



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
27.06.2018 Bulletin 2018/26

(51) Int Cl.:
G04C 11/08 (2006.01) G04C 3/04 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **17203916.6**

(22) Date de dépôt: **27.11.2017**

(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
Etats de validation désignés:
MA MD

(30) Priorité: **23.12.2016 EP 16206778**
23.05.2017 EP 17172554

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

(72) Inventeurs:
• **TOMBEZ, Lionel**
2022 Bevaix (CH)
• **HAEMMERLI, Alexandre**
CH-2000 Neuchatel (CH)

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

(54) **ENSEMBLE HORLOGER COMPRENANT UN OSCILLATEUR MÉCANIQUE ASSOCIÉ À UN DISPOSITIF DE RÉGULATION**

(57) L'ensemble horloger comprend un mouvement mécanique équipé d'un oscillateur mécanique, formé par un résonateur (14) du type balancier-spiral, et un dispositif de régulation de sa fréquence d'oscillation à l'aide d'un oscillateur auxiliaire muni d'un résonateur à quartz. Le dispositif de régulation comprend un capteur (34), agencé pour pouvoir détecter le passage du résonateur par sa position neutre, un dispositif de mesure agencé pour pouvoir mesurer, sur la base de signaux de position fournis par le capteur, une dérive temporelle de l'oscillateur mécanique relativement à l'oscillateur auxiliaire, et un dispositif (36) pour appliquer au résonateur des impulsions de freinage mécanique lorsqu'une certaine dérive temporelle est constatée. A cet effet, le résonateur présente une surface de freinage qui s'étend sur au moins un secteur ayant une certaine longueur selon l'axe d'oscillation et contre laquelle un organe de freinage peut venir s'appuyer pour freiner momentanément ce résonateur.

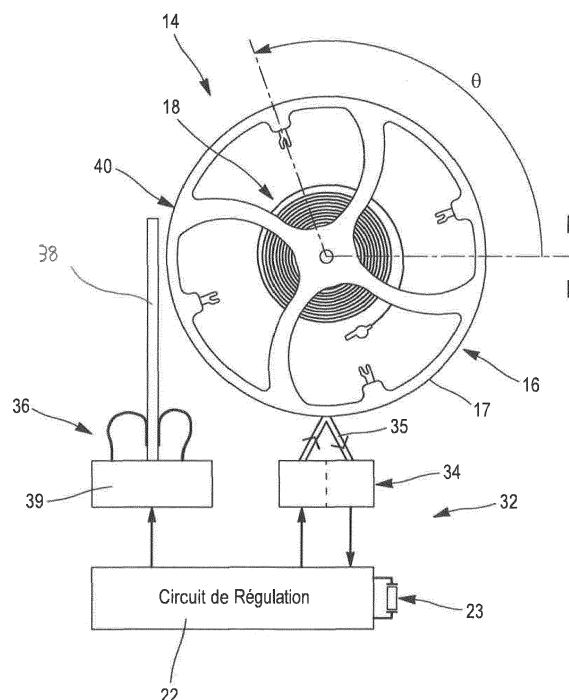


FIG. 2

Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un ensemble horloger, notamment une pièce d'horlogerie, comprenant :

- un mécanisme, lequel forme notamment en partie un mouvement mécanique,
- un résonateur mécanique susceptible d'osciller le long d'un axe d'oscillation autour d'une position neutre correspondant à son état d'énergie mécanique potentielle minimale,
- un dispositif d'entretien du résonateur mécanique formant avec ce dernier un oscillateur mécanique agencé pour cadencer la marche du mécanisme, chaque oscillation du résonateur mécanique présentant deux alternances successives entre deux positions extrêmes sur l'axe d'oscillation qui définissent l'amplitude d'oscillation de l'oscillateur mécanique,
- un dispositif de régulation agencé pour réguler la fréquence de l'oscillateur mécanique, ce dispositif de régulation comprenant un oscillateur auxiliaire, généralement plus précis que ledit oscillateur mécanique, et un dispositif agencé pour appliquer sur commande des impulsions de régulation au résonateur mécanique qui le freinent momentanément.

[0002] En particulier, le résonateur mécanique est un balancier-spiral et le dispositif d'entretien comprend un échappement classique, par exemple à ancre suisse. L'oscillateur auxiliaire est formé notamment par un résonateur à quartz ou par un résonateur intégré dans un circuit électronique.

Arrière-plan technologique

[0003] Des mouvements formant des ensembles horlogers tels que définis dans le domaine de l'invention ont été proposés dans quelques documents antérieurs. Le brevet CH 597 636, publié en 1977, propose un tel mouvement en référence à sa figure 3. Le mouvement est équipé d'un résonateur formé par un balancier-spiral et d'un dispositif d'entretien classique comprenant une ancre et une roue d'échappement en liaison cinématique avec un barillet muni d'un ressort. Ce mouvement horloger comprend un dispositif de régulation de la fréquence de l'oscillateur mécanique. Ce dispositif de régulation comprend un circuit électronique et un ensemble magnétique formé d'une bobine plate, agencée sur un support sous la serge du balancier, et de deux aimants montés sur le balancier et agencés proches l'un de l'autre de manière à passer tous deux au-dessus de la bobine lorsque l'oscillateur est activé.

[0004] Le circuit électronique comprend une base de temps comprenant un résonateur à quartz et servant à générer un signal de fréquence de référence FR, cette

fréquence de référence étant comparée avec la fréquence FG de l'oscillateur mécanique. La détection de la fréquence FG de l'oscillateur est réalisée via les signaux électriques générés dans la bobine par la paire d'aimants. Le circuit de régulation est agencé pour pouvoir engendrer momentanément un couple de freinage via un couplage magnétique aimant-bobine et une charge commutable reliée à la bobine. Le document CH 597 636 donne l'enseignement suivant : « Le résonateur ainsi formé doit présenter une fréquence d'oscillation variable selon l'amplitude de part et d'autre de la fréquence FR (défaut d'isochronisme) ». On enseigne donc que l'on obtient une variation de la fréquence d'oscillation d'un résonateur non isochrone en variant son amplitude d'oscillation. Une analogie est faite entre l'amplitude d'oscillation d'un résonateur et la vitesse angulaire d'une génératrice comprenant un rotor muni d'aimants et agencé dans un rouage du mouvement horloger pour en réguler sa marche. Comme un couple de freinage diminue la vitesse de rotation d'une telle génératrice et ainsi sa fréquence de rotation, il est ici seulement envisagé de pouvoir diminuer la fréquence d'oscillation d'un résonateur obligatoirement non isochrone par l'application d'un couple de freinage diminuant son amplitude d'oscillation.

[0005] Pour effectuer une régulation électronique de la fréquence de la génératrice, respectivement de l'oscillateur mécanique, il est prévu dans un mode de réalisation donné que la charge soit formée par un redresseur commutable via un transistor qui charge une capacité de stockage lors des impulsions de freinage, pour récupérer l'énergie électrique afin d'alimenter le circuit électronique. L'enseignement constant donné dans le document CH 597 636 est le suivant : Lorsque $FG > FR$ le transistor est conducteur ; on prélève alors une puissance P_a sur la génératrice / l'oscillateur. Lorsque $FG < FR$, le transistor est non-conducteur ; on ne prélève donc plus d'énergie sur la génératrice / l'oscillateur. En d'autres termes, on régule seulement lorsque la fréquence de la génératrice / de l'oscillateur est supérieure à la fréquence de référence FR. Cette régulation consiste à freiner la génératrice / l'oscillateur dans le but de diminuer sa fréquence FG. Ainsi, dans le cas de l'oscillateur mécanique, l'homme du métier comprend qu'une régulation n'est possible que lorsque le ressort de barillet est fortement armé et que la fréquence d'oscillation libre (fréquence propre) de l'oscillateur mécanique est supérieure à la fréquence de référence FR, comme résultat d'un défaut d'isochronisme voulu de l'oscillateur mécanique sélectionné. On a donc un double problème, à savoir l'oscillateur mécanique est sélectionné pour ce qui est normalement un défaut dans un mouvement mécanique et la régulation électronique n'est fonctionnelle que lorsque la fréquence propre de cet oscillateur est supérieure à une fréquence nominale.

[0006] En conclusion, l'enseignement donné généralement à l'homme du métier est le suivant : Si on veut réguler électroniquement la fréquence d'un balancier-spiral d'un mouvement horloger classique, il faut changer

le balancier-spiral pour premièrement agencer au moins un aimant dessus et deuxièmement pour modifier sa fréquence propre de manière à ce que cette fréquence propre soit supérieure à la fréquence voulue. La conséquence d'un tel enseignement est claire : On doit dérégler le résonateur mécanique pour qu'il oscille à une fréquence trop élevée de manière à permettre au dispositif de régulation de ramener constamment sa fréquence à une fréquence moindre, correspondant à la fréquence théorique voulue, par une succession d'impulsions de freinage. Par conséquent, le mouvement horloger qui en résulte est volontairement réglé pour qu'une marche précise dépende de la régulation électronique, faute de quoi un tel mouvement horloger aurait une dérive temporelle très importante. Ainsi, si pour une raison ou une autre le dispositif de régulation est désactivé, notamment pour cause de détérioration, alors la montre équipée d'un tel mouvement ne sera plus précise, et ceci dans une mesure telle qu'elle n'est de fait plus fonctionnelle. Une telle situation est problématique.

[0007] L'utilisation d'un système électromagnétique du type aimant-bobine pour coupler le balancier-spiral avec le circuit électronique de régulation engendre divers problèmes. Premièrement, l'agencement d'aimants permanents sur le balancier a pour conséquence qu'un flux magnétique est constamment présent dans le mouvement horloger et que ce flux magnétique varie spatialement de manière périodique. Un tel flux magnétique peut avoir une action néfaste sur divers organes ou éléments du mouvement horloger, notamment sur des éléments en matériau magnétique comme des pièces en matériau ferromagnétique. Ceci peut avoir des répercussions sur la bonne marche du mouvement horloger et également augmenter des usures d'éléments pivotés. On peut certes penser à blinder dans une certaine mesure le système magnétique en question, mais un blindage nécessite des éléments particuliers qui sont portés par le balancier. Un tel blindage tend à augmenter l'encombrement du résonateur mécanique et son poids. De plus, il limite les possibilités de configurations esthétiques épurées. De plus, un champ magnétique externe de forte intensité peut détériorer les éléments aimantés du système électromagnétique.

[0008] L'homme du métier connaît des propositions de réalisation de mouvements mécaniques horlogers, comprenant un dispositif de régulation de la fréquence du balancier-spiral, où il est prévu d'agir sur le balancier oscillant par un système électromécanique formé, d'une part, par une butée qui est agencée sur le balancier et, d'autre part, par un actuateur muni d'un doigt mobile qui est actionné à une fréquence de freinage déterminée en direction de la butée. Ce concept vise à synchroniser la fréquence de l'oscillateur sur celle d'un oscillateur à quartz par une prétendue interaction entre le doigt et la butée lorsque l'oscillateur mécanique présente une dérive temporelle relativement à l'oscillateur à quartz, le doigt venant soit bloquer momentanément le balancier qui est alors stoppé dans son mouvement durant un cer-

tain intervalle de temps (la butée venant en appui contre le doigt déplacé dans sa direction lors du retour du balancier en direction de sa position neutre), soit limiter l'amplitude d'oscillation lorsque le doigt arrive contre la butée alors que le balancier tourne en direction de sa position d'amplitude maximale.

[0009] Un tel système de régulation présente de nombreux inconvénients et on peut sérieusement douter qu'il puisse former un système fonctionnel. L'action 'aveugle' du doigt relativement au mouvement de la butée et à un déphasage initial potentiel quelconque de l'oscillation de la butée par rapport à celle du doigt pose de multiples problèmes. De plus, l'action est limitée à une position angulaire donnée par la position de l'actionneur relativement au balancier-spiral. Ainsi, l'effet de l'interaction entre le doigt et la butée dépend de l'amplitude d'oscillation du balancier-spiral et de la position de l'actionneur. En conclusion, de telles réalisations paraissent à l'homme du métier comme hautement improbables, et cet homme du métier se détourne d'un tel enseignement. D'ailleurs, les présents inventeurs n'ont pas connaissance de montres équipées d'un tel système électromécanique qui auraient été mises sur le marché.

25 Résumé de l'invention

[0010] Un but de la présente invention est de trouver une solution aux problèmes techniques et inconvénients mentionnés ci-avant dans l'arrière-plan technologique.

[0011] Un premier objectif, dans le cadre du développement ayant conduit à la présente invention, était de proposer un ensemble horloger comprenant un mouvement mécanique, avec un résonateur mécanique classique du type balancier-spiral, et un dispositif de régulation qui n'utilise pas un système aimant-bobine pour coupler le résonateur mécanique à ce dispositif de régulation, en particulier qui ne nécessite pas d'agencer au moins un aimant permanent sur le balancier. On notera que, dans le cadre de la description de la présente invention, un tel système aimant-bobine engendre des impulsions de freinage magnétique, un flux magnétique généré par au moins une bobine étant couplé au flux magnétique dudit au moins un aimant permanent embarqué sur le résonateur mécanique.

[0012] Un deuxième objectif, dans le cadre du développement ayant conduit à la présente invention, était de réaliser un ensemble horloger comprenant un mouvement mécanique avec un oscillateur mécanique et un dispositif de régulation de cet oscillateur mécanique, mais sans avoir à dérégler initialement l'oscillateur mécanique, pour avoir une pièce d'horlogerie qui a la précision d'un oscillateur électronique auxiliaire (notamment muni d'un résonateur à quartz) lorsque le dispositif de régulation est fonctionnel et la précision de l'oscillateur mécanique lorsque ce dispositif de régulation est désactivé ou hors fonction, mais avec une précision pouvant correspondre au meilleur standard dans ce dernier cas. En d'autres termes, on cherche à adjoindre une régula-

tion électronique à un mouvement mécanique par ailleurs réglé le plus précisément possible de sorte qu'il reste fonctionnel, avec la meilleure marche possible, lorsque la régulation électronique est non active.

[0013] La présente invention a aussi pour but de proposer un ensemble horloger répondant à au moins au premier objectif et qui soit robuste, c'est-à-dire qui puisse conserver une haute précision même après une perturbation extérieure comme un choc.

[0014] A cet effet, la présente invention concerne un ensemble horloger tel que défini à la revendication 1, ainsi qu'un module de régulation tel que défini à la revendication 16. Divers modes de réalisation et variantes sont les objets des revendications dépendantes. Ainsi, l'ensemble horloger selon l'invention comprend un circuit électronique de commande, agencé pour pouvoir générer un signal de commande qui est fourni au dispositif d'application d'impulsions de régulation pour l'activer, et un capteur agencé pour pouvoir détecter le passage du résonateur mécanique par une certaine position donnée sur l'axe d'oscillation. Le dispositif de régulation de cet ensemble horloger comprend un dispositif de mesure agencé pour pouvoir mesurer, sur la base de signaux de position fournis par le capteur, une dérive temporelle de l'oscillateur mécanique relativement à l'oscillateur auxiliaire. De manière avantageuse, le dispositif d'application d'impulsions de régulation de l'ensemble horloger est un dispositif électromécanique agencé de manière à pouvoir engendrer, en réponse au signal de commande susmentionné qui est fonction de la dérive temporelle mesurée, des impulsions de freinage mécanique appliquées au résonateur mécanique et exerçant chacune un certain couple de force sur ce résonateur mécanique, pour réguler la fréquence moyenne de l'oscillateur mécanique, lorsqu'au moins une certaine dérive temporelle de cet oscillateur mécanique est détectée. Finalement, le résonateur mécanique définit une surface de freinage présentant une certaine étendue selon l'axe d'oscillation du résonateur mécanique et agencée de manière à permettre au moins l'application d'une impulsion de freinage mécanique avec son déclenchement à un certain instant donné au cours d'une alternance, parmi les deux alternances d'une oscillation de l'oscillateur mécanique, quelle que soit l'amplitude d'oscillation de cet oscillateur mécanique dans une plage d'amplitude ayant une certaine étendue et correspondant à une plage de fonctionnement utile de l'oscillateur mécanique, ledit instant donné étant sélectionné de sorte que le passage par la position neutre du résonateur mécanique n'intervienne pas au cours de l'impulsion de freinage mécanique.

[0015] Par impulsion de freinage mécanique, on comprend un freinage de nature mécanique et non seulement un effet mécanique résultant du freinage. Ainsi, cette expression exclut dans le sens premier qui lui est donné un freinage sans contact via un couplage électromécanique entre une bobine stationnaire et au moins un aimant monté sur le résonateur mécanique, car dans ce dernier cas, le freinage est magnétique et opéré au tra-

vers d'un système électromagnétique dont un élément, à savoir ledit au moins un aimant, est fixé à un organe oscillant du résonateur mécanique, changeant ainsi l'agencement classique de l'organe oscillant, par exemple un balancier. Certes, le freinage magnétique a pour effet final une réduction de l'énergie mécanique de l'organe oscillant, mais le freinage n'est pas mécanique dans sa nature. L'expression susmentionnée exclut également un freinage résultant d'un couplage électrique entre l'organe oscillant et une unité stationnaire du dispositif de régulation. Par contre, évidemment, cette expression n'exclut pas des éléments électriques et/ou magnétiques incorporés dans le dispositif électromécanique qui engendrent des impulsions de freinage mécanique appliquées au résonateur mécanique. Au contraire, le terme 'électromécanique' indique qu'au moins un élément électrique forme le dispositif d'application d'impulsions de régulation.

[0016] Dans un mode de réalisation préféré, le dispositif d'application d'impulsions de régulation est formé par un actionneur comprenant au moins un organe de freinage qui est agencé pour être actionné, en réponse au signal de commande susmentionné, de manière à exercer sur l'organe oscillant du résonateur mécanique un certain couple de force mécanique durant les impulsions de freinage mécanique. Le freinage est donc obtenu par un contact physique entre l'organe de freinage et l'organe oscillant.

[0017] Dans une variante avantageuse du mode de réalisation préféré susmentionné, le dispositif d'application d'impulsions de régulation est agencé de manière que l'énergie de freinage de chaque impulsion de freinage mécanique est inférieure à une énergie de blocage, pour ne pas stopper momentanément le résonateur mécanique au cours des impulsions de freinage. Ensuite, l'organe oscillant et l'organe de freinage sont agencés de manière que les impulsions de freinage mécanique puissent être appliquées principalement par un frottement sec dynamique entre l'organe de freinage et la surface de freinage de l'organe oscillant.

[0018] Grâce aux caractéristiques de l'invention, il est possible d'adjoindre à un mouvement mécanique de base un module de régulation de son oscillateur mécanique (comprenant un balancier-spiral) sans avoir à modifier ce mouvement mécanique de base. Ceci est un grand avantage. En particulier, on peut réaliser l'ensemble horloger selon l'invention sans avoir à varier les propriétés cinématiques de l'oscillateur mécanique. Si nécessaire, un traitement de surface (généralement partiel) du balancier peut être prévu pour le fonctionnement du capteur. Un tel traitement peut se limiter à apposer un point noir sur un bras du balancier ou sous la serge de ce balancier dans le cas d'un capteur optique. Ainsi, la conception du mouvement mécanique de base n'a pas à être changée pour réaliser un ensemble horloger selon l'invention. Dans un premier cas où l'ensemble horloger est réalisé entièrement à neuf, on peut donc prendre un calibre existant ayant déjà fait ses preuves en production

et lui associé un module de régulation additionnel selon l'invention, en agençant en périphérie du mouvement horloger correspondant à ce calibre le module de régulation de manière à permettre l'application des impulsions de freinage mécanique au résonateur mécanique. C'est au niveau de l'habillage de l'ensemble horloger qu'il faudra éventuellement prévoir une adaptation pour permettre l'incorporation du module de régulation additionnel. Dans un deuxième cas, l'ensemble horloger selon l'invention est formé par un mouvement horloger de base déjà mis, dans un premier temps, sur le marché dans une montre et auquel on ajoute, dans un deuxième temps, un module de régulation selon l'invention pour augmenter sa précision. Une adaptation au niveau de l'habillage de la montre peut s'avérer nécessaire, mais n'est pas forcément obligatoire. Par exemple, un usinage au niveau d'un cercle d'emboîtement peut s'avérer suffisant pour permettre l'incorporation de l'ensemble horloger dans la boîte de montre déjà en possession d'un utilisateur, c'est-à-dire avec un ajout d'un module de régulation selon l'invention, objet de revendications annexées.

[0019] Selon un mode de réalisation principal, le dispositif de mesure est agencé pour déterminer si la dérive temporelle de l'oscillateur mécanique correspond à au moins une avance ou à au moins un retard. Ensuite, le circuit de commande et le dispositif d'application d'impulsions de régulation sont agencés pour pouvoir appliquer sélectivement au résonateur mécanique, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond à une certaine avance, une première impulsion de freinage mécanique dont au moins une majeure partie intervient entre l'instant initial et l'instant médian d'une alternance (première demi-alternance) et, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond à un certain retard, une deuxième impulsion de freinage mécanique dont au moins une majeure partie intervient entre l'instant médian et l'instant final d'une alternance (seconde demi-alternance). On notera que chaque période d'oscillation de l'oscillateur mécanique définit une première alternance suivie d'une seconde alternance et chaque alternance présente un passage du résonateur mécanique par sa position neutre audit instant médian.

[0020] Ainsi, en résumé, le circuit de commande et le dispositif d'application d'impulsions de régulation sont agencés pour appliquer sélectivement au résonateur mécanique, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond à une certaine avance, une impulsion de freinage mécanique dans une première demi-alternance de l'oscillation du résonateur mécanique et, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond à un certain retard, une impulsion de freinage mécanique dans une seconde demi-alternance.

[0021] Dans une variante principale, le dispositif de régulation comprend un dispositif de détermination de positions temporelles du résonateur mécanique qui est agencé pour pouvoir déterminer, dans une alternance d'une oscillation du résonateur mécanique, un premier instant qui intervient avant l'instant médian et après l'ins-

tant initial de cette alternance et, aussi dans une alternance d'une oscillation de ce résonateur mécanique, un deuxième instant qui intervient après l'instant médian et avant l'instant final de cette alternance. Ensuite, le circuit de commande est agencé pour pouvoir déclencher sélectivement une première impulsion de freinage mécanique sensiblement au premier instant et une deuxième impulsion de freinage mécanique sensiblement au deuxième instant. Finalement, la surface de freinage du résonateur mécanique comprend un premier secteur, le long de son axe d'oscillation, pour l'application de la première impulsion de freinage mécanique débutant sensiblement au premier instant et un deuxième secteur, le long de l'axe d'oscillation, pour l'application de la deuxième impulsion de freinage mécanique débutant sensiblement au deuxième instant, quelle que soit l'amplitude d'oscillation de l'oscillateur mécanique dans sa plage de fonctionnement utile.

20 Brève description des figures

[0022] L'invention sera décrite ci-après de manière plus détaillée à l'aide des dessins annexés, donnés à titre d'exemples nullement limitatifs, dans lesquels :

- La Figure 1 est une vue de dessus d'un ensemble horloger selon l'invention,
- La Figure 2 montre un premier mode de réalisation d'un dispositif de régulation pour réguler la fréquence d'oscillation d'un balancier-spiral d'un ensemble horloger selon l'invention,
- La Figure 3 montre le signal de position fourni par un capteur détectant le passage du balancier-spiral par sa position neutre et l'application d'une première impulsion de freinage dans une certaine alternance avant que le balancier-spiral passe par sa position neutre, ainsi que la vitesse angulaire du balancier et sa position angulaire dans un intervalle temporel au cours duquel intervient la première impulsion de freinage,
- La Figure 4 est une figure similaire à celle de la Figure 3 avec l'application d'une deuxième impulsion de freinage dans une certaine alternance après que le balancier-spiral a passé par sa position neutre,
- La Figure 5 montre le schéma électronique d'un deuxième mode de réalisation du dispositif de régulation de l'oscillateur mécanique selon l'invention,
- La Figure 6 est un organigramme d'un mode de fonctionnement du dispositif de régulation de la Figure 5,
- La Figure 7 montre le schéma électronique d'une variante du deuxième mode de réalisation du dispositif de régulation de l'oscillateur mécanique,
- La Figure 8 montre deux signaux digitaux intervenant dans le circuit électronique de la Figure 7,
- La Figure 9 est un organigramme d'un mode de fonctionnement du dispositif de régulation de la Figure 7,
- La Figure 10 montre un troisième mode de réalisation d'un dispositif de régulation selon l'invention, et

- La Figure 11 montre un mode de réalisation particulier du dispositif de freinage d'un dispositif de régulation selon l'invention.

Description détaillée de l'invention

[0023] A la Figure 1 est représenté un ensemble horloger 2 selon la présente invention. Il comprend un mouvement horloger mécanique 4 qui est formé au moins par un mécanisme comprenant un rouage 10 entraîné par un ressort-moteur agencé dans un barillet 8 (ce mécanisme est représenté partiellement à la Figure 1). Le mouvement horloger comprend un résonateur mécanique 14, formé par un balancier 16 et un spiral 18, et un dispositif d'entretien du résonateur mécanique formant avec ce résonateur mécanique un oscillateur mécanique qui contrôle la marche du mécanisme. Le dispositif d'entretien comprend un échappement 12, formé ici par une ancre et une roue d'échappement qui est reliée cinématiquement au barillet par l'intermédiaire du rouage 10. Le résonateur mécanique est susceptible d'osciller le long d'un axe d'oscillation, en particulier un axe circulaire, autour d'une position neutre correspondant à un état d'énergie potentielle mécanique minimale. Chaque oscillation du résonateur mécanique définit une période d'oscillation.

[0024] L'ensemble horloger 2 comprend en outre un dispositif 6 pour réguler électroniquement la fréquence de l'oscillateur mécanique, ce dispositif de régulation comprenant un circuit électronique de régulation 22 associé à un oscillateur auxiliaire formé par un résonateur à quartz 23. On notera que d'autres types d'oscillateurs auxiliaires peuvent être prévus, notamment un oscillateur intégré entièrement dans le circuit de régulation. Par définition, l'oscillateur auxiliaire est plus précis que l'oscillateur mécanique. Le dispositif 6 comprend aussi un capteur 24 pour détecter au moins une position angulaire du balancier lorsqu'il oscille et un dispositif 26 d'application d'impulsions de régulation au résonateur mécanique 14. Finalement, l'ensemble horloger comprend une source d'énergie 28 associée à un dispositif 26 de stockage de l'énergie électrique engendrée par la source d'énergie. La source d'énergie est par exemple formée par une cellule photovoltaïque ou par un élément thermoélectrique, ces exemples étant nullement limitatifs. Dans le cas d'une pile, la source d'énergie et le dispositif de stockage forment ensemble un seul et même composant électrique.

[0025] De manière générale, le dispositif de régulation 6 comprend dans son circuit de régulation un circuit électronique de commande agencé pour générer un signal de commande, lequel est fourni au dispositif d'application d'impulsions de régulation qui est agencé de manière à pouvoir engendrer, en réponse à ce signal de commande, des impulsions de régulation successives exerçant chacune un certain couple de force sur le résonateur mécanique. Selon l'invention, le capteur 24 est agencé pour pouvoir détecter le passage d'au moins un point de

référence du balancier 16 par une certaine position donnée relativement à un support de ce résonateur mécanique. De préférence, le capteur est agencé pour détecter au moins le passage du résonateur mécanique par sa position neutre. On notera que, dans cette variante préférée, le capteur peut être associé à l'ancre de l'échappement de manière à détecter le basculement de cette ancre lors des impulsions d'entretien de l'oscillation qui sont prévues sensiblement lorsque le résonateur passe par sa position neutre.

[0026] La détection du point neutre du résonateur permet de générer une référence de temps utile et stable au sein des oscillations. En effet, en l'absence de perturbations (notamment engendrées par les impulsions de freinage prévues pour la régulation), le passage par le point neutre intervient toujours exactement au milieu des alternances, indépendamment de l'amplitude d'oscillation. Par contre, la détection d'une autre position angulaire du balancier ne donne pas une référence temporelle stable et bien définie, notamment relativement aux événements que sont le passage du balancier-spiral par sa position neutre et le début ou la fin des alternances, à savoir les instants où le balancier est à amplitude maximale et à vitesse angulaire nulle (correspondant à l'inversion du sens d'oscillation). De plus, comme la vitesse angulaire du balancier-spiral est maximale lors de son passage par sa position neutre, la précision de cette détection et ainsi la détection de l'instant correspondant sont meilleures. On comprendra mieux par la suite le bénéfice de la détection du passage du balancier-spiral par sa position neutre lors de l'exposé du procédé de régulation préféré qui sera fait en référence aux Figures 3 et 4, et des modes de réalisation qui suivent.

[0027] De manière générale, le dispositif de régulation 6 comprend aussi un dispositif de mesure agencé pour mesurer, sur la base de signaux de position fournis par le capteur, une dérive temporelle de l'oscillateur mécanique relativement à l'oscillateur auxiliaire. On comprend qu'une telle mesure est aisée dès lors qu'il est prévu un capteur capable de détecter le passage du résonateur mécanique par son point neutre. Un tel événement à lieu toutes les demi-périodes d'oscillation de l'oscillateur mécanique. Le circuit de mesure sera décrit plus en détails par la suite.

[0028] Le dispositif 26 d'application d'impulsions de régulation est agencé pour pouvoir appliquer au balancier 16 des impulsions de freinage mécanique pour réguler la fréquence de l'oscillateur mécanique lorsqu'une certaine dérive temporelle de cet oscillateur mécanique est constatée. Dans une variante particulière, l'énergie de freinage qui est prise au résonateur mécanique par une quelconque impulsion de freinage mécanique est prévue inférieure à l'énergie de blocage de l'oscillateur mécanique, ceci afin de ne pas stopper momentanément le mouvement d'oscillation du résonateur mécanique durant les impulsions de régulation. L'énergie de blocage est normalement définie comme l'énergie cinétique du résonateur mécanique au début de l'impulsion de freinage di-

minuée de la différence d'énergie potentielle de ce résonateur mécanique entre la fin et le début de l'impulsion de freinage en question, pour autant que l'oscillateur mécanique ne reçoive pas d'énergie d'entretien lors de cette impulsion de freinage. Il s'agit donc dans cette variante particulière de diminuer, au cours de l'impulsion de freinage, la vitesse angulaire du balancier-spiral sans le stopper plus ou moins longtemps. On remarquera que pour garantir le bon fonctionnement de l'échappement à ancre suisse d'un oscillateur horloger usuel, il est préférable que les impulsions de freinage n'aient pas lieu lors des basculements de l'ancre, basculements au cours desquels intervient un apport d'énergie d'entretien de l'oscillateur. Comme le basculement de l'ancre intervient généralement autour de la position neutre du résonateur mécanique, on évitera donc de perturber par une impulsion de freinage le mouvement d'oscillation du balancier-spiral lors de son passage par cette position neutre.

[0029] Selon un premier mode de réalisation représenté à la Figure 2, le dispositif d'application d'impulsions de régulation comprend un actionneur 36 ayant un organe de freinage mobile 38, lequel est actionné en réponse à un signal de commande de manière à exercer sur l'organe oscillant, ici le balancier, du résonateur mécanique une certaine force mécanique durant les impulsions de freinage mécanique. L'actionneur 36 comprend un élément piézoélectrique alimenté par un circuit 39 qui génère une tension électrique en fonction d'un signal de commande fourni par le circuit de régulation 22. Lorsque l'élément piézoélectrique est mis momentanément sous tension, l'organe de freinage vient en contact avec une surface de freinage du balancier pour le freiner. Dans l'exemple représenté à la Figure 2, la lame 38 formant l'organe de freinage se courbe et sa partie d'extrémité vient presser contre la surface latérale circulaire 40 de la serge 17 du balancier 16. Ainsi, la serge 17 définit, au moins sur un certain secteur angulaire, une surface de freinage sensiblement circulaire. Ensuite, l'organe de freinage comprend une partie mobile, ici la partie d'extrémité de la lame, qui définit un patin de freinage agencé de manière à venir exercer une pression contre la surface de freinage sensiblement circulaire lors de l'application des impulsions de freinage mécanique. De préférence, il est prévu dans le cadre de la présente invention que l'organe oscillant et l'organe de freinage sont agencés de manière que les impulsions de freinage mécanique sont appliquées par un frottement sec dynamique ou un frottement visqueux entre l'organe de freinage et une surface de freinage de l'organe oscillant.

[0030] Dans une variante avantageuse (non représentée), le balancier comprend un arbre central qui définit, respectivement qui porte une partie autre que la serge du balancier définissant, au moins sur un certain secteur angulaire, une surface de freinage circulaire. Dans ce cas, un patin de l'organe de freinage est agencé de manière à venir exercer une pression contre cette surface de freinage circulaire lors de l'application des impulsions de freinage mécanique.

[0031] Une surface de freinage circulaire, pour un organe oscillant qui est pivoté (balancier), associé à au moins un patin de freinage, porté par le dispositif de freinage du dispositif de régulation, constitue un système mécanique de freinage qui présente des avantages déterminants. En effet, grâce à un tel système, des impulsions de freinage peuvent être appliquées au résonateur mécanique à n'importe quel instant des oscillations, et ceci de manière indépendante de l'amplitude d'oscillation du balancier. Ensuite, on peut gérer précisément la correction engendrée par une impulsion de freinage, en particulier par une sélection appropriée de sa durée et par le couple de force de freinage appliqué. On peut aussi, notamment grâce à la mesure de position effectuée par le capteur, déterminer les instants au cours des alternances pour appliquer les impulsions de freinage. Ainsi, au moins le couple de freinage, la durée des impulsions et les instants respectifs auxquels elles sont engendrées peuvent être sélectionnés et varier en fonction de la dérive temporelle de l'oscillateur mécanique. En particulier il est ainsi possible d'engendrer de faibles corrections pour une régulation fine et précise de la fréquence d'oscillation.

[0032] On notera que l'amplitude d'oscillation varie généralement en fonction du degré d'armage du barillet (à moins qu'un dispositif spécifique pour produire une force constante soit prévu). Ainsi, à un instant donné non nul avant ou après le passage du résonateur par sa position neutre dans une quelconque alternance de son mouvement d'oscillation, la position angulaire du balancier varie en fonction de l'amplitude d'oscillation. Si on choisit par exemple de donner des impulsions de freinage pour réguler la fréquence d'oscillation toujours à un intervalle de temps fixe déterminé avant ou après le passage du résonateur par sa position neutre (voir le principe de régulation préféré exposé par la suite), la surface de freinage doit alors s'étendre sur une certaine longueur angulaire pour que le patin puisse dans tous les cas exercer une force de freinage sur le balancier à différentes positions angulaires le long de cette surface de freinage. Ainsi, le résonateur mécanique présente une surface de freinage qui s'étend sur au moins un certain secteur angulaire ayant une certaine longueur angulaire qui est non nulle (c'est-à-dire qu'un secteur angulaire est considéré comme non ponctuel), pour permettre l'application d'impulsions de freinage mécanique au moins à un certain instant donné dans les périodes d'oscillation de l'oscillateur mécanique, quelle que soit l'amplitude d'oscillation du résonateur mécanique pour une plage de fonctionnement utile de l'oscillateur mécanique.

[0033] On remarquera que, selon l'intervalle de temps susmentionné ou selon une plage temporelle choisie pour appliquer des impulsions de freinage avant ou après les instants de passage du résonateur mécanique par sa position neutre dans diverses alternances de son mouvement d'oscillation, instants qui sont détectés par le capteur 34, il suffit que deux secteurs angulaires déterminés du balancier présentent ou définissent respec-

tivement deux surfaces circulaires pour le patin de l'organe de freinage pour que les impulsions de freinage puissent être appliquées dans une plage de fonctionnement utile de l'oscillateur mécanique, c'est-à-dire sur une certaine plage angulaire utile pour l'amplitude de ses oscillations (par exemple entre 200° et 300°). En termes généraux, il est prévu que la surface de freinage du résonateur mécanique comprend au moins un premier secteur angulaire pour l'application, dans des alternances, de premières impulsions de freinage mécanique sensiblement à un premier instant situé avant l'instant médian de passage du résonateur mécanique par sa position neutre et un deuxième secteur angulaire pour l'application, dans des alternances, de deuxième impulsions de freinage mécanique sensiblement à un deuxième instant situé après l'instant médian, quelle que soit l'amplitude d'oscillation du résonateur mécanique dans une plage de fonctionnement utile de l'oscillateur mécanique considéré. On remarquera que, dans un cas spécifique où le premier instant et le deuxième instant sont prévus dans les alternances à même distance temporelle de l'instant médian et du même côté de la position neutre, les premier et deuxième secteurs angulaires sont sensiblement confondus et définissent ainsi un seul et même secteur angulaire de freinage. Dans d'autres cas, les premier et deuxième secteurs angulaires ont une partie commune ou sont distincts. Les mêmes considérations s'appliquent à un premier intervalle de temps et un deuxième intervalle de temps dans lesquels on peut prévoir d'appliquer respectivement les premières et deuxième impulsions de freinage. Dans la variante représentée à la Figure 2, la surface de freinage présente une étendue permettant l'application d'impulsions de freinage mécanique à n'importe quel instant des oscillations du résonateur mécanique.

[0034] On notera encore que le patin de l'organe de freinage peut aussi présenter une surface de contact circulaire, de même rayon que la surface de freinage, mais une telle configuration n'est pas requise. La surface de contact peut être notamment plane, comme représenté aux figures. Une surface plane a pour avantage de laisser une certaine marge dans le positionnement de l'organe de freinage relativement au balancier, ce qui permet d'avoir de plus grandes tolérances de fabrication et de montage du dispositif de freinage dans le ou à la périphérie du mouvement horloger.

[0035] Le capteur 34 est un capteur optique du type photoélectrique. Il comprend une source de lumière, agencée de manière à pouvoir envoyer un faisceau de lumière en direction du balancier, et un détecteur de lumière, agencé pour recevoir en retour un signal lumineux dont l'intensité varie périodiquement en fonction de la position du balancier. Dans l'exemple schématique représenté à la Figure 2, le faisceau est envoyé sur la surface latérale de la serge 17, cette surface présentant une zone limitée avec une réflectivité différente des deux zones avoisinantes, de sorte que le capteur peut détecter le passage de cette zone limitée et fournir au dispositif

de régulation un signal de position lorsque cet événement se produit. On comprendra que la surface circulaire présentant une réflexion variable pour le faisceau de lumière peut être située à d'autres endroits du balancier. La variation peut dans un cas particulier être produite par un trou dans la surface réfléchissante. Le capteur peut aussi détecter le passage d'une certaine partie du balancier, par exemple un bras, la position neutre correspondant par exemple au milieu d'un signal réfléchi par ce bras ou au début, respectivement à la fin d'un tel signal. On comprend donc que la modulation du signal lumineux, laquelle peut consister en une succession d'impulsions lumineuses reçues en retour par le photodétecteur, peut définir la position angulaire du balancier de diverses manières, par une variation négative ou positive de la lumière captée.

[0036] Dans d'autres variantes, le capteur de position peut être du type capacitif ou du type inductif et être ainsi agencé de manière à pouvoir détecter une variation de capacité, respectivement d'inductance en fonction de la position du balancier. Le capteur inductif fonctionne de préférence sans présence de matière aimantée sur le résonateur, par exemple par détection de la présence d'un matériau non aimanté ou simplement d'une variation de distance entre un tel matériau et le capteur. L'homme du métier connaît de nombreux capteurs qui pourront aisément être incorporés dans l'ensemble horloger selon l'invention.

[0037] De manière avantageuse, les divers éléments du dispositif de régulation 6 forment un module indépendant du mouvement horloger. Ainsi, ce module peut être assemblé ou associé au mouvement mécanique 4 que lors de leur montage notamment dans une boîte de montre. En particulier, un tel module peut-être fixé à un cercle d'emboîtement qui entoure le mouvement horloger. On comprend que le module de régulation électronique peut donc être avantageusement associé au mouvement horloger une fois ce dernier entièrement monté et réglé, le montage et démontage de ce module pouvant intervenir sans devoir intervenir sur le mouvement mécanique lui-même.

[0038] On décrira ci-après, en référence aux Figures 3 et 4, un procédé de régulation qui constitue un perfectionnement remarquable de l'invention, puis des modes de réalisations d'ensembles horlogers selon l'invention dans lesquels est implémenté ce procédé de régulation très avantageux.

[0039] La Figure 3 montre quatre graphes. Le premier graphe donne le signal digital fourni au cours du temps par le capteur 34 lorsque le résonateur 14 oscille, c'est-à-dire lorsque l'oscillateur mécanique de l'ensemble horloger est activé. On remarquera que le signal digital peut être fourni dans une première variante directement par le capteur, mais dans une deuxième variante le capteur fournit un signal analogique et c'est le circuit de régulation qui le convertit en signal digital, notamment au moyen d'un comparateur. Comme exposé précédemment, le capteur et le balancier sont agencés de manière à per-

mettre au capteur de détecter les passages successifs du balancier-spiral par sa position neutre. Un tel événement intervient deux fois par période d'oscillation, une fois dans chacune des deux alternances à un instant t_{zn} auquel le capteur fournit une impulsion 42.

[0040] Chaque période d'oscillation de l'oscillateur mécanique définit une première alternance suivie d'une deuxième alternance entre deux positions extrêmes définissant l'amplitude d'oscillation de cet oscillateur mécanique, chaque alternance présentant un passage du résonateur mécanique par sa position neutre à un instant médian t_{zn} et une durée entre un instant initial t_{An-1} , respectivement t_{D1} pour l'alternance A1 à la Figure 3 et t_{D2} pour l'alternance A2 à la Figure 4, et un instant final t_{An} , respectivement t_{F1} pour l'alternance A1 à la Figure 3 et t_{F2} pour l'alternance A2 à la Figure 4. Ces instants initiaux et finaux sont définis respectivement par les deux positions extrêmes occupées par le résonateur mécanique respectivement au début et à la fin de chaque alternance. Le deuxième graphe indique l'instant t_{p1} auquel une impulsion de freinage est appliquée au résonateur mécanique 14 pour effectuer une correction dans la marche du mécanisme cadencé par l'oscillateur mécanique. Les instants auxquels interviennent des impulsions de forme rectangulaire (c'est-à-dire d'un signal binaire) sont définis aux Figures 3 et 4 par les positions temporelles du milieu de ces impulsions. Cependant, on peut aussi considérer, selon la variante et la réalisation du circuit de régulation, le début ou la fin d'une impulsion comme l'instant qui la caractérise, à savoir soit le flanc montant soit le flanc descendant de cette impulsion. Ceci est notamment le cas pour les impulsions de freinage dont on détermine généralement le début (c'est-à-dire le déclenchement) et la durée.

[0041] On observe une variation de la période d'oscillation au cours de laquelle intervient l'impulsion de freinage et donc une variation ponctuelle de la fréquence de l'oscillateur mécanique. De fait, comme on le voit sur les deux derniers graphes de la Figure 3, qui montrent respectivement la vitesse angulaire (valeurs en radian par seconde : [rad/s]) et la position angulaire (valeurs en radian : [rad]) du balancier au cours du temps, la variation temporelle concerne la seule alternance au cours de laquelle intervient l'impulsion de freinage. On notera que chaque oscillation présente deux alternances successives qui sont définies dans le présent texte comme les deux demi-périodes au cours desquelles le balancier subit respectivement un mouvement d'oscillation dans un sens et ensuite un mouvement d'oscillation dans l'autre sens. En d'autres termes, une alternance correspond à un balancement du balancier dans un sens ou l'autre sens entre ses deux positions extrêmes définissant l'amplitude d'oscillation.

[0042] Par impulsion de freinage, on comprend une application, substantiellement durant un intervalle de temps limité, d'un certain couple de force au résonateur mécanique qui le freine, c'est-à-dire d'un couple de force qui s'oppose au mouvement d'oscillation de ce résona-

teur mécanique. Dans le cadre de l'invention, chaque impulsion de freinage est engendrée par un freinage mécanique qui exerce un couple de freinage mécanique sur le résonateur mécanique, comme le montre le troisième graphe représentant la vitesse angulaire du balancier.

[0043] Dans les Figures 3 et 4, la période d'oscillation T_0 correspond à une oscillation 'libre' (c'est-à-dire sans application d'impulsions de régulation) de l'oscillateur mécanique de l'ensemble horloger. Les deux alternances d'une période d'oscillation ont chacune une durée $T_0/2$ sans perturbation ou contrainte extérieure (notamment par une impulsion de régulation). Le temps $t = 0$ marque le début d'une première alternance. On notera que la fréquence 'libre' F_0 de l'oscillateur mécanique est ici approximativement égale à quatre Hertz ($F_0 = 4$ Hz), de sorte que la période $T_0 = 250$ ms environ.

[0044] On décrira premièrement le comportement de l'oscillateur mécanique dans un premier cas de correction de sa fréquence d'oscillation, qui correspond à celui montré à la Figure 3. Après une première période T_0 commence alors une nouvelle période T_1 , respectivement une nouvelle alternance A1 au cours de laquelle intervient une impulsion de freinage P1. A l'instant initial t_{D1} débute l'alternance A1, le résonateur 14 occupant une position angulaire positive maximale correspondant à une position extrême. Ensuite intervient l'impulsion de freinage P1 à l'instant t_{p1} qui est situé avant l'instant médian t_{N1} auquel le résonateur passe par sa position neutre. Finalement l'alternance A1 se termine à l'instant final t_{F1} . L'impulsion de freinage est déclenchée après un intervalle de temps T_{A1} suivant le dernier instant médian t_{zn} détecté par le capteur avant l'alternance A1. La durée T_{A1} est sélectionnée supérieure à une demi-alternance $T_0/4$ et inférieure à une alternance $T_0/2$ diminuée de la durée de l'impulsion de freinage P1. Dans l'exemple donné, la durée de cette impulsion de freinage est bien inférieure à une demi-alternance $T_0/4$. Par instant médian', on comprend un instant intervenant sensiblement au milieu des alternances. Ceci est précisément le cas lorsque l'oscillateur mécanique oscille librement. Par contre, pour les alternances au cours desquelles des impulsions de régulation sont fournies, on remarquera que cet instant médian ne correspond plus exactement au milieu de la durée de chacune de ces alternances du fait de la perturbation de l'oscillateur mécanique engendrée par le dispositif de régulation.

[0045] Dans ce premier cas, l'impulsion de freinage est générée entre le début d'une alternance et le passage du résonateur par sa position neutre dans cette alternance. Comme prévu, la vitesse angulaire en valeur absolue diminue au moment de l'impulsion de freinage P1. Une telle impulsion de freinage induit un déphasage temporel négatif T_{C1} dans l'oscillation du résonateur, comme le montrent les deux graphes de la vitesse angulaire et de la position angulaire à la Figure 3, soit un retard relativement au signal théorique non perturbé (représenté en traits interrompus). Ainsi, la durée de l'alternance A1 est augmentée d'un intervalle de temps T_{ci} . La période d'os-

cillation T1, comprenant l'alternance A1, est donc prolongée relativement à la valeur T0. Ceci engendre une diminution ponctuelle de la fréquence de l'oscillateur mécanique et un ralentissement momentané de la marche du mécanisme associé.

[0046] En référence à la Figure 4, on décrira ci-après le comportement de l'oscillateur mécanique dans un deuxième cas de correction de sa fréquence d'oscillation. Les graphes de cette Figure 4 montrent l'évolution temporelle des mêmes variables qu'à la Figure 3. Après une première période T0 commence alors une nouvelle période d'oscillation T2, respectivement une alternance A2 au cours de laquelle intervient une impulsion de freinage P2. A l'instant initial t_{D2} débute l'alternance A2, le résonateur mécanique étant alors dans une position extrême (position angulaire négative maximale). Après un quart de période ($T0/4$) correspondant à une demi-alternance, le résonateur atteint sa position neutre à l'instant médian t_{N2} . Ensuite intervient l'impulsion de freinage P2 à l'instant t_{P2} qui est situé après l'instant médian t_{N2} auquel le résonateur passe par sa position neutre dans l'alternance A2. Finalement, après l'impulsion freinage P2, cette alternance A2 se termine à l'instant final t_{F2} auquel le résonateur occupe à nouveau une position extrême (position angulaire positive maximale dans la période T2). L'impulsion de freinage est déclenchée après un intervalle de temps T_{A2} suivant l'instant médian t_{N2} de l'alternance A2. La durée T_{A2} est sélectionnée inférieure à une demi-alternance $T0/4$ diminuée de la durée de l'impulsion de freinage P2. Dans l'exemple donné, la durée de cette impulsion de freinage est bien inférieure à une demi-alternance.

[0047] Dans le deuxième cas considéré, l'impulsion de freinage est donc générée, dans une alternance, entre l'instant médian auquel le résonateur passe par sa position neutre et l'instant final auquel se termine cette alternance et auquel le résonateur occupe une position extrême. Comme prévu, la vitesse angulaire en valeur absolue diminue au moment de l'impulsion de freinage P2. De manière remarquable, l'impulsion de freinage induit ici un déphasage temporel positif T_{C2} dans l'oscillation du résonateur, comme le montrent les deux graphes de la vitesse angulaire et de la position angulaire à la Figure 4, soit une avance relativement au signal théorique non perturbé (représenté en traits interrompus). Ainsi, la durée de l'alternance A2 est diminuée de l'intervalle de temps T_{C2} . La période d'oscillation T2 comprenant l'alternance A2 est donc plus courte que la valeur T0. Ceci engendre par conséquent une augmentation ponctuelle de la fréquence de l'oscillateur mécanique et une accélération momentanée de la marche du mécanisme associé. Ce phénomène est surprenant et non intuitif, raison pour laquelle l'homme du métier l'a ignoré par le passé.

[0048] Ce procédé de régulation est remarquable par le fait qu'il tire profit d'un phénomène physique surprenant des oscillateurs mécaniques. Les inventeurs sont arrivés à la constatation suivante : Contrairement à l'enseignement général dans le domaine horloger, il est pos-

sible non seulement de diminuer la fréquence d'un oscillateur mécanique par des impulsions de freinage, mais il est aussi possible d'augmenter la fréquence d'un tel oscillateur mécanique également par des impulsions de freinage. L'homme du métier s'attend à pouvoir pratiquement seulement réduire la fréquence d'un oscillateur mécanique par des impulsions de freinage et, comme corolaire, à pouvoir seulement augmenter la fréquence d'un tel oscillateur mécanique par l'application d'impulsions motrices lors d'un apport d'énergie à cet oscillateur. Une telle intuition, qui s'est imposée dans le domaine horloger et vient donc de prime à bord à l'esprit d'un homme du métier, s'avère fausse pour un oscillateur mécanique. Bien qu'un tel comportement soit correct pour une micro-génératrice, dont le rotor tourne continûment dans un même sens, ceci n'est par contre pas vrai pour un oscillateur mécanique du fait qu'il oscille.

[0049] En effet, il est possible de réguler électroniquement, via un oscillateur auxiliaire comprenant par exemple un résonateur à quartz, un oscillateur mécanique par ailleurs très précis, qu'il présente momentanément une fréquence légèrement trop haute ou trop basse. Pour ce faire, il est prévu de bien sélectionner, en fonction de la marche du mécanisme en question et donc de la fréquence de l'oscillateur mécanique qui rythme cette marche, le moment pour appliquer une impulsion de freinage mécanique. Les inventeurs ont observé que l'effet produit par une impulsion de régulation sur un résonateur mécanique dépend du moment où elle est appliquée dans une alternance relativement à l'instant où ce résonateur mécanique passe par sa position neutre. Selon ce principe mis en lumière par les inventeurs et utilisé dans un ensemble horloger selon l'invention, une impulsion de freinage appliquée, dans une quelconque alternance entre les deux positions extrêmes du résonateur mécanique, substantiellement avant le passage du résonateur mécanique par sa position neutre (position de repos) produit un déphasage temporel négatif dans l'oscillation de ce résonateur et donc un retard dans la marche du mécanisme cadencée par le résonateur, alors qu'une impulsion de freinage appliquée dans cette alternance substantiellement après le passage du résonateur mécanique par sa position neutre produit un déphasage temporel positif dans l'oscillation de ce résonateur et donc une avance dans la marche du mécanisme. On peut ainsi corriger une fréquence trop haute ou une fréquence trop basse seulement au moyen d'impulsions de freinage. En résumé, l'application d'un couple de freinage pendant une alternance de l'oscillation d'un balancier-spiral provoque un déphasage négatif ou positif dans l'oscillation de ce balancier-spiral selon que ce couple de freinage est appliqué respectivement avant ou après le passage du balancier-spiral par sa position neutre.

[0050] En exploitant les phénomènes physiques exposés ci-dessus, un mode de réalisation principal de l'ensemble horloger selon l'invention est caractérisé par un agencement particulier du dispositif de régulation de l'oscillateur mécanique et notamment du circuit électronique

de régulation. Généralement, ce dispositif de régulation comprend un dispositif de mesure agencé pour mesurer, le cas échéant, une dérive temporelle de l'oscillateur mécanique relativement à un oscillateur auxiliaire, lequel est implicitement plus précis que le résonateur mécanique, et pour déterminer si cette dérive temporelle correspond à au moins une certaine avance ou à au moins un certain retard. Ensuite, le dispositif de régulation comprend un circuit de commande relié au dispositif d'application d'impulsions de régulation décrit précédemment, lesquels sont agencés pour pouvoir appliquer au résonateur mécanique, lorsque la dérive temporelle de l'oscillateur mécanique correspond à au moins une certaine avance, une première impulsion de freinage substantiellement dans une première demi-alternance avant l'instant médian de passage du résonateur mécanique par sa position neutre et, lorsque la dérive temporelle de l'oscillateur mécanique correspond à au moins un certain retard, une deuxième impulsion de freinage substantiellement dans une deuxième demi-alternance après l'instant médian de passage du résonateur mécanique par sa position neutre.

[0051] Dans un mode de réalisation préféré qui sera décrit par la suite plus en détails, le dispositif de régulation comprend un dispositif de détermination de positions temporelles du résonateur mécanique, ce dispositif de détermination étant agencé pour pouvoir déterminer, dans une alternance d'une oscillation, un premier instant qui intervient avant l'instant médian de passage du résonateur mécanique par sa position neutre et après l'instant initial auquel débute cette alternance, ainsi que, dans la même alternance ou une autre alternance d'une oscillation, un deuxième instant qui intervient après l'instant médian de passage du résonateur mécanique par sa position neutre et avant l'instant final auquel se termine cette alternance. Ensuite, le circuit de commande est agencé pour déclencher sélectivement une première impulsion de freinage sensiblement au premier instant et une deuxième impulsion de freinage sensiblement au deuxième instant.

[0052] Il faut noter que le dispositif de détermination de positions temporelles du résonateur mécanique peut avoir des éléments ou organes en commun avec le dispositif de mesure, en particulier le capteur de mesure de position, et avec le circuit de commande, par exemple un circuit logique et éventuellement un compteur. Cependant, de tels modes de réalisation ne sont nullement limitatifs dans le cadre de la présente invention.

[0053] En référence aux Figures 5 et 6, on décrira ci-après un deuxième mode de réalisation d'un ensemble horloger selon l'invention, en particulier de son dispositif de régulation. Le dispositif de régulation 46 comprend un circuit électronique de régulation 48 et un résonateur auxiliaire 23. Ce résonateur auxiliaire est par exemple un résonateur électronique à quartz. Le capteur 24 fournit ici un signal analogique constitué d'impulsions intervenant aux passages successifs du balancier-spiral par sa position neutre. Ce signal analogique est comparé à une

tension de référence UREF au moyen d'un comparateur à hystérèse 50 (Schmidt trigger) agencé dans le circuit 48 afin de générer un signal digital 'Comp' pour l'électronique digitale du circuit de régulation. Ce signal digital 'Comp' est constitué d'une succession d'impulsions digitales 42 dont les flancs montants respectifs interviennent respectivement aux instants t_{zn} , $n = 1, 2, \dots, N, \dots$ (voir Figures 3 et 4).

[0054] Le comparateur est un élément d'un circuit de mesure 52 décrit ci-après. Etant donné qu'il y a deux impulsions 42 par période d'oscillation du résonateur mécanique, le signal digital 'Comp' est fourni à une bascule 54, laquelle fournit régulièrement une impulsion par période d'oscillation. La bascule incrémente, à la fréquence instantanée de l'oscillateur mécanique, un compteur bidirectionnel C2, lequel est décrémenté à une fréquence nominale / fréquence de consigne par un signal d'horloge S_{hor} dérivé de l'oscillateur auxiliaire qui génère un signal digital à une fréquence de référence. Cet oscillateur auxiliaire est formé du résonateur auxiliaire 23 et d'un circuit d'horloge 56. A cet effet, le signal de référence à relativement haute fréquence généré par le circuit d'horloge est préalablement divisé par les diviseurs DIV1 et DIV2 (ces deux diviseurs pouvant former deux étages d'un même diviseur). Ainsi, l'état du compteur C2 détermine l'avance ou le retard accumulé au cours du temps par l'oscillateur mécanique relativement à l'oscillateur auxiliaire avec une résolution correspondant sensiblement à une période de consigne, l'état du compteur étant fourni à un circuit logique de commande 58. L'état du compteur C2 correspond à la dérive temporelle de l'oscillateur mécanique.

[0055] Comme indiqué dans l'organigramme de la Figure 6, lors de l'activation du dispositif de régulation et de la mise sous tension de son circuit de régulation 48, ce circuit est initialisé à l'étape POR. En particulier une réinitialisation ('reset') du compteur C2 est effectuée. Ensuite, on attend la détection d'un premier flanc montant du signal digital 'Comp'. A cet instant, le circuit de commande 58 réinitialise ('reset') le compteur C1. Simultanément, le circuit de commande vérifie si une certaine dérive temporelle a été constatée. Plus particulièrement, il détermine si la dérive temporelle éventuelle correspond à une certaine avance ($C2 > N1$?) ou à un certain retard ($C2 < -N2$?). On notera que $N1$ et $N2$ sont des nombres naturels (nombres entiers positifs différents de zéro). Dans le cas où une telle avance, respectivement un tel retard ne sont pas constatés, le circuit de commande met fin à la séquence (implémentée en boucle) et il attend l'apparition d'une nouvelle impulsion 42 dans le signal du capteur.

[0056] Si la condition $C2 > N1$ est vérifiée ('vrai'), alors le circuit de commande attend que le compteur C1 ait mesuré un premier intervalle de temps T_{A1} (voir Figure 3) et alors il envoie un signal de commande à un minuteur 60 ('Timer') qui ferme de suite un interrupteur 62 (qui passe alors à l'état 'ON') pour mettre sous tension le dispositif de freinage mécanique, plus précisément pour

que ce dernier active son organe de freinage mécanique durant une période de freinage T_R . Dans le cas d'un élément piézoélectrique utilisé pour déplacer la partie d'extrémité mobile de la lame 38 en direction de la serge ou de l'arbre du balancier (voir Figure 2), l'interrupteur 62 commande alors la mise sous tension de cet élément piézoélectrique. Le premier intervalle T_{A1} est sélectionné supérieur à une demi-alternance $T_0/4$ et inférieur à une alternance $T_0/2$ diminuée au moins de la durée de l'impulsion de freinage, de sorte que l'entier de cette impulsion de freinage soit appliqué dans une alternance avant le passage du résonateur mécanique par sa position neutre, pour engendrer une diminution de la fréquence instantanée de l'oscillateur mécanique, étant donné que la dérive temporelle indique que sa fréquence libre est supérieure en moyenne à la fréquence nominale, à savoir supérieure à la fréquence de consigne déterminée par l'oscillateur auxiliaire. Suite à la génération d'une impulsion de freinage (durée T_R), la séquence est terminée et une nouvelle séquence est commencée avec l'attente de l'apparition d'une nouvelle impulsion 42 dans le signal fourni par le capteur.

[0057] Si la condition $C2 < -N2$ est vérifiée ('vrai'), alors le circuit de commande attend que le compteur C1 ait mesuré un deuxième intervalle de temps T_{A2} (voir Figure 4) et alors il envoie un signal de commande au minuteur 60 ('Timer') qui ferme de suite l'interrupteur 62 pour que le dispositif de freinage mécanique active son organe de freinage mécanique durant une période de freinage T_R . Suite à la génération d'une impulsion de freinage (durée T_R), la séquence est terminée et une nouvelle séquence est commencée avec l'attente de l'apparition d'une nouvelle impulsion 42 dans le signal fourni par le capteur. Le deuxième intervalle T_{A2} est sélectionné inférieur à une demi-alternance $T_0/4$ diminué de la durée de l'impulsion de freinage, de sorte que l'entier de cette impulsion de freinage soit appliqué dans une alternance après le passage du résonateur mécanique par sa position neutre et avant la fin de l'alternance en question pour engendrer une augmentation de la fréquence instantanée de l'oscillateur mécanique, étant donné que la dérive temporelle indique que sa fréquence libre est inférieure en moyenne à la fréquence de consigne.

[0058] On remarquera que, dans les Figures 3 et 4, les intervalles de temps T_{A1} et T_{A2} débutent exactement aux passages du résonateur mécanique par sa position neutre. Cependant, si les impulsions 42 sont centrées sur un tel événement et présentent une certaine durée non nulle, la détection de leur flanc montant ou de leur flanc descendant présente alors un certain décalage temporel par rapport à cet événement. Dès lors, on comprendra que les plages de valeurs pour les intervalles T_{A1} et T_{A2} peuvent être ici un peu différentes de celles résultant des Figures 3 et 4 (petites variations des valeurs limites, sensiblement de la moitié de la durée des impulsions de position) pour satisfaire aux deux conditions principales du procédé de régulation.

[0059] On notera que, dans le cas où $C2 > N1$ ou $C2$

$< -N2$, on peut prévoir, dans une variante, de fournir une pluralité d'impulsions de commande successives à une pluralité d'instantanés $t_{zn} + T_{A1}$, respectivement $t_{zn} + T_{A2}$ selon le procédé décrit. Ceci revient à inhiber l'interrogation de l'état du compteur C2 durant un certain nombre de séquences. Une telle variante permet de fournir une succession d'impulsions de freinage de faible énergie. Pour limiter la plage possible pour la dérive temporelle de l'oscillateur, on prendra de préférence de petites valeurs pour $N1$ et $N2$. Par exemple $N1 = N2 = 1$ ou 2.

[0060] Le capteur, le comparateur 50, le circuit de commande 58 et le compteur C1, incrémenté par le circuit d'horloge 60 via le diviseur DIV1, forment ensemble un dispositif de détermination de positions temporelles du résonateur mécanique qui permet d'appliquer des impulsions de freinage mécanique dans diverses alternances sélectivement avant et après le passage du résonateur mécanique par sa position neutre. Ainsi, le procédé de régulation préféré décrit précédemment peut être implémenté de manière efficace et sûre, de manière à corriger une fréquence naturelle de l'oscillateur mécanique qui est trop haute ou trop basse relativement à la fréquence de consigne générée par le circuit d'horloge 60 via les diviseurs. Le dispositif de détermination de positions temporelles est donc agencé pour mesurer, suite à la détection d'un passage du résonateur par sa position neutre, un premier intervalle de temps et un deuxième intervalle de temps dont les fins respectives définissent respectivement un premier instant et un deuxième instant qui sont situés temporellement, dans une quelconque alternance de l'oscillation du résonateur mécanique, respectivement avant et après l'instant du passage de ce résonateur par sa position neutre.

[0061] En référence aux Figures 7 à 9, on décrira une variante du deuxième mode de réalisation de l'invention, laquelle définit un perfectionnement du dispositif de régulation selon l'invention en relation avec une gestion de l'énergie électrique consommée par le capteur. Les éléments du circuit de régulation 48A, qui sont identiques avec ceux de la variante décrite en référence aux Figures 5 et 6, ne seront pas décrits à nouveau ici, de même pour le procédé de régulation qui correspond à celui de cette variante décrite précédemment. Le dispositif de régulation 66 se distingue du dispositif de régulation 46 par le fait que le capteur 24 a un mode de veille ou qu'il peut même être mis hors tension. Ainsi, par état 'OFF', on comprend que le capteur est rendu momentanément inactif et qu'il se trouve alors dans un état de moindre consommation électrique que dans son état 'ON' dans lequel il détecte les balancements du résonateur mécanique.

[0062] On prévoit, dans la présente variante, de mettre le capteur dans son état 'OFF' durant la majeure partie de chaque oscillation de l'oscillateur mécanique. A cet effet, le circuit de commande 58A est agencé pour fournir un signal de commande S_{CAP} à un interrupteur 68 qui commande l'alimentation du capteur 24, respectivement qui commande l'état de ce capteur entre son état 'ON'

et son état 'OFF'. Comme l'indiquent les signaux S_{CAP} et Comp à la Figure 8, il est prévu de mettre le capteur dans son état 'OFF' durant un intervalle de temps T_{OFF} T_0 et dans son état 'ON' durant un intervalle de temps T_{ON} dans chaque période d'oscillation T_0 (à noter que $T_0 = T_{OFF} + T_{ON}$). De préférence, la durée de T_{ON} est prévue inférieure à une demi-alternance $T_0/4$ pour minimiser la consommation d'énergie du capteur. En effet, il est possible que le signal digital 'Comp' présente des impulsions de relativement courte durée, de sorte que la détection d'une impulsion 42 par période d'oscillation ne nécessite qu'une relativement petite fenêtre temporelle T_{ON} . Dans ce cas, le comparateur 50 ne délivre qu'une seule impulsion 42 par période d'oscillation, de sorte que la bascule prévue dans la variante précédente est supprimée. Le comparateur 50 fournit directement son signal de sortie au compteur C2.

[0063] Dans l'organigramme de la Figure 9, la gestion de l'alimentation du capteur apparaît par la mise du capteur dans son état 'OFF' dans chaque séquence du procédé de régulation après la détection du flanc descendant d'une impulsion 42 du signal 'Comp'. On remarquera que dans cette variante, on détecte le flanc descendant des impulsions 42 du signal de position. Le capteur peut ainsi détecter l'entier d'une impulsion de position 42 dans l'intervalle T_{ON} . Toutefois, pour la régulation elle-même, la détection du flanc montant ou du flanc descendant ne change rien. Pour la détection de la position du balancier, la détection du flanc montant des impulsions est également possible pour déclencher le passage du capteur de son état 'ON' à son état 'OFF'. Dans ce dernier cas, la durée des impulsions 42 est diminuée fortement puisque le capteur est rendu inactif directement après le début de ces impulsions. Une telle variante d'implémentation permet de diminuer encore plus la consommation du capteur.

[0064] Lors de l'activation du dispositif de régulation, le capteur est mis directement dans son état 'ON' dans l'attente de la détection du flanc descendant d'une première impulsion 42 (correspondant à un passage par la position neutre du résonateur mécanique). Dès cette détection effectuée, le capteur est mis dans son état 'OFF' (capteur OFF) et la séquence de régulation continue comme dans la variante précédente. Par contre, qu'une impulsion de freinage soit générée ou non, le circuit de commande 58A continue de suivre l'incrémentement du compteur C1 jusqu'à ce que sa valeur corresponde à l'intervalle de temps T_{OFF} prévu. Alors la séquence se termine par une nouvelle activation du capteur (Capteur ON) qui marque également le début d'une séquence suivante. L'algorithme tel que donné à la Figure 9 prévoit que la durée T_{OFF} soit supérieure à la durée T_{A1} . Cette condition indique que l'intervalle T_{OFF} est sensiblement supérieur à une alternance $T_0/2$. Dans une autre variante, il est prévu de ne détecter le passage par la position neutre qu'une seule fois dans un intervalle de temps nT_0 correspondant à plusieurs périodes d'oscillation ($n > 1$). Dans une telle variante, le dispositif de mesure est mo-

difié en conséquence pour que le compteur C2 ne reçoive qu'une seule impulsion de consigne, dérivée de l'oscillateur auxiliaire, dans les intervalles nT_0 successifs.

[0065] En référence à la Figure 10, on décrira ci-après un troisième mode de réalisation d'un ensemble horloger 72, lequel se distingue des modes précédents par l'agencement de son dispositif de freinage 74. L'actionneur de ce dispositif de freinage comprend deux modules de freinage 76 et 78 formés chacun par une lame 38A, respectivement 38B actionnée par un système magnétique aimant-bobine 80A, respectivement 80B. Les bobines des deux systèmes magnétiques sont respectivement commandées par deux circuits d'alimentation 82A et 82B qui sont reliés électriquement au circuit de régulation 22. Les lames 38A et 38B définissent un premier patin de freinage et un deuxième patin de freinage. Ces deux patins de freinage sont agencés de manière que, lors de l'application des impulsions de freinage mécanique, ils viennent exercer sur le balancier respectivement deux forces radiales diamétralement opposées relativement à l'axe de rotation du balancier 16 et de sens opposés. Bien entendu, le couple de force exercé par chacun des deux patins lors d'une impulsion de freinage est prévu sensiblement égale à l'autre. Ainsi, la résultante des forces dans le plan général du balancier est sensiblement nulle de sorte qu'aucune force radiale ne s'exerce sur l'arbre du balancier lors des impulsions de freinage. Ceci évite des contraintes mécaniques pour les pivots de cet arbre de balancier et plus généralement au niveau des paliers associés à ces pivots. Un tel agencement peut avantageusement être incorporé dans une variante où le freinage est effectuée sur l'arbre du balancier ou sur un disque de relativement petit diamètre porté par cet arbre.

[0066] Dans une variante de réalisation, la force de freinage exercée sur le balancier peut être prévue axiale. Dans une telle variante, il est avantageux de prévoir un dispositif de freinage du type proposé à la Figure 10. Dans ce cas, l'actionneur est agencé de manière que, lors de l'application des impulsions de freinage, le premier patin et le deuxième patin viennent exercer sur le balancier deux forces axiales sensiblement alignées et de sens opposés. Le couple de force exercé par chacun des deux patins lors d'une impulsion de freinage est prévu ici aussi sensiblement égale à l'autre.

[0067] Un actionneur formant un dispositif de freinage particulier est montré à la Figure 11. L'actionneur comprend un moteur du type horloger 86 et un organe de freinage 90 qui est monté sur un rotor 88, à aimant permanent, de ce moteur de manière à venir exercer une certaine pression sur le balancier 16 du résonateur 14 lorsque le rotor effectue une certaine rotation, laquelle est engendrée par une alimentation d'une bobine du moteur durant les impulsions de freinage en réponse à un signal de commande fourni par le circuit de régulation.

Revendications

1. Ensemble horloger (2), comprenant :

- un mécanisme, 5
- un résonateur mécanique (14) susceptible d'osciller le long d'un axe d'oscillation autour d'une position neutre correspondant à son état d'énergie potentielle mécanique minimale, 10
- un dispositif d'entretien (8,10,12) du résonateur mécanique formant avec ce résonateur mécanique un oscillateur mécanique qui est agencé pour cadencer la marche dudit mécanisme, chaque oscillation du résonateur mécanique définissant deux alternances successives entre deux positions extrêmes sur l'axe d'oscillation qui définissent l'amplitude d'oscillation de l'oscillateur mécanique, 15
- un dispositif pour réguler la fréquence de l'oscillateur mécanique, ce dispositif de régulation comprenant un oscillateur auxiliaire (23), un dispositif (26,60,62) pour appliquer des impulsions de régulation au résonateur mécanique et un circuit électronique de commande (58, 58A) agencé pour générer un signal de commande qui est fourni au dispositif d'application d'impulsions de régulation pour l'activer, 20
- un capteur (24, 34) agencé pour pouvoir détecter le passage du résonateur mécanique par au moins une certaine position donnée sur l'axe d'oscillation ; 25 30

l'ensemble horloger étant **caractérisé en ce que** le dispositif de régulation comprend un dispositif de mesure (50, C2) agencé pour pouvoir mesurer, sur la base de signaux de position fournis par ledit capteur, une dérive temporelle de l'oscillateur mécanique relativement à l'oscillateur auxiliaire; **en ce que** le dispositif d'application d'impulsions de régulation est formé par un dispositif électromécanique agencé de manière à pouvoir engendrer, en réponse au signal de commande qui est fonction de la dérive temporelle mesurée, des impulsions de freinage mécanique appliquées au résonateur mécanique, notamment au moins une impulsion de freinage mécanique exerçant un certain couple de force sur le résonateur mécanique lorsqu'au moins une certaine dérive temporelle de l'oscillateur mécanique est détectée ; et **en ce que** le résonateur mécanique définit une surface de freinage présentant une certaine étendue selon ledit axe d'oscillation et agencée de manière à permettre au moins l'application de ladite impulsion de freinage mécanique avec son déclenchement à un certain instant donné au cours d'une alternance parmi les deux alternances d'une oscillation de l'oscillateur mécanique quelle que soit l'amplitude d'oscillation de cet oscillateur mécanique dans une plage d'amplitude ayant une certaine étendue et corres-

pondant à une plage de fonctionnement utile de l'oscillateur mécanique, ledit instant donné étant sélectionné de sorte que le passage par la position neutre du résonateur mécanique n'intervienne pas au cours de ladite impulsion de freinage mécanique.

2. Ensemble horloger selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le dispositif d'application d'impulsions de régulation est formé par un actionneur (36, 76,78, 86) comprenant un organe de freinage (38, 38A,38B, 90) qui est agencé pour être actionné, en réponse audit signal de commande, de manière à pouvoir exercer sur un organe oscillant du résonateur mécanique, définissant ladite surface de freinage, un certain couple de force mécanique durant lesdites impulsions de freinage mécanique.
3. Ensemble horloger selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le dispositif d'application d'impulsions de régulation est agencé de manière que l'énergie de freinage de chaque impulsion de freinage mécanique soit inférieure à une énergie de blocage, pour ne pas stopper momentanément le résonateur mécanique au cours des impulsions de freinage mécanique ; et **en ce que** l'organe oscillant et l'organe de freinage sont agencés de manière que les impulsions de freinage mécanique puissent être appliquées principalement par un frottement sec dynamique entre l'organe de freinage et ladite surface de freinage de l'organe oscillant.
4. Ensemble horloger selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** ledit actionneur est agencé pour actionner ledit organe de freinage via un élément piézoélectrique ou via un système électromagnétique.
5. Ensemble horloger selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** ledit actionneur comprend un moteur du type horloger, ledit organe de freinage étant monté sur un rotor de ce moteur de manière à venir exercer une certaine pression sur l'organe oscillant lorsque le rotor effectue une certaine rotation engendrée par une alimentation d'une bobine du moteur en réponse audit signal de commande.
6. Ensemble horloger selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, **caractérisé en ce que** l'organe oscillant est formé par un balancier pivotant comprenant une serge qui définit ladite surface de freinage, laquelle est sensiblement circulaire ; et **en ce que** l'organe de freinage comprend une partie mobile qui définit un patin de freinage agencé de manière à venir exercer une certaine pression contre la surface de freinage circulaire lors de l'application des impulsions de freinage mécanique.
7. Ensemble horloger selon l'une quelconque des re-

vendications 2 à 5, **caractérisé en ce que** l'organe oscillant est formé par un balancier pivotant comprenant un arbre central qui définit, respectivement qui porte une partie autre que la serge du balancier définissant ladite surface de freinage, laquelle est sensiblement circulaire ; et **en ce que** l'organe de freinage comprend une partie mobile qui définit un patin de freinage agencé de manière à venir exercer une certaine pression contre la surface de freinage circulaire lors de l'application des impulsions de freinage mécanique.

8. Ensemble horloger selon la revendication 6 ou 7, dans lequel ladite partie mobile est une première partie et ledit patin de freinage est un premier patin, **caractérisé en ce que** ledit organe de freinage ou un autre organe de freinage formant également ledit actionneur comprend au moins une seconde partie mobile qui définit un second patin de freinage ; et **en ce que** ledit actionneur est agencé de manière que, lors de l'application desdites impulsions de freinage mécanique, les premier et deuxième patins viennent exercer sur le balancier deux forces radiales diamétralement opposées relativement à l'axe de rotation du balancier et de sens opposés.
9. Ensemble horloger selon la revendication 6 ou 7, dans lequel ladite partie mobile est une première partie et ledit patin de freinage est un premier patin, **caractérisé en ce que** ledit organe de freinage ou un autre organe de freinage formant également ledit actionneur comprend au moins une seconde partie mobile qui définit un second patin de freinage ; et **en ce que** ledit actionneur est agencé de manière que, lors de l'application desdites impulsions de freinage, les premier et deuxième patins viennent exercer sur le balancier deux forces axiales sensiblement alignées et de sens opposés.
10. Ensemble horloger selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque période d'oscillation de l'oscillateur mécanique présente une première alternance suivie d'une seconde alternance, chaque première alternance et chaque seconde alternance présentant un passage du résonateur mécanique par sa position neutre à un instant médian et une durée entre un instant initial et un instant final définis respectivement par les deux positions extrêmes occupées par le résonateur mécanique respectivement au début et à la fin de l'alternance ; **caractérisé en ce que** ledit dispositif de mesure est agencé pour pouvoir déterminer si ladite dérive temporelle correspond à au moins une certaine avance ou à au moins un certain retard ; et **en ce que** ledit circuit de commande et ledit dispositif d'application d'impulsions de régulation sont agencés pour pouvoir appliquer sélectivement au résonateur mécanique, lorsque la dérive temporelle me-

surée correspond à ladite au moins une certaine avance, une première impulsion de freinage mécanique (P1) dont au moins une majeure partie intervient entre ledit instant initial (t_{D1}) et ledit instant médian (t_{N1}) d'une alternance (A1) et, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond audit au moins un certain retard, une deuxième impulsion de freinage mécanique (P2) dont au moins une majeure partie intervient entre ledit instant médian (t_{N2}) et ledit instant final (t_{F2}) d'une alternance (A2).

11. Ensemble horloger selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le dispositif de régulation comprend un dispositif de détermination de positions temporelles du résonateur mécanique, ce dispositif de détermination étant agencé pour pouvoir déterminer, dans une alternance d'une oscillation du résonateur mécanique, un premier instant qui intervient avant ledit instant médian et après ledit instant initial de cette alternance et, également dans une alternance d'une oscillation du résonateur mécanique, un deuxième instant qui intervient après ledit instant médian et avant ledit instant final de cette alternance ; **en ce que** ledit circuit de commande est agencé pour pouvoir déclencher sélectivement ladite première impulsion de freinage mécanique sensiblement audit premier instant et ladite deuxième impulsion de freinage mécanique sensiblement audit deuxième instant ; et **en ce que** ladite surface de freinage du résonateur mécanique comprend un premier secteur, selon ledit axe d'oscillation, pour l'application de la première impulsion de freinage mécanique débutant sensiblement audit premier instant et un deuxième secteur, selon ledit axe d'oscillation, pour l'application de la deuxième impulsion de freinage mécanique débutant sensiblement audit deuxième instant, quelle que soit l'amplitude d'oscillation dudit résonateur mécanique dans ladite plage de fonctionnement utile.
12. Ensemble horloger selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ledit capteur est agencé pour détecter au moins le passage du résonateur mécanique par sa position neutre.
13. Ensemble horloger selon la revendication 12 dépendante de la revendication 11, **caractérisé en ce que** ledit dispositif de détermination de positions temporelles est agencé pour pouvoir mesurer, suite à la détection d'un passage du résonateur par sa position neutre, un premier intervalle de temps (T_{A1}) et un deuxième intervalle de temps (T_{A2}) dont les fins respectives définissent respectivement ledit premier instant et ledit deuxième instant.
14. Ensemble horloger selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**

ledit capteur est soit un capteur optique comprenant une source de lumière, agencée de manière à pouvoir envoyer un faisceau de lumière en direction du résonateur mécanique, et un détecteur de lumière, agencé pour recevoir en retour un signal lumineux dont l'intensité varie périodiquement en fonction de la position du résonateur mécanique, soit un capteur capacitif ou un capteur inductif agencé de manière à pouvoir détecter une variation de capacité, respectivement d'inductance en fonction de la position du résonateur mécanique, le capteur inductif fonctionnant de préférence sans matière aimantée sur le résonateur.

15. Ensemble horloger selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ladite surface de freinage présente une étendue permettant l'application desdites impulsions de freinage mécanique avec un déclenchement sensiblement à n'importe quel instant des alternances respectives dudit oscillateur mécanique.

16. Module de régulation de la fréquence moyenne d'un oscillateur mécanique dont est muni un mouvement mécanique horloger, ce module de régulation comprenant :

- un dispositif de régulation comprenant un oscillateur auxiliaire (23), un dispositif (26,60,62) agencé pour pouvoir appliquer des impulsions de régulation à un résonateur mécanique formant ledit oscillateur mécanique et un circuit électronique de commande (58, 58A) agencé pour générer un signal de commande qui est fourni au dispositif d'application d'impulsions de régulation pour l'activer,
- un capteur (24, 34) agencé pour pouvoir détecter le passage du résonateur mécanique par au moins une certaine position donnée sur son axe d'oscillation ;

caractérisé en ce que le dispositif de régulation comprend un dispositif de mesure (50, C2) agencé pour pouvoir mesurer, sur la base de signaux de position fournis par ledit capteur, une dérive temporelle de l'oscillateur mécanique relativement à l'oscillateur auxiliaire; **en ce que** le dispositif d'application d'impulsions de régulation est formé par un dispositif électromécanique agencé de manière à pouvoir engendrer, en réponse au signal de commande qui est fonction de la dérive temporelle mesurée, des impulsions de freinage mécanique susceptibles d'être appliquées audit résonateur mécanique, notamment au moins une impulsion de freinage mécanique capable d'exercer une certaine force de freinage sur une surface de freinage du résonateur mécanique lorsqu'au moins une certaine dérive temporelle de l'oscillateur mécanique est détectée ; et **en**

ce que le dispositif de régulation est agencé de manière à permettre le déclenchement de ladite impulsion de freinage mécanique à un certain instant donné au cours d'une alternance de l'oscillateur mécanique, cet instant donné étant sélectionné de sorte que le passage par la position neutre du résonateur mécanique n'intervienne pas au cours de ladite impulsion de freinage mécanique.

17. Module de régulation selon la revendication 16, **caractérisé en ce que** le dispositif d'application d'impulsions de régulation est formé par un actionneur (36, 76,78, 86) comprenant un organe de freinage (38, 38A,38B, 90) qui est agencé pour être actionné, en réponse audit signal de commande, de manière à pouvoir exercer sur un organe oscillant du résonateur mécanique, définissant ladite surface de freinage, une certaine force mécanique durant lesdites impulsions de freinage mécanique.

18. Module de régulation selon la revendication 17, **caractérisé en ce que** l'organe de freinage est agencé de manière que les impulsions de freinage mécanique puissent être appliquées principalement par un frottement sec dynamique entre ledit organe de freinage et ladite surface de freinage de l'organe oscillant.

19. Module de régulation selon la revendication 18, **caractérisé en ce que** l'organe de freinage comprend une partie mobile qui définit un patin de freinage agencé de manière à pouvoir venir exercer une certaine pression contre ladite surface de freinage lors de l'application des impulsions de freinage mécanique.

20. Module de régulation selon la revendication 19, dans lequel ladite partie mobile est une première partie et ledit patin de freinage est un premier patin, **caractérisé en ce que** ledit organe de freinage ou un autre organe de freinage formant également ledit actionneur comprend au moins une seconde partie mobile qui définit un second patin de freinage ; et **en ce que** ledit actionneur peut être agencé de manière que, lors de l'application desdites impulsions de freinage, les premier et deuxième patins viennent exercer sur le résonateur mécanique deux forces sensiblement alignées et de sens opposés.

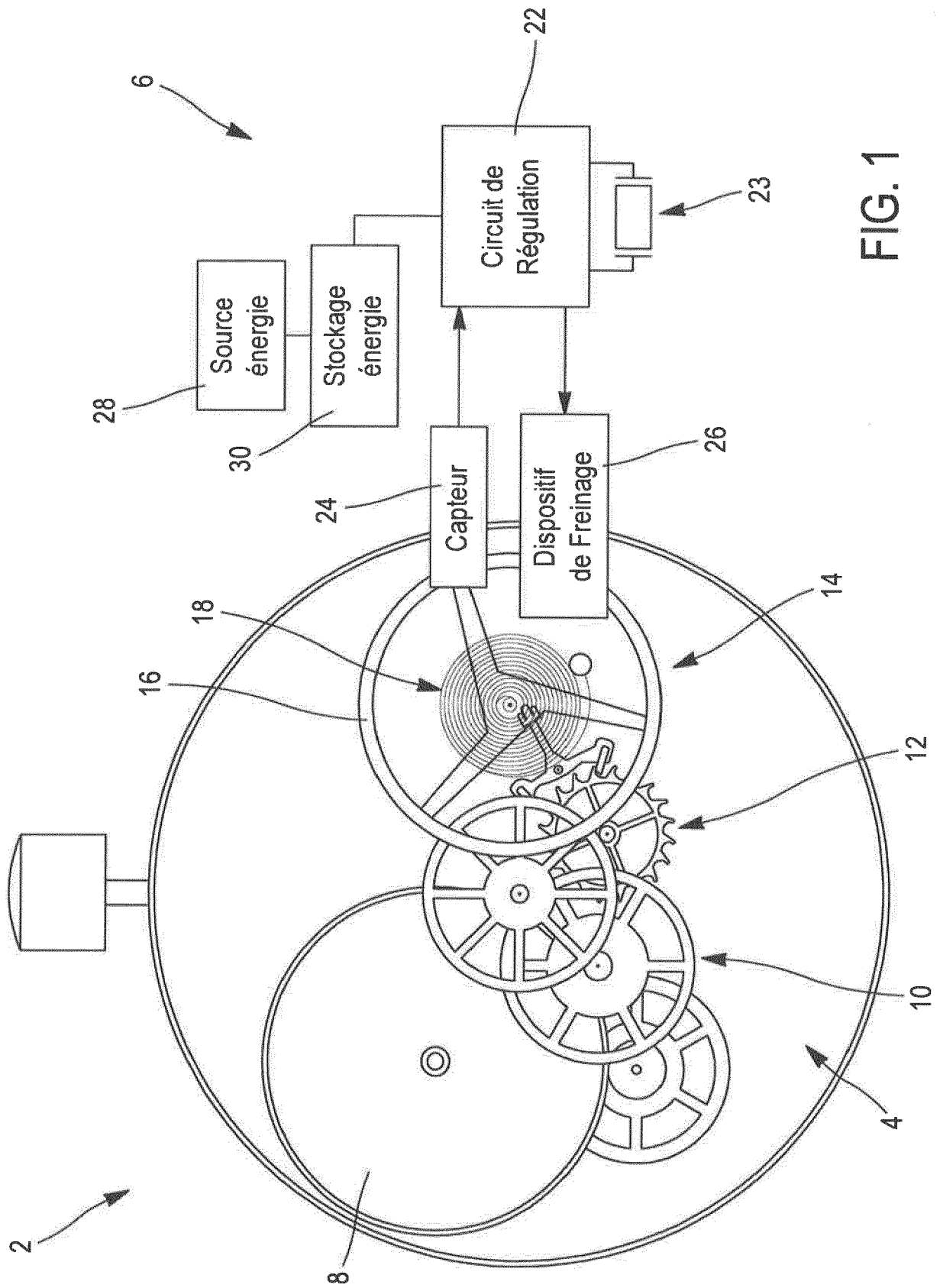


FIG. 1

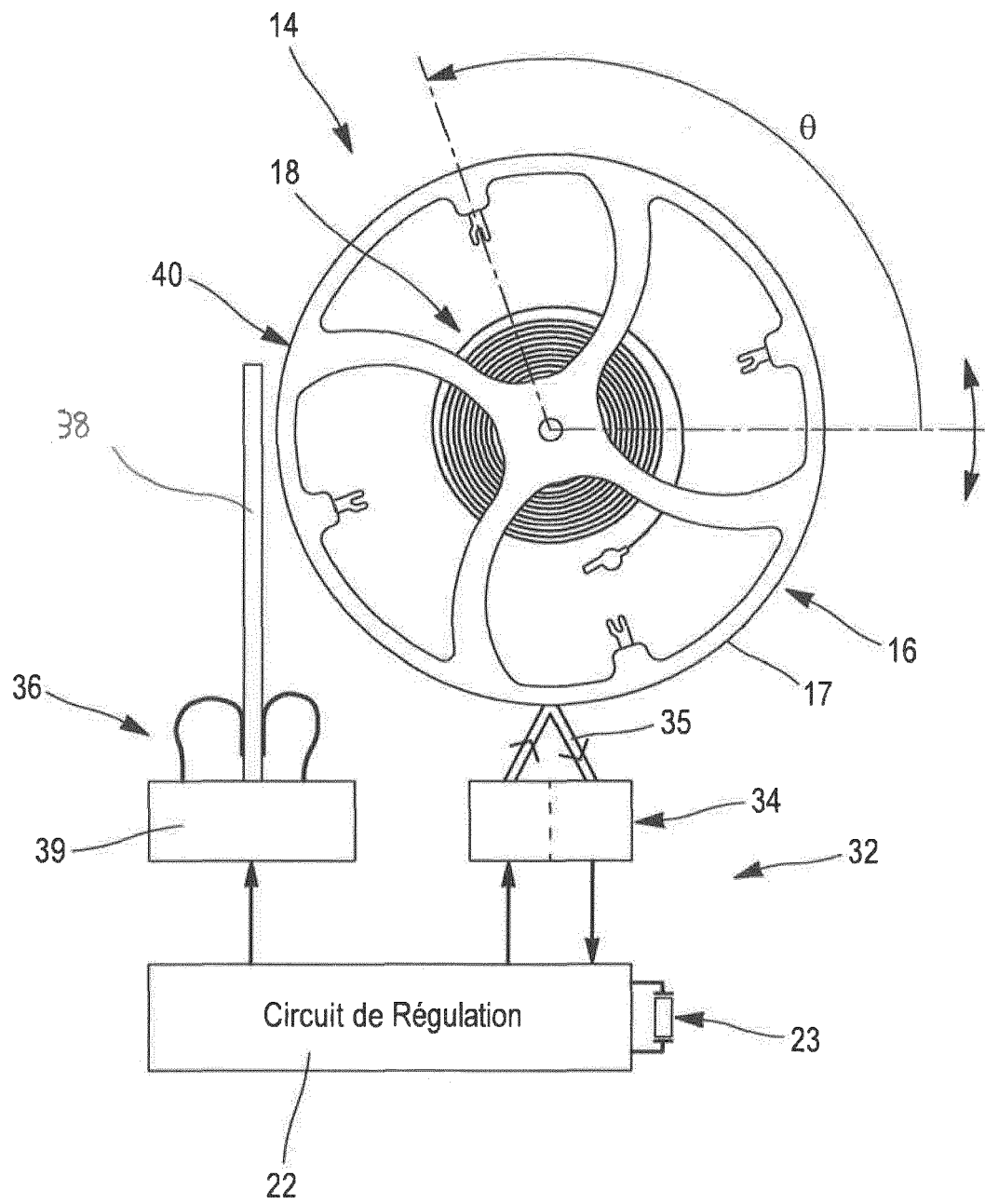


FIG. 2

Fig.3

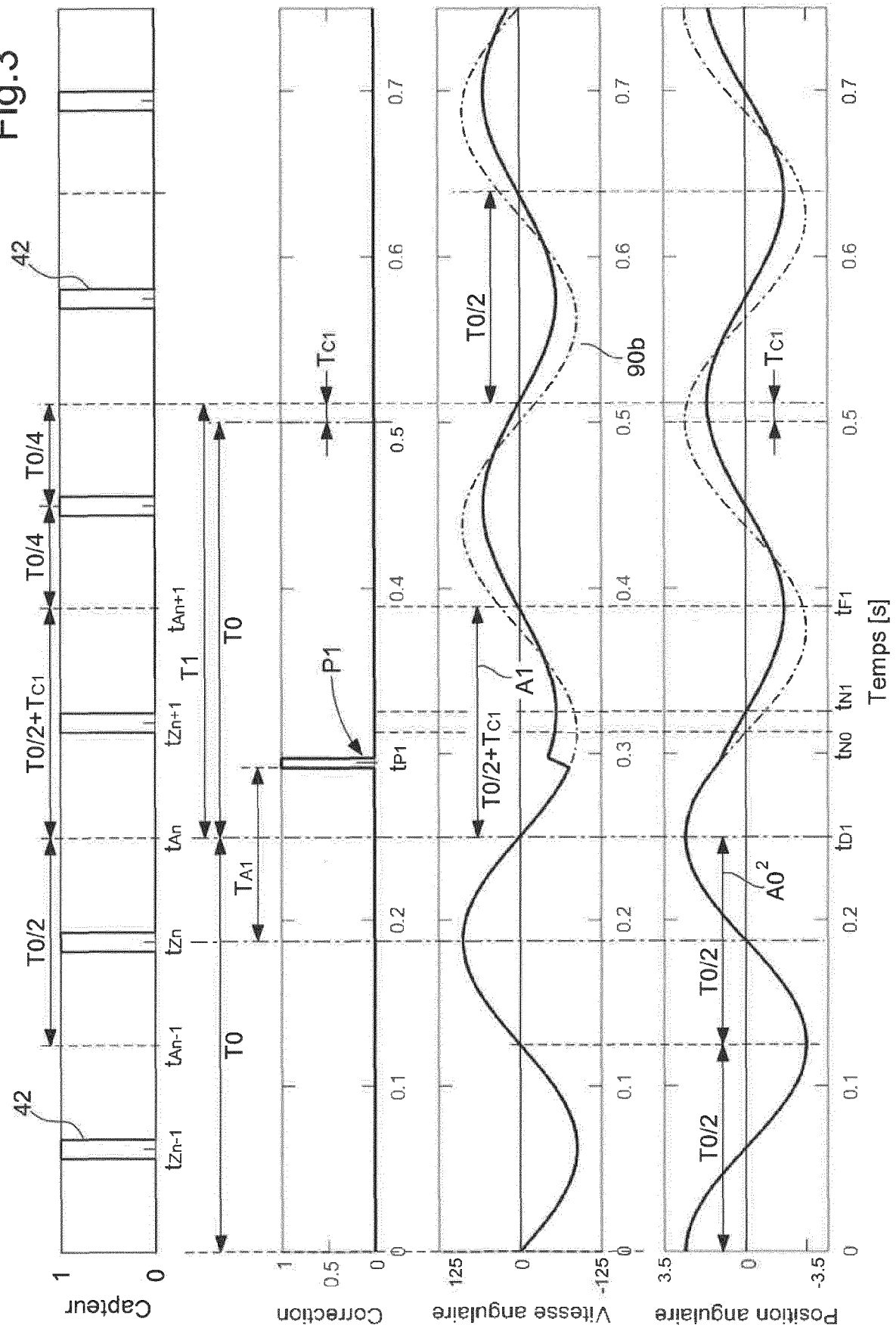
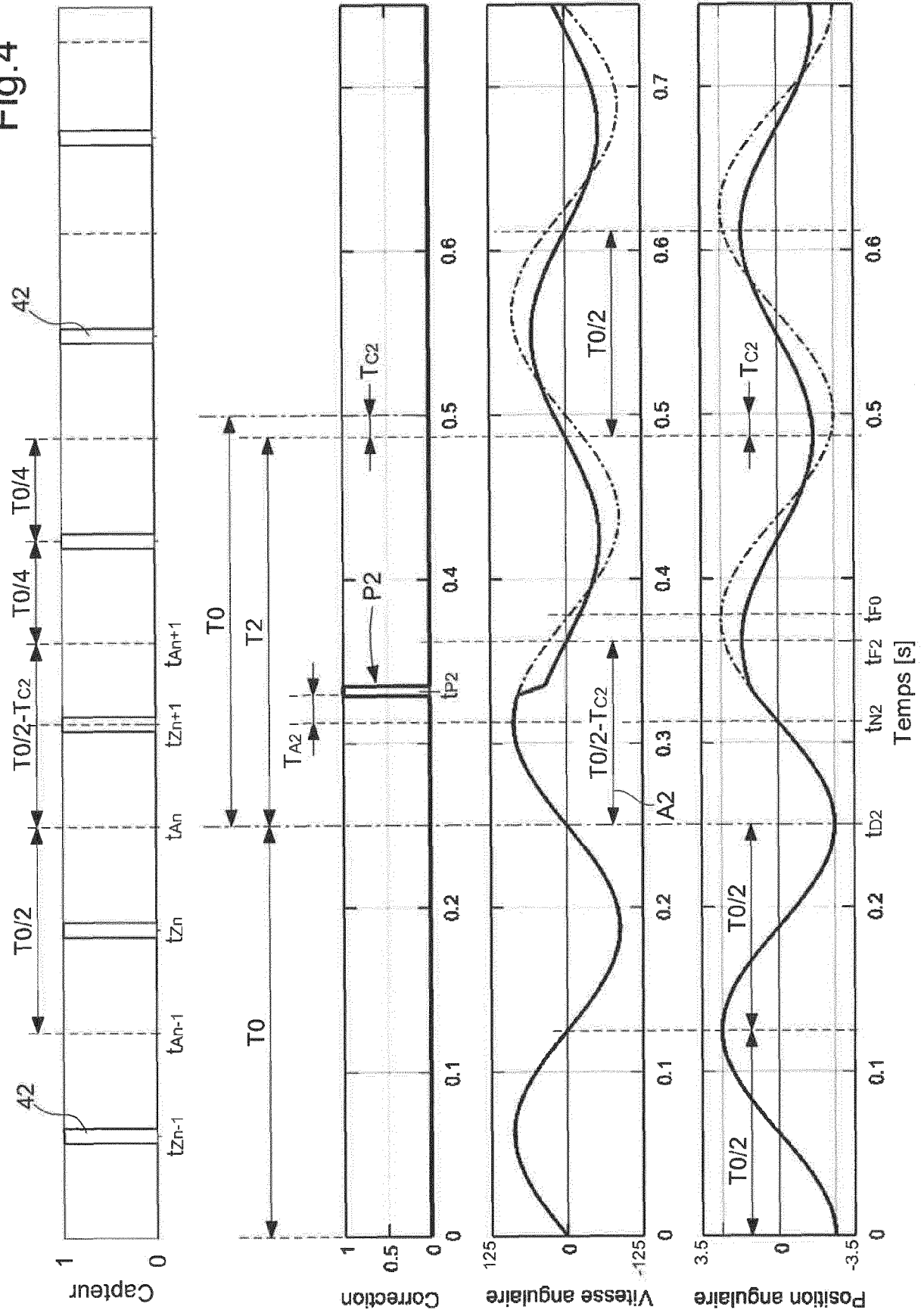


Fig. 4



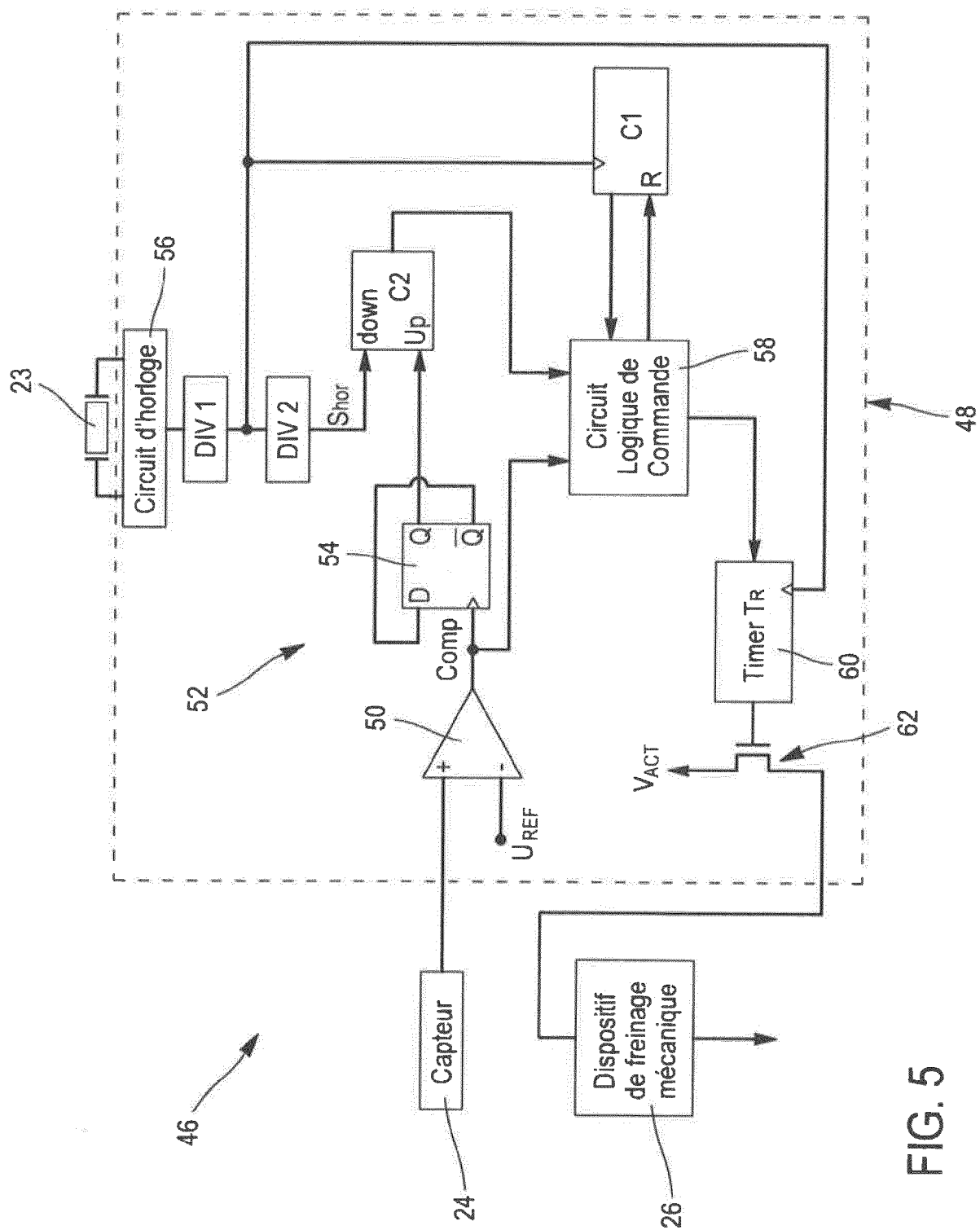


FIG. 5

Fig. 6

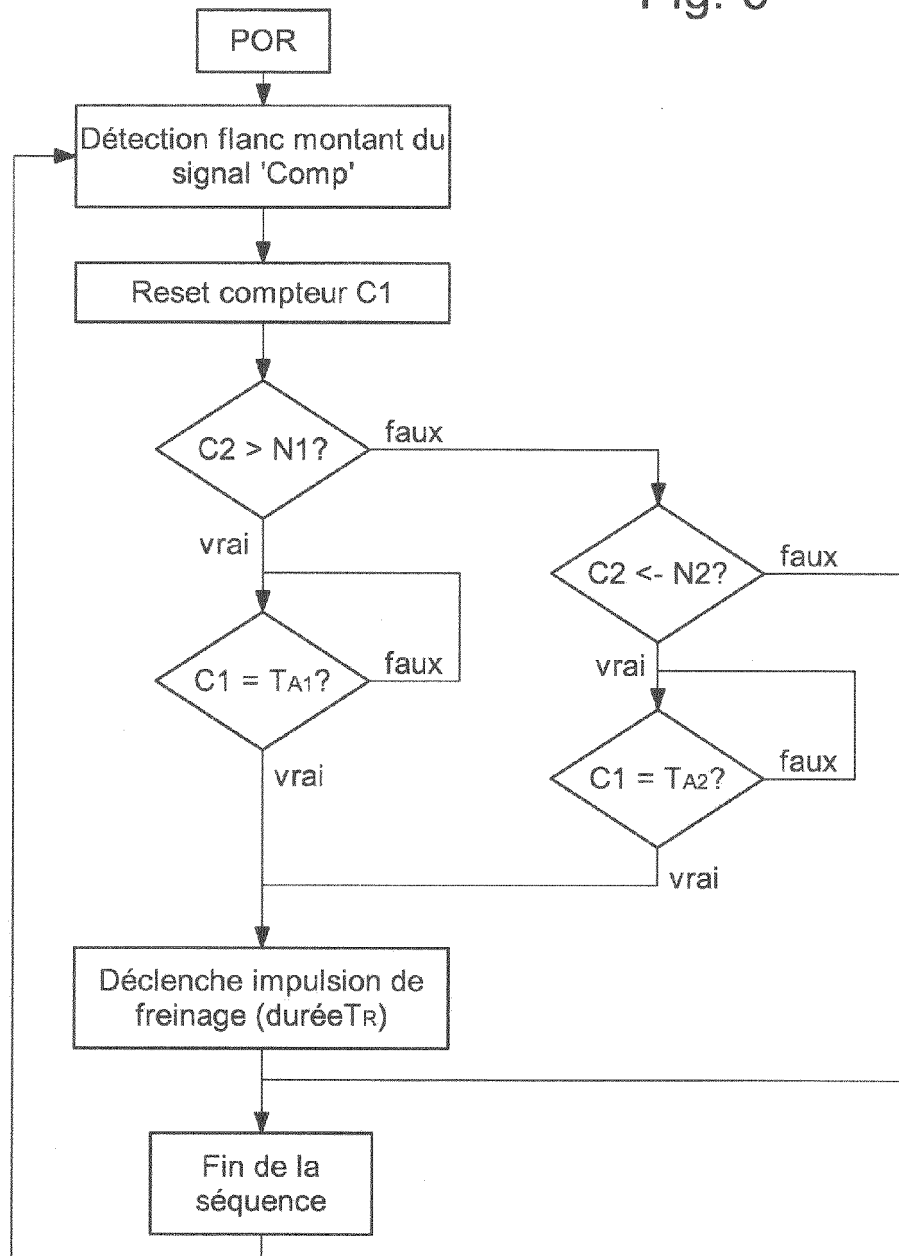
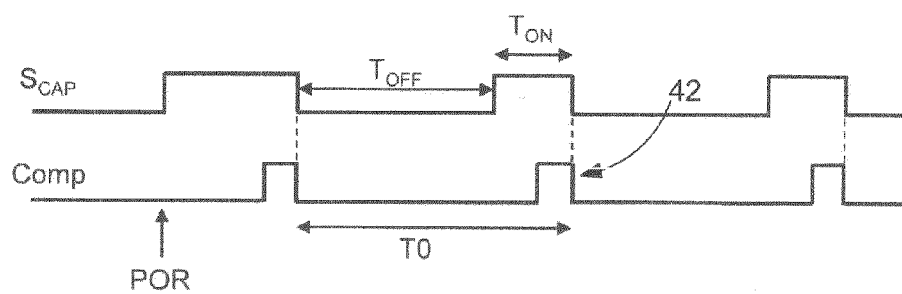


Fig. 8



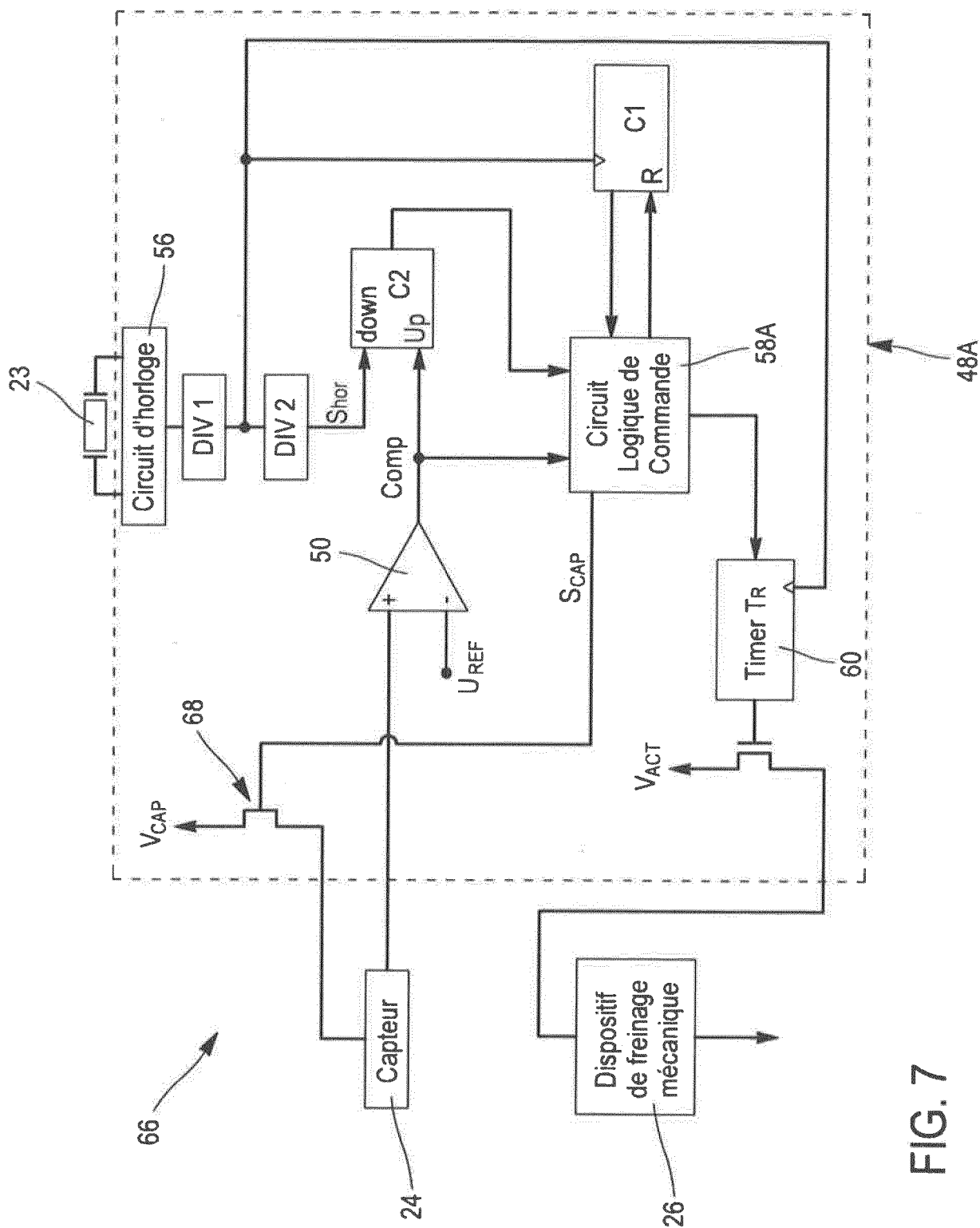


FIG. 7

Fig. 9

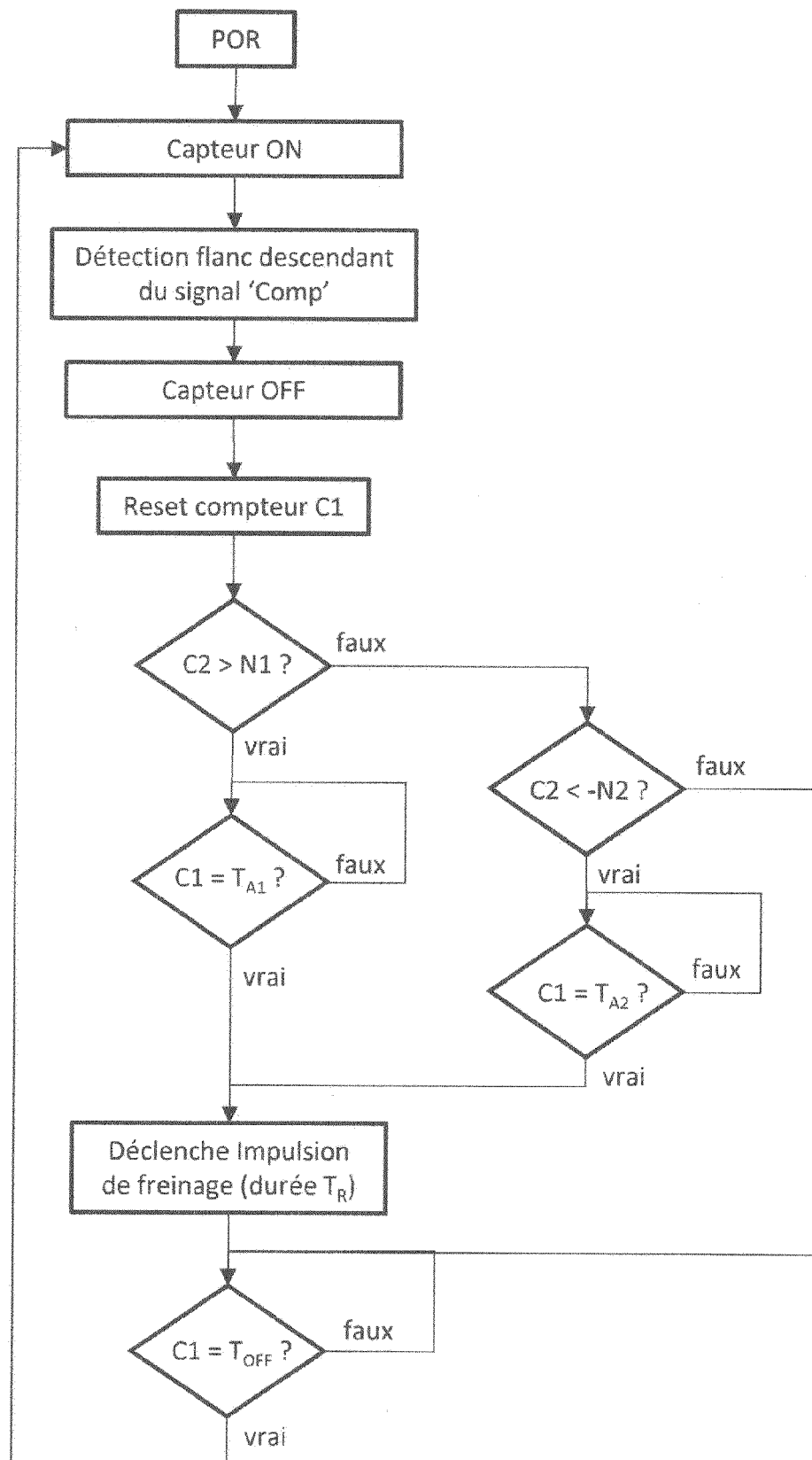


Fig. 10

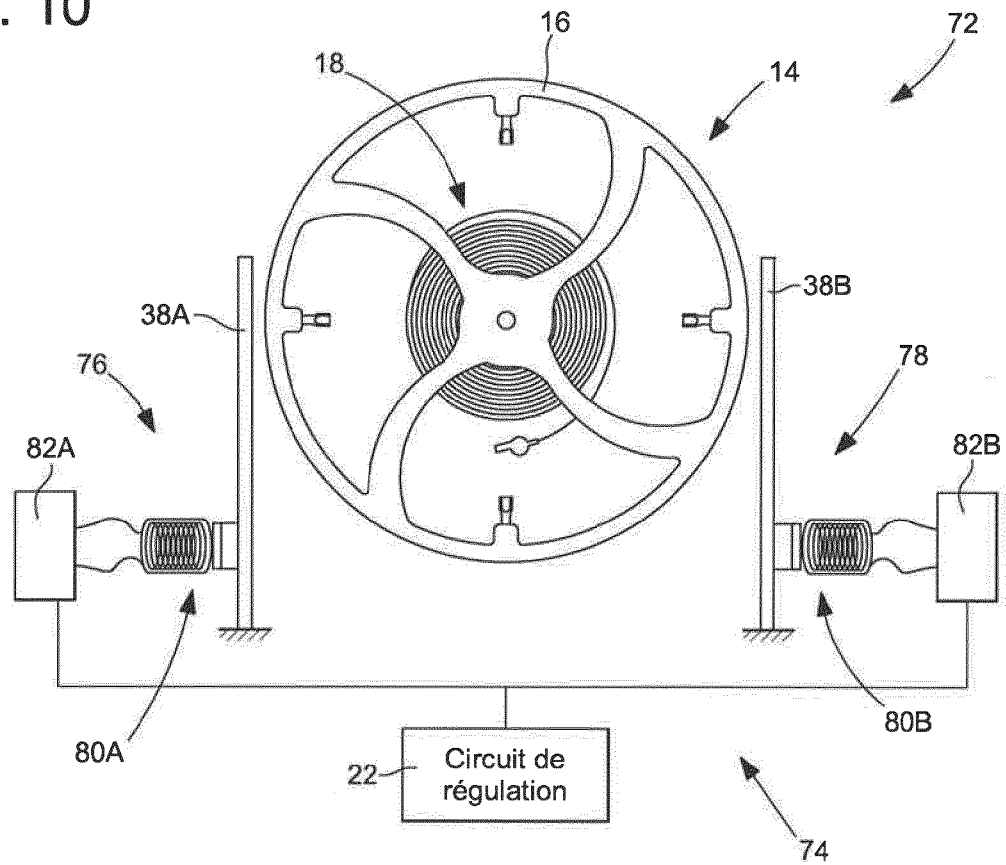
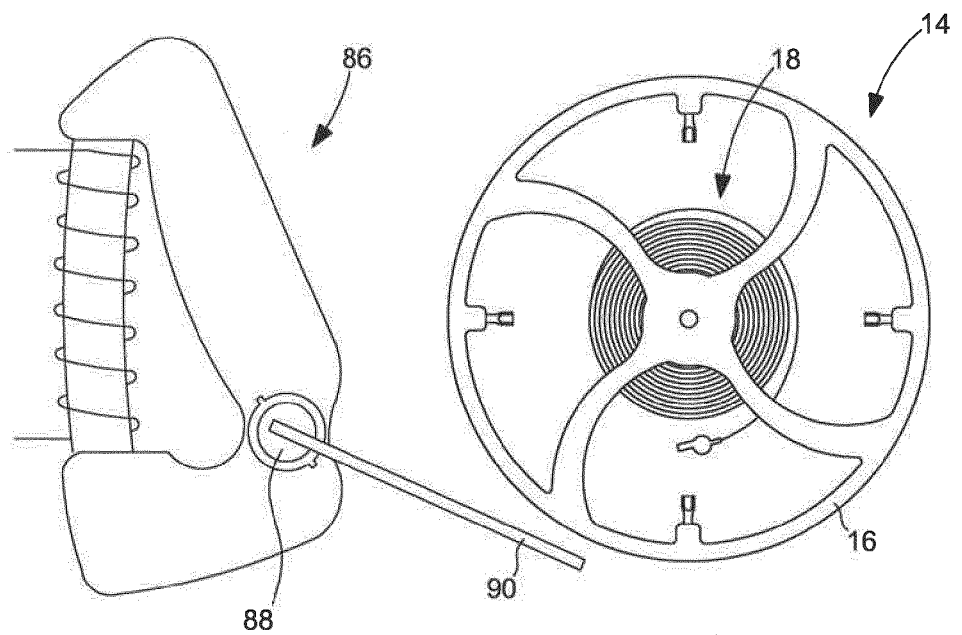


Fig. 11





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 17 20 3916

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)
X	EP 1 241 538 A1 (SEIKO INSTR INC [JP]) 18 septembre 2002 (2002-09-18)	1,10-16	INV. G04C11/08
A	* alinéas [0049] - [0064] * * alinéas [0074] - [0092] * * alinéas [0107] - [0119] * * figures 2,5,8,9 * -----	2-9, 17-20	G04C3/04
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		3 mai 2018	Pirozzi, Giuseppe
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			

EPO FORM 1503 03.92 (P04C02)

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

- CH 597636 [0003] [0004] [0005]