



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
26.06.2019 Bulletin 2019/26

(51) Int Cl.:
G04C 10/00 (2006.01) G04C 3/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **17209121.7**

(22) Date de dépôt: **20.12.2017**

(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 TN

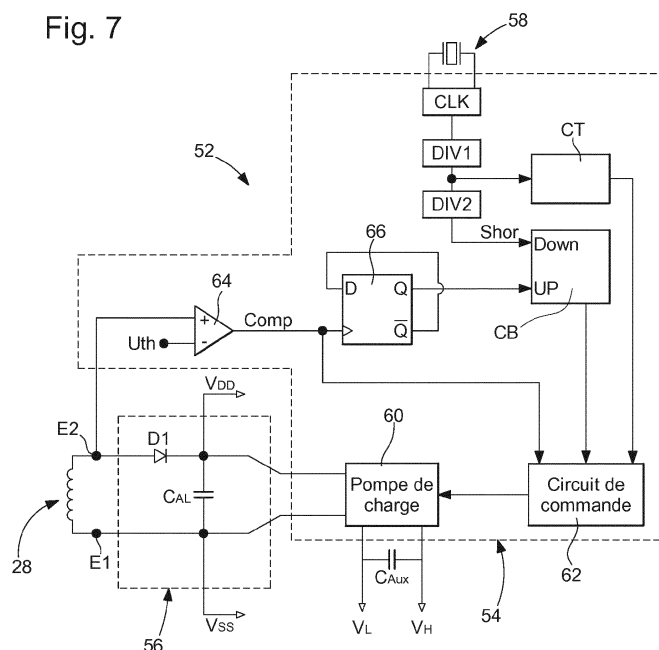
(71) Demandeur: **The Swatch Group Research and Development Ltd**
2074 Marin (CH)
(72) Inventeur: **Tombez, Lionel**
2022 Bevaix (CH)
(74) Mandataire: **ICB SA**
Faubourg de l'Hôpital, 3
2001 Neuchâtel (CH)

(54) **PIECE D'HORLOGERIE COMPRENANT UN OSCILLATEUR MECANIQUE ASSOCIE A UN SYSTEME DE REGULATION**

(57) La pièce d'horlogerie comprend un mouvement mécanique avec un oscillateur mécanique et un dispositif électronique de régulation (52) de la fréquence moyenne de cet oscillateur mécanique. Elle comprend un transducteur électromagnétique et un convertisseur électrique (56) qui comprend une unité d'accumulation primaire (C_{AL}) pour alimenter le circuit de régulation (54). Le transducteur électromagnétique est agencé pour fournir un signal de tension présentant des premiers lobes de tension dans des premières demi-alternances et des deuxième-

mes lobes de tension dans des secondes demi-alternances des oscillations de l'oscillateur mécanique. Le dispositif de régulation comprend une pompe de charge agencée pour transférer des charges électriques de l'unité d'accumulation primaire dans une unité d'accumulation secondaire, ces charges électriques étant prélevées sélectivement en fonction d'une dérive temporelle détectée dans le fonctionnement de l'oscillateur mécanique relativement à un oscillateur auxiliaire, notamment à quartz.

Fig. 7



Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne une pièce d'horlogerie comprenant un oscillateur mécanique associé à un système de régulation de sa fréquence moyenne. La régulation est du type électronique, c'est-à-dire que le système de régulation comprend un circuit électronique relié à un oscillateur auxiliaire qui est agencé pour fournir un signal d'horloge électrique de grande précision. Le système de régulation est agencé pour corriger une dérive temporelle éventuelle de l'oscillateur mécanique relativement à l'oscillateur auxiliaire.

[0002] En particulier, l'oscillateur mécanique comprend un résonateur mécanique formé par un balancier-spiral et un dispositif d'entretien formé par 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 le circuit électronique de régulation.

Arrière-plan technologique

[0003] Des mouvements formant des pièces d'horlogerie telles que définies 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 système de régulation de la fréquence de l'oscillateur mécanique. Ce système de régulation comprend un circuit électronique et un ensemble électromagnétique 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 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 recharge 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 Pa 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] La demande de brevet EP 1 521 142 traite également de la régulation électronique d'un balancier-spiral. Le système de régulation proposé dans ce document est similaire dans son fonctionnement général à celui du brevet CH 597 636.

[0007] La demande de brevet EP 1 241 538 enseigne que le moment du freinage de l'oscillateur mécanique, au cours d'une alternance d'une quelconque oscillation de ce dernier, permet soit de diminuer la valeur de la période d'oscillation en cours, soit de l'augmenter. Pour ce faire, il est prévu un ensemble électromagnétique aimants-bobines et un circuit de commande qui est agencé pour rendre conducteur ou non les bobines durant certains intervalles de temps déterminés. De manière générale, un freinage de l'oscillateur mécanique, par la génération d'une puissance électrique dans les bobines lors d'un couplage aimants-bobines, au cours d'une période d'oscillation engendre soit une augmentation de la

période correspondante lorsque ce freinage intervient avant le passage du résonateur mécanique par son point neutre (position de repos), soit une diminution de la période correspondante lorsque ce freinage intervient après le passage du résonateur mécanique par son point neutre.

[0008] Concernant l'implémentation d'une régulation électronique tirant profit de la constatation susmentionnée, le document EP 1 241 538 propose deux réalisations. Dans ces deux réalisations, il est prévu un système piézo-électrique associé à l'échappement pour détecter un basculement de son ancre dans chaque période d'oscillation. Grâce à un tel système de détection, il est prévu, d'une part, de comparer la période d'oscillation avec une période de référence, définie par un oscillateur à quartz, pour déterminer si la marche de la pièce d'horlogerie présente une avance ou un retard et, d'autre part, de déterminer dans une alternance sur deux le passage de l'oscillateur mécanique par son point neutre. Dans la première réalisation, selon que la dérive temporelle correspond à une avance ou un retard, il est prévu de rendre conducteur les bobines durant un certain intervalle de temps respectivement avant ou après le passage par la position neutre de l'oscillateur mécanique dans une alternance. En d'autres termes, il est prévu ici de court-circuiter les bobines avant ou après le passage par la position neutre selon que la régulation requière respectivement une augmentation ou une diminution de la période d'oscillation.

[0009] Dans la deuxième réalisation, il est prévu d'alimenter le système de régulation en prenant périodiquement de l'énergie à l'oscillateur mécanique via l'ensemble électromagnétique. A cet effet, les bobines sont reliées à un redresseur qui est agencé pour recharger un condensateur (capacité de stockage), lequel sert de source d'alimentation pour le circuit électronique. L'ensemble électromagnétique est celui donné aux figures 2 et 4 du document et le circuit électronique est représenté schématiquement à la Figure 5 de ce document. Les seules indications données pour le fonctionnement du système de régulation sont les suivantes : 1) les bobines sont rendues conductrices durant des intervalles de temps constants qui sont centrés sur des passages respectifs du résonateur mécanique (balancier-spiral) par sa position neutre (position médiane des alternances) ; 2) durant ces intervalles de temps un courant induit est redressé et stocké dans le condensateur ; et 3) au cours desdits intervalles de temps, la période d'oscillation du balancier-spiral peut être régulée efficacement en ajustant la valeur de la puissance générée par le courant induit, sans autres précisions données.

[0010] On peut penser que le choix d'intervalles de conduction des bobines centrés sur les positions neutres du résonateur mécanique a pour objectif de ne pas induire de dérive temporelle parasite dans l'oscillateur mécanique en prélevant de l'énergie à ce dernier pour alimenter le circuit électronique. En rendant conductrices les bobines pour une même durée avant et après le pas-

sage par la position neutre, l'auteur pense peut-être équilibrer l'effet d'un freinage précédant un tel passage par la position neutre avec l'effet d'un freinage suivant ce passage pour ainsi ne pas modifier la période d'oscillation en l'absence d'un signal de correction du circuit de régulation intervenant suite à la mesure d'une dérive temporelle. On peut fortement douter qu'il y parvienne avec l'ensemble électromagnétique divulgué et un redresseur classique relié à une capacité de stockage. Premièrement, la recharge de cette capacité de stockage dépend de sa tension initiale au début d'un intervalle de temps donné. Ensuite, la tension induite et le courant induit dans les bobines varient en intensité avec la vitesse angulaire du balancier-spiral, cette intensité diminuant lorsqu'on s'éloigne d'une position neutre où la vitesse angulaire est maximale. L'ensemble électromagnétique divulgué permet de déterminer la forme du signal de tension induite / de courant induit. Bien que la position angulaire des aimants relativement aux bobines pour la position neutre (position de repos) ne soit pas donnée et qu'on ne peut pas déduire un enseignement sur la phase du signal, on peut en déduire que la recharge de la capacité de stockage aura lieu normalement en majeure partie avant le passage par la position neutre. Ainsi, il en résulte un freinage qui n'est pas symétrique relativement à la position neutre et un retard parasite dans la marche de pièce d'horlogerie. Finalement, quant à l'ajustement de la puissance induite au cours des intervalles de temps prévus pour réguler la marche de la pièce d'horlogerie, rien n'est indiqué. On ne comprend pas comment un tel ajustement est effectué, aucun enseignement n'étant donné à ce sujet.

Résumé de l'invention

[0011] Un objectif général, dans le cadre du développement ayant conduit à la présente invention, était de réaliser une pièce d'horlogerie, comprenant un mouvement mécanique avec un oscillateur mécanique et un système de régulation électronique de cet oscillateur mécanique, pour laquelle il ne soit pas nécessaire de dérégler initialement l'oscillateur mécanique pour qu'il avance, de manière à avoir ainsi une pièce d'horlogerie qui a la précision d'un oscillateur électronique auxiliaire (notamment muni d'un résonateur à quartz) lorsque le système de régulation est fonctionnel et, dans le cas contraire, la précision de l'oscillateur mécanique correspondant à son meilleur réglage. En d'autres termes, on cherche à adjoindre une régulation 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.

[0012] La présente invention a pour objectif premier de fournir une pièce d'horlogerie du type décrit précédemment et qui soit capable de corriger un retard ou une avance dans la dérive temporelle de l'oscillateur mécanique tout en permettant d'assurer efficacement une

auto-alimentation du système de régulation.

[0013] Un objectif particulier est de fournir une telle pièce d'horlogerie qui soit capable, pour un ensemble électromagnétique défini, de fournir en continu ou quasi continu une tension électrique d'alimentation qui demeure au-dessus d'une tension d'alimentation qui soit suffisante pour alimenter le dispositif de régulation, et ceci indépendamment de la régulation de la fréquence moyenne de l'oscillateur mécanique, notamment de l'énergie électrique engendrée par la régulation, et donc également en l'absence de correction d'une dérive temporelle (cas où elle demeure faible, voire nulle).

[0014] Un autre objectif particulier est d'assurer l'auto-alimentation du système de régulation sans induire une dérive temporelle parasite, en particulier en l'absence d'une correction d'une dérive temporelle, ou pour le moins de sorte qu'une telle dérive temporelle parasite éventuelle reste minimale et négligeable.

[0015] Un autre objectif est d'utiliser l'énergie électrique de régulation pour alimenter une fonction auxiliaire et donc une charge auxiliaire, en accumulant efficacement cette énergie électrique sans induire d'instabilité dans le fonctionnement du dispositif de régulation ou de perturbation de la régulation.

[0016] A cet effet, la présente invention concerne une pièce d'horlogerie, comprenant :

- un mécanisme, notamment un mécanisme d'indication de l'heure,
- un résonateur mécanique susceptible d'osciller autour d'une position neutre correspondant à son état d'énergie potentielle mécanique minimale, chaque oscillation du résonateur mécanique définissant une période d'oscillation et présentant deux alternances successives chacune entre deux positions extrêmes qui définissent l'amplitude d'oscillation du résonateur mécanique, chaque alternance présentant un passage du résonateur mécanique par sa position neutre à un instant médian et étant constituée d'une première demi-alternance entre un instant initial de cette alternance et son instant médian et d'une seconde demi-alternance entre cet instant médian et un instant final de cette alternance,
- un dispositif d'entretien du résonateur mécanique formant avec ce résonateur mécanique un oscillateur mécanique qui définit la cadence de la marche dudit mécanisme,
- un transducteur électromécanique agencé pour pouvoir convertir de la puissance mécanique de l'oscillateur mécanique en puissance électrique lorsque le résonateur mécanique oscille avec une amplitude comprise dans une plage de fonctionnement utile, ce transducteur électromagnétique étant formé par un ensemble électromagnétique comprenant au moins une bobine, montée sur un élément parmi l'ensemble mécanique constitué du résonateur mécanique et de son support, et au moins un aimant monté sur l'autre élément de cet ensemble mécanique, l'en-

semble électromagnétique étant agencé de manière à pouvoir fournir un signal de tension induite entre les deux bornes de sortie du transducteur électromécanique au moins lorsque le résonateur mécanique oscille avec une amplitude comprise dans la plage de fonctionnement utile,

- un convertisseur électrique relié aux deux bornes de sortie du transducteur électromécanique de manière à pouvoir recevoir de ce transducteur électromécanique un courant électrique induit, ce convertisseur électrique comprenant une unité d'accumulation primaire agencée pour accumuler de l'énergie électrique fournie par le transducteur électromécanique, ce transducteur électromécanique et le convertisseur électrique formant ensemble un dispositif de freinage du résonateur mécanique,
- un dispositif de régulation de la fréquence de l'oscillateur mécanique, ce dispositif de régulation comprenant un oscillateur auxiliaire et un dispositif de mesure agencé pour pouvoir détecter une dérive temporelle éventuelle de l'oscillateur mécanique relativement à l'oscillateur auxiliaire, le dispositif de régulation étant agencé pour pouvoir déterminer si la dérive temporelle mesurée correspond à au moins une certaine avance.

[0017] La pièce d'horlogerie selon l'invention est caractérisée en ce que :

- le dispositif de régulation est agencé pour pouvoir également déterminer si la dérive temporelle mesurée correspond à au moins un certain retard,
- le dispositif de freinage est agencé de manière que, dans chaque période d'oscillation du résonateur mécanique lorsque l'amplitude d'oscillation de celui-ci est dans la plage de fonctionnement utile, le signal de tension induite présente au moins un premier lobe de tension intervenant au moins en majeure partie dans une première demi-alternance et susceptible d'engendrer dans cette première demi-alternance une première impulsion de courant induit pour recharger l'unité d'accumulation primaire après un prélèvement d'une charge électrique de celle-ci et au moins un deuxième lobe de tension intervenant au moins en majeure partie dans une seconde demi-alternance et susceptible d'engendrer dans cette seconde demi-alternance une deuxième impulsion de courant induit pour recharger l'unité d'accumulation primaire après un prélèvement d'une charge électrique de celle-ci, le signal de tension induite présentant ainsi une pluralité de tels premiers lobes de tension et une pluralité de tels deuxièmes lobes de tension,
- le dispositif de régulation comprend un dispositif de pompe de charge agencé pour pouvoir transférer sur commande une certaine charge électrique de l'unité d'accumulation primaire dans une unité d'ac-

cumulation secondaire,

- le dispositif de régulation comprend en outre un circuit logique de commande qui reçoit en entrée un signal de mesure fourni par le dispositif de mesure et qui est agencé pour pouvoir activer le dispositif de pompe de charge de sorte qu'il effectue, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond à ladite au moins une certaine avance, un transfert d'une première charge électrique de l'unité d'accumulation primaire dans l'unité d'accumulation secondaire de manière qu'une recharge de l'unité d'accumulation primaire, suite à ce transfert de la première charge électrique, soit générée en majeure partie par au moins un premier lobe de tension parmi ladite pluralité de premiers lobes de tension, le circuit logique de commande étant en outre agencé pour pouvoir activer le dispositif de pompe de charge de sorte qu'il effectue, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond audit au moins un certain retard, un transfert d'une deuxième charge électrique de l'unité d'accumulation primaire dans l'unité d'accumulation secondaire de manière qu'une recharge de l'unité d'accumulation primaire, suite à ce transfert de la deuxième charge électrique, soit générée en majeure partie par au moins un deuxième lobe de tension parmi ladite pluralité de deuxième lobes de tension.

[0018] Par 'lobe de tension', on comprend une impulsion de tension qui est située entièrement en-dessus ou entièrement en-dessous d'une valeur nulle (définissant une tension zéro), c'est-à-dire une variation de tension dans un certain intervalle de temps avec soit une tension positive dont la valeur positive monte puis redescend, soit une tension négative dont la valeur négative descend puis remonte.

[0019] Le transfert d'une première charge électrique dans une première zone temporelle telle que définie est prévu pour augmenter la recharge de la capacité d'alimentation lors de l'apparition d'un premier lobe de tension suivant ce transfert, relativement au cas où aucun transfert n'aurait lieu. Cette augmentation de la recharge signifie une plus grande énergie mécanique prise à l'oscillateur mécanique par le système de freinage et donc un freinage supérieur de cet oscillateur mécanique. Comme ceci sera exposé par la suite, un freinage dans une première demi-alternance avant le passage du résonateur mécanique par sa position neutre engendre un déphasage temporel négatif dans l'oscillation du résonateur, et ainsi la durée de l'alternance en question est augmentée. On diminue donc momentanément la fréquence instantanée de l'oscillateur mécanique et il en résulte un certain retard dans la marche du mécanisme qui corrige au moins partiellement l'avance détectée par le dispositif de mesure. De même, le transfert d'une deuxième charge électrique dans une deuxième zone temporelle telle que définie est prévu pour augmenter la recharge de la capacité d'alimentation lors de l'apparition d'un deuxième lobe de tension suivant ce prélèvement, relativement

au cas où aucun prélèvement n'aurait lieu. Comme on le comprendra par la suite, ceci engendre un déphasage temporel positif dans l'oscillation du résonateur, et ainsi la durée de l'alternance en question est diminuée. On augmente donc momentanément la fréquence instantanée de l'oscillateur mécanique et il en résulte une certaine avance dans la marche du mécanisme qui corrige au moins partiellement le retard détecté par le dispositif de mesure.

[0020] Dans un mode de réalisation principal, la pièce d'horlogerie comprend une charge principale connectée ou susceptible d'être régulièrement connectée au convertisseur électrique pour être alimentée par l'unité d'accumulation primaire, la charge principale comprenant notamment le dispositif de régulation.

[0021] Dans un mode de réalisation avantageux, la pièce d'horlogerie comprend une charge auxiliaire connectée ou susceptible d'être connectée par intermittence à l'unité d'accumulation secondaire de manière à pouvoir être alimentée par cette unité d'accumulation secondaire.

[0022] Dans une variante préférée, le dispositif de pompe de charge est agencé de manière à former un élévateur de tension qui est agencé pour qu'une tension d'alimentation auxiliaire aux bornes de l'unité d'accumulation secondaire soit supérieure à une tension d'alimentation principale aux bornes de l'unité d'accumulation primaire.

[0023] Dans un mode de réalisation particulier, le dispositif de régulation comprend au moins un circuit dissipatif pour dissiper de l'énergie électrique accumulée dans l'unité d'accumulation primaire, au moins un interrupteur associé au circuit dissipatif pour pouvoir connecter momentanément ce circuit dissipatif à l'unité d'accumulation primaire et un circuit de mesure agencé pour détecter si la tension aux bornes de l'unité d'accumulation secondaire est supérieure à une première limite de tension ou si le niveau de remplissage de l'unité d'accumulation secondaire est supérieure à une première limite de remplissage. Ensuite, le circuit logique de commande est agencé de manière à pouvoir, lorsque la tension aux bornes de l'unité d'accumulation secondaire est supérieure à la première limite de tension ou de remplissage, connecter momentanément ledit au moins un circuit dissipatif à l'unité d'accumulation primaire de sorte à effectuer, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond à ladite au moins une certaine avance, une première décharge dissipative de l'unité d'accumulation primaire de manière qu'une recharge de celle-ci, suite à cette première décharge, soit générée en majeure partie par au moins un premier lobe de tension parmi ladite pluralité de premiers lobes de tension, et de sorte à effectuer, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond audit au moins un certain retard, une deuxième décharge de l'unité d'accumulation primaire de manière qu'une recharge de celle-ci, suite à cette deuxième décharge, soit générée en majeure partie par au moins un deuxième lobe de tension parmi ladite pluralité de deuxièmes lobes

de tension.

[0024] Dans une variante particulière du mode de réalisation avantageux mentionné précédemment, la pièce d'horlogerie comprend en outre un circuit de mesure agencé pour détecter si la tension aux bornes de l'unité d'accumulation secondaire est inférieure à une deuxième limite de tension (inférieure à la première limite de tension mentionnée ci-avant) ou si le niveau de remplissage de l'unité d'accumulation secondaire est inférieur à une deuxième limite de remplissage (inférieure à la première limite de remplissage mentionnée ci-avant). Ensuite, le circuit logique de commande est agencé de manière à pouvoir, lorsque la tension aux bornes de l'unité d'accumulation secondaire est inférieure à la deuxième limite de tension ou de remplissage et lorsque la dérive temporelle mesurée est comprise entre ledit au moins un certain retard et ladite au moins une certaine avance, activer le dispositif de pompe de charge de sorte qu'il effectue un transfert d'une troisième charge électrique de l'unité d'accumulation primaire dans l'unité d'accumulation secondaire, de manière qu'une recharge de l'unité d'accumulation primaire suite à ce transfert d'une troisième charge électrique soit générée en majeure partie par au moins un premier lobe de tension parmi ladite pluralité de premiers lobes de tension, et un transfert d'une quatrième charge électrique de l'unité d'accumulation primaire dans l'unité d'accumulation secondaire, de manière qu'une recharge de l'unité d'accumulation primaire suite à ce transfert d'une quatrième charge électrique soit générée en majeure partie par au moins un deuxième lobe de tension parmi ladite pluralité de deuxième lobes de tension, la quatrième charge électrique étant sensiblement égale à la troisième charge électrique.

Breve description des dessins

[0025] L'invention sera décrite ci-après de manière plus détaillée à l'aide de dessins annexés, donnés à titre d'exemples nullement limitatifs, dans lesquels :

- La Figure 1 est une vue générale de dessus d'un premier mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention,
- La Figure 2 est une vue partielle et agrandie de la pièce d'horlogerie de la Figure 1, montrant l'ensemble électromagnétique formant un transducteur électromagnétique d'un système de régulation incorporé dans cette pièce d'horlogerie,
- La Figure 3 représente, pour un ensemble électromagnétique donné aux Figures 4A à 4C qui correspond au premier mode de réalisation, la tension induite dans la bobine de cet ensemble électromagnétique lorsque le balancier-spiral oscille 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 dans lequel intervient la première impulsion de freinage,

- Les Figures 4A à 4C montrent, pour le transducteur électro-magnétique considéré à la Figure 3, le balancier à trois instants particuliers d'une alternance de l'oscillateur mécanique au cours de laquelle la première impulsion de freinage est fournie,
- La Figure 5 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,
- Les Figures 6A à 6C montrent le balancier à trois instants particuliers d'une alternance de l'oscillateur mécanique au cours de laquelle la deuxième impulsion de freinage est fournie,
- La Figure 7 montre le schéma électrique d'un convertisseur électrique et d'un dispositif de régulation de l'oscillateur mécanique prévus dans le premier mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie,
- La Figure 8 montre le circuit électronique d'une variante de pompe de charge formant le dispositif de régulation représenté à la Figure 7,
- La Figure 9 est un organigramme d'un mode de régulation de la marche de la pièce d'horlogerie selon le premier mode de réalisation,
- Les Figures 10A à 10C représentent divers signaux électriques intervenant dans le schéma électrique de la Figure 7,
- La Figure 11 est une vue partielle d'un deuxième mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention, montrant l'agencement particulier de son transducteur électromagnétique,
- La Figure 12 montre le schéma électrique du convertisseur électrique et du dispositif de régulation de l'oscillateur mécanique tels qu'agencés dans le deuxième mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention,
- La Figure 13 est un organigramme d'un mode de régulation de la marche de la pièce d'horlogerie selon le deuxième mode de réalisation,
- La Figure 14 représente divers signaux électriques intervenant dans le schéma électrique de la Figure 12 dans le cas d'une correction d'une avance constatée dans la dérive temporelle mesurée,
- La Figure 15 représente divers signaux électriques intervenant dans le schéma électrique de la Figure 12 dans le cas d'une correction d'un retard constaté dans la dérive temporelle mesurée,
- La Figure 16 est une vue partielle d'un troisième mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention, montrant l'agencement particulier de son transducteur électromagnétique,
- La Figure 17 montre le schéma électrique du convertisseur électrique et du dispositif de régulation de l'oscillateur mécanique tels qu'agencés dans le troisième mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention,
- La Figure 18 montre le circuit électronique d'une va-

riante de pompe de charge formant l'élévateur de tension du dispositif de régulation représenté à la Figure 17,

- La Figure 19 est un organigramme d'un mode de régulation de la marche de la pièce d'horlogerie selon le troisième mode de réalisation,
- Les Figures 20A à 20C représentent divers signaux électriques intervenant dans le schéma électrique de la Figure 17, et
- Les Figures 21 et 22 montrent une variante de réalisation avantageuse d'un résonateur mécanique associé à un ensemble électromagnétique de la pièce d'horlogerie selon l'invention.

Description détaillée de l'invention

[0026] En référence aux Figures 1 et 2, on décrira ci-après une pièce d'horlogerie objet de la présente invention. La Figure 1 est une vue en plan partielle d'une pièce d'horlogerie 2 comprenant un mouvement mécanique 4, équipé d'un résonateur mécanique 6, et un système de régulation 8. Les moyens d'entretien 10 du résonateur mécanique sont classiques. Ils comprennent un barillet 12 avec un ressort-moteur, un échappement 14 formé d'une roue d'échappement et d'une ancre à palettes, ainsi qu'un rouage intermédiaire 16 reliant cinématiquement le barillet à la roue d'échappement. Le résonateur 6 comprend un balancier 18 et un ressort-spiral usuel, le balancier étant monté pivotant autour d'un axe de rotation 20 entre une platine et un pont. Le résonateur mécanique 6 et les moyens d'entretien 10 (aussi nommés moyens d'excitation) forment ensemble un oscillateur mécanique. On notera que, en général, on ne retient dans la définition d'un oscillateur mécanique horloger que l'échappement comme moyen d'entretien / moyen d'excitation de cet oscillateur mécanique, la source d'énergie et un train d'engrenage intermédiaire étant considérés séparément. Le balancier-spiral oscille autour de l'axe 20 lorsqu'il reçoit des impulsions mécaniques de l'échappement dont la roue d'échappement est entraînée par le barillet. Le rouage 16 fait partie d'un mécanisme du mouvement horloger dont la marche est cadencée par l'oscillateur mécanique. Ce mécanisme comprend, outre le rouage 16, d'autres mobiles et des indicateurs analogiques (non représentés) reliés cinématiquement à ce rouage 16, le déplacement de ces indicateurs analogiques étant rythmé par l'oscillateur mécanique. Divers mécanismes connus de l'homme du métier peuvent être prévus.

[0027] La Figure 2 est une vue partielle de la Figure 1, en coupe horizontale au niveau du balancier 18, montrant un aimant 22 et une bobine 28 formant un ensemble électromagnétique 27 selon l'invention. La bobine 28 est de préférence du type galette (forme de disque ayant une épaisseur relativement petite). Elle est agencée sur la platine du mouvement horloger et comprend classiquement deux extrémités de connexion E1 et E2. De manière générale, l'ensemble électromagnétique comprend au

moins une bobine et une structure aimantée formée d'au moins un aimant générant un flux magnétique, en direction d'un plan général de la bobine, qui passe au travers de celle-ci lorsque le résonateur mécanique oscille avec une amplitude comprise dans une plage de fonctionnement utile. Dans l'exemple représenté, le balancier 18 porte, de préférence dans une zone située à proximité de son diamètre extérieur défini par sa serge, l'aimant bipolaire 22 qui présente un axe d'aimantation orienté axialement. On remarquera qu'il est préférable de confiner le flux magnétique de l'aimant ou des aimants portés par le balancier à l'aide d'un blindage formé par des parties du balancier, en particulier par des parties magnétiques agencées des deux côtés de l'aimant selon la direction axiale de manière que la bobine soit partiellement située entre ces deux parties magnétiques.

[0028] Le balancier 18 définit un demi-axe 24, depuis son axe de rotation 20 et perpendiculairement à ce dernier qui passe au centre de l'aimant 22. Lorsque le balancier-spiral est dans sa position de repos, le demi-axe 24 définit une position neutre (position angulaire de repos du balancier-spiral correspondant à un angle zéro) autour de laquelle le balancier-spiral peut osciller à une certaine fréquence, notamment à une fréquence libre F0 correspondant à la fréquence d'oscillation naturelle de l'oscillateur mécanique, c'est-à-dire non soumis à des couples de force externes (autres que celui fourni périodiquement via l'échappement). A la Figure 2, le résonateur mécanique 6 (représenté sans son spiral qui est situé au-dessus du plan de coupe) est représenté dans sa position neutre, correspondant à son état d'énergie mécanique potentielle minimale. On remarque que, dans la position neutre, le demi-axe 24 définit un demi-axe de référence 48 qui est décalé angulairement d'un angle θ relativement au demi-axe fixe 50 qui intercepte perpendiculairement l'axe de rotation 20 et l'axe central de la bobine 28. En d'autres termes, en projection dans le plan général du balancier, le centre de la bobine 28 présente un décalage angulaire θ relativement au demi-axe de référence 48. A la Figure 2, ce décalage angulaire vaut 120° en valeur absolue. De préférence, le décalage angulaire θ est compris entre 30° et 120° en valeur absolue.

[0029] Chaque oscillation du résonateur mécanique définit une période d'oscillation et elle présente une première alternance suivie d'une deuxième alternance chacune entre deux positions extrêmes définissant l'amplitude d'oscillation du résonateur mécanique (à noter que l'on considère ici le résonateur oscillant et donc l'oscillateur mécanique dans son ensemble, l'amplitude d'oscillation du balancier-spiral étant définie entre autres choses par les moyens d'entretien). Chaque alternance présente un passage du résonateur mécanique par sa position neutre à un instant médian et une certaine durée entre un instant initial et un instant final qui sont définis respectivement par les deux positions extrêmes occupées par le résonateur mécanique respectivement au début et à la fin de cette alternance. Chaque alternance est ainsi constituée d'une première demi-alternance se

terminant audit instant médian et d'une seconde demi-alternance débutant à cet instant médian.

[0030] Le système 8 de régulation de la fréquence de l'oscillateur mécanique comprend un circuit électronique 30 et un oscillateur auxiliaire 32, cet oscillateur auxiliaire comprenant un circuit d'horloge et par exemple un résonateur à quartz relié à ce circuit d'horloge. On notera que dans une variante, l'oscillateur auxiliaire est intégré au moins partiellement dans le circuit électronique. Le système de régulation comprend en outre l'ensemble électromagnétique 27 décrit précédemment, à savoir la bobine 28 qui est reliée électriquement au circuit électronique 30 et l'aimant bipolaire 22 monté sur le balancier. De manière avantageuse, les divers éléments du système de régulation 8, à l'exception de l'aimant, sont agencés sur un support 34 avec lequel ils forment un module indépendant du mouvement horloger. Ainsi, ce module peut être assemblé ou associé au mouvement mécanique 4 que lors de leur montage dans une boîte de montre. En particulier, comme représenté à la Figure 1, le module susmentionné est fixé à un cercle d'emboîtement 36 qui entoure le mouvement horloger. On comprend que le module de régulation peut donc être 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.

[0031] En référence aux Figures 3 à 6C, on décrira premièrement le phénomène physique sur lequel se fonde le principe de régulation implémenté dans la pièce d'horlogerie selon l'invention. On considère ici une pièce d'horlogerie semblable à celle de la Figure 1. Le résonateur mécanique 40, dont seul le balancier 42 a été représenté aux Figures 4A-4C et 6A-6C, porte un seul aimant bipolaire 44 dont l'axe d'aimantation est sensiblement parallèle à l'axe de rotation 20 du balancier, c'est-à-dire avec une orientation axiale. Dans ce cas, le demi-axe considéré 46 du résonateur mécanique 40 passe par le centre de rotation 20 et le centre de l'aimant 44. Dans l'exemple traité ici, l'angle θ entre le demi-axe de référence 48 et le demi-axe 50 a une valeur d'environ 90° . Les deux demi-axes 48 et 50 sont fixes relativement au mouvement horloger, alors que le demi-axe 46 oscille avec le balancier et donne la position angulaire β de l'aimant monté sur ce balancier relativement au demi-axe de référence, ce dernier définissant la position angulaire zéro pour le résonateur mécanique. Plus généralement, le décalage angulaire θ est tel qu'un signal de tension induite généré dans la bobine au passage de l'aimant en regard de cette bobine est situé, lors d'une première alternance d'une quelconque oscillation, avant le passage du demi-axe médian par le demi-axe de référence (donc dans une première demi-alternance) et, lors d'une seconde alternance d'une quelconque oscillation, après le passage de ce demi-axe médian par le demi-axe de référence (donc dans une seconde demi-alternance).

[0032] La Figure 3 montre quatre graphes. Le premier

graphe donne la tension dans la bobine 28 en fonction du temps lorsque le résonateur 40 oscille, c'est-à-dire lorsque l'oscillateur mécanique est activé. Le deuxième graphe indique l'instant t_{p1} auquel une impulsion de freinage est appliquée au résonateur 40 pour effectuer une correction dans la marche du mécanisme cadencé par l'oscillateur mécanique. L'instant de l'application d'une impulsion de forme rectangulaire (c'est-à-dire d'un signal binaire) est considéré ici comme la position temporelle du milieu de cette impulsion. 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, comme déjà exposé, 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.

[0033] Par impulsion de freinage, on comprend une application, substantiellement durant un intervalle de temps limité, d'un certain couple de force au résonateur mécanique pour le freiner, c'est-à-dire d'un couple de force qui s'oppose au mouvement d'oscillation de ce résonateur mécanique. De manière générale, le couple de freinage peut être de natures diverses, notamment magnétique, électrostatique ou mécanique. Dans le mode de réalisation décrit, le couple de freinage est obtenu par le couplage aimant-bobine et il correspond donc à un couple magnétique de freinage exercé sur l'aimant 44 via la bobine 28 qui est commandée par un dispositif de régulation. De telles impulsions de freinage peuvent par exemple être générées en court-circuitant momentanément la bobine. Cette action est reconnaissable sur le graphe de la tension de bobine dans la zone temporelle au cours de laquelle l'impulsion de freinage est appliquée, cette zone temporelle étant prévue lors de l'apparition d'une impulsion de tension induite dans la bobine par le passage de l'aimant. C'est évidemment dans cette zone temporelle que le couplage aimant-bobine permet une action sans contact via un couple magnétique sur l'aimant fixé au balancier. On observe en effet que la tension de bobine descend vers zéro au cours d'une impulsion de freinage par court-circuit (la tension induite dans la bobine 28 par l'aimant 44 étant représentée en traits interrompus dans la zone temporelle susmentionnée). A noter que les impulsions de freinage par court-circuit représentées aux Figures 3 et 5 sont mentionnées

ici dans le cadre des explications données, car la présente invention prévoit une récupération de l'énergie de freinage pour alimenter notamment le dispositif de régulation.

[0034] Dans les Figures 3 et 5, 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. Chacune des deux alternances d'une période d'oscillation a 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.

[0035] En référence aux Figures 3 et 4A - 4C, on décrira le comportement de l'oscillateur mécanique dans un premier cas. Après une première période T_0 commence 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 40 étant alors dans l'état de la Figure 4A où l'aimant 44 occupe une position angulaire β correspondant à une position extrême (position angulaire positive maximale A_m). 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, les Figures 4B, 4C représentant le résonateur respectivement aux deux instants successifs t_{P1} et t_{N1} . Finalement l'alternance A1 se termine à l'instant final t_{F1} .

[0036] Dans le premier cas, l'impulsion de freinage est générée entre le début d'une alternance et le passage du résonateur par sa position neutre, c'est-à-dire dans une première demi-alternance de cette alternance. Comme prévu, la vitesse angulaire en valeur absolue diminue au moment de l'impulsion de freinage P1. Ceci induit un déphasage temporel négatif T_{ci} 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'oscillation T_1 , comprenant l'alternance A1, est donc prolongée relativement à la valeur T_0 . Ceci engendre une diminution ponctuelle de la fréquence de l'oscillateur mécanique et un ralentissement momentané de la marche du mécanisme associé.

[0037] En référence aux Figures 5 et 6A - 6C, on décrira le comportement de l'oscillateur mécanique dans un deuxième cas. Les graphes de la Figure 5 représentent l'évolution temporelle des mêmes variables qu'à la Figure 3. Après une première période T_0 commence une nouvelle période T_2 , 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 40 étant alors dans une position extrême (position angulaire négative maximale non représentée). Après

un quart de période ($T_0 / 4$) correspondant à une première demi-alternance, le résonateur atteint sa position neutre à l'instant médian t_{N2} (configuration représentée à la Figure 6A). 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, c'est-à-dire dans une seconde demi-alternance de cette alternance. Finalement, cette alternance se termine à l'instant final t_{F2} auquel le résonateur occupe à nouveau une position extrême (position angulaire positive maximale). Les Figures 6B et 6C représentent le résonateur respectivement aux deux instants successifs t_{N2} et t_{F2} . On remarquera en particulier que la configuration de la Figure 6A se distingue de la configuration de la Figure 4C par les sens inverses des mouvements d'oscillation respectifs. En effet, à la Figure 4C, le balancier tourne dans un sens horaire lorsqu'il passe par la position neutre dans l'alternance A1, alors qu'à la Figure 6A ce balancier tourne dans le sens antihoraire lors du passage par la position neutre dans l'alternance A2.

[0038] 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. 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 la période d'oscillation du résonateur, comme le montrent les deux graphes de la vitesse angulaire et de la position angulaire à la Figure 5, 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 T_2 comprenant l'alternance A2 est donc plus courte que la valeur T_0 . Ceci engendre par conséquent une augmentation 'ponctuelle' de la fréquence instantanée de l'oscillateur mécanique et une accélération momentanée de la marche du mécanisme associé.

[0039] En référence aux Figures 1 et 2 déjà décrites et aux Figures 7 à 10C, on décrira ci-après un premier mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention. Cette pièce d'horlogerie 2 comprend :

- un mécanisme 12,16 (montré partiellement),
- un résonateur mécanique 6 (balancier-spiral) susceptible d'osciller autour d'une position neutre 48 correspondant à son état d'énergie potentielle mécanique minimale, chaque alternance des oscillations successives présentant un passage du résonateur mécanique par sa position neutre à un instant médian et étant constituée d'une première demi-alternance se terminant à son instant médian et d'une seconde demi-alternance débutant à son instant médian,
- un dispositif d'entretien 14 du résonateur mécanique formant avec ce résonateur mécanique un oscillateur mécanique qui cadence la marche du mécanis-

- me,
- un transducteur électromécanique agencé pour pouvoir convertir de la puissance mécanique de l'oscillateur mécanique en puissance électrique lorsque le résonateur mécanique 6 oscille avec une amplitude comprise dans une plage de fonctionnement utile, ce transducteur électromagnétique étant formé par un ensemble électromagnétique 27 comprenant une bobine 28 (seul élément de l'ensemble électromagnétique représenté schématiquement à la Figure 7), montée sur le support (en particulier la platine du mouvement 4) du résonateur mécanique, et un aimant 22 monté sur ce résonateur mécanique, l'ensemble électromagnétique 27 étant agencé de manière à pouvoir fournir un signal de tension induite $U_i(t)$ (Fig.10A), entre les deux bornes de sortie E1 et E2 du transducteur électromécanique lorsque le résonateur mécanique oscille avec une amplitude comprise dans la plage de fonctionnement utile,
 - un convertisseur électrique 56 relié aux deux bornes de sortie du transducteur électromécanique de manière à pouvoir recevoir de ce transducteur électromécanique un courant électrique induit I_{Rec} (Fig.10B), ce convertisseur électrique comprenant une capacité d'alimentation C_{AL} agencée pour accumuler de l'énergie électrique fournie par le transducteur électromécanique, ce transducteur électromécanique et le convertisseur électrique formant ensemble un dispositif de freinage du résonateur mécanique,
 - un dispositif de régulation 52 de la fréquence de l'oscillateur mécanique, ce dispositif de régulation comprenant un oscillateur auxiliaire 58 & CLK et un dispositif de mesure agencé pour pouvoir mesurer une dérive temporelle éventuelle de l'oscillateur mécanique relativement à l'oscillateur auxiliaire, le dispositif de régulation étant agencé pour pouvoir déterminer si la dérive temporelle mesurée correspond à au moins une certaine avance ou à au moins un certain retard.

[0040] De préférence, l'ensemble électromagnétique 27 forme également en partie le dispositif de mesure. Ce dispositif de mesure comprend en outre un compteur bidirectionnel CB et un comparateur 64 (du type Schmidt trigger). Le comparateur reçoit à une entrée le signal de tension induite $U_i(t)$ et à l'autre entrée un signal de tension de seuil U_{th} dont la valeur est positive dans l'exemple donné. Comme le signal de tension induite $U_i(t)$ présente dans chaque période d'oscillation du résonateur 6 deux lobes positifs (Fig.10A) dépassant la valeur U_{th} , le comparateur fournit en sortie un signal 'Comp' présentant deux impulsions S1 et S2 (Fig.10C) par période d'oscillation. Ce signal 'Comp' est fourni d'une part à un circuit logique de commande 62 et d'autre part à une bascule 66 qui inhibe une impulsion sur deux de manière à fournir une seule impulsion par période d'oscillation à une première entrée 'UP' du compteur bidirectionnel CB. Le

compteur bidirectionnel comprend une deuxième entrée 'Down' qui reçoit un signal d'horloge S_{hor} à une fréquence nominale / fréquence de consigne pour la fréquence d'oscillation, ce signal d'horloge étant dérivé de l'oscillateur auxiliaire qui fournit un signal digital de référence définissant une fréquence de référence. L'oscillateur auxiliaire comprend un circuit d'horloge CLK servant à exciter le résonateur à quartz 58 et à fournir en retour le signal de référence qui est composé d'une succession d'impulsions correspondant respectivement aux périodes d'oscillation du résonateur à quartz.

[0041] Le circuit d'horloge fournit son signal de référence à un diviseur DIV1 & DIV2 qui divise le nombre d'impulsions dans ce signal de référence par le rapport entre la période nominale de l'oscillateur mécanique et la période de référence nominale de l'oscillateur auxiliaire. Le diviseur fournit ainsi un signal d'horloge S_{hor} définissant une fréquence de consigne (par exemple 4Hz) et présentant une impulsion par période de consigne (par exemple 250 ms) au compteur CB. Ainsi, l'état du compteur CB détermine l'avance (si le nombre est positif) ou le retard (si le nombre est négatif) accumulé(e) 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 est fourni à un circuit logique de commande 62 qui est agencé pour déterminer si cet état correspond à au moins une certaine avance ($CB > N1$, $N1$ étant un nombre naturel) ou à au moins un certain retard ($CB < -N2$, $N2$ étant un nombre naturel).

[0042] Le convertisseur électrique 56 comprend un circuit d'accumulation d'énergie électrique D1 & C_{AL} qui est agencé, dans la variante décrite, pour pouvoir recharger la capacité d'alimentation C_{AL} seulement avec une tension positive en entrée du convertisseur électrique, c'est-à-dire seulement avec une tension induite positive fournie par la bobine 28. Cette capacité d'alimentation forme ici à elle seule une unité d'accumulation primaire. Lors d'une recharge de la capacité d'alimentation, la quantité d'énergie électrique fournie par le dispositif de freinage à cette capacité d'alimentation est d'autant plus grande que le niveau de tension de cette capacité d'alimentation est bas. Une charge principale est connectée ou susceptible d'être régulièrement connectée au convertisseur électrique 56 et alimentée par la capacité d'alimentation qui fournit la tension d'alimentation principale $U_{AL}(t)$, représentée à la Figure 10A, entre les deux bornes d'alimentation V_{DD} et V_{SS} , cette charge principale comprenant notamment le circuit de régulation 54.

[0043] La pièce d'horlogerie 2 est remarquable par le fait que le circuit de régulation 54 du dispositif de régulation comprend une pompe de charge 60 agencée pour pouvoir transférer sur commande une certaine charge électrique de la capacité d'alimentation C_{AL} dans une unité d'accumulation secondaire formée ici d'une capacité C_{AUX} . Cette capacité C_{AUX} est prévue comme source d'alimentation secondaire pour une charge auxiliaire, par exemple une diode lumineuse, un circuit RFID, un cap-

teur de température, ou une autre unité électronique pouvant être incorporée dans la pièce d'horlogerie selon l'invention. A cet effet, la capacité C_{Aux} présente à ses deux bornes respectivement un potentiel inférieur V_L et un potentiel supérieur V_H définissant une tension d'alimentation auxiliaire. Une variante de réalisation d'une telle pompe de charge est représentée à la Figure 8. Il s'agit d'une forme simple de pompe de charge qui ne fait que transférer des charges sans augmentation de tension de sorte que dans ce cas la tension d'alimentation auxiliaire est prévue inférieure à la tension d'alimentation principale fournie par le convertisseur électrique 56. On notera qu'il s'agit d'un cas particulier qui n'est pas préféré. D'autres variantes de pompe de charge connues de l'homme du métier peuvent être prévues, notamment celles qui ont une fonction d'élévateur de tension. Une telle variante sera décrite par la suite dans le troisième mode de réalisation. La pompe de charge 60 comprend un interrupteur d'entrée Sw1 et un interrupteur de sortie Sw2 avec une capacité de transfert C_{Tr} . Les interrupteurs Sw1 et Sw2 sont commandés par le circuit logique de commande 62 selon un procédé de régulation (Figure 9) implémenté dans le premier mode de réalisation de la pièce d'horlogerie selon l'invention et qui sera décrit par la suite.

[0044] Aux Figures 10A et 10B, le signal de tension induite $U_i(t)$ correspond à celui généré par l'ensemble électromagnétique 27 associé au résonateur mécanique 6 lorsque ce dernier oscille dans une plage de fonctionnement utile. Sur l'axe du temps $[t]$ sont indiqués les instants médians TN_n , $n = 0, 1, 2, \dots$, correspondant aux passages successifs du résonateur mécanique par sa position neutre, ainsi que les instants TM_n , $n = 0, 1, 2, \dots$, correspondant aux passages successifs du résonateur mécanique alternativement par ses deux positions extrêmes où sa vitesse angulaire est nulle et le sens de son balancement s'inverse. Selon l'invention, le dispositif de freinage 27 & 56 est agencé de manière que, dans chaque période d'oscillation du résonateur mécanique 6 au moins lorsque l'amplitude d'oscillation de ce résonateur mécanique est dans la plage de fonctionnement utile, le signal de tension induite $U_i(t)$ présente un premier lobe de tension LU_1 intervenant dans une première demi-alternance $DA1^1$, $DA1^P$ et un deuxième lobe de tension LU_2 intervenant dans une seconde demi-alternance $DA2^1$, $DA2^P$. Le signal de tension induite présente ainsi alternativement une succession de premiers lobes de tension LU_1 et de deuxièmes lobes de tension LU_2 . Chaque premier lobe de tension LU_1 présente une première valeur maximale UM_1 à un premier instant t_1 de la première demi-alternance correspondante et chaque deuxième lobe de tension LU_2 présente une deuxième valeur maximale UM_2 à un deuxième instant t_2 de la seconde demi-alternance correspondante.

[0045] Les premiers et deuxièmes lobes de tension définissent, d'une part, des premières zones temporelles ZT1 situées chacune avant le premier instant t_1 d'un premier lobe de tension différent et après le deuxième instant

t_2 du deuxième lobe de tension précédant ce premier lobe de tension et, d'autre part, des deuxièmes zones temporelles ZT2 situées chacune avant le deuxième instant t_2 d'un deuxième lobe de tension différent et après le premier instant t_1 du premier lobe de tension précédant ce deuxième lobe de tension. Les premiers lobes de tension LU_1 génèrent des impulsions S1 dans le signal 'Comp' en sortie du comparateur 64, alors que les deuxièmes lobes de tension LU_2 génèrent des impulsions S2 dans ce signal 'Comp' (Fig. 10C). Dans la variante représentée à la Figure 10A, les lobes considérés pour la génération des signaux S1 et S2 sont les lobes de tension positive car la tension de seuil U_{th} a été choisie positive. Dans une variante qui ne sera pas décrite plus en détail par la suite, on peut choisir une tension de seuil négative fournie à l'entrée '+' du comparateur 64 (le signal de tension induite étant alors fourni à son entrée '-') et ce sont alors les lobes de tension négative qui génèrent les signaux S1 et S2.

[0046] Ensuite, le dispositif de freinage est agencé de manière que, au moins lorsqu'aucune dérive temporelle n'est détectée par le dispositif de mesure et au moins lorsque ladite charge principale, connectée aux bornes V_{ss} et V_{DD} , consomme en continu ou de manière quasi continue de l'énergie électrique accumulée dans la capacité d'alimentation C_{AL} (lors d'une phase de fonctionnement normal de la pièce d'horlogerie, comme représenté à la Figure 10A où la tension d'alimentation $U_{AL}(t)$ présente une certaine pente négative en l'absence de correction du fonctionnement de l'oscillateur mécanique), les premiers lobes de tension LU_1 et les deuxièmes lobes de tension LU_2 engendrent alternativement des impulsions de courant induit P1 et P2 (Fig. 10B) qui rechargent la capacité d'alimentation. On remarquera que le convertisseur électrique 56 comprend une diode D1 agencée de sorte que seuls les lobes de tension positive sont susceptibles de recharger la capacité C_{AL} . Cependant, dans une variante qui ne sera pas décrite plus en détail par la suite, le convertisseur électrique peut avoir une diode agencée de manière à définir un redresseur simple alternance de sorte que ce sont alors les lobes de tension négative qui sont susceptibles de recharger la capacité C_{AL} . Dans ce cas, ce sont ainsi les lobes de tension négative qui engendrent les impulsions de courant induit et qui sont considérés pour déterminer les zones temporelles de prélèvement d'une certaine charge électrique en fonction de la dérive temporelle mesurée, comme exposé ci-après. On notera que dans une autre variante, le convertisseur peut comprendre un convertisseur double alternance. Dans ce cas, on obtient à chaque passage de l'aimant 22 devant la bobine 28 une première paire de premiers lobes de tension consécutifs ou une deuxième paire de deuxièmes lobes de tension consécutifs ayant tous sensiblement une même amplitude. On obtient donc des doublons des premiers et deuxièmes lobes de tension décrits ci-avant. Ce cas particulier doit être traité en relation avec l'exposé ci-dessus en prenant les premières et deuxièmes paires de lobes

de tension en lieu et place des premiers et deuxièmes lobes de tension, et en prenant pour déterminer les premières et deuxièmes zones temporelles ZT1 et ZT2 les temps t_1 et t_2 des deux lobes adjacents parmi deux paires qui se succèdent.

[0047] La pompe de charge 60 est agencée pour pouvoir prélever sur commande une certaine charge électrique de la capacité d'alimentation C_{AL} et la transférer dans la capacité auxiliaire C_{AUX} , de manière à diminuer momentanément le niveau de tension $U_{AL}(t)$ de la capacité d'alimentation C_{AL} . Dès que la capacité d'alimentation a été suffisamment chargée pour pouvoir alimenter le circuit de régulation 54, le circuit logique de commande 62 reçoit en entrée un signal de mesure fourni par le dispositif de mesure, à savoir du compteur bidirectionnel CB. Ce circuit logique de commande est agencé pour activer la pompe de charge 60 de manière qu'elle effectue, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond à au moins une certaine avance ($CB > N1$), un prélèvement d'une première charge électrique de la capacité d'alimentation C_{AL} dans une première zone temporelle ZT1 et un transfert de cette première charge dans la capacité auxiliaire qui forme une source d'alimentation secondaire. Il en résulte une baisse de la tension $U_{AL}(t)$. De même, le circuit logique de commande est agencé pour activer la pompe de charge 60 de manière qu'elle effectue, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond à au moins un certain retard ($CB < -N2$), un prélèvement d'une deuxième charge électrique de la capacité d'alimentation C_{AL} dans une deuxième zone temporelle ZT2, pour baisser la tension $U_{AL}(t)$, et un transfert de cette deuxième charge électrique dans la capacité auxiliaire.

[0048] Le procédé de régulation implémenté dans le premier mode de réalisation de l'invention est donné sous forme d'organigramme à la Figure 9. Après une initialisation du circuit de régulation à 'POR', on réinitialise le compteur CB. Ensuite, on attend la détection d'un flanc montant d'une impulsion S1 ou S2 fournie par le comparateur 64 dans le signal 'Comp' (voir Fig. 10C) qu'il transmet au circuit logique de commande 62, et on initialise alors le compteur temporel CT. Ensuite, on attend la détection du flanc montant suivant dans le signal 'Comp' (deuxième flanc montant d'une impulsion S2 ou S1).

[0049] Dès la détection du deuxième flanc montant susmentionné dans le signal 'Comp', le circuit logique 62 transfère l'état / la valeur du compteur temporel CT dans un registre et compare cette valeur à une valeur de différentiation T_{diff} qui est sélectionnée inférieure à un premier intervalle de temps entre une première impulsion S1 et une deuxième impulsion S2 et supérieure à un deuxième intervalle de temps entre une deuxième impulsion S2 et une première impulsion S1. Dès le transfert de l'état du compteur temporel CT dans le registre, ce compteur temporel est réinitialisé et un temporisateur associé au circuit logique 62 est enclenché pour mesurer un certain délai dont la valeur T_{ci} ou T_{D1} est sélectionnée en fonction du résultat de la comparaison de la valeur du

compteur CT avec la valeur T_{diff} . Dans le premier mode de réalisation, le dispositif de régulation comprend donc un dispositif de détection, agencé pour pouvoir détecter l'apparition successive alternativement de premiers lobes de tension et de deuxièmes lobes de tension, et un compteur temporel CT associé au circuit logique de commande 62 pour permettre à ce dernier de distinguer un premier intervalle de temps, séparant un premier lobe de tension d'un deuxième lobe de tension qui suit, et un deuxième intervalle de temps séparant un deuxième lobe de tension d'un premier lobe de tension qui suit, les premier et deuxième intervalles de temps étant différents du fait de l'agencement de l'ensemble électro-magnétique.

[0050] L'agencement de l'ensemble électromagnétique est prévu ici tel que la courbe du signal de tension induite $U_i(t)$ présente deux lobes de tension LU_2 et LU_1 , avec une même amplitude maximale ($UM_2 = UM_1$), qui interviennent dans une seconde demi-alternance et dans la première demi-alternance suivante, mais aucun lobe de tension de sensiblement même amplitude n'est engendré dans les deux demi-alternances suivantes. La courbe du signal de tension induite $U_i(t)$ représentée à la Figure 10A découle de l'ensemble électromagnétique 27 décrit précédemment. Dans le premier mode de réalisation, la bobine 28 présente en son centre un décalage angulaire θ relativement au demi-axe de référence 48 (Fig. 2 ; position angulaire de l'aimant 22 lorsque le résonateur mécanique 6 est dans sa position de repos) de sorte à engendrer dans chaque période d'oscillation du résonateur mécanique, dans ladite plage de fonctionnement utile, seulement deux lobes de tension de même polarité et de sensiblement même amplitude maximale qui interviennent dans deux demi-alternances consécutives et qui forment respectivement un desdits deuxièmes lobes de tension et un desdits premiers lobes de tension. De préférence, le décalage angulaire θ est compris entre 30° et 120° en valeur absolue.

[0051] Lors de la comparaison susmentionnée entre la valeur du compteur temporel CT et la valeur de différentiation T_{diff} , le temporisateur associé au circuit logique attend soit un délai T_{ci} lorsque la valeur du compteur temporel CT est supérieure à la valeur de différentiation T_{diff} , soit un délai T_{D1} lorsque la valeur du compteur temporel CT est inférieure à la valeur de différentiation T_{diff} . Dans le premier cas, la comparaison permet de savoir que l'impulsion détectée est une impulsion S2 générée par un deuxième lobe de tension LU_2 et le délai T_{ci} est choisi pour qu'il termine dans une première zone temporelle ZT1 suivant ce deuxième lobe de tension. Dans le second cas, la comparaison permet de savoir que l'impulsion détectée est une impulsion S1 générée par un premier lobe de tension LU_1 et le délai T_{D1} est choisi pour qu'il termine dans une deuxième zone temporelle ZT2 suivant ce premier lobe de tension. De manière générale, le dispositif de régulation comprend un temporisateur associé au circuit logique de commande pour permettre à ce dernier d'activer, le cas échéant, le dispositif de pompe de charge après un premier délai déterminé

depuis la détection d'un deuxième lobe de tension, ce premier délai étant sélectionné de sorte qu'il se termine dans une première zone temporelle, ou après un deuxième délai déterminé depuis la détection d'un premier lobe de tension, ce deuxième délai étant sélectionné de sorte qu'il se termine dans une deuxième zone temporelle.

[0052] Dans le premier cas susmentionné, lorsque le délai T_{ci} est atteint, on détecte si le compteur CB, indiquant une dérive temporelle éventuelle de l'oscillateur mécanique, a une valeur supérieure à un nombre naturel donné $N1$ (nombre positif ou égal à zéro). Si tel est le cas, l'oscillateur mécanique présente une avance relativement à l'oscillateur auxiliaire. Pour corriger une telle avance, il est prévu selon l'invention de transférer une première charge électrique de la capacité d'alimentation dans la capacité auxiliaire à la fin du délai T_{ci} susmentionné et donc dans la première zone temporelle $ZT1$ correspondante. La baisse de la tension d'alimentation $U_{AL}(t)$ qui en résulte (indiqué par la référence PC_1 à la Fig.10A) engendre, lors de l'apparition du premier lobe de tension suivant le transfert susmentionné, une impulsion de courant induit $P1^{PC}$ ayant une amplitude supérieure à celle d'une impulsion $P1$ qui interviendrait en l'absence d'activation de la pompe de charge. Cette augmentation du courant induit dans la bobine 28 signifie une plus grande énergie mécanique prise à l'oscillateur mécanique par le dispositif de freinage dans une première demi-alternance $DA1^P$. Comme déjà exposé, un freinage dans une première demi-alternance engendre un déphasage temporel négatif dans l'oscillation du résonateur mécanique 6, et ainsi la durée de la demi-alternance en question est augmentée. Par le freinage plus intense opéré dans la première demi-alternance $DA1^P$, on diminue momentanément la fréquence instantanée de l'oscillateur mécanique et il en résulte un certain retard dans la marche du mécanisme qu'il cadence, ce qui corrige au moins partiellement l'avance détectée par le dispositif de mesure.

[0053] Dans le second cas susmentionné, lorsque le délai T_{D1} est atteint, on détecte si le compteur CB a une valeur inférieure à un nombre négatif donné $-N2$, $N2$ étant un nombre naturel. Si tel est le cas, l'oscillateur mécanique présente un retard relativement à l'oscillateur auxiliaire. Pour corriger un tel retard, il est prévu selon l'invention de transférer une deuxième charge électrique de la capacité d'alimentation dans la capacité auxiliaire à la fin du délai T_{D1} susmentionné et donc dans la deuxième zone temporelle $ZT2$ correspondante. La baisse de la tension d'alimentation $U_{AL}(t)$ qui en résulte (indiqué par la référence PC_2 à la Fig.10A) engendre, lors de l'apparition du deuxième lobe de tension suivant le transfert susmentionné, une impulsion de courant induit $P2^{PC}$ ayant une amplitude supérieure à celle de l'impulsion $P2$ qui interviendrait en l'absence de régulation. Cette augmentation du courant induit dans la bobine 28 signifie une plus grande énergie mécanique prise à l'oscillateur mécanique par le dispositif de freinage dans une seconde demi-alternance $DA2^P$. Comme déjà exposé, un frei-

nage dans une seconde demi-alternance engendre un déphasage temporel positif dans l'oscillation du résonateur mécanique, et ainsi la durée de la demi-alternance en question est diminuée. Par le freinage plus intense opéré dans la seconde demi-alternance $DA2^P$, on augmente momentanément la fréquence instantanée de l'oscillateur mécanique et il en résulte une certaine avance dans la marche du mécanisme qu'il cadence, ce qui corrige au moins partiellement le retard détecté par le dispositif de mesure.

[0054] Un prélèvement d'une charge électrique dans une première zone temporelle $ZT1$ à la fin du délai T_{ci} , indiqué par la référence PC_1 qui pointe une marche descendante dans la tension d'alimentation $U_{AL}(t)$, engendre donc une impulsion de courant induit $P1^{PC}$ d'amplitude supérieure dans une première demi-alternance $DA1^P$ d'une alternance $A2$, cette première demi-alternance ayant une durée supérieure à celles des secondes demi-alternances $DA1^o$ et $DA1^1$ qui correspondent respectivement à une demi-alternance au cours de laquelle aucune impulsion de courant induit n'est engendrée et à une demi-alternance au cours de laquelle une impulsion de compensation $P1$ de la consommation électrique de la charge principale intervient. Un prélèvement d'une charge électrique dans une deuxième zone temporelle $ZT2$ à la fin du délai T_{D1} , indiqué par la référence PC_2 qui pointe une marche descendante dans la tension d'alimentation $U_{AL}(t)$, engendre donc une impulsion de courant induit $P2^{PC}$ d'amplitude supérieure dans une seconde demi-alternance $DA2^P$ d'une alternance $A1$, cette seconde demi-alternance ayant une durée moindre que les secondes demi-alternances $DA2^o$ et $DA2^1$ qui correspondent respectivement à une demi-alternance au cours de laquelle aucune impulsion de courant induit n'est engendrée et à une demi-alternance au cours de laquelle une impulsion de compensation $P2$ de la consommation électrique de la charge principale intervient.

[0055] A l'aide des Figures 11 à 15, on décrira ci-après un deuxième mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention.

[0056] La Figure 11 est similaire à la Figure 2, mais pour un ensemble électromagnétique 29 formant le transducteur électromagnétique d'une pièce d'horlogerie selon le deuxième mode de réalisation. Elle montre le résonateur mécanique 6a en coupe horizontale au niveau de son balancier 18a, ce résonateur mécanique étant incorporé dans un mouvement horloger, semblable à celui de la Figure 1, en lieu et place du résonateur 6 montré à cette Figure 1. Les références déjà décrites ne seront pas à nouveau décrites ici. De manière générale, il est prévu un ensemble électromagnétique qui comprend au moins la bobine 28 et une structure aimantée formée d'au moins un aimant et présentant au moins une paire de pôles magnétiques, de polarités opposées, générant chacun un flux magnétique en direction d'un plan général de la bobine, cette paire de pôles magnétiques étant agencée de manière que, lorsque le résonateur mécanique 6a oscille avec une amplitude comprise dans

une plage de fonctionnement utile, leurs flux magnétiques respectifs traversent la bobine avec un décalage temporel mais avec au moins en partie une simultanéité du flux magnétique entrant et du flux magnétique sortant, de manière à former un lobe de tension central présentant une valeur de pic qui est maximale.

[0057] Dans la variante avantageuse de la Figure 11, le balancier 18a porte une paire d'aimants bipolaires 22 et 23 ayant des axes d'aimantation orientés axialement avec des polarités opposées. Cette paire d'aimants et la bobine 28 forment l'ensemble électromagnétique 29 qui fait partie du système de régulation. Les aimants sont agencés proches l'un de l'autre, à une distance permettant une addition de leurs interactions respectives avec la bobine 28 pour ce qui concerne la tension induite dans celle-ci (plus précisément pour la génération de lobes de tension centraux). Dans une variante non représentée, on peut agencer un seul aimant bipolaire avec son axe d'aimantation parallèle au plan du balancier et orienté tangentiellement à un cercle géométrique centré sur l'axe de rotation 20. Le signal de tension induite dans la bobine peut présenter sensiblement un même profil que pour la paire d'aimants décrite ci-avant, mais avec une amplitude moindre étant donné que seule une partie du flux magnétique de l'aimant traverse la bobine. Des éléments de conduction du flux magnétique peuvent être associés au seul aimant pour diriger son flux magnétique substantiellement en direction du plan général de la bobine.

[0058] Le balancier 18a définit un demi-axe 26, depuis son axe de rotation 20 et perpendiculairement à ce dernier, qui passe au milieu de la paire d'aimants. Lorsque le balancier-spiral est dans sa position de repos, le demi-axe 26 définit une position neutre autour de laquelle le balancier-spiral peut osciller. Le résonateur mécanique 6a est représenté dans sa position neutre à la Figure 11 et son demi-axe 26 définit un demi-axe de référence 48 qui est décalé angulairement d'un angle θ relativement au demi-axe fixe 50 qui intercepte l'axe de rotation 20 et l'axe central de la bobine 28. De préférence, le décalage angulaire θ est compris entre 30° et 120° en valeur absolue.

[0059] Dans la variante représentée aux Figures 14 et 15, le signal de tension induite $U_i(t)$ généré par l'ensemble électromécanique 29 présente, dans chaque période d'oscillation de l'oscillateur mécanique, un premier lobe de tension central LUC_1 (aussi nommé premier lobe de tension) ayant une tension négative maximale UM_1 et un deuxième lobe de tension LUC_2 (aussi nommé deuxième lobe de tension) ayant une tension positive maximale UM_2 . Grâce au décalage angulaire θ de la bobine relativement au demi-axe de référence 48, un deuxième lobe de tension et un premier lobe de tension interviennent respectivement dans une seconde demi-alternance d'une alternance $A0_1, A1_1, \dots$ (AN_1, N étant un nombre naturel) et dans une première demi-alternance de l'alternance suivante $A0_2, A1_2, \dots$ (AN_2, N étant un nombre naturel) de chaque période d'oscillation. Dans une autre variante, les polarités des lobes de tension sont oppo-

sées, c'est-à-dire que les premiers lobes de tension ont une tension positive alors que les deuxièmes lobes de tension ont une tension négative. On notera qu'une simple inversion des bornes E1 et E2 de la bobine 28 ou, de manière équivalente, du sens d'enroulement du fil formant cette bobine engendre un changement de polarité pour la tension induite de sorte qu'une telle inversion permet de passer d'une variante à l'autre.

[0060] De préférence, l'ensemble électromagnétique 29 forme également en partie le dispositif de mesure, comme dans le premier mode de réalisation. La partie du schéma électrique de la Figure 12 relative au dispositif de mesure d'une dérive temporelle éventuelle de l'oscillateur mécanique ne sera pas décrite à nouveau en détails. On remarquera que le comparateur 64 délivre un signal 'Comp', représenté à la Figure 14, qui présente une impulsion S2 par période d'oscillation. Ainsi ce signal peut être directement fourni au compteur bidirectionnel CB.

[0061] A la Figure 12, le convertisseur électrique 57 comprend un premier circuit D1 & C1 d'accumulation d'énergie électrique qui est agencé pour pouvoir recharger une première capacité d'alimentation C1 de l'unité d'accumulation primaire seulement avec une tension positive en entrée du convertisseur électrique et un deuxième circuit D2 & C2 d'accumulation d'énergie électrique qui est agencé pour pouvoir recharger une deuxième capacité d'alimentation C2 de l'unité d'accumulation primaire seulement avec une tension négative en entrée du convertisseur électrique. Lors d'une recharge, la quantité d'énergie électrique fournie sélectivement par le dispositif de freinage à la première capacité d'alimentation et à la deuxième capacité d'alimentation est d'autant plus grande que le niveau de tension en valeur absolue de cette première capacité d'alimentation, respectivement de cette deuxième capacité d'alimentation est bas.

[0062] Une charge principale est connectée ou susceptible d'être régulièrement connectée en sortie du convertisseur électrique 57 et alimentée par l'unité d'alimentation primaire qui fournit les tensions d'alimentation V_{DD} et V_{SS} . Cette charge principale comprend notamment le circuit de régulation 55. De préférence, les première et deuxième capacités d'alimentation ont sensiblement une même valeur de capacité.

[0063] Le circuit de régulation 55 du dispositif de régulation 53 comprend un dispositif de pompe de charge 61 formé par deux pompes de charge PC1 et PC2, avantageusement identiques, qui sont agencées pour transférer sur commande des charges électriques respectivement de la première capacité d'alimentation C1 et de la deuxième capacité d'alimentation C2 dans la capacité auxiliaire C_{Aux} . Comme dans le premier mode de réalisation, cette capacité auxiliaire forme une unité d'accumulation secondaire qui fournit une tension d'alimentation auxiliaire entre ses deux bornes V_L et V_H . Les deux pompes de charge PC1 et PC2 sont commandées par le circuit logique de commande 62a. Une variante de réalisation d'une pompe de charge pouvant former cha-

cune des deux pompes de charge a déjà été décrite en référence à la Figure 8. Dans une variante principale, les deux pompes de charge sont remplacées par une seule et même pompe de charge qui comprend alors des commutateurs commandés par le circuit de commande 62a de manière à pouvoir transférer des charges électriques dans la capacité auxiliaire en prélevant sélectivement ces charges électriques dans la première capacité C1 et dans la deuxième capacité C2 en fonction de la correction souhaitée, comme cela sera décrit par la suite dans la description du procédé de régulation implémenté dans le circuit de commande 62a dans le cadre du deuxième mode de réalisation. Dans la variante décrite, le circuit de régulation 55 comprend en outre deux circuits dissipatifs formés chacun d'une résistance et d'un interrupteur Sw3, respectivement Sw4. Ces deux circuits dissipatifs comprennent une certaine résistance et sont respectivement agencés en parallèle des deux capacités C1 et C2, entre celles-ci et les deux pompes de charge PC1 et PC2.

[0064] Aux Figures 14 et 15 sont également représentées la tension positive V_{ci} à la borne supérieure (définissant V_{DD}) de la capacité d'alimentation C1 et la tension négative V_{C2} à la borne inférieure (définissant V_{SS}) de la capacité d'alimentation C2 (la tension zéro étant celle de l'extrémité E1 de la bobine connectée entre les deux capacités agencées en série). La tension d'alimentation V_{AL} disponible est donc donnée par $V_{C1} - V_{C2}$, soit l'addition des tensions respectives des première et deuxième capacités C1 et C2. Dans la variante préférée décrite ici, une charge principale est agencée en sortie du convertisseur électrique. Elle comprend notamment le circuit de régulation 55 qui est alimenté par les première et deuxième capacités d'alimentation agencées en série et délivrant la tension d'alimentation V_{AL} . Les lobes de tension LUC_1 et LUC_2 qui présentent respectivement la tension induite négative maximale UM_1 (en valeur absolue) et la tension induite positive maximale UM_2 servent à recharger respectivement les capacités C2 et C1. Ainsi, en dehors de courtes périodes de recharge de l'une et l'autre des deux capacités d'alimentation, il y a une certaine diminution progressive (en valeur absolue) des tensions V_{C1} et V_{C2} au cours du temps.

[0065] Dans la première période d'oscillation T0 au cours de laquelle aucun événement de régulation n'intervient, une impulsion de courant induit I_{12} recharge la capacité C1 dans une seconde demi-alternance et une impulsion de courant induit I_{11} recharge la capacité C2 dans une première demi-alternance. Ces impulsions de courant induit correspondent à des puissances électriques engendrées par le transducteur électromécanique dans l'ensemble électromagnétique 29 et absorbées par le convertisseur électrique 57. Ces puissances électriques correspondent ainsi à des puissances mécaniques fournies par l'oscillateur mécanique. Elles sont converties par le convertisseur électrique et consommées par la charge principale qui lui est associée. Ainsi chaque impulsion de courant induit I_{N1} et I_{N2} , $N = 1, 2, \dots$, fourni

par le transducteur électromécanique au convertisseur électrique correspond à une impulsion de freinage et donc à un certain couple de freinage momentané appliqué à l'oscillateur mécanique. Selon le phénomène physique exposé précédemment en référence aux Figures 3 à 6, les impulsions de courant induit I_{N2} , intervenant chacune dans une seconde demi-alternance, engendrent une diminution de la durée des alternances au cours desquelles elles interviennent, et donc une augmentation de la fréquence instantanée de l'oscillateur mécanique, alors que les impulsions de courant induit I_{N1} , intervenant chacune dans une première demi-alternance, engendrent une augmentation de la durée des alternances au cours desquelles elles interviennent, et donc une diminution de la fréquence instantanée de l'oscillateur mécanique.

[0066] Dans une période de fonctionnement au cours de laquelle aucun événement de régulation et aucun comportement particulier découlant d'un tel événement de régulation n'intervient, c'est-à-dire dans une période correspondant à un fonctionnement normal sans régulation, on a donc la situation représentée dans la première période d'oscillation aux Figures 14 et 15 concernant les tensions V_{ci} et V_{C2} et les impulsions de recharge des capacités C1 et C2 engendrées respectivement par les impulsions de courant induit I_{12} et I_{11} , à savoir une situation équilibrée dans laquelle une première énergie électrique absorbée par le convertisseur électrique globalement dans les deux premières demi-alternances de chaque période d'oscillation est sensiblement identique à une deuxième énergie électrique absorbée par le convertisseur électrique globalement dans les deux secondes demi-alternances de cette période d'oscillation. Ainsi, le déphasage temporel positif qui intervient globalement dans les deux secondes demi-alternances est compensé par le déphasage temporel négatif qui intervient globalement dans les deux premières demi-alternances de chaque période d'oscillation. Dans le cas particulier représenté aux Figures 14 et 15, le déphasage temporel positif qui intervient dans la première alternance AO_1 est compensé par le déphasage temporel négatif qui intervient dans la seconde alternance AO_2 de la période d'oscillation correspondante. On comprend donc que, bien que la durée de la première alternance soit différente de celle de la seconde alternance, leur somme est égale à une période d'oscillation naturelle T0 de l'oscillateur mécanique non soumis à une action de régulation.

[0067] Le procédé de régulation implémenté dans le circuit logique de commande 62a du dispositif de pompe de charge 61 est donné par l'organigramme de la Figure 13. Après avoir initialisé le circuit de régulation à 'POR' et en particulier le compteur bidirectionnel CB, on attend un certain délai, c'est-à-dire un certain intervalle de temps, par exemple une période T0 ou plusieurs périodes T0, et le circuit de commande 62a détermine si au moins une certaine avance ($CB > N1$) est intervenue dans la marche de la pièce d'horlogerie. Si c'est le cas, dans la présente variante, le circuit de régulation est

agencé de sorte que le circuit de commande peut détecter si la tension V_{CA} aux bornes de la capacité auxiliaire est supérieure à un seuil de tension V_{th} , lequel correspond à une certaine tension pour laquelle la capacité auxiliaire est remplie à un niveau tel que les pompes de charge ne peuvent plus transférer des charges électriques significatives de l'une ou l'autre des capacités C1 et C2 dans la capacité auxiliaire. Dans ce cas, pour effectuer une correction de l'avance détectée, l'interrupteur Sw2 est fermé durant un court intervalle de temps Δt pour engendrer une certaine décharge de la capacité C2 au travers du circuit dissipatif correspondant, indiqué par la marche D_{C2} (qui est descendante en valeur absolue car la tension de la capacité C2 diminue) dans la tension V_{C2} à la Figure 14.

[0068] Si la tension V_{CA} est égale ou inférieure au seuil de tension V_{th} , alors le circuit de commande active la pompe de charge PC2 pour qu'elle effectue un transfert d'une première charge électrique de la deuxième capacité d'alimentation C2 dans la capacité auxiliaire C_{Aux} . Il résulte de cette action de régulation également une diminution de la tension V_{C2} indiquée par la marche descendante D_{C2} . Cette diminution de la tension V_{C2} engendre, au moins dans une période d'oscillation suivant un tel transfert, une augmentation de la recharge de la deuxième capacité C2 relativement au cas hypothétique où un tel transfert de la première charge électrique n'aurait pas lieu. La diminution de la tension V_{C2} opérée par le circuit de commande dans l'alternance $A1_1$ engendre lors de l'apparition du prochain lobe de tension LUC_1 dans l'alternance suivante $A1_2$ une impulsion de courant induit $I2_1$ dont l'amplitude (valeur du pic de tension) est supérieure à celle de la précédente $I1_1$. Etant donné que cette impulsion de courant induit $I2_1$ intervient dans une première demi-alternance, comme toutes les impulsions de courant induit qui rechargent la capacité C2, une diminution de la tension de cette capacité C2 engendre toujours au moins une impulsion de régulation qui génère un déphasage négatif dans l'oscillation du résonateur mécanique et donc qui diminue momentanément la fréquence d'oscillation pour corriger au moins partiellement l'avance détectée dans la marche de la pièce d'horlogerie (dérive temporelle positive). On remarquera que les impulsions $I1_2$ et $I2_2$ ont une amplitude, en valeur absolue, sensiblement égale à celle de l'impulsion $I1_1$, ces impulsions correspondant chacune à une impulsion de courant induit générée par la seule consommation de la charge principale. Il s'agit donc d'impulsions de recharge standard / nominales.

[0069] Si aucune avance n'est détectée dans la marche de la pièce d'horlogerie, alors le circuit de commande détermine si au moins un certain retard ($CB < -N2$) est intervenu dans la marche de cette pièce d'horlogerie. Si c'est le cas, le circuit de régulation détecte si la tension V_{CA} aux bornes de la capacité auxiliaire est supérieure au seuil de tension V_{th} . Dans ce cas, pour effectuer une correction du retard détecté, l'interrupteur Sw1 est fermé durant un court intervalle de temps Δt pour engendrer

une certaine décharge de la capacité C1 au travers du circuit dissipatif correspondant, indiqué par la marche D_{C1} (qui est descendante en valeur absolue car la tension de la capacité C2 diminue) dans la tension V_{C2} à la Figure 15. Si la tension V_{CA} est égale ou inférieure au seuil de tension V_{th} , alors le circuit de commande active la pompe de charge PC1 pour qu'elle effectue un transfert d'une deuxième charge électrique de la première capacité d'alimentation C1 dans la capacité auxiliaire C_{Aux} . Il résulte de cette action de régulation également une diminution de la tension V_{C1} indiquée par la marche D_{C1} . Cette diminution de la tension V_{C1} engendre, au moins dans une période d'oscillation suivant un tel transfert, une augmentation de la recharge de la deuxième capacité C1 relativement au cas hypothétique où un tel transfert de la deuxième charge électrique n'aurait pas lieu. La diminution de la tension V_{C1} opérée par le circuit de commande dans l'alternance $A1_1$ engendre lors de l'apparition du prochain lobe de tension LUC_2 dans cette même alternance une impulsion de courant induit $I3_2$ dont l'amplitude est supérieure à celle de la précédente $I1_2$. Etant donné que cette impulsion de courant induit $I3_2$ intervient dans une seconde demi-alternance, comme toutes les impulsions de courant induit qui rechargent la capacité C1, une diminution de la tension de cette capacité C1 engendre toujours au moins une impulsion de régulation qui génère un déphasage positif dans l'oscillation du résonateur mécanique et donc augmente momentanément la fréquence d'oscillation pour corriger au moins partiellement le retard détecté dans la marche de la pièce d'horlogerie (dérive temporelle négative). L'impulsion suivante $I3_1$ présente à nouveau sensiblement une amplitude standard / nominale.

[0070] Le deuxième mode de réalisation présente un avantage important par le fait que le prélèvement sélectif d'une charge électrique dans la capacité C1 ou C2 en fonction d'une dérive temporelle détectée dans la marche de la pièce d'horlogerie peut intervenir en tout temps puisque les premiers lobes de tension, qui interviennent seulement dans des premières demi-alternances, ont une même première polarité alors que les deuxième lobes de tension, qui interviennent seulement dans des secondes demi-alternances, ont une même deuxième polarité opposée à la première polarité et par le fait que les capacités C1 et C2 ne peuvent être rechargées respectivement que par des tensions induites de polarités opposées. Il suffit donc que le circuit logique de commande connaisse quelle polarité, première ou deuxième, est susceptible de recharger quelle capacité, C1 ou C2, pour effectuer sélectivement un prélèvement d'une certaine charge électrique dans l'une ou l'autre de ces deux capacités en fonction de la nature d'une dérive temporelle détectée, avance ou retard, par un transfert de cette certaine charge électrique dans la capacité auxiliaire ou par sa dissipation au travers d'un des deux circuits dissipatifs prévus si la capacité auxiliaire est pleine. Dans une variante, on prévoit cependant un temporisateur qui détermine un certain délai suite à l'apparition d'une im-

pulsion S2 dans le signal 'Comp' pour effectuer le prélèvement sélectif d'une charge électrique.

[0071] Dans une variante avantageuse, pour transférer une première ou deuxième charge électrique, le nombre de cycles de transfert de moindres charges électriques par une pompe de charge est augmenté lorsque la tension V_{CA} aux bornes de la capacité auxiliaire augmente, de manière à prélever une charge électrique sensiblement constante des capacités C1 et C2 par séquence du précédé de régulation. Dans une autre variante où le nombre de cycles de transfert de moindres charges électriques est prévu constant, l'augmentation de la tension V_{CA} engendre généralement une diminution de la première ou deuxième charge électrique prélevée et donc une moindre correction par séquence de régulation. Toutefois, dans la mesure où le système de régulation est configuré pour pouvoir aisément corriger des dérives dans une plage de dérive standard pour le mouvement horloger en question, une diminution de la valeur des premières et deuxièmes charges électriques par séquence de régulation, pour une dérive temporelle donnée, engendrera une augmentation de séquences de régulation par unité de temps. Les remarques ci-dessus concernent des capacités classiques et également des super-capacités dont la courbe caractéristique tension - charge électrique est sensiblement linéaire. Par contre, il est aussi possible de prévoir comme unité d'accumulation secondaire un condensateur électrique dont la tension varie peu, au-delà d'un certain niveau de charge minimal, en fonction de la charge électrique accumulée. Dans ce cas, les charges électriques transférées par la ou les pompe(s) de charge sont sensiblement constantes indépendamment du niveau de charge de cette unité d'accumulation secondaire. Dans un tel cas, le procédé de régulation décrit précédemment peut varier pour ce qui concerne la décision de transférer une certaine charge électrique dans l'unité d'accumulation secondaire ou de consommer cette charge électrique dans le circuit dissipatif prévu. Le dispositif de régulation comprendra généralement des moyens pour déterminer le niveau de remplissage de l'unité d'accumulation secondaire.

[0072] A l'aide des Figures 16 à 19 et 20A à 20C, on décrira par la suite un troisième mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention. Le mouvement horloger de cette pièce d'horlogerie se différencie de celui représenté en Fig.1 essentiellement par la configuration du balancier 18b, formant le résonateur mécanique 6b, qui porte ici deux paires d'aimants bipolaires 82 et 84. Les enseignements déjà donnés qui interviennent à nouveau ici ne seront plus exposés en détails. Ce qui rend remarquable ce troisième mode de réalisation relativement au premier mode de réalisation réside en particulier dans le choix de l'ensemble électromagnétique 86 formant le transducteur électromagnétique et du convertisseur électrique 76 associé à ce dernier. L'ensemble électromagnétique comprend deux paires 82 et 84 d'aimants bipolaires 90 et 91, respectivement 92 et 93, qui sont montés sur balancier 18b du résonateur mécanique 6b

et qui ont des axes d'aimantation respectifs qui sont parallèles à l'axe de rotation 20 du balancier, et une bobine 28 qui est solidaire du support du résonateur mécanique.

[0073] Chacune des deux paires 82, 84 d'aimants, avec ses deux aimants bipolaires ayant des polarités respectives opposées, est semblable à la paire d'aimants 22, 23 de l'ensemble électromagnétique du deuxième mode de réalisation et leur interaction avec la bobine 28 est identique. Chaque paire d'aimants bipolaires définit un demi-axe médian 24a, 24b partant de l'axe de rotation 20 du balancier et passant par le milieu de la paire d'aimants bipolaires considérée. Chaque demi-axe médian définit un demi-axe de référence respectif 48a, 48b lorsque le résonateur 6a est au repos et ainsi dans sa position neutre, comme représenté à la Figure 16. La bobine 28 présente en son centre un premier décalage angulaire θ relativement au premier demi-axe de référence 48a et un second décalage angulaire $-\theta$ (même valeur absolue que le premier décalage angulaire, mais signe mathématique opposé) relativement au second demi-axe de référence 48a, de sorte à engendrer dans chaque alternance du résonateur mécanique, dans une plage de fonctionnement utile, deux lobes de tension centraux LUC_1 et LUC_2 ayant des polarités opposées (négative et positive) et sensiblement une même amplitude UM_1 , UM_2 en valeur absolue et formant respectivement un premier lobe de tension et un deuxième lobe de tension (Fig. 20A).

[0074] Comme dans le deuxième mode de réalisation, les premiers et deuxièmes lobes de tension LUC_1 et LUC_2 interviennent respectivement dans des premières demi-alternances et des secondes demi-alternances. De préférence, pour équilibrer le balancier 18a, les premier et second déphasages angulaires ont une valeur absolue de 90° (variante représentée à la Figure 16). Les deux paires d'aimants 82 et 84 sont agencées de manière que les polarités des aimants d'une paire soient symétriques aux polarités des aimants de l'autre paire relativement à un plan passant par le centre de la bobine et comprenant l'axe de rotation 20 (ce plan comprenant le demi-axe 50 passant par le centre de la bobine et interceptant perpendiculairement l'axe de rotation 20). On notera que la variante du troisième mode de réalisation décrite en référence aux figures est une variante perfectionnée. Dans une autre variante qui ne sera pas décrite plus en détails par la suite, il est prévu une seule paire d'aimants présentant un décalage angulaire compris entre 30° et 120° (en valeur absolue). Cette autre variante comprend un circuit de régulation sans la bascule 66. Le procédé de régulation reste similaire et l'homme du métier saura l'adapter à cette variante particulière.

[0075] Le signal de tension induite $U_i(t)$, représenté à la Figure 20A, présente alternativement des lobes de tension LUC_1 ayant une tension négative et des lobes de tension LUC_2 ayant une tension positive. Le convertisseur électrique 76 comprend un redresseur double alternance 78 formé par un pont de quatre diodes bien connu de l'homme du métier. Ainsi, en sortie du redresseur 78,

les premiers lobes de tension sont redressés, ce qui est représenté à la Figure 20A par les lobes en traits interrompus. Comme dans le premier mode de réalisation, en l'absence d'activation de la pompe de charge 60b, les premiers et deuxième lobes de tension LUC_1 et LUC_2 rechargent alternativement la capacité d'alimentation C_{AL} qui alimente notamment le circuit de régulation 74. Etant donné qu'il y a deux paires d'aimants, chaque alternance présente un premier lobe de tension dans une première demi-alternance et un deuxième lobe de tension dans une seconde demi-alternance. Comme le signal 'Comp' présente deux impulsions par période d'oscillation, il est prévu une bascule 66 en amont du compteur bidirectionnel CB de manière à inhiber une impulsion sur deux dans le signal fourni à ce compteur. La variante représentée aux Figures 20A et 20C prévoit une tension de seuil U_{th} positive alors que les premiers lobes de tensions sont négatifs. La tension de seuil peut être choisie positive ou négative. Ces choix déterminent les instants auxquels interviennent les impulsions S2 ou S1 (voir Fig. 10C) dans le signal 'Comp' fourni par le comparateur 64. Ainsi, le dispositif de régulation comprend un dispositif de détection qui est agencé pour pouvoir détecter l'apparition successive de premiers lobes de tension ou de deuxième lobes de tension. A noter qu'on peut aussi prévoir de détecter alternativement ces premiers et deuxième lobes de tension à l'aide de deux comparateurs ayant en entrée respectivement un seuil de tension positif et un seuil de tension négatif. L'homme du métier saura adapter le procédé de régulation implémenté dans le circuit logique de commande 62b en conséquence, en particulier pour la détermination des délais T_{C2} et T_{D2} .

[0076] Le dispositif de pompe de charge est formé d'une pompe de charge 60b qui définit un élévateur de tension et qui est agencée entre la capacité d'alimentation C_{AL} (unité d'accumulation primaire) et un condensateur électrique (unité d'accumulation secondaire) de manière à pouvoir transférer des charges électriques de l'unité d'accumulation primaire dans l'unité d'accumulation secondaire. La pompe de charge 60b quadruple la tension d'alimentation principale U_{AL} délivrée par l'alimentation primaire de sorte que la tension de l'alimentation auxiliaire V_{CA} du condensateur électrique peut être supérieure, notamment le double de la tension U_{AL} . La construction et le fonctionnement d'un tel élévateur de tension sont bien connus de l'homme du métier. Le schéma électrique d'une variante est donné à la Figure 18. Elle comprend quatre capacités de transfert C_{Tr} , deux interrupteurs d'entrée Sw1, six interrupteurs 82, trois interrupteurs 84 et deux interrupteurs de sortie Sw2. Pour prélever une certaine charge électrique de la capacité C_{AL} , les interrupteurs Sw1 et 82 sont fermés alors que les interrupteurs Sw2 et 84 sont ouverts (les capacités C_{Tr} sont alors agencées en parallèle). Pour charger ensuite le condensateur électrique C_{Acc} , les interrupteurs Sw1 et 82 sont ouverts alors que les interrupteurs Sw2 et 84 sont fermés (les capacités C_{Tr} sont alors agencées en série).

[0077] Bien que l'unité d'accumulation primaire de ce troisième mode de réalisation est identique à celle du premier mode de réalisation avec une seule capacité C_{AL} qui reçoit la totalité des courants induits fournis par le transducteur électromagnétique, le fait que l'ensemble électromagnétique 86 est agencé de manière similaire à celui du deuxième mode de réalisation, avec les premiers lobes de tension et les deuxième lobes de tension ayant des polarités opposées, permet au comparateur 64 de détecter directement soit les premiers lobes de tension, soit les deuxième lobes de tension (cas représenté à la Fig. 20A). Il n'est donc ici pas nécessaire de devoir différencier dans les impulsions fournies par le comparateur celles qui correspondent aux premiers lobes de celles qui correspondent aux deuxième lobes, raison pour laquelle il n'y a pas de compteur temporel CT, mais seulement un temporisateur associé au circuit logique de commande, lequel peut être intégré à l'intérieur de ce circuit logique, pour mesurer deux délais T_{C2} et T_{D2} . A la Figure 20C, on observe que le signal 'Comp' présente seulement des impulsions S2 qui correspondent chacune à l'apparition d'un deuxième lobe de tension LUC_2 .

[0078] La Figure 19 est un organigramme du procédé de régulation implémenté dans le circuit logique de commande 62b du troisième mode de réalisation. On ne décrira plus en détails tous les éléments, tous les signaux électriques et les conséquences des divers événements qui interviennent, car ils découlent des explications déjà données précédemment et les résultats se comprennent aisément à la lumière de ces explications.

[0079] Lors de la mise en fonction du dispositif de régulation, le circuit de régulation 74 est initialisé à 'POR', en particulier le compteur bidirectionnel CB. Le circuit logique attend ensuite l'apparition d'une impulsion S2, à savoir notamment son flanc montant dans le signal 'Comp'. La détection de ce flanc montant déclenche le temporisateur qui mesure un premier intervalle de temps T_{C2} dont la durée est choisie pour que sa fin intervienne dans une première zone temporelle ZT1 située temporellement entre un deuxième lobe de tension LUC_2 et un premier lobe de tension LUC_1 , notamment entre l'instant t_2 et l'instant t_1 où ces deux lobes présentent respectivement leurs valeurs maximales UM_2 et UM_1 (Fig. 20A). Parallèlement, le circuit logique détecte si la valeur du compteur bidirectionnel CB est supérieure à un nombre naturel N1 pour déterminer s'il y a une avance dans la marche du mécanisme considéré. Si tel est le cas, le circuit de commande attend la fin du délai T_{C2} et, de manière équivalente au procédé de régulation du deuxième mode de réalisation, détermine si le condensateur électrique C_{Acc} est plein (c'est-à-dire détecte si son niveau d'accumulation de charges électriques est supérieur à une certaine limite donnée). Si le condensateur électrique C_{Acc} est plein, il décharge la capacité d'alimentation C_{AL} d'une première charge électrique en fermant l'interrupteur Sw5 du circuit dissipatif comprenant une certaine résistance et prévu en parallèle de la pompe de charge pour un certain intervalle de temps Δt (Fig.

17). Dans le cas contraire, il effectue un transfert d'une première charge électrique de la capacité C_{AL} dans le condensateur électrique C_{Acc} dans une première zone temporelle ZT1. Un prélèvement d'une première charge électrique engendre une marche descendante PC_1 dans la tension d'alimentation $U_{AL}(t)$ et l'impulsion de courant induit suivante $P1^{PC}$, qui intervient dans une première demi-alternance, présente alors une amplitude supérieure à celle d'une impulsion $P1$ en l'absence de prélèvement antérieur d'une charge électrique (voir partie droite des Fig.20A à Fig.20C), de sorte que l'oscillateur mécanique subit alors un freinage supérieur dans la première demi-alternance considérée.

[0080] Si le compteur CB a une valeur égale ou inférieure au nombre naturel $N1$, alors le circuit logique attend qu'un deuxième délai T_{D2} , suivant directement le premier délai T_{C2} , arrive à sa fin (Fig.20C). Pour ce faire, dès la fin d'un premier intervalle de temps T_{C2} , le temporisateur commence à mesurer un deuxième intervalle de temps T_{D2} . Ce deuxième délai T_{D2} est choisi de sorte que sa fin intervienne dans une deuxième zone temporelle ZT2 située entre un premier lobe de tension LUC_1 et un deuxième lobe de tension LUC_2 . Parallèlement, le circuit logique détecte si la valeur du compteur bidirectionnel CB est inférieure à un nombre - $N2$, $N2$ étant un nombre naturel, pour déterminer s'il y a du retard dans la marche du mécanisme considéré. Si tel est le cas, le circuit de commande attend la fin du délai $T_{C2} + T_{D2}$ et détermine si le condensateur électrique C_{Acc} est plein. Selon que le condensateur est plein ou non, le circuit de commande opère alors de manière semblable à celle décrite ci-avant dans le cas de la détection d'une avance. Le prélèvement d'une deuxième charge électrique dans la capacité C_{AL} engendre une marche descendante PC_2 dans la tension d'alimentation $U_{AL}(t)$ et l'impulsion de courant induit suivante $P2^{PC}$, qui intervient dans une seconde demi-alternance, présente alors une amplitude supérieure à celle d'une impulsion $P2$ en l'absence de prélèvement antérieur d'une charge électrique (voir partie gauche des Fig.20A à Fig.20C), de sorte que l'oscillateur mécanique subit alors un freinage supérieur dans la seconde demi-alternance considérée.

[0081] En conclusion, comme dans le premier mode de réalisation, un retard ou une avance constaté(e) dans la marche du mécanisme considéré est corrigé(e) par le prélèvement temporellement sélectif d'une charge électrique dans la capacité C_{AL} formant l'unité d'accumulation primaire du dispositif de régulation.

[0082] Le procédé de régulation du troisième mode de réalisation comprend en outre un perfectionnement en lien avec le fait que l'unité d'accumulation secondaire alimente en continu ou par intermittence une charge auxiliaire en délivrant une tension d'alimentation auxiliaire V_{CA} à cette charge auxiliaire. En effet, la charge auxiliaire est de préférence associée à une fonction auxiliaire utile de la pièce d'horlogerie, de sorte qu'il est souhaitable de pouvoir assurer l'alimentation de cette charge auxiliaire. A cet effet, comme indiqué dans l'organigramme de la

Figure 19, si le compteur CB a une valeur égale ou supérieure au nombre - $N2$ et une valeur égale ou inférieure au nombre $N1$, alors le circuit de commande 62b détermine à l'aide de moyens appropriés si le condensateur est vide ou non. Par 'vide', on comprend que le niveau d'accumulation de charges électriques dans le condensateur C_{Acc} est en-dessous d'une limite inférieure donnée et donc à une situation ne permettant plus d'assurer une alimentation correcte de la fonction auxiliaire (diode lumineuse, circuit RFID, mesure de température, indication du Nord (fonction boussole), etc.). Une telle situation intervient donc dans le cas où aucune dérive temporelle, engendrant une correction de la fréquence instantanée de l'oscillateur mécanique selon l'invention, n'est détectée. Si cette situation intervient et que le condensateur électrique C_{Acc} est vide (en d'autres termes pas suffisamment rechargé), alors le circuit de commande effectue une opération de recharge du condensateur électrique en prélevant une première charge dans une première zone temporelle ZT1 et une deuxième charge électrique, sensiblement de même valeur que la première charge électrique, dans une deuxième zone temporelle ZT2. Ces deux événements engendrent des déphasages dans l'oscillation du résonateur mécanique qui se compensent, de sorte qu'une double charge électrique est transférée de l'unité d'accumulation primaire dans l'unité d'accumulation secondaire sans engendrer de dérive temporelle dans la marche de la pièce d'horlogerie. Une fois la séquence de régulation terminée, le circuit logique de commande attend la détection du flanc montant de l'impulsion $S2$ suivante pour effectuer la séquence de régulation suivante.

[0083] Comme déjà évoqué, le transfert d'une première charge électrique, respectivement d'une deuxième charge électrique peut être effectué par une pluralité de cycles de transfert de moindres charges électriques par la pompe de charge dans une même séquence de régulation, en particulier dans une même zone temporelle ZT1, respectivement ZT2. Dans une variante, le circuit logique de commande est agencé de manière à pouvoir effectuer, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond à au moins une certaine avance, une pluralité de prélèvements de charges électriques respectivement dans une pluralité de premières zones temporelles au cours d'une même séquence de régulation. De même, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond à au moins un certain retard, une pluralité de prélèvements de charges électriques respectivement dans une pluralité de deuxièmes zones temporelles sont réalisés.

[0084] Aux Figures 21 et 22 est montrée une variante avantageuse de réalisation d'un oscillateur mécanique 106 incorporé dans un mouvement selon l'invention. Le résonateur 106 est formé par un balancier 18c qui comprend deux plateaux en matériau ferromagnétique 112 et 114. Le plateau supérieur 112 porte du côté de sa face inférieure les deux aimants bipolaires 22 et 23. Ce plateau supérieur sert aussi à fermer supérieurement les lignes de champs des deux aimants. Le plateau inférieur

114 sert à fermer inférieurement les lignes de champs des deux aimants. Les deux plateaux du balancier forment ainsi axialement un blindage magnétique pour les deux aimants de manière à ce que leurs champs magnétiques respectifs restent substantiellement confiner dans un volume situé entre les surfaces externes respectives de ces deux plateaux. La bobine 28 est agencée partiellement entre les deux plateaux qui sont montés fixement sur une pièce cylindrique 116 en matériau non-magnétique, cette pièce étant montée fixement sur un arbre 118 du balancier. Dans une variante, la pièce 116 peut être réalisée en acier et ainsi conduire un champ magnétique, ce qui peut être un avantage dans une variante prévue avec un seul aimant bipolaire, ayant son axe magnétique orienté axialement, sur un des deux plateaux ou sur chacun des deux plateaux. Dans ce dernier cas, si la pièce de liaison cylindrique est non magnétique, alors au moins un plateau peut présenter une partie ferromagnétique qui s'approche de l'autre ou le touche pour fermer les lignes de champs de chaque aimant au travers des deux plateaux et ainsi permettre que la bobine ou les bobines soit / soient traversée(s) axialement par sensiblement l'entier du champ magnétique produit par chaque aimant lorsque le balancier oscille. On remarquera encore que les plateaux peuvent être réalisés seulement partiellement par un matériau à haute perméabilité magnétique qui forme deux parties situées respectivement au-dessus et au-dessous de l'aimant ou, le cas échéant, des aimants, ces deux parties étant agencées de manière à laisser passer la bobine ou, le cas échéant, les bobines du système de régulation entre elles lorsque le balancier oscille.

[0085] Le résonateur 106 comprend encore un ressort-spiral 110 dont une extrémité est fixée de manière classique à l'arbre 118. On notera que le ressort-spiral est de préférence réalisé en matériau non magnétique, par exemple en silicium, ou en matériau paramagnétique. A la Figure 22 est également représenté un mécanisme d'échappement formé d'une goupille agencée sur un petit plateau solidaire de l'arbre du balancier, d'une ancre 120 et d'une roue d'échappement 122 (montrée partiellement). Sous le plateau supérieur, à l'opposé des aimants 22 et 23, est prévu une masse 124 d'équilibrage du balancier. D'autres moyens pour effectuer un réglage fin de l'inertie et un équilibrage du balancier peuvent également être prévus. On notera que dans une variante, des aimants sont également portés par le plateau inférieur. De tels aimants sont de préférence agencés en face des aimants portés par le plateau supérieur.

[0086] Ainsi, dans le cadre de la variante avantageuse décrite ci-avant, le balancier comprend généralement une structure magnétique qui est agencée de manière à définir un blindage magnétique pour l'aimant ou les aimants porté(s) par le balancier tout en favorisant le couplage magnétique de cet aimant ou de ces aimants avec la bobine ou les bobines prévue(s).

Revendications

1. Pièce d'horlogerie (2), comprenant :

- un mécanisme,
- un résonateur mécanique (6; 6a; 6b) susceptible d'osciller autour d'une position neutre correspondant à son état d'énergie potentielle mécanique minimale, chaque oscillation du résonateur mécanique définissant une période d'oscillation et présentant deux alternances successives chacune entre deux positions extrêmes qui définissent l'amplitude d'oscillation du résonateur mécanique, chaque alternance présentant un passage du résonateur mécanique par sa position neutre à un instant médian (TNi, i=1,2,3...) et étant constituée d'une première demi-alternance (DA1) entre un instant initial de cette alternance et son instant médian et d'une seconde demi-alternance (DA2) entre cet instant médian et un instant final de cette alternance,
- un dispositif d'entretien (14) du résonateur mécanique formant avec ce résonateur mécanique un oscillateur mécanique qui définit la cadence de la marche dudit mécanisme,
- un transducteur électromécanique agencé pour pouvoir convertir de la puissance mécanique de l'oscillateur mécanique en puissance électrique lorsque le résonateur mécanique oscille avec une amplitude comprise dans une plage de fonctionnement utile, ce transducteur électromagnétique étant formé par un ensemble électromagnétique (27; 29; 86) comprenant au moins une bobine (28), montée sur un élément parmi l'ensemble mécanique constitué du résonateur mécanique et de son support, et au moins un aimant (22; 90) monté sur l'autre élément de cet ensemble mécanique, l'ensemble électromagnétique étant agencé de manière à pouvoir fournir un signal de tension induite $U_i(t)$ entre les deux bornes de sortie (E1, E2) du transducteur électromécanique au moins lorsque le résonateur mécanique oscille avec une amplitude comprise dans la plage de fonctionnement utile,
- un convertisseur électrique (56; 57; 76) relié aux deux bornes de sortie du transducteur électromécanique de manière à pouvoir recevoir de ce transducteur électromécanique un courant électrique induit (I_{REC}), ce convertisseur électrique comprenant une unité d'accumulation primaire (C_{AL} ; C1, C2) agencée pour accumuler de l'énergie électrique fournie par le transducteur électromécanique, ce transducteur électromécanique et le convertisseur électrique formant ensemble un dispositif de freinage du résonateur mécanique,
- un dispositif de régulation (52; 53; 72) de la

fréquence de l'oscillateur mécanique, ce dispositif de régulation comprenant un oscillateur auxiliaire (58) et un dispositif de mesure (64, 66, CB) agencé pour pouvoir détecter une dérive temporelle éventuelle de l'oscillateur mécanique relativement à l'oscillateur auxiliaire, le dispositif de régulation étant agencé pour pouvoir déterminer si la dérive temporelle mesurée correspond à au moins une certaine avance ;

la pièce d'horlogerie étant **caractérisée en ce que** le dispositif de régulation (52; 53; 72) est agencé pour pouvoir également déterminer si la dérive temporelle mesurée correspond à au moins un certain retard ; **en ce que** le dispositif de freinage est agencé de manière que, dans chaque période d'oscillation du résonateur mécanique lorsque l'amplitude d'oscillation de celui-ci est dans ladite plage de fonctionnement utile, le signal de tension induite présente au moins un premier lobe de tension (LU_1 , LUC_1) intervenant au moins en majeure partie dans une première demi-alternance (DA_1) et susceptible d'engendrer dans cette première demi-alternance une première impulsion de courant induit (P_1 ; I_{n_1} , $n=1,2,3$) pour recharger l'unité d'accumulation primaire après un certain prélèvement d'une charge électrique de celle-ci et au moins un deuxième lobe de tension (LU_2 , LUC_2) intervenant au moins en majeure partie dans une seconde demi-alternance (DA_2) et susceptible d'engendrer dans cette seconde demi-alternance une deuxième impulsion de courant induit (P_2 ; I_{n_2} , $n=1,2,3$) pour recharger l'unité d'accumulation primaire après un certain prélèvement d'une charge électrique de celle-ci, le signal de tension induite présentant ainsi une pluralité de tels premiers lobes de tension et une pluralité de tels deuxièmes lobes de tension ; **en ce que** le dispositif de régulation comprend un dispositif de pompe de charge (60; 61; 60b) agencé pour pouvoir transférer sur commande une certaine charge électrique de l'unité d'accumulation primaire (C_{AL} ; C_1, C_2) dans une unité d'accumulation secondaire (C_{AUX} ; C_{ACC}) ; et **en ce que** le dispositif de régulation comprend en outre un circuit logique de commande (62; 62a; 62b) qui reçoit en entrée un signal de mesure fourni par le dispositif de mesure et qui est agencé pour pouvoir activer le dispositif de pompe de charge de sorte qu'il effectue, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond à ladite au moins une certaine avance, un transfert d'une première charge électrique de l'unité d'accumulation primaire dans l'unité d'accumulation secondaire de manière qu'une recharge de l'unité d'accumulation primaire, suite à ce transfert de la première charge électrique, soit générée en majeure partie par au moins un premier lobe de tension parmi ladite pluralité de premiers lobes de tension, le circuit logique de commande étant en outre agencé pour pouvoir activer le dispositif de pompe de charge de

sorte qu'il effectue, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond audit au moins un certain retard, un transfert d'une deuxième charge électrique de l'unité d'accumulation primaire dans l'unité d'accumulation secondaire de manière qu'une recharge de l'unité d'accumulation primaire, suite à ce transfert de la deuxième charge électrique, soit générée en majeure partie par au moins un deuxième lobe de tension parmi ladite pluralité de deuxièmes lobes de tension.

2. Pièce d'horlogerie selon la revendication 1, **caractérisée en ce qu'elle** comprend une charge principale (54; 55; 74) connectée ou susceptible d'être régulièrement connectée au convertisseur électrique pour être alimentée par l'unité d'accumulation primaire, la charge principale comprenant le dispositif de régulation.
3. Pièce d'horlogerie selon la revendication 2, **caractérisée en ce qu'elle** comprend une charge auxiliaire connectée ou susceptible d'être connectée par intermittence à l'unité d'accumulation secondaire de manière à pouvoir être alimentée par cette unité d'accumulation secondaire.
4. Pièce d'horlogerie selon la revendication 3, **caractérisée en ce que** le dispositif de pompe de charge (60b) est agencé de manière à former un élévateur de tension qui est agencé pour qu'une tension d'alimentation auxiliaire aux bornes de l'unité d'accumulation secondaire (C_{ACC}) soit supérieure à une tension d'alimentation principale aux bornes de l'unité d'accumulation primaire.
5. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications 2 à 4, **caractérisée en ce que** l'unité d'accumulation primaire est formée par une capacité d'alimentation (C_{AL}) susceptible d'être rechargée par chaque premier lobe de tension de ladite pluralité de premiers lobes de tension et de ladite pluralité de deuxièmes lobes de tension après un prélèvement d'une charge électrique dans cette capacité d'alimentation ; **en ce que** chaque premier lobe de tension présente, en valeur absolue, une première valeur maximale (UM_1) à un premier instant (t_1) de la première demi-alternance correspondante et chaque deuxième lobe de tension présente, en valeur absolue, une deuxième valeur maximale (UM_2) à un deuxième instant (t_2) de la seconde demi-alternance correspondante, les premiers et deuxièmes lobes de tension définissant, d'une part, des premières zones temporelles (ZT1) situées chacune avant ledit premier instant d'un premier lobe de tension différent et après le deuxième instant du deuxième lobe de tension précédant ce premier lobe de tension et, d'autre part, des deuxièmes zones temporelles (ZT2) situées chacune avant ledit deuxième instant d'un

deuxième lobe de tension différent et après le premier instant du premier lobe tension précédant ce deuxième lobe de tension ; et **en ce que** ledit transfert d'une première charge électrique comprend un prélèvement de cette première charge électrique de la capacité d'alimentation dans une première zone temporelle parmi lesdites premières zones temporelles (ZT1) et ledit transfert d'une deuxième charge électrique comprend un prélèvement d'une deuxième charge électrique de la capacité d'alimentation dans une deuxième zone temporelle parmi lesdites deuxièmes zones temporelles (ZT2).

6. Pièce d'horlogerie selon la revendication 5, **caractérisée en ce que** le dispositif de régulation (52; 72) comprend en outre un temporisateur associé au circuit logique de commande (62; 62b) pour permettre à ce dernier d'activer, le cas échéant, la pompe de charge (60; 60b) après un premier délai donné (T_{C1} ; T_{C2}) depuis la détection d'un premier lobe de tension ou d'un deuxième lobe de tension ou après un deuxième délai donné (T_{D1} ; $T_{C2} + T_{D2}$) depuis la détection d'un premier lobe de tension ou d'un deuxième lobe de tension.

7. Pièce d'horlogerie selon la revendication 5 ou 6, **caractérisée en ce que** le dispositif de pompe de charge est constitué d'une pompe de charge (60; 60b), cette pompe de charge et le circuit logique de commande étant agencés de manière que le prélèvement de ladite première charge électrique et le prélèvement de ladite deuxième charge électrique sont chacun effectués en plusieurs cycles de transfert d'une moindre charge électrique entre la capacité d'alimentation (C_{AL}) et l'unité d'accumulation secondaire (C_{Aux} ; C_{Acc}) par la pompe de charge.

8. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications 5 à 7, **caractérisée en ce que** le circuit logique de commande (60; 60b) est agencé de manière à pouvoir effectuer, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond à ladite au moins une certaine avance ou à au moins une avance donnée supérieure à cette dernière, une pluralité de transferts de premières charges électriques respectivement au cours d'une pluralité de premières zones temporelles et de manière à pouvoir effectuer, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond audit au moins un certain retard ou à au moins un retard supérieur à ce dernier, une pluralité de prélèvements de deuxièmes charges électriques respectivement au cours d'une pluralité de deuxièmes zones temporelles.

9. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications 5 à 8, **caractérisée en ce que** l'ensemble électromagnétique (26) comprend un aimant bipolaire (22), monté sur un balancier (18) du résonateur

mécanique (6) et ayant un axe d'aimantation dans un plan géométrique comprenant l'axe de rotation du balancier, et une bobine (28) qui est solidaire du support du résonateur mécanique et agencée de manière à être traversée par le flux magnétique de l'aimant bipolaire, un demi-axe médian (24) partant de l'axe de rotation (20) du balancier et passant par ledit axe d'aimantation axial définissant un demi-axe de référence (48) lorsque le résonateur est au repos et ainsi dans sa position neutre ; et **en ce que** ladite bobine présente en son centre un décalage angulaire (θ) relativement au demi-axe de référence et ledit aimant bipolaire est agencé sur le balancier de sorte que le seul couplage entre cet aimant bipolaire et la bobine puisse engendrer dans chaque période d'oscillation du résonateur mécanique, dans ladite plage de fonctionnement utile, deux lobes de tension (LU_1 , LU_2) de même polarité qui forment respectivement un desdits premiers lobes de tension et un desdits deuxièmes lobes de tension.

10. Pièce d'horlogerie selon la revendication 9, **caractérisée en ce que** ledit décalage angulaire est compris entre 30° et 120° en valeur absolue.

11. Pièce d'horlogerie selon la revendication 9 ou 10, **caractérisée en ce que** le dispositif de régulation comprend un dispositif de détection (64), agencé pour pouvoir détecter alternativement l'apparition successive de dits premiers lobes de tension (LU_1) et de dits deuxièmes lobes de tension (LU_2), et un compteur temporel (CT) associé au circuit logique de commande (62) pour permettre à ce dernier de distinguer un premier intervalle de temps, séparant un premier lobe de tension d'un deuxième lobe de tension qui suit, et un deuxième intervalle de temps séparant un deuxième lobe de tension d'un premier lobe de tension qui suit, les premier et deuxième intervalles de temps étant différents du fait de l'agencement dudit ensemble électromagnétique.

12. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications 5 à 8, **caractérisée en ce que** l'unité d'accumulation primaire comprend une première capacité d'alimentation (C2) et une deuxième capacité d'alimentation (C1), agencées toutes deux pour pouvoir alimenter ladite charge principale ; **en ce que** le transducteur électromagnétique (6a, 29) est agencé de manière que la pluralité de premiers lobes de tension (LUC_1) présentent chacun une première polarité et la pluralité de deuxièmes lobes de tension (LUC_2) présentent chacun une deuxième polarité opposée à la première polarité ; **en ce que** le convertisseur électrique (57) est formé par un premier circuit d'accumulation d'énergie électrique (D2, C2) qui comprend la première capacité d'alimentation et qui est agencé pour pouvoir recharger cette première capacité d'alimentation seulement avec une ten-

- sion ayant la première polarité en entrée du convertisseur électrique et par un deuxième circuit d'accumulation d'énergie électrique (D1, C1) qui comprend la deuxième capacité d'alimentation et qui est agencé pour pouvoir recharger cette deuxième capacité d'alimentation seulement avec une tension ayant la deuxième polarité en entrée du convertisseur électrique, la quantité d'énergie électrique fournie lors d'une recharge par le dispositif de freinage à la première capacité d'alimentation, respectivement à la deuxième capacité d'alimentation étant d'autant plus grande que le niveau de tension de cette première capacité d'alimentation, respectivement de cette deuxième capacité d'alimentation est bas ; et **en ce que** le dispositif de régulation est agencé de manière que ledit transfert de ladite première charge électrique consiste en un transfert de cette première charge électrique de la première capacité d'alimentation dans l'unité d'accumulation secondaire et ledit transfert de ladite deuxième charge électrique consiste en un transfert de cette deuxième charge électrique de la deuxième capacité d'alimentation dans l'unité d'accumulation secondaire.
13. Pièce d'horlogerie selon la revendication 12, **caractérisée en ce que** les première et deuxième capacités d'alimentation (C2, C1) ont sensiblement une même valeur de capacité et sont agencées pour alimenter conjointement ladite charge principale.
14. Pièce d'horlogerie selon la revendication 12 ou 13, **caractérisée en ce que** les première et deuxième capacités d'alimentation sont agencées de manière à délivrer une tension d'alimentation correspondant à l'addition des tensions respectives (V_{C1} , $-V_{C2}$) de ces première et deuxième capacités d'alimentation.
15. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications 5 à 8 et 12 à 14, **caractérisée en ce que** l'ensemble électromagnétique (86) comprend une paire d'aimants bipolaires (22,23; 82) montés sur un balancier (18a; 18b) du résonateur mécanique (6a; 6b)) et ayant deux axes d'aimantation respectifs qui sont parallèles à un plan géométrique comprenant l'axe de rotation (20) du balancier avec des polarités respectives opposées, et une bobine (28) qui est solidaire du support du résonateur mécanique, les deux aimants bipolaires (22,23 ; 90,91) de ladite paire étant agencés sur le balancier de manière que leurs flux magnétiques respectifs traversent la bobine avec un décalage temporel mais avec en partie une simultanéité du flux magnétique entrant et du flux magnétique sortant de sorte qu'une impulsion de tension induite générée entre les deux extrémités (E1, E2) de la bobine au passage de la paire d'aimants en regard de cette bobine présente un lobe central (LUC_1 , LUC_2) ayant une amplitude maximale résultant d'un couplage simultané des deux aimants de la paire d'aimants avec la bobine ; **en ce qu'un** demi-axe médian (26; 24a) partant de l'axe de rotation du balancier et passant par le milieu de la paire d'aimants bipolaires définit un demi-axe de référence (48; 48a) lorsque le résonateur est au repos et ainsi dans sa position neutre, la bobine présentant en son centre un décalage angulaire (θ) relativement au demi-axe de référence de sorte à engendrer dans chaque période d'oscillation du résonateur mécanique, dans ladite plage de fonctionnement utile, deux lobes de tension centraux (LUC_1 , LUC_2) ayant des polarités opposées et formant respectivement ledit premier lobe de tension et ledit deuxième lobe de tension.
16. Pièce d'horlogerie selon la revendication 15, **caractérisée en ce que** ledit décalage angulaire est compris entre 30° et 120° en valeur absolue.
17. Pièce d'horlogerie selon la revendication 15 ou 16, **caractérisée en ce que** le dispositif de régulation (53; 72) comprend au moins un dispositif de détection (64), agencé pour pouvoir détecter l'apparition successive de premiers lobes de tension (LUC_1) et/ou de deuxièmes lobes de tension (LUC_2).
18. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le dispositif de régulation (53; 72) comprend au moins un circuit dissipatif pour dissiper de l'énergie électrique accumulée dans l'unité d'accumulation primaire, au moins un interrupteur (Sw3, Sw4; Sw5) associé au circuit dissipatif pour pouvoir connecter momentanément ce circuit dissipatif à l'unité d'accumulation primaire et un circuit de mesure agencé pour détecter si la tension aux bornes de l'unité d'accumulation secondaire est supérieure à une première limite de tension ou si le niveau de remplissage de l'unité d'accumulation secondaire est supérieure à une première limite de remplissage; et **en ce que** le circuit logique de commande est en outre agencé de manière à pouvoir, lorsque la tension aux bornes de l'unité d'accumulation secondaire est supérieure ou égale à la première limite de tension ou de remplissage, connecter momentanément ledit au moins un circuit dissipatif à l'unité d'accumulation primaire de sorte à effectuer, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond à ladite au moins une certaine avance, une première décharge dissipative de l'unité d'accumulation primaire de manière qu'une recharge de celle-ci, suite à cette première décharge, soit générée en majeure partie par au moins un premier lobe de tension parmi ladite pluralité de premiers lobes de tension, et de sorte à effectuer, lorsque la dérive temporelle mesurée correspond audit au moins un certain retard, une deuxième décharge de l'unité d'accumulation primaire de manière qu'une recharge de celle-ci, suite à cette deuxième décharge, soit

générée en majeure partie par au moins un deuxième lobe de tension parmi ladite pluralité de deuxièmes lobes de tension.

19. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'elle** comprend un circuit de mesure agencé pour détecter si la tension aux bornes de l'unité d'accumulation secondaire est inférieure à une deuxième limite de tension ou si le niveau de remplissage de l'unité d'accumulation secondaire est inférieur à une deuxième limite de remplissage ; et **en ce que** le circuit logique de commande est agencé de manière à pouvoir, lorsque la tension aux bornes de l'unité d'accumulation secondaire est inférieure à la deuxième limite de tension ou de remplissage et lorsque la dérive temporelle mesurée est comprise entre ledit au moins un certain retard et ladite au moins une certaine avance, activer le dispositif de pompe de charge de sorte qu'il effectue un transfert d'une troisième charge électrique de l'unité d'accumulation primaire dans l'unité d'accumulation secondaire, de manière qu'une recharge de l'unité d'accumulation primaire suite à ce transfert d'une troisième charge électrique soit générée en majeure partie par au moins un premier lobe de tension parmi ladite pluralité de premiers lobes de tension, et un transfert d'une quatrième charge électrique de l'unité d'accumulation primaire dans l'unité d'accumulation secondaire, de manière qu'une recharge de l'unité d'accumulation primaire suite à ce transfert d'une quatrième charge électrique soit générée en majeure partie par au moins un deuxième lobe de tension parmi ladite pluralité de deuxième lobes de tension, la quatrième charge électrique étant sensiblement égale à la troisième charge électrique.

5
10
15
20
25
30
35
20. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'unité d'accumulation secondaire est formée par une super capacité ou un condensateur électrique.

40
21. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le résonateur mécanique comprend un balancier-spiral ; et **en ce que** ledit dispositif d'entretien comprend un échappement (14) relié cinématiquement à un barillet (12) muni d'un ressort-moteur, l'échappement étant capable de fournir au balancier-spiral un couple mécanique d'entretien de ses oscillations.

45
50
22. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** ledit ensemble électromagnétique (26; 86) forme également partiellement le dispositif de mesure.

55

Fig. 1

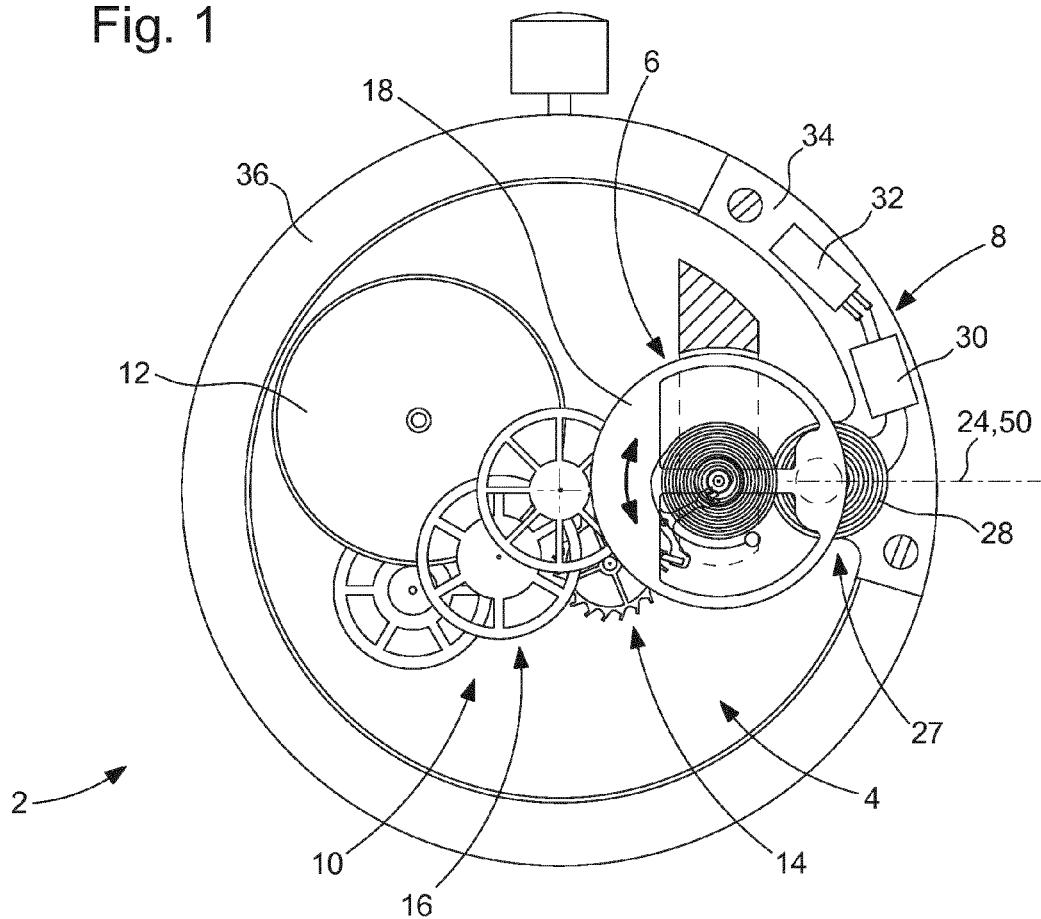


Fig. 2

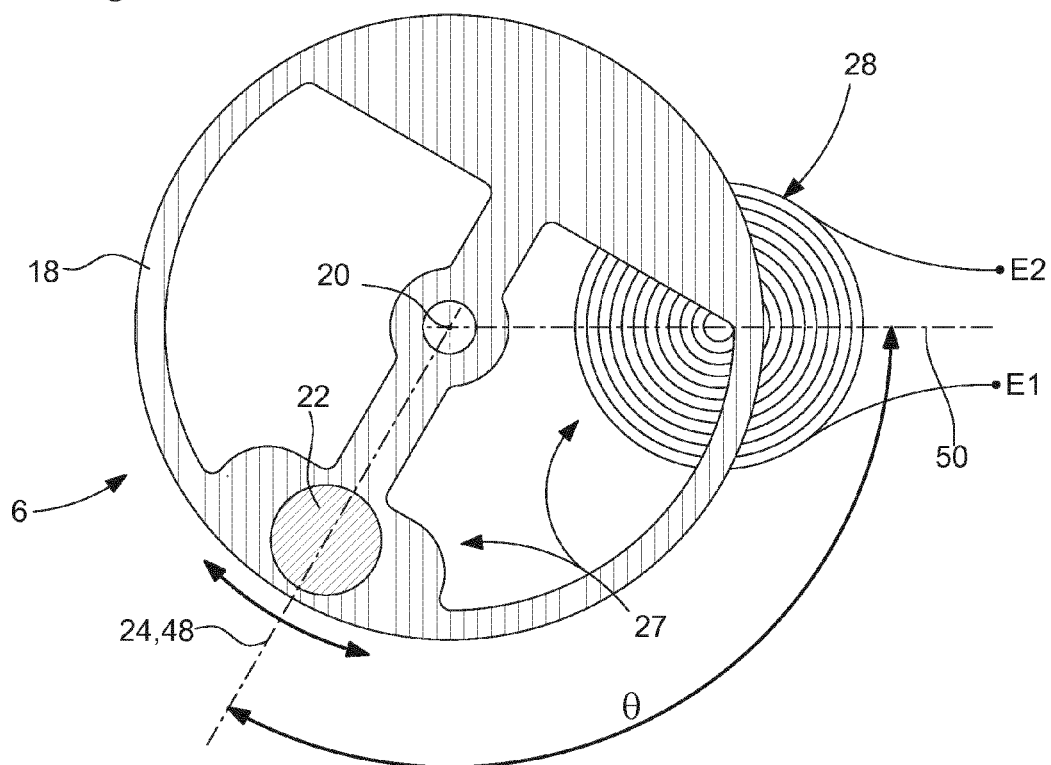
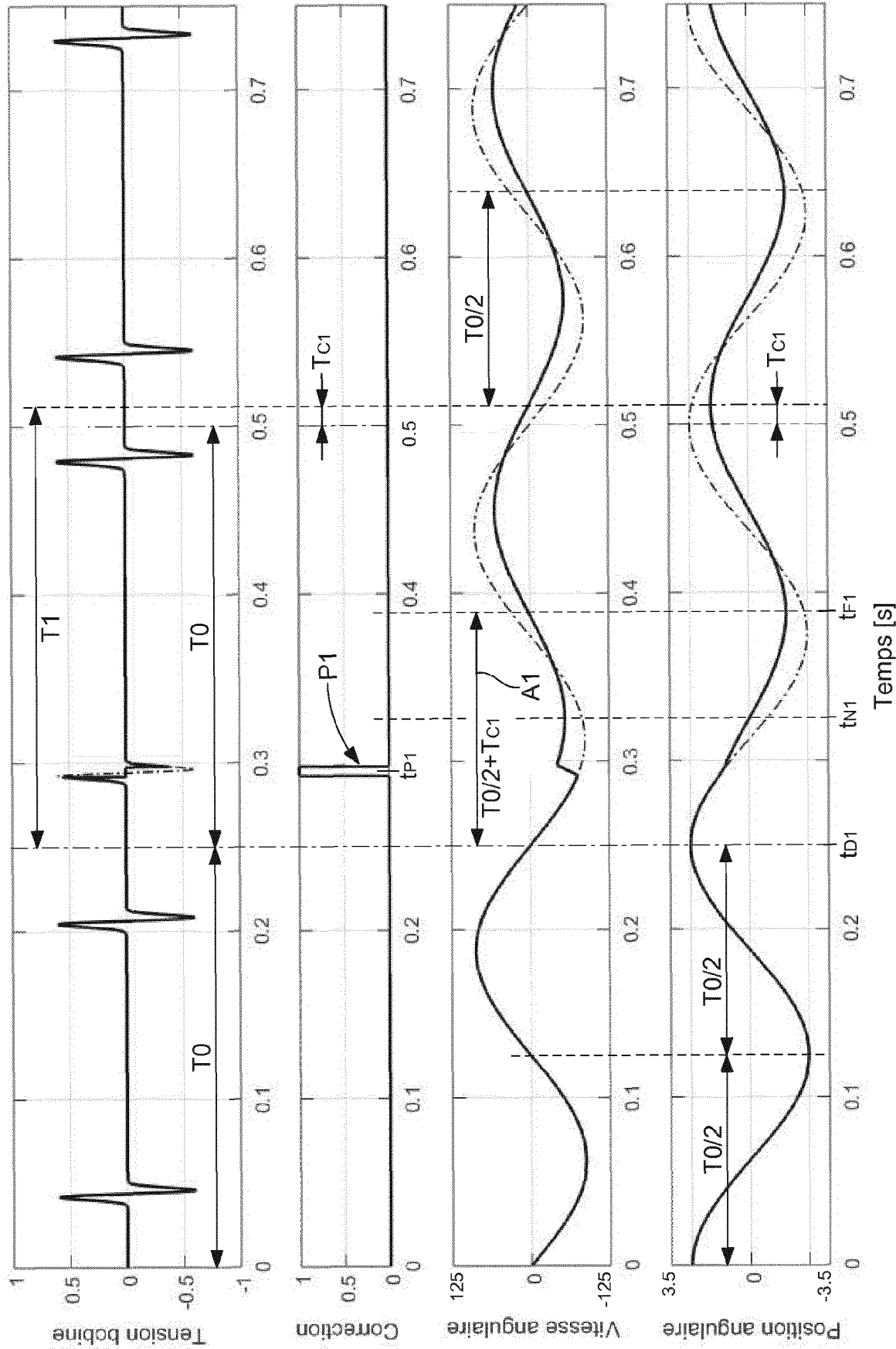


Fig. 3



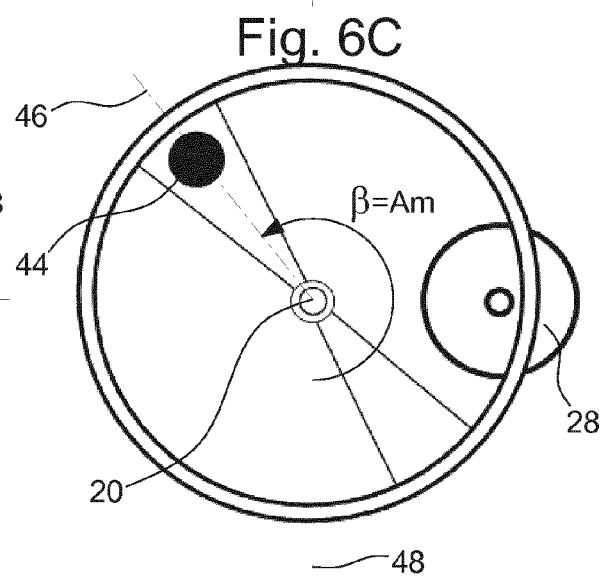
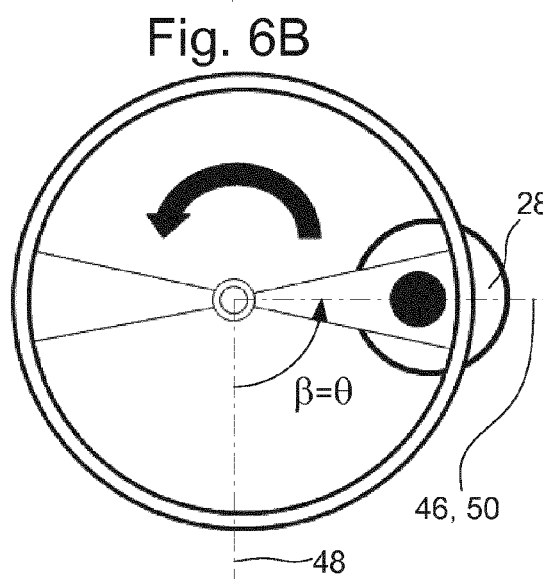
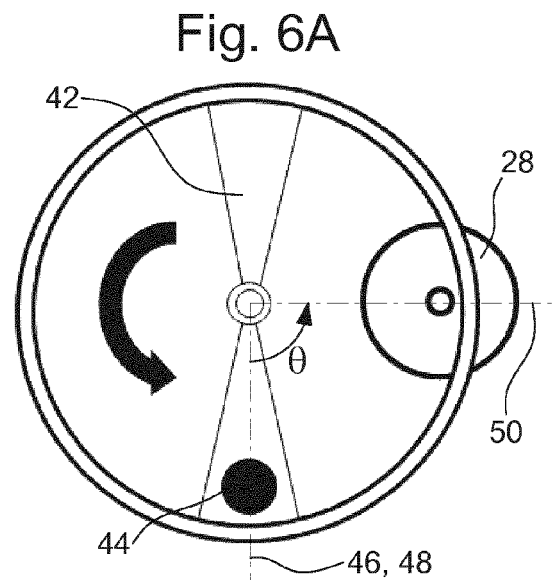
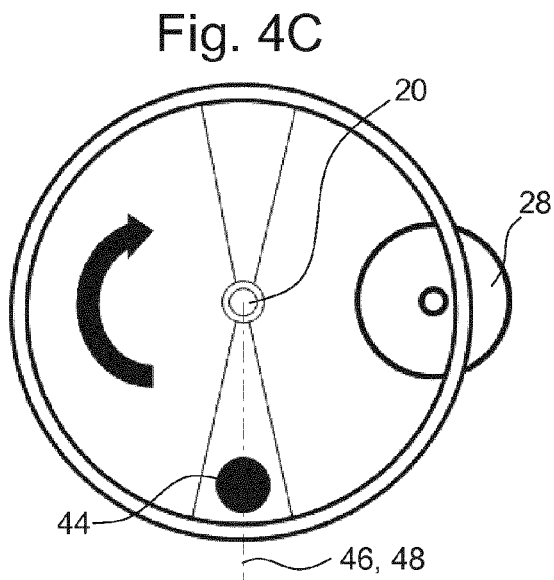
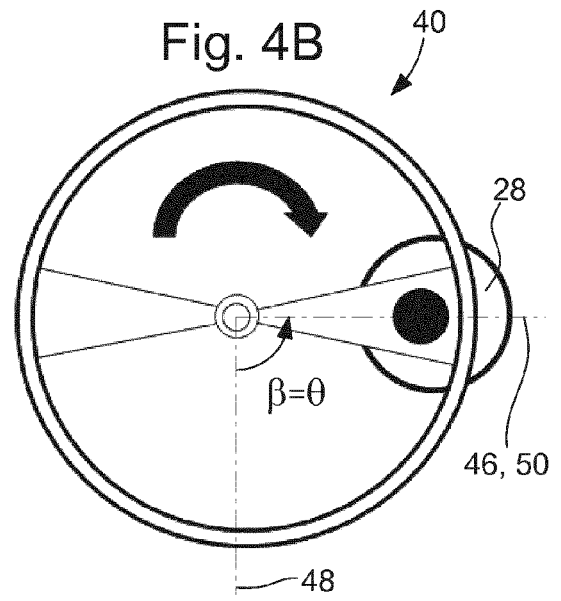
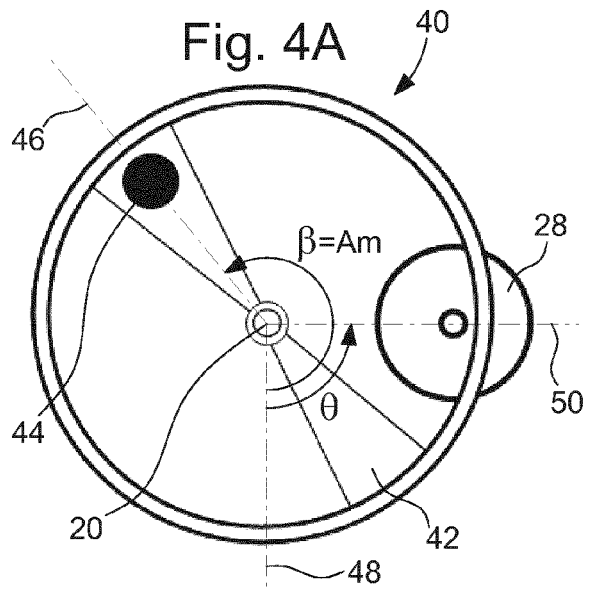


Fig. 5

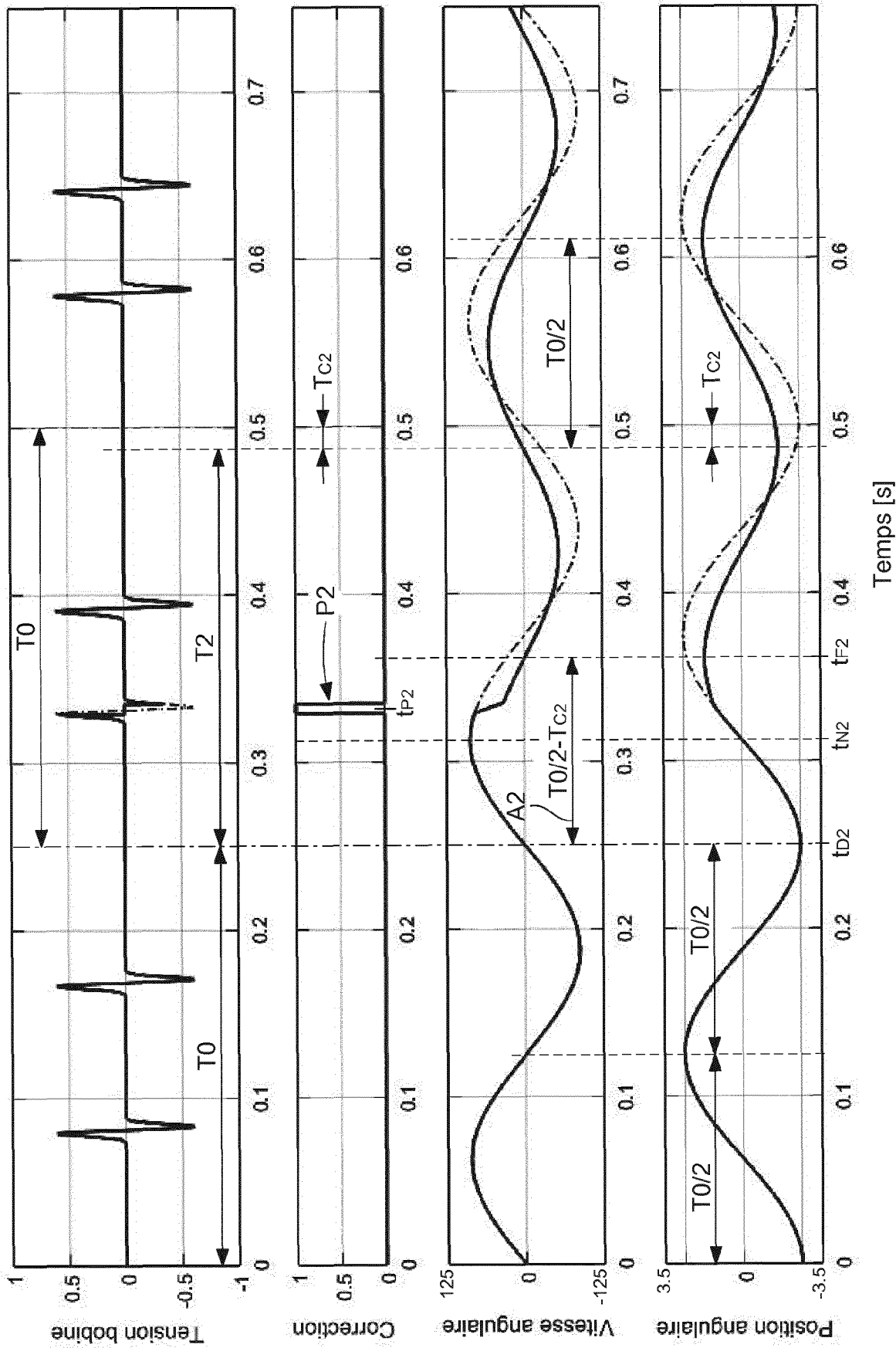


Fig. 7

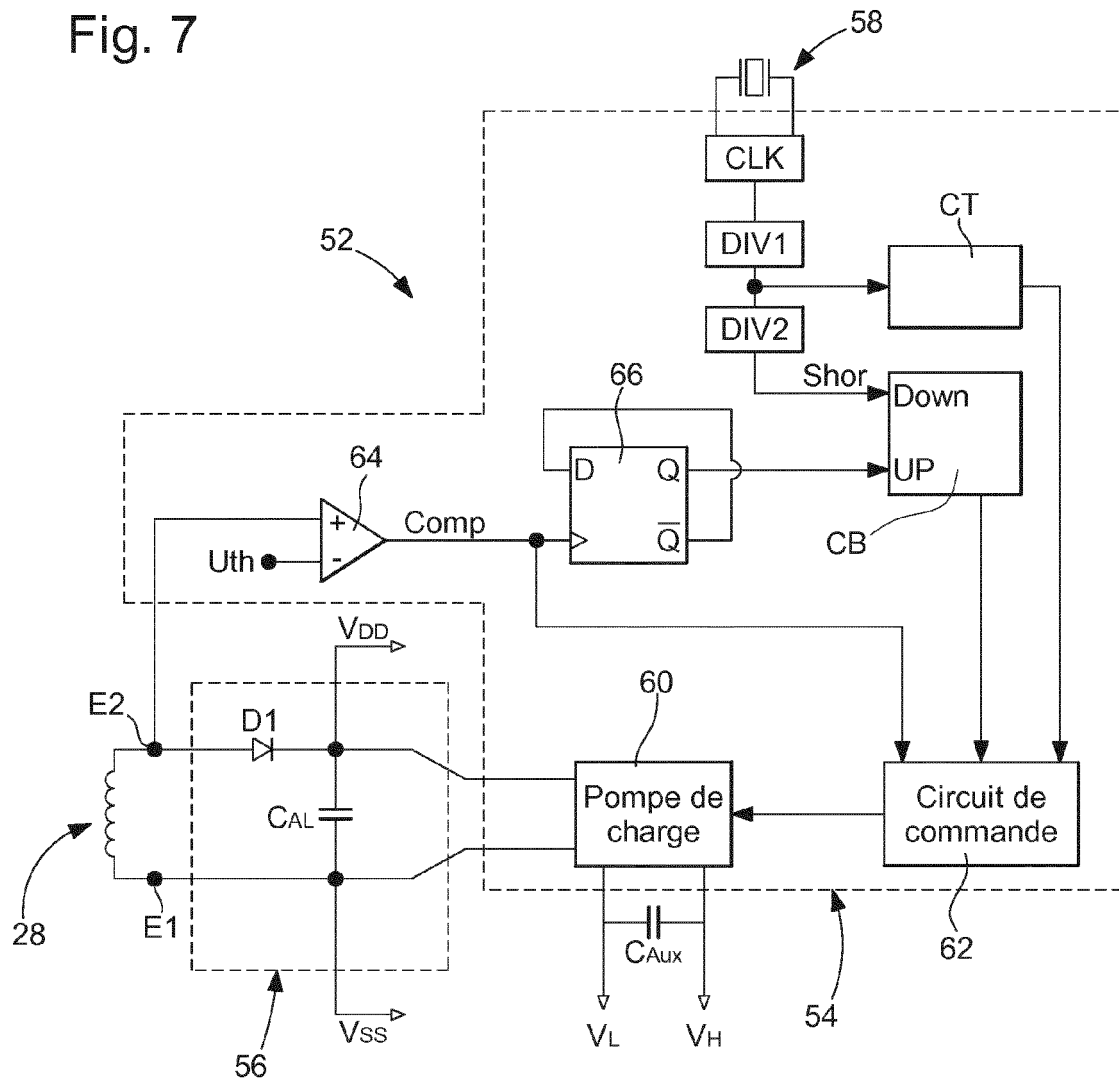


Fig. 8

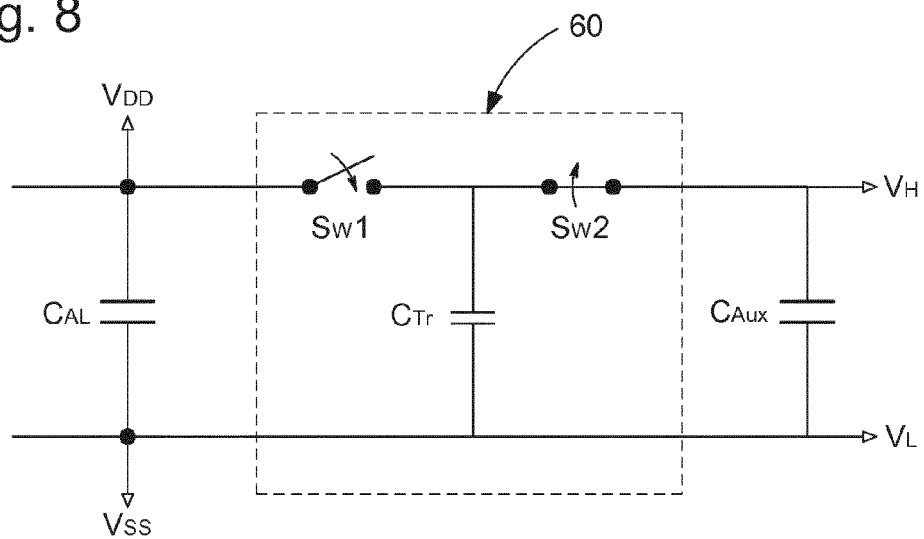


Fig. 9

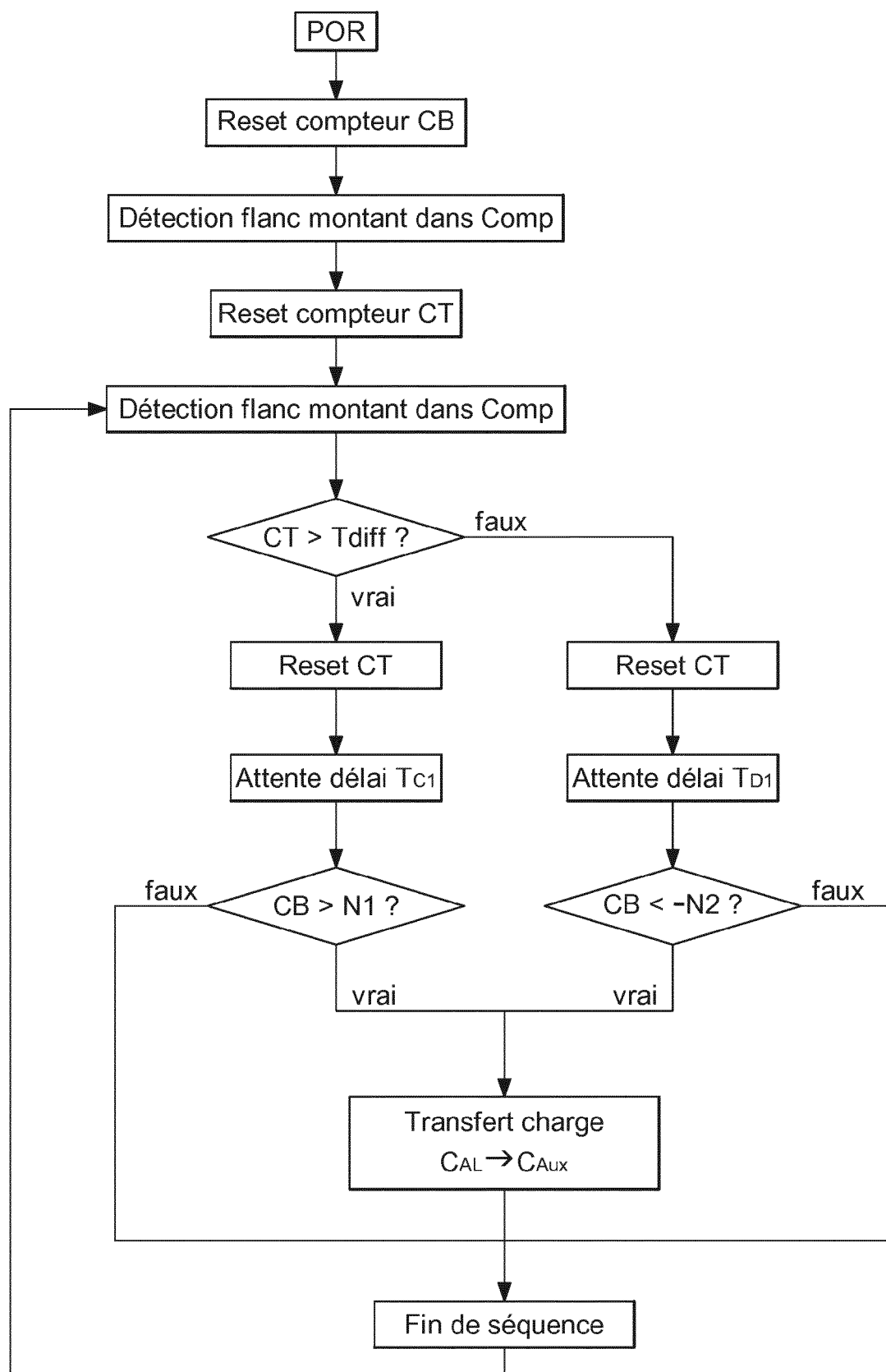


Fig. 10A

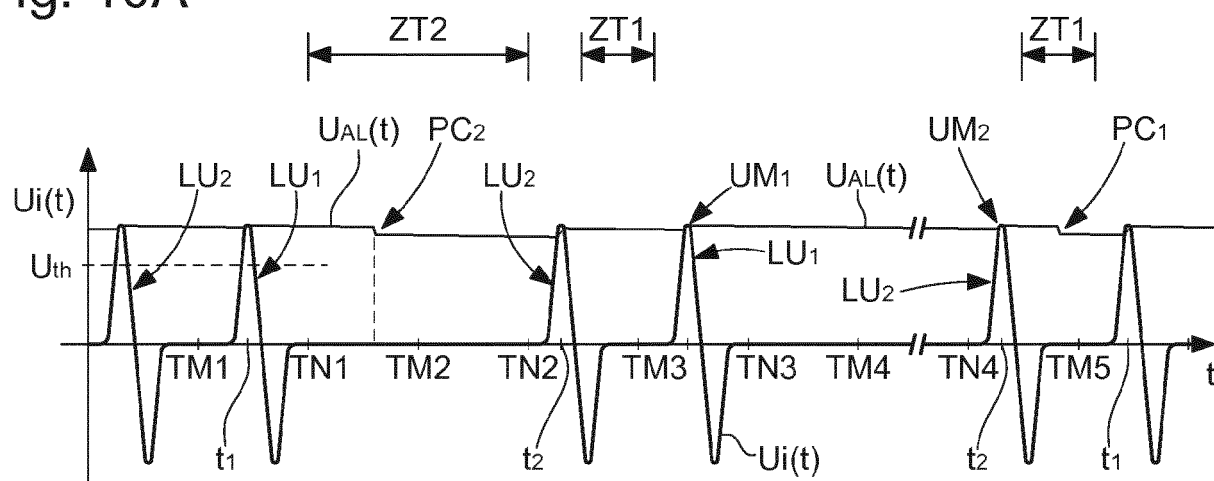


Fig. 10B

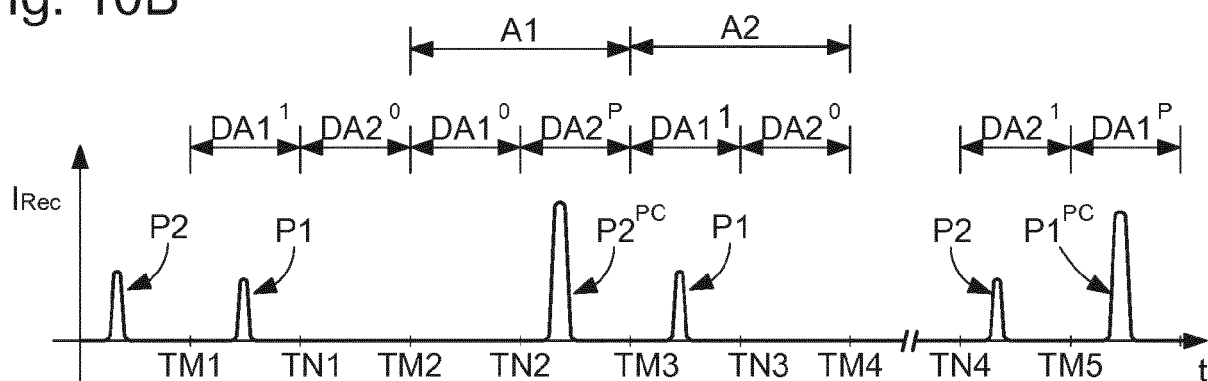


Fig. 10C

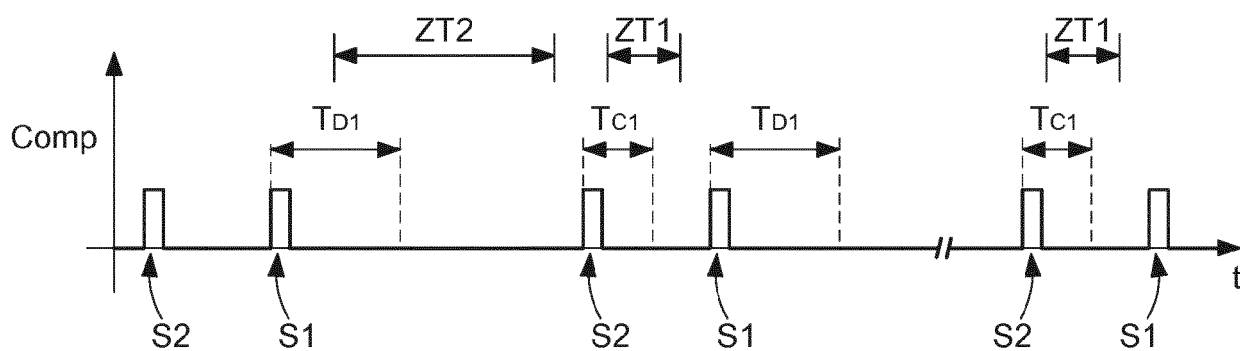


Fig. 11

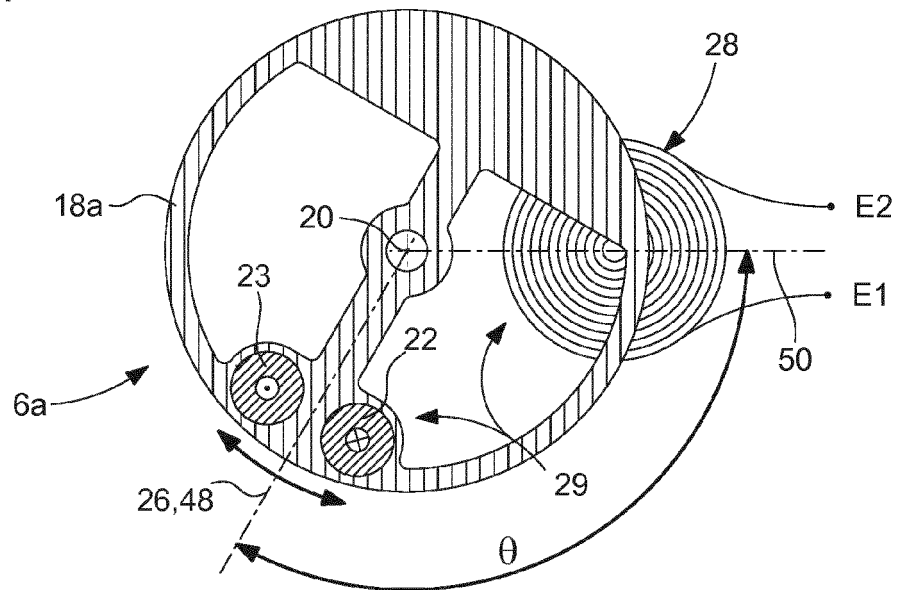


Fig. 12

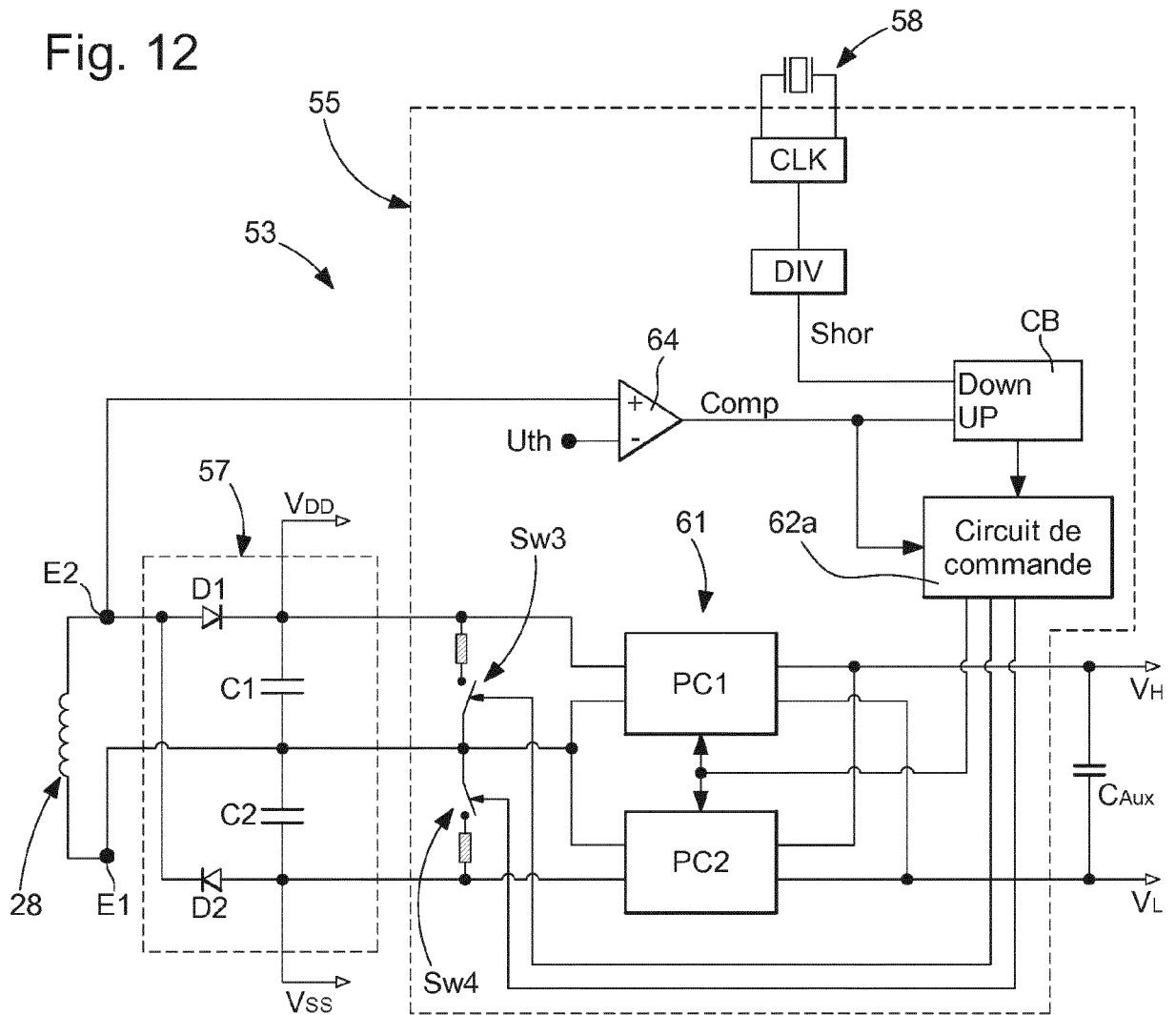


Fig. 13

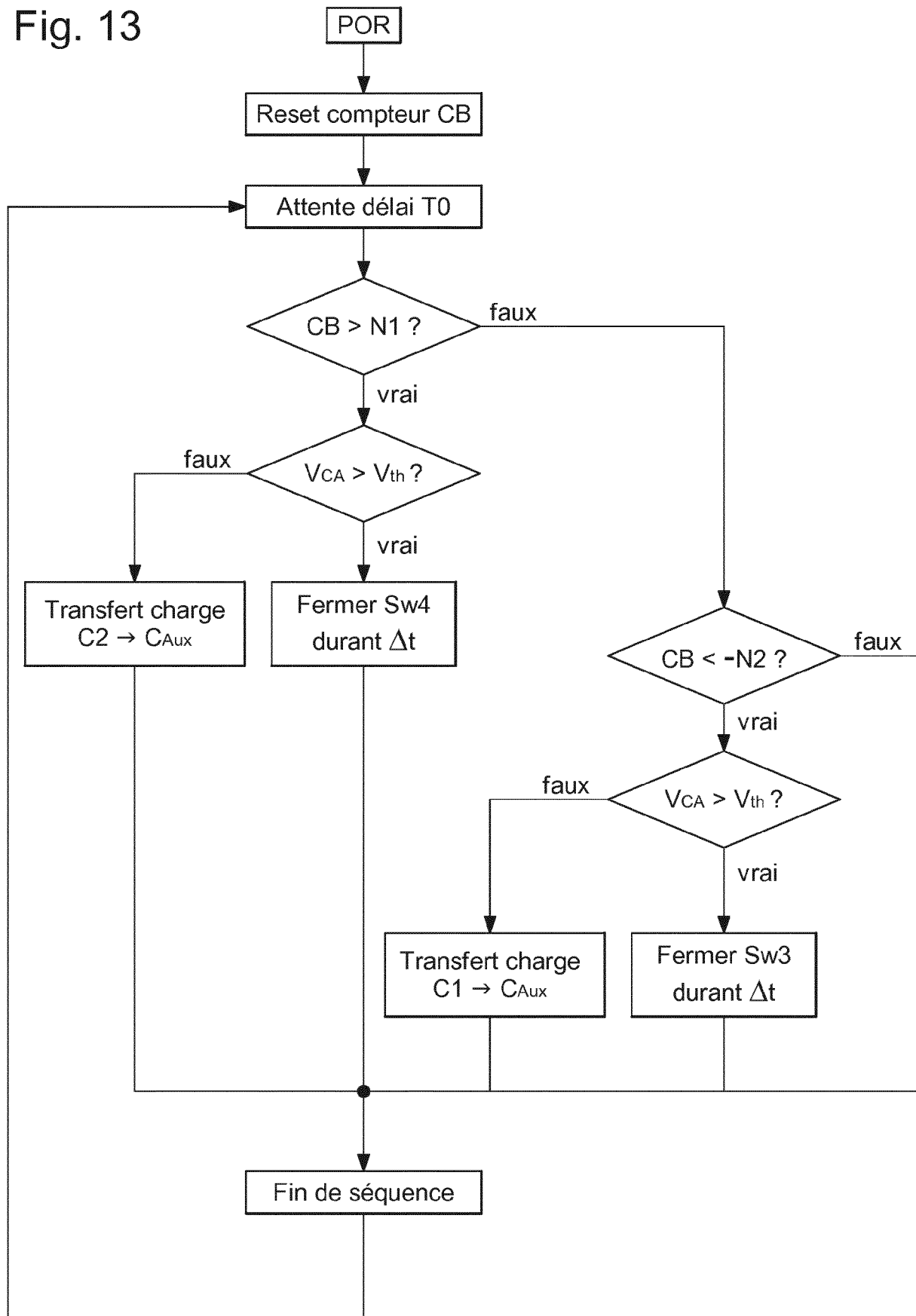


Fig. 14

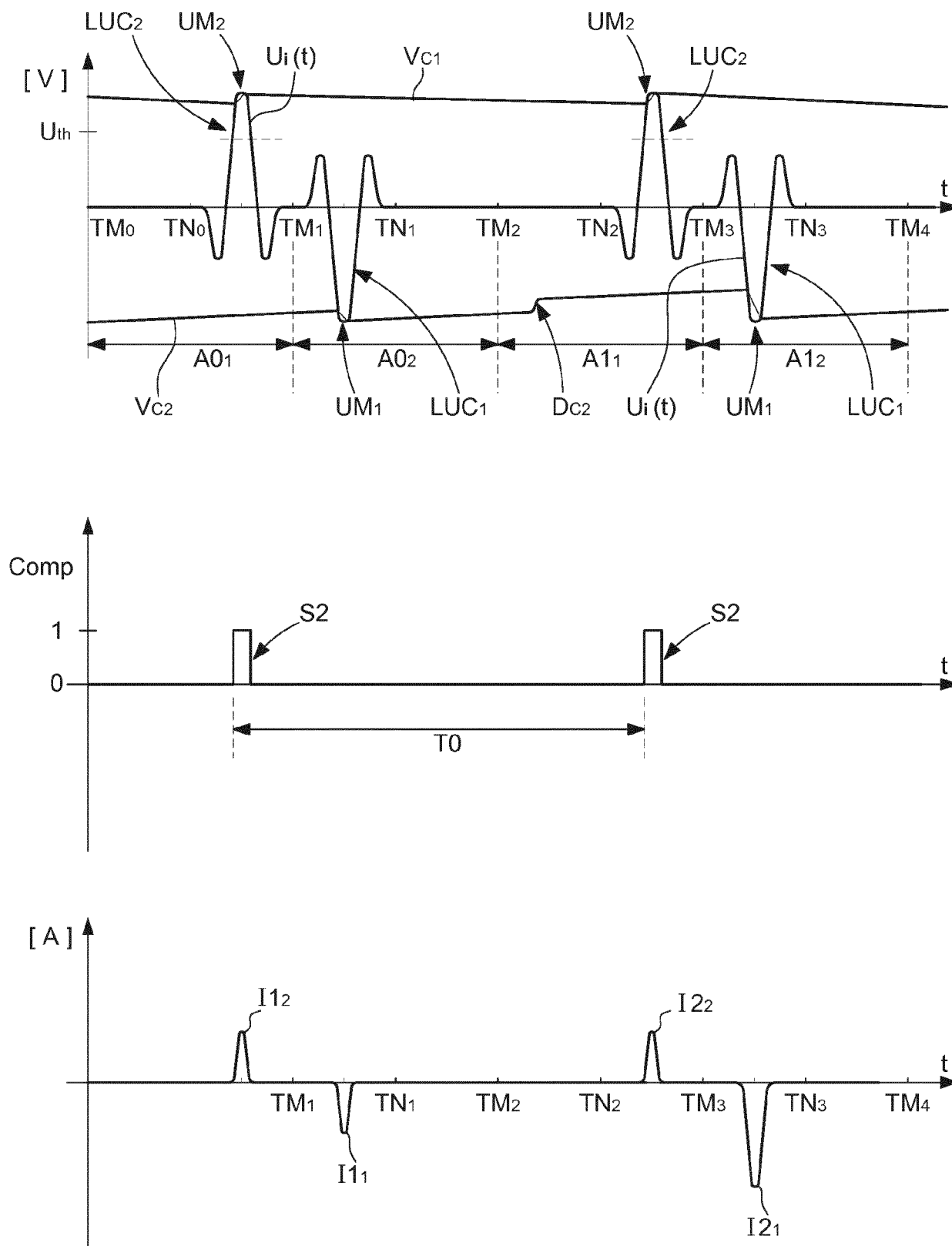


Fig. 15

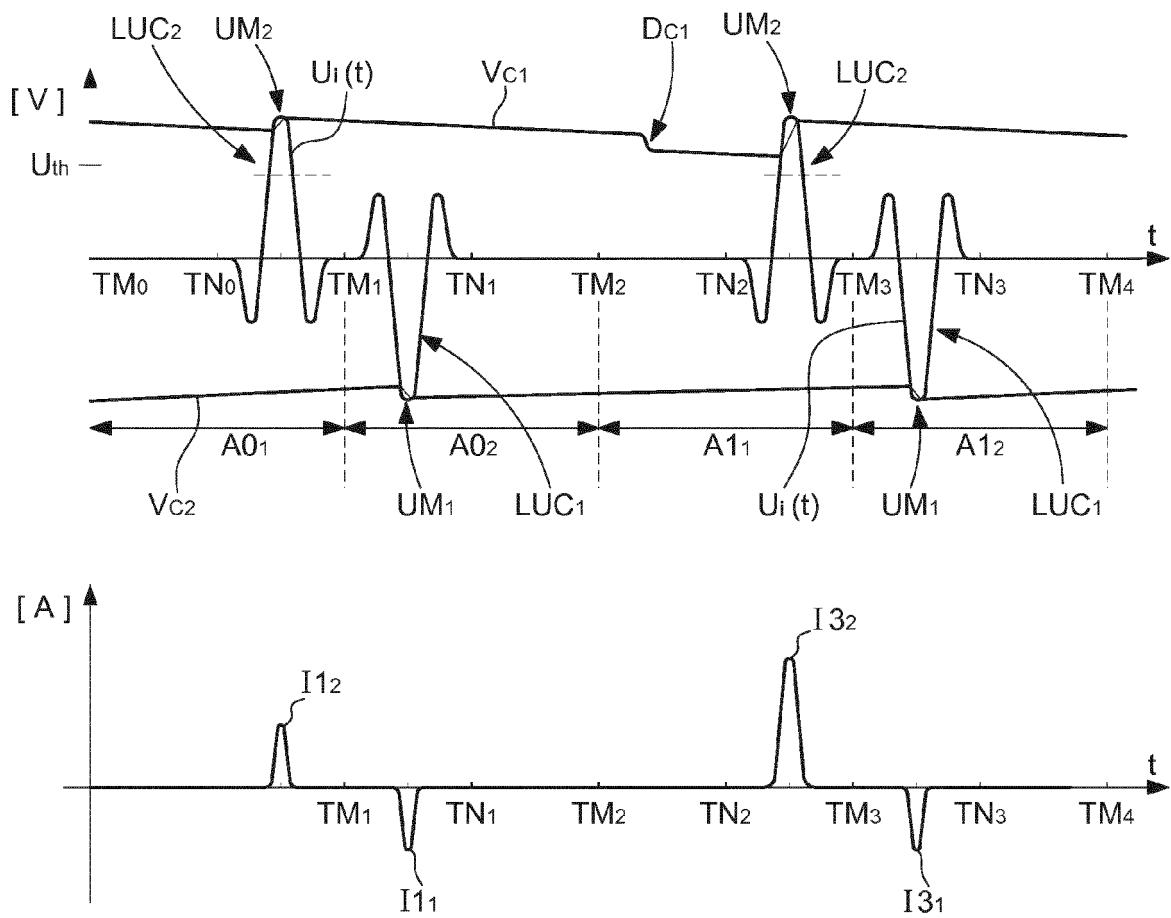


Fig. 16

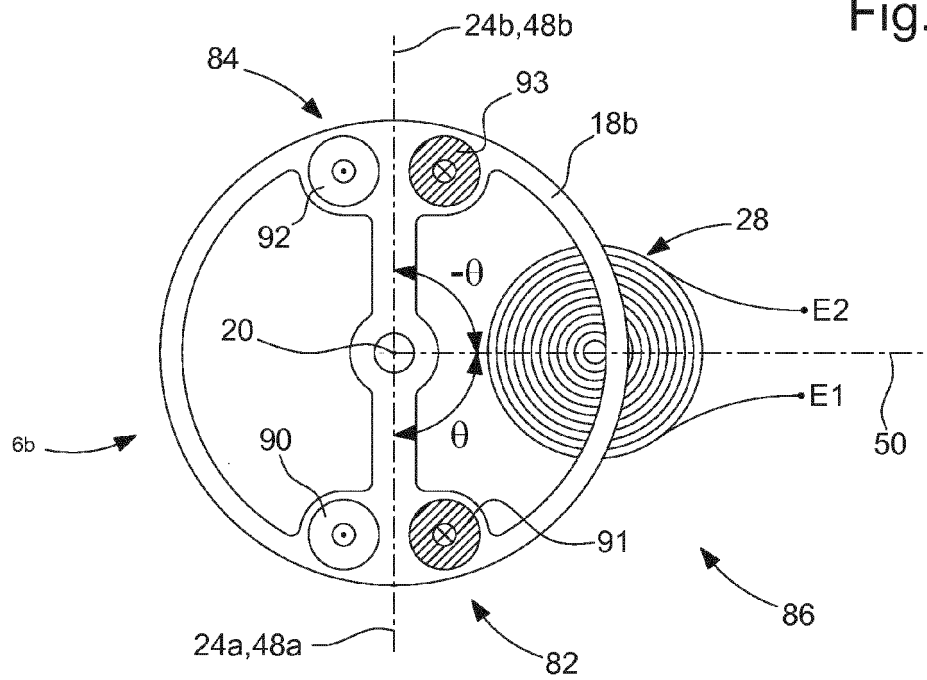


Fig. 17

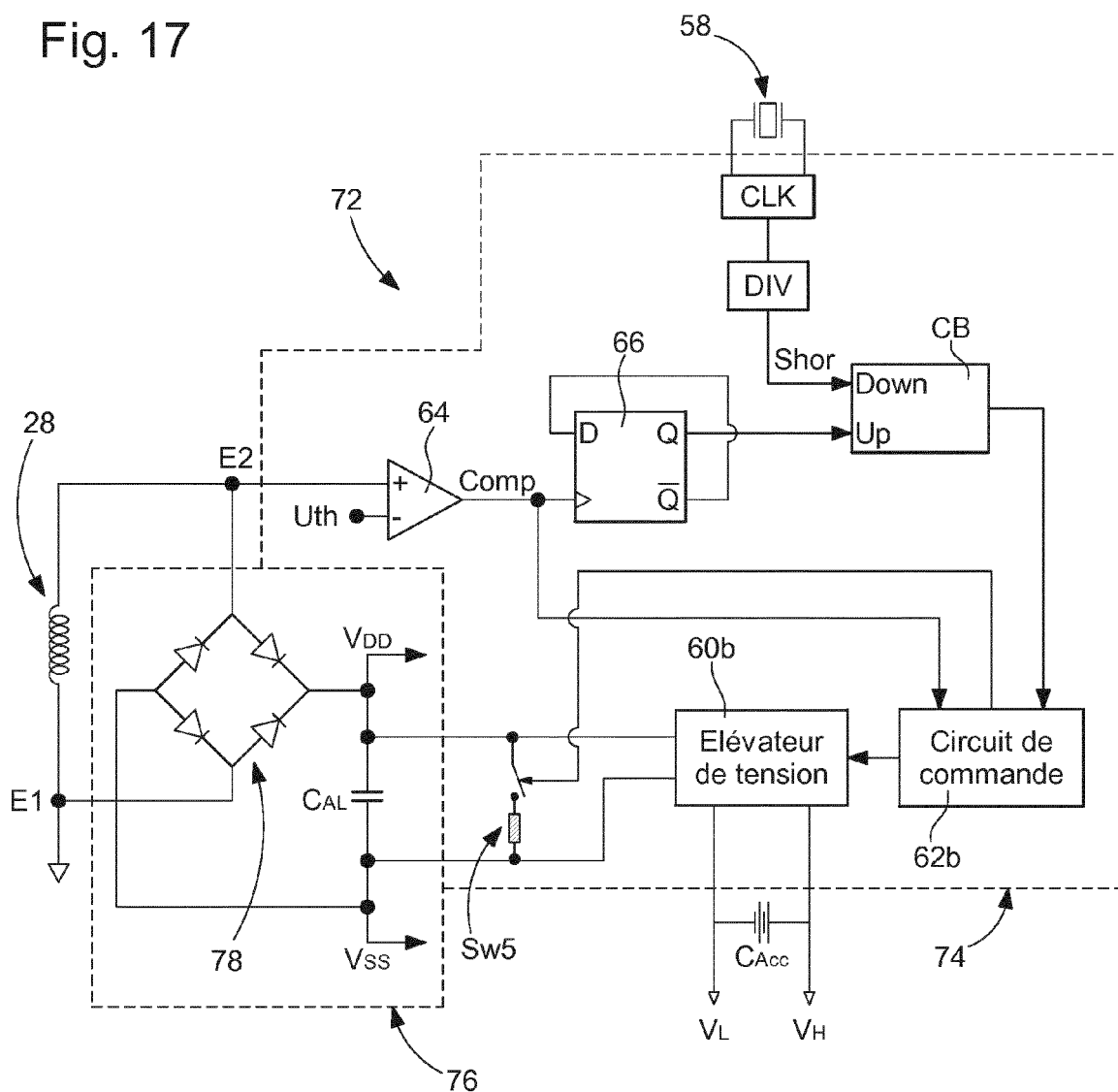


Fig. 18

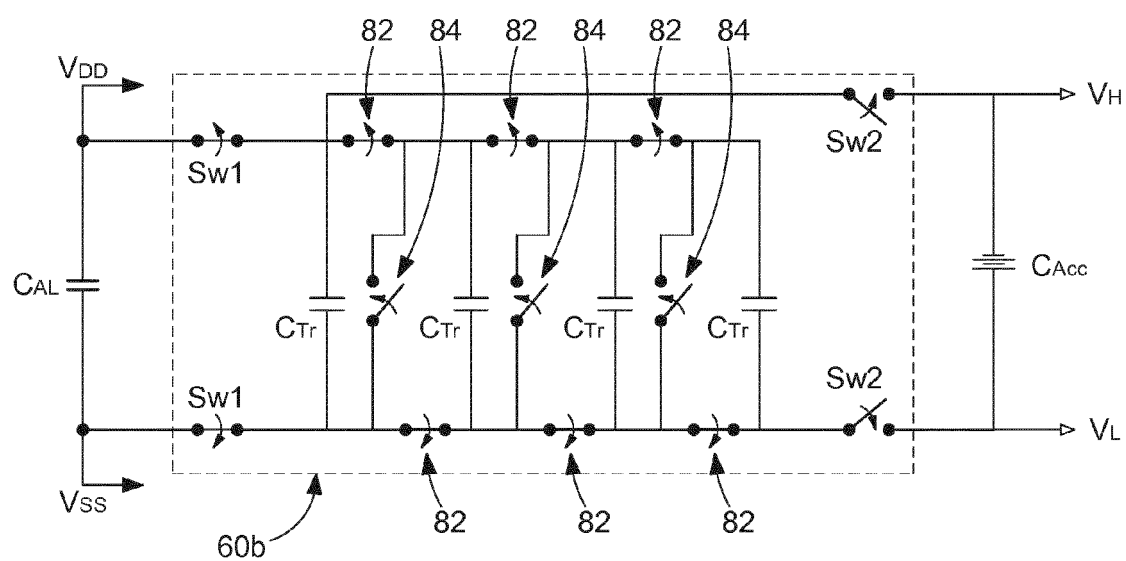


Fig. 19

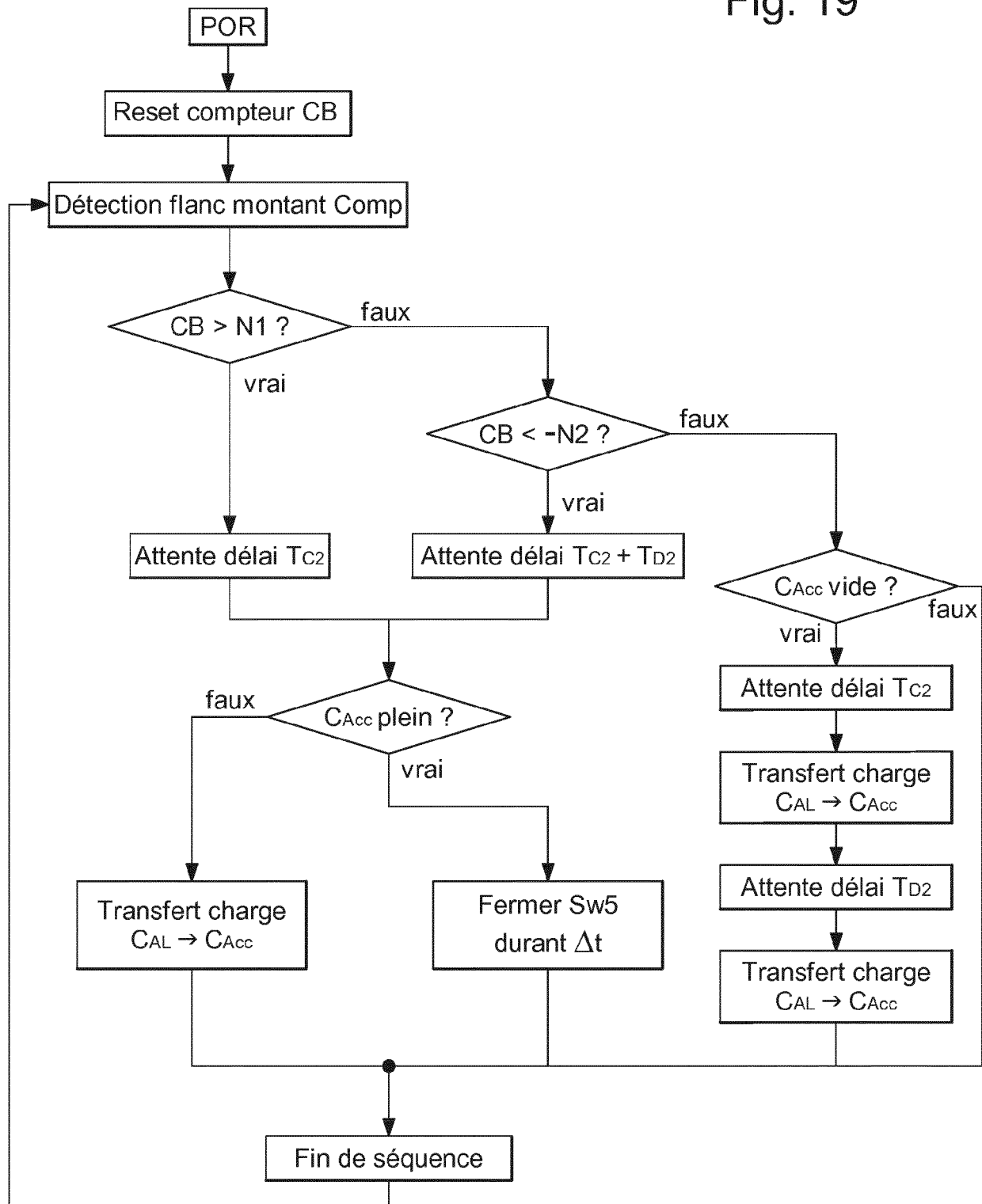


Fig. 20A

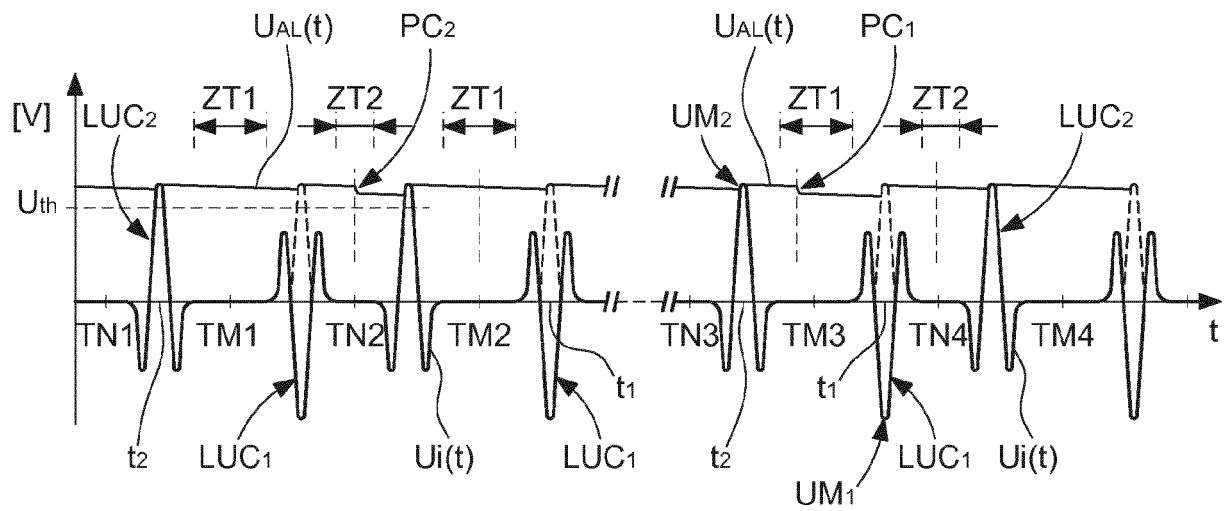


Fig. 20B

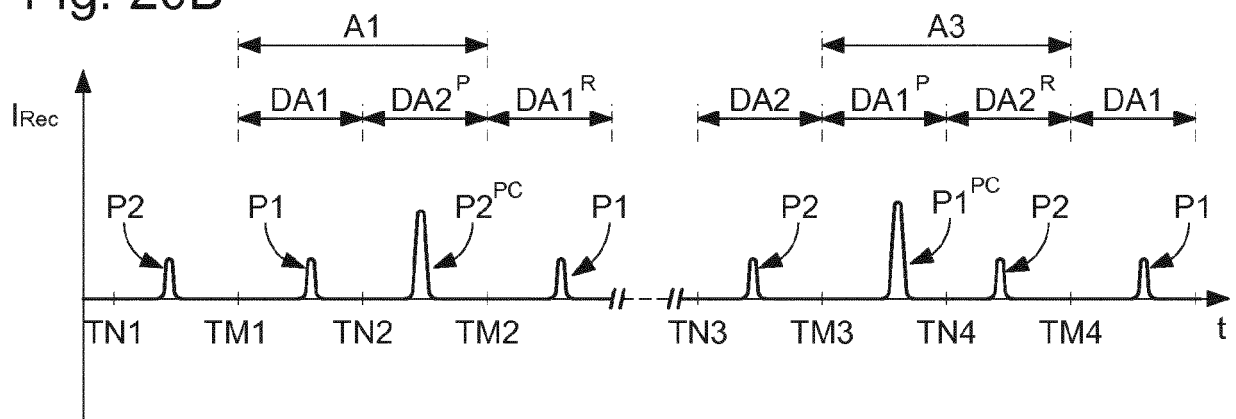


Fig. 20C

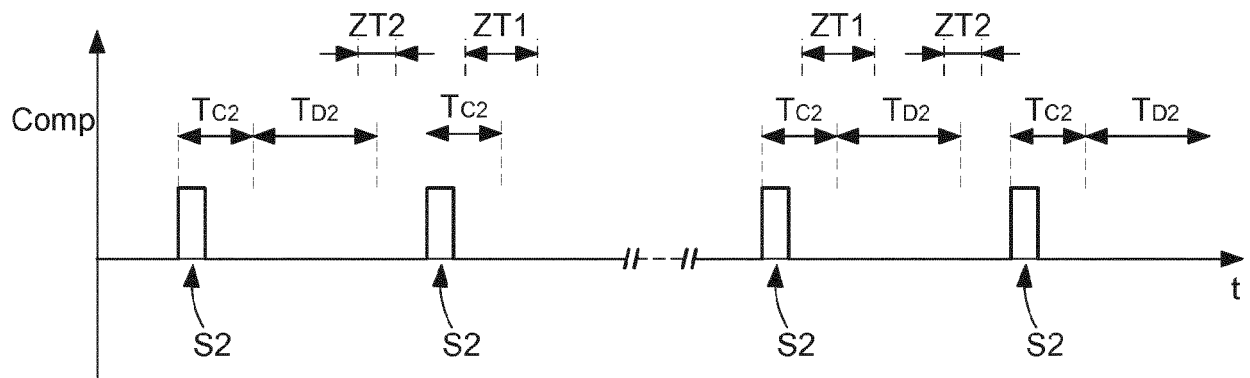


Fig. 21

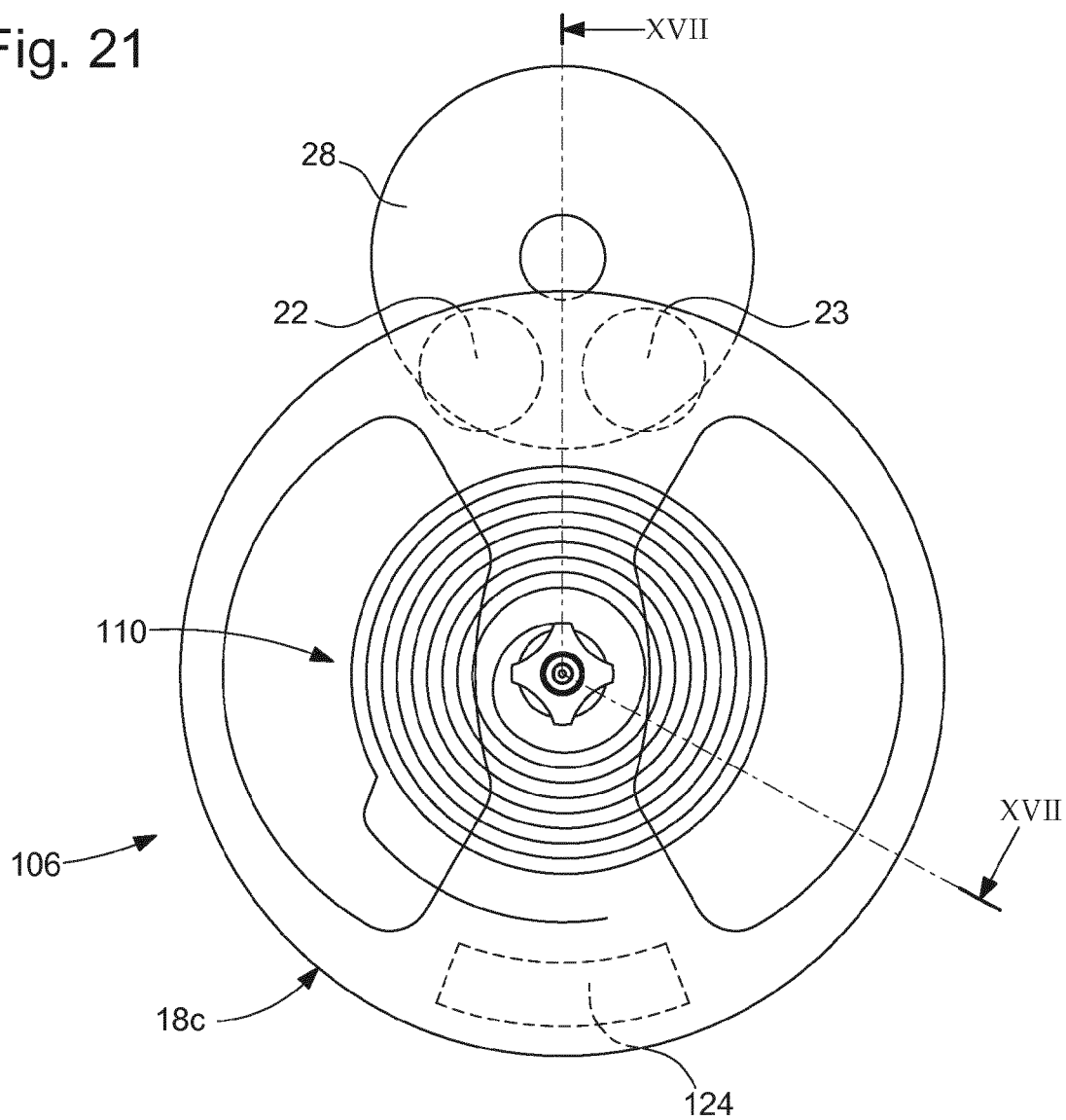
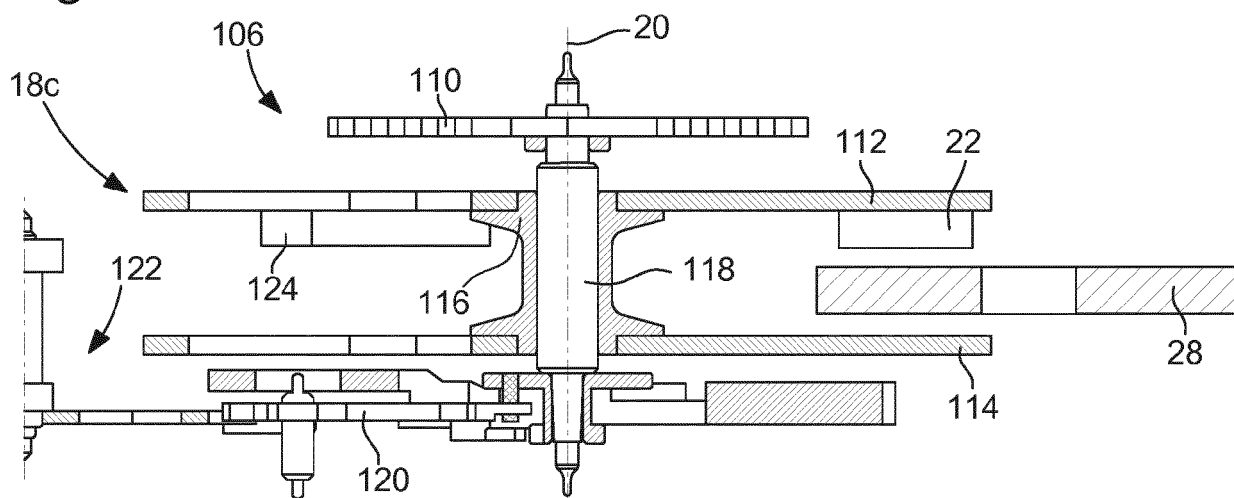


Fig. 22





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 17 20 9121

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A,D	EP 1 241 538 A1 (SEIKO INSTR INC [JP]) 18 septembre 2002 (2002-09-18) * alinéas [0001] - [0002] * * alinéa [0003] * * alinéas [0011], [0013] * * alinéas [0018], [0020] * * alinéa [0023] * * alinéa [0024] * * alinéa [0026] * * alinéa [0031] * * alinéa [0034] * * alinéas [0075] - [0077] * * alinéa [0088] * * alinéa [0094] * * alinéas [0095] - [0096] * * alinéa [0098] * * alinéas [0102] - [0105] * * alinéas [0114] - [0117] * * alinéa [0122] * * figures 1,7,10 * -----	1-22	INV. G04C10/00 G04C3/00
A	US 2013/051191 A1 (SCHAFROTH KONRAD [CH]) 28 février 2013 (2013-02-28) * alinéa [0006] * * alinéas [0007] - [0008] * * alinéas [0009] - [0012] * * alinéa [0013] * * alinéa [0015] * * alinéa [0016] * * alinéa [0018] * * alinéa [0022] * * figures 1,2,7,8 * -----	1-22	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		25 mai 2018	Lahousse, Alexandre
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 03.82 (P04C02)

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

EP 17 20 9121

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

25-05-2018

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1241538 A1	18-09-2002	CN 1347520 A	01-05-2002
		CN 1434933 A	06-08-2003
		EP 1164441 A1	19-12-2001
		EP 1241538 A1	18-09-2002
		WO 0148565 A1	05-07-2001
		WO 0148567 A1	05-07-2001
US 2013051191 A1	28-02-2013	CH 703051 A2	31-10-2011
		CH 703052 A2	31-10-2011
		EP 2561409 A1	27-02-2013
		JP 5764652 B2	19-08-2015
		JP 2013525778 A	20-06-2013
		US 2013051191 A1	28-02-2013
		WO 2011131784 A1	27-10-2011

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- CH 597636 [0003] [0004] [0005] [0006]
- EP 1521142 A [0006]
- EP 1241538 A [0007] [0008]