



(11) **EP 3 087 435 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
22.04.2020 Bulletin 2020/17

(21) Numéro de dépôt: **14821180.8**

(22) Date de dépôt: **22.12.2014**

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

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2014/079036

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2015/097172 (02.07.2015 Gazette 2015/26)

(54) **DISPOSITIF REGULATEUR DE LA VITESSE ANGULAIRE D'UN MOBILE DANS UN MOUVEMENT
HORLOGER COMPRENANT UN ECHAPPEMENT MAGNETIQUE**

VORRICHTUNG ZUR STEUERN DER WINKELGESCHWINDIGKEIT EINES RÄDERWERKS IN
EINEM EINE MAGNETISCHE HEMMUNG UNFASSNDEN UHRWERK

DEVICE INTENDED TO CONTROL THE ANGULAR SPEED OF A TRAIN IN A TIMEPIECE
MOVEMENT AND INCLUDING A MAGNETIC ESCAPEMENT

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

(30) Priorité: **23.12.2013 EP 13199428**
23.12.2013 EP 13199427
11.07.2014 EP 14176816
24.09.2014 EP 14186261

(43) Date de publication de la demande:
02.11.2016 Bulletin 2016/44

(73) Titulaire: **The Swatch Group Research and
Development Ltd.**
2074 Marin (CH)

(72) Inventeurs:
• **DI DOMENICO, Gianni**
2000 Neuchâtel (CH)
• **WINKLER, Pascal**
2074 Marin (CH)

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

(56) Documents cités:
JP-A- 52 040 366 US-A- 3 518 464

EP 3 087 435 B1

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

Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine des dispositifs régulateur de la vitesse angulaire relative entre une structure magnétique et un résonateur couplés magnétiquement de manière à définir ensemble un oscillateur. Le dispositif régulateur de la présente invention rythme la marche d'un mouvement horloger mécanique. Plus particulièrement, l'invention concerne les échappements magnétiques pour mouvements horlogers mécaniques dans lesquels il est prévu un couplage magnétique direct entre un résonateur et une structure magnétique. En général, leur fonction est d'assujettir les fréquences de rotation des mobiles d'un rouage compteur d'un tel mouvement horloger à la fréquence de résonance du résonateur.

[0002] Le dispositif régulateur comprend donc un résonateur, dont une partie oscillante est munie d'au moins un élément de couplage magnétique, et un échappement magnétique agencés de manière à commander la vitesse angulaire relative entre une structure magnétique formant cet échappement magnétique et ce résonateur. Il remplace le balancier-spiral et le mécanisme d'échappement classique, notamment l'échappement avec une ancre de type suisse et une roue d'échappement dentée.

[0003] Le résonateur ou la structure magnétique est solidaire en rotation d'un mobile entraîné en rotation avec un certain couple moteur qui entretient une oscillation du résonateur. En général le mobile est incorporé dans un rouage ou plus généralement une chaîne cinématique d'un mécanisme. Cette oscillation permet de régler la vitesse angulaire relative entre la structure magnétique et le résonateur grâce au couplage magnétique entre eux.

Arrière-plan technologique

[0004] Les dispositifs de régulation de la vitesse d'une roue, nommé aussi rotor, par un couplage magnétique, nommé aussi accouplement magnétique, entre un résonateur et une roue magnétique sont connus depuis de nombreuses années dans le domaine horloger. Plusieurs brevets relatifs à ce domaine ont été délivrés à la société Horstmann Clifford Magnetics pour des inventions de C. F. Clifford. En particulier, on citera le brevet US 2,946,183. Le dispositif de régulation décrit dans ce document présente divers inconvénients, en particulier un problème d'anisochronisme (un non-isochronisme, c'est-à-dire une absence d'isochronisme), à savoir une variation significative de la pulsation (vitesse angulaire) du rotor en fonction du couple moteur appliqué à ce rotor. Un tel anisochronisme résulte d'un anisochronisme de l'oscillateur formé par le résonateur et la roue magnétique. Les raisons de cet anisochronisme ont été comprises dans le cadre des développements ayant conduit à la présente invention. Ces raisons ressortiront ultérieu-

rement à la lecture de la description de l'invention.

[0005] Il est aussi connu de la demande de brevet japonaise JPS 5240366 (demande No JP19750116941) et des modèles d'utilité japonais JPS 5245468U (demande No JP19750132614U) et JPS 5263453U (demande No JP19750149018U) des échappements magnétiques à couplage magnétique direct entre un résonateur et une roue formée par un disque. Dans les deux premiers documents, il est prévu de remplir des ouvertures rectangulaires d'un disque non magnétique avec une poudre à haute perméabilité magnétique ou un matériau aimanté. On obtient ainsi deux pistes annulaires coaxiales et adjacentes qui comprennent chacune des zones magnétiques rectangulaires agencées régulièrement avec une période angulaire donnée, les zones de la première piste étant décalées ou déphasées d'une demi-période relativement aux zones de la seconde piste. On a donc des zones magnétiques distribuées alternativement d'un côté et de l'autre d'un cercle correspondant à la position de repos (position zéro) de l'élément ou organe de couplage magnétique du résonateur. Cet élément ou organe de couplage est réalisé par une boucle ouverte, selon le cas en matériau aimanté ou à haute perméabilité magnétique, entre les extrémités de laquelle passe le disque entraîné en rotation. Le troisième document décrit une alternative dans laquelle les zones magnétiques du disque sont formées par des plaquettes individuelles en matériau à haute perméabilité magnétique, l'élément de couplage magnétique du résonateur étant alors aimanté. Les échappements magnétiques décrits dans ces documents japonais ne permettent pas d'améliorer l'isochronisme de manière importante, notamment pour des raisons qui sont exposées ci-après à l'aide des Figures 1 à 4.

[0006] A la Figure 1 est représenté schématiquement un dispositif régulateur ou oscillateur 2 de l'art antérieur comprenant un échappement magnétique du type décrit dans les documents japonais susmentionnés. Ce dispositif comprend une structure magnétique 4 et un résonateur 6. La structure magnétique est supportée par un mobile 8 en matériau non magnétique à la surface duquel sont agencés deux pluralités d'aimants rectangulaires à aimantation axiale, les première et deuxième pluralités d'aimants 10 et 12 formant respectivement des première et deuxième pistes magnétiques annulaires 11 et 13 qui sont adjacentes et concentriques. Chacune des deux pluralités d'aimants a un même nombre d'aimants répartis angulairement de manière régulière et définissant une même période angulaire θ_p , la première piste étant déphasée d'une demi-période (correspondant à un déphasage de 180°). Le résonateur 6 est représenté symboliquement par un ressort 15, correspondant à sa capacité de déformation élastique définie par une constante élastique, et par une inertie 16 (symbole 'I') définie par sa masse et sa structure. Ce résonateur comprend un aimant 18 ayant une forme rectangulaire et définissant un élément de couplage à la structure magnétique. Cet aimant a une aimantation axiale de sens inversé à celui

des aimants 10 et 12, de sorte qu'il est agencé en répulsion de ces derniers. Il est capable d'osciller avec une fréquence propre dans un mode de résonance où il présente une oscillation radiale relativement à l'axe de rotation 20 du mobile 8 qui est confondu avec l'axe central de la structure magnétique annulaire. Ce mode de résonance est excité et entretenu lorsque la structure magnétique 4 est entraînée en rotation par un couple moteur dans une plage de couple utile, par exemple dans le sens antihoraire à la vitesse angulaire ω comme représenté à la Figure 1. A cet effet, l'aimant 18 est situé au-dessus du mobile 8 de manière que son centre de masse soit axialement superposé à un cercle géométrique intermédiaire définissant une limite commune ou interface des deux pistes annulaires concentriques et contiguës lorsque le résonateur est dans sa position de repos.

[0007] Comme les aimants 10 et 12 forment des zones d'interaction magnétique avec l'aimant 18 du résonateur et qu'ils sont situés alternativement d'un côté et de l'autre du cercle géométrique intermédiaire susmentionné, ils définissent un chemin magnétique sinueux (sinusoïdal) avec une période angulaire θ_p déterminée, laquelle correspond à la période angulaire de chacune des première et deuxième pistes annulaires 11 et 13. Lorsque le résonateur est couplé magnétiquement à la structure magnétique entraînée en rotation, l'aimant 18 oscille en suivant ce chemin magnétique sinueux et la vitesse angulaire ω de la roue est définie sensiblement par la fréquence d'oscillation du résonateur. On a donc une synchronisation entre la fréquence du résonateur et la fréquence de rotation ou pulsation du mobile 8. Par synchronisation, on comprend ici un rapport déterminé et constant entre deux fréquences. On remarquera la forme géométrique de l'aimant 18 dont la partie d'extrémité active (représentée à la Figure 1) définit, en projection axiale dans le plan géométrique général de la structure magnétique, une surface rectangulaire. En d'autres termes, cette partie d'extrémité active a un contour ou profil extérieur général et moyen, dans un plan parallèle à celui de la structure magnétique, qui est sensiblement rectangulaire. Dans cette réalisation de l'art antérieur, la longueur de ladite surface rectangulaire est radiale alors que sa largeur, inférieure à la longueur, est angulaire relativement à l'axe central de la structure magnétique annulaire ou tangentielle relativement au cercle géométrique intermédiaire susmentionné. Dans l'exemple décrit ici, cette longueur est environ égale au double de la largeur.

[0008] A la Figure 2 est représentée schématiquement, pour une partie de la structure magnétique 4 et sur une plage radiale correspondant à la largeur des deux pistes magnétiques 11 et 13, l'énergie potentielle magnétique (aussi nommée énergie potentielle d'interaction magnétique) de l'oscillateur 2 qui varie angulairement et radialement. Les courbes de niveaux 22 correspondent à différents niveaux de l'énergie potentielle magnétique. Elles définissent des courbes équipotentielles. L'énergie potentielle magnétique de l'oscillateur en un point donné correspond à un état de l'oscillateur lorsque l'élément de

couplage magnétique du résonateur se trouve dans une position donnée (son centre de masse ou géométrie étant situé à ce point donné). Elle est définie à une constante près. En général, l'énergie potentielle magnétique est définie relativement à une énergie de référence qui correspond à l'énergie potentielle minimale de l'oscillateur. En l'absence de force dissipative, cette énergie potentielle correspond au travail nécessaire pour amener l'aimant d'une position d'énergie minimale à une position donnée. Dans le cas de l'oscillateur considéré, ce travail est fourni par le couple moteur appliqué au mobile 8. L'énergie potentielle accumulée dans l'oscillateur est transférée au résonateur lorsque l'organe de couplage du résonateur retourne vers une position d'énergie potentielle moindre, en particulier d'énergie potentielle minimale, par un mouvement radial relativement à l'axe de rotation du mobile (c'est-à-dire selon le degré de liberté du mode de résonance utile). En l'absence de force dissipative, cette énergie potentielle est transformée en énergie cinétique et énergie élastique dans le résonateur par le travail de la force magnétique entre l'élément de couplage du résonateur et la structure magnétique. C'est ainsi que le couple moteur fourni à la roue sert à entretenir l'oscillation du résonateur qui en retour freine la roue en réglant sa vitesse angulaire.

[0009] La piste annulaire extérieure 11 définit une alternance de zones d'énergie potentielle basse 24 et de zones d'énergie potentielle haute 26 alors que la piste annulaire intérieure 13 définit, avec un décalage angulaire d'une demi-période angulaire $\theta_p/2$ relativement à la première piste (c'est-à-dire un déphasage de 180°), une alternance de zones d'énergie potentielle basse 28 et de zones d'énergie potentielle haute 30. Le tracé 32 donne la position du centre de l'aimant 18 lorsque l'oscillateur 2 est excité et que le mobile 8 est donc entraîné en rotation avec un certain couple moteur. Ce tracé est une représentation de l'oscillation de l'aimant du résonateur 6 dans un référentiel lié au mobile. Comme cet aimant est en répulsion des aimants de la structure magnétique 4, les zones d'énergie potentielle basse correspondent aux zones entre les aimants de la structure magnétique alors que les zones d'énergie potentielle haute correspondent aux zones de ces aimants, c'est-à-dire aux situations où l'aimant 18 est au moins partiellement superposé aux aimants de la structure magnétique. On notera que dans le cas où les aimants sont agencés en attraction, alternativement dans le cas où la structure magnétique ou l'organe de couplage du résonateur est en matériau ferromagnétique, on a une inversion spatiale entre les zones d'énergie potentielle basse et les zones d'énergie potentielle haute relativement au cas des aimants en répulsion.

[0010] En observant les courbes de niveau 22 de l'énergie potentielle magnétique et l'oscillation 32, on remarque que l'oscillateur accumule de l'énergie potentielle magnétique à chaque alternance de l'oscillation essentiellement lorsque l'aimant 18 a atteint son amplitude maximale et qu'il commence à revenir vers sa position

zéro. On remarque également que l'énergie potentielle de l'oscillateur diminue sur une grande partie de chaque alternance. La force F exercée sur l'aimant du résonateur est donnée par le gradient de l'énergie potentielle magnétique, lequel est perpendiculaire aux courbes de niveaux 22. La composante angulaire (degré de liberté de la structure magnétique) travaille par réaction sur la roue alors que la composante radiale (degré de liberté du résonateur) travaille sur l'organe de couplage du résonateur. La force angulaire correspond en moyenne à une force de freinage du mobile car la force de réaction angulaire s'oppose majoritairement au sens de rotation de ce mobile sur une période d'oscillation. La force radiale correspond à une force de poussée sur la structure oscillante du résonateur. On observe que la force F (voir Figure 2) a une composante radiale sur une distance importante entre les extrema de l'oscillation 32. Une force de poussée agit donc sur l'aimant du résonateur dans la majeure partie de chaque alternance.

[0011] Lorsqu'on analyse les courbes d'énergie potentielle 22 et qu'on étudie le comportement de l'oscillateur considéré ici en fonction du couple moteur appliqué à la roue, on observe au moins deux inconvénients majeurs d'un tel dispositif régulateur. Premièrement, la plage de valeurs pour le couple moteur est réduite et deuxièmement le dispositif régulateur présente un anisochronisme important. Cet anisochronisme est dans l'art antérieur si important qu'il n'est pas possible de produire un mouvement horloger ayant une plage de fonctionnement convenable, c'est-à-dire avec une précision acceptable.

Résumé de l'invention

[0012] Dans le cadre de la présente invention, après avoir constaté les problèmes d'anisochronisme et de plage de fonctionnement limitée dans les dispositifs régulateurs connus mentionnés précédemment, les inventeurs se sont donnés pour objectif d'en comprendre les raisons et d'apporter une solution à ces problèmes.

[0013] Les réflexions quant aux problèmes de l'art antérieur et diverses recherches effectuées ont permis de cerner des causes à ces problèmes. Le problème d'anisochronisme et également celui de la plage utile du couple moteur limitée sont dus en particulier au fait qu'une force de poussée s'exerce sur l'aimant du résonateur sur une distance radiale relativement importante entre les positions correspondant aux extrema de son oscillation. Ainsi, le résonateur est perturbé car une force de poussée est appliquée sur son organe oscillant hors d'une zone localisée autour de sa position zéro (position de repos correspondant à une énergie élastique minimale, généralement nulle, dans le résonateur). En effet, seules des impulsions localisées à l'endroit de position zéro de l'organe oscillant ne perturbent quasi pas l'oscillateur. Les inventeurs ont ainsi constaté qu'une force de poussée sur un chemin relativement étendu hors d'une zone localisée autour de la position zéro perturbe l'oscillateur ; ce qui varie sa fréquence en fonction du couple fourni,

et ainsi de l'amplitude d'oscillation, et est donc source d'anisochronisme.

[0014] Pour résoudre le problème d'anisochronisme identifié tout en permettant un fonctionnement efficace et stable de l'oscillateur sur une plage de couple relativement importante, la présente invention propose un dispositif régulateur de la vitesse angulaire relative entre une structure magnétique et un résonateur, couplés magnétiquement de manière à définir ensemble un oscillateur formant ce dispositif régulateur, tel que défini à la revendication 1 pour un premier mode de réalisation principal et à la revendication 11 pour un second mode de réalisation principal.

[0015] De manière générale, selon un premier mode de réalisation principal, le dispositif régulateur selon l'invention détermine la vitesse angulaire relative entre une structure magnétique et un résonateur couplés magnétiquement de manière à définir ensemble un oscillateur formant ce dispositif régulateur, la structure magnétique comprenant au moins une piste magnétique annulaire centrée sur l'axe de rotation de cette structure magnétique ou du résonateur. La structure magnétique et le résonateur sont agencés pour subir une rotation l'un relativement à l'autre autour de l'axe de rotation lorsqu'un couple moteur est appliqué à la structure magnétique ou au résonateur. Le résonateur comprend au moins un élément de couplage magnétique à la piste magnétique annulaire, cet élément de couplage présentant une partie d'extrémité active formée d'un premier matériau magnétique et située du côté de cette piste magnétique, cette dernière étant formée au moins partiellement d'un deuxième matériau magnétique agencé de sorte que l'énergie potentielle magnétique de l'oscillateur varie angulairement de manière périodique le long de la piste magnétique, définissant ainsi une période angulaire (θ_p) de cette piste magnétique, et qu'il définisse magnétiquement des premières zones et des deuxièmes zones angulairement alternées avec une première zone et une deuxième zone adjacente dans chaque période angulaire.

[0016] Chaque deuxième zone engendre, relativement à une première zone adjacente, une force de répulsion supérieure ou une force d'attraction inférieure pour une même zone quelconque de ladite partie d'extrémité active lorsque cette même zone quelconque est superposée, en projection orthogonale à une surface géométrique générale dans laquelle s'étend la piste magnétique annulaire, à cette deuxième zone, respectivement à cette première zone adjacente. L'élément de couplage magnétique est couplé magnétiquement à la piste magnétique de manière qu'une oscillation selon un degré de liberté d'un mode de résonance du résonateur est entretenue dans une plage utile du couple moteur appliqué à la structure magnétique ou au résonateur et qu'une période de cette oscillation intervienne lors de ladite rotation relative dans chaque période angulaire de la piste magnétique annulaire, la fréquence de l'oscillation déterminant ainsi la vitesse angulaire relative. Le degré de

liberté définit un axe d'oscillation de la partie d'extrémité active passant par son centre de masse.

[0017] Le résonateur est agencé relativement à la structure magnétique de manière que la partie d'extrémité active est au moins en majeure partie superposée, en projection orthogonale à la surface géométrique générale, à cette piste magnétique annulaire durant sensiblement une première alternance dans chaque période de ladite oscillation, et de manière que le trajet de l'élément de couplage magnétique lors de cette première alternance est sensiblement parallèle à la surface géométrique générale. La piste magnétique annulaire présente dans cette surface géométrique générale une dimension selon la projection orthogonale de l'axe d'oscillation qui est supérieure à la dimension de la partie d'extrémité active selon cet axe d'oscillation. On notera que l'axe d'oscillation peut être rectiligne ou curviligne.

[0018] Le dispositif régulateur selon le premier mode de réalisation principal se distingue particulièrement par la combinaison des caractéristiques suivantes :

- chacune des deuxièmes zones présente, en projection orthogonale dans la surface géométrique générale de la piste magnétique annulaire, un contour général avec une première portion, définissant une ligne de pénétration au-dessus de cette deuxième zone pour la partie d'extrémité active de l'élément de couplage magnétique lors de ladite oscillation, et une deuxième portion définissant une ligne de sortie de dessus cette deuxième zone pour cette partie d'extrémité active lors de cette oscillation;
- la ligne de sortie est orientée sensiblement selon une direction angulaire parallèle à un cercle de position zéro centré sur l'axe de rotation et passant par la projection orthogonale, dans la surface géométrique générale, du centre de masse de la partie d'extrémité active dans la position de repos de l'élément de couplage;
- la structure magnétique définit en outre pour la partie d'extrémité active au moins une zone de sortie qui s'étend dans la surface géométrique générale, cette au moins une zone de sortie recevant, en projection orthogonale à cette surface géométrique générale, au moins la majeure partie de la partie d'extrémité active lorsqu'elle sort, lors de ladite oscillation, successivement de la piste magnétique annulaire par les lignes de sortie respectives des deuxièmes zones, cette au moins une zone de sortie engendrant, relativement aux deuxièmes zones, une force de répulsion inférieure ou une force d'attraction supérieure pour une même zone quelconque de la partie d'extrémité active lorsque cette même zone quelconque est superposée, en projection orthogonale à la surface géométrique générale, à cette au moins une zone de sortie, respectivement à ces deuxièmes zones;
- la partie d'extrémité active de l'élément de couplage

dans sa position de repos a, en projection orthogonale dans la surface géométrique générale, une première dimension, selon un axe perpendiculaire au cercle de position zéro et passant par la projection orthogonale du centre de masse de cette partie d'extrémité active, et une deuxième dimension, selon un deuxième axe défini par le cercle de position zéro, qui est supérieure à cette première dimension; et

- la ligne de sortie de chacune des deuxièmes zones a une longueur, le long de ladite au moins une zone de sortie et selon ledit deuxième axe, qui est supérieure à la première dimension de la partie d'extrémité active.

[0019] On notera que les premières zones dans un couplage magnétique en répulsion ou les deuxièmes zones dans un couplage magnétique en attraction peuvent être formées par un matériau non magnétique ou de l'air. On comprend par 'matériau magnétique' un matériau ayant une propriété magnétique générant un champ magnétique externe (aimant) ou un bon conducteur du flux magnétique (en particulier un matériau ayant une haute perméabilité magnétique, par exemple un matériau ferromagnétique). Par 'partie d'extrémité active', on comprend la partie d'extrémité de l'élément de couplage, située du côté de la structure magnétique considérée, au travers de laquelle passe l'essentiel du flux magnétique de couplage entre cet élément de couplage et la structure magnétique.

[0020] Selon une première variante, la deuxième dimension de la partie d'extrémité active est au moins deux fois plus grande que sa première dimension. Selon une deuxième variante, la dimension de chacune des deuxièmes zones, selon un axe perpendiculaire audit cercle de position zéro à un point milieu de sa ligne de sortie, est au moins trois fois plus grande que la première dimension de la partie d'extrémité active. Selon une variante préférée, la ligne de sortie de chaque deuxième zone est sensiblement confondue avec le cercle de position zéro.

[0021] Lorsqu'il est indiqué une projection dans une surface, une superposition (en particulier 'dessus', 'dessous', 'en face' ou 'en regard') ou l'expression 'en projection' ou 'en projection orthogonale', on comprend respectivement une projection orthogonale dans la surface en question, une superposition en projection orthogonale à une surface géométrique considérée dans le contexte ou mentionnée précédemment, ou 'en projection orthogonale à une telle surface géométrique'. Ceci est à prendre en considération dans la suite de la présente description et en particulier dans les revendications.

[0022] L'invention concerne également, selon un deuxième mode de réalisation principal, un dispositif régulateur qui détermine la vitesse angulaire relative entre une structure magnétique et un résonateur couplés magnétiquement de manière à définir ensemble un oscillateur formant ce dispositif régulateur, la structure magnétique comprenant au moins une piste magnétique annulaire centrée sur un axe de rotation de cette structure

magnétique ou du résonateur, la structure magnétique et le résonateur étant agencés pour subir une rotation l'un relativement à l'autre autour dudit axe de rotation lorsqu'un couple moteur est appliqué à la structure magnétique ou au résonateur. Le résonateur comprend au moins un élément de couplage magnétique à la piste magnétique annulaire, cet élément de couplage présentant une partie d'extrémité active formée d'un premier matériau magnétique et située du côté de la piste magnétique annulaire. Cette piste magnétique annulaire est formée au moins partiellement d'un deuxième matériau magnétique agencé de sorte que l'énergie potentielle magnétique de l'oscillateur varie angulairement de manière périodique le long de la piste magnétique annulaire, définissant ainsi une période angulaire (θ_p) de cette piste magnétique annulaire. L'élément de couplage magnétique est couplé magnétiquement à la piste magnétique annulaire de manière qu'une oscillation selon un degré de liberté d'un mode de résonance du résonateur est entretenue dans une plage utile du couple moteur appliqué à la structure magnétique ou au résonateur et qu'une période de cette oscillation intervienne lors de ladite rotation relative dans chaque période angulaire de la piste magnétique annulaire, la fréquence de l'oscillation déterminant ainsi la vitesse angulaire relative. Le degré de liberté définit un axe d'oscillation de la partie d'extrémité active passant par son centre de masse.

[0023] Le dispositif régulateur selon le deuxième mode de réalisation principal se distingue particulièrement par la combinaison des caractéristiques suivantes :

- le deuxième matériau magnétique est agencé le long de la piste magnétique annulaire de sorte qu'il définisse magnétiquement des premières zones et des deuxièmes zones angulairement alternées avec une première zone et une deuxième zone adjacente dans chaque période angulaire;
- dans la plage utile du couple moteur, la partie d'extrémité active de l'élément de couplage magnétique définit magnétiquement, dans une surface géométrique générale dans laquelle s'étend globalement cette partie d'extrémité active et comprenant l'axe d'oscillation, premièrement une zone d'entrée successivement pour les deuxièmes zones en projection orthogonale à la surface géométrique générale, ensuite une zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique dans l'oscillateur, laquelle est angulairement adjacente à la zone d'entrée et dans laquelle pénètre en projection orthogonale au moins partiellement chaque deuxième zone depuis cette zone d'entrée, et finalement une zone de sortie adjacente à la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique, cette zone de sortie recevant en projection orthogonale au moins la majeure partie de chaque deuxième zone sortant de cette zone d'accumulation ou d'une deuxième zone suivante;
- chaque deuxième zone engendre par unité de lon-

gueur angulaire, relativement à une première zone adjacente, une force de répulsion supérieure pour la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique ou une force d'attraction supérieure pour la zone d'entrée et la zone de sortie;

- la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique engendre, relativement à la zone d'entrée et la zone de sortie, une force de répulsion supérieure ou une force d'attraction inférieure pour une même zone quelconque de chaque deuxième zone lorsque cette même zone quelconque est superposée à cette zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique, respectivement à la zone d'entrée ou à la zone de sortie;
- la piste magnétique annulaire présente, en projection orthogonale dans la surface géométrique générale, une dimension selon l'axe d'oscillation qui est inférieure à la dimension selon cet axe d'oscillation de la partie d'extrémité active;
- le résonateur est agencé relativement à la structure magnétique de manière que la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique est traversée en projection orthogonale par un cercle géométrique médian, passant par le milieu de la piste magnétique annulaire, durant sensiblement une alternance donnée dans chaque période de ladite oscillation;
- la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique présente un contour général avec une première portion, définissant une ligne de pénétration sous cette zone d'accumulation successivement pour chacune des deuxièmes zones lors de ladite oscillation, et une deuxième portion définissant une ligne de sortie de dessous cette zone d'accumulation pour cette deuxième zone ou une deuxième zone suivante lors de cette oscillation;
- la ligne de sortie est orientée, lorsque l'élément de couplage magnétique est dans sa position de repos, sensiblement selon une direction angulaire parallèle à la projection orthogonale du cercle géométrique médian de la piste magnétique annulaire;
- chacune des deuxièmes zones a en projection orthogonale, lorsque le centre de cette deuxième zone est superposé à l'axe d'oscillation, une première dimension, selon un premier axe perpendiculaire à la projection orthogonale du cercle géométrique médian et passant par le point d'intersection de cette projection orthogonale du cercle géométrique médian avec l'axe d'oscillation, et une deuxième dimension, selon un deuxième axe perpendiculaire au premier axe et passant par le point d'intersection susmentionné, qui est supérieure à la première dimension; et
- lorsque l'élément de couplage magnétique est dans sa position de repos, la ligne de sortie a une longueur, le long de la zone de sortie et selon le deuxième axe susmentionné, qui est supérieure à la première dimension des deuxièmes zones.

[0024] On notera que soit la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique dans un couplage magnétique en attraction, soit la zone d'entrée et la zone de sortie dans un couplage magnétique en répulsion peuvent être définies par un matériau non magnétique solide de l'élément de couplage ou correspondre à des régions avec de l'air à la périphérie de la partie d'extrémité active de l'élément de couplage. Ensuite, on notera également que les premières zones (couplage en répulsion) ou les deuxièmes zones (couplage en attraction) peuvent être formées par un matériau non magnétique ou de l'air.

[0025] On comprend par 'contour général d'une zone', lorsque cette zone est entièrement délimitée, une ligne moyenne définissant le profil général de son pourtour ou, lorsque cette zone est ouverte et donc que partiellement délimitée, une ligne moyenne définissant le profil général de la limite de cette zone relativement à l'élément de couplage magnétique considéré.

[0026] Selon une variante préférée, la ligne de sortie de la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique est sensiblement confondue, en projection orthogonale à la surface géométrique générale, avec le cercle géométrique médian lorsque l'élément de couplage est dans sa position de repos.

[0027] Selon une première variante, la deuxième dimension de chaque deuxième zone est au moins deux fois plus grande que sa première dimension. Selon une deuxième variante, la longueur de la ligne de pénétration de la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique le long de l'axe d'oscillation est au moins cinq fois plus grande que la dimension de la piste magnétique annulaire le long de cet axe d'oscillation en projection orthogonale dans la surface géométrique générale.

[0028] Selon une première variante principale, la surface géométrique générale est un plan perpendiculaire à l'axe de rotation, le degré de liberté étant sensiblement parallèle à ce plan. Selon une deuxième variante principale, la surface géométrique générale est une surface cylindrique ayant comme axe central l'axe de rotation, le degré de liberté étant sensiblement orienté selon cet axe de rotation.

[0029] Selon un mode de réalisation particulier, le dispositif régulateur forme un oscillateur avec un échappement à cylindre du type magnétique. De manière générale, ce dispositif régulateur est caractérisé en ce qu'une partie d'extrémité active de l'élément de couplage est formée sensiblement par une section de tube cylindrique tronquée et ayant un axe central confondu avec un axe de rotation du résonateur, le degré de liberté de ce dernier étant angulaire et l'axe d'oscillation circulaire. Cette section de tube cylindrique tronquée définit dans la surface géométrique générale une surface annulaire tronquée, correspondant à ladite zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique successivement dans les deux alternances de chaque période d'oscillation. Cette surface annulaire tronquée présente une première extrémité et une deuxième extrémité, ainsi qu'un contour

extérieur définissant une première ligne de pénétration circulaire et un contour intérieur définissant une deuxième ligne de pénétration circulaire. La première extrémité définit une première ligne de sortie, et la deuxième extrémité définit une deuxième ligne de sortie ayant des caractéristiques similaires à la première ligne de sortie. Le contour extérieur est associé à la première ligne de sortie dans une première alternance des périodes d'oscillation du résonateur pour assurer successivement le couplage magnétique avec les deuxièmes zones de la piste magnétique et engendrer une première impulsion à la fin de chaque première alternance, alors que le contour intérieur est associé à la deuxième ligne de sortie pour assurer successivement le couplage magnétique avec ces deuxièmes zones dans la deuxième alternance des périodes d'oscillation et engendrer une deuxième impulsion à la fin de chaque deuxième alternance.

[0030] D'autres caractéristiques particulières de l'invention seront exposées ci-après dans la description détaillée de divers modes de réalisation et de variantes de l'invention.

Brève description des dessins

[0031] L'invention sera décrite ci-après à l'aide de dessins annexés, donnés à titre d'exemples nullement limitatifs, dans lesquels :

- La Figure 1, déjà décrite, est une vue en plan d'un oscillateur horloger de l'art antérieur;
- La Figure 2, déjà décrite, représente l'énergie potentielle magnétique dans l'oscillateur de la Figure 1;
- Les Figures 3 et 3A sont des vues schématiques en plan d'un premier mode de réalisation principal de l'invention;
- Les Figures 5 et 5A sont des vues schématiques en plan d'une première variante du premier mode de réalisation principal;
- La Figure 7 est une vue schématique en plan d'un deuxième mode de réalisation principal de l'invention;
- Les Figures 4, 6 et 8 représentent l'énergie potentielle magnétique respectivement dans les oscillateurs des Figures 3, 5 et 7;
- La Figure 9 est une représentation simplifiée de l'oscillateur de la Figure 7, pour l'exposé du fonctionnement du deuxième mode de réalisation principal;
- La Figure 10 montre une succession de positions relatives entre le résonateur et une piste magnétique annulaire au cours d'une période d'oscillation pour l'oscillateur de la Figure 7;
- Les Figures 11 et 11A montrent une première variante du deuxième mode de réalisation principal avec un couplage magnétique en attraction;
- La Figure 12 montre partiellement une deuxième variante du deuxième mode de réalisation principal, et la Figure 12A donne une alternative simplifiée;
- La Figure 13 montre partiellement une troisième va-

- riante du deuxième mode de réalisation principal;
- La Figure 14 montre schématiquement une alternative à la Figure 13 avec un résonateur du type balancier-spiral;
- La Figure 15 montre schématiquement un troisième mode de réalisation de l'invention;
- La Figure 16 montre schématiquement un quatrième mode de réalisation de l'invention;
- La Figure 17 montre schématiquement un cinquième mode de réalisation de l'invention;
- La Figure 18 est une vue en coupe de la Figure 17;
- La Figure 19 montre schématiquement un sixième mode de réalisation de l'invention;
- La Figure 20 est une vue en coupe de la Figure 19;
- La Figure 21 montre schématiquement un septième mode de réalisation de l'invention;
- La Figure 22 montre schématiquement une alternative à la Figure 21 dans une configuration correspondant au deuxième mode de réalisation principal;
- Les Figures 23 montre schématiquement un huitième mode de réalisation de l'invention;
- La Figure 24 montre schématiquement un neuvième mode de réalisation de l'invention;
- Les Figures 25A à 25D montre schématiquement un dixième mode de réalisation de l'invention dans respectivement quatre positions relatives différentes du résonateur et de la roue d'échappement;
- La Figure 26 est une variante avantageuse du dixième mode de réalisation;
- La Figure 27 montre schématiquement un onzième mode de réalisation de l'invention.

Description détaillée de l'invention

[0032] A l'aide des Figures 3 à 6, on décrira ci-après un premier mode de réalisation principal de l'invention. Le dispositif régulateur 36 de la Figure 3 détermine la vitesse angulaire relative ω entre la structure magnétique 4 et un résonateur 38 qui sont couplés magnétiquement de manière à définir ensemble un oscillateur horloger formant ce dispositif régulateur. La structure magnétique 4 est solidaire d'un mobile d'axe de rotation 20. Elle est semblable à la structure magnétique de la Figure 1 et comprend une première piste magnétique annulaire et une deuxième piste magnétique annulaire centrées sur l'axe de rotation 20 et contiguës. La structure magnétique et le résonateur sont agencés pour subir une rotation l'un relativement à l'autre lorsqu'un couple moteur est appliqué à la structure magnétique ou au résonateur. Dans l'exemple représenté, le résonateur est solidaire du mouvement horloger alors que la structure magnétique est agencée pivotante et définit une roue d'échappement magnétique. Le résonateur comprend un élément de couplage couplé magnétiquement aux pistes magnétiques annulaires 11 et 13, cet élément de couplage présentant une partie d'extrémité active 46 formée d'un premier matériau magnétique et située du côté de ladite structure magnétique. Chaque piste magnétique est for-

mée partiellement d'un deuxième matériau magnétique agencé de sorte que l'énergie potentielle magnétique de l'oscillateur varie angulairement de manière périodique le long de cette piste magnétique annulaire, définissant ainsi une même période angulaire (θ_p) pour les deux pistes magnétiques.

[0033] Plus particulièrement, chaque piste magnétique est formée de premières zones 40, respectivement 42 et de deuxièmes zones 10, respectivement 12 qui sont angulairement alternées avec une première zone et une deuxième zone adjacente dans chaque période angulaire. De manière générale, chaque deuxième zone engendre, relativement à une première zone adjacente, une force de répulsion supérieure (dans le cas d'un couplage magnétique en répulsion entre la partie d'extrémité 46 et les pistes magnétiques 11 et 13, comme ceci est le cas dans les exemples des Figures 3 à 6) ou une force d'attraction inférieure (dans le cas d'un couplage magnétique en attraction dans une variante où soit les aimants couplés sont agencés en attraction, soit la partie d'extrémité active ou les pistes magnétiques est / sont formée(s) d'un matériau à haute perméabilité magnétique sans générateur de flux magnétique) pour une même zone quelconque 50 de la partie d'extrémité active 46 lorsque cette même zone quelconque est superposée, en projection orthogonale à une surface géométrique générale dans laquelle s'étend la piste magnétique annulaire, à cette deuxième zone, respectivement à cette première zone adjacente. La surface géométrique générale est ici un plan général de la structure magnétique perpendiculaire à l'axe de rotation 20. Dans la variante de la Figure 3, les deuxièmes zones 10 et 12 sont rectangulaires et les premières zones ont une forme de trapèze.

[0034] L'élément de couplage magnétique est couplé magnétiquement à chaque piste magnétique annulaire, via la partie d'extrémité active 46, de manière qu'une oscillation selon un degré de liberté d'un mode de résonance du résonateur est entretenue dans une plage utile du couple moteur appliqué à la structure magnétique ou au résonateur et qu'une période de cette oscillation intervienne lors de la rotation relative entre le résonateur et la structure magnétique dans chaque période angulaire θ_p de chaque piste magnétique annulaire. La fréquence de cette oscillation détermine ainsi la vitesse angulaire relative ω . Le degré de liberté est linéaire dans les exemples schématiques des Figures 3 et 5, et il définit un axe d'oscillation 48 de la partie d'extrémité active 46 passant par le centre de masse de cette partie d'extrémité active. Cet axe d'oscillation a ici une direction radiale relativement à l'axe de rotation 20. On notera que lorsque le degré de liberté suit une courbe, en particulier lorsque ce degré de liberté est une rotation autour d'un axe donné, l'axe d'oscillation est curviligne, en particulier circulaire. Le premier mode de réalisation principal est caractérisé par le fait que les pistes magnétiques annulaires présentent chacune une dimension selon le degré de liberté, c'est-à-dire le long d'une projection orthogonale de l'axe d'oscillation 48 dans le plan général des pistes

magnétiques, qui est supérieure à la dimension de la partie d'extrémité active 46 selon ce degré de liberté, c'est-à-dire selon l'axe d'oscillation.

[0035] Chacune des deuxièmes zones 10, 12 de chaque piste magnétique annulaire présente en projection orthogonale un contour général avec une première portion, définissant une ligne de pénétration 10a, 12a au-dessus de cette deuxième zone pour la partie d'extrémité active 46 sortant de la première zone adjacente 40, 42 lors de l'oscillation de cette partie d'extrémité active, et une deuxième portion définissant une ligne de sortie 10b, 12b de dessus cette deuxième zone pour au moins une majeure partie de cette partie d'extrémité active passant directement de cette deuxième zone à une zone de sortie 42, 40 lors de cette oscillation. Cette zone de sortie est définie par la structure magnétique et elle s'étend dans le plan général des pistes magnétiques. Dans les exemples donnés aux figures avec deux pistes magnétiques dans la surface géométrique générale, les zones d'entrée 40, 42 d'une piste magnétique, définies par les premières zones de cette piste, correspondent aux zones de sortie pour l'autre piste magnétique. Dans un mode de réalisation avec une seule piste magnétique couplée à la partie d'extrémité active 46, on peut avoir une seule zone de sortie annulaire pour l'ensemble des deuxièmes zones. Ainsi, on a au moins une zone de sortie recevant en projection orthogonale la partie d'extrémité active lorsqu'elle sort lors de l'oscillation de cette partie d'extrémité active, successivement d'une piste magnétique annulaire par les lignes de sortie respectives de ses deuxièmes zones.

[0036] De manière générale, les zones de sortie ou la zone de sortie annulaire sont / est agencée(s) de manière à engendrer, relativement aux deuxièmes zones, une force de répulsion inférieure ou une force d'attraction supérieure pour une même zone quelconque 50 de la partie d'extrémité active lorsque cette même zone quelconque est superposée en projection orthogonale à ces / cette zone(s) de sortie, respectivement à ces deuxièmes zones. Cette condition est remplie lorsque que les zones d'entrée et les zones de sortie sont toutes deux définies par les premières zones des deux pistes magnétiques couplées à la partie d'extrémité active, comme c'est le cas aux Figures 3 et 5.

[0037] Selon l'invention, chaque ligne de sortie est orientée sensiblement selon une direction angulaire parallèle à un cercle de position zéro 44 qui est centré sur l'axe de rotation 20 et passe par une projection du centre de masse de la partie d'extrémité active 46 dans la surface géométrique générale lorsque cette partie d'extrémité active est dans sa position de repos (position dans laquelle l'énergie élastique du résonateur est minimale et autour de laquelle elle oscille). A la Figure 3A est représentée la projection orthogonale 54 de la partie d'extrémité active dans sa position de repos. Comme mentionné, la direction angulaire donne sensiblement l'orientation de la ligne de sortie de chaque deuxième zone ; ce qui englobe notamment les directions tangentielles

au cercle de position zéro 44 pour la portion de ce cercle située dans un secteur angulaire défini par cette deuxième zone. Dans la variante de la Figure 3, la ligne de sortie est parallèle à la tangente au cercle 44 au point d'intersection avec une droite radiale passant par le milieu de cette ligne de sortie.

[0038] La partie d'extrémité active 46 de l'élément de couplage dans sa position de repos a, en projection orthogonale dans le plan général des pistes magnétiques, une première dimension W2 selon un premier axe dans ce plan général qui est perpendiculaire au cercle de position zéro 44 et passe par la projection orthogonale du centre de masse de cette partie d'extrémité active. Dans les variantes représentées aux Figures 3 et 5, ce premier axe est rectiligne et confondu avec une projection orthogonale de l'axe d'oscillation 48 dans le plan général, et il présente une direction radiale relativement à l'axe de rotation 20. Ensuite, la projection orthogonale de la partie d'extrémité active 46 a une deuxième dimension L2, selon un deuxième axe défini par le cercle de position zéro, qui est supérieure à la première dimension W2. On comprend ici une dimension selon un axe circulaire confondu avec le cercle de position zéro ou selon un axe rectiligne tangent à ce cercle au point d'intersection avec la projection orthogonale de l'axe d'oscillation, c'est-à-dire au point déterminé par la projection orthogonale du centre de masse de la partie 46, et perpendiculaire au premier axe. De plus, la ligne de sortie de chacune des deuxièmes zones 10, 12 a une longueur L1, le long de ladite au moins une zone de sortie et selon le deuxième axe défini par le cercle de position zéro, qui est supérieure à la première dimension W2 de la partie d'extrémité active 46. Dans le cas de l'axe circulaire, la position angulaire de la deuxième zone considérée est sans importance. Par contre, si on choisit l'axe tangentiel, la longueur L1 d'une deuxième zone est mesurée selon cet axe tangentiel lorsque le milieu de cette longueur est positionnée sur le premier axe. Dans une variante particulière, la deuxième dimension L2 de la partie d'extrémité active est au moins deux fois plus grande que sa première dimension W2 et la longueur L1 de la ligne de sortie est au moins deux fois plus grande que cette première dimension W2. Dans l'exemple de la Figure 3, le rapport longueur sur largeur de la partie d'extrémité 46 est environ égal à trois.

[0039] Le résonateur est agencé relativement à la structure magnétique de manière que la partie d'extrémité active est au moins en majeure partie superposée à cette piste magnétique annulaire durant sensiblement une première alternance dans chaque période de l'oscillation de cette partie d'extrémité active, et de manière que le trajet de l'élément de couplage magnétique lors de cette première alternance est sensiblement parallèle à la surface géométrique générale. On peut considérer que cette condition est vérifiée généralement lorsque la zone de projection orthogonale 54 de la partie d'extrémité active selon l'invention, dans sa position de repos, est traversée par le cercle intérieur de la piste magnétique

extérieure 11 et le cercle extérieur de la piste magnétique intérieure 13. On notera que ces deux cercles sont confondus lorsque les deux pistes magnétiques sont contiguës, comme c'est sensiblement le cas dans les variantes préférées de l'invention. Ils définissent alors un cercle d'interface des deux pistes. De préférence, le cercle de position zéro 44 est sensiblement confondu avec le cercle d'interface des deux pistes magnétiques.

[0040] Dans une variante préférée, la ligne de sortie de chaque deuxième zone 10, 12 est sensiblement confondue avec le cercle de position zéro, comme ceci est le cas dans les variantes des Figures 3 et 5. Dans une autre variante où les deux pistes magnétiques sont distantes et séparées par une zone intermédiaire formée par un milieu magnétique homogène, le cercle de position zéro est situé entre ces deux pistes, de préférence sensiblement au milieu de la zone intermédiaire. Une telle zone intermédiaire, que l'on conservera de petite largeur pour diverses raisons, peut être utile pour assurer un démarrage aisé de l'oscillateur. Une première raison est relative à la faible dimension prévue pour la partie d'extrémité active de l'élément de couplage selon l'axe d'oscillation, étant donné qu'il faut éviter que l'oscillateur tourne 'à vide' avec cette partie d'extrémité active restant sensiblement sur le cercle de position zéro. Une autre raison tient à un objectif de la présente invention, à savoir d'obtenir des impulsions localisées qui soient proches et de préférence sensiblement centrées sur le cercle de position zéro. La condition discutée ici est également vérifiée pour autant que la largeur de la zone intermédiaire ait une dimension bien inférieure à la largeur de chaque piste magnétique ; ce qui est le cas dans le cadre de l'invention.

[0041] Selon une variante préférée, le cercle de position zéro 44 et l'axe d'oscillation 48 sont, en projection orthogonale à la surface géométrique générale, sensiblement orthogonaux à leur point d'intersection. Ceci est le cas dans les variantes représentées aux Figures 3 et 5.

[0042] Selon une autre variante, la dimension W1 de chacune des deuxièmes zones, selon un axe perpendiculaire au cercle de position zéro à un point milieu de sa ligne de sortie, est au moins trois fois plus grande que la première dimension W2 de la partie d'extrémité active. Dans une autre variante préférée, cette dimension des deuxièmes zones est au moins six fois plus grande que la première dimension de la partie d'extrémité active.

[0043] La variante des Figures 5 et 5A se distingue de celle de la Figure 3 premièrement par le fait que les deuxièmes zones 10A et 12A ainsi que les premières zones 40A et 42A des pistes annulaires 11A et 13A définissent des secteurs annulaires. On remarquera que, dans la variante de la Figure 5, le cercle de position zéro 44 est confondu, en projection orthogonale dans le plan général de la structure magnétique 4A, avec les lignes de sorties 10b, 12b. Ces lignes de sorties ont donc une direction angulaire et les lignes de pénétration 10a, 12a sont radiales. Ensuite, la variante de la Figure 5 se distingue par les dimensions W2 et L2 de la partie d'extré-

mité active 46A de l'élément de couplage du résonateur 38A. Dans une variante préférée, la deuxième dimension L2 de la partie d'extrémité active est au moins quatre fois plus grande que sa première dimension W2 et la longueur L1 de la ligne de sortie est au moins quatre fois plus grande que cette première dimension. Dans la variante de la Figure 5, le rapport longueur sur largeur de la partie d'extrémité 46A est environ égal à cinq.

[0044] A la Figure 5, la ligne de pénétration 10a, 12a de chaque deuxième zone est orientée selon l'axe d'oscillation 48, projeté orthogonalement dans le plan général des pistes magnétiques, lorsque cette ligne de pénétration est alignée avec le centre de masse de la partie d'extrémité active 46A projetée orthogonalement dans ce plan général. Dans la variante de la Figure 3, ceci est sensiblement le cas. On notera encore que la ligne de sortie des deuxièmes zones, le long des zones de sortie définies par les deuxièmes zones de l'autre piste magnétique, et la partie d'extrémité active s'étendent angulairement sur la moitié d'une période angulaire $\theta_p/2$ à la Figure 5, et ceci est environ le cas à la Figure 3.

[0045] Dans les variantes de réalisation exposées précédemment, le degré de liberté du résonateur est entièrement dans un plan parallèle au plan général des pistes magnétiques et donc de la structure magnétique. Ainsi, l'entier du trajet effectué par l'élément de couplage magnétique lors de son oscillation est, dans ces variantes, parallèle au plan général de la structure magnétique. On notera que d'autres agencements sont envisageables, par exemple des pistes magnétiques dont la surface géométrique générale est cylindrique ou tronconique. Généralement, le trajet de l'élément oscillant est sensiblement parallèle à la surface géométrique générale définie par la structure magnétique. Toutefois, on remarquera que ce trajet, et donc l'axe d'oscillation, peuvent s'écarter quelque peu d'une surface parallèle à la surface géométrique générale, notamment aux points d'extrémité de l'oscillation et ceci d'autant plus que l'amplitude est grande. Une telle situation a lieu par exemple lorsque l'élément de couplage du résonateur oscille selon un trajet sensiblement circulaire avec un axe de rotation parallèle au plan général de la structure magnétique. Dans un tel cas, il est prévu de préférence que la direction définie par le degré de liberté de l'élément de couplage dans sa position de repos est parallèle à un plan tangent à ladite surface géométrique générale en un point correspondant à la projection orthogonale du centre de masse de la partie d'extrémité active de l'élément de couplage dans sa position de repos.

[0046] A la Figure 4 est représentée, de manière similaire à la Figure 2, l'énergie potentielle magnétique de l'oscillateur en fonction de la position relative de la partie d'extrémité active 46 et de la structure magnétique 4, en particulier de chacune de ses deux pistes magnétiques. Cette position relative est définie par la position angulaire relative dans un référentiel lié aux pistes magnétiques et par la position de la partie d'extrémité le long de l'axe d'oscillation 48. Les lignes équipotentielles 60 sont don-

nées pour des positions relatives correspondant aux deux pistes magnétiques. On observe aisément une grande différence avec la distribution de l'énergie potentielle magnétique de la Figure 2. Pour chacune des pistes magnétiques, on a entre chaque zone d'énergie potentielle basse 62, 66 et une zone d'énergie potentielle haute suivante 64, 68 un secteur 70, 72 d'accumulation d'énergie potentielle magnétique dans l'oscillateur, ce secteur étant bien défini et s'étendant angulairement sur une certaine plage relativement grande, à savoir environ une demi-période pour la piste magnétique intérieure 13 et un peu moins pour la piste magnétique extérieure 11 de plus grand diamètre. Ces secteurs 70 et 72 définissent respectivement deux zones annulaires ZA1 et ZA2 d'accumulation d'énergie potentielle magnétique dans lesquelles les courbes équipotentielles sont sensiblement radiales. Ainsi, dans ces deux zones annulaires, la force est essentiellement tangentielle et correspond donc à une force de freinage pour la structure magnétique 4. Par contre, dans ces zones annulaires ZA1 et ZA2, la force exercée sur l'élément de couplage selon son degré de liberté est faible ou quasi nulle.

[0047] Ensuite, on observe que les lignes équipotentielles 60 deviennent sensiblement angulaires dans une zone centrale ZC à l'intérieur de laquelle l'organe de couplage du résonateur reçoit une impulsion selon l'axe d'oscillation. On a représenté le tracé d'une oscillation 74 de la partie d'extrémité active 46 dans un référentiel lié à la structure magnétique. En suivant ce tracé, on observe que la majeure partie du temps l'oscillation est sensiblement libre et qu'une impulsion est fournie à chaque alternance dans la zone centrale d'impulsions ZC. Cette zone centrale ZC est située entre les deux zones annulaires ZA1 et ZA2 et elle comprend le cercle de position zéro 44, plus exactement les positions relatives correspondant à ce cercle de position zéro qui est situé sensiblement au milieu de cette zone centrale ZC. Ainsi, les impulsions sont engendrées autour de la position de repos de la partie d'extrémité active. Les observations relatives à l'énergie potentielle magnétique dans l'oscillateur permettent de comprendre que le dispositif régulateur selon l'invention résout de manière significative le problème lié à l'anisochronisme des dispositifs de l'art antérieur.

[0048] De manière générale, dans la plage utile du couple moteur appliqué à l'oscillateur horloger de l'invention, chaque piste magnétique annulaire, au moins une zone de sortie décrite précédemment et l'élément de couplage magnétique définissent dans chaque période angulaire, en fonction de la position relative de cette piste magnétique annulaire et de la partie d'extrémité active (dans un référentiel lié à la piste magnétique), un secteur d'accumulation 70, 72 dans lequel l'oscillateur accumule essentiellement de l'énergie potentielle magnétique et un secteur d'impulsion 76, adjacent à ce secteur d'accumulation, dans lequel l'élément de couplage magnétique reçoit essentiellement une impulsion, les secteurs d'impulsion étant situés dans une zone centrale d'impulsions

ZC comprenant le cercle de position zéro 44. Ainsi, on comprend par 'secteur d'accumulation' un secteur dans lequel l'énergie potentielle magnétique dans l'oscillateur augmente pour les diverses amplitudes d'oscillation dans la plage utile du couple moteur et où la force radiale est faible ou négligeable ; et on comprend par 'secteur d'impulsion' un secteur dans lequel cette énergie potentielle magnétique diminue pour les diverses amplitudes d'oscillation de la plage utile du couple moteur et où une force de poussée est exercée sur l'organe de couplage du résonateur selon son degré de liberté, engendrant une impulsion fournie à cet organe de couplage.

[0049] De manière générale, la structure magnétique est agencée de manière que le gradient angulaire moyen de l'énergie potentielle magnétique de l'oscillateur dans les secteurs d'accumulation d'énergie potentielle magnétique est inférieur au gradient moyen de cette énergie potentielle magnétique dans les secteurs d'impulsion selon le degré de liberté de l'élément de couplage du résonateur et dans une même unité. Cette condition est bien visible à la Figure 4 et résulte des caractéristiques de l'invention. L'étendue angulaire relativement grande des secteurs d'accumulation et la distance radiale relativement faible des secteurs d'impulsions proviennent en particulier des première et deuxième dimensions W2 et L2 de la partie d'extrémité active ainsi que des orientations des lignes de pénétration et des lignes de sortie des zones d'accumulation d'énergie potentielle magnétique. Dans chaque alternance de l'oscillation de l'élément de couplage lorsque sa partie d'extrémité active est couplée magnétiquement à une piste magnétique annulaire, cette partie d'extrémité pénètre progressivement sur (ou sous) une zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique. Vu le contour et l'orientation de cette partie d'extrémité active et le contour des zones d'accumulation, on a une surface de superposition entre la partie d'extrémité active et chaque zone d'accumulation qui augmente progressivement sur une relativement grande période angulaire alors que la sortie d'une telle zone d'accumulation est réalisée sur une relativement courte distance radiale, respectivement selon l'axe d'oscillation. Ceci sera encore exposé par la suite dans le cadre du deuxième mode de réalisation principal de l'invention.

[0050] On notera que dans le domaine horloger, le couple moteur fourni par un barillet varie de manière importante en fonction du niveau de tension du ressort de barillet. Pour assurer une marche du mouvement horloger sur une période suffisamment grande, on a en général besoin que ce mouvement puisse être entraîné par un couple variant entre un couple maximal et environ la moitié de ce couple maximal. De plus, il faut évidemment assurer un bon fonctionnement au couple maximal. En pratique, pour assurer un tel fonctionnement et empêcher notamment que l'oscillateur décroche à relativement grande amplitude d'oscillation, il est nécessaire que les secteurs de freinage s'étendent sur une certaine distance angulaire et que le freinage soit ainsi progressif. Ceci est un des bénéfices obtenus par le dispositif régu-

lateur selon l'invention.

[0051] A la Figure 6, on a une représentation de l'énergie potentielle magnétique dans l'oscillateur de la Figure 5. Les diverses références ne seront pas à nouveau décrites ici. On observe que la dimension radiale des pistes annulaires d'accumulation ZA1 et ZA2 est supérieure à celle obtenue pour la variante de la Figure 3, alors que la largeur radiale des zones d'impulsion et donc de la zone centrale d'impulsions ZC est inférieure. Cette variante de la Figure 5 est plus avantageuse que celle de la Figure 3 car la localisation des impulsions autour de la position de repos de l'élément de couplage du résonateur est meilleure. Ceci résulte en premier lieu du rapport longueur sur largeur de la partie d'extrémité active qui est supérieur dans la variante de la Figure 5.

[0052] A l'aide des Figures 7 à 10, on décrira ci-après un deuxième mode de réalisation principal de l'invention. Divers enseignements donnés précédemment s'appliquent également à ce deuxième mode de réalisation. Ils ne seront pas répétés ici en détails. Dans ce deuxième mode de réalisation, la piste magnétique annulaire de la structure magnétique présente une dimension, selon l'axe d'oscillation de chaque partie d'extrémité active couplée à cette piste et en projection orthogonale, qui est inférieure à la dimension selon cet axe d'oscillation de cette partie d'extrémité active. Ce deuxième mode de réalisation constitue dans une certaine mesure une inversion technique du premier mode de réalisation. Cependant, il présente des avantages qui lui sont propres, comme ceci apparaîtra par la suite. Au vu des réalisations antérieures, ce deuxième mode de réalisation n'est a priori pas évident, l'homme du métier ayant généralement prévu des plages magnétiques étendues radialement sur une roue d'échappement et des éléments de couplage magnétique de moindre étendue associés au résonateur. Dans ces réalisations antérieures, le chemin magnétique sinueux (sinusoïdal) est agencé de manière circulaire sur un mobile. Lorsqu'il y a deux pistes magnétiques annulaires pour engendrer ce chemin magnétique sinueux, elles ont prévues coaxiales. Dans le mode de réalisation le plus répandu, comme dans les variantes des Figures 3 et 5, ces deux pistes s'étendent dans un plan général avec une piste intérieure et une piste extérieure. Ces deux pistes n'ont donc pas de mêmes dimensions, la piste intérieure ayant au moins certaines zones plus petites relativement aux zones correspondantes de la piste extérieure, alors que les dimensions de l'élément de couplage sont par définition constantes. On a donc une interaction magnétique qui varie dans une certaine mesure entre les deux pistes magnétiques et dans les deux alternances de chaque période d'oscillation. Le deuxième mode de réalisation principal résout ce désavantage de manière étonnante en agençant au moins une plage magnétique étendue au niveau de l'élément de couplage du résonateur alors que la piste magnétique est radialement diminuée et moins large que cette plage de couplage. Ainsi, la piste magnétique sinueuse n'est plus définie par la roue d'échappement, mais par un ou

de préférence deux éléments de couplage solidaires d'une structure oscillante du résonateur.

[0053] Le dispositif 80 régulateur de la vitesse angulaire ω d'un mobile d'échappement comprend une structure magnétique 82 solidaire de ce mobile et un résonateur 84 couplés magnétiquement de manière à définir ensemble un oscillateur. La structure magnétique comprend une piste magnétique annulaire 86 centrée sur l'axe de rotation 20. La structure magnétique et le résonateur sont agencés pour subir une rotation l'un relativement à l'autre autour de l'axe de rotation 20 lorsqu'un couple moteur est appliqué au mobile d'échappement et donc à la structure magnétique. Le résonateur est représenté schématiquement. Il comprend deux éléments de couplage magnétique à la piste magnétique qui sont agencés sur un support non magnétique 88, lequel a deux bras associés respectivement à deux structures élastiques identiques 90 et 91 permettant une oscillation linéaire du support 88 selon une droite radiale 100. Les éléments de couplage sont formés dans la variante décrite ici par deux aimants allongés qui ont respectivement des première et deuxième parties d'extrémité actives 92 et 94 situées du côté de la piste magnétique 86, ces aimants ayant une direction d'aimantation globalement selon l'axe de rotation (direction d'aimantation axiale). A la Figure 7, comme dans les autres figures, on a représenté le contour général de ces parties d'extrémité actives dans leur plan général, car leur configuration est importante pour l'invention. Le degré de liberté du résonateur définit un premier axe d'oscillation 96 et un deuxième axe d'oscillation 98 pour respectivement les deux parties d'extrémité actives et passant par leur centre de masse. Ces premier et deuxième axes d'oscillation sont parallèles à un axe central 100 passant longitudinalement entre les deux parties d'extrémité actives, cet axe central étant prévu radial, c'est-à-dire qu'il intercepte l'axe de rotation 20.

[0054] La piste magnétique 86 comprend une pluralité d'aimants 102, de forme angulairement allongée, qui sont agencés le long de cette piste magnétique de sorte qu'ils définissent des premières zones non magnétiques 104 et des deuxième zones magnétiques 106 angulairement alternées avec une première zone et une deuxième zone adjacente dans chaque période angulaire θ_p , laquelle est définie par l'alternance des premières zones non magnétiques et des deuxième zones aimantées. Les éléments de couplage sont couplés magnétiquement à la piste magnétique 86 de manière qu'une oscillation selon le degré de liberté du mode de résonance utile du résonateur 84 est entretenue dans une plage utile du couple moteur appliqué à la structure magnétique, et de manière qu'une période de cette oscillation intervienne lors d'une rotation de la structure magnétique, résultant de ce couple moteur, dans chaque période angulaire θ_p de la piste magnétique. Dans la variante décrite aux Figures 7 à 10, les aimants 102 sont agencés avec une direction d'aimantation axiale, en répulsion des aimants formant les éléments de couplage.

[0055] On notera que, dans le deuxième mode de réalisation principal, on considère comme surface géométrique générale déterminante la surface dans laquelle s'étendent globalement les parties d'extrémité actives du résonateur couplées à la piste magnétique annulaire considérée et comprenant leurs axes d'oscillation respectifs, ces parties d'extrémité actives définissant dans cette surface des plages magnétiques. A la Figure 10 a été représenté, en projection orthogonale dans le plan général des parties d'extrémité actives 92 et 94, le mouvement relatif entre la piste magnétique annulaire et ces parties d'extrémité actives au cours d'une période d'oscillation pendant laquelle la piste magnétique 86 tourne d'une période angulaire. Ainsi, cette Figure 10 montre une succession d'images a) jusqu'à i) qui suivent le mouvement d'oscillation d'un aimant 102A, parmi les aimants 102 de la piste magnétique 86. Pour faciliter la compréhension, ces images sont données dans un référentiel lié au support 88 du résonateur et donc aux éléments de couplage. Ainsi, on voit notamment l'aimant 102A de la piste magnétique qui oscille avec son centre de masse décrivant sensiblement une courbe sinusoïdale 122, alors qu'en réalité, la piste magnétique subit seulement une rotation et ce sont les parties d'extrémité actives qui oscillent le long de leur axe d'oscillation linéaire. Pour indiquer ce fait, on a mis dans les plages magnétiques, définies par la projection orthogonale des parties d'extrémité actives (ci-après nommées aussi plages magnétiques 92 et 94), des flèches indiquant le sens du mouvement d'oscillation et on a indiqué approximativement la vitesse de déplacement par la longueur de ces flèches, l'absence de flèche correspondant à une position extrême où il y a inversion du sens du mouvement linéaire des éléments de couplage. Ensuite, les aimants de la piste magnétique sont projetés dans le plan général et ne sont pas représentés comme passant dessous les deux éléments de couplage. A cette Figure 10 (dessins 10a à 10i), on peut observer que l'aimant 102A se trouve premièrement en amont de la plage magnétique 92 (dessin 10a), avant de pénétrer progressivement dans cette plage 92 (dessin 10b-10c) pour ensuite en sortir (dessin 10d) et être couplé magnétiquement de manière similaire avec la plage magnétique 94 (dessins 10e-10g). Finalement, l'aimant 102A sort de la plage magnétique 94 (dessin 10h) alors qu'un aimant suivant 102 se présente devant la plage 92 ; ce qui correspond à la situation du dessin 10a pour cet aimant suivant 102, lequel va à son tour subir un même couplage magnétique avec les deux éléments de couplage du résonateur.

[0056] En référence notamment à la Figure 9, on décrira ci-après plus précisément plusieurs caractéristiques de l'invention selon ce deuxième mode de réalisation principal. Chaque partie d'extrémité active 92, 94 (de chaque élément de couplage magnétique) définit magnétiquement, en projection dans le plan général dans lequel s'étend globalement cette partie d'extrémité active et comprenant son axe d'oscillation :

- une zone d'entrée 110, respectivement 114 successivement pour les deuxièmes zones 106 (aimants 102, 102A) en projection orthogonale au plan géométrique général,
- une zone 92A, respectivement 94A d'accumulation d'énergie potentielle magnétique dans l'oscillateur, laquelle est angulairement adjacente à la zone d'entrée susmentionnée et dans laquelle pénètre en projection orthogonale au moins partiellement chaque deuxième zone 106 depuis cette zone d'entrée, et
- une zone de sortie 112, respectivement 116 adjacente à la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique, cette zone de sortie recevant en projection orthogonale au moins la majeure partie de chaque deuxième zone 106 sortant de la zone d'accumulation ou d'une deuxième zone suivante.

[0057] De manière générale, chaque deuxième zone engendre par unité de longueur angulaire, relativement à une première zone adjacente, une force de répulsion supérieure pour la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique (cas du couplage magnétique en répulsion décrit ici) ou une force d'attraction supérieure pour la zone d'entrée et la zone de sortie (cas d'un couplage magnétique en attraction décrit par la suite). Ensuite, la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique 92A, 94A engendre, relativement à la zone d'entrée 110, 114 et la zone de sortie 112, 116, une force de répulsion supérieure (cas du couplage magnétique en répulsion) ou une force d'attraction inférieure (cas du couplage magnétique en attraction) pour une même zone quelconque de chaque deuxième zone 106 lorsque cette même zone quelconque est superposée à cette zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique, respectivement à la zone d'entrée ou à la zone de sortie.

[0058] Dans le cas d'un couplage en répulsion, la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique 92A, 94A associée à une partie d'extrémité active correspond à plage magnétique 92, 94 formée matériellement par cette partie d'extrémité active, c'est-à-dire à une projection orthogonale de cette partie d'extrémité active dans son plan géométrique général. Les zones d'entrée et de sortie n'ont pas à être formées matériellement par une partie de l'élément de couplage. Dans une variante générale, ces zones correspondent à des régions périphériques libres de la partie d'extrémité active, c'est-à-dire remplies d'air. On remarquera encore que les deux parties d'extrémité dans la variante décrite ici sont agencées de part et d'autre d'un arc de cercle, centré sur l'axe de rotation lorsque les éléments de couplage sont au repos, et ont une largeur (direction angulaire) correspondant environ à une demi-période angulaire $\theta_p / 2$. Les deux plages magnétiques 92 et 94 sont décalées angulairement d'une demi-période angulaire. Dans cette configuration permettant d'avoir un couplage magnétique entre la piste magnétique et le résonateur dans chaque alternance de l'oscillation de sa structure oscillante, la zone de sortie 112 associée au premier élément de couplage

correspond à la zone d'entrée 114 associée au deuxième élément de couplage.

[0059] Le résonateur est agencé relativement à la structure magnétique 82 de manière que les première et deuxième zones d'accumulation d'énergie potentielle magnétique 92A et 94A sont traversées en projection orthogonale par un cercle géométrique médian 120, passant par le milieu de la piste magnétique annulaire, durant respectivement les première et deuxième alternances dans chaque période de l'oscillation des deux éléments de couplage considérés. Ensuite, chaque zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique présente un contour général 123, 124 avec : i) une première portion, définissant une ligne de pénétration 126, 128 sous cette zone d'accumulation successivement pour chacune des dites deuxième zones 106 lors de l'oscillation des éléments de couplage, et ii) une deuxième portion définissant une ligne de sortie 127, 129 de dessous cette zone d'accumulation pour cette deuxième zone (cas en répulsion magnétique décrit ici) ou une deuxième zone suivante (cas en attraction magnétique) lors de cette oscillation. La ligne de sortie est orientée, lorsque l'élément de couplage magnétique considéré est dans sa position de repos, sensiblement selon une direction angulaire parallèle à la projection orthogonale du cercle géométrique médian 120. Dans l'exemple représenté, la ligne de sortie est circulaire et reste parallèle à la projection orthogonale du cercle géométrique médian lors de l'oscillation rectiligne. Cette ligne de sortie est confondue avec la projection orthogonale du cercle géométrique médian lorsque l'élément de couplage est dans sa position de repos (tel que représenté aux dessins d) et h) de la Figure 10). De plus, chacune des deuxième zones a en projection orthogonale une première dimension W3 selon un premier axe qui est perpendiculaire à la projection orthogonale du cercle géométrique médian et passe au centre de cette deuxième zone. Dans le cas d'un plan général, un tel axe est une droite présentant une direction radiale relativement à l'axe de rotation 20. Chaque deuxième zone a encore une deuxième dimension L3, selon un deuxième axe défini par la projection orthogonale du cercle géométrique médian 120 dans ledit plan général, qui est supérieure à la première dimension W3.

[0060] Dans le cas général, la deuxième dimension est de préférence mesurée selon un deuxième axe perpendiculaire au premier axe et passant par le point d'intersection de la projection orthogonale du cercle géométrique médian avec l'axe d'oscillation de l'élément de couplage considéré 96, 98 ou par l'axe central 100 dans le cas de deux éléments de couplage voisins tel que décrits ici. Dans ce cas général, les dimensions des deuxième zones sont mesurées lorsque le centre de la deuxième zone considérée est superposé à un axe d'oscillation ou à l'axe central 100. Finalement, lorsque les éléments de couplage magnétique sont dans leur position de repos, la ligne de sortie 127, 129 a une longueur L4, le long de la zone de sortie 112, 116 et selon le deuxième axe susmentionné, qui est supérieure à la première dimension

W3 des deuxième zones.

[0061] Selon une variante préférée, l'axe d'oscillation de chaque partie d'extrémité active est sensiblement orthogonal au cercle géométrique médian 120, en projection orthogonale, à leur point d'intersection. C'est le cas dans la variante de la Figure 7, bien que ce soit l'axe central 100 qui est radial et donc exactement orthogonal au cercle 120 centré sur l'axe de rotation. Selon une autre variante avantageuse, comme c'est le cas dans la variante de la Figure 7, la ligne de sortie de la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique le long de la zone de sortie et chaque deuxième zone s'étendent angulairement sur sensiblement la moitié d'une période angulaire.

[0062] A la Figure 8 sont représentées des courbes équipotentielles 60 de l'énergie potentielle magnétique dans le dispositif régulateur 80 de la Figure 7 en fonction de la position du point central entre les deux plages magnétiques 92 et 94 dans un référentiel lié à la structure magnétique 82. On observe que l'on a des zones d'énergie minimales 62A et 66A et des zones d'énergie maximales 64A et 68A qui sont radiales et allongées. Dans la plage utile du couple moteur, la piste magnétique annulaire et chaque partie d'extrémité active 92, 94 définissent ainsi dans chaque période angulaire, en fonction de la position relative de cette piste magnétique annulaire et de cette partie d'extrémité active, un secteur d'accumulation 70A, 72A dans lequel l'oscillateur accumule essentiellement de l'énergie potentielle magnétique et un secteur d'impulsion 76A, 77A, adjacent à cette zone d'accumulation, dans lequel l'élément de couplage reçoit essentiellement une impulsion. Les secteurs d'accumulation sont radialement étendus et définissent pour les deux parties d'extrémité actives respectivement deux zones annulaires d'accumulation ZA1* et ZA2*. On notera que la largeur radiale de ces zones annulaires d'accumulation dépend essentiellement de l'étendue des parties d'extrémité actives selon leur axe d'oscillation et non plus de la largeur radiale des pistes magnétiques annulaires comme dans le premier mode de réalisation principal. Dans ces zones annulaires d'accumulation, les lignes équipotentielles sont sensiblement radiales, ce qui indique que la force résultante est angulaire (plus précisément tangentielle) et que la composante de cette force selon l'axe d'oscillation de chaque partie d'extrémité active est très faible. On peut dans ce cas parler de pure accumulation d'énergie potentielle. Les secteurs d'impulsion sont situés dans une zone centrale d'impulsions ZC* correspondant sensiblement à la piste magnétique annulaire, c'est-à-dire ayant les mêmes coordonnées spatiales que cette piste magnétique dans son plan géométrique général.

[0063] Ainsi, plus le rapport selon l'axe central 100 entre la dimension des plages magnétiques du résonateur, définies par les parties d'extrémité actives des éléments de couplage de ce résonateur, et la dimension de la piste magnétique est grand, plus la partie du trajet d'oscillation libre peut être grande pour ces parties d'extrémité actives

et les impulsions d'entretien de l'oscillation du résonateur localisées autour de la position de repos de ses éléments de couplage. En valeur absolue, plus la première dimension W3 des aimants 102 et donc la dimension transversale de la piste magnétique est petite, plus les impulsions fournies aux éléments de couplage sont localisées autour de leur position de repos. Ensuite, plus la deuxième dimension L3 des aimants 102 est grande, plus la distance angulaire des secteurs d'accumulation est grande. Ceci découle du fait que la zone de superposition entre un aimant 102 et la partie d'extrémité active augmente progressivement sur une relativement grande distance angulaire, comme ceci ressort de la succession de positions relatives entre la piste magnétique et les deux parties d'extrémité actives, pour une période d'oscillation, donnée à la Figure 10. Une telle situation est très favorable pour un bon isochronisme du dispositif régulateur.

[0064] Selon une variante préférée, la ligne de pénétration 126, 128 dans la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique 92A, 94A est orientée selon une direction sensiblement parallèle audit axe d'oscillation, comme c'est le cas dans toutes les réalisations correspondant au deuxième mode de réalisation principal représentées aux figures. Cette caractéristique est avantageuse pour obtenir des lignes équipotentielles 60 sensiblement radiales dans les secteurs d'accumulation d'énergie potentielle magnétique. Dans une variante proche, la ligne de pénétration susmentionnée définit un chemin selon le degré de liberté. Ces deux variantes sont confondues lorsque le degré de liberté est linéaire. On notera que la zone d'accumulation considérée ici est celle qui est déterminante dans la plage utile du couple moteur, c'est-à-dire sensiblement une zone correspondant à la zone globale de superposition entre chaque aimant de la piste magnétique et la partie d'extrémité active considérée au cours de l'oscillation de cette dernière.

[0065] Selon une variante de réalisation, la deuxième dimension L3 de chaque deuxième zone 106 est au moins deux fois plus grande que sa première dimension W3, et la longueur L4 de la ligne de sortie est au moins deux fois plus grande que cette première dimension W3. Dans une variante préférée, cette deuxième dimension de chaque deuxième zone est au moins quatre fois plus grande que sa première dimension, et la longueur de la ligne de sortie est alors au moins quatre fois plus grande que cette première dimension. Selon une autre variante de réalisation, la dimension W4 de la ligne de pénétration de la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique 92A, 94A, le long de l'axe d'oscillation de la partie d'extrémité correspondante, est au moins cinq fois plus grande que la dimension transversale W3 de la piste magnétique annulaire le long de cet axe d'oscillation en projection orthogonale. Dans une variante préférée, cette dimension W4 de la ligne de pénétration est au moins huit fois plus grande que la dimension transversale W3.

[0066] Les Figures 11 et 11A montrent schématiquement une variante du mode de réalisation des Figures 7

à 10. Ce dispositif régulateur 126 se distingue essentiellement par le fait que le couplage magnétique est prévu en attraction. La structure magnétique 82 est identique à celle de la Figure 7, seule la piste magnétique 86 étant représentée avec deux aimants 102A et 102B sélectionnés parmi les aimants 102 pour expliquer l'interaction magnétique de cette variante en attraction. Le résonateur est représenté seulement par la partie d'extrémité active d'un élément de couplage magnétique qui comprend ici deux parties magnétiques distinctes 128 et 130 formées par un matériau ferromagnétique, ce résonateur n'étant pas muni d'un générateur de flux magnétique de sorte que les deux parties sont soumises à une force d'attraction de la part des aimants de la piste magnétique. On notera que les deux parties 128 et 130 ont, dans le plan géométrique général dans lequel elles s'étendent, une même forme et un même degré de liberté linéaire que les deux parties d'extrémité actives de la variante en répulsion décrite précédemment, mais elles ne sont pas indépendantes et toutes deux nécessaires au fonctionnement de l'oscillateur ; alors que dans la variante en répulsion chaque partie 92 et 94 (Figure 7) est indépendante et l'oscillateur en répulsion magnétique peut fonctionner avec seulement une seule des deux parties 92 et 94. Dans la présente variante, l'axe central 100 entre les deux parties 128 et 130 correspond à l'axe d'oscillation de la partie d'extrémité active. Il a une direction radiale et est perpendiculaire au cercle géométrique médian de la piste 86.

[0067] La différence surprenante entre les oscillateurs 80 et 126 (deux éléments de couplage distincts dans le premier cas et un seul élément de couplage dans le second cas) découle du fait que les deux parties 128 et 130 engendrent pour les aimants 102, lorsqu'ils sont superposés à ces deux parties, une situation où l'énergie potentielle magnétique est inférieure relativement aux régions environnantes remplies d'air. Ainsi, l'accumulation d'énergie potentielle magnétique intervient dans une région non magnétique environnante située en aval des parties 128 et 130. Le tracé 122A de l'oscillation de la partie d'extrémité relativement à la piste magnétique est décalé angulairement d'une demi-période angulaire $\theta_p/2$ (déphasage de 180°), tout comme les courbes équipotentielles de l'énergie potentielle magnétique dans une représentation similaire à celle de la Figure 8. Dans la plage utile du couple moteur, les parties magnétiques 128 et 130 définissent magnétiquement en projection orthogonale dans leur plan géométrique général :

- une première zone d'entrée 128A et une deuxième zone d'entrée 130A successivement pour les deuxièmes zones 106 de la piste magnétique en projection orthogonale au plan géométrique général,
- une première zone 132 et une deuxième zone 134 d'accumulation d'énergie potentielle magnétique dans l'oscillateur dans lesquelles chaque deuxième zone 106 de la piste magnétique pénètre au moins partiellement en projection orthogonale respective-

ment dans une première alternance et une deuxième alternance d'une période d'oscillation depuis respectivement les première et deuxième zones d'entrée, et

- une première zone de sortie 130A qui reçoit en projection orthogonale au moins la majeure partie de chaque deuxième zone 106A sortant de la première zone d'accumulation 132, et une deuxième zone de sortie 128A qui reçoit en projection orthogonale au moins la majeure partie d'une deuxième zone suivante 106B de la piste magnétique, cette deuxième zone suivante 106B sortant d'une zone 135 complémentaire à la deuxième zone d'accumulation 134 alors que la deuxième zone 106A qui la précède entre entièrement dans une zone 136 équivalente à la deuxième zone d'accumulation et à la zone complémentaire 135.

[0068] La terminologie utilisée ici est choisie par analogie avec la variante en répulsion magnétique de la Figure 7. Cependant, les deux zones d'accumulation 132 et 134 ainsi que la zone complémentaire 135 et la zone équivalente 136 sont toutes formées par la région vide ou remplie d'air environnant la partie d'extrémité active et sont toutes magnétiquement équivalente. Les parties magnétiques 128 et 130 forment des plages magnétiques 128A et 130A dans leur plan général qui constituent chacune une zone d'entrée et également une zone de sortie. L'agencement de ces deux plages est prévu pour qu'elles soient magnétiquement actives dans chacune des deux alternances de chaque période d'oscillation, une première fois comme zone d'entrée et une seconde fois comme zone de sortie, et pour engendrer une impulsion autour de la position de repos de l'élément de couplage en fin de chaque alternance. Pour l'unité terminologique, la zone d'accumulation 134 et la zone complémentaire 135 sont considérées ensemble comme une zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique et la deuxième zone suivante (aimant 102B) de la piste magnétique se substitue à la deuxième zone qui la précède (aimant 102A précédent) pour engendrer une impulsion (situation représentée à la Figure 11A) suite à l'accumulation d'énergie découlant du passage de la plage magnétique 130A dans une zone de sortie 134 située dans une région environnante non magnétique, laquelle définit pour cette deuxième zone une région d'énergie potentielle magnétique supérieure relativement à la plage magnétique 130A pour une portion de cette deuxième zone superposée à cette plage magnétique, respectivement à la zone de sortie 134. La situation représentée à la Figure 11 correspond à une position relative de l'élément de couplage et de la piste magnétique pour laquelle l'énergie potentielle magnétique est minimale.

[0069] Le résonateur du dispositif régulateur 126 est agencé relativement à la structure magnétique 82 de manière que chaque zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique 132, 134 est traversée en projection orthogonale par le cercle géométrique médian passant

par le milieu de la piste magnétique annulaire durant une première alternance, respectivement une deuxième alternance dans chaque période d'oscillation du résonateur. Dans ce cas, les zones 132 et 134 sont délimitées spatialement par un cercle géométrique passant par le point central entre les deux plages magnétiques 128A et 130A le long de l'axe d'oscillation 100 et centré sur l'axe de rotation 20 quand l'élément de couplage est dans sa position de repos. Chaque zone d'accumulation 132, 134 présente partiellement un contour général, déterminé par la partie d'extrémité active, qui définit des première et deuxième lignes de pénétration 138 et 139 et des première et deuxième lignes de sortie 140 et 141, par analogie avec la terminologie utilisée précédemment.

[0070] A la Figure 12 est représentée partiellement une deuxième variante du deuxième mode de réalisation principal. Cette variante se distingue essentiellement par le fait que le degré de liberté est circulaire, l'élément de couplage à la piste magnétique 86 oscillant autour d'un propre axe de rotation C. La partie d'extrémité active 144 est en répulsion magnétique avec les aimants 102, comme dans la variante de la Figure 7. Les enseignements donnés pour cette dernière variante s'appliquent aussi à cette deuxième variante. La partie 144 suit un axe d'oscillation circulaire 150 passant par son centre de masse. Elle est représentée dans la position de repos de l'élément de couplage correspondant du résonateur. Dans cette variante, par souci d'une description générale de l'invention, l'axe d'oscillation n'est pas prévu perpendiculaire à une projection orthogonale du cercle géométrique médian 120. Pour cette configuration particulière, la ligne de pénétration 145 et la ligne de sortie 146 sont optimales. La ligne de sortie est confondue avec la projection orthogonale du cercle géométrique médian 120 de manière à minimiser les zones d'impulsion autour de la position de repos. La ligne de pénétration dans la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique 148 définit un chemin selon le degré de liberté.

[0071] On remarquera que la zone 148 est ici représentée avec une surface inférieure à la projection de la partie 144. Cette zone 148 délimitée par une courbe 149 en trait interrompu correspond effectivement à la zone d'accumulation active. Ainsi, dans une variante, la partie 144 peut avoir un contour extérieur qui suit la courbe 149 ou qui lui est parallèle en passant par le point d'extrémité de la ligne de sortie représentée. Pour une position donnée de la piste magnétique, correspondant à une superposition partielle entre un aimant 102 et la partie 144, la zone 148 (respectivement la partie 144) peut se déplacer le long de l'axe d'oscillation hors de la zone d'impulsion sans subir dans l'alternance considérée de variation d'énergie potentielle. Ainsi, quelle que soit l'amplitude d'oscillation, l'interaction magnétique reste identique avec une zone de pure accumulation d'énergie potentielle dans cette alternance qui se termine par une impulsion localisée à la position de repos de la partie 144. Les dimensions de cette partie 144 et des aimants 102 ont été définies précédemment et ne seront pas décrites

à nouveau ici. Elles sont indiquées sur les dessins. La ligne de sortie 146 s'étend angulairement sur une demi-période angulaire alors que les aimants 102 s'étendent sur une distance angulaire un peu inférieure.

[0072] La Figure 12A montre une alternative simplifiée de la Figure 12 dans laquelle les aimants 103 de la piste magnétique 86A définissent des deuxièmes zones 106A de forme rectangulaire, orientées tangentiellement au cercle géométrique médian 120, et des premières zones 104A non magnétiques entre ces deuxièmes zones. La partie d'extrémité active 144A présente un contour de forme parallélépipédique, avec une ligne de pénétration 145A et une ligne de sortie 146A formées par des segments linéaires. Ces segments linéaires sont orientés de manière optimale pour cette configuration particulière. Les segments 145A et 146A sont formés respectivement par les cordes des segments circulaires 145 et 146 de la Figure 12. En d'autres termes, chacun de ces segments linéaires est parallèle à la tangente au point milieu du segment circulaire correspondant. L'axe d'oscillation 150 passe par le centre de la partie 144A.

[0073] A la Figure 13 est montrée partiellement une troisième variante du deuxième mode de réalisation principal qui peut être prévue en répulsion magnétique ou en attraction magnétique selon l'enseignement donné précédemment. Pour l'exposé ci-après de cette troisième variante, on considère le cas en répulsion. La structure magnétique comprend une piste magnétique 86A déjà décrite. On notera aussi que cette variante est représentée avec deux organes de couplage oscillant autour d'un propre axe C. Toutefois, la forme spécifique et le positionnement de ces deux organes de couplage dans leur position de repos s'appliquent également à une variante où le degré de liberté est linéaire, comme à la Figure 7. Dans cette troisième variante, l'axe central 154 passant par le point central entre les deux parties d'extrémité actives 156 et 158 est orthogonal au cercle médian 120 à leur point d'intersection. En prenant l'axe central 154 comme axe d'oscillation moyen et commun aux deux parties d'extrémité, on définit un premier axe rectiligne, perpendiculaire au cercle médian 120 et passant par ce point d'intersection et un deuxième axe rectiligne, perpendiculaire au premier axe et passant par également par ce point. Dans ce système d'axes orthogonaux, les parties 156 et 158 définissent dans leur plan général des plages magnétiques rectangulaires avec chacune une ligne de sortie 160, 162 sur le deuxième axe. Les lignes de pénétration 164 et 166 de ces deux plages magnétiques sont parallèles au premier axe. La zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique 148B montre qu'une partie des plages magnétiques n'est pas active. Toutefois, la forme rectangulaire simplifie la construction du résonateur.

[0074] On notera que, dans le cadre de l'invention, les lignes de sortie 160 et 162 sont considérées comme étant orientées, lorsque l'élément de couplage magnétique est dans sa position de repos comme représenté à la Figure 13, sensiblement selon une direction angulaire parallèle

à la projection orthogonale du cercle géométrique médian 120 dans la surface géométriques générale des parties d'extrémité 156 et 158. Elles sont de fait tangentes à la projection orthogonale du cercle 120 au point d'intersection de l'axe central 154 avec cette projection orthogonale, ce point d'intersection correspondant à un coin intérieur de chaque plage magnétique. Dans une variante représentée à la Figure 13 en traits interrompus, les formes rectangulaires sont remplacées par des secteurs annulaires de centre C sur l'axe de rotation du résonateur. Les lignes de sortie respectives des plages magnétiques de cette variante sont identiques à celles des plages rectangulaires. Par contre les lignes de pénétration sont circulaires selon le degré de liberté des éléments de couplage correspondants. Elles définissent chacune un chemin selon le degré de liberté et sont donc orientées selon une direction sensiblement parallèle aux axes d'oscillation respectifs. Ensuite, chacune des deuxièmes zones 103 a en projection orthogonale, lorsque le centre de cette deuxième zone est superposé à l'axe central, une première dimension W3, selon le premier axe susmentionné, et une deuxième dimension L3, selon le deuxième axe susmentionné, qui est supérieure à la première dimension. Finalement, lorsque les éléments de couplage magnétiques sont dans leur position de repos, leur ligne de sortie respective 160, 162 a une longueur, le long de la zone de sortie et selon ledit deuxième axe, qui est supérieure à la première dimension W3 des deuxièmes zones.

[0075] Par la suite on décrira plusieurs dispositifs régulateurs selon l'invention. Le principe de fonctionnement ainsi que les relations spatiales et dimensionnelles spécifiques à l'invention déjà exposés précédemment s'appliquent également à ces dispositifs régulateurs et ne seront pas à nouveau décrits dans la description de ces dispositifs régulateurs.

[0076] Le dispositif régulateur 170 de la Figure 14 comprend un mobile d'échappement magnétique 82 supportant une piste magnétique 86 déjà décrite et un résonateur 174 formé par un balancier 176 (représenté schématiquement) oscillant autour de l'axe C parallèle à l'axe de rotation 20. Le balancier est associé à des moyens élastiques 178, 179 exerçant une force de rappel lorsqu'il s'écarte de sa position de repos (position zéro représentée à la Figure 14). Le balancier comprend deux parties d'extrémité actives 92 et 94 correspondant essentiellement à celles déjà décrites aux Figures 7 et 9, à l'exception du fait que les lignes de sortie 127A et 129A des plages magnétiques 92A et 94A ne sont pas superposées au cercle médian 120, mais sont situées à courte distance de ce cercle de part et d'autre de sorte que ce cercle est situé au milieu d'une zone intermédiaire annulaire entre les deux plages magnétiques. Cette zone intermédiaire est magnétiquement homogène, ici non magnétique.

[0077] Selon un troisième mode de réalisation, le dispositif régulateur 180 de la Figure 15 comprend un mobile d'échappement magnétique 182, avec deux pistes ma-

gnétiques concentriques 86A et 186, et un résonateur 184. La première piste 86A a déjà été décrite et la deuxième piste 186 formée d'une pluralité d'aimants 188 lui est semblable, mais avec un diamètre inférieur. L'énergie potentielle magnétique de l'oscillateur 180 varie angulairement le long de cette deuxième piste avec la même période angulaire θ_p et de manière similaire à la variation de la première piste. Les première et deuxième pistes magnétiques présentent un décalage angulaire égal à la moitié de la période angulaire. Le résonateur 184 comprend un élément de couplage avec une partie d'extrémité active 190 formée d'un aimant agencé en répulsion et définissant dans son plan général une zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique 190A de forme tronconique. Cette partie 190 est agencée dans un support non magnétique 192 fixé au mouvement horloger par deux lames élastiques 193 et 194 permettant une oscillation du support 192. La partie d'extrémité active est couplée aux deux pistes magnétiques. La zone d'accumulation 190A définie par cette partie a une ligne de pénétration 196 commune pour les aimants des deux pistes et deux lignes de sortie 197 et 198 définissant respectivement les deux portions parallèles et sensiblement angulaires de cette zone tronconique. Ces deux lignes ont des longueurs différentes puisqu'elles s'étendent sensiblement sur une même distance angulaire légèrement inférieure à une demi-période angulaire le long de cercles géométriques médians 120 et 121 de diamètres différents. Dans une première alternance de chaque période d'oscillation, la partie 190 est couplée à la première piste 86A. De manière similaire, elle est couplée à la deuxième piste 186 dans la deuxième alternance de chaque période d'oscillation. Le structure oscillante 192 reçoit une impulsion à la fin de chaque alternance autour de sa position de repos (position représentée).

[0078] Selon un quatrième mode de réalisation, le dispositif régulateur 200 de la Figure 16 comprend un mobile d'échappement magnétique 202 avec une piste magnétique 204 radialement étendue, tel que décrit dans le premier mode de réalisation principal. Les aimants 206 de cette piste ont une forme tronconique avec les deux côtés parallèles selon une direction tangentielle relativement à l'axe de rotation 20. L'oscillateur 200 comprend également un résonateur 210 du même type que celui de la Figure 14, ce résonateur comprenant également deux éléments de couplage portés par un balancier 212 en matériau non magnétique, mais s'en distinguant par le fait que les deux parties d'extrémité actives 46A et 46B correspondantes sont radialement étroites relativement aux aimants 206 dans la position de repos des éléments de couplage (position représentée). Les deux parties 46A et 46B sont situées de part et d'autre d'une droite perpendiculaire à leur direction longitudinale et sensiblement radiale relativement à l'axe de rotation 20 du mobile d'échappement. Relativement à cet axe, ils s'étendent tous deux sur une distance angulaire sensiblement égale à une demi-période angulaire des pistes magnétiques, avec un décalage angulaire d'une demi-période. L'axe

longitudinal de chaque partie 46A et 46B est sensiblement perpendiculaire à l'axe d'oscillation du balancier 212. La ligne de pénétration 214 définie par chaque aimant de la piste magnétique est commune aux deux parties d'extrémité actives. Dans une position angulaire d'un aimant 206 où son axe central est perpendiculaire aux deux axes longitudinaux des deux parties 46A et 46B dans la position de repos des éléments de couplage correspondants, l'axe longitudinal de la partie 46A est sensiblement superposé à la ligne de sortie 215 définie par le bord extérieur de cet aimant alors que l'axe longitudinal de la partie 46B est sensiblement superposé à la ligne de sortie 216 définie par le bord intérieur de cet aimant. Le balancier 212 reçoit ainsi deux impulsions par période d'oscillation localisées sensiblement autour de sa position de repos.

[0079] A l'aide des Figures 17 et 18, on décrira ci-après un cinquième mode de réalisation de l'invention. Le dispositif régulateur 220 comprend une première roue d'échappement magnétique 222 et une deuxième roue d'échappement magnétique 224 qui sont identiques et agencées dans un même plan général. Ces deux roues d'échappement forment deux structures magnétiques définissant chacune une piste magnétique 86A radialement étroite avec une pluralité d'aimants 103. L'énergie potentielle magnétique de l'oscillateur varie donc angulairement de manière similaire le long de ces deux pistes 86A. Les deux roues d'échappement engrènent directement l'une avec l'autre via leurs dentures respectives 226 et 228. Les deux pistes magnétiques sont couplées à un même élément de couplage 234 du résonateur 230 qui comprend en outre un support non magnétique 232 en forme de T et deux lames flexibles 233A, 233B aux deux extrémités de la barre transversale de ce support. L'aimant 234 est agencé à l'extrémité libre de la barre centrale du support. Les lames flexibles sont agencées de manière que l'aimant 234 peut osciller selon un axe d'oscillation légèrement courbe. On remarquera que dans une variante, le résonateur peut avoir deux éléments de couplage distincts et couplés respectivement aux deux pistes magnétiques supportées respectivement par les deux roues 222, 224. L'aimant 234 est agencé en répulsion magnétique des aimants 103. Le dispositif régulateur 220 comprend en outre deux structures magnétiques supplémentaires situées respectivement en regard des deux roues 222, 224 et coaxiales à celles-ci. Ces deux structures complémentaires sont agencées de l'autre côté de l'aimant 234 formant un élément de couplage commun pour les deux pistes magnétiques situées de part et d'autre de l'aimant selon une direction axiale. Une seule structure magnétique supplémentaire 236 est représentée à la Figure 18, mais la deuxième lui est semblable.

[0080] Dans la variante représentée, la structure 236 comprend un plateau 237 supportant une piste magnétique 86A identique à celle de la roue d'échappement 224 et agencées angulairement de manière également identique. Par contre, on notera que les deux roues en-

grènent de manière que, le long d'un axe transversal passant par leurs deux axes de rotation respectifs et correspondant sensiblement à l'axe d'oscillation de l'aimant 234, les deux pistes magnétiques présentent un déphasage magnétique de 180°, la première piste étant couplée dans une première alternance alors que la deuxième piste est couplée dans une deuxième alternance de chaque période d'oscillation, l'élément de couplage 234 recevant une impulsion à la fin de chaque alternance, laquelle est localisée autour de la position de repos de la structure oscillante selon le concept de la présente invention. Dans la variante représentée, les pistes magnétiques 86A des structures magnétiques superposées sont solidaires en rotation, le plateau 237 étant relié à la roue 224 par un tube central 238. Dans une autre variante, ces deux pistes superposées et agencées de part et d'autre du plan général de l'aimant 234 ne sont pas solidaires en rotation.

[0081] A l'aide des Figures 19 et 20, on décrit ci-après un sixième mode de réalisation de l'invention. Le dispositif régulateur 240 est basé sur un même concept que le mode de réalisation précédent. Dans la variante proposée ici, le dimensionnement relatif de chaque organe de couplage et des pistes magnétiques correspond au premier mode de réalisation principal, alors que la variante proposée dans le mode de réalisation précédent correspond au deuxième mode de réalisation principal. Hormis cette différence de base, les variantes de chacun des deux modes peuvent s'appliquer à l'autre mode en adaptant certains éléments constructifs. L'oscillateur 240 comprend un résonateur 242 et deux structures magnétiques 244 et 246 situées dans un même plan général et solidaires respectivement de deux roues 248 et 250 qui engrènent l'une avec l'autre de manière indirecte via deux roues intermédiaires 252 et 254 agencés pour que les deux structures magnétiques tournent à même vitesse mais dans un sens opposé. La roue intermédiaire 252 comprend un pignon 253 pour l'entrée d'un couple moteur fourni au dispositif régulateur. Le résonateur est formé de deux lames flexibles 260 et 264 en matériau à haute perméabilité magnétique et comprenant deux parties d'extrémité respectives 262 et 266 situées respectivement de part et d'autre du plan général des deux structures magnétiques. De plus, le résonateur comprend un générateur de flux magnétique 256 formé par un aimant 258 logé dans une structure rigide 257, laquelle est agencée pour permettre la fixation des deux lames flexibles de part et d'autre de l'aimant 258 de manière à engendrer un chemin magnétique fermé pour le flux d'aimant passant par les lames flexibles, en particulier par les parties d'extrémité 262 et 266 et l'entrefer entre ces deux extrémités. Au niveau de l'aimant 258, les lames flexibles peuvent présenter un élargissement de manière à canaliser la totalité du flux magnétique de cet aimant.

[0082] Les deux structures magnétiques sont formées par deux disques ayant chacun à leur périphérie un anneau aimanté définissant une pluralité de zones aimantées 10A, lesquelles sont prévues sur la hauteur du dis-

que de manière à produire un flux magnétique axial des deux côtés de l'anneau aimanté. Ainsi, ces zones aimantées forment au niveau de la surface supérieure de la structure magnétique une première piste magnétique 11A1 et au niveau de la surface inférieure une deuxième piste magnétique équivalente 11A2. Ces deux pistes magnétiques sont respectivement couplées avec les deux parties d'extrémité actives 262 et 266. On remarquera que les zones aimantées peuvent être formées par une pluralité d'aimants distincts ou par un anneau formé d'un même matériau dont seules les zones 10A sont aimantées. Dans une autre variante intéressante, cet anneau est magnétisé avec une alternance du sens de polarité dans chaque période angulaire. On a ainsi une alternance de zones aimantées Nord et Sud dans chaque piste magnétique. On passe donc d'un couplage magnétique en attraction et en répulsion dans chaque période angulaire; ce qui permet avantageusement d'augmenter la différence d'énergie potentielle entre les zones d'énergie potentielle minimales et maximales. Cette variante dans un couplage aimant-aimant s'applique d'ailleurs à tous les modes de réalisation.

[0083] Dans d'autres variantes de réalisation des deux derniers modes de réalisation (non représentées), les deux pistes magnétiques couplées au résonateur sont respectivement solidaires de deux mobiles en rotation n'ayant pas de relation d'engrènement l'un avec l'autre. Ces deux mobiles peuvent être coaxiaux ou situés l'un à côté de l'autre avec deux axes de rotation distincts. Selon deux variantes particulières, ces deux mobiles sont couplées à un même élément de couplage ou respectivement à deux éléments de couplage du résonateur. Les deux mobiles en rotation peuvent être chacun entraînés par une propre source d'énergie mécanique. Toutefois, il est aussi possible que seul un premier mobile soit entraîné en rotation par un couple moteur alors que le second mobile est de fait entraîné en rotation par le résonateur excité par le premier mobile, c'est-à-dire entraîné au travers du résonateur qui lui transmet de l'énergie reçue. L'homme du métier comprend ainsi que plusieurs réalisations peuvent être envisagées sur la base du concept du cinquième ou sixième mode de réalisation.

[0084] A la Figure 21 est représenté un septième mode de réalisation d'un dispositif régulateur 270 selon l'invention. La structure magnétique 4B est semblable à celle décrite à la Figure 5. Elle comprend deux pistes 11A et 13A qui sont concentriques. Le résonateur 272 est du type balancier-spiral avec un balancier rigide 274 associé à un ressort-spiral 276. Le balancier peut prendre diverses formes, notamment circulaire comme dans un mouvement horloger classique. Le balancier pivote autour d'un axe 278 et il comprend deux organes de couplage magnétique 280 et 282 selon l'invention qui sont décalés angulairement relativement à l'axe de rotation 20 de la structure magnétique 4B. Ces deux organes sont formés par deux aimants. Le décalage angulaire des deux aimants et leur positionnement relativement à la structure 4B sont prévus pour que ces deux aimants définissent

un même cercle de position zéro 44 et qu'ils présentent dans leur position de repos un décalage angulaire θ_D égal à un nombre entier de période angulaire θ_P augmenté d'une demi-période. Ainsi ces deux aimants présentent un déphasage de π . Le cercle 44 correspond sensiblement au cercle d'interface (limite commune) des deux pistes magnétiques 11A et 13A. De préférence, l'axe de rotation 278 du balancier est positionné à l'intersection des deux tangentes au cercle de position zéro 44 respectivement aux deux points d'intersection de ce cercle avec les deux axes d'oscillation respectifs des deux aimants du résonateur. On notera qu'il est préférable que le balancier soit équilibré, plus précisément que son centre de masse se trouve sur l'axe du balancier. L'homme du métier saura facilement configurer des balanciers de diverses formes présentant cette caractéristique importante. On comprend donc que les diverses variantes représentées aux figures sont schématisques et la problématique liée à l'inertie du résonateur n'est pas traitée concrètement sur ces figures. De plus, des agencements garantissant une résultante nulle des forces magnétiques agissant radialement et axialement sur l'axe du balancier sont préférés. On notera que, dans une variante, il est prévu un balancier à lames flexibles définissant un axe de rotation fictif, c'est-à-dire sans pivotement, en lieu et place du balancier-spiral. Lors du passage dans la zone centrale d'impulsions localisée autour du cercle d'interface 44, chacun des aimants 280 et 282 reçoit une impulsion dans chaque alternance de chaque période d'oscillation. On a donc ici une double impulsion. Dans une variante avec deux structures magnétiques 4B agencées de manière coaxiale des deux côtés des aimants 280 et 282, on obtient quatre impulsions simultanées à la fin de la première alternance et de la deuxième alternance dans chaque période d'oscillation. Un tel système présente un fort couplage entre le résonateur et les structures magnétiques entraînées en rotation par un couple moteur dans une plage utile, cette dernière pouvant ainsi être relativement étendue.

[0085] La Figure 22 est une alternative au dispositif de la Figure 21, le dispositif de la Figure 22 étant basé sur le deuxième mode de réalisation principal alors que le dispositif de la Figure 21 est basé sur le premier mode de réalisation principal. Cette alternative concerne un dispositif régulateur 290 avec deux pistes magnétiques concentriques 86A et 186 de faible dimension radiale formant la structure magnétique 182, laquelle est semblable à celle déjà décrite à la Figure 15 (la seule différence est la forme arquée des aimants 103 et 188 à la Figure 22). Ce dispositif régulateur comprend en outre un résonateur 292 du type balancier-spiral décrit précédemment. Le résonateur a donc un spiral 276 ou un autre élément élastique approprié et un balancier 274A ayant deux bras dont les deux extrémités libres respectives portent respectivement deux éléments de couplage 294 et 296 formés par deux aimants agencés en répulsion des aimants des pistes magnétiques. Chaque élément de couplage est formé par une zone aimantée similaire

à l'élément 190 de la Figure 15. Le fonctionnement de l'oscillateur 290 est donc semblable à celui de cette Figure 15 pour chacune des deux zones aimantées 294 et 296. Ces deux zones aimantées sont décalées d'un angle $\theta_D = \theta_P \cdot (2N+1)/2$, N étant un nombre entier. Lorsqu'une première plage aimantée du résonateur 292 est couplée à une première piste magnétique, la deuxième plage aimantée est alors couplée à la deuxième piste magnétique. On double ainsi le couplage magnétique entre le résonateur et la structure magnétique relativement à la réalisation de la Figure 15. Diverses remarques et variantes mentionnées pour la Figure 21 s'appliquent également ici.

[0086] A la Figure 23 est représenté schématiquement un huitième mode de réalisation. Le dispositif régulateur 300 comprend une structure magnétique 82A similaire à celle décrite aux Figures 12A et 13 et un résonateur 302 formé par un diapason à deux branches 308 et 309 (représenté schématiquement) qui présentent à leur deux extrémités libres deux plaquettes magnétiques 304A et 304B identiques. Chaque plaquette magnétique est formée de deux plages magnétiques 156 et 158 et de deux parties complémentaires non magnétiques 305 et 306. Les plages magnétiques 156 et 158 sont agencées de manière identique aux deux parties d'extrémité actives qui sont décrites à la Figure 13. Le fonctionnement magnétique est ici équivalent à celui décrit à l'aide des Figures 9 à 11A et 13, et ne sera donc pas à nouveau exposé ici. On remarquera que le couplage magnétique peut être prévu en répulsion (voir Figures 9 et 10) ou en attraction (voir Figures 11 et 11A). La piste magnétique a un nombre pair d'aimants et donc de périodes angulaires de sorte que les deux plaquettes 304A, 304B oscillent avantageusement en sens opposé. Dans une autre variante avec un diapason parfaitement symétrique (en faisant subir une symétrie axiale à l'une des deux plaquettes selon un axe de symétrie sensiblement tangent au cercle médian 120), il faut prévoir un nombre impair d'aimants le long de la piste magnétique 86A. Ainsi, le résonateur est formé par un diapason dont deux extrémités libres de sa structure résonnante portent respectivement les premier et deuxième éléments de couplage magnétique.

[0087] A la Figure 24 est représenté un neuvième mode de réalisation de l'invention. Le dispositif régulateur 310 se distingue essentiellement des modes de réalisation précédents par trois caractéristiques particulières. Premièrement, il comprend deux résonateurs 312 et 314 indépendants, c'est-à-dire n'ayant pas un mode de résonance commun. Toutefois, ces deux résonateurs sont identiques. Deuxièmement, la structure magnétique 316 est prévue fixe sur un support ou une platine 318 d'un mouvement horloger, alors que les deux résonateurs 312 et 314 sont entraînés en rotation à la vitesse angulaire ω par un couple moteur fourni à un rotor 320 qui comprend deux bras rigides 322 et 323 aux extrémités libres respectives desquelles sont agencés respectivement les deux résonateurs. Ces deux résonateurs comprennent

chacun une lame élastique à l'extrémité libre de laquelle est agencé un aimant allongé 325, 326. Ces aimants sont agencés selon l'invention tangentiellement à un cercle d'interface 44 entre les deux pistes magnétiques 328 et 330 lorsque les résonateurs respectifs sont dans leur position de repos, de sorte que ce cercle d'interface correspond à un cercle de position zéro pour les deux parties d'extrémité actives définies par les aimants 325 et 326. Chaque piste magnétique comprend des premières zones 332 et des deuxième zones 334 ayant des propriétés déjà décrites dans l'exposé du premier mode de réalisation principal. Chacun des deux aimants définit avec les deux pistes magnétiques un oscillateur. On remarquera que l'inversion de l'entraînement au niveau du système 'résonateur - piste magnétique' avec un couple moteur appliqué au résonateur pour l'entraîner en rotation autour d'un axe de rotation 20A confondu avec l'axe central de la structure magnétique ne change rien à l'interaction magnétique entre le résonateur et la structure magnétique qui a été exposée précédemment, de sorte que cette inversion peut être implémentée à titre de variante dans les autres modes de réalisation.

[0088] La troisième caractéristique particulière de ce mode de réalisation vient du fait que, dans un mode de réalisation correspondant au premier mode de réalisation principal, l'oscillation des éléments de couplage n'est pas radiale relativement à l'axe de rotation 20A du rotor 320, à savoir que l'axe d'oscillation intercepte le cercle de position zéro 44 de manière non perpendiculaire. Le degré de liberté de l'élément de couplage de chaque résonateur se trouve sensiblement sur un cercle dont le rayon est sensiblement égal à la longueur L de la lame élastique et centré au point d'ancrage de cette lame. De manière à obtenir, selon une variante préférée de l'invention, un gradient de l'énergie potentielle magnétique sensiblement nul selon le degré de liberté de chaque résonateur (les deux résonateurs présentant une symétrie axiale d'axe géométrique 20A) dans les zones utiles d'accumulation d'énergie potentielle magnétique, il est prévu que les lignes de pénétration 336 des deuxième zones 334 de chacune des deux pistes 328 et 330 suivent des arcs de cercle selon l'axe d'oscillation de chacun des éléments de couplage lorsque la ligne de pénétration considérée et un axe d'oscillation sont superposés. Cette troisième caractéristique particulière correspond par analogie à la situation décrite aux Figures 12 et 12A dans le cadre du deuxième mode de réalisation principal.

[0089] En référence aux Figures 25A à 25D, on décrira ci-après un dixième mode de réalisation, lequel est basé sur la réalisation de la Figure 22 pour ce qui concerne le couplage magnétique entre les éléments de couplage du résonateur 346 et une piste magnétique annulaire 344 d'un mobile d'échappement 342. Dans ce mode de réalisation que l'on peut nommer 'échappement à cylindre magnétique', le dispositif régulateur 340 se distingue par le fait que le résonateur comprend un aimant annulaire tronqué 352 relié rigidement à un balancier 348 qui est associé à un spiral 350. L'aimant annulaire tronqué dé-

fini la paroi d'une section de tube cylindrique ouverte latéralement. Cet aimant annulaire tronqué est situé dans un premier plan général parallèle à un deuxième plan général défini par la piste magnétique annulaire, de sorte que cet aimant annulaire passe au-dessus du mobile d'échappement pour être couplé magnétiquement en répulsion, et donc sans contact, à la piste annulaire 344 entraînée en rotation par un couple moteur. On remarquera que dans une variante aucun balancier autre que la section de tube cylindrique avec ses moyens de pivotement n'est prévu. L'aimant annulaire tronqué est agencé pour tourner autour de l'axe C. Un arbre peut être prévu dans cette variante, cet arbre étant relié à l'aimant annulaire par exemple par un plateau supportant cet aimant et monté fixement sur l'arbre. Le plateau est prévu de l'autre côté du mobile d'échappement relativement à cet aimant annulaire.

[0090] Selon le concept exposé notamment à l'aide des Figures 9 et 10, l'aimant annulaire 352 forme deux parties d'extrémité active de deux éléments de couplage, ces deux extrémités étant dans la variante représentée formées par un seul et même aimant annulaire tronqué. En effet, dans une variante limitant les amplitudes d'oscillation, on peut prévoir deux aimants arqués de même rayon et reliés par une partie de fixation non magnétique. De plus, l'aimant annulaire tronqué définit dans son plan général une première ligne de pénétration 354, correspondant à sa paroi extérieure et une première ligne de sortie 356 à une première extrémité de cet aimant annulaire dans son plan général. La deuxième extrémité définit une deuxième ligne de sortie 357 alors qu'une deuxième ligne de pénétration 355 est définie par la paroi intérieure de cet aimant annulaire. Dans ce mode de couplage en répulsion, comme exposé précédemment, l'aimant annulaire correspond en projection orthogonale à une zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique. On remarquera que les lignes de pénétration sont orientées selon le degré de liberté du résonateur puisqu'elles sont circulaires et centrées sur l'axe d'oscillation C. Elles définissent des chemins selon ce degré de liberté de sorte que, pour une position angulaire donnée de la piste magnétique 344, l'énergie potentielle magnétique d'un aimant 343 partiellement superposé à l'aimant annulaire 352 ne varie pas lorsque cet aimant oscille dans une première alternance de la période d'oscillation du balancier-spiral (Figures 25A et 25C) avant d'atteindre la ligne de sortie (Figures 25B et 25D) où une impulsion P est fournie au balancier via l'aimant annulaire.

[0091] L'aimant 352 définit dans son plan général une surface annulaire tronquée. Dans la variante proposée ici, l'ouverture θ_A de cette surface annulaire tronquée, définie comme l'angle à l'axe de rotation 20 depuis le milieu des deux lignes de sortie, est sensiblement égale à 150% de la période angulaire de la piste magnétique, soit $\theta_A = 3 \cdot \theta_P / 2$. Dans une première alternance d'oscillation du balancier 348, un premier aimant 343 de la piste magnétique pénètre sous l'aimant annulaire par la ligne de pénétration extérieure 354. Dans la plage utile du cou-

ple moteur, grâce à l'agencement d'une butée magnétique 345 à la suite de chaque aimant 343 (interaction significativement plus forte avec l'aimant annulaire pour cette butée magnétique), le premier aimant reste finalement dans une certaine position de pénétration maximale ou position de superposition finale. Dans cette position de superposition finale, le balancier peut tourner librement sensiblement durant toute la première alternance (Figure 25A) jusqu'à ce qu'il arrive sensiblement à sa position de repos autour de laquelle il reçoit une première impulsion P (Figure 25B). Le balancier continue sa rotation à vitesse sensiblement maximale et un deuxième aimant précédent le premier aimant, relativement au sens de rotation du mobile d'entraînement, pénètre après une certaine rotation du mobile d'échappement sous l'aimant annulaire par la ligne de pénétration intérieure 355. Ce deuxième aimant reste également dans une position de pénétration maximale correspondant à une certaine superposition partielle avec l'aimant annulaire durant la majeure partie de la deuxième alternance (Figure 25C) avant de sortir par la ligne de sortie 357 autour de la position de repos du résonateur (Figure 25D) en fournissant une deuxième impulsion P au balancier-spiral. On remarquera que, selon le positionnement de la butée magnétique 345 relativement à l'aimant 343 et du couple moteur, l'aimant 343 peut être totalement superposé à l'aimant annulaire dans sa position de pénétration maximale. L'aimant annulaire forme la partie d'extrémité active commune au couplage de la piste magnétique au résonateur dans les deux alternances de chaque période d'oscillation. On remarquera que dans sa position de repos (Figures 25B et 25D), les lignes de sortie définies par cette partie d'extrémité active commune présentent chacune une orientation selon la présente invention, car ces lignes de sortie sont sensiblement tangentielles au cercle géométrique médian 120.

[0092] On remarquera donc que ce mode de réalisation, dans son mode de fonctionnement principal, est caractérisé par une avance saccadée du mobile d'échappement avec une grande amplitude d'oscillation. En effet, l'anneau annulaire tronqué forme une barrière magnétique pour les butées magnétiques de la piste magnétique, permettant d'arrêter momentanément le mobile d'échappement, lequel avance alors par pas (deux pas pour une rotation d'une période angulaire). Dans un mode de fonctionnement spécifique, on peut toutefois obtenir une avance quasi continue ou continue. Dans ce dernier cas, les butées magnétiques ne sont plus nécessaires. On notera qu'une telle avance quasi continue ou continue est prévue principalement dans les autres modes de réalisation. Cependant, certains modes de réalisation, selon le dimensionnement du résonateur et de la structure magnétique, peuvent aussi fonctionner dans un mode saccadé.

[0093] A la Figure 26 est montrée une variante particulière du dixième mode de réalisation (représentée dans un mode de fonctionnement continu du mobile d'échappement). Le dispositif régulateur 360 du type

'échappement à cylindre magnétique' se distingue de la variante précédente essentiellement par le fait qu'il est prévu qu'un même aimant 343A qui est premièrement couplé magnétiquement à l'aimant annulaire 352A du résonateur dans une première alternance d'une période d'oscillation, en pénétrant sous cet aimant annulaire par la ligne de pénétration extérieure 354 (sensiblement même rayon R_E que dans la variante précédente) et sortant par la ligne de sortie 356A en fournissant une première impulsion, est ensuite directement couplé magnétiquement à l'aimant annulaire dans la deuxième alternance de cette période d'oscillation en pénétrant sous cet aimant annulaire par la ligne de pénétration intérieure 355A avant de sortir finalement par la ligne de sortie 357A en fournissant une deuxième impulsion au balancier-spiral (non représenté à la Figure 26). Une telle configuration permet, pour un diamètre extérieur donné de l'aimant annulaire du résonateur, d'augmenter considérablement l'épaisseur E_T de la paroi de ce tube cylindrique et donc la longueur L4 des lignes de sortie, ainsi que la dimension longitudinale L3 (dimension angulaire ou tangentielle) des aimants 343A de la piste magnétique. Ceci permet d'augmenter l'accumulation d'énergie potentielle magnétique dans l'oscillateur puisque, pour une première dimension W3 donnée, la deuxième dimension L3 de ces aimants peut être agrandie, ce qui augmente ainsi le rapport entre ces deux dimensions. L'ouverture de l'aimant annulaire 352A, définie précédemment, est inférieure à une période angulaire de la piste magnétique 342A.

[0094] Dans une réalisation particulière de cette variante, l'aimant annulaire est monté sur ou suspendu à une structure comprenant deux lames flexibles croisées définissant un axe géométrique d'oscillation C pour l'aimant annulaire. Cette structure élastiquement déformable est agencée de l'autre côté de cet aimant annulaire relativement à la structure magnétique du mobile d'échappement. Ainsi, aucun axe matériel n'est nécessaire au niveau de l'aimant annulaire et du mobile d'échappement.

[0095] Dans une variante particulière incorporant la variante représentée, le diamètre ($2 \cdot R_i$) du contour intérieur de l'aimant annulaire tronqué est inférieur ou sensiblement égal à la deuxième dimension L3 des deuxièmes zones définies par les aimants de la piste magnétique. La différence entre les rayons des première et deuxième lignes de pénétration circulaires 354 et 355A, correspondant environ à la longueur L4 des première et deuxième lignes de sortie, est sensiblement égale à la deuxième dimension L3 ou compris entre quatre-vingt et cent vingt pourcents (80% à 120%) de cette deuxième dimension.

[0096] A la Figure 27 est représenté un onzième mode de réalisation. Le dispositif régulateur 370 est particulier par deux caractéristiques principales. Premièrement, il comprend un mobile d'échappement magnétique 372 formé par un disque 374 avec une partie centrale non magnétique et un anneau périphérique 376 aimanté radialement de manière à définir deux pistes magnétiques

latérales 378 et 380 formées chacune par des pôles magnétiques alternés 382 et 384, ces pôles magnétiques générant un flux magnétique correspondant à des axes d'aimantation radiaux de sens alternés. Ils définissent des première et deuxième zones de chaque piste magnétique. Les deuxième zones sont en répulsion magnétique avec les aimants 392 et 394 du résonateur alors que les premières zones sont en attraction magnétique avec ces aimants. La surface géométrique générale des deux pistes magnétiques est une surface cylindrique de sorte que les lignes de pénétration en face des deuxième zones pour les aimants du résonateur sont des segments de droites axiales. Les lignes de sortie suivent le cercle d'interface des deux pistes magnétiques, ce cercle d'interface étant de préférence confondu avec le cercle de position zéro 44A défini par la projection orthogonale dans la surface cylindrique du centre de masse de la partie d'extrémité active de chacun des aimants 394 et 396 dans leur position de repos. En d'autres termes, dans ce cas-ci, chacun des centres de masse est sur un axe radial du disque 374 interceptant le cercle d'interface des deux pistes magnétiques lorsque les premier et deuxième éléments de couplage sont dans leur position de repos.

[0097] Ensuite, le résonateur 386 est du type à torsion avec deux extrémités libres de sa structure résonnante portant respectivement les premier et deuxième éléments de couplage. Ce résonateur a une structure résonnante en H avec deux barrettes longitudinales 387 et 388, chacune portant un aimant de couplage 392, 394. Ces deux barrettes longitudinales sont reliées par une barrette transversale 390 qui présente une capacité de déformation en torsion. En effet, il est prévu que les barrettes longitudinales oscillent avec un déphasage de 180° de sorte que la barrette transversale se déforme élastiquement en torsion autour de son axe longitudinale. A cet effet, le nombre de périodes angulaires des pistes magnétiques, donnés par le nombre de paires de pôles magnétiques inversés, est impair et, comme dans les autres modes de réalisation avec deux pistes magnétiques, ces deux pistes magnétiques sont décalées angulairement d'une demi-période angulaire, c'est-à-dire déphasée de 180°.

[0098] Deux parties de fixation 395 et 396 du résonateur sont reliées au milieu de la barrette transversale par deux ponts 398 relativement étroits, car la matière ne subit pas dans cette zone médiane de rotation autour de l'axe longitudinal de la barrette transversale lors des mouvements d'oscillation sensiblement axiaux, dans des sens opposés, des deux barrettes longitudinales. Les premières et deuxième zones 382 et 384 des deux pistes magnétiques 378 et 380 de la structure magnétique tournante et les deux éléments de couplage magnétique 392 et 394 du résonateur sont dimensionnés et agencés selon les critères de l'invention.

Revendications

1. Dispositif régulateur (36,56,200,240,270,310,370) de la vitesse angulaire relative (w) entre une structure magnétique (4,4A,202,244,246, 4B,316,372) et un résonateur (38,38A,210,242,312,314,386) couplés magnétiquement de manière à définir ensemble un oscillateur formant ce dispositif régulateur, la structure magnétique comprenant au moins une piste magnétique annulaire (11,13,11A,13A,204,11A1,328,330,378,380) centrée sur un axe de rotation (20,20A) de cette structure magnétique ou du résonateur, la structure magnétique et le résonateur étant agencés pour subir une rotation l'un relativement à l'autre autour dudit axe de rotation lorsqu'un couple moteur est appliqué à la structure magnétique ou au résonateur ; le résonateur comprenant au moins un élément de couplage magnétique à ladite piste magnétique annulaire, cet élément de couplage présentant une partie d'extrémité active (46,46A,46B,262,266, 280,282,325,326) formée d'un premier matériau magnétique et située du côté de ladite piste magnétique annulaire ; cette piste magnétique annulaire étant formée au moins partiellement d'un deuxième matériau magnétique agencé de sorte que l'énergie potentielle magnétique de l'oscillateur varie angulairement de manière périodique le long de la piste magnétique annulaire, définissant ainsi une période angulaire (θ_p) de cette piste magnétique annulaire, et qu'il définisse magnétiquement des premières zones (40,42,40A,42A,382) et des deuxième zones (10,12,10A,12A,206, 334,384) angulairement alternées avec une première zone et une deuxième zone adjacente dans chaque période angulaire ; chaque deuxième zone engendrant, relativement à une première zone adjacente, une force de répulsion supérieure ou une force d'attraction inférieure pour une même zone quelconque de ladite partie d'extrémité active lorsque cette même zone quelconque est superposée, en projection orthogonale à une surface géométrique générale dans laquelle s'étend la piste magnétique annulaire, à cette deuxième zone, respectivement à cette première zone adjacente ; ledit élément de couplage magnétique étant couplé magnétiquement à ladite piste magnétique annulaire de manière qu'une oscillation selon un degré de liberté d'un mode de résonance du résonateur est entretenue dans une plage utile du couple moteur appliqué à la structure magnétique ou au résonateur et qu'une période de cette oscillation intervienne lors de ladite rotation relative dans chaque période angulaire de ladite piste magnétique annulaire, la fréquence de ladite oscillation déterminant ainsi ladite vitesse angulaire relative, ledit degré de liberté définissant un axe d'oscillation (48) de ladite partie d'extrémité active passant par son centre de masse ; ledit résonateur étant agencé relativement à ladite

structure magnétique de manière que ladite partie d'extrémité active est au moins en majeure partie superposée en projection orthogonale à cette piste magnétique annulaire durant sensiblement une première alternance dans chaque période de ladite oscillation, et de manière que le trajet de l'élément de couplage magnétique lors de cette première alternance est sensiblement parallèle à ladite surface géométrique générale, la piste magnétique annulaire présentant dans cette surface géométrique générale une dimension selon la projection orthogonale dudit axe d'oscillation qui est supérieure à la dimension de ladite partie d'extrémité active selon cet axe d'oscillation;

chacune desdites deuxièmes zones présentant en projection orthogonale un contour général avec une première portion, définissant une ligne de pénétration (10a, 12a, 214, 336) au-dessus de cette deuxième zone pour ladite partie d'extrémité active de l'élément de couplage magnétique lors de ladite oscillation, et une deuxième portion définissant une ligne de sortie (10b, 12b, 216) de dessus cette deuxième zone pour cette partie d'extrémité active lors de cette oscillation, cette ligne de sortie étant orientée sensiblement selon une direction angulaire parallèle à un cercle de position zéro (44, 44A) qui est centré sur ledit axe de rotation et qui passe par la projection orthogonale du centre de masse de ladite partie d'extrémité active dans sa position de repos ; la structure magnétique définissant en outre pour la partie d'extrémité active au moins une zone de sortie qui s'étend dans ladite surface géométrique générale, cette au moins une zone de sortie recevant en projection orthogonale au moins la majeure partie de ladite partie d'extrémité active lorsqu'elle sort, lors de ladite oscillation, successivement de la piste magnétique annulaire par les lignes de sortie respectives des deuxièmes zones, cette au moins une zone de sortie engendrant, relativement auxdites deuxièmes zones, une force de répulsion inférieure ou une force d'attraction supérieure pour une même zone quelconque de ladite partie d'extrémité active lorsque cette même zone quelconque est superposée en projection orthogonale à cette au moins une zone de sortie, respectivement à ces deuxièmes zones ; la partie d'extrémité active dudit élément de couplage dans sa position de repos ayant, en projection orthogonale dans ladite surface géométrique générale, une première dimension (W2), selon un premier axe perpendiculaire audit cercle de position zéro et passant par la projection orthogonale du centre de masse de cette partie d'extrémité active, et une deuxième dimension (L2), selon un deuxième axe défini par ledit cercle de position zéro, qui est supérieure à cette première dimension ; ladite ligne de sortie de chacune des deuxièmes zones ayant une longueur (L1), le long de ladite au moins une zone de sortie et selon ledit deuxième axe, qui est supé-

rieure à la première dimension (W2) de la partie d'extrémité active.

2. Dispositif régulateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ladite ligne de sortie de chaque deuxième zone est sensiblement confondue avec ledit cercle de position zéro.
3. Dispositif régulateur selon la revendication 2, **caractérisé en ce que**, dans ladite plage utile du couple moteur, ladite piste magnétique annulaire, ladite au moins une zone de sortie et ledit élément de couplage magnétique définissent dans chaque période angulaire, en fonction de la position relative de cette piste magnétique annulaire et de ladite partie d'extrémité active, un secteur d'accumulation (70, 72) dans lequel ledit oscillateur accumule essentiellement de l'énergie potentielle magnétique et un secteur d'impulsion (76), adjacent à ce secteur d'accumulation, dans lequel l'élément de couplage magnétique reçoit essentiellement une impulsion, les secteurs d'impulsion étant situés dans une zone centrale d'impulsions comprenant les positions relatives correspondant audit cercle de position zéro.
4. Dispositif régulateur selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** ledit cercle de position zéro et ledit axe d'oscillation sont sensiblement orthogonaux à leur point d'intersection.
5. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la deuxième dimension (L2) de ladite partie d'extrémité active est au moins deux fois plus grande que sa première dimension (W2) et ladite longueur (L1) de la ligne de sortie est au moins deux fois plus grande que cette première dimension.
6. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la deuxième dimension (L2) de ladite partie d'extrémité active est au moins quatre fois plus grande que sa première dimension (W2) et ladite longueur (L1) de la ligne de sortie est au moins quatre fois plus grande que cette première dimension.
7. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, en projection orthogonale dans ladite surface géométrique générale, ladite ligne de pénétration de chaque deuxième zone est sensiblement orientée selon ledit axe d'oscillation lorsque cette ligne de pénétration est alignée avec le centre de masse de ladite partie d'extrémité active.
8. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la ligne de sortie desdites deuxièmes zones le long

de ladite au moins une zone de sortie et ladite partie d'extrémité active s'étendent angulairement relativement audit axe de rotation sur sensiblement la moitié d'une période angulaire (θ_P).

9. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la dimension (W1) de chacune desdites deuxièmes zones, selon un axe perpendiculaire audit cercle de position zéro à un point milieu de ladite ligne de sortie, est au moins trois fois plus grande que la première dimension (W2) de ladite partie d'extrémité active.

10. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** la dimension (W1) de chacune desdites deuxièmes zones, selon un axe perpendiculaire audit cercle de position zéro à un point milieu de ladite ligne de sortie, est au moins six fois plus grande que la première dimension (W2) de ladite partie d'extrémité active.

11. Dispositif régulateur (80,126,170,180,220,290,300,340,360) de la vitesse angulaire relative (w) entre une structure magnétique (82,182,342) et un résonateur (84,174,184,230,292,302,346) couplés magnétiquement de manière à définir ensemble un oscillateur formant ce dispositif régulateur, la structure magnétique comprenant au moins une piste magnétique annulaire (86,86A,186,344) centrée sur un axe de rotation (20) de cette structure magnétique ou du résonateur, la structure magnétique et le résonateur étant agencés pour subir une rotation l'un relativement à l'autre autour dudit axe de rotation lorsqu'un couple moteur est appliqué à la structure magnétique ou au résonateur ; le résonateur comprenant au moins un élément de couplage magnétique à ladite piste magnétique annulaire, cet élément de couplage magnétique présentant une partie d'extrémité active (92,94,128,130,144,144A156,158,92A,94A,190A,234,294,296,156,158,352) formée d'un premier matériau magnétique et située du côté de ladite piste magnétique annulaire; cette piste magnétique annulaire étant formée au moins partiellement d'un deuxième matériau magnétique agencé de sorte que l'énergie potentielle magnétique de l'oscillateur varie angulairement de manière périodique le long de la piste magnétique annulaire, définissant ainsi une période angulaire (θ_P) de cette piste magnétique annulaire; ledit élément de couplage magnétique étant couplé magnétiquement à la piste magnétique annulaire de manière qu'une oscillation selon un degré de liberté d'un mode de résonance du résonateur est entretenue dans une plage utile du couple moteur appliqué à la structure magnétique ou au résonateur et qu'une période de cette oscillation inter-

vient lors de ladite rotation relative dans chaque période angulaire de la piste magnétique annulaire, la fréquence de ladite oscillation déterminant ainsi ladite vitesse angulaire relative, ledit degré de liberté définissant un axe d'oscillation (94,96,100,150,154) de ladite partie d'extrémité active passant par son centre de masse;

ledit deuxième matériau magnétique étant agencé le long de la piste magnétique annulaire de sorte qu'il définisse magnétiquement des premières zones (104, 104A) et des deuxièmes zones (102,106,103,106A,343) angulairement alternées avec une première zone et une deuxième zone adjacente dans chaque période angulaire; et dans lequel, lors de ladite oscillation dans ladite plage utile du couple moteur, ladite partie d'extrémité active dudit élément de couplage magnétique définit magnétiquement, en projection orthogonale dans une surface géométrique générale dans laquelle s'étend globalement cette partie d'extrémité active et comprenant ledit axe d'oscillation, :

- une zone d'entrée successivement pour lesdites deuxièmes zones en projection orthogonale à la surface géométrique générale,
- une zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique dans l'oscillateur, laquelle est angulairement adjacente à la zone d'entrée et dans laquelle pénètre en projection orthogonale au moins partiellement chaque deuxième zone depuis cette zone d'entrée, et
- une zone de sortie adjacente à la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique, cette zone de sortie recevant en projection orthogonale au moins la majeure partie de chaque deuxième zone sortant de cette zone d'accumulation ou d'une deuxième zone suivante;

chaque deuxième zone engendrant par unité de longueur angulaire, relativement à une première zone, une force de répulsion supérieure pour ladite zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique ou une force d'attraction supérieure pour ladite zone d'entrée et ladite zone de sortie; ladite zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique engendrant, relativement à ladite zone d'entrée et ladite zone de sortie, une force de répulsion supérieure ou une force d'attraction inférieure pour une même zone quelconque de chaque deuxième zone lorsque cette même zone quelconque est superposée à cette zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique, respectivement à la zone d'entrée ou à la zone de sortie ; ladite piste magnétique annulaire présentant, en projection orthogonale dans ladite surface géométrique générale, une dimension selon ledit axe d'oscillation qui est inférieure à la dimension selon cet axe d'oscillation de ladite partie d'extrémité active ; le résonateur étant agencé relativement à la

- structure magnétique de manière que la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique est traversée en projection orthogonale par un cercle géométrique médian (120,121), passant par le milieu de la piste magnétique annulaire, durant sensiblement une alternance donnée dans chaque période de ladite oscillation ; ladite zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique présentant un contour général avec une première portion, définissant une ligne de pénétration (126,128,138,139,145,145A,164,166,196,354,355) sous cette zone d'accumulation successivement pour chacune desdites deuxième zones lors de ladite oscillation, et une deuxième portion définissant une ligne de sortie (127,129,140,141,146,146A,160,162,127A,129A,197,198,356,357) de dessous cette zone d'accumulation pour cette deuxième zone ou une deuxième zone suivante lors de cette oscillation, la ligne de sortie étant orientée, lorsque ledit élément de couplage magnétique est dans sa position de repos, sensiblement selon une direction angulaire parallèle à la projection orthogonale dudit cercle géométrique médian ; chacune desdites deuxième zones ayant en projection orthogonale, lorsque le centre de cette deuxième zone est superposé audit axe d'oscillation, une première dimension (W3), selon un premier axe perpendiculaire à la projection orthogonale du cercle géométrique médian et passant par le point d'intersection de cette projection orthogonale du cercle géométrique médian avec l'axe d'oscillation, et une deuxième dimension (L3), selon un deuxième axe perpendiculaire au premier axe et passant par ledit point d'intersection, qui est supérieure à la première dimension ; et dans lequel, lorsque l'élément de couplage magnétique est dans sa position de repos, ladite ligne de sortie a une longueur (L4), le long de ladite zone de sortie et selon ledit deuxième axe, qui est supérieure à la première dimension (W3) des deuxième zones.
12. Dispositif régulateur selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** ladite ligne de sortie de ladite zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique est sensiblement confondue avec ladite projection orthogonale dudit cercle géométrique médian lorsque ledit élément de couplage est dans sa position de repos.
13. Dispositif régulateur selon la revendication 11 ou 12, **caractérisé en ce que**, dans ladite plage utile du couple moteur, ladite piste magnétique annulaire et ledit élément de couplage magnétique définissent dans chaque période angulaire, en fonction de la position relative de cette piste magnétique annulaire et de ladite partie d'extrémité active, un secteur d'accumulation (70A,72A) dans lequel ledit oscillateur accumule essentiellement de l'énergie potentielle magnétique et un secteur d'impulsion (76A,77A), adjacent à cette zone d'accumulation, dans lequel l'élément de couplage reçoit essentiellement une impulsion, les secteurs d'impulsion étant situés dans une zone centrale d'impulsions correspondant sensiblement à la piste magnétique annulaire.
14. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, **caractérisé en ce que** ledit axe d'oscillation et ledit cercle géométrique médian sont, en projection orthogonale à ladite surface géométrique générale, sensiblement orthogonaux à leur point d'intersection.
15. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, **caractérisé en ce que** la deuxième dimension (L3) de chaque deuxième zone est au moins deux fois plus grande que sa première dimension (W3), et ladite longueur (L4) de la ligne de sortie est au moins deux fois plus grande que cette première dimension.
16. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, **caractérisé en ce que** la deuxième dimension (L3) de chaque deuxième zone est au moins quatre fois plus grande que sa première dimension (W3), et ladite longueur (L4) de la ligne de sortie est au moins quatre fois plus grande que cette première dimension.
17. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications 11 à 16, **caractérisé en ce que** ladite ligne de pénétration dans ladite zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique est orientée selon une direction sensiblement parallèle audit axe d'oscillation.
18. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications 11 à 16, **caractérisé en ce que** ladite ligne de pénétration dans ladite zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique définit un chemin selon ledit degré de liberté.
19. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications 11 à 18, **caractérisé en ce que** la ligne de sortie de ladite zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique le long de ladite zone de sortie et chaque deuxième zone s'étendent angulairement sur sensiblement la moitié d'une période angulaire.
20. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications 11 à 19, **caractérisé en ce que** la dimension (W4) de ladite ligne de pénétration dans ladite zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique selon ledit axe d'oscillation est au moins cinq fois plus grande que la dimension (W3), en projection orthogonale dans ladite surface géométrique générale, de la piste magnétique annulaire le long

de cet axe d'oscillation.

21. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications 11 à 19, **caractérisé en ce que** la dimension (W4) de ladite ligne de pénétration dans ladite zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique selon ledit axe d'oscillation est au moins huit fois plus grande que la dimension (W3), en projection orthogonale dans ladite surface géométrique générale, de la piste magnétique annulaire le long de cet axe d'oscillation. 5
22. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ladite surface géométrique générale est une surface cylindrique ayant comme axe central ledit axe de rotation, ledit degré de liberté étant sensiblement orienté selon cet axe de rotation. 10
23. Dispositif régulateur (180) selon l'une quelconque des revendications précédentes et dans lequel ladite piste magnétique annulaire définit une première piste (86A), **caractérisé en ce que** ladite structure magnétique comprend en outre une deuxième piste magnétique annulaire (186) couplée également audit élément de couplage de manière similaire que cet élément de couplage est couplé à la première piste ; la deuxième piste étant formée au moins partiellement d'un matériau magnétique qui présente une variation le long de cette deuxième piste de sorte que l'énergie potentielle magnétique de l'oscillateur varie angulairement, avec ladite période angulaire et de manière similaire à la variation de la première piste, le long de cette deuxième piste, les première et deuxième pistes présentant un décalage angulaire égal à la moitié de ladite période angulaire. 20
24. Dispositif régulateur (220) selon l'une quelconque des revendications 1 à 22 et dans lequel ladite piste magnétique annulaire définit une première piste, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre une deuxième piste magnétique annulaire formée au moins partiellement d'un matériau magnétique et couplée audit élément de couplage ou à un autre élément de couplage de manière similaire que ledit élément de couplage est couplé à la première piste ; la deuxième piste étant formée au moins partiellement d'un matériau magnétique qui présente une variation le long de celle-ci de sorte que l'énergie potentielle magnétique de l'oscillateur varie angulairement, de manière similaire à la variation pour la première piste, également le long de cette deuxième piste ; et **en ce que** les première et deuxième pistes sont respectivement solidaires de deux mobiles en rotation (222, 224) ayant des axes de rotation distincts. 25
25. Dispositif régulateur selon la revendication 24, **caractérisé en ce que** les deux mobiles présentent à 30

leur périphérie respectivement deux dentures (226, 228) engrenant directement l'une avec l'autre.

26. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ledit élément de couplage magnétique est un premier élément de couplage (92, 156, 294) **caractérisé en ce qu'il** comprend au moins un deuxième élément de couplage (94, 158, 296) également couplé magnétiquement à ladite piste magnétique de manière similaire au premier élément de couplage. 35
27. Dispositif régulateur selon la revendication 26, **caractérisé en ce que** ledit résonateur est du type balancier-spiral ou balancier à lames flexibles, le balancier portant les premier et deuxième éléments de couplage. 40
28. Dispositif régulateur selon la revendication 26, **caractérisé en ce que** ledit résonateur est formé par un diapason dont deux extrémités libres de sa structure résonnante portent respectivement les premier et deuxième éléments de couplage magnétique. 45
29. Dispositif régulateur selon la revendication 26 dépendante de la revendication 22, **caractérisé en ce que** ledit résonateur est du type à torsion avec deux extrémités libres de sa structure résonnante portant respectivement les premier et deuxième éléments de couplage magnétique. 50
30. Dispositif régulateur (340, 360) selon l'une quelconque des revendications 11 à 21, **caractérisé en ce que** ladite partie d'extrémité active dudit élément de couplage est formée sensiblement par un aimant annulaire tronqué (352) et ayant un axe central confondu avec un axe de rotation du résonateur, ledit degré de liberté étant angulaire et ledit axe d'oscillation circulaire, cet aimant annulaire tronqué définissant dans ladite surface géométrique générale une surface annulaire tronquée correspondant à la zone d'accumulation d'énergie potentielle magnétique successivement dans les deux alternances de chaque période d'oscillation, cette surface annulaire tronquée présentant une première extrémité et une deuxième extrémité ainsi qu'un contour extérieur définissant ladite ligne de pénétration, laquelle est une première ligne de pénétration circulaire (354), et un contour intérieur définissant une deuxième ligne de pénétration circulaire (355); **en ce que** la première extrémité définit ladite ligne de sortie, laquelle est une première ligne de sortie (356), et la deuxième extrémité définit une deuxième ligne de sortie (357) ayant des caractéristiques similaires à la première ligne de sortie; et **en ce que** le contour extérieur est associé à la première ligne de sortie dans une première alternance des périodes d'oscillation du résonateur pour assurer successivement le couplage 55

magnétique en répulsion avec lesdites deuxième zones de la piste magnétique et engendrer une première impulsion à la fin de chaque première alternance, alors que le contour intérieur est associé à la deuxième ligne de sortie pour assurer successivement le couplage magnétique en répulsion avec ces deuxième zones dans la deuxième alternance des périodes d'oscillation et engendrer une deuxième impulsion à la fin de chaque deuxième alternance.

31. Dispositif régulateur (360) selon la revendication 30, **caractérisé en ce que** l'ouverture de ladite surface annulaire tronquée est inférieure à ladite période angulaire, et **en ce que** le diamètre du contour intérieur de cette surface annulaire tronquée est sensiblement égal à ladite deuxième dimension des deuxième zones ou inférieur à cette deuxième dimension.
32. Dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** lesdits premier et deuxième matériaux magnétiques sont des matériaux aimantés en répulsion.
33. Mouvement horloger **caractérisé en ce qu'il** comprend un dispositif régulateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, ce dispositif régulateur définissant un résonateur et un échappement magnétique, et servant à régler la marche d'au moins un mécanisme de ce mouvement horloger.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (36, 56, 200, 240, 270, 310, 370) zum Steuern der die relativen Winkelgeschwindigkeit (ω) zwischen einer magnetischen Struktur (4, 4A, 202, 244, 246, 4B, 316, 372) und einem Resonator (38, 38A, 210, 242, 312, 314, 386), die magnetisch gekoppelt sind, um zusammen einen Oszillator zu definieren, der diese Steuervorrichtung bildet, wobei die magnetische Struktur mindestens eine ringförmige Magnetspur (11, 13, 11A, 13A, 204, 11A1, 328, 330, 378, 380) aufweist, die auf eine Drehachse (20, 20A) dieser magnetischen Struktur oder des Resonators zentriert ist, wobei die magnetische Struktur und der Resonator so angeordnet sind, dass sie eine Drehung relativ zueinander um die Drehachse ausführen, wenn auf die magnetische Struktur oder auf den Resonator ein Antriebsdrehmoment ausgeübt wird; wobei der Resonator mindestens ein magnetisches Kopplungselement mit der ringförmigen Magnetspur aufweist, wobei dieses Kopplungselement einen aktiven Endabschnitt (46, 46A, 46B, 262, 266, 280, 282, 325, 326) aufweist, der aus einem ersten magnetischen Material gebildet ist und sich auf Seiten der ringförmigen Magnetspur befindet; wobei diese ringförmige Magnetspur mindestens teilweise

aus einem zweiten magnetischen Material gebildet ist, das so angeordnet ist, dass sich die magnetische potentielle Energie des Oszillators winkelmäßig entlang der ringförmigen Magnetspur periodisch ändert und somit eine Winkelperiode (θ_p) dieser ringförmigen Magnetspur definiert und erste Zonen (40, 42, 40A, 42A, 382) und zweite Zonen (10, 12, 10A, 12A, 206, 334, 384) definiert, die in jeder Winkelperiode winkelmäßig mit einer ersten Zone und einer zweiten, benachbarten Zone abwechseln; wobei jede zweite Zone relativ zu einer benachbarten ersten Zone eine höhere Abstoßungskraft oder eine niedrigere Anziehungskraft für dieselbe beliebige Zone des aktiven Endabschnitts erzeugt, wenn diese beliebige Zone in einer orthogonalen Projektion auf die allgemeine geometrische Oberfläche, auf der sich die ringförmige Magnetspur erstreckt, dieser zweiten Zone bzw. dieser ersten benachbarten Zone überlagert ist; wobei das Magnetkopplungselement mit der ringförmigen Magnetspur magnetisch gekoppelt ist, so dass eine Schwingung gemäß einem Freiheitsgrad eines Resonanzmodus des Resonators innerhalb eines wirksamen Bereichs des auf die magnetische Struktur oder auf den Resonator ausgeübten Antriebsdrehmoments aufrechterhalten wird und dass eine Periode dieser Schwingung bei jeder relativen Drehung in jeder Winkelperiode der ringförmigen Magnetspur auftritt, wobei die Frequenz der Schwingung somit die relative Winkelgeschwindigkeit bestimmt, und der Freiheitsgrad eine Schwingungsachse (48) des aktiven Endabschnitts definiert, die durch seinen Massenschwerpunkt verläuft; wobei der Resonator relativ zu der magnetischen Struktur so angeordnet ist, dass der aktive Endabschnitt in einer orthogonalen Projektion dieser ringförmigen Magnetspur mindestens zum größten Teil im Wesentlichen während einer ersten Halbschwingung in jeder Periode dieser Schwingung überlagert ist, und derart, dass die Spur des Magnetkopplungselements in dieser ersten Halbschwingung zu der allgemeinen geometrischen Oberfläche im Wesentlichen parallel ist, wobei die ringförmige Magnetspur in der orthogonalen Projektion der Schwingungsachse in dieser allgemeinen geometrischen Oberfläche eine Abmessung aufweist, die größer ist als die Abmessung des aktiven Endabschnitts entlang dieser Schwingungsachse; wobei jede der zweiten Zonen in der orthogonalen Projektion einen allgemeinen Umriss aufweist mit einem ersten Abschnitt, der eine Eindringstrecke (10a, 12a, 214, 336) oberhalb dieser zweiten Zone für den aktiven Endabschnitt des Magnetkopplungselements während der Schwingung definiert und einem zweiten Abschnitt, der eine Ausgangsstrecke (10b, 12b, 216) über dieser zweiten Zone für diesen aktiven Endabschnitt während dieser Schwingung definiert, wobei diese Ausgangsstrecke im Wesentlichen in einer Winkelrichtung parallel zu einem Kreis mit Po-

- sition null (44, 44A) ausgerichtet ist, der auf die Drehachse zentriert ist und die orthogonale Projektion des Massenschwerpunkts des aktiven Endabschnitts in seiner Ruheposition passiert; wobei die magnetische Struktur ferner für den aktiven Endabschnitt mindestens eine Ausgangszone definiert, die sich über die allgemeine geometrische Oberfläche erstreckt, wobei diese mindestens eine Ausgangszone in der orthogonalen Projektion mindestens den Hauptteil des aktiven Endabschnitts aufnimmt, wenn dieser während der Schwingung nacheinander die ringförmige Magnetspur über jeweilige Ausgangsstrecken der zweiten Zonen verlässt, wobei diese mindestens eine Ausgangszone relativ zu den zweiten Zonen eine niedrigere Abstoßungskraft oder eine höhere Anziehungskraft für dieselbe beliebige Zone des aktiven Endabschnitts erzeugt, wenn diese gleiche beliebige Zone in der orthogonalen Projektion dieser mindestens einen Ausgangszone bzw. diesen zweiten Zonen überlagert ist; wobei der aktive Endabschnitt des Koppelungselements in seiner Ruheposition in der orthogonalen Projektion auf die allgemeine geometrische Oberfläche eine erste Abmessung (W2) längs einer ersten Achse senkrecht zu dem Kreis mit Position null, der die orthogonale Projektion des Massenschwerpunkts dieses aktiven Endabschnitts passiert, und eine zweite Abmessung (L2) entlang einer durch den Kreis mit Position null definierten zweiten Achse, die größer als diese erste Abmessung ist, aufweist, wobei die Ausgangsstrecke jeder der zwei Zonen eine Länge (L1) entlang der mindestens einen Ausgangszone und längs der zweiten Achse aufweist, die größer als die erste Abmessung (W2) des aktiven Endabschnitts ist.
2. Steuervorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausgangsstrecke jeder zweiten Zone mit dem Kreis mit Position null im Wesentlichen zusammenfällt.
 3. Steuervorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem wirksamen Bereich des Antriebsdrehmoments die ringförmige Magnetspur, die mindestens eine Ausgangszone und das Magnetkopplungselement in jeder Winkelperiode in Abhängigkeit von der relativen Position dieser ringförmigen Magnetspur und des aktiven Endabschnitts einen Akkumulationssektor (70, 72), in dem der Oszillator die magnetische potentielle Energie im Wesentlichen akkumuliert, und einen an diesen Akkumulationssektor angrenzenden Impulssektor (76), in dem das Magnetkopplungselement im Wesentlichen einen Impuls empfängt, definieren, wobei sich die Impulssektoren in einer zentralen Impulszone befinden, die die dem Kreis mit Position null entsprechenden relativen Positionen umfasst.
 4. Steuervorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kreis mit Position null und die Schwingungsachse an ihrem Schnittpunkt im Wesentlichen senkrecht sind.
 5. Steuervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Abmessung (L2) des aktiven Endabschnitts mindestens zweimal größer ist als seine erste Abmessung (W2) und die Länge (L1) der Ausgangsstrecke mindestens zweimal größer ist als diese erste Abmessung.
 6. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Abmessung (L2) des aktiven Endabschnitts mindestens viermal größer ist als seine erste Abmessung (W2) und die Länge (L1) der Ausgangsstrecke mindestens viermal größer ist als diese erste Abmessung.
 7. Steuervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der orthogonalen Projektion auf die allgemeine geometrische Oberfläche die Eindringstrecke jeder zweiten Zone im Wesentlichen entlang der Schwingungsachse ausgerichtet ist, wenn diese Eindringstrecke mit dem Massenschwerpunkt des aktiven Endabschnitts ausgerichtet ist.
 8. Steuervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausgangsstrecke der zweiten Zonen entlang der mindestens einen Ausgangszone und der aktive Endabschnitt sich winkelmäßig relativ zur Drehachse im Wesentlichen über die Hälfte einer Winkelperiode (θ_p) erstrecken.
 9. Steuervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abmessung (W1) jeder der zweiten Zonen entlang einer Achse senkrecht zum Kreis mit Position null an einem Mittelpunkt der Ausgangsstrecke mindestens dreimal größer ist als die erste Abmessung (W2) des aktiven Endabschnitts.
 10. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abmessung (W1) jeder der zweiten Zonen entlang einer Achse senkrecht zum Kreis mit Position null an einem Mittelpunkt der Ausgangsstrecke mindestens sechsmal größer ist als die erste Abmessung (W2) des aktiven Endabschnitts.
 11. Steuervorrichtung (80, 126, 170, 180, 220, 290, 300, 340, 360) der relativen Winkelgeschwindigkeit (ω) zwischen einer magnetischen Struktur (82, 182, 342) und einem Resonator (84, 174, 184, 230, 292,

302, 346), die magnetisch gekoppelt sind, um zusammen einen Oszillator zu definieren, der diese Steuervorrichtung bildet, wobei die magnetische Struktur mindestens eine ringförmige Magnetspur (86, 86A, 186, 344) aufweist, die auf eine Drehachse (20) dieser magnetischen Struktur oder des Resonators zentriert ist, wobei die magnetische Struktur und der Resonator so angeordnet sind, dass sie eine Drehung relativ zueinander um die Drehachse erfahren, wenn auf die magnetische Struktur oder auf den Resonator ein Antriebsdrehmoment ausgeübt wird; wobei der Resonator mindestens ein magnetisches Kopplungselement mit der ringförmigen Magnetspur aufweist, wobei dieses magnetische Kopplungselement einen aktiven Endabschnitt (92, 94, 128, 130, 144, 144A, 156, 158, 92A, 94A, 190A, 234, 294, 296, 156, 158, 352) aufweist, der aus einem ersten magnetischen Material gebildet ist und sich auf Seiten der ringförmigen Magnetspur befindet; wobei diese ringförmige Magnetspur mindestens teilweise aus einem zweiten magnetischen Material gebildet ist, das so angeordnet ist, dass die magnetische potentielle Energie des Oszillators winkelmäßig entlang der ringförmigen Magnetspur periodisch variiert und somit eine Winkelperiode (θ_p) dieser ringförmigen Magnetspur definiert; wobei das magnetische Kopplungselement mit der ringförmigen Magnetspur magnetisch gekoppelt ist, so dass eine Schwingung gemäß einem Freiheitsgrad eines Resonanzmodus des Resonators in einem wirksamen Bereich des auf die magnetische Struktur oder auf den Resonator ausgeübten Antriebsdrehmoments aufrechterhalten wird und dass eine Periode dieser Schwingung während der relativen Drehung in jeder Winkelperiode der ringförmigen Magnetspur auftritt, wobei die Frequenz der Schwingung somit die relative Winkelgeschwindigkeit bestimmt, wobei der Freiheitsgrad eine Schwingungsachse (94, 96, 100, 150, 154) des aktiven Endabschnitts definiert, die durch seinen Massenschwerpunkt verläuft; wobei das zweite magnetische Material entlang der ringförmigen Magnetspur so angeordnet ist, dass es magnetisch erste Zonen (104, 104A) und zweite Zonen (102, 106, 103, 106A, 343) definiert, die winkelmäßig mit einer ersten Zone und einer zweiten, benachbarten Zone in jeder Winkelperiode abwechseln; und wobei während der Schwingung in dem wirksamen Bereich des Antriebsdrehmoments der aktive Endabschnitt des magnetischen Kopplungselements in der orthogonalen Projektion auf die allgemeine geometrische Oberfläche, auf der sich im Allgemeinen dieser aktive Endabschnitt befindet und die die Schwingungsachse umfasst, magnetisch definiert:

- eine Zone des aufeinander folgenden Eintretens für die zweiten Zonen in der orthogonalen Projektion auf die allgemeine geometrische Oberfläche,

- eine Zone für die Akkumulation magnetischer potentieller Energie in dem Oszillator, die winkelmäßig benachbart zur Eingangszone ist und in die in der orthogonalen Projektion mindestens teilweise jede zweite Zone aus dieser Eingangszone eindringt, und
- eine Ausgangszone benachbart zu der Zone für die Akkumulation magnetischer potentieller Energie, wobei diese Ausgangszone in der orthogonalen Projektion mindestens den Hauptabschnitt jeder zweiten Zone aufnimmt, die aus dieser Akkumulationszone oder aus einer zweiten folgenden Zone austritt;

wobei jede zweite Zone pro Winkellängeneinheit relativ zu einer ersten Zone eine größere Abstoßungskraft für die Zone für die Akkumulation magnetischer potentieller Energie oder eine größere Anziehungskraft für die Eingangszone und die Ausgangszone erzeugt; wobei die Zone für die Akkumulation magnetischer potentieller Energie relativ zu der Eingangszone und der Ausgangszone eine größere Abstoßungskraft oder eine kleinere Anziehungskraft für dieselbe beliebige Zone jeder zweiten Zone erzeugt, wenn diese beliebige Zone dieser Zone für die Akkumulation magnetischer potentieller Energie bzw. der Eingangszone oder der Ausgangszone überlagert ist; wobei die ringförmige Magnetspur in der orthogonalen Projektion auf die allgemeine geometrische Oberfläche eine Abmessung entlang der Schwingungsachse aufweist, die kleiner ist als die Abmessung entlang dieser Schwingungsachse des aktiven Endabschnitts; wobei der Resonator relativ zu der magnetischen Struktur so angeordnet ist, dass die Zone für die Akkumulation magnetischer potentieller Energie in der orthogonalen Projektion von einem geometrischen Mediankreis (120, 121) durchquert wird, der durch die Mitte der ringförmigen Magnetspur im Wesentlichen während einer bestimmten Halbschwingung in jeder Periode der Schwingung verläuft; wobei die Zone für die Akkumulation magnetischer potentieller Energie einen allgemeinen Umriss aufweist mit einem ersten Abschnitt, der eine Eindringstrecke (126, 128, 138, 139, 145, 145A, 164, 166, 196, 354, 355) unterhalb dieser Akkumulationszone aufeinander folgend für jede der zweiten Zonen während dieser Schwingung definiert, und einem zweiten Abschnitt, der eine Ausgangsstrecke (127, 129, 140, 141, 146, 146A, 160, 162, 127A, 129A, 197, 198, 356, 357) unter dieser Akkumulationszone für diese zweite Zone oder eine folgende zweite Zone während dieser Schwingung definiert, wobei die Ausgangsstrecke, wenn sich das Magnetkopplungselement in seiner Ruheposition befindet, im Wesentlichen in einer Winkelrichtung parallel zu der orthogonalen Projektion des geometrischen Mediankreises ausgerichtet ist; wobei jede der zweiten Zonen in der orthogonalen Projektion,

- wenn das Zentrum dieser zweiten Zone der Schwingungsachse überlagert ist, eine erste Abmessung (W3) entlang einer ersten Achse senkrecht zu der orthogonalen Projektion des geometrischen Mediankreises, die durch den Schnittpunkt dieser orthogonalen Projektion des geometrischen Mediankreises mit der Schwingungsachse verläuft, und eine zweite Abmessung (L3) entlang einer zweiten Achse senkrecht zu der ersten Achse, die durch den Schnittpunkt verläuft, die größer als die erste Abmessung ist, aufweist, und wobei dann, wenn das magnetische Kopplungselement in seiner Ruhelageposition ist, die Ausgangsstrecke eine Länge (L4) entlang der Ausgangszone und entlang der zweiten Achse aufweist, die größer als die erste Abmessung (W3) der zweiten Zonen ist.
12. Steuervorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausgangsstrecke der Zone für die Akkumulation magnetischer potentieller Energie mit der orthogonalen Projektion des geometrischen Mediankreises im Wesentlichen zusammenfällt, wenn das Kopplungselement in seiner Ruhelageposition ist.
 13. Steuervorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem wirksamen Bereich des Antriebsdrehmoments die ringförmige Magnetspur und das magnetische Kopplungselement in jeder Winkelperiode in Abhängigkeit von der relativen Position dieser ringförmigen Magnetspur und des aktiven Endabschnitts einen Akkumulationssektor (70A, 72A), in dem der Oszillator im Wesentlichen magnetische potentielle Energie akkumuliert, und einen an diese Akkumulationszone angrenzenden Impulssektor (76A, 77A), in dem das Kopplungselement im Wesentlichen einen Impuls empfängt, definieren, wobei sich die Impulssektoren in einer mittleren Impulszone befinden, die im Wesentlichen der ringförmigen Magnetspur entspricht.
 14. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schwingungsachse und der geometrische Mediankreis in der orthogonalen Projektion auf die allgemeine geometrische Oberfläche an ihrem Schnittpunkt im Wesentlichen senkrecht sind.
 15. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Abmessung (L3) jeder zweiten Zone mindestens zweimal größer ist als seine erste Abmessung (W3) und die Länge (L4) der Ausgangsstrecke mindestens zweimal größer ist als diese erste Abmessung.
 16. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Abmessung (L3) jeder zweiten Zone mindestens viermal größer ist als die erste Abmessung (W3) und die Länge (L4) der Ausgangsstrecke mindestens viermal größer ist als diese erste Abmessung.
 17. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Eindringstrecke in der Zone für die Akkumulation magnetischer potentieller Energie in einer zu der Schwingungsachse im Wesentlichen parallelen Richtung ausgerichtet ist.
 18. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Eindringstrecke in der Zone für die Akkumulation magnetischer potentieller Energie einen Weg entsprechend dem Freiheitsgrad definiert.
 19. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die Ausgangsstrecke der Zone für die Akkumulation magnetischer potentieller Energie entlang der Ausgangszone und jeder zweiten Zone winkelmäßig im Wesentlichen über die Hälfte einer Winkelperiode erstrecken.
 20. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abmessung (W4) der Eindringstrecke in der Zone für die Akkumulation magnetischer potentieller Energie entlang der Schwingungsachse mindestens fünfmal größer ist als die Abmessung (W3) der ringförmigen Magnetspur entlang dieser Schwingungsachse in der orthogonalen Projektion auf die allgemeine geometrische Oberfläche.
 21. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abmessung (W4) der Eindringstrecke in der Zone für die Akkumulation magnetischer potentieller Energie entlang der Schwingungsachse mindestens achtmal größer ist als die Abmessung (W3) der ringförmigen Magnetspur entlang dieser Schwingungsachse in der orthogonalen Projektion auf die allgemeine geometrische Oberfläche.
 22. Steuervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die allgemeine geometrische Oberfläche eine zylindrische Oberfläche ist, die als Mittelachse die Drehachse hat, wobei der Freiheitsgrad im Wesentlichen entlang dieser Drehachse ausgerichtet ist.
 23. Steuervorrichtung (180) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die ringförmige Magnetspur eine erste Spur (86A) definiert, **dadurch gekennzeichnet, dass** die magnetische Struktur ferner eine zweite ringförmige Magnetspur (186) umfasst, die ebenfalls mit dem Kopplungselement auf

- eine Weise gekoppelt ist, die jener ähnlich ist, auf die dieses Kopplungselement mit der ersten Spur gekoppelt ist; wobei die zweite Spur mindestens teilweise aus einem magnetischen Material gebildet ist, das eine Veränderung entlang dieser zweiten Spur aufweist, derart, dass sich die magnetische potentielle Energie des Oszillators winkelmäßig mit der Winkelperiode und auf ähnliche Weise wie die Veränderung der ersten Spur entlang dieser zweiten Spur verändert, wobei die erste und die zweite Spur einen Winkelversatz gleich der Hälfte der Winkelperiode aufweisen.
24. Steuervorrichtung (220) nach einem der Ansprüche 1 bis 22, wobei die ringförmige Magnetspur eine erste Spur definiert, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie ferner eine zweite ringförmig Magnetspur umfasst, die mindestens teilweise aus einem magnetischen Material gebildet ist und mit dem Kopplungselement oder mit einem anderen Kopplungselement auf eine Weise gekoppelt ist, die jener ähnlich ist, auf die das Kopplungselement mit der ersten Spur gekoppelt ist; wobei die zweite Spur mindestens teilweise aus einem magnetischen Material gebildet ist, das eine Veränderung entlang derselben aufweist, derart, dass sich die magnetische potentielle Energie des Oszillators winkelmäßig auf ähnliche Weise wie die Veränderung für die erste Spur ebenfalls entlang dieser zweiten Spur verändert; und dass die erste und die zweite Spur mit zwei jeweiligen Drehteilen (222, 224), die unterschiedliche Drehachsen besitzen, fest verbunden sind.
25. Steuervorrichtung nach Anspruch 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden Drehteile auf ihrem Umfang zwei entsprechende Zahnungen (226, 228) aufweisen, die direkt miteinander in Eingriff stehen.
26. Steuervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das magnetische Kopplungselement ein erstes Kopplungselement (92, 156, 294) ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie mindestens ein zweites Kopplungselement (94, 158, 296) umfasst, das ebenfalls magnetisch mit der Magnetspur auf ähnliche Weise wie das erste Kopplungselement gekoppelt ist.
27. Steuervorrichtung nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Resonator vom Typ Unruh-Spiralfeder oder vom Typ Unruh mit flexiblen Blättern ist, wobei die Unruh das erste und das zweite Kopplungselement trägt.
28. Steuervorrichtung nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Resonator durch eine Stimmgabel gebildet ist, von der zwei freie Enden ihrer Resonanzstruktur das erste bzw. das zweite magnetische Kopplungselement tragen.
29. Steuervorrichtung nach Anspruch 26, wenn abhängig von Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Resonator vom Torsionstyp mit zwei freien Enden der Resonanzstruktur ist, die das erste bzw. das zweite magnetische Kopplungselement tragen.
30. Steuervorrichtung (340, 360) nach einem der Ansprüche 11 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** der aktive Endabschnitt des Kopplungselements im Wesentlichen aus einem abgeschnittenen Ringmagneten (352) gebildet ist und eine Mittelachse besitzt, die mit einer Drehachse des Resonators zusammenfällt, wobei der Freiheitsgrad winklig und die Schwingungsachse kreisförmig ist, wobei dieser abgeschnittene ringförmige Magnet in der allgemeinen geometrischen Oberfläche eine abgeschnittene ringförmige Oberfläche definiert, die der Zone für die Akkumulation magnetischer potentieller Energie nacheinander in den zwei Halbschwingungen jeder Schwingungsperiode entspricht, wobei diese abgeschnittene ringförmige Oberfläche ein erstes Ende und ein zweites Ende sowie eine äußere Kontur aufweist, die die Eindringstrecke definiert, die eine erste kreisförmige Eindringstrecke (354) ist, und eine innere Kontur aufweist, die eine zweite kreisförmige Eindringstrecke (355) definiert; dass das erste Ende die Ausgangsstrecke definiert, die eine erste Ausgangsstrecke (356) ist, und das zweite Ende eine zweite Ausgangsstrecke (357) mit ähnlichen Eigenschaften wie die erste Ausgangsstrecke definiert; und dass die äußere Kontur der ersten Ausgangsstrecke in einer ersten Halbschwingung der Schwingungsperioden des Resonators zugeordnet ist, um nacheinander die magnetische Kopplung in Abstoßung mit den zwei Zonen der Magnetspur zu gewährleisten und einen ersten Impuls am Ende jeder ersten Halbschwingung zu erzeugen, während die innere Kontur der zweiten Ausgangsstrecke zugeordnet ist, um nacheinander die magnetische Kopplung in Abstoßung mit diesen zweiten Zonen in der zweiten Halbschwingung der Schwingungsperioden zu gewährleisten und einen zweiten Impuls am Ende jeder zweiten Halbschwingung zu erzeugen.
31. Steuervorrichtung (360) nach Anspruch 30, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnung der abgeschnittenen ringförmigen Oberfläche kleiner als die Winkelperiode ist und dass der Durchmesser der inneren Kontur dieser abgeschnittenen ringförmigen Oberfläche im Wesentlichen gleich der zweiten Abmessung der zweiten Zonen oder kleiner als diese zweite Abmessung ist.
32. Steuervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste und das zweite magnetische Material abstoßend magnetisierte Materialien sind.

33. Uhrwerk, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine Steuervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche umfasst, wobei diese Steuervorrichtung einen Resonator und eine magnetische Hemmung definiert und dazu dient, den Gang mindestens eines Mechanismus dieses Uhrwerks zu regeln.

Claims

1. Device (36, 56, 200, 240, 270, 310, 370) for regulating the relative angular frequency (w) between a magnetic structure (4, 4A, 202, 244, 246, 4B, 316, 372) and a resonator (38, 38A, 210, 242, 312, 314, 386) magnetically coupled so as to define together an oscillator forming said regulating device, the magnetic structure comprising at least one annular magnetic track (11, 13, 11A, 13A, 204, 11A1, 328, 330, 378, 380) centred on an axis of rotation (20, 20A) of said magnetic structure or of the resonator, the magnetic structure and the resonator being arranged to rotate in relation to one another about said axis of rotation when a torque is applied to the magnetic structure or to the resonator; the resonator comprising at least one magnetic element for a magnetic coupling to said annular magnetic track, said magnetic coupling element having an active end portion (46, 46A, 46B, 262, 266, 280, 282, 325, 326) made of a first magnetic material and situated on the same side as said annular magnetic track; said annular magnetic track being made at least in part of a second magnetic material arranged such that the potential magnetic energy of the oscillator varies angularly and periodically along the annular magnetic track, thus defining an angular period (θ_P) of said annular magnetic track, and such that it defines magnetically first zones (40, 42, 40A, 42A, 382) and second zones (10, 12, 10A, 12A, 206, 334, 384) angularly alternating with a first zone and an adjacent second zone in each angular period; each second zone producing, relative to an adjacent first zone, a stronger repulsion force or a weaker attraction force for any same zone of said active end portion when said any same zone is superimposed, in orthogonal projection to a general geometric surface in which the annular magnetic track extends, respectively on said second zone or on said adjacent first zone; said magnetic coupling element being magnetically coupled to said annular magnetic track such that an oscillation by a degree of freedom of a resonant mode of the resonator is maintained within a useful range for the torque applied to the magnetic structure or to the resonator and that a such period of said oscillation occurs during said relative rotation in each angular period of said annular magnetic track, the frequency of said oscillation thus determining said relative angular frequency, said degree of freedom defining an axis of oscillation (48) of said active end portion passing

through its centre of mass; said resonator being arranged relative to said magnetic structure such that said active end portion is at least for the most part superimposed in orthogonal projection on said annular magnetic track during substantially a first alternation in each period of said oscillation, and such that the course taken by the magnetic coupling element during said first alternation is substantially parallel to said general geometric surface, the annular magnetic track having in said general geometric surface a dimension along the orthogonal projection of said axis of oscillation which is greater than the dimension of said active end portion along said axis of oscillation;

each of said second zones having in orthogonal projection a general contour with a first portion, defining a line of penetration (10a, 12a, 214, 336) above said second zone for said active end portion of the magnetic coupling element during said oscillation, and with a second portion defining an exit line (10b, 12b, 216) above said second zone for said active end portion during said oscillation, said exit line being oriented substantially in an angular direction parallel to a zero position circle (44, 44A) which is centred on said axis of rotation and which passes through the orthogonal projection of the centre of mass of said active end portion in its rest position; the magnetic structure also defining for the active end portion at least one exit zone which extends in said general geometric surface, said at least one exit zone receiving in orthogonal projection at least the greater part of said active end portion when it exits, during said oscillation, successively from the annular magnetic track by the respective exit lines of the second zones, said at least one exit zone producing, relative to said second zones, a weaker repulsion force or a stronger attraction force for any same zone of said active end portion when said any same zone is superimposed in orthogonal projection respectively on said at least one exit zone or on said second zones; the active end portion of said coupling element in its rest position having, in orthogonal projection in said general geometric surface, a first dimension (W_2), along a first axis perpendicular to said zero position circle and passing through the orthogonal projection of the centre of mass of said active end portion, and a second dimension (L_2), along a second axis defined by said zero position circle, which is greater than said first dimension; said exit line of each of the two zones having a length (L_1), along said at least one exit zone and along said second axis, which is greater than the first dimension (W_2) of the active end portion.

2. Regulating device according to claim 1, **characterised in that** said exit line of each second zone is substantially merged with said zero position circle.
3. Regulating device according to claim 2, **character-**

- ised in that, in said useful torque range, said annular magnetic track, said at least one exit zone and said magnetic coupling element define in each angular period, depending on the relative position of said annular magnetic track and of said active end portion, an accumulation sector (70, 72) in which said oscillator basically accumulates potential magnetic energy and a pulse sector (76), adjacent to said accumulation sector, in which the magnetic coupling element basically receives a pulse, the pulse sectors being situated in a central pulse zone comprising the relative positions corresponding to said zero position circle.
4. Regulating device according to either claim 2 or claim 3, **characterised in that** said zero position circle and said axis of oscillation are substantially orthogonal at their point of intersection.
 5. Regulating device according to any of the preceding claims, **characterised in that** the second dimension (L2) of said active end portion is at least twice as great as its first dimension (W2) and said length (L1) of the exit line is at least twice as great as said first dimension.
 6. Regulating device according to any of claims 1 to 4, **characterised in that** the second dimension (L2) of said active end portion is at least four times greater than its first dimension (W2) and said length (L1) of the exit line is at least four times greater than said first dimension.
 7. Regulating device according to any of the preceding claims, **characterised in that**, in orthogonal projection in said general geometric surface, said penetration line of each second zone is oriented substantially along said axis of oscillation when this penetration line is aligned with the centre of mass of said active end portion.
 8. Regulating device according to any of the preceding claims, **characterised in that** the exit line of said second zones along said at least one exit zone and said active end portion extend angularly relative to said axis of rotation over substantially half an angular period (θ_p).
 9. Regulating device according to any of the preceding claims, **characterised in that** the dimension (W1) of each of said second zones, along an axis perpendicular to said zero position circle at a mid-point of said exit line, is at least three times as great as the first dimension (W2) of said active end portion.
 10. Regulating device according to any of claims 1 to 8, **characterised in that** the dimension (W1) of each of said second zones, along an axis perpendicular to said zero position circle at a mid-point of said exit line, is at least six times greater than the first dimension (W2) of said active end portion.
 11. Device (80, 126, 170, 180, 220, 290, 300, 340, 360) for regulating the relative angular frequency (w) between a magnetic structure (82, 182, 342) and a resonator (84, 174, 184, 230, 292, 302, 346) magnetically coupled so as to define together an oscillator forming said regulating device, the magnetic structure comprising at least one annular magnetic track (86, 86A, 186, 344) centred on an axis of rotation (20) of said magnetic structure or of the resonator, the magnetic structure and the resonator being arranged to rotate in relation to one another about said axis of rotation when a torque is applied to the magnetic structure or to the resonator; the resonator comprising at least one element for a magnetic coupling to said annular magnetic track, said magnetic coupling element having an active end portion (92, 94, 128, 130, 144, 144A, 156, 158, 92A, 94A, 190A, 234, 294, 296, 156, 158, 352) made of a first magnetic material and situated on the same side as said annular magnetic track; said annular magnetic track being made at least in part of a second magnetic material arranged such that the potential magnetic energy of the oscillator varies angularly and periodically along the annular magnetic track, thus defining an angular period (θ_p) of said annular magnetic track; said magnetic coupling element being magnetically coupled to the annular magnetic track such that an oscillation by a degree of freedom of a resonant mode of the resonator is maintained within a useful range for the torque applied to the magnetic structure or to the resonator and that a period of said oscillation occurs during said relative rotation in each angular period of the annular magnetic track, the frequency of said oscillation thus determining said relative angular frequency, said degree of freedom defining an axis of oscillation (94, 96, 100, 150, 154) of said active end portion passing through its centre of mass; said second magnetic material being arranged along the annular magnetic track such that it defines magnetically first zones (104, 104A) and second zones (102, 106, 103, 106A, 343) angularly alternating with a first zone and an adjacent second zone in each angular period; and in which, during said oscillation in said useful torque range, said active end portion of said magnetic coupling element defines magnetically, in orthogonal projection in a general geometric surface in which said active end portion extends overall and comprising said axis of oscillation, :
 - an entry zone successively for said second zones in orthogonal projection to the general geometric surface,
 - a potential magnetic energy accumulation zone in the oscillator, which is angularly adjacent

to the entry zone and in which penetrates in orthogonal projection at least in part each second zone from said entry zone, and

- an exit zone adjacent to the potential magnetic energy accumulation zone, said exit zone receiving in orthogonal projection at least the greater part of each second zone exiting from said accumulation zone or from a following second zone;

each second zone producing per unit of angular length, relative to a first zone, a stronger repulsion force for said potential magnetic energy accumulation zone or a stronger attraction force for said entry zone and said exit zone; said potential magnetic energy accumulation zone producing, relative to said entry zone and said exit zone, a stronger repulsion force or a weaker attraction force for any same zone of each second zone when said any same zone is superimposed respectively on said potential magnetic energy accumulation zone, on the entry zone or on the exit zone; said annular magnetic track having, in orthogonal projection in said general geometric surface, a dimension along said axis of oscillation that is smaller than the dimension along said axis of oscillation of said active end portion; the resonator being arranged relative to the magnetic structure such that the potential magnetic energy accumulation zone is traversed in orthogonal projection by a median geometric circle (120, 121), passing through the middle of the annular magnetic track, during substantially a given alternation in each period of said oscillation; said potential magnetic energy accumulation zone having a general contour with a first portion, defining a line of penetration (126, 128, 138, 139, 145, 145A, 164, 166, 196, 354, 355) beneath said accumulation zone successively for each of said second zones during said oscillation, and with a second portion defining an exit line (127, 129, 140, 141, 146, 146A, 160, 162, 127A, 129A, 197, 198, 356, 357) from beneath said accumulation zone for said second zone or a following second zone during said oscillation, the exit line being oriented, when said magnetic coupling element is in its rest position, substantially in an angular direction parallel to the orthogonal projection of said median geometric circle; each of said second zones having in orthogonal projection, when the centre of said second zone is superimposed on said axis of oscillation, a first dimension (W3), along a first axis perpendicular to the orthogonal projection of the median geometric circle and passing through the point of intersection of said orthogonal projection of the median geometric circle with the axis of oscillation, and a second dimension (L3), along a second axis perpendicular to the first axis and passing through said point of intersection, which is greater than the first dimension; and in which, when the magnetic coupling element is in its

rest position, said exit line has a length (L4), along said exit zone and along said second axis, which is greater than the first dimension (W3) of the second zones.

12. Regulating device according to claim 11, **characterised in that** said exit line of said potential magnetic energy accumulation zone is substantially merged with said orthogonal projection of said median geometric circle when said coupling element is in its rest position.
13. Regulating device according to either claim 11 or claim 12, **characterised in that**, in said useful torque range, said annular magnetic track and said magnetic coupling element define in each angular period, depending on the relative position of said annular magnetic track and of said active end portion, an accumulation sector (70A, 72A) in which said oscillator basically accumulates potential magnetic energy and a pulse sector (76A, 77A), adjacent to said accumulation zone, in which the coupling element basically receives a pulse, the pulse sectors being situated in a central pulse zone corresponding substantially to the annular magnetic track.
14. Regulating device according to any of claims 11 to 13, **characterised in that** said axis of oscillation and said median geometric circle are, in orthogonal projection to said general geometric surface, substantially orthogonal at their point of intersection.
15. Regulating device according to any of claims 11 to 14, **characterised in that** the second dimension (L3) of each second zone is at least twice as great as its first dimension (W3), and said length (L4) of the exit line is at least twice as great as said first dimension.
16. Regulating device according to any of claims 11 to 14, **characterised in that** the second dimension (L3) of each second zone is at least four times greater than its first dimension (W3), and said length (L4) of the exit line is at least four times greater than said first dimension.
17. Regulating device according to any of claims 11 to 16, **characterised in that** said line of penetration in said potential magnetic energy accumulation zone is oriented in a direction substantially parallel to said axis of oscillation.
18. Regulating device according to any of claims 11 to 16, **characterised in that** said line of penetration in said potential magnetic energy accumulation zone defines a path along said degree of freedom.
19. Regulating device according to any of claims 11 to 18, **characterised in that** the exit line of said poten-

tial magnetic energy accumulation zone along said exit zone and each second zone extends angularly over substantially half an angular period.

20. Regulating device according to any of claims 11 to 19, **characterised in that** the dimension (W4) of said line of penetration in said potential magnetic energy accumulation zone along said axis of oscillation is at least five times greater than the dimension (W3), in orthogonal projection in said general geometric surface, of the annular magnetic track along said axis of oscillation.
21. Regulating device according to any of claims 11 to 19, **characterised in that** the dimension (W4) of said line of penetration in said potential magnetic energy accumulation zone along said axis of oscillation is at least eight times greater than the dimension (W3), in orthogonal projection in said general geometric surface, of the annular magnetic track along said axis of oscillation.
22. Regulating device according to any of the preceding claims, **characterised in that** said general geometric surface is a cylindrical surface having as its central axis said axis of rotation, said degree of freedom being substantially oriented along said axis of rotation.
23. Regulating device (180) according to any of the preceding claims and in which said annular magnetic track defines a first track (86A), **characterised in that** said magnetic structure further comprises a second annular magnetic track (186) also coupled to said coupling element in a similar way as said coupling element is coupled to the first track; the second track being made at least in part of a magnetic material that has a variation along said second track such that the potential magnetic energy of the oscillator varies angularly, with said angular period and in a similar way to the variation of the first track, along said second track, the first and second tracks having an angular displacement equal to half said angular period.
24. Regulating device (220) according to any of claims 1 to 22 and in which said annular magnetic track defines a first track, **characterised in that** it also comprises a second annular magnetic track made at least in part of a magnetic material and coupled to said coupling element or to another coupling element in a similar way as said coupling element is coupled to the first track; the second track being made at least in part of a magnetic material that has a variation along said track such that the potential magnetic energy of the oscillator varies angularly, in a similar way to the variation for the first track, also along said second track; and **in that** the first and

second tracks are respectively rigidly connected in rotation to two mobiles (222, 224) having separate axes of rotation.

25. Regulating device according to claim 24, **characterised in that** the two mobiles have at their periphery respectively two sets of teeth (226, 228) that mesh directly with one another.
26. Regulating device according to any of the preceding claims, in which said magnetic coupling element is a first coupling element (92, 156, 294) **characterised in that** it comprises at least a second coupling element (94, 158, 296) also magnetically coupled to said magnetic track in a similar way to the first coupling element.
27. Regulating device according to claim 26, **characterised in that** said resonator is of the balance wheel-spiral spring type or of the balance wheel with spring rods type, the balance wheel carrying the first and second coupling elements.
28. Regulating device according to claim 26, **characterised in that** said resonator is formed by diapason of which two free ends of its resonant structure carry respectively the first and second magnetic coupling elements.
29. Regulating device according to claim 26 depending on claim 22, **characterised in that** said resonator is of the torsion type with two free ends of its resonant structure carrying respectively the first and second magnetic coupling elements.
30. Regulating device (340, 360) according to any of claims 11 to 21, **characterised in that** said active end portion of said coupling element is formed substantially by a truncated annular magnet (352) having a central axis merged with an axis of rotation of the resonator, said degree of freedom being angular and said axis of oscillation being circular, said truncated annular magnet defining in said general geometric surface a truncated annular surface corresponding to the potential magnetic energy accumulation zone successively in the two alternations of each period of oscillation, said truncated annular surface having a first end and a second end as well as an outer contour defining said line of penetration, which is a first circular line of penetration (354), and an inner contour defining a second circular line of penetration (355); **in that** the first end defines said exit line, which is a first exit line (356), and the second end defines a second exit line (357) having similar characteristics to the first exit line; and **in that** the outer contour is associated with the first exit line in a first alternation of the periods of oscillation of the resonator in order to provide successively the mag-

netic coupling in repulsion with said second zones of the magnetic track and to produce a first pulse at the end of each first alternation, whereas the inner contour is associated with the second exit line in order to provide successively the magnetic coupling in repulsion with said second zones in the second alternation of the periods of oscillation and to produce a second pulse at the end of each second alternation. 5

31. Regulating device (360) according to claim 30, **characterised in that** the opening of said truncated annular surface is smaller than said angular period, and **in that** the diameter of the inner contour of said truncated annular surface is substantially equal to said second dimension of the second zones or less than this second dimension. 10 15

32. Regulating device according to any of the preceding claims, **characterised in that** said first and second magnetic materials are materials that are magnetised in repulsion. 20

33. Horological movement **characterised in that** it comprises a regulating device according to any of the preceding claims, said regulating device defining a resonator and a magnetic escapement, and serving to regulate the operation of at least one mechanism of said horological movement. 25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1
Art antérieur

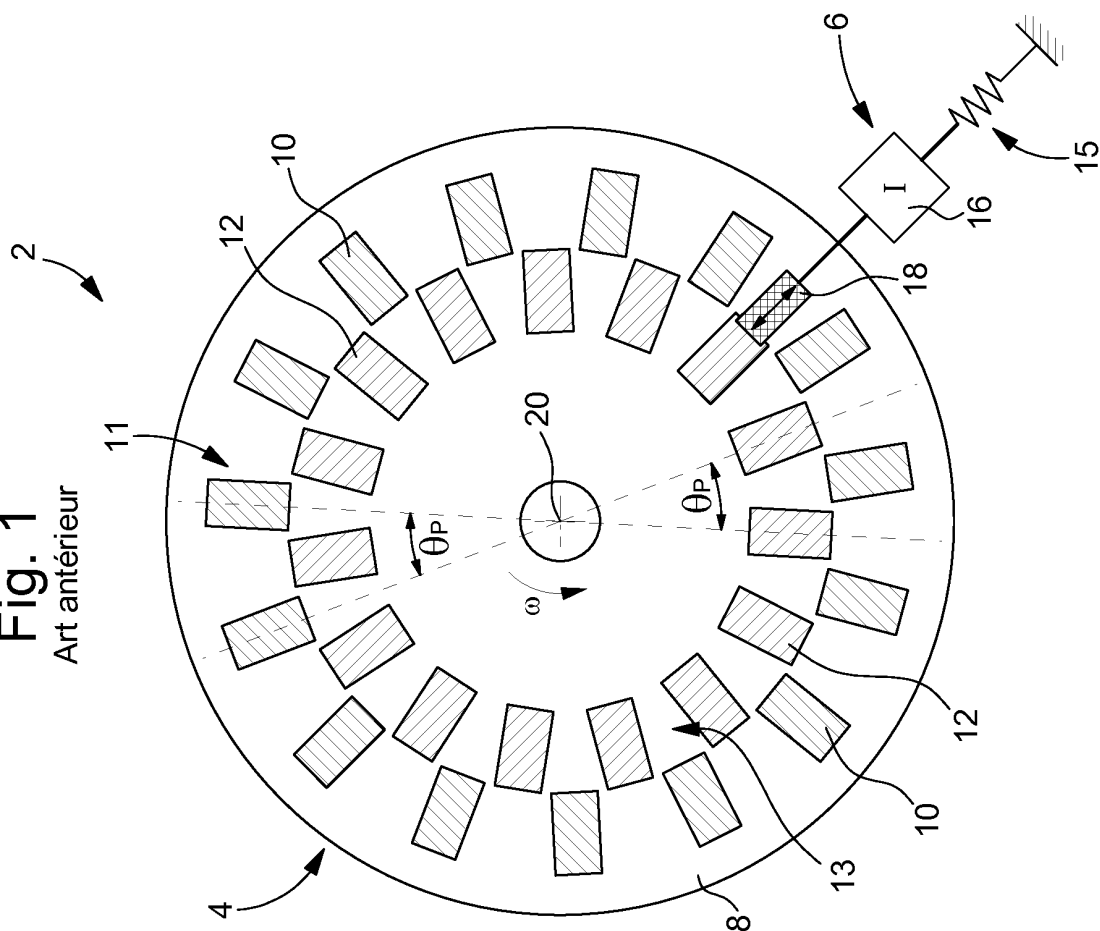


Fig. 2
Art antérieur

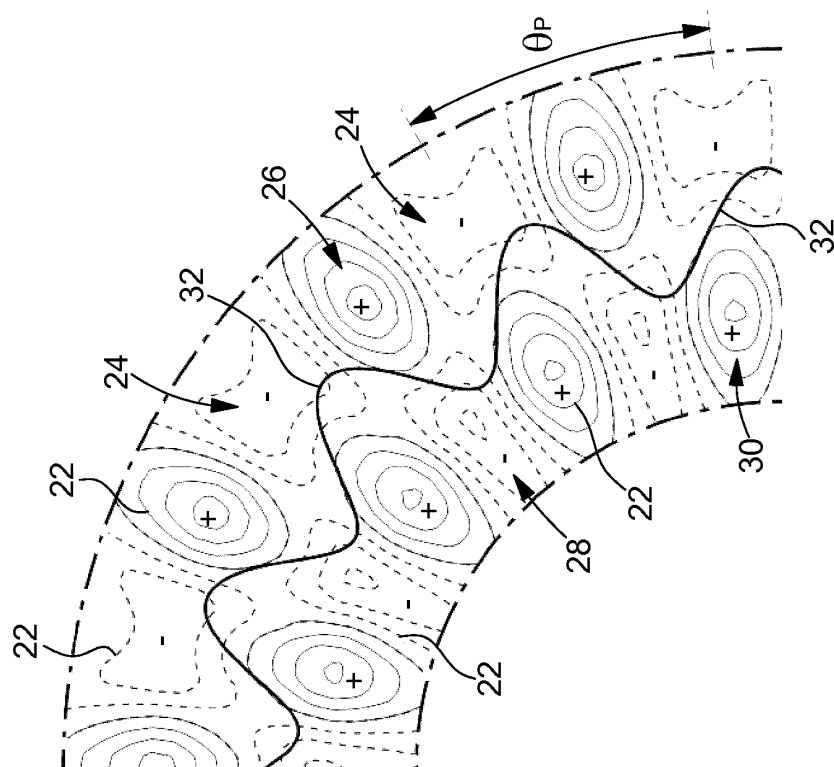


Fig. 4

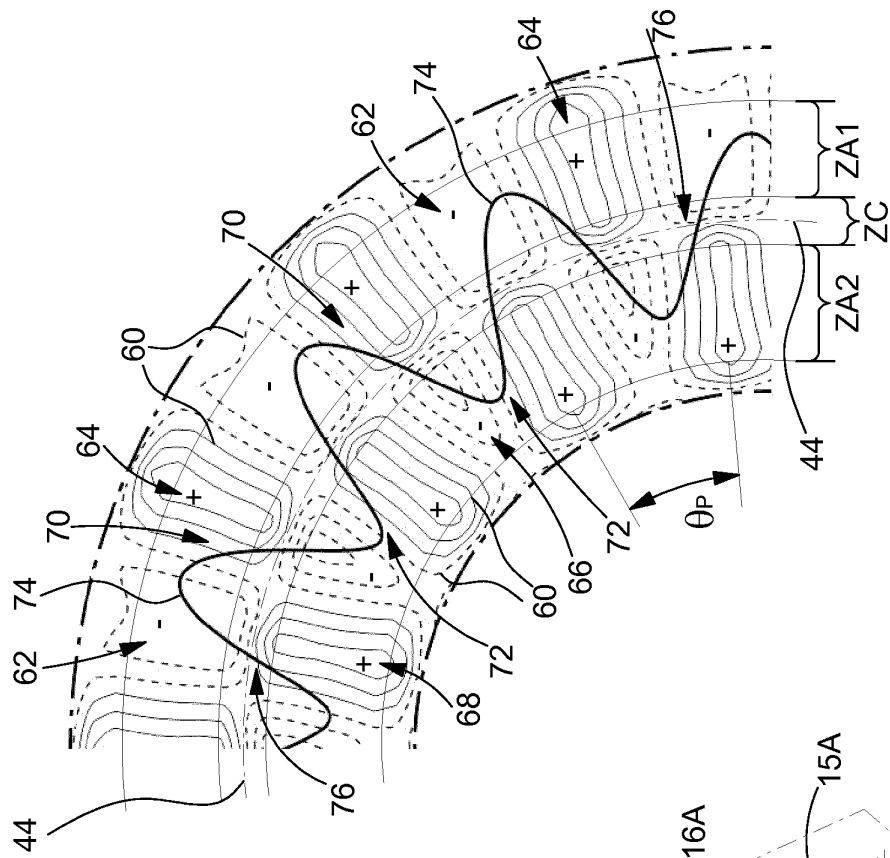


Fig. 3

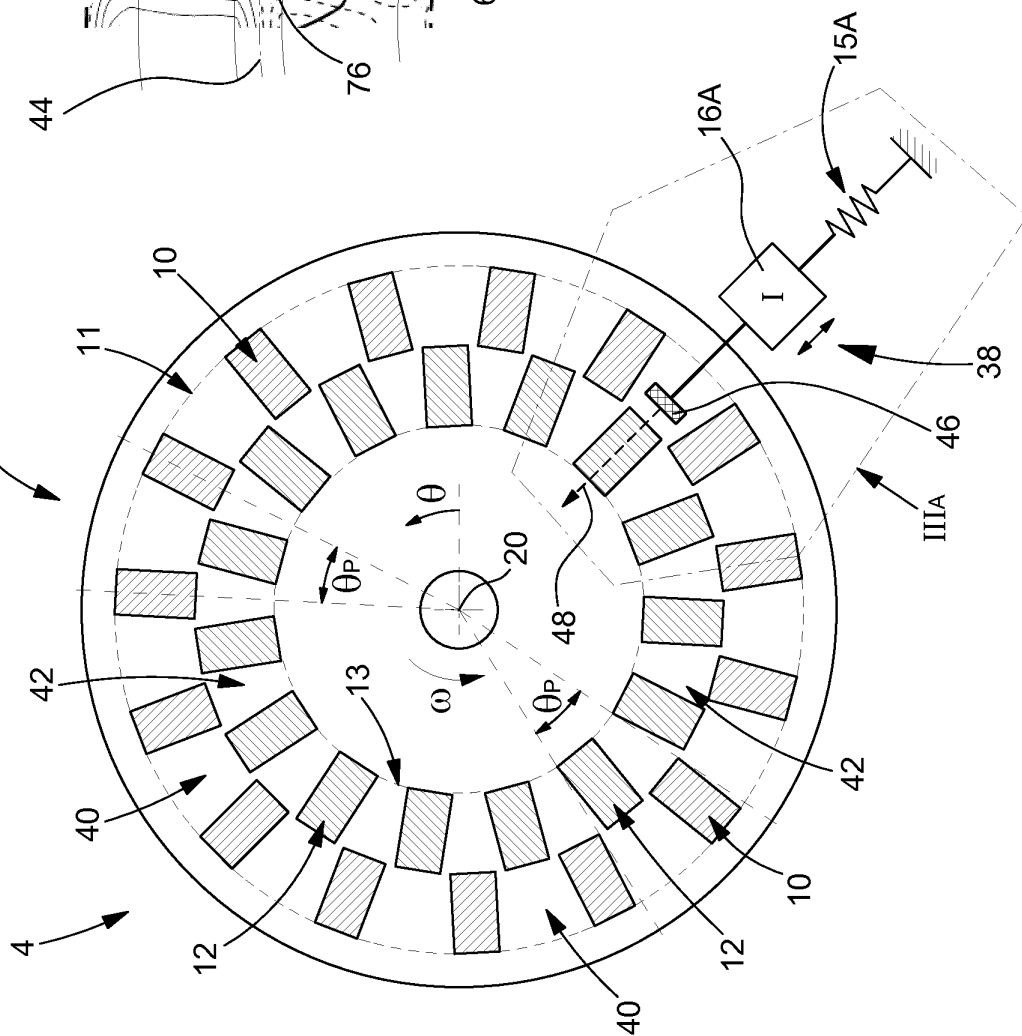


Fig. 3A

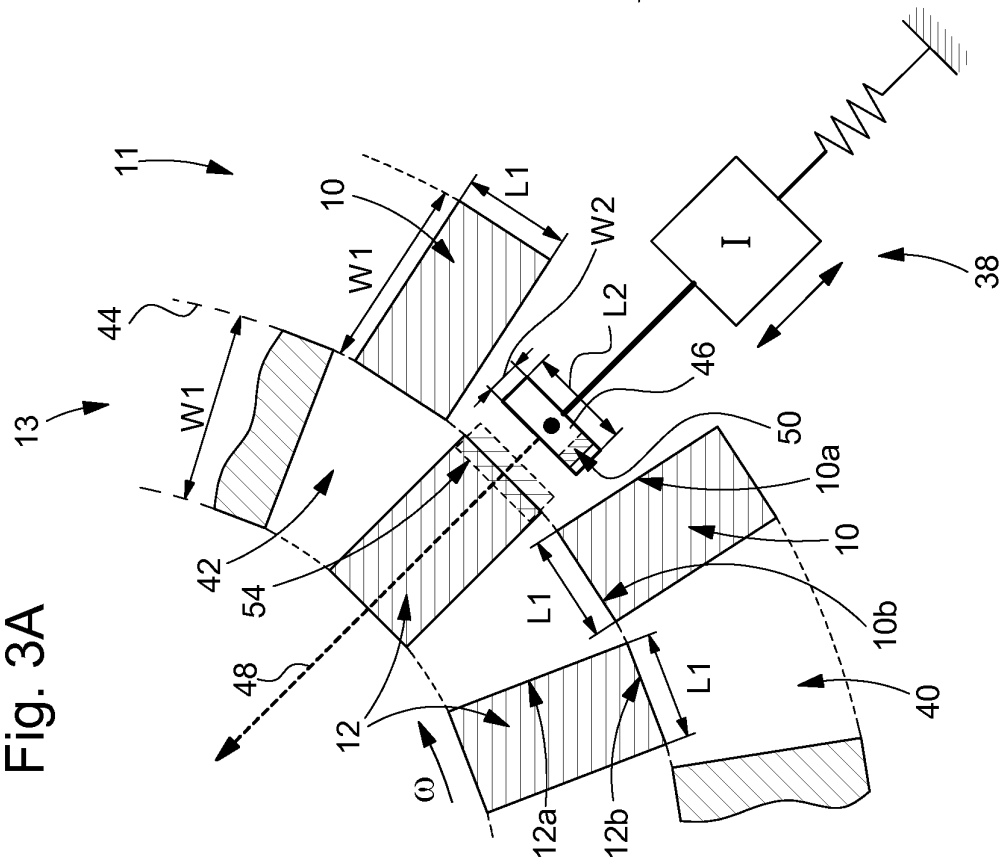


Fig. 5A

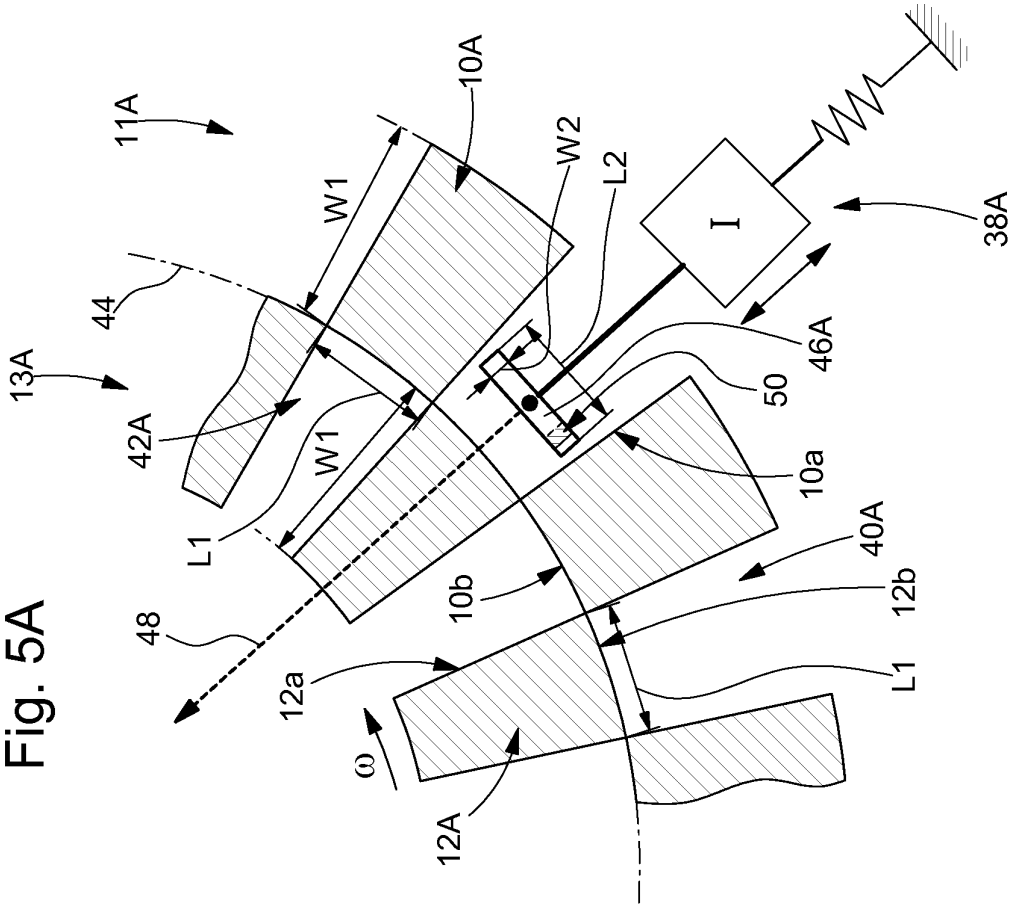


Fig. 7

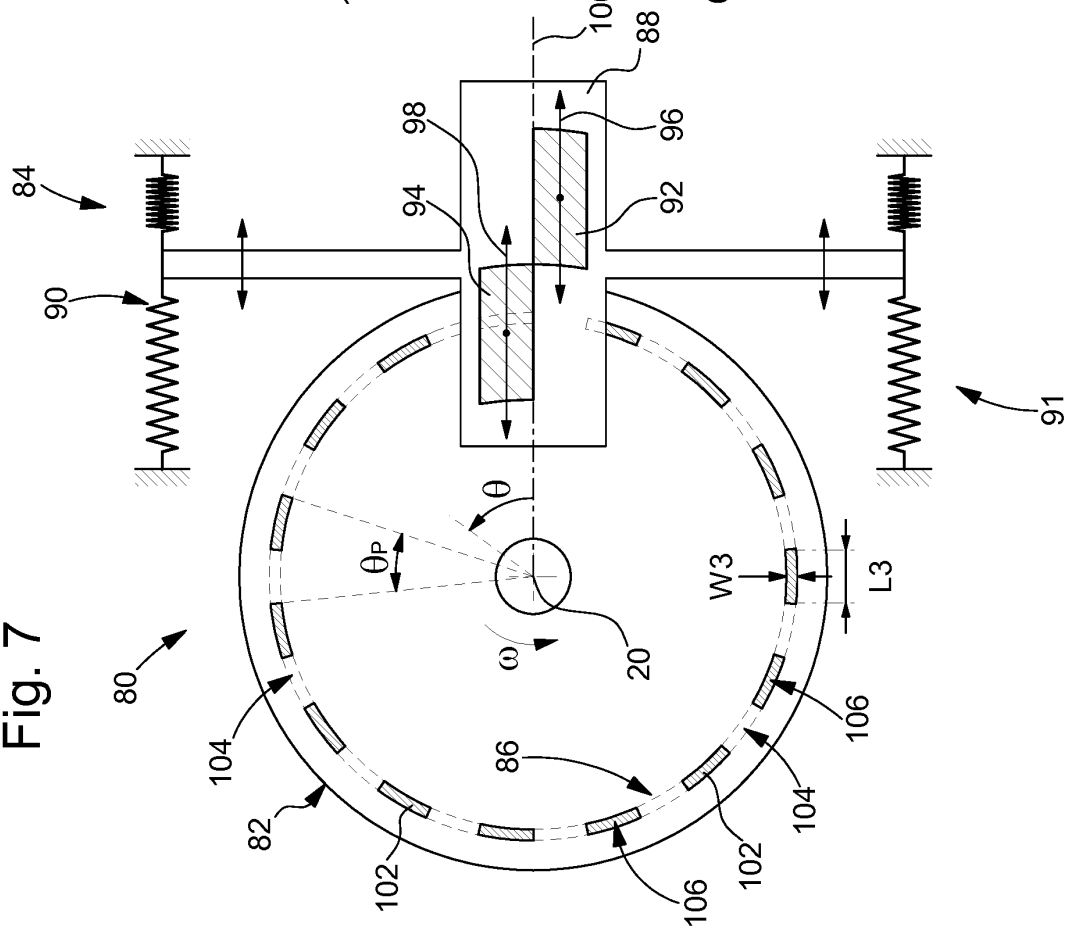


Fig. 8

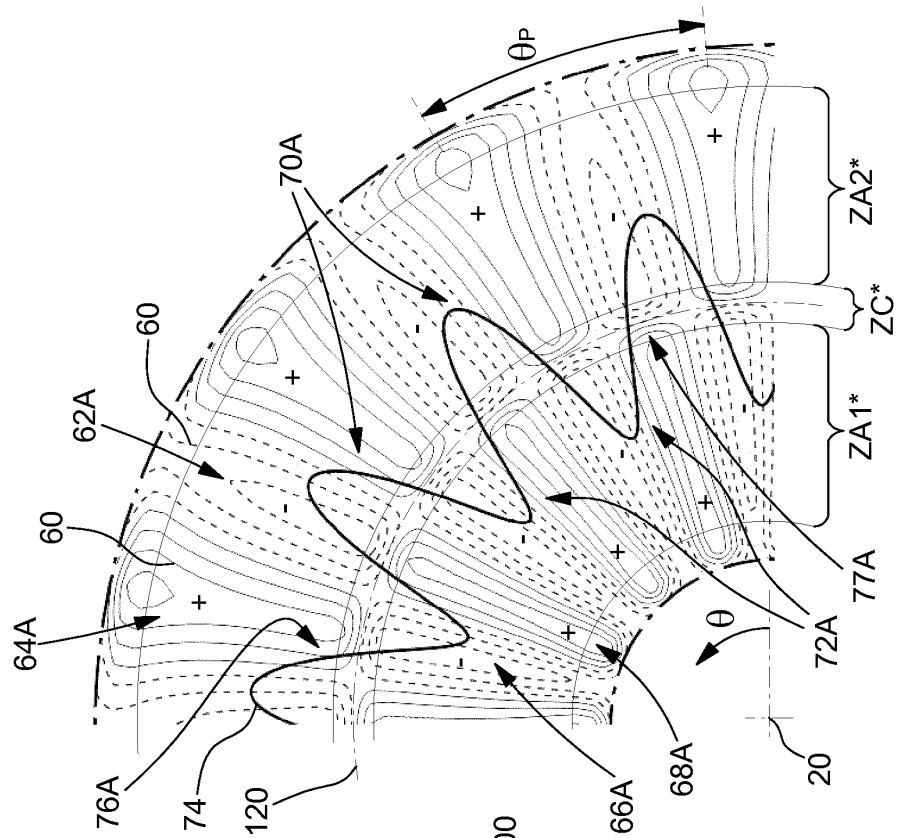


Fig. 9

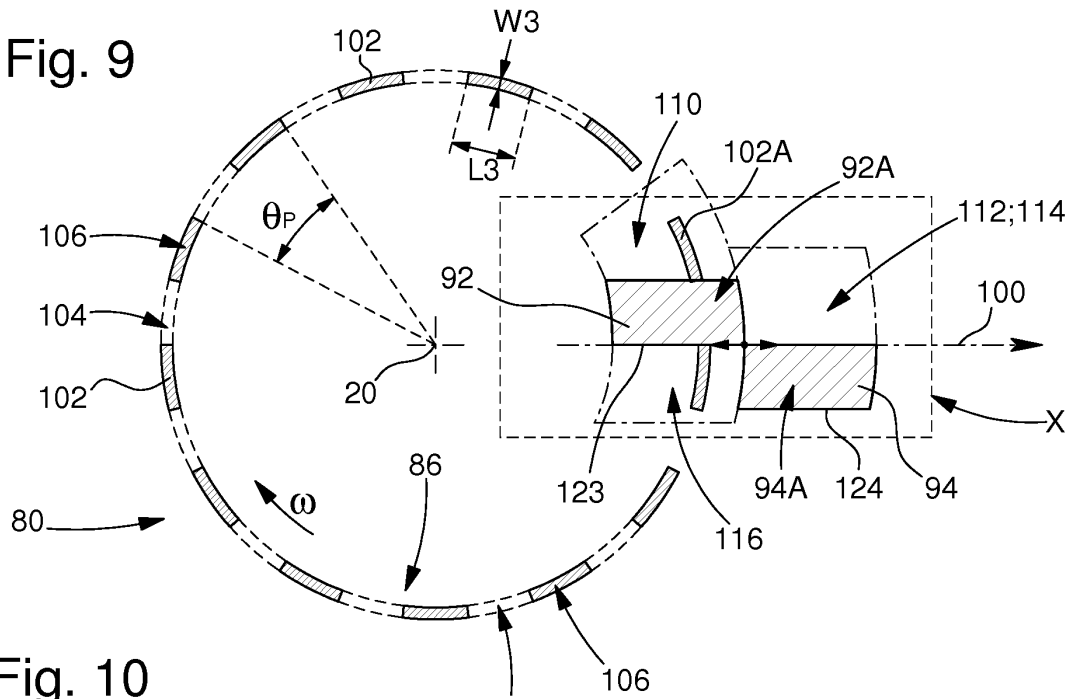
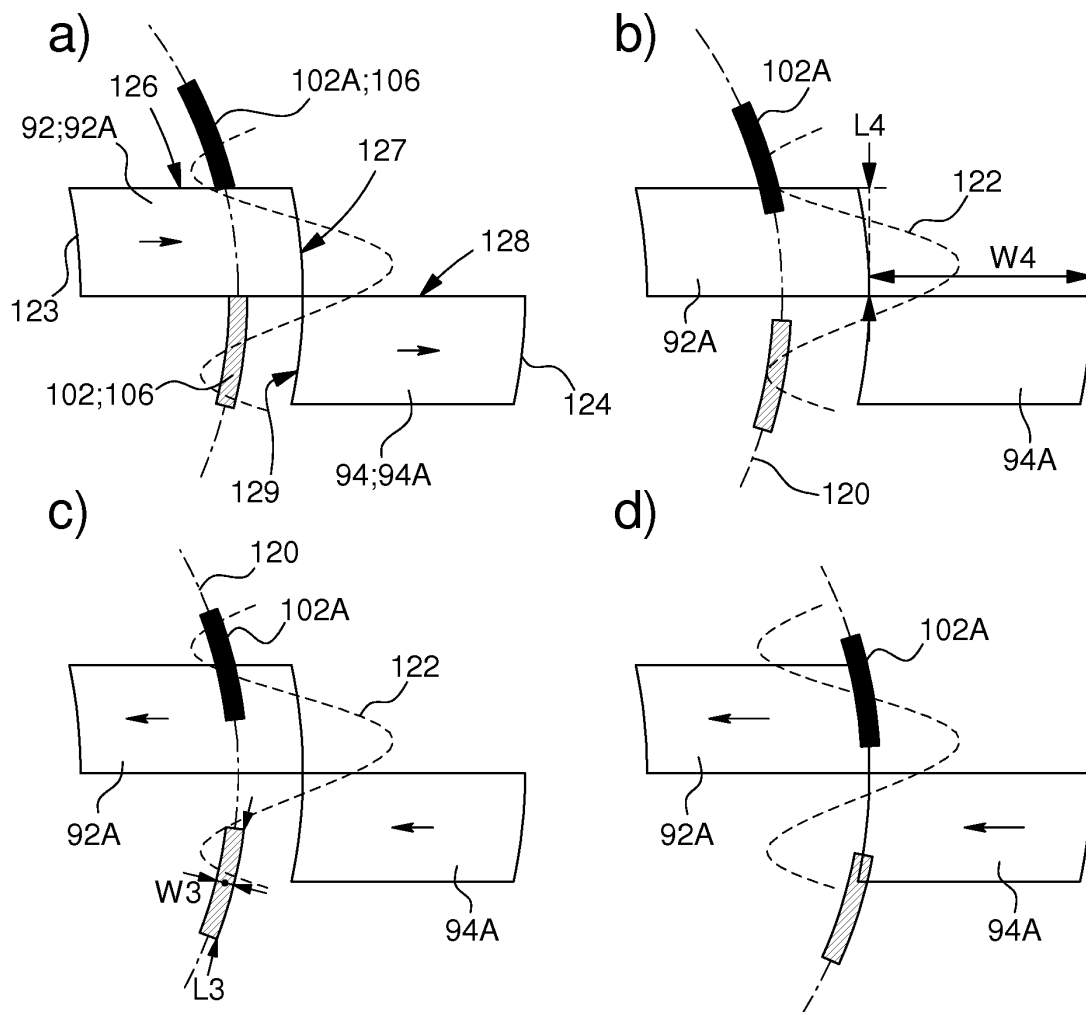


Fig. 10



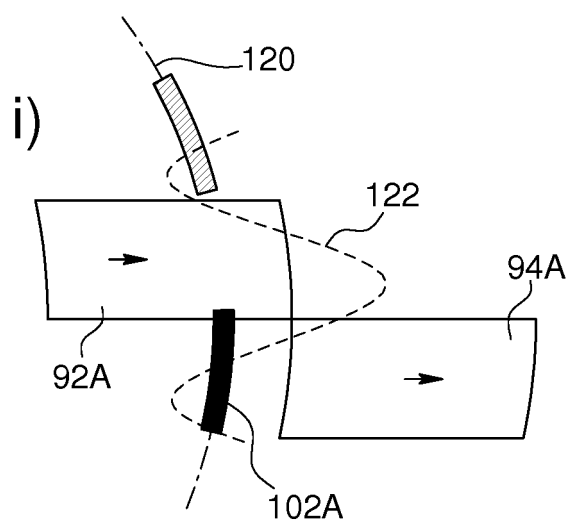
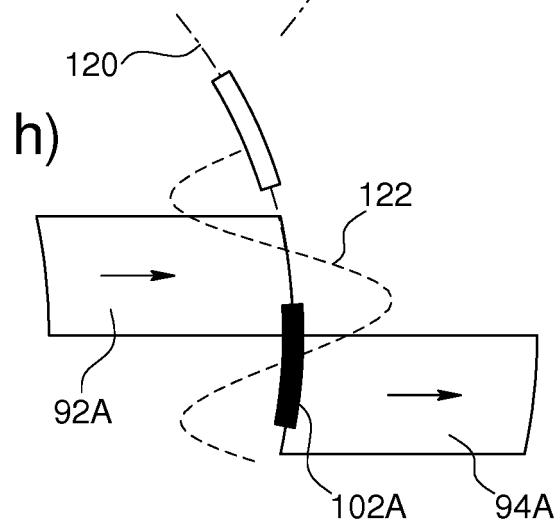
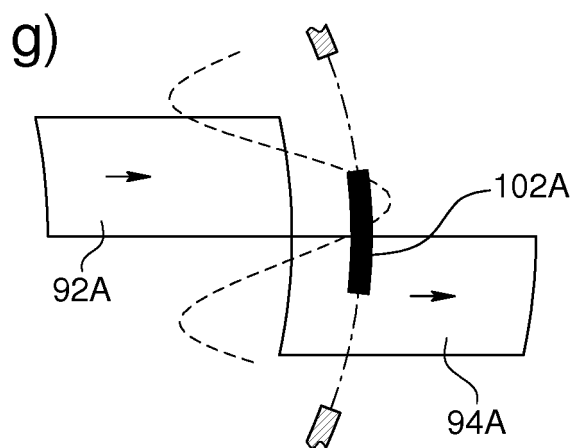
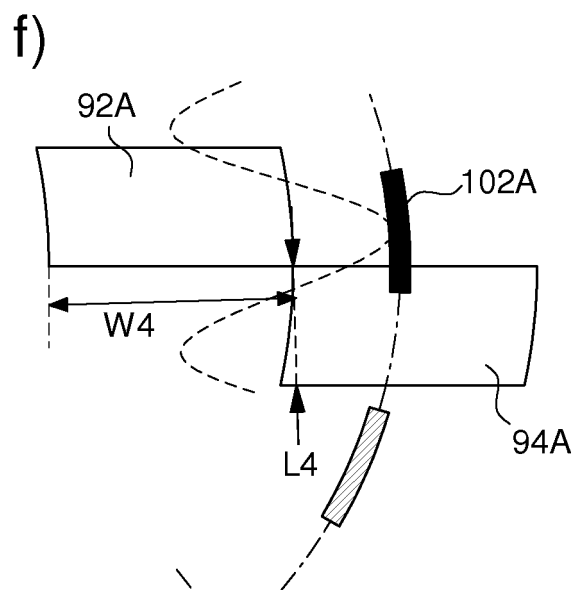
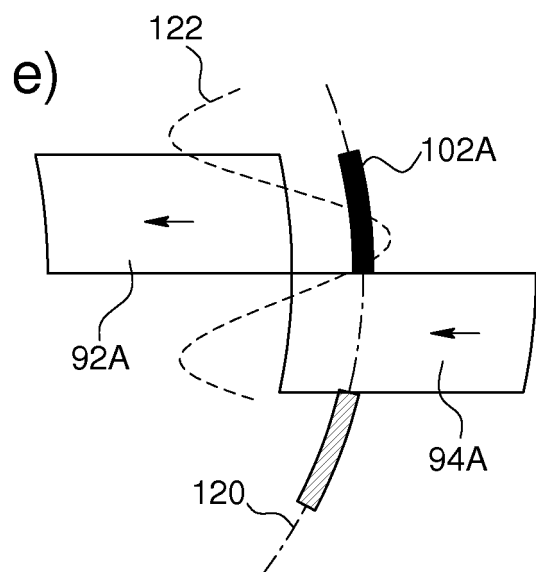


Fig. 11

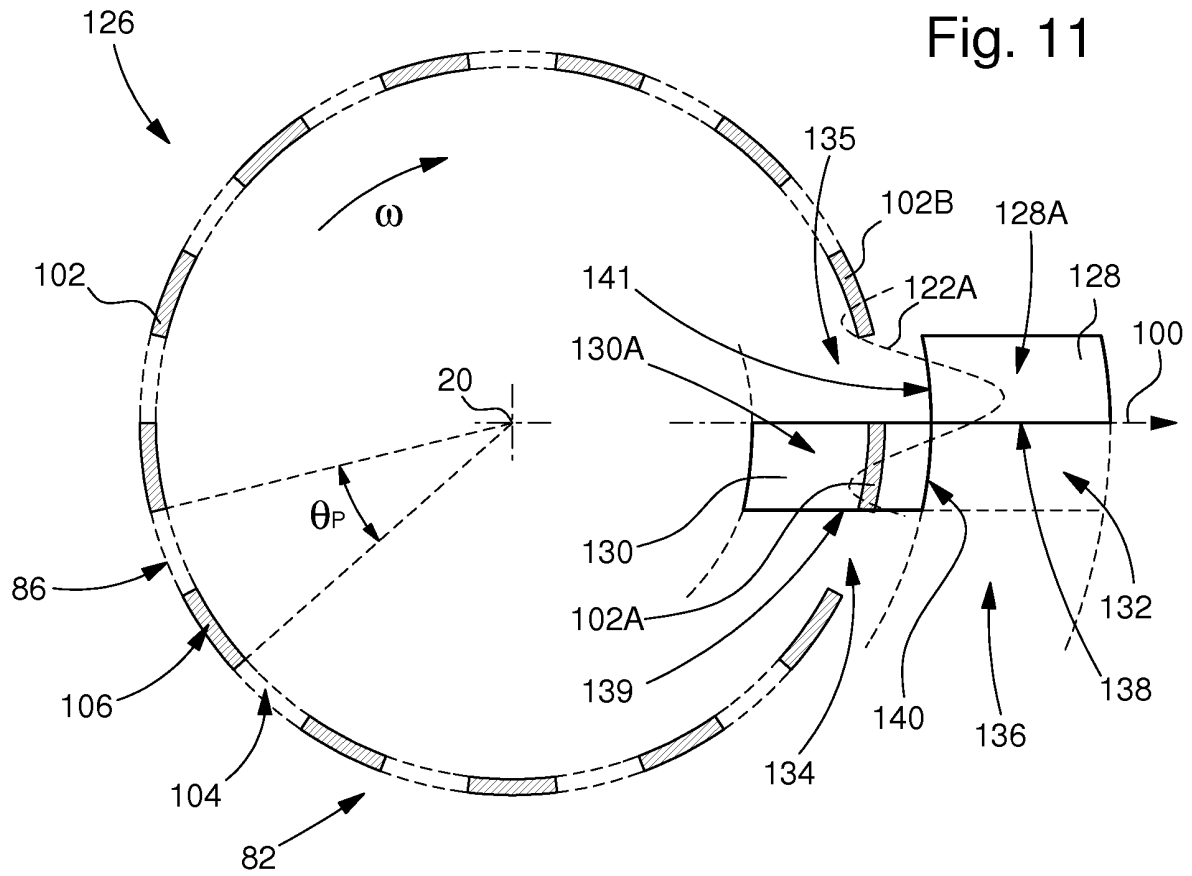


Fig. 11A

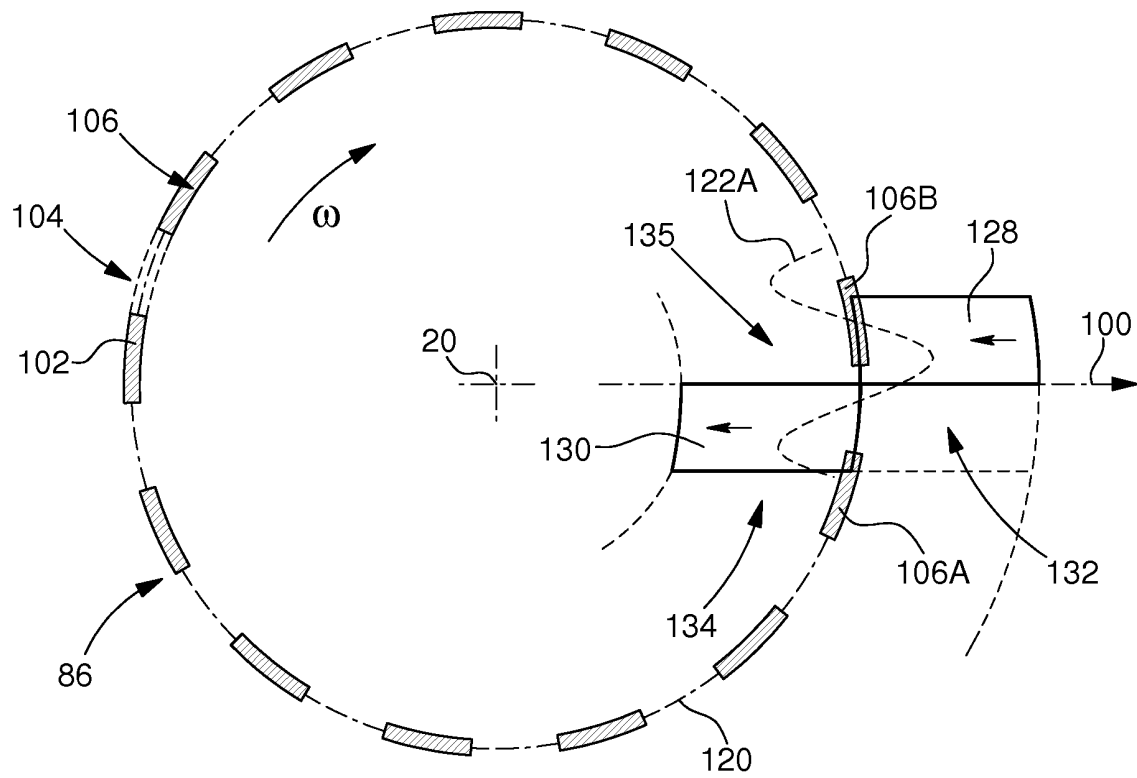


Fig. 12

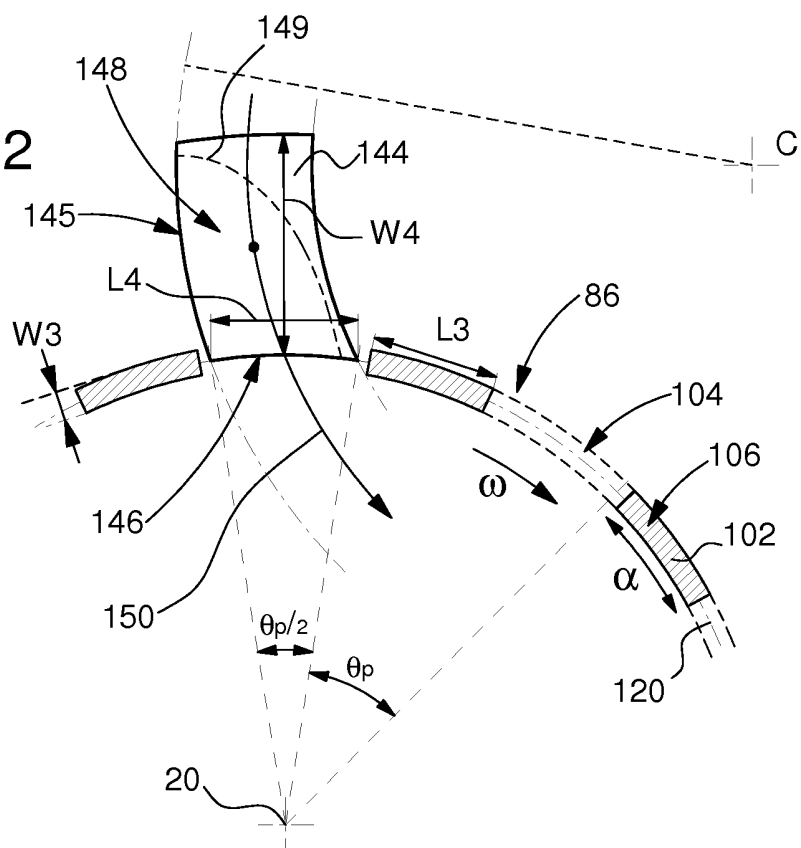


Fig. 12A

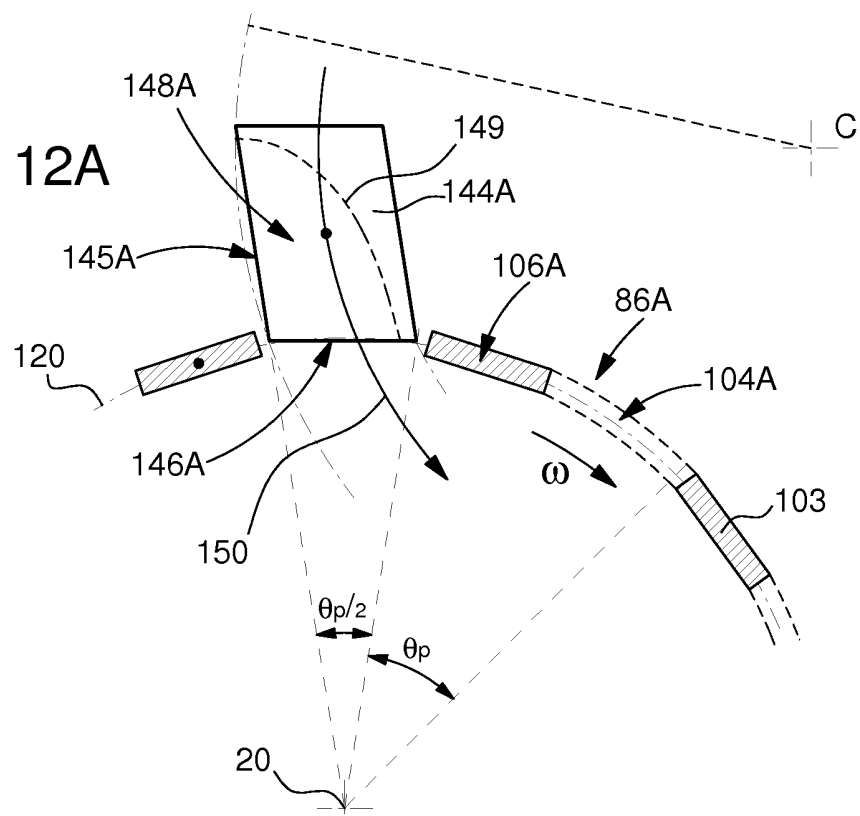


Fig. 13

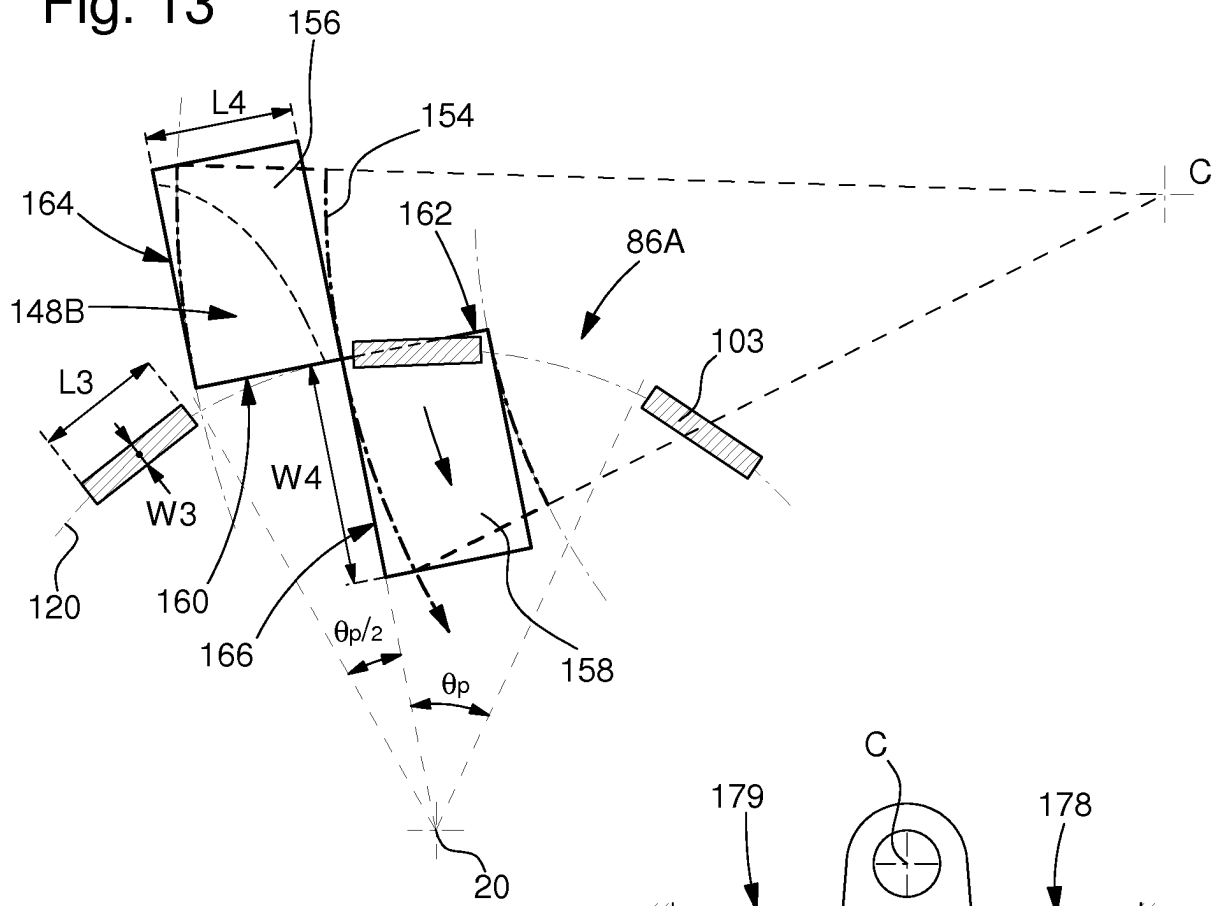


Fig. 14

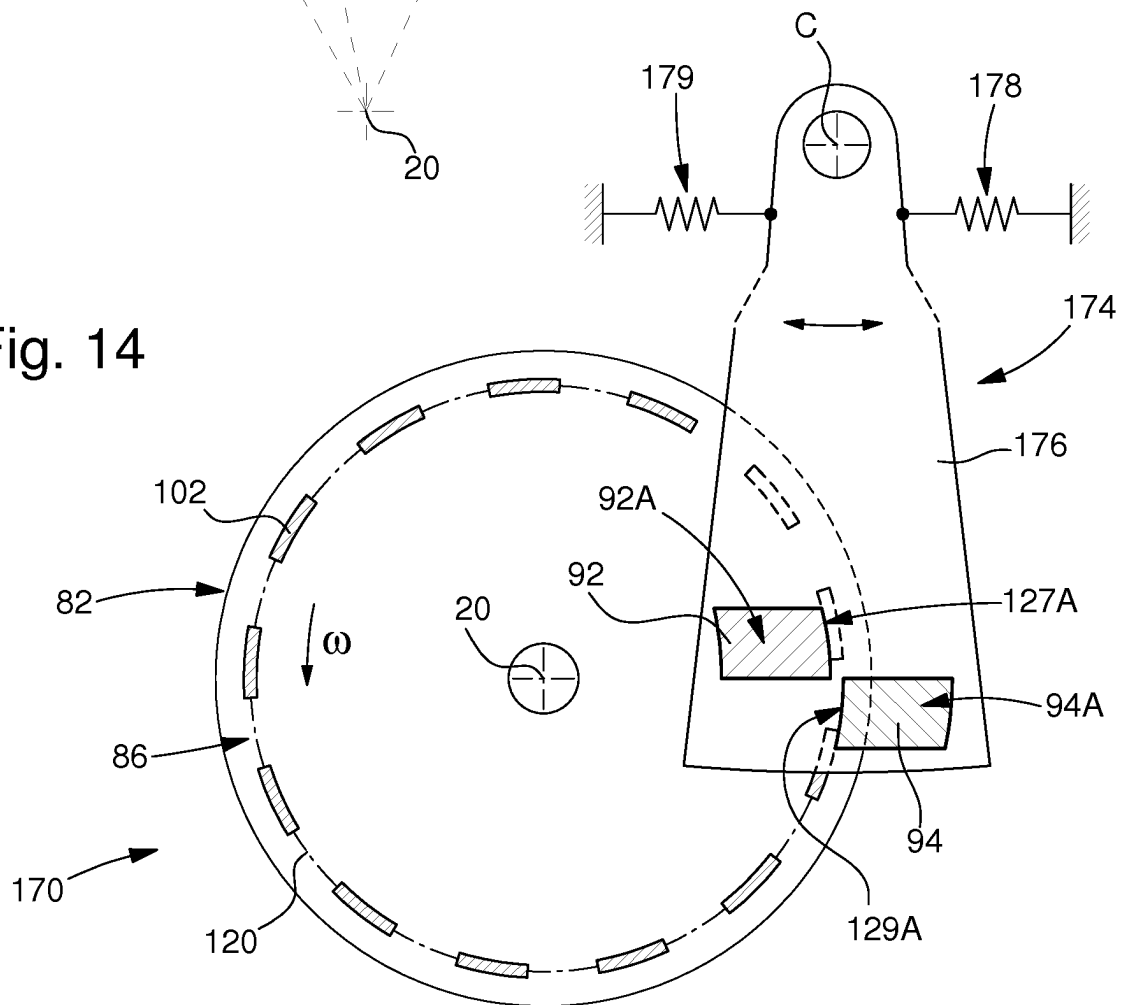


Fig. 15

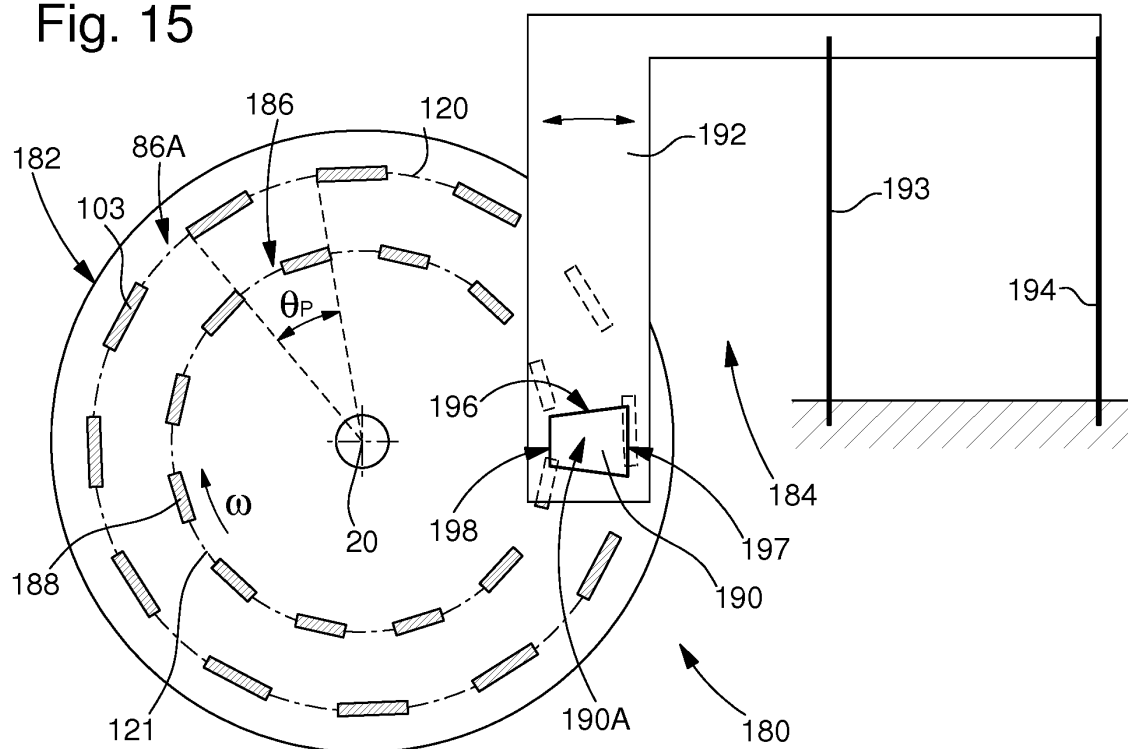


Fig. 16

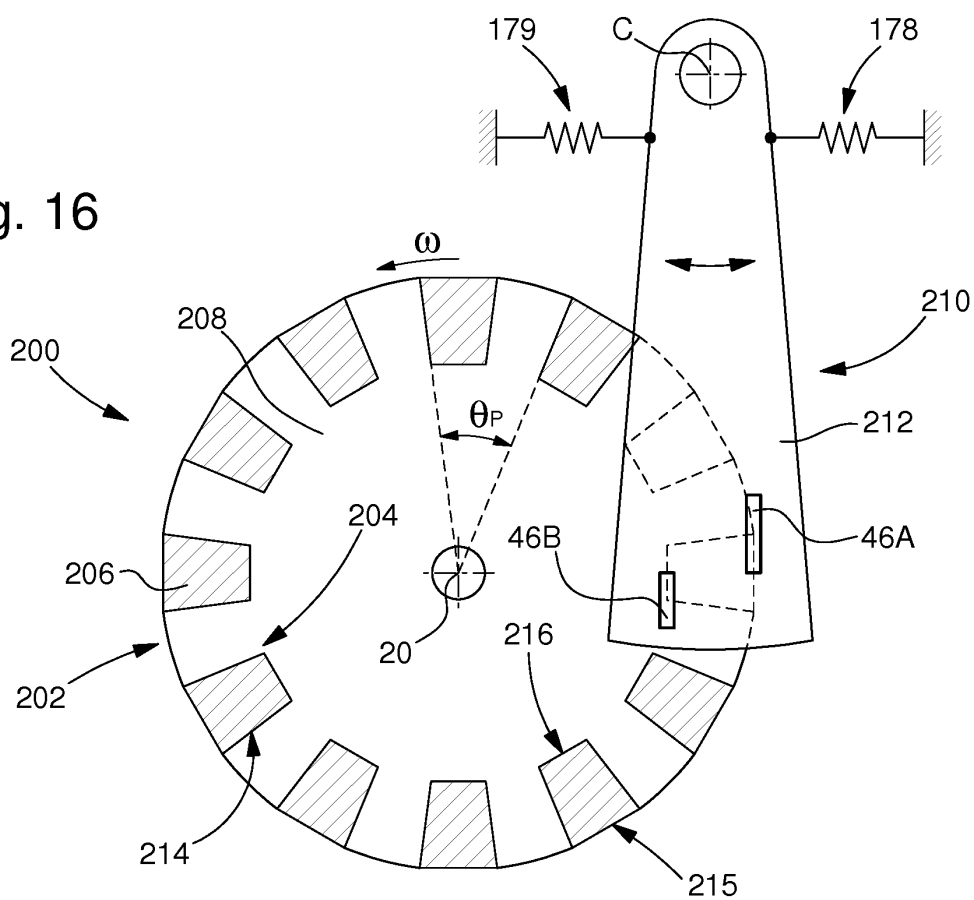


Fig. 17

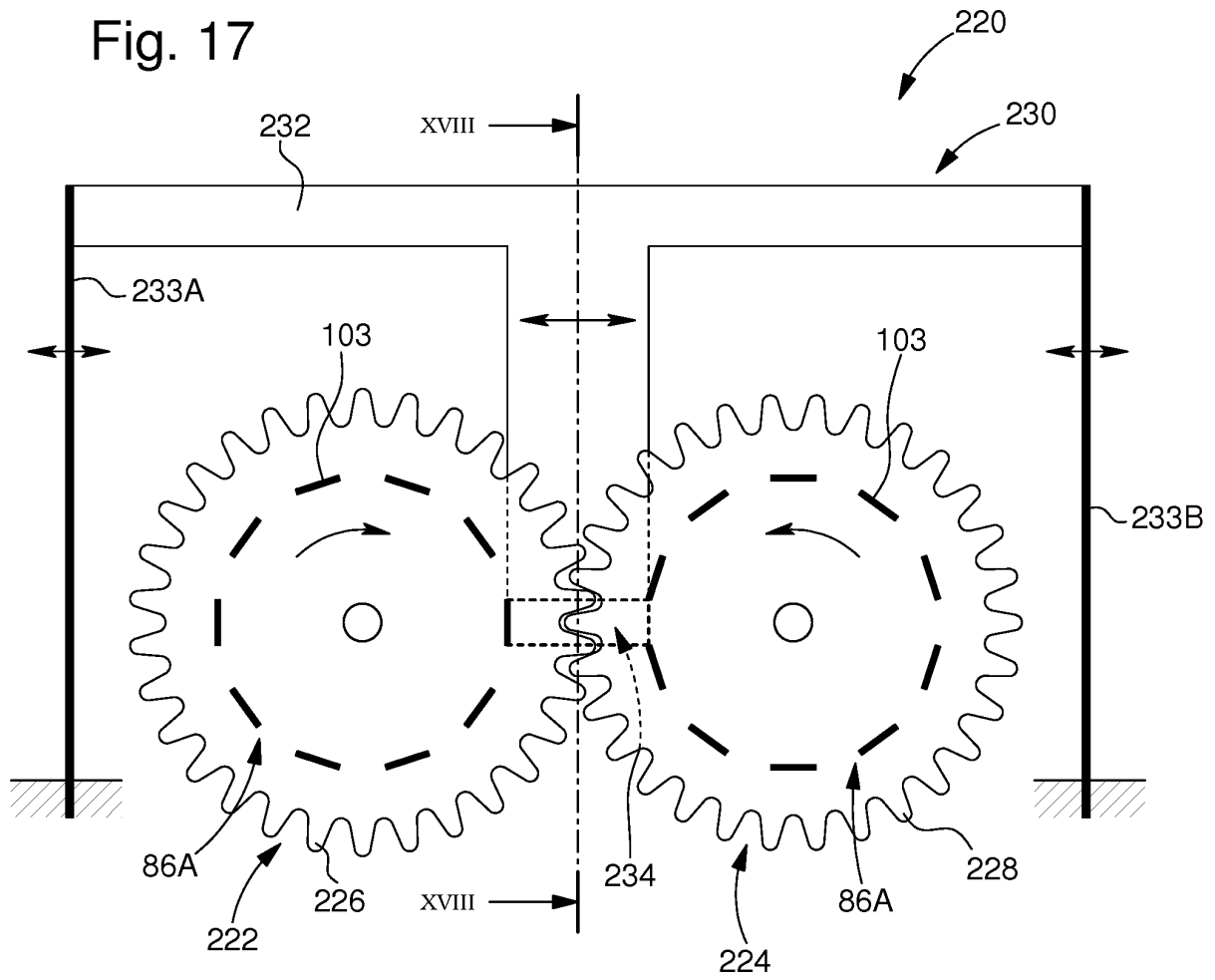


Fig. 18

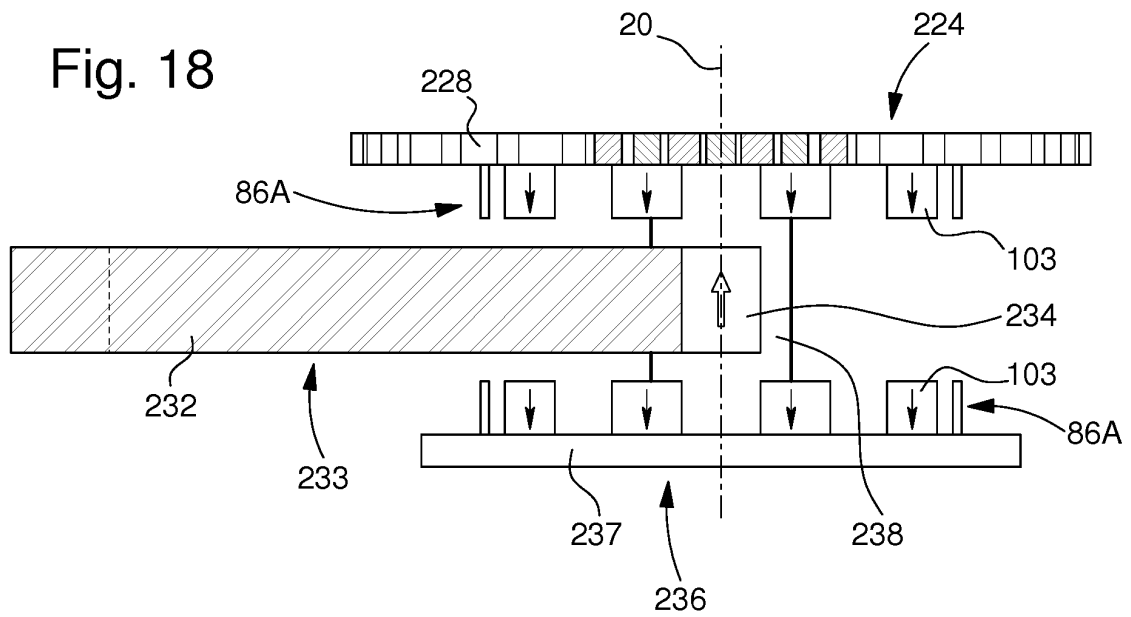


Fig. 19

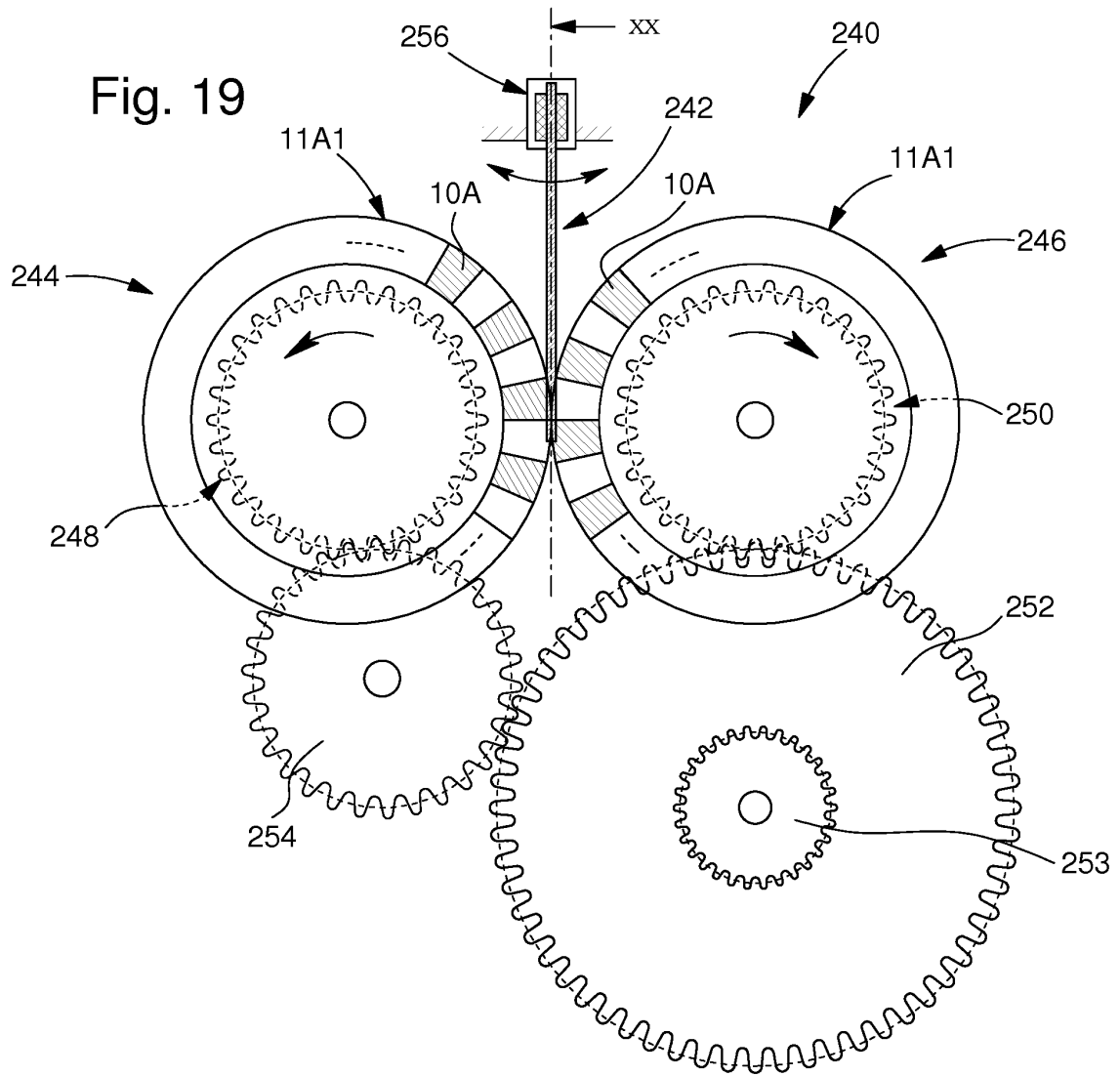


Fig. 20

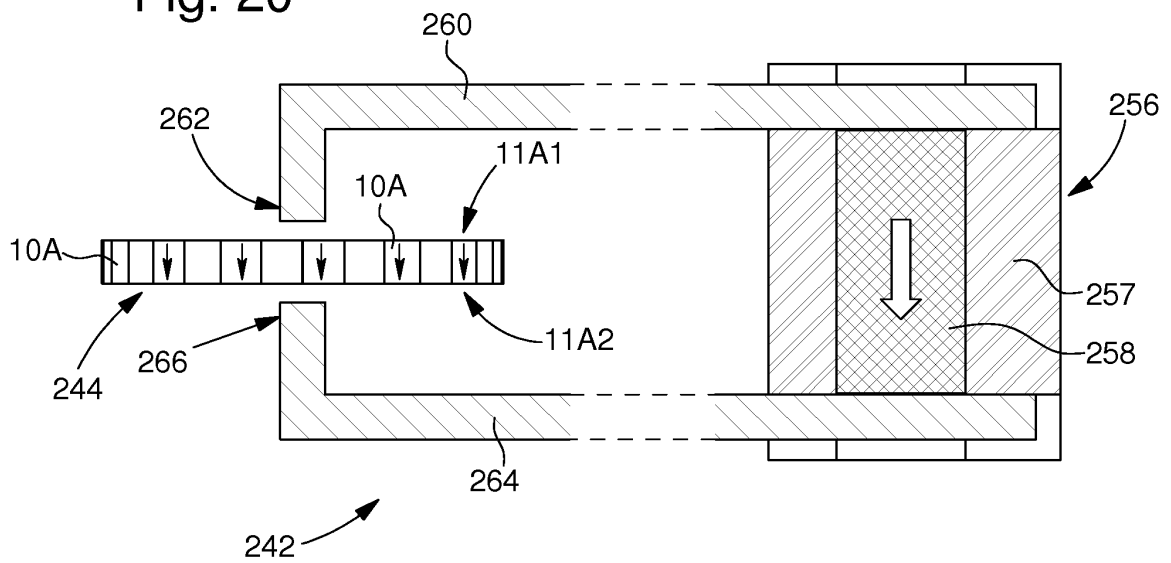


Fig. 22

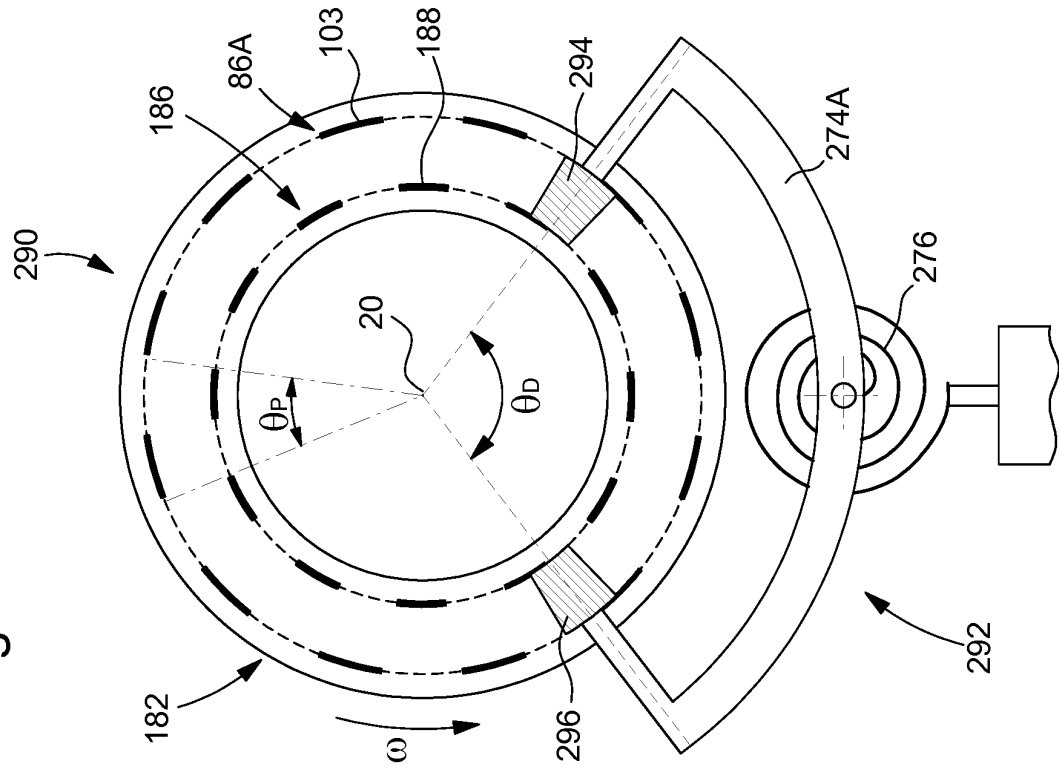


Fig. 21

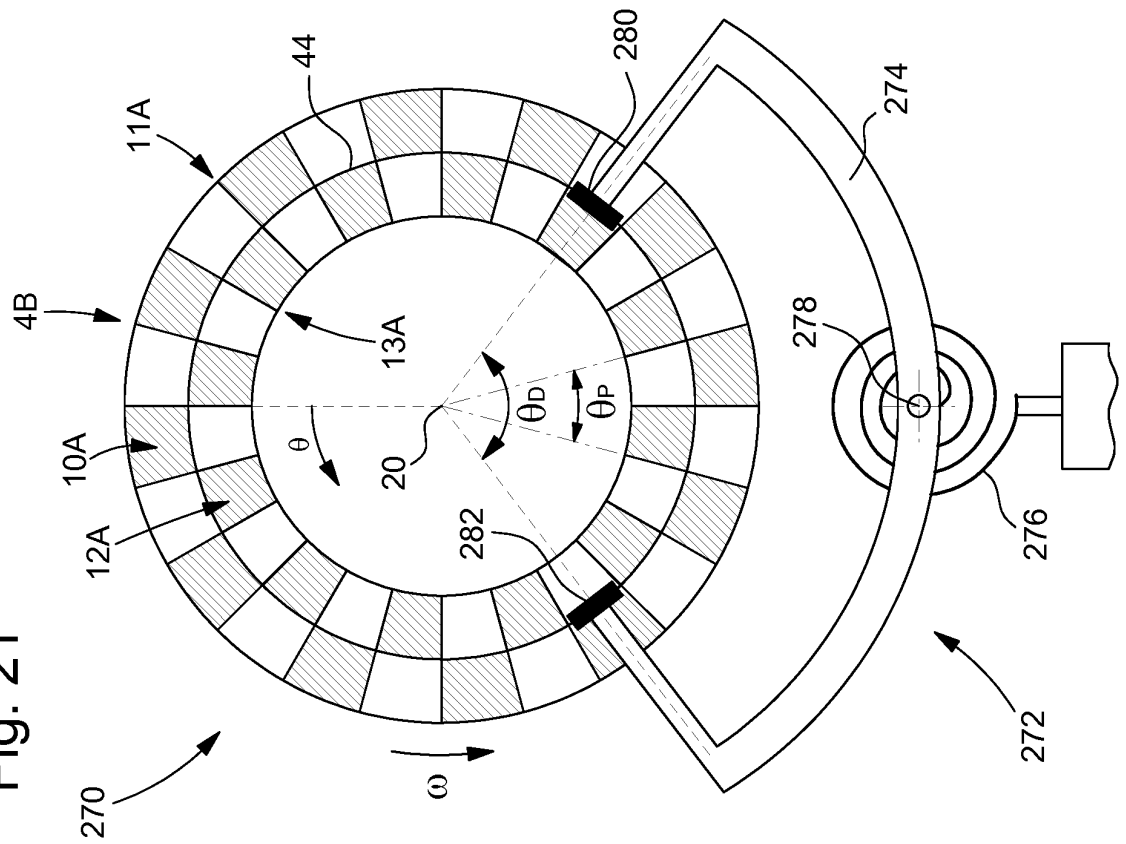


Fig. 23

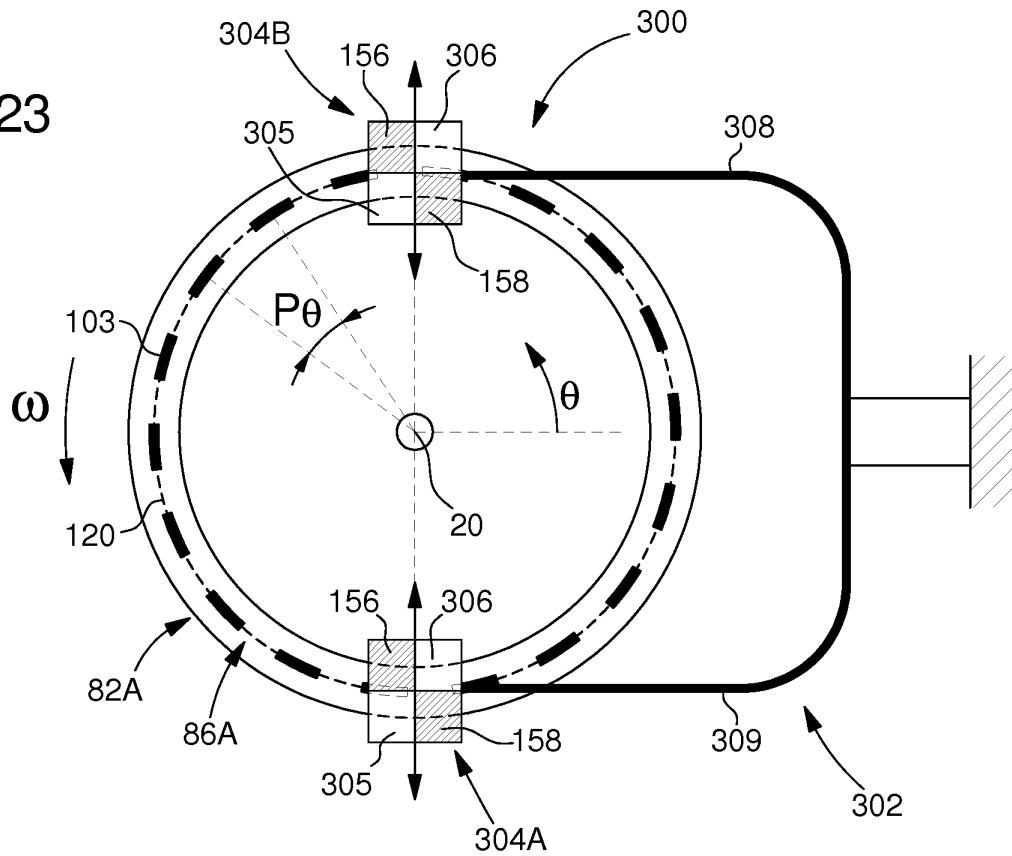


Fig. 24

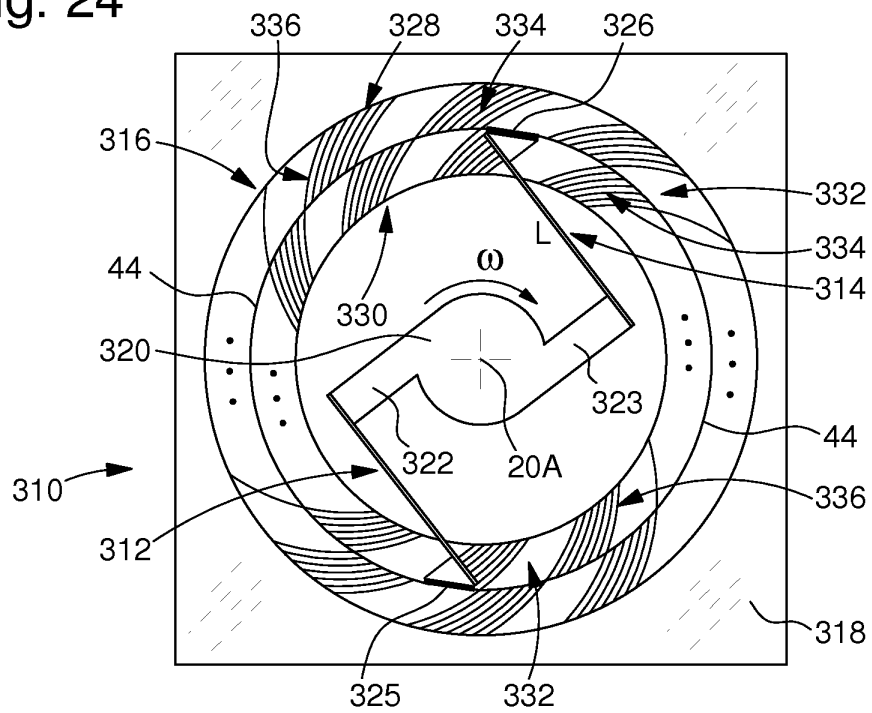


Fig. 25A

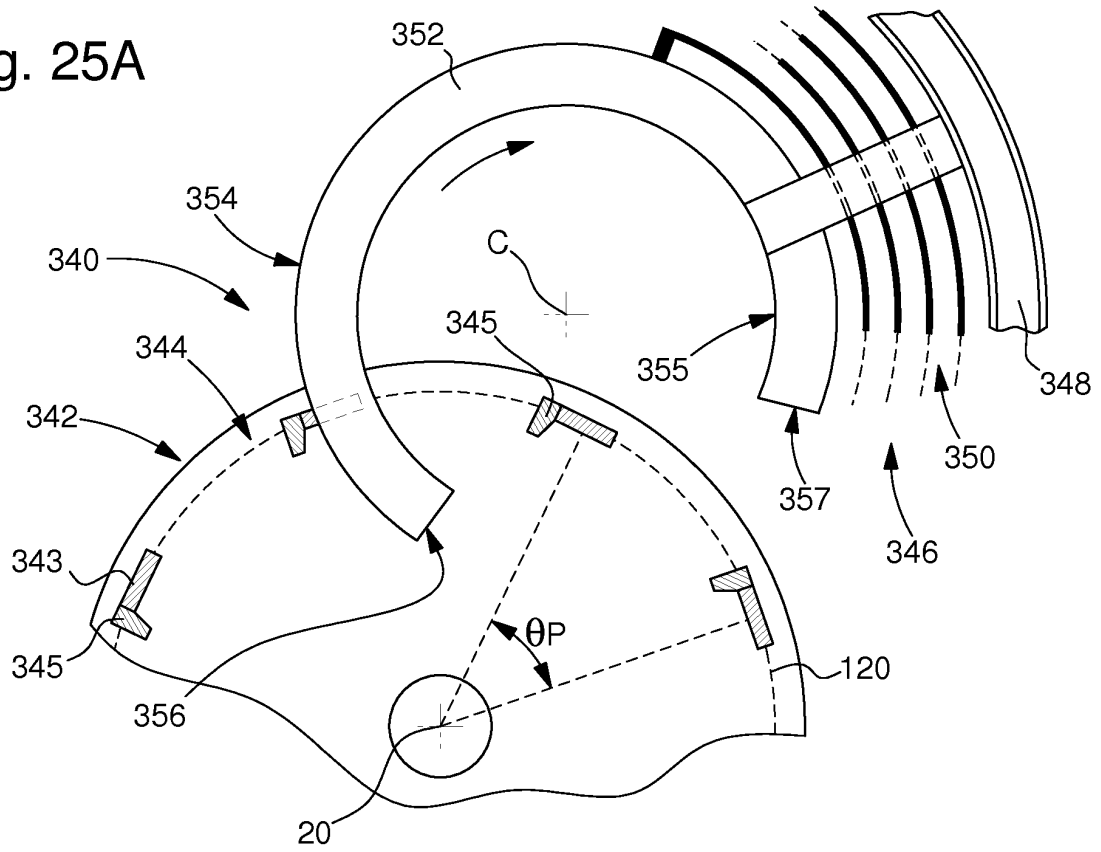


Fig. 25B

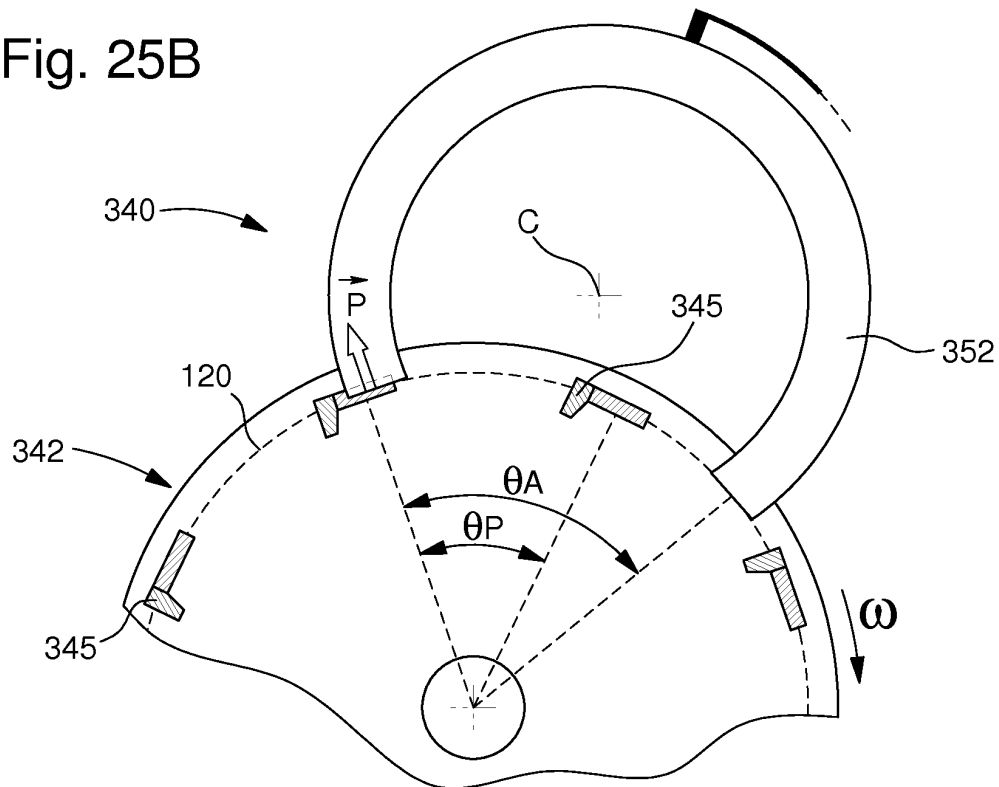


Fig. 25C

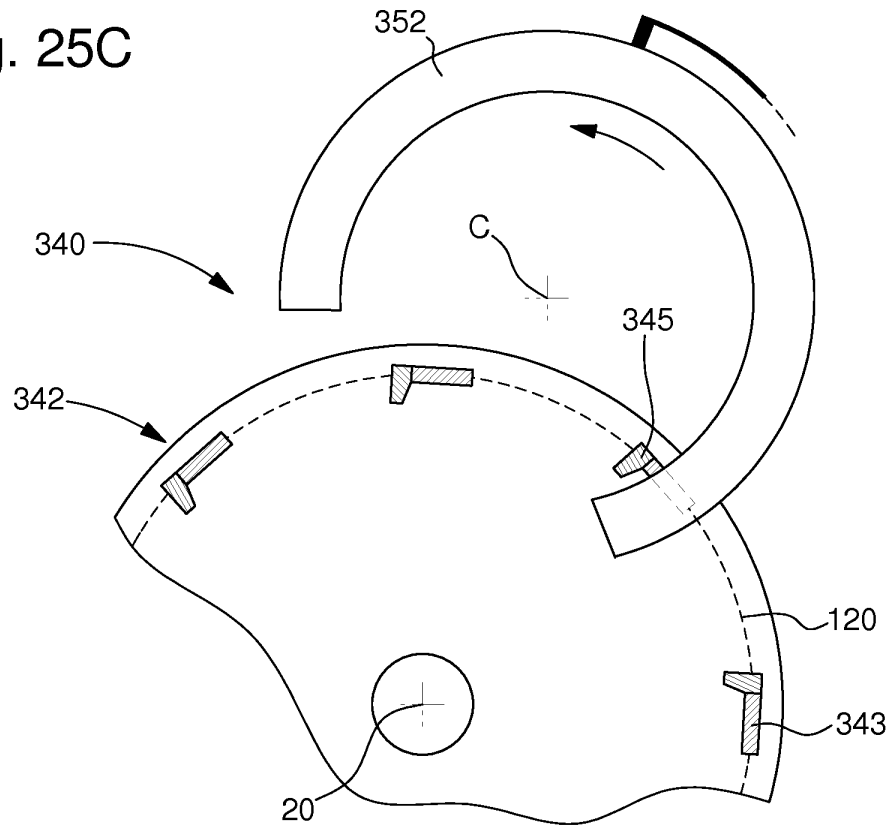


Fig. 25D

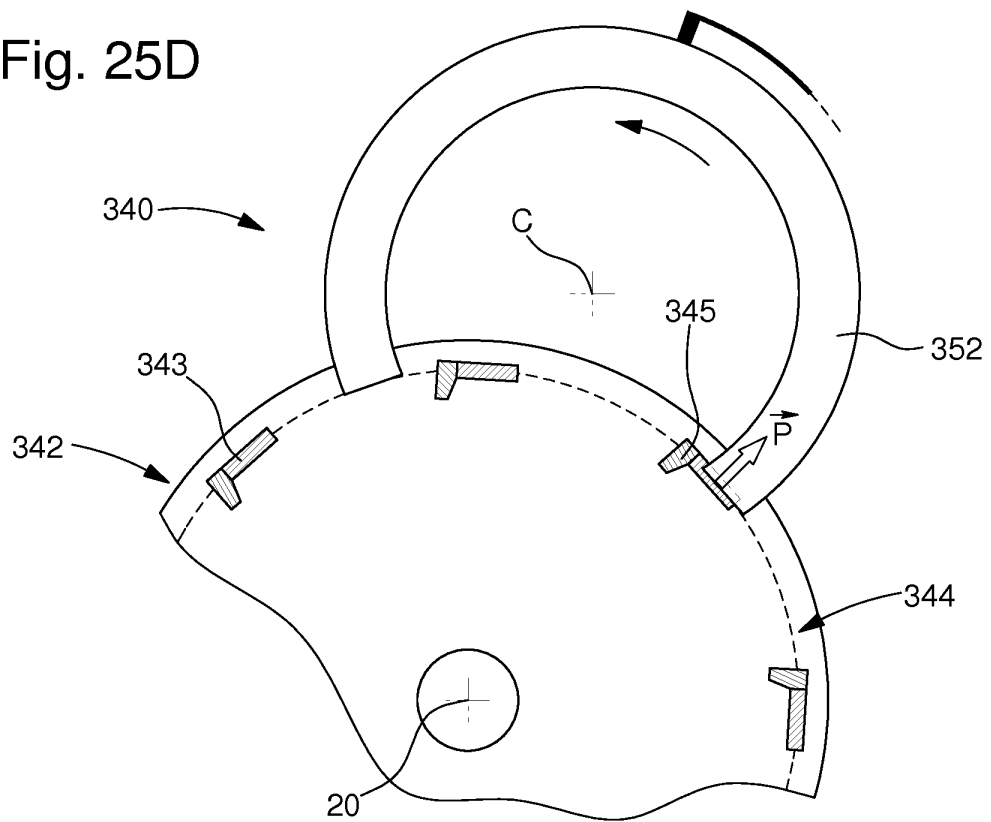
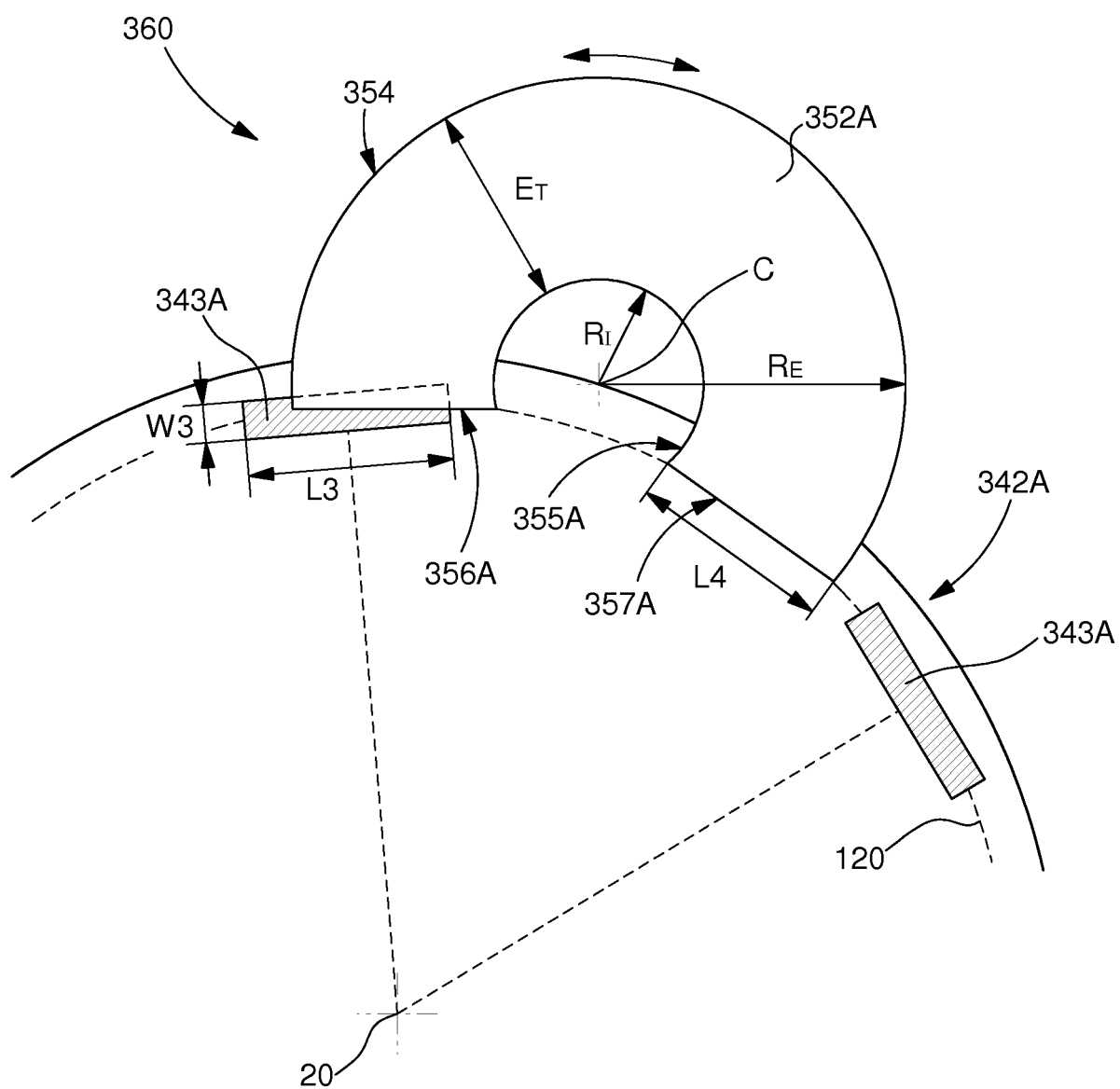


Fig. 26



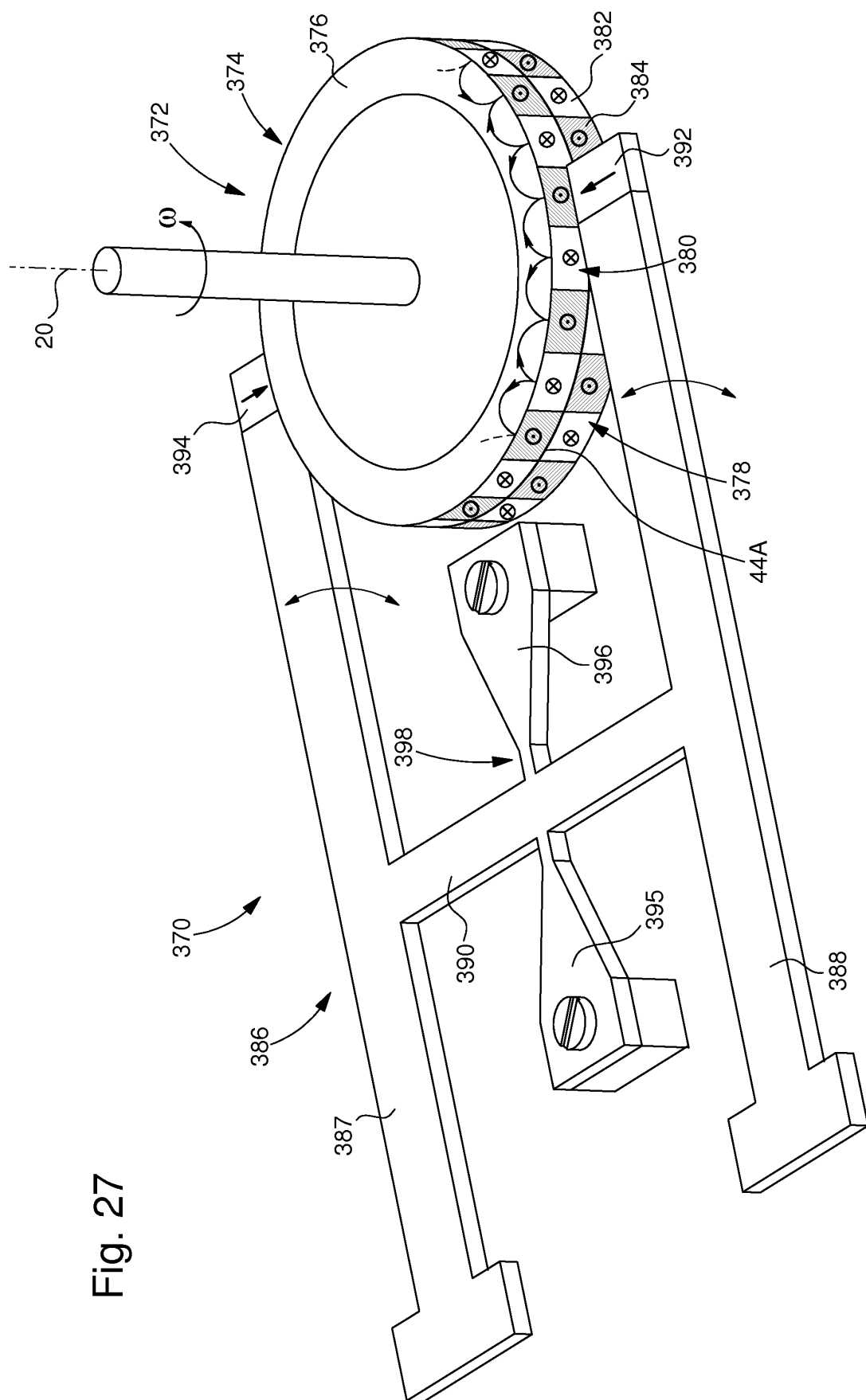


Fig. 27

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 2946183 A [0004]
- JP S5240366 B [0005]
- JP 19750116941 B [0005]
- JP S5245468 U [0005]
- JP 19750132614 U [0005]
- JP S5263453 U [0005]
- JP 19750149018 U [0005]