

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **712 154 B1**

(19)

(51) Int. Cl.: **G04C 5/00 (2006.01)**
G04B 15/14 (2006.01)
G04B 17/06 (2006.01)

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

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

(12) FASCICULE DU BREVET

(21) Numéro de la demande: 00311/16

(73) Titulaire(s):
The Swatch Group Research and Development Ltd,
Rue des Sors 3
2074 Marin (CH)

(22) Date de dépôt: 10.03.2016

(43) Demande publiée: 31.08.2017

(72) Inventeur(s):
Gianni Di Domenico, 2000 Neuchâtel (CH)
Jérôme Favre, 2000 Neuchâtel (CH)
Dominique Léchot, 2722 Les Reussilles (CH)
Benoît Légeret, 1024 Ecublens (CH)
Davide Sarchi, 8008 Zürich (CH)

(30) Priorité: 18.02.2016 CH 213/16

(24) Brevet délivré: 13.12.2019

(74) Mandataire:
ICB Ingénieurs Conseils en Brevets SA,
Faubourg de l'Hôpital 3
2001 Neuchâtel (CH)

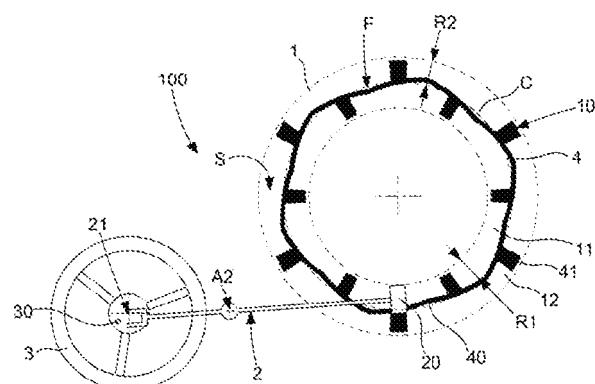
(45) Fascicule du brevet publié: 13.12.2019

(54) Mobile d'échappement magnétique d'horlogerie.

(57) L'invention concerne un mobile d'échappement (1) d'horlogerie comportant une piste magnétisée (10), avec une succession de plages selon une période de défilement selon laquelle ses caractéristiques magnétiques se répètent, chacune comportant une rampe magnétique à champ croissant suivie d'une barrière de champ magnétique à champ croissant de gradient de champ supérieur à celui de la rampe, cette piste (10) comporte une couche magnétique (4) continue et fermée sur tout le pourtour du mobile d'échappement (1), d'épaisseur constante et de largeur variable, dont la géométrie définit ces rampes et barrières de champ magnétique.

L'invention concerne également un mécanisme d'échappement magnétique (100) comportant un tel mobile d'échappement (1) coopérant avec un balancier-spiral par l'intermédiaire d'un arrêttoir (2) magnétique pivotant comportant une masse polaire (20) agencée pour coopérer alternativement avec une piste interne (11) et une piste externe (12) de la couche magnétique (4).

L'invention concerne encore un mécanisme résonateur, un mouvement d'horlogerie, ainsi qu'une montre comportant un tel mécanisme d'échappement magnétique (100).



Description

Domaine de l'invention

[0001] L'invention concerne un mobile d'échappement pour mécanisme d'échappement magnétique d'horlogerie, comportant au moins une piste magnétisée, avec une succession de plages selon une période de défilement selon laquelle ses caractéristiques magnétiques se répètent, chaque dite plage comportant une rampe magnétique à champ croissant suivie d'une barrière de champ magnétique à champ croissant et dont le gradient de champ est supérieur à celui de ladite rampe.

[0002] L'invention concerne encore un mécanisme d'échappement magnétique d'horlogerie, comportant, soumis à un couple moteur, un tel mobile d'échappement coopérant indirectement avec un résonateur à balancier-spiral par l'intermédiaire d'un arrêteoir.

[0003] L'invention concerne encore un mécanisme résonateur, comportant une source d'énergie agencée pour entraîner au travers d'un rouage ladite roue d'échappement d'un dit mécanisme d'échappement magnétique.

[0004] L'invention concerne encore un mouvement comportant au moins un tel mécanisme résonateur.

[0005] L'invention concerne encore une montre comportant au moins un tel mouvement.

[0006] L'invention concerne le domaine des mécanismes régulateurs d'horlogerie, et plus particulièrement des mécanismes d'échappement à effet de champ, sans contact ou à contact atténué, de type magnétique ou électrostatique.

Arrière-plan de l'invention

[0007] Dans un échappement à ancre Suisse, la roue d'échappement interagit avec l'ancre à l'aide d'une force de contact mécanique, ce qui génère un frottement important et réduit le rendement de l'échappement.

[0008] La demande de brevet EP 13 199 427, publiée sous la référence EP 2 887 157, au nom de THE SWATCH GROUP RESEARCH & DEVELOPMENT Ltd décrit le remplacement de cette interaction mécanique par des forces sans contact d'origine magnétique, ou encore électrostatique, ce qui permet entre autres de minimiser les pertes par frottements.

[0009] La réalisation pratique d'un échappement à ancre magnétique nécessite de faire varier l'énergie d'interaction selon des rampes et des barrières comme cela est décrit dans le document ci-dessus.

[0010] En ce qui concerne l'interaction magnétique entre mobiles, l'art antérieur fait mention de l'utilisation d'aimants discrets interagissant avec d'autres aimants discrets comme par exemple dans le document US 3 183 426, ou alors d'aimants discrets interagissant avec une structure en fer comme dans les documents FR 2 075 383 et GB 671 360. L'utilisation du fer est justifiée par sa facilité d'usinage, qui permet de réaliser des petites structures qui se répètent de façon régulière sur la circonférence d'une roue. Toutefois, l'interaction aimant-aimant est préférée lorsqu'il s'agit de faire avancer la roue d'échappement par saccades, car l'énergie nécessaire pour stopper la roue est plus importante que pour les systèmes continus. D'autre part, l'utilisation d'aimants discrets ne permet pas facilement de faire varier continûment l'énergie, de façon douce et linéaire, pour produire de façon optimale des rampes telles que décrites dans le document EP 13 199 427 cité plus haut.

Résumé de l'invention

[0011] L'invention se propose de concevoir une géométrie de mobile d'échappement, notamment de roue d'échappement, qui permette de créer un potentiel d'interaction magnétique composé de rampes et de barrières. Cette géométrie de roue doit être réalisable avec les technologies actuelles de fabrication des micro-aimants.

[0012] A cet effet, l'invention concerne un mobile d'échappement pour mécanisme d'échappement magnétique d'horlogerie, selon la revendication 1.

[0013] L'invention concerne encore un mécanisme d'échappement magnétique d'horlogerie, comportant, soumis à un couple moteur, un tel mobile d'échappement coopérant indirectement avec un résonateur à balancier-spiral par l'intermédiaire d'un arrêteoir.

[0014] L'invention concerne encore un mécanisme résonateur, comportant une source d'énergie agencée pour entraîner au travers d'un rouage ladite roue d'échappement d'un dit mécanisme d'échappement magnétique.

[0015] L'invention concerne encore un mouvement comportant au moins un tel mécanisme résonateur.

[0016] L'invention concerne encore une montre comportant au moins un tel mouvement.

Description sommaire des dessins

[0017] 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 fig. 1

représente, de façon schématisée, et en plan, un mécanisme d'échappement magnétique décrit dans la demande de brevet EP 13 199 427, comportant une roue d'échappement avec des

- pistes magnétisées, interne et externe, coopérant avec une masse polaire d'une ancre magnétique;
- la fig. 2 est un graphique relatif au mécanisme de la fig. 1, qui montre la variation d'énergie d'interaction magnétique entre la roue d'échappement et la masse polaire de l'ancre magnétique que comporte ce mécanisme;
- la fig. 3 représente, de façon schématisée, et en plan, une roue d'échappement magnétique selon l'invention, en coopération avec une ancre magnétique coopérant avec un balancier;
- la fig. 4 représente, de façon schématisée, et en plan, l'agencement de cette roue d'échappement avec une couche magnétique selon l'invention;
- les fig. 5, 7, 9 illustrent la représentation en coordonnées polaires de la couche magnétique par rapport à l'axe de la roue d'échappement, en ce qui concerne respectivement la rampe de potentiel, la barrière de potentiel, et le cumul des deux;
- les fig. 6, 8, 10 illustrent respectivement les formes de rampes et barrières associées correspondantes;
- la fig. 11 représente, de façon schématisée, et en coupe, une roue constituée de deux couches magnétisées afin d'annuler les efforts axiaux par compensation, toutes deux en répulsion avec l'aimant de l'ancre;
- la fig. 12 représente, de façon schématisée, et en plan, une variante avantageuse où l'ancre comporte deux masses polaires agencées angulairement pour travailler alternativement, dans les positions angulaires extrêmes de l'ancre, l'une avec la piste intérieure, l'autre avec la piste extérieure;
- la fig. 13 représente, de façon schématisée, et en plan, des rétrécissements de la piste magnétisée pour optimiser la linéarité des rampes du potentiel d'interaction magnétique;
- la fig. 14 représente, de façon schématisée, et en plan, une zone de consolidation mécanique de la roue, qui comporte un anneau central relié par des rayons raidisseurs à certains des plots-barrières de la couche magnétique;
- la fig. 15 représente, de façon similaire à la fig. 11, l'utilisation d'une couche ferromagnétique, en particulier de fer, comme circuit ou blindage magnétique de la roue;
- les fig. 16, 17, 18 représentent, de façon similaire aux fig. 5, 7 et 9, la modification du profil par l'intégration de non-linéarités, sous forme de points de rebroussement, de façon à compenser les non-linéarités de l'interaction magnétique, et la fig. 19 représente, de façon schématisée, et en plan, la roue correspondante;
- la fig. 20 représente, de façon schématisée, et en plan, un détail de dispositif antichocs réalisé par des butées mécaniques sur la roue et sur l'ancre;
- la fig. 21 représente, de façon schématisée, et en perspective, l'ensemble d'un mécanisme résonateur, comportant, depuis un barillet, jusqu'au résonateur à balancier-spiral, un rouage, et un tel mécanisme d'échappement magnétique à ancre magnétique;
- la fig. 22 est un schéma-bloc représentant une montre comportant un mouvement équipé d'un mécanisme résonateur avec un tel mécanisme d'échappement à ancre magnétique;
- les fig. 23 et 24 représentent, en vue en plan et en perspective, une montre comportant un tel échappement magnétique.

Description détaillée des modes de réalisation préférés

- [0018] L'invention concerne un mobile d'échappement 1 pour mécanisme d'échappement magnétique 100 d'horlogerie.
- [0019] Ce mobile d'échappement 1 comporte au moins une piste magnétisée 10, avec une succession de plages selon une période de défilement PD selon laquelle ses caractéristiques magnétiques se répètent, chaque plage comportant une rampe magnétique à champ croissant suivie d'une barrière de champ magnétique à champ croissant et dont le gradient de champ est supérieur à celui de la rampe qui le précède.
- [0020] Selon l'invention la piste magnétisée 10 comporte une piste magnétique continue et fermée. Plus particulièrement cette piste magnétique est une couche magnétique 4 continue et fermée sur tout le pourtour du mobile d'échappement 1.
- [0021] Plus particulièrement, cette piste magnétique est d'épaisseur constante et de largeur variable.

[0022] Dans un autre mode de réalisation particulier, les variations de potentiel magnétique sont générées par une variation de l'épaisseur de la couche.

[0023] Plus particulièrement, cette piste magnétique s'étend sur une plus grande surface S du mobile d'échappement 1, et dont la géométrie en projection sur cette surface S définit les rampes magnétiques et barrières de champ magnétique.

[0024] Dans un cas particulier, la piste magnétisée 10 comporte une couche physique composée d'éléments discrets, non nécessairement composée avec des aimants de géométrie simple, mais par exemple avec des morceaux curvilignes, qui peut aussi composer un mécanisme fonctionnel selon l'invention.

[0025] On peut, encore, obtenir une piste magnétique d'effet similaire avec une couche dont le champ rémanent n'est pas constant. Pratiquement, ceci peut être réalisé soit en chauffant localement et à une température contrôlée la couche magnétique, ou en superposant deux matériaux magnétiques différents, par exemple SmCo et NdFeB, et en chauffant à une température neutralisant le champ rémanent du NdFeB sans affecter le champ rémanent du SmCo.

[0026] On comprend que les variations de champ magnétique peuvent être des variations angulaires du champ, et que la variation du gradient du champ entre la partie de rampe et les barrières peut également être une variation de la composante angulaire du champ.

[0027] Dans une réalisation particulière, et tel qu'illustré par les figures, le mobile d'échappement 1 est une roue d'échappement, et comporte au moins un anneau ou un disque ou un disque évidé dont une face porte la piste magnétisée 10, et, de façon particulière et non limitative, constitue la plus grande surface S du mobile 1. Et la largeur de la couche magnétique 4 s'étend dans la direction radiale par rapport à l'axe A1 de ce disque.

[0028] Plus particulièrement, la piste magnétisée 10 comporte, connexes de part et d'autre d'une frontière F, une piste interne 11 et une piste externe 12 comportant des barrières de champ magnétique en quinconce par rapport à la frontière F, en alternance d'une demi-période. Dans le cas d'une roue d'échappement cette frontière F est un cercle C, concentrique aux deux pistes 11 et 12.

[0029] Plus particulièrement, le mécanisme d'échappement magnétique 100 d'horlogerie comporte, soumis à un couple moteur, un tel mobile d'échappement 1 coopérant indirectement avec un résonateur à balancier-spiral par l'intermédiaire d'un arrêteoir 2, qui est un arrêteoir magnétique pivotant comportant au moins une masse polaire 20 agencée pour coopérer alternativement avec la piste interne 11 et la piste externe 12 d'une telle couche magnétique 4.

[0030] La fig. 1 illustre le principe d'un mécanisme d'échappement magnétique 100, comportant une roue d'échappement 1 avec des pistes 10 magnétisées, 11 interne et 12 externe, séparées par un cercle C, coopérant avec une masse polaire 20 d'un arrêteoir, notamment d'une ancre magnétique 2, tel que décrit dans le document EP 13 199 427 cité plus haut.

[0031] L'énergie d'interaction magnétique entre la roue 1 et la masse polaire 20 de l'ancre 2, notamment comportant au moins un aimant, varie comme indiqué sur le graphique de la fig. 2 montrant la période PD sur chacune des deux pistes. Les barrières de potentiel 131, 132, indiquées ++ sur les fig. 1 et 2, ont pour effet de stopper l'avance de la roue 1. Les rampes d'énergie qui s'étendent, sur chacune des pistes 11 interne et 12 externe, d'une région -- à une région +, et qui sont vues par la masse polaire 20 de l'ancre 2 lors de la rotation de la roue d'échappement 1, ont pour effet d'accumuler l'énergie, qui est transmise à une cheville 30 d'un balancier 3 lors du basculement de l'ancre 2.

[0032] L'invention est ici décrite dans un mode particulier, non limitatif, qui est celui d'un échappement magnétique. Elle peut être mise en œuvre dans un mode électrostatique, en se référant au document EP 13 199 427 cité plus haut.

[0033] Pour constituer les rampes et les barrières de potentiel, une première solution connue consiste à faire varier l'épaisseur, ou l'intensité de magnétisation, d'aimants disposés sur chacune des pistes 11 et 12, pour faire varier l'énergie d'interaction avec la masse polaire 20 de l'ancre 2.

[0034] La variation d'épaisseur d'aimants rapportés induit une variation de l'entrefer entre l'ancre 2 et les pistes 10, sauf si ces aimants sont incrustés dans la roue d'échappement 1, de façon à présenter une surface de même niveau face à la masse polaire 20 de l'ancre 2. La mise au point nécessite donc de cumuler la maîtrise du gradient du champ généré par les aimants des pistes 11 et 12, et la maîtrise de l'interaction entre la masse polaire 20 et ces aimants dans l'entrefer, ce qui est délicat en raison des discontinuités.

[0035] Une autre alternative consiste à faire varier l'intensité de magnétisation des aimants, ou bien des pistes elles-mêmes, ce qui se révèle difficile à bien maîtriser.

[0036] En somme, ces méthodes conviennent pour des essais de laboratoires, mais sont difficiles à adapter pour des productions de série.

[0037] Aussi l'invention propose une solution de mise en œuvre industrielle plus aisée que la variation de l'épaisseur des aimants ou de leur intensité de magnétisation, qui consiste à utiliser une couche aimantée 4 d'épaisseur et de magnétisation constantes, disposée dans le plan de la roue 1 dans une répartition surfacique particulière, et dont la géométrie est conçue de façon à produire les variations d'énergie désirées composées de rampes et de barrières.

[0038] La fig. 3 présente un exemple d'une telle géométrie: une couche aimantée 4 est disposée sur la roue d'échappement 1, et constitue une piste magnétisée 10, qui interagit de façon répulsive avec la masse polaire 20 de l'ancre

2 qui est disposée au-dessus de la roue 1. La géométrie de la couche 4 est choisie de façon à ce que l'interaction avec la masse polaire 20 ou les aimants de l'ancre 2 produise les rampes et les barrières nécessaires au bon fonctionnement de l'échappement à ancre magnétique.

[0039] Tel que visible sur les fig. 3 et 4, cette piste magnétisée 10 formée par la couche aimantée 4 s'étend, pour partie au niveau de la piste intérieure 11, et pour partie au niveau de la piste extérieure 12, lesquelles correspondent aux deux positions extrêmes de la masse polaire 20 de l'ancre 2 (appui contre étoqueaux). La piste interne 11 a une largeur radiale R1, la piste externe 12 a une largeur radiale R2. R0 est le rayon du cercle C qui sépare la piste intérieure 11 et la piste extérieure 12.

[0040] Pour bien comprendre la méthode pour concevoir la géométrie de la couche magnétique 4, les fig. 5 à 10 illustrent sa représentation en coordonnées polaires par rapport à l'axe de la roue d'échappement 1 en fig. 5, 7, et 9, avec l'excentration relative des surfaces en fonction de l'angle au centre rapporté à la période PD, et respectivement les fig. 6, 8 et 10 illustrent les formes de rampes et barrières associées correspondantes.

[0041] La fig. 5 représente deux périodes angulaires des pistes intérieure 11 et extérieure 12 avec une couche magnétique 4 qui suit un chemin périodique continu en alternance sensiblement symétrique, notamment et non limitativement triangulaire, afin de produire les rampes de potentiel. La variation d'énergie d'interaction avec la masse polaire 20 de l'ancre 2 est représentée dans la fig. 6 en trait plein lorsque la masse polaire 20 est sur la piste extérieure 12 (position 1) et en trait discontinu lorsque la masse polaire 20 est sur la piste intérieure 11 (position 2). L'énergie d'interaction augmente lorsque la superposition de la piste magnétique 4 de la roue 1 et de la masse polaire 20 de l'ancre 2 augmente. Le profil du chemin périodique peut, encore, être sensiblement sinusoïdal, ou autre, selon les profils de rampe souhaités. Le profil linéaire de cet exemple est avantageux pour abaisser le couple minimal d'entretien CE permettant le fonctionnement de l'échappement.

[0042] De la même façon, la fig. 7 représente deux périodes angulaires des pistes intérieure 11 et extérieure 12 avec une couche magnétique 4 qui est composée de plots-barrières 41 discrets, ici constitués de zones rectangulaires, afin de produire les barrières de potentiel. La variation d'énergie d'interaction correspondante est représentée dans la fig. 8 en trait plein lorsque la masse polaire 20 est sur la piste extérieure 12 (position 1) et en trait discontinu lorsque la masse polaire 20 est sur la piste intérieure 11 (position 2).

[0043] Finalement, la fig. 9 représente deux périodes angulaires des pistes intérieure 11 et extérieure 12 avec une couche magnétique 4 qui est la somme des rampes de la fig. 5 et des barrières de la fig. 7. La variation d'énergie d'interaction correspondante est représentée dans la fig. 10 en trait plein lorsque la masse polaire 20 est sur la piste extérieure 12 (position 1) et en trait discontinu lorsque la masse polaire 20 est sur la piste intérieure 11 (position 2). On constate qu'on obtient ce qui est désiré, c'est-à-dire des rampes suivies de barrières de potentiel, qui alternent successivement sur les deux pistes 11 et 12.

[0044] Naturellement, les plots-barrières 41 discrets sont ici de forme rectangulaire pour une facilité de modélisation. Ils peuvent aussi adopter d'autres formes voisines, tant que ces formes restent compatibles avec la distribution de potentiel magnétique souhaitée.

[0045] Lorsqu'on transforme la géométrie de la fig. 10 en coordonnées cartésiennes, on obtient la géométrie de la couche magnétique représentée dans les fig. 3 et 4, à condition naturellement de répéter le motif autant de fois que nécessaire pour remplir toute la roue 1. Pour l'exemple non limitatif de la roue 1 des fig. 3 et 4 nous avons choisi N = 6 pas par tour, de sorte que la période angulaire vaut $PD = 2\pi/6$. Bien entendu, on peut choisir une autre valeur pour le nombre N de pas par tours. En pratique il est avantageux de choisir N aussi grand que possible, la limite supérieure étant fixée par la technologie utilisée ainsi que par l'entrefer entre la masse polaire 20 de l'ancre 2 et la roue 1.

[0046] On comprend que la géométrie de la couche magnétique 4 dépend de celle de la roue 1. En particulier, si celle-ci est de petit diamètre et si N est faible, il peut être avantageux d'avoir R1 plus grand que R2, de façon à compenser la courbure, et à obtenir des caractéristiques de profils de rampes et de barrières identiques sur les deux pistes 11 et 12. L'exemple des figures correspond au cas particulier où R1 et R2 sont égaux.

[0047] Différentes variantes, que l'on peut en général cumuler, permettent d'améliorer encore le bon fonctionnement du système. Certaines permettent, notamment, d'utiliser une pluralité de couches magnétiques 4 très fines, qui peuvent être alors réalisées par des procédés autres que mécaniques, notamment électrochimiques, par dépôt plasma, ou autres.

[0048] Selon une caractéristique de l'invention, la couche magnétique 4 s'étend alternativement sur la piste interne 11 et la piste externe 12.

[0049] Plus particulièrement, la couche magnétique 4 comporte, à chaque demi-période, un plot-barrière 41 constituant une barrière de champ magnétique, s'étendant d'un seul côté de la frontière F, et en alternance sur la piste interne 11 et sur la piste externe 12.

[0050] Plus particulièrement encore, ces plots-barrières 41 sont reliés, l'un à la suite de l'autre, par une bande 40 de largeur inférieure à la plus faible largeur des plots-barrières 41.

[0051] Plus particulièrement encore, la bande 40 change de concavité de part et d'autre de chaque plot-barrière 41, et reste du même côté de la frontière F entre deux plots-barrières 41 successifs.

[0052] De façon particulière, la bande 40 comporte un rétrécissement 42 à côté de chaque plot-barrière 41.

[0053] De façon particulière, la bande 40 comporte un point de rebroussement 46 entre deux plots-barrières 41 successifs.

[0054] Pour la compensation des efforts axiaux au niveau de la roue d'échappement 1, il est avantageux d'utiliser une variante de roue 1 comportant deux couches magnétiques 4, supérieure 4S et inférieure 4I, entre lesquelles la masse polaire 20 de l'ancre 2 est prise en sandwich, comme représenté dans la fig. 11. Rappelons que la masse polaire 20 de l'ancre 2 agit en répulsion avec les couches magnétisées 4S et 4I de la roue 1. On peut naturellement concevoir une roue d'échappement 1 avec un nombre de niveaux encore supérieur, et une ancre 2 comportant autant de masses polaires que d'espaces délimités deux à deux par les différentes couches magnétiques 4 des différents niveaux pour cumuler les effets, dans la limite de l'encombrement vertical autorisé par le mouvement dans lequel est intégré le mécanisme d'échappement 100.

[0055] Ainsi, plus particulièrement, le mobile d'échappement 1 comporte une pluralité de disques parallèles dont les faces se faisant face portent chacune une piste magnétisée 10 en symétrie l'une par rapport à l'autre par rapport à un plan médian perpendiculaire à l'axe commun des disques, et la largeur de chaque couche magnétique 4 s'étend dans la direction radiale par rapport à l'axe du disque. Plus particulièrement, les deux disques extrêmes de cette pluralité de disques comportent chacun, du côté opposé à la pluralité de disques, une couche ferromagnétique constituant un blindage magnétique protégeant le mobile des champs magnétiques extérieurs.

[0056] Plus particulièrement encore, le mécanisme d'échappement magnétique 100 comporte un tel mobile d'échappement 1, et l'arrêtéoir 2 comporte au moins une masse polaire 20 dans chaque entrefer où les disques parallèles dont les faces se faisant face portent chacune une piste magnétisée 10.

[0057] On peut ainsi avoir une configuration avec plusieurs étages d'aimants d'ancre, chaque aimant d'ancre travaillant entre deux étages spécifiques de la roue d'échappement.

[0058] La fig. 12 illustre une variante avantageuse où l'ancre 2 comporte deux masses polaires 201 et 202 agencées angulairement pour travailler alternativement, dans les positions angulaires extrêmes de l'ancre 2, l'une avec la piste intérieure 11, l'autre avec la piste extérieure 12, ainsi les efforts s'additionnent. Cette configuration possède de nombreux avantages. Tout d'abord, la différence de couple due à la différence de rayon entre la piste intérieure 11 et la piste extérieure 12 est compensée puisque il y a toujours une des masses polaires de l'ancre 2 qui est sur la piste intérieure 11 pendant que l'autre est sur la piste extérieure 12. Ensuite, les irrégularités de fabrication de la roue 1, d'une période angulaire à l'autre, sont moyennées puisque les masses polaires de l'ancre ne voient pas les mêmes défauts. Finalement, les couples transmis à chaque alternance sont doublés.

[0059] Pour abaisser le couple minimum CE de fonctionnement de l'échappement, il est important que la rampe de potentiel magnétique soit aussi linéaire que possible. A cette fin on peut effectuer des petits ajustements de la géométrie de la couche magnétique 4. Par exemple, il est avantageux d'effectuer un petit rétrécissement 42 de la couche magnétique 4, lorsque la masse polaire de l'ancre passe au voisinage d'une barrière qui se trouve sur la piste adjacente comme cela est représenté sur la fig. 13. Ces rétrécissements 42 de la piste magnétisée permettent d'optimiser la linéarité des rampes du potentiel d'interaction magnétique.

[0060] La réalisation a aussi son importance dans une fabrication de série.

[0061] Un procédé avantageux de réalisation de la ou des couches magnétiques 4 de la roue d'échappement 1 consiste à utiliser un substrat qui assure la tenue mécanique, et sur lequel on vient déposer la couche magnétisée 4, qui est typiquement du NdFeB ou du SmCo ou des alliages de platine (Pt) et cobalt (Co). En effet, comme les couches minces d'aimants terres rares sont fragiles, il est avantageux de les solidifier avec un substrat. La couche peut être déposée par des méthodes de type CVD ou PVD ou par croissance galvanique. On peut obtenir la géométrie désirée en plaçant un masque amovible sur le substrat avant d'effectuer le dépôt, masque que l'on pourra enlever par la suite. On peut aussi déposer la couche de façon uniforme sur le substrat (CVD, PVD, ou bien collée) puis procéder à une attaque chimique des zones non désirées. Dans toutes ces situations, les géométries présentées jusqu'ici sont utilisables car la tenue mécanique est assurée par le substrat. On comprend l'intérêt de roues d'échappement multi-niveaux dans le cas de ce mode d'élaboration.

[0062] Une autre variante d'élaboration concerne la fabrication de la couche magnétique 4 par usinage de la géométrie désirée dans une fine plaque d'aimant, que ce soit par des méthodes traditionnelles, par découpe laser, par électroérosion ou par attaque chimique, il est alors avantageux de compléter la couche magnétique 4 par des raidisseurs 44 s'étendant dans la zone centrale de la roue d'échappement 1, en-dehors des surfaces balayées par l'ancre 2, afin d'assurer la solidité mécanique du composant fabriqué. Un exemple est visible en fig. 14, où la zone de consolidation mécanique, qui s'étend vers l'axe A1 de la roue 1, et essentiellement en-dehors de la piste intérieure 11, comporte un anneau central 43 relié par des rayons raidisseurs 44 à certains des plots-barrières 41 de la couche magnétique 4. Plus précisément, les rayons raidisseurs 44 sont reliés aux plots-barrières 41 de la piste intérieure 11 car ce sont les parties qui sont les moins sensibles à un champ perturbateur. La zone de consolidation mécanique ainsi réalisée permet d'assurer la solidité mécanique, sans pour autant changer significativement le potentiel d'interaction magnétique entre l'ancre 2 et la roue 1.

[0063] Une autre variante concerne l'utilisation d'une couche ferromagnétique 5, en particulier de fer, comme circuit ou blindage magnétique de la roue 1. Cette couche peut aussi être utilisée comme substrat pour la couche magnétisée 4 et donc assurer la tenue mécanique. La fig. 15 montre un agencement similaire à celui de la fig. 11, où la roue 1 comporte une couche ferromagnétique supérieure 5S externe, et une couche ferromagnétique inférieure 5I externe, chacune d'elles portant respectivement la couche magnétisée supérieure 4S et inférieure 4I. Cet agencement permet de séparer au mieux les champs magnétiques externes à la roue 1 et dont on souhaite stopper les effets sur l'échappement, des champs internes au mécanisme d'échappement magnétique 100, qui sont nécessaire au fonctionnement de l'échappement.

[0064] Il peut être nécessaire d'adapter la forme des rampes de la couche magnétique 4 selon la constitution de la roue 1, avec ou sans matériau ferromagnétique, fer notamment. En effet, la présence d'un tel blindage en matériau ferromagnétique introduit des non-linéarités dans l'interaction magnétique ancre-roue. Ces non-linéarités doivent être compensées pour obtenir des rampes de potentiel aussi linéaires que possible. On peut, comme ci-dessus, introduire des variations de la largeur de la couche magnétique 4 par des rétrécissements 42. Une autre méthode consiste à modifier légèrement la forme du profil triangulaire visible dans la fig. 5 qui est utilisé pour produire les rampes. Par exemple dans la fig. 16, ce profil est modifié par l'intégration de non-linéarités 45, notamment sous forme de points de rebroussement 46, de façon à compenser les non-linéarités de l'interaction magnétique. Ce profil est ensuite combiné aux plots-barrières 41 de la fig. 17 pour obtenir la géométrie de la fig. 18 en coordonnées polaires. Finalement la géométrie est transformée en coordonnées cartésiennes et l'on obtient la fig. 19 qui est une alternative à la géométrie de la fig. 13.

[0065] La fig. 20 montre une variante avec des butées mécaniques 19 sur la roue 1 et des butées mécaniques complémentaires 29 sur l'ancre 2, afin de s'assurer que le système ne décroche pas en cas de choc. Ces butées doivent être disposées pour bloquer l'avance de la roue 1 lorsque la masse polaire de l'ancre traverse une barrière magnétique suite à un choc.

[0066] Dans une variante, les butées anti-décrochement sont de type magnétique. Une variante avantageuse comporte ainsi un petit aimant sur chaque pointe de l'étoile anti-décrochement, et une pièce ferromagnétique sur la butée de l'ancre: dans ce cas, lors du premier rebond, l'attraction magnétique permet de dissiper la presque totalité de l'énergie de l'impact en arrêtant d'un coup les rebonds. La position de tirage correcte est reprise ensuite grâce au potentiel magnétique principal (roue-aimant palette). Dans une deuxième variante, les aimants situés sur chaque pointe de l'étoile travaillent en répulsion avec des aimants situés sur les butées anti-décrochement de l'ancre: dans ce cas, tout risque de collision (détruisant les butées) est exclu, tout en laissant plus de liberté dans le dessin de la roue magnétique et dans l'indexage de l'étoile.

[0067] La fig. 21 montre l'ensemble d'un mécanisme résonateur 200, comportant, depuis une source d'énergie comportant ici un bâillet 7, jusqu'au résonateur à balancier-spiral, avec le balancier 3 et le spiral 6, un rouage 8, et un tel mécanisme d'échappement magnétique 100 à ancre magnétique 2.

[0068] Naturellement, si les exemples décrits concernent un mobile d'échappement constitués par une roue, les enseignements de l'invention sont applicables à un mobile de forme quelconque, par exemple les variantes du document EP 13 199 427 où le mobile d'échappement est un cylindre, ou une bande continue, auxquels cas le profil de couche magnétique 4 peut être directement celui des fig. 9 ou 18, ou encore un mobile d'échappement gauche, par exemple et non limitativement avec des ailettes au niveau des rampes ou/et barrières de potentiel.

[0069] L'invention concerne encore un mouvement 300 comportant au moins un tel mécanisme résonateur 200.

[0070] L'invention concerne encore une montre 400 comportant au moins un tel mouvement 300.

Revendications

1. Mobile d'échappement (1) pour mécanisme d'échappement magnétique (100) d'horlogerie, comportant au moins une piste magnétisée (10), avec une succession de plages selon une période de défilement (PD) selon laquelle ses caractéristiques magnétiques se répètent, chaque dite plage comportant une rampe magnétique à champ croissant suivie d'une barrière de champ magnétique à champ croissant et dont le gradient de champ est supérieur à celui de ladite rampe, caractérisé en ce que ladite piste magnétisée (10) est une piste magnétique continue et fermée, s'étendant sur une plus grande surface (S) dudit mobile d'échappement (1), et dont la géométrie en projection sur ladite surface (S) définit lesdites rampes magnétiques et barrières de champ magnétique.
2. Mobile d'échappement (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite piste magnétisée (10) comporte une couche magnétique (4) continue et fermée sur tout le pourtour dudit mobile d'échappement (1).
3. Mobile d'échappement (1) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que ladite piste magnétisée (10) comporte une couche magnétique (4) d'épaisseur constante et de largeur variable.
4. Mobile d'échappement (1) selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit mobile d'échappement (1) comporte au moins un disque dont une face constitue ladite surface (S) et porte ladite piste magnétisée (10), et en ce que ladite largeur de ladite couche magnétique (4) s'étend dans la direction radiale par rapport à l'axe dudit disque.
5. Mobile d'échappement (1) selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ladite piste magnétisée (10) comporte, connexes de part et d'autre d'une frontière (F), une piste interne (11) et une piste externe (12) comportant

- lesdites barrières de champ magnétique en quinconce par rapport à ladite frontière (F), en alternance d'une demi-période.
6. Mobile d'échappement (1) selon la revendication 5, caractérisé en ce que ladite couche magnétique (4) s'étend alternativement sur ladite piste interne (11) et ladite piste externe (12).
 7. Mobile d'échappement (1) selon la revendication 6, caractérisé en ce que ladite couche magnétique (4) comporte, à chaque demi-période, un plot-barrière (41) constituant une dite barrière de champ magnétique, s'étendant d'un seul côté de ladite frontière (F), et en alternance sur ladite piste interne (11) et sur ladite piste externe (12).
 8. Mobile d'échappement (1) selon la revendication 7, caractérisé en ce que lesdits plots-barrières (41) sont reliés, l'un à la suite de l'autre, par une bande (40) de largeur inférieure à la plus faible largeur desdits plots-barrières (41).
 9. Mobile d'échappement (1) selon la revendication 8, caractérisé en ce que ladite bande (40) change de concavité de part et d'autre de chaque dit plot-barrière (41) et reste du même côté de ladite frontière (F) entre deux dits plots-barrières (41) successifs.
 10. Mobile d'échappement (1) selon la revendication 9, caractérisé en ce que ladite bande (40) comporte un rétrécissement (42) à côté de chaque dit plot-barrière (41).
 11. Mobile d'échappement (1) selon la revendication 10, caractérisé en ce que ladite bande (40) comporte un point de rebroussement (46) entre deux dits plots-barrières (41) successifs.
 12. Mobile d'échappement (1) selon la revendication 4 et l'une des revendications 7 à 11, caractérisé en ce que ladite couche magnétique (4) comporte un anneau central (43) relié par des rayons raidisseurs (44) à certains desdits plots-barrières (41) de ladite piste intérieure (11), l'anneau central (43) et les rayons raidisseurs (44) formant ainsi une zone de consolidation mécanique.
 13. Mobile d'échappement (1) selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que ledit mobile d'échappement (1) comporte au moins un substrat assurant la tenue mécanique qui est recouvert d'une couche magnétisée de NdFeB ou de SmCo ou d'alliages de Pt et Co constituant une dite couche magnétique (4).
 14. Mobile d'échappement (1) selon l'une des revendications 4 à 13, caractérisé en ce que ledit mobile d'échappement (1) comporte une pluralité de disques parallèles dont les faces se faisant face portent chacune une dite piste magnétisée (10) en symétrie l'une par rapport à l'autre par rapport à un plan médian perpendiculaire à l'axe commun desdits disques, et en ce que ladite largeur de chaque dite couche magnétique (4) s'étend dans la direction radiale par rapport à l'axe dudit disque.
 15. Mobile d'échappement (1) selon la revendication 14, caractérisé en ce que les deux disques extrêmes de ladite pluralité de disques comportent chacun, du côté opposé à ladite pluralité de disques, une couche ferromagnétique constituant un blindage magnétique protégeant ledit mobile des champs magnétiques extérieurs.
 16. Mécanisme d'échappement magnétique (100) d'horlogerie, comportant, soumis à un couple moteur, un mobile d'échappement (1) selon l'une des revendications 5 à 15, coopérant indirectement avec un résonateur à balancier-spiral par l'intermédiaire d'un arrêté (2), caractérisé en ce que ledit arrêté (2) est un arrêté magnétique pivotant comportant au moins une masse polaire (20) agencée pour coopérer alternativement avec ladite piste interne (11) et ladite piste externe (12) d'une dite couche magnétique (4).
 17. Mécanisme d'échappement magnétique (100) selon la revendication 16, caractérisé en ce que ledit mécanisme d'échappement magnétique (100) comporte un mobile d'échappement (1) selon la revendication 14 ou 15, et en ce que ledit arrêté (2) comporte au moins une masse polaire (20) dans chaque entrefer où lesdits disques parallèles dont les faces se faisant face portent chacune une dite piste magnétisée (10).
 18. Mécanisme d'échappement magnétique (100) selon la revendication 16, caractérisé en ce que ledit arrêté (2) comporte deux masses polaires (201; 202) agencées angulairement pour travailler alternativement, dans les positions angulaires extrêmes dudit arrêté (2), l'une avec ladite piste intérieure (11), l'autre avec ladite piste extérieure (12).
 19. Mécanisme d'échappement magnétique (100) selon l'une des revendications 16 à 18, caractérisé en ce que ladite roue d'échappement (1) comporte des butées mécaniques (19) et en ce que ledit arrêté (2) comporte des butées mécaniques complémentaires (29) pour prévenir tout décrochement en cas de choc.
 20. Mécanisme résonateur (200), comportant une source d'énergie (7) agencée pour entraîner au travers d'un rouage (8) ladite roue d'échappement (1) d'un mécanisme d'échappement magnétique (100) selon l'une des revendications 16 à 19.
 21. Mouvement d'horlogerie (300) comportant au moins un mécanisme résonateur (200) selon la revendication 20.
 22. Montre (400) comportant au moins un mouvement (300) selon la revendication 21.

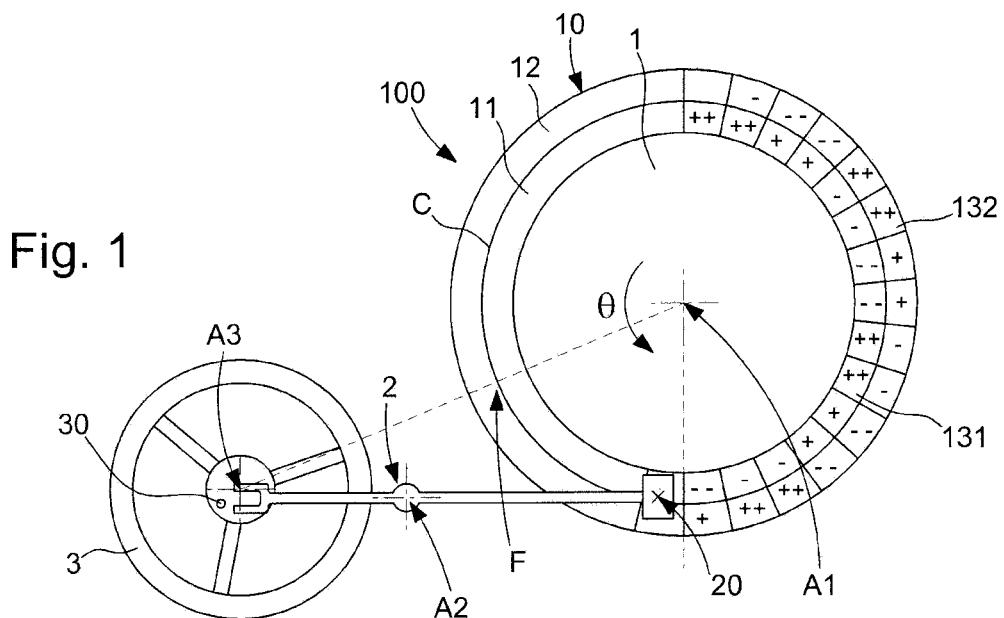
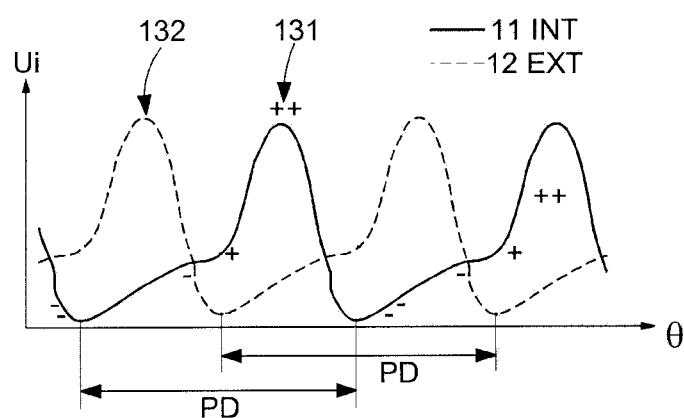
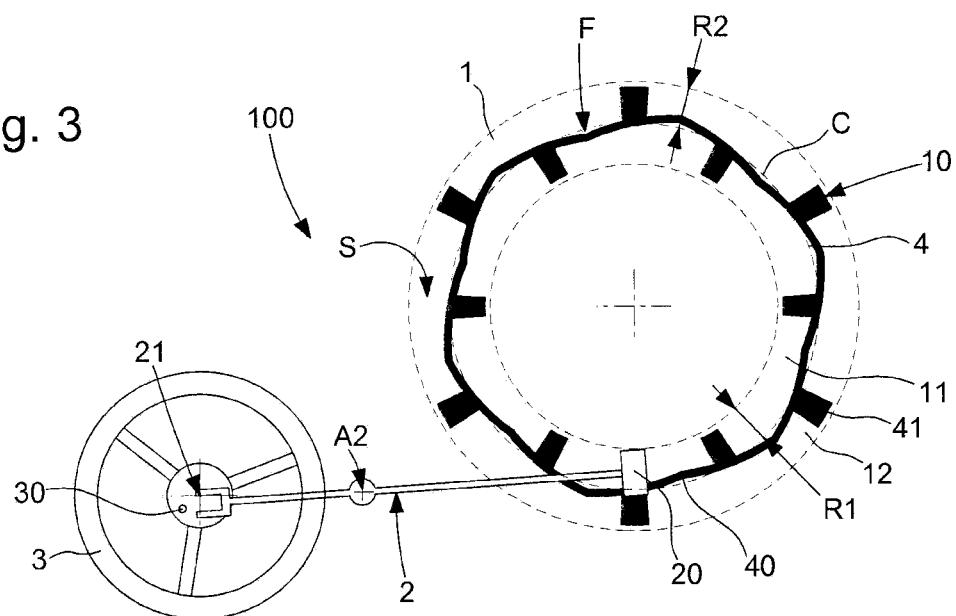
**Fig. 2****Fig. 3**

Fig. 4

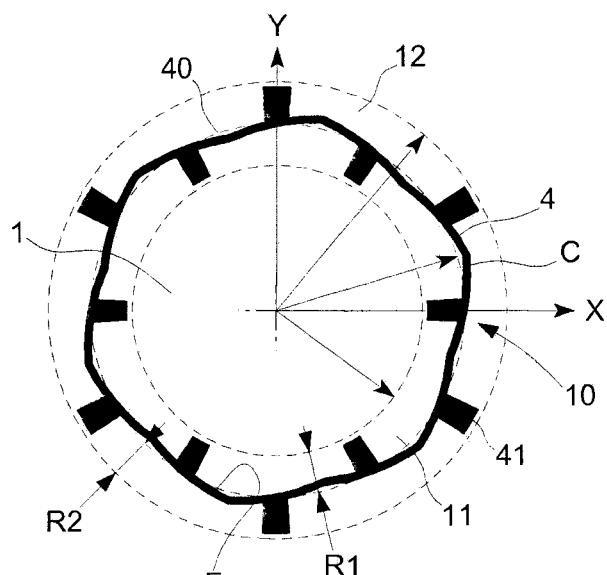


Fig. 5

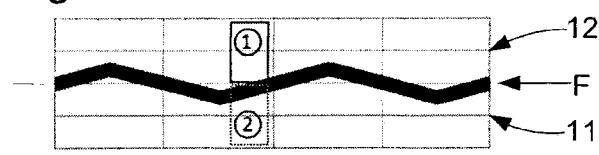


Fig. 6

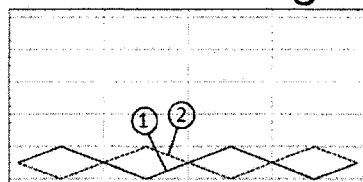


Fig. 7

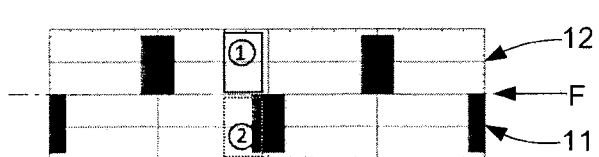


Fig. 8

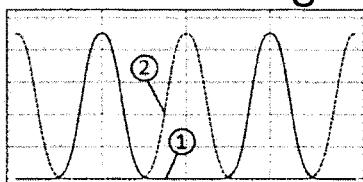


Fig. 9

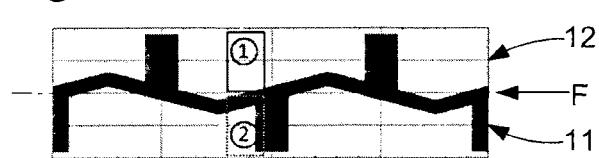


Fig. 10

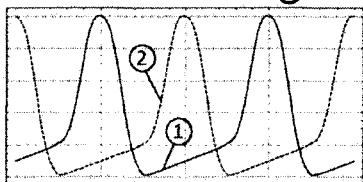


Fig. 11

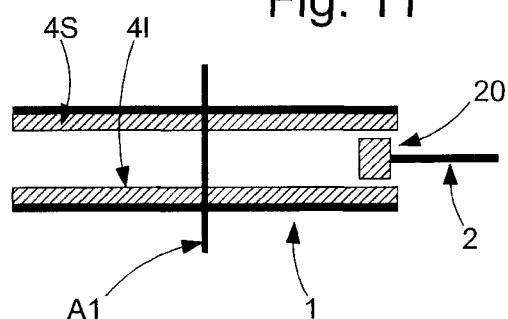


Fig. 12

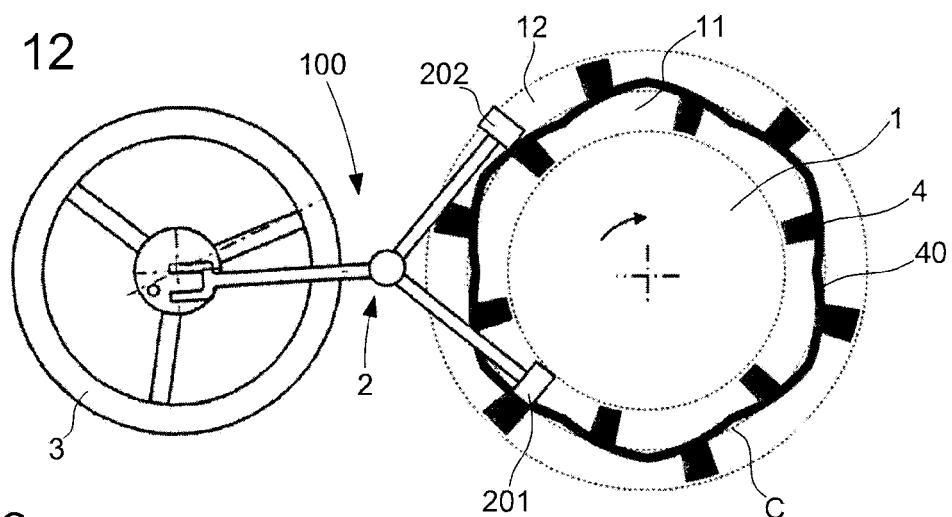


Fig. 13

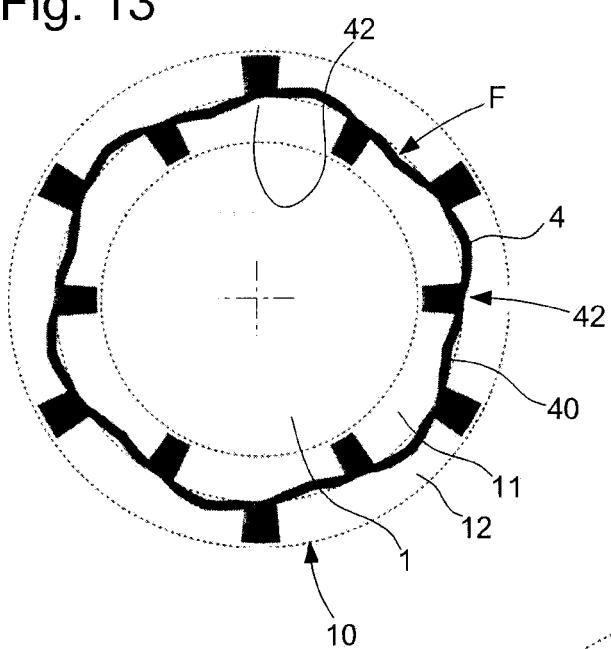


Fig. 14

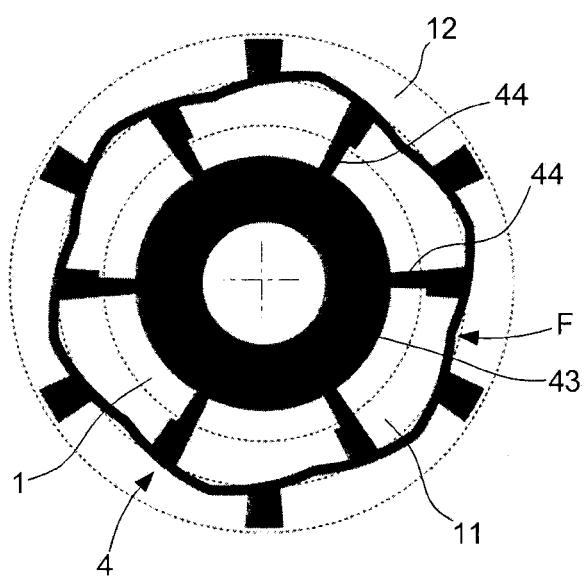


Fig. 15

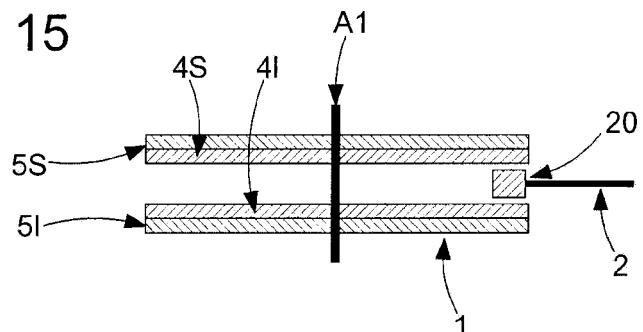


Fig. 16

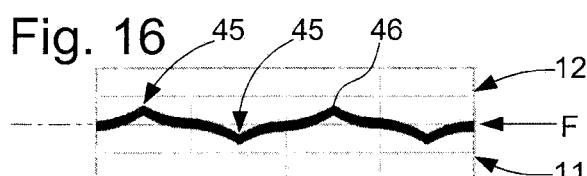


Fig. 17

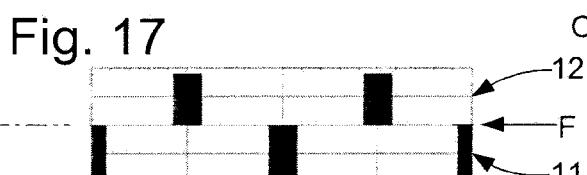


Fig. 18

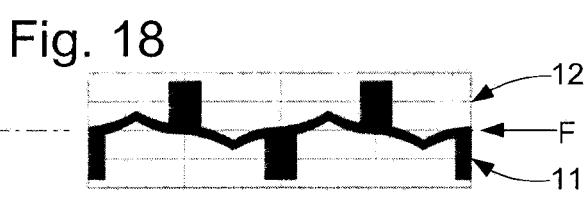


Fig. 19

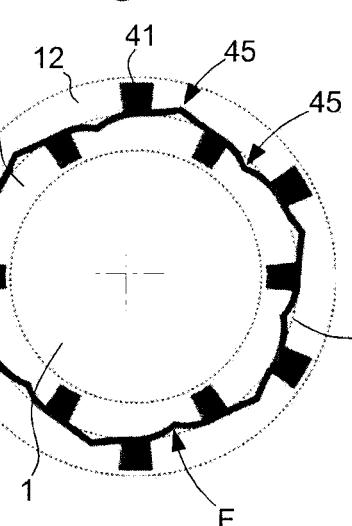


Fig. 20

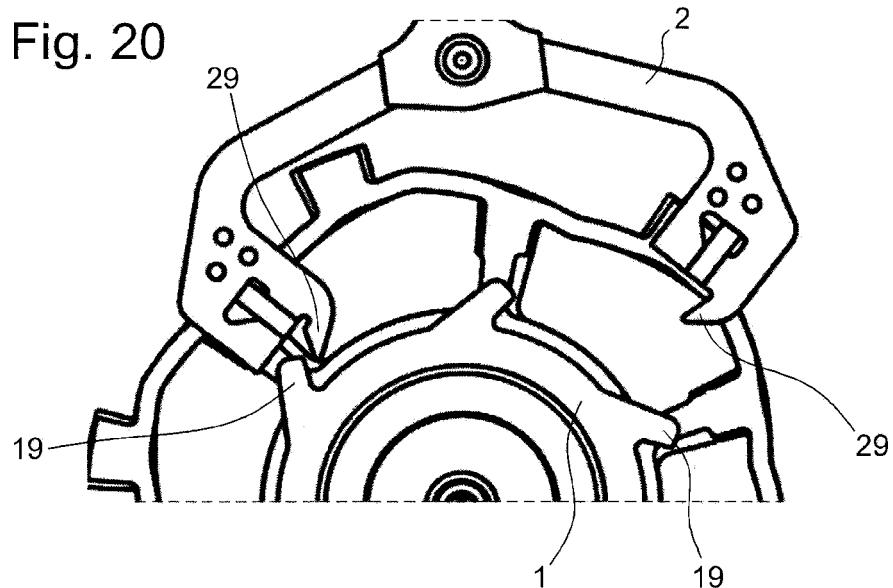


Fig. 21

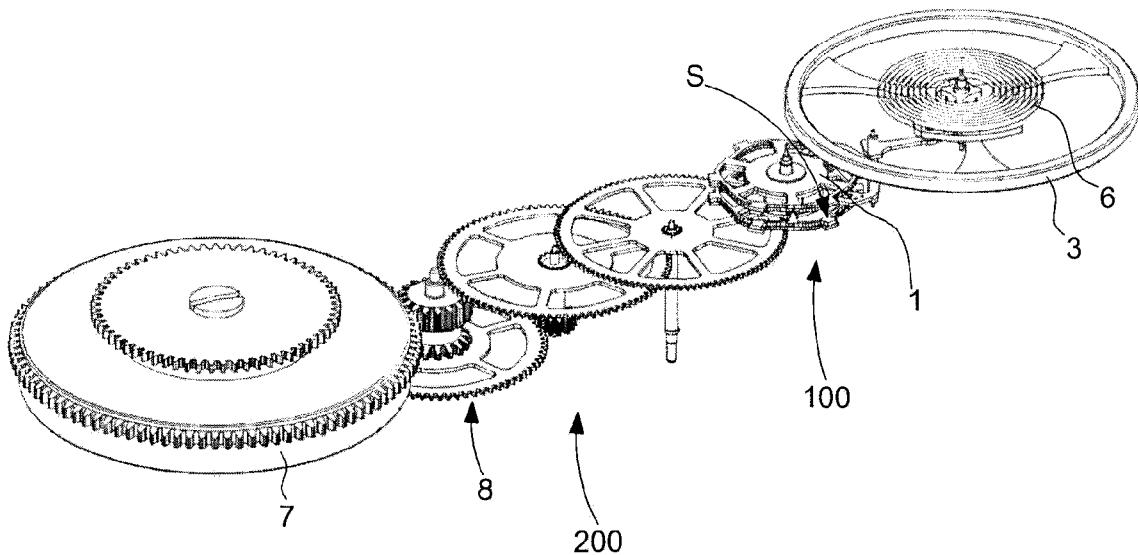


Fig. 22

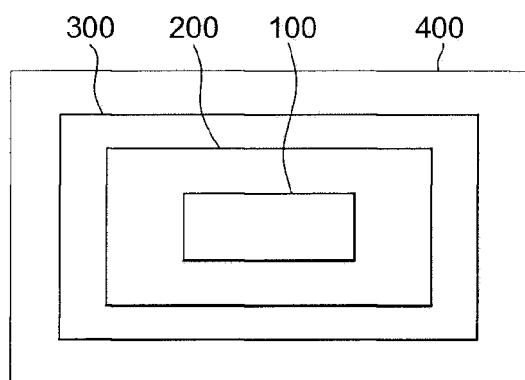


Fig. 23

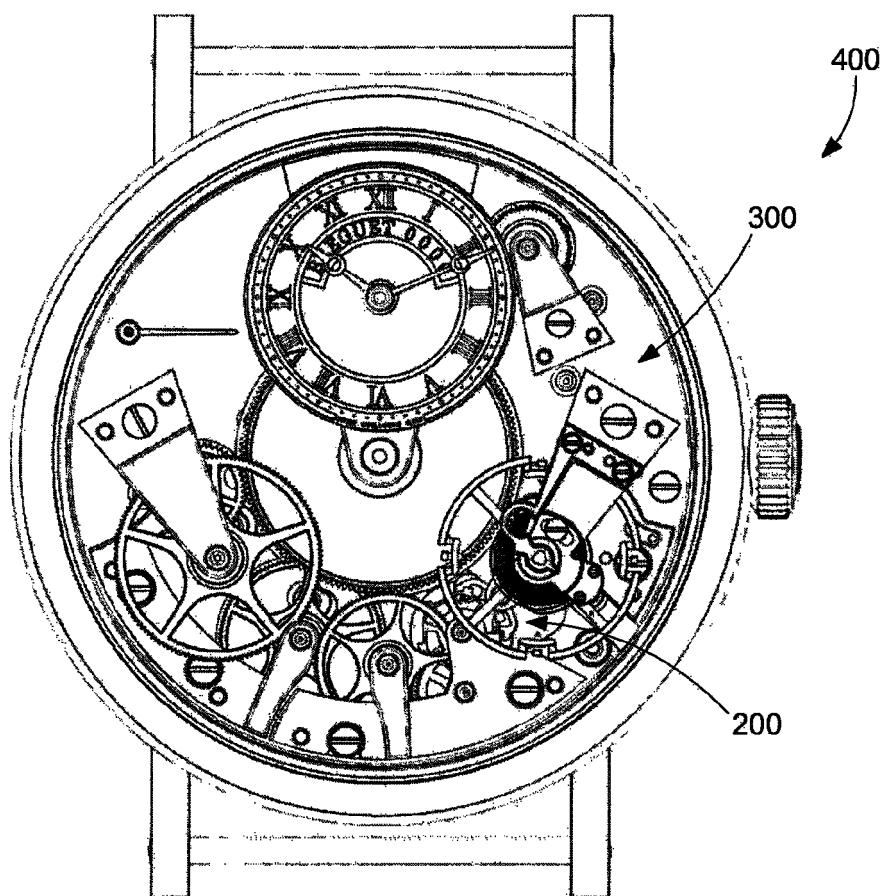


Fig. 24

