



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
18.09.2019 Bulletin 2019/38

(51) Int Cl.:
G04C 3/04 (2006.01) G04B 17/06 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **18162191.3**

(22) Date de dépôt: **16.03.2018**

(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:
KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **Nagy, Laurent**
3097 Liebefeld (CH)
• **Haemmerli, Alexandre**
2000 Neuchâtel (CH)
• **Tombez, Lionel**
2022 Bevaix (CH)

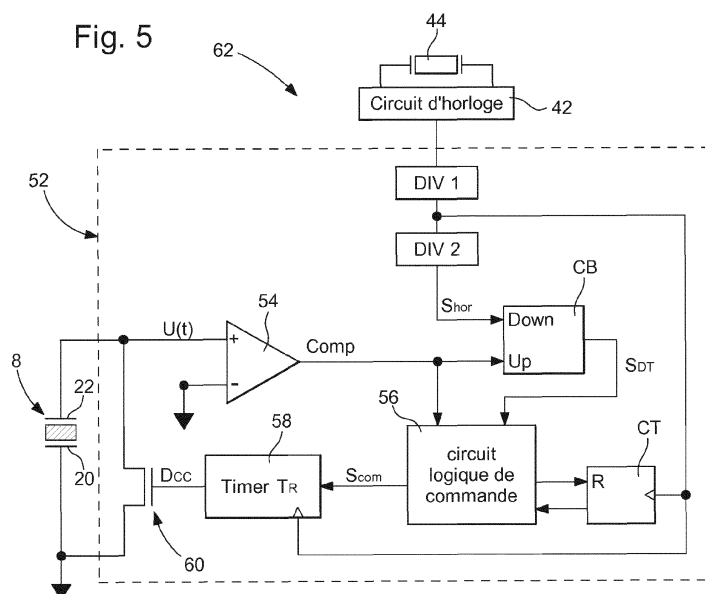
(71) Demandeur: **The Swatch Group Research and Development Ltd**
2074 Marin (CH)

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

(54) **PIÈCE D'HORLOGERIE COMPRENANT UN MOUVEMENT MÉCANIQUE DONT LA MARCHÉ EST RÉGLÉE PAR UN DISPOSITIF ÉLECTRONIQUE**

(57) La pièce d'horlogerie comprend un oscillateur mécanique, formé par un balancier et un spiral piézoélectrique (8), et un dispositif de régulation (62) pour réguler la fréquence de l'oscillateur mécanique qui est agencé pour pouvoir engendrer des impulsions de régulation (Dcc) temporellement séparées et consistant chacune en une diminution momentanée d'une résistance électrique appliquée par le dispositif de régulation entre deux électrodes (20, 22) du spiral relativement à une résistance électrique nominale. Chaque impulsion de ré-

gulation engendre un écart de marche qui est variable en fonction de l'instant de son début dans une demi-période de l'oscillateur mécanique, la fonction caractéristique de cet écart de marche relativement à l'instant où débute au moins une impulsion de régulation respectivement dans au moins une demi-période de l'oscillateur mécanique étant négative sur une première zone temporelle de ladite au moins une demi-période et positive sur une deuxième zone temporelle de ladite au moins une demi-période.



Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne une pièce d'horlogerie comprenant un mouvement mécanique, muni d'un oscillateur mécanique qui est formé par un balancier et un spiral, et un dispositif électronique de régulation pour réguler la fréquence de l'oscillateur mécanique qui contrôle la marche du mouvement mécanique.

[0002] En particulier, le dispositif électronique de régulation comprend un oscillateur auxiliaire du type électronique généralement plus précis que l'oscillateur mécanique, en particulier un oscillateur à quartz, et un dispositif de mesure agencé pour pouvoir mesurer, le cas échéant, une dérive temporelle de l'oscillateur mécanique relativement à l'oscillateur auxiliaire.

Arrière-plan technologique

[0003] Plusieurs documents concernent la régulation électronique d'un oscillateur mécanique dans une pièce d'horlogerie. En particulier, la demande de brevet US 2013/0051191 concerne une pièce d'horlogerie comprenant un balancier-spiral et un circuit électronique de régulation de la fréquence d'oscillation de ce balancier-spiral. Le spiral est constitué d'un matériau piézoélectrique ou comporte deux couches latérales en matériau piézoélectrique sur un noyau en silicium, deux électrodes latérales externes étant agencées sur les surfaces latérales du spiral. Ces deux électrodes sont reliées au circuit électronique de régulation qui comprend une pluralité de capacités commutables agencées en parallèle et reliées aux deux électrodes du spiral.

[0004] A l'aide des Figures 1 à 4, on décrira une pièce d'horlogerie du type décrit dans la demande de brevet américaine mentionnée ci-avant. Pour ne pas charger le dessin, on a représenté à la Figure 1 seulement le résonateur mécanique 2 du mouvement mécanique de la pièce d'horlogerie, ce résonateur comprenant un balancier 4 oscillant autour d'un axe géométrique 6 et un spiral 8 dont la courbe terminale 10 passe classiquement au travers d'un piton 12 solidaire d'un pont de balancier (non représenté) du mouvement mécanique. La Figure 2 montre schématiquement une portion du spiral 8. Ce spiral est formé par un corps central 14 en silicium, deux couches latérales 16, 18 en matériau piézoélectrique, notamment en nitrure d'aluminium (AlN), et deux électrodes métalliques externes 20, 22. Les deux électrodes sont reliées par des fils conducteurs 26, 28 (représentation schématique) à un circuit électronique de régulation 24.

[0005] La Figure 3 (qui reproduit la figure 1 du document antérieur considéré avec quelques informations supplémentaires provenant des figures 2 et 7) montre l'agencement général du dispositif de régulation 32 qui est incorporé dans la pièce d'horlogerie en question et en particulier le circuit électronique de régulation 24. Ce circuit 24 comprend une première capacité 34 reliée aux

deux électrodes du spiral piézoélectrique et une pluralité de capacités commutables 36a à 36d qui sont agencées en parallèle de la première capacité, de manière à former une capacité variable C_v pour pouvoir varier la valeur de la capacité reliée aux électrodes du spiral et ainsi varier, selon l'enseignement du document, la rigidité du spiral. Le circuit 24 comprend en outre un comparateur 38 dont les deux entrées sont reliées respectivement aux deux électrodes du spiral 8, ce comparateur étant prévu pour fournir un signal logique permettant de déterminer grâce aux changements successifs de l'état logique de ce signal logique les passages par zéro de la tension induite entre les deux électrodes du spiral. Le signal logique est fourni à un circuit logique 40 qui reçoit également un signal de référence d'un circuit d'horloge 42 associé à un résonateur à quartz 44. Sur la base d'une comparaison entre le signal de référence et le signal logique fourni par le comparateur 38, le circuit logique 40 commande les interrupteurs des capacités commutables 36a à 36d.

[0006] De plus, il est prévu à la suite du circuit de capacités commutables un circuit redresseur double alternance 46, formé classiquement d'un pont à quatre diodes, qui fournit une tension continue V_{DC} et charge une capacité de stockage 48. Cette énergie électrique fournie par le spiral piézoélectrique permet une alimentation du dispositif 32. On a donc un système électrique autonome car il est autoalimenté en ce sens que l'énergie électrique provient de l'énergie mécanique fournie au résonateur mécanique 2 dont le spiral piézoélectrique 8, lorsque le résonateur mécanique oscille, forme un transducteur électromécanique (un générateur de courant électrique).

[0007] Comme indiqué dans le document US 2015/0051191 à son paragraphe 0052, le circuit électronique de régulation 24 ne peut que réduire la fréquence d'oscillation du résonateur mécanique 2 en augmentant la valeur de la capacité variable C_v . Cette constatation est confirmée par le graphe de la Figure 4 qui montre la courbe 50 donnant l'écart de marche en fonction de la valeur de la capacité variable C_v . On observe en effet que l'écart de marche obtenu est toujours inférieur à zéro et augmente en valeur absolue lorsque la valeur de la capacité variable augmente. Ainsi, le système de régulation demande que la fréquence naturelle de l'oscillateur mécanique (fréquence en l'absence de régulation) soit supérieure à la fréquence nominale (fréquence de consigne) de cet oscillateur mécanique. En d'autres termes, il est prévu de régler l'oscillateur mécanique de manière à ce que sa fréquence naturelle corresponde à une fréquence supérieure à la fréquence de consigne, le circuit de régulation ayant pour fonction de faire diminuer plus ou moins cette fréquence naturelle pour que la marche corresponde à la fréquence de consigne. Ainsi, un grand désavantage d'un tel système réside dans le fait que la marche du mouvement mécanique n'est pas optimale en l'absence de régulation électronique. Pour un mouvement horloger mécanique de haute précision, on doit en effet dégrader ses propres caractéristiques mécaniques par un réglage non optimal. On peut conclure qu'un tel

système de régulation électronique n'a de sens que pour des mouvements mécaniques de qualité moyenne, voire de mauvaise qualité, la précision de ces mouvements mécaniques dépendant du système de régulation électronique.

Résumé de l'invention

[0008] La présente invention a pour but de proposer une pièce d'horlogerie, munie d'un résonateur mécanique comprenant un spiral formé au moins partiellement d'un matériau piézoélectrique et d'un système de régulation électronique associé au spiral piézoélectrique, qui ne présente pas les inconvénients de la pièce d'horlogerie de l'art antérieur précédemment décrite, en particulier qui puisse être associée à un mouvement mécanique dont la marche est réglée initialement de manière optimale, c'est-à-dire au mieux de ses possibilités. Ainsi, l'invention a pour objectif de fournir un système de régulation électronique qui soit discret et autonome grâce à l'utilisation d'un spiral piézoélectrique et qui soit réellement complémentaire au mouvement mécanique en permettant d'augmenter sa précision sans dégrader par ailleurs un réglage initial optimal de ce mouvement mécanique.

[0009] L'invention a pour objet une pièce d'horlogerie comprenant un mouvement horloger mécanique, muni d'un oscillateur mécanique formé par un balancier et un spiral et agencé pour cadencer la marche du mouvement horloger, et un dispositif de régulation pour réguler la fréquence de l'oscillateur mécanique, ce dispositif de régulation comprenant une base de temps auxiliaire, formée par un oscillateur auxiliaire et fournissant un signal de fréquence de référence, et un dispositif de mesure d'une dérive temporelle dans la marche du mouvement horloger relativement à une fréquence de consigne pour l'oscillateur mécanique qui est déterminée par la base de temps auxiliaire. Le spiral est formé au moins partiellement par un matériau piézoélectrique et par au moins deux électrodes agencées de manière à pouvoir présenter entre elles une tension induite générée par le matériau piézoélectrique lorsque ce dernier est mis sous contrainte mécanique lors d'une oscillation de l'oscillateur mécanique, les deux électrodes étant reliées électriquement au dispositif de régulation qui est agencé pour pouvoir varier l'impédance du système de régulation, formé par le matériau piézoélectrique, lesdites au moins deux électrodes et le dispositif de régulation, en fonction d'un signal de mesure de la dérive temporelle fourni par le dispositif de mesure. Plus particulièrement, selon l'invention, le dispositif de régulation est agencé de manière à pouvoir varier momentanément la résistance électrique engendrée par ce dispositif de régulation entre les deux électrodes du spiral et pour pouvoir engendrer des impulsions de régulation temporellement séparées et consistant chacune en une diminution momentanée de cette résistance électrique relativement à une résistance électrique nominale qui est engendrée par le dispositif de régulation entre lesdites deux électrodes en dehors des impulsions

de régulation. Selon une caractéristique physique remarquable mise en lumière par les inventeurs, chacune des impulsions de régulation susmentionnées engendre un écart de marche pour le mouvement mécanique qui est variable en fonction de l'instant de son début dans une demi-période de l'oscillateur mécanique, la fonction caractéristique de cet écart de marche relativement à l'instant où débute au moins une impulsion de régulation respectivement dans au moins une demi-période de l'oscillateur mécanique étant négative sur une première zone temporelle de cette au moins une demi-période et positive sur une deuxième zone temporelle de cette au moins une demi-période. Le dispositif de régulation est agencé pour pouvoir déterminer si une dérive temporelle mesurée par le dispositif de mesure correspond à au moins une certaine avance ou à au moins un certain retard et pour engendrer au moins une impulsion de régulation avec un début d'impulsion prévu sélectivement, selon que la dérive temporelle mesurée correspond à ladite au moins une certaine avance ou audit au moins un certain retard, dans ladite première zone temporelle ou dans ladite deuxième zone temporelle de respectivement au moins une demi-période de l'oscillateur mécanique.

[0010] Grâce aux caractéristiques de la pièce d'horlogerie selon l'invention, il est donc possible de corriger aussi bien une avance qu'un retard dans la marche d'un mouvement mécanique en agissant par des impulsions de régulation, ayant chacune une durée limitée, qui varient la résistance entre les deux électrodes du spiral dans des zones temporelles différentes de demi-périodes correspondantes selon qu'une avance ou un retard a été détecté dans la marche du mouvement mécanique.

[0011] Dans un mode de réalisation préféré, le dispositif de régulation comprend un interrupteur agencé entre les deux électrodes du spiral, cet interrupteur étant commandé par un circuit de commande qui est agencé pour fermer momentanément cet interrupteur de manière à le rendre conducteur durant les impulsions de régulation, lesquelles définissent alors des impulsions de court-circuit.

Brève description des figures

[0012] L'invention sera décrite ci-après de manière plus détaillée à l'aide des dessins annexés, donnés à titre d'exemples nullement limitatifs, dans lesquels :

- La Figure 1, déjà décrite, montre une pièce d'horlogerie de l'art antérieur comprenant un résonateur mécanique horloger, ayant un spiral piézoélectrique, et un circuit électronique de régulation qui est relié aux deux électrodes du spiral piézoélectrique ;
- La Figure 2 est un agrandissement d'une portion du spiral piézoélectrique de la Figure 1 ;
- La Figure 3 montre partiellement le schéma électri-

que du dispositif de régulation de la pièce d'horlogerie de la Figure 1 ;

- La Figure 4 donne l'écart de marche pour la pièce d'horlogerie des figures précédentes en fonction d'une capacité variable appliquée entre les deux électrodes du spiral piézoélectrique ;
- La Figure 5 montre le schéma électrique d'un dispositif de régulation incorporé dans un mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention qui comprend un résonateur mécanique avec un spiral piézoélectrique ;
- La Figure 6 montre l'écart de marche par jour, pour la pièce d'horlogerie selon l'invention, qui est engendré par le dispositif de régulation de la Figure 5 en fonction du début d'impulsions de court-circuit, au cours de périodes d'oscillation respectives, sur une demi-période entre deux passages par la position neutre du résonateur mécanique dans chacune de ces périodes d'oscillation ;
- La Figure 7 montre un mode de génération des impulsions de court-circuit dans le dispositif de régulation de la Figure 5 en fonction d'une dérive temporelle mesurée dans la marche de la pièce d'horlogerie ;
- La Figure 8 est un organigramme d'un procédé de régulation implémenté dans le dispositif de régulation de la Figure 5 ;
- Les Figures 9 et 10 montrent le graphe de la tension induite entre les électrodes du spiral piézoélectrique lors d'une impulsion de court-circuit produite respectivement avant et après un passage du résonateur mécanique par une position extrême (entre deux passages successifs du résonateur mécanique par sa position neutre) ; et
- La Figure 11 est une coupe transversale d'un mode de réalisation préféré d'un spiral piézoélectrique formant le résonateur mécanique d'une pièce d'horlogerie selon l'invention.

Description détaillée de l'invention

[0013] La pièce d'horlogerie selon l'invention comprend, comme la pièce d'horlogerie de l'art antérieur décrite précédemment, un mouvement horloger mécanique muni d'un oscillateur mécanique formé par un balancier et un spiral piézoélectrique et agencé pour cadencer la marche du mouvement horloger. Ensuite, la pièce d'horlogerie comprend un dispositif de régulation 62 dont le schéma électrique est représenté à la Figure 5. Ce dispositif de régulation, qui est prévu pour réguler la fréquence de l'oscillateur mécanique, comprend un circuit

électronique de régulation 52 et une base de temps auxiliaire qui est formée par un oscillateur auxiliaire et qui fournit un signal de fréquence de référence au circuit électronique de régulation. Cette base de temps comprend par exemple un résonateur à quartz 44 et un circuit d'horloge 42 qui fournit le signal de fréquence de référence à un diviseur présentant au moins deux étages DIV1 et DIV2. Le spiral piézoélectrique 8 est formé au moins partiellement par un matériau piézoélectrique et par au moins deux électrodes 20,22 (voir Figures 2, 5 et 11) qui sont agencées de manière à pouvoir présenter entre elles une tension induite $U(t)$ par ledit matériau piézoélectrique lorsque ce dernier est mis sous contrainte mécanique lors d'une oscillation de l'oscillateur mécanique (voir Figure 7). Les deux électrodes sont reliées électriquement au circuit électronique de régulation 52.

[0014] Le circuit électronique de régulation comprend un dispositif de mesure d'une dérive temporelle éventuelle dans la marche du mouvement horloger relativement à une fréquence de consigne pour l'oscillateur mécanique qui est déterminée par la base de temps auxiliaire 42,44. Dans le mode de réalisation représenté à la Figure 5, le dispositif de mesure est formé par un comparateur à hystérèse 54 dont les deux entrées sont reliées aux deux électrodes 20,22 du spiral piézoélectrique 8. On remarquera que dans l'exemple donné, l'électrode 20 est reliée électriquement à une entrée du comparateur 54 via la masse du dispositif de régulation. Le comparateur à hystérèse fournit un signal digital 'Comp' (voir Figures 5 et 7) dont l'état logique change juste après chaque passage de l'oscillateur mécanique par sa position neutre (position angulaire $\theta(t)$ égal à zéro), plus particulièrement après chaque passage par zéro du résonateur mécanique formant cet oscillateur mécanique. La tension induite $U(t)$ générée par le spiral piézoélectrique est nulle lors du passage du résonateur mécanique par sa position neutre (position angulaire 'zéro'), alors qu'elle est maximale, pour une charge donnée appliquée entre les deux électrodes, lorsque le résonateur mécanique est dans une ou l'autre de ses deux positions extrêmes (définissant l'amplitude de l'oscillateur mécanique respectivement des deux côtés de la position neutre).

[0015] Le signal 'Comp' est fourni, d'une part, à une première entrée 'Up' d'un compteur bidirectionnel CB formant le dispositif de mesure et, d'autre part, à un circuit logique de commande 56. Le compteur bidirectionnel est ainsi incrémenté d'une unité à chaque période d'oscillation de l'oscillateur mécanique. Il reçoit donc en continu une mesure de la fréquence d'oscillation instantanée de l'oscillateur mécanique. Le compteur bidirectionnel reçoit à sa deuxième entrée 'Down' un signal d'horloge S_{hor} fourni par le diviseur de fréquence DIV1 et DIV2, ce signal d'horloge définissant une fréquence de consigne pour l'oscillateur mécanique qui est déterminée par l'oscillateur auxiliaire de la base de temps auxiliaire. Ainsi, le compteur bidirectionnel fournit au circuit logique de commande 56 un signal correspondant à une erreur cumulée au cours du temps entre la fréquence d'oscillation de

l'oscillateur mécanique et la fréquence de consigne, cette erreur cumulée définissant la dérive temporelle de l'oscillateur mécanique relativement à l'oscillateur auxiliaire.

[0016] De manière générale, le dispositif de régulation selon l'invention est agencé de manière à pouvoir varier momentanément la résistance électrique engendrée par ce dispositif de régulation entre les deux électrodes du spiral piézoélectrique en fonction d'un signal de mesure de la dérive temporelle de la marche de la pièce d'horlogerie qui est fourni par un dispositif de mesure de cette dérive temporelle. Plus particulièrement, le dispositif de régulation est agencé pour pouvoir engendrer des impulsions de régulation temporellement séparées et consistant chacune en une diminution momentanée de la résistance électrique susmentionnée relativement à une résistance électrique nominale qui est engendrée par le dispositif de régulation entre les deux électrodes en dehors des impulsions de régulation. Ainsi, on a un système de régulation de la marche de la pièce d'horlogerie, et donc de la fréquence moyenne de l'oscillateur mécanique, qui est formé par le matériau piézoélectrique du spiral 8, les deux électrodes 20, 22 de ce spiral et le dispositif de régulation selon l'invention.

[0017] Dans un mode de réalisation préféré, le dispositif de régulation 62 comprend un interrupteur 60 agencé entre les deux électrodes du spiral, cet interrupteur étant commandé par le circuit logique de commande 56 qui est agencé pour fermer momentanément cet interrupteur de manière à le rendre conducteur durant lesdites impulsions de régulation, lesquelles définissent alors des impulsions de court-circuit.

[0018] Dans le cadre de l'invention, les inventeurs ont mis en lumière que les impulsions de régulation mentionnées précédemment engendrent chacune un écart de marche pour le mouvement mécanique qui est variable en fonction de l'instant du début de l'impulsion de régulation considérée dans une demi-période de l'oscillateur mécanique. Cette observation est représentée à la Figure 6 où est donnée la fonction caractéristique 66 de l'écart de marche de la pièce d'horlogerie sur un jour relativement à l'instant où débute des impulsions de court-circuit respectivement dans toutes les périodes d'oscillation de l'oscillateur mécanique au cours d'un jour, plus particulièrement dans des demi-périodes respectives de ces périodes d'oscillation qui sont définies, dans chaque période d'oscillation, par les deux passages successifs par la position neutre de cet oscillateur mécanique. Ainsi, l'abscisse du graphe de la Figure 6 correspond à l'intervalle de temps Δt entre le début des impulsions de court-circuit dans les périodes d'oscillation respectives et le début de la demi-période considérée dans ces périodes d'oscillation. De manière remarquable, les inventeurs ont mis en lumière le fait que l'écart de marche est négatif sur une première zone temporelle $ZT1 = ZT1.1 \ \& \ ZT1.2$ de la demi-période considérée pour le début des impulsions de court-circuit et qu'il est positif sur une deuxième zone temporelle $ZT2$ de cette demi-période. On notera encore que la fonction caractéristique 66 représentée à

la Figure 6 concerne une variante de réalisation dans laquelle la fréquence d'oscillation est sensiblement égale à 5 Hz (période d'oscillation = 200 ms). L'écart de marche en secondes par jour [s/j] est donné en fonction de l'instant où débutent les impulsions de court-circuit sur une demi-période de 100 ms, entre deux passages successifs du résonateur mécanique par sa position neutre, au cours de chacune des périodes d'oscillation successives. Les impulsions de court-circuit durent chacune 10 ms dans l'exemple représenté, mais ceci n'est pas limitatif.

[0019] Le circuit électronique de régulation est agencé pour pouvoir déterminer si une dérive temporelle mesurée par le dispositif de mesure correspond à au moins une certaine avance ($CB > N1$) ou à au moins un certain retard ($CB < -N2$), l'état du compteur bidirectionnel CB étant fourni au circuit logique de commande 56 par le signal S_{DT} qui donne l'état du compteur bidirectionnel. Le dispositif de régulation est agencé pour engendrer au moins une impulsion de régulation avec un début prévu sélectivement, selon que la dérive temporelle mesurée correspond à ladite au moins une certaine avance ou audit au moins un certain retard, dans la première zone temporelle $ZT1$ ou dans ladite deuxième zone temporelle $ZT2$ de respectivement au moins une demi-période de l'oscillateur mécanique. En effet, une impulsion de court-circuit de durée limitée débutant dans la première zone temporelle engendre un certain retard pour l'oscillateur mécanique (déphasage négatif) qui peut corriger au moins en partie une avance détectée dans la marche de la pièce d'horlogerie, alors qu'une impulsion de court-circuit de durée limitée débutant dans la deuxième zone temporelle engendre une certaine avance pour l'oscillateur mécanique (déphasage positif) qui peut corriger au moins en partie un retard détecté dans la marche de la pièce d'horlogerie.

[0020] Les Figures 9 et 10 montrent le graphe de la tension induite $U(t)$ entre les électrodes du spiral piézoélectrique lors d'une impulsion de court-circuit débutant respectivement à l'instant t_i dans la première zone temporelle $ZT1$ d'une quelconque période d'oscillation et à l'instant t_2 dans la deuxième zone temporelle $ZT2$ d'une quelconque période d'oscillation, soit respectivement avant et après un passage de l'oscillateur mécanique par une position extrême entre deux passages successifs de cet oscillateur mécanique par sa position neutre définissant la demi-période considérée (voir Figure 7).

[0021] Dans une variante générale, les impulsions de régulation ont chacune une durée inférieure au quart de la période de consigne qui est égale à l'inverse de ladite fréquence de consigne pour l'oscillateur mécanique.

[0022] Dans une variante de réalisation préférée, la durée des impulsions de régulation est inférieure ou égale à un dixième d'une période de consigne. Au plus une impulsion de régulation est engendrée par demi-période de l'oscillateur mécanique et de préférence au plus une impulsion de régulation par période d'oscillation. Ensuite, le dispositif de régulation est agencé pour engendrer au

moins une impulsion de régulation avec un début prévu sélectivement, selon que la dérive temporelle mesurée correspond à au moins une certaine avance ou à au moins un certain retard, dans un premier intervalle Int1 situé à l'intérieur de la première zone temporelle ZT1, pour lequel l'écart de marche donné par ladite fonction caractéristique 66 est supérieur, en valeurs absolues, à au moins la moitié d'un écart de marche maximal de cette fonction caractéristique sur la première zone temporelle, ou dans un deuxième intervalle Int2 situé à l'intérieur de la deuxième zone temporelle ZT2 et pour lequel l'écart de marche donné par la fonction caractéristique est supérieur à au moins la moitié d'un écart de marche maximal de cette fonction caractéristique sur la deuxième zone temporelle. Ainsi, on assure un effet relativement important lors des impulsions de régulation, en particulier lors des impulsions de court-circuit.

[0023] En référence aux Figures 7 et 8, on décrira un procédé de régulation selon l'invention qui est mis en oeuvre par le dispositif de régulation 62, ce procédé de régulation étant conforme aux caractéristiques de l'invention décrites précédemment. Comme déjà indiqué, le comparateur à hystérèse 54 fournit un signal 'Comp' au circuit logique de commande 56, lequel reçoit également un signal S_{DT} de mesure de la dérive temporelle de l'oscillateur mécanique, et donc de la pièce d'horlogerie considérée. Chaque flanc montant et chaque flanc descendant du signal 'Comp' indiquent que le résonateur mécanique vient de passer par sa position neutre, respectivement au cours de deux alternances successives de l'oscillateur mécanique. Le circuit de commande fournit sélectivement un signal de commande S_{com} à un minuteur 58 qui commande un transistor 60 formant l'interrupteur en lui appliquant un signal Dcc. Plus précisément, le circuit de commande détermine l'instant du début de chaque impulsion de court-circuit 88a, 88b en déclenchant ou réinitialisant le minuteur ('Timer') qui rend directement passant / conducteur le transistor 60 (interrupteur fermé), le minuteur déterminant la durée T_R de chaque impulsion de court-circuit. A la fin de chaque impulsion de court-circuit, le minuteur ouvre à nouveau l'interrupteur de sorte que le transistor 60 n'est plus passant, c'est-à-dire non conducteur.

[0024] En exploitant la fonction caractéristique 66 décrite précédemment, le circuit logique de commande est associé à un compteur temporelle CT qui permet de mesurer au moins deux intervalles de temps Δt_1 et Δt_2 pour pouvoir déclencher sélectivement le minuteur 58 dans le premier intervalle Int1 et le deuxième intervalle Int2 d'une demi-période, telle que considérée à la Figure 6, selon que le circuit de commande a déterminé une certaine avance ou un certain retard, à savoir une dérive temporelle positive ou négative, dans la marche de l'oscillateur mécanique. Plus précisément, lorsque le circuit de commande détecte dans le signal 'Comp' un flanc descendant (ou alternativement un flanc montant), il réinitialise ('reset') le compteur CT. Si le signal S_{DT} indique une avance, soit $CB > N1$, $N1$ étant un nombre naturel positif,

alors le circuit de commande attend un intervalle de temps Δt_1 pour activer le minuteur par un signal $S_{com}(1)$, ce minuteur engendrant alors un signal $D_{CC}(1)$ qui rend conducteur le transistor 60 au temps t_i (dans la première zone temporelle ZT1, de préférence dans le premier intervalle Int1) pour une durée T_R , engendrant ainsi une première impulsion de court-circuit 88a qui génère un déphasage négatif dans l'oscillation de l'oscillateur mécanique (augmentation d'une période d'oscillation et donc diminution de la fréquence instantanée). Par contre, si le signal S_{DT} indique un retard, soit $CB < -N2$, $N2$ étant un nombre naturel positif, alors le circuit de commande attend un intervalle de temps Δt_2 pour activer le minuteur par un signal $S_{com}(2)$, ce minuteur engendrant alors un signal $D_{CC}(2)$ qui rend conducteur le transistor 60 au temps t_2 (dans la deuxième zone temporelle ZT2, de préférence dans le deuxième intervalle Int2) également pour une durée T_R , engendrant ainsi une deuxième impulsion de court-circuit 88b qui génère un déphasage positif dans l'oscillation de l'oscillateur mécanique (diminution d'une période d'oscillation / augmentation de la fréquence instantanée).

[0025] On notera que l'algorithme donné par l'organigramme de la Figure 8 peut présenter diverses variantes. Ainsi, en particulier, il est possible de prévoir une sous-séquence, lorsqu'une certaine avance ou un certain retard a été constaté, dans laquelle on effectue une pluralité d'impulsions de court-circuit dans une pluralité respective de périodes d'oscillation. Dans un tel cas, on peut prévoir une variante où la pluralité d'impulsions de court-circuit est effectuée dans des périodes d'oscillation successives ou une autre variante où ces impulsions de court-circuit sont effectuées périodiquement toutes les N périodes d'oscillation, N étant un nombre entier supérieur à un ($N > 1$). Dans une variante a priori moins avantageuse, il est cependant possible d'effectuer une pluralité d'impulsions de régulation dans une pluralité de demi-périodes consécutives. Dans ce dernier cas on déclenchera une impulsion de régulation alternativement lors de l'apparition d'un flanc descendant et d'un flanc montant dans le signal 'Comp'.

[0026] A l'aide de la Figure 11 (page 4/7 des dessins annexés), on décrira un mode de réalisation préféré du spiral piézoélectrique 70 de la pièce d'horlogerie selon l'invention. Ce spiral 70, représenté en coupe transversale, comprend un corps central 72 en silicium, une couche d'oxyde de silicium 74 déposée en surface du corps central de manière à compenser thermiquement le spiral, une couche conductrice 76 déposée sur la couche d'oxyde de silicium, et un matériau piézoélectrique déposé sous forme d'une couche piézoélectrique 78 sur la couche conductrice 76. Deux électrodes 20a et 22a sont agencées sur la couche piézoélectrique 78 respectivement des deux côtés latéraux du spiral (les deux électrodes pouvant recouvrir en partie les côtés inférieur et supérieur du spiral sans toutefois se rejoindre).

[0027] Dans la variante particulière représentée à la Figure 11, la première partie 80a et la deuxième partie

80b de la couche piézoélectrique s'étendant respectivement sur les deux côtés latéraux du corps central 72 présentent, de par leur croissance depuis la couche conductrice 76, des structures cristallographiques respectives qui sont symétriques relativement à un plan médian 84 parallèle à ces deux côtés latéraux. Ainsi, dans les deux parties latérales 80a et 80b, la couche piézoélectrique présente deux mêmes axes piézoélectriques respectifs 82a, 82b qui sont perpendiculaires à la couche piézoélectrique et de sens opposés. On a donc une inversion du signe de la tension induite entre l'électrode interne et chacune des deux électrodes latérales externes pour une même contrainte mécanique. Or, lorsque le spiral se contracte ou se dilate depuis sa position de repos, il y a une inversion de la contrainte mécanique entre les première et deuxième parties 80a et 80b, c'est-à-dire que l'une de ces parties subit une compression alors que l'autre de ces parties subit une traction, et inversement. Au final il résulte de ces considérations que les tensions induites dans les première et deuxième parties présentent, selon un axe perpendiculaire aux deux côtés latéraux, une même polarité de sorte que la couche conductrice 76 peut former une seule et même électrode interne qui s'étend des deux côtés latéraux du corps central 72, cette électrode interne n'ayant pas de liaison électrique propre avec le dispositif de régulation. Dans une variante particulière, la couche piézoélectrique est constituée d'un cristal de nitrure d'aluminium formé par une croissance de ce cristal depuis la couche conductrice 76 (électrode interne) et perpendiculairement à celle-ci.

Revendications

1. Pièce d'horlogerie comprenant un mouvement horloger mécanique, muni d'un oscillateur mécanique formé par un balancier (4) et un spiral (8; 70) et agencé pour cadencer la marche du mouvement horloger, et un dispositif de régulation (62) pour réguler la fréquence de l'oscillateur mécanique, ce dispositif de régulation comprenant une base de temps auxiliaire (42,44), formée par un oscillateur auxiliaire et fournissant un signal de fréquence de référence, et un dispositif de mesure (54, CB) d'une dérive temporelle dans la marche du mouvement horloger relativement à une fréquence de consigne (S_{hor}) pour l'oscillateur mécanique qui est déterminée par la base de temps auxiliaire, le spiral étant formé au moins partiellement par un matériau piézoélectrique et par au moins deux électrodes (20,22; 20a,22a) agencées de manière à pouvoir présenter entre elles une tension induite par ledit matériau piézoélectrique lorsque ce dernier est mis sous contrainte mécanique lors d'une oscillation de l'oscillateur mécanique, les deux électrodes étant reliées électriquement au dispositif de régulation qui est agencé pour pouvoir varier l'impédance du système de régulation, formé par ledit matériau piézoélectrique, lesdites au moins

deux électrodes et le dispositif de régulation, en fonction d'un signal de mesure de ladite dérive temporelle fourni par le dispositif de mesure ; **caractérisée en ce que** le dispositif de régulation (62) est agencé de manière à pouvoir varier momentanément la résistance électrique engendrée par ce dispositif de régulation entre lesdites deux électrodes, le dispositif de régulation étant agencé pour pouvoir engendrer des impulsions de régulation (88a, 88b) temporellement séparées et consistant chacune en une diminution momentanée de ladite résistance électrique relativement à une résistance électrique nominale qui est engendrée par le dispositif de régulation entre lesdites deux électrodes en dehors desdites impulsions de régulation, chacune desdites impulsions de régulation engendrant un écart de marche pour le mouvement mécanique qui est variable en fonction de l'instant de son début dans une demi-période de l'oscillateur mécanique, la fonction caractéristique (66) dudit écart de marche relativement audit instant où débute au moins une desdites impulsions de régulation respectivement dans au moins une demi-période de l'oscillateur mécanique étant négative sur une première zone temporelle (ZT1.1 & ZT1.2) de ladite au moins une demi-période et positive sur une deuxième zone temporelle (ZT2) de ladite au moins une demi-période ; et **en ce que** le dispositif de régulation est agencé pour pouvoir déterminer si une dérive temporelle mesurée par le dispositif de mesure correspond à au moins une certaine avance ou à au moins un certain retard, le dispositif de régulation étant agencé pour engendrer au moins une desdites impulsions de régulation (88a, 88b) avec un début prévu sélectivement, selon que la dérive temporelle mesurée correspond à ladite au moins une certaine avance ou audit au moins un certain retard, dans ladite première zone temporelle ou dans ladite deuxième zone temporelle de respectivement au moins une demi-période de l'oscillateur mécanique.

2. Pièce d'horlogerie selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** lesdites impulsions de régulation (88a, 88b) ont chacune une durée (T_R) inférieure au quart de la période de consigne qui est égale à l'inverse de ladite fréquence de consigne.

3. Pièce d'horlogerie selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** la durée (T_R) desdites impulsions de régulation (88a, 88b) est inférieure ou égale à un dixième d'une période de consigne ; et **en ce que** le dispositif de régulation est agencé pour engendrer au moins une desdites impulsions de régulation avec un début prévu sélectivement, selon que la dérive temporelle mesurée correspond à ladite au moins une certaine avance ou audit au moins un certain retard, dans un premier intervalle (Int1) situé à l'intérieur de ladite première zone temporelle

(ZT1.1) et pour lequel ledit écart de marche donné par ladite fonction caractéristique est supérieur, en valeurs absolues, à au moins la moitié d'un écart de marche maximal de cette fonction caractéristique sur la première zone temporelle ou dans un deuxième intervalle (Int2) situé à l'intérieur de ladite deuxième zone temporelle (ZT2) et pour lequel ledit écart de marche donné par ladite fonction caractéristique est supérieur à au moins la moitié d'un écart de marche maximal de cette fonction caractéristique sur la deuxième zone temporelle.

4. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce que** ledit dispositif de régulation (62) comprend un interrupteur (60) agencé entre les deux électrodes (20,22) du spiral, cet interrupteur étant commandé par un circuit de commande (56) qui est agencé pour fermer momentanément cet interrupteur durant lesdites impulsions de régulation de manière à le rendre passant / conducteur, ces impulsions de régulation définissant alors des impulsions de court-circuit. 5
10
5. Pièce d'horlogerie selon une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisée en ce que** ledit spiral (70) comprend un corps central (72) en silicium, une couche d'oxyde de silicium (74) déposée en surface dudit corps central de manière à compenser thermiquement le spiral, une couche conductrice (76) déposée sur la couche d'oxyde de silicium, et ledit matériau piézoélectrique déposé sous forme d'une couche piézoélectrique (78) sur ladite couche conductrice, lesdites deux électrodes (20a, 20b) étant agencées sur la couche piézoélectrique respectivement des deux côtés latéraux du spiral. 25
30
35
6. Pièce d'horlogerie selon la revendication 5, **caractérisée en ce que** des première et deuxième parties (80a,80b) de la couche piézoélectrique, qui s'étendent respectivement sur les deux côtés latéraux dudit corps central (72), présentent des structures cristallographiques respectives qui sont symétriques relativement à un plan médian (84) parallèle à ces deux côtés latéraux ; et **en ce que** ladite couche conductrice (76) forme une seule et même électrode interne qui s'étend sur les deux côtés latéraux du corps central, cette électrode interne n'ayant pas de liaison électrique propre avec le dispositif de régulation. 40
45
7. Pièce d'horlogerie selon la revendication 6, **caractérisée en ce que** ladite couche piézoélectrique (78) est constituée d'un cristal de nitrure d'aluminium formé par une croissance de ce cristal perpendiculairement à ladite couche conductrice (76) et depuis cette couche conductrice. 50
55

Fig. 1
(Art antérieur)

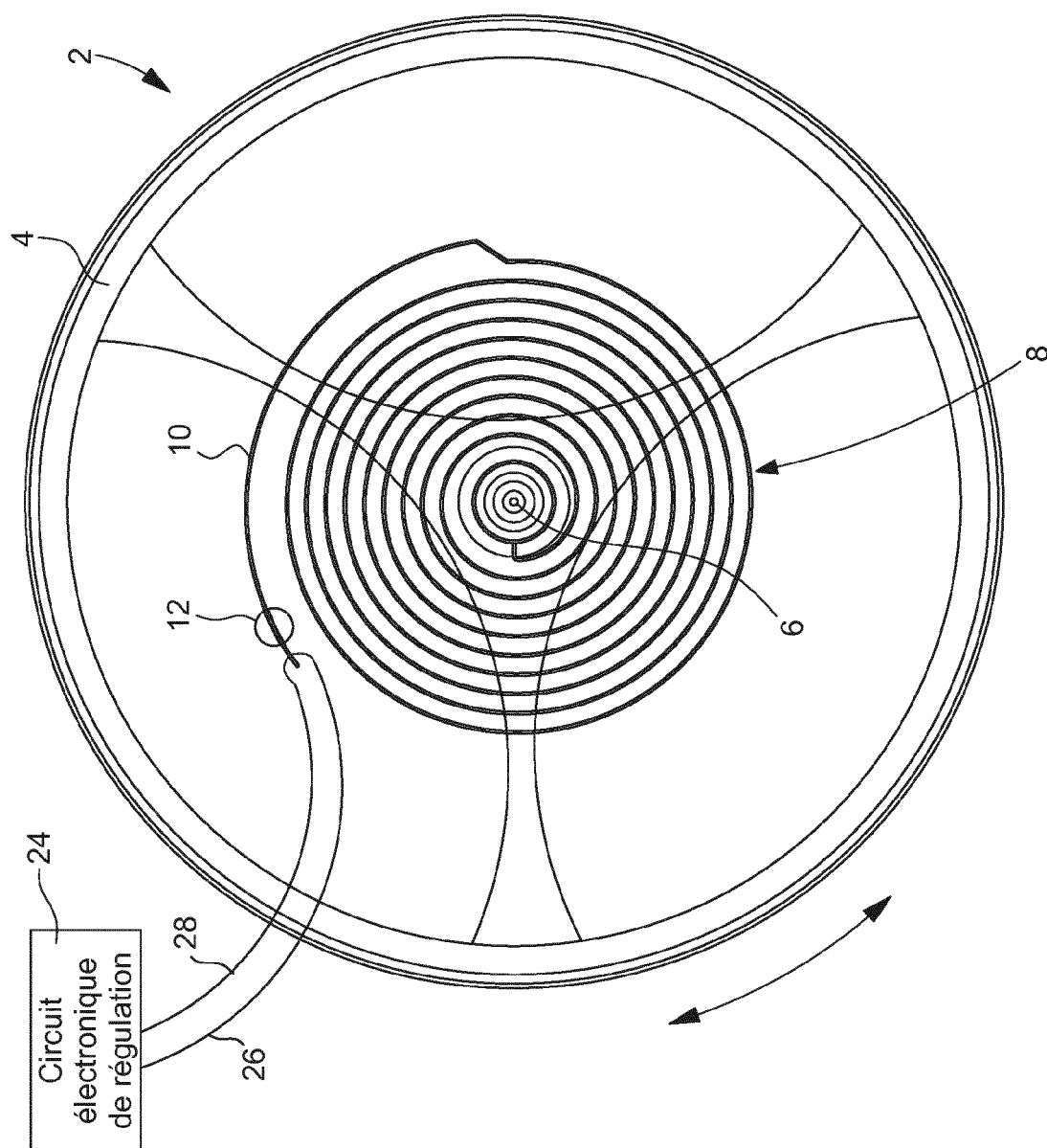


Fig. 2
(Art antérieur)

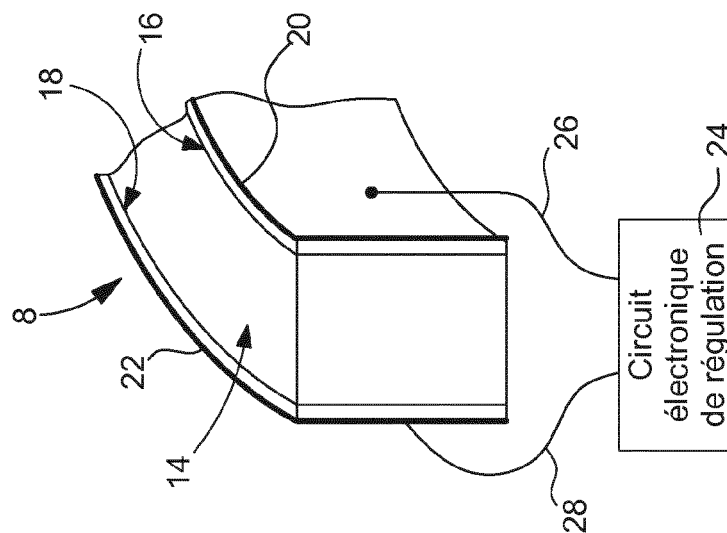


Fig. 3
(Art Antérieur)

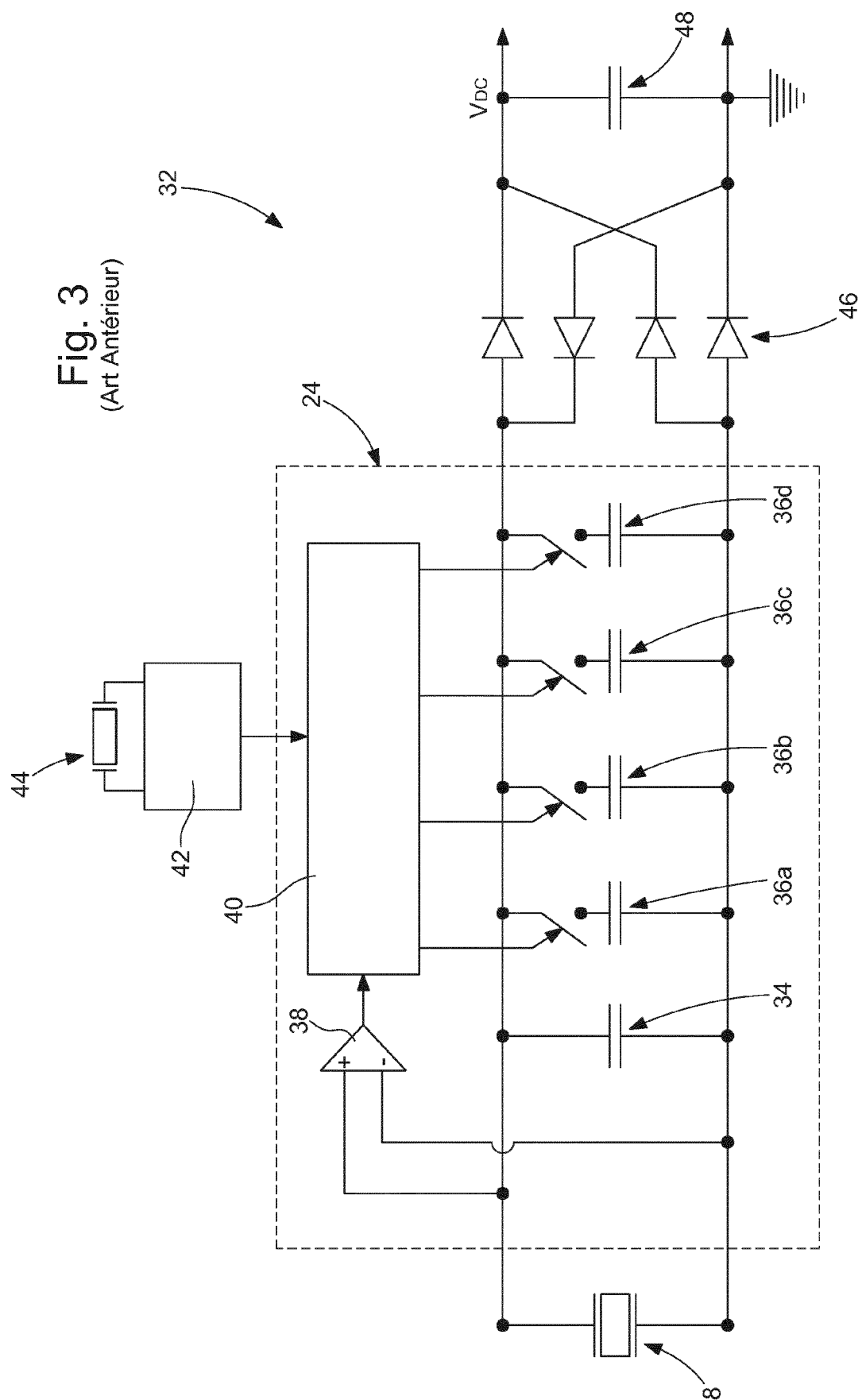


Fig. 4
(Art antérieur)

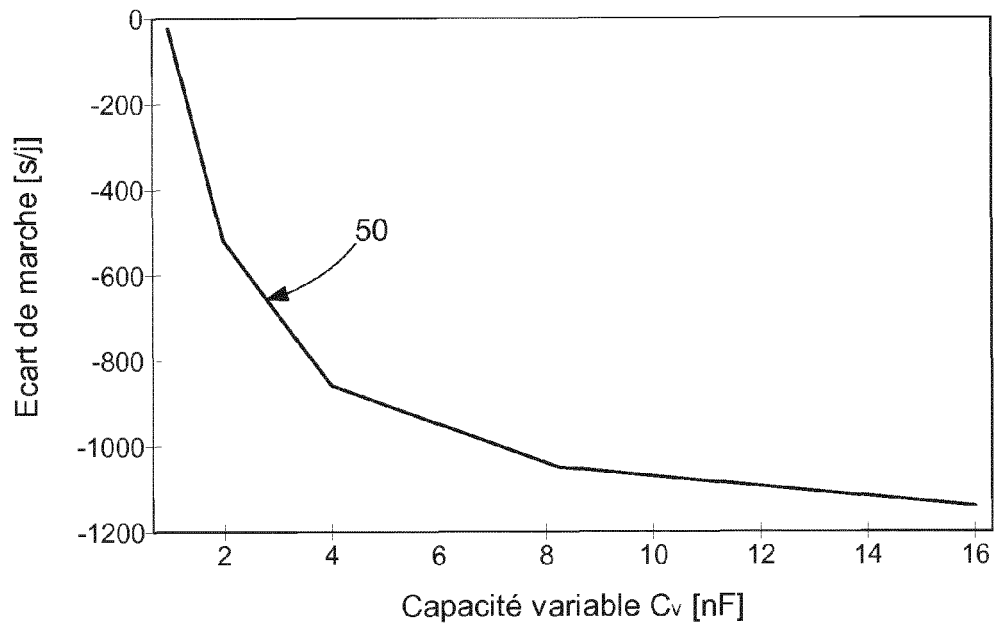


Fig. 5

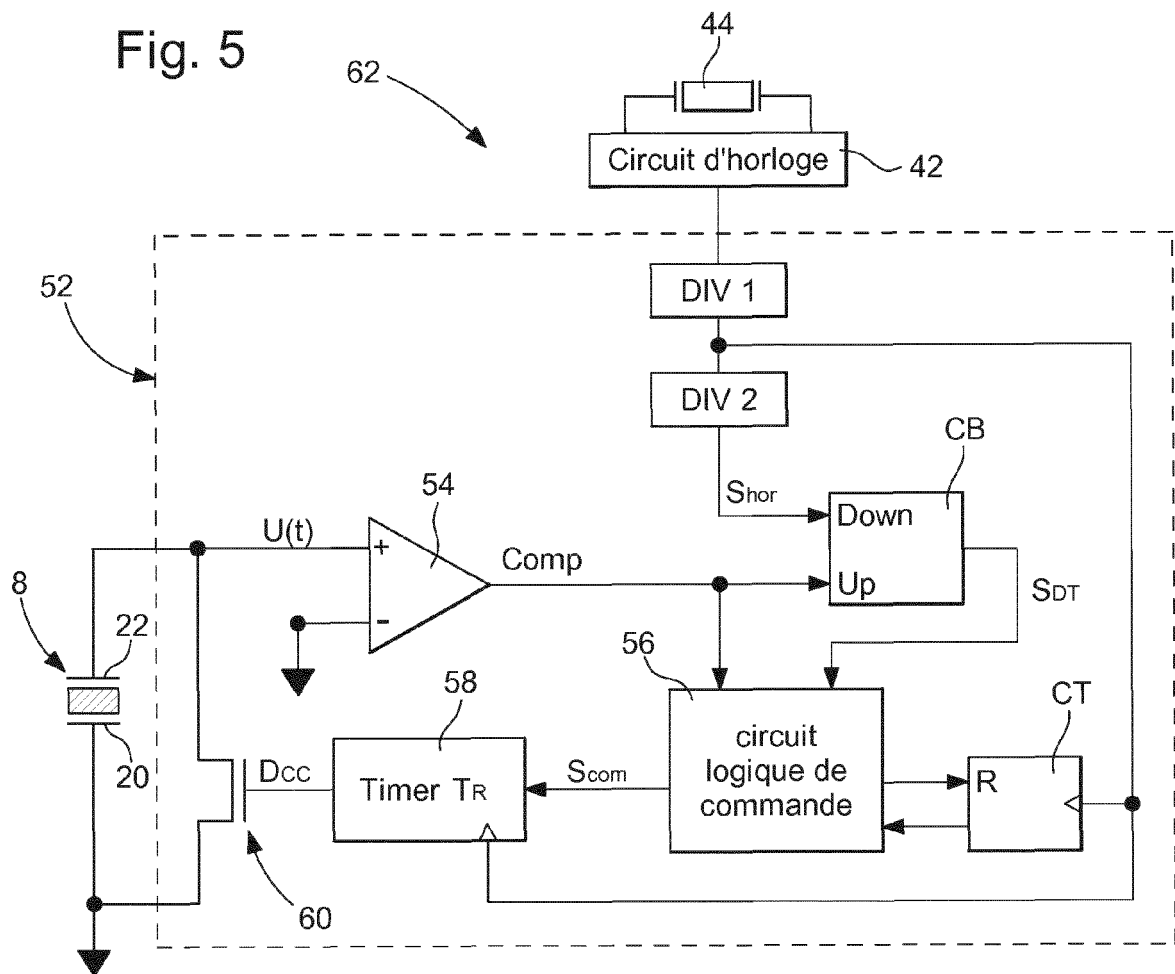


Fig. 6

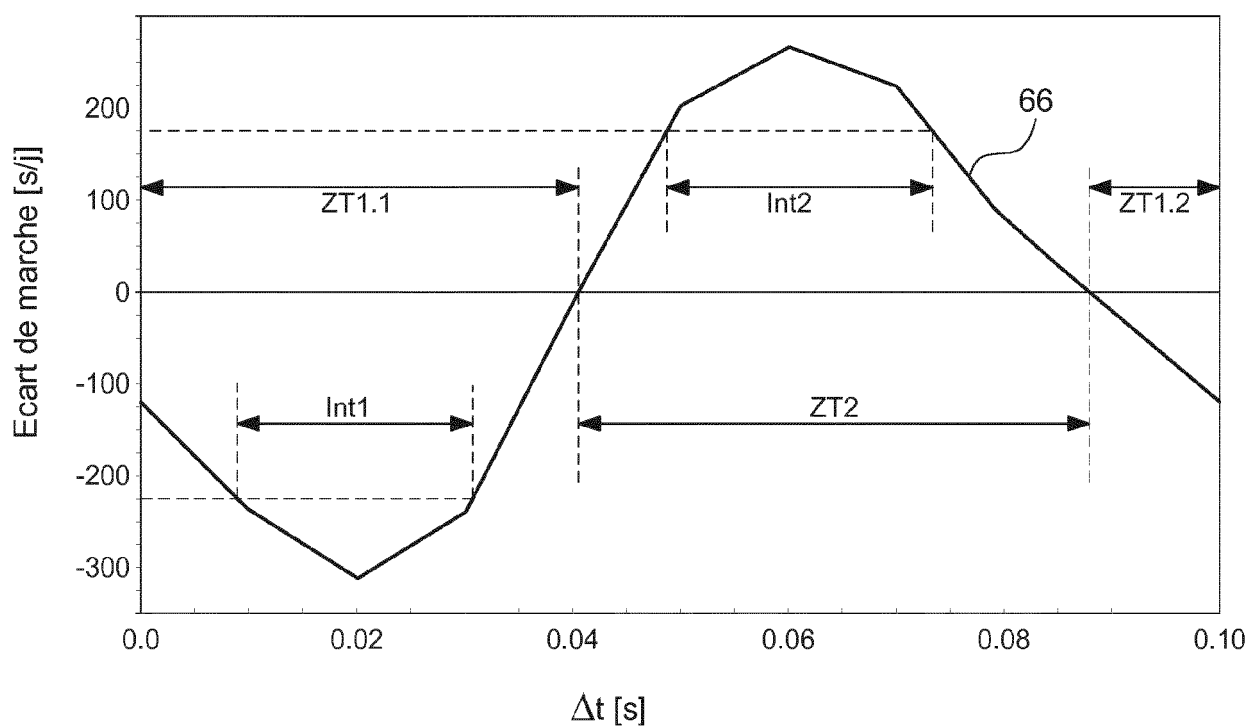


Fig. 11

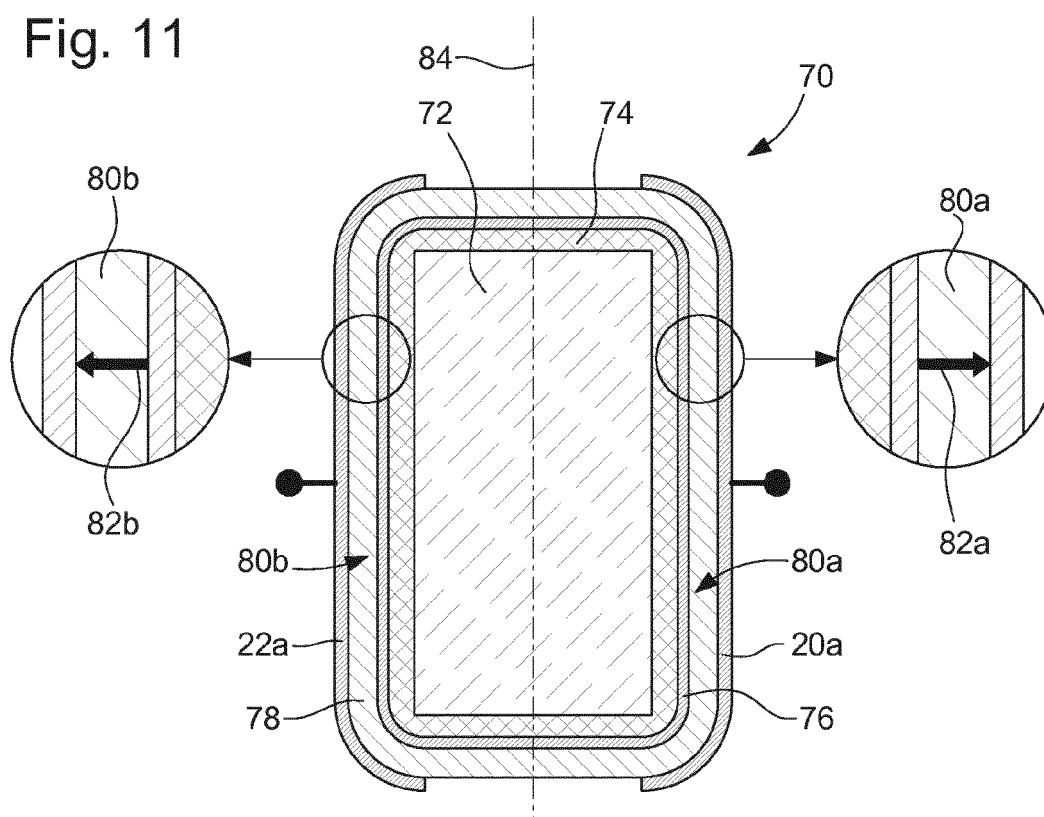


Fig. 7

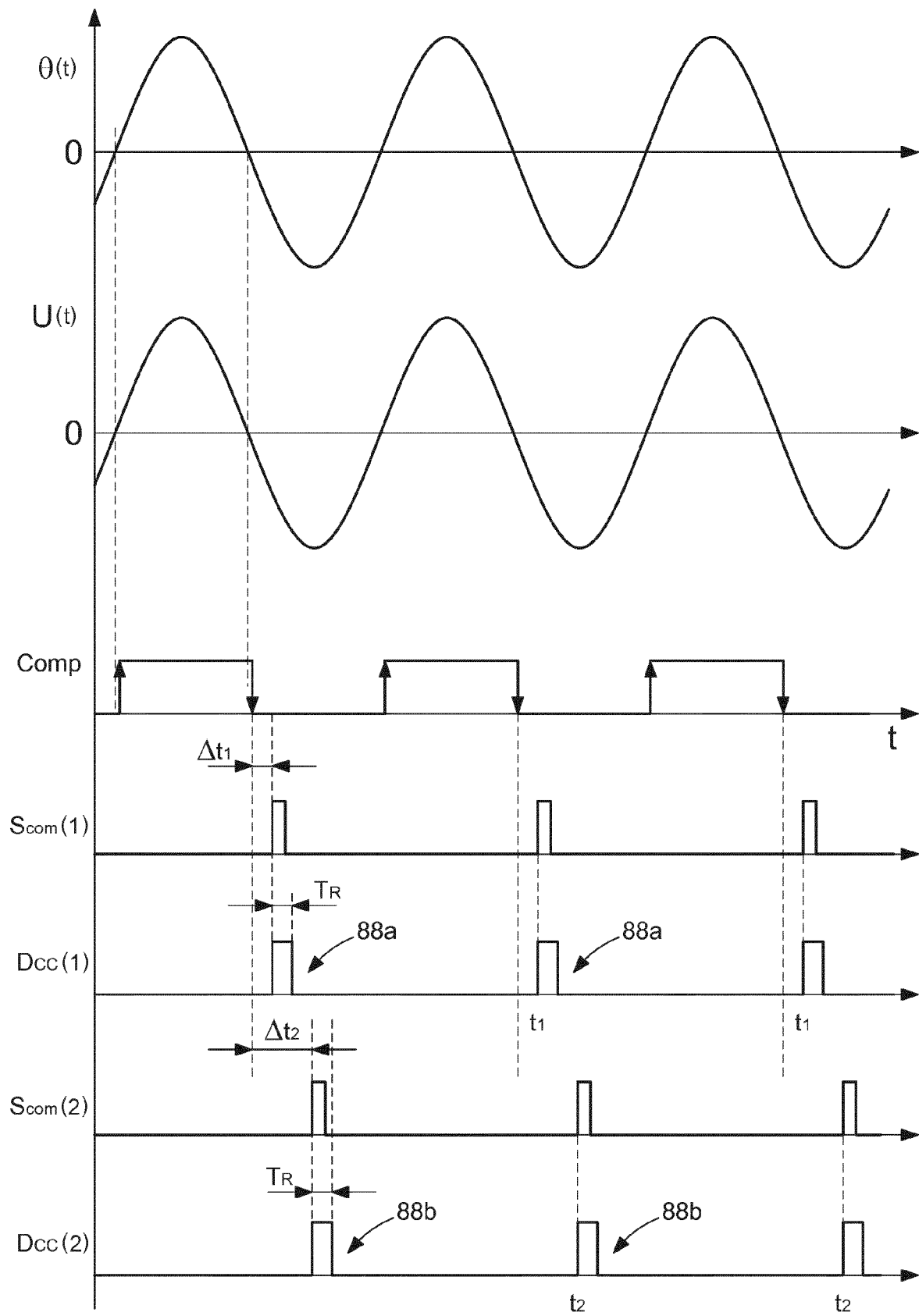


Fig. 8

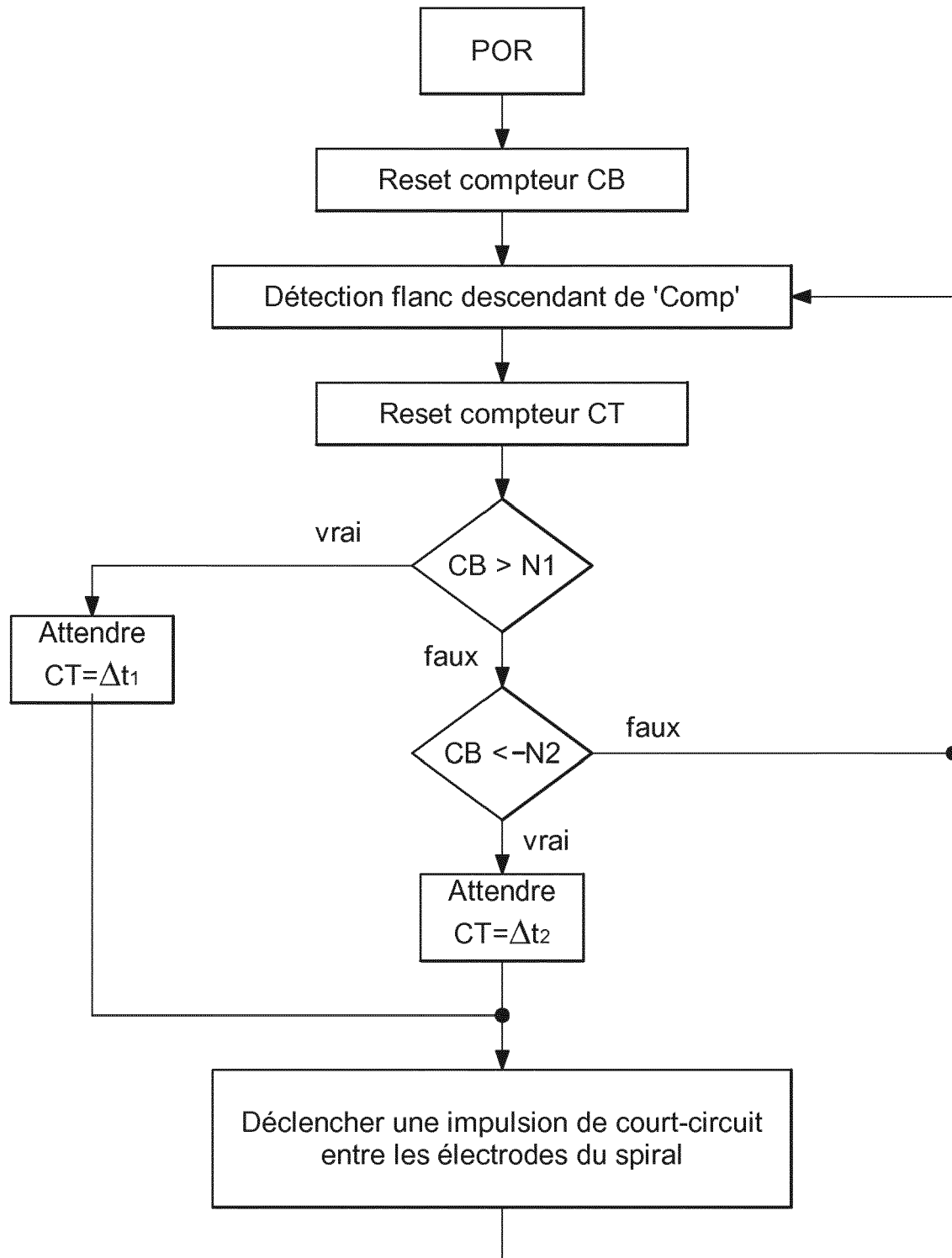


Fig. 9

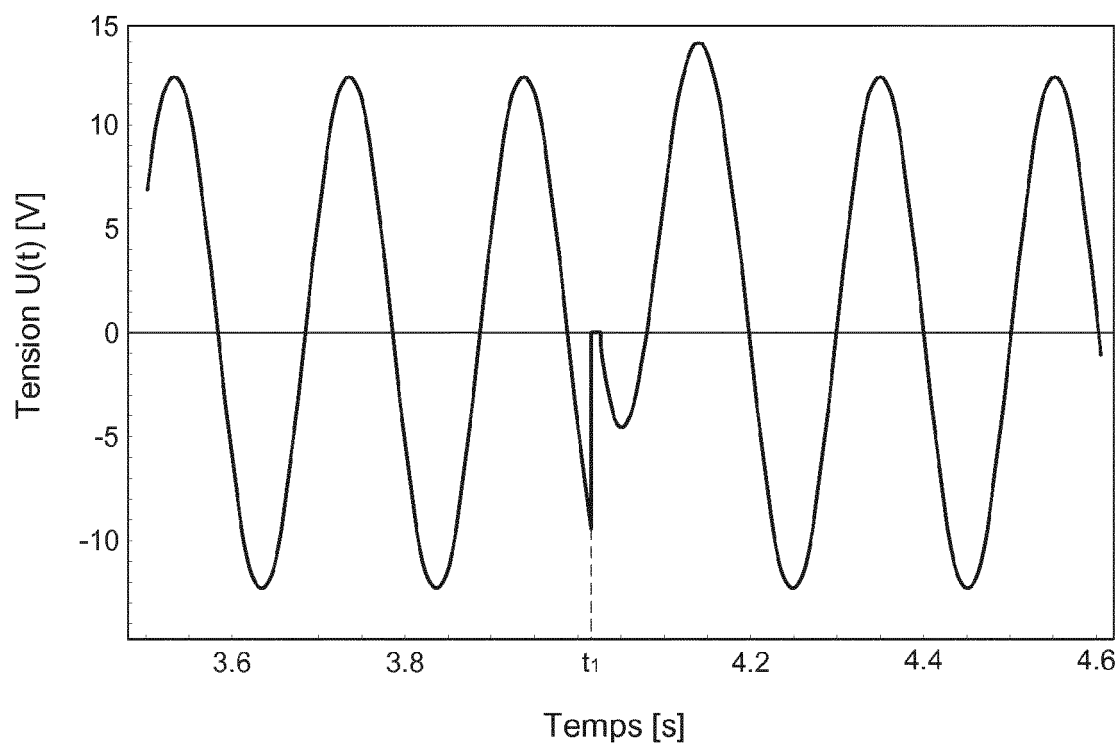
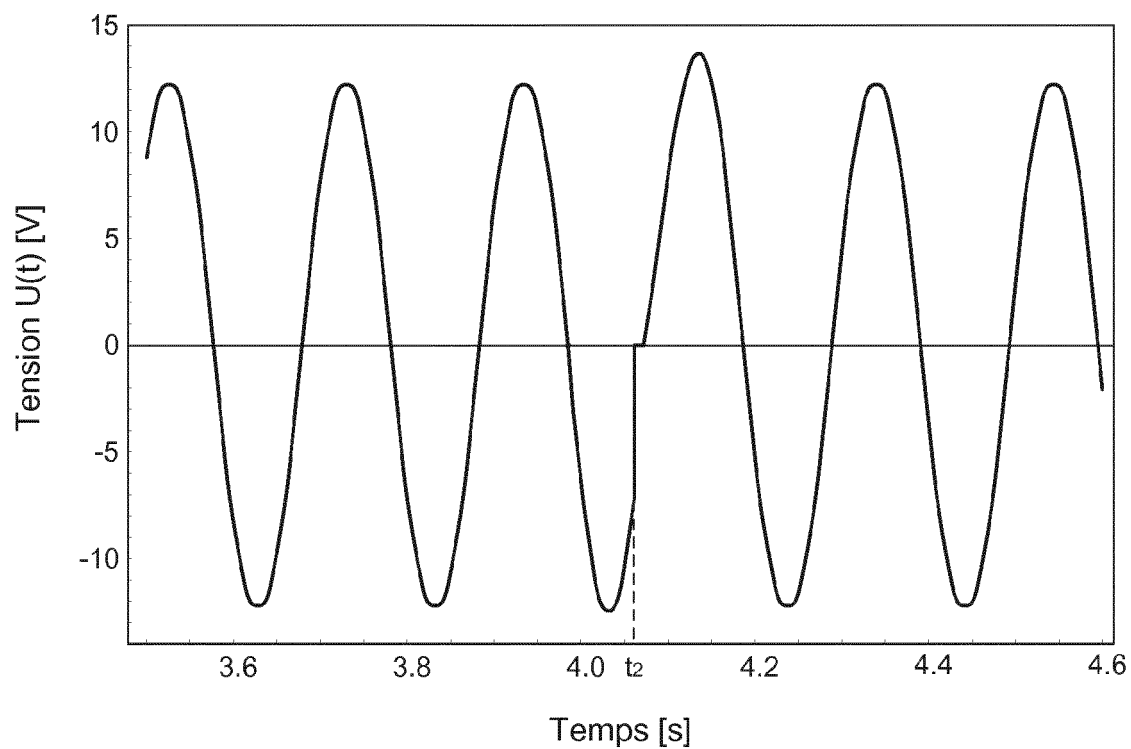


Fig. 10





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 18 16 2191

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	EP 2 590 035 A1 (SWATCH GROUP RES & DEV LTD [CH]) 8 mai 2013 (2013-05-08) * alinéas [0019] - [0025] * * alinéas [0029], [0030] * * alinéas [0034], [0035] * * figures 1-3 *	1-7	INV. G04C3/04 G04B17/06
A	EP 1 164 441 A1 (SEIKO INSTR INC [JP]) 19 décembre 2001 (2001-12-19) * alinéas [0083] - [0109] * * figures 8, 9, 12-14 *	1-4	
A	CH 710 603 A2 (SIGATEC SA [CH]) 15 juillet 2016 (2016-07-15) * abrégé; figures 1-11 *	5-7	
A	CH 709 279 A2 (SWATCH GROUP RES & DEV LTD [CH]) 28 août 2015 (2015-08-28) * abrégé * * alinéas [0063], [0078] *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04C G04B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		27 septembre 2018	Pirozzi, Giuseppe
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 18 16 2191

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.

27-09-2018

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2590035 A1	08-05-2013	AUCUN	
EP 1164441 A1	19-12-2001	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
CH 710603 A2	15-07-2016	AUCUN	
CH 709279 A2	28-08-2015	AUCUN	

EPO FORM P0460

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- US 20130051191 A [0003]
- US 20150051191 A [0007]