

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **717 674 A2**

(51) Int. Cl.: **G04C** 10/00 (2006.01)
G04B 17/04 (2006.01)
H02K 7/065 (2006.01)
G04B 5/14 (2006.01)

Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein

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

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00902/20

(22) Date de dépôt: 21.07.2020

(43) Demande publiée: 31.01.2022

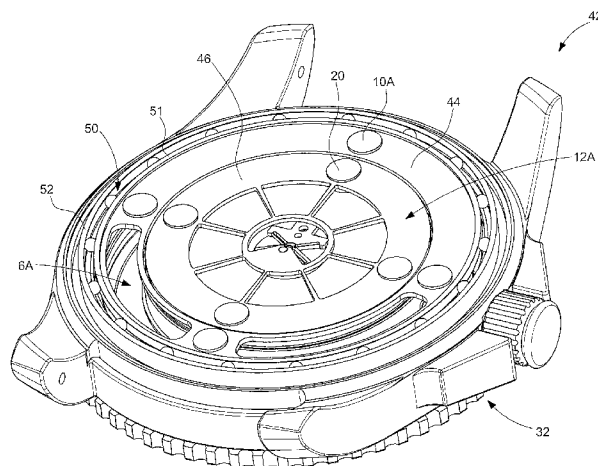
(71) Requérant:
The Swatch Group Research and Development Ltd,
Rue des Sors 3
2074 Marin (CH)

(72) Inventeur(s):
Milan Calic, 1093 La Conversion (CH)
Matthias Imboden, 2072 St-Blaise (CH)
Jean-Pierre Mignot, 25300 Pontarlier (FR)
Alain Jornod, 2000 Neuchâtel (CH)
François Gueissaz, 2036 Cormondrèche (CH)

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

(54) **Objet portable, notamment montre bracelet, comprenant un dispositif d'alimentation muni d'un convertisseur électromécanique.**

(57) Objet portable (42) comprenant une unité électronique et une unité d'alimentation électrique formée par un convertisseur électromécanique (6A) qui comprend un rotor (44) portant des premiers aimants (10A), un résonateur mécanique (12A) muni d'une masse d'inertie (46) susceptible d'osciller à une fréquence de résonance relativement élevée et portant des deuxièmes aimants (20), et des bobines agencées de manière que, lorsque le résonateur mécanique est oscillant, une tension induite est générée dans ces bobines. Le convertisseur électromécanique est agencé de manière que les premiers aimants et les deuxièmes aimants puissent, lors d'un entraînement en rotation du rotor, interagir magnétiquement de sorte à appliquer à la masse d'inertie, momentanément ou par moments, un couple de force magnétique permettant d'exciter le résonateur mécanique, afin d'engendrer au moins une oscillation de ce résonateur mécanique à sa fréquence de résonance pour générer une tension induite relativement élevée permettant de recharger un accumulateur.



Description

Domaine technique

[0001] L'invention concerne les objets portables, notamment des objets portables au poignet comme des montres, qui incorporent une unité électronique et une unité d'alimentation électrique pour alimenter au moins cette unité électronique. Plus particulièrement, l'invention concerne des dispositifs électroniques portables dits autonomes, lesquels sont munis d'une unité d'alimentation électrique qui tire de l'énergie d'un dispositif mécanique interne, en particulier d'une génératrice associée à une source d'énergie mécanique interne (par exemple un barillet dont le ressort est remonté de manière automatique par un rotor ou manuellement), ou d'au moins un capteur recevant de l'énergie de l'environnement du dispositif électronique portable ou d'un utilisateur qui porte ce dispositif électronique. On parle ainsi de récupérateurs d'énergie ('energy harvester' en anglais) incorporés dans les dispositifs électroniques autonomes.

Arrière-plan technologique

[0002] Le mouvement du poignet constitue une source d'énergie mécanique qui peut être exploitée pour alimenter une montre bracelet. Ceci est exploité depuis très longtemps dans les montres mécaniques automatiques. Plus récemment, les personnes du métier ont pensé utiliser l'énergie mécanique d'un rotor pour alimenter en électricité au moins une unité électronique d'une montre bracelet du type électromécanique ou électronique. A cet effet, divers types de convertisseurs électromécaniques ont été proposés. En particulier, l'utilisation de l'induction électromagnétique s'est révélée fructueuse. On peut citer deux types connus de montres autonomes ayant une unité électronique. Le premier type est décrit notamment dans la demande de brevet EP 822 470, au nom d'Asulab. Il s'agit d'une montre électromécanique comprenant une génératrice électromécanique incorporée dans un train de rouages du mouvement horloger et présentant deux fonctions, à savoir une fonction de régulation de sa fréquence de rotation et une fonction de convertisseur électromécanique pour pouvoir alimenter le circuit électronique de régulation. Le deuxième type est décrit notamment dans la demande de brevet EP 1 239 349 et WO 9 204 662, au nom de KINETRON. Un mode de réalisation particulier est décrit dans la demande de brevet EP 1 085 383, au nom de ETA SA Manufacture Horlogère Suisse. Dans ce deuxième type, le rotor sert uniquement à l'entraînement d'une génératrice électromécanique qui alimente en électricité un accumulateur incorporé dans la montre du type électronique. Dans le cas d'un mouvement horloger électromécanique, les aiguilles sont entraînées par un moteur électrique, notamment pas-à-pas, qui est alimenté par l'accumulateur.

[0003] Les réalisations susmentionnées ont un facteur limitant leur rendement notamment à cause de pertes d'énergie dues aux frottements dans les rouages. De plus, pour obtenir une tension suffisamment élevée, au moins un mobile multiplicateur intermédiaire et/ou un dispositif complexe permettant à un barillet de redonner par impulsions l'énergie mécanique accumulée sont nécessaires.

[0004] Une autre approche pour récupérer l'énergie cinétique dans une montre consiste à implémenter un rotor équipé d'aimants dans sa partie périphérique, avec des bobines fixes intégrées sur un PCB au-dessus desquelles passent les aimants du rotor. Lorsque le rotor est entraîné, une tension est alors induite dans les bobines due à la variation du flux magnétique. Un désavantage de cette approche provient du fait que le rotor tourne relativement lentement (typiquement avec une vitesse de rotation moyenne entre 1 et 5 tour/s), ce qui limite l'efficacité de la conversion d'énergie à cause des faibles tensions induites qui sont générées.

Résumé de l'invention

[0005] L'invention a pour objectif de proposer un dispositif portable muni d'une unité électronique et d'une unité d'alimentation comprenant un convertisseur électromécanique présentant un bon rendement, en particulier en fournissant une tension relativement élevée avant tout élévateur de tension éventuel.

[0006] Ainsi, l'invention concerne un objet portable comprenant une unité électronique et une unité d'alimentation électrique formée par un convertisseur électromécanique comprenant :

- un rotor susceptible d'être entraîné en rotation par des mouvements que peut subir l'objet portable, ce rotor portant au moins un premier aimant permanent ;
- un résonateur mécanique monté sur un support et muni d'une masse d'inertie susceptible d'osciller, autour d'un axe d'oscillation, à une fréquence de résonance propre à ce résonateur mécanique ; et
- un système électromagnétique formé par au moins un deuxième aimant permanent et au moins une bobine qui sont respectivement portés par la masse d'inertie, formant ainsi partiellement cette masse d'inertie, et par ledit support ou un élément solidaire de ce support et qui sont agencés de manière que, lorsque le résonateur mécanique est au repos, au moins une partie du flux magnétique généré par le deuxième aimant permanent traverse la bobine de sorte que, lorsque le résonateur mécanique est oscillant, une tension induite (U_{ind}) est générée dans cette bobine.

[0007] Le convertisseur électromécanique est agencé de manière que ledit au moins un premier aimant permanent et ledit au moins un deuxième aimant permanent puissent, lors d'un entraînement en rotation du rotor, interagir magnétiquement de sorte à appliquer à la masse d'inertie, momentanément ou par moments, un couple de force magnétique permettant d'exciter le résonateur mécanique, afin d'engendrer au moins une oscillation de ce résonateur mécanique sensiblement à sa fréquence de résonance.

[0008] Dans une variante avantageuse, la fréquence de résonance est sensiblement égale ou supérieure à dix Hertz ($F_{\text{Res}} \geq 10 \text{ Hz}$), de préférence comprise entre quinze Hertz et trente Hertz ($15 \text{ Hz} \leq F_{\text{Res}} \leq 30 \text{ Hz}$).

[0009] Dans un mode de réalisation principal, ledit au moins un premier aimant permanent et ledit au moins un deuxième aimant permanent sont situés dans un même plan général, perpendiculaire à l'axe d'oscillation du résonateur mécanique, et agencés de sorte que leur interaction magnétique est en répulsion.

[0010] Dans une variante préférée, lorsque le résonateur mécanique est au repos, le centre dudit deuxième aimant permanent et le centre de ladite bobine présentent entre eux un décalage angulaire, relativement à l'axe d'oscillation du résonateur mécanique, qui est non nul et qui correspond de préférence à un positionnement angulaire du centre du deuxième aimant permanent sensiblement à un point d'inflexion de la courbe du flux magnétique, généré par ledit au moins un deuxième aimant permanent et traversant la bobine, en fonction de la position angulaire relative entre le deuxième aimant permanent et la bobine.

Brève description des figures

[0011] L'invention sera décrite ci-après de manière plus détaillée à l'aide de dessins annexés, donnés à titre d'exemples nullement limitatifs, dans lesquels :

- Les Figures 1A à 1C montrent une première variante d'un premier mode de réalisation d'un objet portable selon l'invention, la Figure 1A étant sans le rotor et la Figure 1B étant coupée seulement partiellement;
- Les Figure 2A et 2B montrent une deuxième variante du premier mode de réalisation, la Figure 2B montrant seulement le système magnétique global prévu;
- Les Figures 3A à 3C montrent un deuxième mode de réalisation d'un objet portable selon l'invention, la Figure 3C ne présentant le résonateur mécanique que partiellement;
- Les Figures 4A à 4F montrent le fonctionnement du convertisseur électromécanique du deuxième mode de réalisation par une succession de positions instantanées du rotor tournant et du résonateur mécanique activé par ce rotor tournant;
- Les Figures 5A à 5C montrent un troisième mode de réalisation d'un objet portable selon l'invention;
- La Figure 6 est un éclaté en perspective du résonateur mécanique, du rotor et du système électromagnétique du troisième mode de réalisation ; alors que la Figure 7 représente ces parties assemblées;
- Les Figures 8A à 8H montrent le fonctionnement du convertisseur électromécanique du troisième mode de réalisation par une succession de positions instantanées du rotor tournant et du résonateur mécanique activé par ce rotor tournant;
- La Figure 9 est un schéma électrique d'une variante de réalisation d'un circuit électronique reliant les bobines du système électromagnétique, formant l'objet portable selon l'invention, à un accumulateur d'énergie électrique incorporé dans cet objet portable.

Description détaillée de l'invention

[0012] En référence aux Figures 1A à 1C, 2A et 2B, on décrira ci-après deux variantes d'un premier mode de réalisation d'un objet portable selon l'invention. Cet objet portable est une montre-bracelet 2 comprenant une unité électronique (incorporée dans le mouvement horloger 4) et une unité d'alimentation électrique. A noter que le cercle d'encageage, qui relie le mouvement horloger au boîtier de la montre, et le fond du boîtier n'ont pas été représentés dans les dessins. L'unité d'alimentation électrique est formée par un convertisseur électromécanique 6 qui transforme de l'énergie mécanique d'un rotor 8 en une énergie électrique qui est stockée dans un accumulateur électrique, lequel alimente l'unité électronique. Le rotor est susceptible d'être entraîné en rotation par des mouvements que peut subir la montre, notamment lorsqu'elle est portée au poignet d'un utilisateur.

[0013] Le convertisseur électromécanique 6 comprend :

- un rotor 8 portant au moins un premier aimant permanent, en particulier deux aimants 10 diamétralement opposés par rapport à l'axe de rotation 14 du rotor (cas de la première variante représentée) ;
- un résonateur mécanique 12 monté sur un support (le mouvement horloger 4) et muni d'une masse d'inertie 16, en forme d'anneau, qui est susceptible d'osciller, autour d'un axe d'oscillation 14 confondu avec l'axe de rotation du rotor 8, à une fréquence de résonance F_{Res} propre à ce résonateur mécanique,
- un système électromagnétique formé par au moins un deuxième aimant permanent 20 porté par la masse d'inertie 16 et formant partiellement cette dernière, en particulier par six aimants 20 (cas des deux variantes représentées), et au moins une bobine 24 portée par un PCB 22 solidaire du mouvement horloger 4, le nombre de bobines étant égal au nombre d'aimants 20 portés par la masse d'inertie dans le cas des deux variantes représentées.

[0014] De manière générale, ledit au moins un deuxième aimant permanent 20 et ladite au moins une bobine 24 sont agencés de manière que, lorsque le résonateur mécanique 12 est au repos, au moins une partie du flux magnétique généré par ledit deuxième aimant permanent traverse la bobine de sorte que, lorsque le résonateur mécanique est oscillant, une tension induite (U_{Ind}) est générée dans cette bobine.

[0015] Le convertisseur électromécanique 6 est agencé de manière que ledit au moins un premier aimant permanent et ledit au moins un deuxième aimant permanent puissent, lors d'un entraînement en rotation du rotor, interagir magnétiquement de sorte à appliquer à la masse d'inertie, momentanément ou par moments, un couple de force magnétique

permettant d'exciter le résonateur mécanique, afin d'engendrer au moins une oscillation de ce résonateur mécanique sensiblement à sa fréquence de résonance.

[0016] A noter que, dans ce texte, tous les aimants utilisés sont des aimants permanents de sorte que ces derniers seront aussi nommés chacun 'aimant'. Par 'une oscillation' on comprend un mouvement oscillatoire pendant au moins une période d'oscillation et présentant donc au moins deux alternances. On nomme 'alternance' chaque mouvement du résonateur mécanique entre deux valeurs angulaires extrêmes qui définissent son amplitude d'oscillation. Dans une variante préférée, il est prévu que ce soient au moins une paire de premiers aimants 10 et au moins une paire de deuxième aimants 20 qui interagissent magnétiquement pour appliquer à la masse d'inertie le couple de force magnétique qui sert à activer/exciter le résonateur mécanique, comme ceci sera décrit en détails par la suite en référence aux Fig. 4A-4F.

[0017] Dans une première variante, les aimants 20 et les bobines 24 sont agencés de manière que, lorsque le résonateur mécanique 12 est au repos, ces aimants et ces bobines sont respectivement alignés radialement, en projection axiale dans un plan général du résonateur mécanique, relativement à l'axe d'oscillation 14. De préférence, dans la position de repos du résonateur mécanique, chaque aimant 20 et la bobine 24 correspondante sont alignés axialement. Dans une deuxième variante préférée, lorsque le résonateur mécanique est au repos, le centre de chaque deuxième aimant 20 et le centre de la bobine respective 24 présentent entre eux un décalage angulaire non nul relativement à l'axe d'oscillation du résonateur mécanique. En particulier, le décalage angulaire prévu correspond à un positionnement angulaire du centre de chaque deuxième aimant environ à un point d'inflexion de la courbe du flux magnétique, généré par ce deuxième aimant et traversant la bobine respective, en fonction de la position angulaire relative entre ce deuxième aimant et cette bobine relativement à l'axe d'oscillation du résonateur mécanique. Cette variante préférée permet d'augmenter de manière significative la tension induite produite dans chacune des bobines, en particulier lorsque l'amplitude d'oscillation du résonateur mécanique après chaque excitation de ce dernier est relativement petite, par exemple de l'ordre du demi-angle au centre des aimants 20. A l'aide de séries de mesures ou de simulations, l'homme du métier saura déterminer, d'une part, les caractéristiques et dimensions des bobines et des deuxième aimants 20 et, d'autre part, un décalage angulaire optimal entre ces deuxième aimants et les bobines respectives pour optimiser la variation du flux magnétique dans chaque bobine de sorte que cette variation soit maximale lorsque la masse d'inertie présente une vitesse maximale, c'est-à-dire lorsque le résonateur mécanique passe par sa position neutre (position de repos), afin d'obtenir la plus grande tension induite U_{Ind} .

[0018] Le résonateur mécanique 12 est un résonateur à lames flexibles 26, ces lames flexibles portant la masse d'inertie 16 et reliant l'anneau formant cette masse d'inertie à un élément central 28 qui est fixé au support du résonateur mécanique, c'est-à-dire qui est solidaire du mouvement horloger. De manière schématique, dans la variante représentée, l'élément central est maintenu fixe par une vis centrale entre une partie saillante d'une partie centrale fixe du rotor 8 et un écrou visé sur la vis centrale. Cette variante est donnée à titre d'exemple simplifié. La personne du métier saura concevoir divers moyens pour la fixation du résonateur mécanique au mouvement horloger, de manière à assurer notamment une bonne stabilité de l'élément central 28. On notera que cet élément central peut être relié au mouvement horloger 4, ou à un autre support solidaire de ce celui-ci, de manière indépendante de la partie centrale du rotor 8.

[0019] On remarquera que le rotor 8 s'apparente à une masse de remontage d'un mouvement mécanique automatique. La partie tournante du rotor est montée sur une partie centrale fixe au moyen d'un roulement à billes. Ainsi, ce premier mode de réalisation présente l'avantage de permettre une synergie dans le cas où le mouvement horloger est du type mécanique, le rotor 8 pouvant alors servir à activer le résonateur mécanique, comme ceci sera exposé par la suite, et également à remonter simultanément un barillet du mouvement mécanique. Dans ce dernier cas, l'unité électronique qui est alimentée par l'unité d'alimentation électrique selon l'invention a une fonction autre que celle d'afficher l'heure courante. Par exemples, il s'agit d'une unité de communication par ondes lumineuses ou électromagnétiques, d'un capteur et son unité électronique de traitement de signaux captés, d'une unité de régulation électronique de la fréquence moyenne d'un balancier-spiral incorporé dans le mouvement mécanique, d'un affichage digital complémentaire, etc. On notera encore que le rotor et le résonateur mécanique sont agencés avec leur axe central respectif situé au centre du mouvement horloger. Cependant, dans une variante, ces mécanismes sont agencés de manière décentrée relativement à l'axe central du mouvement horloger.

[0020] Le convertisseur électromécanique 6 est agencé à l'arrière du mouvement horloger 4, du côté du fond de la boîte de montre 32 et donc du côté opposé au cadran 34 relativement au mouvement 4 qui est ici un mouvement électromécanique avec un affichage analogique de l'heure. Ainsi, ce mouvement comprend un moteur, notamment un moteur pas-à-pas.

[0021] Le premier mode de réalisation se caractérise notamment par le fait que le rotor 8 est monté libre en rotation sur une partie centrale qui est fixée, selon diverses variantes, soit à l'élément central fixe 28, soit directement au mouvement horloger 4 ou éventuellement à un dispositif interne qui est solidaire de cet élément central ou de ce mouvement horloger et qui est situé de l'autre côté de la masse d'inertie 16 relativement au rotor, à savoir du côté de l'affichage analogique dans le cas de la montre 2. Le rotor est configuré de manière à présenter un balourd pour favoriser sa rotation lors des mouvements que peut subir la montre. Dans la première variante, le rotor présente une partie périphérique qui s'étend sur un angle d'environ 200° et porte les deux aimants 10 dans deux cavités internes qui s'ouvrent latéralement vers l'intérieur, ces deux aimants sortant de la partie périphérique du rotor vers la masse d'inertie 16 du résonateur mécanique.

[0022] Dans le premier mode de réalisation, tout comme dans les autres modes de réalisation qui seront décrits par la suite, les premiers aimants 10 et les deuxième aimants 20 sont situés dans un même plan général qui est perpendiculaire

à l'axe central 14 définissant l'axe d'oscillation du résonateur mécanique 12 et l'axe de rotation du rotor 8, lesquels sont confondus. Cette caractéristique a pour objectif d'éviter l'apparition d'une force axiale sur la masse d'inertie du résonateur mécanique et par conséquent aussi sur le rotor. Ensuite, les premiers aimants 10 et les deuxièmes aimants 20 sont agencés de sorte que leur interaction magnétique est en répulsion. Dans une variante avantageuse, ils présentent tous des axes de magnétisation sensiblement parallèles à l'axe central 14. A noter qu'une variante avec des axes de magnétisation radiaux est envisageable. Finalement, on remarquera qu'il est prévu un nombre pair de premiers aimants 10 et également un nombre pair de deuxièmes aimants 20, chaque paire de premiers aimants et chaque paire de deuxièmes aimants étant agencées de manière diamétralement opposées relativement à l'axe central 14. Cette caractéristique a pour objectif d'éviter l'apparition d'une force globale radiale sur la masse d'inertie du résonateur mécanique et par conséquent aussi sur le rotor. Grâce à ces diverses caractéristiques, on évite, d'une part, l'apparition de forces magnétiques axiales sur la masse d'inertie 16 du résonateur mécanique 12 qui solliciteraient axialement les lames flexibles 26 et, d'autre part, l'apparition d'une force magnétique globale radiale qui contraindrait radialement ces lames flexibles. Dans le cas contraire, la masse d'inertie pourrait soit être déplacée axialement, soit radialement ou encore subir une rotation autour d'un axe perpendiculaire à l'axe central 14, ce qui serait nuisible au bon fonctionnement du convertisseur électromécanique 6 selon la présente invention. L'interaction magnétique prévue entre les premiers aimants 10 et les deuxièmes aimants 20 doit essentiellement permettre d'engendrer un couple de force magnétique sur la masse d'inertie 16 du résonateur mécanique 12.

[0023] Dans une variante non représentée, il est prévu de doubler la masse d'inertie en agencant de part et des bobines 24 une première masse d'inertie 16 et une deuxième masse d'inertie qui lui est semblable. Ainsi, chaque deuxième aimant 20 est remplacé ici par une paire de deuxième aimants ayant une même polarité et alignés axialement avec une bobine 24 située entre ces deux aimants, de préférence à même distance de chacun d'eux. Les deux aimants de chaque paire d'aimants s'attirant magnétiquement, il est avantageux, voire nécessaire, que les deux aimants de chacune des paires de deuxièmes aimants soient assemblés rigidement. Dans cette variante, les premiers aimants 10 sont avantageusement situés dans un plan général dans lequel sont situées les bobines 24. Dans une autre variante non représentée, les premiers aimants 10 portés par le rotor sont doublés de manière à avoir des paires de premiers aimants de même polarité remplaçant chaque premier aimant 10 des deux variantes représentées. On remarquera que cette dernière variante permet un agencement axial des paires de premiers aimants avec les deuxièmes aimants, c'est-à-dire que les premiers aimants et les deuxièmes aimants présentent sensiblement un même rayon à l'axe central, définissant l'axe d'oscillation du résonateur mécanique et l'axe de rotation du rotor, sans qu'une force magnétique axiale s'exerce sur la masse d'inertie. Dans une variante combinant les deux variantes non représentées décrites ici, on a des paires de premiers aimants et des paires de deuxièmes aimants. Dans un premier cas, toutes ces paires d'aimants sont situées dans deux plans généraux situés respectivement des deux côtés du plan général des bobines 24. Dans un deuxième cas, un agencement axial des paires de premiers aimants avec les paires de deuxièmes aimants est prévu.

[0024] Dans une variante avantageuse, la fréquence de résonance F_{Res} est sensiblement égale ou supérieure à dix Hertz ($F_{Res} \geq 10$ Hz). Dans une variante préférée, la fréquence de résonance F_{Res} est comprise entre quinze Hertz et trente Hertz ($15 \text{ Hz} \leq F_{Res} \leq 30 \text{ Hz}$). Alors que le rotor tourne généralement à une fréquence de l'ordre de grandeur de 1 Hz (soit 1 à 5 tours par seconde), le résonateur mécanique oscille à relativement haute fréquence et transforme de l'énergie cinétique du rotor en énergie mécanique d'oscillation, de préférence via un couplage aimant-aimant en répulsion magnétique. Comme chaque bobine est associée à un aimant du résonateur mécanique, le nombre d'impulsions sinusoïdales générées dans chaque bobine est égal au double de la fréquence de résonance F_{Res} tant que le résonateur mécanique oscille librement. En agencant le convertisseur électromécanique de sorte que le résonateur mécanique reste activé approximativement de manière continue lorsque le rotor tourne sensiblement à vitesse constante dans une plage de vitesses usuelles, on peut obtenir un grand nombre d'impulsions sinusoïdales de tension induite à chaque tour du rotor et ainsi convertir de manière efficace une certaine partie de l'énergie cinétique du rotor en énergie électrique qui est apportée dans un accumulateur électrique d'alimentation.

[0025] Aux Figures 2A et 2B est montrée une deuxième variante de réalisation d'une montre-bracelet 2A selon le premier mode de réalisation. Le résonateur mécanique est identique à celui de la première variante. Cette deuxième variante se distingue de la première variante par le fait que le rotor 8A porte six aimants 10, c'est-à-dire le même nombre que celui des aimants 20 qui sont portés par la masse d'inertie 16. Comme les six aimants 10 sont régulièrement répartis le long de la partie périphérique 38 du rotor, cette partie périphérique s'étend sur un tour complet (360°). La partie périphérique forme ainsi une partie annulaire qui entoure latéralement la masse d'inertie 16 du résonateur mécanique. Afin de conserver un balourd au rotor, trois ouvertures 36 sont usinées dans le plateau du rotor. Etant donné que les six aimants de la masse d'inertie sont répartis régulièrement, chaque aimant 10 présente un couplage magnétique identique avec les aimants 20 de sorte que les couples de force engendrés entre chacun des aimants 10 et les aimants 20 s'additionnent. La Figure 2B montre le système magnétique global prévu selon l'invention, à savoir les aimants 10 portés par le rotor et servant à l'activation du résonateur mécanique, les aimants 20 portés par la masse d'inertie oscillante 16 du résonateur mécanique, et les bobines 24 montées sur un PCB 22 de manière à être en face des aimants 20 lorsque le résonateur mécanique passe par sa position de repos.

[0026] Dans une variante spécifique, les lames flexibles 26 du résonateur mécanique sont constituées d'un matériau piézoélectrique et revêtues chacune de deux électrodes au travers desquelles un courant électrique est généré lorsque

le résonateur mécanique est activé, ce courant électrique étant aussi fourni à un accumulateur que comprend l'unité d'alimentation électrique de la montre 2 ou 2A.

[0027] Un deuxième mode de réalisation d'une montre 42 comprenant un convertisseur électromécanique 6A selon l'invention est représentée au Figures 3A à 3C. Ce deuxième mode réalisation se distingue du premier mode de réalisation substantiellement par l'agencement du rotor 44 et par l'agencement du résonateur mécanique 12A. Le résonateur mécanique comprend une masse d'inertie 46 et une structure résonnante 48 montée sur une partie saillante 4A du mouvement horloger 4. La masse d'inertie définit une roue qui est formée d'un anneau externe, semblable à celui prévu dans le premier mode de réalisation et portant quatre aimants 20 répartis régulièrement, d'une partie centrale et de bras radiaux qui relient l'anneau externe à cette partie centrale. La partie centrale est reliée solidement à une partie oscillante de la structure résonnante 48 à lames flexibles qui est située dans un plan général inférieur à celui de la masse d'inertie. La structure résonnante est d'un type qui est décrit dans la demande de brevet EP 3 206 089. Selon deux variantes particulières, les bras radiaux de la masse d'inertie sont respectivement rigides et semi-rigides. La variante semirigide permet d'absorber de brusques accélérations de la masse d'inertie provenant notamment de chocs que peut subir la montre. Quatre bobines 24 sont agencées sur un PCB 22 de manière à présenter un décalage angulaire avec les quatre aimants correspondant 20 lorsque le résonateur mécanique 6A est dans sa position angulaire de repos, selon une variante avantageuse qui a été exposée dans le cadre du premier mode de réalisation.

[0028] Le rotor 44 est monté libre en rotation sur une structure fixe de l'objet portable, avantageusement sur la carrure du boîtier 32 de la montre comme dans la variante représentée ou de préférence sur un cercle d'encagement du mouvement horloger 4, au moyen d'un roulement à billes 50. Pour libérer la zone centrale du rotor sous laquelle est située la structure résonnante 48, une bague interne 51 du roulement à billes 50 est avantageusement formée par le rotor ou solidaire de ce rotor, alors qu'une bague externe 52 de ce roulement est formée par ladite structure fixe ou solidaire de cette structure fixe. Dans la variante représentée, le chemin de roulement de la bague interne 51 est formé par une surface latérale externe du rotor 44. De préférence, comme dans la variante représentée, le roulement à billes 50 est situé à la périphérie du rotor 44.

[0029] Dans la variante spécifique représentée, le rotor 44 est formé par une partie annulaire portant quatre aimants 10A et il est agencé dans un même plan général que la masse d'inertie 46 du résonateur mécanique et que le roulement à billes 50. Ainsi, le rotor et le résonateur mécanique sont avantageusement coplanaire pour limiter l'augmentation d'épaisseur du boîtier 32 de la montre 42 engendrée par l'agencement du convertisseur électromécanique selon l'invention dans cette montre. De plus, cet ensemble est aussi prévu ici coplanaire avec le roulement à billes. Dans une variante, le roulement à billes est agencé sous la partie annulaire du rotor, du côté du mouvement horloger 4. Les aimants 10A du rotor sont au même nombre que celui des aimants 20 de la masse d'inertie 46 du résonateur mécanique 12A. Les aimants 10A et 20 sont avantageusement agencés dans un même plan général. Dans la variante représentée, ces aimants sont insérés dans des ouvertures respectives de la partie annulaire du rotor et de la masse d'inertie, de sorte qu'ils sont agencés dans le plan général dans lequel s'étendent cette partie annulaire et cette masse d'inertie. Comme dans le premier mode de réalisation décrit précédemment, les aimants 10A et 20 présentent des axes de magnétisation axiaux et une interaction magnétique en répulsion. Les aimants 10A, respectivement 20 sont agencés par paires diamétralement opposées. Ainsi, la masse d'inertie subit seulement un couple de force magnétique dans le plan général dans lequel sont agencés les aimants 10A et 20 (en d'autres termes, le vecteur de ce couple magnétique est axial, confondu avec l'axe d'oscillation 14 du résonateur mécanique 12A). On remarquera encore que la partie annulaire du rotor 44 présente deux ouvertures permettant d'engendrer un balourd.

[0030] En référence aux Figures 4A à 4F, on décrira plus précisément le fonctionnement du convertisseur électromécanique du deuxième mode de réalisation et plus particulièrement l'activation du résonateur mécanique 12A par le rotor 44. Sur ces figures, le rotor est représenté seulement par les aimants 10A. Dans l'exemple particulier traité ici, il est prévu que le rotor tourne dans le sens antihoraire à vitesse sensiblement continue d'un tour par seconde (1 Hz). On notera que le convertisseur électromécanique du premier mode de réalisation fonctionne de manière semblable au convertisseur électromécanique du deuxième mode de réalisation.

[0031] A la Figure 4A, le rotor est sensiblement immobile et le résonateur mécanique 12A est à l'arrêt dans sa position de repos. Depuis cette position initiale du convertisseur électromécanique, le rotor avec ses aimants 10A tournent dans le sens antihoraire à vitesse sensiblement constante, après une accélération initiale provenant par exemple d'un mouvement brusque du bras d'un utilisateur de la montre 42. A la Figure 4B, les quatre aimants 10A du rotor se sont rapprochés des quatre aimants 20 du résonateur mécanique. Une interaction magnétique intervient entre chaque aimant 10A et un aimant 20 correspondant. Une force de répulsion magnétique F_{RM} s'exerce alors sur chacun des aimants 20 et un premier couplage magnétique fort intervient. On remarquera que les composantes radiales des quatre forces F_{RM} s'annulent par paire d'aimants diamétralement opposés, alors que les composantes tangentielles de ces forces F_{RM} s'additionnent et engendrent un couple de force magnétique appliqué à la masse d'inertie 46 du résonateur mécanique, ce couple de force magnétique entraînant en rotation la masse d'inertie 46 de sorte que les aimants 20 portés par cette masse d'inertie subissent un déplacement angulaire en s'écartant de la position de repos du résonateur mécanique, comme ceci est rendu visible par les cercles en trait interrompu indiquant, aux Figures 4B à 4F, la position angulaire de repos des aimants 20 et également la position angulaire de chacune des quatre bobines 24 du convertisseur électromécanique 6A. La force de répulsion magnétique F_{RM} augmente encore en intensité lorsque les aimants 10A s'approchent encore plus des aimants 20 respectifs, mais c'est principalement la composante radiale qui grandit de sorte que le couple de force magnétique

s'exerçant sur la masse d'inertie passe par un maximum pour une position angulaire relative des aimants 10A et des aimants 20 qui est représentée à la Figure 4C.

[0032] Une fois le couple de rappel élastique du résonateur mécanique égal au couple de force magnétique et dans la mesure où ce dernier croît plus fortement que le couple de force magnétique dans le cas où ce dernier continuerait d'augmenter, une oscillation du résonateur mécanique débute grâce au couple de rappel élastique du résonateur mécanique qui entraîne la masse d'inertie dans le sens contraire à celui du rotor, comme ceci est montré à la Figure 4D. Ce qui est remarquable dans le couplage magnétique entre le rotor et la masse d'inertie du résonateur mécanique provient du fait que non seulement il exerce un couple de force magnétique initial dans le sens de rotation du rotor, générant un mouvement initial de la masse d'inertie permettant de l'écarter de sa position de repos pour ensuite permettre une oscillation à la fréquence de résonance, mais ce couplage magnétique exerce ensuite, dès que les aimants 10A dépassent angulairement les aimants 20 correspondants auxquels ils sont substantiellement couplés lors dudit mouvement initial, un couple de force magnétique de sens opposé qui donne de l'énergie à la masse d'inertie dans la première alternance de son oscillation suivant le dépassement angulaire susmentionné et qui permet d'amplifier l'oscillation de la masse d'inertie à la fréquence de résonance F_{Res} . Aux Figures 4E et 4F sont représentées deux positions instantanées du convertisseur électromécanique aux cours de deux alternances succédant à la première alternance représentée à la Figure 4D. Ainsi, étant donné la fréquence de résonance F_{Res} relativement élevée, soit par exemple 20 Hz dans l'exemple traité, plusieurs alternances peuvent intervenir sensiblement à cette fréquence de résonance avant que les aimants 10A du rotor ne soient à nouveau couplés fortement avec les aimants 20 de la masse d'inertie, chaque aimant 10A étant alors substantiellement couplé magnétiquement avec un aimant 20 suivant (dans le sens de rotation du rotor) de la masse d'inertie lors de ce nouveau couplage magnétique fort.

[0033] Le nouveau couplage magnétique fort peut engendrer diverses variantes d'interaction magnétique et agir ainsi selon divers scénarios sur le résonateur mécanique. Ces divers scénarios dépendent notamment du fait que le résonateur mécanique tourne dans le même sens de rotation que le rotor lors du début d'un nouveau couplage magnétique fort ou, au contraire, que les rotations respectives du rotor et du résonateur mécanique soient alors de sens opposés. Dans le premier cas, le nouveau couplage magnétique fort servira à entretenir la première oscillation générée lors du premier couple magnétique fort. Dans le second cas, dans un premier temps, le nouveau couplage magnétique fort freine la masse d'inertie et amortit donc substantiellement la première oscillation, puis dans un second temps engendre une deuxième oscillation, principalement par le couple de force magnétique de sens opposé à celui du rotor qui intervient après que les aimants du rotor aient dépassé angulairement ceux de la masse d'inertie. On remarquera que du fait que la fréquence de résonance est relativement élevée, le second cas est prédominant. Par ailleurs, même si le premier cas peut être prédominant dans certaines situations, la masse d'inertie passe souvent par un court temps d'arrêt ou de quasi immobilité (pas nécessairement à la position de repos, car aussi possible dans d'autres positions angulaires et notamment proche d'une position angulaire extrême du résonateur mécanique oscillant) engendrant un déphasage temporel dans le mouvement oscillatoire du résonateur mécanique. Ainsi, la distinction entre oscillation entretenue et succession d'oscillations n'est pas nette. Lorsque le résonateur mécanique s'arrête un certain intervalle de temps dans sa position de repos, on peut parler de deux oscillations successives, et dans le cas contraire on peut parler alors de l'entretien d'une oscillation en cours, souvent avec l'introduction d'un déphasage temporel. Quoiqu'il en soit, on peut observer entre les couplages magnétiques forts successifs une pluralité d'oscillations momentanées successives sensiblement à la fréquence de résonance F_{Res} .

[0034] Dans une variante principale, le convertisseur électromécanique est agencé de sorte que le couple de force magnétique appliqué à la masse d'inertie par le rotor permet d'engendrer, au cours d'un entraînement en rotation du rotor sur une distance angulaire supérieure à l'angle au centre entre deux aimants adjacents 20 du résonateur mécanique, une pluralité d'oscillations momentanées successives, à la fréquence de résonance F_{Res} et avec une amplitude sensiblement égale ou supérieure à une amplitude minimale pour laquelle la tension induite dans chaque bobine du système magnétique, associé au résonateur mécanique, est sensiblement égale à une tension de seuil prédéterminée, cette pluralité d'oscillations momentanées successives intervenant suite à une pluralité d'entraînements en rotation momentanés respectifs de la masse d'inertie du résonateur mécanique par le rotor permettant d'engendrer respectivement la pluralité d'oscillations momentanées successives.

[0035] A titre d'exemple, chaque bobine 24 présente un diamètre de 4 mm, une hauteur de 0.4 mm, 2300 tours et une résistance de 2.6 k Ω . Chaque bobine est agencée fixement à une distance axiale de 0.1 à 0.2 mm sous les aimants respectifs 20 du résonateur mécanique, lesquels sont choisis avec une forte aimantation rémanente et présentent un diamètre environ identique à celui des bobines. En sélectionnant un résonateur mécanique ayant une fréquence de résonance F_{Res} environ égale à 20 Hz et présentant une amplitude moyenne entre 7° et 10° lorsqu'il est activé par le rotor tournant avec une fréquence angulaire usuelle, le système magnétique décrit ici, associé au résonateur mécanique, peut générer une puissance moyenne de l'ordre de 2 μ W par bobine sur une charge adaptée en impédance et une tension induite moyenne de l'ordre de 100 mV par bobine. A noter que des performances supérieures sont envisageables.

[0036] La Figure 9 est un schéma électrique d'une variante de réalisation d'un circuit électronique du convertisseur électromécanique reliant les bobines, référencées 24*, du système électromagnétique à un accumulateur d'énergie électrique 98 incorporé dans l'objet portable selon l'invention. L'ensemble des bobines, généralement d'un nombre pair et connectées en parallèle ou en série, sont reliées à un redresseur 94 auquel cet ensemble fournit une tension induite U_{Ind} . Le signal

de tension induite est ensuite fourni à un filtre de lissage 95 et à un élévateur de tension 96 (lesquels sont facultatifs) pour générer une tension de recharge U_{Rec} de l'accumulateur 98. L'accumulateur fournit une tension d'alimentation U_{Al} à une charge 100 incorporée dans l'objet portable considéré. D'autres unités électroniques spécifiques peuvent être prévues, notamment pour garantir une valeur de la tension d'alimentation U_{Al} dans une plage utile et pour assurer une certaine stabilité de cette tension. Un interrupteur Sw est prévu pour pouvoir activer ou non l'alimentation de la charge, selon la demande et/ou d'autres paramètres électriques, notamment le niveau de tension de l'accumulateur 98.

[0037] En référence aux Figures 5A à 8H, on décrira encore un troisième mode de réalisation d'une montre-bracelet 62 munie d'un convertisseur électromécanique 6B selon l'invention. Plusieurs éléments semblables ou similaires à ceux déjà décrits précédemment ne seront pas à nouveau décrits ici en détails. On remarquera que le résonateur mécanique 12B est essentiellement identique au résonateur mécanique 12A déjà décrit. Son fonctionnement est semblable. Seul le profil externe de la masse d'inertie 16B est différente, en lien avec le caractère spécifique de ce troisième mode de réalisation qui se distingue du mode précédent essentiellement par l'agencement du rotor 66 permettant une plus grande efficacité pour activer le résonateur mécanique 12B, et par la fixation du rotor directement au boîtier 32A étant donné la présence de la structure résonnante 48 située au centre du résonateur mécanique. Cette fixation du rotor au fond du boîtier constitue une alternative au système proposé dans le cadre du deuxième mode de réalisation, système qui peut aussi être prévu ici à titre de variante.

[0038] Le mouvement horloger 4 porte sur sa partie saillante arrière 4A, insérée dans une ouverture du PCB 22 portant quatre bobines 24, la structure résonnante 48 dont la partie 48A est fixée à cette partie saillante arrière. La structure résonnante comprend en outre une partie oscillante 48B qui est reliée à la partie fixe 48A par un système à lames flexibles situées dans un même plan général et définissant un axe d'oscillation pour cette partie oscillante et pour la masse d'inertie 16B qui est fixée à cette dernière via un plot venant s'insérer dans un trou correspondant agencé dans un élément central 18 de cette masse d'inertie. La masse d'inertie 16B porte dans sa partie périphérique quatre aimants circulaires 20 qui sont insérés dans des trous de quatre parties saillantes respectives entre lesquelles sont prévus quatre zones angulaires libres 78 débouchant latéralement sur l'espace extérieur à la masse d'inertie et s'étendant radialement jusqu'à un rayon correspondant à celui d'un cercle géométrique dans lequel la masse d'inertie 16B est inscrite. Le rotor 64 est formé de trois parties, une partie centrale fixe 71, un demi-disque 70 présentant une partie périphérique plus massive, et une structure annulaire 72 qui est fixée rigidement à cette partie périphérique. Le demi-disque 70 est monté libre en rotation sur la partie centrale 71 au moyen d'un roulement à billes.

[0039] Dans la variante représentée pour le troisième mode de réalisation, il est prévu que la partie centrale 71 soit fixée au fond 66 du boîtier 32A par une vis 68. D'autres moyens de fixation peuvent être envisagés, notamment un soudage ou un collage. Ainsi, le rotor 64 est monté du côté intérieur du fond 66 avant l'assemblage de cet ensemble avec la carrure du boîtier. Selon une caractéristique principale de ce troisième mode de réalisation, la structure annulaire 72 porte quatre aimants 10B de manière à permettre à ceux-ci de subir un mouvement élastique radial pour pouvoir s'escamoter lorsque ces aimants arrivent dans des zones angulaires occupées respectivement par les aimants 20 de la masse d'inertie, ces zones angulaires occupées séparant les zones angulaires libres 78. En effet, pour une raison qui sera exposée par la suite plus en détails à l'aide des Figures 8A à 8H, les aimants 10B sont agencés de manière que, dans une position neutre dans laquelle ils ne sont soumis à aucune force élastique radiale, ils pénètrent au moins partiellement dans les zones angulaires libres 78. Il est cependant prévu que les aimants 10B présentent un rayon à l'axe central qui est supérieur au rayon à cet axe central des aimants 20 du résonateur mécanique, afin de permettre le fonctionnement prévu pour ce troisième mode de réalisation exposé par la suite.

[0040] Dans la variante avantageuse représentée, les aimants cylindriques 10B sont insérés dans des anneaux fixés aux extrémités libres de lames flexibles 74 respectives. Chaque lame flexible 74 présente un axe longitudinal en arc de cercle centré sur l'axe de rotation du rotor 64 qui est confondu avec l'axe d'oscillation de la masse d'inertie. Ainsi, chaque lame flexible présente une grande flexibilité selon la direction radiale mais une relativement grande rigidité selon la direction angulaire / tangentielle. Les lames flexibles ont avantageusement une hauteur supérieure à leur largeur, de sorte à présenter une rigidité axiale suffisante pour rester dans le plan général des aimants 20 du résonateur mécanique également lors des interactions entre les aimants 10B et 20 qui peuvent générer une certaine force magnétique axiale étant donné les tolérances de fabrication. Des cavités 76 sont prévues dans la structure annulaire pour permettre à chaque premier ensemble, formé d'un aimant 10B et de l'anneau de fixation à la lame flexible 74, de subir un mouvement radial sur une distance suffisante pour contourner chaque deuxième ensemble, formé d'un aimant 20 et de la partie saillante de la masse d'inertie servant à la fixation de cet aimant, lorsque le rotor subit une rotation.

[0041] De manière générale, chaque aimant de la masse d'inertie est agencé de manière à faire saillie de cette masse d'inertie, de sorte que la masse d'inertie présente une première et une seconde zones angulaires libres, respectivement des deux côtés de cet aimant, dans lesquelles peut se mouvoir chaque aimant du rotor. Ensuite, chaque aimant du rotor est agencé de manière à pouvoir subir un mouvement élastique radial relativement à l'axe d'oscillation du résonateur mécanique, sous l'action d'une force magnétique radiale qui est engendrée par l'interaction en répulsion magnétique avec un aimant de la masse d'inertie, lorsque cet aimant du rotor est situé à proximité de l'aimant concerné de la masse d'inertie. De préférence, la position d'énergie mécanique minimale de chaque premier aimant du rotor, considérée en son centre relativement à l'axe de rotation du rotor, correspond à une position radiale de ce premier aimant située dans une plage de positions radiales, relativement à l'axe de rotation du rotor qui est confondu avec l'axe d'oscillation de la

masse d'inertie, correspondant aux zones angulaires libres situées entre les deuxièmes aimants de la masse d'inertie. Le mouvement élastique radial de chaque premier aimant du rotor est prévu de sorte que ce premier aimant peut s'escamoter suffisamment, lorsqu'il passe par la position angulaire d'un deuxième aimant du résonateur mécanique, pour pouvoir passer de la première zone angulaire libre à la seconde zone angulaire libre relatives à ce deuxième aimant. Dans une variante avantageuse, chaque premier aimant du rotor est fixé à l'extrémité d'une lame élastique correspondante qui est agencée de manière à présenter un axe longitudinal principalement tangentiel et une capacité de déformation élastique essentiellement selon une direction radiale, relativement à l'axe d'oscillation du résonateur mécanique.

[0042] Dans une variante préférée, le mouvement élastique radial de chacun des premiers aimants du rotor, sous l'action de la force magnétique radiale, est prévu avec une amplitude suffisante pour éviter un choc entre le rotor et la masse d'inertie du résonateur mécanique lors du passage d'un premier aimant par la position angulaire d'un deuxième aimant. De plus, les zones angulaires libres 78, séparant les zones angulaires occupées par les deuxièmes aimants de la masse d'inertie, sont prévues de sorte que les premiers aimants du rotor ne viennent pas buter contre la masse d'inertie suite à un passage de ces premiers aimants par les positions angulaires respectives des deuxièmes aimants, pour ne pas perturber le mouvement oscillatoire de la masse d'inertie à la fréquence de résonance F_{Res} suivant ce passage.

[0043] En référence aux Figures 8A à 8H qui montrent une coupe du rotor, au niveau du plan général dans lequel sont agencés les aimants 10B et 20, et seulement les quatre aimants 20 (dont l'un présente une position angulaire variable β) pour le résonateur mécanique 12B, on décrira une succession d'états instantanés du convertisseur électromécanique 6B lors de son fonctionnement. On considère un cas particulier où le rotor 64 tourne sensiblement à vitesse constante dans le sens horaire. A la Figure 8A, les aimants 10B du rotor (dont l'un présente une position angulaire α), portés par les lames flexibles respectives 74, se sont approchés suffisamment des aimants 20 du résonateur mécanique (distance angulaire variable θ entre les aimants du rotor et les aimants correspondants du résonateur mécanique) pour que la force de répulsion magnétique F_{RM} entre eux soit significative et suffisante pour entraîner en rotation la masse d'inertie 16B (représentée ici que par les quatre aimants 20). Déjà à la Figure 8A on comprend le bénéfice de l'agencement particulier du rotor et du résonateur mécanique dans le troisième mode de réalisation de l'invention. La force F_{RM} est essentiellement tangentielle, ce qui a pour conséquence que sensiblement l'entier de cette force F_{RM} participe au couple de force magnétique appliqué à la masse d'inertie. En continuant sa rotation, le rotor entraîne la masse d'inertie avec une force F_{RM} dont l'intensité augmente étant donné la diminution des distances entre les premiers aimants 10B et les deuxièmes aimants correspondants 20. Grâce à la présence des zones angulaires libres 78 décrites précédemment et la position radiale neutre prévue pour chaque aimant 10B du rotor, alors que l'intensité de la force F_{RM} augmente fortement, la force F_{RM} reste substantiellement tangentielle dans la position relative de l'instantané représenté à la Figure 8B. Ainsi, un couple magnétique de relativement grande intensité est appliqué à la masse d'inertie du résonateur mécanique.

[0044] Le rotor continuant de tourner dans le sens horaire, la composante radiale de la force F_{RM} a une valeur qui devient relativement importante, cette composante radiale agissant sur chaque aimant 10B de sorte que chaque aimant 10B commence à subir un mouvement élastique radial vers l'extérieur grâce à la lame flexible qui le porte. Les aimants 10B s'écartent de leur trajectoire circulaire de manière à s'escamoter au passage de ces aimants par les positions angulaires respectives des aimants 20 de la masse d'inertie, comme représenté dans l'instantané de la Figure 8C. Alors que les aimants 10B du rotor contournent les aimants 20 du résonateur mécanique sous l'action de la composante radiale de la force de répulsion magnétique (nommée aussi 'force magnétique radiale'), la masse d'inertie atteint une position d'équilibre des forces tangentielles (force magnétique tangentielle et force élastique de rappel du résonateur mécanique) et se trouve ainsi à une position angulaire extrême (avec une vitesse angulaire nulle) correspondant à l'instantané de la Figure 8C. Ainsi, le résonateur mécanique est excité / activé par le rotor tournant et il commence à osciller sensiblement à sa fréquence de résonance F_{Res} depuis cette position angulaire extrême qui détermine une amplitude initiale pour cette oscillation.

[0045] A la Figure 8D, alors que les aimants 10B et 20 sont sensiblement alignés radialement, la masse d'inertie a commencé une première alternance dans le sens de rotation opposé à celui du rotor. Ensuite, chaque aimant 10B ayant dépassé l'aimant 20 auquel il est momentanément associé lors de cette activation / excitation du résonateur mécanique, la force de répulsion magnétique entre eux entraîne momentanément la masse d'inertie dans le sens antihoraire de sa première alternance, ce qui fournit encore un supplément d'énergie à cette masse d'inertie et participe à l'activation / l'excitation du résonateur mécanique. La Figure 8E montre l'instant de la fin de la première alternance. Comme la fréquence de résonance F_{Res} est prévue relativement haute, lors de l'alternance suivante, les aimants 20 de la masse d'inertie tournent dans le sens horaire et se rapprochent à nouveau des aimants 10B du rotor, comme on l'observe à la Figure 8F qui montre la masse d'inertie à nouveau dans une position angulaire extrême, bien que ces aimants 10B du rotor continuent de tourner dans le sens horaire mais à vitesse moindre que la vitesse moyenne des aimants 20 de la masse d'inertie. On remarque que la force de répulsion magnétique F_{RM} freine le résonateur mécanique et diminue ainsi son amplitude pour cette deuxième alternance. Toutefois, comme la force magnétique est une force conservative, l'énergie de freinage est redonnée en majeure partie au résonateur mécanique lors de l'alternance suivante. La Figure 8G montre sensiblement l'instant de la fin de cette alternance suivante. Ensuite, dans le cas spécifique considéré, le résonateur mécanique oscille encore librement durant deux à trois périodes d'oscillation avant de se trouver à nouveau dans une situation semblable à celle de la Figure 8B où un couplage magnétique fort intervient à nouveau entre le rotor et la masse d'inertie du résonateur mécanique, de sorte à entretenir le mouvement d'oscillation de ce dernier ou engendrer une nouvelle oscillation du résonateur mécanique. La Figure 8H montre encore un instantané à la fin de l'alternance suivant l'instantané de la Figure

8G, ces deux figures indiquant la zone angulaire d'oscillation libre du résonateur mécanique. Comme déjà exposé, lorsque les aimants 20 de la masse d'inertie se rapprochent des aimants 10B du rotor, la masse d'inertie subit généralement un freinage magnétique qui peut arrêter momentanément l'oscillation en cours, lors du passage des aimants du rotor par les positions angulaires respectives des aimants du résonateur mécanique. Ainsi, on observe que des oscillations successives du résonateur mécanique sont substantiellement engendrées par le rotor tournant via la force magnétique F_{RM} lorsqu'elle agit dans le sens contraire au sens de rotation du rotor, soit après que les aimants 10B du rotor aient passé, en s'escamotant, les aimants 20 de la masse d'inertie, c'est-à-dire dans des intervalles de temps suivant l'état instantané donné à la Figure 8D.

[0046] Bien que la constante élastique radiale de chaque structure élastique, formée d'un aimant 10B et de la lame flexible 74 qui le porte, est sélectionnée de manière qu'elle soit suffisamment petite pour que les forces magnétiques radiales puissent déplacer les aimants 10B hors de la zone circulaire balayée par la masse d'inertie, notamment par les aimants 20 et leurs cerclages respectifs lors du passage de ces aimants 10B par les positions angulaires des aimants 20, il est prévu que cette constante élastique radiale soit toutefois suffisamment grande pour que la fréquence d'oscillation radiale de chaque structure élastique susmentionnée soit plus élevée que la fréquence de résonance F_{Res} du résonateur mécanique. Par exemple, si la fréquence de résonance F_{Res} est égale à 20 Hz, il est avantageux que la fréquence d'oscillation radiale de chaque structure élastique du rotor soit au moins égale au double de F_{Res} , mais de préférence quatre à cinq fois plus grande, en particulier égale à environ 100 Hz. Ceci garantit que la réponse mécanique de chaque structure élastique du rotor est plus rapide que la réponse mécanique du résonateur mécanique. Ainsi, les aimants 10B du rotor sont déplacés suffisamment rapidement lors du passage de ces aimants par les positions angulaires des aimants 20 de sorte à éviter des collisions qui perturberaient le fonctionnement du système prévu.

Revendications

- Objet portable (2; 2A; 42; 62) comprenant une unité électronique et une unité d'alimentation électrique formée par un convertisseur électromécanique (6; 6A; 6B), caractérisé en ce que le convertisseur électromécanique comprend :
 - un rotor (8; 8A; 44; 64) susceptible d'être entraîné en rotation par des mouvements que peut subir l'objet portable, ce rotor portant au moins un premier aimant permanent (10; 10A; 10B) ;
 - un résonateur mécanique (12; 12A; 12B) monté sur un support (4) et muni d'une masse d'inertie (16; 46; 16B) susceptible d'osciller, autour d'un axe d'oscillation (14), à une fréquence de résonance (F_{Res}) propre à ce résonateur mécanique ; et
 - un système électromagnétique formé par au moins un deuxième aimant permanent (20) et au moins une bobine (24) qui sont respectivement portés par la masse d'inertie et par ledit support ou un élément solidaire de ce support et qui sont agencés de manière que, lorsque le résonateur mécanique est au repos, au moins une partie du flux magnétique généré par le deuxième aimant permanent traverse la bobine de sorte que, lorsque le résonateur mécanique est oscillant, une tension induite (U_{ind}) est générée dans cette bobine ;
 le convertisseur électromécanique étant agencé de manière que ledit au moins un premier aimant permanent et ledit au moins un deuxième aimant permanent puissent, lors d'un entraînement en rotation du rotor, interagir magnétiquement de sorte à appliquer à la masse d'inertie, momentanément ou par moments, un couple de force magnétique permettant d'exciter le résonateur mécanique, afin d'engendrer au moins une oscillation de ce résonateur mécanique sensiblement à sa fréquence de résonance.
- Objet portable selon la revendication 1, caractérisé en ce que le convertisseur électromécanique (6; 6A; 6B) est agencé de sorte que ledit couple de force magnétique appliqué à la masse d'inertie (16; 46; 16B) permet d'engendrer, au cours dudit entraînement en rotation du rotor, une pluralité d'oscillations momentanées successives, à ladite fréquence de résonance et avec une amplitude sensiblement égale ou supérieure à une amplitude minimale pour laquelle ladite tension induite est sensiblement égale à une tension de seuil prédéterminée, cette pluralité d'oscillations momentanées successives intervenant respectivement suite à une pluralité d'excitations successives du résonateur mécanique par le rotor tournant.
- Objet portable selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que, lorsque le résonateur mécanique est au repos, le centre dudit deuxième aimant permanent (20) et le centre de ladite bobine (24) présentent entre eux un décalage angulaire non nul relativement audit axe d'oscillation (14), de préférence un décalage angulaire qui correspond à un positionnement angulaire du centre du deuxième aimant permanent sensiblement à un point d'inflexion de la courbe du flux magnétique, généré par ledit au moins un deuxième aimant permanent et traversant ladite bobine, en fonction de la position angulaire relative entre ledit deuxième aimant permanent et cette bobine relativement audit axe d'oscillation.
- Objet portable selon une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit résonateur mécanique (12; 12A; 12B) est un résonateur à lames flexibles (26; 48).
- Objet portable selon la revendication 4, caractérisé en ce que les lames flexibles sont constituées d'un matériau piézoélectrique et revêtues chacune de deux électrodes au travers desquelles un courant électrique est généré lorsque le résonateur mécanique est activé, ce courant électrique étant fourni à un accumulateur que comprend l'unité d'alimentation électrique.

6. Objet portable selon une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit au moins un premier aimant permanent (10; 10A; 10B) et ledit au moins un deuxième aimant permanent (20) sont agencés de sorte que leur interaction magnétique est en répulsion.
7. Objet portable selon la revendication 6, caractérisé en ce que ledit au moins un premier aimant permanent (10; 10A; 10B) et ledit au moins un deuxième aimant permanent (20) sont situés dans un même plan général perpendiculaire audit axe d'oscillation du résonateur mécanique.
8. Objet portable selon la revendication 7, caractérisé en ce que ledit au moins un premier aimant permanent (10; 10A; 10B) et ledit au moins un deuxième aimant permanent (20) présentent des axes de magnétisation sensiblement parallèles audit axe d'oscillation (14).
9. Objet portable selon une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite fréquence de résonance est sensiblement égale ou supérieure à dix Hertz ($F_{Res} \geq 10 \text{ Hz}$), de préférence comprise entre quinze Hertz et trente Hertz ($15 \text{ Hz} \leq F_{Res} \leq 30 \text{ Hz}$).
10. Objet portable selon une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite masse d'inertie (16) du résonateur mécanique (12) est formée par un anneau supportant ledit au moins un deuxième aimant permanent (20).
11. Objet portable (2; 2A) selon la revendication 10 dépendante de la revendication 3, caractérisé en ce que les lames flexibles (26) relient ledit anneau à un élément central (28) qui est fixé audit support (4) du résonateur mécanique ; et en ce que ledit rotor (8) est monté libre en rotation sur une partie centrale qui est fixée audit élément central, audit support ou à un dispositif interne qui est solidaire de cet élément central ou de ce support et situé de l'autre côté de la masse d'inertie (16) relativement au rotor.
12. Objet portable (42) selon une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que ledit rotor est monté libre en rotation sur une structure fixe (32) de l'objet portable (42) au moyen d'un roulement à billes ou à rouleaux (50), une bague interne (51) dudit roulement étant formée par le rotor (44) ou solidaire de ce rotor, alors qu'une bague externe (52) de ce roulement est formée par ladite structure fixe ou solidaire de cette structure fixe (32).
13. Objet portable selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'un chemin de roulement de ladite bague interne (51) est formé par une surface latérale externe du rotor (44), ledit roulement (50) étant agencé à la périphérie du rotor.
14. Objet portable (62) selon une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que le rotor (64) est monté libre en rotation sur un fond (66) d'un boîtier (32A) dans lequel est logé le convertisseur électromécanique (6B).
15. Objet portable (62) selon la revendication 6 ou 7 ou selon une quelconque des revendications 8 à 14 dépendantes de la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que ledit au moins un deuxième aimant permanent (20) est agencé de manière à faire saillie de la masse d'inertie (16B), de sorte que cette masse d'inertie présente des première et seconde zones angulaires libres (78), respectivement des deux côtés du deuxième aimant, dans lesquelles peut se mouvoir ledit au moins un premier aimant permanent (10B) du rotor (64) ; et en ce que ledit premier aimant permanent est agencé de manière à pouvoir subir un mouvement élastique radial, relativement audit axe d'oscillation, sous l'action d'une force magnétique radiale qui est engendrée par l'interaction magnétique avec ledit deuxième aimant permanent lorsque le premier aimant permanent est situé à proximité du deuxième aimant permanent, la position d'énergie mécanique minimale du premier aimant permanent, relativement audit rotor, correspondant à une position radiale de ce premier aimant située dans une plage de positions radiales, relativement audit axe d'oscillation, correspondant auxdites première et seconde zones angulaires libres, ledit mouvement élastique radial étant prévu de sorte que le premier aimant permanent peut s'escamoter suffisamment, lorsque le premier aimant permanent passe par la position angulaire du deuxième aimant permanent, pour pouvoir passer de la première zone angulaire libre à la seconde zone angulaire libre.
16. Objet portable selon la revendication 15, caractérisé en ce que ledit au moins un premier aimant permanent (10B) est fixé respectivement à l'extrémité d'au moins une lame élastique (74) correspondante qui est agencée de manière à présenter un axe longitudinal principalement tangentiel et ainsi une capacité de déformation élastique essentiellement selon une direction radiale, relativement audit axe d'oscillation.
17. Objet portable selon la revendication 15 ou 16, caractérisé en ce que ledit mouvement élastique radial sous l'action de ladite force magnétique radiale est prévu avec une amplitude suffisante pour éviter un choc entre le rotor (64) et la masse d'inertie (16B) du résonateur mécanique (12B) lors du passage du premier aimant permanent (10B) par la position angulaire du deuxième aimant permanent (20).
18. Objet portable selon une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le rotor présente une partie annulaire qui entoure latéralement la masse d'inertie du résonateur mécanique.
19. Objet portable selon une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le rotor est configuré de manière à présenter un balourd pour favoriser sa rotation lors desdits mouvements que peut subir l'objet portable.
20. Objet portable selon une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que cet objet portable est portable au poignet d'un utilisateur, en particulier une montre-bracelet.

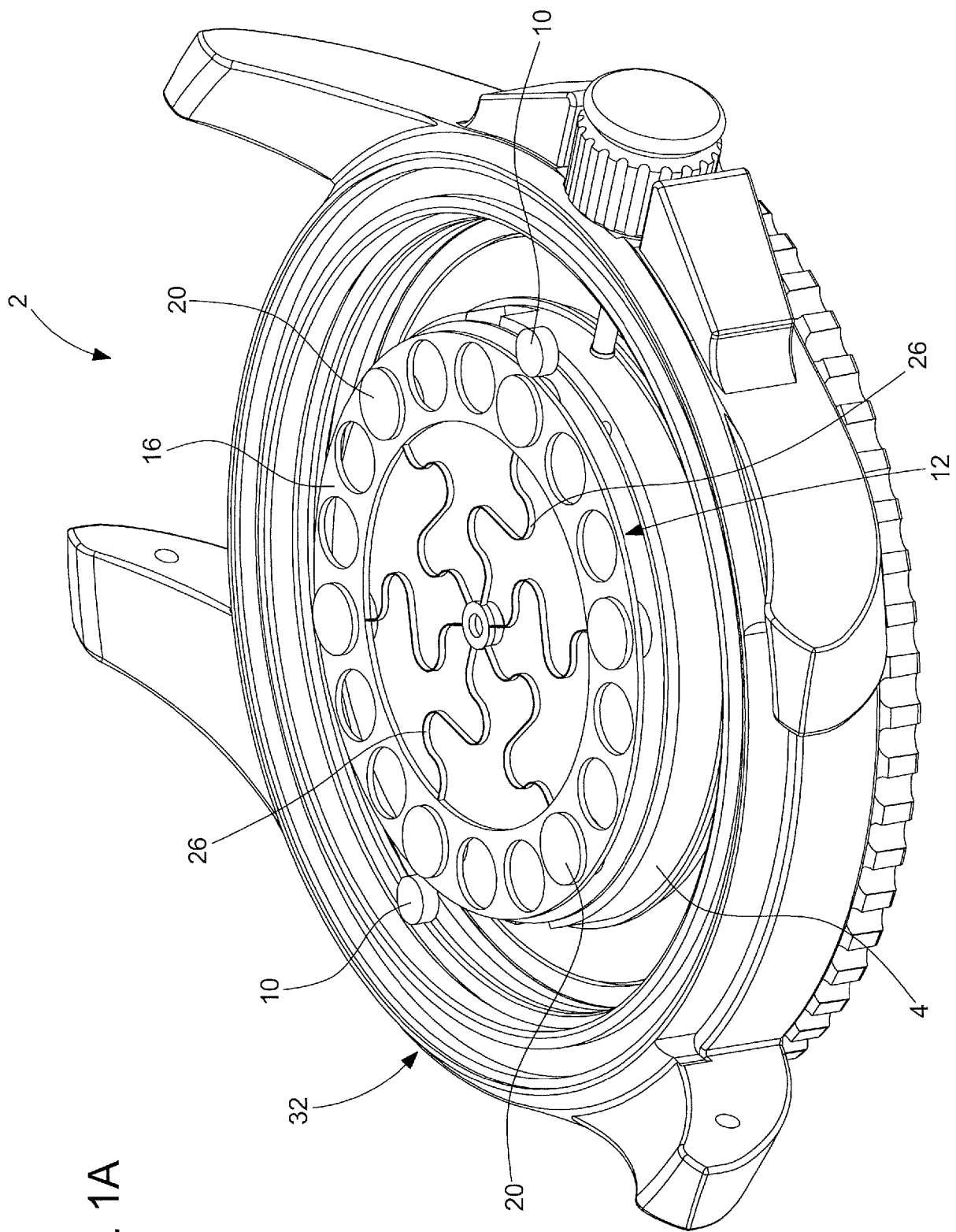


Fig. 1A

Fig. 1B

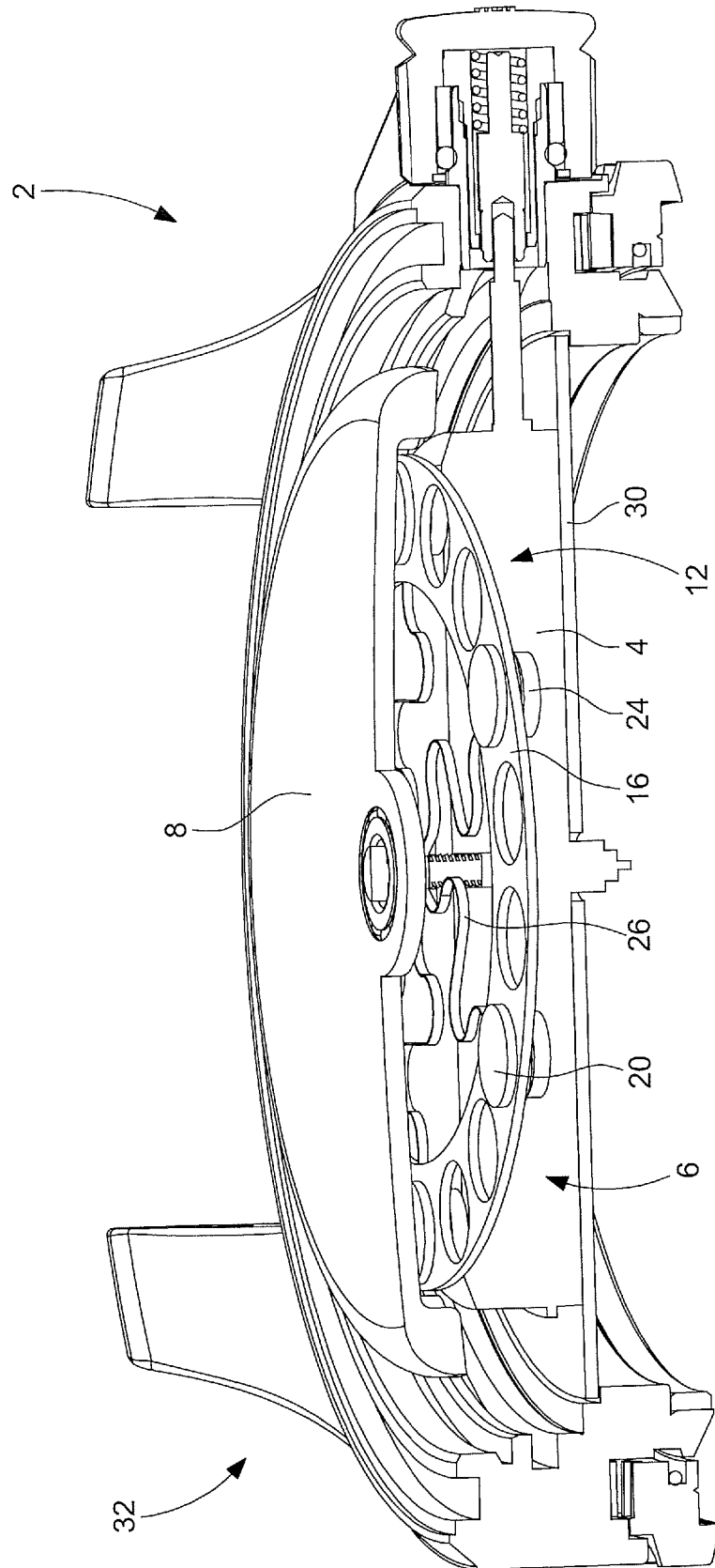
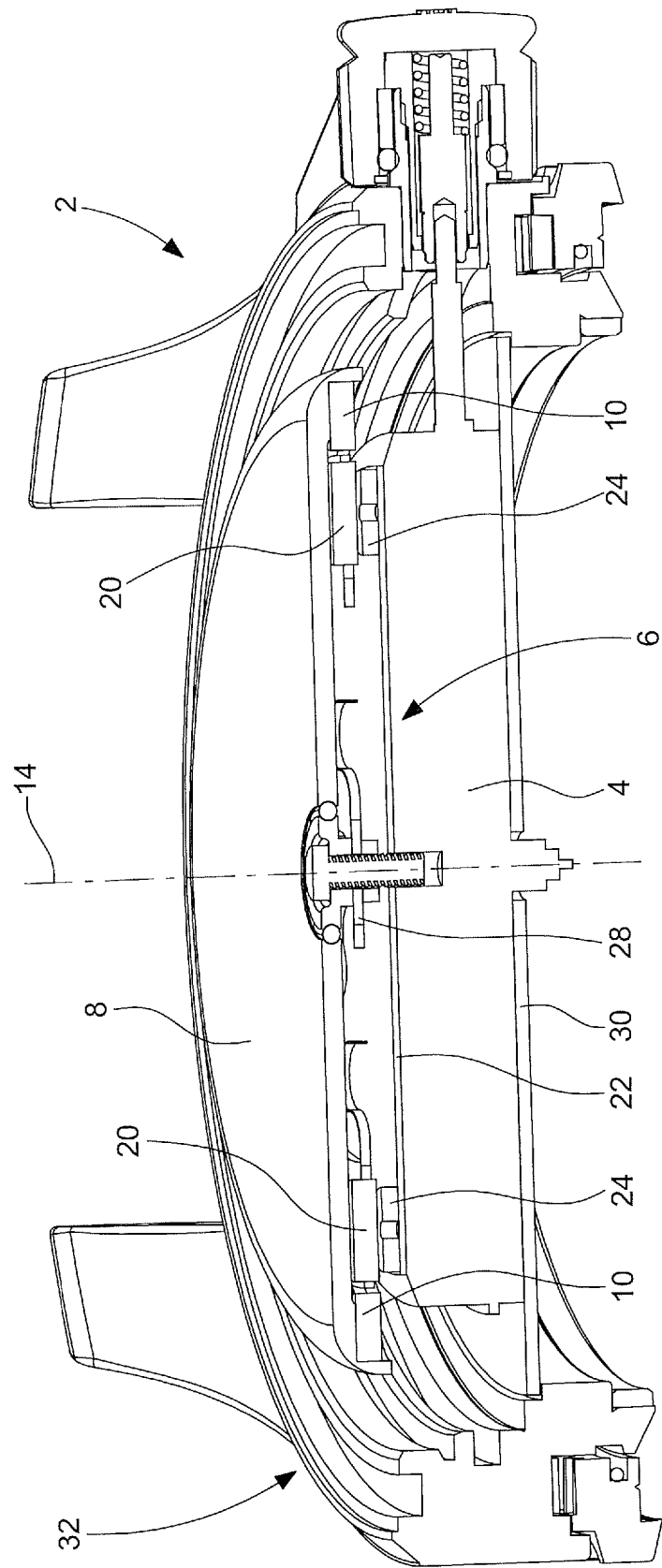


Fig. 1C



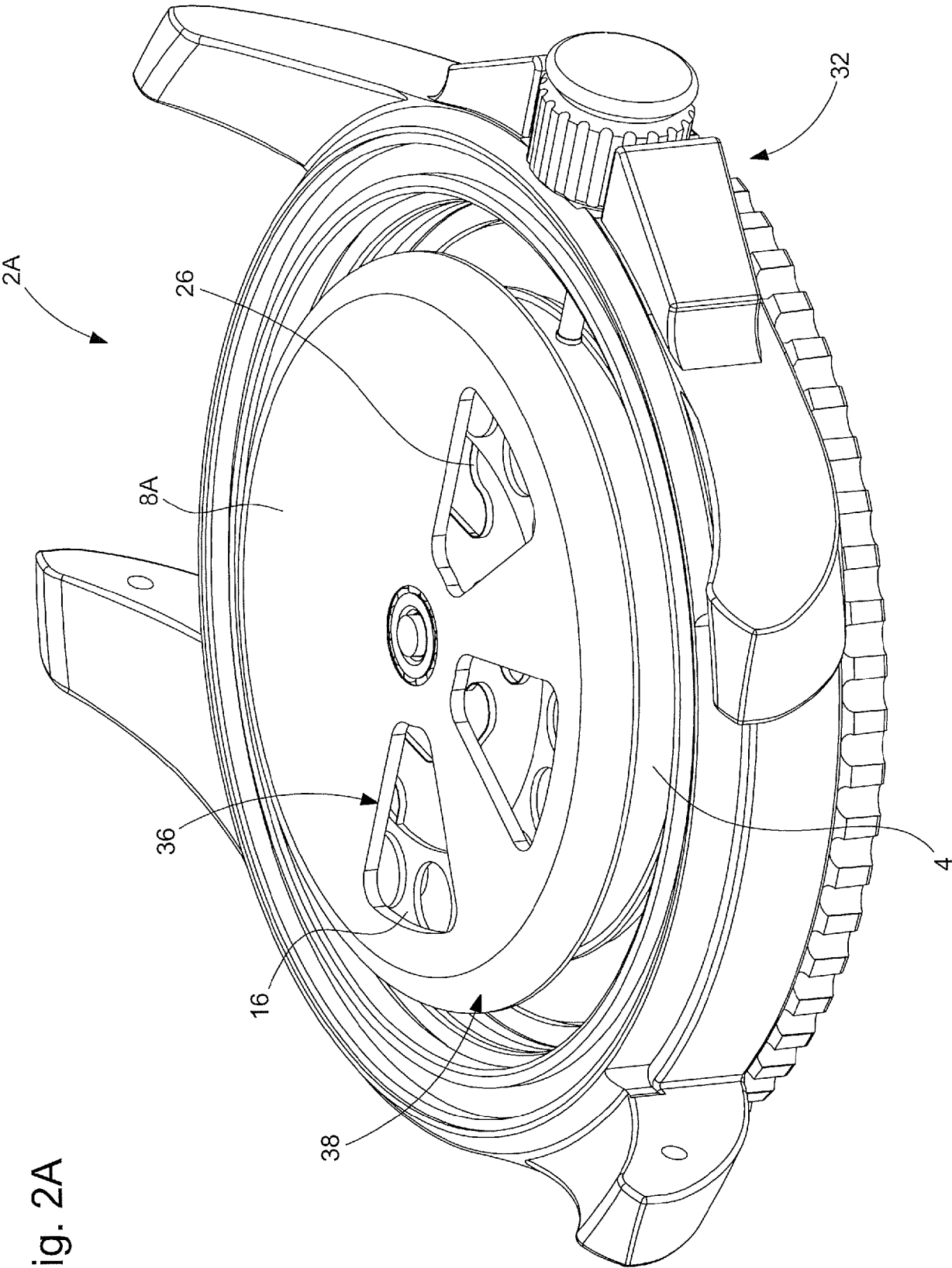


Fig. 2A

Fig. 2B

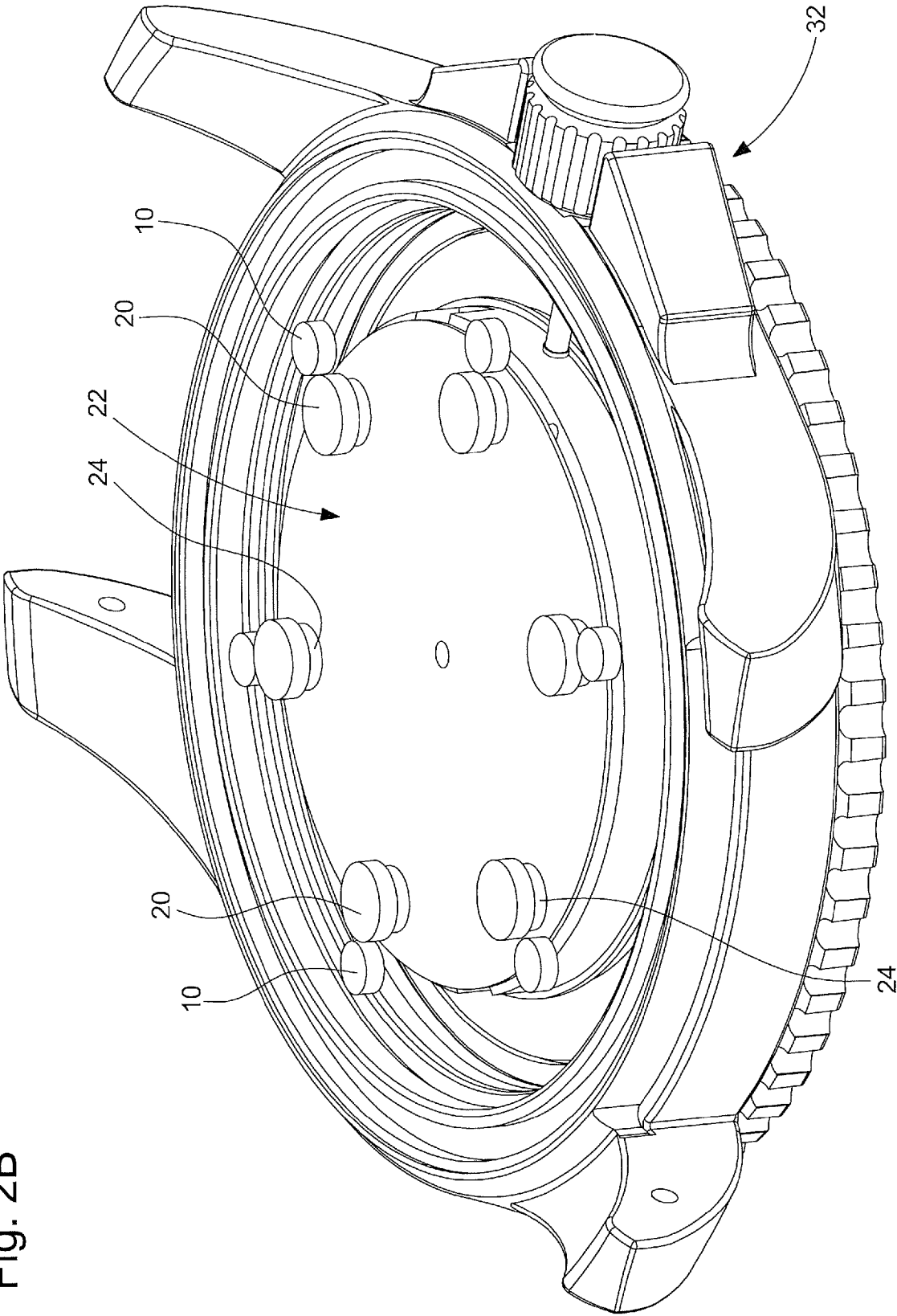
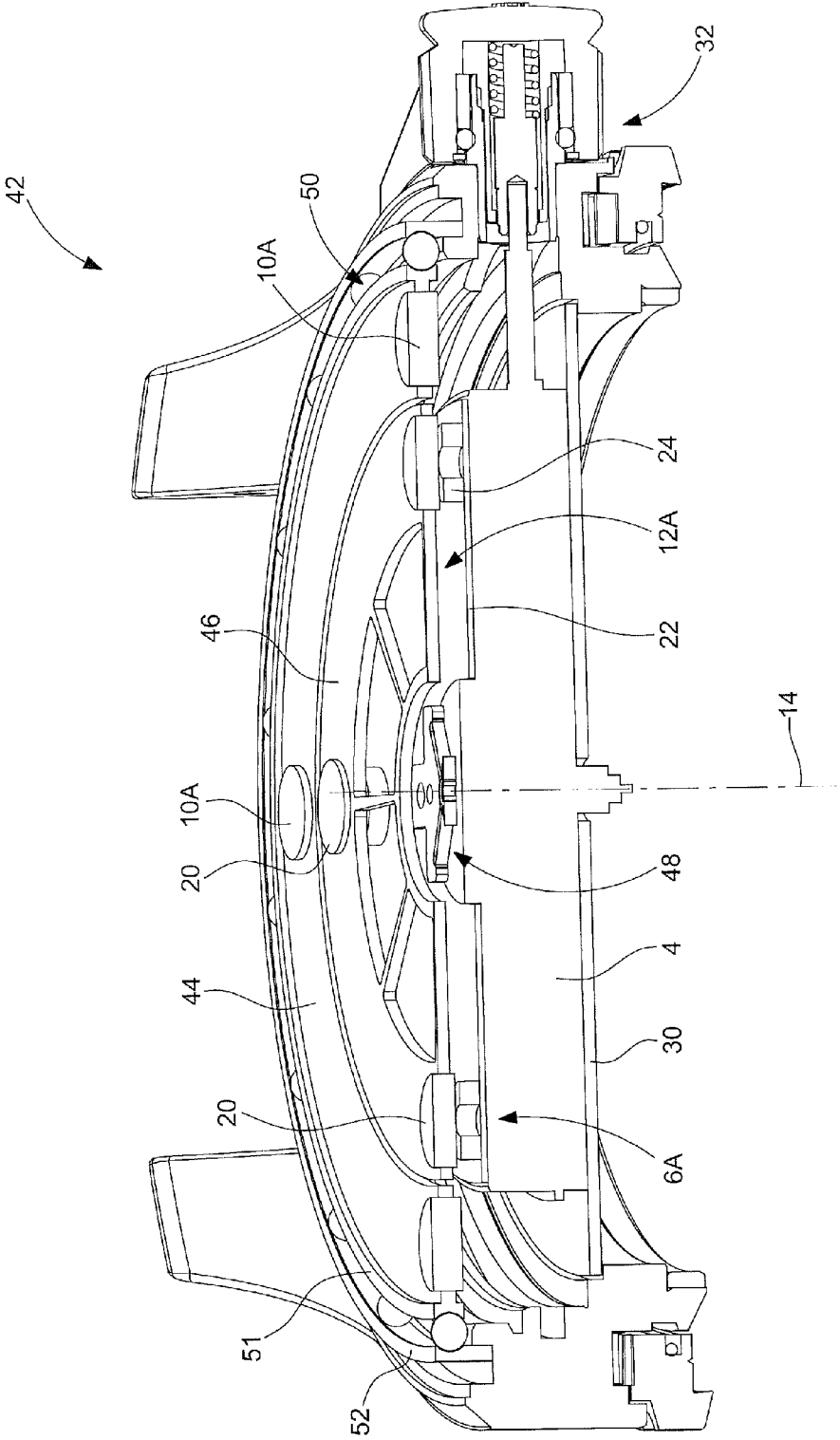


Fig. 3A



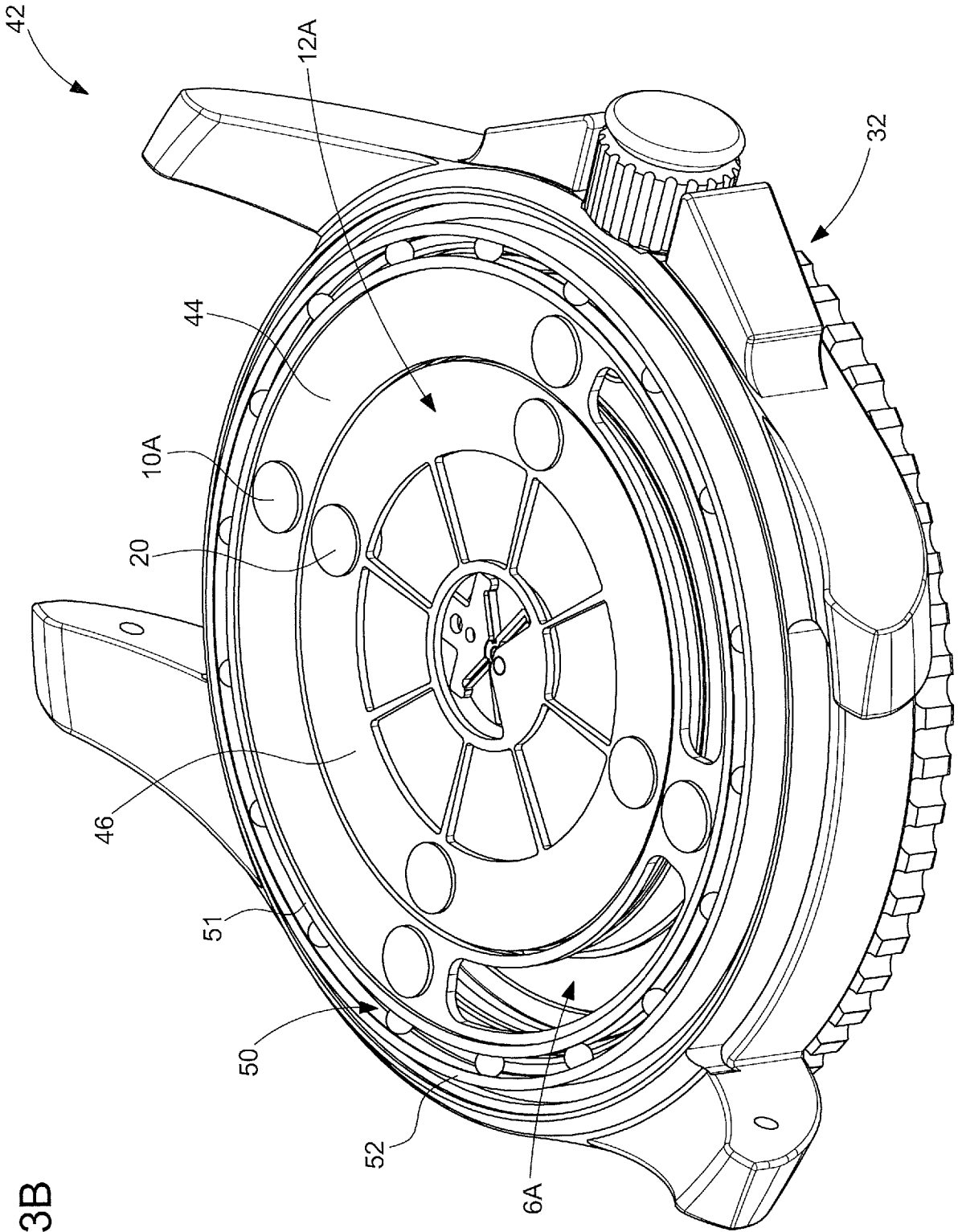


Fig. 3B

Fig. 3C

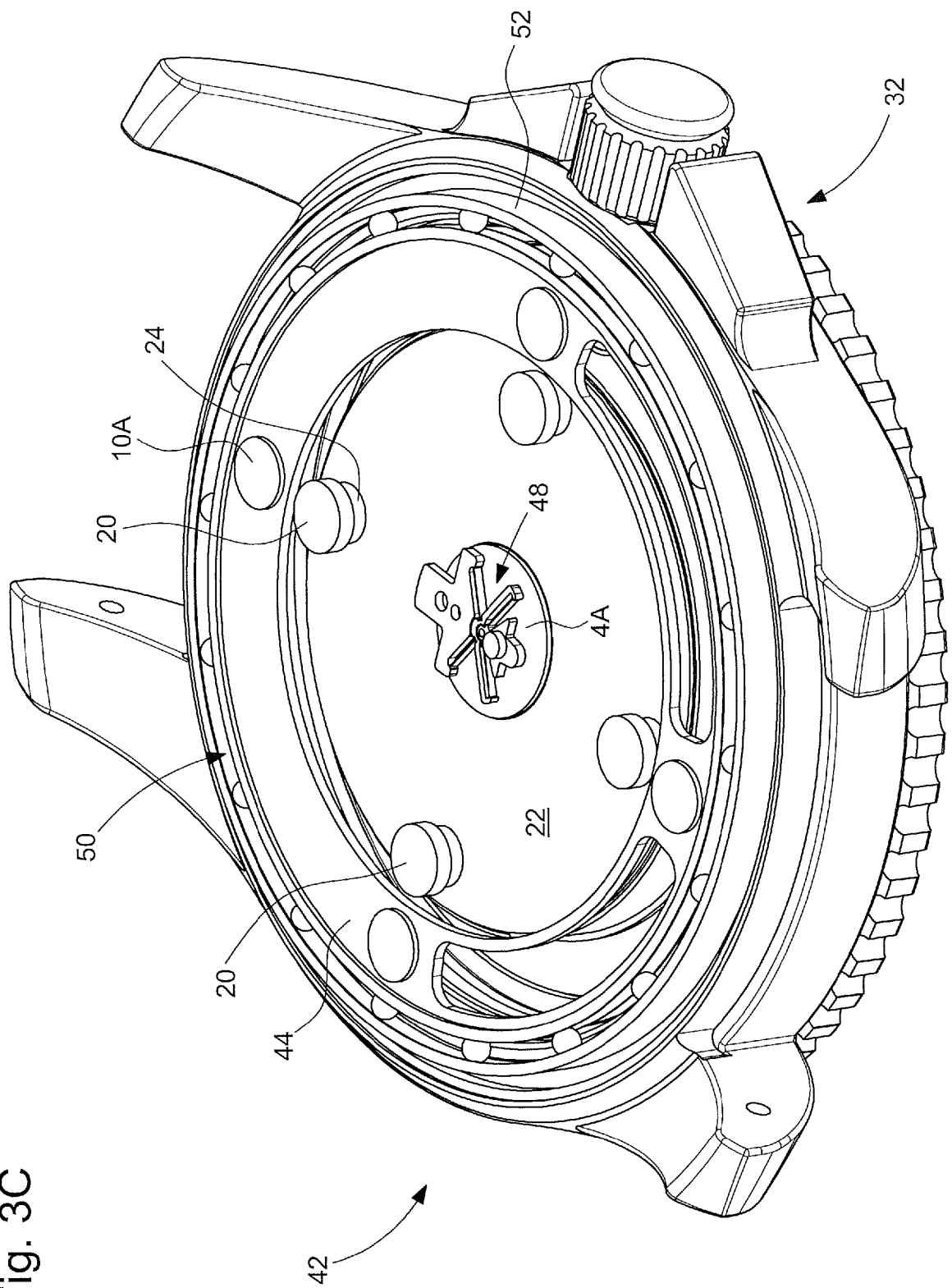


Fig. 4A

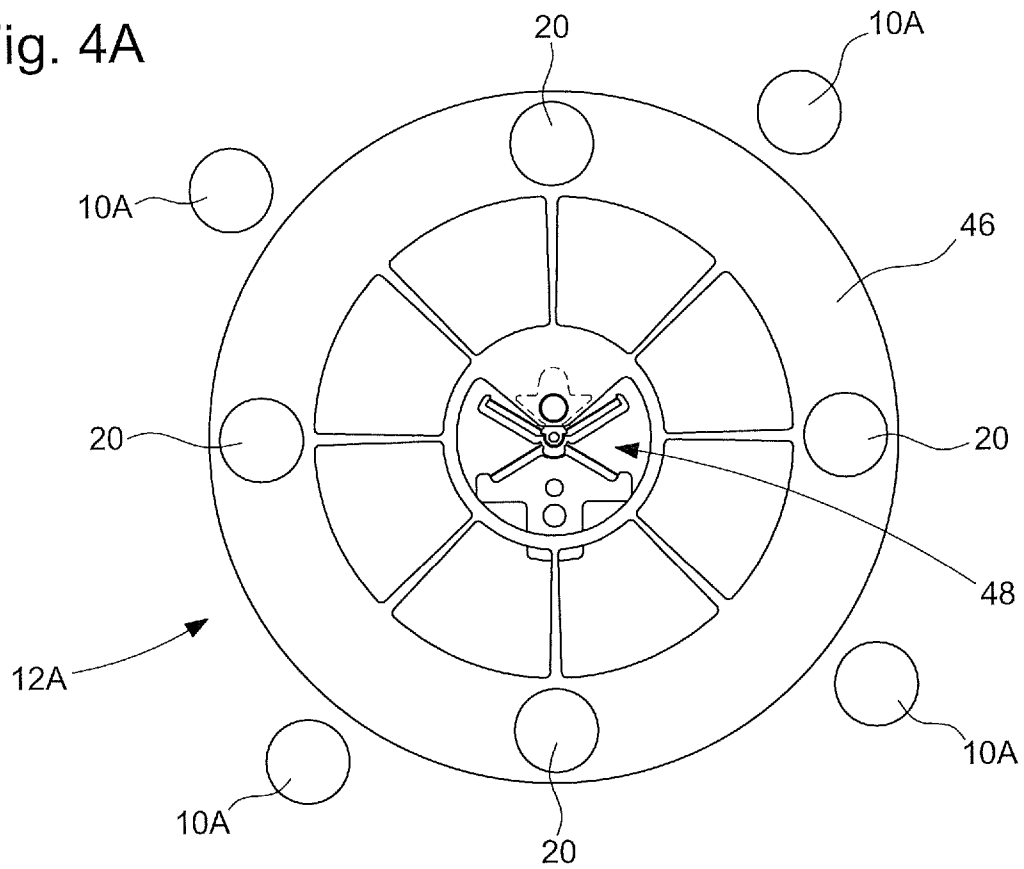


Fig. 4B

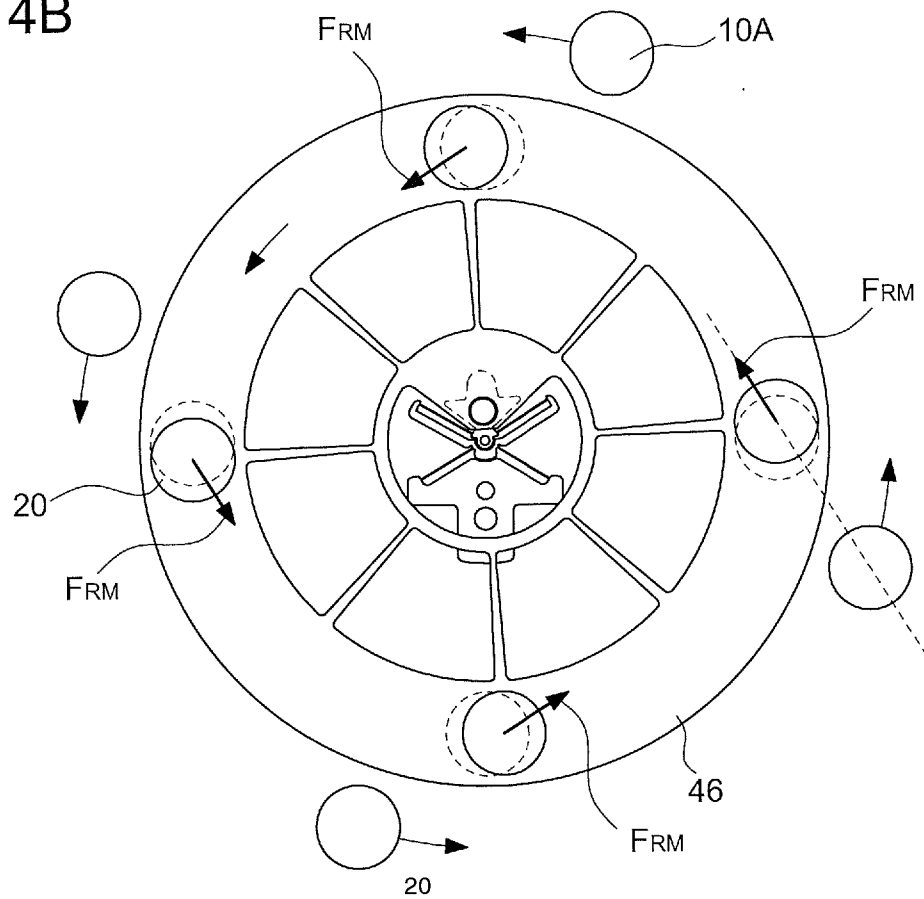


Fig. 4C

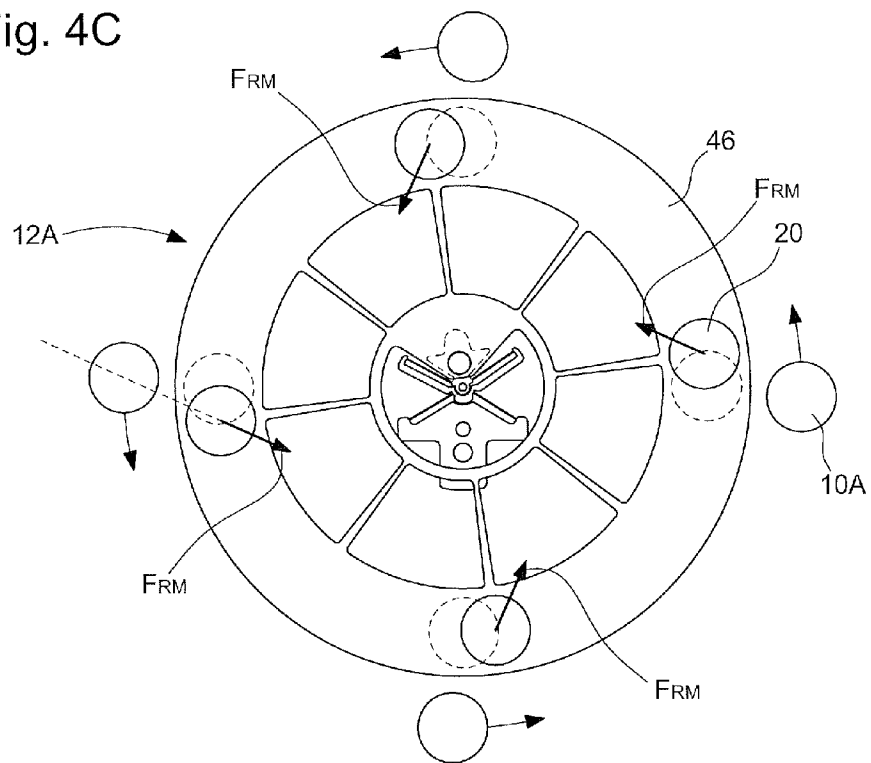


Fig. 4D

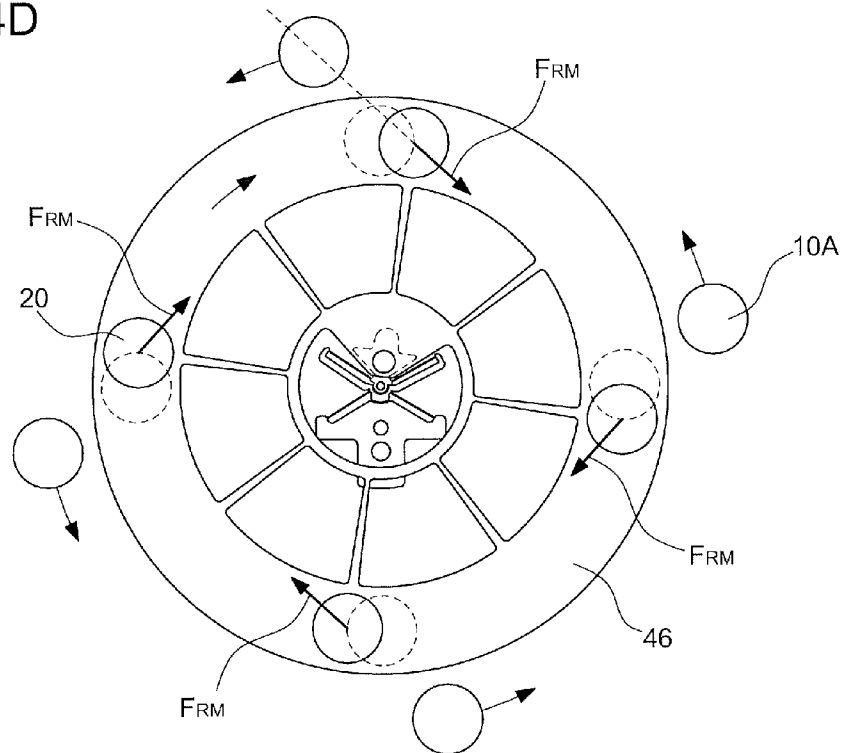


Fig. 4E

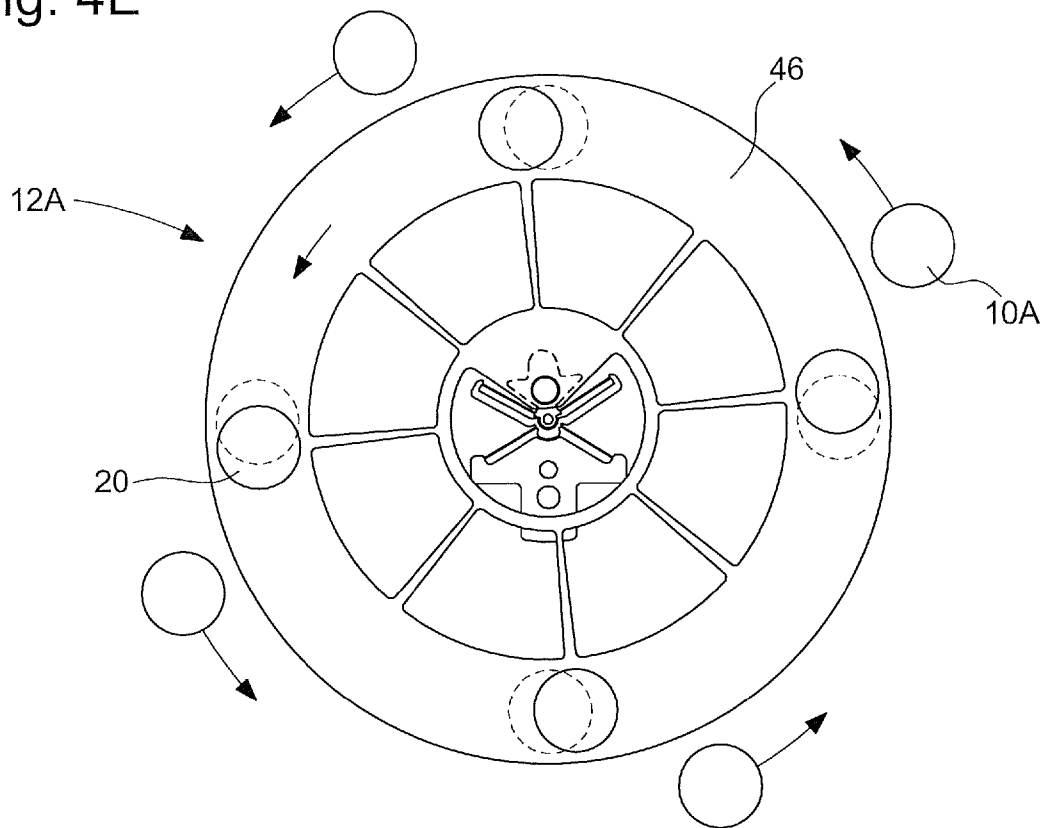


Fig. 4F

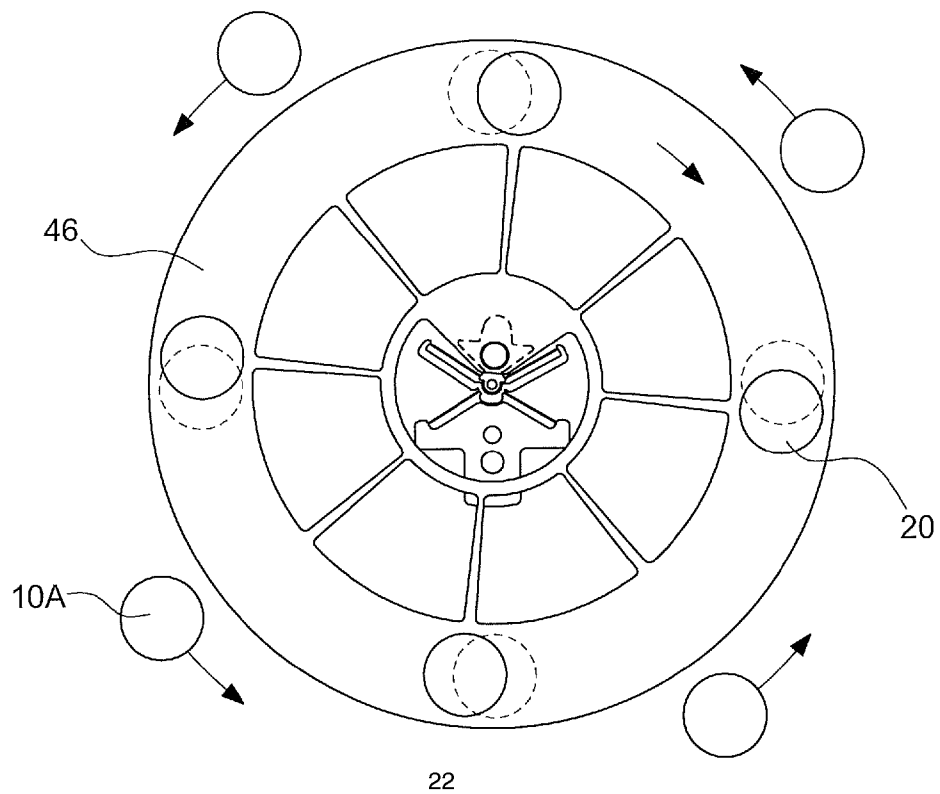


Fig. 5A

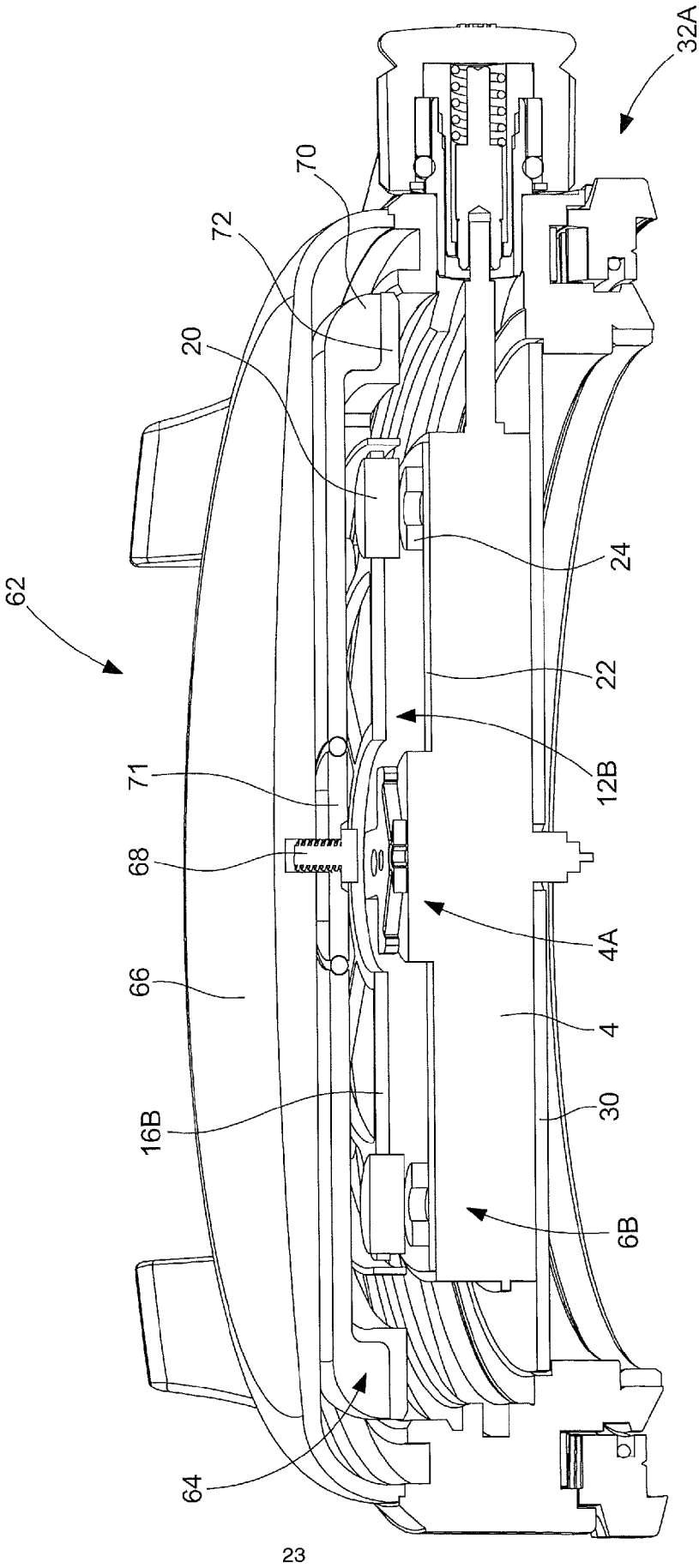


Fig. 5B

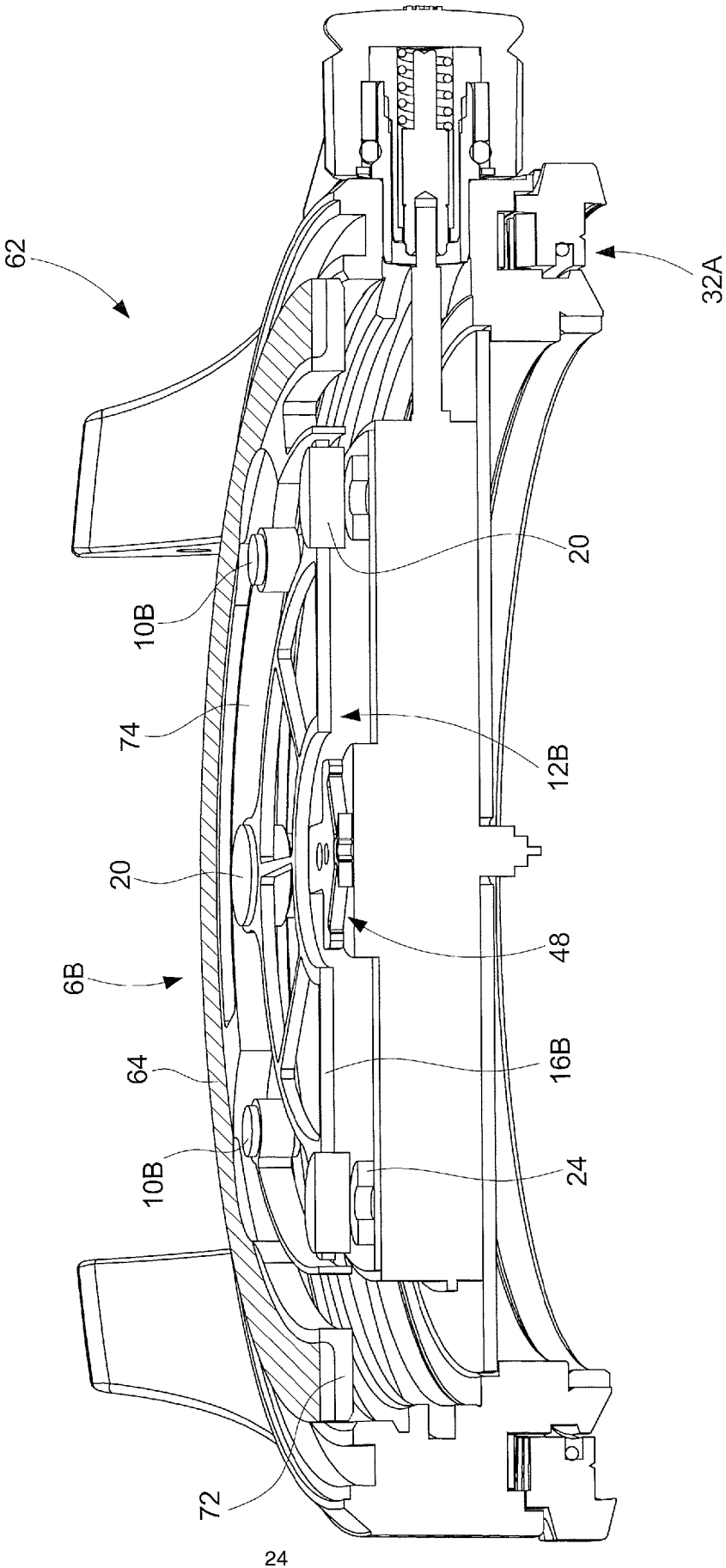


Fig. 5C

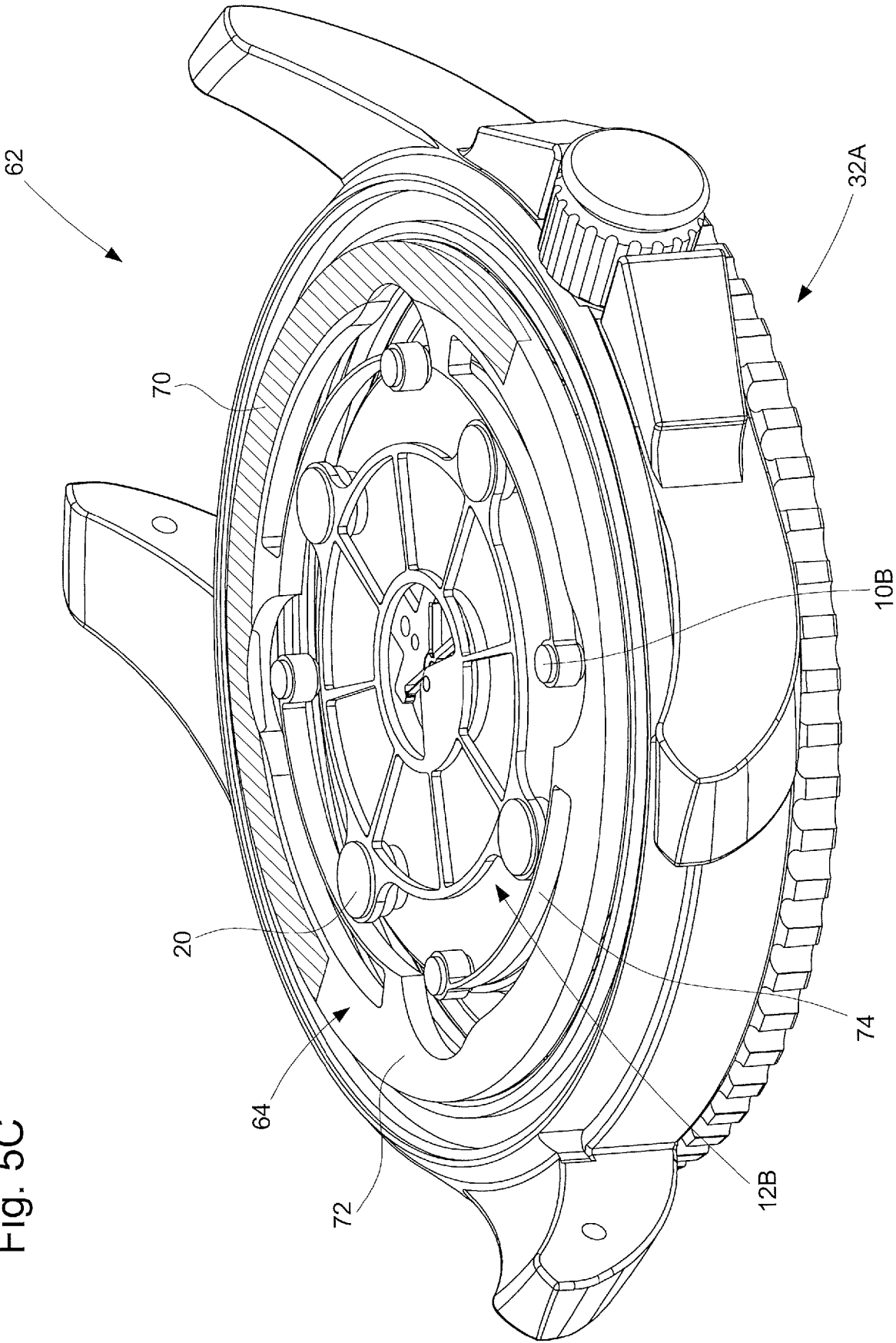
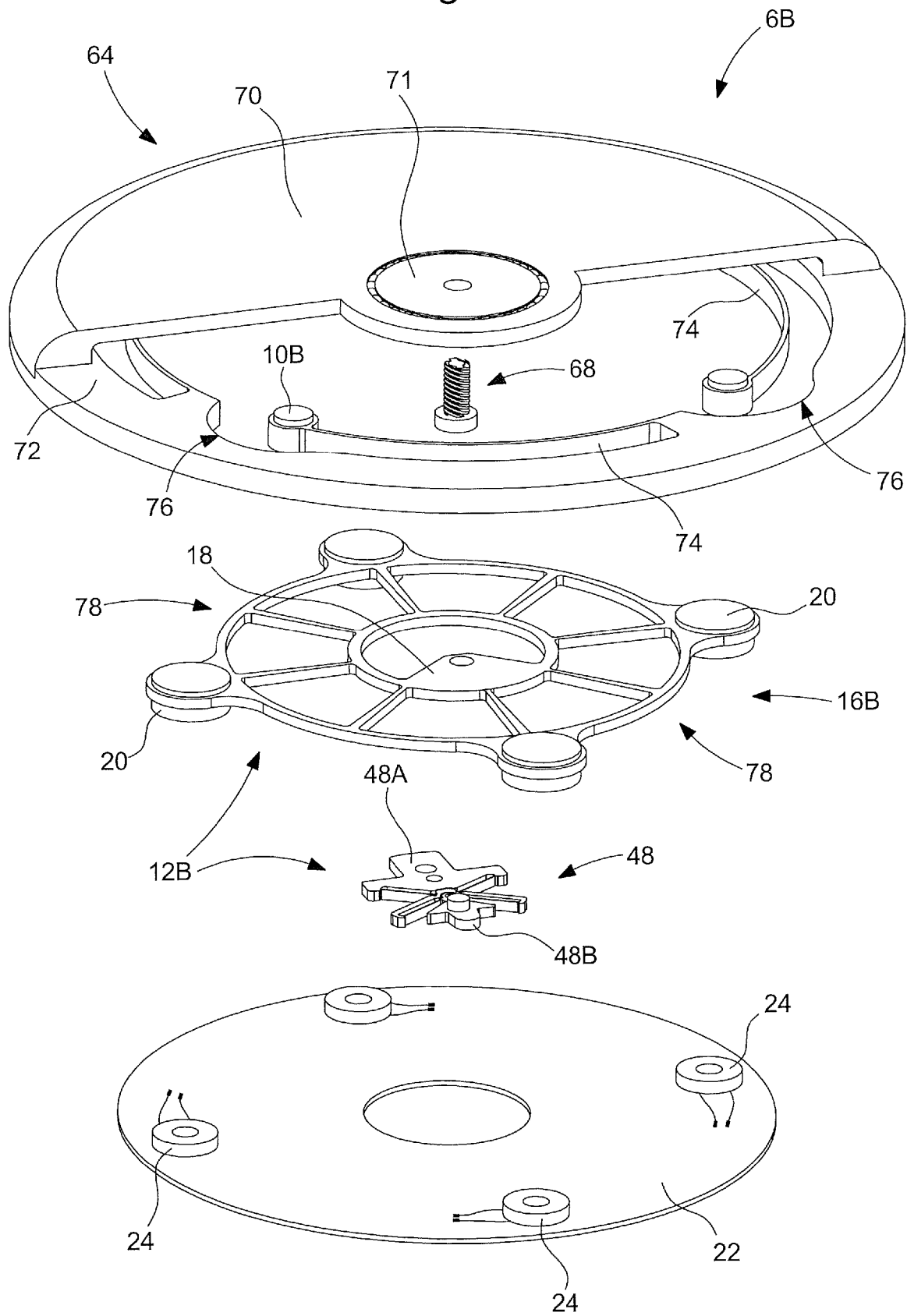


Fig. 6



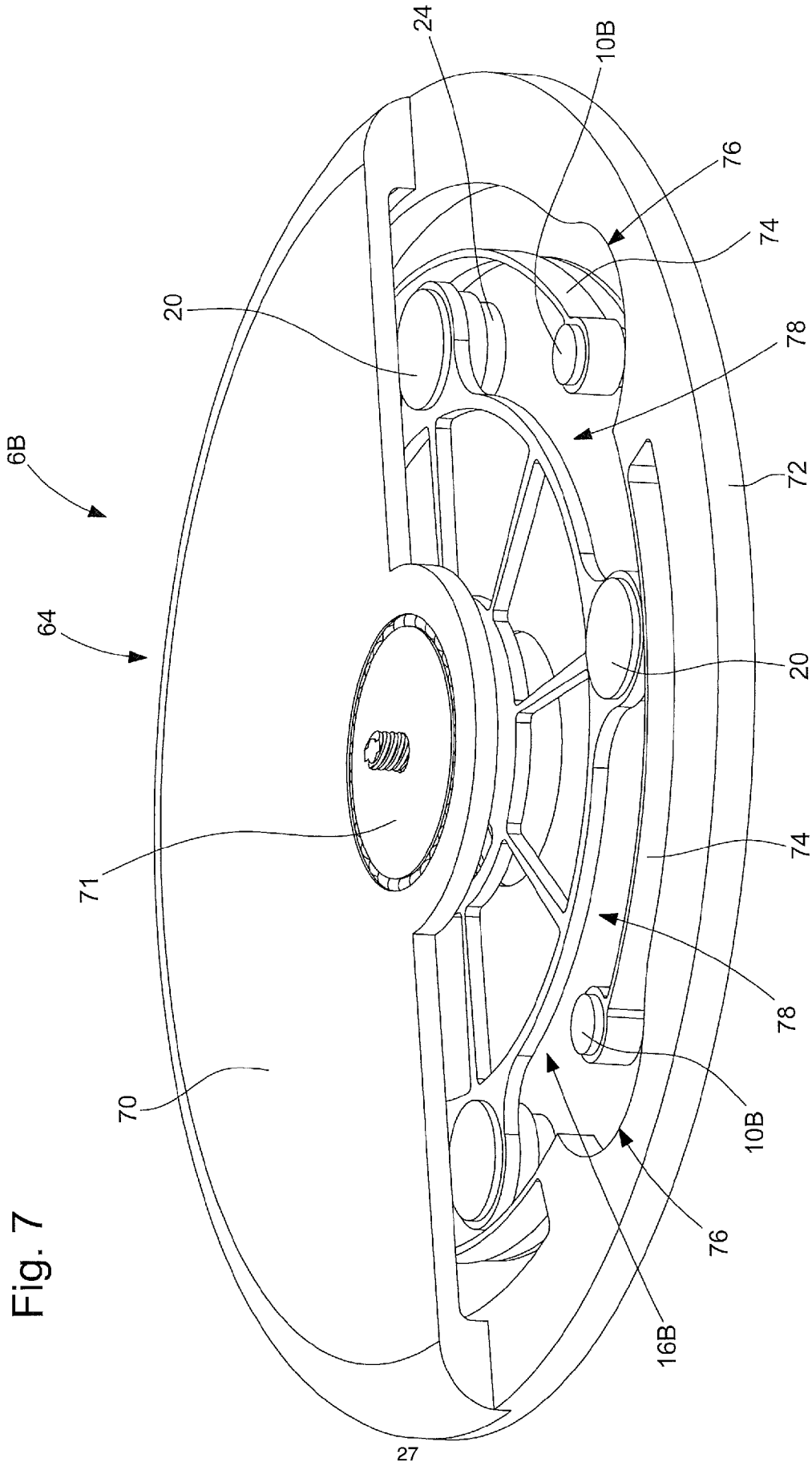


Fig. 8A

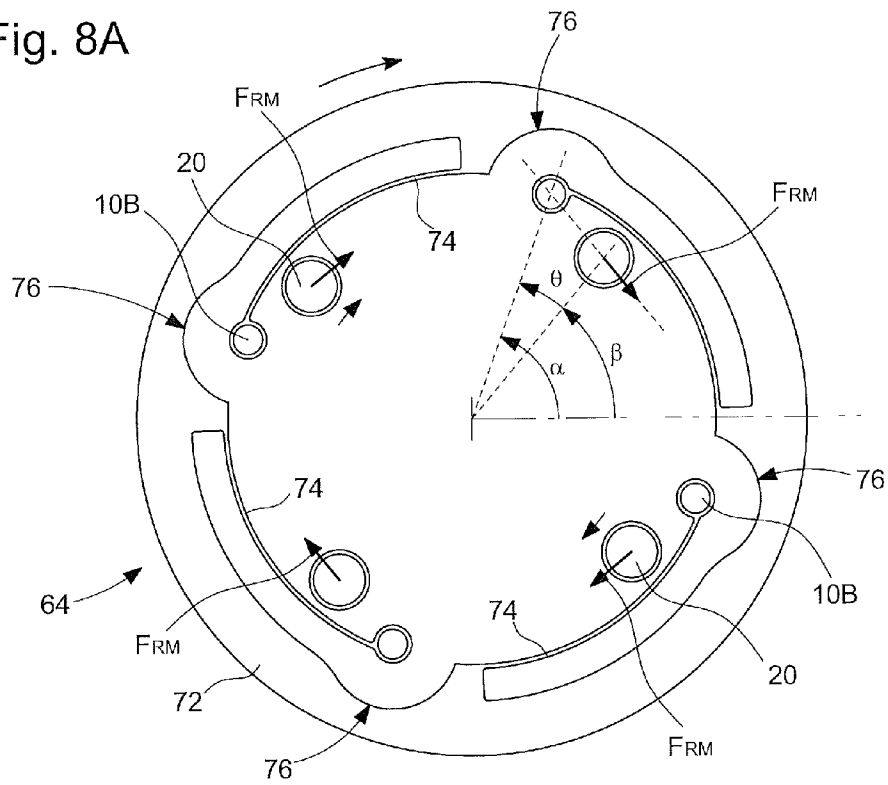


Fig. 8B

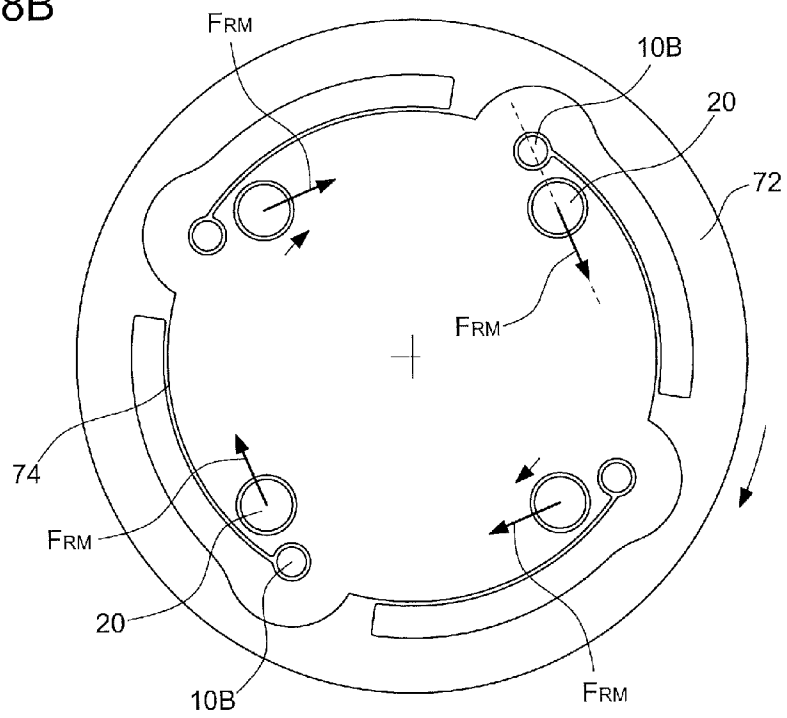


Fig. 8C

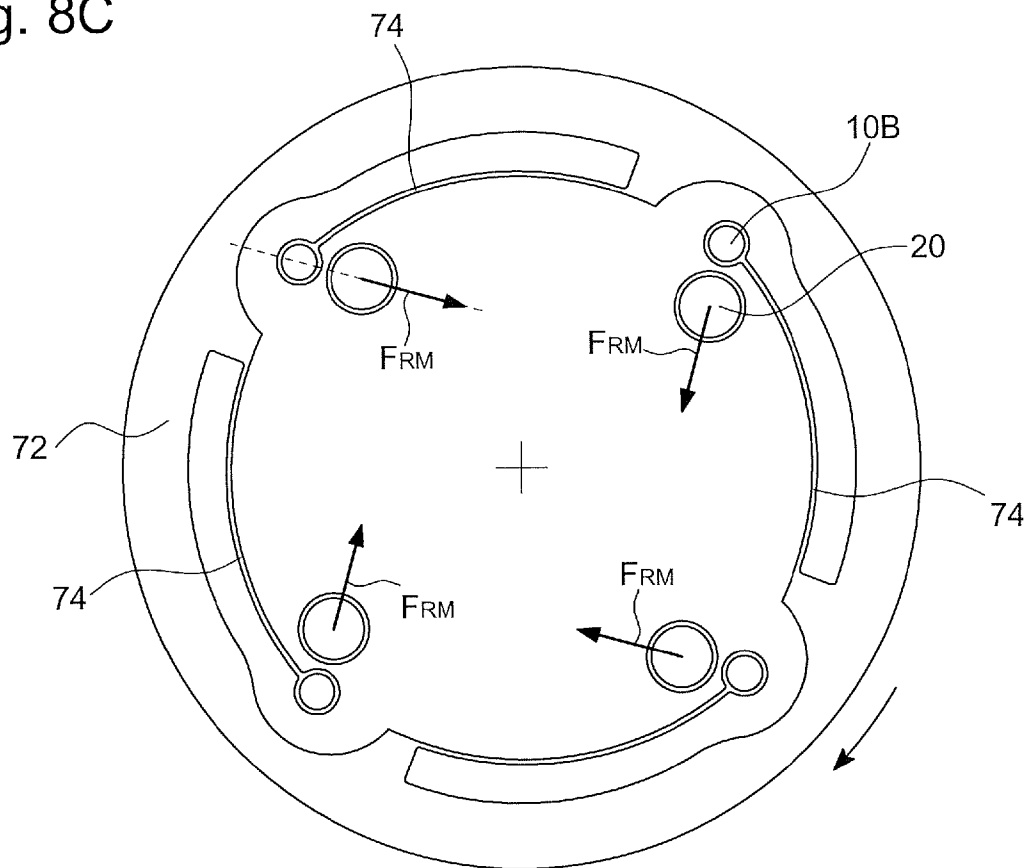


Fig. 8D

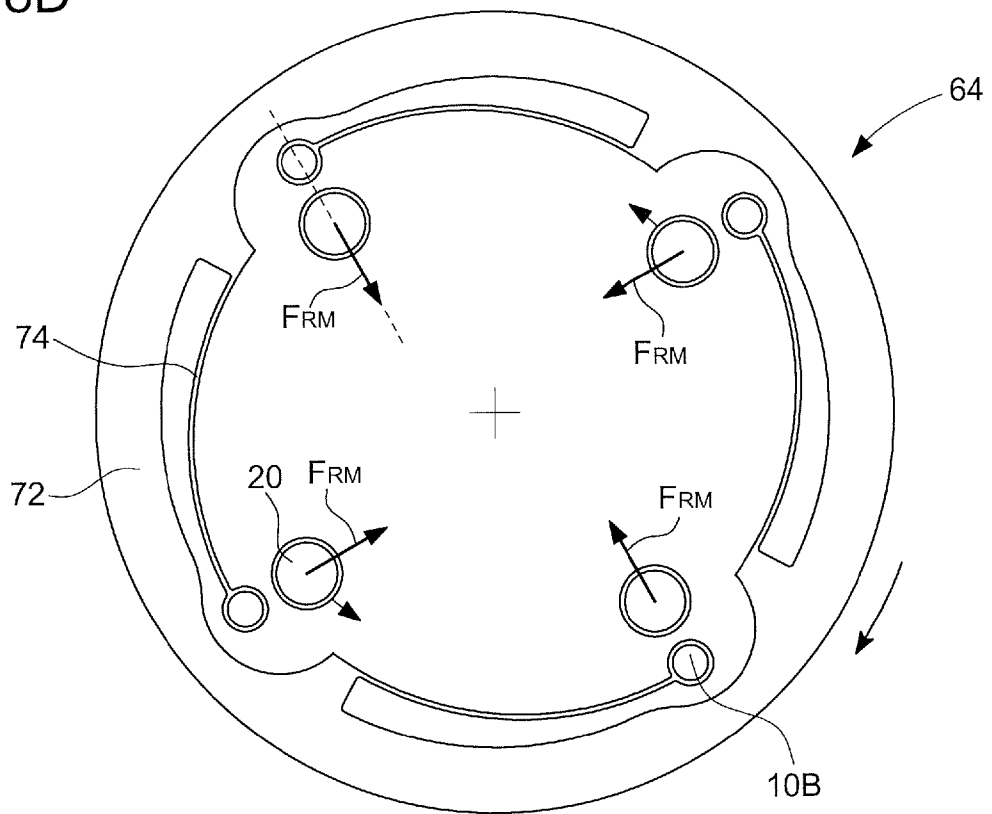


Fig. 8E

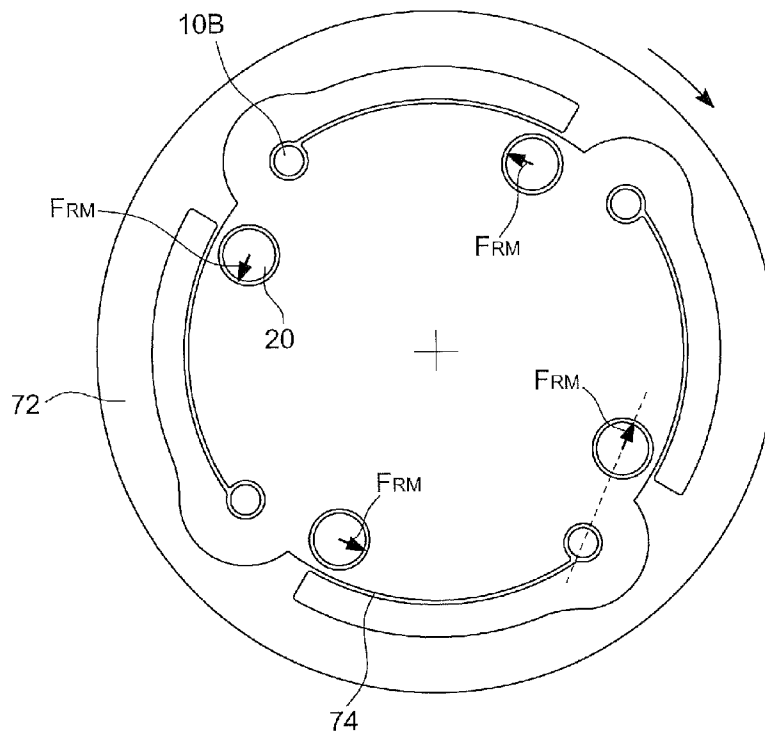


Fig. 8F

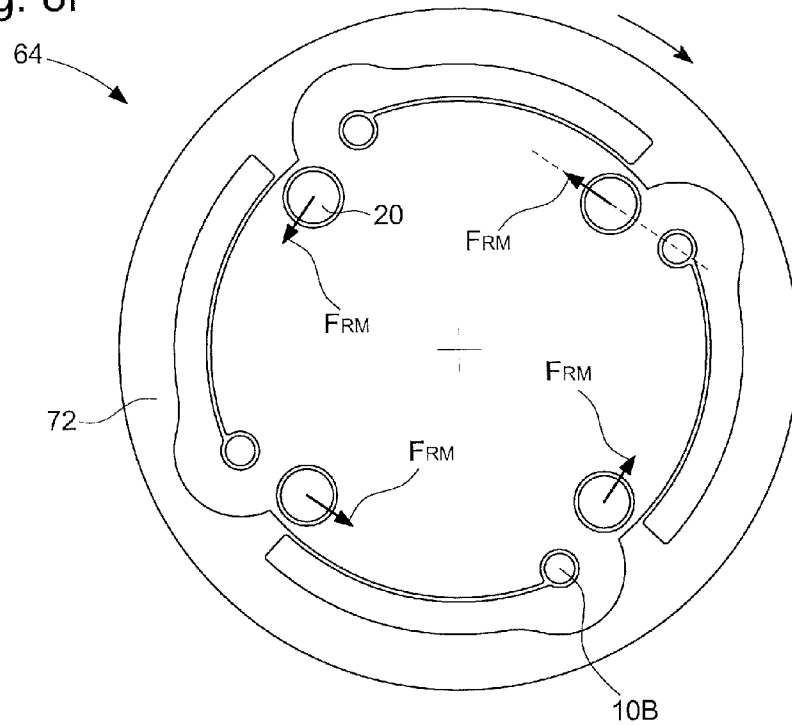


Fig. 8G

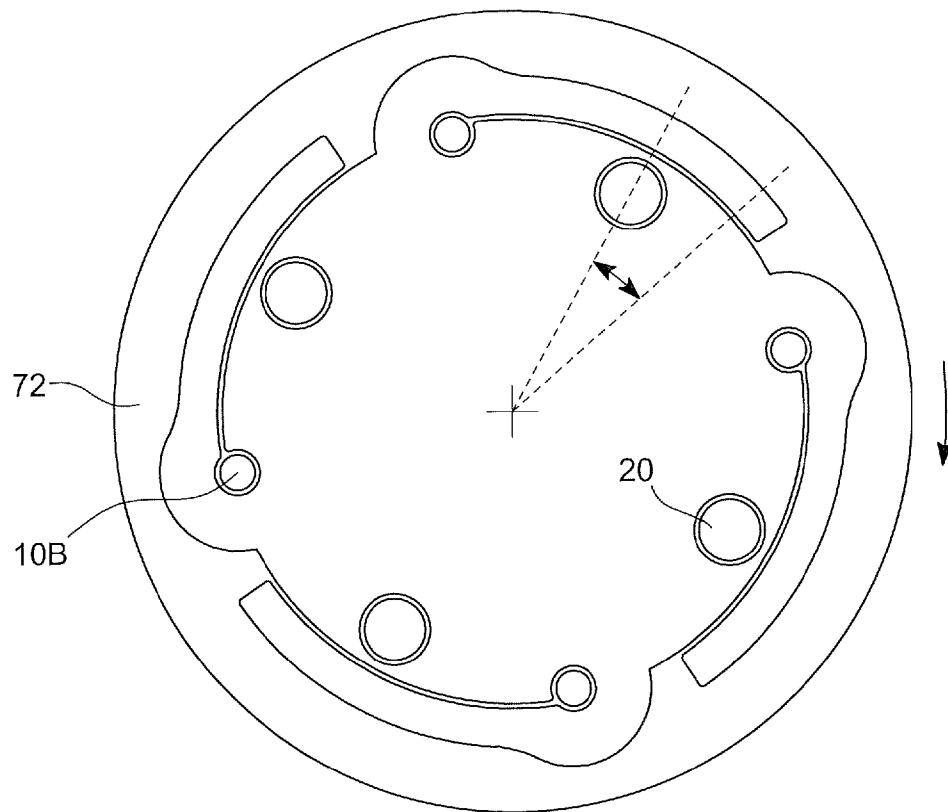


Fig. 8H

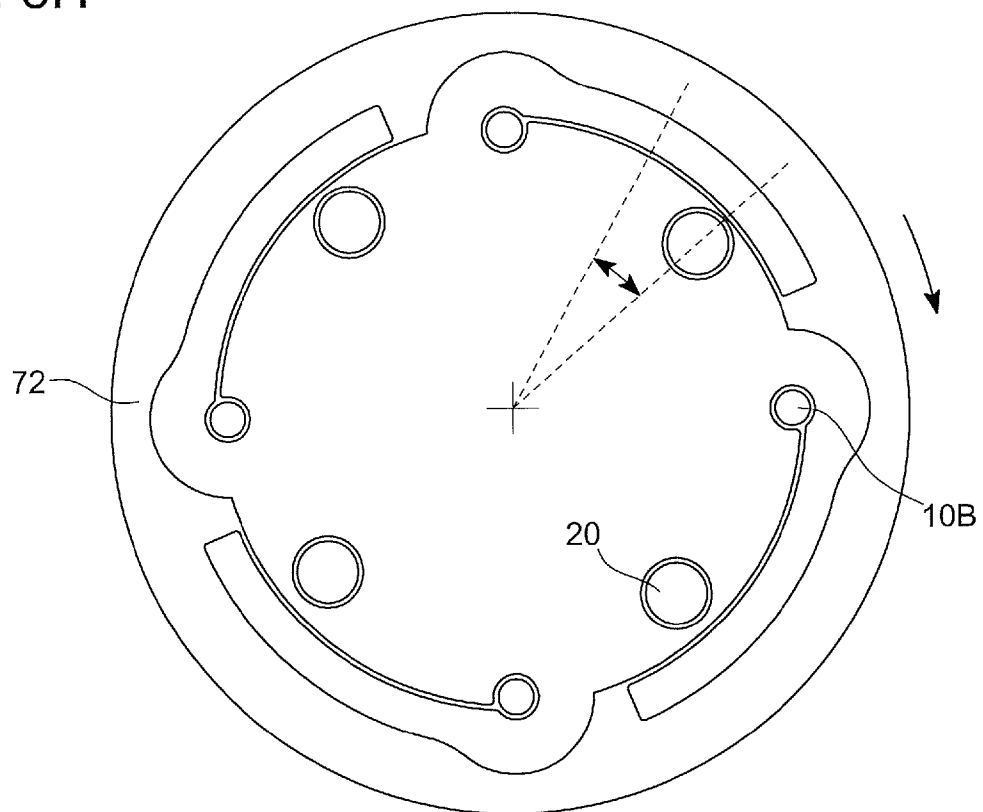


Fig. 9

