



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
30.06.2021 Bulletin 2021/26

(51) Int Cl.:
G04C 11/08 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **20194692.8**

(22) Date de dépôt: **04.09.2020**

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

(72) Inventeurs:
• **SURMELY, M. Gérard**
1404 Villars-Epeney (CH)
• **IMBODEN, Matthias**
2072 St-Blaise (CH)
• **TOMBEZ, M. Lionel**
2022 Bevaix (CH)

(30) Priorité: **24.12.2019 EP 19219678**

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

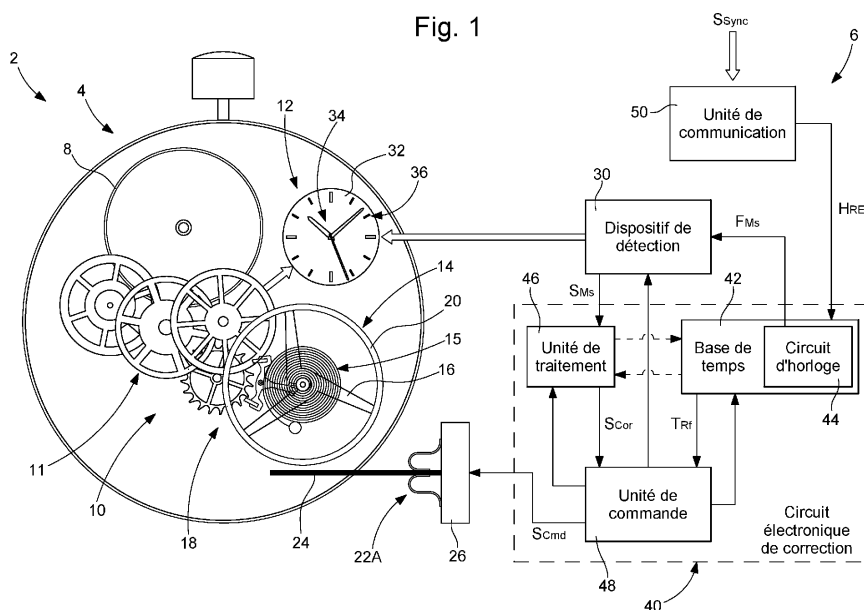
(71) Demandeur: **The Swatch Group Research and Development Ltd**
2074 Marin (CH)

(54) **PIECE D HORLOGERIE MUNIE D'UN MOUVEMENT MECANIQUE ET D'UN DISPOSITIF DE CORRECTION D'UNE HEURE AFFICHEE**

(57) La montre (2) est formée par un mouvement mécanique incorporant un résonateur mécanique (14). Elle comprend : - un affichage de l'heure réelle (12), - un dispositif de correction (6) formé par un dispositif de détection (30) du passage d'au moins une aiguille par au moins une position temporelle de référence et par un circuit électronique de correction (40) permettant de déterminer une erreur temporelle globale pour l'affichage, et - un dispositif de freinage (22A) du résonateur mécanique.

Le dispositif de correction est agencé pour pouvoir corriger l'heure réelle affichée en fonction de l'erreur temporelle globale (retard ou avance) déterminée au préalable. Pour ce faire, le dispositif de correction est agencé de manière que le dispositif de freinage puisse agir sur le résonateur mécanique au cours d'une période de correction pour varier la marche du mécanisme d'entraînement de l'affichage, de sorte à corriger l'heure réelle affichée.

Fig. 1



DescriptionDomaine technique

5 **[0001]** De manière générale, la présente invention concerne une pièce d'horlogerie comprenant un mouvement mécanique, un affichage d'une heure réelle qui est entraîné par ce mouvement mécanique, et un dispositif de correction de cette heure réelle affichée.

Arrière-plan technologique

10 **[0002]** Dans le domaine de la montre mécanique, la manière classique de corriger l'heure réelle indiquée par son affichage est d'utiliser la tige-couronne classique qui est généralement agencée pour pouvoir agir, en position tirée, sur un mobile d'entraînement de l'indicateur des heures et de l'indicateur des minutes, grâce à une friction prévue dans la chaîne cinématique entre ces indicateurs et la roue d'échappement. Ainsi, pour mettre une montre mécanique à l'heure

15 réelle, il faut généralement que l'utilisateur ou un robot tire la tige-couronne et l'actionne en rotation pour amener les indicateurs des heures et des minutes dans des positions respectives voulues, notamment par une comparaison visuelle avec une horloge de référence, comme on en trouve par exemple dans des gares, ou avec une heure digitale donnée par exemple par un ordinateur.

Résumé de l'invention

[0003] On constate donc que dans le domaine des pièces d'horlogerie munies d'un mouvement mécanique, en plus d'assurer une marche précise de ce mouvement mécanique, un réel besoin existe pour un système de correction efficace de l'heure réelle affichée par ces pièces d'horlogerie comprenant un mouvement mécanique. En particulier, la présente

25 invention a pour objectif de pouvoir mettre à l'heure réelle une pièce d'horlogerie, comprenant un mouvement mécanique et un affichage de l'heure, avec une précision correspondant au moins à celle d'une montre électronique, de préférence mettre sensiblement cette pièce d'horlogerie à l'heure réelle exacte qui est donnée par un système extérieur agencé pour la fournir (notamment un système relié à une horloge atomique), sans nécessiter qu'un utilisateur ou un robot doive actionner une tige-couronne ou un autre organe de commande externe de la pièce d'horlogerie pour effectuer lui-même

30 une mise à l'heure de l'affichage. Dans le cadre de l'invention, il est prévu que la précision de la mise à l'heure réelle d'une pièce d'horlogerie munie d'un mouvement mécanique ne dépende pas d'une appréciation visuelle de l'utilisateur devant estimer quand les divers indicateurs concernés sont dans des positions respectives correctes.

[0004] On comprend par 'heure réelle' l'heure légale d'un lieu donné, dans lequel se trouve en général la pièce d'horlogerie et son utilisateur. L'heure réelle s'affiche généralement en heures, en minutes et, le cas échéant, en secondes. L'heure réelle peut être indiquée avec une certaine erreur par une pièce d'horlogerie, en particulier du type

35 mécanique. On mentionnera l'heure réelle aussi simplement par le terme 'l'heure', en particulier s'agissant de l'heure réelle affichée par une pièce d'horlogerie. Pour indiquer l'heure légale donnée avec une grande précision notamment par / via un système GPS, un réseau téléphonique, une antenne d'émission longue distance ou un ordinateur / dispositif portable relié notamment à un serveur du réseau Internet recevant l'heure réelle d'une horloge de haute précision, on

40 utilisera l'expression 'heure réelle exacte' dans ce texte.

[0005] Pour répondre aux besoins susmentionnés qui sont présents dans le domaine horloger depuis de nombreuses années, la présente invention a pour objet une pièce d'horlogerie qui comprend :

- un affichage d'une heure réelle formé par un ensemble d'indicateurs comprenant un indicateur qui est relatif à une
- 45 unité temporelle donnée de l'heure réelle et qui indique l'unité temporelle courante correspondante,
- un mouvement mécanique formé par un mécanisme d'entraînement de l'affichage et un résonateur mécanique qui est couplé au mécanisme d'entraînement de manière que son oscillation cadence la marche de ce mécanisme d'entraînement, et
- un dispositif de correction de l'heure réelle qui est indiquée par l'affichage ;

50

dans laquelle le dispositif de correction de l'heure réelle affichée comprend :

- un dispositif de détection agencé pour permettre la détection, de manière directe ou indirecte, du passage dudit
- 55 indicateur de l'affichage par au moins une position temporelle de référence de cet affichage qui est relative à ladite unité temporelle de l'heure réelle ;
- un circuit électronique de correction, et
- un dispositif de freinage du résonateur mécanique ;

dans laquelle le circuit électronique de correction comprend :

- une unité de commande agencée pour pouvoir commander le dispositif de détection de sorte que ce dispositif de détection effectue, durant une phase de détection, une pluralité de mesures successives et fournisse une pluralité de valeurs de mesure correspondantes,
- une unité de traitement agencée pour pouvoir recevoir du dispositif de détection ladite pluralité de valeurs de mesure et la traiter, et
- une base de temps interne comprenant un circuit d'horloge et générant un temps réel de référence composé au moins d'une unité temporelle courante de référence correspondant à ladite unité temporelle courante de l'heure réelle affichée.

[0006] Ensuite, selon l'invention, le circuit électronique de correction est agencé et la durée de la phase de détection est prévue pour permettre au dispositif de détection de détecter, alors que le mécanisme d'entraînement est en marche et cadencé par le résonateur mécanique oscillant, au moins un passage dudit indicateur par une quelconque position temporelle de référence de ladite au moins une position temporelle de référence. Le circuit électronique de correction est agencé pour pouvoir déterminer au moins un instant de passage dudit indicateur par ladite quelconque position temporelle de référence sur la base d'au moins une valeur de mesure de la pluralité de valeurs de mesure, cet instant de passage étant déterminé par la base de temps interne et composé au moins de la valeur de ladite unité temporelle courante de référence audit instant de passage. Ledit circuit électronique de correction est en outre agencé pour pouvoir déterminer une erreur temporelle dudit indicateur, en comparant ledit au moins un instant de passage avec ladite position temporelle de référence, et une erreur temporelle globale pour l'affichage (à savoir pour l'ensemble des indicateurs) en fonction au moins de ladite erreur temporelle dudit indicateur.

[0007] De plus, selon l'invention, l'unité de commande est agencée pour pouvoir commander le dispositif de freinage en fonction de l'erreur temporelle globale déterminée. Le dispositif de correction de l'heure réelle affichée est agencé de manière que, lorsqu'une erreur temporelle globale non nulle a été déterminée par le circuit électronique de correction, le dispositif de freinage puisse agir, au cours d'une période de correction, sur le résonateur mécanique, en fonction de l'erreur temporelle globale, pour varier la marche du mécanisme d'entraînement de l'affichage de sorte à corriger au moins en partie cette erreur temporelle globale, avantageusement en majeure partie cette erreur temporelle globale et de préférence sensiblement l'entier de celle-ci.

[0008] Par 'dispositif de freinage', on comprend de manière générale tout dispositif capable de freiner et/ou d'arrêter un résonateur mécanique oscillant et/ou de maintenir à l'arrêt (c'est-à-dire bloquer) momentanément un tel résonateur. Le dispositif de freinage peut être formé par une ou plusieurs unités de freinage (un ou plusieurs actionneurs). Dans le cas où le dispositif de freinage est formé de plusieurs unités de freinage, en particulier deux unités de freinage, chaque unité de freinage est sélectionnée pour agir sur le résonateur mécanique dans une situation spécifique relative à la correction requise, notamment une première unité de freinage pour corriger un retard et une deuxième unité de freinage pour corriger une avance (la deuxième unité de freinage étant avantageusement agencée pour pouvoir arrêter et bloquer momentanément le résonateur). Par 'cadencer la marche d'un mécanisme d'entraînement d'un affichage', on comprend le fait de rythmer le mouvement de mobiles de ce mécanisme lorsqu'il fonctionne, en particulier de déterminer les vitesses de rotation de ces mobiles et ainsi d'au moins un indicateur de l'affichage. Dans la suite du texte, lorsque le terme 'résonateur' sans qualificatif spécifique est utilisé, c'est pour désigner un résonateur mécanique. On parlera d'un résonateur oscillant pour indiquer qu'on considère un résonateur dans son état activé, dans lequel il oscille en étant entretenu, via un échappement, par une source d'énergie mécanique.

[0009] Bien que les indicateurs servant à afficher le l'heure réelle concernent tous une seule et même grandeur physique, le temps, on considère dans cette description l'heure, la minute et la seconde comme trois unités temporelles différentes étant donné qu'elles sont respectivement associées à trois indicateurs distincts. L'heure réelle affichée par un affichage est composée d'une heure courante, d'une minute courante et d'une seconde courante qui seront parfois qualifiées de 'affichées'. La seconde courante affichée présente une partie entière en secondes et éventuellement une ou plusieurs décimales (cadran généralement sans graduation de la décimale, mais la partie décimale est un fait dans un affichage analogique où l'avance quasi continue de l'aiguille se fait normalement par pas cadencés par l'échappement au double de la fréquence du résonateur oscillant). La minute courante affichée présente une partie entière en minutes (nombre entier de minutes) et généralement une partie fractionnaire (partie sexagésimale) en secondes (toujours le cas dans un affichage analogique de l'heure réelle). L'heure courante affichée comprend au moins une partie entière (et seulement cette partie entière avec une heure 'sautante'). L'heure réelle de référence fournie par une base de temps interne du type électronique est composée d'une seconde courante de référence, d'une minute courante de référence et d'une seconde de référence. Ces trois composantes sont des nombres entiers. En plus, la base de temps interne peut éventuellement fournir des fractions de seconde. En général, la base de temps interne, qui est du type électronique, fournit un temps réel de référence qui peut être composé de moins d'unités temporelles que l'heure réelle, notamment ne contenir que la minute courante de référence et la seconde courante de référence, éventuellement en sus une fraction

de seconde courante générée par un circuit d'horloge qui forme cette base de temps interne.

[0010] Dans un mode de réalisation principal de l'invention, l'affichage comprend un indicateur des heures donnant l'heure courante, un indicateur des minutes donnant la minute courante et un indicateur des secondes donnant la seconde courante de l'heure réelle affichée ; et le temps réel de référence généré par la base de temps interne est composé au moins d'une seconde courante de référence et d'une minute courante de référence. Le dispositif de détection est agencé pour pouvoir détecter le passage de l'indicateur des secondes par au moins une première position temporelle de référence de l'affichage et le passage de l'indicateur des minutes par au moins une deuxième position temporelle de référence de cet affichage. Le circuit électronique de correction est agencé et la durée de la phase de détection est prévue pour permettre au dispositif de détection de détecter au cours de cette phase de détection, alors que ledit mécanisme d'entraînement est en marche et cadencé par le résonateur mécanique oscillant, au moins un passage de l'indicateur des secondes par une première position temporelle de référence de ladite au moins une première position de référence et au moins un passage de l'indicateur des minutes par une deuxième position temporelle de référence de ladite au moins une deuxième position temporelle de référence.

[0011] Ensuite, le circuit électronique de correction est agencé pour pouvoir déterminer, en association avec la base de temps interne et sur la base de valeurs de mesure de la pluralité de valeurs de mesure, au moins un premier instant de passage de l'indicateur des secondes par ladite première position temporelle de référence, ce premier instant de passage étant déterminé par le temps réel de référence et composé d'au moins la valeur de la seconde courante de référence audit premier instant de passage, et au moins un deuxième instant de passage de l'indicateur des minutes par ladite deuxième position temporelle de référence, ce deuxième instant de passage étant également déterminé par le temps réel de référence et composé d'au moins la valeur de la minute courante de référence audit deuxième instant de passage. De plus, l'unité de traitement ou l'unité de commande est agencée pour pouvoir déterminer une première erreur temporelle pour l'indicateur des secondes, en comparant ledit au moins un premier instant de passage avec la première position temporelle de référence, et une deuxième erreur temporelle pour l'indicateur des minutes en comparant ledit au moins un deuxième instant de passage avec la deuxième position temporelle de référence. L'unité de traitement ou l'unité de commande est en outre agencée pour pouvoir déterminer une erreur temporelle globale pour l'affichage en fonction de la première erreur temporelle et de la deuxième erreur temporelle ainsi que d'au moins un critère de traitement prédéterminé pour ces première et deuxième erreurs temporelles.

[0012] Dans une variante particulière, lors de la phase de détection, le dispositif de détection est activé de manière à effectuer la pluralité de mesures successives à au moins une fréquence de mesure déterminée par le circuit d'horloge de la base de temps interne, ce circuit d'horloge fournissant un signal digital périodique à la fréquence de mesure directement au dispositif de détection ou indirectement à ce dispositif de détection via l'unité de commande.

[0013] Dans un mode de réalisation avantageux, le dispositif de détection est agencé dans la pièce d'horlogerie de manière à pouvoir effectuer une détection directe du passage d'un indicateur de l'affichage par au moins une position temporelle de référence correspondante, cet indicateur étant agencé pour pouvoir être détecté lui-même par le dispositif de détection.

[0014] Dans un autre mode de réalisation, le dispositif de détection est agencé dans la pièce d'horlogerie de manière à pouvoir effectuer une détection indirecte du passage d'un indicateur de l'affichage par au moins une position temporelle de référence correspondante, le dispositif de détection étant agencé pour pouvoir détecter au moins une position angulaire respective d'une roue solidaire de l'indicateur ou d'une roue de détection, formant le mécanisme d'entraînement ou complémentaire à celui-ci, qui entraîne ou qui est entraînée par la roue solidaire de l'indicateur, la roue de détection étant sélectionnée ou configurée de manière à présenter une vitesse de rotation inférieure à celle de la roue solidaire de l'indicateur et un rapport d'engrenage R égal à un nombre entier positif.

[0015] Dans une variante avantageuse du mode de réalisation précédent, l'indicateur considéré est un indicateur des minutes et la roue de détection est formée par une roue de minuterie qui est entraînée en rotation par une chaussée portant cet indicateur des minutes. Le dispositif de détection comprend au moins une unité de détection associée à l'indicateur des minutes et agencée pour pouvoir détecter au moins une première série de R positions angulaires périodiques de la roue de minuterie, deux positions angulaires adjacentes de la première série présentant entre elles un angle au centre égal à $360^\circ / R$.

[0016] Dans un mode de réalisation préféré, le dispositif de freinage est formé par un actionneur électromécanique, agencé pour pouvoir appliquer des impulsions de freinage au résonateur mécanique, et l'unité de commande comprend un dispositif générateur d'au moins une fréquence qui est agencé de manière à pouvoir générer un signal digital périodique à une fréquence F_{SUP} . L'unité de commande est agencée pour fournir au dispositif de freinage, lorsque l'erreur temporelle globale déterminée au préalable par le circuit électronique de correction correspond à un retard dans l'heure affichée qu'il est prévu de corriger, un signal de commande dérivé du signal digital périodique, durant une période de correction, pour activer le dispositif de freinage de manière que ce dernier génère une série d'impulsions de freinage périodiques qui sont appliquées au résonateur mécanique à la fréquence F_{SUP} . La (durée de la) période de correction et donc le nombre d'impulsions de freinage périodiques dans la série sont déterminés par le retard à corriger. La fréquence F_{SUP} est prévue et le dispositif de freinage est agencé de manière que la série d'impulsions de freinage périodiques à la

fréquence F_{SUP} puisse engendrer, au cours de la période de correction, une phase synchrone dans laquelle l'oscillation du résonateur mécanique est synchronisée sur une fréquence de correction F_{Scor} qui est supérieure à une fréquence de consigne F_{0c} prévue pour le résonateur mécanique.

[0017] Selon une variante avantageuse, dans laquelle le mouvement horloger comprend un échappement associé au résonateur, la fréquence F_{SUP} et la durée des impulsions de freinage de la série d'impulsions de freinage périodiques sont sélectionnées de manière que, lors de ladite phase synchrone, les impulsions de freinage de ladite série interviennent chacune hors d'une zone de couplage entre le résonateur oscillant et l'échappement.

[0018] Dans un mode de réalisation particulier, la pièce d'horlogerie comprend un dispositif de blocage du résonateur mécanique. Ensuite, l'unité de commande est agencée pour pouvoir fournir au dispositif de blocage, lorsque l'erreur temporelle globale déterminée par le circuit électronique de correction correspond à une avance dans l'heure affichée qu'il est prévu de corriger, un signal de commande qui active le dispositif de blocage de manière qu'il bloque l'oscillation du résonateur mécanique durant une période de correction qui est déterminée par l'avance à corriger, pour stopper la marche du mécanisme d'entraînement durant cette période de correction.

Brève description des figures

[0019] L'invention sera décrite ci-après de manière plus détaillée à l'aide des dessins annexés, donnés à titre d'exemples nullement limitatifs, dans lesquels :

- La Figure 1 représente, en partie schématiquement, un premier mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention munie d'un mouvement mécanique, d'un affichage de l'heure, d'un dispositif de détection pour l'affichage, et d'un dispositif de correction de l'heure affichée;
- La Figure 2 est une vue de dessus de la pièce d'horlogerie de la Figure 1;
- La Figure 3 est une coupe partielle de la pièce d'horlogerie des Figures 1 et 2, selon une première variante d'un premier mode de réalisation du dispositif de détection;
- Les Figures 4A à 4D sont des coupes schématiques de diverses variantes pour une source de lumière formant le dispositif de détection selon le premier mode de réalisation;
- Les Figures 5A et 5B sont des coupes schématiques partielles de deux variantes de configuration pour une aiguille dont il est prévu de détecter le passage au-dessus d'au moins un détecteur photosensible formant le dispositif de détection de la pièce d'horlogerie des Figures 1 et 2;
- La Figure 6 montre une pluralité de valeurs de mesure fournies par le dispositif de détection optique, selon le premier mode de réalisation, lors d'une phase de détection permettant de déterminer une erreur temporelle de l'aiguille des secondes et une erreur temporelle de l'aiguille des minutes;
- La Figure 7 représente schématiquement une variante du dispositif de correction de la pièce d'horlogerie selon le premier mode de réalisation;
- Les Figures 8 et 9 montrent, lors d'une correction opérée par une série d'impulsions de freinage périodiques, l'évolution de la fréquence d'oscillation d'un résonateur mécanique au cours d'une période de correction d'une avance, respectivement d'une période de correction d'un retard dans l'heure indiquée par un affichage de la pièce d'horlogerie considérée, et ceci pour le cas d'un rapport entre la fréquence de correction et la fréquence de consigne relativement proche de un;
- La Figure 10 montre, dans le cas d'un rapport relativement élevé entre la fréquence de correction et la fréquence de consigne, l'oscillation d'un résonateur mécanique au début d'une période de correction d'un retard par une série d'impulsions de freinage périodiques, cette période de correction présentant une phase transitoire initiale;
- La Figure 11 montre, lors d'une correction d'un retard opérée par une série d'impulsions de freinage périodiques, quelques périodes d'oscillation d'un résonateur mécanique au cours d'une phase synchrone pour deux fréquences de synchronisation différentes;
- La Figure 12A montre, pour une fréquence de freinage correspondant à une impulsion de freinage par alternance de l'oscillation d'un résonateur mécanique, plusieurs courbes de la fréquence de synchronisation relative maximale en fonction de l'amplitude de l'oscillation libre du résonateur et de son facteur de qualité;
- La Figure 12B montre, pour une fréquence de freinage qui correspond à une impulsion de freinage par période d'oscillation d'un résonateur mécanique, plusieurs courbes de la fréquence de synchronisation relative maximale en fonction de l'amplitude de l'oscillation libre du résonateur et de son facteur de qualité;
- La Figure 13A est un graphe donnant, pour une fréquence de consigne donnée, approximativement des plages de fréquence de correction possibles, pour corriger un retard dans l'affichage de l'heure à l'aide de courtes impulsions de freinage périodiques, en fonction de plusieurs fréquences de freinage sélectionnées pour les impulsions de freinage;
- La Figure 13B est un graphe donnant, pour une fréquence de consigne donnée, approximativement des plages de fréquence de correction possibles, pour corriger une avance dans l'affichage de l'heure à l'aide de courtes impulsions

de freinage périodiques, en fonction de plusieurs fréquences de freinage sélectionnées pour les impulsions de freinage;

- La Figure 14 montre partiellement un deuxième mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention;
- La Figure 15 montre partiellement un troisième mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention;
- 5 - La Figure 16 représente schématiquement un quatrième mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention;
- La Figure 17 représente schématiquement un cinquième mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention;
- Les Figures 18 et 19 montrent l'oscillation du résonateur mécanique au cours d'une période de correction d'un retard respectivement pour deux variantes de réalisation du dispositif de freinage de la pièce d'horlogerie de la Figure 17;
- 10 - La Figure 20 est une première coupe partielle au travers d'une pièce d'horlogerie selon l'invention, laquelle comprend un deuxième mode de réalisation du dispositif de détection pour l'affichage, en relation avec une première unité de détection du passage de l'aiguille des secondes par une position temporelle de référence correspondante;
- 15 - La Figure 21 est une vue de dessus de la roue de secondes du mouvement mécanique formant la pièce d'horlogerie de la Figure 20;
- La Figure 22 est une deuxième coupe partielle au travers de la pièce d'horlogerie de la Figure 20, en relation avec une seconde unité de détection du passage de l'aiguille des minutes par une position temporelle de référence correspondante;
- 20 - La Figure 23 est une vue de dessus du mobile de minuterie du mouvement mécanique formant la pièce d'horlogerie de la Figure 22; et
- La Figure 24 est une vue de dessus de la seconde unité du dispositif de détection de la pièce d'horlogerie de la Figure 22.

25 Description détaillée de l'invention

[0020] En référence aux **Figures 1 à 7**, on décrira ci-après un premier mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention, laquelle incorpore un premier mode de réalisation d'un dispositif de détection pour l'affichage.

[0021] La pièce d'horlogerie 2 comprend un mouvement mécanique 4, un affichage analogique de l'heure 12, un mécanisme 10 d'entraînement de cet affichage et un dispositif 6 de correction de l'heure réelle indiquée par l'affichage. La pièce d'horlogerie est une montre-bracelet comprenant classiquement un boîtier 220 et une couronne 52 formant un organe de commande externe pour permettre une mise à l'heure manuelle de l'affichage via une tige de commande interne solidaire de la couronne. Généralement, lors d'une mise à l'heure manuelle via la tige-couronne, le système mécanique de correction de l'heure agit sur une roue de minuterie en prise directe avec une chaussée portant l'aiguille des minutes et une roue des heures portant l'aiguille des heures. Ainsi, les aiguilles des heures et des minutes conservent toujours un lien cinématique même lors d'une mise à l'heure. Seul un choc peut éventuellement engendrer un déplacement angulaire de l'une de ces deux aiguilles relativement à l'autre, par un glissement d'une aiguille sur son axe. Par contre, lors d'une mise à l'heure via la tige-couronne, la chaussée subit une friction relativement à un mobile ou une roue du mécanisme d'entraînement et ainsi un déplacement angulaire relativement aux mobiles de ce mécanisme d'entraînement situés en amont, et donc à la roue de seconde portant l'aiguille des secondes. Par construction des mouvements mécaniques usuels, l'aiguille des secondes n'a pas de relation de phase donnée avec l'aiguille des minutes dès lors qu'une mise à l'heure via la tige-couronne a eu lieu, c'est-à-dire qu'il n'existe en général pas de relation temporelle / angulaire déterminée entre l'indication de la minute courante et l'indication de la seconde courante. Lorsque l'indicateur se trouve précisément aligné sur une graduation des minutes (laquelle sert généralement aussi de graduation des secondes lorsque les aiguilles des minutes et des secondes sont coaxiales), l'indicateur des secondes a une position temporelle / angulaire qui est arbitraire (position quelconque non déterminée). Ce fait concerne en particulier les pièces d'horlogerie munies d'un mouvement mécanique entraînant un affichage analogique de l'heure.

[0022] Le mouvement mécanique comprend un barillet 8 formant une source d'énergie mécanique pour le mécanisme d'entraînement 10 qui est formé par un rouage 11, en lien cinématique avec l'affichage, un résonateur mécanique 14, formé par un balancier 16 associé à un spiral 15, et un échappement 18 couplant ce résonateur au mécanisme d'entraînement de manière que l'oscillation du résonateur mécanique cadence la marche de ce mécanisme d'entraînement. L'affichage analogique 12 est formé par un cadran 32, comprenant des indexes 36 formant une graduation pour l'affichage de l'heure réelle, et par des aiguilles 34 comprenant une aiguille des heures 34H donnant l'heure courante, une aiguille des minutes 34M donnant la minute courante, et une aiguille des secondes 34S donnant la seconde courante de l'heure réelle affichée. Les aiguilles présentent généralement des formes différentes, en particulier des longueurs et/ou des largeurs différentes.

[0023] Le dispositif de correction 6 comprend un dispositif de détection 30 pour l'affichage analogique 12, un circuit électronique de correction 40, une unité de communication 50 et un dispositif 22, 22A de freinage du résonateur méca-

rique 14. Le circuit électronique de correction 40 comprend :

- une unité de commande 48 agencée pour pouvoir commander le dispositif de détection 30 de sorte que ce dispositif de détection effectue, durant une phase de détection, une pluralité de mesures successives et fournisse une pluralité de valeurs de mesure correspondantes,
- une unité de traitement 46 agencée pour pouvoir recevoir du dispositif de détection ladite pluralité de valeurs de mesure, via un signal de mesure S_{Ms} , et la traiter,
- une base de temps interne 42 comprenant un circuit d'horloge 44, cette base de temps interne générant un temps réel de référence TRf composé au moins d'une seconde courante de référence et d'une minute courante de référence.

[0024] On notera que la présente invention ne se limite pas à un affichage analogique de l'heure réelle, mais peut aussi concerner d'autres affichages de l'heure réelle, par exemple un affichage avec une 'heure sautante' et/ou en particulier une 'minute sautante'. L'affichage n'est donc pas limité à un système avec des aiguilles ayant une avance quasi continue. L'invention peut donc aussi s'appliquer notamment à un système avec des disques ou anneaux et en particulier à un affichage prévu au travers d'au moins un guichet usiné dans le cadran.

[0025] La pièce d'horlogerie 2 est agencée de manière à permettre une correction de l'heure réelle indiquée par son affichage en fonction d'une erreur temporelle globale pour cet affichage qui est déterminée à l'intérieur de la pièce d'horlogerie par le circuit électronique de correction 40 associé au dispositif de détection 30, lequel est agencé pour pouvoir détecter le passage de l'aiguille des secondes 34S par au moins une première position temporelle de référence de l'affichage et le passage de l'indicateur des minutes 34M par au moins une deuxième position temporelle de référence de cet affichage. Pour effectuer une correction de l'heure réelle affichée, le dispositif de correction comprend généralement un dispositif de freinage du résonateur mécanique. Dans une variante principale, le dispositif de freinage est formé par un actionneur électromécanique, par exemple un actionneur du type piézoélectrique 22A. Ensuite, le dispositif de freinage est commandé par une unité de commande 48 qui lui transmet un signal de commande S_{Cmd} pour commander son circuit d'alimentation de manière à gérer temporellement l'application d'une force de freinage mécanique sur le résonateur mécanique 14. De manière générale, le dispositif de correction est agencé pour que le dispositif de freinage puisse agir, chaque fois qu'une erreur temporelle globale a été déterminée par le circuit électronique de correction, sur le résonateur mécanique au cours d'une période de correction pour varier la marche du mécanisme d'entraînement de sorte à corriger au moins en partie cette erreur temporelle globale.

[0026] Dans la variante représentée, l'actionneur 22A comprend un organe de freinage qui est formé par une lame flexible 24, laquelle présente sur deux surfaces opposées (perpendiculaires au plan de la Figure 1) respectivement deux couches piézoélectriques qui sont revêtues chacune d'une couche métallique formant une électrode. L'actionneur piézoélectrique comprend un circuit d'alimentation 26 permettant d'appliquer une certaine tension entre les deux électrodes de sorte à appliquer un champ électrique au travers des deux couches piézoélectriques, lesquelles sont agencées de manière à courber la lame 24 en direction de la serge 20 du balancier 14, lorsqu'une tension est appliquée entre les deux électrodes, pour que la partie d'extrémité de la lame, formant un patin de freinage mobile, puisse presser contre la surface circulaire externe de la serge et ainsi exercer une force de freinage mécanique sur le résonateur mécanique. On notera que la tension peut être variable, pour varier la force de freinage mécanique et donc le couple de freinage mécanique appliqué au balancier. Concernant le dispositif de freinage, on pourra se référer au document WO 2018/177779 pour diverses variantes d'agencement d'un tel dispositif de freinage dans un mouvement mécanique horloger. Dans une variante particulière, le dispositif de freinage est formé par une lame actionnée par un système aimant-bobine. Dans une autre variante particulière, le balancier comprend un arbre central qui définit ou qui porte une partie autre que la serge du balancier, par exemple un disque, définissant une surface de freinage circulaire. Dans ce dernier cas, un patin de l'organe de freinage est agencé de manière à exercer une pression contre cette surface de freinage circulaire lors de l'application momentanée d'une force de freinage mécanique.

[0027] Le premier mode de réalisation de la pièce d'horlogerie incorpore un premier mode de réalisation du dispositif de détection, décrit ci-après en référence aux Figures 2 à 6, qui se distingue par le fait qu'il permet une détection directe du passage d'au moins un indicateur de l'affichage analogique 12, relatif à une unité temporelle de l'heure réelle, par au moins une position temporelle de référence de cet affichage qui est relative à ladite unité temporelle, cet indicateur étant agencé pour pouvoir être détecté lui-même par le dispositif de détection. La description du premier mode de réalisation de la pièce d'horlogerie 2 sera faite essentiellement dans le cadre du mode de réalisation principal, dans lequel le dispositif de détection est agencé pour pouvoir détecter le passage de l'indicateur des secondes par au moins une première position temporelle de référence de l'affichage et le passage de l'indicateur des minutes par au moins une deuxième position temporelle de référence de cet affichage, et dans lequel les mesures pour ces deux indicateurs sont exploitées dans chaque cycle de correction pour effectuer une correction de la minute courante et de la seconde courante de l'heure réelle affichée.

[0028] Dans la variante avantageuse représentée à la **Figure 2**, le dispositif de détection 30 est du type optique et comprend quatre unités de détection 224a, 224b, 224c et 224d qui définissent respectivement quatre positions tempo-

relles de référence pour l'aiguilles des secondes 34S (15 s, 30 s, 45 s et 60 s = 0 s) et respectivement quatre positions temporelles de référence pour l'aiguilles des minutes 34M (15 min, 30 min, 45 min et 60 min = 0 min). On notera que dans une autre variante, une seule unité de détection est prévue ou deux unités de détection diamétralement opposées sont prévues. On notera aussi que la variante représentée prévoit avantageusement de mêmes unités de détection

pour détecter des passages de l'aiguille des secondes et de l'aiguille des minutes. Cependant, dans une autre variante, on peut prévoir des unités de détection différentes pour les deux aiguilles.

[0029] De manière générale, le dispositif de détection optique comprend au moins une source de lumière, chacune apte à émettre un faisceau de lumière, et au moins un détecteur photosensible chacun apte à capter de la lumière émis par une source de lumière de ladite au moins une source de lumière. L'indicateur des secondes et l'indicateur des minutes présentent chacun une surface de réflexion qui traverse le/les faisceau(x) de lumière émis par au moins une source de lumière lors de passages de l'indicateur considéré par au moins une position temporelle de référence correspondante à cet indicateur et définie par le dispositif de détection, notamment en regard d'au moins une unité de détection de ce dispositif de détection. Le dispositif de détection et la surface de réflexion sont configurés de manière que cette surface de réflexion puisse réfléchir, lors d'un passage de l'indicateur considéré par une quelconque position temporelle de référence de ladite au moins une position temporelle de référence correspondante, de la lumière incidente, fournie par une source de lumière de ladite au moins une source de lumière, au moins partiellement en direction d'un détecteur photosensible dudit au moins un détecteur photosensible qui est associé à ladite quelconque position temporelle de référence. Dans une variante préférée, la surface de réflexion de chaque indicateur considéré est formée par une surface inférieure de cet indicateur, et ladite au moins une source de lumière et ledit au moins un détecteur photosensible sont supportés par un cadran de la pièce d'horlogerie ou logés au moins partiellement dans le cadran, ou situés sous le cadran qui est alors agencé pour permettre au/aux faisceau(x) de lumière de le traverser. Dans une variante avantageuse, la lumière émise par ladite au moins une source de lumière n'est pas visible pour l'œil humain. La source de lumière émet notamment de la lumière dans le domaine infrarouge.

[0030] La **Figure 3** est une coupe partielle de la montre de la **Figure 2**, au travers de l'unité de détection 224a du dispositif de détection optique 30. On remarquera que les quatre unités de détection sont semblables. Le boîtier de la montre est représenté par son profil interne 220a. L'unité de détection 224a comprend un capteur optique 226 formé par une source de lumière 228, qui émet un faisceau de lumière 232, et un détecteur photosensible 227 apte à capter de la lumière émis par la source de lumière, la source et le détecteur étant alignés selon une direction radiale relativement à l'axe central de la montre autour duquel tourne l'aiguille des secondes et l'aiguille des minutes. Le capteur optique 226 est agencé sous le cadran 32 et supporté par la platine du mouvement mécanique 4. Le cadran présente une ouverture dans laquelle est agencée une plaquette en verre 230 qui présente à sa surface inférieure un profil en dents de scie formant deux réseaux de réfraction (série de plans obliques parallèles) prévus pour réfracter respectivement la lumière émise par la source 228 et la lumière incidente sur le détecteur 227 après réflexion par l'une ou l'autre des deux aiguilles 34M et 34S. La plaquette peut être faite d'une autre substance qui présente une suffisamment bonne transparence pour la lumière émise par la source 228, notamment pour une lumière infrarouge le cas échéant. On notera que la plaquette peut aussi former un élément supérieur du capteur 226 et être alors insérée dans l'ouverture du cadran lors de l'assemblage du capteur optique avec le cadran.

[0031] L'unité de détection optique 224a est remarquable car les unités électroniques formant la source de lumière et le détecteur photosensible sont agencées sur un substrat commun dans un plan général parallèle au cadran 32 avec la lumière émise ayant une direction principale (axe optique) qui est perpendiculaire à ce plan général, mais le faisceau lumineux 232 est oblique. Une couche d'air entre la plaquette et le capteur 226 est un avantage pour obtenir un angle de déviation assez important de la lumière relativement à la direction verticale, c'est-à-dire perpendiculaire au cadran. Grâce à un tel agencement, bien que la lumière émise par la source 228 ait un axe optique vertical, les zones réfléchissantes RS1 et RS2 définies respectivement par les deux surfaces inférieures de l'aiguille des secondes 34S et de l'aiguille des minutes 34M sont planes et horizontales. Ainsi, étant donné que les surfaces inférieures des aiguilles traditionnelles sont planes et parallèles au cadran, le dispositif de détection ne nécessite que peu d'intervention sur les aiguilles, voire aucune intervention pour des aiguilles métalliques ou ayant un revêtement métallique. Une surface polie dans les zones RS1 et RS2 est un avantage. A noter que les deux aiguilles 34M et 34S sont représentées, à la **Figure 3**, l'une au-dessus de l'autre pour aider à la compréhension du fonctionnement de l'unité de détection optique pour chacune des deux aiguilles ; mais la détection de l'aiguille des secondes est prévue en l'absence de l'aiguille des minutes au-dessus de l'unité de détection.

[0032] Etant donné que des détecteurs photosensibles sont souvent adaptés pour recevoir de la lumière présentant une incidence oblique (jusqu'à un certain angle d'incidence), la problématique liée au souhait de surfaces de réflexion planes et horizontales pour les aiguilles concerne premièrement la source de lumière. Aux **Figures 4A à 4D** sont représentées quatre variantes spécifiques pour la source de lumière des unités de détection optiques. Dans la première variante simple, la source de lumière 228a, par exemple une diode du type LED (acronyme de 'Light-Emitting Diode') ou une diode laser du type VCSEL (acronyme de 'Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser'), est agencée obliquement sur un support. Cette première variante présente le désavantage d'augmenter passablement la hauteur du dispositif.

Dans la deuxième variante, on utilise une propriété de diodes laser classiques du type VCSEL, non collimatées, qui présentent naturellement un profil d'intensité lumineuse, représenté à la Figure 4B, avec un maximum présentant une déviation angulaire relativement à la direction perpendiculaire. Ainsi, le faisceau lumineux 232, dans un plan passant par son axe central, présente deux directions principales symétriques ayant une déviation angulaire α_0 . On sélectionnera une diode laser présentant une relativement grande déviation angulaire. Dans la troisième variante, la source de lumière 228c présente à sa surface émettrice une structure de diffraction RD qui diffracte le faisceau de lumière majoritairement dans une direction oblique donnée. Finalement, la quatrième variante s'apparente à la variante de la Figure 3. La source de lumière 228d présente sur sa surface émettrice une structure transparente ayant sa surface supérieure présentant un profil en dents de scie qui forme un réseau de réfraction RD (série de plans obliques parallèles) prévus pour réfracter la lumière émise par la source 228d. Alors que les plans inclinés à la Figure 3 présentent un angle d'environ 45° , les plans inclinés du réseau de réfraction RD présentent un angle plus petit relativement à la direction horizontale (par exemple 35°), de sorte à avoir un angle de réfraction pour le faisceau lumineux 232 qui lui permette de traverser la structure transparente.

[0033] Deux variantes, où on accepte un traitement particulier des surfaces inférieures des aiguilles concernées, sont représentées aux Figures 5A et 5B. A noter que ces deux variantes peuvent être complémentaires aux variantes décrites ci-avant. A la **Figure 5A**, l'aiguille 34D présente un réseau de diffraction en réflexion dans une zone de sa surface inférieure qui traverse le faisceau incident 232a (faisceau ayant une direction normale) lors de son passage au-dessus d'une unité de détection optique. A la **Figure 5B**, l'aiguille 34R présente un réseau de réflexion dans une zone de sa surface inférieure qui traverse le faisceau incident 232a lors de son passage au-dessus d'une unité de détection optique.

[0034] De manière générale, le dispositif de détection comprend U unités de détection pour l'indicateur des secondes et Q unités de détection pour l'indicateur des minutes, certaines de ces unités de détection pouvant être communes aux deux aiguilles. Dans la variante représentée, il est prévu quatre unités de détection communes aux deux indicateurs. Les U unités de détection définissent U positions temporelles de référence $X_0(u)$, $u = 1 \text{ à } U$, pour l'indicateur des secondes, et les Q unités de détection définissent Q positions temporelles de référence $Y_0(q)$, $q = 1 \text{ à } Q$, pour l'indicateur des minutes. Quatre unités de détection pour l'indicateur des minutes permettent de détecter cet indicateur dans un intervalle de temps d'environ 15 minutes.

[0035] Le dispositif de détection décrit précédemment est du type optique. Cependant, on notera que le dispositif de détection peut être d'un autre type, notamment du type capacitif, magnétique ou inductif. Une unité de détection du type capacitif, magnétique ou inductif peut être soumise à une même commande que celle décrite pour une unité de détection optique et un même traitement des mesures effectuées peut être prévue dans le cadre d'un cycle de correction selon la présente invention ; ce qui conduit à une même correction de l'heure réelle affichée.

[0036] En référence à la **Figure 6**, on décrira maintenant une phase de détection, prévue au début d'un cycle de correction de l'heure affichée, pour le mode de réalisation principal dans lequel le temps réel de référence T_{Rf} généré par la base de temps interne 42 est composé au moins d'une seconde courante de référence X_R et d'une minute courante de référence Y_R .

[0037] Premièrement, le circuit électronique de correction 48, 48A est agencé et la durée de la phase de détection est prévue pour permettre au dispositif de détection de détecter au cours de cette phase de détection, alors que le mécanisme d'entraînement 10 (Figure 1) est en marche et cadencé par le résonateur mécanique 14 oscillant, au moins un passage de l'indicateur des secondes 34S par une position temporelle de référence parmi les positions temporelles de référence $X_0(u)$, $u = 1 \text{ à } U$, et au moins un passage de l'indicateur des minutes par une position temporelle de référence parmi les positions temporelles de référence $Y_0(q)$, $q = 1 \text{ à } Q$. Le circuit électronique de correction est agencé pour pouvoir déterminer, en association avec la base de temps interne 42 et sur la base de valeurs de mesure d'une pluralité de valeurs de mesure, au moins un premier instant de passage T_{X_0} de l'indicateur des secondes par une quelconque position temporelle de référence, nommée X_0 , parmi les positions temporelles de référence prévues pour cet indicateur des secondes, ce premier instant de passage étant composé au moins d'une valeur correspondante de la seconde courante de référence X_R , et au moins un deuxième instant de passage T_{Y_0} de l'indicateur des minutes par une quelconque deuxième position temporelle de référence, nommée Y_0 , parmi les positions temporelles de référence prévues pour cet indicateur des minutes, ce deuxième instant de passage étant composé au moins d'une valeur correspondante de la minute courante de référence Y_R . Dans les explications qui suivent, on considère donc que l'aiguille des secondes est détectée par une unité de détection correspondant à la position temporelle de référence X_0 , et l'aiguille des minutes est détectée par une unité de détection correspondant à la position temporelle de référence Y_0 .

[0038] Pour effectuer la détection du passage d'un indicateur par une position temporelle de référence, on effectue une pluralité de mesures à une fréquence de mesure F_{Ms} . Chaque mesure donne une valeur de mesure et intervient à un instant de mesure déterminé. Pour ce faire, les mesures sont effectuées au cours de brefs intervalles de temps. Dans le cas d'une unité de détection optique d'un dispositif de détection optique, la source de lumière est activée périodiquement à la fréquence de mesure F_{Ms} pour engendrer une pluralité d'impulsions lumineuses, et le détecteur photosensible fournit une pluralité de valeurs d'intensité lumineuse correspondantes.

[0039] Dans une première variante générale, lors de la phase de détection, le dispositif de détection est activé de

manière à effectuer une pluralité de mesures successives à au moins une fréquence de mesure qui est déterminée par le circuit d'horloge 44 de la base de temps interne 42, ce circuit d'horloge fournissant un signal digital périodique à la fréquence de mesure F_{Ms} directement au dispositif de détection ou indirectement à ce dispositif de détection via l'unité de commande. Dans une variante préférée, la fréquence de mesure est variable et le dispositif de correction 6 est agencé pour pouvoir détecter le passage de l'indicateur des secondes par la position temporelle de référence X0 avec une première fréquence de mesure FS_{Mes} et le passage de l'indicateur des minutes par la position temporelle de référence Y0 avec une deuxième fréquence de mesure FM_{Mes} qui est inférieure à la première fréquence de mesure. Dans une variante particulière, la première fréquence de mesure FS_{Mes} est prévue inférieure au triple d'une fréquence de consigne $F0c$ pour le résonateur mécanique 14 et supérieure ou égale à 1 Hz, soit $1\text{Hz} \leq FS_{Mes} < 3 \cdot F0c$, alors que la deuxième fréquence de mesure FM_{Mes} est prévue inférieure ou égale à 1/8 Hz ($FM_{Mes} \leq 1/8 \text{ Hz}$).

[0040] Il peut être avantageux, pour que les unités de détection puissent effectuer correctement des mesures et pour augmenter un peu la précision de détermination des instants de passage des deux aiguilles par leurs positions temporelles de référence respectives, que l'aiguille des secondes soit sensiblement immobile lors des mesures. Si on prend par exemple un résonateur mécanique oscillant sensiblement à 4 Hz et que la fréquence de mesure pour l'aiguille des secondes correspond à 4 Hz ou 8 Hz, il se peut que toutes les mesures interviennent lors des impulsions d'entretien du résonateur mécanique et donc lorsque la roue d'échappement tourne et aussi la roue de seconde portant l'aiguille des secondes. Pour éviter que la majorité des mesures interviennent lorsque l'aiguille des secondes subit un petit mouvement de rotation, il est prévu, dans une variante avantageuse, que la première fréquence de mesure FS_{Mes} a une valeur différente du double de la fréquence de consigne $F0c$ divisée par un nombre entier positif N, soit $FS_{Mes} \neq 2 \cdot F0c/N$.

[0041] Dans une autre variante plus évoluée, la fréquence de mesure est déterminée par le résonateur mécanique en association avec le circuit d'horloge. Le dispositif de correction de l'heure réelle affichée comprend alors un capteur associé au résonateur mécanique et agencé pour pouvoir détecter les passages du résonateur oscillant par sa position neutre, correspondant à sa position d'énergie potentielle minimale. Lors de la phase de détection, le dispositif de détection est activé et commandé par l'unité de commande associée à la base de temps interne pour effectuer une pluralité de mesures successives chacune suite à la détection d'un passage du résonateur mécanique par sa position neutre et après un certain déphasage temporel depuis cette détection. De préférence, ce déphasage temporel est compris entre $T0c/8$ et $3 \cdot T0c/8$, où $T0c$ est la période de consigne qui est égale à l'inverse de la fréquence de consigne. Pour ce faire, le circuit d'horloge 44 est agencé pour fournir à l'unité de commande un signal périodique à une fréquence égale à $8/T0c$ ou proche de cette valeur. Le capteur fournit à l'unité de commande un signal indiquant quand le résonateur mécanique passe par sa position neutre. Suite à cet instant, l'unité de commande active la réception du signal fourni par le circuit d'horloge à la fréquence environ égale à $8/T0c$ et compte deux flancs montants ou descendants dans le signal périodique. Au deuxième flanc considéré, l'unité de commande déclenche une mesure et donc une impulsion lumineuse. Si souhaité, on peut donc ainsi savoir l'instant de chaque mesure. Comme le circuit d'horloge et le résonateur mécanique ne sont pas synchronisés, le déphasage temporel sera dans la plage de valeurs susmentionnée. Avec un déphasage dans cette plage, la roue d'ancre est à l'arrêt et l'aiguille des secondes est ainsi immobile lors des mesures. Dans cette variante évoluée, la fréquence de mesure est égale à $2 \cdot F0c$ si on effectue une mesure à chaque détection d'un passage du résonateur par sa position neutre. Si on effectue une mesure tous les N détections, la fréquence de mesure est sensiblement égale à $2 \cdot F0c/N$. On remarquera que pour le traitement des mesures qui sera décrit ci-après, on peut partir de l'hypothèse que la fréquence naturelle $F0$ du résonateur est égale à $F0c$, de sorte que $F_{Ms} = 2 \cdot F0c/N$. Si une montre présente une erreur journalière importante, soit par exemple 14 secondes par jour, ceci correspond à une erreur de 10 ms pour une minute. Comme une minute est une période de détection suffisante pour l'aiguille des secondes, une telle erreur est insignifiante dans le calcul d'une erreur temporelle pour cette aiguille.

[0042] A la Figure 6 est représentée une première série de mesures effectuées pour la détection de l'aiguille des secondes à une première fréquence $FS_{Ms} = 4 \text{ Hz}$, de préférence en utilisant la variante évoluée décrite ci-avant si la fréquence de consigne pour le résonateur mécanique est aussi égale à 4 Hz, et une deuxième série de mesures à une deuxième fréquence $FM_{Ms} = 1/10 \text{ Hz}$ (toutes les 10 secondes pour économiser de l'énergie) étant donné que l'aiguille des minutes tourne 60 fois moins vite que l'aiguille des secondes et présente généralement une plus grande largeur. On remarquera que 4 Hz peuvent facilement être dérivé du circuit d'horloge 44 qui est agencé pour fournir des tops seconde à la base de temps pour la mesure du temps réel de référence. La fréquence FM_{Ms} est générée par un compteur cyclique à dix, incrémenté par les tops seconde associé à l'unité de commande.

[0043] La première série de mesures donne une première série de valeurs d'intensité VS_n , n étant un nombre entier positif, à laquelle correspond une première série d'instants de mesure TS_n . La deuxième série de mesures donne une deuxième série de valeurs d'intensité VM_k , k étant un nombre entier positif, à laquelle correspond une deuxième série d'instants de mesure TM_k . Ainsi, à chaque mesure correspond un couple de valeurs VS_n et TS_n , respectivement VM_k et TM_k .

[0044] Pour la phase de traitement qui suit la phase de détection, il n'est pas prévu d'enregistrer le temps réel de référence correspondant à chaque mesure lors de la phase de détection, mais il est prévu de numéroté ou de classer

par ordre chronologique les mesures de chaque série de mesures, et d'établir un lien temporel avec le temps réel de référence T_{Rf} pour chaque série de mesures. Dans le cas d'une numérotation qui associe un numéro n , respectivement k à chaque valeur VS_n , respectivement VM_k , le signal digital périodique à la fréquence de mesure F_{Ms} (signal périodique de mesure) peut être fourni également à l'unité de traitement 46 qui reçoit les valeurs de mesure via un signal S_{Ms} que lui fournit le dispositif de détection, directement ou via l'unité de commande. Dans le cas d'un classement par ordre chronologique, le rang de la valeur de mesure peut suffire à déterminer l'instant de mesure correspondant. On sait que deux mesures successives d'une même série sont distantes d'une période T_{Ms} qui est l'inverse de la fréquence de mesure F_{Ms} . Si pour un instant X , respectivement Y donnés par le signal périodique de mesure, l'unité de commande ou directement l'unité de traitement mémorise le temps réel de référence correspondant $TS_{Rf,X}$ pour l'aiguille des secondes, respectivement $TM_{Rf,Y}$ pour l'aiguille des minutes, et si un nombre de périodes du signal périodique de mesure est déterminé entre le temps réel de référence mémorisé et une mesure de rang n , respectivement de rang k , alors le rang (ou le numéro) de chaque mesure correspond à un temps réel de référence déterminé. On peut exprimer mathématiquement cette relation temporelle de la manière suivante :

$$TS_n = (n-X) / FS_{Ms} + TS_{Rf,X}$$

$$TM_k = (k-Y) / FM_{Ms} + TM_{Rf,Y}$$

[0045] Un cas particulier concerne $X = Y = 0$. L'unité de commande attend un top seconde qui définit un temps initial pour une série de mesures et dès qu'il le reçoit, d'une part il active le dispositif de détection ou il prend en considération des mesures intervenant seulement depuis cet instant initial, à l'exception de cet instant initial, et d'autre part il enregistre le temps réel de référence $TS_{Rf,0}$, respectivement $TM_{Rf,0}$. Ainsi, on a :

$$TS_n = n / FS_{Ms} + TS_{Rf,0}$$

avec $n = 1$ à N

$$TM_k = k / FM_{Ms} + TM_{Rf,0}$$

avec $k = 1$ à K

où N et K sont les nombres de mesures pour respectivement la détection de l'aiguille des secondes et de l'aiguille des minutes.

[0046] L'unité de traitement 46 effectue un traitement de chaque série de mesures pour déterminer le premier instant de passage T_{X0} de l'indicateur des secondes par la position temporelle de référence $X0$ et le deuxième instant de passage T_{Y0} de l'indicateur des minutes par la position temporelle de référence $Y0$. Diverses méthodes de traitement des données de mesure peuvent être utilisées. A titre d'exemples, on citera les deux exemples en lien avec la Figure 6, et un exemple simplifié. Pour déterminer la valeur T_{X0} , étant donné que l'aiguille des secondes est relativement fine et tourne relativement vite, un algorithme détermine la valeur maximale VS_{max} à laquelle correspond un rang / numéro $n = Z_E$.

Ainsi

$$T_{X0} = Z_E / FS_{Ms} + TS_{Rf,0}$$

A la Figure 6, $T_{X0} = 10$ s et 250 ms ($T_{X0} = 10,25$ s).

[0047] Pour déterminer la valeur T_{Y0} , un algorithme détermine une largeur, correspondant à un intervalle de temps IT , sensiblement à mi-hauteur d'une courbe convexe symétrique C_{Fit} ajustée à la série de valeurs de mesure VM_k pour pouvoir déterminer une valeur milieu de cette largeur, cette valeur milieu définissant l'instant de passage T_{Y0} de l'axe longitudinal milieu de l'aiguille des minutes par la position temporelle de référence $Y0$, laquelle est définie par l'axe radial milieu de l'unité de détection concernée / par la direction d'alignement radiale de la source lumineuse et du détecteur photosensible. On remarquera que l'intervalle de temps IT est un paramètre caractéristique de l'indicateur concerné qui permet de le différencier des autres indicateurs. De plus, l'intensité lumineuse maximale détectée est aussi un paramètre caractéristique de l'indicateur considéré. Pour le traitement des données, l'algorithme implémenté dans l'unité de traitement utilise avantageusement les numéros / rangs k correspondant aux valeurs VM_k . On observe ici que la valeur

T_{Y0} ne correspond pas à un rang / numéro entier (les mesures intervenant ici seulement toutes les 10 secondes), mais elle correspond à un nombre fractionnaire Z_F intermédiaire entre deux rangs / numéros adjacents. Ainsi

$$T_{Y0} = Z_F / FM_{Ms} + TM_{Rf,0}$$

[0048] A la Figure 6, $T_{Y0} = 17$ minutes et 48 secondes ($T_{Y0} = 17 \text{ min} ; 48 \text{ s}$). T_{Y0} a donc une valeur entière PM_{Y0} en minutes (partie entière de T_{Y0}) correspondant à la minute courante de référence lors du passage de l'indicateur par la position temporelle de référence $Y0$, à laquelle s'ajoute une valeur PS_{Y0} en secondes qui définit une partie fractionnaire pour la minute courante donnée par l'indicateur des minutes lors du passage de l'indicateur par la position temporelle de référence $Y0$, cette valeur PS_{Y0} correspondant à la seconde courante de référence lors du passage de l'indicateur des minutes par la position temporelle de référence $Y0$. On notera ainsi $T_{Y0} = (PM_{Y0} ; PS_{Y0})$. On remarquera que la valeur PS_{Y0} peut éventuellement avoir des décimales. On peut dans une variante simplifiée ignorer PS_{Y0} , mais alors on perd beaucoup en précision pour l'aiguille des minutes. Ainsi, dans le mode de réalisation principal, l'instant de passage de l'aiguille des minutes par une position temporelle de référence (laquelle correspond généralement à un nombre entier de minutes) est déterminé en général avec une partie entière en minutes et une partie fractionnaire en secondes (partie sexagésimale), cette détermination étant effectuée de préférence avec une précision de l'ordre de la seconde ou inférieure à la seconde.

[0049] Dans les deux méthodes de traitement exposées ci-avant, de manière générale, l'unité de commande et/ou l'unité de traitement est/sont relié(s) à la base de temps interne de manière à pouvoir mettre en mémoire le temps réel de référence à au moins un instant donné de la phase de détection. Le circuit électronique de correction est agencé pour pouvoir déterminer, lors de la phase de détection, au moins un premier instant de mesure et un deuxième instant de mesure correspondant respectivement à au moins une première mesure et une deuxième mesure parmi une série de mesures successives, ces premier et deuxième instants de mesure étant déterminés par la base de temps interne. Le premier instant de mesure est composé au moins d'une première valeur correspondante de l'unité temporelle courante de référence et le deuxième instant de mesure est composé au moins d'une deuxième valeur de cette unité temporelle courante de référence. Ensuite, le circuit électronique de correction est agencé pour pouvoir calculer, en fonction desdits au moins un premier instant de mesure et un deuxième instant de mesure et des valeurs de mesure correspondantes, un troisième instant qui détermine l'instant de passage de l'indicateur considéré par la position temporelle de référence concernée.

[0050] Dans une variante simplifiée, l'instant de passage d'une aiguille par une position temporelle de référence est déterminé en comparant chaque valeur de mesure reçue par l'unité de traitement directement avec une valeur de seuil prévue pour cette aiguille. Dès que l'unité de traitement détecte que la valeur d'une mesure dépasse cette valeur de seuil, il attribue l'instant de cette mesure à l'instant de passage et il enregistre la valeur du temps réel de référence directement suite à cette détection. Cette variante simplifiée est moins précise, mais elle nécessite peu de ressources électroniques. Le circuit électronique de correction peut donc être simplifié.

[0051] Suite à la détermination des instants de passage décrite ci-avant, le circuit électronique de correction est agencé pour pouvoir déterminer une première erreur temporelle pour l'indicateur des secondes, en comparant au moins un premier instant de passage de cet indicateur des secondes avec une première position temporelle de référence correspondante, et une deuxième erreur temporelle pour l'indicateur des minutes en comparant au moins un deuxième instant de passage de cet indicateur des minutes avec une deuxième position temporelle de référence correspondante. Dans une variante générale, la détermination de la première erreur temporelle et de la deuxième erreur temporelle est opérée par l'unité de traitement qui effectue une soustraction entre l'instant de passage déterminé et la valeur de la position temporelle de référence correspondante.

[0052] Pour l'indicateur des secondes et l'indicateur des minutes, les deux erreurs temporelles respectives E_S et E_M sont données par :

$$E_S = T_{X0} - X0 ;$$

$$E_M = T_{Y0} - Y0$$

[0053] Par construction, $X0$ correspond à un nombre entier de secondes et $Y0$ correspond à un nombre entier de minutes, soit $Y0 = (Y0 ; 0)$. E_S est donné en secondes, éventuellement avec une ou plusieurs décimales étant donné que T_{X0} est normalement déterminé avec des décimales (précision meilleure que la seconde). L'algorithme de traitement peut décider de ne conserver par exemple qu'une seule décimale. Comme l'instant de passage T_{Y0} déterminé pour

l'indicateur des minutes présente une partie entière PM_{Y0} en minutes et une partie fractionnaire PS_{Y0} en secondes, l'erreur temporelle E_M est déterminée avec une partie entière E_{Mm} en minutes et une partie fractionnaire E_{Ms} en secondes (E_{Ms} s'ajoutant donc à E_{Mm}). Selon la notation choisie : $E_M = (E_{Mm} ; E_{Ms})$. On remarquera que E_{Ms} peut présenter une ou plusieurs décimales résultant du calcul effectué pour sa détermination, mais l'algorithme ne conserve généralement pas de décimale pour la valeur E_{Ms} en secondes étant donné que cette valeur est déjà pour l'indicateur des minutes une partie fractionnaire.

[0054] On note formellement :

$$E_M = (E_{Mm} ; E_{Ms}) = (PM_{Y0} ; PS_{Y0}) - (Y0 ; 0) = (PM_{Y0} - Y0 ; PS_{Y0}).$$

[0055] Dans l'exemple de la Figure 6 :

$$X0 = 15 \text{ s et } E_S = 10,25 - 15 = -4,75 \text{ s}$$

$$Y0 = (15 ; 0) \text{ et } E_M = (17 ; 48) - (15 ; 0) = (2 ; 48), \text{ soit 2 min et 48s.}$$

[0056] On observe que la partie fractionnaire E_{Ms} de l'erreur temporelle E_M relative à la minute courante affichée par l'indicateur des minutes est bien différente de l'erreur temporelle E_S de la seconde courante affichée par l'indicateur des secondes. Comme exposé précédemment, cette situation n'est pas anormale pour un mouvement mécanique classique étant donné que la liaison cinématique entre ces deux indicateurs est rompue lors d'une mise à l'heure manuelle de l'affichage par un utilisateur. Ainsi, un problème spécifique est mis en lumière, lequel découle généralement des deux faits suivants :

1) Un affichage de l'heure réelle est formé de plusieurs indicateurs distincts qui sont utilisés pour représenter l'écoulement du temps. Ils sont donc tous relatifs à une seule et même grandeur physique, le temps.

2) Les mouvements mécaniques horlogers traditionnels comprennent un dispositif de mise à l'heure manuel qui rompt momentanément le lien cinématique entre, d'une part, l'indicateur des secondes et, d'autre part, l'indicateur des minutes et l'indicateur des heures. Ainsi, un déphasage temporel quelconque, entre zéro et soixante secondes, apparaît normalement entre la partie fractionnaire de la minute courante affichée par l'indicateur des minutes et la seconde courante affichée par l'indicateur des secondes. Par conséquence, la minute courante affichée présente, de manière visible en présence d'une graduation des minutes et secondes, une partie fractionnaire en secondes dont la valeur diffère de la partie entière de la seconde courante affichée, laquelle est aussi en secondes. On a donc une différence en secondes entre deux données affichées qui sont tous deux relatives à la seconde.

[0057] Dans le cadre de la présente invention, il a été prévu que le circuit électronique de correction puisse en outre déterminer une erreur temporelle globale T_{Err} , pour l'affichage d'une montre du type mécanique, en fonction de la première erreur temporelle déterminée pour l'indicateur des secondes, de la deuxième erreur temporelle déterminée pour l'indicateur des minutes, et d'au moins un critère de correction prédéfini qui sélectionne une manière de traiter les première et deuxième erreurs temporelles pour déterminer une erreur temporelle globale pour l'affichage de la pièce d'horlogerie.

[0058] Dans un mode de traitement préféré pour le mode de réalisation principal, dans une variante principale où l'indicateur des minutes est du type analogique, on établit deux critères de correction, à savoir :

Critère No 1 : Après correction, l'indicateur des secondes doit indiquer correctement la seconde courante, c'est-à-dire au mieux.

Critère No 2 : Après correction, l'erreur résiduelle en secondes pour l'indicateur des minutes doit être supérieure ou égale à un retard maximum sélectionné T_{max} , soit supérieure ou égale à $-T_{max}$

[0059] Ainsi, dans une variante principale, il est prévu qu'au moins l'indicateur des minutes, parmi l'ensemble d'indicateurs, est du type analogique, cet indicateur des minutes affichant un nombre entier positif de minutes et une partie fractionnaire qui est variable. Ensuite, la pièce d'horlogerie comprend en outre un dispositif de mise à l'heure qui est agencé de manière à rompre momentanément la liaison cinématique entre l'indicateur des minutes et l'indicateur des secondes pour effectuer une mise à l'heure dudit affichage. Finalement, le circuit électronique de correction est agencé pour pouvoir déterminer une erreur temporelle globale (T_{Err}) pour l'affichage en fonction d'au moins un critère de correction prédéfini pour l'indicateur des secondes et/ou l'indicateur des minutes en plus des première et deuxième erreurs tem-

poelles relatives respectivement aux indicateurs des secondes et des minutes.

[0060] Dans une variante préférée, l'erreur temporelle globale est déterminée de sorte à corriger sensiblement la première erreur temporelle pour l'indicateur des secondes lors de ladite période de correction.

[0061] Dans une variante avantageuse, l'erreur temporelle globale est déterminée de sorte que l'indicateur des minutes présente à la fin de la période de correction, pour le cas où cet indicateur des minutes a alors un déphasage temporel correspondant à un retard, au plus un retard maximum qui est sélectionné dans la plage de valeurs de la partie fractionnaire de la minute courante affichée, soit entre zéro et soixante secondes de retard.

[0062] Dans une variante préférée, l'algorithme de traitement implémenté dans l'unité de traitement 46 pour déterminer l'erreur temporelle globale T_{Err} est le suivant :

- On calcule une erreur cumulée EC_{Ms} , relative à la partie fractionnaire en secondes de la minute courante affichée par l'indicateur des minutes, en appliquant théoriquement le premier critère de correction, à savoir en soustrayant l'erreur temporelle E_S de l'indicateur des secondes de la partie fractionnaire E_{Ms} de l'erreur temporelle E_M de l'indicateur des minutes, soit : $EC_{Ms} = E_{Ms} - E_S$
- On effectue la division entière de l'erreur cumulée EC_{Ms} par soixante (cette opération est notée ' EC_{Ms} modulo 60') ; ce qui donne un quotient Q_M (nombre entier de minutes) et un reste R_S en secondes (positif).
- On sélectionne un retard maximum T_{max} pour l'indicateur des minutes, selon le deuxième critère de correction.
- On détermine une erreur globale E_{MG} pour la valeur relative à la minute dans l'erreur temporelle globale T_{Err} , cette erreur globale E_{MG} pouvant prendre deux valeurs différentes en fonction du reste R_S de ladite division entière et dudit retard maximum T_{max} , soit :

$$E_{MG} = E_{Mm} + Q_M$$

si R_S appartient à la plage $[0 ; 59 - T_{max}]$

$$E_{MG} = E_{Mm} + Q_M + 1$$

si R_S appartient à la plage $[60 - T_{max} ; 59]$ pour le cas où T_{max} est supérieur à zéro.

- On définit l'erreur temporelle globale à corriger : $T_{Err} = (E_{MG} ; E_S)$ où E_{MG} est un nombre entier de minutes, et E_S est formé d'un nombre entier de secondes avec éventuellement une ou plusieurs décimale(s).

[0063] Ainsi, dans l'exemple de la Figure 6, en sélectionnant $T_{max} = 15$ s :

$E_S = -4,75$ s, $E_M = (2 \text{ min} ; 48 \text{ s})$; $EC_{Ms} = 48 - 4,75 = 52,75$ s EC_{Ms} modulo 60 donne : $Q_M = 0$; $R_S = 53$ s (valeur arrondie) $E_{MG} = E_{Mm} + Q_M + 1 = 2 + 0 + 1 = 3$; $T_{Err} = (E_{MG} ; E_S) = (3 ; -4,75)$.

[0064] On remarquera que la variante $T_{max} = 0$ correspond à un cas particulier où il a été décidé que l'aiguille des minutes ne doit pas montrer de retard, mais être toujours corrigée pour être exactement à la minute courante de référence ou présenter une certaine avance entre '0' et '59' secondes. Une sélection de $T_{max} = 30$ s correspond à un cas où l'aiguille des minutes présente une erreur résiduelle après correction située entre un retard de 30 secondes (-30 s) et une avance de 30 secondes (+30 s). Une variante avec $T_{max} = 15$ s peut s'avérer être avantageuse, un bon compromis.

[0065] A titre complémentaire, voici trois exemples (avec $T_{max} = 15$ s) :

Exemple 1

$E_S = 25$ s, $E_M = (-2 \text{ min} ; 19 \text{ s})$; $EC_{Ms} = 19 - 25 = -6$ s

EC_{Ms} modulo 60 donne : $Q_M = -1$ min ; $R_S = 54$ s

$E_{MG} = E_{Mm} + Q_M + 1 = -2 - 1 + 1 = -2$; $T_{Err} = (-2 ; 25) = (-1 ; -35)$

Exemple 2

$E_S = -30$ s, $E_M = (-2 \text{ min} ; 36 \text{ s})$; $EC_{Ms} = 36 + 30 = 66$ s

EC_{Ms} modulo 60 donne : $Q_M = 1$; $R_S = 6$ s

$E_{MG} = E_{Mm} + Q_M = -2 + 1 = -1$; $T_{Err} = (-1 ; -30)$

Exemple 3

$$E_S = 5 \text{ s}, E_M = (1 \text{ min} ; 42 \text{ s}) ; EC_{Ms} = 42 - 5 = 37 \text{ s}$$

$$EC_{Ms} \text{ modulo } 60 \text{ donne : } Q_M = 0 ; R_S = 37 \text{ s}$$

$$E_{MG} = E_{Mm} + Q_M = 1 + 0 = 1 ; T_{Err} = (1 ; 5)$$

5 **[0066]** La détermination de l'erreur temporelle globale T_{Err} est réalisée par l'unité de traitement qui la fournit ensuite à l'unité de commande pour la phase de correction de l'heure affichée par la pièce d'horlogerie. Cependant, l'erreur temporelle globale peut aussi être calculée par l'unité de commande qui reçoit alors de l'unité de traitement les erreurs temporelles déterminées pour les indicateurs considérés. Ainsi le signal de correction S_{Cor} fourni par l'unité de traitement comprend soit la valeur T_{Err} , soit les valeurs E_S et E_M . On remarquera que l'unité de traitement et l'unité de commande peuvent avantageusement être formées par un seul circuit électronique ou une même unité électronique. La distinction

10 entre ces deux unités est fonctionnelle, pour mieux exposer les diverses phases d'un cycle de correction.
[0067] La correction globale de l'affichage de la montre à effectuer au cours d'un cycle de correction est donnée par $-T_{Err}$ converti entièrement en secondes. Ainsi, dans l'exemple 1 on corrigera en effectuant une avance de 95 secondes, dans l'exemple 2 on corrigera en effectuant une avance de 90 secondes, et dans l'exemple 3 on corrigera en effectuant

15 un recul de 65 secondes dans l'heure réelle affichée.
[0068] On notera que les modes de réalisation décrits concernent un dispositif de correction prévu pour corriger l'heure réelle affichée en fonction de deux erreurs temporelles déterminées respectivement pour une aiguille des secondes et une aiguille des minutes d'une montre munie d'un mouvement mécanique, mais l'invention n'est pas limitée à ce mode de réalisation principal. En effet, dans un mode de réalisation particulier, une erreur temporelle est aussi déterminée

20 pour l'aiguille des heures et la correction prévue est également en fonction de cette erreur temporelle. Pour l'aiguille des heures qui est normalement en phase avec l'aiguille des minutes et continuellement en relation d'engrènement avec cette aiguille des minutes, seule la différence entre l'heure courante affichée et une heure courante de référence donnée par la base de temps est prise en compte pour déterminer l'erreur temporelle globale.
[0069] Dans un autre mode de réalisation particulier, la pièce d'horlogerie ne comprend qu'un indicateur de l'heure courante et un indicateur de la minute courante (donc pas d'indication de la seconde courante). Dans une variante

25 préférée, on ne détermine alors qu'une erreur temporelle pour l'indicateur des minutes. Dans cette variante, l'erreur temporelle globale est égale à l'erreur temporelle déterminée pour l'indicateur des minutes. On remarquera que dans un mode de réalisation où la pièce d'horlogerie a aussi une aiguille des secondes, on pourrait ignorer, dans une variante, l'indication des secondes et ne corriger précisément que l'aiguille des minutes. Toutefois, bien qu'une telle variante permet de donner l'heure réelle avec une indication correcte de la minute courante, elle a peu de sens car l'aiguille des

30 secondes donne alors une indication erronée et sa présence paraît inutile.

[0070] Dans une variante simple, seule l'aiguille des secondes est détectée et seule son erreur temporelle éventuelle est donc corrigée. Pour que cette dernière variante ait un sens, on doit admettre que l'aiguille des minutes donne

correctement l'indication de la minute courante. Ceci est un cas envisageable si on prévoit un cycle de correction avec

35 une fréquence suffisamment élevée, par exemple une fois par jour ou une fois tous les deux jours. Néanmoins, dans les variantes préférées, l'indicateur des minutes est détecté et son erreur temporelle éventuelle est prise en compte pour la correction de l'heure réelle affichée, car l'erreur à corriger ne dépend pas que de la dérive temporelle, mais également de manipulations possibles de la tige-couronne tirée dans sa position de mise à l'heure ou de diverses perturbations possibles.

40 **[0071]** Finalement, la pièce d'horlogerie comprend en outre une unité de communication 50 qui est agencée pour recevoir d'un dispositif extérieur, d'une installation extérieure ou d'un système extérieur un signal de synchronisation S_{Sync} fournissant une heure réelle exacte ou un temps réel exact qui est composé seulement de la minute courante exacte et de la seconde courante exacte, étant donné que dans le mode de réalisation principal seuls les indicateurs des secondes et des minutes sont détectés et ensuite corrigés globalement. Lorsqu'elle reçoit un signal S_{Sync} , l'unité

45 de communication 50 fournit l'heure réelle exacte H_{RE} ou ledit temps réel exact à la base de temps interne 42 qui synchronise alors l'heure réelle de référence / le temps réel de référence sur l'heure réelle exacte / ce temps réel exact. Le système de synchronisation extérieur peut être un système GPS qui donne une heure légale très précisément. Dans ce cas l'unité de communication est formée par une unité de réception d'un signal GPS relatif à l'heure réelle exacte. Dans une autre variante, l'installation extérieure est une antenne longue distance de radio-synchronisation, comme on

50 en trouve notamment en Europe et aux USA. Dans ce cas l'unité de communication est formée par une unité de réception d'un signal RF. Dans une autre variante, laquelle peut être complémentaire à une des deux variantes susmentionnées, le dispositif extérieur est un dispositif électronique portable, par exemple un téléphone portable ou un ordinateur. Dans ce cas, l'unité de communication comprend une unité de communication BLE (sigle de 'Bluetooth Low Energy') ou NFC (sigle de 'Near Field Communication'). On remarquera que dans la dernière variante, le temps réel exact ou l'heure

55 réelle exacte est en général dérivé de la base de temps du dispositif extérieur, laquelle est normalement synchronisée régulièrement sur une horloge donnant l'heure légale exacte via le réseau téléphonique ou via le réseau Internet.

[0072] De manière générale, le dispositif de correction comprend une unité de communication sans fil qui est agencée pour pouvoir communiquer avec un système extérieur apte à fournir l'heure réelle exacte, le dispositif de correction

étant agencé pour pouvoir synchroniser le temps réel de référence sur un temps réel exact, composé d'unités temporelles courantes de l'heure réelle exacte correspondant à celles du temps réel de référence, lors d'une phase de synchronisation au cours de laquelle l'unité de communication est activée de sorte à recevoir du système extérieur l'heure réelle exacte ou ledit temps réel exact.

[0073] Dans une variante avantageuse, l'unité de communication est activée périodiquement par l'unité de commande ou directement par la base de temps interne pour recevoir l'heure réelle exacte ou le temps réel exact. Ainsi, l'unité de communication est activée périodiquement et automatiquement, pour effectuer une synchronisation du temps réel de référence sur le temps réel exact au cours d'une phase de synchronisation. Dans une variante préférée, il est prévu que l'utilisateur puisse activer l'unité de communication notamment via un organe de commande externe de la pièce d'horlogerie. Les deux variantes peuvent être combinées pour avoir une synchronisation périodique automatique et la possibilité d'effectuer une synchronisation à la demande.

[0074] L'unité de communication est particulièrement importante suite à une coupure de l'alimentation électrique de la base de temps interne. Ainsi, l'unité de commande est agencée de manière à n'effectuer aucun cycle de correction si le temps réel de référence n'a pas été synchronisé sur un système extérieur fournissant l'heure réelle exacte et entretenu par le circuit d'horloge interne de manière ininterrompue depuis une dernière phase de synchronisation. Dans une variante préférée, dès que la base de temps est désactivée pour une raison ou une autre, cette information est enregistrée dans une mémoire permanente (mémoire non volatile) qui comprend au moins un bit d'état ('ON'/'OFF') pour la base de temps interne. Lors d'une nouvelle activation ultérieure de la base de temps, le bit d'état conserve sa valeur 'OFF' jusqu'à ce que le dispositif de correction synchronise la base de temps sur le temps réel exact d'un système extérieur, comme exposé. Avant d'effectuer un cycle de correction, en particulier avant d'effectuer une phase de détection, l'unité de commande interroge le bit d'état pour connaître sa valeur, et n'effectue aucune phase de détection tant que cette valeur est 'OFF'. Seulement lorsque la valeur du bit d'état est 'ON', le dispositif de correction débute alors un nouveau cycle de correction par une phase de détection. Si un cycle est interrompu et qu'il est prévu de le poursuivre, en particulier suite à une interruption possible d'un cycle de correction entre la phase de traitement et la phase de correction, l'unité de commande peut continuer ultérieurement un tel cycle de correction pour autant que la phase de détection antérieure ait été terminée correctement et que le temps réel de référence n'est plus utile à la poursuite du cycle de correction.

[0075] Dans un mode de réalisation avantageux, la pièce d'horlogerie comprend un organe de commande externe pour la synchronisation du temps réel de référence sur le temps réel exact, cet organe de commande externe étant actionnable par un utilisateur de la pièce d'horlogerie. L'organe de commande externe et le dispositif de correction sont agencés de sorte à permettre à un utilisateur d'activer le dispositif de correction pour que ce dispositif de correction effectue une synchronisation du temps réel de référence sur le temps réel exact au cours d'une phase de synchronisation. Dans une variante particulière, l'organe de commande externe est formé par une couronne associée à une tige de commande qui servent également à une mise à l'heure de l'affichage de manière manuelle.

[0076] Un autre problème doit être examiné en relation avec une montre ayant un mouvement mécanique. Comme déjà exposé, une telle montre comprend classiquement un dispositif de mise à l'heure manuel via une tige-couronne. Ainsi, il faut éviter qu'un cycle de correction par le dispositif de correction selon l'invention ne soit perturbé par une mise à l'heure manuelle (à l'exception d'une commande manuelle prévue pour faire sauter l'aiguille des heures par saut d'une heure, commande manuelle qui est d'ailleurs avantageuse pour la pièce d'horlogerie selon l'invention, en particulier pour le mode de réalisation principal décrit précédemment). On peut prévoir un mécanisme pour bloquer l'organe de commande externe (la tige-couronne) pour qu'il ne puisse pas modifier la position de l'aiguille des minutes et/ou arrêter l'aiguille des secondes au cours d'un cycle de correction. Ceci demande normalement un actuateur électromécanique, ce qui rend plus complexe la pièce d'horlogerie. Une alternative est d'agencer une détection des déplacements de la tige-couronne, en particulier de détecter si cet organe de commande est déplacé dans une position correspondant à la mise à l'heure avec possibilité de modifier la position de l'aiguille des minutes et/ou de l'aiguille des secondes. Dès qu'une telle détection intervient, l'unité de commande met fin au cycle de correction en cours. Par ailleurs, avant de lancer un cycle de correction, le dispositif de correction détecte si l'organe de commande est dans la position de correction manuelle susmentionnée et l'unité de commande ne débute pas de cycle de correction si tel est le cas et tant que cette situation perdure. Le dispositif pour détecter si la tige se trouve dans la position de mise à l'heure peut être aisément agencé le long de la tige de commande ou du mécanisme de mise à l'heure associé à cette tige. On optera avantageusement pour une détection capacitive ou magnétique (en plaçant un petit aimant sur la tige ou sur le mécanisme associé). Dans une variante avantageuse, chaque fois que le dispositif de correction détecte que l'organe de commande externe a été déplacé dans sa position de mise à l'heure, il effectue rapidement un cycle de correction dès que cet organe est ensuite replacé dans une autre position (notamment la position de remontage pour une tige-couronne).

[0077] A la **Figure 7** est représenté le dispositif de correction de la pièce d'horlogerie selon une variante avantageuse du premier mode de réalisation.

[0078] La pièce d'horlogerie comprend un récupérateur d'énergie 54 qui peut être formé par divers types de dispositifs connus de la personne du métier, notamment un récupérateur d'énergie magnétique, lumineuse ou calorifique, ainsi

qu'un accumulateur d'électricité 56. Dans une variante, le récupérateur d'énergie magnétique est agencé pour recevoir de l'énergie d'une source magnétique externe permettant de recharger l'accumulateur d'électricité 56 sans contact électrique. Dans une autre variante, le récupérateur d'énergie est formé par un système aimant-bobine permettant de récupérer un peu d'énergie de l'oscillation du résonateur mécanique de la pièce d'horlogerie et donc du barillet entretenant cette oscillation. Dans cette dernière variante, on agence au moins un aimant sur l'élément oscillant du résonateur ou sur le support du résonateur et au moins une bobine respectivement sur ledit support ou sur ledit élément oscillant, de manière que la majeure partie du flux magnétique engendré par l'aimant traverse la bobine lorsque le résonateur oscille dans sa plage de fonctionnement utile. De préférence, le couplage aimant-bobine est prévu autour de la position neutre (position de repos) du résonateur. Dans une autre variante, dans laquelle le mouvement mécanique est un mouvement automatique, la masse oscillante est utilisée pour entraîner une micro-génératrice produisant un courant électrique qui est stocké dans l'accumulateur. A noter que le récupérateur d'énergie peut aussi être hybride, c'est-à-dire formé de plusieurs unités différentes, notamment du type sans fil / sans contact, qui sont prévues pour récupérer diverses énergies de diverses sources d'énergie et transformer ces diverses énergies en énergie électrique.

[0079] L'unité de commande 48A commande un dispositif 22 de freinage du résonateur mécanique 14, notamment un actionneur électromécanique du type piézoélectrique représenté schématiquement à la Figure 1. On notera que d'autres types d'actionneurs permettant d'appliquer momentanément une force de freinage au résonateur mécanique peuvent être prévus. A titre optionnel, l'unité de commande comprend un circuit 68 de détection du niveau d'énergie électrique disponible, ce circuit de détection fournissant un signal S_{NE} à un circuit logique de commande 60 pour lui donner une information relative au niveau d'énergie électrique à disposition, de sorte que ce circuit logique puisse savoir si le module de correction dispose de suffisamment d'énergie avant de lancer une opération de correction de l'heure affichée. Si ce n'est pas le cas, les diverses options suivantes sont possibles :

1) La pièce d'horlogerie dispose d'un émetteur permettant d'indiquer directement à l'utilisateur que l'accumulateur doit être rechargé pour permettre d'effectuer une correction complète de l'heure affichée, par exemple via un signal optique (LED) ou acoustique engendré par l'émetteur. La pièce d'horlogerie n'effectue aucune correction tant que le niveau d'énergie électrique n'est pas suffisant pour une correction complète.

2) La pièce d'horlogerie dispose d'un émetteur, notamment une unité de communication BLE, permettant d'indiquer à un téléphone portable ou autre dispositif électronique extérieure que l'accumulateur doit être rechargé pour permettre d'effectuer une correction complète de l'heure affichée, le téléphone portable comprenant une application pour indiquer à l'utilisateur cette information sur son affichage électronique. La pièce d'horlogerie n'effectue aucune correction tant que le niveau d'énergie électrique n'est pas suffisant pour une correction complète. Le téléphone portable peut en outre être utilisé pour recharger l'accumulateur d'électricité 56, de préférence sans contact, via le récupérateur d'énergie 54 ou via un autre dispositif de récupération d'énergie propre à un transfert d'énergie par un téléphone portable, par exemple par induction magnétique.

3) La pièce d'horlogerie effectue seulement une correction partielle de l'heure affichée en utilisant l'énergie disponible dans l'accumulateur 56. Selon deux variantes, elle ne transmet aucune information à l'utilisateur ou elle informe l'utilisateur de cette situation via l'émetteur mentionné dans l'une ou l'autre des deux options précédentes.

4) La pièce d'horlogerie ne transmet aucune information et n'effectue aucune correction tant que le niveau d'énergie électrique n'est pas suffisant pour une correction complète.

[0080] En l'absence d'une gestion de l'énergie électrique telle qu'indiquée ci-avant, la pièce d'horlogerie peut commencer une opération de correction requise si la tension électrique à disposition est suffisante et effectuer cette opération de correction tant que la tension électrique fournie par le circuit d'alimentation 58 est suffisante. Dans une variante avantageuse, il est prévu de mettre le dispositif de correction dans un mode de veille lorsqu'aucune opération de correction de l'heure affichée n'est prévue, de manière à économiser l'énergie électrique disponible dans l'accumulateur 56. Diverses parties du module de correction peuvent être activées, selon les besoins, seulement durant des périodes différentes.

[0081] L'unité de commande 48A de la pièce d'horlogerie 2 comprend un circuit logique de commande 60 relié à la base de temps 42 et à l'unité de traitement 46 qui lui fournit, comme signal de correction $Scor$, la valeur de l'erreur temporelle globale T_{Err} déterminée au cours de la phase de traitement précédente. Le circuit logique de commande est agencé pour effectuer diverses opérations logiques au cours de chaque cycle de correction. De plus, l'unité de commande 48A comprend un dispositif générateur 62 d'un signal digital périodique ayant une fréquence F_{SUP} donnée (le dispositif générateur 62 est aussi nommé 'générateur de fréquence' ou simplement 'générateur' à la fréquence F_{SUP}). Selon que l'erreur temporelle globale T_{Err} à corriger correspond à un retard (T_{Err} négatif) ou à une avance (T_{Err} positif) dans l'affichage de l'heure réelle, le circuit logique de commande 60 génère respectivement soit deux signaux de commande

$S1_R$ et $S2_R$, qu'il fournit respectivement au générateur de fréquence 62 et à un compteur temporel 63 ('timer'), soit un signal de commande S_A qu'il fournit à un compteur temporel 70. Les compteurs temporels 63 et 70 sont programmables et servent à mesurer une période de correction prévue, respectivement une période PR_{Cor} pour la correction d'un retard et une période PA_{Cor} pour la correction d'une avance. Par définition, une avance correspond à une erreur positive et un retard correspond à une erreur négative.

[0082] On exposera ci-après premièrement l'agencement de l'unité de commande 48A pour corriger un retard détecté dans l'affichage de l'heure au cours d'une phase de correction suivant les phases de détection et de traitement décrites précédemment, et par la suite l'agencement de cette unité pour corriger une avance au cours d'une phase de correction.

[0083] Dans le cas d'une erreur temporelle globale négative correspondant à un retard, il est prévu, selon un premier mode de correction d'un retard, de générer une série d'impulsions de freinage périodiques à une fréquence F_{SUP} , ces impulsions de freinage périodiques étant appliquées par le dispositif de freinage 22, en particulier par l'actionneur 22A au résonateur oscillant. Pour ce faire, le circuit logique de commande 60 active le générateur de fréquence 62 via le signal $S1_R$ et le compteur temporel 63 qui compte ou décompte un intervalle de temps correspondant à une période de correction PR_{Cor} dont la durée (la valeur) est déterminée par le circuit logique (par définition, l'expression 'compteur temporel' englobe un compteur temporel à un intervalle de temps donné et aussi un décompteur temporel à zéro depuis cet intervalle de temps donné qui est introduit initialement dans ce décompteur temporel).

[0084] Dans la variante représentée, lorsque le générateur de fréquence est activé, il fournit un signal digital périodique S_{FS} , à la fréquence F_{SUP} , à un autre compteur temporel 64 (timer à une valeur Tp correspondant à une durée sélectionnée pour les impulsions de freinage périodiques). Les sorties des timers 63 et 64 sont fournies à une porte logique 'ET' ('AND') 65 qui fournit en sortie un signal d'activation périodique S_{C1} pour activer périodiquement le dispositif de freinage 22, durant la période de correction PR_{Cor} prévue, via une porte logique 'OU' ('OR') 66 ou tout autre circuit de commutation permettant de transmettre le signal d'activation périodique S_{C1} au dispositif de freinage. Le signal d'activation périodique S_{C1} forme le signal de commande S_{Cmd} dans le cas d'une correction d'un retard détecté dans l'heure affichée par la pièce d'horlogerie. Ainsi, le dispositif de freinage applique des impulsions de freinage périodiques au résonateur mécanique à la fréquence F_{SUP} durant une période de correction PR_{Cor} dont la durée (valeur) dépend du retard à corriger. De manière générale, les impulsions de freinage ont un caractère dissipatif car une partie de l'énergie du résonateur oscillant est dissipée lors de ces impulsions de freinage. Dans un mode de réalisation principal, le couple de freinage mécanique est appliqué substantiellement par frottement, en particulier au moyen d'un organe de freinage mécanique exerçant une certaine pression sur une surface de freinage du résonateur, de préférence une surface de freinage circulaire, comme exposé précédemment lors de la description de la pièce d'horlogerie 2 en référence à la Figure 1.

[0085] De préférence, comme pour la variante représentée à la Figure 1, le système formé du résonateur mécanique et du dispositif de freinage de ce résonateur est configuré de manière à permettre au dispositif de freinage de débiter, dans la plage de fonctionnement utile du résonateur oscillant, une impulsion de freinage mécanique sensiblement à tout instant de la période d'oscillation naturelle du résonateur oscillant. En d'autres termes, une des impulsions de freinage périodiques peut débiter sensiblement à n'importe quelle position angulaire du résonateur oscillant, en particulier la première impulsion de freinage intervenant au cours d'une période de correction.

[0086] Selon l'enseignement donné par le document WO 2018/177779 déjà cité précédemment, il est possible de réguler précisément la fréquence moyenne d'un résonateur oscillant en lui appliquant de manière continue des impulsions de freinage périodiques à une fréquence de freinage F_{FR} correspondant avantageusement au double de la fréquence de consigne $F0_C$ divisée par un nombre entier positif N , soit $F_{FR} = 2 \cdot F0_C / N$. La fréquence de freinage F_{FR} est proportionnelle à la fréquence de consigne $F0_C$ pour le résonateur mécanique et dépend seulement de cette fréquence de consigne dès que le nombre entier positif N est donné. On apprend du document WO 2018/177779 que, après une phase transitoire intervenant au début de l'activation du dispositif de freinage appliquant les impulsions de freinage périodiques à la fréquence de freinage F_{FR} , une phase synchrone s'établit durant laquelle l'oscillation du résonateur mécanique est synchronisée, en moyenne, sur la fréquence de consigne $F0_C$, pour autant que le couple de freinage appliqué par les impulsions de freinage et la durée de ces impulsions de freinage soient sélectionnés de sorte que les impulsions de freinage interviennent, au cours de la phase synchrone, lors du passage du résonateur mécanique par des positions extrêmes de son oscillation, c'est-à-dire que l'inversion du sens du mouvement d'oscillation intervienne au cours de chaque impulsion de freinage ou à la fin de chaque impulsion de freinage. Cette dernière situation intervient dans le cas avantageux, notamment plus sûr, où le résonateur mécanique est stoppé par chaque impulsion de freinage et reste ensuite bloqué par le dispositif de freinage jusqu'à la fin de cette impulsion de freinage.

[0087] Bien que peu intéressant, le document WO 2018/177779 indique qu'une synchronisation peut aussi être obtenue pour une fréquence de freinage F_{FR} dont la valeur est supérieure au double de la fréquence de consigne ($2F0$), en particulier pour une valeur égale à $M \cdot F0$ avec M étant un nombre entier supérieur à deux ($M > 2$). Dans une variante avec $F_{FR} = 4 \cdot F0$, on a juste une perte d'énergie dans le système sans effet durant la phase synchrone, car une impulsion sur deux intervient au point neutre du résonateur ; ce qui est désavantageux. Pour une fréquence de freinage F_{FR} plus élevée, les impulsions dans la phase synchrone qui n'interviennent pas aux positions extrêmes annulent leurs effets deux à deux. On comprend donc qu'il s'agit de cas théoriques sans grand intérêt pratique. On notera que d'autres

fréquences de freinage peuvent conduire à une synchronisation du résonateur sur la fréquence de consigne, mais les conditions pour la mise en œuvre du procédé de régulation sont bien plus délicates et difficiles à mettre en œuvre.

[0088] Dans le cadre du développement qui a conduit à la présente invention, on a mis en lumière le fait que le phénomène remarquable mis en lumière dans le document WO 2018/177779 peut être utilisé non seulement pour synchroniser continuellement un résonateur sur sa fréquence de consigne, mais également pour faire varier de manière déterminée la fréquence d'oscillation d'un résonateur dans deux plages de fréquence situées respectivement en-dessous et en-dessus de sa fréquence de consigne ; c'est-à-dire qu'il est possible d'imposer une fréquence moyenne déterminée à un résonateur mécanique qui est différente de sa fréquence de consigne, supérieure ou inférieure, en appliquant des impulsions de freinage périodiques qui puissent synchroniser ce résonateur sur une fréquence différente de la fréquence de consigne mais suffisamment proche de cette dernière pour permettre l'établissement d'une phase synchrone entre le résonateur oscillant et le dispositif de freinage générant les impulsions de freinage à une fréquence sélectionnée à cet effet, tout en maintenant le résonateur oscillant dans un régime fonctionnel pour cadencer la marche de la pièce d'horlogerie. La présente invention propose d'utiliser cette découverte remarquable pour effectuer une correction de l'heure affichée par une pièce d'horlogerie en variant la marche du mouvement mécanique horloger considéré, c'est-à-dire en variant la fréquence du résonateur qui cadence la marche du mécanisme d'entraînement de l'affichage de la pièce d'horlogerie en question durant une période de correction donnée.

[0089] En particulier, dans le premier mode de réalisation de l'unité électronique de commande décrit ici, il est prévu de corriger un retard détecté dans l'heure affichée selon un premier mode de correction d'un retard dans lequel on synchronise, durant une période de correction PR_{Cor} , le résonateur oscillant sur une fréquence de correction FS_{Cor} qui est supérieure à la fréquence de consigne F_{0c} . Il a été démontré dans le cadre du développement ayant conduit à la présente invention que, de manière similaire au cas d'une synchronisation sur la fréquence de consigne, les meilleurs résultats sont obtenus, pour une fréquence de correction supérieure ou inférieure à la fréquence de consigne, lorsque la fréquence de freinage F_{Bra} est sélectionnée, pour une fréquence de correction F_{Cor} donnée, de manière à satisfaire la relation mathématique suivante :

$$F_{Bra} = 2 \cdot F_{Cor} / N ,$$

où N est un nombre entier positif.

[0090] Ainsi, les impulsions de freinage périodiques sont appliquées au résonateur mécanique à une fréquence de freinage F_{Bra} correspondant avantageusement au double de la fréquence de correction F_{Cor} divisée par un nombre entier positif N, de préférence peu élevé. Cette relation est valable pour une fréquence de correction $F_{Cor} = FS_{Cor}$ qui est supérieure à la fréquence de consigne et également pour une fréquence de correction $F_{Cor} = FI_{Cor}$ qui est inférieure à la fréquence de consigne (premier mode de correction d'une avance qui interviendra par la suite dans un autre mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention). La fréquence de freinage F_{Bra} est donc proportionnelle à la fréquence de correction prévue F_{Cor} et dépend seulement de cette fréquence de correction dès que le nombre entier positif N est sélectionné. Par 'synchronisation sur une fréquence donnée' on comprend une synchronisation en moyenne sur cette fréquence donnée. Cette définition est importante pour un nombre N supérieur à deux. Par exemple, dans le cas $N = 6$, on a seulement une période d'oscillation sur trois qui subit une variation de sa durée, relativement à la période de consigne $T_{0c} = 1/F_{0c}$ (de fait relativement à la période d'oscillation naturelle / libre $T_0 = 1/F_0$), via un déphasage temporel engendré par chaque impulsion de freinage dans l'oscillation du résonateur.

[0091] On notera que, comme dans le cas d'une synchronisation sur la fréquence de consigne, d'autres fréquences de freinage peuvent permettre d'obtenir, sous certaines conditions, une synchronisation sur une fréquence de correction souhaitée, mais la sélection d'une fréquence de freinage $F_{Bra} = 2 \cdot F_{Cor} / N$ permet d'obtenir une synchronisation sur la fréquence F_{Cor} de manière plus efficace et avec plus de stabilité. De manière générale, la relation mathématique entre la fréquence de freinage et la fréquence de correction est $F_{Bra} = (p/q) \cdot F_{Cor}$ avec p et q deux nombres entiers positifs et le nombre q avantageusement supérieur au nombre p. La personne du métier peut expérimentalement établir une liste des nombres fractionnaires p/q qui sont appropriés et sous quelles conditions (notamment pour quel couple de freinage).

[0092] On remarquera que les impulsions de freinage peuvent être appliquées avec un couple de force constant ou un couple de force non constant (par exemple sensiblement en courbe de Gauss ou sinusoïdal). Par 'impulsion de freinage' on comprend l'application momentanée d'un couple de force au résonateur qui freine son organe oscillant (balancier), c'est-à-dire qui s'oppose au mouvement d'oscillation de cet organe oscillant. Dans le cas d'un couple variable, la durée de l'impulsion est définie généralement comme la partie de cette impulsion qui présente un couple de force significatif pour freiner le résonateur, en particulier la partie pour laquelle le couple de force est supérieur à la moitié de la valeur maximale. On notera qu'une impulsion de freinage peut présenter une forte variation. Elle peut même être hachée et former une succession d'impulsions plus courtes. De manière générale, la durée de chaque impulsion de freinage est prévue inférieure à la moitié d'une période de consigne T_{0c} pour le résonateur, mais elle est avantageusement inférieure à un quart d'une période de consigne et de préférence inférieure à $T_{0c}/8$.

[0093] Aux **Figures 8 et 9** sont représentées, pour un résonateur mécanique ayant une fréquence de consigne $F_{0c} = 4$ Hz et présentant une oscillation 72, respectivement une première série d'impulsions de freinage périodiques 74 appliquées au résonateur à une fréquence $F_{INF} = 2 \cdot F_{ICor}$ avec $F_{ICor} = 0.99975 \cdot F_{0c} = 3.999$ Hz, pour le cas d'une fréquence naturelle $F_0 = 4.0005$ Hz, et une deuxième série d'impulsions de freinage périodiques 76 appliquées au résonateur à une fréquence $F_{SUP} = 2 \cdot F_{SCor}$ avec $F_{SCor} = 1.00025 \cdot F_{0c} = 4.001$ Hz, pour le cas d'une fréquence naturelle $F_0 = 3.9995$ Hz. Les graphes inférieurs aux Figures 8, 9 montrent l'évolution de la fréquence d'oscillation du résonateur au cours d'une période de correction, laquelle est définie comme la période au cours de laquelle on applique au résonateur les impulsions de freinage à la fréquence F_{INF} ou F_{SUP} . La courbe 78 montre l'évolution de la fréquence d'oscillation du résonateur mécanique lors de l'application de la première série d'impulsions de freinage périodiques 74 pour une correction d'une avance détectée dans l'heure affichée, la fréquence de freinage F_{INF} conduisant à une fréquence de correction F_{ICor} , donnée par la fréquence de synchronisation, qui est inférieure à la fréquence de consigne F_{0c} (premier mode de correction d'une avance). La courbe 80 montre l'évolution de la fréquence d'oscillation du résonateur mécanique lors de l'application de la deuxième série d'impulsions de freinage périodiques 76 pour une correction d'un retard détecté dans l'heure affichée, la fréquence de freinage F_{SUP} conduisant à une fréquence de correction F_{SCor} , donnée par la fréquence de synchronisation, qui est supérieure à la fréquence de consigne (premier mode de correction d'un retard).

[0094] La très courte période de correction aux Figures 8 et 9 a été prise pour pouvoir montrer une période de correction complète tout en ayant une représentation de l'oscillation du résonateur et des impulsions de freinage périodiques qui soit bien visible sur le graphe donnant la position angulaire du résonateur en fonction du temps. En effet, en quelques secondes, la correction possible est relativement petite, en pratique inférieure à une seconde. Pour les fréquences de correction choisies aux Figures 8 et 9, la correction est donc très petite. Ainsi, si les fréquences naturelles (fréquences propres / libres) du résonateur oscillant sont ici dans la norme pour une montre mécanique, puisqu'elles correspondent à une erreur journalière d'environ 10 secondes par jour (avance, respectivement retard), les fréquences de correction sont données purement à titre d'exemples et sont bien plus proches de la fréquence de consigne que les fréquences de correction qui sont généralement prévues pour la mise en œuvre du premier mode de correction d'une avance ou d'un retard. En conclusion, les Figures 8 et 9 sont données seulement schématiquement pour exposer de manière générale le comportement du résonateur oscillant lorsqu'il est soumis à une série d'impulsions de freinage périodiques à une fréquence de correction proche de la fréquence de consigne, mais différente de celle-ci, et dans le cas d'une fréquence naturelle conduisant à une dérive temporelle classique. Des considérations plus détaillées et précises relativement aux fréquences de correction possibles seront exposées par la suite.

[0095] Dans les deux graphes montrant les courbes de fréquence 78 et 80, on observe au début de la période de correction une phase transitoire PH_{Tr} au cours de laquelle la fréquence varie avant de se stabiliser à la fréquence F_{ICor} , respectivement F_{SCor} au cours d'une phase synchrone PH_{syn} qui suit la phase transitoire. Dans les deux cas représentés, la phase transitoire PH_{Tr} est relativement courte (inférieure à 2 secondes) et l'évolution de la fréquence s'opère dans la direction de la fréquence de correction voulue. Dans les deux cas représentés, la correction moyenne par unité de temps durant la phase transitoire est approximativement égale à celle qui intervient durant la phase synchrone. Cependant, on notera que la phase transitoire peut être plus longue, par exemple de 3 à 10 secondes, et l'évolution de la fréquence au cours de la phase transitoire varie de cas en cas de sorte que la correction moyenne est variable et non déterminée, mais elle reste pratiquement faible. On peut se référer aux figures 9 à 11 du document WO 2018/177779 où les phases transitoires pour synchroniser le résonateur sur la fréquence de consigne F_{0c} , depuis une fréquence naturelle proche mais différente, sont plus longues. On remarquera qu'à la figure 10 de ce document, alors que la fréquence de consigne est supérieure à la fréquence naturelle du résonateur, la fréquence d'oscillation commence par diminuer au début de la phase transitoire avant d'augmenter pour finalement dépasser la fréquence naturelle et se stabiliser à la fréquence de consigne.

[0096] La durée de la phase transitoire et l'évolution de la fréquence au cours de cette phase transitoire dépendent de divers facteurs, en particulier du couple de freinage, de la durée des impulsions, de l'amplitude initiale de l'oscillation, et de l'instant auquel intervient la première impulsion de freinage dans une période d'oscillation. Il est donc difficile de contrôler l'écart temporel résultant d'une phase transitoire relativement à la fréquence de consigne. A titre d'exemple, si $F_{Cor} = 1,05 \cdot F_{0c} = 4,2$ Hz et que la phase de transition dure au maximum 10 secondes, et si on assume que la fréquence moyenne au cours de cette phase de transition est égale à F_{0c} , alors l'écart temporel absolu par rapport à F_{Cor} vaut au maximum une demi-seconde. Cette incertitude engendre donc une petite erreur dans la correction engendrée lors d'une période de correction, mais elle n'est pas négligeable. On verra par la suite une solution pour éviter une telle erreur. Dans le premier mode de réalisation de l'unité électronique de commande, on a donc une petite erreur possible dans la correction obtenue si on détermine (la durée de) la période de correction PR_{Cor} seulement sur la base de l'erreur temporelle globale T_{Err} à corriger, en définissant cette période de correction comme étant la période au cours de laquelle on applique au résonateur une série d'impulsions de freinage périodiques à la fréquence de freinage prévue, et en prenant comme hypothèse que la fréquence d'oscillation au cours de la période de correction est celle de la fréquence de synchronisation.

[0097] La fréquence de synchronisation détermine la fréquence de correction. Par définition, la fréquence de correction

F_{Cor} est égale à la fréquence de synchronisation. On remarquera que, dans la phase synchrone de la période de correction, il faut que la durée des impulsions de freinage soit suffisante pour que le couple de freinage appliqué au résonateur permette son arrêt (passage par une position angulaire extrême, définissant son amplitude instantanée) au cours ou à la fin de chaque impulsion de freinage. Dans le cas d'une fréquence de synchronisation supérieure à la fréquence de consigne pour corriger un retard, l'intervalle de temps durant lequel le résonateur reste arrêté au cours d'une impulsion de freinage diminue la correction possible par unité de temps, de sorte qu'il est préférable de limiter cet intervalle de temps, en tenant compte d'une certaine marge de sécurité, pour avoir une période de correction plus courte grâce à une fréquence de synchronisation plus élevée. A noter que la fréquence des impulsions de freinage, l'énergie d'entretien fournie au résonateur à chaque alternance de son oscillation et la valeur du couple de freinage interviennent dans l'intervalle de temps nécessaire pour arrêter le résonateur oscillant. Pour une fréquence de freinage donnée et la fréquence de correction résultant, la personne du métier saura déterminer, notamment de manière expérimentale ou par simulations, un couple de freinage et une durée pour les impulsions de freinage de manière à optimiser le système de freinage. Pour des fréquences de consigne entre 2 Hz et 10 Hz, des couples de freinage compris entre 0,5 μ Nm et 50 μ Nm et des durées d'impulsions de freinage comprises entre 2 ms et 10 ms s'avèrent généralement appropriés pour les fréquences de correction qu'il est pratiquement avantageux d'utiliser (ces plages de valeurs étant données à titre d'exemples nullement limitatifs).

[0098] En partant de l'hypothèse mentionnée précédemment, à savoir que la fréquence de synchronisation intervient sur la totalité de la période de correction PR_{cor} , on peut déterminer la valeur de la période de correction à prévoir sur la base de l'erreur temporelle globale T_{Err} à corriger, de la fréquence de consigne F_{0c} et de la fréquence de correction F_{Cor} ; et comme la fréquence de synchronisation détermine la fréquence de correction qui lui est égale, on peut aussi déterminer la valeur de la période de correction à prévoir sur la base de l'erreur temporelle globale T_{Err} à corriger, de la fréquence de consigne F_{0c} et de la fréquence de freinage F_{Bra} . Par définition, comme déjà indiqué, une avance dans l'affichage de l'heure correspond à une erreur positive alors qu'un retard correspond à une erreur négative. On obtient les relations mathématiques suivantes pour déterminer la valeur / la valeur de la période de correction :

$$P_{Cor} = T_{Err} \cdot F_{0c} / (F_{0c} - F_{Cor}) = 2T_{Err} \cdot F_{0c} / (2F_{0c} - N \cdot F_{Bra})$$

[0099] Dans le premier mode de correction d'un retard (erreur négative), la fréquence de correction $F_{Cor} = F_{Scor}$ est supérieure à F_{0c} , de sorte que P_{Cor} est bien positif. Dans ce cas la fréquence de freinage $F_{Bra} = F_{SUP}$. On a alors la relation :

$$PR_{Cor} = T_{Err} \cdot F_{0c} / (F_{0c} - F_{Scor}) = 2T_{Err} \cdot F_{0c} / (2F_{0c} - N \cdot F_{SUP})$$

[0100] Dans le premier mode de correction d'une avance (erreur positive), la fréquence de correction $F_{Cor} = F_{Icor}$ est inférieure à F_{0c} , de sorte que P_{Cor} est bien positif. Dans ce cas la fréquence de freinage $F_{Bra} = F_{INF}$. On a alors la relation :

$$PA_{Cor} = T_{Err} \cdot F_{0c} / (F_{0c} - F_{Icor}) = 2T_{Err} \cdot F_{0c} / (2F_{0c} - N \cdot F_{INF})$$

[0101] Suite à l'exposé général relatif à une correction de la marche d'une pièce d'horlogerie mécanique obtenue par une série d'impulsions de freinage périodiques appliquées à son résonateur, on peut revenir au premier mode de réalisation de la pièce d'horlogerie selon l'invention. L'unité de commande 48A (Figure 7) est agencée pour fournir au dispositif de freinage, chaque fois que l'erreur temporelle globale T_{Err} correspond à un retard dans l'heure affichée qu'il est prévu de corriger, un signal de commande S_{C1} dérivé du signal digital périodique S_{FS} fourni par le générateur de fréquence 62, durant une période de correction PR_{cor} , pour activer le dispositif de freinage 22 de manière que ce dispositif de freinage génère une série d'impulsions de freinage périodiques qui sont appliquées au résonateur à la fréquence F_{SUP} . Comme (la durée de) la période de correction est déterminée par le retard à corriger, le nombre d'impulsions de freinage périodiques dans la série d'impulsions de freinage périodiques est donc aussi déterminé par le retard à corriger. La fréquence F_{SUP} est prévue et le dispositif de freinage est agencé de manière que chaque série d'impulsions de freinage périodiques à la fréquence F_{SUP} puisse engendrer, au cours de la période de correction correspondante, une première phase synchrone dans laquelle l'oscillation du résonateur est synchronisée (par définition 'synchronisée en moyenne') sur une fréquence de correction F_{Scor} qui est supérieure à la fréquence de consigne F_{0c} prévue pour le résonateur mécanique.

[0102] En référence aux **Figures 10 à 13B**, on exposera ci-après quelques observations relatives aux impulsions de freinage, en particulier concernant les fréquences de freinage F_{Bra} et les fréquences de correction F_{cor} correspondantes qui sont avantageusement envisagées dans une variante préférée du premier mode de correction d'un retard, et aussi

dans une variante préférée d'un premier mode de correction d'une avance (qui sera implémentée dans un mode de réalisation décrit par la suite) dans lequel il est prévu de corriger une avance détectée dans l'heure affichée par une série d'impulsions de freinage à une fréquence F_{INF} , déjà définie précédemment, résultant en une fréquence de correction F_{Cor} , aussi définie précédemment, qui est inférieure à la fréquence de consigne F_{0c} .

[0103] La Figure 10 montre une première partie d'une période de correction avec un rapport relativement élevé entre la fréquence de correction $F_{Scor} = 3,5$ Hz et la fréquence de consigne $F_{0c} = 3,0$ Hz (sensiblement égale à la fréquence naturelle du résonateur lorsqu'il oscille librement, représenté par l'oscillation 82), à savoir un rapport $RS = F_{Scor} / F_{0c} = 3,5 / 3,0 = 1,167$. Lorsqu'on applique au résonateur mécanique des impulsions de freinage 84 avec une fréquence de freinage $F_{Bra} = F_{SUP} = 2 \cdot F_{Scor} = 7,0$ Hz (cas $N = 1$) et un couple de force de freinage suffisant, permettant dans la phase transitoire PH_{Tr} de diminuer suffisamment l'amplitude de l'oscillation 86 du résonateur oscillant pour finalement l'arrêter au cours de chaque impulsion de freinage, on peut imposer à ce résonateur relativement rapidement la fréquence de correction correspondante, soit $F_{Scor} = 3,5$ Hz. On remarquera que déjà après une seconde on obtient dans l'exemple donné la synchronisation voulue, mais une phase PH_{St} de stabilisation de l'oscillation intervient au début de la phase synchrone PH_{Syn} . Dans le cas représenté, l'amplitude augmente à nouveau au cours de la phase de stabilisation pour finalement se stabiliser à une amplitude correspondant environ au tiers de l'amplitude initiale du résonateur libre.

[0104] Un démonstrateur (un prototype de la pièce d'horlogerie selon l'invention) a été réalisé pour le cas présenté à la Figure 10. En appliquant des impulsions de freinage périodiques à la fréquence $F_{SUP} = 7,0$ Hz au résonateur mécanique, on a obtenu une avance de 7 heures sur l'affichage de la pièce d'horlogerie pour une période de correction de 6 heures, et ceci de manière très précise. On a ainsi 'gagné' précisément 1 heure en 6 heures de temps. Un tel résultat ouvre des perspectives pour des corrections de l'heure indiquée par l'affichage qui sont autres que des corrections d'une dérive temporelle de cet affichage dû à la seule imprécision du résonateur fonctionnant librement (c'est-à-dire en l'absence d'impulsions de freinage).

[0105] La Figure 11 montre l'oscillation libre 82A d'un résonateur mécanique, une première oscillation 86A de ce résonateur dans une phase synchrone d'une période de correction où le rapport RS entre la fréquence de correction F_{Scor} et la fréquence de consigne F_{0c} est relativement peu élevé (c'est-à-dire relativement proche de '1'), et une deuxième oscillation 86B de ce résonateur dans une phase synchrone d'une période de correction où le rapport RS entre la fréquence de correction F_{Scor} et la fréquence de consigne F_{0c} est relativement élevé (c'est-à-dire relativement éloigné de '1'). La première oscillation 86A résulte d'une série d'impulsions de freinage périodiques 84A de relativement faible intensité et intervenant une fois par période d'oscillation (ce qui correspond au cas $N = 2$ avec $F_{SUP} = F_{Scor}$). Par contre, la deuxième oscillation 86B résulte d'une série d'impulsions de freinage périodiques 84B de relativement forte intensité et intervenant une fois par alternance de l'oscillation (ce qui correspond au cas $N = 1$, soit $F_{SUP} = 2 \cdot F_{Scor}$).

[0106] En sélectionnant de manière appropriée le couple de freinage et la fréquence de freinage, on observe que la fréquence de correction peut varier continuellement entre la fréquence de consigne F_{0c} et une certaine fréquence supérieure $F_{Scor_{max}}$, pour la correction d'un retard dans l'heure affichée, et continuellement entre la fréquence de consigne F_{0c} et une certaine fréquence inférieure $F_{Scor_{min}}$, pour la correction d'une avance dans l'heure affichée. La fréquence supérieure $F_{Scor_{max}}$ et la fréquence inférieure $F_{Scor_{min}}$ ne sont pas des valeurs que l'on peut aisément calculer théoriquement. Il faut pour chaque pièce d'horlogerie les déterminer pratiquement. On remarquera que bien que cette information soit intéressante, elle n'est pas nécessaire. Ce qui est important, c'est que les fréquences de freinage soient sélectionnées et les couples de freinage à disposition soient appropriés pour engendrer au cours de chaque période de correction, de préférence assez rapidement, une phase synchrone au cours de laquelle le résonateur mécanique peut osciller à la fréquence de correction prévue par la relation mathématique donnée précédemment, sans être arrêté dans son oscillation (c'est-à-dire qu'il faut éviter d'arrêter le résonateur de sorte qu'il ne puisse plus repartir de la position d'arrêt, ce qui conduirait à un arrêt du mécanisme d'entraînement de l'affichage).

[0107] Sur la Figure 11 est indiqué un angle de sécurité θ_{Sec} au-dessous duquel, en valeur absolue, on évitera d'arrêter le résonateur mécanique (c'est-à-dire entre $-\theta_{Sec}$ et θ_{Sec}), et donc au-dessus duquel l'amplitude, en valeur absolue, doit pratiquement demeurer durant la phase synchrone, au moins après la phase de stabilisation. De manière avantageuse pour le fonctionnement du résonateur mécanique, l'angle θ_{Sec} est prévu égal ou, de préférence, supérieur à un angle θ_{Z1} (voir Figure 14) qui correspond à l'angle de couplage entre le résonateur et l'échappement qui lui est associé, d'un côté et de l'autre côté de la position neutre du résonateur définie par la position angulaire de la cheville de couplage portée par le plateau du balancier lorsque ce résonateur est à ou passe par sa position de repos. On déclare ainsi 'zone interdite', pour arrêter le résonateur mécanique au cours d'une impulsion de freinage, la zone angulaire de couplage ($-\theta_{Z1}$ à θ_{Z1}) entre le résonateur mécanique et l'échappement (on remarquera qu'il est possible de freiner dans cette zone interdite au cours de la phase transitoire, mais on évitera d'arrêter le résonateur dans cette zone interdite). On notera que, dans la plage de fonctionnement utile du résonateur, il peut être nécessaire, pour conserver un fonctionnement correct de l'échappement et notamment pour assurer la phase de dégagement, que l'angle de sécurité θ_{Sec} soit supérieur à l'angle de couplage θ_{Z1} . La personne du métier saura déterminer une valeur pour l'angle de sécurité θ_{Sec} pour chaque mouvement mécanique associé à un dispositif de correction selon le premier mode de réalisation. L'angle de couplage θ_{Z1} peut varier d'un mouvement mécanique à l'autre, notamment entre 22° et 28° .

[0108] La condition de non blocage du résonateur dans la zone angulaire de sécurité durant la période de correction d'un retard est importante car un comptage de l'écoulement du temps via l'échappement (c'est-à-dire le cadencement de la marche du mécanisme d'entraînement de l'affichage de l'heure) doit continuer durant cette période de correction d'un retard. Ainsi, très avantageusement, ladite fréquence F_{SUP} et la durée des impulsions de freinage périodiques sont sélectionnées de manière que, lors de ladite phase synchrone d'une période de correction dans le cadre du premier mode de correction d'un retard, les impulsions de freinage périodiques interviennent chacune hors d'une zone de couplage entre le résonateur mécanique oscillant et l'échappement, de préférence hors d'une zone de sécurité définie pour le mouvement mécanique. Il en va de même pour la sélection de ladite fréquence F_{INF} et la durée des impulsions de freinage périodiques dans le cadre du premier mode de correction d'une avance.

[0109] Pour orienter la personne du métier dans le choix des fréquences de correction et des fréquences de freinage correspondantes, un modèle mathématique a été établi sur la base de l'équation du mouvement d'un oscillateur mécanique. Pour déterminer une correction maximale, positive ou négative, on considère le résonateur dans une phase synchrone et stable. Ensuite, on introduit une simplification pour la force d'entretien appliquée au résonateur par la source d'énergie via l'échappement, en la considérant du type $\cos(\omega t)$. On notera que cette simplification est prudente par le fait qu'elle diminue la valeur maximale relativement au cas réel où l'entier de l'énergie fournie au résonateur intervient dans la zone interdite θ_{ZI} définie précédemment. Finalement, on considère la durée des impulsions de freinage très petite, de fait ponctuelle, en définissant la fréquence de freinage F_{Bra} comme l'inverse de la valeur temporelle T_{sec} à laquelle le résonateur atteint, dans l'équation du mouvement donnée ci-après, l'angle de sécurité θ_{Sec} dans la demi-alternance correspondant au nombre N sélectionné dans la relation $F_{Cor} = N \cdot F_{Bra} / 2$.

[0110] Pour trouver la correction maximale et donc la période minimale ou maximale selon que l'erreur temporelle à corriger est négative (retard) ou positive (avance), le temps $t=0$ est donné par une impulsion de freinage au cours de laquelle l'oscillateur est arrêté à l'angle de sécurité θ_{Sec} . Ensuite, dans la phase synchrone stable, le résonateur doit s'arrêter à l'impulsion de freinage suivante au plus tôt, respectivement au plus tard également à l'angle de sécurité $(-1^N) \cdot \theta_{Sec}$ dans une plage temporelle donnée par la valeur de N et par le fait que la fréquence de correction est prévue supérieure ou inférieure à la fréquence de consigne F_{0c} pour corriger le retard ou l'avance.

[0111] Dans ce cas, l'équation du mouvement est donnée par :

$$\theta(t) = \left(\theta_0 + (\theta_{Sec} - \theta_0) e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \times \cos(2\pi f_0 t)$$

où $\tau = Q \cdot T_0 / \pi$, T_0 est la période d'oscillation libre (considérée égale à $T_{0c} = 1/F_{0c}$ pour les calculs) et θ_0 est l'amplitude de l'oscillation libre.

[0112] On observe donc que le facteur de qualité Q du résonateur mécanique intervient dans l'équation du mouvement.

[0113] Pour obtenir une fréquence de correction F_{Cor} supérieure à la fréquence de consigne F_{0c} , il faut que T_{sec} intervienne dans une alternance après le passage du résonateur par sa position neutre / de repos. On a donc pour un N donné :

$$\theta(T_{Sec}) = -1^N \theta_{Sec} \quad \text{avec} \quad T_{Sec} \in \left[\frac{(2N-1)}{4} T_0, \frac{N}{2} T_0 \right]$$

[0114] La fréquence maximale de freinage $FSB_{max}(N) = 1/T_{sec}$ et la fréquence de correction maximale $FSC_{max}(N) = N \cdot FSB_{max}/2$.

[0115] Pour obtenir une fréquence de correction F_{Cor} inférieure à la fréquence de consigne F_{0c} , il faut que T_{Sec} intervienne dans une alternance avant le passage du résonateur par sa position neutre / de repos. On a donc pour un N donné :

$$\theta(T_{Sec}) = -1^N \theta_{Sec} \quad \text{avec} \quad T_{Sec} \in \left[\frac{N}{2} T_0, \frac{2N+1}{4} T_0 \right]$$

[0116] La fréquence minimale de freinage $FIB_{min}(N) = 1/T_{Sec}$ et la fréquence de correction minimale $FIC_{min} = N \cdot FIB_{min}/2$.

[0117] Les Figures 12A et 12B représentent respectivement les courbes de $RS_{max}(N=1) = FSC_{max}(N=1) / F_{0c}$ et de $RS_{max}(N=2) = FSC_{max}(N=2) / F_{0c}$ en fonction de l'amplitude θ_0 de l'oscillation libre du résonateur mécanique pour divers facteurs de qualité Q de ce résonateur mécanique. On observe que plus le facteur de qualité est petit, plus le rapport $RS_{max}(N)$ est grand.

[0118] La Figure 13A donne, pour un résonateur ayant un facteur de qualité $Q = 100$, une amplitude libre $\theta_0 = 300^\circ$ et un angle de sécurité $\theta_{\text{Sec}} = 25^\circ$, les plages de fréquence de correction supérieure, pour une fréquence de consigne F_{0c} et diverses valeurs respectives de N , qui sont envisageables dans le cadre du premier mode de correction d'un retard, en représentant le rapport $RS = FS_{\text{Cor}}/F_{0c}$ qui s'étend entre la valeur '1' et $RS_{\text{max}}(N)$.

[0119] La Figure 13B donne, pour un résonateur ayant un facteur de qualité $Q = 100$, une amplitude libre $\theta_0 = 300^\circ$ et un angle de sécurité $\theta_{\text{Sec}} = 25^\circ$, les plages de fréquence de correction inférieure, pour une fréquence de consigne F_{0c} et diverses valeurs respectives de N , qui sont envisageables dans le cadre du premier mode de correction d'une avance, en représentant le rapport $RI = FI_{\text{Cor}}/F_{0c}$ qui s'étend entre $RI_{\text{max}}(N)$ et la valeur '1'.

[0120] Comme indiqué précédemment, les plages données aux Figures 13A et 13B découlent d'un modèle théorique simplifié. On voit que les fréquences de correction maximales, respectivement minimales dépendent de plusieurs paramètres. Ces figures donnent une bonne indication de la réalité pour un mouvement mécanique ayant des propriétés assez standard. Toutefois, pour chaque mouvement mécanique donné, il faudra définir les valeurs limites si on souhaite s'en approcher pour effectuer de grandes corrections dans de relativement courtes périodes de correction.

[0121] Après avoir exposé en détails l'agencement de l'unité de commande et le fonctionnement du dispositif de correction du premier mode de réalisation de la pièce d'horlogerie selon l'invention pour corriger un retard dans l'heure affichée par la pièce d'horlogerie, on exposera ci-après l'agencement de l'unité de commande selon ce premier mode de réalisation pour corriger une avance dans l'heure affichée selon un deuxième mode de correction d'une avance.

[0122] Pour permettre la mise en œuvre du deuxième mode de correction d'une avance, la pièce d'horlogerie comprend un dispositif de blocage du résonateur mécanique. De manière générale, dans le cadre du deuxième mode de correction d'une avance, l'unité de commande est agencée pour pouvoir fournir au dispositif de blocage, lorsque le signal externe de correction reçu par l'unité de réception correspond à une avance dans l'heure affichée qu'il est prévu de corriger, un signal de commande qui active le dispositif de blocage de manière que ce dispositif de blocage bloque l'oscillation du résonateur mécanique durant une période de correction dont la valeur / durée est déterminée par l'avance à corriger, de sorte à stopper la marche dudit mécanisme d'entraînement durant cette période de correction.

[0123] Dans le premier mode de réalisation décrit en référence aux Figures 1 et 7, la pièce d'horlogerie 2 comprend un dispositif de blocage qui est constitué par le dispositif de freinage 22, en particulier par l'actionneur piézoélectrique 22A, lequel sert également à la mise en œuvre du premier mode de correction d'un retard. Lorsque l'erreur temporelle globale T_{Err} correspond à une avance dans l'heure affichée qu'il est prévu de corriger, le circuit logique 60 de l'unité de commande 48A (Figure 7) fournit un signal de commande S_A au compteur temporel 70 (timer) qui est programmable. Ce timer 70 engendre alors un signal S_{C2} d'activation du dispositif de freinage 22, via la porte 'OU' ('OR') 66 ou un autre commutateur, pour une période de correction PA_{Cor} dont la durée est sensiblement égale à l'avance correspondante T_{Err} à corriger. Le signal d'activation périodique S_{C2} forme alors le signal de commande S_{Cmd} . On remarquera que le signal d'activation S_{C2} commande le dispositif de freinage 22 dans un mode de blocage du résonateur mécanique pour une relativement longue durée, à savoir durant sensiblement toute la période de correction $PA_{\text{Cor}} = T_{\text{Err}}$. A cet effet, la tension fournie alors par le circuit d'alimentation 26 entre les deux électrodes de la lame piézoélectrique 24 peut différer de celle prévue pour engendrer les impulsions de freinage périodiques pour corriger un retard. Cette tension est sélectionnée de sorte que la force de freinage appliquée au résonateur mécanique puisse l'arrêter, de préférence assez rapidement, et ensuite le bloquer jusqu'à la fin de la période de correction.

[0124] Dans une variante, la tension électrique appliquée à la lame piézoélectrique 24 est prévue variable au cours de la période de correction. Par exemple, il est possible de prévoir une tension supérieure au début de la période de correction, laquelle est sélectionnée pour arrêter rapidement le résonateur, notamment au cours de l'alternance de l'oscillation de ce résonateur dans laquelle intervient le début de la période de correction, et ensuite de diminuer la tension à une valeur moindre mais suffisante pour maintenir à l'arrêt le résonateur. De manière avantageuse, on sélectionnera la tension électrique pour que la force de freinage résultante ne puisse pas arrêter le résonateur mécanique dans la zone angulaire interdite ($-\theta_{Z1}$ à θ_{Z1}) définie précédemment. A cet effet, le couple de freinage est sélectionné assez grand pour pouvoir arrêter le résonateur et le bloquer dans la position angulaire d'arrêt, quelle qu'elle soit, et suffisamment petit pour que ce couple de freinage ne puisse pas arrêter le résonateur dans la zone angulaire interdite. De préférence, on évitera d'arrêter le résonateur dans la zone angulaire de sécurité ($-\theta_{\text{Sec}}$ à θ_{Sec}), décrite précédemment. Cette dernière condition est importante lorsque le résonateur n'est pas auto-démarrant. De manière générale, il suffit de s'assurer que le résonateur puisse repartir à la fin de la période de correction.

[0125] Selon une variante spécifique permettant d'assurer un arrêt rapide du résonateur hors de la zone angulaire de sécurité susmentionnée, il est prévu une phase préliminaire intervenant avant la période de correction où le résonateur est bloqué (c'est-à-dire où il demeure arrêté suite à son arrêt intervenant rapidement ou immédiatement au début de la période de correction). Durant la phase préliminaire, il est prévu d'utiliser le premier mode de correction d'un retard à disposition dans le premier mode de réalisation. On constate que dans la phase synchrone du premier mode de correction décrit précédemment, le passage par une position angulaire extrême intervient durant chaque impulsion de freinage. Ainsi, les impulsions de freinage sont en phase avec des passages du résonateur mécanique par une de ses deux positions angulaires extrêmes, chacun de ces passages définissant le début d'une alternance. On tire avantage de ce

fait en activant le générateur de fréquence 62 durant la phase préliminaire, laquelle est prévue de relativement courte durée mais néanmoins de durée suffisante à l'établissement d'une phase synchrone où le résonateur est synchronisé sur la fréquence FS_{Cor} . La phase préliminaire se termine par exemple lors d'une dernière impulsion de freinage qui est immédiatement suivie par la période de correction avec une activation du dispositif de freinage dans le mode de blocage.

Ainsi, on sait que le résonateur est bloqué hors de la zone angulaire de sécurité. Le couple de freinage pour la phase préliminaire peut être prévu différent de celui utilisé pour la correction d'un retard exposé précédemment.

[0126] Comme le comportement de la fréquence au cours de la phase transitoire au début d'une série d'impulsions de freinage périodiques peut varier de cas en cas, il n'est guère possible de déterminer l'erreur engendrée par la phase préliminaire. Cependant, il est possible d'estimer une erreur maximale. Par exemple, si la fréquence $F_{SUP} = 1,05 \cdot F_0$ (correction de 30 secondes en 10 minutes) et que la phase préliminaire est prévue avec une durée de 10 secondes (durée sélectionnée supérieure à celles de phases transitoires pouvant intervenir), on peut estimer l'erreur maximale à 0,5 seconde (une demi-seconde). Pour un mouvement mécanique, si une telle erreur n'est pas négligeable, elle est relativement petite puisqu'un mouvement mécanique classique présente une erreur journalière comprise généralement entre 0 et 5 à 10 secondes.

[0127] En référence à la **Figure 14**, on décrira un deuxième mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention qui se distingue du premier mode de réalisation par l'agencement du dispositif de blocage permettant d'implémenter avantageusement le deuxième mode de correction d'une avance dans l'affichage de l'heure associé au mouvement mécanique de la pièce d'horlogerie. Ce mouvement mécanique 92 comprend un échappement classique 94 formé par une roue d'ancre 95 et une ancre 96 pouvant osciller entre deux goupilles 95. L'ancre comprend une fourchette 97 entre les cornes de laquelle vient classiquement s'insérer à chaque alternance la cheville 98 formant aussi l'échappement et portée par un plateau 100 qui est solidaire de l'arbre 102 du balancier 104 (représenté partiellement) du résonateur mécanique ou venu de matière avec cet arbre (c'est-à-dire que l'arbre est usiné avec un profil longitudinal définissant le plateau). Le plateau 100 est circulaire et centré sur l'axe central de l'arbre 102 qui définit l'axe de rotation du balancier 104.

[0128] La pièce d'horlogerie comprend un dispositif de blocage 106 qui est distinct du dispositif de freinage 22A (Figure 1) utilisé pour la correction d'un retard. Ce dispositif de blocage est donc dédié à la mise en œuvre du deuxième mode de correction d'une avance. Le dispositif de blocage est formé par un actionneur électromécanique, en particulier par un actionneur piézoélectrique du même type décrit en lien avec la Figure 1. Selon la variante représentée, l'actionneur comprend une lame piézoélectrique flexible 24A et ses deux électrodes sont alimentées en tension par un circuit d'alimentation 26A. La lame 24A présente à son extrémité libre une partie saillante 107, formant un plot, qui est située du côté du plateau 100. La lame s'étend selon une direction parallèle à une tangente de la circonférence du plateau, à faible distance de cette circonférence circulaire. Le plateau présente un creux traversant 108, lequel s'ouvre radialement sur la périphérie du plateau et dont le profil dans le plan général du plateau est prévu pour permettre au plot 107 de venir s'y loger lorsqu'il est situé angulairement en face de ce creux et que l'actionneur piézoélectrique 106 est activé. Selon la variante représentée, le creux 108 est diamétralement opposé à la cheville 98 et le plot est situé angulairement à la position zéro de la cheville (c'est-à-dire à la position angulaire de cette cheville lorsque le résonateur est au repos, respectivement passe par sa position neutre). A noter que cette position angulaire zéro de la cheville définit normalement la position angulaire zéro du balancier 104, et donc du résonateur mécanique, dans un repère angulaire fixe relativement au mouvement mécanique 92 et centré sur l'axe de rotation du balancier.

[0129] Dans une variante équivalente, le creux peut être agencé à un autre angle relativement à la cheville, par exemple à 90° , et l'actionneur 106 est alors positionné en périphérie du plateau de manière que le plot 107 soit diamétralement opposé au creux lorsque le résonateur est au repos. Ainsi, quelle que soit l'alternance et la position angulaire lors de l'activation de l'actionneur piézoélectrique, le plot entrera dans le creux lorsque le résonateur sera dans une position angulaire égale, en valeur absolue, sensiblement à 180° (ceci étant exactement le cas si le balancier est mis au repère, c'est-à-dire que la cheville est alignée sur les centres de rotation respectifs du balancier et de l'ancre lorsque le résonateur est au repos). Cette valeur de 180° est clairement hors de la zone de sécurité (elle est supérieure à l'angle de sécurité défini précédemment) et elle est généralement inférieure à la plage des amplitudes du résonateur mécanique correspondant à sa plage de fonctionnement utile.

[0130] Ensuite, selon la variante avantageuse représentée à la Figure 14, les parois latérales du creux 108 sont parallèles au rayon passant par son centre et l'axe de rotation du balancier. Dans une variante équivalente, ces parois latérales sont prévues radiales. De même, le plot 107 présente deux parois latérales, perpendiculaires au plan général du plateau, qui sont parallèles au rayon passant par son centre et l'axe de rotation du balancier ou qui sont, dans la variante équivalente, sensiblement radiales relativement à l'axe de rotation. Grâce à cet agencement, lorsque le plot 107 est introduit dans le creux 108 qui lui sert alors de logement, ce plot bloque la rotation du plateau 100 et donc du balancier 104 par une force substantiellement tangentielle dont la direction est sensiblement parallèle à la direction longitudinale générale de la lame piézoélectrique 24A. Lorsque l'actionneur 106 est activé, l'extrémité de la lame portant le plot 107 subit un déplacement sensiblement radial, relativement à l'axe de rotation du balancier, et le plot peut alors, en fonction de la position angulaire du balancier à ce moment-là, soit exercer une force essentiellement radiale sur la

surface latérale circulaire du plateau 100, soit entrer au moins partiellement dans le creux 108. L'actionneur doit seulement être agencé pour que le plot puisse subir, lorsque cet actionneur est activé, un déplacement suffisant pour s'introduire dans le creux lorsque ce dernier est situé dans une position angulaire correspondant sensiblement à celle du plot (dans un repère angulaire fixe relativement au plot).

[0131] On peut prévoir une force de frottement relativement faible lorsque le plot vient s'appuyer contre la surface latérale circulaire du plateau au début d'une période de correction, c'est-à-dire suite à l'activation de l'actionneur, dans le cas où le creux n'est pas en vis-à-vis du plot lorsque sa surface proximale arrive au niveau de la circonférence circulaire du plateau. Ainsi, on peut s'assurer que l'amplitude du résonateur diminue peu lors du freinage initial opéré par le plot exerçant une force radiale contre cette surface latérale circulaire. Ensuite, lorsque le plot est inséré dans le creux alors que ce dernier se trouve en face du plot, la force radiale exercée par la lame piézoélectrique sur le plateau peut être très faible, voire nulle. L'énergie électrique nécessaire au blocage du résonateur durant la période de correction peut donc être relativement petite, bien plus petite que dans le cas du premier mode de réalisation.

[0132] Lorsque le dispositif de correction de la pièce d'horlogerie détermine au cours d'un cycle de correction une erreur temporelle globale correspondant à une avance dans l'affichage de l'heure, son circuit logique de commande, de manière similaire au fonctionnement du premier mode de réalisation, active le dispositif de blocage 106, en lui fournissant un signal de commande S_{C2} semblable à celui décrit précédemment dans le cadre du premier mode de réalisation, pour une période sensiblement égale à l'erreur temporelle globale à corriger. Grâce à l'agencement d'un creux dans un plateau circulaire centré sur l'axe de rotation du résonateur et d'un actionneur présentant une partie correspondante, mais de préférence moins large que le creux, qui est agencée pour pouvoir subir un mouvement sensiblement radial entre une position de non interaction, correspondant à un état non alimenté de l'actionneur, et un état d'interaction avec le balancier du résonateur, correspondant à un état alimenté de l'actionneur dans la variante décrite ici, le début de l'activation du dispositif de blocage 106 peut avoir lieu à tout instant, quelle que soit la position angulaire du résonateur et quel que soit le sens du mouvement d'oscillation (donc indépendamment de l'alternance en cours parmi les deux alternances formant chaque période d'oscillation). Ceci est très avantageux.

[0133] Finalement en lien avec le deuxième mode de réalisation, l'actionneur électromécanique peut être d'un autre type que celui représenté à la Figure 10. Par exemple, dans une variante, l'actionneur peut comprendre un noyau ferromagnétique ou aimanté qui peut être déplacé sous l'action d'un champ magnétique engendré par une bobine. En particulier, ce noyau est colinéaire avec la bobine et il comprend une partie d'extrémité sortant de la bobine au moins lorsque l'actionneur est activé, cette partie d'extrémité formant un doigt qui est configuré pour pouvoir venir s'introduire dans le creux du plateau, ce doigt ayant notamment une partie terminale avec la forme du plot 107. Dans une variante préférée, l'actionneur est un actionneur bistable. L'alimentation de l'actionneur est avantageusement maintenue, lors de son activation pour passer de la position de non-interaction à la position d'interaction, jusqu'à ce que le plot soit entré au moins partiellement dans le creux 108. Une telle variante est particulièrement intéressante car l'actionneur ne doit exercer aucune force de blocage par application d'une pression radiale sur un élément du balancier du résonateur dans ses deux positions stables correspondant respectivement à la position de non interaction et la position d'interaction prévues. Dans cette variante préférée, la consommation d'énergie peut être très faible, quelle que soit la durée de la période de correction, ce qui est très avantageux.

[0134] En référence à la **Figure 15**, on décrira un troisième mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention, laquelle se distingue essentiellement du premier mode de réalisation par l'agencement du dispositif de blocage permettant d'implémenter avantageusement le deuxième mode de correction d'une avance dans l'affichage de l'heure associé au mouvement mécanique de la pièce d'horlogerie. Les références déjà décrites en relation avec les Figures 1 et 7 ne seront pas décrites à nouveau en détails. Comme dans le deuxième mode de réalisation, la pièce d'horlogerie 112 selon le troisième mode de réalisation comprend un dispositif de blocage 114 qui est distinct du dispositif de freinage 22B utilisé pour la correction d'un retard. Le dispositif de freinage 22B a un fonctionnement qui est semblable au dispositif de freinage 22A déjà décrit, c'est-à-dire qu'il est aussi adapté pour l'implémentation du premier mode de correction d'un retard exposé en détails précédemment. Dans la variante décrite ici, le dispositif de freinage 22B est formé par un actionneur électromécanique du type électromagnétique, c'est-à-dire comprenant un système aimant-bobine pour actionner une lame flexible 240 encastrée dans un support 242 et dont l'extrémité libre forme un élément / patin de freinage pour le résonateur 14. Cet actionneur comprend un aimant 244, porté par la lame flexible, et une bobine 246 située en face de l'aimant et reliée à une alimentation électrique 26B qui reçoit le signal de commande S_{C1} , lequel engendre des impulsions de courant électrique dans la bobine pour générer des impulsions de freinage. Chaque impulsion de courant dans la bobine engendre un flux magnétique qui génère une force de répulsion magnétique sur l'aimant 244, et la lame flexible 240 vient alors en contact avec la surface latérale de la serge 20 du résonateur pour engendrer une certaine force de freinage mécanique sur ce résonateur durant une impulsion de freinage.

[0135] Le dispositif de blocage 114 est remarquable pour au moins deux raisons. Premièrement, il agit sur un résonateur mécanique classique 14 ne nécessitant aucune modification, en particulier aucun usinage spécifique contrairement au deuxième mode de réalisation. Ensuite, le dispositif de blocage est un dispositif bistable, c'est-à-dire qu'un élément de blocage présente deux positions stables, à savoir ici la bascule 115. Le dispositif de blocage est agencé de manière

qu'une première des deux positions stables de la bascule correspond à une position de non interaction avec le balancier 16 alors que la seconde de ces deux positions stables correspond à une position de blocage du résonateur via une force radiale exercée par une lame 116, formant la bascule 115, sur la serge 20 du balancier. La lame 116 est pivotée autour d'un axe agencé dans le mouvement mécanique 4A (dans une autre variante, la bascule est agencée de manière que son axe de pivotement soit agencé sur un support distinct du mouvement mécanique et appartenant à un module de correction). Dans une variante, cet axe est formé par une goupille fixe autour de laquelle est montée une partie terminale annulaire de la lame 116. Cette lame est rigide ou semi-rigide, une légère flexibilité pouvant être avantageux.

[0136] La lame 116 est associée à un système magnétique particulier permettant d'engendrer le caractère bistable de la bascule 115 et par conséquent du dispositif de blocage 114. Le système magnétique comprend un premier aimant 118, porté par la lame et donc solidaire en rotation de cette lame, un deuxième aimant 119 agencé fixement relativement au mouvement mécanique (dans la variante représentée, le deuxième aimant est inséré fixement dans une ouverture latérale du support 242) et une plaquette ferromagnétique 120 agencée entre le premier aimant et le deuxième aimant, à faible distance du deuxième aimant 119 ou contre celui-ci (par exemple la plaquette est collée contre cet aimant, seule une couche de colle séparant alors l'aimant de la plaquette, ou elle est insérée fixement dans un logement du support 242 situé devant l'aimant 119).

[0137] Les premier et deuxième aimants 118, 119 présentent des polarités magnétiques qui sont opposées et leurs axes magnétiques respectifs sont sensiblement alignés. Ainsi, en l'absence de la plaquette ferromagnétique, ces deux aimants exerceraient l'un sur l'autre constamment une force de répulsion et la bascule resterait ou reviendrait toujours, en l'absence de forces extérieures au système magnétique, dans une position où la lame est en butée contre une goupille 124 de limitation de sa rotation. Cependant, grâce à l'agencement de la plaquette ferromagnétique, on a une inversion de la force magnétique qui s'exerce entre les deux aimants. Plus précisément, lorsqu'on approche l'aimant mobile 118 depuis sa position éloignée (représentée à la Figure 11), la force de répulsion décroît jusqu'à s'annuler et finalement à s'inverser lorsque l'aimant mobile arrive à proximité de la plaquette ferromagnétique. Ainsi, lorsque l'aimant mobile 118 est situé très proche ou contre la plaquette ferromagnétique 120, cet aimant mobile subit une force magnétique d'attraction. Ce phénomène physique étonnant est exposé en détails dans la demande de brevet CH 711889, laquelle contient également quelques applications horlogères.

[0138] La bascule 114 est agencée de manière à présenter deux positions stables en l'absence de forces extérieures au système magnétique du dispositif de blocage. La première position stable est une position de non interaction dans laquelle la lame 116 est en butée contre la goupille 124, l'aimant mobile 118 subissant alors une force magnétique de répulsion de la part de l'ensemble magnétique, formé de l'aimant fixe 119 et de la plaquette ferromagnétique 120, qui maintient la bascule 115 contre cette goupille. La seconde position stable est une position d'interaction dans laquelle la lame 116 est en butée contre la serge 20 du balancier 16, l'aimant mobile 118 subissant alors une force magnétique d'attraction de la part dudit ensemble magnétique qui maintient la bascule 115 contre cette serge. La plaquette ferromagnétique 120 est agencée de manière que la lame 116 exerce une force radiale de blocage du balancier 16, et donc du résonateur 14, lorsque la bascule est dans sa seconde position stable. Pour que la lame puisse exercer une force de blocage contre la surface latérale extérieure de la serge 20, il faut que la surface de la plaquette 120, située en face de l'aimant mobile 118, soit légèrement en retrait relativement à la surface proximale de cet aimant mobile lorsque la lame 116 arrive en contact avec la serge. Si la lame est semi-rigide et présente donc une certaine flexibilité, il est possible que l'aimant mobile arrive finalement en butée contre la surface proximale de la plaquette ferromagnétique, mais alors la lame est en flexion.

[0139] Pour déplacer la bascule bistable 115 entre ses deux positions stables, dans les deux sens, le dispositif de blocage comprend un dispositif d'actionnement de cette bascule agencé pour commuter alternativement la bascule entre ses deux positions stables. Dans la variante représentée, le dispositif d'actionnement est formé par une bobine 252 reliée à une alimentation électrique 254. La bobine 252 est alignée sur l'ensemble magnétique, formé de l'aimant fixe 119 et de la plaquette ferromagnétique 120, et agencée juste derrière l'aimant mobile 118 lorsque la bascule est dans sa position de non interaction. Selon la polarité de la tension électrique appliquée à la bobine 252, l'aimant mobile subit une force d'attraction ou de répulsion magnétique de la part de cette bobine, permettant ainsi de faire passer la bascule d'une de ses deux positions stables à l'autre dans les deux sens. Le dispositif d'actionnement est commandé par le circuit logique de l'unité de commande via son circuit d'alimentation 254 qui reçoit le signal de commande S_{C2} . Au début d'une période de correction d'une avance, le signal de commande génère une première impulsion de courant électrique dans la bobine 252 avec une polarité qui engendre une force de répulsion pour l'aimant mobile 118 et une durée suffisante pour que la bascule passe dans sa position d'interaction, puis l'alimentation de la bobine est coupée jusqu'à la fin de la période de correction où une seconde impulsion de courant électrique est générée dans la bobine avec une polarité opposée, cette seconde impulsion engendrant alors une force d'attraction sur l'aimant mobile qui est prévue suffisante pour faire commuter la bascule vers sa position de non interaction, mettant ainsi fin à la période de correction.

[0140] Dans une autre variante, le dispositif d'actionnement de la bascule est prévu distinct et indépendant du système magnétique de la bascule bistable. Dans ce cas, le système électromagnétique du dispositif d'actionnement est formé

par un deuxième aimant porté par la bascule et une bobine agencée en face de ce deuxième aimant, comme dans la variante précédente. Ce système électromagnétique peut être agencé en amont ou en aval dudit système magnétique relativement à l'axe de pivotement de la bascule.

[0141] Ce qui est remarquable dans ce mode de réalisation, c'est le fait que la force de blocage exercée par le dispositif de blocage durant la période de correction ne provient pas d'une alimentation électrique de ce dispositif de blocage, mais dudit système magnétique qui le forme. Ainsi, le dispositif de blocage nécessite de la puissance électrique seulement au début et à la fin de la période de correction intervenant dans le deuxième mode de correction d'une avance, lors de la commutation de la bascule bistable entre ses deux états stables par le dispositif d'actionnement.

[0142] Dans une autre variante conduisant au même phénomène physique et donc au même effet recherché, la plaquette ferromagnétique 120 est agencée contre l'aimant mobile 118, duquel elle est solidaire. Finalement, dans une autre variante, il est prévu de combiner les deuxième et troisième modes de réalisation. Pour ce faire, la lame de la bascule comprend, dans la région de contact avec la serge 20, un plot qui fait saillie en direction de cette serge, laquelle présente un creux le long de sa circonférence globalement circulaire. La personne du métier saura disposer le dispositif de blocage de sorte que sa première position stable soit une position de non interaction et sa seconde position stable soit une position d'interaction dans laquelle le plot est au moins partiellement inséré dans le creux, ce plot exerçant en général initialement un frottement sec dynamique contre la surface latérale extérieure de la serge, lorsque la bascule est actionnée par le dispositif d'actionnement pour passer de sa première position stable à sa seconde position stable en début d'une période de correction d'une avance, avant de pénétrer dans le creux lorsque ce dernier se présente en face du plot au cours de l'oscillation du balancier.

[0143] En référence à la **Figure 16** et la Figure 1, on décrira ci-après un quatrième mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie. Ce quatrième mode de réalisation est un mode de réalisation préféré qui se distingue du premier mode de réalisation substantiellement par son mode de correction d'une avance.

[0144] L'alimentation électrique 130 du dispositif de correction 132 comprend un récupérateur d'énergie formé par une cellule solaire 54A, notamment agencée au niveau du cadran ou de la lunette portant le verre protégeant le cadran.

Ce cadran forme généralement une partie de l'affichage de l'heure. De plus, un dispositif de commande externe 136 est prévu pour pouvoir fournir un signal d'activation sur demande au dispositif de correction, par un utilisateur de la pièce d'horlogerie, pour déclencher/ débiter dans la pièce d'horlogerie un cycle de correction de l'heure affichée (autrement dit pour lancer le procédé de correction de l'heure affichée qui est implémenté dans le dispositif de correction 132).

[0145] L'alimentation électrique 130 comprend un circuit 134 de gestion de l'alimentation du dispositif de correction 132. Ce circuit est apte à recevoir diverses informations de l'accumulateur d'électricité 56 et il reçoit du dispositif de commande externe 136 un signal de réveil S_{W-UP} lorsque ce dispositif est actionné par un utilisateur. Une fois que le circuit de gestion 134 a reçu un signal de réveil, il détecte le niveau d'énergie disponible dans l'accumulateur 56. Comme dans le premier mode de réalisation, si le niveau d'énergie est insuffisant pour mener à son terme le procédé de correction, le circuit de gestion peut réagir de diverses manières. Il peut notamment soit rester en attente ('Standby') d'un apport d'énergie électrique via sa cellule solaire ou un autre moyen de récupération d'énergie prévu en sus, soit débiter dans la mesure du possible un cycle de correction tout en sachant qu'il risque de ne pas pouvoir le terminer correctement pour cause de manque d'énergie à disposition. Dans une variante, si le niveau d'énergie est insuffisant pour effectuer un cycle de correction complet mais suffisant pour effectuer une phase de détection, le dispositif de correction effectue déjà directement une telle phase de détection en n'alimentant que les parties nécessaires à cette phase de détection, dans l'attente d'un nouvel apport d'énergie électrique pour pouvoir effectuer ensuite une phase de correction. Généralement, lorsque le niveau d'énergie à disposition est suffisant à un cycle de correction, le circuit de gestion 134 active le dispositif de correction pour effectuer un cycle de correction.

[0146] Etant donné que le quatrième mode de réalisation se caractérise par une implémentation du premier mode de correction d'un retard, comme dans le premier mode de réalisation, et du premier mode de correction d'une avance, déjà décrit précédemment mais non implémenté dans le premier mode de réalisation, toute correction prévue ici est réalisée par une série d'impulsions de freinage périodiques au cours d'une période de correction. Dans une variante principale, toutes les impulsions de freinage sont prévues avec une même durée T_p . Ainsi, un seul et même timer 64 est nécessaire pour déterminer la durée des impulsions de freinage et ce timer est agencé, dans la variante représentée à la Figure 16, dans le circuit d'alimentation 26C. Ce timer fournit un signal d'activation / d'actionnement S_{Act} à un interrupteur 138 placé entre une source de tension 140 et l'organe de freinage 24C agissant sur le balancier. L'organe de freinage 24C est par exemple similaire à la lame piézoélectrique (Figure 1) de la variante représentée pour le premier mode de réalisation ou à la lame flexible associée au système aimant-bobine (Figure 15) du troisième mode de réalisation. Ainsi, l'interrupteur 138 commande l'alimentation de l'actionneur formant le dispositif de freinage. Le timer 64 reçoit un premier signal de commande $S1_{Cmd}$ d'un dispositif de commutation 66A qui est commandé par le circuit logique 60A de sorte que le premier signal de commande est sélectivement formé par un signal digital périodique parmi trois signaux digitaux périodiques prévus S_{FS} , S_{FI} et S_{F0c} qui ont respectivement trois fréquences différentes F_{SUP} , F_{INF} et $F0c$. Le signal digital périodique réinitialise périodiquement le timer à la fréquence sélectionnée et, en réponse, ce timer active périodiquement l'actionneur pour une durée T_p , en rendant momentanément conducteur l'interrupteur 138, pour générer

une série d'impulsions de freinage périodiques à cette fréquence sélectionnée.

[0147] Lorsque qu'une erreur temporelle globale déterminée par le dispositif de correction correspond à un retard à corriger, le circuit logique 60A détermine, en fonction de la fréquence F_{SUP} sélectionnée, une période de correction PR_{Cor} correspondante ou, de manière équivalente, un nombre d'impulsions de freinage périodiques à générer à la fréquence F_{SUP} au cours du cycle de correction en cours. Pour ce faire, il utilise la formule relative à cette détermination qui a été établie précédemment. Pour appliquer la série d'impulsions de freinage à la fréquence F_{SUP} conduisant à une fréquence de correction FS_{Cor} supérieure à la fréquence de consigne, il utilise le générateur de fréquence 62, déjà décrit, qui fournit un signal digital périodique S_{FS} à la fréquence F_{SUP} au timer 64 via le commutateur 66A, lequel est commandé à cet effet par le circuit logique de commande.

[0148] Lorsqu'une erreur temporelle globale déterminée par le dispositif de correction correspond à une avance à corriger, le circuit logique 60A détermine, en fonction de la fréquence F_{INF} sélectionnée, une période de correction PA_{Cor} correspondante ou un nombre d'impulsions de freinage périodiques à générer à une fréquence F_{INF} , définie précédemment, au cours du cycle de correction en cours. Pour ce faire, il utilise la formule relative à ce calcul qui a été établie précédemment. Pour appliquer la série d'impulsions de freinage à la fréquence F_{INF} conduisant à une fréquence de correction FI_{Cor} inférieure à la fréquence de consigne, il utilise le générateur de fréquence 142 qui fournit un signal digital périodique S_{FI} à la fréquence F_{INF} au timer 64 via le commutateur 66A, lequel est commandé à cet effet par le circuit logique de commande.

[0149] De manière générale, pour permettre l'implémentation du premier mode de correction d'une avance, l'unité électronique de commande 48B est agencée pour pouvoir fournir au dispositif de freinage, lorsque le signal de correction S_{Cor} fourni par l'unité de traitement correspond à une avance dans l'heure affichée qu'il est prévu de corriger, un signal de commande dérivé d'un signal digital périodique fourni par un générateur de fréquence à une fréquence F_{INF} , durant une période de correction, pour activer le dispositif de freinage de manière qu'il génère une série d'impulsions de freinage périodiques appliquées au résonateur mécanique à la fréquence F_{INF} . Cette fréquence F_{INF} est prévue et le dispositif de freinage est agencé de manière que la série d'impulsions de freinage périodiques à la fréquence F_{INF} puisse engendrer, au cours de la période de correction, une phase synchrone dans laquelle l'oscillation du résonateur mécanique est synchronisée sur une fréquence de correction FI_{Cor} qui est inférieure à la fréquence de consigne $F0c$ prévue pour le résonateur mécanique. La (durée de la) période de correction et donc le nombre d'impulsions de freinage périodiques dans ladite série d'impulsions de freinage périodiques sont déterminés par l'avance à corriger.

[0150] Le dispositif de correction du quatrième mode de réalisation comprend un perfectionnement pour augmenter la précision de la correction effectuée et aussi permettre l'application de couples de freinage relativement élevés, notamment pour des corrections à des fréquences relativement éloignées de la fréquence de consigne, sans risquer d'arrêter durablement le résonateur mécanique par un arrêt, lors d'une impulsion de freinage au début de la période de correction, dans la zone angulaire de couplage entre le résonateur et l'échappement ou plus généralement dans la zone angulaire de sécurité décrite précédemment. Selon ce perfectionnement, la pièce d'horlogerie comprend un dispositif de détermination du passage du résonateur mécanique oscillant par au moins une position spécifique, ce dispositif de détermination d'une position spécifique du résonateur mécanique permettant à l'unité électronique de commande de déterminer un instant spécifique auquel le résonateur mécanique oscillant se trouve dans ladite position spécifique, et donc de déterminer la phase du résonateur. Ensuite, l'unité électronique de commande est agencée de manière qu'une première activation du dispositif de freinage intervenant au début de la période de correction, pour engendrer une première interaction entre ce dispositif de freinage et le résonateur mécanique, soit déclenchée en fonction dudit instant spécifique.

[0151] Selon une variante avantageuse du perfectionnement exposé ci-avant et en référence à la Figure 16, le dispositif de correction comprend en outre un générateur de fréquence 144 qui est agencé de manière à pouvoir générer un signal digital périodique S_{F0c} à la fréquence de consigne $F0c$ prévue pour le résonateur. L'unité de commande 48B est agencée pour pouvoir fournir au dispositif de freinage un signal de commande dérivé du signal digital périodique S_{F0c} , durant une période préliminaire précédant directement la période de correction, pour activer le dispositif de freinage de manière que ce dispositif de freinage génère une série préliminaire d'impulsions de freinage périodiques qui sont appliquées au résonateur mécanique à la fréquence de consigne $F0c$. Pour ce faire, le circuit logique de commande 60A fournit au générateur 144 un signal de commande S_{PP} . La durée T_p des impulsions de freinage périodiques et la force de freinage appliquée au résonateur oscillant, lors de la série préliminaire d'impulsions de freinage périodiques, sont prévues de manière qu'aucune de ces impulsions de freinage ne puisse arrêter le résonateur oscillant dans la zone de couplage de ce résonateur oscillant avec l'échappement qui lui est associé (entre $-\theta_{Zl}$ et θ_{Zl}) ou, de préférence, dans une zone de sécurité prédéfinie (entre $-\theta_{Sec}$ et θ_{Sec}) englobant la zone de couplage (ces zones ont été exposées précédemment).

[0152] Ensuite, la durée de la période préliminaire et la force de freinage appliquée au résonateur oscillant, lors de la série préliminaire d'impulsions de freinage périodiques, sont prévues de manière à engendrer au moins en fin de la période préliminaire une phase synchrone préliminaire dans laquelle l'oscillation du résonateur mécanique est synchronisée (en moyenne) sur la fréquence de consigne $F0c$. Dans la variante représentée, la source de tension électrique 140 est variable et commandée par le circuit logique 60A qui lui fournit un signal de commande $S2_{Cmd}$, de sorte que le

niveau de tension appliqué à l'organe de freinage 24C peut être varié pour varier la force de freinage. On peut ainsi prévoir une force de freinage moindre durant la période préliminaire que durant une période de correction qui lui succède. On peut aussi varier la force de freinage au cours de la période préliminaire et/ou de la période de correction. Dans une variante, la fréquence de freinage durant la période préliminaire est égale à $2 \cdot F_{0c}$; ce qui conduit aussi à une synchronisation sur la fréquence F_{0c} en appliquant une impulsion de freinage par alternance.

[0153] La période de correction, prévue pour corriger une avance ou un retard, suit directement la période préliminaire. Plus précisément, le déclenchement d'une première impulsion de freinage à la fréquence F_{INF} ou F_{SUP} , au début d'une période de correction de l'heure affichée, intervient après un intervalle de temps déterminé relativement à un instant auquel est déclenchée la dernière impulsion de freinage de la période préliminaire, de manière que cette première impulsion de freinage intervienne hors d'une zone de sécurité prédéfinie englobant la zone de couplage susmentionnée. Cette condition est aisément remplie par le fait que le résonateur est dans une phase synchrone au moins en fin de la période préliminaire ; ce qui a pour conséquence que le résonateur s'arrête lors de la dernière impulsion de freinage de cette période préliminaire. Ainsi, une inversion du sens de rotation intervient lors de ladite dernière impulsion de freinage, de sorte que le début d'une nouvelle alternance de l'oscillation du résonateur intervient au cours de cette dernière impulsion de freinage. Le dispositif de correction peut ainsi connaître, avec une précision de $T_p/2$ (par exemple une précision de 3 ms), la phase de l'oscillation. Par conséquent, l'unité électronique de commande peut être agencée de sorte que le circuit logique de commande puisse déterminer un instant initial pour déclencher la première impulsion de freinage qui remplisse la condition susmentionnée, en activant le générateur de fréquence 62 ou 142, selon la correction requise, après un intervalle de temps déterminé depuis ladite dernière impulsion de freinage qui assure que la première impulsion de freinage soit hors de la zone de sécurité prédéfinie.

[0154] De plus, l'instant du déclenchement de ladite première impulsion de freinage et la force de freinage appliquée au résonateur oscillant, lors de cette première impulsion et ensuite lors des impulsions de freinage périodiques qui suivent au cours de la période de correction, sont prévus de manière que la phase synchrone à la fréquence de correction F_{ICor} ou F_{SCor} débute de préférence dès la première impulsion de freinage, ou dès une deuxième impulsion de freinage si la première impulsion de freinage sert à diminuer l'amplitude de l'oscillation sans parvenir à arrêter le résonateur, et que cette phase synchrone demeure durant toute la période de correction. Dans une variante particulière, la première impulsion de freinage de la période de correction intervient après un intervalle de temps correspondant à l'inverse de la fréquence F_{SUP} ou F_{INF} , selon la correction requise, suite à l'instant auquel intervient la dernière impulsion de freinage de la période préliminaire. Dans une autre variante particulière, ledit intervalle de temps est sélectionné égal à l'inverse du double de la fréquence de correction F_{SCor} ou F_{ICor} , selon la correction requise, ou à l'inverse de cette fréquence F_{SCor} ou F_{ICor} . Le perfectionnement décrit ci-avant est remarquable car il utilise des ressources à disposition, en particulier le dispositif de freinage prévu pour effectuer la correction requise, pour déterminer la phase de l'oscillation du résonateur. Aucun capteur spécifique à la détermination de cette phase n'est nécessaire. De plus, aucune dérive temporelle signification n'est induite par la période préliminaire (en général au maximum $T_{0c}/4$). On remarquera que les générateurs aux diverses fréquences ont été représentés de manière séparée à la Figure 12, mais un seul dispositif générateur de fréquences programmable peut être utilisé.

[0155] En référence aux **Figures 17 à 19**, on décrira ci-après un cinquième mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention. Ce cinquième mode de réalisation est agencé pour permettre la mise en oeuvre du deuxième mode de correction d'une avance, déjà été décrit dans des modes de réalisation précédents, et un deuxième mode de correction d'un retard qui sera décrit ici en détails.

[0156] La pièce d'horlogerie 170 selon le cinquième mode de réalisation est représentée en partie à la Figure 17, où seul le résonateur mécanique 14A du mouvement mécanique est montré. Hormis le dispositif de correction de l'heure affichée, les autres éléments de la pièce d'horlogerie sont similaires à ceux représentés à la Figure 1. Le résonateur mécanique comprend un balancier 16A associé à un ressort-spiral 15. Le balancier comprend une serge 20A qui présente une partie saillante 190 s'élevant radialement à sa périphérie. Aucun autre élément du balancier ne s'élève jusqu'à la position radiale de la partie d'extrémité de la partie saillante 190.

[0157] Le balancier comprend une marque 191 formée d'une succession non symétrique de barrettes présentant des coefficients de réflexion différents de la lumière provenant d'un capteur optique 192 ou simplement une réflexion différente de cette lumière, notamment une succession d'au moins deux barrettes noires de largeurs différentes et séparées par une barrette blanche, la largeur d'une des deux barrettes noires étant égale à la somme des largeurs de l'autre barrette noire avec la barrette blanche. On comprend que les barrettes forment ainsi une sorte de code avec une transition au milieu de la marque 191. Au lieu de barrettes noires et d'une barrette blanche, on peut prendre d'autres couleurs. Dans une variante, les barrettes noires correspondent à des zones mates de la serge, alors que la barrette blanche correspond à une zone polie de cette serge. Les barrettes noires peuvent aussi correspondre à des entailles dans la serge qui présentent un plan incliné. Plusieurs variantes sont donc possibles. On notera que la marque 191 a été représentée sur le dessus de la serge pour sa description, mais dans la variante représentée elle est située sur la surface latérale extérieure de la serge étant donné que le capteur optique est agencé dans le plan général du balancier 16A. Dans une autre variante, la marque est située comme représentée, sur la surface supérieure ou inférieure de la serge, et le capteur

est alors pivoté de 90° pour pouvoir illuminer cette marque.

[0158] Le capteur optique 192 est agencé pour détecter les passages du résonateur oscillant par sa position neutre (correspondant à la position angulaire '0' pour la partie saillante 190) et permettre de déterminer le sens du mouvement du balancier lors de chaque passage par cette position neutre. Ce capteur optique comprend un émetteur 193 d'un faisceau lumineux en direction de la serge 20A, cet émetteur étant agencé pour qu'il illumine la marque 191 lorsque le résonateur passe par sa position neutre, et un récepteur de lumière 194 agencé pour recevoir au moins une partie du faisceau lumineux qui est réfléchi par la serge au niveau de la marque. Le capteur optique forme ainsi un dispositif de détection d'une position angulaire spécifique du balancier, permettant à l'unité électronique de commande de déterminer un instant spécifique auquel le résonateur mécanique oscillant se trouve dans la position angulaire spécifique, et aussi un dispositif de détermination du sens du mouvement du balancier lors du passage du résonateur oscillant par la position angulaire spécifique. D'autres types de détecteur de position et de sens du mouvement du résonateur mécanique peuvent être prévus dans d'autres variantes, notamment des détecteurs capacitifs, magnétiques ou inductifs.

[0159] Ensuite, la pièce d'horlogerie 170 comprend un dispositif de freinage du résonateur qui est formé par un dispositif électromécanique 174 à butée mobile bistable. Une variante de réalisation, à titre d'exemple non limitatif, est représentée à la Figure 17. Le dispositif électromécanique 174 comprend un moteur électromécanique 176, du type moteur pas-à-pas horloger de petites dimensions, qui est alimenté par un circuit d'alimentation 178, lequel comprend un circuit de commande agencé pour engendrer, lorsqu'il reçoit un signal de commande $S4_{Cmd}$, une série de trois impulsions électriques qui sont fournies à la bobine du moteur de sorte que son rotor 177 avance d'un pas à chaque impulsion électrique, soit d'un demi-tour de rotation. La série de trois impulsions électriques est prévue pour entraîner rapidement le rotor, de manière continue ou quasi continue. Le pignon du rotor engrène avec une roue intermédiaire 180 qui engrène avec une roue ayant un diamètre égal au triple de celui du pignon du rotor et portant fixement un premier aimant permanent bipolaire 182. Etant donné le rapport de diamètres entre ledit pignon et la roue portant l'aimant 182, ce dernier tourne d'un demi-tour lors d'une série de trois impulsions électriques. Ainsi le premier aimant présente une première position de repos et une seconde position de repos dans laquelle le premier aimant présente une polarité magnétique opposée à celle de la première position de repos (par 'position de repos', on comprend une position dans laquelle se trouve l'aimant 182 après que le moteur 176 ait effectué sur commande une série de trois impulsions électriques et que son rotor ait ensuite cessé de tourner).

[0160] De plus, l'actionneur 174 comprend une bascule bistable 184 pivotée autour d'un axe 185 fixé au mouvement mécanique et limitée dans sa rotation par deux goupilles 188 et 189. La bascule bistable comprend au niveau de son extrémité libre, formant la tête de cette bascule, un deuxième aimant permanent bipolaire 186 qui est mobile et sensiblement aligné sur le premier aimant 182, les axes magnétiques de ces deux aimants étant prévus sensiblement colinéaires lorsque le premier aimant est dans l'une ou l'autre de ses deux positions de repos. Ainsi, la première position de repos du premier aimant correspond, relativement au deuxième aimant 186, à une position d'attraction magnétique, et sa seconde position de repos correspond à une position de répulsion magnétique. Chaque fois que le signal de commande $S4_{Cmd}$ active le circuit d'alimentation pour qu'il effectue une série de trois impulsions électriques, le premier aimant tourne d'un demi-tour et la bascule passe alternativement d'une position stable de non interaction avec le balancier du résonateur à une position stable d'interaction avec ce balancier dans laquelle la bascule 184 forme alors une butée pour la partie saillante 190, laquelle vient buter contre la tête de cette bascule lorsque le résonateur oscille et que la partie saillante arrive au niveau de cette tête, quel que soit le sens de rotation du balancier lors du choc.

[0161] Dans la position de non interaction, la bascule mobile est hors d'un espace balayé par la partie saillante 190 lorsque le résonateur oscille avec une amplitude dans sa plage de fonctionnement utile. Par contre, dans la position d'interaction, la bascule mobile est située partiellement dans cet espace balayé par la partie saillante et forme ainsi une butée pour le résonateur. Par 'position stable', on comprend une position dans laquelle la bascule demeure en l'absence d'une alimentation du moteur 176 qui sert à actionner la bascule entre ses deux positions stables, dans les deux sens. La bascule forme ainsi une butée mobile bistable pour le résonateur. Cette bascule forme donc un organe de stop rétractable pour le résonateur. L'actionneur 174 est agencé de manière que la bascule peut rester dans la position de non-interaction et dans la position d'interaction sans maintenir une alimentation du moteur 176.

[0162] L'organe de stop dans sa position d'interaction et la partie saillante définissent une première position angulaire de stop θ_B pour le balancier du résonateur oscillant qui est différente de sa position neutre, la partie saillante venant buter contre l'organe de stop à cette première position angulaire de stop lorsqu'elle arrive depuis sa position angulaire '0', correspondant à la position neutre du résonateur, au cours d'une seconde demi-alternance d'une première alternance déterminée parmi les deux alternances de chaque période d'oscillation du résonateur. Ensuite, l'angle θ_B est prévu inférieur à une amplitude minimale du résonateur mécanique oscillant dans sa plage de fonctionnement utile. De plus, l'angle θ_B est prévu de sorte que le résonateur oscillant soit arrêté par l'organe de stop hors de la zone de couplage du résonateur oscillant avec l'échappement du mouvement mécanique, laquelle a déjà été décrite. L'organe de stop dans sa position d'interaction et la partie saillante définissent également une deuxième position angulaire de stop, proche de la première mais supérieure à celle-ci, pour le balancier du résonateur oscillant lorsque la partie saillante arrive depuis une position angulaire extrême du résonateur au cours d'une première demi-alternance de la seconde alternance parmi

les deux alternances de chaque période d'oscillation. Cette deuxième position angulaire de stop est aussi prévue inférieure à une amplitude minimale du résonateur mécanique oscillant dans sa plage de fonctionnement utile.

[0163] On remarquera que la partie saillante 190 peut, dans une autre variante, s'élever axialement de la serge ou d'un des bras du balancier et le dispositif électromécanique bistable 174 est alors agencé de manière que la bascule bistable présente un mouvement dans un plan parallèle à l'axe de rotation du balancier. Dans cette autre variante, les axes d'aimantation respectifs des deux aimants 182 et 186 sont axiaux et restent sensiblement colinéaires, l'aimant 182 étant alors agencé sous la tête de la bascule. On remarquera qu'un tel agencement du dispositif électromécanique bistable peut aussi être prévu dans le cadre de la variante représentée avec une partie saillante s'élevant radialement de la serge. On notera que la partie saillante du résonateur peut, dans une autre variante, être agencée autour de l'arbre du balancier, notamment en périphérie d'un plateau porté par cet arbre ou venu de matière avec l'arbre. Dans une variante, un tel plateau est le plateau portant la cheville de l'échappement.

[0164] Finalement, la pièce d'horlogerie 170 comprend une unité de commande 196 qui est associée au capteur optique 192 et agencée pour commander le circuit d'alimentation 178 du dispositif électromécanique, auquel l'unité de commande fournit le signal de commande $S4_{Cmd}$. L'unité de commande comprend un circuit logique de commande 198, un compteur temporel bidirectionnel 200 et un circuit d'horloge 44. Cette unité de commande est associée au dispositif électromécanique 174 pour permettre la mise en oeuvre du deuxième mode de correction d'une avance et aussi du deuxième mode de correction d'un retard dans l'heure indiquée par l'affichage de la pièce d'horlogerie, exposé ci-après.

[0165] Pour mettre en oeuvre le deuxième mode de correction implémenté dans ce cinquième mode de réalisation, l'unité de commande 196 est agencée pour commander le dispositif électromécanique (aussi nommé 'actionneur' ou 'actionneur électromécanique') de manière qu'il puisse actionner sélectivement l'organe de stop (la bascule bistable 184), selon qu'il est prévu de corriger un retard ou une avance dans l'heure affichée par la pièce d'horlogerie, pour que cet organe de stop soit déplacé de sa position de non interaction à sa position d'interaction respectivement avant que la partie saillante 190 n'atteigne ladite première position angulaire de stop θ_B au cours de ladite seconde demi-alternance de ladite première alternance d'une période d'oscillation et avant que la partie saillante 190 n'atteigne ladite deuxième position angulaire de stop au cours de ladite première demi-alternance de ladite seconde alternance d'une période d'oscillation.

[0166] De manière générale, pour corriger au moins en partie une avance (erreur temporelle positive), le dispositif électromécanique est agencé de manière que, lorsque l'organe de stop est actionné pour stopper le résonateur mécanique dans une première demi-alternance, l'organe de stop empêche momentanément, après que la partie saillante ait buté contre cet organe de stop, le résonateur mécanique de continuer le mouvement d'oscillation naturelle propre à cette première demi-alternance, de sorte que ce mouvement d'oscillation naturelle au cours de la première demi-alternance est momentanément interrompu avant qu'il ne soit poursuivi, après un certain délai de blocage qui se termine par le retrait de l'organe de stop. De préférence, dans le cas d'un dispositif électromécanique bistable tel que décrit précédemment, il est prévu de corriger sensiblement l'entier d'une erreur temporelle globale positive, déterminée par le dispositif de correction de la pièce d'horlogerie selon l'invention, au cours d'une période continue de blocage définissant une période de correction, laquelle est prévue sensiblement égale à l'avance à corriger. Pour ce faire, dans la variante décrite, suite à l'instant d'un passage du résonateur par sa position neutre lors d'une dite seconde alternance d'une période d'oscillation (alternance où la partie saillante 190 arrive au niveau de la tête de la bascule 184 avant le passage du résonateur par sa position neutre), cette seconde alternance étant détectée par le capteur optique 192 grâce à l'agencement prévu pour détecter le sens du mouvement d'oscillation lors de la détection des passages du résonateur par sa position neutre, l'unité de commande attend qu'un délai de $T0c/4$ soit atteint pour activer l'actionneur de sorte qu'il entraîne, via son moteur, la bascule 184 entre sa position stable de non interaction à sa position stable d'interaction où la tête de la bascule forme une butée pour la partie saillante. Selon la valeur de la position angulaire de stop, comprise par exemple entre 90° et 120° , il est possible de prévoir un délai plus court que $T0c/4$, par exemple $T0c/5$, pour déclencher une série de trois impulsions électriques permettant d'entraîner le moteur 176 pour que son rotor tourne rapidement d'un tour et demi, l'intervalle de temps pour permettre à la bascule de pivoter entre ses deux positions stables, par inversion du sens du flux magnétique généré par l'aimant 182, étant ainsi allongé. Dans ce dernier cas, il faut s'assurer que la partie saillante ait bien dépasser la position angulaire de stop dans l'alternance précédant la première demi-alternance au cours de laquelle il est prévu de bloquer le résonateur durant une période de correction.

[0167] De manière générale, pour corriger au moins en partie un retard (erreur temporelle négative), le dispositif électromécanique est agencé de manière que, lorsque l'organe de stop est actionné pour stopper le résonateur mécanique dans une seconde demi-alternance d'au moins une dite première alternance d'une période d'oscillation (alternance au cours de laquelle la partie saillante 190 arrive au niveau de la tête de la bascule 184 après le passage du résonateur par sa position neutre), il met ainsi prématurément fin à cette seconde demi-alternance sans bloquer le résonateur mais en inversant le sens du mouvement d'oscillation de ce résonateur, de sorte que le résonateur mécanique commence, suite à un arrêt instantané ou quasi instantané provoqué par la collision de la partie saillante avec l'organe de stop, directement une alternance suivante. Ainsi, dans le cadre du deuxième mode de correction d'un retard, le détecteur de

position et de sens du mouvement du résonateur et l'unité électronique de commande sont agencés de manière à pouvoir activer l'actionneur, chaque fois que l'erreur temporelle globale déterminée par le dispositif de correction correspond à un retard dans l'heure affichée, de manière que cet actionneur actionne son organe de stop pour que la partie saillante du résonateur oscillant vienne buter contre cet organe de stop dans une pluralité de demi-alternances de l'oscillation du résonateur mécanique qui suivent chacune son passage par la position neutre, de sorte à mettre prématurément un terme à chacune de ces demi-alternances sans bloquer le résonateur mécanique. Le nombre de demi-alternances de ladite pluralité de demi-alternances est déterminé par le retard à corriger.

[0168] Dans une variante préférée représentée aux Figures 18 et 19, l'unité électronique de commande et l'actionneur sont agencés de manière que, pour corriger au moins en partie un retard, la bascule est maintenue dans sa position d'interaction, suite à un actionnement de cette bascule de sa position de non interaction à sa position d'interaction alors que le résonateur oscillant est situé angulairement du côté de sa position neutre relativement à la position angulaire de stop, jusqu'à la fin de la période de correction au cours de laquelle la partie saillante du résonateur mécanique oscillant vient buter périodiquement plusieurs fois contre la tête de la bascule, la (durée de la) période de correction pendant laquelle la bascule est maintenue dans sa position d'interaction étant déterminée par le retard à corriger. Le pivotement de la bascule de sa position de non interaction vers sa position d'interaction peut intervenir soit dans une dite première alternance (celle où est prévu le choc avec la partie saillante, cette première alternance étant détectée par la détection du sens de rotation du balancier) de préférence directement après la détection du passage par la position neutre pour que la bascule soit placée dans sa position d'interaction avant que la partie saillante n'atteigne l'angle de stop θ_B , soit dans une dite seconde alternance (également détectée par la détection du sens de rotation du balancier) directement après la détection du passage par la position neutre, cette seconde variante laissant plus de temps pour actionner la bascule et permettre qu'elle soit placée de manière stable dans sa position d'interaction (l'angle de stop est par définition inférieur ou égal à 180°). Par exemple, si $\theta_B = 120^\circ$ et l'amplitude de l'oscillation libre du résonateur $\theta_L = 270^\circ$, alors on dispose dans la seconde variante d'un intervalle de temps correspondant à une rotation entre l'angle '0' et un peu moins de 240° ($360^\circ - 120^\circ$), soit environ 230° si l'angle θ_T à l'axe de rotation défini par la tête de la bascule vaut environ 10° , pour effectuer le pivotement de la bascule (de sorte à ne pas bloquer le balancier en dépassant la position de la partie saillante dans la seconde alternance) ; alors que dans la première variante on ne dispose que d'un intervalle de temps correspondant à une rotation entre l'angle '0' et 120° . On remarquera que si $\theta_L < 360^\circ - \theta_B - \theta_T$, alors on dispose de bien plus de temps dans la seconde variante pour effectuer le pivotement de la bascule.

[0169] De manière générale, pour déterminer la durée d'une période de correction d'un retard, l'unité de commande comprend un circuit de mesure associé au capteur optique, ce circuit de mesure comprenant un circuit d'horloge, fournissant un signal d'horloge à une fréquence déterminée, et un circuit comparateur permettant de mesurer une dérive temporelle du résonateur oscillant relativement à sa fréquence de consigne, le circuit de mesure étant agencé pour pouvoir mesurer un intervalle de temps correspondant à une dérive temporelle du résonateur mécanique depuis le début de la période de correction. L'unité de commande est agencée pour terminer la période de correction dès que ledit intervalle de temps est égal ou légèrement supérieur à une erreur temporelle globale déterminée par le dispositif de correction.

[0170] Dans la variante décrite à la Figure 17, le circuit de mesure comprend un circuit d'horloge 44, fournissant un signal digital périodique à la fréquence $F_{0c}/2$, et un compteur bidirectionnel 200 (compteur réversible). Ce compteur bidirectionnel reçoit à son entrée '-' le signal périodique du circuit d'horloge (engendrant une décrémentement de ce compteur de deux unités pour chaque période de consigne $T_{0c} = 1/F_{0c}$) et à son entrée '+' un signal digital du capteur optique 192 qui comprend une impulsion ou un changement d'état logique à chaque passage du résonateur 14A par sa position neutre '0'. Comme un tel passage intervient dans chaque alternance du résonateur oscillant, le compteur 200 est incrémenté de deux unités à chaque période d'oscillation. Ainsi l'état du compteur (nombre entier M_{Cb}) est représentatif d'une dérive temporelle du résonateur mécanique relativement à la fréquence de consigne qui est déterminée par le circuit d'horloge 44 ayant la précision d'un oscillateur à quartz. Le nombre entier M_{Cb} correspond au nombre d'alternances supplémentaires effectuées par le résonateur, depuis un instant initial où le compteur réversible est réinitialisé, relativement à un cas d'une oscillation à la fréquence de consigne.

[0171] Le circuit logique de commande 198 reçoit du capteur optique 192 un signal digital permettant à ce circuit logique de déterminer les passages du résonateur par sa position neutre et le sens du mouvement d'oscillation à chacun de ces passages. Pour corriger un retard donné, suite à une détection d'un passage du résonateur par sa position neutre comme décrit ci-avant, le circuit logique de commande, d'une part, active l'actionneur 174 pour qu'il actionne la bascule vers sa position d'interaction et, d'autre part, réinitialise (effectue un 'reset') le compteur bidirectionnel 200, ce qui définit le début d'une période de correction. On notera que cette réinitialisation peut, dans une variante, avoir lieu avant l'alimentation de l'actionneur 174 pour effectuer le pivotement de la bascule, mais après que l'unité de commande 196 et le capteur optique 192 sont activés. Dans d'autres variantes, le capteur optique est remplacé par un autre type de capteur, par exemple du type magnétique, inductif ou capacitif. Dans une variante spécifique, le détecteur du passage du résonateur mécanique par sa position neutre est formé par un capteur de son miniaturisé (microphone de type MEMS) capable de détecter les impulsions sonores engendrées par les chocs entre la cheville du balancier et la fourchette de

l'ancre formant l'échappement du mouvement mécanique.

[0172] Le nombre d'alternances à la fréquence de consigne F_{0c} dans une erreur temporelle globale négative T_{Err} (retard déterminé) est égale à $-T_{Err} \cdot 2 \cdot F_{0c}$. Ainsi, dès que le nombre M_{Cb} du compteur bidirectionnel atteint cette valeur ou la dépasse légèrement (car cette valeur n'est pas dans tous les cas un nombre entier), le retard déterminé est rattrapé et l'affichage de l'heure est à nouveau correct (il donne alors l'heure réelle de manière précise, en particulier avec une précision d'une seconde). Le circuit logique de commande est donc agencé pour pouvoir comparer l'état du compteur avec la valeur $-T_{Err} \cdot 2 \cdot F_{0c}$, et pour mettre fin à la période de correction dès qu'il détecte que le nombre M_{Cb} est égal ou supérieur à cette valeur, en commandant le circuit d'alimentation 178 de l'actionneur pour que ce dernier actionne la bascule de sa position stable d'interaction à sa position stable de non interaction.

[0173] Aux Figures 18 et 19 sont représentés les oscillations du résonateur 14A, respectivement dans deux cas particuliers extrêmes de la variante préférée exposée précédemment, au début d'une période de correction d'un retard donné. La Figure 18 concerne le cas où l'énergie cinématique du résonateur est entièrement absorbée lors de chaque choc entre la partie saillante du balancier et la tête de la butée. L'oscillation libre 210 présente notamment une seconde alternance libre A_{2L} avant une détection d'un temps t_0 au passage du résonateur par sa position neutre (position '0' de la partie saillante 190) dans la première alternance qui suit, le temps t_0 marquant le début d'une période de correction d'un retard donné. La bascule est déplacée dans sa position d'interaction directement après le temps t_0 . Suite au premier choc entre la partie saillante et la bascule, on obtient un déphasage positif DP1 relativement grand entre l'oscillation libre fictive 211 et l'oscillation 212. Ensuite s'établit une phase stable où l'oscillation 212 est abrégée, relativement à une oscillation libre fictive 213 depuis l'arrêt précédent du résonateur par l'organe de stop, dans la seconde demi-alternance de la première alternance A1 de chaque période d'oscillation ; ce qui résulte alors en un déphasage positif DP2 plus petit que DP1. La deuxième alternance A2 de l'oscillation 212 n'est pas perturbée par la bascule.

[0174] La Figure 19 concerne un cas particulier d'un choc dur ou choc élastique entre la partie saillante et la tête de la bascule. Dans ce cas l'énergie cinétique du résonateur est conservée à chaque choc, étant donné qu'il n'y a pas de dissipation d'énergie cinétique lors des chocs, mais seulement une inversion du sens du mouvement d'oscillation. L'amplitude de l'oscillation 216 lors de la période de correction demeure ainsi identique à celle de l'oscillation libre 210, et donc de l'oscillation libre fictive 217 pour chaque période d'oscillation. Suite au temps t_0 s'établit une phase stable avec des alternances $A1^*$ et $A2^*$ de durée T_2 bien inférieure à $T_0/2$, engendrant un déphasage positif DP3 relativement important à chaque période d'oscillation.

[0175] Pour obtenir un choc élastique, on peut prévoir que la bascule présente une certaine élasticité, notamment que le corps de la bascule et/ou sa tête soient formées d'un matériau élastique capable de subir une certaine compression, de manière à absorber momentanément de l'énergie cinétique du balancier pour le redonner immédiatement après l'inversion du sens du mouvement d'oscillation. Dans ce cas, l'oscillation 216 dépassera légèrement l'angle de stop θ_B . Dans une autre variante plus sophistiquée, c'est la partie saillante qui est montée élastiquement sur la serge du balancier. Par exemple, la partie saillante présente une base formant un coulisseau agencé dans une coulisse circulaire usinée dans la serge et un élément élastique, en particulier un petit ressort boudin est agencé dans la coulisse à l'arrière du coulisseau, c'est-à-dire de l'autre côté de la tête de la bascule relativement à la partie saillante lorsqu'elle se trouve dans sa position angulaire '0'. En pratique, les chocs entre la partie saillante du balancier et la butée du dispositif électromécanique sont généralement entre les deux situations extrêmes décrites aux Figures 18 et 19.

[0176] Dans un autre mode de réalisation, le dispositif électromécanique est formé par un actionneur électromécanique monostable qui comprend un doigt mobile agencé de manière que ce doigt mobile puisse être déplacé alternativement entre une première position radiale et une deuxième position radiale lorsque cet actionneur est respectivement non activé (non alimenté) et activé (c'est-à-dire qu'il est alimenté). La première position radiale du doigt correspond à une position de non interaction avec le balancier du résonateur oscillant et sa seconde position radiale correspond à une position d'interaction avec le balancier oscillant dans laquelle ce doigt forme alors une butée pour la partie saillante du balancier oscillant, de manière similaire à la tête de la bascule 184.

[0177] Dans une variante générale préférée, le dispositif de correction est agencé de sorte à être activé périodiquement, de manière automatique, pour effectuer un cycle de correction au cours duquel le dispositif de détection est activé durant une phase de détection, de sorte à permettre au circuit électronique de correction de déterminer une erreur temporelle globale, et le dispositif de freinage est ensuite activé pour corriger, durant une période de correction, au moins en majeure partie cette erreur temporelle globale.

[0178] Dans un mode de réalisation particulier de la présente invention, il est prévu d'exploiter le dispositif de freinage du dispositif de correction et le circuit d'horloge interne non seulement pour corriger une erreur temporelle détectée dans l'affichage de l'heure réelle, mais également pour mettre en oeuvre une régulation telle que prévue dans le document WO 2018/177779 déjà cité précédemment. Selon l'enseignement de ce document, on utilise un dispositif de freinage mécanique, du type décrit dans le cadre de la présente description, pour imposer au résonateur mécanique oscillant une fréquence moyenne qui est synchronisée sur une fréquence de consigne F_{0c} déterminée par un circuit d'horloge électronique interne fournissant un signal périodique de référence. Pour ce faire, le dispositif de régulation active continuellement et périodiquement le dispositif de freinage mécanique à une fréquence de freinage dérivée du signal périodique

de référence. Grâce à une telle régulation, on peut prévenir efficacement une dérive temporelle du résonateur mécanique oscillant tant que le dispositif de régulation est actif (notamment alimenté en électricité). En combinant avantageusement le dispositif de régulation décrit dans le document WO 2018/177779 avec le dispositif de correction selon la présente invention (en utilisant le dispositif de freinage mécanique et le circuit d'horloge en commun), on peut limiter la fréquence à laquelle le dispositif de correction doit être activé, ce qui peut étonnamment conduire à une diminution de la consommation en électricité malgré le fait que le dispositif de régulation est toujours actif.

[0179] Sans le dispositif de régulation, le dispositif de correction est par exemple activé une fois par semaine pour effectuer un cycle de correction (avec une montre mécanique par ailleurs relativement précise, on peut ainsi assurer ne pas dépasser une minute d'erreur). Pour bénéficier pleinement du dispositif de correction et avoir une montre dont l'erreur pour l'heure réelle affichée reste inférieure à l'erreur journalière usuelle (notamment inférieure à 10 secondes), le dispositif de correction est avantageusement activé une fois par jour. Si on veut prétendre à une précision de l'ordre de la seconde, il faut alors effectuer périodiquement des cycles de correction, par exemple toutes les trois ou quatre heures ; ce qui engendre alors une consommation électrique relativement importante. Par contre, avec une implémentation du procédé de régulation (laquelle ne demande a priori aucune ressource matérielle supplémentaire), il est envisageable d'activer automatiquement le dispositif de correction seulement une fois par mois, voire moins souvent, tant que le mouvement mécanique fonctionne sans s'arrêter. Toutefois, on remarquera qu'il n'est pas rare qu'une montre mécanique soit à l'arrêt si, pour un mouvement du type automatique classique, son utilisateur ne la porte pas quelques jours par semaine et si, pour un mouvement à remontage manuel, son utilisateur ne la remonte pas régulièrement. Dans un tel cas, suite à un remontage ultérieur du barillet, l'affichage doit être remis à l'heure réelle correcte, ce qui est généralement fait manuellement par l'utilisateur. De plus, la montre peut être soumise à des perturbations (par exemples des chocs ou fortes accélérations pouvant engendrer un glissement d'une aiguille sur son axe, ainsi que la présente momentanée d'un champ magnétique extérieur intense, etc.). Comme déjà indiqué, une intervention extérieure (mise à l'heure manuelle via un organe de commande externe) peut aussi varier l'affichage. Dans toutes ces situations, le dispositif de correction selon la présente invention est nécessaire pour garantir un affichage précis de l'heure réelle par la montre. Cependant, si le dispositif de correction est commandé par des capteurs ou détecteurs appropriés de manière à être activé suite à un événement perturbateur ou potentiellement perturbateur, notamment suite à une mise à l'heure manuelle indiquée précédemment, l'implémentation du procédé de régulation dans une pièce d'horlogerie selon la présente invention peut s'avérer avantageuse.

[0180] Dans un mode de réalisation avantageux, la pièce d'horlogerie comprend un organe de commande externe actionnable par un utilisateur de la pièce d'horlogerie, cet organe de commande externe et le dispositif de correction étant agencés de manière à permettre à un utilisateur d'activer le dispositif de correction pour qu'il effectue un cycle de correction au cours duquel le dispositif de détection est activé pour une phase de détection, de sorte à déterminer une erreur temporelle globale, et le dispositif de freinage est ensuite activé pour corriger, durant une période de correction, au moins en majeure partie cette erreur temporelle globale. Dans une variante particulière, l'organe de commande externe est formé par une couronne associée à une tige de commande qui servent également à une mise à l'heure réelle de l'affichage de manière manuelle. Dans une variante préférée, la possibilité de commander le dispositif de correction par un organe de commande externe pour qu'il effectue un cycle de correction est combinée à une commande automatique interne qui active périodiquement le dispositif de correction pour qu'il effectue ainsi régulièrement un cycle de correction.

[0181] En référence aux **Figures 20 à 24**, on décrira ci-après un deuxième mode de réalisation du dispositif de détection qui est agencé dans une pièce d'horlogerie 260 de manière à pouvoir effectuer une détection indirecte du passage d'au moins un indicateur de l'affichage par au moins une position temporelle de référence correspondante. De manière générale, le dispositif de détection est agencé pour pouvoir détecter au moins une position angulaire respective prédéterminée d'une roue solidaire de l'indicateur considéré ou d'une roue de détection, formant le mécanisme d'entraînement ou complémentaire à celui-ci, qui entraîne ou qui est entraînée par la roue solidaire de l'indicateur. Le cas échéant, la roue de détection est sélectionnée ou configurée de manière à présenter une vitesse de rotation inférieure à celle de la roue solidaire de l'indicateur et un rapport d'engrenage R égal à un nombre entier positif ou l'inverse d'un nombre entier selon que la roue de détection est respectivement entraîneuse ou entraînée. La position angulaire prédéterminée qui est détectée par une unité de détection du dispositif de détection correspond à une position temporelle de référence donnée pour l'indicateur considéré. Ainsi, la détection de l'instant de passage de la roue solidaire de l'indicateur ou de la roue de détection par ladite position angulaire prédéterminée permet de déterminer ensuite une erreur temporelle, comme ceci a été décrit précédemment pour le premier mode de réalisation du dispositif de détection relatif à une détection directe.

[0182] Aux Figures 20 et 21 est représenté un agencement avantageux d'une unité de détection optique 274 pour la détection du passage de l'aiguille des secondes 262 par une position temporelle de référence donnée. Cette détection est effectuée de manière indirecte par la détection d'un axe de référence spécifique AR de la roue de seconde 264 qui porte cette aiguille. La roue de seconde est classiquement entraînée en rotation par une roue moyenne 266 via le pignon de seconde 265. La roue de seconde 264 est dans l'exemple donné en lien d'engrènement direct avec le mobile

d'échappement qui est formé d'une roue d'échappement 268 et d'un pignon 269. La roue d'échappement 268 est couplée au résonateur du mouvement mécanique en question.

[0183] Le dispositif de détection comprend une unité de détection optique 274 associée à l'aiguille des secondes 262 et agencée pour pouvoir détecter une position angulaire prédéterminée de la roue de seconde. Cette unité de détection est similaire à une quelconque unité de détection optique décrite dans le cadre du premier mode de réalisation. On notera qu'une unité de détection d'un autre type peut être prévue, notamment du type capacitif, magnétique ou inductif. L'axe de référence AR, définissant ladite position angulaire prédéterminée de la roue de seconde 264, est défini par un bras spécifique 288 de cette roue qui présente une largeur différente de celle des autres bras 286 de la roue. Ce bras 288 présente au moins une zone réfléchissante dans la région balayée par le faisceau lumineux 232, émis par la source de lumière, lors de son passage sous l'unité de détection 274. Pour que la roue reste équilibrée, on remarquera que le bras 288 a une épaisseur diminuée car il présente environ une double largeur relativement aux autres bras. L'unité de détection 274 est agencée sur un support 280, notamment un PCB, et introduite dans une ouverture de la platine 272.

[0184] L'unité de traitement 46 (Figure 1) détermine l'axe de référence AR sur la base d'une série de mesures à une fréquence de mesure F_{Ms} donnée, de manière similaire à la détermination de l'axe longitudinal milieu de l'aiguille des minutes dans le premier mode de réalisation de l'unité de détection, et ainsi l'instant de passage de cet axe longitudinal milieu au-dessous de l'axe longitudinal milieu de l'unité de détection 274, laquelle comprend une source de lumière 278 et un détecteur photosensible 276 alignés selon une direction radiale de la roue de seconde. La superposition des axes longitudinaux milieu du bras spécifique et de l'unité de détection définit la position temporelle de référence prédéterminée. Pour reprendre la notation utilisée précédemment (lors de la description du fonctionnement de l'unité de traitement 46), ladite superposition des axes longitudinaux milieu, lors d'une phase de détection, détermine l'instant de passage T_{X0} de l'aiguille des secondes par la position temporelle de référence $X0$. Ainsi, l'horloger doit positionner angulairement l'aiguille des secondes relativement à la roue de seconde pour que, lors de ladite superposition des axes longitudinaux milieu, l'aiguille des secondes indique une seconde courante correspondant à la position temporelle de référence prédéterminée.

[0185] Aux Figures 22 à 24 est représenté un système avantageux de détection du passage de l'indicateur des minutes par au moins une position temporelle de référence de l'affichage de la pièce d'horlogerie 260. Ce dispositif de détection est formé d'un module de détection optique 300, comprenant deux unités de détection, et d'une roue de détection qui est agencée de manière spécifique pour la détection prévue. Chaque unité de détection est similaire à une quelconque unité de détection optique décrite dans le cadre du premier mode de réalisation. A nouveau, on notera qu'une unité de détection d'un autre type peut être prévue, notamment du type capacitif, magnétique ou inductif. La roue de minuterie présente un rapport d'engrenage $R = 1/3$ avec la chaussée qui l'entraîne. Il s'agit donc d'un rapport réducteur entre la chaussée entraîneuse et la roue de minuterie entraînée. A la Figure 22 est encore référencé le barillet 292 qui entraîne la roue de centre 290. Dans une autre variante, le dispositif de détection ne comprend qu'une seule unité de détection.

[0186] Comme l'aiguille des minutes 34M est portée par une chaussée 296 qui ne présente généralement qu'un cylindre central formant son axe et un pignon de petit diamètre, la détection indirecte du passage de l'aiguille des minutes par au moins une position temporelle de référence donnée est ainsi avantageusement prévue par l'intermédiaire d'une détection d'au moins un axe de référence, parmi au moins une série d'axes de référence donnés qui définissent respectivement une série de positions angulaires périodiques prédéterminées, de la roue de minuterie 294 qui est entraînée en rotation par la chaussée 296. Cette roue de minuterie forme un mobile de minuterie dont le pignon 295 engrène avec la roue des heures 298 munie d'un axe cylindrique portant l'aiguille des heures 34H. Elle est agencée dans un évidement de la platine 272. La platine supporte supérieurement la roue de minuterie et porte inférieurement le module de détection optique 300, lequel est donc agencé en-dessous de la roue de minuterie. La platine présente deux ouvertures traversantes qui sont prévues respectivement au-dessus des deux unités de détection pour le passage du faisceau lumineux 232 entre chacune d'elles et la roue de minuterie, plus précisément la région dans laquelle s'étendent les bras 306, 308 de cette roue de minuterie. Chaque unité de détection possède une source lumineuse 302, 302A et un détecteur photosensible 304, 304A. Les deux unités de détection optique sont agencées sur un support commun 310 qui présentent deux ouvertures 312, 312A respectivement alignées sur les deux unités de détection.

[0187] De manière générale, le dispositif de détection comprend au moins une unité de détection associée à l'indicateur des minutes et agencée pour pouvoir détecter au moins une première série de R positions angulaires périodiques données de la roue de minuterie qui sont définies par une première série de R axes de référence respectifs $A1_{S1}$, $A2_{S1}$ et $A3_{S1}$. Deux positions angulaires adjacentes de cette première série présentent entre elles un angle au centre α égal à $360^\circ/R$ où R est ledit rapport d'engrenage ($\alpha = 360^\circ/3 = 120^\circ$ avec le rapport d'engrenage sélectionné dans la variante décrite). Dans la variante décrite, le module de détection est en outre agencé pour pouvoir détecter aussi une deuxième série de R positions angulaires périodiques données de la roue de minuterie qui sont définies par une deuxième série de R axes de référence respectifs $A1_{S2}$, $A2_{S2}$ et $A3_{S2}$ qui sont différents des axes de référence de la première série. Deux positions angulaires adjacentes de la deuxième série présentant entre elles un angle au centre de même valeur que l'angle α , soit égal à $360^\circ/R = 120^\circ$. De manière avantageuse, s'il est prévu S séries de R positions angulaires périodiques, ces S séries étant décalées deux-à-deux d'un angle égal à $360^\circ/(R \cdot S)$. Dans la variante représentée, cet

angle de décalage angulaire est égal à $360^\circ/3 \cdot 2 = \alpha/2 = 60^\circ$.

[0188] Chaque série de positions angulaires périodiques est associée à une pluralité respective de R éléments spécifiques ou évidements spécifiques de la roue de minuterie. Dans la variante représentée, il s'agit d'une pluralité de bras de la roue de minuterie, la première série d'axes de référence étant définis respectivement par trois bras 306 présentant une première largeur et la deuxième série d'axes de référence étant définis respectivement par trois bras 308 présentant une deuxième largeur différente de la première largeur. La détection de chaque axe de référence est effectuée de manière similaire à la détection de l'axe de référence AR et la détermination d'un instant de passage de l'aiguille des minutes par un quelconque de ces axes de référence est également effectuée de manière semblable à la détermination l'instant de passage de l'aiguille des secondes par l'axe de référence AR.

[0189] Dans une variante générale, la roue de minuterie est configurée de manière que chaque position angulaire de la première série présente une même première signature pour le dispositif de correction, de sorte que le circuit électronique de correction peut associer une seule et même première position temporelle de référence à l'indicateur des minutes lors de la détection d'une quelconque position angulaire / d'un quelconque axe de référence de la première série, et de manière que chaque position angulaire de la deuxième série présente une même deuxième signature, différente de la première signature, pour le dispositif de correction, de sorte que le circuit électronique de correction puisse associer une seule et même deuxième position temporelle de référence, différente de la première position temporelle de référence, à l'indicateur des minutes lors de la détection d'une quelconque position angulaire / d'un quelconque axe de référence de la deuxième série. Ainsi, le circuit électronique de correction peut déterminer un deuxième instant de passage T_{Y0} de l'indicateur des minutes par une position temporelle de référence $Y0$ (une quelconque des deux positions temporelles de référence prévues dans la variante décrite) de manière univoque.

[0190] Dans une autre variante générale, le dispositif de détection de détection comprend K unités de détection, K étant un nombre entier supérieur à un, et le nombre de séries de positions angulaires périodiques de la roue de minuterie est un nombre entier S supérieur à zéro, chaque série de positions angulaires périodiques étant associée à une pluralité respective de R éléments spécifiques ou évidements spécifiques de la roue de minuterie. Les K unités de détection sont agencées pour pouvoir chacune détecter les S pluralités de R éléments spécifiques ou évidements spécifiques de la roue de minuterie. Deux quelconques des K unités de détection sont décalées angulairement d'un angle de séparation dont le reste de la division entière par un angle égal à $360^\circ/(R \cdot S)$ est différent de zéro. De préférence, le reste de la division entière est sensiblement égal à $360^\circ/(R \cdot S \cdot K)$. Pour la variante représentée, $360^\circ/(3 \cdot 2 \cdot 2) = 360^\circ/12 = 30^\circ$ pour le reste préféré. L'angle de séparation β entre les deux directions radiales de détection définies par l'agencement des deux unités de détection a une valeur $\beta = 90^\circ$. Le reste de la division entière de β par un angle de $360^\circ/(R \cdot S) = 360^\circ/(3 \cdot 2) = 60^\circ$ donne une valeur de 30° ; ce qui correspond au cas préféré susmentionné.

[0191] Finalement, on remarquera que le nombre de positions temporelles de référence de l'indicateur des minutes 34M pouvant être détecté par le dispositif de correction avec le deuxième mode de réalisation du dispositif de détection est égal à $S \cdot K$. Dans la variante représentée, ce nombre est égal à $2 \cdot 2 = 4$. Ces quatre positions temporelles de référence sont décalées deux-à-deux de 15 minutes (correspondant à un angle de 90°); ce qui est équivalent à la variante avantageuse représentée pour le premier mode de réalisation du dispositif de détection.

Revendications

1. Pièce d'horlogerie (2 ; 112 ; 170 ; 260) comprenant :

- un affichage (12) d'une heure réelle, lequel est formé d'un ensemble d'indicateurs comprenant un indicateur relatif à une unité temporelle donnée de l'heure réelle et indiquant l'unité temporelle courante correspondante ;
- un mouvement mécanique (4 ; 4A ; 92) qui comprend un mécanisme d'entraînement (10) de l'affichage et un résonateur mécanique (14 ; 14A) qui est couplé au mécanisme d'entraînement de manière que son oscillation cadence la marche de ce mécanisme d'entraînement ; et
- un dispositif (6 ; 132) de correction de l'heure réelle qui est indiquée par l'affichage ;

caractérisée en ce que le dispositif de correction de l'heure réelle affichée comprend :

- un dispositif de détection (30) agencé pour permettre la détection, de manière directe ou indirecte, du passage dudit indicateur de l'affichage par au moins une position temporelle de référence de cet affichage qui est relative à ladite unité temporelle de l'heure réelle ;
- un circuit électronique de correction (40), et
- un dispositif de freinage (22 ; 22A ; 22A,106 ; 22B, 114 ; 24C,26C ; 174) du résonateur mécanique ;

en ce que le circuit électronique de correction comprend :

- une unité de commande (48 ; 48A ; 48B) agencée pour commander le dispositif de détection de sorte que ce dispositif de détection effectue, durant une phase de détection, une pluralité de mesures successives et fournisse une pluralité de valeurs de mesure correspondantes,
- une unité de traitement (46) agencée pour pouvoir recevoir du dispositif de détection ladite pluralité de valeurs de mesure et la traiter, et
- une base de temps interne (42) comprenant un circuit d'horloge (44) et générant un temps réel de référence composé au moins d'une unité temporelle courante de référence correspondant à ladite unité temporelle courante de l'heure réelle affichée ;

en ce que le circuit électronique de correction est agencé et la durée de la phase de détection est prévue pour permettre au dispositif de détection de détecter, alors que le mécanisme d'entraînement est en marche et cadencé par le résonateur mécanique oscillant, au moins un passage dudit indicateur par une quelconque position temporelle de référence de ladite au moins une position temporelle de référence ; **en ce que** le circuit électronique de correction est agencé pour pouvoir déterminer au moins un instant de passage dudit indicateur par ladite quelconque position temporelle de référence sur la base d'au moins une valeur de mesure de ladite pluralité de valeurs de mesure et un instant de mesure correspondant qui est déterminé par la base de temps interne et composé au moins d'une valeur correspondante de ladite unité temporelle courante de référence ; **en ce que** le circuit électronique de correction est en outre agencé pour pouvoir déterminer une erreur temporelle dudit indicateur, en comparant ledit au moins un instant de passage avec ladite position temporelle de référence, et une erreur temporelle globale (T_{Err}) pour ledit ensemble d'indicateurs de l'affichage en fonction au moins de ladite erreur temporelle dudit indicateur ; **et en ce que** l'unité de commande est agencée pour pouvoir commander le dispositif de freinage en fonction de ladite erreur temporelle globale, le dispositif de freinage étant agencé pour pouvoir agir, au cours d'une période de correction, sur le résonateur mécanique, en fonction de ladite erreur temporelle globale, pour varier la marche du mécanisme d'entraînement de l'affichage de sorte à corriger au moins en partie cette erreur temporelle globale.

2. Pièce d'horlogerie selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** l'unité de commande (48 ; 48A ; 48B) et/ou l'unité de traitement (46) est/sont relié(s) à la base de temps interne (42) de manière à pouvoir mettre en mémoire ledit temps réel de référence à au moins un instant donné de la phase de détection ; **en ce que** le circuit électronique de correction (40) est agencé pour pouvoir déterminer, lors de la phase de détection, au moins un premier instant de mesure et un deuxième instant de mesure correspondant respectivement à au moins une première mesure et une deuxième mesure parmi ladite pluralité de mesures successives, ces premier et deuxième instants de mesure étant déterminés par la base de temps interne, le premier instant de mesure étant composé au moins d'une première valeur correspondante de ladite unité temporelle courante de référence et le deuxième instant de mesure étant composé au moins d'une deuxième valeur de cette unité temporelle courante de référence ; le circuit électronique de correction étant agencé pour pouvoir ensuite calculer, en fonction desdits au moins un premier instant de mesure et un deuxième instant de mesure et des valeurs de mesure correspondantes, un troisième instant qui détermine ledit instant de passage dudit indicateur par ladite position temporelle de référence.
3. Pièce d'horlogerie selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle ledit affichage (12) comprend un indicateur des heures (34H) donnant l'heure courante, un indicateur des minutes (34M) donnant la minute courante et un indicateur des secondes (34S ; 262) donnant la seconde courante de l'heure réelle affichée ; et dans laquelle ledit temps réel de référence généré par la base de temps interne est composé au moins d'une seconde courante de référence et d'une minute courante de référence ; **caractérisée en ce que** le dispositif de détection (30) est agencé pour pouvoir détecter le passage de l'indicateur des secondes par au moins une première position temporelle de référence de l'affichage et le passage de l'indicateur des minutes par au moins une deuxième position temporelle de référence de cet affichage ; **en ce que** le circuit électronique de correction (40) est agencé et la durée de la phase de détection est prévue pour permettre au dispositif de détection de détecter au cours de cette phase de détection, alors que ledit mécanisme d'entraînement (10) est en marche et cadencé par le résonateur mécanique (14) oscillant, au moins un passage de l'indicateur des secondes par une quelconque première position temporelle de référence de ladite au moins une première position de référence et au moins un passage de l'indicateur des minutes par une quelconque deuxième position temporelle de référence de ladite au moins une deuxième position temporelle de référence ; **en ce que** le circuit électronique de correction (40) est agencé pour pouvoir déterminer, en association avec la base de temps interne (42) et sur la base de valeurs de mesure de ladite pluralité de valeurs de mesure, au moins un premier instant de passage de l'indicateur des secondes par ladite quelconque première position temporelle de référence, ce premier instant de passage étant composé au moins d'une valeur correspondante de ladite seconde courante de référence, et au moins un deuxième instant de passage de l'indicateur des minutes par ladite quelconque deuxième position temporelle de référence, ce deuxième instant de passage étant composé au moins d'une valeur correspondante de ladite minute courante de référence ; **et en ce que** le circuit électronique de correction (40) est

agencé pour pouvoir déterminer une première erreur temporelle pour ledit indicateur des secondes (34S ; 262), en comparant ledit au moins un premier instant de passage avec ladite première position temporelle de référence, et une deuxième erreur temporelle pour ledit indicateur des minutes (34M) en comparant ledit au moins un deuxième instant de passage avec ladite deuxième position temporelle de référence ; le circuit électronique de correction étant agencé pour pouvoir en outre déterminer ladite erreur temporelle globale (T_{Err}) pour l'affichage (12) en fonction de ladite première erreur temporelle et de ladite deuxième erreur temporelle.

4. Pièce d'horlogerie selon la revendication 3, **caractérisée en ce qu'**au moins l'indicateur des minutes, parmi ledit ensemble d'indicateurs, est du type analogique, cet indicateur des minutes affichant un nombre entier positif de minutes et une partie fractionnaire qui est variable ; **en ce que** la pièce d'horlogerie comprend en outre un dispositif de mise à l'heure qui est agencé de manière à rompre momentanément la liaison cinématique entre l'indicateur des minutes et l'indicateur des secondes pour effectuer une mise à l'heure dudit affichage ; et **en ce que** le circuit électronique de correction est agencé pour pouvoir déterminer ladite erreur temporelle globale (T_{Err}) pour ledit affichage en outre en fonction d'au moins un critère de correction prédéfini pour l'indicateur des secondes et/ou l'indicateur des minutes.
5. Pièce d'horlogerie selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** ladite erreur temporelle globale est déterminée de sorte à corriger sensiblement la première erreur temporelle pour l'indicateur des secondes lors de ladite période de correction.
6. Pièce d'horlogerie selon la revendication 5, **caractérisée en ce que** ladite erreur temporelle globale est déterminée de sorte que l'indicateur des minutes présente à la fin de ladite période de correction, pour le cas où cet indicateur des minutes a alors un déphasage temporel correspondant à un retard, au plus un retard maximum qui est sélectionné dans la plage de valeurs de ladite partie fractionnaire de la minute courante affichée.
7. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que**, lors de la phase de détection, le dispositif de détection (30) est activé de manière à effectuer ladite pluralité de mesures successives à au moins une fréquence de mesure déterminée par ledit circuit d'horloge (44) de la base de temps interne (42), ce circuit d'horloge fournissant un signal digital périodique à la fréquence de mesure directement au dispositif de détection ou indirectement à ce dispositif de détection via l'unité de commande (48 ; 48A ; 48B).
8. Pièce d'horlogerie selon la revendication 7 dépendante d'une quelconque des revendications 3 à 6, **caractérisée en ce que** ladite fréquence de mesure est variable ; et **en ce que** le dispositif de correction (6 ; 132) est agencé pour pouvoir détecter le passage de l'indicateur des secondes (34S ; 262) par ladite au moins une première position temporelle de référence avec une première fréquence de mesure FS_{Mes} et le passage de l'indicateur des minutes (34M) par ladite au moins une deuxième position temporelle de référence avec une deuxième fréquence de mesure FM_{Mes} qui est inférieure à la première fréquence de mesure.
9. Pièce d'horlogerie selon la revendication 8, **caractérisée en ce que** la première fréquence de mesure FS_{Mes} est prévue inférieure au triple d'une fréquence de consigne pour ledit résonateur mécanique et supérieure ou égale à 1 Hz, soit $1\text{ Hz} \leq FS_{Mes} < 3 \cdot F0c$, alors que la deuxième fréquence de mesure FM_{Mes} est prévue inférieure ou égale à 1/8 Hz ($FM_{Mes} \leq 1/8\text{ Hz}$).
10. Pièce d'horlogerie selon la revendication 8 ou 9, **caractérisée en ce que** ladite première fréquence de mesure FS_{Mes} a une valeur différente du double de la fréquence de consigne $F0c$ divisée par un nombre entier positif N, soit $FS_{Mes} \neq 2 \cdot F0c/N$.
11. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce que** le dispositif (6 ; 132) de correction de l'heure réelle affichée comprend un capteur (192) associé audit résonateur mécanique (14A) et agencé pour pouvoir détecter les passages du résonateur mécanique oscillant par sa position neutre, correspondant à sa position d'énergie potentielle minimale ; et **en ce que**, lors de la phase de détection, ledit dispositif de détection (30) est activé et commandé par ladite unité de commande (48 ; 48A ; 48B) associée à la base de temps interne (42) pour effectuer ladite pluralité de mesures successives chacune suite à la détection d'un passage du résonateur mécanique par sa position neutre et après un certain déphasage temporel depuis cette détection.
12. Pièce d'horlogerie selon la revendication 11, **caractérisée en ce que** ledit déphasage temporel est compris entre $T0c/8$ et $3 \cdot T0c/8$, où $T0c$ est la période de consigne égale à l'inverse de la fréquence de consigne.

13. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le dispositif de détection (30) est agencé dans la pièce d'horlogerie de manière à pouvoir effectuer une détection directe dudit passage dudit indicateur de l'affichage par ladite au moins une position temporelle de référence, cet indicateur étant agencé pour pouvoir être détecté lui-même par le dispositif de détection.
14. Pièce d'horlogerie selon la revendication 13, **caractérisée en ce que** le dispositif de détection (30) est du type optique et comprend au moins une source de lumière (228), chacune apte à émettre un faisceau de lumière, et au moins un détecteur photosensible (227) chacun apte à capter de la lumière émise par une source de lumière de ladite au moins une source de lumière, ledit indicateur présentant une surface de réflexion (RS1, RS2) qui traverse le/les faisceau(x) de lumière émis par ladite au moins une source de lumière lors de passages de cet indicateur par ladite au moins une position temporelle de référence, le dispositif de détection et la surface de réflexion étant configurés de manière que cette surface de réflexion puisse réfléchir, lors d'un passage dudit indicateur par une quelconque position temporelle de référence de ladite au moins une position temporelle de référence, de la lumière incidente, fournie par une source de lumière de ladite au moins une source de lumière, au moins partiellement en direction d'un détecteur photosensible respectif dudit au moins un détecteur photosensible.
15. Pièce d'horlogerie selon la revendication 14, **caractérisée en ce que** ladite surface de réflexion est formée par une surface inférieure dudit indicateur, ladite au moins une source de lumière et ledit au moins un détecteur photosensible étant supportés par un cadran (32) de la pièce d'horlogerie ou logés au moins partiellement dans le cadran, ou situés sous le cadran qui est alors agencé pour permettre au/aux faisceau(x) de lumière de le traverser.
16. Pièce d'horlogerie selon la revendication 14 ou 15, **caractérisée en ce que** la lumière émise par ladite au moins une source de lumière n'est pas visible pour l'œil humain.
17. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications 1 à 12, **caractérisée en ce que** le dispositif de détection est agencé dans la pièce d'horlogerie de manière à pouvoir effectuer une détection indirecte dudit passage dudit indicateur de l'affichage par ladite au moins une position temporelle de référence, le dispositif de détection étant agencé pour pouvoir détecter au moins une position angulaire prédéterminée respective d'une roue solidaire (264) de l'indicateur ou d'une roue de détection (294), formant le mécanisme d'entraînement ou complémentaire à celui-ci, qui entraîne ou qui est entraînée par la roue solidaire de l'indicateur ; et **en ce que** la roue de détection (294), le cas échéant, est sélectionnée ou configurée de manière à présenter une vitesse de rotation inférieure à celle d'un élément tournant (296) dudit mécanisme d'entraînement qui est solidaire dudit indicateur et un rapport d'engrenage R avec ledit élément tournant égal à un nombre entier positif ou à son inverse selon que la roue de détection est respectivement entraîneuse ou entraînée.
18. Pièce d'horlogerie selon la revendication 17, dans laquelle ledit indicateur est un indicateur des secondes (262) ; **caractérisée en ce que** ladite roue solidaire de l'indicateur est une roue de seconde (264), le dispositif de détection comprenant une unité de détection (274) associée à l'indicateur des secondes et agencée pour pouvoir détecter une position angulaire prédéterminée de la roue de seconde.
19. Pièce d'horlogerie selon la revendication 17, dans laquelle ledit indicateur est un indicateur des minutes (34M) ; **caractérisée en ce que** ladite roue de détection est une roue de minuterie (294) qui est entraînée en rotation par une chaussée (296) formant l'élément tournant solidaire de l'indicateur des minutes ; et **en ce que** le dispositif de détection comprend au moins une unité de détection (302, 304) associée à l'indicateur des minutes et agencée pour pouvoir détecter au moins une première série de R positions angulaires périodiques données de la roue de minuterie, deux positions angulaires adjacentes de cette première série présentant entre elles un angle au centre égal à $360^\circ / R$.
20. Pièce d'horlogerie selon la revendication 19, **caractérisée en ce que** ladite unité de détection (302, 304) est agencée pour pouvoir détecter également une deuxième série de R positions angulaires périodiques données de la roue de minuterie (294) qui sont différentes des positions angulaires de la première série, deux positions angulaires adjacentes de la deuxième série présentant entre elles un angle au centre de $360^\circ / R$; et **en ce que** la roue de minuterie est configurée de manière que chaque position angulaire de la première série présente une même première signature pour le dispositif de correction (6 ; 132), de sorte que le circuit électronique de correction (40) peut associer une seule et même première position temporelle de référence à l'indicateur des minutes lors de la détection d'une quelconque position angulaire de la première série, et de manière que chaque position angulaire de la deuxième série présente une même deuxième signature, différente de la première signature, pour le dispositif de correction, de sorte que ce circuit électronique de correction puisse associer une seule et même deuxième position temporelle de référence, différente de la première position temporelle de référence, à l'indicateur des minutes lors de la détection

d'une quelconque position angulaire de la deuxième série.

- 5 21. Pièce d'horlogerie selon la revendication 19 ou 20, **caractérisée en ce que** le dispositif de détection de détection comprend K unités de détection (302,304 ; 302A,304A), K étant un nombre entier supérieur à un, et le nombre de séries de positions angulaires périodiques de la roue de minuterie (294) est un nombre entier S supérieur à zéro, chaque série de positions angulaires périodiques étant associée à une pluralité respective de R éléments spécifiques ou évidements spécifiques de la roue de minuterie, les K unités de détection étant agencées pour pouvoir chacune détecter les S pluralités de R éléments spécifiques ou évidements spécifiques de la roue de minuterie ; et **en ce**
- 10 **que** deux quelconques des K unités de détection sont décalées angulairement d'un angle de séparation dont le reste de la division entière par un angle égal à $360^\circ/(R \cdot S)$ est différent de zéro, le nombre de positions temporelles de référence de l'indicateur des minutes pouvant être détecté par le dispositif de correction étant égal à $S \cdot K$.
- 15 22. Pièce d'horlogerie selon la revendication 21, **caractérisée en ce que** les S séries de positions angulaires périodiques sont décalées deux-à-deux d'un angle égal à $360^\circ/(R \cdot S)$ et ledit reste de la division entière est sensiblement égal à $360^\circ/(R \cdot S \cdot K)$.
- 20 23. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications 19 à 22, **caractérisée en ce qu'elle** comprend une platine (272) qui supporte supérieurement la roue de minuterie (294) et qui porte l'unité de détection, laquelle est agencée en-dessous de la roue de minuterie.
- 25 24. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications 18 à 23, **caractérisée en ce que** chaque unité de détection est du type optique et comprend une source de lumière (302, 302A) et un détecteur photosensible (304, 304A) alignés radialement.
- 30 25. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le dispositif de correction (6 ; 132) est agencé de sorte à être activé périodiquement, de manière automatique, pour effectuer un cycle de correction au cours duquel le dispositif de détection est activé pour une dite phase de détection, de sorte à permettre au circuit électronique de correction (40) de déterminer une dite erreur temporelle globale, et le dispositif de freinage est ensuite activé pour corriger, durant une dite période de correction, au moins en majeure partie cette erreur temporelle globale.
- 35 26. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'elle** comprend en outre un organe de commande actionnable par un utilisateur de la pièce d'horlogerie, cet organe de commande et le dispositif de correction étant agencés de manière à permettre à un utilisateur d'activer le dispositif de correction pour que ce dispositif de correction effectue un cycle de correction au cours duquel le dispositif de détection est activé pour une dite phase de détection, de sorte à déterminer une dite erreur temporelle globale, et le dispositif de freinage est activé pour ensuite corriger, durant une dite période de correction, au moins en majeure partie cette erreur temporelle globale.
- 40 27. Pièce d'horlogerie selon la revendication 26, **caractérisée en ce que** ledit organe de commande est formé par une couronne associée à une tige de commande qui servent également à une mise à l'heure réelle de l'affichage de manière manuelle.
- 45 28. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le dispositif de correction (6) comprend en outre une unité de communication sans fil (50) qui est agencée pour pouvoir communiquer avec un système extérieur apte à fournir l'heure réelle exacte, le dispositif de correction étant agencé pour pouvoir synchroniser le temps réel de référence sur un temps réel exact, composé d'unités temporelles courantes de l'heure réelle exacte correspondant à celles du temps réel de référence, lors d'une phase de synchronisation au cours de laquelle l'unité de communication est activée de sorte à recevoir du système extérieur l'heure réelle exacte ou ledit temps réel exact.
- 50 29. Pièce d'horlogerie selon la revendication 28, **caractérisée en ce que** ladite unité de communication (50) est activée périodiquement, de manière automatique, pour effectuer une synchronisation du temps réel de référence sur ledit temps réel exact au cours d'une dite phase de synchronisation.
- 55 30. Pièce d'horlogerie selon la revendication 28 ou 29, **caractérisée en ce qu'elle** comprend un organe de commande pour la synchronisation du temps réel de référence sur ledit temps réel exact, cet organe de commande étant actionnable par un utilisateur de la pièce d'horlogerie, l'organe de commande pour la synchronisation du temps réel

de référence sur ledit temps réel exact et le dispositif de correction étant agencés de sorte à permettre à un utilisateur d'activer le dispositif de correction pour que ce dispositif de correction effectue une synchronisation du temps réel de référence sur ledit temps réel exact au cours d'une dite phase de synchronisation.

- 5 **31.** Pièce d'horlogerie selon la revendication 30, **caractérisée en ce que** ledit organe pour la synchronisation du temps réel de référence sur ledit temps réel exact est formé par une couronne associée à une tige de commande qui servent également à une mise à l'heure réelle de l'affichage de manière manuelle.

- 10 **32.** Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'elle** comprend un dispositif (144 ; 192) de détermination du passage dudit résonateur mécanique oscillant par au moins une position spécifique, le dispositif de détermination de cette position spécifique du résonateur mécanique permettant à ladite unité de commande de déterminer un instant spécifique auquel le résonateur mécanique oscillant se trouve dans la position spécifique ; **et en ce que** l'unité de commande est agencée de manière qu'une première activation du dispositif de freinage intervenant au début de la période de correction, pour engendrer une première interaction entre ce dispositif de freinage et le résonateur mécanique, soit déclenchée en fonction dudit instant spécifique.

- 15 **33.** Pièce d'horlogerie selon la revendication 32 dans laquelle le mouvement horloger comprend un échappement associé au résonateur mécanique ; **caractérisée en ce que** le dispositif de freinage comprend un actionneur (174) muni d'un organe de stop (184) pour le résonateur mécanique oscillant, l'organe de stop pouvant être actionné entre une position de non-interaction avec le résonateur mécanique et une position d'interaction dans laquelle cet organe de stop forme une butée pour une partie saillante (190) du résonateur mécanique oscillant, la partie saillante étant agencée pour venir buter contre l'organe de stop lorsque ce dernier est dans sa position d'interaction, l'organe de stop dans sa position d'interaction et la partie saillante définissant une position de stop (θ_B) pour le résonateur mécanique oscillant qui est différente de sa position neutre, correspondant à l'état d'énergie potentielle minimale du résonateur mécanique, et inférieure à une amplitude minimale du résonateur mécanique oscillant dans sa plage de fonctionnement utile, ladite position de stop étant en outre prévue de sorte que le résonateur mécanique oscillant soit arrêté par l'organe de stop hors d'une zone de couplage (θ_Z) de l'échappement avec résonateur mécanique oscillant ; **et en ce que** le circuit de détermination de ladite position spécifique du résonateur mécanique oscillant et ladite unité de commande sont agencés de manière à pouvoir activer l'actionneur, lorsque que ladite erreur temporelle globale déterminée par le circuit électronique de correction correspond à un retard dans l'heure réelle affichée qu'il est prévu de corriger, de manière que cet actionneur actionne son organe de stop pour que la partie saillante (190) du résonateur mécanique oscillant vienne buter contre cet organe de stop (184) dans une pluralité de demi-alternances du résonateur mécanique oscillant qui suivent chacune son passage par ladite position neutre, de sorte à mettre prématurément un terme à chacune de ces demi-alternances sans bloquer le résonateur mécanique, le nombre de demi-alternances de ladite pluralité de demi-alternances ou une durée de la période de correction pendant laquelle l'organe de stop est maintenu dans sa position d'interaction étant déterminé(e) par ledit retard à corriger.

- 20 **34.** Pièce d'horlogerie selon la revendication 33, **caractérisée en ce que** le dispositif de détermination d'au moins une position spécifique du résonateur mécanique oscillant comprend un détecteur (192) de position et de sens du mouvement du résonateur mécanique, ce détecteur et le résonateur mécanique étant agencés pour permettre la détection du passage du résonateur mécanique oscillant par ladite position spécifique ('0') dans chaque période de son oscillation et permettre au circuit électronique de correction (196) de déterminer le sens du mouvement du résonateur mécanique oscillant dans l'alternance au cours de laquelle est effectuée une détection du passage du résonateur mécanique oscillant par la position spécifique ; **et en ce que** le circuit électronique de correction est agencé, pour pouvoir corriger au moins partiellement ledit retard, de manière qu'il puisse commander l'actionneur (174) pour que cet actionneur actionne son organe de stop de sa position de non interaction à sa position d'interaction alors que le résonateur mécanique oscillant est situé du côté de sa position neutre relativement à ladite position de stop, et pour que l'actionneur maintienne ensuite l'organe de stop dans cette position d'interaction pour une durée déterminée qui soit suffisante pour que la partie saillante du résonateur mécanique oscillant vienne buter au moins une fois contre l'organe de stop.

- 25 **35.** Pièce d'horlogerie selon la revendication 34, **caractérisée en ce que** ledit actionneur (174) est du type bistable et est agencé pour pouvoir rester dans la position de non-interaction et dans la position d'interaction sans maintenir une alimentation de cet actionneur ; **et en ce que** le circuit électronique de correction et l'actionneur sont agencés de manière que, pour corriger au moins en partie ledit retard, l'organe de stop (184) est maintenu dans sa position d'interaction, suite à un actionnement de l'organe de stop de sa position de non interaction à sa position d'interaction alors que le résonateur mécanique oscillant est situé du côté de sa position neutre relativement à ladite position de

stop, jusqu'à la fin de ladite période de correction au cours de laquelle la partie saillante (190) du résonateur mécanique oscillant vient buter périodiquement plusieurs fois contre l'organe de stop.

36. Pièce d'horlogerie selon la revendications 34 ou 35, **caractérisée en ce que** ladite unité de commande comprend un circuit de mesure qui est associé audit détecteur de position et de sens du mouvement du résonateur mécanique, ce circuit de mesure comprenant un circuit d'horloge (42), fournissant un signal d'horloge à une fréquence déterminée ($F_{0c}/2$), et un circuit comparateur (200) permettant de mesurer une dérive temporelle du résonateur mécanique oscillant relativement à sa fréquence de consigne, le circuit de mesure étant agencé pour pouvoir mesurer un intervalle de temps correspondant à une dérive temporelle du résonateur mécanique depuis le début de la période de correction, l'unité de commande étant agencée pour terminer la période de correction dès que ledit intervalle de temps est égal ou supérieur à ladite erreur temporelle globale déterminée au préalable par le circuit électronique de correction.
37. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications 1 à 32, **caractérisée en ce que** le dispositif de freinage est formé par un actionneur électromécanique (22A ; 22B) qui est agencé pour pouvoir appliquer des impulsions de freinage au résonateur mécanique, et l'unité de commande comprend un dispositif générateur d'au moins une fréquence (62) qui est agencé de manière à pouvoir générer un premier signal digital périodique (S_{FS}) à une fréquence F_{SUP} ; **en ce que** l'unité de commande (48A, 48B) est agencée pour fournir au dispositif de freinage, lorsque ladite erreur temporelle globale déterminée au préalable par le circuit électronique de correction correspond à un retard dans l'heure affichée qu'il est prévu de corriger, un premier signal de commande (S_{C1} , $S_{Act}(S_{FS})$) dérivé du premier signal digital périodique, durant une première période de correction, pour activer le dispositif de freinage de manière que ce dispositif de freinage génère une première série d'impulsions de freinage périodiques qui sont appliquées au résonateur mécanique à ladite fréquence F_{SUP} , la durée de la première période de correction et donc le nombre d'impulsions de freinage périodiques dans ladite première série étant déterminés par ledit retard à corriger ; **et en ce que** la fréquence F_{SUP} est prévue et le dispositif de freinage est agencé de manière que ladite première série d'impulsions de freinage périodiques à la fréquence F_{SUP} puisse engendrer, au cours de ladite première période de correction, une première phase synchrone dans laquelle l'oscillation du résonateur mécanique (14) est synchronisée sur une fréquence de correction F_{Cor} qui est supérieure à une fréquence de consigne F_{0c} prévue pour le résonateur mécanique.
38. Pièce d'horlogerie selon la revendication 37, **caractérisée en ce que** ledit dispositif générateur d'au moins une fréquence est un dispositif générateur de fréquences (62, 142) qui est agencé de manière à pouvoir en outre générer un deuxième signal digital périodique (S_{FI}) à une fréquence F_{INF} ; **en ce que** l'unité de commande (48B) est agencée pour pouvoir fournir au dispositif de freinage, lorsque ladite erreur temporelle globale déterminée au préalable par le circuit électronique de correction correspond à une avance dans l'heure affichée qu'il est prévu de corriger, un deuxième signal de commande ($S_{Act}(S_{FI})$) dérivé du deuxième signal digital périodique, durant une deuxième période de correction, pour activer le dispositif de freinage de manière que ce dispositif de freinage génère une deuxième série d'impulsions de freinage périodiques qui sont appliquées au résonateur mécanique à ladite fréquence F_{INF} , la durée de la deuxième période de correction et donc le nombre d'impulsions de freinage périodiques dans ladite deuxième série étant déterminés par ladite avance à corriger ; **et en ce que** la fréquence F_{INF} est prévue et le dispositif de freinage est agencé de manière que ladite deuxième série d'impulsions de freinage périodiques à la fréquence F_{INF} puisse engendrer, au cours de ladite deuxième période de correction, une deuxième phase synchrone dans laquelle l'oscillation du résonateur mécanique est synchronisée sur une fréquence de correction F_{Cor} qui est inférieure à la fréquence de consigne F_{0c} prévue pour le résonateur mécanique.
39. Pièce d'horlogerie selon la revendication 37, dans laquelle le mouvement horloger comprend un échappement associé au résonateur mécanique ; **caractérisée en ce que** ladite fréquence F_{SUP} et la durée des impulsions de freinage de la première série d'impulsions de freinage périodiques sont sélectionnées de manière que, lors de ladite première phase synchrone, les impulsions de freinage de ladite première série interviennent chacune hors d'une zone de couplage (θ_{Z1}) entre le résonateur mécanique oscillant et l'échappement.
40. Pièce d'horlogerie selon la revendication 38, dans laquelle le mouvement horloger comprend un échappement associé au résonateur mécanique ; **caractérisée en ce que** ladite fréquence F_{INF} et la durée des impulsions de freinage de la deuxième série d'impulsions de freinage périodiques sont sélectionnées de manière que, lors de ladite deuxième phase synchrone, les impulsions de freinage de ladite deuxième série interviennent chacune hors d'une zone de couplage (θ_{Z1}) entre le résonateur mécanique oscillant et l'échappement.
41. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications 37 à 40, **caractérisée en ce que** le dispositif générateur

d'au moins une fréquence est un dispositif générateur de fréquences (62,142,144) qui est agencé de manière à pouvoir en outre générer un troisième signal digital périodique (S_{F0c}) à la fréquence de consigne $F0c$ pour le résonateur mécanique ; **en ce que** l'unité de commande est agencée pour pouvoir fournir au dispositif de freinage un troisième signal de commande ($S_{Act}(S_{F0c})$) dérivé du troisième signal digital périodique, durant une période préliminaire précédant la période de correction, pour activer le dispositif de freinage de manière que ce dispositif de freinage génère une série préliminaire d'impulsions de freinage périodiques qui sont appliquées au résonateur mécanique à la fréquence de consigne $F0c$, la durée de ces impulsions de freinage et la force de freinage appliquée au résonateur mécanique oscillant lors de la série préliminaire d'impulsions de freinage périodiques étant prévues de manière qu'aucune de ces impulsions de freinage ne puisse arrêter le résonateur mécanique oscillant dans une zone de couplage (θ_{Z1}) du résonateur mécanique oscillant avec l'échappement ; l'unité de commande étant agencée de sorte que la durée de la période préliminaire et la force de freinage appliquée au résonateur mécanique oscillant lors de la série préliminaire d'impulsions de freinage périodiques permettent d'engendrer au moins en fin de la période préliminaire une phase synchrone préliminaire dans laquelle l'oscillation du résonateur mécanique est synchronisée sur la fréquence de consigne $F0c$; **et en ce que** l'unité de commande est agencée de sorte que le déclenchement d'une première impulsion de freinage de la première série d'impulsions de freinage périodiques, lors de ladite période de correction, intervient après un intervalle de temps déterminé relativement à un instant auquel est déclenchée la dernière impulsion de freinage de la période préliminaire, l'instant du déclenchement de ladite première impulsion de freinage et la force de freinage appliquée au résonateur mécanique oscillant lors de ladite première série d'impulsions de freinage périodiques étant prévus de manière que ladite première phase synchrone à ladite fréquence de correction FS_{Cor} débute dès ladite première impulsion de freinage ou une deuxième impulsion de freinage.

42. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'elle** comprend un dispositif de blocage (22 ; 106 ; 114 ; 174) du résonateur mécanique ; **et en ce que** l'unité de commande est agencée pour pouvoir fournir au dispositif de blocage, lorsque ladite erreur temporelle globale déterminée au préalable par le circuit électronique de correction correspond à une avance dans l'heure affichée qu'il est prévu de corriger, un quatrième signal de commande qui active le dispositif de blocage de manière que ce dispositif de blocage bloque ladite oscillation du résonateur mécanique durant ladite période de correction qui est déterminée par ladite avance à corriger, de sorte à stopper la marche dudit mécanisme d'entraînement durant cette période de correction.

43. Pièce d'horlogerie selon la revendication 42, **caractérisée en ce que** ladite période de correction a une durée sensiblement égale à ladite avance à corriger.

44. Pièce d'horlogerie selon la revendication 42 ou 43, **caractérisée en ce que** le dispositif de blocage est formé par un dispositif distinct (114) dudit dispositif de freinage et comprend une bascule bistable (115), la première position stable de cette bascule bistable correspondant à une position de non interaction avec le résonateur mécanique et sa seconde position stable correspondant à une position d'arrêt et de blocage du résonateur mécanique.

45. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications 42 à 44, **caractérisée en ce que** le dispositif de blocage (106) forme un verrou pour le résonateur mécanique, une partie (107) de ce dispositif de blocage venant s'insérer dans un creux (108), agencé dans un élément circulaire (100) du balancier formant le résonateur mécanique, lorsque le dispositif de blocage est activé pour bloquer ce résonateur mécanique durant la période de correction d'une avance donnée.

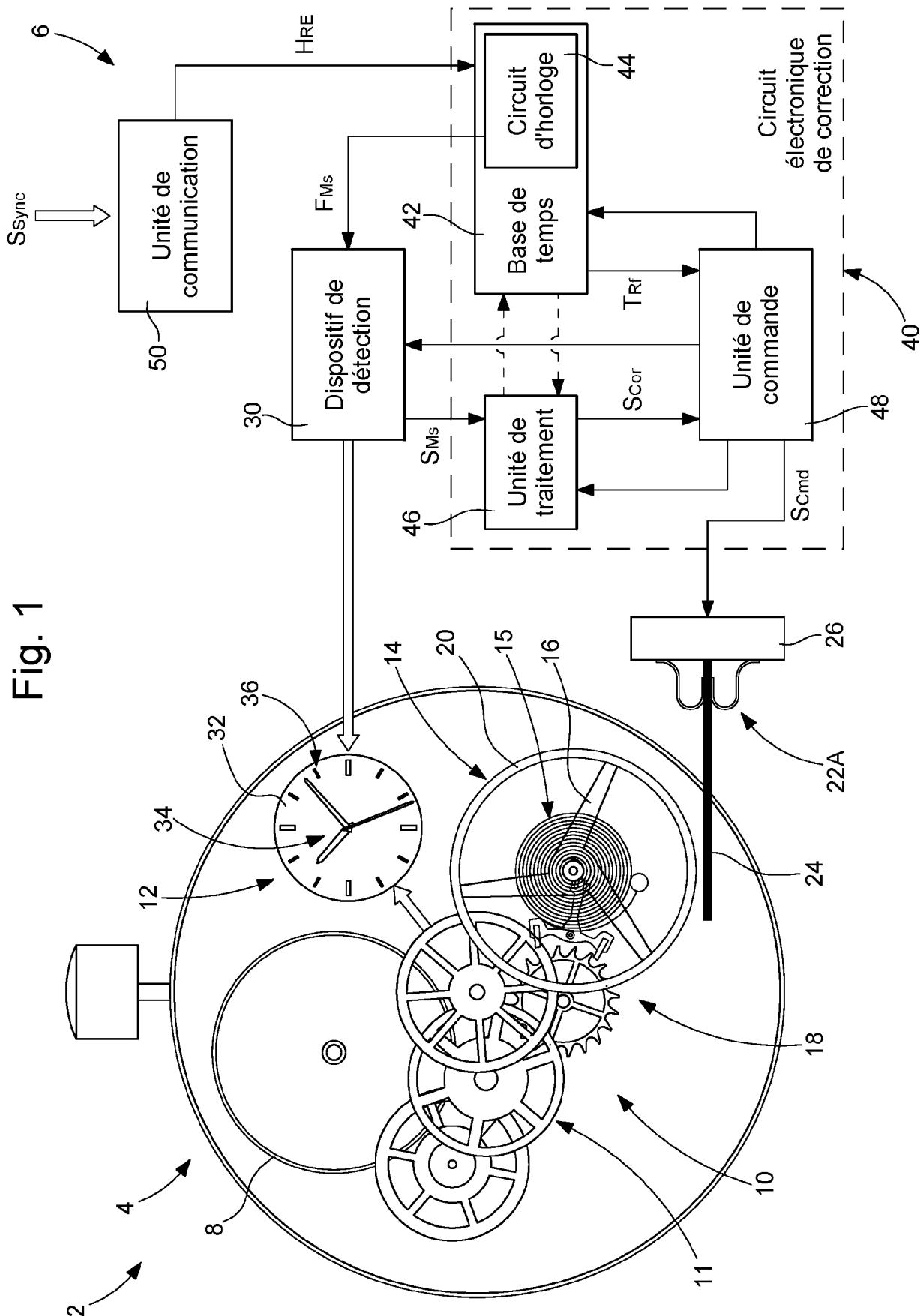


Fig. 2

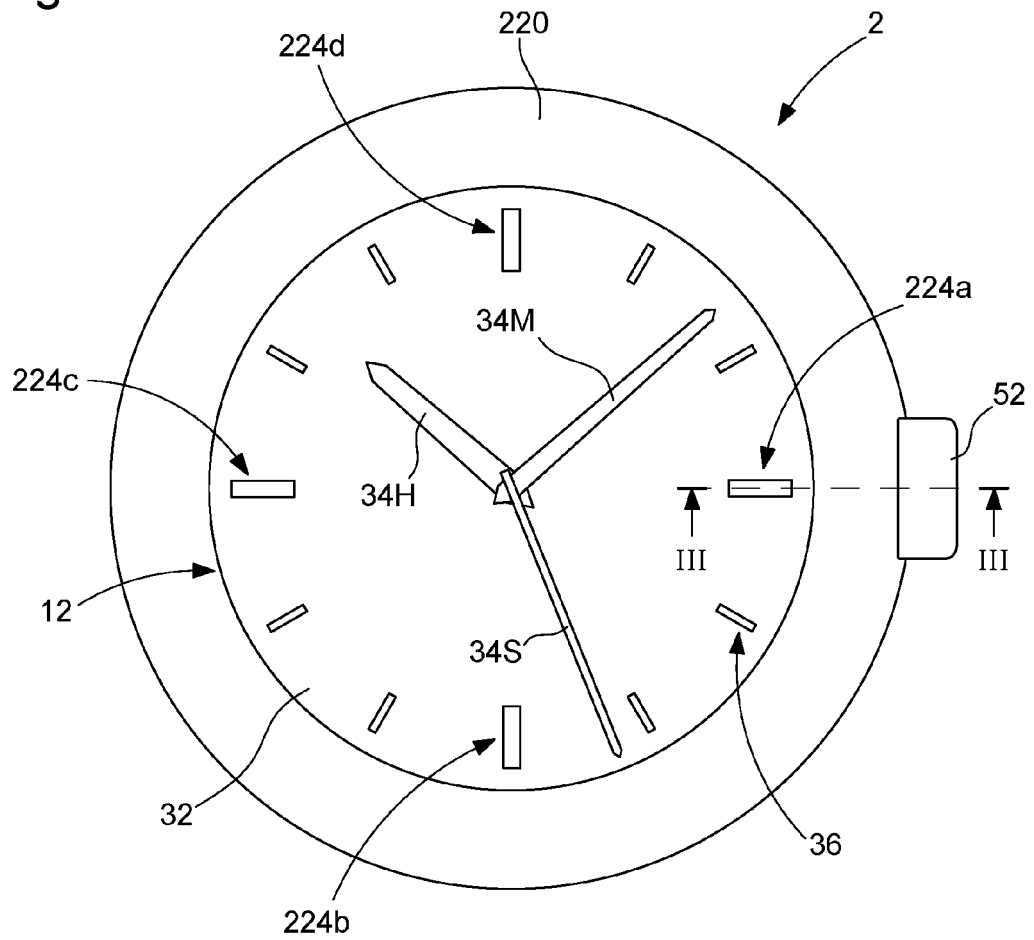


Fig. 3

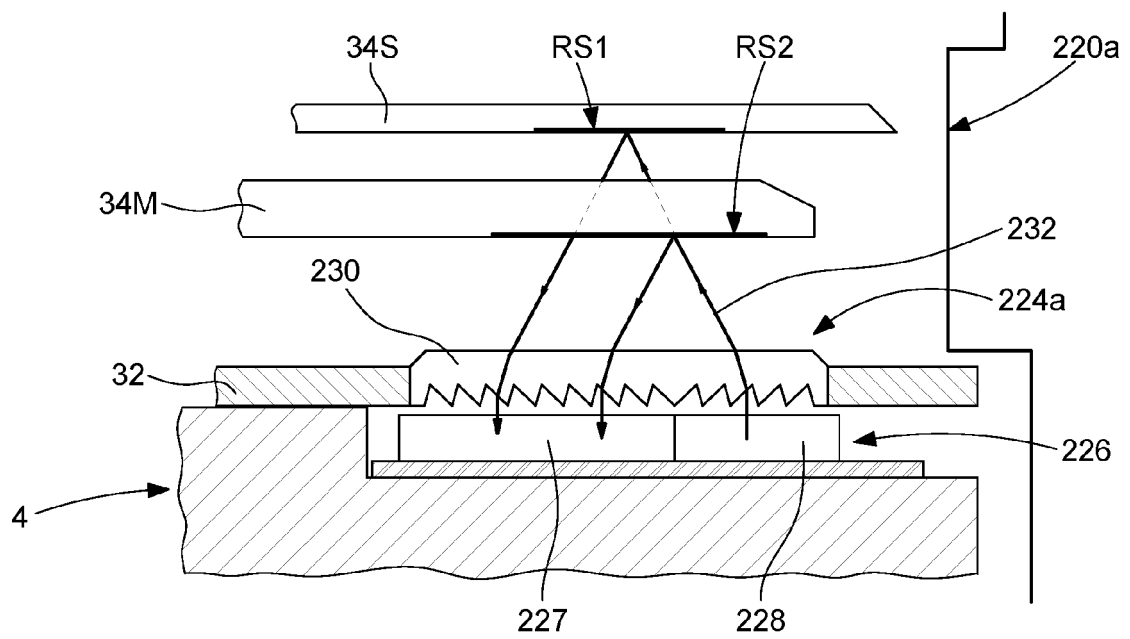


Fig. 4A

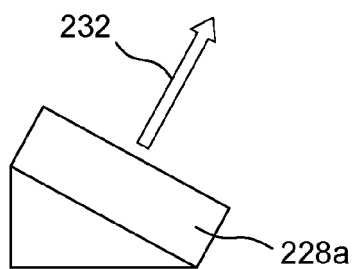


Fig. 4B

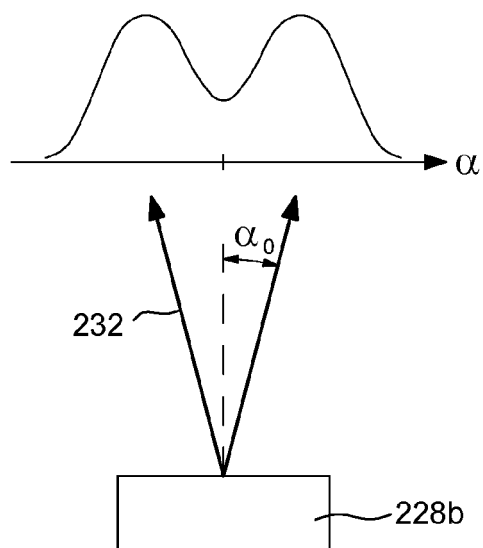


Fig. 4C

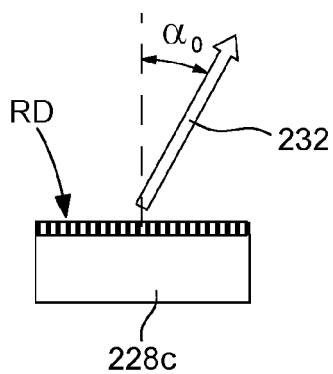


Fig. 4D

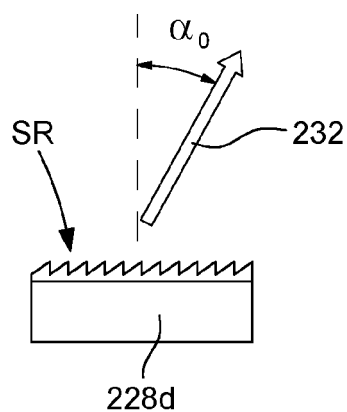


Fig. 5A

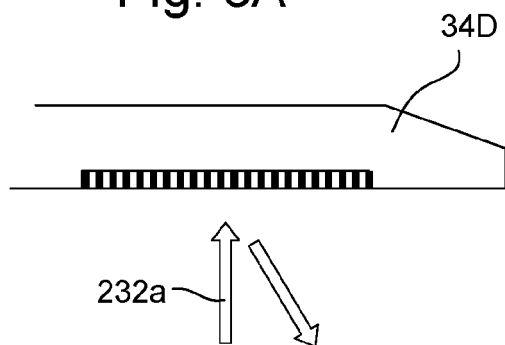


Fig. 5B

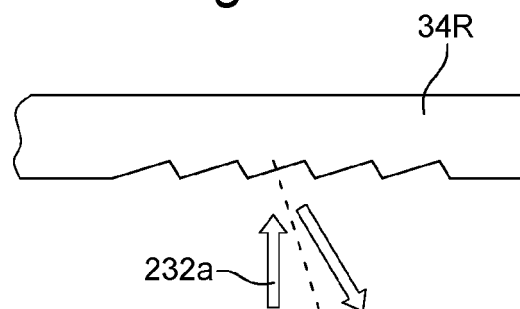


Fig. 6

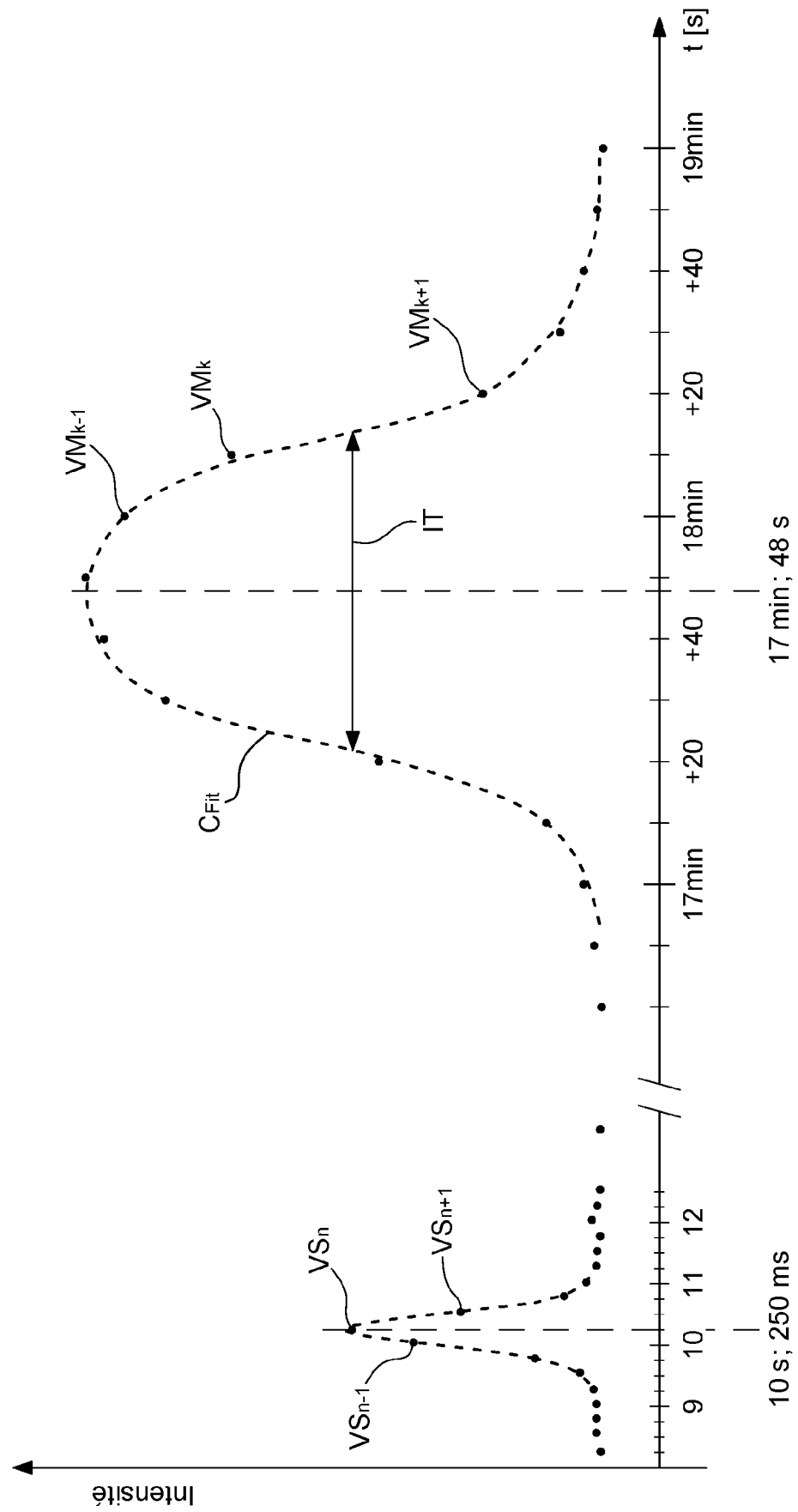


Fig. 7

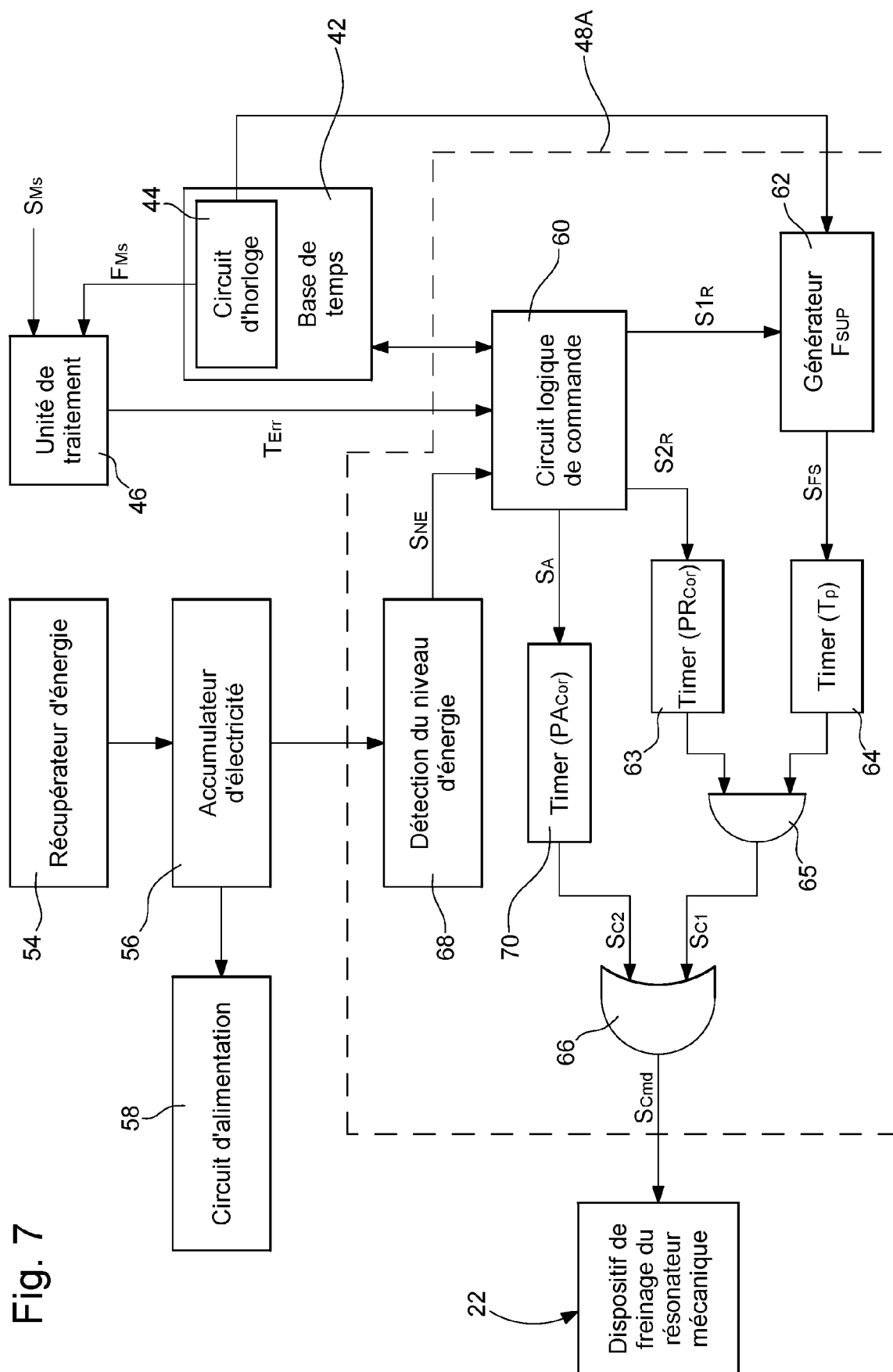


Fig. 8

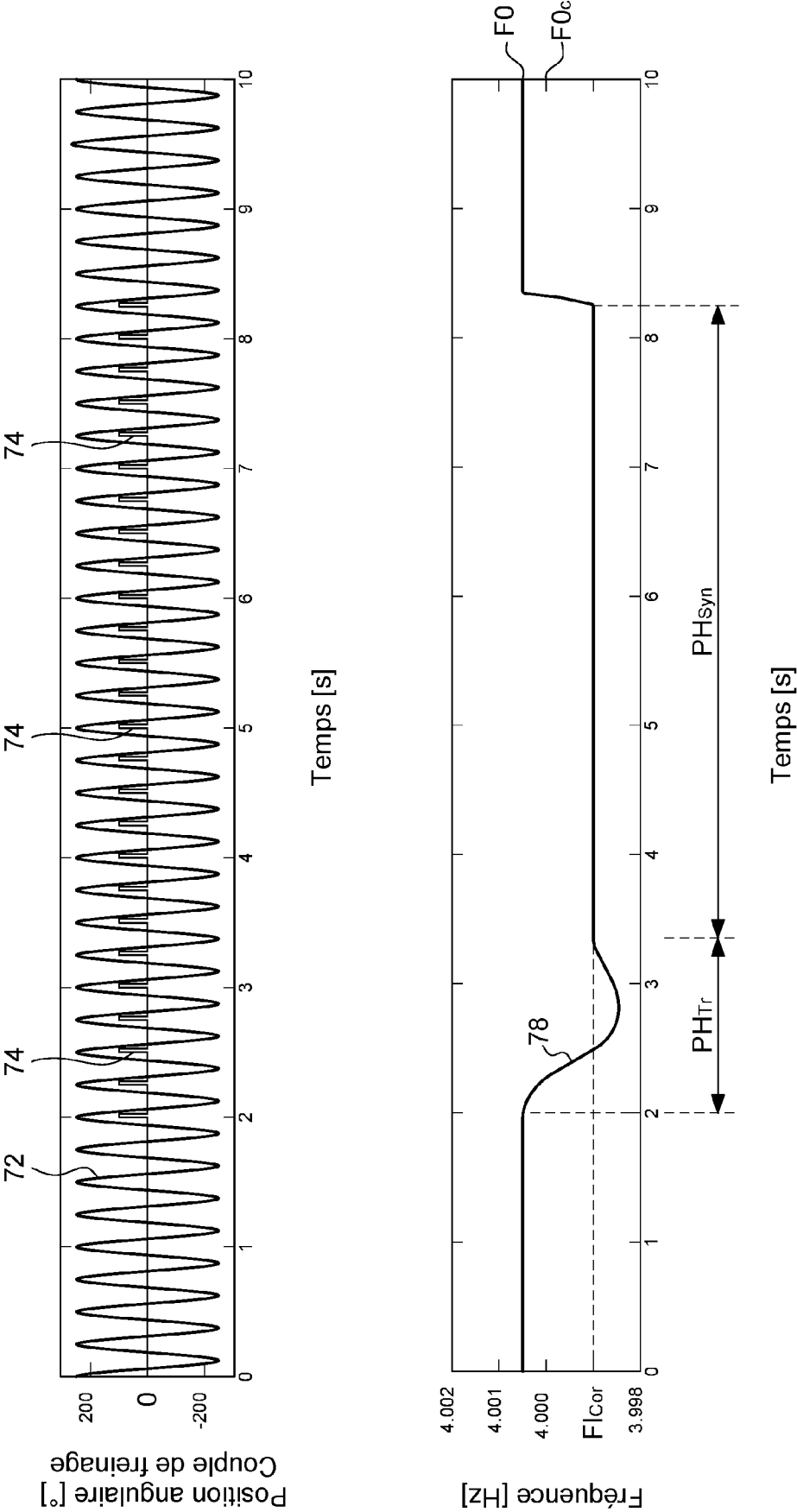


Fig. 9

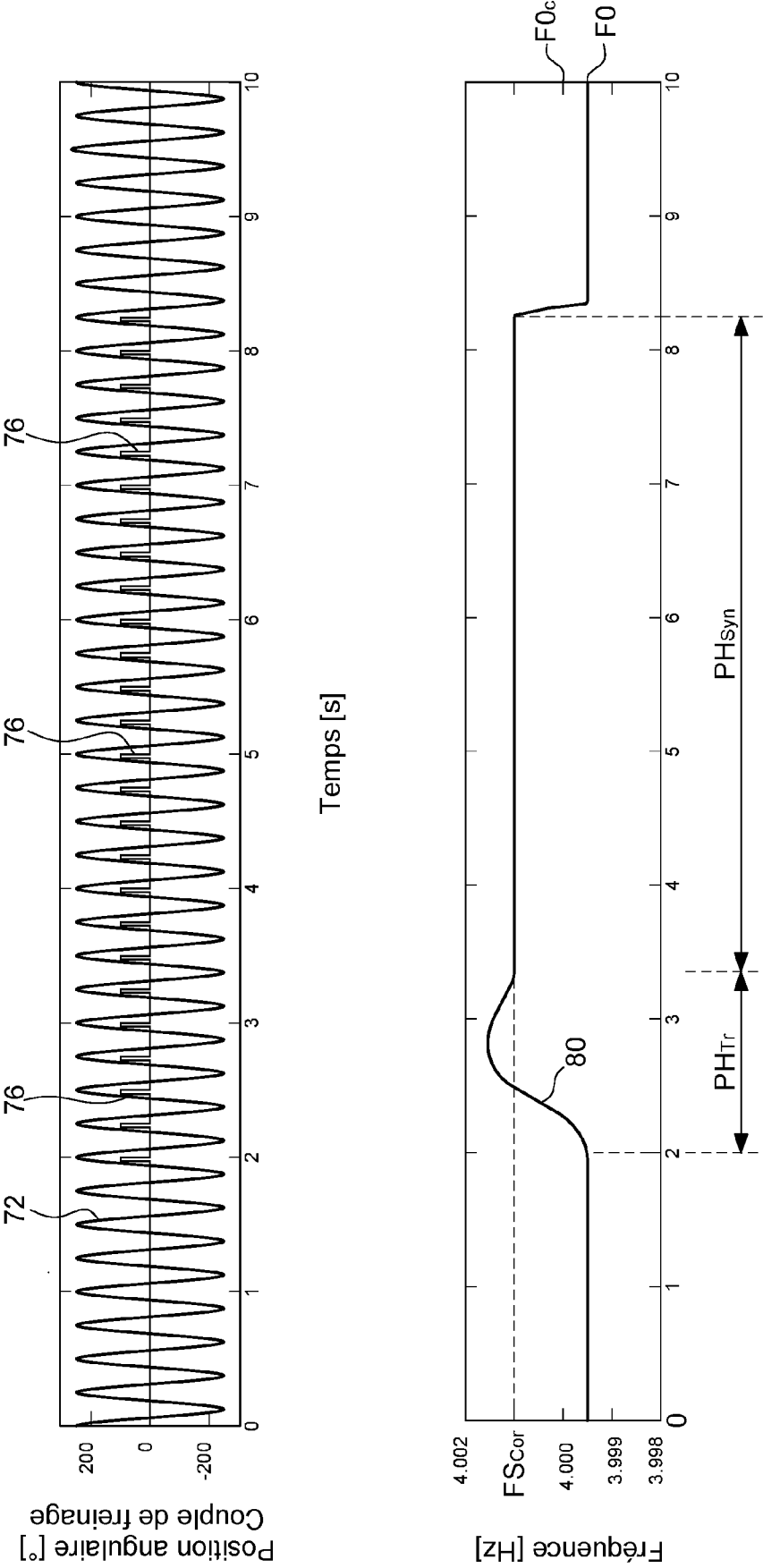


Fig. 10

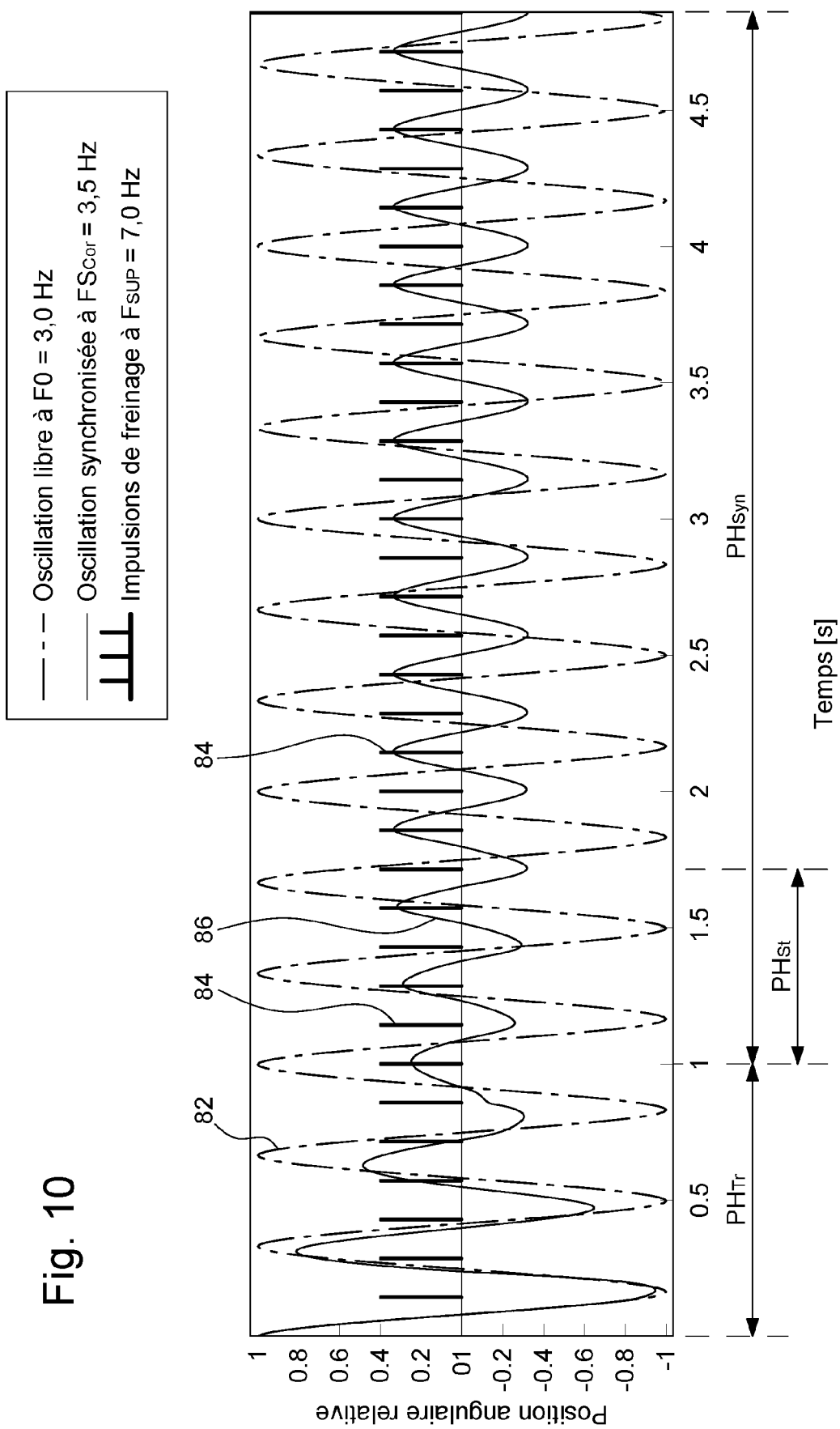


Fig. 11

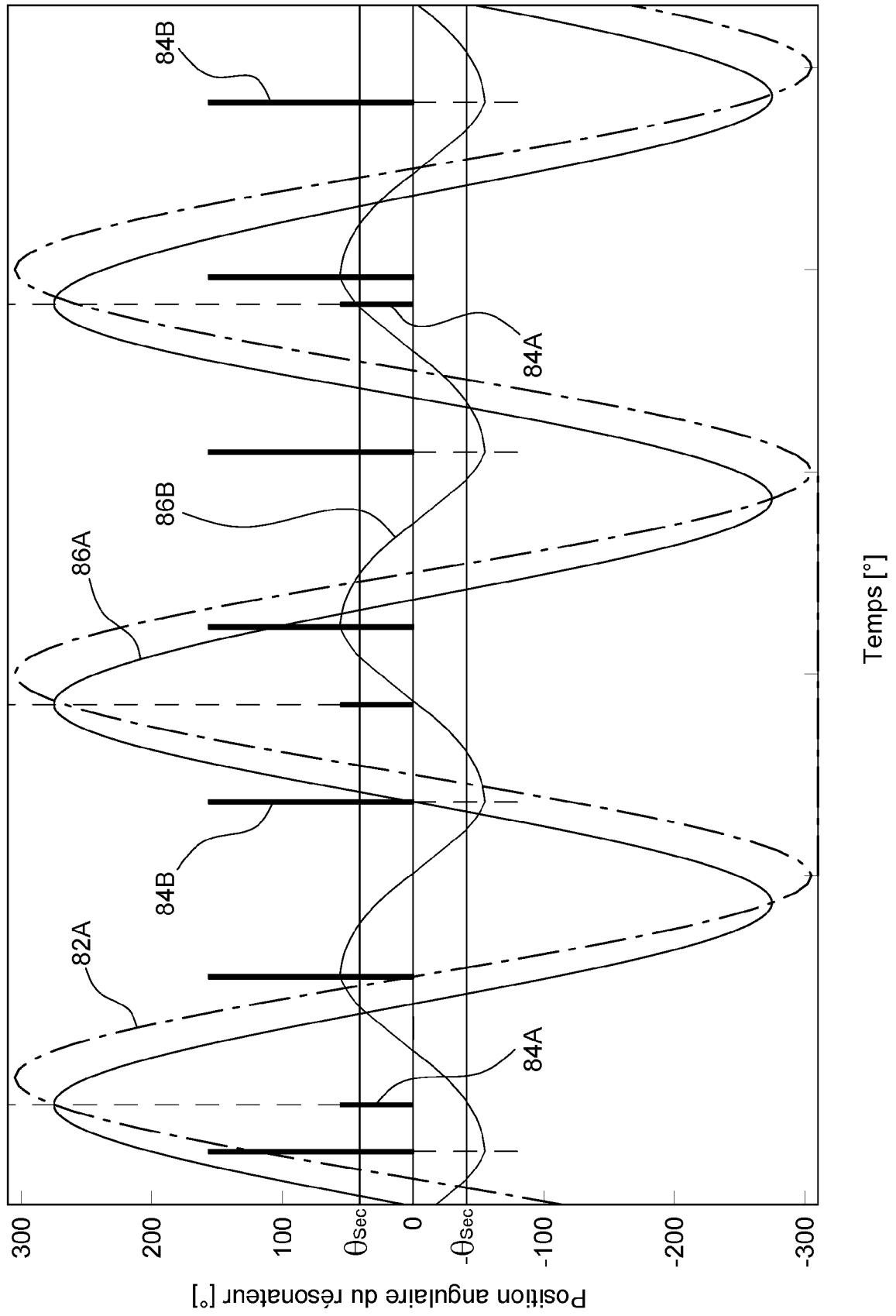


Fig. 12A

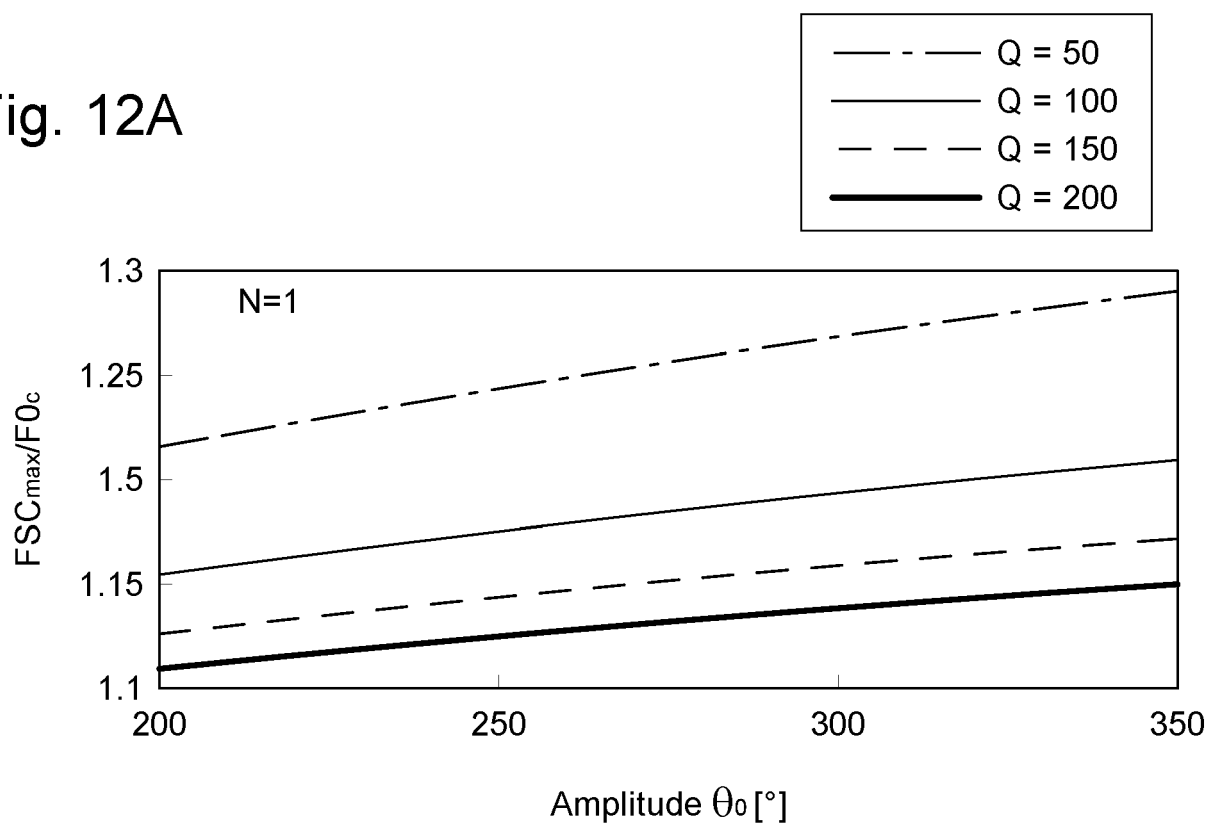


Fig. 12B

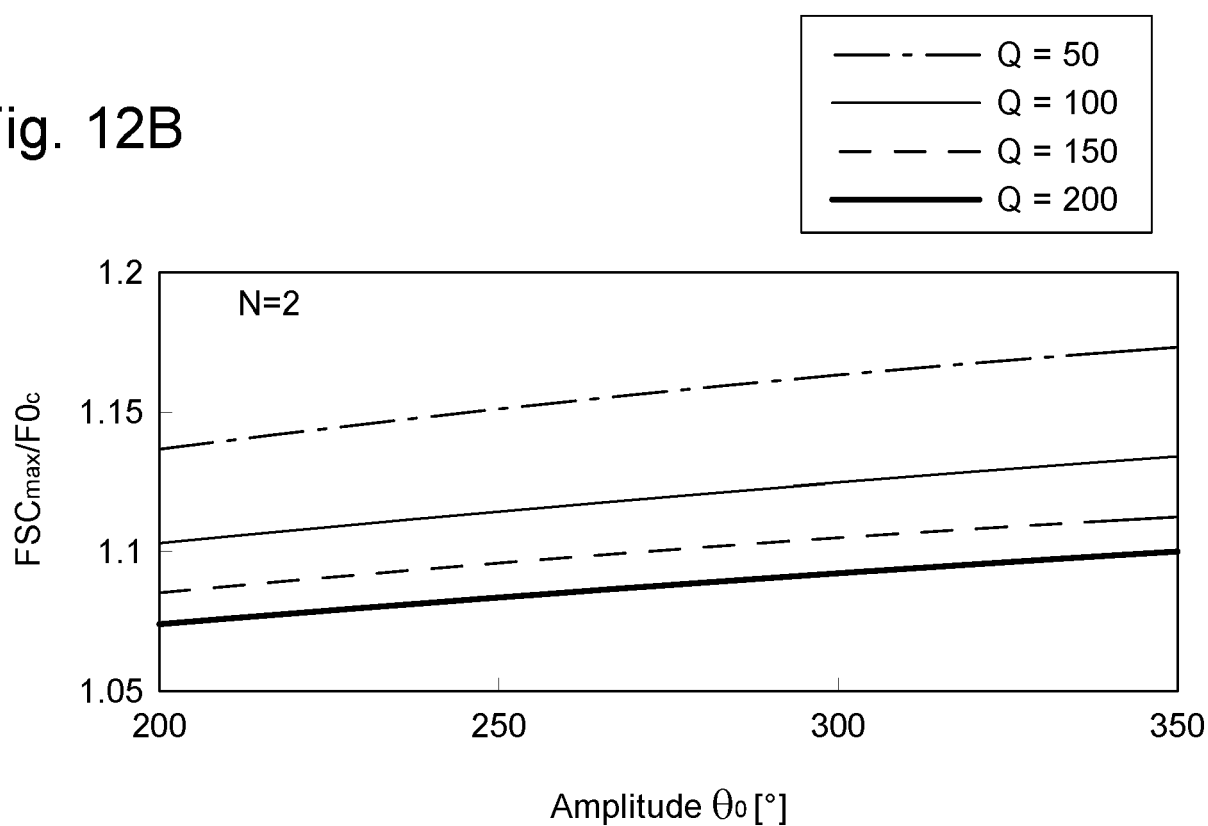


Fig. 13A

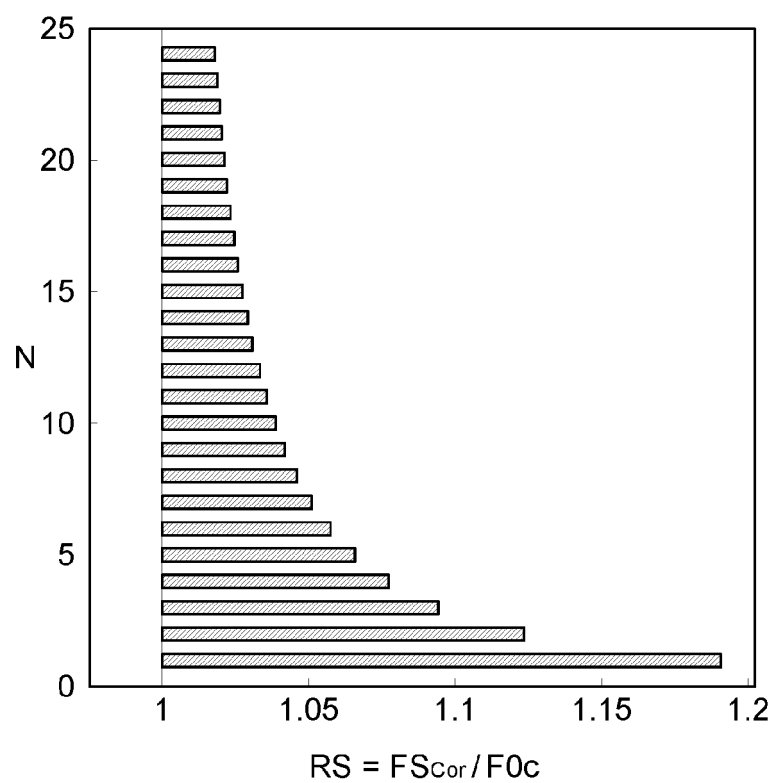


Fig. 13B

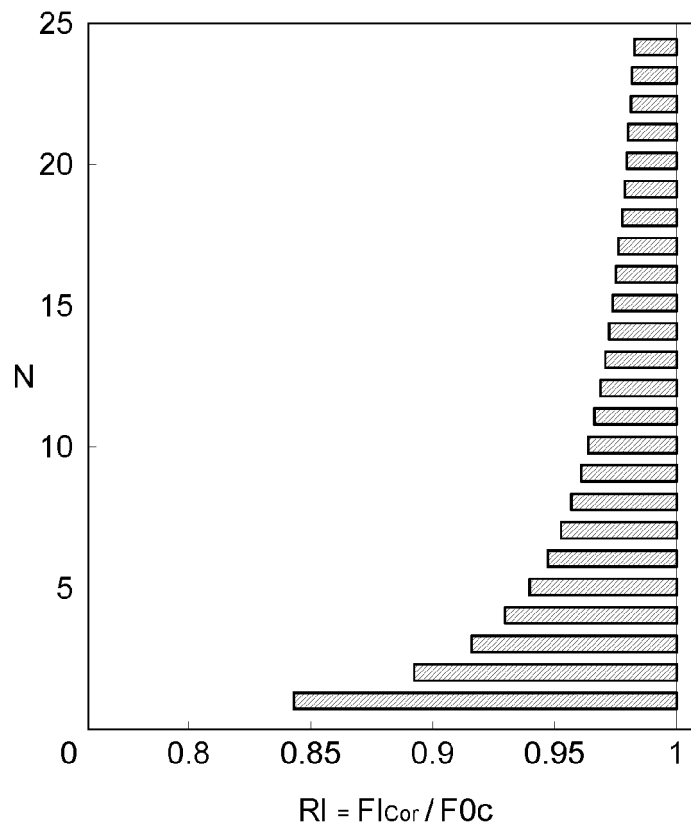


Fig. 14

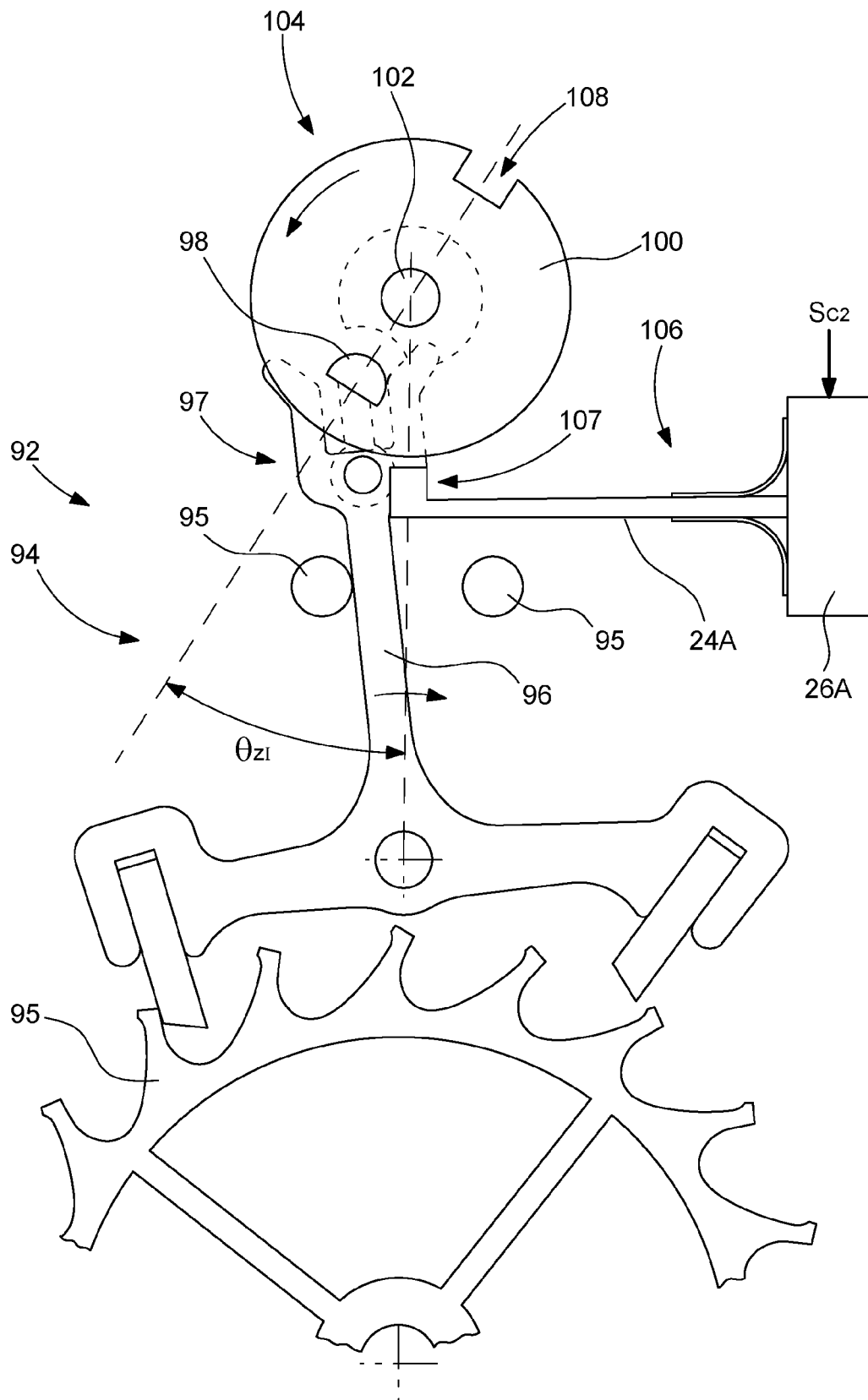


Fig. 15

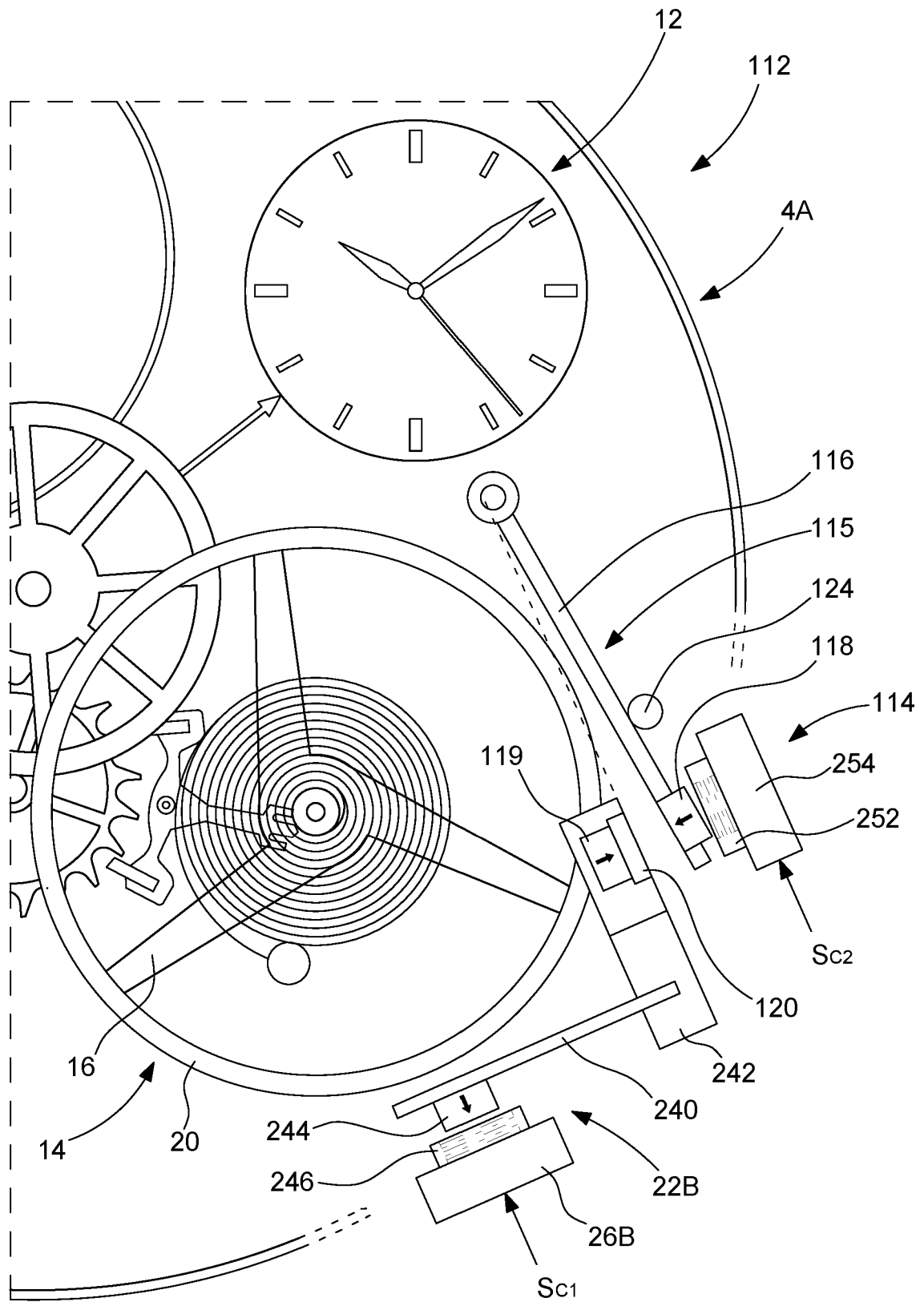


Fig. 16

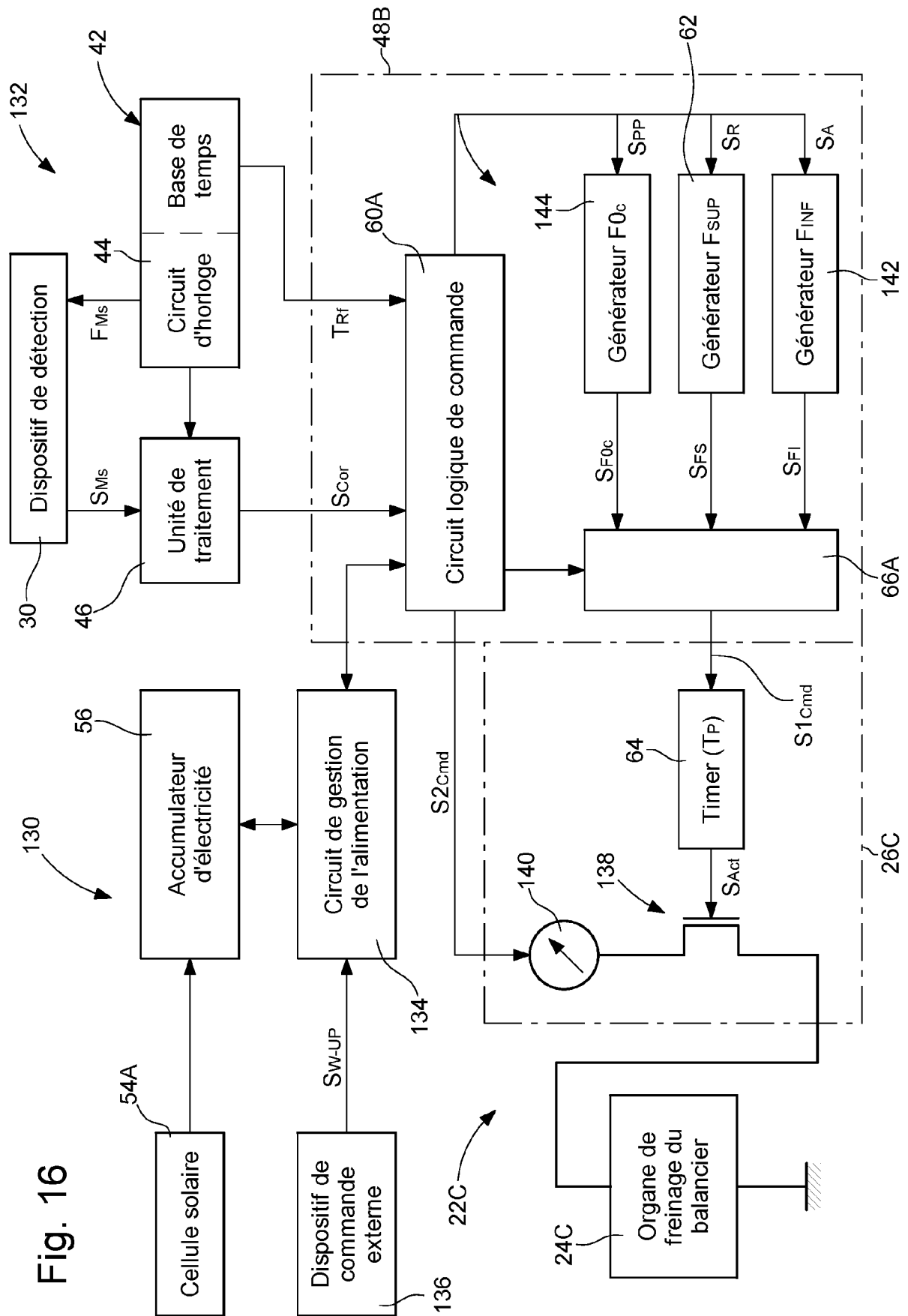


Fig. 17

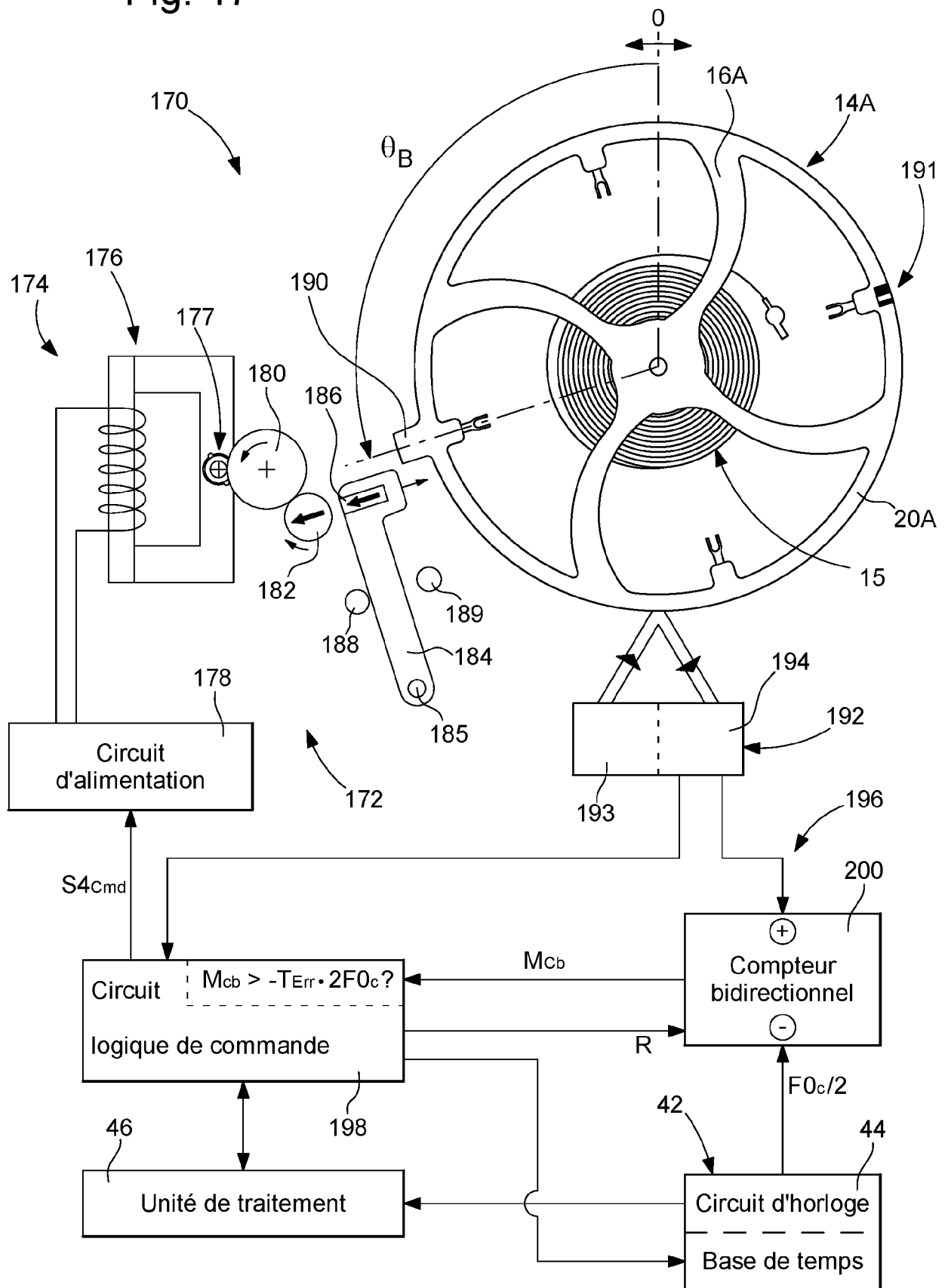


Fig. 18

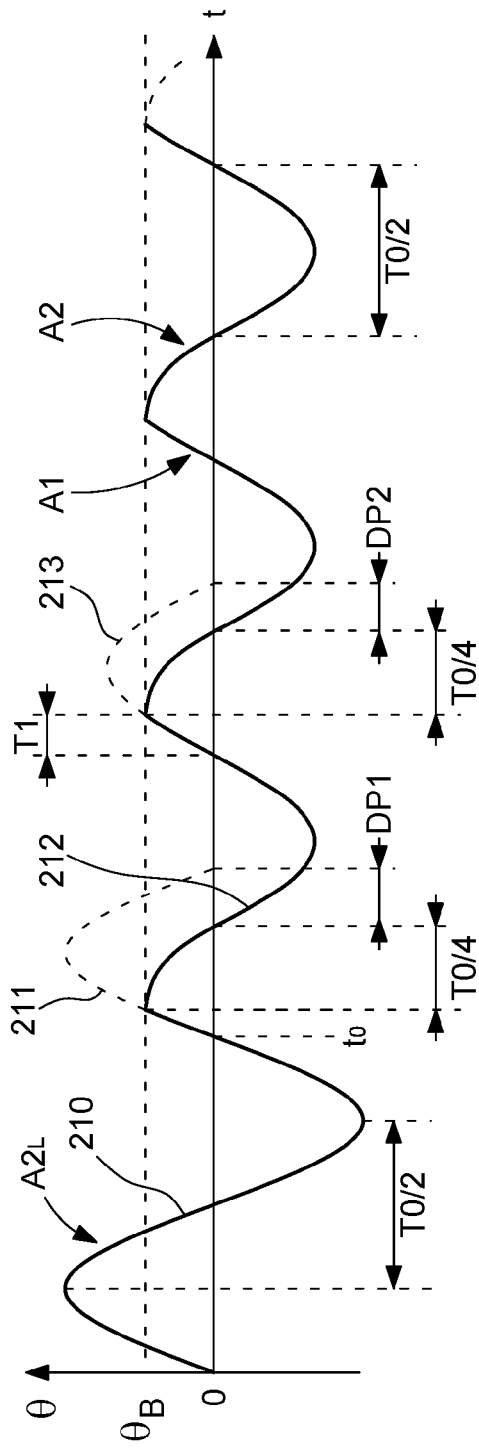


Fig. 19

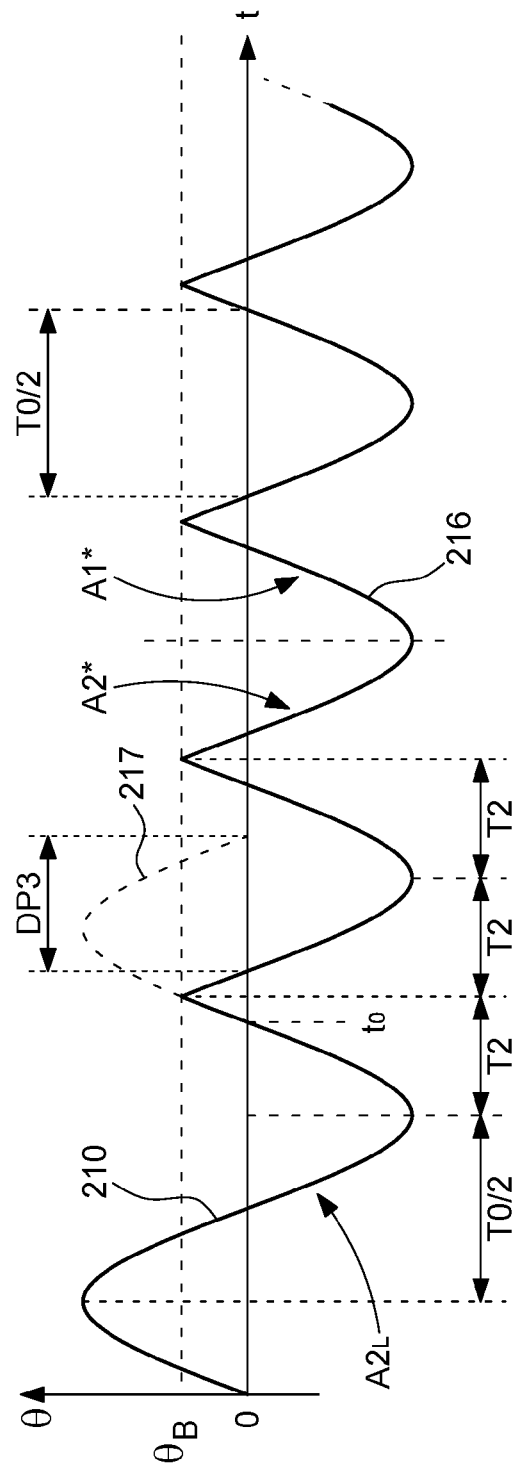


Fig. 20

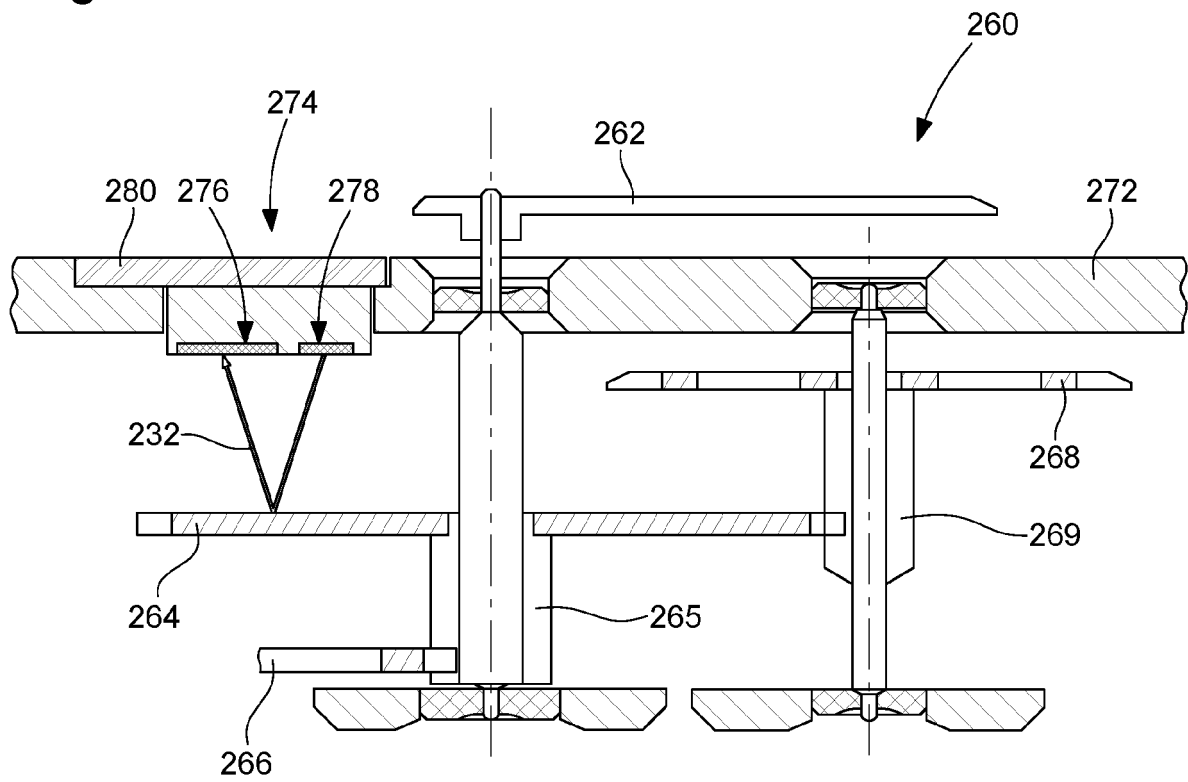


Fig. 21

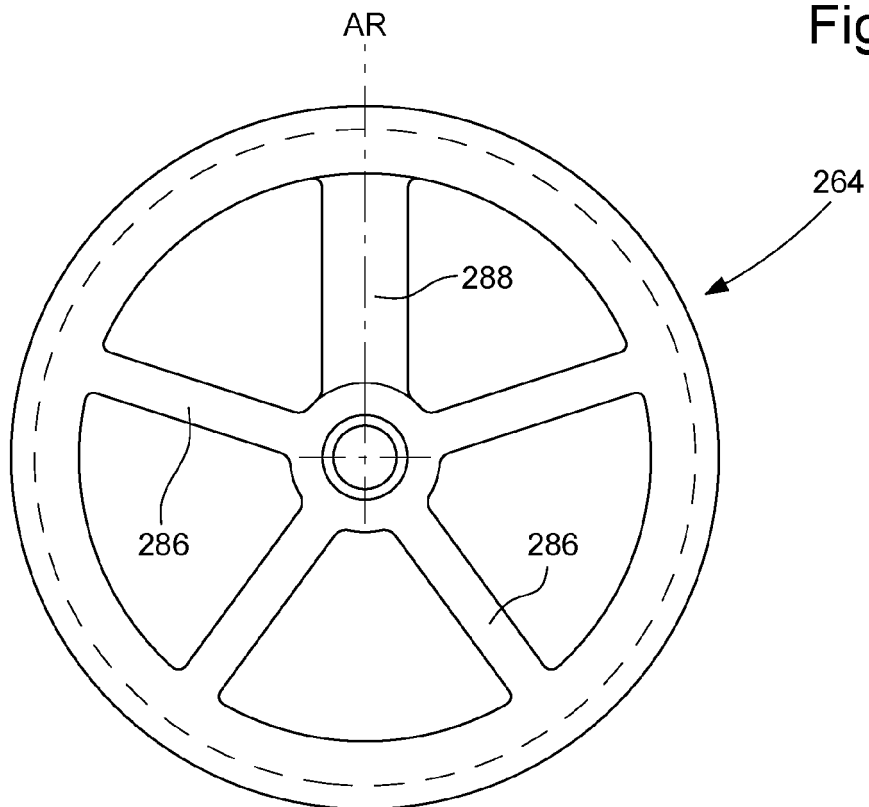


Fig. 22

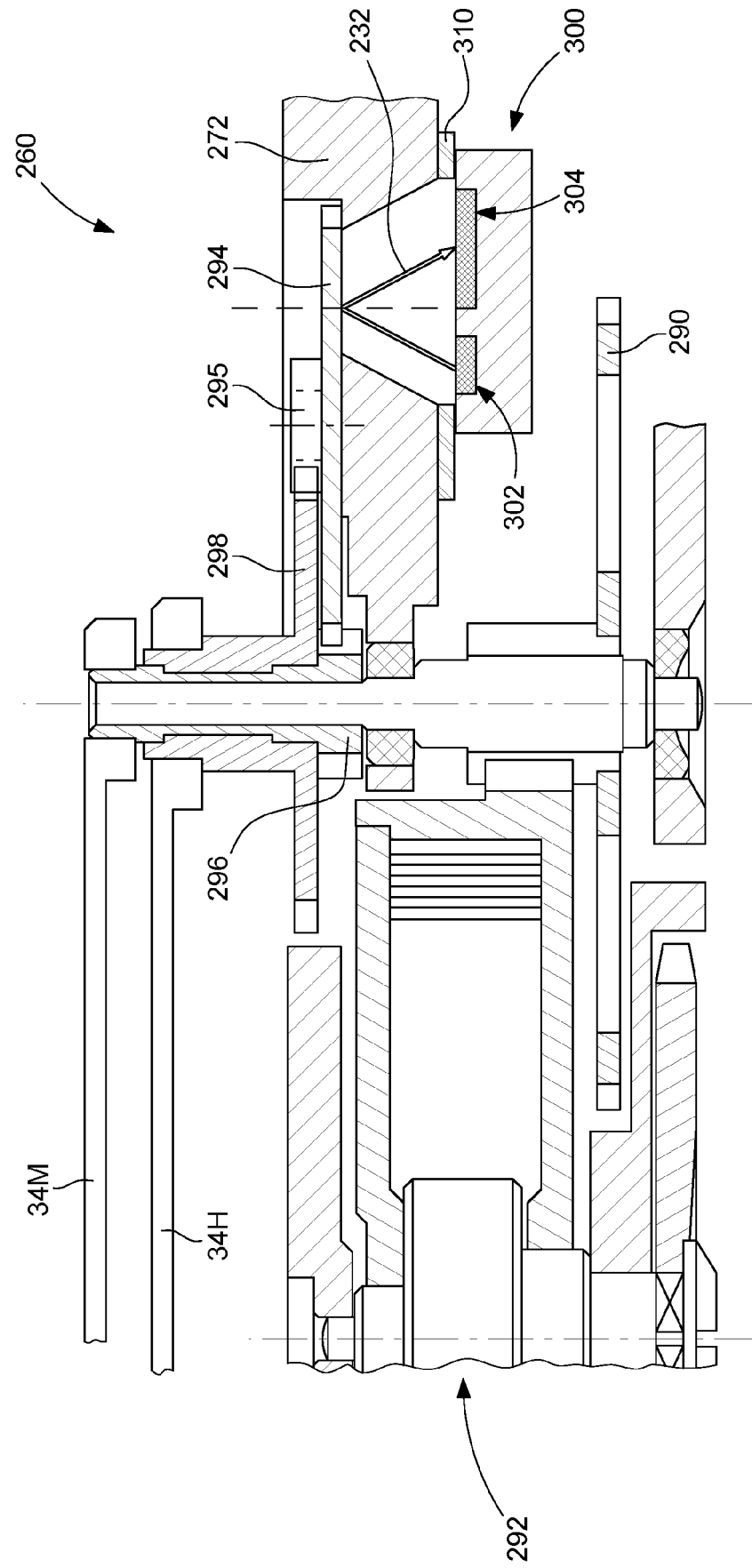


Fig. 23

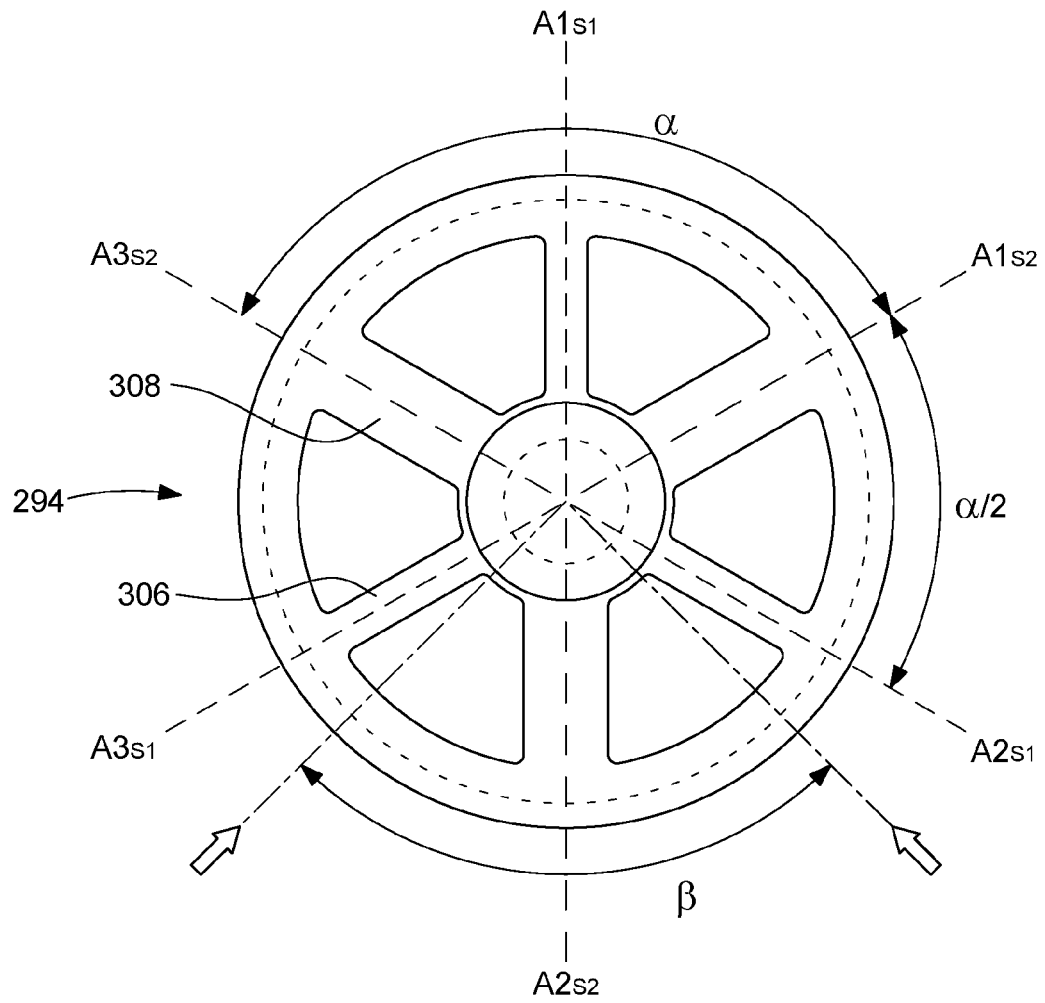
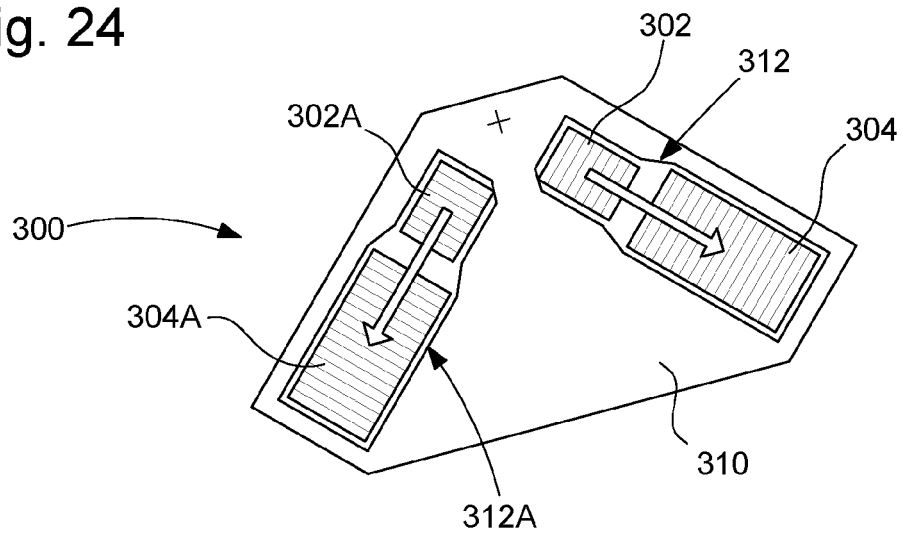


Fig. 24





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 20 19 4692

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

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	EP 3 339 982 A1 (SWATCH GROUP RES & DEV LTD [CH]) 27 juin 2018 (2018-06-27) * alinéa [0023] - alinéa [0052] * * alinéa [0059] * * figures 1-4 *	1-45	INV. G04C11/08
A,D	WO 2018/177779 A1 (SWATCH GROUP RES & DEV LTD [CH]) 4 octobre 2018 (2018-10-04) * page 12, ligne 17 - page 17, ligne 17 * * page 18, ligne 22 - page 26, ligne 11 * * figures 1,2,4-7 *	1-45	
A	US 2005/036405 A1 (BORN JEAN-JACQUES [CH] ET AL) 17 février 2005 (2005-02-17) * alinéa [0026] - alinéa [0045] * * figures 1-7 *	1-45	
A	EP 3 379 347 A1 (ETA SA MFT HORLOGERE SUISSE [CH]) 26 septembre 2018 (2018-09-26) * alinéa [0013] - alinéa [0015] * * figures 1,2 *	1,28	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) G04C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 29 janvier 2021	Examineur Goossens, Ton
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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 20 19 4692

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.

29-01-2021

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM P0460

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 3339982 A1	27-06-2018	CN 108241281 A	03-07-2018
		EP 3339982 A1	27-06-2018
		HK 1256649 A1	27-09-2019
		JP 6523414 B2	29-05-2019
		JP 2018105852 A	05-07-2018
		US 2018181073 A1	28-06-2018

WO 2018177779 A1	04-10-2018	CN 110520802 A	29-11-2019
		EP 3602207 A1	05-02-2020
		JP 2020512558 A	23-04-2020
		US 2020285199 A1	10-09-2020
		WO 2018177779 A1	04-10-2018

US 2005036405 A1	17-02-2005	AT 363675 T	15-06-2007
		CN 1603981 A	06-04-2005
		DE 60314142 T2	24-01-2008
		EP 1521141 A1	06-04-2005
		HK 1075299 A1	09-12-2005
		JP 4722445 B2	13-07-2011
		JP 2005106830 A	21-04-2005
		SG 110187 A1	28-04-2005
		US 2005036405 A1	17-02-2005

EP 3379347 A1	26-09-2018	CN 110462528 A	15-11-2019
		EP 3379347 A1	26-09-2018
		JP 2020510224 A	02-04-2020
		KR 20190117699 A	16-10-2019
		US 2020019127 A1	16-01-2020
		WO 2018172147 A1	27-09-2018

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

- WO 2018177779 A [0026] [0086] [0087] [0088] [0095] [0178]
- CH 711889 [0137]