



CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **714 600 B1**

(51) Int. Cl.: **G04B** 17/28 (2006.01)
G04B 31/004 (2006.01)
F16C 32/04 (2006.01)

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

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

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00101/18

(22) Date de dépôt: 29.01.2018

(43) Demande publiée: 31.07.2019

(24) Brevet délivré: 30.07.2021

(45) Fascicule du brevet publié: 30.07.2021

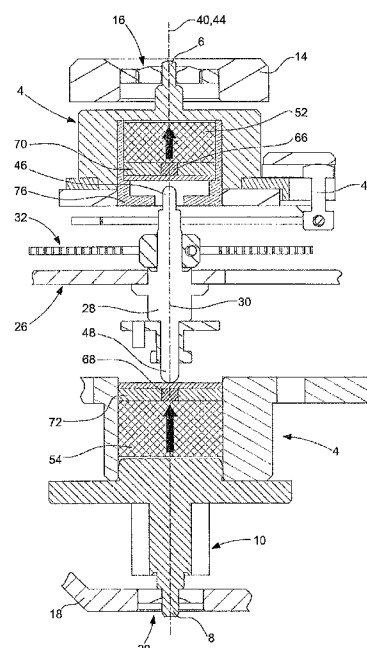
(73) Titulaire(s):
Montres Breguet S.A
1344 L'Abbaye (CH)

(72) Inventeur(s):
Polychronis Nakis Karapatis, 1324 Premier (CH)
Sylvain Maréchal, 39220 Bois-d'Amont (FR)

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

(54) **Pièce d'horlogerie munie d'un tourbillon.**

(57) La pièce d'horlogerie selon l'invention est munie d'un mécanisme à tourbillon formé d'au moins une cage tournante (4) et d'un ensemble régulateur comprenant un balancier (26) et un spiral (32) dont une première extrémité est reliée au balancier et une seconde extrémité est reliée à la cage tournante, le balancier étant agencé dans la pièce d'horlogerie de manière à pouvoir osciller autour d'un axe d'oscillation (44) qui est fixe relativement à la cage tournante, ce balancier définissant un propre axe central (30) et présentant deux parties d'extrémité (46,48) le long de cet axe central. La pièce d'horlogerie est caractérisée en ce qu'elle comprend un système magnétique (28, 52,54) d'alignement des deux parties d'extrémité sur l'axe d'oscillation, ce système magnétique étant agencé pour exercer radialement sur chacune des deux parties d'extrémité du balancier une force magnétique de rappel en direction dudit axe d'oscillation.



Description

Domaine technique

[0001] L'invention concerne une pièce d'horlogerie munie d'un mécanisme à tourbillon, en particulier une montre-bracelet destinée à être portée au poignet d'un utilisateur et comprenant un mécanisme à tourbillon formé classiquement par une cage susceptible de tourner autour d'un axe de rotation déterminé et un ensemble régulateur embarqué dans cette cage, l'ensemble régulateur étant formé par un oscillateur mécanique comprenant un balancier-spiral et un dispositif d'échappement.

Arrière-plan technologique

[0002] Le mécanisme à tourbillon est connu de longue date en horlogerie. Il a été inventé au début du 19^{ième} siècle par Abraham-Louis Breguet. Cette complication a donné son nom au mouvement horloger qui l'incorpore. On parle ainsi d'un tourbillon pour nommer un mouvement horloger équipé d'un mécanisme à tourbillon ou plus généralement une montre comprenant un tel mouvement horloger. Diverses réalisations de tourbillon ont été proposées depuis cette époque. Dans un tourbillon classique, l'axe de pivotement du balancier est parallèle à l'axe de rotation de la cage. En particulier, l'axe de rotation de la cage est confondu avec l'axe de pivotement du balancier. On peut citer par exemple le brevet CH 698 028 et le brevet EP 2 233 988 qui décrivent deux réalisations particulières d'un tourbillon classique. Dans les deux cas, la cage de tourbillon est pivotée dans deux paliers formés chacun par au moins une pierre percée et montés respectivement dans deux parties fixes du mouvement horloger. Le balancier-spiral est pivoté dans deux paliers formés chacun par une pierre percée et une pierre contre-pivot, au moins un des deux paliers du balancier-spiral étant associé à un dispositif antichoc usuel.

[0003] Le tourbillon a une fonction chronométrique car il permet de moyenniser les variations de marche du mouvement horloger dans ses positions verticales, c'est-à-dire dans les positions pour lesquelles le balancier présente une position générale verticale et donc un axe de pivotement horizontal. Dans une telle position, l'arbre du balancier a ses deux pivots qui sont latéralement en appui sur les deux parois circulaires respectives des deux pierres percées qui forment respectivement les deux paliers du balancier. Dans les positions verticales du balancier-spiral, les variations de marche proviennent essentiellement d'un défaut de balourd du balancier. Grâce au mécanisme à tourbillon classique, ces variations de marche sont moyennées lorsque l'axe de rotation de la cage est horizontal et le balancier donc dans une position verticale, de sorte que le problème chronométrique (défaut d'isochronisme) lié au balourd du balancier est résolu.

[0004] Toutefois, généralement, le balancier d'une montre mécanique passe de positions verticales à des positions horizontales et inversement. En effet, lorsqu'il est porté au poignet, il prend diverses positions au cours d'une journée. Même une montre de poche peut prendre dans la poche d'un utilisateur diverses positions selon qu'il est debout ou assis, et la nuit la montre de poche est souvent dans une position horizontale. Or, en position horizontale, les pivots du balancier présentent une moindre friction avec les paliers, car le balancier est en appui sur une seule pierre contre-pivot par une pointe de son pivot inférieur. De cette différence de friction entre les positions verticales et les positions horizontales du balancier résulte un problème chronométrique car cette différence de friction engendre des variations de marche du mouvement horloger. Ainsi, on constate que le mécanisme à tourbillon ne résout pas tous les problèmes chronométriques en relation avec les diverses positions spatiales que peut prendre le balancier-spiral au cours du temps.

[0005] Pour résoudre ce problème de chronométrie persistant dû aux variations de marche entre les positions verticales et horizontales, plusieurs horlogers ont rivalisé d'ingéniosité pour perfectionner le mécanisme à tourbillon classique et essayer de le rendre encore plus précis. Ainsi, en particulier depuis le début du 21^{ième} siècle, diverses réalisations relativement complexes, voire très complexes ont été proposées. On a ainsi proposé des tourbillons avec des axes de pivotement du balancier obliques relativement à l'axe de rotation de la cage (EP 1 564 608), des tourbillons bi-axiaux avec deux cages montées l'une dans l'autre et pivotant selon des axes non parallèles (EP 2 729 849 et EP 1 419 419) et même des tourbillons triaxiaux (EP 1 574 916 et WO 2014/060346). Par ailleurs, il a aussi été proposé des mouvements horlogers avec plusieurs tourbillons couplés et montés sur un plateau tournant ou non avec des axes de rotation parallèles (EP 1 738 230, EP 1 640 821) ou non parallèles (EP 1 706 796).

[0006] On remarquera que la plupart des réalisations susmentionnées sont encombrantes et onéreuses. De plus, si en théorie elles permettent au balancier de subir en continu des mouvements composés qui l'empêchent de rester continûment dans une même position, notamment verticale ou horizontale, et qui ainsi moyennent au moins en partie les variations de marche entre les positions verticales et horizontales, ceci que la pièce d'horlogerie subisse des mouvements, en particulier lors de son porter, ou qu'elle soit laissée dans une position fixe, d'autres problèmes surviennent comme une augmentation de l'inertie des mécanismes à tourbillon, des pertes d'énergie dues notamment au nombre de mobiles en relation d'engrènement et pivotés dans des paliers mécaniques classiques. Ainsi, dans certains cas, bien que la réalisation technique puisse impressionner, il n'est pas garanti qu'une amélioration de l'isochronisme relativement à un tourbillon classique soit obtenue.

Résumé de l'invention

[0007] La présente invention a pour but de proposer une pièce d'horlogerie incorporant un mécanisme de tourbillon qui améliore grandement le défaut d'isochronisme du tourbillon classique sans compliquer son mécanisme, sans augmenter l'encombrement de ce mécanisme, et sans augmenter significativement son inertie.

[0008] A cet effet, la présente invention concerne une pièce d'horlogerie munie d'un mécanisme à tourbillon formé d'au moins une cage tournante et d'un ensemble régulateur comprenant un balancier et un spiral dont une première extrémité est reliée au balancier et une seconde extrémité est reliée à un élément de fixation solidaire de la cage tournante, le balancier étant agencé dans la pièce d'horlogerie de manière à pouvoir osciller autour d'un axe d'oscillation qui est fixe relativement à la cage tournante, ce balancier définissant un propre axe central autour duquel il est prévu qu'il oscille et présentant deux parties d'extrémité le long de ce propre axe central ; la pièce d'horlogerie étant caractérisée en ce qu'elle comprend un système magnétique d'alignement des deux parties d'extrémité sur ledit axe d'oscillation, ce système magnétique étant agencé pour exercer radialement sur chacune des deux parties d'extrémité du balancier une force magnétique de rappel en direction dudit axe d'oscillation.

[0009] Grâce aux caractéristiques de l'invention, la force magnétique radiale exercée par le système magnétique permet de diminuer et même d'éviter en fonctionnement normal un frottement latéral des deux parties d'extrémité du balancier sur des surfaces de paliers associés au balancier notamment lorsque ce balancier est dans une position verticale. Ainsi, grâce au système magnétique incorporé dans la pièce d'horlogerie selon l'invention, les différences de marche entre une position horizontale et une position verticale du balancier sont fortement diminuées, voire supprimées. On obtient donc un dispositif régulateur très performant car, d'une part, le mécanisme à tourbillon permet de supprimer les différences de marche du balancier-spiral dans ses diverses positions verticales et, d'autre part, le système magnétique de l'invention, qui forme deux paliers magnétiques pour le balancier-spiral, permet de supprimer les différences de marche entre les positions verticales et les positions horizontales du balancier-spiral.

[0010] Dans un mode de réalisation préféré, le système magnétique est agencé de manière que la force magnétique radiale de rappel qu'il exerce sur le balancier puisse prendre, lors d'un déplacement radial de l'axe central du balancier relativement à un axe d'oscillation théorique du balancier, et sur une certaine plage d'éloignement depuis cet axe d'oscillation, des valeurs progressives entre sensiblement une valeur nulle et une valeur égale, en valeur absolue, à dix fois la valeur de la force de gravitation agissant sur le balancier. Ainsi, on assure un fonctionnement sans frottements latéraux du balancier sur des paliers ou contre des butées latérales en l'absence d'accélération radiale autre que celle liée à la gravitation et même en présence d'une telle accélération radiale dans une certaine plage de valeurs donnée.

[0011] Le dispositif de régulation selon l'invention est robuste et efficace. Il permet d'obtenir des performances chronométriques remarquables sans augmenter l'énergie mécanique nécessaire à son entretien et sans nécessiter d'implémenter des mécanismes complexes et encombrants, comme proposés dans l'art antérieur.

Brève description des figures

[0012] L'invention sera décrite ci-après de manière plus détaillée à l'aide des dessins annexés, donnés à titre d'exemples nullement limitatifs, dans lesquels :

- La Figure 1 est une coupe partielle d'une pièce d'horlogerie selon l'invention, cette coupe passant par l'axe d'oscillation de son balancier-spiral qui est agencé dans une cage de tourbillon;
- La Figure 2 est vue partielle et agrandie de la coupe de la Figure 1 ;
- La Figure 3 représente schématiquement une réalisation du système magnétique de la pièce d'horlogerie selon l'invention et les forces agissant sur le balancier alors qu'il se trouve dans une position verticale;
- La Figure 4 montre le profil d'intensité du champ magnétique d'un aimant permanent du système magnétique dans un plan géométrique comprenant son axe d'aimantation;
- La Figure 5 est un graphe donnant des mesures expérimentales de la force magnétique de rappel radial exercée par un aimant permanent du système magnétique susmentionné sur un axe en matériau magnétique formant le balancier.

Description détaillée de l'invention

[0013] A l'aide des Figures, on décrira ci-après un mode de réalisation avantageux de la pièce d'horlogerie selon l'invention.

[0014] La pièce d'horlogerie est formée par un mouvement mécanique 2 qui comprend :

- une cage tournante 4, propre au mécanisme de tourbillon, cette cage tournante comprenant deux pivots 6 et 8, alignés selon un axe de rotation 40 de la cage, et un pignon central 10 pour son entraînement en rotation,
- une platine 12,
- un pont de tourbillon 14 comprenant un premier palier 16 dans lequel pivote le premier pivot 6 de la cage de tourbillon,
- une cuvette 18 fixée à la platine et agencée au moins partiellement dans un évidement de cette platine, cette cuvette comprenant dans sa partie inférieure un deuxième palier 20 pour le deuxième pivot 8 de la cage de tourbillon et le long de son bord supérieur une collerette dentée définissant une roue fixe 22, cette cuvette présentant une ouverture

latérale dans laquelle pénètre une roue 20 d'entraînement de la cage de tourbillon, cette roue 20 engrenant le pignon central 10, et

- un ensemble régulateur formé par un balancier 26, comprenant un axe 28 de balancier (compris classiquement comme un élément matériel formant un arbre de rotation pour le balancier) qui définit un propre axe géométrique central 30 (par la suite 'axe central'), un spiral 32 et un dispositif d'échappement, ce dispositif d'échappement comprenant une fourchette 34, couplée classiquement à l'axe de balancier, et un mobile d'échappement qui est formé par une roue d'échappement 36 et un pignon d'échappement 38, lequel engrène la roue fixe 22, comme ceci est classique pour un mécanisme à tourbillon.

[0015] Le spiral 32 a une première extrémité qui est reliée au balancier 26 (plus précisément à son axe 28) et une seconde extrémité qui est reliée à un élément de fixation 42 (piton) solidaire de la cage tournante 4 (voir Figure 2). Le balancier 26 est agencé dans le mouvement mécanique de manière à pouvoir osciller autour d'un axe d'oscillation 44 qui est fixe relativement à la cage tournante 4 et qui est, dans la variante décrite, confondu à l'axe de rotation 40 de la cage de tourbillon. Comme déjà indiqué, le balancier définit un axe central 30 autour duquel il est prévu qu'il oscille et présentant deux parties d'extrémité 46, 48 le long de cet axe central. En d'autres termes, il est prévu que l'axe central soit confondu au mieux avec l'axe d'oscillation.

[0016] La pièce d'horlogerie est remarquable en ce que le mouvement mécanique 2 comprend un système magnétique d'alignement des deux parties d'extrémité 46, 48 sur l'axe d'oscillation 44, ce système magnétique étant agencé pour exercer radialement sur chacune des deux parties d'extrémité du balancier une force magnétique de rappel en direction de l'axe d'oscillation, lequel est défini par le système magnétique.

[0017] De manière générale, les deux parties d'extrémité 46 et 48 sont constituées chacune au moins partiellement d'un matériau à haute perméabilité magnétique qui forme partiellement le système magnétique prévu pour positionner le balancier 26 et permettre son oscillation autour d'un axe d'oscillation 44 prédéterminé. Ce système magnétique comprend en outre deux aimants permanents 52 et 54 qui forment respectivement deux paliers magnétiques respectivement couplés magnétiquement aux deux parties d'extrémité du balancier. Dans une variante particulière, l'axe 28 du balancier est formé intégralement par un matériau ferromagnétique. Les deux aimants permanents 52, 54 sont agencés, le long de l'axe d'oscillation prévu 44 (axe d'oscillation théorique), respectivement en regard des deux parties d'extrémité 46 et 48 du balancier 26 avec un certain jeu axial et de manière que leurs axes magnétiques respectifs 56, 58 sont confondus avec cet axe d'oscillation théorique, lequel est de fait défini par ces deux axes magnétiques. Dans la variante décrite, les deux aimants permanents sont assemblés à la cage tournante 4 de laquelle ils sont donc solidaires. Ils sont montés dans des évidements de la cage tournante de manière à être centrés sur l'axe de rotation 40 de cette cage.

[0018] A la Figure 3 sont montrés les deux aimants permanents 52 et 54, avec leurs axes d'aimantation respectifs 56 et 58 qui sont confondus avec l'axe d'oscillation 44 (axe théorique défini par les deux aimants permanents), et un axe 28a en matériau ferromagnétique, lequel représente de manière simplifiée l'axe de balancier 28. L'axe ferromagnétique 28a est ici une tige cylindrique dont l'axe central 30 correspond à l'axe central du balancier 26. Pour l'explication de la force magnétique de rappel exercée par le système magnétique sur le balancier, ce balancier est mis dans une position verticale et ainsi son axe présente une position horizontale. Placé dans le champ magnétique des deux aimants permanents, représentés par deux flèches 56a et 58a indiquant que les deux aimants ont une même polarité le long de l'axe d'oscillation 44, l'axe ferromagnétique 28a est soumis substantiellement à deux types de force, à savoir la force de gravité F_g (dans laquelle est comprise la masse de l'entier du balancier 26) et des forces magnétiques $F_m(1)$ et $F_m(2)$ engendrées par les deux aimants permanents et s'exerçant sur la matière ferromagnétique constituant l'axe ferromagnétique 28a. On a représenté séparément les forces magnétiques engendrées par les deux aimants permanents sur l'axe 28a étant donné que, bien que le champ magnétique est continu le long de l'axe d'oscillation 44, la force magnétique engendrée par chacun des deux aimants permanents est exercée principalement sur la partie d'extrémité 46a, respectivement 48a de l'axe ferromagnétique 28a qui est située en regard de l'aimant permanent considéré, là où l'intensité de son champ magnétique est la plus forte et où le profil d'intensité de ce champ magnétique selon la direction radiale présente un gradient important, correspondant substantiellement au profil d'intensité du champ magnétique généré par chaque aimant permanent dans le vide à proximité de sa surface transversale. Un tel profil d'intensité est représenté à la Figure 4, la courbe 60 de ce profil d'intensité étant sensiblement du type gaussien avec une valeur maximale sur l'axe d'aimantation 56, respectivement 58. Les champs magnétiques générés par les aimants permanents engendrent dans l'axe ferromagnétique 28a une magnétisation M , laquelle est globalement orientée selon la direction Z de l'axe d'oscillation 44.

[0019] On exposera ci-après la nature de la force magnétique exploitée dans le cadre de la présente invention. Dans les formules qui suivent, l'axe d'oscillation théorique 44, qui est confondue avec les axes magnétiques 56 et 58, définit un axe géométrique Z . Un matériau à haute perméabilité magnétique, en particulier un matériau ferromagnétique, est magnétisé par le champ magnétique H d'un aimant permanent qui le traverse. Cette magnétisation M induite par le champ magnétique de l'aimant permanent est propre au matériau magnétisé qui la génère en réponse à ce champ magnétique qui le traverse. Il en résulte une situation physique où le champ d'induction magnétique B engendré par l'aimant permanent dans le matériau magnétisé est couplé à la magnétisation M du matériau magnétisé, lequel présente une certaine énergie magnétique potentielle dans le champ magnétique de l'aimant permanent. Comme un système physique tend vers une énergie potentielle minimale, une force magnétique F s'exerçant sur le matériau magnétisé est engendrée si

l'énergie magnétique potentielle présente un gradient non nul. Pour un matériau magnétisé dans un champ magnétique, ce phénomène physique est défini mathématiquement par la formule générale suivante :

[0020]

$$\vec{F} = \int_V \nabla (\vec{M} \cdot \vec{B}) dV$$

où les vecteurs $\vec{M}$ et $\vec{B}$ sont considérés en chaque point du volume V défini par le matériau magnétisé. Chaque composant du vecteur $\vec{B}$ et du vecteur $\vec{M}$ est donc une fonction qui s'exprime dans le système de coordonnées choisies. L'opérateur ∇ est un gradient vectoriel. Dans un système de coordonnées cartésiennes, $\nabla F = \langle \delta F(x,y,z) / \delta x, \delta F(x,y,z) / \delta y, \delta F(x,y,z) / \delta z \rangle$.

[0021] Si on applique la formule générale au cas particulier où le champ d'induction magnétique $\vec{B}$ de l'aimant permanent traversant l'axe 28a est principalement orienté selon l'axe Z, le produit scalaire des vecteurs $\vec{M}$ et $\vec{B}$ est sensiblement égal à $M_z \cdot B_z$. Dans le cas où le matériau ferromagnétique de l'axe 28a est substantiellement en saturation, on peut considérer que la magnétisation M_z est sensiblement constante et la formule générale peut être simplifiée. On obtient

$$\vec{F} = \int_V M_z \cdot \nabla B_z dV$$

et

$$F_x = M_z \int (\delta B_z(x,y) / \delta x) dv$$

[0022] Si on considère des portions V_p du volume de l'axe ferromagnétique 28a dans lesquelles le champ B_z est sensiblement constant selon l'axe Z (petite hauteur selon l'axe Z) et présentant chacune une relativement petite largeur selon l'axe horizontal Y de sorte qu'en première approximation le champ B_z est sensiblement constant dans ce volume V_p selon les axes Y et Z, la force magnétique $F_x(V_p)$ selon l'axe X, pour une portion de volume V_p s'étendant selon l'axe X sur l'entier de l'axe ferromagnétique 28a, est donnée sensiblement par l'égalité

$F_x(V_p) = M_z \cdot S_p \cdot [B_z(X1,y) - B_z(X2,y)]$ dans laquelle S_p est la surface transversale du volume V_p relativement à l'axe X, $X1$ est la valeur moyenne selon l'axe X de la surface de l'axe ferromagnétique 28a à une première extrémité du volume V_p , et $X2$ est la valeur moyenne selon l'axe X de la surface de l'axe ferromagnétique 28a à une deuxième extrémité du volume V_p .

[0023] Pour connaître la grandeur de la force magnétique sur une portion de volume V_p définie ci-avant, et notamment pour une portion de volume ayant l'axe X comme axe central ($y = 0$), il faut donc déterminer le profil du champ magnétique B_z selon l'axe X. Un tel profil est représenté par la courbe 60 à la Figure 4 pour un aimant permanent cylindrique avec un diamètre $D = 1$ mm, à faible distance de sa surface transversale plane. On remarque que cette courbe présente un profil gaussien centré sur l'axe d'aimantation 56, 58 de l'aimant permanent considéré. On comprend donc que, lorsque l'axe ferromagnétique 28a est centré sur l'axe d'oscillation confondu aux deux axes d'aimantation, $B_z(X1) = B_z(X2)$ et la force magnétique $F_x(V_p)$ est donc nulle. Comme ceci est vrai pour toute portion de volume V_p définie précédemment, la force magnétique totale F_x selon l'axe X est nulle (profil de la courbe des valeurs du champ magnétique selon l'axe X étant symétrique pour toute position y selon l'axe Y). Par contre, dès que l'axe central 30 de l'axe ferromagnétique 28a s'écarte de l'axe d'oscillation 44 (décalage dans le sens négatif, comme représenté à la Figure 3), $B_z(X1)$ prend une valeur supérieure à celle de $B_z(X2)$, ce qui indique qu'une force positive F_m est engendrée, laquelle agit dans la direction du champ magnétique d'intensité maximale depuis l'axe central 30.

[0024] Dans le cas d'une position verticale du balancier, on comprend qu'une situation d'équilibre correspond à une position de l'axe central 30 pour laquelle la somme des forces magnétiques positives est égale à la force de gravitation F_g (en valeur absolue, cette force étant négative). Ainsi, la force de gravitation éloigne un peu l'axe de balancier d'une position centrale mais en sélectionnant des aimants générant un champ magnétique suffisamment intense (en d'autres termes un flux magnétique suffisamment intense) et un matériau ferromagnétique avec une limite de saturation suffisamment élevée, on peut aisément compenser la force de gravitation avec un très faible éloignement. En conclusion, une force magnétique de rappel en direction de l'axe d'oscillation 44 agit sur l'axe ferromagnétique 28 du balancier 26 dès que son axe central 30 s'écarte de l'axe d'oscillation 44. La Figure 3 montre que, lorsque le balancier est dans une position verticale, le balancier est maintenu suspendu entre les deux aimants permanents 52 et 54 par la seule force magnétique, sans support mécanique et donc sans frottement latéral avec une surface d'un tel support.

[0025] Un calcul de la force magnétique radiale de rappel, pour un axe de balancier tel que représenté à la Figure 2 et deux aimants permanents cylindriques ayant un diamètre D égal à 1 mm, en fonction d'un rayon R est redonnée à la Figure 5. On observe que cette force magnétique de rappel est sensiblement une fonction linéaire du rayon R auquel est positionné l'axe central 30 relativement à l'axe d'oscillation 44, c'est-à-dire de la distance d'éloignement de l'axe central du balancier, dans le plan X-Y, relativement à l'axe d'oscillation théorique (orienté selon l'axe Z) qui est défini par les axes magnétiques des deux aimants permanents cylindriques. La fonction linéaire est donnée par la droite 64 présentant une pente négative car la force magnétique agit en direction de l'origine (rayon nul).

[0026] Dans une variante de réalisation avantageuse d'une pièce d'horlogerie selon l'invention, le système magnétique est agencé de manière que la force magnétique de rappel puisse prendre, lors d'un déplacement radial de l'axe central du balancier relativement à l'axe d'oscillation prédéterminé et sur une certaine plage d'éloignement depuis cet axe d'os-

cillation, des valeurs progressives entre sensiblement une valeur nulle et une valeur égale, en valeur absolue, à dix fois la valeur de la force de gravité agissant sur le balancier.

[0027] Dans un mode de réalisation préféré, il est prévu qu'un premier aimant parmi les deux aimants permanents génère un champ magnétique plus intense que celui généré par le second aimant, de sorte que l'axe central du balancier est plus fortement attiré par le premier aimant. Une telle configuration pour deux paliers magnétiques horlogers est décrite dans le document EP 2 450 758. Selon une variante avantageuse, le premier aimant est situé, relativement à la jante du balancier 26, du côté de la fourchette 34 d'un dispositif d'échappement qui est couplé à ce balancier. En effet, il est préférable que l'axe de balancier subisse une force magnétique axiale de manière à être en pression axiale contre le palier situé à proximité de la zone d'interaction entre la fourchette et l'axe de balancier et qu'il subisse aussi une force magnétique radiale relativement forte pour un meilleur maintien dans sa position centrale dans cette zone d'interaction.

[0028] Dans un autre mode de réalisation préféré, tel que représenté aux figures, la pièce d'horlogerie comprend entre chacun des deux aimants permanents et la partie d'extrémité respective du balancier un élément 66, respectivement 68 qui concentre le champ magnétique de cet aimant permanent autour de l'axe d'oscillation 44. Chaque élément concentrateur du champ magnétique d'aimant est aligné sur l'axe d'oscillation au moyen d'un disque 70, respectivement 72 percé en son centre (voir Figure 2). On notera finalement qu'un disque en pierre de faible épaisseur peut être agencé entre chaque partie d'extrémité 46, 48 et l'élément concentrateur du champ magnétique 66, 68 qui lui est associé. On notera que la pierre assurant une bonne tribologie et l'élément concentrateur du champ magnétique peuvent être, dans une variante avantageuse, formés par une seule et même pièce en sélectionnant des matériaux appropriés. On pourra se référer aux documents EP 3 109 712 et EP 3 106 933 au sujet d'éléments concentrateurs du champ magnétique dans des paliers magnétiques.

[0029] Selon un mode de réalisation avantageux, pour éviter qu'un choc trop fort sorte l'axe 28 de balancier de la zone du champ magnétique des deux aimants permanents permettant d'assurer un rappel du balancier en direction de l'axe d'oscillation, la pièce d'horlogerie comprend en outre un élément mécanique 76 formant une butée latérale pour la partie d'extrémité du balancier située en regard de l'aimant 52 qui présente la plus faible intensité du flux magnétique parmi les deux aimants permanents. Cette butée latérale est agencée à une certaine distance de l'axe d'oscillation qui est sélectionnée, d'une part, pour que l'aimant en question puisse rappeler la partie d'extrémité 46 du balancier 26 située de son côté vers l'axe d'oscillation depuis une position de cette partie d'extrémité en appui contre la butée latérale dès qu'une accélération radiale à laquelle le balancier peut être soumis, autre que celle provenant de la masse du balancier, prend fin. D'autre part, la distance radiale de la butée latérale est sélectionnée pour qu'en l'absence d'une telle accélération radiale la partie d'extrémité 46 reste éloignée de la butée latérale de sorte qu'elle ne frotte pas contre cette butée latérale quelle que soit l'orientation que peut prendre le balancier.

Revendications

1. Pièce d'horlogerie (2) munie d'un mécanisme à tourbillon formé d'au moins une cage tournante (4) et d'un ensemble régulateur comprenant un balancier (26) et un spiral (32) dont une première extrémité est reliée au balancier et une seconde extrémité est reliée à la cage tournante, le balancier étant agencé dans la pièce d'horlogerie de manière à pouvoir osciller autour d'un axe d'oscillation (44) qui est fixe relativement à la cage tournante, ce balancier définissant un propre axe central (30) et présentant deux parties d'extrémité (46,48) le long de cet axe central ; la pièce d'horlogerie étant caractérisée en ce qu'elle comprend un système magnétique (28, 52,54) d'alignement des deux parties d'extrémité sur ledit axe d'oscillation (44), ce système magnétique étant agencé pour exercer radialement sur chacune des deux parties d'extrémité du balancier une force magnétique de rappel (F_m) en direction dudit axe d'oscillation.
2. Pièce d'horlogerie selon la revendication 1, caractérisée en ce que lesdites deux parties d'extrémité (46,48) sont constituées chacune au moins partiellement d'un matériau à haute perméabilité magnétique qui forme partiellement ledit système magnétique, ce système magnétique comprenant en outre deux aimants permanents (52,54) qui forment respectivement deux paliers magnétiques respectivement couplés magnétiquement aux deux parties d'extrémité du balancier.
3. Pièce d'horlogerie selon la revendication 2, caractérisée en ce que les deux aimants permanents (52,54) sont agencés, le long dudit axe d'oscillation (44), respectivement en regard des deux parties d'extrémité (46,48) du balancier avec un jeu axial et de manière que leurs axes magnétiques (56,58) sont sensiblement confondus avec cet axe d'oscillation.
4. Pièce d'horlogerie selon la revendication 3, caractérisée en ce qu'elle comprend entre chacun des deux aimants permanents (52,54) et la partie d'extrémité respective du balancier (26) un élément concentrateur (66, 68) du champ magnétique de cet aimant permanent autour dudit axe d'oscillation.
5. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisée en ce qu'un premier aimant (54) parmi les deux aimants permanents génère un champ magnétique plus intense que celui généré par le second aimant (52), de sorte que l'axe central du balancier est plus fortement attiré par le premier aimant.

6. Pièce d'horlogerie selon la revendication 5, caractérisée en ce que le premier aimant (54) forme un premier palier magnétique qui est situé, relativement à la jante du balancier (26), du côté d'une fourchette (34) d'un dispositif d'échappement qui est couplé à ce balancier.
7. Pièce d'horlogerie selon la revendication 5 ou 6, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre un élément mécanique (76) formant une butée latérale pour la partie d'extrémité du balancier située en regard du second aimant (52), cette butée latérale étant agencée à distance dudit axe d'oscillation, cette distance étant sélectionnée, d'une part, pour que le second aimant puisse rappeler la partie d'extrémité du balancier située de son côté vers ledit axe d'oscillation (44) depuis une position de cette partie d'extrémité en appui contre la butée latérale dès qu'une accélération radiale à laquelle le balancier peut être soumis, autre que celle provenant de la masse du balancier, prend fin et, d'autre part, pour qu'en l'absence d'une telle accélération radiale cette partie d'extrémité reste éloignée de la butée latérale de sorte que cette partie d'extrémité ne frotte pas contre cette butée latérale quelle que soit l'orientation que peut prendre le balancier.
8. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le système magnétique est agencé de manière que ladite force magnétique de rappel (F_m) puisse prendre, lors d'un déplacement radial dudit axe central du balancier relativement audit axe d'oscillation et sur une plage d'éloignement depuis cet axe d'oscillation, des valeurs progressives entre sensiblement une valeur nulle et une valeur égale, en valeur absolue, à dix fois la valeur de la force de gravitation agissant sur le balancier (26).

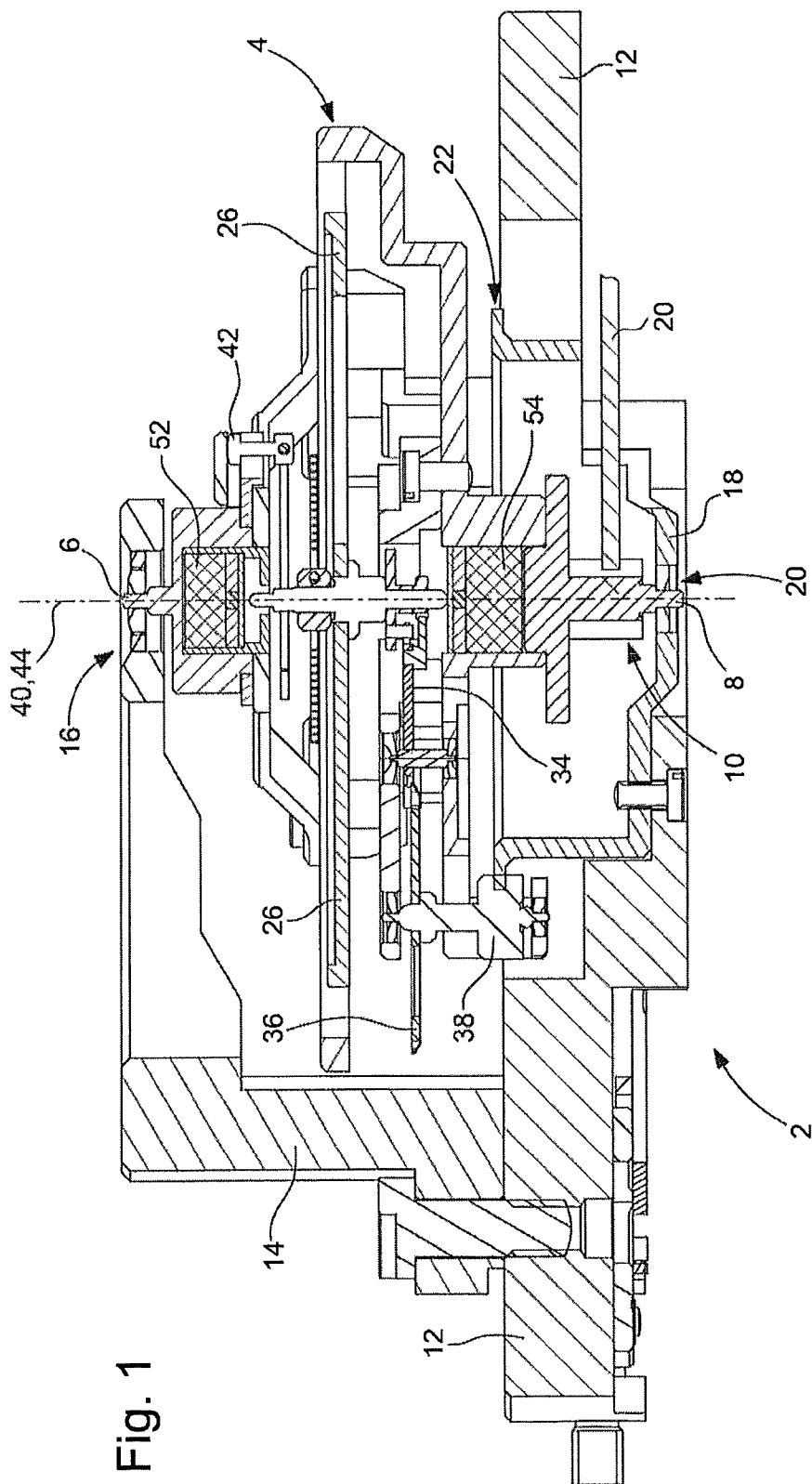


Fig. 1

Fig. 2

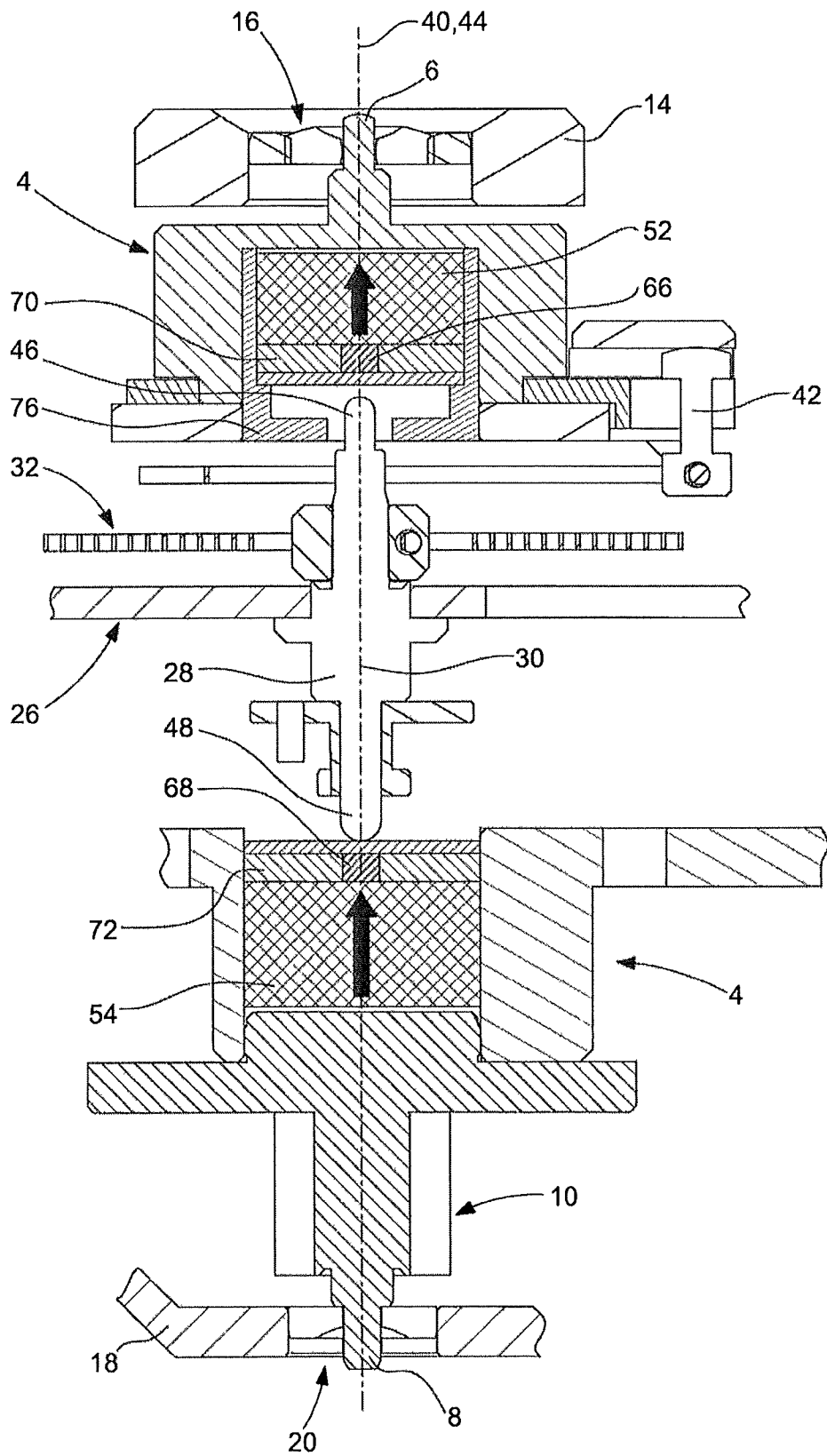


Fig. 3

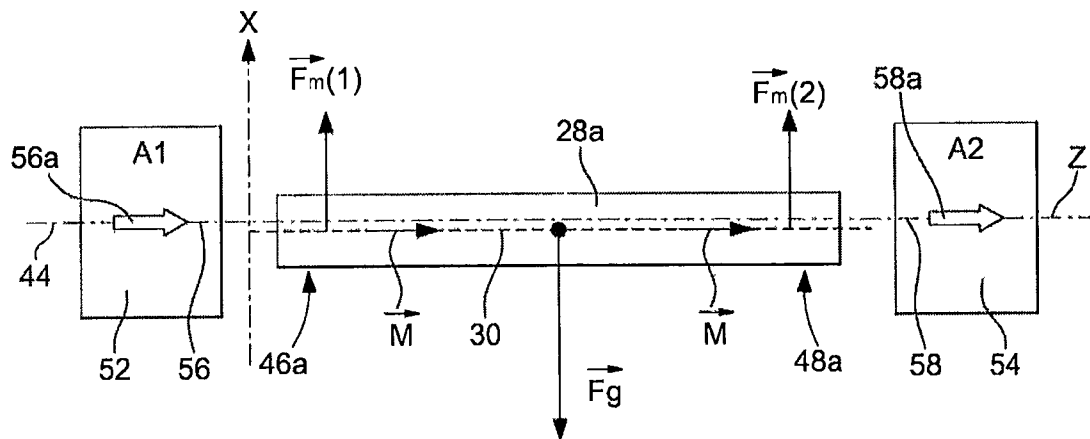


Fig. 4

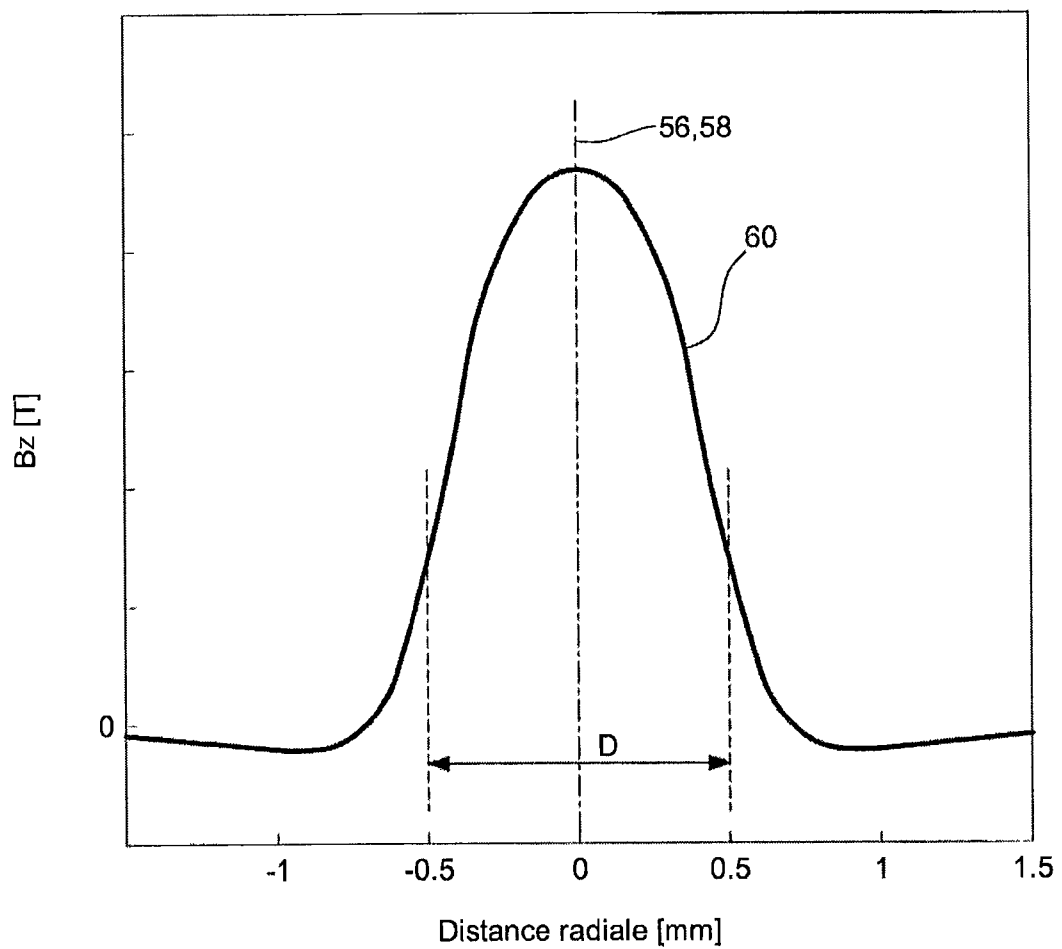


Fig. 5

