



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**26.08.2015 Bulletin 2015/35**

(51) Int Cl.:  
**G04C 5/00 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **14186297.9**

(22) Date de dépôt: **25.09.2014**

(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**

(72) Inventeurs:  
 • **Di Domenico, Gianni**  
**2000 Neuchâtel (CH)**  
 • **Favre, Jérôme**  
**2000 Neuchâtel (CH)**

(30) Priorité: **23.12.2013 EP 13199427**  
**11.07.2014 EP 14176816**

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

(71) Demandeur: **The Swatch Group Research and Development Ltd.**  
**2074 Marin (CH)**

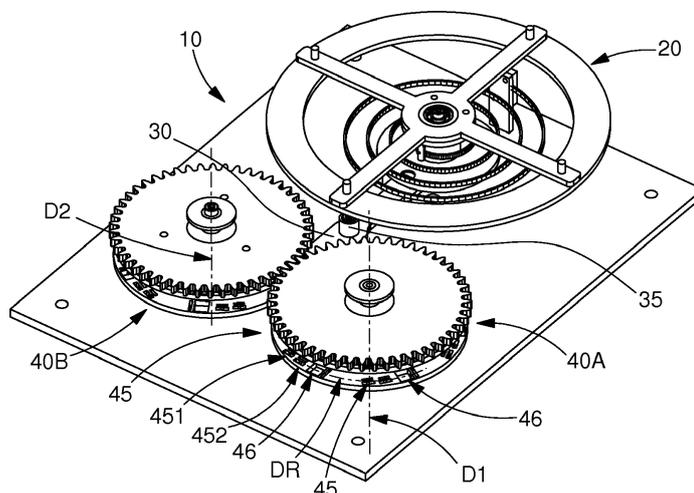
(54) **Echappement naturel**

(57) Mécanisme d'échappement (10) comportant un arrêtoir (30) entre :  
 - un résonateur (20),  
 - deux mobiles d'échappement (40A ; 40B) chacun soumis à un couple.

Chaque mobile d'échappement (40A ; 40B) comporte une piste (50) magnétisée ou ferromagnétique selon une période (PD), ledit arrêtoir (30) comporte au moins une masse polaire (3), magnétisée ou ferromagnétique, mobile transversalement par rapport au défilement d'une

surface (4) de ladite piste (50), ladite masse polaire (3) ou ladite piste (50) crée un champ magnétique entre ladite masse polaire (3) et ladite surface (4), et ladite masse polaire (3) est opposée à une barrière (46) de champ magnétique sur ladite piste (50) juste avant chaque mouvement transversal dudit arrêtoir (30) commandé par l'action périodique dudit résonateur (20), lesdits mobiles d'échappement (40A, 40B) sont chacun agencé pour coopérer alternativement avec ledit arrêtoir (30), et sont liés l'un à l'autre par une liaison cinématique directe.

Fig. 29



## Description

### Domaine de l'invention

**[0001]** L'invention concerne un mécanisme d'échappement d'horlogerie comportant un arrêtair entre d'une part un résonateur, et d'autre part deux mobiles d'échappement chacun soumis à un couple.

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

**[0003]** L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie comportant au moins un tel mouvement ou/et comportant au moins un tel mécanisme d'échappement.

**[0004]** L'invention concerne le domaine des mécanismes d'horlogerie pour la transmission de mouvement, et plus particulièrement le domaine des mécanismes d'échappement.

### Arrière-plan de l'invention

**[0005]** L'échappement à ancre suisse est un dispositif très répandu qui fait partie de l'organe régulateur des montres mécaniques. Ce mécanisme permet simultanément d'entretenir le mouvement d'un résonateur à balancier-spiral et de synchroniser la rotation du rouage d'entraînement au résonateur.

**[0006]** Pour remplir ces fonctions, la roue d'échappement interagit avec l'ancre à l'aide de forces de contact mécaniques, et l'échappement à ancre suisse utilise ce contact mécanique entre la roue d'échappement et l'ancre suisse de sorte à remplir une première fonction de transmission de l'énergie de la roue d'échappement au balancier-spiral d'une part, et à remplir d'autre part une deuxième fonction qui consiste à libérer et bloquer la roue d'échappement par saccades pour qu'elle avance d'un pas à chaque alternance du balancier.

**[0007]** Les contacts mécaniques nécessaires à l'accomplissement de ces premières et deuxième fonction altèrent le rendement, l'isochronisme, la réserve de marche, et la durée de vie de la montre.

**[0008]** Différentes études ont proposé de synchroniser la rotation d'une roue d'entraînement à un résonateur mécanique en utilisant une force sans contact, tels les échappements de type « Clifford ». Ces systèmes utilisent tous une force d'interaction d'origine magnétique qui permet de transférer de l'énergie de la roue d'entraînement au résonateur à un rythme imposé par la fréquence propre du résonateur. Toutefois, ils souffrent tous du désavantage de ne pas remplir la deuxième fonction de libération et blocage saccadés de la roue d'échappement avec certitude. Plus précisément, suite à un choc la roue peut se désynchroniser du résonateur mécanique, et par conséquent les fonctions du régulateur ne sont plus assurées.

**[0009]** Le document US 3518464 au nom de KAWAKAMI TSUNETA décrit un mécanisme d'entraînement électromagnétique d'une roue par un résonateur. Ce do-

cument mentionne que l'utilisation d'un mécanisme d'entraînement magnétique comme échappement a un effet défavorable sur la fréquence. Ce mécanisme comporte une lame vibrante, mais pas d'arrêtair, et encore moins un arrêtair multi-stable. Lors de la rotation de la roue et pour une position fixe du résonateur, L'effort entre la roue et le résonateur varie progressivement entre un minimum (négatif) et un maximum (positif) sur une période angulaire.

**[0010]** Le document DE 1935486U au nom de JUNGHANS décrit un mécanisme d'entraînement à cliquets magnétiques. Ce mécanisme comporte aussi une lame vibrante, mais pas d'arrêtair, et encore moins un arrêtair multi-stable. Ce mécanisme comporte des rampes et des barrières qui mettent en jeu les mouvements combinés et simultanés de la roue et du résonateur.

**[0011]** Le document US 3183426A au nom de HAYDON ARTHUR décrit un échappement tout magnétique comportant une roue d'échappement tout magnétique, dans lequel l'énergie varie continûment et progressivement entre un minimum et un maximum lorsque la roue tourne sur une demi-période puis l'énergie revient à sa valeur minimale sur la demi-période suivante. Autrement dit, l'effort magnétique sur la roue varie progressivement entre un minimum (négatif) et un maximum (positif) sur une période angulaire.

### Résumé de l'invention

**[0012]** La présente invention se propose de remplacer la force de contact mécanique entre l'ancre et la roue d'échappement par une force sans contact d'origine magnétique ou électrostatique, avec un agencement qui permette d'assurer avec certitude et en toute sécurité la deuxième fonction de libération et blocage saccadés de la roue d'échappement.

**[0013]** A cet effet, l'invention concerne un mécanisme d'échappement d'horlogerie comportant un arrêtair entre d'une part un résonateur, et d'autre part deux mobiles d'échappement chacun soumis à un couple, caractérisé en ce que chaque dit mobile d'échappement comporte au moins une piste magnétisée ou ferromagnétique, respectivement électrisée ou conductrice électrostatiquement, avec une période de défilement selon laquelle ses caractéristiques magnétiques, respectivement électrostatiques, se répètent, ledit arrêtair comportant au moins une masse polaire magnétisée ou ferromagnétique, respectivement électrisée ou conductrice électrostatiquement, ladite masse polaire étant mobile selon une direction transversale par rapport à la direction de défilement d'au moins un élément d'une surface de ladite piste, et au moins ladite masse polaire ou ladite piste créant un champ magnétique ou électrostatique dans un entrefer entre ladite au moins une masse polaire et ladite au moins une surface, et encore caractérisé en ce que ladite masse polaire est opposée à une barrière de champ magnétique ou électrostatique sur ladite piste juste avant chaque mouvement transversal dudit arrêtair commandé

par l'action périodique dudit résonateur, et caractérisé en ce que ledit premier mobile d'échappement soumis à un premier couple et ledit deuxième mobile d'échappement soumis à un deuxième couple sont chacun agencé apte à coopérer alternativement avec ledit arrêtôir, et en ce que ledit premier mobile d'échappement et ledit deuxième mobile d'échappement pivotent autour d'axes distincts et sont liés l'un à l'autre par une liaison cinématique directe.

**[0014]** L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant au moins un tel mécanisme d'échappement.

**[0015]** L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie comportant au moins un tel mouvement ou/et comportant au moins un tel mécanisme d'échappement.

#### Description sommaire des dessins

**[0016]** D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, où :

- la figure 1 représente, de façon schématisée, un premier mode de réalisation d'un mécanisme d'échappement selon l'invention, comportant un arrêtôir sous la forme d'une ancre-baguette avec une masse polaire magnétique unique, au niveau d'une baguette d'ancre, et qui coopère avec une roue d'échappement laquelle est magnétisée avec plusieurs pistes secondaires concentriques, chacune de ces pistes comportant une succession de zones magnétisées avec des intensités différentes, et exerçant des efforts de répulsion différents en interaction avec la masse polaire de l'ancre-baguette quand cette dernière est dans leur voisinage immédiat, les zones immédiatement voisines de deux pistes concentriques voisines étant aussi de niveau de magnétisation différent. Cette figure 1 représente une version simplifiée à deux pistes, intérieure et extérieure ;
- la figure 2 représente, de façon schématisée et en vue de dessus, la répartition d'énergie potentielle d'interaction magnétique vue par la masse polaire de l'ancre-baguette de la figure 1 en fonction de sa position par rapport à la roue d'échappement, et la ligne brisée crénelée illustre la trajectoire de la masse polaire de l'ancre lors de son fonctionnement, en regard alternativement de la piste intérieure et de la piste extérieure de la figure 1 ;
- la figure 3 est un diagramme illustrant, toujours pour le premier mode de réalisation des figures 1 et 2, la variation de l'énergie potentielle, en ordonnée, le long des pistes magnétisées, en fonction de l'angle au centre en abscisse, pour chacune des deux pistes de la figure 1 : piste intérieure en trait plein, et piste extérieure en trait interrompu, ce diagramme montrant l'accumulation d'énergie potentielle prélevée de la roue d'échappement sur les tronçons P1-P2 et P3-P4 correspondant chacun à une demi-période, et sa restitution par l'ancre au balancier lors du changement de piste de la masse polaire P2-P3 et P4-P5 ;
- la figure 4 représente, de façon schématisée et en perspective, un deuxième mode de réalisation d'un mécanisme d'échappement selon l'invention, comportant une ancre comportant une pluralité de masses polaires magnétiques, ici sous la forme de deux fourches avec chacune deux masses polaires de part et d'autre du plan d'une roue d'échappement, les deux fourches étant réparties de part et d'autre du point de pivotement de l'ancre, de façon similaire aux palettes d'une ancre suisse classique. La roue d'échappement est munie d'une succession de rampes chacune formée d'une séquence d'aimants d'intensité variable et croissante, chaque rampe étant limitée par une barrière d'aimants, ces différents aimants étant agencés pour interagir successivement avec les deux fourches de l'ancre ;
- la figure 5 est une vue en coupe d'une fourche de l'ancre de la figure 4, et le sens des champs des différents secteurs magnétisés de l'ancre et de la roue d'échappement ;
- la figure 6 représente, en section dans un plan transversal dans lequel coopèrent un mobile d'échappement et un arrêtôir selon l'invention, différentes variantes d'agencement d'aimants en coopération pour concentrer un champ magnétique dans une zone d'entrefer ;
- les figures 7 à 10 illustrent, en vue en coupe dans un plan passant par l'axe d'un mobile d'échappement et par une masse polaire antagoniste d'un arrêtôir en position de coopération, leurs composition respective dans différentes variantes d'exécution :
  - la figure 7 illustre une structure magnétisée d'épaisseur ou intensité variable déposée sur une roue d'échappement, en interaction avec un champ magnétique créé par un circuit magnétique solidaire d'une ancre, l'interaction pouvant alors être répulsive ou attractive ;
  - la figure 8 illustre une structure ferromagnétique d'épaisseur variable au niveau d'une piste de roue d'échappement, créant un entrefer variable en interaction avec le champ magnétique créé par un circuit magnétique solidaire d'une ancre ;
  - la figure 9 représente une roue d'échappement avec deux disques constitués de structures magnétisées d'épaisseur ou intensité variable déposées sur deux surfaces d'une roue d'échappement en interaction avec le champ magnétique créé par un aimant solidaire d'une ancre, qu'encadrent ces deux surfaces, l'interaction pouvant être répulsive ou attractive ;
  - la figure 10 représente une structure mécaniquement similaire à la figure 9, avec, sur les deux surfaces de la roue d'échappement se faisant face, des structures ferromagnétiques d'épaisseur variable créant un entrefer variable en interaction avec le

- champ magnétique créé par un aimant solidaire de l'ancre ;
- les figures 11 à 14 représentent, de façon schématisée, la répartition de champ magnétique dans un plan transversal, passant par l'axe de pivotement de la roue d'échappement du mécanisme de la figure 1, sur les deux pistes secondaires, interne et externe, en corrélation avec les positions illustrées aux figures 2 et 3 : figure 11 : point P1 (et équivalente au point P5 décalé d'une période entière), figure 12 : point P2, figure 13 : point P3, figure 14 : point P4 ;
  - la figure 15 représente, sous forme d'un schéma-blocs, une pièce d'horlogerie comportant un mouvement lequel incorpore un mécanisme d'échappement selon l'invention ;
  - la figure 16 illustre une variante où le mobile d'échappement est un cylindre, l'arrêtior comportant une masse polaire mobile à proximité d'une génératrice de ce cylindre ;
  - la figure 17 illustre une autre variante où le mobile d'échappement est une bande continue ;
  - la figure 18 illustre le débattement d'une masse polaire en regard d'une surface d'une piste d'un mobile d'échappement gauche ;
  - la figure 19 montre la périodicité de déplacement d'une masse polaire le long d'une piste comportant deux pistes secondaires parallèles ;
  - les figures 20 à 25 illustrent des profils de rampe et de barrière, et l'énergie transmise correspondant à chacun de ces profils ;
  - la figure 26 illustre, de façon partielle, une réalisation similaire à celle de la figure 4, mais comportant deux rangées concentriques d'aimants de magnétisation croissante, ceux de la piste intérieure étant polarisés vers le haut, et ceux de la piste extérieure étant polarisés vers le bas ;
  - la figure 27 illustre schématiquement l'orientation des lignes de champ dans une section transversale correspondant à la réalisation de la figure 26 ;
  - la figure 28 illustre la répartition de potentiel dans ce même exemple, avec en trait interrompu un centrage sur la piste, et en trait plein un tirage ;
  - la figure 28A illustre la variation, au long de la période de défilement, d'une part du niveau d'énergie sur le diagramme supérieur, et d'autre part du couple de freinage sur le diagramme inférieur, lequel est aligné en abscisse sur le diagramme supérieur ;
  - les figures 29 à 34 illustrent un mécanisme d'échappement naturel selon l'invention ;
  - les figures 29 et 30 représentent, de façon schématisée et en perspective, un même mécanisme comportant un résonateur ici constitué par un ensemble balancier-spiral classique, qui coopère avec un arrêtior radial, lequel coopère alternativement avec l'un ou l'autre de deux mobiles d'échappement, qui sont liés par engrenage, et qui comportent une pluralité de pistes ici magnétiques, formant rampes et barrières, pour coopérer avec une masse polaire de

cet arrêtior, la figure 30 étant représentée sans les roues dentées que comportent ces mobiles; - les figures 31 à 34 illustrent, en vue en plan, la cinématique de l'alternance de cet arrêtior entre ces deux roues d'échappement.

#### Description détaillée des modes de réalisation préférés

- [0017]** L'invention se propose de remplacer la force de contact mécanique usuelle entre un arrêtior et une roue d'échappement par une force sans contact d'origine magnétique ou électrostatique.
- [0018]** L'invention concerne un mécanisme d'échappement 10 d'horlogerie comportant un arrêtior 30 entre un résonateur 20 et un mobile d'échappement 40.
- [0019]** Selon l'invention, ce mobile d'échappement 40 comporte au moins une piste 50 magnétisée ou ferromagnétique, respectivement électrisée ou conductrice électrostatiquement, avec une période de défilement PD selon laquelle ses caractéristiques magnétiques, respectivement électrostatiques, se répètent.
- [0020]** L'invention est illustrée ici dans le cas préféré d'un mouvement de pivotement, avec un défilement angulaire, et une période de défilement angulaire PD.
- [0021]** Selon cette période de défilement PD cette piste 50 présente des caractéristiques identiques, géométriques et physiques, notamment sa constitution (matériaux), son relief, son revêtement éventuel, sa magnétisation ou son électrisation éventuelle.
- [0022]** Cet arrêtior 30 comporte au moins une masse polaire 3 magnétisée ou ferromagnétique, respectivement électrisée ou conductrice électrostatiquement.
- [0023]** Cette masse polaire 3 est mobile selon une direction transversale DT par rapport à la direction de défilement DD d'au moins un élément d'une surface 4 de la piste 50. Cette mobilité transversale n'implique pas une sortie totale de la piste concernée, l'agencement est variable selon les modes de réalisation, et, dans certains d'entre eux, la masse polaire sort de la piste pendant une partie du mouvement.
- [0024]** Au moins la masse polaire 3 ou la piste 50 crée un champ magnétique ou électrostatique dans un entrefer 5 entre cette au moins une masse polaire 3 et cette au moins une surface 4.
- [0025]** La masse polaire 3 est opposée à une barrière 46 de champ magnétique ou électrostatique sur la piste 50 juste avant chaque mouvement transversal de l'arrêtior 30, lequel mouvement transversal est commandé par l'action périodique du résonateur 20.
- [0026]** Cet arrêtior 30 est multi-stable, et est agencé pour occuper au moins deux positions stables.
- [0027]** De préférence, le champ magnétique ou électrostatique, créé par cette au moins une masse polaire 3 ou par la piste 50, dans un entrefer 5 entre cette au moins une masse polaire 3 et cette au moins une surface 4, génère un couple ou un effort qui s'exerce sur cette au moins une masse polaire 3 et cette au moins une surface 4. Et ce couple ou effort est un couple ou effort

de freinage périodique selon la période de défilement angulaire PD, avec, en partant d'une valeur nulle du couple ou effort, une première demi-période comportant une rampe de potentiel où le couple ou effort de freinage est sensiblement constant autour d'une première valeur V1, et une deuxième partie de période comportant une barrière de potentiel où ledit couple ou effort de freinage augmente et atteint sa valeur maximale qui est une deuxième valeur V2 au moins triple de la première valeur V1, et de même signe que la première valeur V1, tel que visible sur la figure 28A.

**[0028]** Plus particulièrement, chaque piste 50 comporte, avant chaque barrière 46, une rampe 45 interagissant de façon croissante avec une masse polaire 3 avec un champ magnétique, respectivement électrostatique, dont l'intensité varie de façon à produire une énergie potentielle croissante, cette rampe 45 prélevant de l'énergie au mobile d'échappement 40 et chaque barrière de potentiel est plus raide que chaque rampe de potentiel.

**[0029]** Plus particulièrement, le mobile d'échappement 40 comporte, entre deux rampes 45 successives d'une même piste 50 ou de deux pistes 50 voisines selon la direction de défilement DD, une telle barrière de potentiel de champ magnétique, respectivement électrostatique, pour déclencher un arrêt momentané du mobile d'échappement 40 préalable à un basculement de l'arrêt 30 sous l'action périodique de l'oscillateur 20.

**[0030]** Plus particulièrement, et tel que visible sur la figure 28A, le couple ou effort est un couple ou effort de freinage périodique selon la période de défilement angulaire PD. Et, en partant d'une valeur nulle du couple ou effort en début de la période PD, ce couple ou effort de freinage est d'intensité positive avec une valeur croissante pendant un premier angle T1 jusqu'à l'atteinte d'un palier et avec une première valeur V1 sensiblement constante sur un deuxième angle T2, l'ensemble du premier angle T1 et du deuxième angle T2 constituant une rampe de potentiel, jusqu'à l'atteinte d'un seuil S, après lequel l'intensité augmente ensuite jusqu'à une deuxième valeur maximale V2 supérieure à la première valeur V1 pendant un troisième angle T3. La fin dudit troisième angle T3 correspond à un sommet MC à un niveau maximal de couple ou d'effort à la deuxième valeur V2, après lequel l'intensité du couple ou effort chute sur un quatrième angle T4 pour atteindre une valeur nulle, à laquelle correspond un niveau maximal d'énergie ME. L'ensemble du troisième angle T3 et du quatrième angle T4 constitue une barrière de potentiel sur laquelle le couple ou effort de freinage est positif. Puis au-delà le couple ou effort de freinage poursuit sa chute pendant un cinquième angle T5 jusqu'à une intensité minimale négative en un creux mc, avant de remonter, sur un sixième angle T6 pour repasser en valeur positive et aborder la période suivante, et où  $TD=T1+T2+T3+T4+T5+T6$ , et où  $T1+T2 \geq TD/2$ .

**[0031]** Plus particulièrement, la barrière 46 définit un seuil de discontinuité par augmentation ou diminution brusque du couple ou effort, sur une course correspon-

dant au troisième angle T3, et ce troisième angle T3 est inférieur au tiers du deuxième angle T2.

**[0032]** Plus particulièrement, la deuxième valeur maximale V2 est supérieure à six fois la première valeur V1.

5 **[0033]** De façon avantageuse, le mécanisme 10 comporte encore des moyens d'arrêt mécanique pour empêcher l'arrêt 30 de passer en couple négatif pendant un cinquième angle T5 ou un sixième angle T6 de la deuxième demi-période.

10 **[0034]** Dans une réalisation particulière, ce mécanisme d'échappement 10 accumule de l'énergie reçue du mobile d'échappement 40 pendant chaque moitié de la période PD, en stocke une partie sous forme d'énergie potentielle, et la restitue de façon périodique au résonateur 20. Par analogie, cette fonction d'accumulation est équivalente à l'armage progressif d'un ressort dans un mécanisme. Cette restitution d'énergie a lieu entre ces moitiés de période, lors du mouvement transversal de l'arrêt 30 commandé par l'action périodique du résonateur 20. La masse polaire 3 passe alors d'une première demi-course PDC transversale relative par rapport au mobile d'échappement 40 à une deuxième demi-course DDC transversale relative par rapport au mobile d'échappement 40, ou inversement. Cette masse polaire 3 est face à une telle barrière 46 de champ magnétique ou électrostatique sur la piste 50 juste avant chaque mouvement transversal de l'arrêt 30 commandé par le résonateur 20 par basculement d'une demi-course à l'autre.

20 **[0035]** Dans une réalisation particulière, le champ magnétique ou électrostatique, généré par la masse polaire 3 ou/et la piste 50, est d'une intensité plus grande dans la première demi-course PDC que dans la deuxième demi-course DDC pendant une première moitié de ladite période de défilement PD, et d'une intensité plus grande dans la deuxième demi-course DDC que dans la première demi-course PDC pendant une deuxième moitié de la période de défilement PD.

30 **[0036]** Plus particulièrement, le résonateur 20 comporte au moins un oscillateur 2 à mouvement périodique. Le mobile d'échappement 40 est alimenté par une source d'énergie telle qu'un barillet ou similaire. L'arrêt 30 assure d'une part une première fonction de transmission de l'énergie du mobile d'échappement 40 au résonateur 20, et d'autre part une deuxième fonction de libération et de blocage par saccades du mobile d'échappement 40 pour son avance d'un pas lors d'un mouvement de l'arrêt 30 commandé par le résonateur 20 à chaque alternance de l'oscillateur 2. Cette au moins une piste 50 est animée d'un mouvement de défilement selon une trajectoire de défilement TD.

40 **[0037]** De préférence chaque masse polaire 3 est mobile selon une direction transversale DT par rapport à la piste 50, selon une première demi-course PDD et une deuxième demi-course DDC de part et d'autre d'une position médiane PM fixe, selon une trajectoire transversale TT, de préférence sensiblement orthogonale à la trajectoire de défilement TD de la piste 50.

**[0038]** C'est au niveau d'un entrefer 5 compris entre une telle masse polaire 3 et une surface 4 que comporte une telle piste 50 et qui fait face à cette masse polaire 3, que cette piste 50 ou/et cette masse polaire 3 crée ce champ magnétique ou électrostatique qui permet de créer un système de forces magnétiques ou électrostatiques sur l'arrêt 30 et sur le mobile d'échappement 40, en lieu et place des forces mécaniques de l'art antérieur.

**[0039]** Le mécanisme d'échappement 10 selon l'invention accumule de l'énergie potentielle transmise depuis la source d'énergie par l'intermédiaire du mobile d'échappement 40 pendant chaque première moitié ou deuxième moitié de la période de défilement PD. En fin de chaque demi-période, la masse polaire 3 est alors face à une barrière 46 de champ magnétique ou électrostatique au niveau de la partie de la piste 50 face à laquelle elle évolue, juste avant le mouvement transversal de l'arrêt 30 commandé par le résonateur 20. C'est alors que le mécanisme d'échappement 10 restitue l'énergie correspondante à l'oscillateur 2 lors du mouvement transversal de l'arrêt 30 commandé périodiquement par le résonateur 20 entre les première moitié et deuxième moitié de la période de défilement PD. Lors de ce mouvement transversal, cette masse polaire 3 passe de la première demi-course PDC à la deuxième demi-course DDC, ou inversement.

**[0040]** Le mobile d'échappement 4 peut être constitué de différentes manières : sous la forme classique d'une roue d'échappement 400 comme sur les figures 1, 4 et 29, d'une double roue comme sur les figures 9 et 10, ou sous la forme d'un cylindre tel que visible sur la figure 16, ou encore d'une bande continue tel que visible sur la figure 17, ou autre. Le présent exposé concerne le cas général d'un mobile (non nécessairement pivotant), et l'horloger saura l'appliquer au composant qui l'intéresse, notamment une roue simple ou multiple.

**[0041]** De préférence, les caractéristiques du champ magnétique ou électrostatique sont alternées entre la première demi-course PDC et la deuxième demi-course DDC, avec un déphasage d'une moitié de la période de défilement PD de la piste 50 par rapport à la masse polaire 3. Mais il est également possible de faire fonctionner le dispositif avec, par exemple, des intensités de champ différentes, tout en respectant l'allure de répartition différentielle du champ entre différents secteurs. Ce peut être le cas par exemple dans la réalisation de la figure 1, où des secteurs angulaires délimités par des rayons différents n'auront nécessairement pas exactement les mêmes caractéristiques.

**[0042]** On appelle ici direction transversale DT une direction qui est sensiblement parallèle à la trajectoire transversale TT de la masse polaire 3, ou qui la tangente en sa position médiane PM, tel que visible sur la figure 18.

**[0043]** On appelle ici direction axiale DA une direction qui est orthogonale à la fois à une direction transversale DT sensiblement parallèle à la trajectoire transversale TT de la masse polaire, et à la direction de défilement

DF de la piste 50, tangente à la trajectoire de défilement TD au niveau de la position médiane PM.

**[0044]** On appelle plan de piste PP le plan défini par la position médiane PM, la direction transversale DT et par la direction de défilement DF.

**[0045]** De préférence, au moins l'un des deux composants antagonistes (on entend ici par « antagonistes » que ces composants se font face, sans pour autant qu'il y ait entre eux une répulsion, une contrariété, ou une autre interaction), constitués par la masse polaire 3 et la piste 50 porteuse de la surface 4 qui lui fait face au niveau de l'entrefer 5 au moins sur une partie de leur course relative, comporte des moyens actifs magnétiques, respectivement électrostatiques, qui sont agencés pour créer ce champ magnétique, respectivement électrostatique.

**[0046]** On entend ici par « actif » un moyen qui crée un champ, et par « passif » un moyen qui subit un champ. Le terme « actif » n'implique pas ici qu'un composant soit parcouru par un courant.

**[0047]** Dans une variante particulière, la composante de ce champ selon la direction axiale DA, est supérieure à sa composante dans ce plan de piste PP, au niveau de leur interface dans l'entrefer 5 entre la masse polaire 3 et la surface 4 qui lui fait face.

**[0048]** Dans une variante particulière, la direction de ce champ magnétique ou électrostatique est sensiblement parallèle à cette direction axiale DA du mobile d'échappement 40. On entend par « sensiblement parallèle » un champ dont la composante selon la direction axiale DA est au moins quatre fois supérieure à sa composante dans le plan PP.

**[0049]** L'autre composant antagoniste au niveau de l'entrefer 5 comporte alors, ou bien des moyens passifs magnétiques, respectivement électrostatiques, pour coopérer avec le champ ainsi créé, ou bien également des moyens actifs magnétiques, respectivement électrostatiques, qui sont agencés pour créer un champ magnétique, respectivement électrostatique au niveau de l'entrefer 5, ce champ pouvant, selon le cas, être en concordance ou en opposition avec le champ émis par le premier composant, de façon à générer une répulsion ou au contraire une attraction au niveau de l'entrefer 5.

**[0050]** Dans une réalisation particulière, visible dans le premier mode de réalisation à la figure 1 et dans un deuxième mode de réalisation à la figure 4, l'arrêt 30 est disposé entre un résonateur 20 à balancier-spiral 2 d'axe de pivotement A, et au moins une roue d'échappement 400 qui pivote autour d'un axe de pivotement D (lequel définit avec l'axe de pivotement du balancier-spiral A une direction de référence angulaire DREF). Cet arrêt 30 assure la deuxième fonction de libération et de blocage par saccades du mobile d'échappement 40 pour son avance d'un pas à chaque alternance du balancier-spiral 2.

**[0051]** La masse polaire 3 est agencée pour se mouvoir, sur au moins une partie de sa course transversale, en regard d'au moins un élément d'une surface 4 du mo-

bile d'échappement 40. Dans le premier mode de la figure 1, la masse polaire est toujours en regard d'une telle surface 4 ; dans le deuxième mode de la figure 4, l'arrêt 30 comporte deux masses polaires 3A, 3B, et chacune d'elle est, pendant une demi-période face à une telle surface 4, et pendant l'autre demi-période éloignée de cette surface 4, dans une position où l'interaction magnétique ou électrostatique entre elles est négligeable.

**[0052]** Dans une variante, chacun des deux composants antagonistes de part et d'autre de l'entrefer 5, constitués par la masse polaire 3 et la piste 50 porteuse de la surface 4 qui lui fait face au moins sur une partie de leur course relative, comporte des moyens actifs magnétiques, respectivement électrostatiques, qui sont agencés pour créer un champ magnétique, respectivement électrostatique, de direction sensiblement parallèle à la direction axiale DA, au niveau de leur interface dans l'entrefer 5.

**[0053]** Dans une réalisation avantageuse, la masse polaire 3 ou/et la piste 50 porteuse de la surface 4 qui lui fait face au niveau de cet entrefer 5 comporte des moyens magnétiques, respectivement électrostatiques, qui sont agencés pour créer dans l'entrefer 5, dans au moins un plan transversal PT défini par la position médiane PM de la masse polaire 3, par la direction transversale DT et la direction axiale DA, et sur la plage transversale, selon ladite direction transversale, de déplacement relatif de la masse polaire 3 et de la surface 4, un champ magnétique, respectivement électrostatique, d'intensité variable et non nulle à la fois en fonction de la position transversale de la masse polaire 3 selon la direction transversale DT, et en fonction périodique du temps.

**[0054]** Dans une réalisation particulière, chaque telle masse polaire 3 et chaque telle piste 50 porteuse de la surface 4 qui lui fait face comportent de tels moyens magnétiques, respectivement électrostatiques, qui sont agencés pour créer un champ magnétique, respectivement électrostatique, entre au moins une telle masse polaire 3 et au moins une surface 4, dans au moins ce plan transversal PT. Ce champ magnétique, respectivement électrostatique, créé par ces composants antagonistes, est d'intensité variable et non nulle à la fois en fonction de la position radiale de la masse polaire 3 selon la direction transversale DT, et en fonction périodique du temps.

**[0055]** On comprend qu'il s'agit de créer les conditions de création d'une force d'origine magnétique ou électrostatique entre l'arrêt 30 et le mobile d'échappement 40, de façon à permettre un entraînement, ou a contrario un freinage, entre ces deux composants, sans contact mécanique direct entre eux.

**[0056]** Les conditions de création d'un champ magnétique ou électrostatique par un des composants, et de la réception de ce champ par le composant antagoniste, lequel est susceptible d'émettre lui-même un champ magnétique ou électrostatique, permettent d'envisager différents types de fonctionnement, en répulsion ou en attraction relative de ces composants antagonistes. En

particulier, des architectures multi-niveaux permettent un équilibrage des couples ou efforts selon une direction de pivotement du mobile d'échappement 40 (notamment la direction de l'axe de pivotement si le mobile 40 pivote autour d'un axe unique), et un maintien relatif en position selon la direction axiale DA entre l'arrêt 30 et le mobile d'échappement 40, comme il sera exposé plus loin.

**[0057]** Dans une réalisation particulière, la composante du champ magnétique, respectivement électrostatique, selon la direction axiale DA, est de même sens sur toute la plage du déplacement relatif de la masse polaire 3 et de la surface 4 qui lui fait face.

**[0058]** Différentes configurations sont réalisables, selon la nature du champ, et selon que l'arrêt 30, ou/et le mobile d'échappement 40, joue un rôle actif ou passif en ce qui concerne l'établissement d'un champ magnétique ou électrostatique dans au moins un entrefer entre cet arrêt 30, et ce mobile d'échappement 40, en effet, il peut exister plusieurs entrefers 5 entre différentes masses polaires 3 de l'arrêt 30 et différentes pistes du mobile d'échappement 40. De façon non limitative, différentes variantes avantageuses sont décrites ci-après.

**[0059]** Ainsi, dans une variante, chaque masse polaire 3 que porte l'arrêt 30 est magnétisée, respectivement électrisée, de façon permanente, et génère un champ magnétique, respectivement électrostatique, constant, et chaque surface 4 coopérant avec chaque masse polaire 3 définit avec la telle masse polaire 3 concernée un entrefer 5 dans lequel le champ magnétique, respectivement électrostatique, est variable selon l'avance du mobile d'échappement 40 sur sa trajectoire et est variable selon la position transversale relative de la masse polaire 3 concernée par rapport au mobile d'échappement 40 et qui est liée au débattement angulaire de l'arrêt 30 s'il est pivotant comme dans le cas d'une ancre, ou à son débattement transversal s'il est entraîné autrement par le résonateur 20.

**[0060]** Dans une autre variante, chaque masse polaire 3 que porte l'arrêt 30 est ferromagnétique, respectivement conductrice électrostatiquement, de façon permanente, et chaque surface 4 coopérant avec chaque masse polaire 3 définit avec la masse polaire 3 concernée un entrefer 5 dans lequel le champ magnétique, respectivement électrostatique, est variable selon l'avance du mobile d'échappement 40 sur sa trajectoire et est variable selon la position transversale relative de la masse polaire 3 concernée par rapport au mobile d'échappement 40 et qui est liée au débattement angulaire de l'arrêt 30 s'il est pivotant comme dans le cas d'une ancre, ou à son débattement transversal s'il est entraîné autrement par le résonateur 20.

**[0061]** Dans une autre variante, chaque piste 50 porteuse d'une telle surface 4 antagoniste est magnétisée, respectivement électrisée, de façon permanente et uniforme, et génère un champ magnétique, respectivement électrostatique, constant à sa surface tournée vers la masse polaire 3 concernée, et comporte un relief agencé pour générer une hauteur d'entrefer variable dans l'en-

trefer 5, laquelle hauteur d'entrefer varie selon l'avance du mobile d'échappement 40 sur sa trajectoire, et varie selon la position angulaire relative de la masse polaire 3 concernée par rapport au mobile d'échappement 40.

**[0062]** Dans une autre variante, chaque piste 50 porteuse d'une telle surface 4 est ferromagnétique, respectivement conductrice électrostatiquement, de façon permanente, et comporte un relief agencé pour générer une hauteur d'entrefer dans l'entrefer 5, laquelle hauteur d'entrefer est variable selon l'avance du mobile d'échappement 40 sur sa trajectoire, et est variable selon la position transversale relative de la masse polaire 3 concernée par rapport au mobile d'échappement 40.

**[0063]** Dans une autre variante, chaque piste 50 porteuse d'une telle surface 4 est magnétisée, respectivement électrisée, de façon permanente et variable selon la position locale sur cette piste, et génère un champ magnétique, respectivement électrostatique, qui est variable selon l'avance du mobile d'échappement 40 sur sa trajectoire, et est variable selon la position transversale relative de la masse polaire 3 concernée par rapport au mobile d'échappement 40, au niveau de sa surface tournée vers la masse polaire 3 concernée.

**[0064]** Dans une autre variante, chaque piste 50 porteuse d'une telle surface 4 est ferromagnétique, respectivement conductrice électrostatiquement, de façon permanente et variable selon la position locale sur cette piste, de façon à faire varier la force magnétique, respectivement électrostatique, exercée entre l'arrêteur 3 et le mobile d'échappement 40 sous l'effet de leur mouvement relatif, laquelle force est variable selon l'avance du mobile d'échappement 40 sur sa trajectoire et est variable selon la position transversale relative de la masse polaire 3 concernée par rapport au mobile d'échappement 40, au niveau de sa surface tournée vers la masse polaire 3 concernée.

**[0065]** Dans une autre variante, chaque masse polaire 3 circule entre deux surfaces 4 du mobile d'échappement 40, et un tel champ magnétique, respectivement électrostatique, s'exerce sur chaque côté de la masse polaire 3 selon la direction axiale DA de façon symétrique de part et d'autre de la masse polaire 3 de façon à exercer des couples ou efforts égaux et opposés sur la masse polaire 3 dans la direction axiale DA. On obtient ainsi un équilibrage axial et un couple ou effort minime sur les pivots éventuels, et donc des pertes par frottement minimales.

**[0066]** Dans une autre variante, chaque surface 4 du mobile d'échappement 40 circule entre deux surfaces 31, 32, de chaque masse polaire 3, et un tel champ magnétique, respectivement électrostatique, s'exerce sur chaque côté de la surface 4 selon la direction axiale DA de façon symétrique de part et d'autre de la surface 4, de façon à exercer des couples ou efforts égaux et opposés sur la piste 50 porteuse de la surface 4 dans la direction axiale DA.

**[0067]** Dans une autre variante, la piste 50 du mobile d'échappement 40 comporte, sur l'une de ses deux sur-

faces latérales 41, 42, une pluralité de pistes secondaires 43 voisines les unes des autres.

**[0068]** Dans l'application particulière où le mobile d'échappement 40 est une roue d'échappement 400, ces pistes sont concentriques les unes aux autres par rapport à l'axe de pivotement D de la roue d'échappement 400, tel que visible sur les figures 1 et 2 qui montrent deux telles pistes secondaires, interne 43 INT et externe 43 EXT, et où chaque piste secondaire 43 comporte une succession angulaire de zones primaires élémentaires 44, chaque zone primaire 44 présentant un comportement magnétique, respectivement électrostatique, qui est différent, d'une part de celui de chaque autre zone primaire 44 adjacente sur la piste secondaire 43 à laquelle elle appartient, et d'autre part de celui de chaque autre zone primaire 44 qui lui est adjacente et qui est située sur une autre piste secondaire 43 adjacente à la sienne.

**[0069]** Dans d'autres variantes de réalisation où la piste 50 n'est pas assimilable à un disque, par exemple sur les exemples des figures 16 et 17, les pistes secondaires 43 ne sont pas concentriques, mais voisines et de préférence sensiblement parallèles les unes aux autres. Mais la différence de comportement magnétique, respectivement électrostatique, de deux zones primaires 44 immédiatement voisines, s'applique de la même façon. Les figures 18 et 19 montrent le débattement d'une masse polaire 3 dans une variante comportant deux pistes secondaires 43A et 43B, adjacentes et parallèles, déphasées d'une demi-période.

**[0070]** Plus particulièrement, la succession de ces zones primaires 44 sur chaque telle piste secondaire 43 donnée est périodique selon une période spatiale T, angulaire ou linéaire selon le cas, constituant un sous-multiple entier d'une révolution du mobile d'échappement 40. Cette période spatiale T correspond à la période de défilement PD de la piste 50.

**[0071]** Dans une réalisation avantageuse, chaque telle piste secondaire 43 comporte, sur chaque telle période spatiale T, une rampe 45 comportant une succession, notamment monotone, de telles zones primaires 44 interagissant de façon croissante avec une telle masse polaire 3 avec un champ magnétique, respectivement électrostatique, dont l'intensité varie de façon à produire une énergie potentielle croissante depuis une zone d'interaction minimale 4MIN vers une zone d'interaction maximale 4MAX, la rampe 45 prélevant de l'énergie au mobile d'échappement 40.

**[0072]** De façon particulière et propre à l'invention, le mobile d'échappement 40 comporte, entre deux telles rampes 45 successives et de même sens, une telle barrière 46 de potentiel de champ magnétique, respectivement électrostatique, pour déclencher un arrêt momentané du mobile d'échappement 40 préalable à un basculement de l'arrêteur 30 sous l'action du résonateur 20, notamment d'un balancier-spiral 2.

**[0073]** De préférence, chaque telle barrière 46 de potentiel est plus raide que chaque telle rampe 45, en ce

qui concerne son gradient de potentiel.

**[0074]** Il s'agit de créer des barrières d'énergie : dans les modes de réalisation présentés, ces barrières sont constituées par des barrières de champ. Les variantes illustrées correspondent ainsi à des rampes de champ magnétique, respectivement électrostatique, de champ, et à des barrières de champ.

**[0075]** Plus précisément, le mobile d'échappement 40 s'immobilise dans une position où le gradient de potentiel est équivalent au couple d'entraînement.

**[0076]** Cette immobilisation n'est pas instantanée, il existe en effet un phénomène de rebond, qui est amorti, soit par les frottements naturels, notamment de pivotement, dans le mécanisme, soit par des frottements créés à cet effet, de type visqueux comme des frottements par courants de Foucault (par exemple sur une surface en cuivre ou similaire solidaire du mobile d'échappement 40) ou des frottements aérodynamiques ou autres, ou encore de type frottements secs de type ressort sautoir ou autre. Typiquement, le mobile d'échappement 40 est tendu par un mécanisme en amont à couple constant ou à force constante, typiquement un barillet. Le mobile d'échappement 4 oscille donc, avant de s'arrêter en position, avant le basculement transversal de la masse polaire 3, et les pertes sont nécessaires pour cesser l'oscillation dans un intervalle de temps compatible avec la cinématique.

**[0077]** La transition entre la rampe et la barrière peut être conçue et ajustée de sorte à obtenir une dépendance particulière de l'énergie transmise au résonateur en fonction du couple d'entraînement.

**[0078]** Si une rampe sans rupture de pente permet de faire fonctionner l'invention, il est plus avantageux de combiner une rampe 45 avec un certain gradient, et une barrière 46 avec un autre gradient, la forme de la zone de transition entre la rampe 45 et la barrière 46 ayant une influence notable sur le fonctionnement.

**[0079]** On comprend que, selon l'invention, le système accumule de l'énergie lors du gravissement de la rampe, et restitue de l'énergie au résonateur lors du mouvement transversal de la masse polaire. Le point d'arrêt définit la quantité d'énergie ainsi restituée, ce qui dépend de la forme de cette zone de transition entre rampe et barrière.

**[0080]** Les figures 20, 22, et 24 illustrent des exemples non limitatifs de profil de rampe et de barrière, avec en abscisse le défilement, ici un angle de pivotement  $e$ , et ordonnée l'énergie  $U_i$  exprimée en mJ. Les figures 21, 23, et 25 illustrent l'énergie transmise, en corrélation avec chaque profil de rampe et de barrière, avec la même abscisse, et, en ordonnée, le couple  $CM$  en mN.m.

**[0081]** Les figures 20 et 21 illustrent une transition douce avec un rayon entre la rampe et la barrière, le point d'arrêt du système dépend du couple appliqué, et l'énergie transmise au résonateur dépend aussi de ce couple appliqué.

**[0082]** Les figures 22 et 23 montrent une transition avec cassure de pente entre rampe et barrière, le point où le système s'arrête ne dépend alors pas du couple

appliqué, et l'énergie transmise au résonateur est constante.

**[0083]** Les figures 24 et 25 concernent une transition de forme exponentielle entre rampe et barrière, choisie pour que l'énergie transmise au résonateur, qui est approximativement proportionnelle au couple appliqué, et notamment dans une variante particulière, soit sensiblement égale au couple d'entraînement. Cet exemple est intéressant car il s'approche au plus près d'un échappement à ancre suisse et permet donc d'incorporer la présente invention dans un mouvement existant avec le minimum de changements.

**[0084]** Dans une variante avantageuse de l'invention, le mobile d'échappement 40 comporte encore, en fin de chaque telle rampe 45 et juste avant chaque barrière 46, une variation transversale de répartition de champ magnétique ou électrostatique quand la surface 4 est magnétisée, respectivement électrisée, ou une variation de profil quand la surface 4 est ferromagnétique, respectivement conductrice électrostatiquement, de façon à provoquer un tirage sur la masse polaire 3.

**[0085]** Avantageusement le mobile d'échappement 40 comporte, après chaque telle barrière 46 de potentiel de champ magnétique ou électrostatique, une butée mécanique anti-choc.

**[0086]** Dans une variante, quand le mobile d'échappement 40 comporte plusieurs pistes secondaires 43, au moins deux telles pistes secondaires 43 adjacentes comportent, l'une par rapport à l'autre, une alternance de telles zones d'interaction minimale 4MIN et de telles zones d'interaction maximale 4MAX avec un déphasage angulaire correspondant à la moitié de la période spatiale  $T$ .

**[0087]** Dans une variante de l'invention, l'arrêt 30 comporte une pluralité de telles masses polaires 3 agencées pour coopérer simultanément avec des telles pistes secondaires 43 distinctes, tel que visible notamment dans le deuxième mode de réalisation de l'invention de la figure 4, avec des masses polaires 3A et 3B distinctes, comportant chacune deux aimants 31 et 32 de part et d'autre de la roue d'échappement 400.

**[0088]** Notamment, dans une réalisation particulière non illustrée, l'arrêt 30 peut comporter un peigne s'étendant parallèlement à la surface 4 du mobile d'échappement 40 et comportant des telles masses polaires 3 disposées côte à côte.

**[0089]** Dans une variante de l'invention, l'arrêt 30 est pivotant autour d'un pivot 35 réel ou virtuel, et comporte une telle masse polaire 3 unique agencée pour coopérer avec des zones primaires 44 que comportent des telles surfaces 4 situées sur des plages différentes du mobile d'échappement 40 (ou respectivement des diamètres différents dans le cas d'une roue d'échappement 400), avec lesquelles la masse polaire 3 a une interaction variable lors de l'avance (ou respectivement de la révolution) du mobile d'échappement 40. Ces zones primaires 44 sont disposées en alternance sur le pourtour (ou respectivement la périphérie) du mobile d'échappe-

ment 40 pour contraindre la masse polaire 3 à un mouvement transversal par rapport au mobile d'échappement 40 lors de la recherche de position d'équilibre de la masse polaire 3.

**[0090]** Dans une autre variante de l'invention, l'arrêt 30 est pivotant autour d'un pivot 35 réel ou virtuel et comporte une pluralité de telles masses polaires 3 agencées pour coopérer chacune avec des zones primaires 44 que comporte au moins une telle surface 4 située sur au moins une plage (respectivement un diamètre) du mobile d'échappement 40, avec lesquelles chaque telle masse polaire 3 a une interaction variable lors de l'avance (ou respectivement de la révolution) du mobile d'échappement 40. Ces zones primaires 44 sont disposées en alternance sur le pourtour ou la périphérie du mobile d'échappement 40 pour contraindre la masse polaire 3 à un mouvement transversal par rapport au mobile d'échappement 40 lors de la recherche de position d'équilibre de la masse polaire 3.

**[0091]** Dans une réalisation particulière, à chaque instant au moins une telle masse polaire 3 de l'arrêt 30 est en interaction avec au moins une telle surface 4 du mobile d'échappement 40.

**[0092]** Dans une réalisation particulière, l'arrêt 30 coopère, de part et d'autre, avec un premier mobile d'échappement et un deuxième mobile d'échappement.

**[0093]** Dans une réalisation particulière, ces premier et deuxième mobiles d'échappement pivotent de façon solidaire.

**[0094]** Dans une réalisation particulière, ces premier et deuxième mobiles d'échappement pivotent indépendamment l'un de l'autre.

**[0095]** Dans une réalisation particulière, ces premier et deuxième mobiles d'échappement sont coaxiaux.

**[0096]** Dans une réalisation particulière, l'arrêt 30 coopère, de part et d'autre, avec une première roue d'échappement 401 et une deuxième roue d'échappement 402, formant chacune un tel mobile d'échappement 40.

**[0097]** Dans une réalisation particulière, ces première 401 et deuxième 402 roues d'échappement pivotent de façon solidaire.

**[0098]** Dans une réalisation particulière, ces première 401 et deuxième 402 roues d'échappement pivotent indépendamment l'une de l'autre.

**[0099]** Dans une réalisation particulière, ces première 401 et deuxième 402 roues d'échappement sont coaxiales.

**[0100]** Dans une variante illustrée par la figure 16, le mobile d'échappement 40 comporte au moins une surface 4 cylindrique autour d'un axe de pivotement D parallèle à la direction transversale DT, et qui est porteuse de pistes magnétiques, respectivement électrostatiques, et cette au moins une masse polaire 3 de l'arrêt 30 est mobile parallèlement à cet axe de pivotement D.

**[0101]** La figure 17 montre une généralisation selon laquelle le mobile d'échappement 40 est un mécanisme s'étendant selon une direction D, représenté ici par une

bande sans fin circulant sur deux rouleaux d'axes parallèles à la direction transversale T, cette bande étant porteuse d'au moins une surface 4.

**[0102]** Naturellement d'autres configurations sont imaginables pour assurer une périodicité spatiale de surfaces 4 sur la ou les pistes 50, par exemple sur une chaîne, un anneau, une hélice, ou autre.

**[0103]** Selon l'invention, et non limitativement, la surface 4 peut comporter une couche magnétisée d'épaisseur variable, ou respectivement une couche électrisée d'épaisseur variable, ou une couche magnétisée d'épaisseur constante mais de magnétisation variable, ou respectivement une couche électrisée d'épaisseur constante mais d'électrisation variable, ou une densité surfacique variable de micro-aimants, ou respectivement une densité surfacique variable d'électrets, ou une couche ferromagnétique d'épaisseur variable, ou une respectivement une couche conductrice électrostatiquement d'épaisseur variable, ou une couche ferromagnétique de forme variable, ou respectivement une couche conductrice électrostatiquement de forme variable, ou une couche ferromagnétique avec une densité surfacique de trous variable, ou respectivement une couche conductrice électrostatiquement avec une densité surfacique de trous variable.

**[0104]** Dans une réalisation particulière, l'arrêt 30 est une ancre.

**[0105]** L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie 100 comportant au moins un tel mécanisme d'échappement 10.

**[0106]** L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie 200, notamment une montre, comportant au moins un tel mouvement 100 ou/et comportant au moins un tel mécanisme d'échappement 10.

**[0107]** L'invention est applicable à différentes échelles de pièces d'horlogerie, notamment des montres. Elle est intéressante pour des pièces statiques telles qu'horloges, pendules de salon, morbiers, et similaires ; le caractère spectaculaire et innovant du fonctionnement du mécanisme selon l'invention apporte un intérêt nouveau supplémentaire à la mise en évidence du mécanisme, et un attrait pour l'utilisateur ou le spectateur.

**[0108]** Les figures illustrent une réalisation particulière, non limitative, où l'arrêt 30 est une ancre, et montrent comment l'invention permet de remplacer la force de contact mécanique usuelle entre une ancre et une roue d'échappement par une force sans contact d'origine magnétique ou électrostatique.

**[0109]** Deux modes de réalisation, non limitatifs, sont proposés: un premier mode à masse polaire unique et un deuxième mode avec plusieurs masses polaires.

**[0110]** Le premier mode est illustré, dans une version magnétique seulement, par les figures 1 à 3.

**[0111]** La figure 1 représente, de façon schématisée, un mécanisme d'échappement 10 à arrêt 30 magnétique, où cet arrêt 30 est une ancre. Le dispositif régulateur comprend un résonateur 20 à balancier-spiral 2, une ancre 30 magnétique, et un mobile d'échappe-

ment 40 formé par une roue d'échappement 40 magnétisée. L'aimant 3 de l'ancre interagit de façon répulsive avec des pistes secondaires magnétisées concentriques 43 INT, 43 EXT, du mobile d'échappement 40.

**[0112]** Les symboles --/+/++, sur les pistes secondaires 43 sont représentatifs de l'intensité de la magnétisation, croissante de - à ++ : une zone -- repousse faiblement l'aimant 3 de l'ancre 30 alors qu'une zone ++ le repousse fortement.

**[0113]** Dans ce schéma de principe de la figure 1, la force d'interaction entre l'arrêt 30, et le mobile d'échappement 40 résulte de l'interaction entre une masse polaire 3, notamment un aimant, placée sur l'ancre 30 et une structure magnétisée placée sur le mobile d'échappement 40. Cette structure magnétisée est composée de deux pistes secondaires 43 (intérieure 43 INT et extérieure 43 EXT) dont l'intensité de magnétisation varie en fonction de la position angulaire de sorte à produire le potentiel d'interaction magnétique représenté sur la figure 2. Le long de chaque piste secondaire 43, on observe une succession de rampes 45 et de barrières 46 de potentiel comme indiqué sur la figure 3. Les rampes 45 ont pour effet de prélever de l'énergie au mobile d'échappement 40, et les barrières 46 ont pour effet de bloquer l'avancement du mobile 40. L'énergie prélevée par une rampe 45 est ensuite restituée au résonateur 20 à balancier-spiral lorsque l'ancre 30 bascule d'une position à l'autre.

**[0114]** La figure 2 représente, de façon schématisée, l'énergie potentielle d'interaction magnétique vue par l'aimant 3 de l'ancre 30 en fonction de sa position sur le mobile d'échappement 40. La ligne en trait interrompu montre la trajectoire d'un point de référence M de l'aimant 3 de l'ancre 30 en fonctionnement.

**[0115]** La figure 3 représente, de façon schématisée, la variation de l'énergie potentielle le long des pistes secondaires magnétisées 43 du mobile 40. Lorsque la masse polaire 3 de l'ancre passe du point P1 au point P2 sur la piste secondaire interne 43 INT, le système prélève l'énergie du mobile d'échappement 40 pour la stocker sous forme d'énergie potentielle. Le système s'arrête alors en P2 sous l'effet conjugué de la barrière de potentiel 46 et du frottement du mobile 40. Finalement, lorsque l'ancre 30 bascule sous l'action du balancier-spiral 2 sur l'extrémité opposée de l'ancre 30, l'énergie précédemment stockée est restituée au résonateur 20 à balancier-spiral 2, pendant que le système passe de P2 à P3, ce qui correspond au changement de piste, la masse polaire 3 venant en P3 sur la piste secondaire externe 43 EXT. Le même cycle recommence ensuite sur l'autre piste secondaire 43 EXT en passant de P3 à P4 et de P4 à P5 avec le retour en P5 sur la piste interne 43 INT.

**[0116]** Dans cette variante magnétique de ce premier mode de réalisation, la forme du potentiel d'interaction magnétique est de préférence telle que :

- les rampes 45 de potentiel sont conçues de sorte que l'énergie fournie au résonateur 20 à balancier-

spiral soit suffisante pour entretenir son mouvement ;

- la hauteur des barrières 46 de potentiel est suffisante pour bloquer le système.

**[0117]** Le frottement du mobile 40 permet l'immobilisation du système au pied de la barrière 46 de potentiel.

**[0118]** Pour conserver la sécurité de l'ancre en cas de choc, il est avantageux de disposer des butées mécaniques juste après chaque barrière 46 de potentiel magnétique (ces butées mécaniques ne sont pas représentées sur la figure 1 pour éviter sa surcharge). En fonctionnement normal, l'ancre 30 magnétique ne touche jamais ces butées mécaniques. Toutefois, en cas de choc suffisamment grand pour que le système vienne à traverser une barrière 46 de potentiel, ces butées mécaniques permettent de le bloquer pour ne pas perdre de pas.

**[0119]** Dans cette variante, la quantité d'énergie transmise au résonateur 20 à balancier-spiral est toujours quasiment la même, à condition que les barrières 46 de potentiel soient beaucoup plus raides que les rampes 45 d'énergie. Cette condition est facile à réaliser en pratique.

**[0120]** Le basculement de l'ancre 30 est découplé du mouvement du mobile d'échappement 40. Plus précisément, lorsque l'ancre 30 bascule, l'énergie potentielle peut être restituée au résonateur 20 à balancier-spiral 2, même si le mobile d'échappement 40 reste immobile. La rapidité de l'impulsion n'est ainsi pas limitée par l'inertie du mobile d'échappement 40.

**[0121]** Plusieurs solutions sont envisageables pour créer le potentiel proposé dans la figure 1. La structure magnétisée placée sur la roue d'échappement peut être, non limitativement, réalisée avec :

- une couche magnétisée d'épaisseur variable ;
- une couche magnétisée d'épaisseur constante mais de magnétisation variable ;
- une densité surfacique variable de micro-aimants ;
- une couche ferromagnétique d'épaisseur variable (dans ce cas la force est toujours attractive) ;
- une couche ferromagnétique de profil ou/et de forme variable (emboutissage, découpage) ;
- une couche ferromagnétique avec une densité surfacique de trous variable,

ces agencements étant cumulables entre eux.

**[0122]** Le deuxième mode de réalisation est illustré par les figures 4 à 10. Ce deuxième mode de réalisation fonctionne de la même façon que le premier mode de réalisation. Les principales différences sont les suivantes :

- il y a une seule piste 50 magnétisée sur le mobile d'échappement 40, comportant une succession d'aimants 49, mais l'ancre 30 porte deux structures magnétisées 3A, 3B, de sorte à reproduire le même potentiel d'interaction avec rampes et barrières alternées que celui présenté dans les figures 2 et 3 du premier mode ;

- les aimants 49 de la roue d'échappement 400 sont pris en sandwich entre les aimants 31 et 32 de l'ancre 30, de sorte que les forces de répulsion axiales se compensent. Il ne reste alors plus que la composante de force dans le plan du mobile d'échappement 40 qui est utile au fonctionnement de l'échappement.

**[0123]** Avantageusement, une masse polaire 3, au lieu d'être exactement au-dessus d'une piste 50 (ou 43 selon le cas), est légèrement décalée selon une direction transversale DT par rapport à l'axe de la piste concernée, de façon à ce que l'interaction entre le mobile 40 et la masse polaire 3 produise en permanence une petite composante transverse de force, qui maintient l'arrêt 30 en position. La valeur du décalage est alors ajustée pour que la force produite maintienne de façon stable la masse polaire 3 dans chacune de ses positions extrêmes, en première demi-course et deuxième demi-course.

**[0124]** La figure 4 illustre ainsi un dispositif régulateur constitué d'un résonateur 20 à balancier-spiral 2, une ancre magnétique 30, et une roue d'échappement 40 magnétisée. Le mobile d'échappement 40 est muni d'une piste d'aimants 49 d'intensité variable qui interagissent avec les deux aimants 31 et 32 de l'ancre 30. Cette figure 4 montre la disposition d'aimants 49 de magnétisation croissante (notamment par des dimensions croissantes) de façon à former des rampes 45 (de P11 à P18) avant l'arrêt sur des barrières 46 formées par exemple de plusieurs aimants P20.

**[0125]** Une majeure partie du tirage est produite par un ajustement fin de la position transverse de la masse polaire 3 par rapport à la piste 50 avec laquelle elle interagit. Plus précisément, lorsque l'arrêt 30 est positionné à l'extrémité de la première demi-course (PDC) ou à l'extrémité de la deuxième demi-course (DDC), la position transverse de la masse polaire 3 qui interagit avec la piste 50 est ajustée (par un petit décalage transverse) de sorte à ce que la masse polaire 3 subisse une force transverse, dite force de tirage, suffisamment grande pour maintenir la masse polaire 3 dans sa position extrême de façon stable. Au moment où le résonateur 20 déclenche le basculement de l'arrêt 30, il doit vaincre cette force de tirage avant que la force magnétique ou électrostatique ne prenne le relais pour entraîner l'arrêt 30 dans la suite du basculement, et ainsi transmettre l'énergie potentielle accumulée au résonateur 20. L'effet d'un tirage obtenu par un décalage transversal de 2mm est illustré sur la figure 28, sur la réalisation particulière des figures 26 et 27.

**[0126]** On comprend que, sur un mécanisme d'échappement selon l'invention, le résonateur 20, notamment le balancier 2, donne l'impulsion initiale à l'arrêt 30. Mais, dès que le tirage est vaincu, les forces d'origine magnétique ou électrostatiques prennent le relais et font leur travail pour mouvoir selon une direction transversale DT la masse polaire 3 jusqu'à sa nouvelle position.

**[0127]** Avantageusement au moins un aimant 48 en retrait (ici placé sur un rayon supérieur de positionne-

ment), par rapport au centrage d'une rampe 45 le long d'un rayon donné, renforce l'effet de tirage juste avant la barrière 46. L'effet des rampes 45 et barrières 46 est similaire à celui du premier mode, la répartition relative est similaire à la figure 2.

**[0128]** La figure 5 montre le détail de leur agencement des aimants 31 et 32 de l'ancre par rapport aux aimants 49 du mobile d'échappement 40.

**[0129]** La figure 26 illustre une réalisation similaire à celle de la figure 4, mais comportant deux rangées concentriques d'aimants de magnétisation croissante, ceux de la piste intérieure 431NT étant polarisés vers le haut, et ceux de la piste extérieure 43 EXT étant polarisés vers le bas. Les masses polaires 3 ont les configurations inverses : une masse polaire supérieure intérieure 3SINT est polarisée vers le bas, une masse polaire supérieure extérieure 3SEXT est polarisée vers le haut, une masse polaire inférieure intérieure 31INT est polarisée vers le bas, et une masse polaire inférieure extérieure 3IEXT est polarisée vers le haut. La figure 27 illustre schématiquement l'orientation des lignes de champ dans une section transversale correspondant à cette réalisation, où les lignes de champ sont sensiblement normales au plan PP de la roue 40 dans les aimants, et sensiblement parallèles à ce plan dans chaque entrefer 5. Le potentiel qui en résulte, visible sur la figure 28, possède des rampes et des barrières alternées.

**[0130]** Dans ce deuxième mode, l'ancre 30 est basculante. De préférence, à un instant donné, au plus une seule masse polaire 3A ou 3B est en regard avec la surface 4 d'aimants 49 du mobile d'échappement 40.

**[0131]** La figure 6 montre comment renforcer la concentration du champ dans un entrefer 5, dans un exemple magnétique :

- en A des aimants de polarités opposées sont disposés tête-bêche de chaque côté de l'entrefer 5, lequel ne voit localement que des polarités opposées les unes aux autres ;
- en B l'efficacité d'au moins un aimant, ici l'aimant supérieur, est renforcée par au moins un aimant disposé selon une direction transversale DT à son champ ;
- en C, deux entrefers de part et d'autre d'un aimant (comme aussi en figure 5) sont bordés de part et d'autre par deux assemblages d'aimants selon l'exemple B ci-dessus ;

en D, le champ est circulant par une barre de couplage ferromagnétique ou magnétisée, qui joint les aimants transversaux, dans la continuité de leur sens d'aimantation dans sa variante magnétisée.

**[0132]** Toujours dans cet exemple purement magnétique, on peut envisager plusieurs façons de créer l'interaction magnétique entre un arrêt 30 (notamment ancre) et un mobile d'échappement 40 (notamment roue d'échappement). Quatre configurations possibles sont présentées aux figures 7 à 10, et ne sont nullement limi-

tatives. Les configurations des figures 9 et 10 ont l'avantage de mieux confiner les lignes de champ magnétique, ce qui est important pour réduire la sensibilité du système aux champs magnétiques extérieurs.

**[0133]** Selon la figure 7, une structure magnétisée d'épaisseur ou intensité variable déposée sur une roue d'échappement vient en interaction avec un champ magnétique créé par un circuit magnétique solidaire d'une ancre. L'interaction peut être répulsive ou attractive.

**[0134]** En figure 8, une structure ferromagnétique d'épaisseur variable (ou avec un entrefer variable) vient en interaction avec un champ magnétique créé par un circuit magnétique solidaire d'une ancre.

**[0135]** La figure 9 montre deux structures magnétisées d'épaisseur ou intensité variable déposées sur deux faces d'une roue d'échappement, en interaction avec un champ magnétique créé par un aimant solidaire d'une ancre, ou avec un circuit magnétique sans source de champ solidaire d'une ancre. L'interaction peut être répulsive ou attractive.

**[0136]** La figure 10 illustre deux structures ferromagnétiques d'épaisseur variable (ou avec un entrefer variable) sur deux faces d'une roue d'échappement, qui sont en interaction avec un champ magnétique créé par un aimant ou un circuit magnétique avec source de champ solidaire d'une ancre.

**[0137]** Du côté opposé à la masse polaire 3, ou aux masses polaires 3 si l'arrêt en comporte plusieurs, l'arrêt 30, notamment une ancre, comporte des moyens de coopération avec le résonateur 20 (notamment un balancier-spiral 2), qui interagissent avec ce résonateur pour déclencher le mouvement transversal de la masse polaire 3. De façon connue, ces moyens de coopération peuvent utiliser un contact mécanique, tels qu'une fourchette d'ancre coopérant avec une cheville de balancier. L'extrapolation de la coopération arrêt-mobilité d'échappement proposée par l'invention est envisageable à la coopération résonateur-arrêt, ce qui permet alors d'utiliser là aussi une force d'origine magnétique ou électrostatique dans le but de minimiser encore les frottements. Un avantage supplémentaire du fait de la suppression d'une cheville de plateau est d'autoriser des coopérations sur des plages angulaires supérieures à 360°, par exemple avec une piste en hélice.

**[0138]** Dans une variante particulière de l'invention, la masse polaire 3 est symétrique selon la direction transversale.

**[0139]** Dans un exemple de réalisation sur la base du deuxième mode de réalisation de la figure 4, des résultats satisfaisants sont obtenus avec les valeurs suivantes :

- inertie de la roue d'échappement :  $2 \cdot 10^{-5}$  kg\*m<sup>2</sup>
- couple d'entraînement :  $1 \cdot 10^{-2}$  Nm
- inertie du balancier :  $2 \cdot 10^{-4}$  kg\*m<sup>2</sup>
- constante élastique du spiral :  $7 \cdot 10^{-4}$  Nm
- fréquence du résonateur : 0.3 Hz
- facteur de qualité du résonateur : 20
- hauteur de la rampe d'énergie :  $2 \cdot 10^{-3}$  Joule

- hauteur de la barrière d'énergie :  $8 \cdot 10^{-3}$  Joule
- aimants :

- les masses polaires de l'ancre sont constituées de quatre aimants rectangulaire de dimensions 5mm x 5mm x 2.5mm en NdFeB (néodyme-fer-bore).

- la piste est constituée de rampes et de barrières comme suit : les rampes de champ sont produites par des aimants cylindriques en NdFeB de diamètre 1.5mm et de hauteur variant entre 0 et 4mm, et chaque barrière est constituée de quatre aimants cylindriques en NdFeB de diamètre 2mm et hauteur 4mm.

**[0140]** Les figures 29 à 34 illustrent un mécanisme d'échappement naturel selon l'invention.

**[0141]** Tel que présenté ci-dessus, ce mécanisme d'échappement 10 d'horlogerie comporte un arrêt 30 entre d'une part un résonateur 20, et d'autre part un premier mobile d'échappement 40A et un deuxième mobile d'échappement 40B chacun soumis à un couple. Plus particulièrement, chacun de ces mobiles d'échappement 40A, 40B, possède son propre train de rouage.

**[0142]** L'invention est décrite ici dans un cas particulier, avantageux en termes d'encombrement, avec seulement deux mobiles d'échappement 40 sensiblement coplanaires. L'invention est néanmoins applicable à un nombre supérieur de mobiles d'échappement, notamment distribués sur plusieurs niveaux parallèles, et coopérant avec autant de niveaux d'un arrêt unique coopérant avec le résonateur. L'invention autorise également des architectures tridimensionnelles, car l'interaction entre l'arrêt 30 et les mobiles n'est pas nécessairement plane.

**[0143]** Selon l'invention, et de préférence, chaque tel mobile d'échappement 40A, 40B, comporte au moins une piste 50 magnétisée ou ferromagnétique, respectivement électrisée ou conductrice électrostatiquement, avec une période de défilement PD selon laquelle ses caractéristiques magnétiques, respectivement électrostatiques, se répètent.

**[0144]** L'arrêt 30 comporte au moins une masse polaire 3 magnétisée ou ferromagnétique, respectivement électrisée ou conductrice électrostatiquement, ladite masse polaire 3 étant mobile selon une direction transversale DT par rapport à la direction de défilement DD d'au moins un élément d'une surface 4 de la piste 50 à laquelle l'arrêt 30 fait face. Et au moins la masse polaire 3 ou la piste 50, ou encore l'une et l'autre, crée un champ magnétique ou électrostatique dans un entrefer 5 entre cette au moins une masse polaire 3 et cette au moins une surface 4.

**[0145]** La masse polaire 3 est opposée à une barrière 46 de champ magnétique ou électrostatique sur la piste 50, juste avant chaque mouvement transversal de l'arrêt 30 commandé par l'action périodique du résonateur 20.

**[0146]** Le premier mobile d'échappement 40A est soumis à un premier couple et le deuxième mobile d'échappement 40B est soumis à un deuxième couple ; ils sont chacun agencé apte à coopérer alternativement avec l'arrêt 30. Le premier mobile d'échappement 40A et le deuxième mobile d'échappement 40B sont liés l'un à l'autre par une liaison cinématique directe. Et, de préférence, le premier mobile d'échappement 40A et le deuxième mobile d'échappement 40B pivotent autour d'axes distincts D1, D2, notamment parallèles l'un à l'autre.

**[0147]** Les aménagements particuliers décrits plus haut et illustrés par l'ensemble des figures sont applicables à ce mécanisme d'échappement naturel, qui n'est représenté que dans son architecture générale, pour la lisibilité des figures.

**[0148]** Dans une variante avantageuse, le mécanisme d'échappement 10 comporte des moyens de rattrapage de jeu au niveau de la liaison cinématique directe entre le premier mobile d'échappement 40A et le deuxième mobile d'échappement 40B, pour en minimiser le jeu de fonctionnement.

**[0149]** Dans une réalisation particulière, le mécanisme d'échappement 10 est intégré dans un mouvement 100, qui comporte des moyens d'application d'un couple au premier mobile 40A, et d'un deuxième couple au deuxième mobile 40B. De façon particulière, le premier couple est égal au deuxième couple.

**[0150]** De préférence, et tel que visible sur les figures 29 et 30, le premier mobile d'échappement 40A et le deuxième mobile d'échappement 40B pivotent autour de leurs dits axes respectifs D1, D2, selon un mouvement synchrone et avec un sens de pivotement contraire.

**[0151]** Dans une réalisation avantageuse facilitant l'assemblage, le premier mobile d'échappement 40A et le deuxième mobile d'échappement 40B sont écartés l'une de l'autre, et l'arrêt 30 comporte deux masses polaires 3 écartées l'une de l'autre: une première masse polaire 3A agencée pour coopérer avec le premier mobile d'échappement 40A, et une deuxième masse polaire 3B agencée pour coopérer avec le deuxième mobile d'échappement 40B.

**[0152]** De préférence, le mécanisme d'échappement 10 est agencé de façon à ce que, à chaque instant, au moins une masse polaire 3 de l'arrêt 30 est en interaction avec au moins une surface 4 d'un des mobiles d'échappement 40A; 40B.

**[0153]** De préférence, les barrières 46 que comporte le premier mobile d'échappement 40A et le deuxième mobile d'échappement 40B y sont réparties uniformément selon le même pas, et sont décalées d'un demi-pas entre le premier mobile d'échappement 40A et le deuxième mobile d'échappement 40B.

**[0154]** Tel que déjà exposé plus haut, de préférence, au moins sur un des mobiles d'échappement 40A, 40B, ou bien sur chacun d'eux, chaque piste 50 comporte, avant chaque barrière 46, une rampe 45 s'étendant selon une direction curviligne de rampe DR et interagissant de

façon croissante, depuis un bas de rampe 451 vers un haut de rampe 452 situé au voisinage de la barrière 46, avec une masse polaire 3 avec un champ magnétique, respectivement électrostatique, dont l'intensité varie de façon à produire une énergie potentielle croissante, la rampe 45 prélevant de l'énergie au mobile d'échappement concerné 40A, 40B.

**[0155]** De préférence, le mobile d'échappement 40A, 40B, comporte, entre deux rampes 45 successives, une telle barrière 46 de potentiel de champ magnétique, respectivement électrostatique, pour déclencher un arrêt momentané du mobile d'échappement 40A, 40B, préalable à un basculement de l'arrêt 30 sous l'action périodique de l'oscillateur 20.

**[0156]** Dans une variante particulière, au moins un mobile d'échappement 40A; 40B (ou plus particulièrement l'un et l'autre) comporte, en fin de chaque rampe 45 et juste avant chaque barrière 46, une variation radiale de répartition de champ magnétique ou électrostatique quand la surface 4 est magnétisée, respectivement électrisée, ou une variation de profil quand ladite surface 4 est ferromagnétique, respectivement conductrice électrostatiquement, de façon à provoquer un tirage sur la masse polaire 3 dont l'effet est de maintenir l'arrêt 30 dans l'une de ses positions stables avant le déclenchement du basculement.

**[0157]** De façon particulière, le résonateur 20 comporte une cheville, telle qu'une cheville de plateau ou similaire, qui est agencée pour coopérer avec une fourchette ou un actionneur que comporte l'arrêt 30, de façon à provoquer un dégagement (annulation dudit tirage) suivi d'un basculement de la masse polaire 3 de l'arrêt 3, selon une direction tangentielle au plan défini par les axes D1, D2 du premier mobile d'échappement 40A et du deuxième mobile d'échappement 40B, quand ces axes D1 et D2 sont coplanaires.

**[0158]** De façon particulière, lors d'un tel basculement, la masse polaire 3 de l'arrêt 30 est amenée depuis un niveau de haut de rampe 452 d'une première rampe 45 à un niveau de bas de rampe 451 d'une seconde rampe 45 adjacente à cette première rampe, de sorte que la masse polaire 3 est soumise à un effort de poussée d'origine magnétique ou respectivement électrostatique.

**[0159]** De façon particulière, la masse polaire 3 de l'arrêt 30 est mobile, au niveau du premier mobile d'échappement 40A et du deuxième mobile d'échappement 40B, entre et à égale distance de deux surfaces symétriques et de caractéristiques magnétiques ou respectivement électrostatiques identiques l'une à l'autre.

**[0160]** De façon particulière, au moins un mobile d'échappement 40A, 40B, ou encore l'un et l'autre, comporte, entre deux rampes 45 successives d'une même piste 50 ou de deux pistes 50 voisines selon la direction de défilement DD, une barrière 46 de potentiel de champ magnétique, respectivement électrostatique, pour déclencher un arrêt momentané du mobile d'échappement concerné 40A, 40B, préalable à un basculement de l'arrêt 30 sous l'action périodique de l'oscillateur 20.

**[0161]** De façon préférée, la pente de potentiel de chaque barrière 46 de potentiel est plus raide que celle de chaque rampe 45.

**[0162]** De façon particulière, le mécanisme d'échappement 10 accumule de l'énergie potentielle reçue d'au moins un mobile d'échappement 40A, 40B, pendant chaque moitié de la période PD, et la restitue au résonateur 20 entre les moitiés de période lors du mouvement transversal de l'arrêt 30 commandé par l'action périodique du résonateur 20, où la masse polaire 3 passe d'une première demi-course PDC transversale relative par rapport au mobile d'échappement 40A, 40B, à une deuxième demi-course DDC transversale relative par rapport au mobile d'échappement 40A, 40B, ou inversement.

**[0163]** De façon particulière, chacun des deux composants antagonistes, constitués par la masse polaire 3 et la piste 50 porteuse de la surface 4 qui lui fait face au moins sur une partie de leur course relative, comporte des moyens actifs magnétiques, respectivement électrostatiques, qui sont agencés pour créer un champ magnétique, respectivement électrostatique, de direction sensiblement parallèle à la direction axiale DA, au niveau de leur interface dans l'entrefer 5 entre la masse polaire 3 et la surface 4 qui lui fait face.

**[0164]** De façon particulière, l'arrêt 30 est pivotant autour d'un pivot 35 réel ou virtuel, et comporte une masse polaire 3 unique agencée pour coopérer avec des zones primaires 44 que comportent des dites surfaces 4 situées sur des diamètres différents du mobile d'échappement 40A, 40B, avec lesquelles la masse polaire 3 a une interaction variable lors de la révolution du mobile d'échappement 40A, 40B, ces zones primaires 44 étant disposées en alternance sur la périphérie du mobile d'échappement 40A, 40B, pour contraindre cette masse polaire 3 à un mouvement radial, par rapport à une direction axiale DA qui est orthogonale à la fois à une direction transversale DT sensiblement parallèle à la trajectoire transversale TT de la masse polaire 3, et à une direction de défilement DF de la piste 50.

**[0165]** Dans une variante, l'arrêt 30 est pivotant autour d'un pivot 35 réel ou virtuel et comporte une pluralité de masses polaires 3 agencées pour coopérer chacune avec des zones primaires 44 que comporte au moins une des surfaces 4 située sur une plage du mobile d'échappement 40A, 40B, avec lesquelles chaque masse polaire 3 a une interaction variable lors de la révolution du mobile d'échappement 40A, 40B, ces zones primaires 44 étant disposées en alternance sur la périphérie du mobile d'échappement 40A, 40B, pour contraindre la masse polaire 3 à un mouvement radial par rapport à une direction axiale DA qui est orthogonale à la fois à une direction transversale DT sensiblement parallèle à la trajectoire transversale TT de la masse polaire 3, et à une direction de défilement DF de la piste 50.

**[0166]** Dans une variante particulière, les deux mobiles d'échappement 40A, 40B, sont de nature différente, et leur interaction avec l'arrêt 30 est de nature différente. Il est, encore, imaginable de réaliser un mécanis-

me d'échappement hybride avec un des mobiles d'échappement en interaction magnétique ou électrostatique, et l'autre en interaction mécanique classique.

**[0167]** De façon particulière, au moins un mobile d'échappement 40A, 40B, est une roue d'échappement 400.

**[0168]** De façon particulière, l'arrêt 30 est une ancre.

**[0169]** Les figures 31 à 34 illustrent brièvement la cinématique, dans une variante magnétique:

- sur la figure 31, la roue d'échappement 40B, à gauche, tourne jusqu'à buter sur une barrière de potentiel ; la masse polaire 3 de l'arrêt 30, constitué par une ancre, est en haut d'une rampe de potentiel ;
- sur la figure 32, l'arrêt 30 bascule, le dégagement est provoqué par le résonateur 20, ici un balancier-spiral, mais ensuite c'est l'énergie magnétique qui pousse l'ancre ;
- sur la figure 33, la roue d'échappement 40A, à droite, tourne jusqu'à buter sur une barrière de potentiel ; la masse polaire 3 de l'ancre est en haut d'une rampe de potentiel ;
- sur la figure 34, l'arrêt 30 bascule en sens inverse, le dégagement est provoqué par le résonateur 20, mais ensuite c'est l'énergie magnétique qui pousse l'ancre.

**[0170]** L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie 100 comportant au moins un tel mécanisme d'échappement 10.

**[0171]** L'invention concerne encore une pièce d'horlogerie 200 comportant au moins un tel mouvement 100, ou/et comportant au moins un tel mécanisme d'échappement 10.

**[0172]** En résumé, le potentiel d'interaction magnétique, ou/et électrostatique, composé de rampes alternées avec des barrières fournit un comportement aussi proche que possible de l'échappement à ancre Suisse traditionnelle. L'optimisation de la forme des gradients de potentiel permet l'augmentation du rendement de l'échappement.

**[0173]** Le remplacement de la force de contact mécanique par une force sans contact d'origine magnétique ou électrostatique, selon l'invention, procure donc de nombreux avantages, car il permet de:

- éliminer les frottements et par conséquent réduire l'usure, donc augmenter la durée de vie ;
- augmenter le rendement de l'échappement, et par conséquent augmenter la réserve de marche ;
- concevoir la transition entre les rampes et les barrières de potentiel afin d'obtenir une dépendance particulière désirée entre le couple d'entraînement et l'énergie transmise au résonateur, En particulier et de façon avantageuse, on peut rendre la quantité d'énergie transmise à l'oscillateur à chaque alternance quasiment constante et indépendante du couple d'entraînement ;

- découpler le basculement de l'arrêt de mouvement du mobile d'échappement de sorte que la rapidité de l'impulsion ne soit pas limitée par l'inertie du mobile d'échappement.

## Revendications

1. Mécanisme d'échappement (10) d'horlogerie comportant un arrêt (30) entre d'une part un résonateur (20), et d'autre part un premier mobile d'échappement (40A) et un deuxième mobile d'échappement (40B) chacun soumis à un couple, **caractérisé en ce que** chaque dit mobile d'échappement (40A ; 40B) comporte au moins une piste (50) magnétisée ou ferromagnétique, respectivement électrisée ou conductrice électrostatiquement, avec une période de défilement (PD) selon laquelle ses caractéristiques magnétiques, respectivement électrostatiques, se répètent, ledit arrêt (30) comportant au moins une masse polaire (3) magnétisée ou ferromagnétique, respectivement électrisée ou conductrice électrostatiquement, ladite masse polaire (3) étant mobile selon une direction transversale (DT) par rapport à la direction de défilement (DD) d'au moins un élément d'une surface (4) de ladite piste (50), et au moins ladite masse polaire (3) ou ladite piste (50) créant un champ magnétique ou électrostatique dans un entrefer (5) entre ladite au moins une masse polaire (3) et ladite au moins une surface (4), et encore **caractérisé en ce que** ladite masse polaire (3) est opposée à une barrière (46) de champ magnétique ou électrostatique sur ladite piste (50) juste avant chaque mouvement transversal dudit arrêt (30) commandé par l'action périodique dudit résonateur (20), **caractérisé en ce que** ledit premier mobile d'échappement (40A) soumis à un premier couple et ledit deuxième mobile d'échappement (40B) soumis à un deuxième couple sont chacun agencé apte à coopérer alternativement avec ledit arrêt (30), et **en ce que** ledit premier mobile d'échappement (40A) et ledit deuxième mobile d'échappement (40B) pivotent autour d'axes distincts (D1 ; D2) et sont liés l'un à l'autre par une liaison cinématique directe.
2. Mécanisme d'échappement (10) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'il** comporte des moyens de rattrapage de jeu au niveau de ladite liaison cinématique directe pour en minimiser le jeu de fonctionnement.
3. Mécanisme d'échappement (10) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** ledit premier couple est égal audit deuxième couple.
4. Mécanisme d'échappement (10) selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** ledit premier mobile d'échappement (40A) et ledit deuxième mobile d'échappement (40B) pivotent autour de leurs dits axes respectifs (D1 ; D2) selon un mouvement synchrone et avec un sens de pivotement contraire.
5. Mécanisme d'échappement (10) selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** ledit premier mobile d'échappement (40A) et ledit deuxième mobile d'échappement (40B) sont écartés l'une de l'autre, et **en ce que** ledit arrêt (30) comporte deux dites masses polaires (3) écartées l'une de l'autre, une première masse polaire (3A) agencée pour coopérer avec ledit premier mobile d'échappement (40A), et une deuxième masse polaire (3B) agencée pour coopérer avec ledit deuxième mobile d'échappement (40B).
6. Mécanisme d'échappement (10) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** à chaque instant au moins une dite masse polaire (3) dudit arrêt (30) est en interaction avec au moins une dite surface (4) d'un dit mobile d'échappement (40A ; 40B).
7. Mécanisme d'échappement (10) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** lesdites barrières (46) que comporte ledit premier mobile d'échappement (40A) et ledit deuxième mobile d'échappement (40B) y sont réparties uniformément selon le même pas, et sont décalées d'un demi-pas entre ledit premier mobile d'échappement (40A) et ledit deuxième mobile d'échappement (40B).
8. Mécanisme d'échappement (10) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, au moins sur un dit mobile d'échappement (40A ; 40B), chaque dite piste (50) comporte, avant chaque dite barrière (46), une rampe (45) s'étendant selon une direction curviligne de rampe (DR) et interagissant de façon croissante, depuis un bas de rampe (451) vers un haut de rampe (452) situé au voisinage de ladite barrière (46), avec une dite masse polaire (3) avec un champ magnétique, respectivement électrostatique, dont l'intensité varie de façon à produire une énergie potentielle croissante, ladite rampe (45) prélevant de l'énergie audit mobile d'échappement (40A ; 40B).
9. Mécanisme d'échappement (10) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que**, sur chaque dit mobile d'échappement (40A, 40B), chaque dite piste (50) comporte, avant chaque dite barrière (46), une rampe (45) s'étendant selon une direction curviligne de rampe (DR) et interagissant de façon croissante, depuis un bas de rampe (451) vers un haut de rampe (452) situé au voisinage de ladite barrière (46), avec une dite masse polaire (3) avec un champ

magnétique, respectivement électrostatique, dont l'intensité varie de façon à produire une énergie potentielle croissante, ladite rampe (45) prélevant de l'énergie audit mobile d'échappement (40A; 40B).

10. Mécanisme d'échappement (10) selon la revendication 8 ou 9, **caractérisé en ce que** ledit mobile d'échappement (40A ; 40B) comporte, entre deux dites rampes (45) successives, une dite barrière (46) de potentiel de champ magnétique, respectivement électrostatique, pour déclencher un arrêt momentané dudit mobile d'échappement (40A; 40B) préalable à un basculement dudit arrêtoir (30) sous l'action périodique dudit oscillateur (20).
11. Mécanisme d'échappement (10) selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** ledit au moins un mobile d'échappement (40A; 40B) comporte, en fin de chaque dite rampe (45) et juste avant chaque dite barrière (46), une variation radiale de répartition de champ magnétique ou électrostatique quand ladite surface (4) est magnétisée, respectivement électrisée, ou une variation de profil quand ladite surface (4) est ferromagnétique, respectivement conductrice électrostatiquement, de façon à provoquer un tirage sur ladite masse polaire (3), dont l'effet est de maintenir ledit arrêtoir (30) dans l'une de ses positions stables avant le déclenchement d'un basculement.
12. Mécanisme d'échappement (10) selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** ledit résonateur (20) comporte une cheville agencée pour coopérer avec une fourchette ou un actionneur que comporte ledit arrêtoir (30), de façon à provoquer un dégagement suivi d'un basculement de ladite masse polaire (3) dudit arrêtoir (30), selon une direction tangentielle au plan défini par lesdits axes (D1, D2) dudit premier mobile d'échappement (40A) et dudit deuxième mobile d'échappement (40B).
13. Mécanisme d'échappement (10) selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** lors d'un dit basculement, ladite masse polaire (3) dudit arrêtoir (30) est amenée, depuis un niveau de haut de rampe (452) d'une première dite rampe (45) à un niveau de bas de rampe (451) d'une seconde dite rampe (45) adjacente à ladite première rampe (45), de sorte que ladite masse polaire (3) est soumise à un effort de poussée d'origine magnétique ou respectivement électrostatique.
14. Mécanisme d'échappement (10) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ladite masse polaire (3) dudit arrêtoir (30) est mobile, au niveau dudit premier mobile d'échappement (40A) et dudit deuxième mobile d'échappement (40B), entre et à égale distance de deux surfaces

symétriques et de caractéristiques magnétiques ou respectivement électrostatiques identiques l'une à l'autre.

- 5 15. Mécanisme d'échappement (10) selon la revendication 8 ou 9, **caractérisé en ce que** ledit au moins un mobile d'échappement (40A; 40B) comporte, entre deux dites rampes (45) successives d'une même dite piste (50) ou de deux dites pistes (50) voisines  
10 selon ladite direction de défilement (DD), une dite barrière (46) de potentiel de champ magnétique, respectivement électrostatique, pour déclencher un arrêt momentané dudit mobile d'échappement (40A; 40B) préalable à un basculement dudit arrêtoir (30)  
15 sous l'action périodique dudit oscillateur (20).
16. Mécanisme d'échappement (10) selon la revendication 15, **caractérisé en ce que** la pente de potentiel de chaque dite barrière (46) de potentiel est plus  
20 raide que celle de chaque dite rampe (45).
17. Mécanisme d'échappement (10) d'horlogerie selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ledit mécanisme d'échappement (10) accumule de l'énergie potentielle reçue d'au moins un dit mobile d'échappement (40A; 40B) pendant chaque moitié de ladite période (PD), et la restitue audit résonateur (20) entre lesdites moitiés de période lors  
25 dudit mouvement transversal dudit arrêtoir (30) commandé par l'action périodique dudit résonateur (20), où ladite masse polaire (3) passe d'une première demi-course (PDC) transversale relative par rapport audit mobile d'échappement (40A; 40B) à une deuxième demi-course (DDC) transversale relative par rapport audit mobile d'échappement (40A; 40B),  
30 ou inversement.
18. Mécanisme d'échappement (10) selon la revendication 17, **caractérisé en ce que** chacun des deux composants antagonistes, constitués par ladite masse polaire (3) et ladite piste (50) porteuse de  
40 ladite surface (4) qui lui fait face au moins sur une partie de leur course relative, comporte des moyens actifs magnétiques, respectivement électrostatiques, qui sont agencés pour créer un champ magnétique, respectivement électrostatique, de direction sensiblement parallèle à ladite direction axiale (DA), au niveau de leur interface dans ledit entrefer (5) entre ladite masse polaire (3) et ladite surface (4) qui lui fait face.
19. Mécanisme d'échappement (10) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ledit arrêtoir (30) est pivotant autour d'un pivot (35) réel ou virtuel et comporte une dite masse polaire (3) unique agencée pour coopérer avec des zones primaires (44) que comportent des dites surfaces (4) situées sur des diamètres différents dudit au moins  
55

un mobile d'échappement (40A; 40B) avec lesquelles ladite masse polaire (3) a une interaction variable lors de la révolution dudit au moins un mobile d'échappement (40A; 40B), lesdites zones primaires (44) étant disposées en alternance sur la périphérie dudit au moins un mobile d'échappement (40A; 40B) pour contraindre ladite masse polaire (3) à un mouvement radial, par rapport à une direction axiale (DA) qui est orthogonale à la fois à une direction transversale (DT) sensiblement parallèle à la trajectoire transversale (TT) de ladite masse polaire (3), et à une direction de défilement (DF) de ladite piste (50).

20. Mécanisme d'échappement (10) selon l'une des revendications 1 à 18, **caractérisé en ce que** ledit arrêtoir (30) est pivotant autour d'un pivot (35) réel ou virtuel et comporte une pluralité de dites masses polaires (3) agencées pour coopérer chacune avec des zones primaires (44) que comporte au moins une desdites surfaces (4) située sur une plage dudit au moins un mobile d'échappement (40A; 40B) avec lesquelles chaque dite masse polaire (3) a une interaction variable lors de la révolution dudit au moins un mobile d'échappement (40A; 40B), lesdites zones primaires (44) étant disposées en alternance sur la périphérie dudit au moins un mobile d'échappement (40A; 40B) pour contraindre ladite masse polaire (3) à un mouvement radial par rapport à une direction axiale (DA) qui est orthogonale à la fois à une direction transversale (DT) sensiblement parallèle à la trajectoire transversale (TT) de ladite masse polaire (3), et à une direction de défilement (DF) de ladite piste (50).
21. Mécanisme d'échappement (10) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** au moins un dit mobile d'échappement (40A; 40B) est une roue d'échappement (400).
22. Mécanisme d'échappement (10) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ledit arrêtoir (30) est une ancre.
23. Mouvement d'horlogerie (100) comportant au moins un mécanisme d'échappement (10) selon l'une des revendications précédentes.
24. Pièce d'horlogerie (200) comportant au moins un mouvement (100) selon la revendication 23 ou/et comportant au moins un mécanisme d'échappement (10) selon l'une des revendications 1 à 22.





Fig. 5

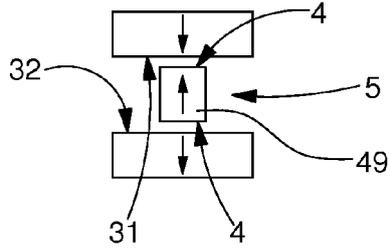


Fig. 6

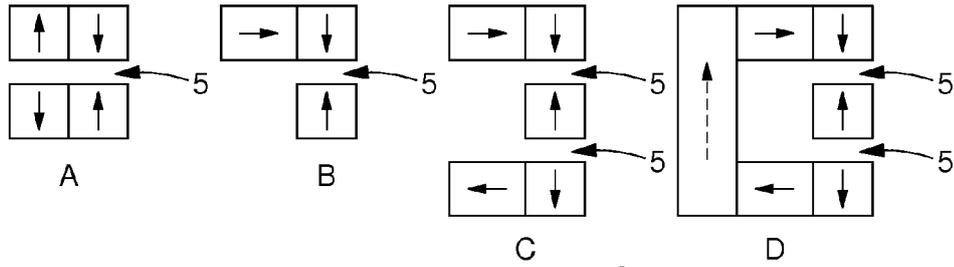


Fig. 7

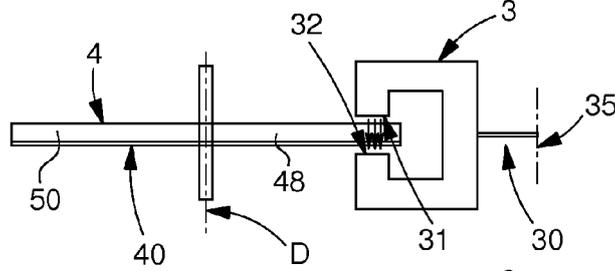


Fig. 8

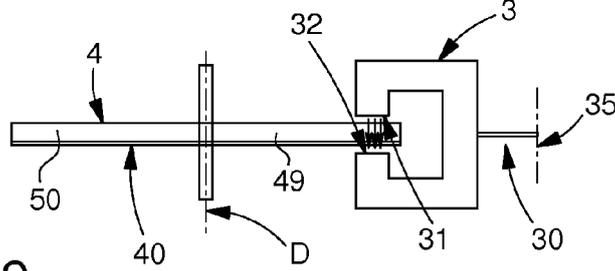


Fig. 9

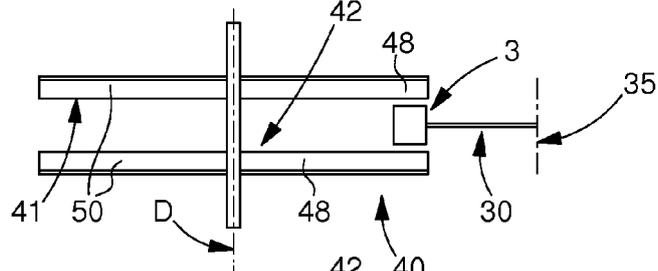


Fig. 10

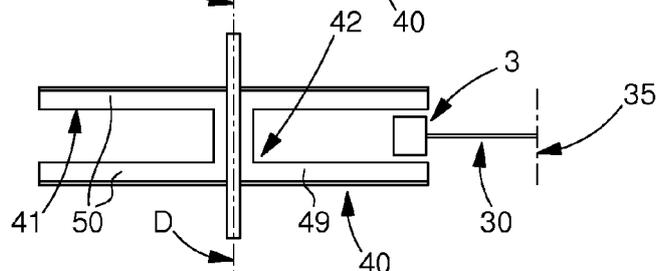


Fig. 11

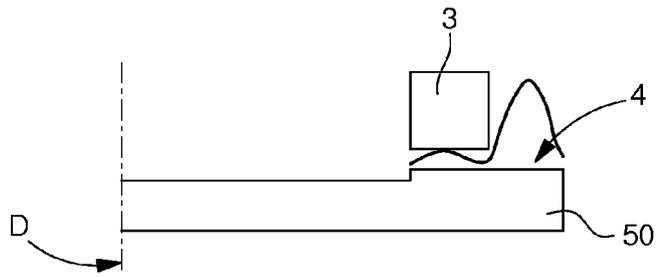


Fig. 12

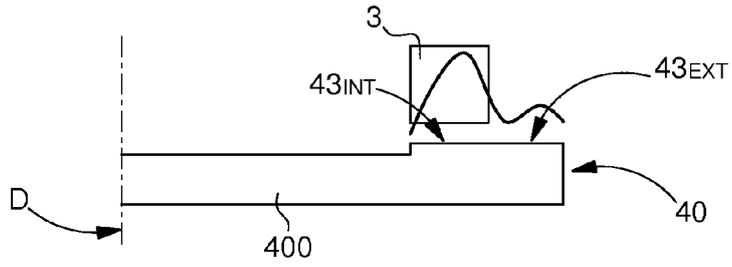


Fig. 13

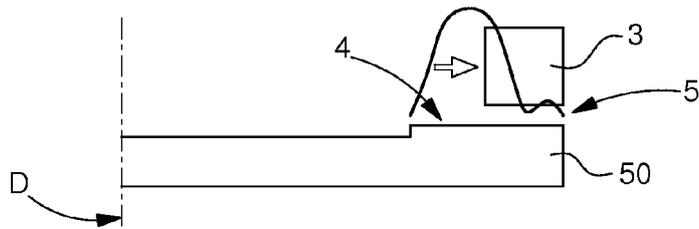


Fig. 14

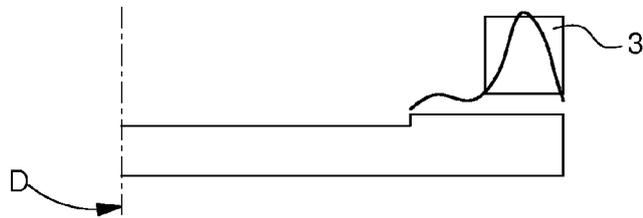


Fig. 15

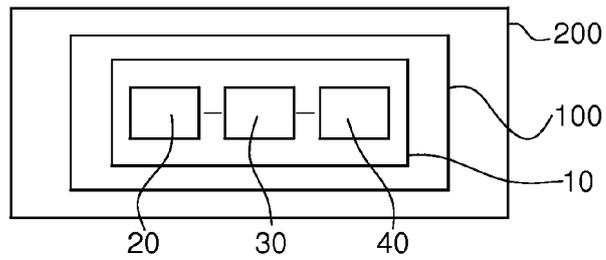


Fig. 16

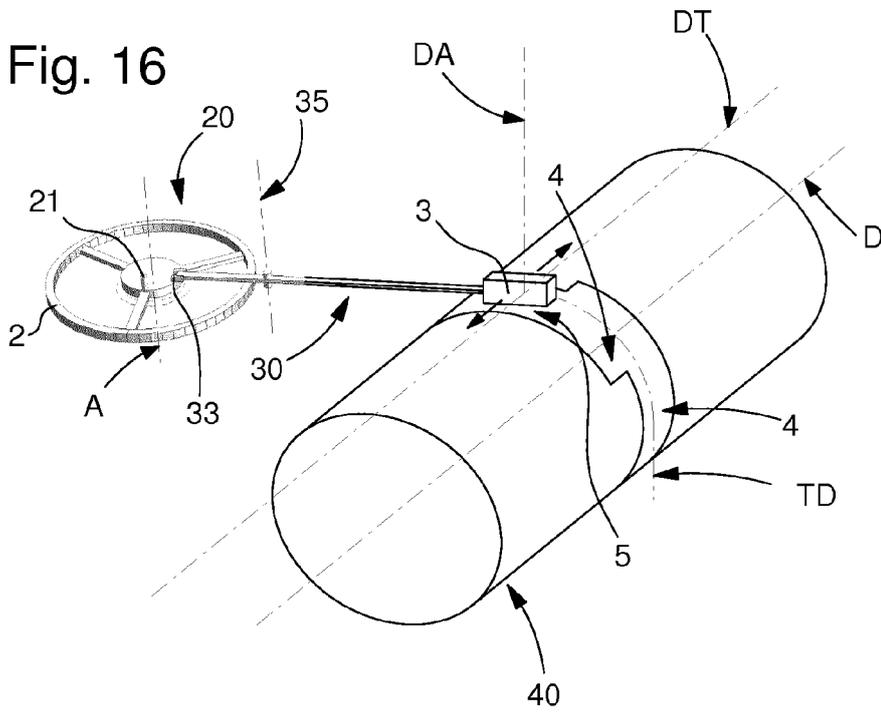


Fig. 17

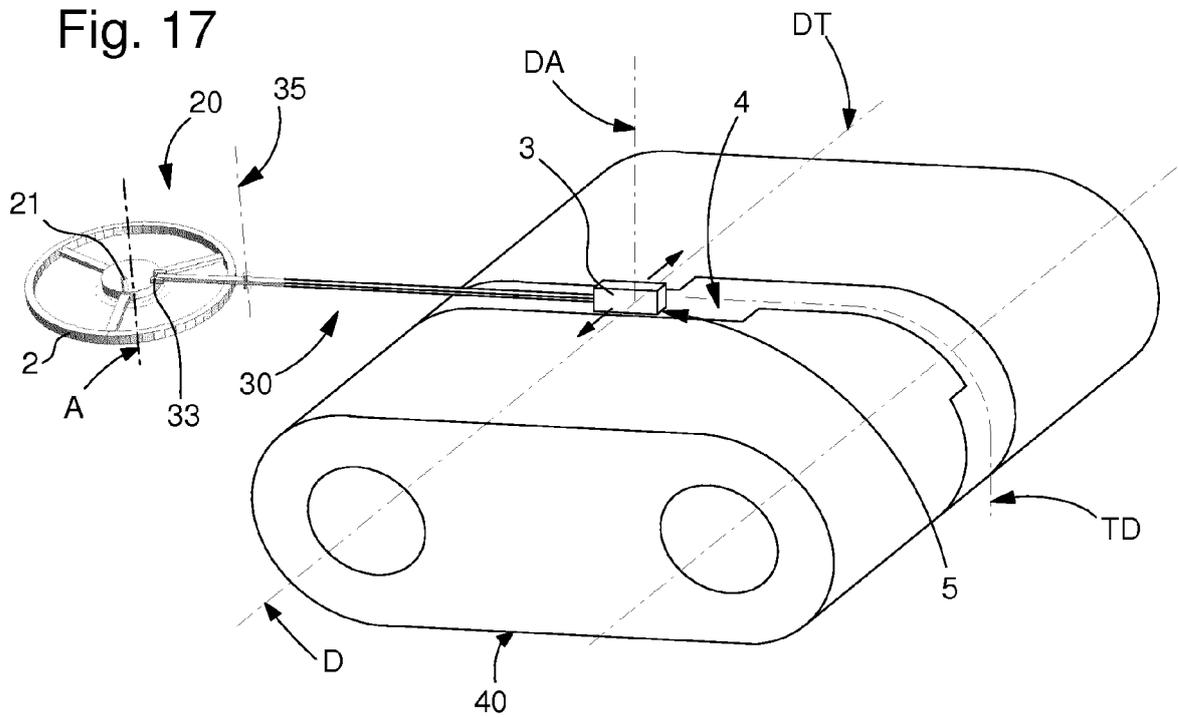


Fig. 18

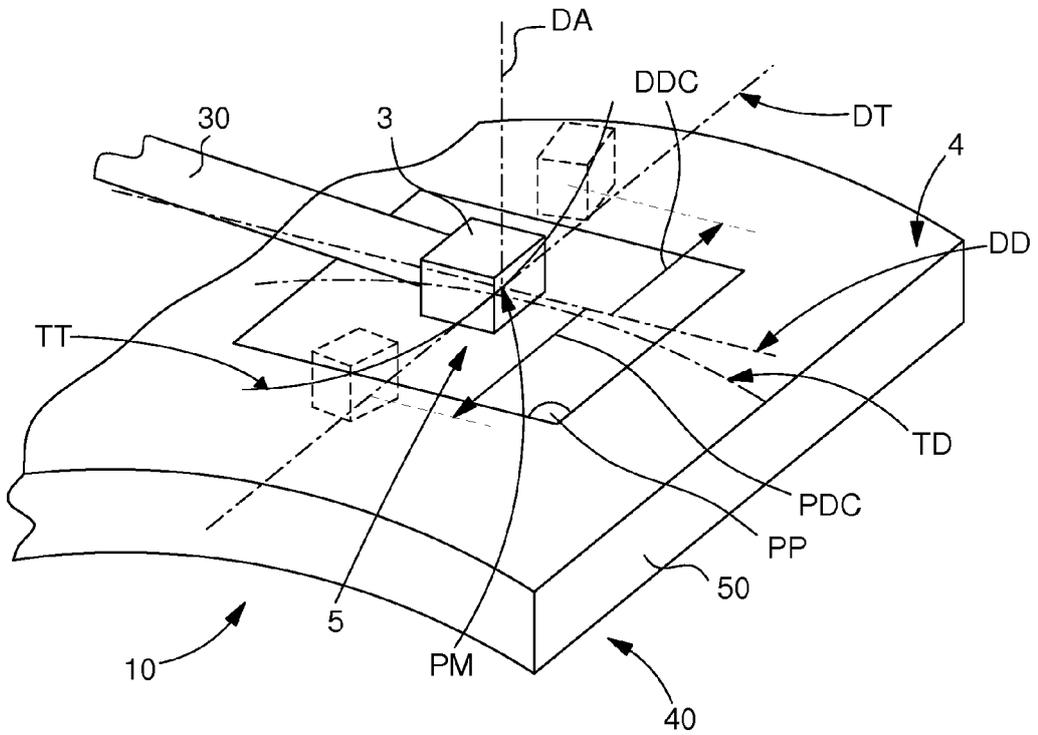


Fig. 19

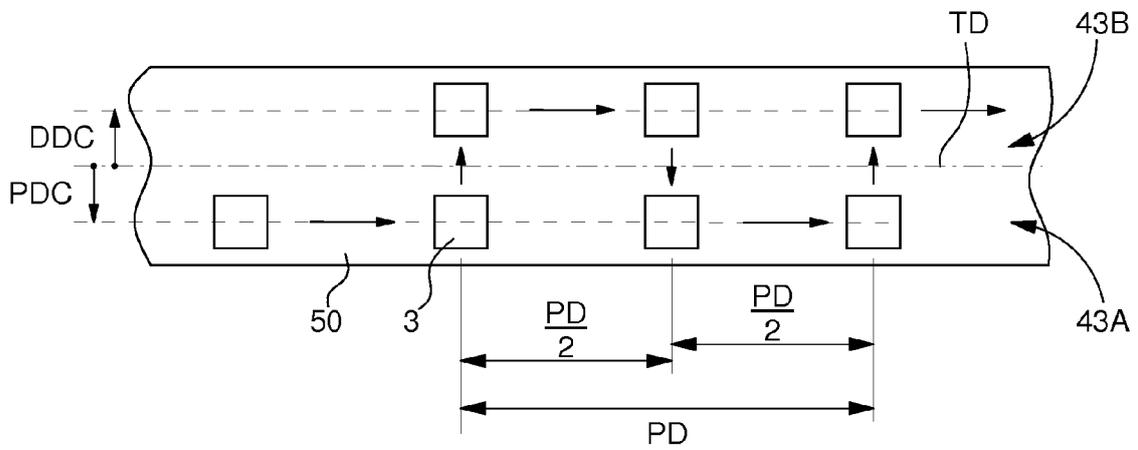


Fig. 20

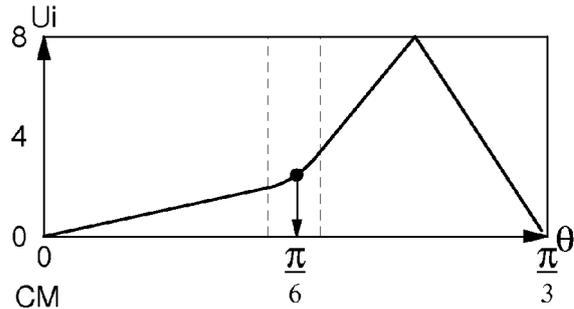


Fig. 21

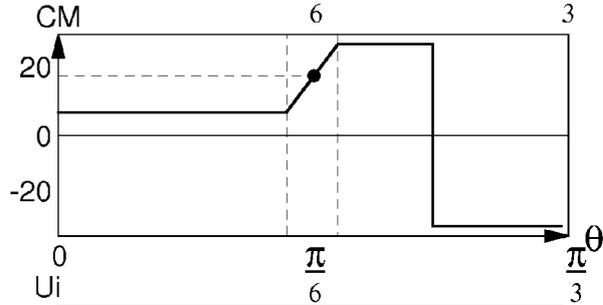


Fig. 22

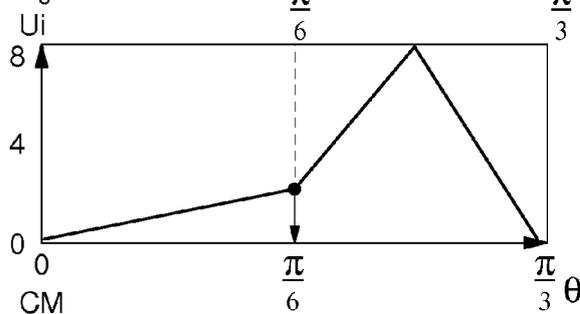


Fig. 23

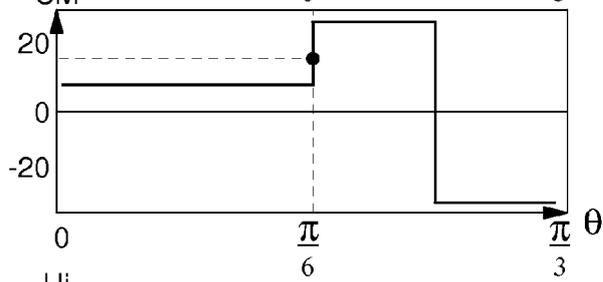


Fig. 24

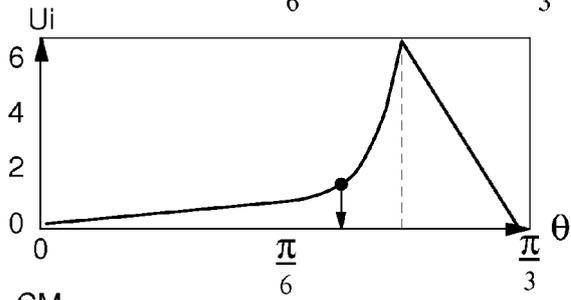


Fig. 25

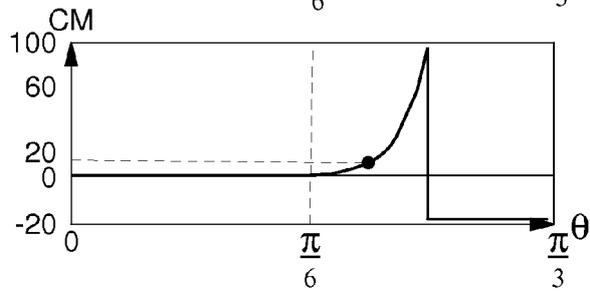


Fig. 26

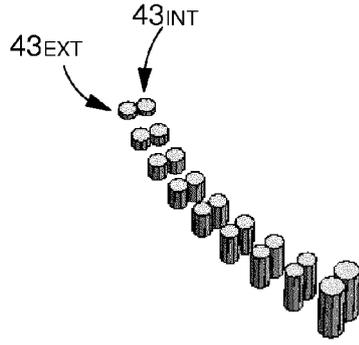


Fig. 27

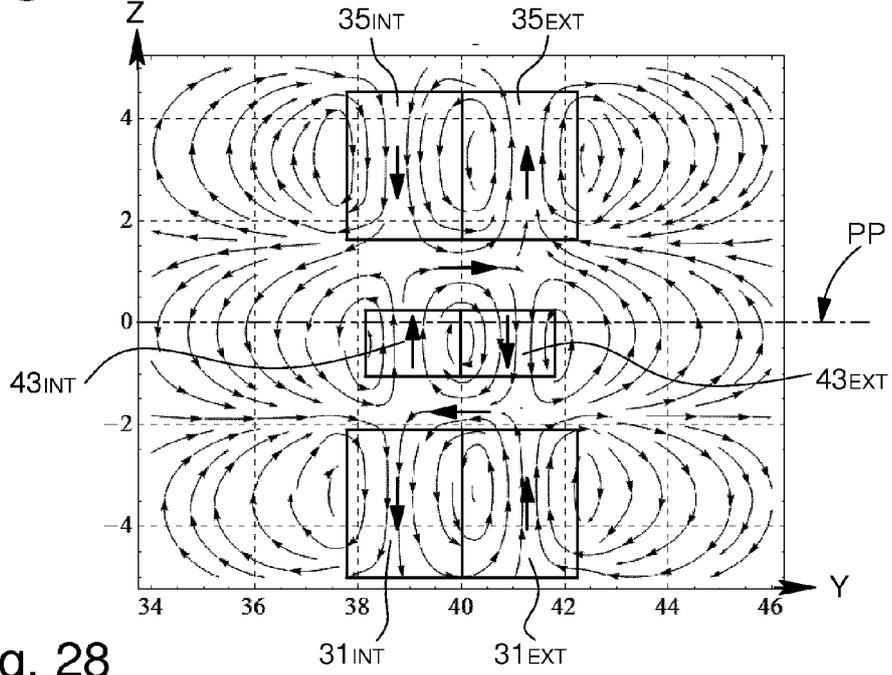


Fig. 28

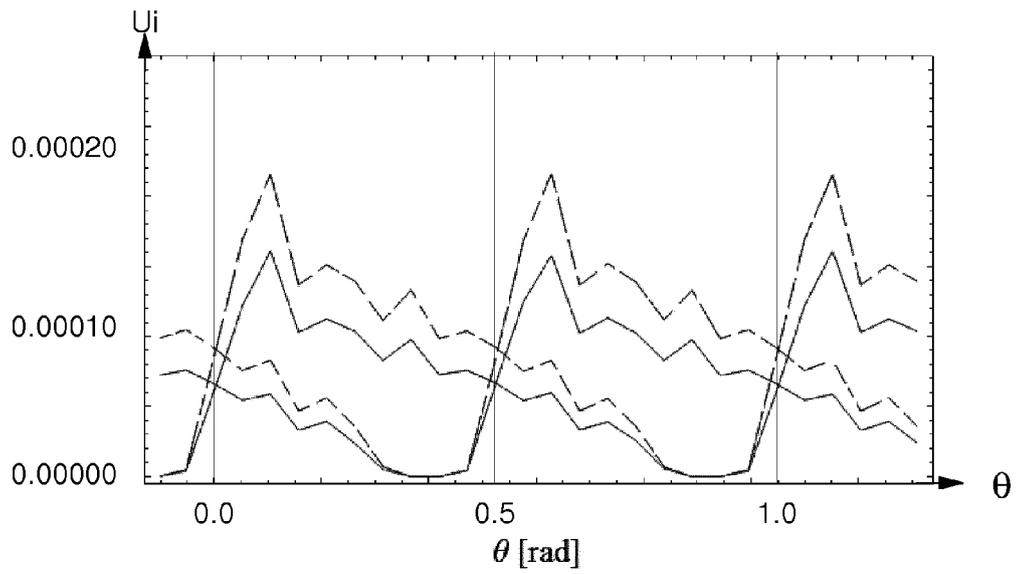


Fig. 28A

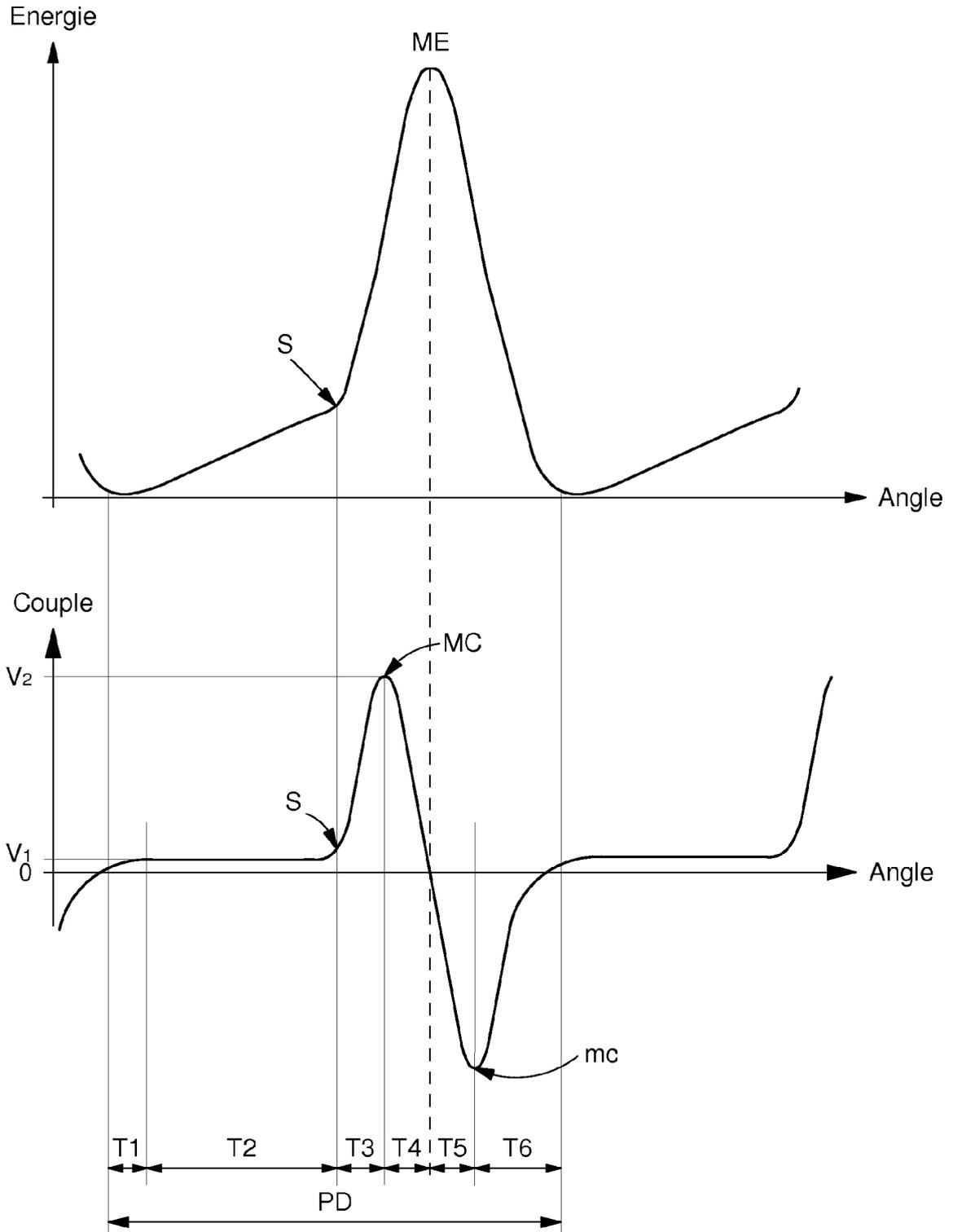


Fig. 29

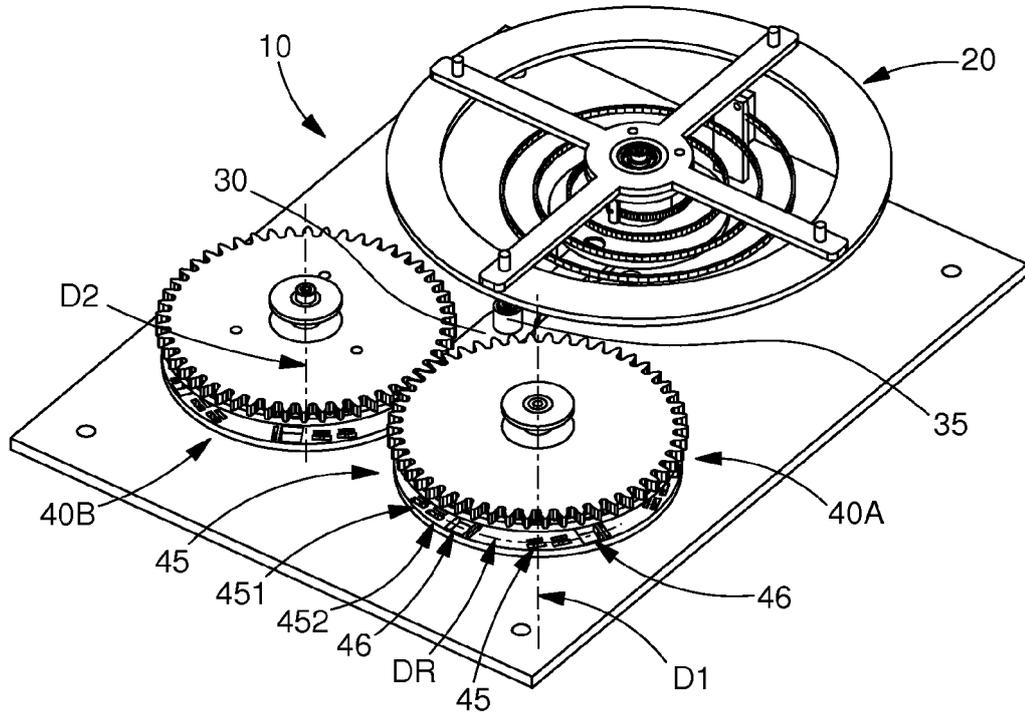


Fig. 30

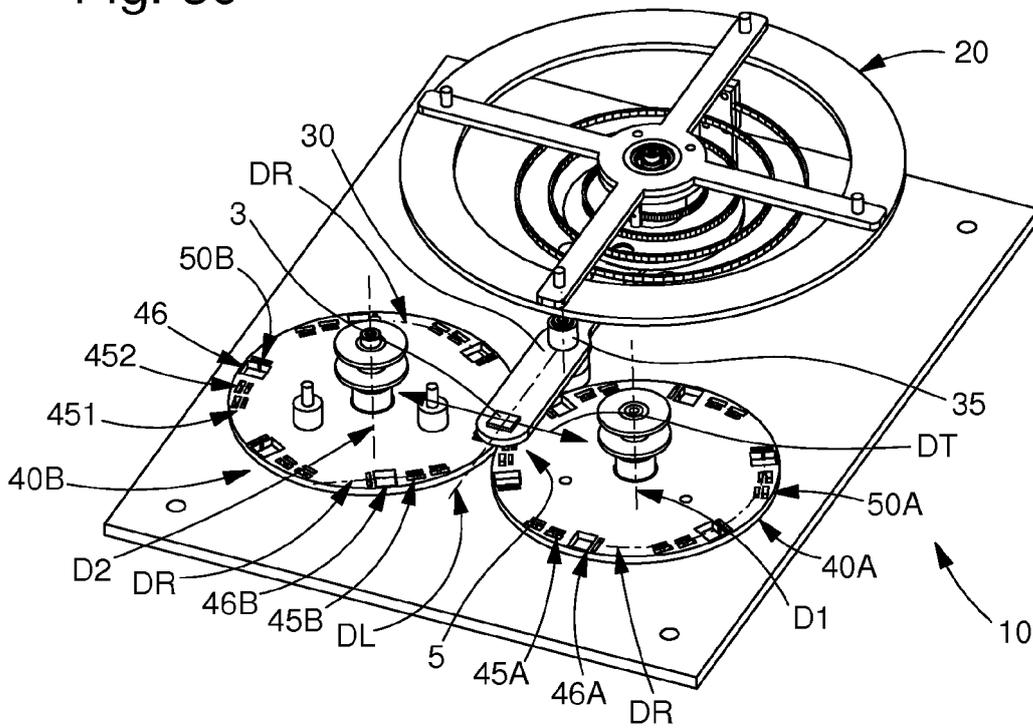


Fig. 31

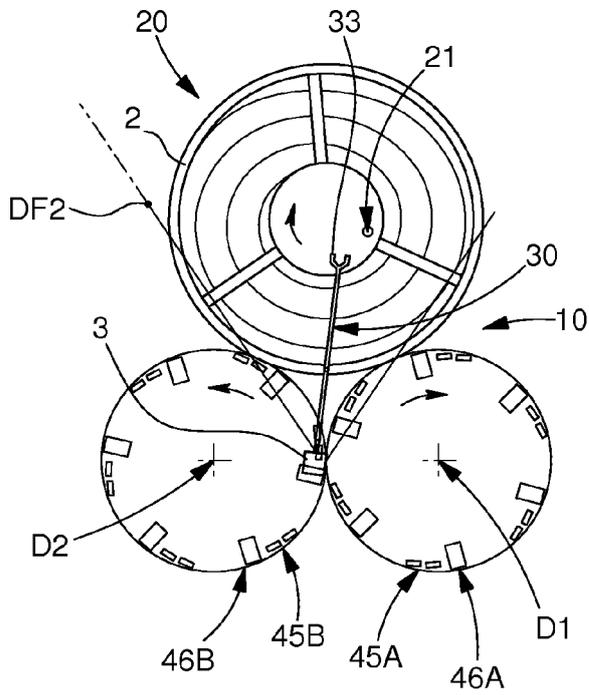


Fig. 32

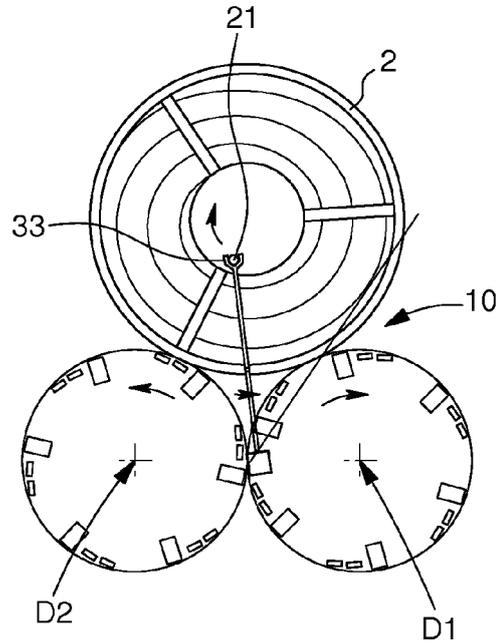


Fig. 33

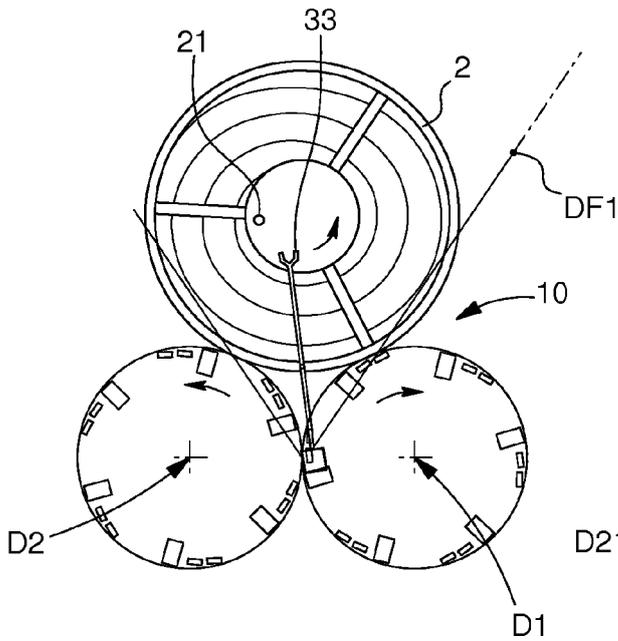
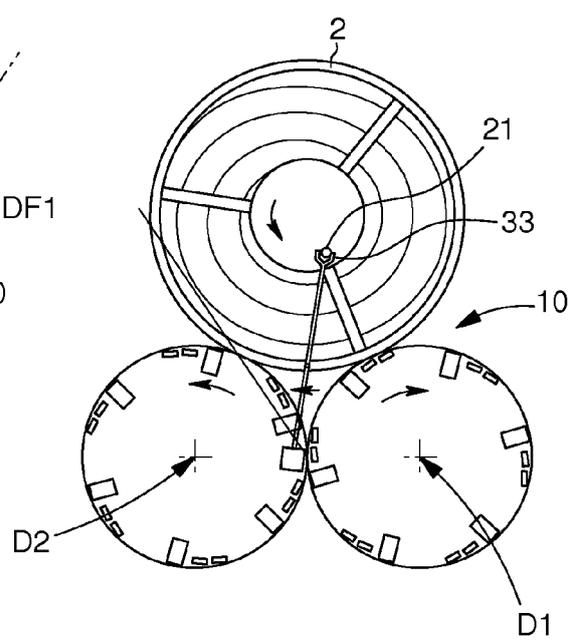


Fig. 34



**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**

- US 3518464 A, KAWAKAMI TSUNETA [0009]
- DE 1935486 U, JUNGHANS [0010]
- US 3183426 A, HAYDON ARTHUR [0011]