



(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43)

Date de publication:
09.10.2024 Bulletin 2024/41

(51)

Classification Internationale des Brevets (IPC):
G04B 1/00 (2006.01) G04C 10/00 (2006.01)
G04C 3/10 (2006.01)

(21)

Numéro de dépôt: 24160658.1

(52)

Classification Coopérative des Brevets (CPC):
G04C 3/10; G04C 10/00

(22)

Date de dépôt: 29.02.2024

(84)

Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
GE KH MA MD TN

(72)

Inventeurs:
• BORN, Jean-Jacques
1110 Morges (CH)
• TORTORA, Pierpasquale
2000 Neuchâtel (CH)
• HINAUX, Baptiste
1003 Lausanne (CH)
• NICOLAS, Cédric
2000 Neuchâtel (CH)

(30)

Priorité: 06.04.2023 EP 23167065

(71)

Demander: The Swatch Group Research and
Development Ltd
2074 Marin (CH)

(74)

Mandataire: ICB SA
Faubourg de l'Hôpital, 3
2001 Neuchâtel (CH)

(54)

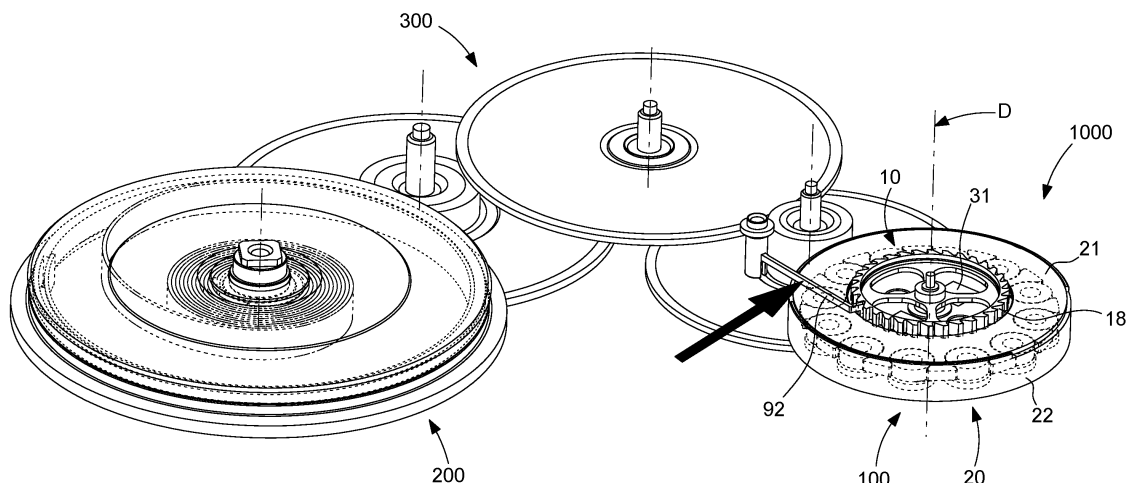
DISPOSITIF DE RÉGULATION DE VITESSE POUR MOBILE ROTATIF D'HORLOGERIE

(57)

Un aspect de l'invention concerne une pièce d'horlogerie avec, pour réguler la vitesse de rotation d'un mobile rotatif, un dispositif de régulation comportant une micro-génératrice et au moins une LED alimentée par la micro-génératrice sans stockage d'énergie électrique et agencées de manière que, pour une plage de vitesses fonctionnelle du mobile rotatif (V_{min} ; V_{max}), la plage de fréquences correspondante (F_{min} ; F_{max}) de rotation du rotor de la micro-génératrice engendre, dans les bobines de celle-ci, une plage de tension induite dont la valeur

de tension maximale pour ladite fréquence maximale (F_{max}) est supérieure à une tension de seuil (U_s), de préférence également la valeur de tension minimale pour ladite fréquence minimale (F_{min}), le dispositif moteur qui entraîne le mobile rotatif étant agencé de manière à avoir une plage utile de couple moteur permettant un entraînement du mobile rotatif sensiblement dans ladite plage de vitesse fonctionnelle. L'invention concerne encore un procédé de régulation de la vitesse de rotation du mobile rotatif.

Fig. 1



Description

Domaine technique de l'invention

[0001] L'invention concerne une pièce d'horlogerie comprenant un mobile rotatif, un dispositif moteur agencé pour pouvoir entraîner ce mobile rotatif, un dispositif de régulation pour réguler la vitesse de rotation du mobile rotatif, ce dispositif de régulation comportant une micro-génératrice qui comporte un stator et un rotor couplé mécaniquement au mobile rotatif, le stator portant des aimants permanents ou des bobines et le rotor portant respectivement des bobines ou des aimants permanents.

[0002] L'invention concerne encore un procédé de régulation de la vitesse de rotation d'un mobile rotatif d'une pièce d'horlogerie, dans une plage de vitesse fonctionnelle du mobile rotatif entre une vitesse minimale et une vitesse maximale strictement supérieure à la vitesse minimale, le mobile rotatif étant entraîné par un dispositif moteur que comporte la pièce d'horlogerie, par lequel procédé on met en oeuvre un dispositif de régulation de la vitesse de rotation du mobile rotatif, ce dispositif de régulation comportant une micro-génératrice qui comporte un rotor couplé mécaniquement au mobile rotatif, ce rotor étant mobile autour d'un axe de rotation par rapport à un stator portant des aimants permanents ou des bobines, le rotor portant respectivement des bobines ou des aimants permanents, les bobines étant reliées, directement ou indirectement, à au moins une diode électroluminescente.

[0003] L'invention concerne le domaine des pièces d'horlogerie, et plus particulièrement des montres, et plus particulièrement encore des montres comprenant une source d'énergie mécanique, du type comportant un mécanisme annexe non dédié à la mesure du temps mais en général dédié à des fonctions d'affichage sonore ou visuel, par exemple pour des montres à sonnerie ou à animation visuelle, ou encore des boîtes à musique, ce mécanisme comprenant au moins un mobile rotatif. Et l'invention concerne plus particulièrement le domaine de la régulation de vitesse d'un tel mobile rotatif, généralement actionné par un ressort dont la décharge engendre une vitesse très variable du mobile rotatif en l'absence de mécanisme de régulation.

Arrière-plan technologique

[0004] La régulation de vitesse des mobiles d'horlogerie est un problème ancien, lié à l'origine à la régulation de la sonnerie des cloches. Des solutions anciennes sont purement mécaniques basées sur la variation d'inertie du mobile avec par exemple des régulateurs à boules, ou encore sur le freinage par frottement d'air, mais de telles solutions applicables sur des horloges ou pendules ne le sont pas pour des montres.

[0005] L'encombrement limité dans une boîte de montre a conduit à imaginer des nouvelles solutions, telles

des régulateurs électromagnétiques, ou encore des régulateurs à courant de Foucault. Ces solutions sont fonctionnelles mais coûteuses et réservées à des produits de luxe; certains de leurs composants sont très délicats et nécessitent une maintenance particulière.

[0006] Le document EP3838424 au nom de The Swatch Group Research & Development Ltd décrit un mécanisme musical ou de sonnerie pour pièce d'horlogerie ou boîte à musique, comprenant une source d'énergie délivrant un couple mécanique et des moyens de transmission de couple mécanique depuis la source d'énergie vers un mobile de génération de musique ou de sonnerie. Le mécanisme comprend en outre un régulateur de mobile. Le régulateur est configuré pour réguler, autour d'une valeur de vitesse de consigne, la vitesse de pivotement du mobile autour d'un axe de pivotement, et comporte des moyens de freinage du mobile configurés pour ramener sa vitesse de pivotement à la vitesse de consigne. Le régulateur de mobile est constitué d'un système comprenant une micro-génératrice, aussi nommée "génératrice", dont un rotor est relié mécaniquement à la source d'énergie délivrant le couple mécanique, et un circuit électronique de régulation de la fréquence de rotation de la micro-génératrice. Ce circuit règle électroniquement la fréquence comme dans les montres à génératrice indiquant l'heure, donc de fait selon une technologie de comptage de tours du rotor, nécessitant une base de temps électronique, pour comparer la fréquence de rotation avec une base de temps, et action sur un transistor qui régule le passage de courant dans les bobines avec des impulsions de freinage par court-circuit. En somme, un circuit électronique de freinage y commande la génération d'impulsions de freinage.

[0007] L'emploi de circuits électroniques ou électriques présente des inconvénients majeurs pour une montre munie d'un mouvement mécanique, en particulier pour une montre haut de gamme pour laquelle il est important de conserver le plus possible le caractère mécanique de la montre. En effet, ces systèmes connus sont munis d'un circuit électronique avec divers éléments électroniques agencés sur un circuit électrique (en général un PCB) situé à la périphérie de la micro-génératrice, ce qui introduit un dispositif du type électronique relativement étendu dans la montre. L'ensemble de toutes ces parties électriques et électroniques stationnaires occupe donc une surface relativement importante, au-delà de la surface définie par la microgénérateur, et cet ensemble est généralement visible, ce qui accentue, pour un consommateur, un caractère hybride de la montre.

Résumé de l'invention

[0008] L'invention se propose de solutionner notamment les problèmes de l'art antérieur indiqués précédemment. D'autres objectifs ressortiront aussi de la description de l'invention qui suit.

[0009] A cet effet, l'invention concerne une pièce d'hor-

logerie selon la revendication 1, laquelle comprend un mobile rotatif, un dispositif moteur agencé pour pouvoir entraîner ce mobile rotatif, un dispositif de régulation pour réguler la vitesse de rotation du mobile rotatif, ce dispositif de régulation comportant une micro-génératrice, qui comporte un stator et un rotor couplé mécaniquement au mobile rotatif, et au moins une diode électro-luminescente qui est alimentée, directement ou indirectement, par la micro-génératrice.

[0010] L'invention concerne encore un procédé de régulation de la vitesse de rotation d'un mobile rotatif d'une pièce d'horlogerie, dans une plage de vitesse fonctionnelle du mobile rotatif entre une vitesse minimale et une vitesse maximale strictement supérieure à la vitesse minimale, selon la revendication 25.

Breve description des figures

[0011] Les buts, avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée qui va suivre, et en référence aux dessins annexés, où:

- la figure 1 représente en perspective un exemple d'application de l'invention à une montre comportant un dispositif d'éclairage : en partie gauche de la figure est visible un barillet, qui alimente, au travers d'un rouage, une micro-génératrice, laquelle comporte un rotor mobile en rotation face à un stator; la micro-génératrice porte au moins une diode électro-luminescente, qui est alimentée par au moins une bobine et qui est montée sur le rotor, excentrée par rapport à l'axe de rotation du rotor, tandis que le stator porte des aimants permanents; ce rotor porte un rochet, qui coopère avec un cliquet pour libérer ou bloquer sa rotation ; la flèche indique schématiquement un dispositif d'actionnement du cliquet qui est mobile en rotation pour stopper et libérer la génératrice;
- la figure 2A représente en perspective la micro-génératrice de la figure 1, dans laquelle deux anneaux du stator portent des aimants permanents, en polarités alternées, et, dans leur entrefer, le rotor porte des bobines; les flèches montrent les sens alternés du champ magnétique, selon une même direction parallèle à l'axe de rotation du rotor; celui-ci porte deux diodes électroluminescentes montées en symétrie par rapport à cet axe de rotation, et toutes deux excentrées;
- la figure 2B est une vue de dessus de la micro-génératrice de la figure 1;
- la figure 3 représente en perspective éclatée la micro-génératrice des figures 1, 2A et 2B ; le disque rotor porte ici 12 bobines, on voit la double rangée de 12 aimants des anneaux statoriques ;
- la figure 4 représente, en vue de dessus selon la direction de l'axe de rotation, le rotor de la micro-génératrice des figures 1 à 3 ; on y voit la connecti-

que des bobines entre elles et avec les diodes électroluminescentes toutes portées par le rotor ;

- la figure 5 est une coupe de la micro-génératrice des figures précédentes, passant par l'axe de rotation de la micro-génératrice; dans cet exemple particulier et non limitatif, les dimensions de la micro-génératrice sont très réduites, avec une cage statorique de diamètre d'environ 8 mm, et une épaisseur d'environ 1,4 mm;
- la figure 6 représente la courbe caractéristique de l'intensité du courant dans une diode électro-luminescente (en ordonnée) en fonction de la tension appliquée aux bornes de cette diode électro-luminescente (en abscisse) ; on peut voir qu'au-delà d'une tension de seuil U_s , l'intensité du courant croît rapidement de façon sensiblement linéaire avec la tension ;
- la figure 7 est un graphe représentant la dissipation d'énergie électrique dans le dispositif de régulation selon l'invention, avec en ordonnée le couple d'entraînement du rotor en fonction de la fréquence du rotor en abscisse, ce couple d'entraînement étant compris entre une valeur minimale, correspondant à une fréquence minimale du rotor prévue pour une plage de couple fonctionnelle, et une valeur maximale correspondant à une fréquence maximale du rotor prévue ; la caractéristique de couple d'entraînement du rotor en fonction de la fréquence du rotor est sensiblement linéaire dans le domaine sélectionné. En somme on voit en abscisse, entre la fréquence minimale et la fréquence maximale du rotor, une plage de fréquences du rotor « acceptée » pour une vitesse de rotation du mobile rotatif dans sa plage de fonctionnement ; et on voit en ordonnée, entre le couple d'entraînement minimal et le couple d'entraînement maximal, une plage de couple dissipé par les LEDs qui correspond à une variation de couple d'entraînement du rotor prévue pour la plage de couple fonctionnelle, ce qui permet de réguler la fréquence de rotation du rotor en présence d'un couple moteur variable de sorte à maintenir cette fréquence dans une plage relativement restreinte ;
- la figure 8 représente, de façon schématisée, un circuit électrique équivalent d'une variante préférée du dispositif de régulation proposé, avec une micro-génératrice, générant un signal alternatif, qui est connectée en parallèle avec deux diodes électroluminescentes en polarité inversée. De cette manière, pendant l'alternance du signal, l'une ou l'autre des diodes émettra de la lumière. Pour des fréquences supérieures à 30 Hz, l'oeil ne distingue plus cette alternance et perçoit donc les deux diodes allumées en même temps ;
- la figure 9 représente la forme du courant induit (en ordonnée) dans les diodes électroluminescentes, en fonction du temps (en abscisse), pour une fréquence à 150 Hz ; la courbe en trait plein correspond à une première LED, et la courbe interrompue à une

- deuxième LED montée en parallèle à la première LED, en liaison directe avec elle et agencée en polarité inverse de la première LED ;
- la figure 10 représente la forme du courant moyen (en ordonnée) circulant dans les deux diodes électroluminescentes en fonction de la fréquence de rotation (en abscisse) du rotor;
 - la figure 11 représente la forme du couple moyen de freinage appliqué au rotor (en ordonnée) par les deux diodes électro-luminescentes en fonction de la fréquence de rotation du rotor (en abscisse);
 - la figure 12 est une courbe montrant l'influence de l'épaisseur du fil de bobine en abscisse sur la résistance de la bobine en ordonnée;
 - la figure 13 est une courbe montrant l'influence de l'épaisseur du fil de bobine en abscisse sur le courant dans les diodes électroluminescentes en ordonnée;
 - la figure 14 est une courbe montrant l'influence de l'épaisseur du fil de bobine en abscisse sur la tension induite en ordonnée;
 - la figure 15 est une courbe montrant l'influence de l'épaisseur du fil de bobine en abscisse sur le temps de décharge totale du barillet en ordonnée;
 - la figure 16 représente, de façon schématisée, une pièce d'horlogerie selon un mode de réalisation général de l'invention ;
 - la figure 17 représente, de manière partielle, une pièce d'horlogerie qui comporte un dispositif de libération et d'arrêt de la micro-génératrice associé à un dispositif de commande à bouton-poussoir actionnable par un utilisateur, pour déclencher l'entraînement ou l'arrêt du rotor de la micro-génératrice.

Description détaillée de l'invention

[0012] L'invention se propose d'utiliser une micro-génératrice alimentant au moins une diode électroluminescente pour consommer une partie de l'énergie fournie par un dispositif moteur à un mobile rotatif, pour réguler la vitesse de ce mobile rotatif.

[0013] L'invention concerne une pièce d'horlogerie 2000 comprenant un mobile rotatif 1, un dispositif moteur agencé pour pouvoir entraîner ce mobile rotatif 1, et un dispositif de régulation 1000 pour réguler la vitesse de rotation du mobile rotatif 1. Ce dispositif moteur est en particulier un dispositif moteur mécanique, notamment formé par un barillet 200.

[0014] Le dispositif de régulation 1000 comporte une micro-génératrice 100 du type horloger, laquelle comporte un stator 20 et un rotor 10 qui est couplé mécaniquement au mobile rotatif 1, et au moins une diode électro-luminescente 31, 32, (aussi nommée 'LED' par la suite), qui est alimentée, directement ou indirectement, par la micro-génératrice 100, et plus particulièrement par au moins une bobine que comporte la micro-génératrice 100. De manière générale, le stator porte des aimants permanents 25 ou des bobines, et le rotor porte respectivement des bobines 11 ou des aimants permanents.

On distingue ci-après la « vitesse » de rotation du mobile rotatif 1 et la « fréquence » de rotation du rotor 10. Chaque bobine 11 fournit à ladite au moins une diode électroluminescente 31, 32, un courant électrique induit lors de la rotation du rotor 10 par rapport au stator 20.

[0015] Les figures 1 à 5 illustrent un exemple non limitatif de micro-génératrice 100 avec un rotor 10 comportant des bobines 11, notamment des bobines plates (galettes), et un stator 20 comprenant une base annulaire 21, avec une section radiale en L, porteur d'une première partie des aimants permanents 25, et un flaque annulaire 22 de fermeture de la base annulaire et porteur d'une seconde partie des aimants permanents 25. La base annulaire et le flasque annulaire forment une cage statorique avec une section radiale en forme de C à trois portions droites. La micro-génératrice 100 a un diamètre généralement compris entre 6 mm et 15 mm.

[0016] La base annulaire 21 et le flasque 22 sont de préférence constitués par un matériau ferromagnétique formant une fermeture extérieure pour le champ magnétique des aimants permanents 25, lesquels sont à aimantation axiale et agencés du côté intérieur de la cage statorique, en regard des bobines 11 du rotor 10. Plus généralement, les bobines 11 et les aimants permanents 25 sont agencés de sorte que les bobines passent au moins partiellement au-dessus des aimants permanents lorsque le rotor 10 tourne, entraîné directement ou indirectement par un barillet 200, que comporte le dispositif moteur, ou par tout moyen d'entraînement adéquat. On a donc une micro-génératrice 100 du type à aimantation axiale des aimants permanents 25 et une structure à « trois niveaux » avec le rotor 10 portant les bobines 11 placées dans le niveau intermédiaire, dans l'espace entre deux niveaux d'aimants permanents 25 situés respectivement des deux côtés axiaux des bobines 11. Les aimants 25 axialement en vis-à-vis ont une même polarité, deux aimants adjacents sur un même niveau présentent des polarités magnétiques opposées. Ainsi, classiquement, pour chacun des deux niveaux d'aimants, les polarités sont alternées.

[0017] Dans une variante préférée, et tel que visible sur la figure 4, au moins une diode électroluminescente 31, respectivement 32, est alimentée directement par au moins une bobine 11 lors de sa rotation par rapport au stator 20 de la micro-génératrice 100, sans circuit électrique ou/et électronique entre ladite au moins une diode électroluminescente et ladite au moins une bobine, à l'exception de plages de contact et deux pistes circulaires, par exemple en or, en particulier sans condensateur et/ou autres composants électriques et/ou électroniques.

[0018] Selon la variante préférée de l'invention, la au moins une diode électroluminescente 31, 32 forme avec la micro-génératrice 100 le dispositif de régulation 1000.

[0019] Dans le cas d'une alimentation indirecte de la au moins une diode électroluminescente 31, 32 par la micro-génératrice 100, la au moins une diode électroluminescente 31, 32 est reliée à la micro-génératrice 100 au travers d'un circuit électrique et/ou électronique sans

composant de stockage substantiel d'énergie électrique. Selon cette variante avantageuse de l'invention, la au moins une diode électroluminescente 31, 32, le circuit électrique et/ou électronique, sans composant de stockage substantiel d'énergie électrique, et la micro-génératrice 100 forment ensemble le dispositif de régulation.

[0020] La micro-génératrice 100 et la au moins une diode électroluminescente 31, 32, sont agencées de manière que, pour une plage de vitesse fonctionnelle du mobile rotatif 1 entre une vitesse minimale $V_{\min}$ et une vitesse maximale $V_{\max}$ strictement supérieure à la vitesse minimale $V_{\min}$, la plage de fréquence correspondante de la rotation du rotor 10, comprise entre une fréquence minimale $F_{\min}$ et une fréquence maximale $F_{\max}$, engendre, dans les bobines 11, une plage de tension induite dont la valeur de tension induite (tension de crête) maximale $U_{\max}$, intervenant pour la fréquence maximale $F_{\max}$, est supérieure à une tension de seuil U_s de ladite au moins diode électroluminescente 31, 32. De préférence, la valeur de tension induite (tension de crête) minimale $U_{\min}$, intervenant pour ladite fréquence minimale $F_{\min}$, de la plage de tension induite est aussi supérieure à la tension de seuil U_s de ladite au moins diode électroluminescente 31, 32.

[0021] La au moins une diode électro-luminescente 31, 32 et, le cas échéant, le circuit électrique et/ou électronique susmentionné constituent le seul dispositif de consommation d'énergie électrique incorporé dans le dispositif de régulation 1000, le dispositif moteur étant agencé de manière qu'il a une plage utile de couple moteur permettant un entraînement du mobile rotatif 1 sensiblement dans la plage de vitesse fonctionnelle.

[0022] La réunion de ces caractéristiques a pour effet que la ou les LEDs 31, 32 régulent la fréquence de rotation du rotor 10, et ainsi la vitesse de rotation du mobile rotatif 1, pour une plage de couple mécanique utile fourni par le dispositif moteur, et que le dispositif de régulation 1000 est configuré à cet effet, ce dispositif se limitant à l'ensemble formé par la ou les LEDs 31, 32, éventuellement un circuit électrique et/ou électronique, sans composant de stockage substantiel d'énergie électrique, et la micro-génératrice 100. Ainsi, la ou les LEDs 31, 32 et la micro-génératrice 100 sont agencées de manière que la tension induite dans la micro-génératrice 100 reste dans une plage de tension induite, pour la plage de couple mécanique utile, qui correspond à une plage de tension de travail de chaque LED 31, 32, sur la courbe courant/tension caractéristique d'une LED et représentée en figure 6.

[0023] Selon une caractéristique particulière, la valeur de tension minimale $U_{\min}$ (tension de crête) de la plage de tension induite, correspondant à la fréquence minimale $F_{\min}$, est aussi supérieure à la tension de seuil U_s de ladite au moins diode électroluminescente 31, 32. Ainsi les LEDs fonctionnent sur toute la plage de vitesse du mobile rotatif 1 et régulent donc la vitesse de rotation de ce mobile rotatif sur toute la plage de vitesse prévue en fonctionnement normal pour ce mobile rotatif.

[0024] Selon une caractéristique particulière, le dispositif de régulation ne comporte aucun moyen de dissipation d'énergie cinétique du rotor 10 de la micro-génératrice 100. On cherche en effet à éviter que la fréquence du rotor augmente, plutôt que d'abaisser sa fréquence ;

[0025] Selon une caractéristique particulière, le dispositif moteur est agencé de manière que sa plage utile de couple moteur présente un couple minimum C_{MotMin} , entraînant le mobile rotatif 1 à la vitesse minimale $V_{\min}$ de la plage de vitesse fonctionnelle, et un couple maximal C_{MotMax} entraînant le mobile rotatif 1 à la vitesse maximale $V_{\max}$ de cette plage de vitesse fonctionnelle.

[0026] Avantageusement, le dispositif de régulation 1000 régule la fréquence de rotation du rotor 10 en la maintenant dans la plage de fréquence, entre la fréquence minimale $F_{\min}$ et la fréquence maximale $F_{\max}$, pour la plage de couple utile du dispositif moteur entre le couple moteur minimal C_{MotMin} et le couple moteur maximal C_{MotMax} .

[0027] Plus particulièrement, le dispositif moteur est formé par un barillet 200 qui est dédié à l'entraînement d'un mécanisme comprenant le mobile rotatif 1 et est dimensionné pour que la plage utile du couple qu'il délivre, entre le couple moteur minimal C_{MotMin} et le couple moteur maximal C_{MotMax} , soit telle que le couple moteur minimal C_{MotMin} soit égal à la somme d'un couple mécanique C_{MecVmin} nécessaire à l'entraînement du mécanisme, à l'exception du rotor 10 de la micro-génératrice 100, avec le mobile rotatif 1 tournant à la vitesse minimale $V_{\min}$, d'une part, et d'un couple d'entraînement du rotor minimal C_{EDmin} correspondant à la fréquence minimale $F_{\min}$ du rotor 10 d'autre part, et pour que la plage utile (C_{MotMin} ; C_{MotMax}) du couple qu'il délivre soit encore telle que le couple moteur maximal C_{MotMax} soit égal à la somme d'un couple mécanique C_{MecVmax} nécessaire à l'entraînement du mécanisme, à l'exception du rotor 10 de la micro-génératrice 100, avec le mobile rotatif 1 tournant à la vitesse maximale $V_{\max}$, d'une part, et à un couple d'entraînement du rotor maximal C_{EDmax} correspondant à la fréquence maximale $F_{\max}$ du rotor 10 d'autre part. Ainsi :

$$C_{\text{MotMin}} = C_{\text{MecVmin}} + C_{\text{EDmin}}$$

$$C_{\text{MotMax}} = C_{\text{MecVmax}} + C_{\text{EDmax}}$$

[0028] Le dispositif de régulation 1000 comporte une diode électroluminescente ou plusieurs diodes électroluminescentes 31, 32, en nombre tel que, selon leur type et leur dimensionnement, l'ensemble des diodes électroluminescentes 31, 32, que comporte le dispositif de régulation 1000 soit agencé pour effectuer une dissipation d'énergie électrique avec un couple d'entraînement du rotor 10 compris entre le couple d'entraînement du rotor minimal C_{EDmin} , correspondant à la fréquence minimale $F_{\min}$ du rotor 10 d'une part, et le couple d'entraînement

du rotor maximal C_{EDmax} correspondant à la fréquence maximale F_{max} du rotor 10 d'autre part.

[0029] Selon deux variantes particulières, les bobines 11 sont reliées, directement ou indirectement, à la au moins une diode électro-luminescente 31, 32.

[0030] Selon une caractéristique avantageuse, au moins une diode électro-luminescente 31, 32, est alimentée indirectement, au travers d'un circuit électrique ou électronique qui comprend un redresseur à pont de Graetz formant le seul circuit électrique et/ou électronique, par au moins une bobine 11 fournissant un courant électrique induit lors de sa rotation par rapport au stator 20, de la micro-génératrice 100.

[0031] Selon des caractéristiques avantageuses illustrées par les figures, le stator 20 porte les aimants permanents 25, et le rotor 10 porte les bobines 11, et chaque diode électro-luminescente 31, 32 est montée sur le rotor 10.

[0032] Plus particulièrement, les aimants permanents 25 sont situés, en projection axiale, à l'intérieur d'une surface circulaire définie par le rotor 10 lorsqu'il tourne.

[0033] De préférence, au moins une diode électro-luminescente 31, 32 est alimentée directement par au moins une bobine 11 lors de sa rotation par rapport au stator 20 de la micro-génératrice 100.

[0034] Plus particulièrement, et tel que visible dans la variante avantageuse représentée aux figures 1 à 5, le rotor 10 porte au moins une paire de diodes électro-luminescentes 31, 32, de préférence diamétralement opposées et agencées en polarités inverses l'une à l'autre.

[0035] Plus particulièrement encore, dans une variante non illustrée, le rotor 10 porte quatre diodes électro-luminescentes (aussi nommées 'LEDs') à 90°, agencées deux à deux en polarités inverses (de préférence deux LEDs diamétralement opposées ayant une même polarité).

[0036] Selon une caractéristique avantageuse, tout dispositif électrique et/ou électronique que comporte la pièce d'horlogerie 2000 est un élément de la micro-génératrice 100 et du dispositif de régulation.

[0037] De préférence, tout équipement électrique et/ou électronique que comporte la pièce d'horlogerie 2000 est embarqué sur le rotor 10 de la micro-génératrice 100. Cet équipement électrique et électronique est formé par ladite au moins une diode électroluminescente 31, 32, la bobine ou les bobines, et, le cas échéant, un circuit électrique ou/et électronique agencé entre au moins une des bobines et ladite au moins une diode électroluminescente 31, 32. Une pièce d'horlogerie mécanique échappe ainsi à tout câblage ou moyen de transfert d'énergie électrique hors du rotor 10.

[0038] En particulier, et tel que visible sur les figures 1 à 5, le rotor 10 et le stator 20 sont montés coaxiaux autour d'un axe de rotation D de la micro-génératrice 100, et ladite au moins une diode électroluminescente 31, 32, est montée excentrée par rapport audit axe de rotation D, chaque diode électroluminescente 31, 32, décrivant ainsi une surface annulaire pendant la rotation du

rotor 10.

[0039] Et, dans une réalisation particulière, ladite au moins une diode électroluminescente 31, 32, est agencée pour fournir au moins une majeure partie de la lumière 70 qu'elle émet à au moins une partie de la pièce d'horlogerie 1000 visible pour un utilisateur de cette pièce d'horlogerie, de sorte à illuminer cette au moins une partie visible. Ainsi, les diodes électroluminescentes 31, 32, sont agencées sur le rotor 10 pour obtenir le meilleur résultat, et la structure extérieure du côté de l'émission de lumière doit être ajourée pour permettre à la lumière émise 70 de traverser en majeure partie cette structure extérieure, de préférence pour que substantiellement toute la lumière émise puisse traverser cette structure extérieure.

[0040] Aussi, plus particulièrement, tel que visible sur les figures 4 et 5, le rotor 10 comprend un moyeu 19 qui comprend un pignon d'entraînement 19a et qui porte une structure annulaire inférieure 52, un disque 54, par exemple en céramique, formant un support pour les bobines 11 agencées dans des ouvertures périphériques de ce disque et pour les deux LEDs 31, 32, agencées dans deux ouvertures respectives 55 du disque, et une roue dentée 18 située au-dessus des surfaces d'émission des LEDs 31, 32, et qui est ajourée, comportant des ouvertures 17 configurées pour laisser passer la lumière 70 émise par chacune de ces LEDs vers des moyens de guidage de cette lumière émise vers ladite au moins une partie visible de la pièce d'horlogerie.

[0041] La roue dentée 18 est un rochet formant un dispositif de blocage et de libération de la micro-génératrice 100. La structure annulaire inférieure 52 est de préférence opaque et sans ouverture, de sorte à masquer les ouvertures 55, les plages de contact 65, les gouttes de colle 68 et les pistes circulaires 66. Les plages de contact 60 et les connexions des bobines 11 à ces plages de contact sont masqués à la vue d'un observateur par la base 22 de la cage statorique. Ainsi, hormis une petite portion des deux plages de contact 64 éventuellement visibles au travers de la fente circulaire située entre la structure annulaire 52 et la base 22, la micro-génératrice 100 ne laisse apparaître aucun élément électrique ou électronique, l'exception des surfaces d'émission des LEDs, lesquelles ont une noble apparence et sont situées dans une région interne de cette micro-génératrice lumineuse. Une telle construction est particulièrement bien adaptée à un dispositif d'éclairage incorporé dans un mouvement mécanique haut de gamme. En plus, les liaisons électriques peuvent être prévues en or.

[0042] Plus particulièrement, le dispositif de régulation 1000 comporte, au voisinage de la micro-génératrice 100, au moins une structure guide de lumière stationnaire, qui est agencée pour collecter, pour toute position angulaire du rotor 10 lorsque celui-ci tourne, au moins une majeure partie de la lumière émise par au moins une diode électro-luminescente 31, 32, et pour ensuite guider cette lumière émise vers au moins une partie visible de la pièce d'horlogerie, de manière à obtenir une illumina-

tion de cette partie visible sensiblement constante et/ou sensiblement uniforme lorsque la au moins une diode électro-luminescente émet.

[0043] Dans une variante particulière, le rotor 10 est entraîné par un barillet 200, au travers d'un rouage de barillet 300. La micro-génératrice 100 est équipée d'un dispositif 400 de blocage et de libération du rotor qui comprend le rochet 18 et un cliquet 92, ce dispositif permettant d'activer la micro-génératrice à la demande comme régulateur de vitesse, en particulier dans une montre musicale ou à sonnerie. Il est utilisé pour enclencher la rotation de la micro-génératrice à la demande et pour ensuite l'arrêter. Il est donc possible d'actionner brièvement plusieurs fois la rotation du rotor sur une charge de barillet.

[0044] Le rotor 10 comprend un module composé du disque support 54 (notamment en matière céramique) qui porte un certain nombre de petites bobines 11 à sa périphérie ainsi qu'au moins une diode électroluminescente, notamment deux LEDs 31, 32. La rotation des bobines 11 dans le champ magnétique des aimants 25 du stator 20, génère une tension induite et ainsi un courant induit alternatif, lequel alimente les diodes électroluminescentes selon le schéma électrique équivalent donné en figure 8. Les bobines 11 sont connectées en série, avec des polarités alternées, l'extrémité intérieur 61 et l'extrémité extérieure 62 de chaque bobine étant reliées respectivement à deux plages de contact 60 formées sur le disque support 54. Cette pluralité de bobines est reliée aux deux LEDs, notamment via un circuit imprimé qui est constitué de deux plages de contact 64 pour deux extrémités respectives de deux bobines d'extrémité de la série de bobines et pour une connexion électrique 67 de la première LED 31 à ces bobines, de deux plages de contact 65 pour la connexion électrique 67 de la deuxième LED 32, et de deux pistes circulaires 66 reliant les deux plages de contact 64 respectivement aux deux plages de contact 65. Les deux LEDs 31, 32 sont agencées en polarisation inversée afin d'exploiter l'alternance du courant électrique généré dans ce système d'alimentation directe des LEDs par les bobines 11. Dans la variante avantageuse représentée, les plages de contact 64 et 65 et les deux pistes circulaires 66 sont directement imprimées / déposées sur le disque support. Ainsi aucun PCB classique en matériau synthétique n'est nécessaire. A noter que les connexions électriques 67 sont protégées par des gouttes de colle 68 qui servent aussi à la fixation des LEDs dans les ouvertures respectives 55 du disque support 54.

[0045] On peut donc fonctionner avec un circuit électrique aussi simple que celui représenté sur la figure 8.

[0046] Le courant i_{LED} au cours du temps circulant dans chaque diode électroluminescente 31, 32 prend alors la forme visible sur la figure 9.

[0047] Ce qui compte pour la fréquence de rotation de la micro-génératrice est le courant moyen $i_{LED\text{ MOY}}$, représenté à la figure 10, circulant dans les deux diodes électroluminescentes ; ce qui se traduit par un couple

moyen de freinage C_{MFR} appliqué au rotor tel que représenté sur la figure 11. On remarquera que dans le cas d'une variante dans laquelle il est prévu une alimentation indirecte des diodes électroluminescentes et qui comprend un circuit électrique et/ou électronique sans composant de stockage substantiel d'énergie électrique, ce circuit peut aisément être configuré pour consommer très peu d'énergie électrique relativement aux diodes électroluminescentes, de sorte que son impact est faible, voire insignifiant. En particulier, un tel circuit peut être composé exclusivement d'éléments passifs. Quoiqu'il en soit, un circuit électrique et/ou électronique de gestion de l'alimentation de diodes électroluminescentes consomme un faible courant sensiblement constant, ce qui engendre un 'offset' dans le graphe de la figure 10 en prenant le courant total incluant celui de ce circuit. De même, on observera un petit offset dans le graphe de la figure 11. Et même si la consommation du circuit électrique et/ou électronique subissait une certaine augmentation lorsque la tension de seuil des diodes électroluminescentes est dépassée et que le circuit est alors traversé par un courant électrique plus fort, on aurait un petit offset au-delà de cette tension de seuil, et ainsi dans la plage fonctionnelle pour la régulation de la microgénératrice. Un tel offset ne change pas le principe de régulation, la courbe de consommation d'énergie électrique conserve un profil semblable à celui représenté à la figure 11, permettant la régulation prévue dans le cadre de l'invention.

[0048] Dans un exemple particulier, le barillet délivre au départ un couple maximal de $20 \mu\text{N}\cdot\text{m}$ au rotor, et on a une fréquence de rotation initiale de ce rotor environ égale à 120 Hz, laquelle baisse progressivement avec la décharge du barillet, notamment jusqu'à environ 100 Hz correspondant approximativement à un couple minimal de $12 \mu\text{N}\cdot\text{m}$ fourni au rotor, le couple minimal et le couple maximal correspondant à une plage utile du couple moteur du barillet pour un fonctionnement correct du mécanisme entraîné. Sans puissance dissipée par les diodes électroluminescentes (LEDs), l'ensemble tournerait beaucoup plus vite. Concernant la tension induite dans les bobines, si on note: K_u le coefficient de tension induite pour une bobine (valeur max de la tension induite dans une bobine), n_{BOB} le nombre de bobines, ω la fréquence de rotation (rad/s), et en considérant toutes les bobines alternées en série, la tension induite est V_{IND} :

$$V_{IND} = \omega \cdot n_{BOB} \cdot K_u \cdot \sin(\omega \cdot n_{BOB} \cdot t/2)$$

[0049] En effet la pulsation électrique est égale à $n_{BOB}/2$ multiplié par la fréquence de rotation ω , car la tension induite est la dérivée de la variation de flux magnétique, qui passe une fois de + à - et la fois suivante de - à +. La tension induite est donc une fonction linéaire de la fréquence de rotation.

[0050] En ce qui concerne la relation entre la tension induite et le courant dans la diode électroluminescente,

elle est donnée en théorie par l'équation de Shockley, où V_t vaut 26mV à température ambiante et n est un paramètre de qualité compris entre 1 et 2: $I = I_S \cdot (e^{V_{IND}/nV_t} - 1)$. Une bonne approximation est donnée par la figure 6: la diode est bloquée aux tensions négatives et basses, et est passante au-delà de la tension de seuil U_s , la courbe caractéristique $I_D = f(U_D)$ montre la forte croissance de l'intensité dans la LED, sensiblement linéaire au-delà de la tension de seuil U_s , et on voit que de faibles augmentations de la tension au-delà de la valeur de seuil U_s produisent de grandes augmentations de courant, et une conséquente dissipation d'énergie. Cette approximation est très proche du comportement réel de la LED donné par l'équation de Shockley ci-dessus.

[0051] Les dimensions des aimants et bobines sont optimisées, telles que visibles en figure 5, pour une cage statorique relativement petite, avec un diamètre extérieur de 8,4 mm, et une épaisseur totale hors moyen de 1,4 mm seulement.

[0052] Le nombre de spires et le diamètre du fil sont adaptés afin d'assurer le fonctionnement des diodes électroluminescentes. Un autre nombre de bobines, aimants et des dimensions différentes sont tout à fait envisageables. L'augmentation du volume des aimants 25, ou la diminution de l'entrefer, permet l'augmentation du couplage entre bobines 11 et aimants 25. Afin de maximiser les variations de flux, on rapproche au maximum les aimants 25 entre eux et les bobines 11 entre elles. Concernant les bobines 11, l'augmentation de leur volume ou la diminution du diamètre du fil permet d'augmenter le coefficient de tension induite K_u (défini comme le rapport de la tension induite par la fréquence de rotation) mais augmente également la résistance de la bobine. Dans ce cas, on diminue l'intensité du courant dans les diodes électroluminescentes mais on diminue également la fréquence de rotation du rotor, augmentant ainsi le temps de décharge du barillet et d'éclairage. Les figures 12 à 15 montrent les effets de l'épaisseur du fil de bobine 11 sur la résistance (figure 12), sur le courant dans les diodes (figure 13), sur la tension induite (figure 13), et sur le temps de décharge totale du barillet (figure 15).

[0053] Ainsi, en choisissant un diamètre de fil de 14 μm , on obtient une fréquence de rotor de 120 tours par seconde, barillet chargé, ce qui, avec une réserve de marche de l'ordre de 5500 tours rapportée au rotor, permet une durée de fonctionnement de plus de 40 secondes.

[0054] Selon une caractéristique particulière, la pièce d'horlogerie 2000 comporte un dispositif de libération et d'arrêt de la micro-génératrice 100 qui comprend, d'une part, un dispositif de commande 400 actionnable par un utilisateur pour au moins déclencher et de préférence également stopper ensuite l'entraînement du rotor 10 de la micro-génératrice 100, le dispositif de commande 400 comportant un organe de commande externe, notamment un bouton-poussoir ou une targette équipée d'un ressort de targette et d'autre part un mécanisme d'en-

clenchement 500 actionnable par le mouvement 600 que comporte la pièce d'horlogerie 2000, par exemple pour sonner l'heure ou produire une mélodie à la demande ou à des heures données.

[0055] Dans une variante illustrée par la figure 17, l'utilisateur peut notamment libérer le mobile rotatif et le rotor 10 et la micro-génératrice 100, en pressant sur un bouton-poussoir 401 actionnant une bascule 402, agissant sur un bras d'actionnement 403, et un élément élastique 404 commandant le cliquet 92 que comporte le dispositif de libération et d'arrêt et actionnable par le bras d'actionnement 403 et de manière automatique par mécanisme d'enclenchement 500 entraîné par le mouvement. La rotation perdure jusqu'à que le bouton-poussoir soit relâché ou pour un intervalle de temps déterminé. Le mécanisme d'enclenchement 500 actionné par le mouvement horloger 600 agit sur l'élément élastique 404, notamment pour une fonction de réveil, de préférence durant un intervalle de temps déterminé. Tout système similaire peut être imaginé pour commander la rotation et l'arrêt du mobile rotatif 1 à la commande. En particulier, les différents mécanismes prévus sont agencés pour libérer momentanément le cliquet 92 du rochet 18 du rotor 10, et autoriser ainsi la rotation du rotor 10 de la micro-génératrice 100 à la demande, permettant l'entraînement du mobile rotatif.

[0056] On notera que les mécanismes de répétition et/ou de sonnerie les plus perfectionnés comportent des dispositifs de sécurité comportant des leviers dénommés isolateurs permettant de jouer l'entier d'une mélodie ou d'un affichage sonore, et interdisant toute manoeuvre par l'utilisateur pendant ce temps, ou encore toute autre commande par la pièce d'horlogerie elle-même. L'énergie stockée à cette fin, dans un barillet de sonnerie ou un ressort de targette ou similaire, est supérieure à l'énergie nécessaire pour jouer la plage sonore de plus grande durée.

[0057] Plus particulièrement encore, le dispositif de libération et d'arrêt comporte un dispositif de temporisation mécanique pour limiter la durée de rotation du rotor 10.

[0058] Selon une caractéristique particulière, la pièce d'horlogerie 2000 comporte une zone déterminée éclairable directement ou indirectement par au moins une diode électroluminescente 31, 32, quand celle-ci émet de la lumière.

[0059] Selon une caractéristique particulière, la pièce d'horlogerie 2000 comporte un mécanisme d'animation acoustique qui est un mécanisme de sonnerie ou de répétition ou d'animation musicale comportant le mobile rotatif 1 dont la vitesse de rotation est régulée par le dispositif de régulation 1000.

[0060] Selon une caractéristique particulière, la pièce d'horlogerie 2000 comporte un mécanisme d'animation visuelle comportant le mobile rotatif 1 dont la vitesse de rotation est régulée par le dispositif de régulation 1000.

[0061] Plus particulièrement, au moins une diode électroluminescente 31, 32, émet de la lumière vers une

zone déterminée de façon synchrone pendant une séquence d'animation acoustique ou d'animation visuelle de la pièce d'horlogerie 2000. Elle peut éclairer spécifiquement une zone / des zones particulière (s) du mécanisme, ou une animation visuelle, ou un élément décoratif particulier de la montre tel qu'un vitrail, des notes de musique, ou autre.

[0062] Selon une caractéristique particulière, la pièce d'horlogerie 2000 est dépourvue de condensateur de stockage d'énergie électrique.

[0063] L'invention concerne encore un procédé de régulation de la vitesse de rotation d'un mobile rotatif 1 d'une pièce d'horlogerie 2000, dans une plage de vitesse fonctionnelle du mobile rotatif 1 entre une vitesse minimale $V_{\min}$ et une vitesse maximale $V_{\max}$ strictement supérieure à la vitesse minimale, le mobile rotatif 1 étant entraîné par un dispositif moteur, notamment un barillet 200, que comporte la pièce d'horlogerie 2000.

[0064] Par ce procédé on met en oeuvre un dispositif 1000 de régulation de la vitesse de rotation du mobile rotatif 1, ce dispositif de régulation 1000 comportant une micro-génératrice 100 qui comporte un rotor 10 couplé mécaniquement au mobile rotatif 1, ce rotor étant mobile autour d'un axe de rotation D par rapport à un stator 20 portant des aimants permanents 25 ou des bobines, le rotor portant respectivement des bobines 11 ou des aimants permanents, les bobines 11 étant reliées, directement ou indirectement, à au moins une diode électroluminescente 31, 32.

[0065] Selon l'invention, on détermine les caractéristiques de la micro-génératrice 100 et de la au moins une diode électroluminescente 31, 32 ensemble avec, le cas échéant, le circuit électrique et/ou électronique sans composant de stockage substantiel d'énergie électrique, qui constituent le seul dispositif de consommation d'énergie électrique produit par la micro-génératrice, et la démultiplication du dispositif de régulation 1000 entre le mobile rotatif 1 et le rotor 10 de manière que, pour la plage de vitesse fonctionnelle du mobile rotatif 1, la plage de fréquence correspondante de la rotation du rotor 10, comprise entre une fréquence minimale $F_{\min}$ et une fréquence maximale $F_{\max}$, engendre dans les bobines 11 une plage de tension induite dont la valeur de tension maximale $U_{\max}$ pour la fréquence maximale $F_{\max}$ est supérieure à une tension de seuil U_s de la au moins une diode électroluminescente 31, 32. Et on choisit le dispositif moteur agencé de manière que sa plage utile de couple moteur présente un couple minimum C_{MotMin} entraînant le mobile rotatif 1 à la vitesse minimale de la plage de vitesse fonctionnelle, et un couple maximal C_{MotMax} entraînant le mobile rotatif 1 à la vitesse maximale de la plage de vitesse fonctionnelle. De préférence, ladite plage de tension induite est située dans une plage de tension fonctionnelle de ladite au moins une diode électroluminescente 31, 32, c'est-à-dire dans une plage de tension au-dessus de la tension de seuil U_s de sorte que ladite au moins une diode électroluminescente produit de la lumière dans toute la plage de tension induite

concernée en fonctionnement normal, ce qui permet une régulation efficace sur toute la plage de fonctionnement prévue.

[0066] Plus particulièrement, on détermine le dispositif de régulation 1000 pour réguler la fréquence de rotation du rotor 10 en la maintenant dans la plage de fréquence, entre la fréquence minimale $F_{\min}$ et la fréquence maximale $F_{\max}$, pour une plage de couple utile du dispositif moteur, entre un couple moteur minimal C_{MotMin} et un couple moteur maximal C_{MotMax} . Et la valeur de tension minimale $U_{\min}$ pour la fréquence minimale $F_{\min}$ est prévue au-dessus de ladite tension de seuil U_s

[0067] Plus particulièrement, on agence le dispositif de régulation 1000 de façon à ne comporter aucun moyen de dissipation d'énergie cinétique du rotor 10 de la micro-génératrice 100. On comprend que l'invention ne freine pas le rotor pour réduire sa fréquence, mais seulement pour éviter que sa fréquence augmente.

[0068] Plus particulièrement encore, on équipe le dispositif moteur d'un barillet 200 dimensionné pour que la plage utile du couple qu'il délivre, entre le couple moteur minimal C_{MotMin} et le couple moteur maximal C_{MotMax} , soit telle que le couple moteur minimal C_{MotMin} soit égal à la somme d'un couple mécanique C_{MecVmin} nécessaire à l'entraînement du mécanisme entraîné par le barillet, à l'exception du rotor 10 de la micro-génératrice 100, avec le mobile rotatif 1 tournant à la vitesse minimale $V_{\min}$, d'une part, et d'un couple d'entraînement du rotor minimal C_{EDmin} correspondant à la fréquence minimale $F_{\min}$ du rotor 10 d'autre part, et telle que le couple moteur maximal C_{MotMax} soit égal à la somme d'un couple mécanique C_{MecVmax} nécessaire à l'entraînement du mécanisme, à l'exception du rotor 10 de la micro-génératrice 100, avec le mobile rotatif 1 tournant à la vitesse maximale $V_{\max}$, d'une part, et à un couple d'entraînement du rotor maximal C_{EDmax} correspondant à la fréquence maximale $F_{\max}$ du rotor d'autre part.

[0069] Plus particulièrement encore, on choisit la diode électroluminescente ou plusieurs diodes électroluminescentes 31, 32, en nombre tel que, selon leur type et leur dimensionnement, l'ensemble des diodes électroluminescentes 31, 32, que comporte le dispositif de régulation 1000 soit agencé pour effectuer une dissipation électrique avec un couple d'entraînement du rotor compris entre le couple d'entraînement du rotor minimal C_{EDmin} , correspondant à la fréquence minimale $F_{\min}$, et le couple d'entraînement du rotor maximal C_{EDmax} correspondant à la fréquence maximale $F_{\max}$ d'autre part, tel que visible sur la figure 7.

[0070] Selon une variante particulière, on choisit une alimentation indirecte de la au moins une diode électroluminescente 31, 32, par la micro-génératrice 100, et on relie la au moins une diode électroluminescente 31, 32 à la micro-génératrice 100 au travers d'un circuit électrique et/ou électronique sans composant de stockage substantiel d'un courant électrique induit dans les bobines 11 lors d'une rotation du rotor 10 de la micro-génératrice 100.

[0071] En somme, l'invention met en oeuvre une régulation passive, ne nécessitant aucun circuit électronique de traitement de données et de commande de la régulation. L'alimentation de LEDs directement ou indirectement via un circuit électrique / électronique sans composant de stockage substantiel d'énergie électrique par une micro-génératrice pour un dispositif de régulation de la vitesse de rotation d'un mobile est un concept nouveau, qui permet d'associer une grande efficacité, une bonne compacité, un faible nombre de composants, et un coût réduit. De plus, un tel dispositif permet d'obtenir un agencement robuste et relativement haut de gamme, adapté à l'horlogerie haut de gamme.

[0072] L'invention permet aussi de s'affranchir de composants mécaniques mobiles, fragiles et sujets à l'usure, tels ceux mis en oeuvre dans des régulateurs à inertie, des régulateurs aérodynamiques, ou encore des régulateurs à courants de Foucault. On s'affranchit également de moyens de rappel mécaniques tels des ressorts.

[0073] Les avantages de l'invention sont multiples.

[0074] L'agencement des diodes électroluminescentes directement sur la micro-génératrice permet de ne pas avoir recours à une connectique de contacts frotants, ou des fils conducteurs ou des pistes de circuit imprimé ou PCB. Ceci assure la compatibilité avec l'horlogerie haut de gamme. Leur agencement avantageux sur le rotor permet d'éviter la présence de tout composant électronique composé de matériaux non compatibles avec une montre mécanique haut de gamme. Dans la variante préférée, les diodes électroluminescentes sont alors les seuls composants qualifiables « d'électronique » mais leur composition est inorganique et la grande majorité du volume est composé de cristal et métal. Par ce fait, l'agencement proposé est esthétiquement discret et compatible aussi avec une construction de montre squelette avec un système apparent. Dans la variante avantageuse avec une alimentation indirecte des diodes électroluminescentes, dans laquelle il est prévu un circuit électrique et/ou électronique sans composant de stockage substantiel d'un courant électrique, on peut aussi avoir essentiellement que du cristal, notamment du silicium et du métal, et assurer une très grande longévité aux éléments du type « électronique ». Cette variante est ainsi aussi appropriée à l'horlogerie haut de gamme relative aux mouvements mécaniques soignés.

[0075] L'alimentation d'une ou plusieurs diodes électroluminescentes est possible sans avoir recours à une pile ou batterie. On peut certes employer une capacité de lissage embarquée sur le rotor, mais cela ne semble pas nécessaire car le rotor tourne avec une relativement haute fréquence de sorte que la variation périodique de luminosité n'est pas perceptible pour l'œil humain, quand on utilise la fonctionnalité d'éclairage des LEDs pour éclairer une partie visible de la pièce d'horlogerie. En effet, le mode de réalisation préféré de l'invention offre justement l'avantage de présenter un circuit passif sans aucun stockage d'énergie intermédiaire, grâce à l'alimentation

de chaque diode directement par les bobines, sans nécessiter obligatoirement de redresseur de tension induite ou de capacité de lissage.

[0076] La possibilité d'activer une fonction lumineuse, couplée avec une autre fonction liée à la rotation du mobile rotatif 1, et de l'arrêter après un temps voulu est très avantageuse. Cette option n'est pas dans les montres connues de l'art antérieur. Il est ainsi possible de disposer d'une fonction annexe d'éclairage, par exemple pour l'éclairage d'un cadran, ou d'un mobile visible par l'utilisateur, ou autre, pendant la rotation du mobile rotatif.

[0077] La diode électroluminescente n'a pas de luminosité persistante lorsque le courant s'éteint, mais l'œil de l'utilisateur voit un éclairage persistant, car, avec une rotation de l'ordre de la centaine de Hertz et par exemple 12 ou 14 pôles dans la micro-génératrice, on a un clignotement de l'ordre du kHz, imperceptible à l'œil. Quant à la rotation de la micro-génératrice, des petits couples de freinage un millier de fois par seconde vont agir comme lissage sur la fréquence de rotation. Un condensateur de stockage d'énergie n'est quant à lui pas souhaitable, car il n'aurait pas de variation de tension qui suive suffisamment vite la variation de tension induite, et présenterait donc une faible efficacité pour la régulation de vitesse. Lorsque les diodes électroluminescentes (LEDs) tournent à haute fréquence, elles génèrent une distribution lumineuse annulaire quasi continue et uniforme pour l'œil humain et dont l'extension superficielle est beaucoup plus grande de celle d'une diode électroluminescente.

[0078] La solution sans électronique autre qu'un éventuel pont de Graetz (passif) embarqué sur le rotor, et sans aucun accumulateur d'énergie électrique, garantit la pleine compatibilité avec une construction horlogère haut de gamme.

Revendications

1. Pièce d'horlogerie (2000) comprenant un mobile rotatif (1), un dispositif moteur (200) agencé pour pouvoir entraîner ce mobile rotatif, un dispositif de régulation (1000) pour réguler la vitesse de rotation du mobile rotatif, ce dispositif de régulation comportant une micro-génératrice (100) qui comporte un stator (20) et un rotor (10) couplé mécaniquement au mobile rotatif (1), le stator (20) portant des aimants permanents (25) ou des bobines et le rotor portant respectivement des bobines (11) ou des aimants permanents ; **caractérisée en ce que** le dispositif de régulation comprend en outre au moins une diode électroluminescente (31, 32) qui est alimentée, directement ou indirectement, par la micro-génératrice ; **en ce que**, dans le cas d'une alimentation indirecte de ladite au moins une diode électroluminescente par la micro-génératrice, ladite au moins une diode électroluminescente est reliée à la micro-génératrice au travers d'un circuit électrique et/ou électronique sans composant de stockage

substantiel d'énergie électrique ; **en ce que** la micro-génératrice (100) et ladite au moins une diode électroluminescente sont agencées de manière que, pour une plage de vitesse fonctionnelle du mobile rotatif entre une vitesse minimale ($V_{\min}$) et une vitesse maximale ($V_{\max}$) strictement supérieure à la vitesse minimale, la plage de fréquence correspondante de la rotation du rotor (10), comprise entre une fréquence minimale ($F_{\min}$) et une fréquence maximale ($F_{\max}$), engendre, dans les bobines (11), une plage de tension induite dont la valeur de tension induite maximale, intervenant pour ladite fréquence maximale ($F_{\max}$), est supérieure à une tension de seuil (U_s) de ladite au moins une diode électro-luminescente (31, 32) ; et **en ce que** ladite au moins une diode électro-luminescente et, le cas échéant, ledit circuit électrique et/ou électronique sans composant de stockage substantiel d'énergie électrique constituent substantiellement le seul dispositif de consommation d'énergie électrique incorporé dans le dispositif de régulation, le dispositif moteur étant agencé de manière qu'il a une plage utile de couple moteur permettant un entraînement du mobile rotatif sensiblement dans ladite plage de vitesse fonctionnelle.

2. Pièce d'horlogerie (2000) selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la valeur de tension induite minimale, intervenant pour ladite fréquence minimale ($F_{\min}$), de ladite plage de tension induite est aussi supérieure à la tension de seuil (U_s) de ladite au moins diode électroluminescente (31, 32).
3. Pièce d'horlogerie (2000) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** le dispositif de régulation ne comporte aucun moyen de dissipation d'énergie cinétique du rotor (10) de la micro-génératrice (100).
4. Pièce d'horlogerie (2000) selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce que** le dispositif moteur est agencé de manière que sa plage utile de couple moteur présente un couple minimum (C_{MotMin}), entraînant le mobile rotatif (1) à ladite vitesse minimale ($V_{\min}$) de la plage de vitesse fonctionnelle, et un couple maximal (C_{MotMax}) entraînant le mobile rotatif à ladite vitesse maximale ($V_{\max}$) de cette plage de vitesse fonctionnelle.
5. Pièce d'horlogerie (2000) selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** le dispositif de régulation (1000) régule la fréquence de rotation du rotor (10) en la maintenant dans ladite plage de fréquence, entre la fréquence minimale ($F_{\min}$) et la fréquence maximale ($F_{\max}$), pour la plage de couple utile du dispositif moteur entre le couple moteur minimal (C_{MotMin}) et le couple moteur maximal (C_{MotMax}).
6. Pièce d'horlogerie (2000) selon la revendication 5,

caractérisée en ce que ledit dispositif moteur est formé par un barillet (200) qui est dédié à l'entraînement d'un mécanisme comprenant le mobile rotatif (1) et dimensionné pour que la plage utile du couple qu'il délivre, entre le couple moteur minimal (C_{MotMin}) et le couple moteur maximal (C_{MotMax}), soit telle que le couple moteur minimal (C_{MotMin}) soit égal à la somme d'un couple mécanique (C_{MecVmin}) nécessaire à l'entraînement du mécanisme, à l'exception du rotor (10) de la micro-génératrice (100), avec le mobile rotatif (1) tournant à la vitesse minimale ($V_{\min}$), d'une part, et d'un couple d'entraînement du rotor minimal (C_{EDmin}) correspondant à la fréquence minimale ($F_{\min}$) du rotor (10) d'autre part, et telle que le couple moteur maximal (C_{MotMax}) soit égal à la somme d'un couple mécanique (C_{MecVmax}) nécessaire à l'entraînement du mécanisme, à l'exception du rotor (10) de la micro-génératrice (100), avec le mobile rotatif (1) tournant à la vitesse maximale ($V_{\max}$), d'une part, et à un couple d'entraînement du rotor maximal (C_{EDmax}) correspondant à la fréquence maximale ($F_{\max}$) du rotor d'autre part.

7. Pièce d'horlogerie (2000) selon la revendication 6, **caractérisée en ce que** ledit dispositif de régulation (1000) comporte une diode électroluminescente (31, 32) ou plusieurs diodes électroluminescentes (31, 32) en nombre tel que, selon leur type et leur dimensionnement, l'ensemble des diodes électroluminescentes (31, 32) que comporte le dispositif de régulation (1000) soit agencé pour effectuer une dissipation d'énergie électrique avec un couple d'entraînement du rotor (10) compris entre le couple d'entraînement du rotor minimal (C_{EDmin}), correspondant à la fréquence minimale ($F_{\min}$) du rotor, et le couple d'entraînement du rotor maximal (C_{EDmax}) correspondant à la fréquence maximale ($F_{\max}$) du rotor (10) d'autre part.
8. Pièce d'horlogerie (2000) selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisée en ce qu'**au moins une diode électro-luminescente (31, 32) est alimentée indirectement, au travers d'un redresseur à pont de Graetz formant le seul circuit électrique et/ou électronique, par au moins une bobine (11) fournissant un courant électrique induit lors de la rotation du rotor par rapport au stator (20) de la micro-génératrice (100).
9. Pièce d'horlogerie (2000) selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisée en ce qu'**au moins une diode électro-luminescente (31, 32) est alimentée directement par au moins une bobine (11) lors de sa rotation par rapport au stator (20) de la micro-génératrice (100).
10. Pièce d'horlogerie (2000) selon l'une des revendica-

- tions 1 à 9, **caractérisée en ce que** le stator (20) porte les aimants permanents (25), et le rotor (10) porte les bobines (11); et **en ce que** chaque dite diode électro-luminescente (31, 32) est montée sur ledit rotor (10).
11. Pièce d'horlogerie (2000) selon la revendication 10, **caractérisée en ce que** les aimants permanents (25) sont situés, en projection axiale, à l'intérieur d'une surface circulaire définie par le rotor (10) lorsqu'il tourne.
12. Pièce d'horlogerie (2000) selon la revendication 10 ou 11, **caractérisée en ce que** le rotor (10) porte au moins une paire de diodes électro-luminescentes (31, 32), de préférence diamétralement opposées, agencées en polarités inverses l'une à l'autre.
13. Pièce d'horlogerie (2000) selon l'une des revendications 10 à 12, **caractérisée en ce que** le dispositif de régulation (1000) comporte, au voisinage de la micro-génératrice (100), au moins une structure guide de lumière stationnaire agencée pour collecter, pour toute position angulaire du rotor (10) lorsque celui-ci tourne, au moins une majeure partie de la lumière émise par au moins une diode électro-luminescente (31, 32) et pour ensuite guider cette lumière émise vers au moins une partie visible de la pièce d'horlogerie, de manière à obtenir une illumination de cette partie visible sensiblement constante et/ou sensiblement uniforme lorsque la au moins une diode électro-luminescente émet.
14. Pièce d'horlogerie (2000) selon l'une des revendications 1 à 13, **caractérisée en ce que** tout équipement électrique et/ou électronique que comporte la pièce d'horlogerie est un élément de la micro-génératrice (100).
15. Pièce d'horlogerie (2000) selon les revendications 10 et 14, **caractérisée en ce que** tout circuit électrique et/ou électronique que comporte la pièce d'horlogerie est embarqué sur le rotor (10) de la micro-génératrice (100).
16. Pièce d'horlogerie (2000) selon l'une des revendications 1 à 15, **caractérisée en ce que** la pièce d'horlogerie comporte un dispositif de libération et d'arrêt de ladite micro-génératrice (100) qui comprend, soit un dispositif de commande (400) actionnable par un utilisateur pour déclencher l'entraînement du rotor (10) de la micro-génératrice (100), ledit dispositif de commande (400) comportant un organe de commande et/ou un bouton-poussoir et/ou une targette équipée d'un ressort de targette, soit un mécanisme d'enclenchement actionnable par un mécanisme (600) que comporte ladite pièce d'horlogerie (2000).
17. Pièce d'horlogerie (2000) selon la revendication 16, **caractérisée en ce que** le rotor (10) comporte un rochet (18), et le dispositif de libération et d'arrêt comporte un cliquet (92) coopérant avec le rochet (18) pour enclencher la rotation de la micro-génératrice (100) à la demande.
18. Pièce d'horlogerie (2000) selon la revendication 16 ou 17, **caractérisée en ce que** le dispositif de libération et d'arrêt comporte un dispositif de temporisation mécanique pour limiter la durée de rotation du rotor (10).
19. Pièce d'horlogerie (2000) selon l'une des revendications 1 à 18, **caractérisée en ce que** la pièce d'horlogerie comporte une zone déterminée éclairable directement ou indirectement par au moins une diode électro luminescente (31, 32) quand celle-ci émet de la lumière.
20. Pièce d'horlogerie (2000) selon l'une des revendications 1 à 19, **caractérisée en ce que** la pièce d'horlogerie comporte un mécanisme d'animation acoustique qui est un mécanisme de sonnerie ou de répétition ou d'animation musicale comportant le mobile rotatif (1) dont la vitesse de rotation est régulée par le dispositif de régulation (1000).
21. Pièce d'horlogerie (2000) selon l'une des revendications 1 à 19, **caractérisée en ce que** la pièce d'horlogerie comporte un mécanisme d'animation visuelle comportant le mobile rotatif (1) dont la vitesse de rotation est régulée par le dispositif de régulation (1000).
22. Pièce d'horlogerie (2000) selon la revendication 20 ou 21, **caractérisée en ce qu'**au moins une diode électroluminescente (31, 32) émet de la lumière vers une zone déterminée pendant une séquence d'animation acoustique ou d'animation visuelle de la pièce d'horlogerie (2000).
23. Pièce d'horlogerie (2000) selon l'une des revendications 1 à 22, **caractérisée en ce que** le dispositif de régulation est dépourvu de condensateur de stockage d'énergie électrique.
24. Procédé de régulation de la vitesse de rotation d'un mobile rotatif (1) d'une pièce d'horlogerie (2000), dans une plage de vitesse fonctionnelle du mobile rotatif (1) entre une vitesse minimale ($V_{\min}$) et une vitesse maximale ($V_{\max}$) strictement supérieure à la vitesse minimale, le mobile rotatif (1) étant entraîné par un dispositif moteur (200) que comporte la pièce d'horlogerie (2000), ce procédé mettant en oeuvre un dispositif (1000) de régulation de la vitesse de rotation du mobile rotatif (1) qui est formé par une micro-génératrice (100) comprenant un rotor, (10)

couplé mécaniquement au mobile rotatif (1), ce rotor étant mobile autour d'un axe de rotation (D) par rapport à un stator (20) portant des aimants permanents (25) ou des bobines, le rotor portant respectivement des bobines (11) ou des aimants permanents ; **caractérisé en ce que** les bobines (11) sont reliées, directement ou indirectement, à au moins une diode électroluminescente (31, 32) ; **en ce qu'**on détermine les caractéristiques de la micro-génératrice (100) et de ladite au moins une diode électro-luminescente (31, 32), laquelle constitue avec, le cas échéant, un circuit électrique et/ou électronique sans composant de stockage substantiel d'un courant électrique agencé entre les bobines, le seul dispositif de consommation d'énergie électrique et la démultiplication du dispositif de régulation (1000) entre le mobile rotatif (1) et le rotor (10) de manière que, pour la plage de vitesse fonctionnelle du mobile rotatif (1), la plage de fréquence correspondante de la rotation du rotor (10), comprise entre une fréquence minimale ($F_{\min}$) et une fréquence maximale ($F_{\max}$), engendre dans les bobines une plage de tension induite dont la valeur de tension induite maximale, intervenant pour ladite fréquence maximale ($F_{\max}$), est supérieure à une tension de seuil (U_s) de ladite au moins une diode électroluminescente (31, 32) ; et **en ce qu'**on agence le dispositif moteur (200) de manière que sa plage utile de couple moteur présente un couple minimum (C_{MotMin}) entraînant le mobile rotatif (1) à ladite vitesse minimale de la plage de vitesse fonctionnelle, et un couple maximal (C_{MotMax}) entraînant le mobile rotatif (1) à la vitesse maximale de la plage de vitesse fonctionnelle.

25. Procédé de régulation selon la revendication 24, **caractérisé en ce que** la valeur de tension induite minimale, intervenant pour ladite fréquence minimale ($F_{\min}$), de ladite plage de tension induite est aussi supérieure à la tension de seuil (U_s) de ladite au moins diode électroluminescente (31, 32).

26. Procédé de régulation selon la revendication 24 ou 25, **caractérisé en ce qu'**on détermine le dispositif de régulation (1000) pour réguler la fréquence de rotation du rotor (10) en la maintenant dans ladite plage de fréquence, entre la fréquence minimale ($F_{\min}$) et la fréquence maximale ($F_{\max}$), pour une plage de couple utile du dispositif moteur, entre un couple moteur minimal (C_{MotMin}) et un couple moteur maximal (C_{MotMax}).

27. Procédé de régulation selon l'une des revendications 24 à 26, **caractérisé en ce qu'**on agence le dispositif de régulation de façon à ne comporter aucun moyen de dissipation d'énergie cinétique du rotor (10) de la micro-génératrice (100).

28. Procédé de régulation selon l'une des

revendications 24 à 27, **caractérisé en ce qu'**on équipe le dispositif moteur d'un barillet (200) dimensionné pour que la plage utile du couple qu'il délivre, entre le couple moteur minimal (C_{MotMin}) et le couple moteur maximal (C_{MotMax}), soit telle que le couple moteur minimal (C_{MotMin}) soit égal à la somme d'un couple mécanique (C_{MecVmin}) nécessaire à l'entraînement du mécanisme, à l'exception du rotor (10) de la micro-génératrice (100), avec le mobile rotatif (1) tournant à la vitesse minimale ($V_{\min}$), d'une part, et d'un couple d'entraînement du rotor minimal (C_{EDmin}) correspondant à la fréquence minimale ($F_{\min}$) du rotor (10) d'autre part, et telle que le couple moteur maximal (C_{MotMax}) soit égal à la somme d'un couple mécanique (C_{MecVmax}) nécessaire à l'entraînement du mécanisme, à l'exception du rotor (10) de la micro-génératrice (100), avec le mobile rotatif (1) tournant à la vitesse maximale ($V_{\max}$), d'une part, et à un couple d'entraînement du rotor maximal (C_{EDmax}) correspondant à la fréquence maximale ($F_{\max}$) du rotor d'autre part.

29. Procédé de régulation selon la revendication 28, **caractérisé en ce qu'**on choisit la diode électroluminescente (31, 32) ou plusieurs diodes électroluminescentes (31, 32) en nombre tel que, selon leur type et leur dimensionnement, l'ensemble des diodes électroluminescentes (31, 32) que comporte le dispositif de régulation (1000) soit agencé pour effectuer une dissipation électrique avec un couple d'entraînement du rotor compris entre le couple d'entraînement du rotor minimal (C_{EDmin}), correspondant à la fréquence minimale ($F_{\min}$), et le couple d'entraînement du rotor maximal (C_{EDmax}) correspondant à la fréquence maximale ($F_{\max}$) d'autre part.

30. Procédé de régulation selon l'une des revendications 24 à 29, **caractérisé en ce qu'**on choisit une alimentation indirecte de ladite au moins une diode électroluminescente (31, 32) par la micro-génératrice (100), et **en ce que** ladite au moins une diode électroluminescente (31, 32) est reliée à la micro-génératrice (100) au travers d'un circuit électrique et/ou électronique sans composant de stockage substantiel d'un courant électrique induit dans les bobines (11) lors d'une rotation du rotor (10) de la micro-génératrice (100).

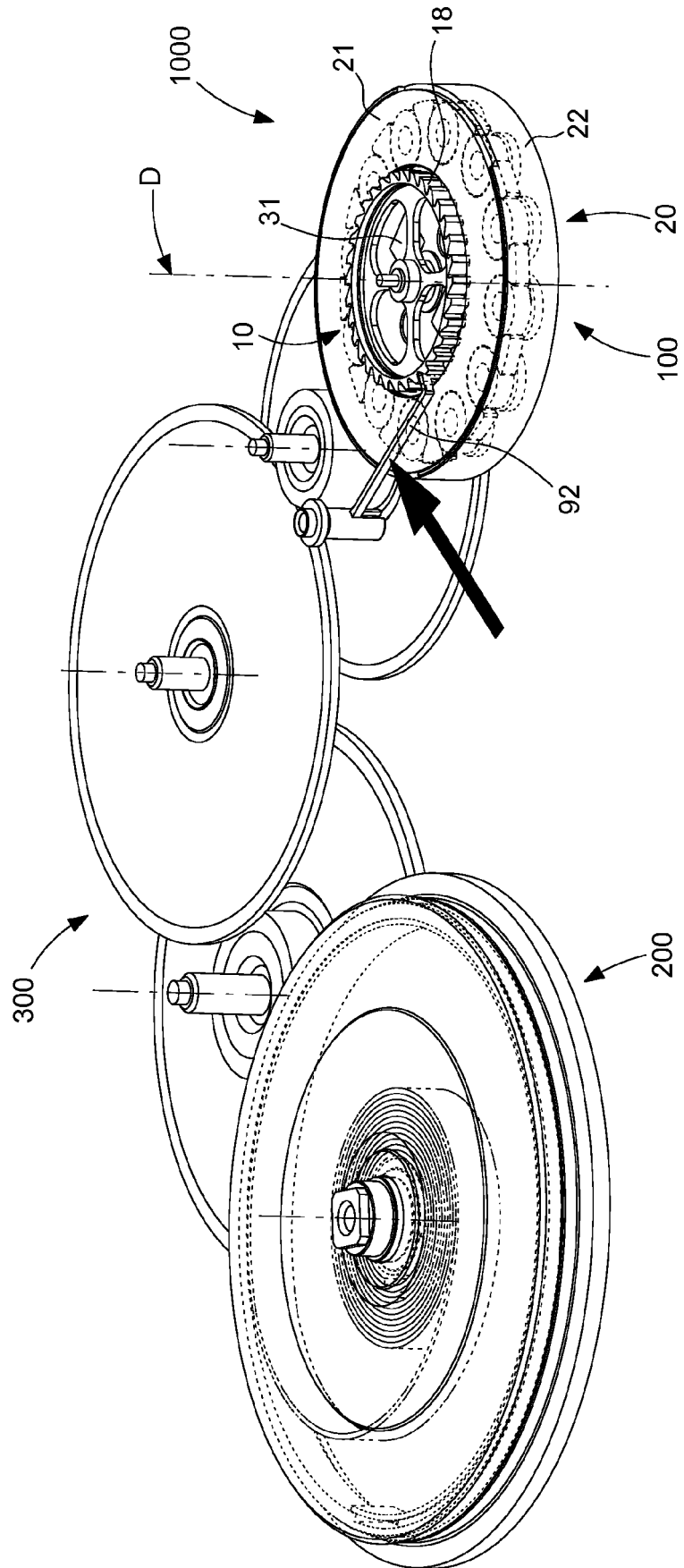


Fig. 1

Fig. 2A

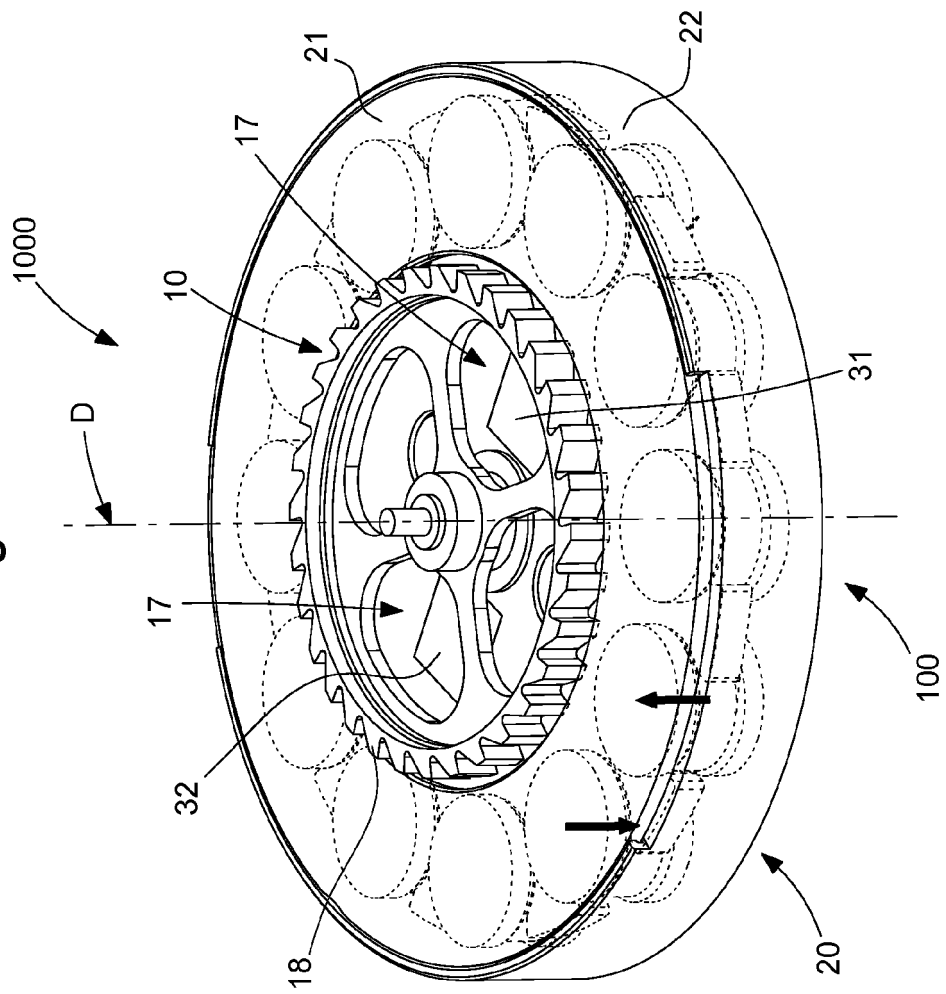


Fig. 2B

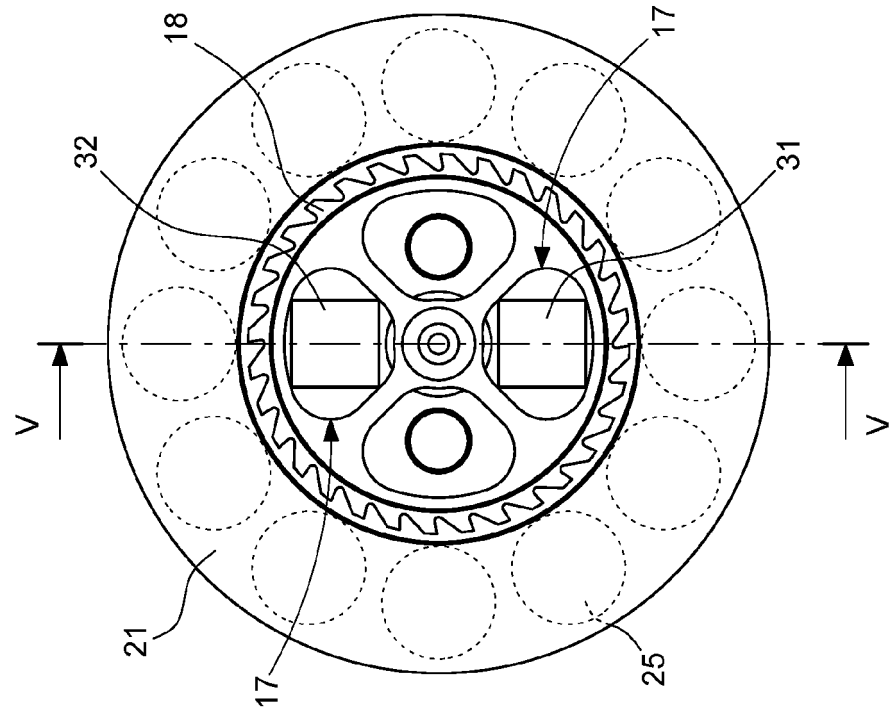


Fig. 3

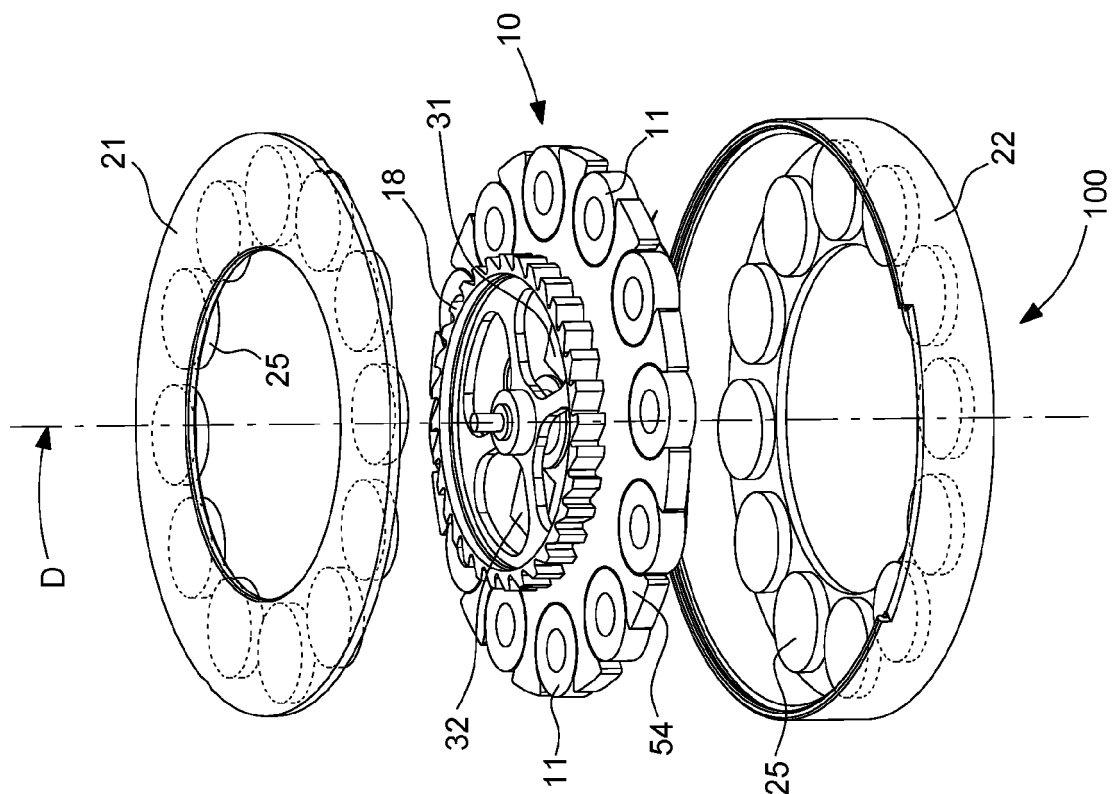


Fig. 4

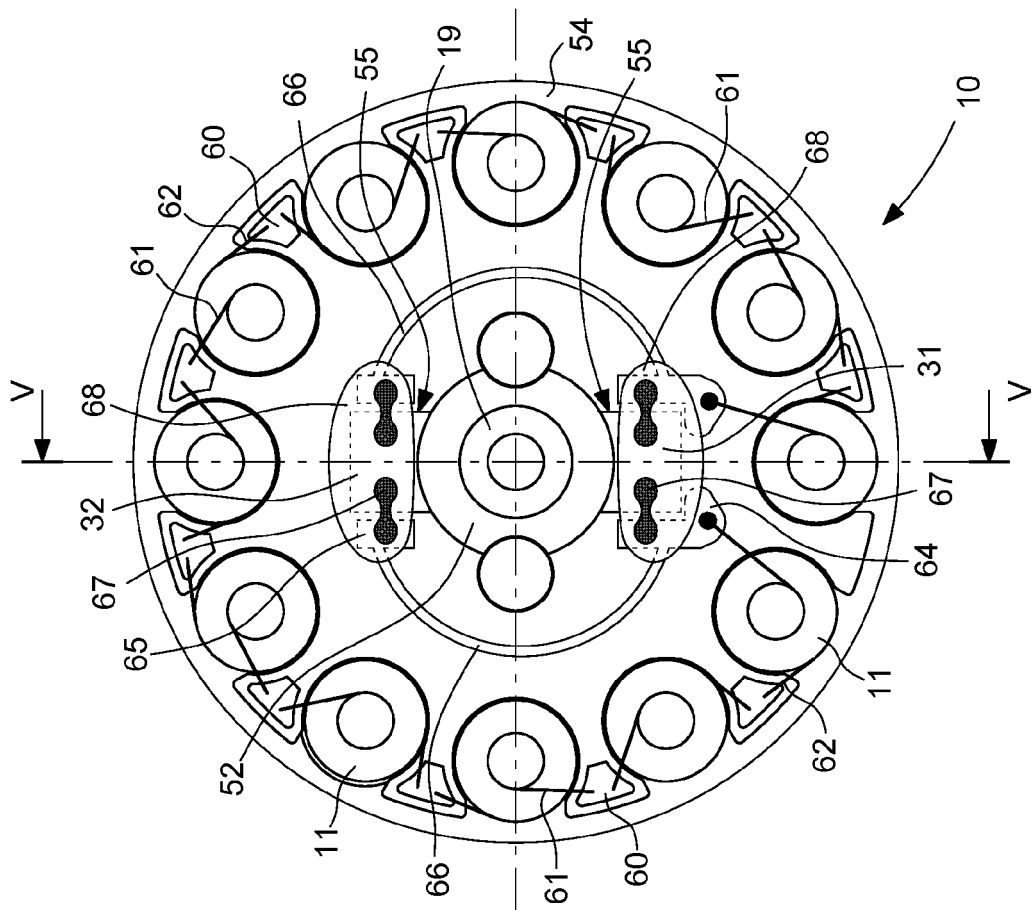


Fig. 5

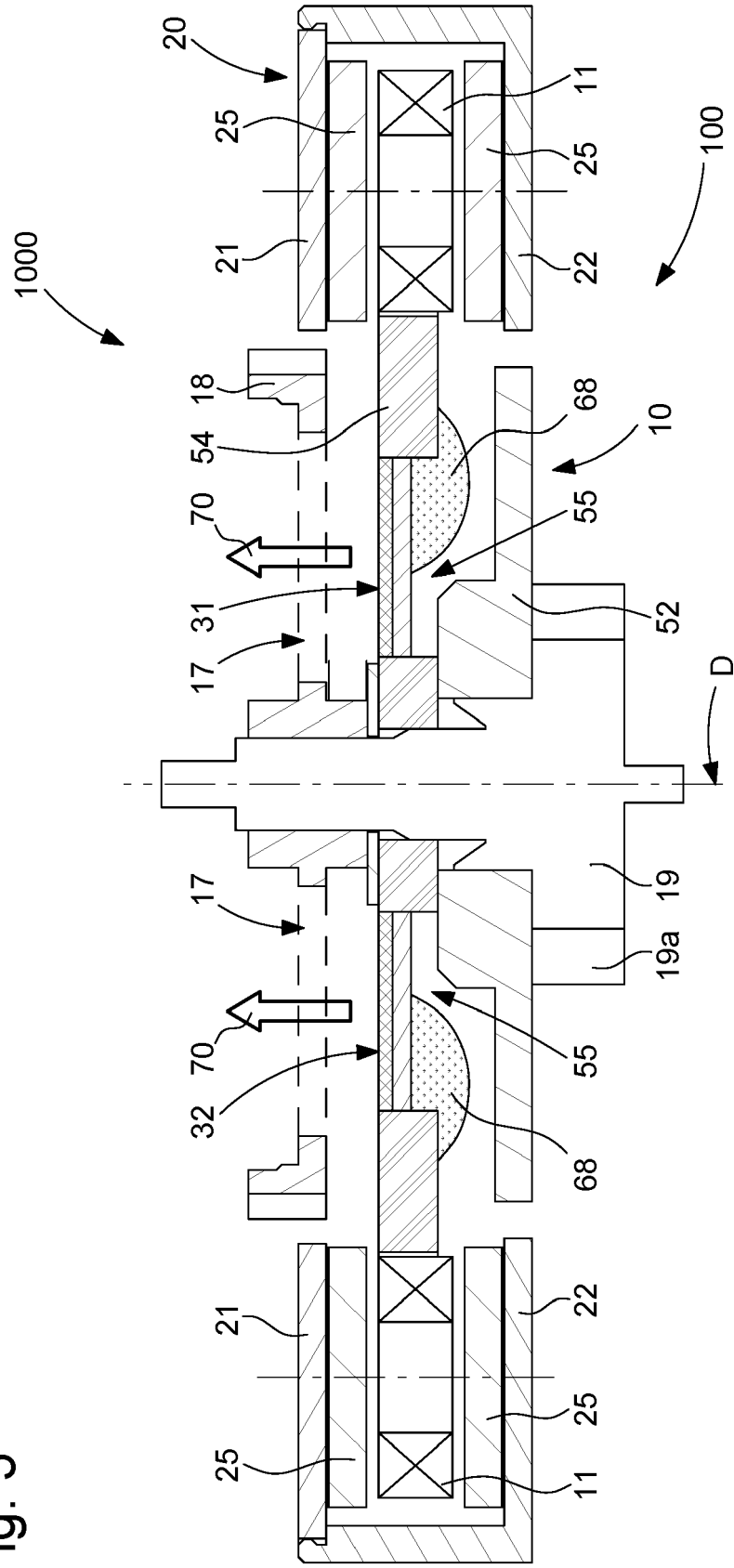


Fig. 6

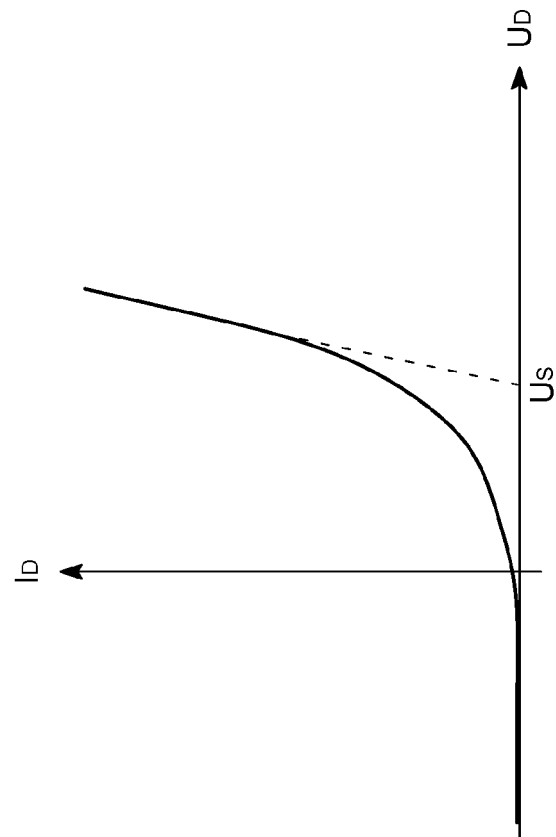


Fig. 7

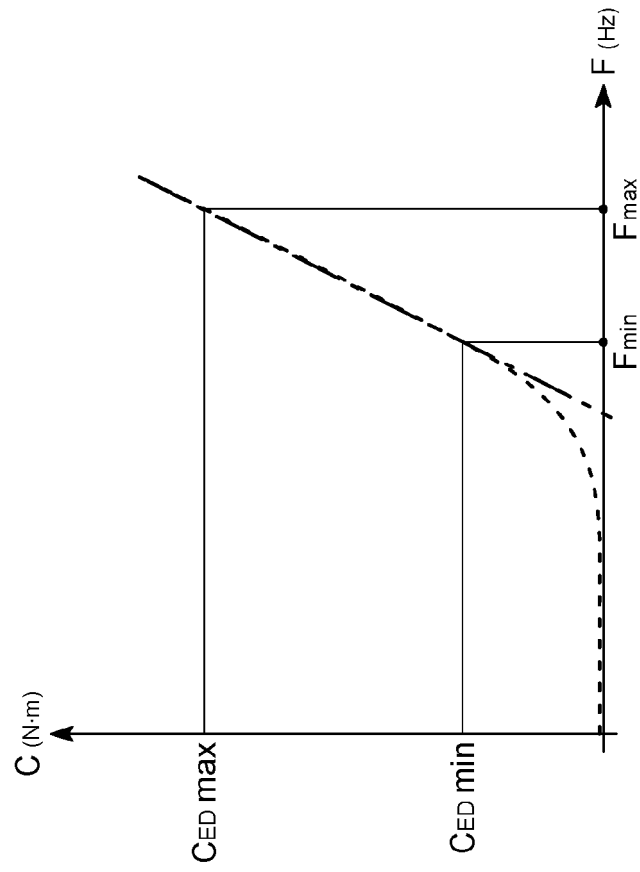


Fig. 8

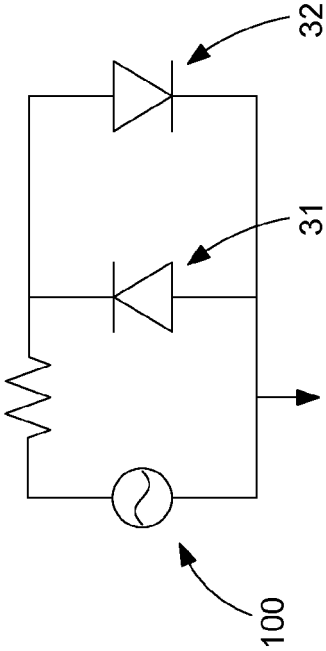


Fig. 9

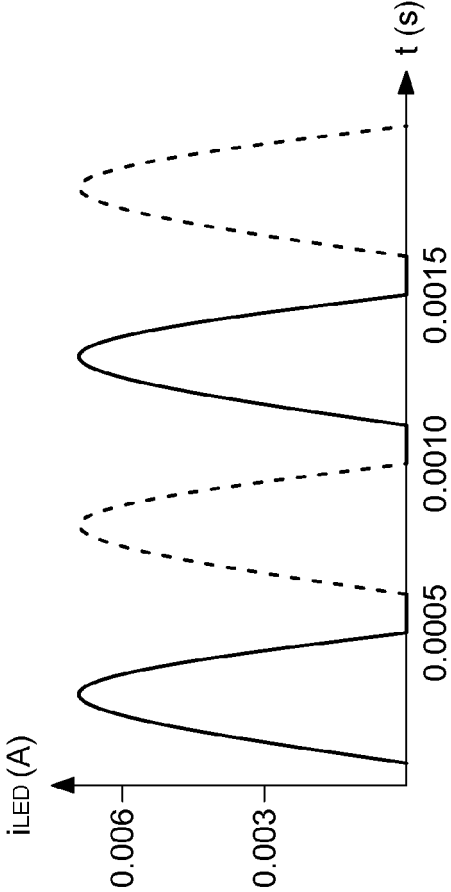


Fig. 10

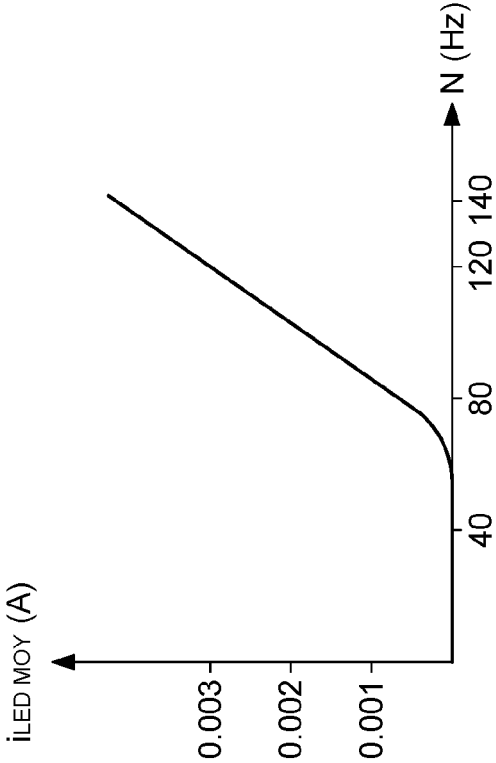


Fig. 11

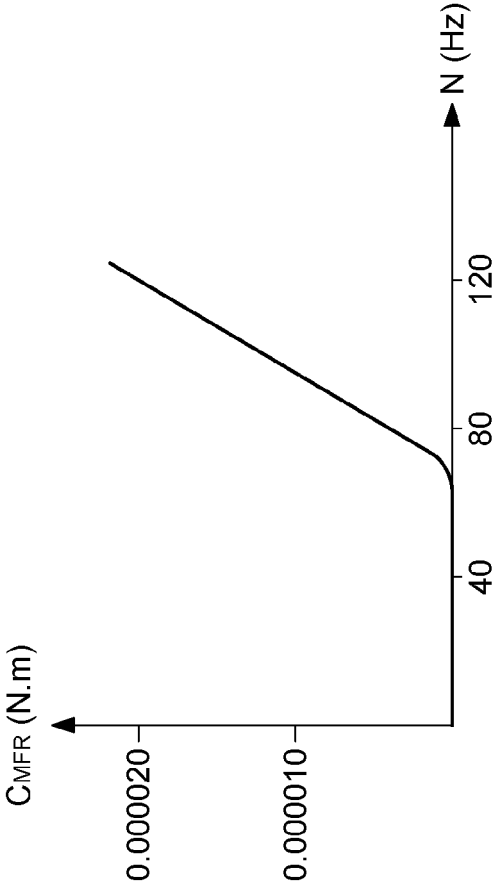


Fig. 12

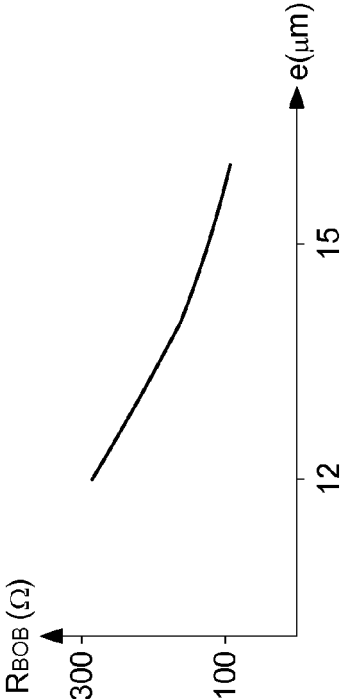


Fig. 13

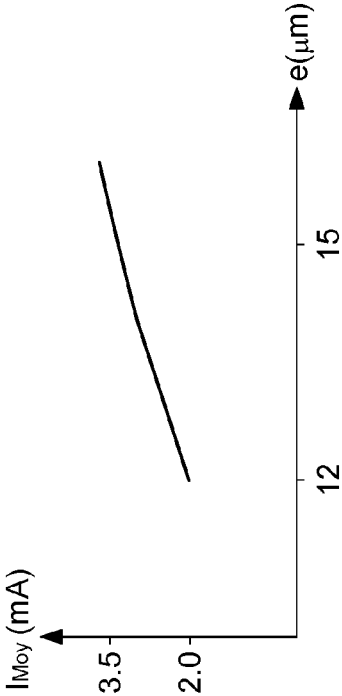


Fig. 14

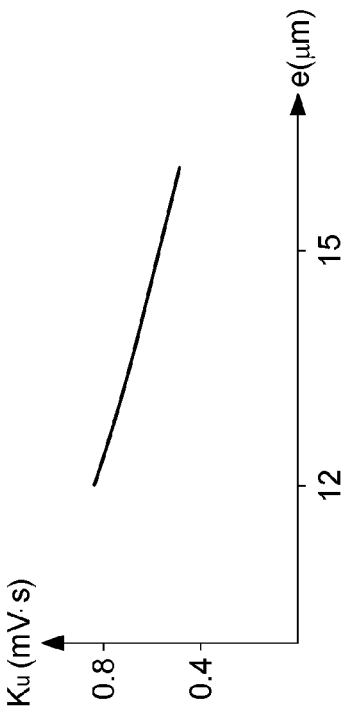


Fig. 15

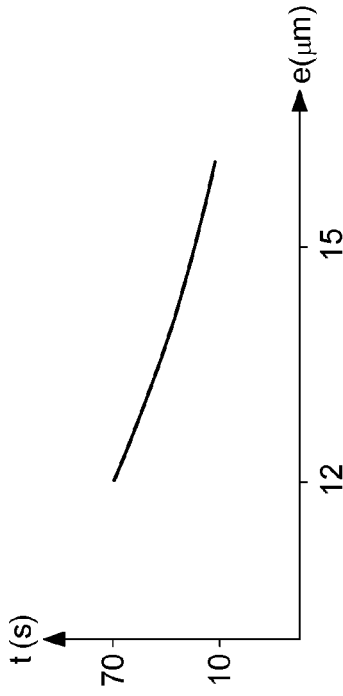


Fig. 16

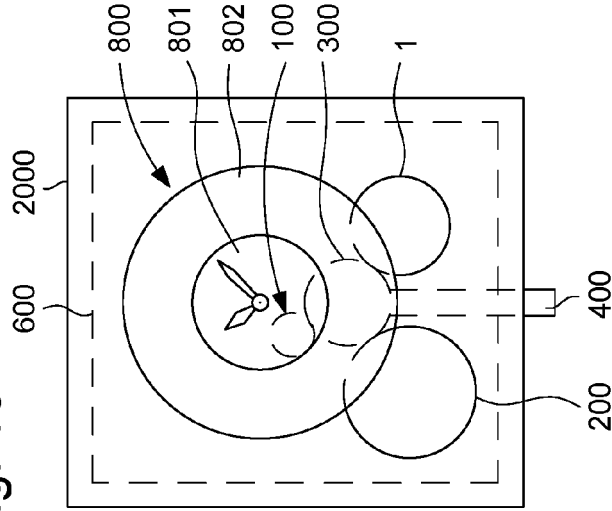
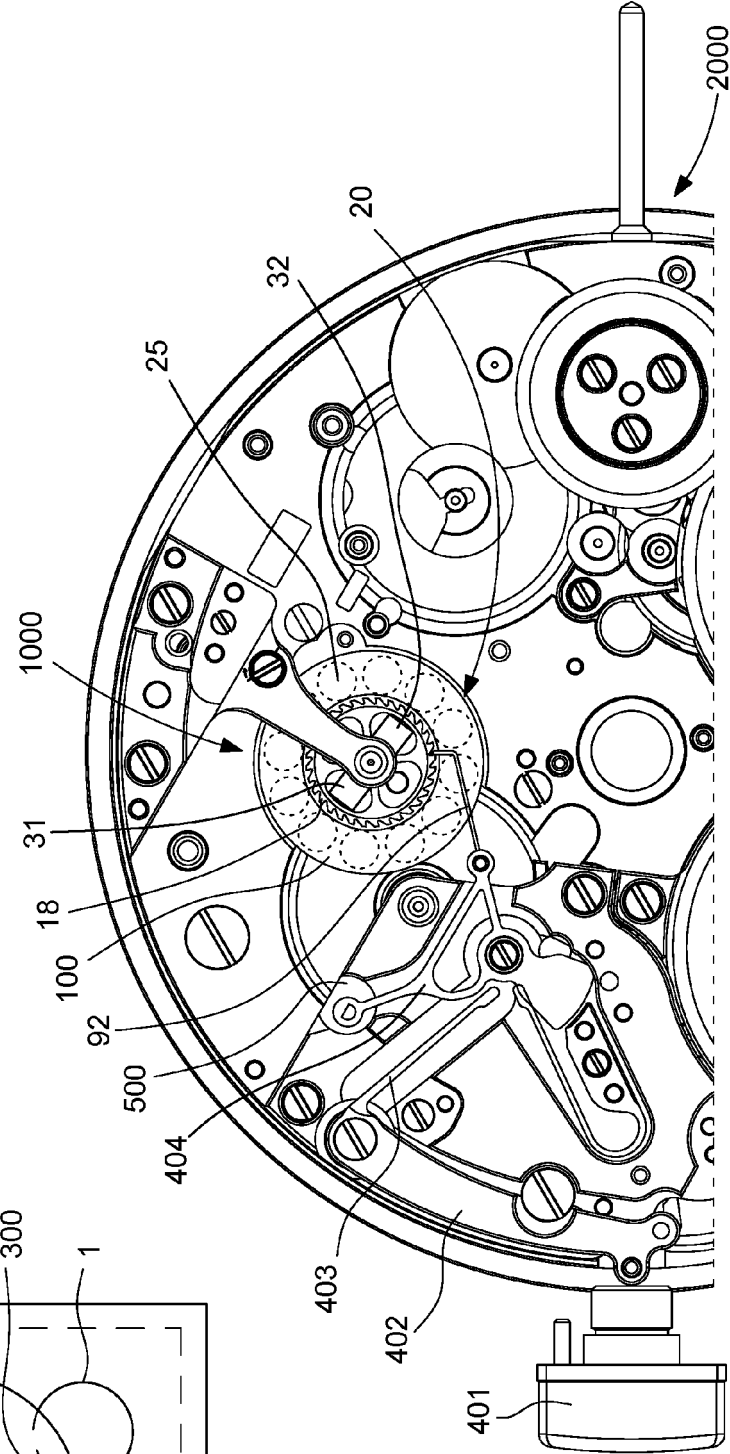


Fig. 17





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 24 16 0658

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	JP H11 55976 A (SEIKO EPSON CORP) 26 février 1999 (1999-02-26) * alinéas [0042] - [0045] * * figure 10 * -----	1-30	INV. G04B1/00 G04C10/00 G04C3/10
A,D	EP 3 838 424 A1 (SWATCH GROUP RES & DEV LTD [CH]) 23 juin 2021 (2021-06-23) * alinéas [0008], [0018], [0029] * * revendication 8 * -----	1-30	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B G04C G03C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 8 juillet 2024	Examineur Pirozzi, Giuseppe
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 24 16 0658

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

08-07-2024

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP H1155976 A	26-02-1999	JP 3677955 B2 JP H1155976 A	03-08-2005 26-02-1999
EP 3838424 A1	23-06-2021	CN 113009810 A EP 3838423 A1 EP 3838424 A1 JP 7216691 B2 JP 2021099307 A US 2021191337 A1	22-06-2021 23-06-2021 23-06-2021 01-02-2023 01-07-2021 24-06-2021

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 3838424 A [0006]