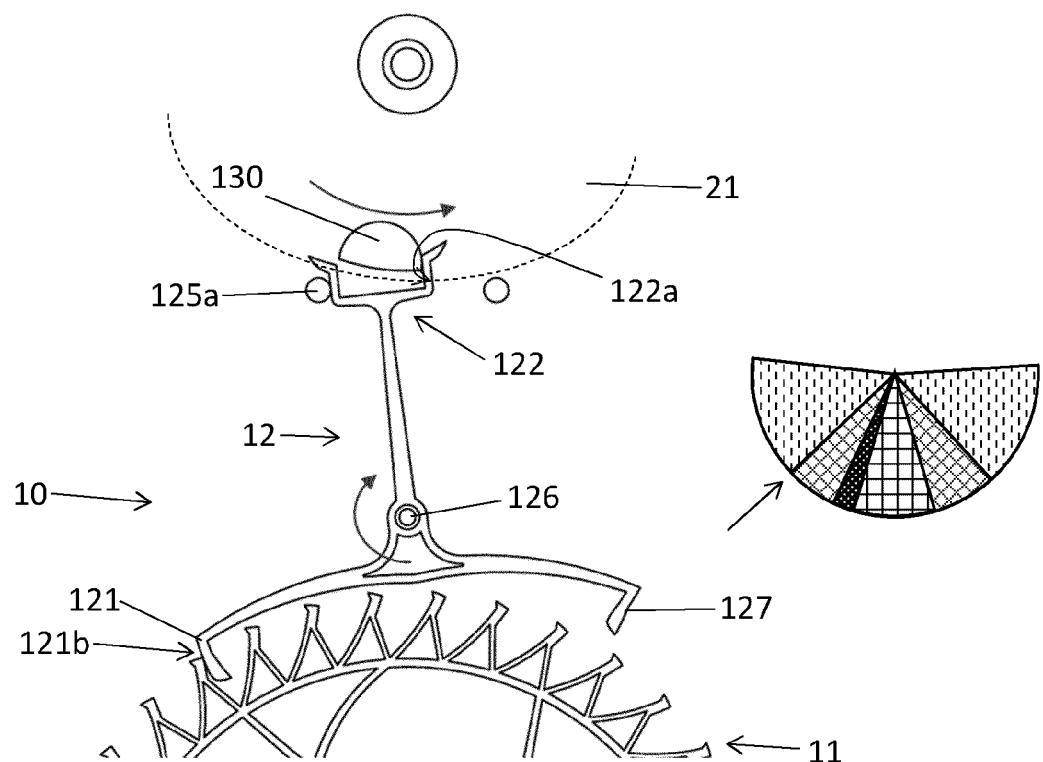


Fig. 6

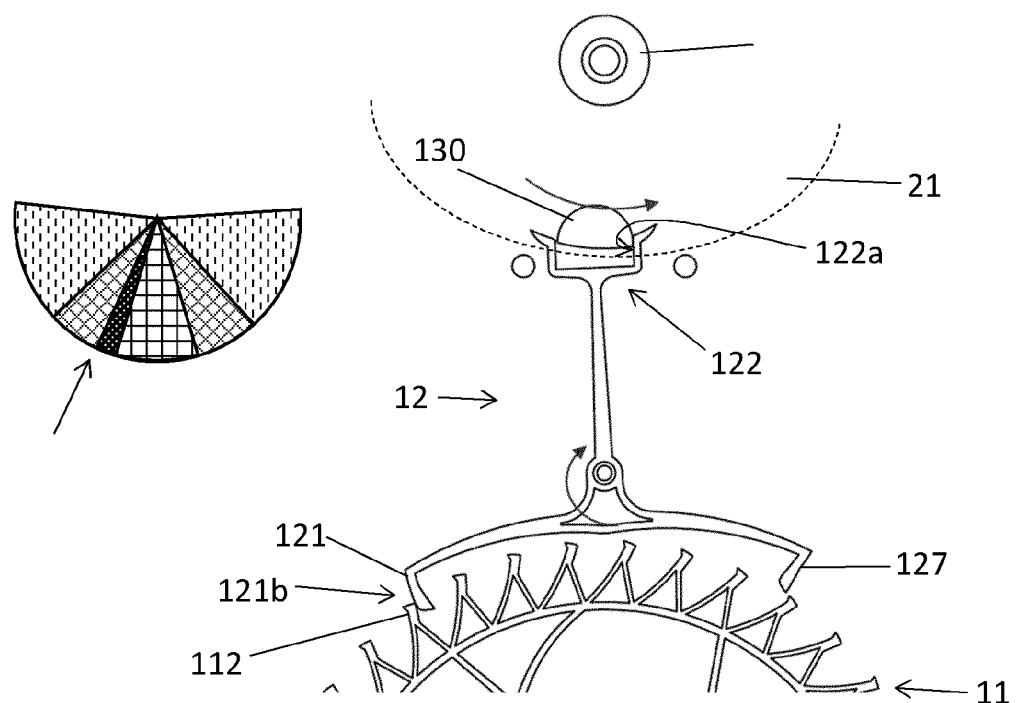


Fig. 7

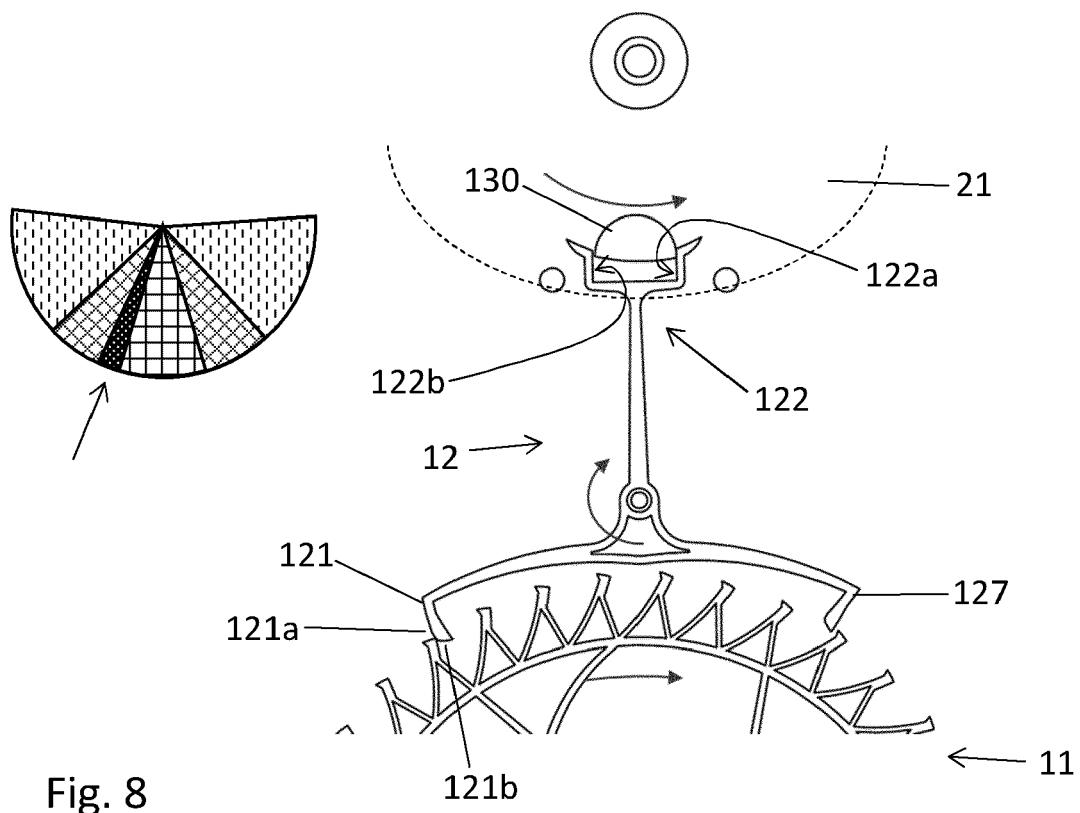


Fig. 8

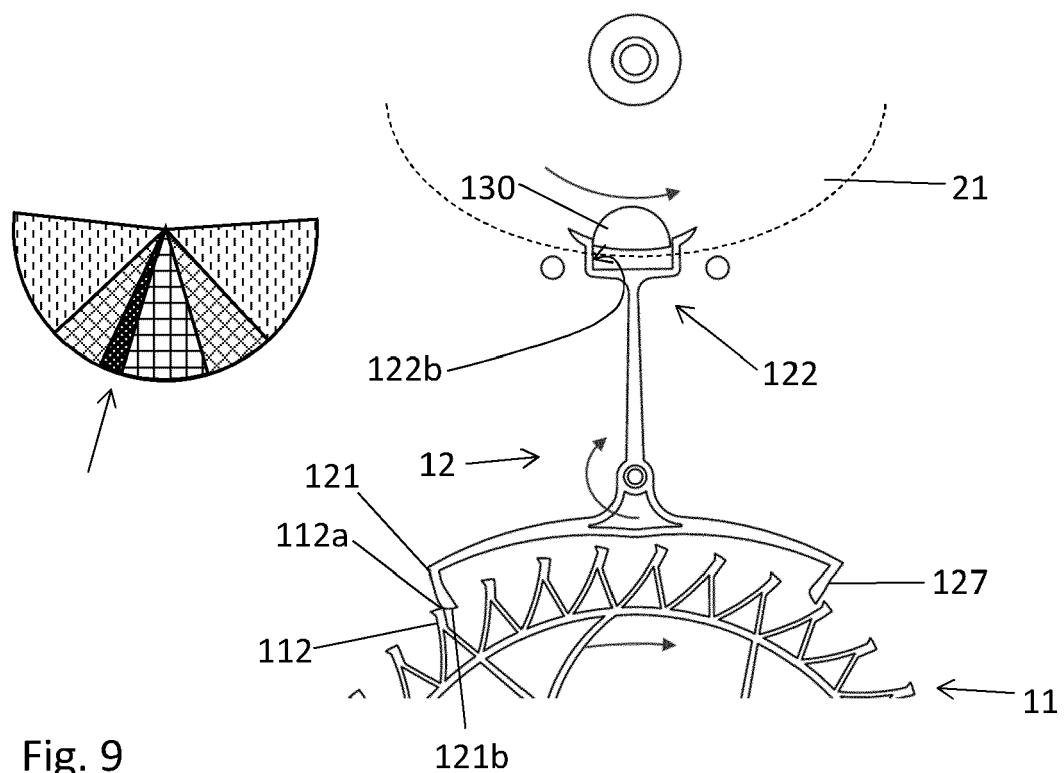


Fig. 9

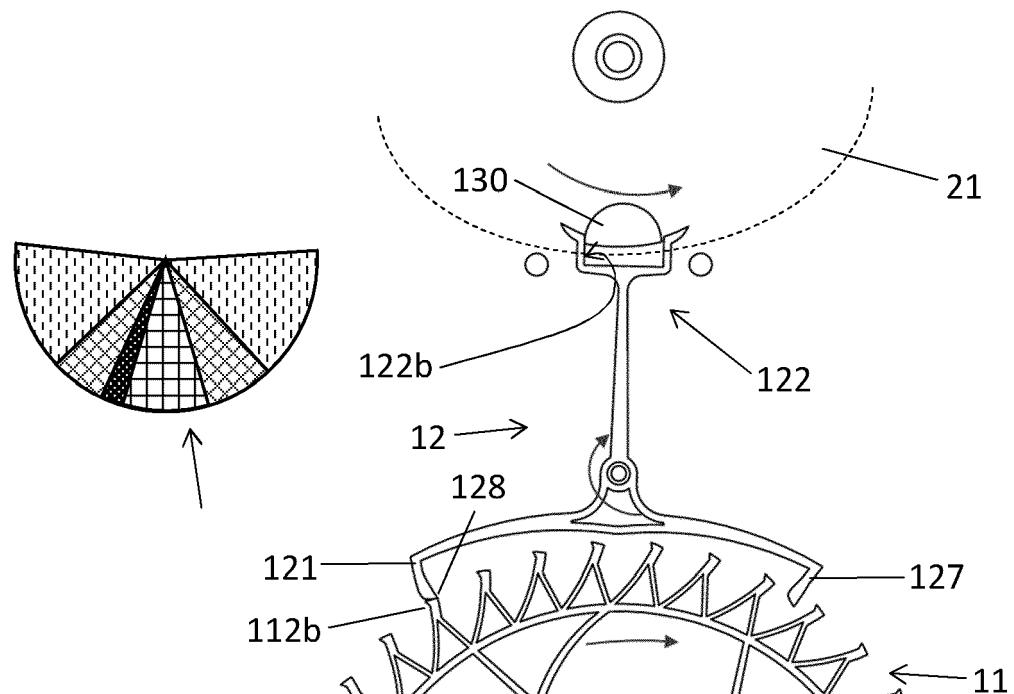


Fig. 10

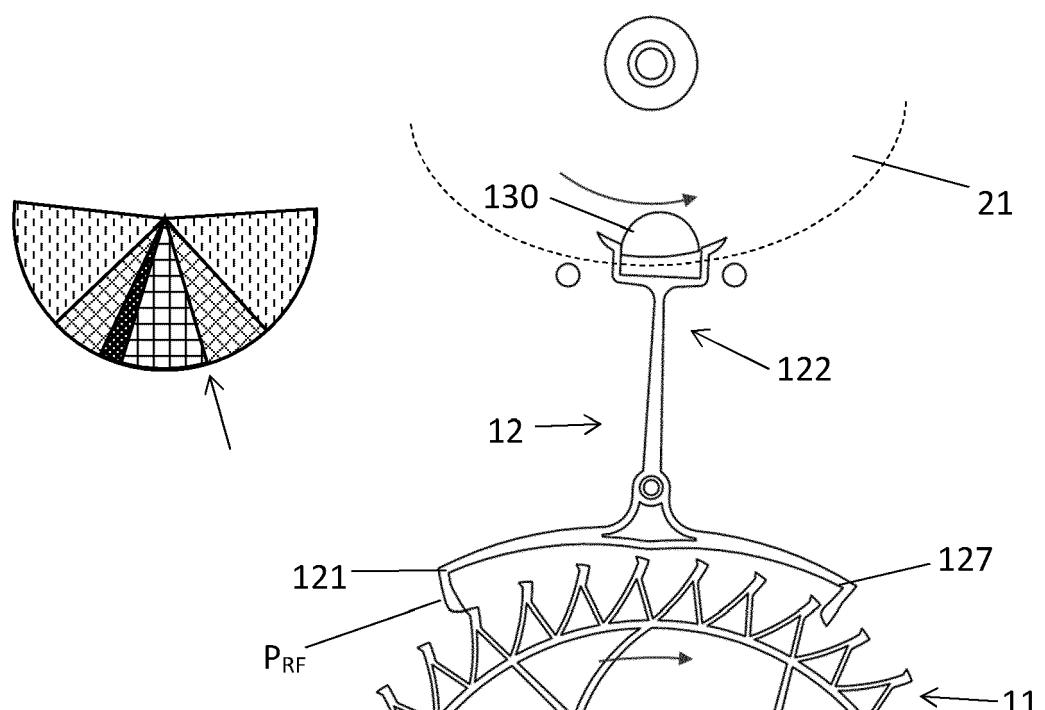


Fig. 11

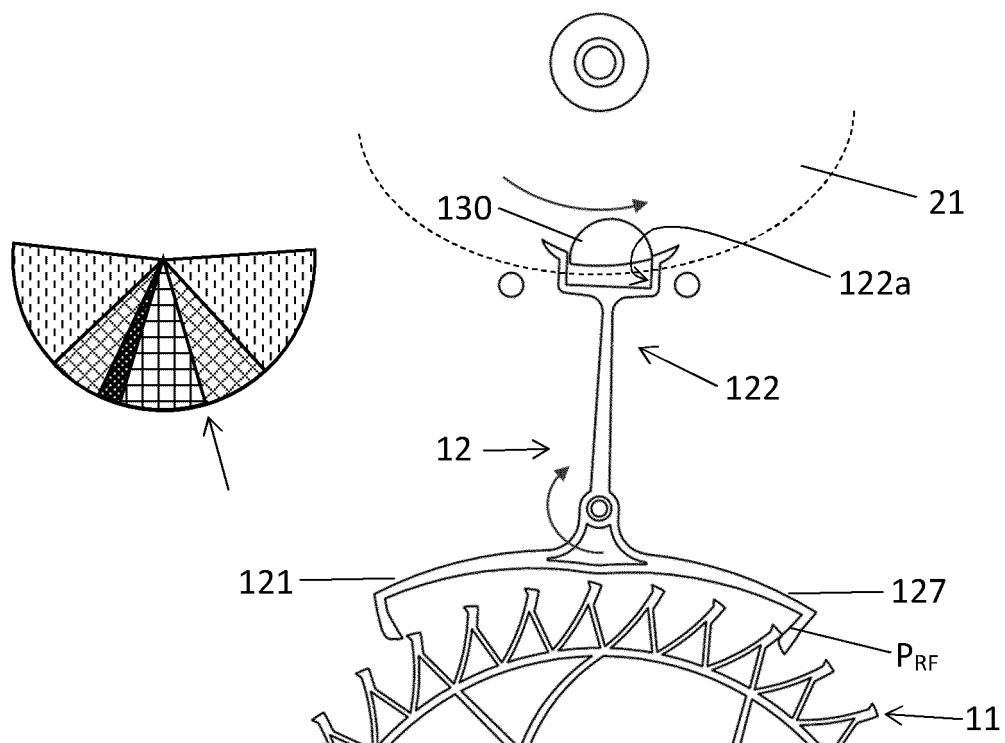


Fig. 12

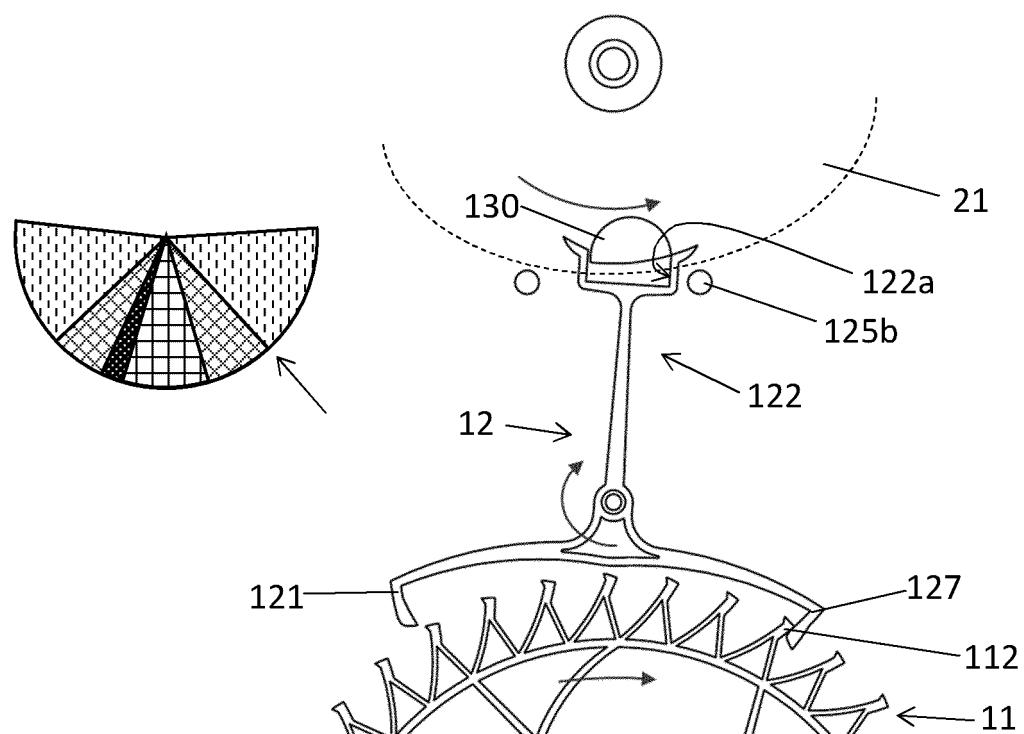


Fig. 13

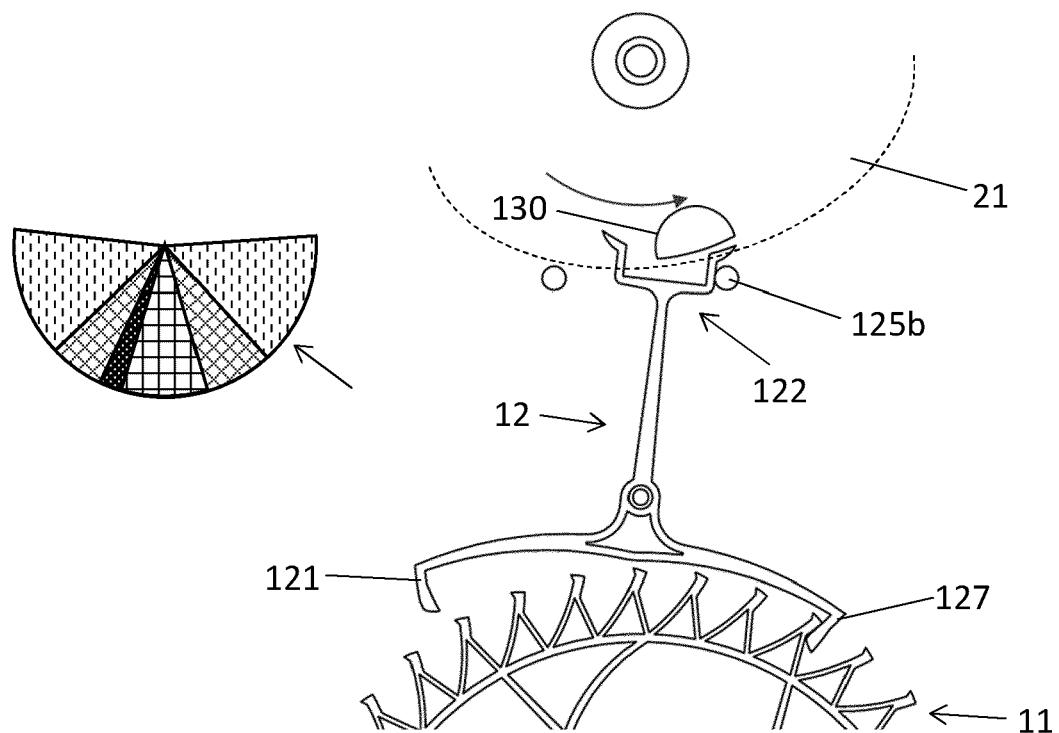


Fig. 14

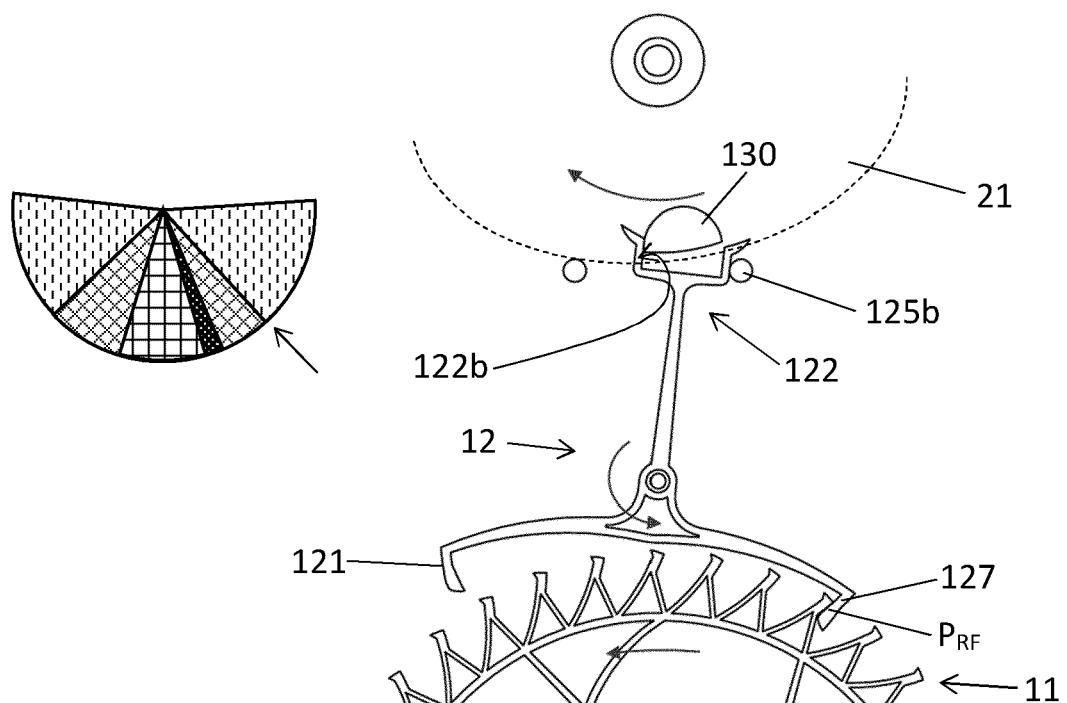


Fig. 15

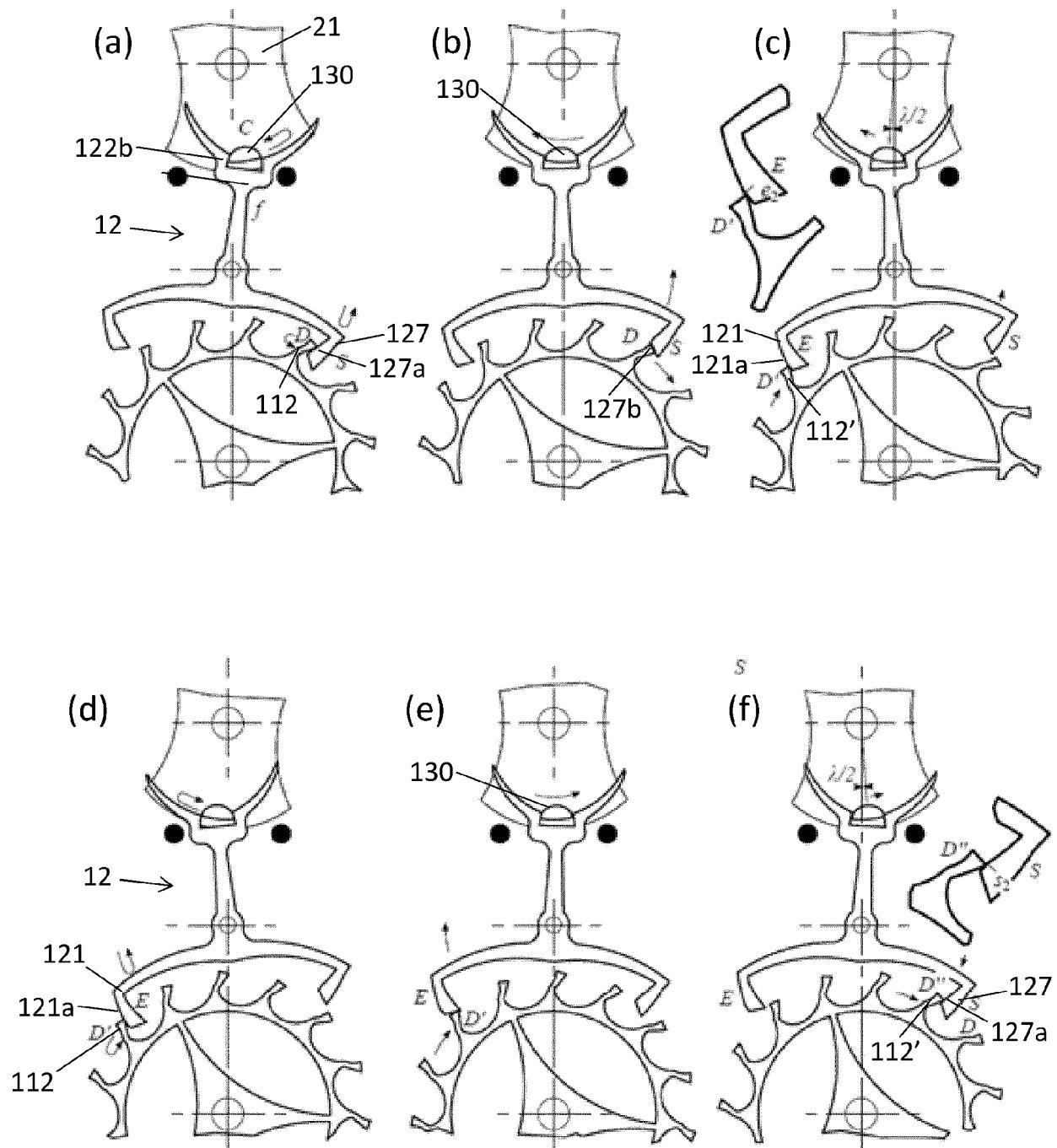


Fig. 16

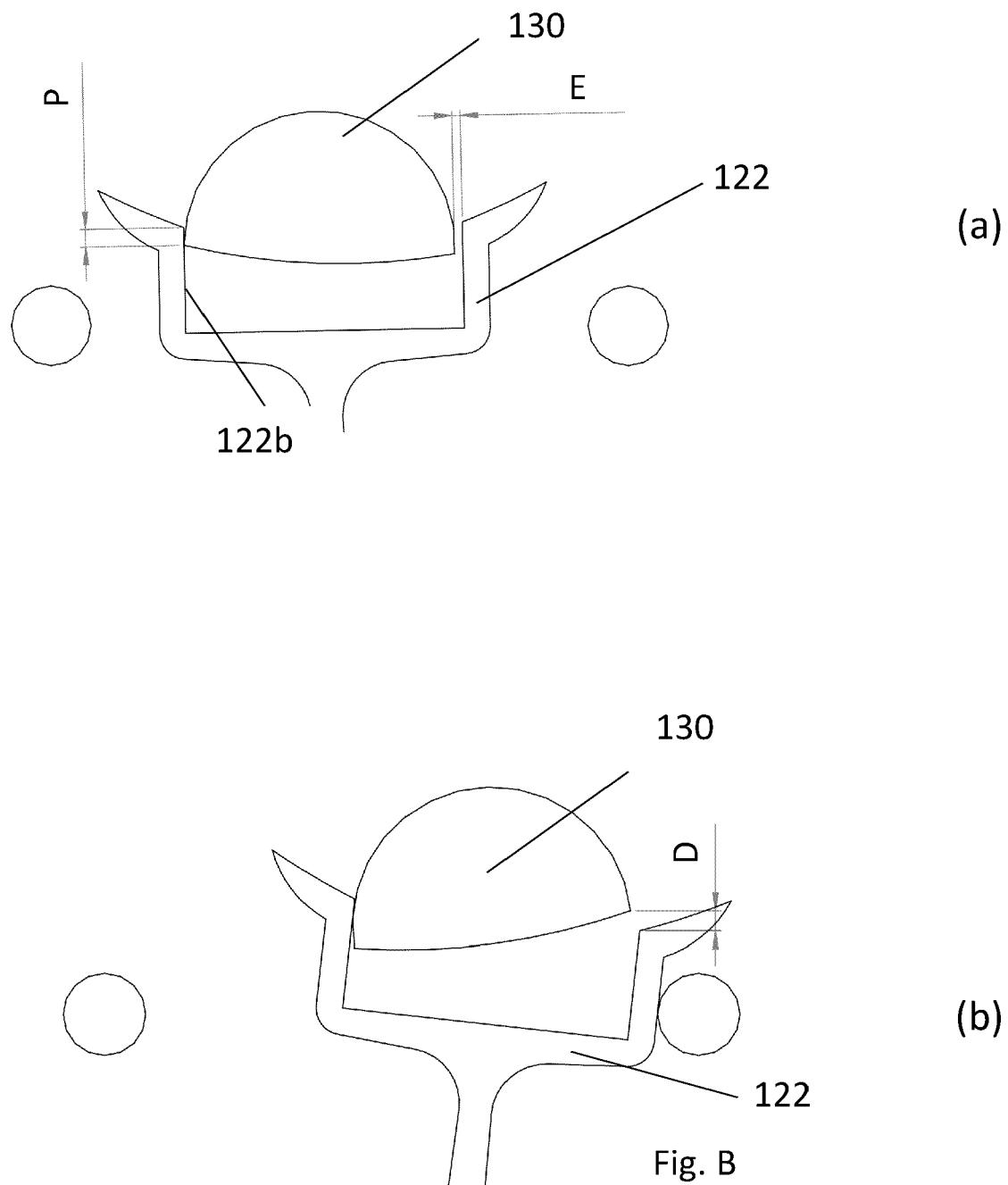


Fig. 17

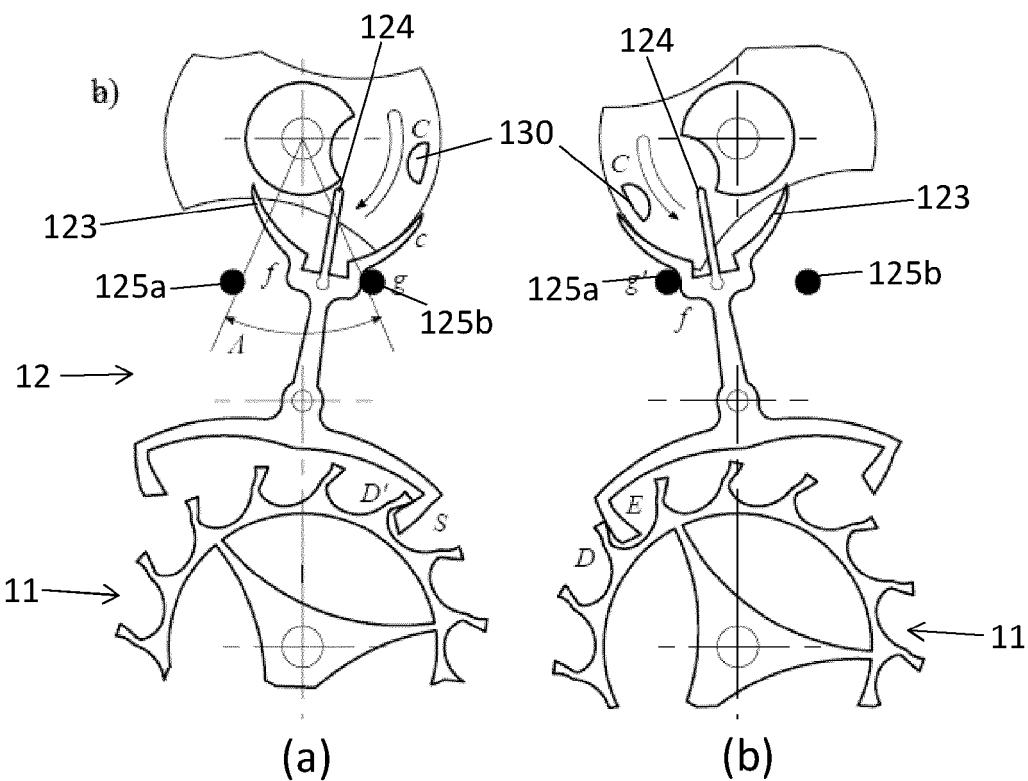


Fig. 18

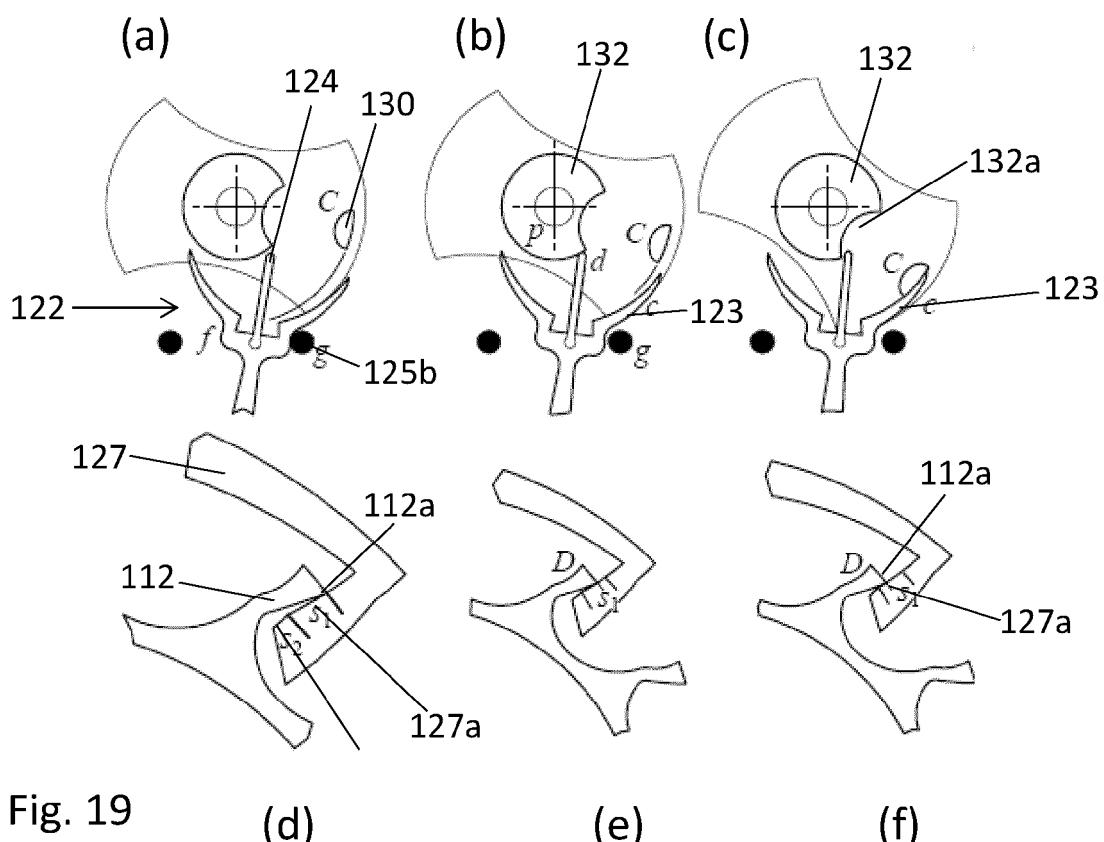


Fig. 19

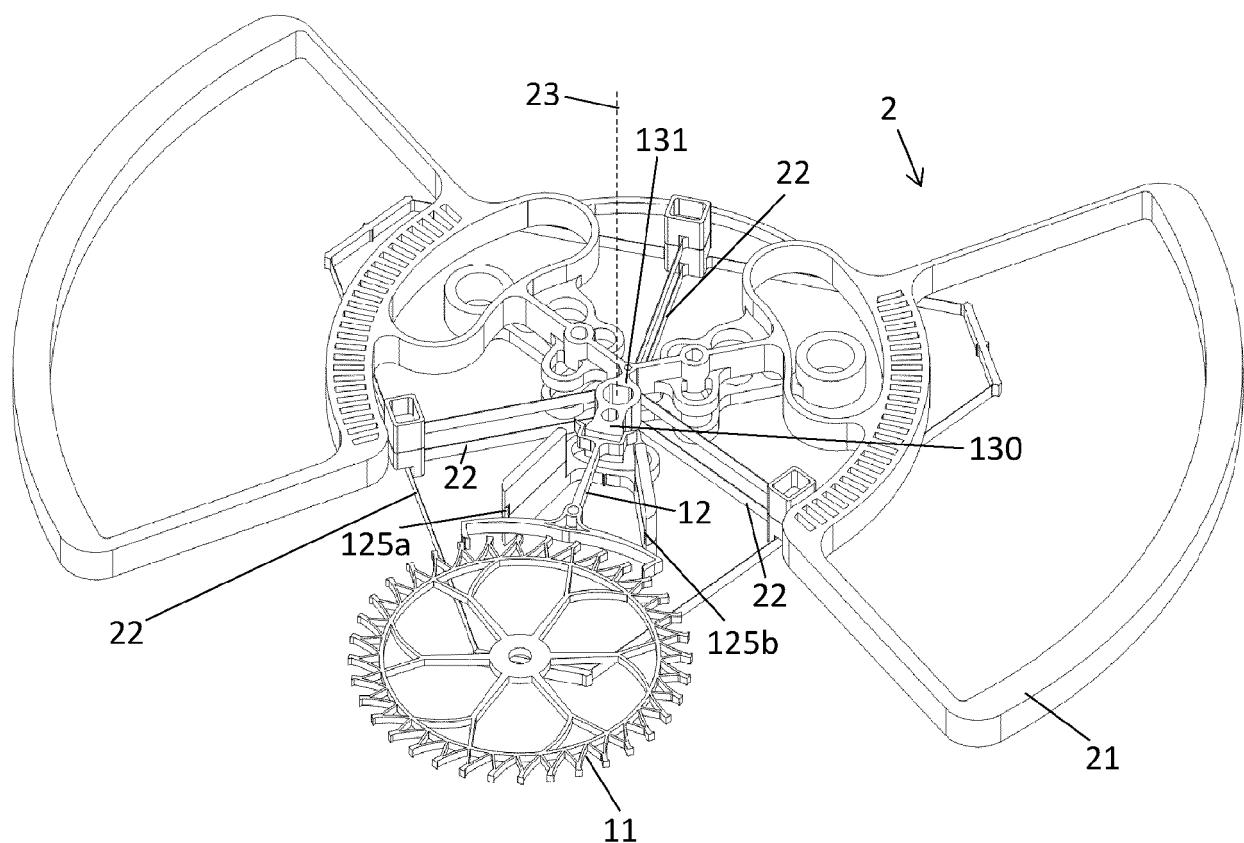


Fig. 20

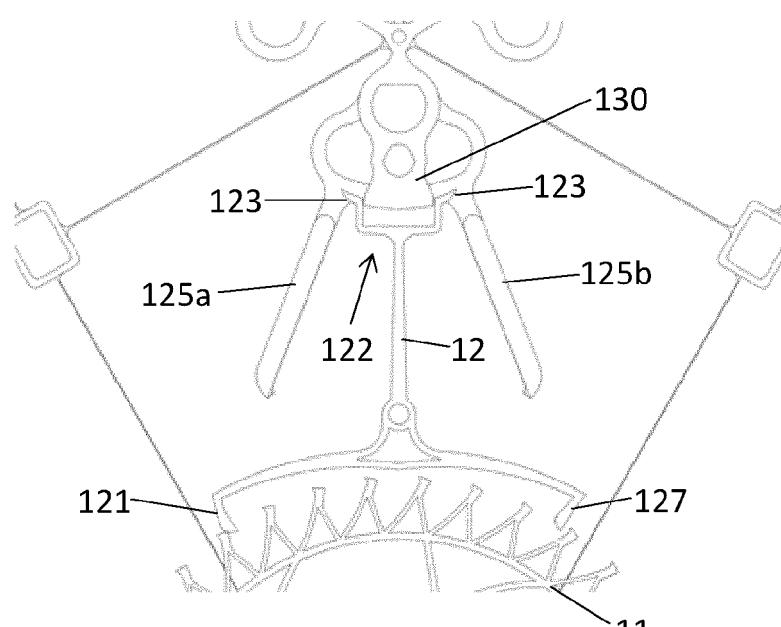


Fig. 21



## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 21 20 0709

5

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS				
	Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
10	X	Horlogerie-Suisse.Com: "Les angles parcourus par l'échappement", , 25 février 2014 (2014-02-25), pages 1-9, XP055899871, Extrait de l'Internet: URL: <a href="https://www.horlogerie-suisse.com/technique/cours-d-echappement/les-angles-parcourus-par-1-echappement#:~:text=L%27angle%20de%20l%27echappement%20est%20virtuel%20et%20ancre%20(th%C3%AAta,11%C2%B0%20et%2013%C2%B0.">https://www.horlogerie-suisse.com/technique/cours-d-echappement/les-angles-parcourus-par-1-echappement#:~:text=L%27angle%20de%20l%27echappement%20est%20virtuel%20et%20ancre%20(th%C3%AAta,11%C2%B0%20et%2013%C2%B0.</a> [extrait le 2022-03-10] A * le document en entier * -----	1-3, 9	INV. G04B15/14 G04B15/08
15	X, D	CH 715 589 A1 (LVMH SWISS MFT SA [CH]) 29 mai 2020 (2020-05-29)	1-3, 9	
20	A	* alinéa [0061] *	4-8, 10	
25	X, D	CH 714 361 A2 (ETA SA MFT HORLOGERE SUISSE [CH]) 31 mai 2019 (2019-05-31)	1-3, 9, 10	
30	A	* alinéa [0074] *	4-8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) G04B
35				
40				
45				
50	1	Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications		
55	Lieu de la recherche <b>La Haye</b>	Date d'achèvement de la recherche <b>10 mars 2022</b>	Examinateur <b>Sigrist, Marion</b>	
	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			

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

EP 21 20 0709

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.

10-03-2022

10	Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
15	<b>CH 715589</b>	<b>A1</b>	<b>29-05-2020</b>	<b>AUCUN</b>
20	<b>CH 714361</b>	<b>A2</b>	<b>31-05-2019</b>	<b>AUCUN</b>
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

**Documents brevets cités dans la description**

- CH 715589 A1 [0009]
- CH 714361 [0010] [0014]
- EP 3035126 A [0010]
- EP 3545365 A [0010]
- EP 3299905 B1 [0058] [0061]