



(11) **EP 4 130 890 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
27.03.2024 Bulletin 2024/13

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
G04B 17/06 ^(2006.01) **G04B 17/28** ^(2006.01)
G04B 17/26 ^(2006.01) **G04B 17/20** ^(2006.01)
G04C 3/12 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **21189581.8**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
G04B 17/066; G04B 17/20; G04B 17/26;
G04B 17/28; G04C 3/12

(22) Date de dépôt: **04.08.2021**

(54) **MOUVEMENT HORLOGER MUNI D'UN OSCILLATEUR COMPRENANT UN SPIRAL
PIÉZOÉLECTRIQUE**

UHRWERK MIT OSZILLATOR, DER EINE PIEZOELEKTRISCHE SPIRALFEDER ENTHÄLT

TIMEPIECE MOVEMENT PROVIDED WITH AN OSCILLATOR COMPRISING A PIEZOELECTRIC
HAIRSPRING

(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

- **DIDIER, Alexandre**
3235 Erlach (CH)
- **HAEMMERLI, Alexandre**
2000 Neuchâtel (CH)

(43) Date de publication de la demande:
08.02.2023 Bulletin 2023/06

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

(73) Titulaire: **The Swatch Group Research and
Development Ltd**
2074 Marin (CH)

(56) Documents cités:
EP-A1- 3 540 528 EP-A1- 3 629 103
EP-A1- 4 099 100 US-B2- 8 721 169

(72) Inventeurs:
• **IMBODEN, Matthias**
2072 St-Blaise (CH)

EP 4 130 890 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

Domaine technique de l'invention

[0001] La présente invention concerne un mouvement horloger comprenant un barillet et un affichage analogique de l'heure, qui est entraîné par le barillet via un rouage, ainsi qu'un balancier-spiral pour commander la marche du mouvement horloger. Le spiral est du type piézoélectrique avec des électrodes agencées sur les deux surfaces latérales. L'invention concerne également une montre incorporant un tel mouvement horloger et une source d'énergie électrique.

Arrière-plan technologique

[0002] On connaît du brevet US 8,721,169 un mouvement horloger comprenant un oscillateur du type balancier-spiral avec un spiral piézoélectrique muni d'électrodes reliées à une capacité variable pour pouvoir varier la rigidité du spiral et ainsi ajuster sa fréquence propre pour augmenter la précision de l'affichage de l'heure.

[0003] Les demandes de brevet EP 3 540 528 et EP 3 629 103 décrivent respectivement un procédé de régulation de la fréquence moyenne d'un balancier-spiral et un procédé de synchronisation de la fréquence d'un balancier-spiral en utilisant un spiral piézoélectrique relié à une unité électronique de commande munie d'un oscillateur à quartz.

Résumé de l'invention

[0004] La présente invention a pour objectif de modifier un mouvement horloger du type mécanique par l'incorporation d'un système électronique permettant d'augmenter sa précision de marche, sans pour autant renoncer à un balancier-spiral pour cadencer la marche du mouvement horloger, notamment l'entraînement de son dispositif d'affichage analogique. De plus, la présente invention se propose de modifier le mouvement horloger de manière qu'il demeure fonctionnel même lorsque le système électronique est inactif, notamment par manque d'énergie électrique à disposition.

[0005] L'invention a pour objet un mouvement horloger comprenant un affichage analogique de l'heure, un rouage, un barillet en relation cinématique avec l'affichage analogique via le rouage, et un oscillateur formé d'un résonateur, comprenant un balancier et un spiral piézoélectrique, et d'un échappement mécanique couplant le balancier au rouage, le spiral piézoélectrique étant formé au moins partiellement d'un matériau piézoélectrique et comprenant au moins deux électrodes dont au moins une électrode est reliée à un circuit électronique de commande, le matériau piézoélectrique et ladite au moins une électrode étant agencés de manière à permettre l'application, gérée par le circuit électronique de commande, d'une contrainte électrique sur le spiral piézoélectrique. Ensuite, le mouvement horloger est configuré de sorte

que le barillet est capable d'entraîner l'affichage analogique et d'entretenir seul une oscillation fonctionnelle de l'oscillateur avec une première amplitude qui est notamment fonction de l'orientation spatiale du mouvement horloger. De plus, le circuit électronique de commande est agencé pour pouvoir être relié à une source d'énergie électrique et pouvoir commander l'application d'une tension électrique à ladite au moins une électrode de manière à générer des impulsions électriques motrices pour l'oscillateur qui lui fournissent une énergie suffisante pour permettre une oscillation fonctionnelle de cet oscillateur, pour chaque orientation spatiale du mouvement horloger, avec une deuxième amplitude qui est supérieure à une valeur nominale maximale de la première amplitude pour cette orientation spatiale.

[0006] Selon un mode de réalisation préféré, le circuit électronique de commande est agencé pour commander ladite application d'une tension électrique de manière à maintenir la deuxième amplitude sensiblement constante pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet. A cet effet, dans une variante particulière, le circuit électronique de commande comprend un circuit de détection de l'amplitude d'une tension induite dans le spiral piézoélectrique et une boucle de rétroaction pour maintenir cette amplitude à une valeur de consigne donnée, permettant ainsi de réguler l'amplitude de l'oscillation du résonateur.

[0007] Dans une variante avantageuse, ladite valeur nominale maximale est inférieure ou égale à 300° pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et ladite deuxième amplitude est supérieure à 300° pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet.

[0008] L'invention concerne aussi une montre dans laquelle est incorporée une source d'énergie qui est formée par un générateur d'électricité agencé pour pouvoir collecter une énergie externe et la transformer en énergie électrique, de manière à permettre une alimentation du circuit électronique de commande et du spiral piézoélectrique.

[0009] Grâce aux caractéristiques de l'invention, la précision de la montre incorporant le mouvement selon l'invention peut être augmentée, en particulier grâce à une grande amplitude pour l'oscillation du balancier qui peut être maintenue par les impulsions électriques motrices fournies à l'oscillateur électromécanique via le spiral piézoélectrique. Ensuite, le mode de réalisation préféré permet premièrement de compenser une diminution du couple de force fourni par le barillet, de sorte à maintenir sensiblement constant la puissance d'entretien de l'oscillation pour chaque orientation spatiale du mouvement horloger, respectivement de la montre qui l'incorpore. Ainsi, la variation de fréquence de l'oscillateur intervenant généralement dans un mouvement mécanique classique à cause de la variation du couple de force fourni par le barillet au cours du temps est éliminée dans ce mode de réalisation préféré. De plus, ce mode de réalisation préféré permet d'éliminer une différence d'ampli-

tude pour différentes positions spatiales du mouvement horloger, respectivement de la montre qui l'incorpore. Finalement, le mode de réalisation préféré permet d'éviter des variations de la marche du mouvement horloger pouvant survenir pour d'autres raisons dans des mouvements mécaniques classiques, à savoir le vieillissement des huiles, des points durs dans le rouage ou une demande de couple momentanément accrue, comme lors du passage d'un quantième au suivant, etc. Ainsi, la présente invention permet de résoudre de manière efficace les divers problèmes pouvant intervenir dans des mouvements horlogers mécaniques et conduisant à une perte de l'isochronisme, laquelle a pour conséquence une dérive temporelle dans l'affichage de l'heure courante.

Brève description des figures

[0010] L'invention sera décrite ci-après de manière plus détaillée à l'aide des dessins annexés, donnés à titre d'exemples nullement limitatifs, dans lesquels :

- la Figure 1 est une vue en perspective d'un mode de réalisation d'un mouvement horloger selon l'invention (sans la masse oscillante prévue pour remonter le barillet) ;
- la Figure 2 est une vue de dessous du mouvement horloger de la Figure 1, duquel le pont de balancier et la raquetterie ont été enlevés ;
- la Figure 3 est une vue agrandie et schématique du résonateur formant l'oscillateur électromécanique incorporé dans le mode de réalisation du mouvement horloger de la Figure 1 ;
- la Figure 4 est coupe transversale du spiral piézoélectrique formant le résonateur de la Figure 3 ;
- la Figure 5 montre schématiquement une montre selon l'invention incorporant un mouvement horloger selon l'invention, cette montre étant représentée ici dans un premier état de fonctionnement principal ;
- la Figure 6 représente la montre de la Figure 6 alors qu'elle est dans un deuxième état de fonctionnement principal ; et
- la Figure 7 est une représentation schématique du circuit électronique de commande de l'oscillateur électromécanique incorporé dans le mode de réalisation préféré de l'invention.

Description détaillée de l'invention

[0011] En référence aux Figures on décrira divers modes de réalisation d'un mouvement horloger selon l'invention, ainsi que l'agencement général d'une montre selon l'invention.

[0012] Le mouvement horloger 2 comprend un affichage analogique 4 de l'heure, un rouage 6, un barillet 8 entraînant l'affichage analogique via le rouage, et un oscillateur électromécanique 10 formé d'un résonateur 12, comprenant un balancier 14 et un spiral piézoélectrique 16, et d'un échappement mécanique 18 couplant le balancier au rouage. Le mouvement horloger est muni d'une masse oscillante 24 (non représentée aux Figures 1 et 2, mais aux Figures 5 et 6) servant à remonter le barillet. Le balancier est pivoté dans un pont de balancier 26, ce pont portant une raquetterie 28 servant au réglage de la fréquence d'oscillation du résonateur 12, comme ceci est usuel dans les mouvements mécaniques horlogers.

[0013] De manière générale, le spiral piézoélectrique est formé au moins partiellement d'un matériau piézoélectrique et comprend au moins deux électrodes dont au moins une est reliée à un circuit électronique de commande 20. A la Figure 3 sont représentés le résonateur 12 et le circuit électronique de commande 20 auquel deux électrodes externes 68 et 69 du spiral piézoélectrique 16 sont reliés par deux liaisons électriques 21A et 21B. Une coupe transversale du spiral piézoélectrique 16 est représentée à la Figure 4 de manière nullement limitative. Ce spiral comprend un corps central 60 en silicium, une couche d'oxyde de silicium 62 déposée en surface du corps central de manière à compenser thermiquement le spiral, une première couche conductrice 64 déposée sur la couche d'oxyde de silicium, et un matériau piézoélectrique 66 déposé sous forme d'une couche piézoélectrique 66 sur la première couche conductrice 64. 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 première couche conductrice et perpendiculairement à celle-ci. Deux électrodes externes 68 et 69, formées par une deuxième couche conductrice partielle sur la couche piézoélectrique, sont agencées respectivement des deux côtés latéraux du spiral et sont reliées à deux bornes respectives 70 et 71 du circuit électronique de commande 20. Ainsi, la couche piézoélectrique 66 comprend une première partie 74A et une deuxième partie 74B qui s'étendent respectivement sur les deux côtés latéraux du corps central 60 et qui présentent, de par leur croissance depuis la première couche conductrice 64, des structures cristallographiques respectives qui sont symétriques relativement à un plan médian 76 parallèle à ces deux côtés latéraux. Ainsi, dans les deux parties latérales 74A et 74B, la couche piézoélectrique 66 présente deux axes piézoélectriques respectifs 78A et 78B perpendiculaires à cette couche piézoélectrique et de sens opposés.

[0014] Pour une même contrainte mécanique globale exercée sur le spiral piézoélectrique 16 (spiral en contraction ou en extension relativement à sa position de repos), une inversion du signe de la tension induite intervient entre l'électrode interne 64, formée par la première couche conductrice, et chacune des deux électrodes latérales externes 68 et 69 étant donné que, lorsque

le spiral se contracte ou s'étend depuis sa position de repos, il y a une inversion de la contrainte mécanique dans les première et deuxième parties latérales 74A et 74B, c'est-à-dire que l'une de ces deux parties subit une compression alors que l'autre de ces parties subit une élévation / traction, et inversement.

[0015] Il résulte des considérations précédentes que des tensions induites locales dans les première et deuxième parties 74A, 74B de la couche piézoélectrique présentent, selon un axe géométrique perpendiculaire aux deux côtés latéraux, une même polarité, de sorte qu'une seule électrode interne commune 64 est suffisante, cette électrode interne commune s'étendant des deux côtés latéraux du corps central 60. On peut donc récupérer une tension induite entre les deux électrodes externes 68 et 69, laquelle correspond à l'addition des deux tensions induites locales (en valeurs absolues) qui sont générées respectivement dans les première et deuxième parties 74A et 74B de la couche piézoélectrique 66. Il résulte également de ces considérations qu'on peut appliquer une certaine tension entre les deux électrodes 68 et 69 pour contraindre activement le spiral lors d'une excitation du résonateur 12 et notamment lui fournir des impulsions motrices. On remarquera que l'électrode interne, formée de la première couche conductrice 64, n'a pas besoin d'une liaison électrique propre avec le circuit électronique de commande 20 ou à la masse du mouvement horloger, bien que ceci ne soit pas exclu.

[0016] Dans le cadre de l'invention, le matériau piézoélectrique 66 et les deux électrodes 68 et 69 sont agencés de manière à permettre l'application, commandée par le circuit électronique de commande 20, d'une contrainte électrique sur le spiral piézoélectrique de manière à fournir au résonateur 12 des impulsions motrices qui participent au moins en partie à l'entretien d'une oscillation fonctionnelle de ce résonateur, de préférence avec une amplitude sensiblement constante. A cet effet, le circuit électronique de commande 20 est agencé pour pouvoir être relié à une source d'énergie électrique 30 et pouvoir commander l'application d'une tension électrique entre les électrodes externes 68 et 69, de manière à générer des impulsions motrices pour le résonateur 12. De manière générale, selon l'invention, le circuit électronique de commande est agencé pour pouvoir gérer l'application d'une tension électrique à au moins une des deux électrodes externes 68 et 69, de manière à générer des impulsions motrices pour l'oscillateur électromécanique 10 via le spiral piézoélectrique contraint par la tension électrique appliquée, de sorte à fournir une énergie électrique à cet oscillateur qui soit suffisante pour que le résonateur 12 puisse avoir une oscillation fonctionnelle avec une amplitude supérieure à une valeur nominale maximale pour l'amplitude d'une oscillation fonctionnelle de ce résonateur, pour chaque orientation spatiale du mouvement horloger, en l'absence d'impulsions motrices d'origine électrique.

[0017] En particulier, il est prévu de fournir des impulsions électriques motrices à l'oscillateur électromécani-

que 10, c'est-à-dire des impulsions d'énergie, qui permettent soit d'entretenir une oscillation fonctionnelle du résonateur 12, soit de participer à l'entretien d'une telle oscillation fonctionnelle. La fréquence de ces impulsions motrices dépend notamment de leur durée et de leur tension électrique. En particulier, de telles impulsions motrices peuvent être dimensionnées de manière qu'elles interviennent une fois lors de chaque alternance ou une fois par période de l'oscillation du résonateur.

[0018] Les Figures 5 et 6 représentent schématiquement une montre 22 selon l'invention comprenant un mouvement horloger selon l'invention. Les parties du mouvement horloger déjà décrites ne seront pas nouveau décrites ici en détails. La montre 22 comprend une source d'énergie électrique 30 qui est formée par un générateur d'électricité agencé pour produire de l'électricité de sorte à permettre une alimentation du circuit électronique de commande 20 et du spiral piézoélectrique. Dans la variante représentée, le générateur d'électricité est relié à une unité de stockage, notamment une batterie rechargeable ou une super-capacité, via un circuit de gestion de la puissance électrique fournie au circuit électronique de commande 20 et à l'oscillateur électromécanique 10. En particulier, on notera que la tension nécessaire pour alimenter le spiral piézoélectrique est située dans une plage de tension entre 10 V et 40 V. Une telle tension est largement supérieure aux tensions de batterie incorporées généralement dans des montres et aussi bien supérieure aux tensions fournies par des cellules solaires du type horloger. Ainsi, le circuit de gestion de la puissance électrique est agencé pour pouvoir augmenter la tension accumulée dans l'unité de stockage ou fournie directement par le générateur d'électricité. A cet effet, il comprend un élévateur de tension, par exemple une pompe de charges.

[0019] Divers types de générateurs électriques peuvent être prévus, en particulier au moins une cellule solaire agencée au niveau du cadran de la montre ou de la lunette de cette montre. Dans une autre réalisation, il est prévu une thermopile qui reçoit comme énergie extérieure à la montre une énergie thermique provenant du bras de l'utilisateur. La thermopile est ainsi agencée de manière à pouvoir convertir de la chaleur du corps d'un utilisateur en électricité. Cette dernière variante est particulièrement intéressante car elle permet d'activer une alimentation en énergie électrique de l'oscillateur électromécanique, pour augmenter son amplitude d'oscillation selon l'invention et permettre une amélioration de sa précision comme ceci sera exposé plus en détails par la suite, lorsque la montre est portée et donc sujette à subir des variations de son orientation spatiale. Lorsque la montre n'est pas portée et que l'alimentation électrique n'est pas active, cette montre peut être laissée dans une position stable de sorte que l'amplitude d'oscillation et ainsi la fréquence de l'oscillateur électromécanique ne sont plus perturbés par des variations d'orientation de la montre. Par contre, l'alimentation électrique est active et le circuit électrique de commande est opérationnel lors-

que la montre est portée, à savoir lorsque l'amplitude et ainsi la fréquence d'un mouvement mécanique classique varient en fonction de l'orientation spatiale de la montre. Dans cette situation, la présente invention permet généralement d'améliorer la marche de la montre et, dans un mode de réalisation préféré qui sera décrit plus en détails par la suite, de maintenir constante l'amplitude d'oscillation de l'oscillateur électromécanique pour toute orientation spatiale et tout niveau d'armage du barillet qui est suffisant à l'entraînement du dispositif d'affichage analogique. Finalement, on notera que dans un autre mode de réalisation, la montre selon l'invention ne comprend pas de générateur électrique qui la rend autonome, mais elle comprend alors une batterie sous forme de pile.

[0020] A la Figure 5 est représenté un premier état principal prévu lors du fonctionnement de la montre 22, en particulier du mouvement horloger 2 qu'elle incorpore. Dans ce premier état principal de fonctionnement, la source d'énergie électrique 30 n'a pas suffisamment d'énergie électrique du générateur d'électricité pour alimenter correctement le spiral piézoélectrique, de sorte que le circuit électronique de commande 20 ne génère pas d'impulsions électriques motrices. Dans ce premier état, le mouvement horloger 2 se comporte donc comme un mouvement mécanique classique. L'échappement 18 est un échappement usuel qui est non seulement compteur mais aussi agencé pour permettre au barillet, via un rouage, de fournir des impulsions mécaniques d'entretien au résonateur 12 pour obtenir une oscillation fonctionnelle de ce dernier. Le mouvement horloger est donc configuré de sorte que le barillet est capable d'entraîner l'affichage analogique 4 de la montre 22 et d'entretenir seul une oscillation fonctionnelle de l'oscillateur avec une première amplitude qui est notamment fonction de l'orientation spatiale du mouvement horloger.

[0021] Dans le premier état principal de fonctionnement, la fréquence d'oscillation du résonateur va donc varier en fonction de l'orientation spatiale du mouvement horloger et en général aussi du niveau d'armage du barillet. Il est connu que lorsque le couple de force fourni par le barillet diminue, l'amplitude de l'oscillation du résonateur diminue également et ceci de manière importante dans le dernier tiers de la réserve de marche. Une diminution d'amplitude engendre généralement une diminution de la fréquence d'oscillation et la précision de la marche en est donc affectée. De plus, l'amplitude varie en fonction de l'orientation du mouvement horloger (plus particulièrement du résonateur), de sorte que ce premier état n'est donc pas idéal mais utile dans le cadre de la présente invention qui a notamment pour objectif de maintenir fonctionnel le mouvement horloger en l'absence d'alimentation électrique suffisante. Ce premier état est en particulier prévu pour une situation où la montre concernée n'est pas portée et laissée avantageusement dans une position donnée favorable. On limite ainsi la variation de fréquence du résonateur puisqu'aucune va-

riation d'amplitude due à des changements d'orientation de ce résonateur n'intervient.

[0022] A la Figure 6 est représenté un deuxième état principal prévu lors du fonctionnement de la montre 22, en particulier du mouvement horloger 2. Dans ce deuxième état principal de fonctionnement, la source d'énergie électrique 30 de la montre comprend suffisamment d'énergie électrique stockée ou elle reçoit suffisamment d'énergie électrique du générateur d'électricité pour alimenter correctement le spiral piézoélectrique, de sorte que le circuit électronique de commande 20 génère alors des impulsions électriques motrices. Ainsi, le circuit électronique de commande gère l'application d'une tension électrique à au moins une électrode des deux électrodes 68, 69 du spiral piézoélectrique en appliquant une tension électrique à au moins une des bornes correspondantes 70, 71 (voir Figures 4 et 7), de manière à générer des impulsions motrices pour l'oscillateur 10 qui lui fournissent une énergie suffisante pour permettre une oscillation fonctionnelle de l'oscillateur, pour chaque orientation spatiale du mouvement horloger, avec une deuxième amplitude qui est supérieure à une valeur nominale maximale de la première amplitude, mentionnée précédemment et intervenant dans le premier état principal, pour cette orientation spatiale.

[0023] Dans une première variante de réalisation, la valeur nominale maximale de la première amplitude est inférieure ou égale à 300° pour toute orientation spatiale du mouvement horloger, en particulier de son résonateur 12, et la deuxième amplitude est supérieure à 300° pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet.

[0024] Dans une deuxième variante de réalisation, la valeur nominale maximale de la première amplitude est comprise entre 240° et 300° pour toute orientation spatiale du mouvement horloger, en particulier de son résonateur 12, et la deuxième amplitude est prévue entre 305° et 330° pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet.

[0025] En augmentant l'amplitude d'oscillation de résonateur 10 par des moyens électriques, notamment lors du porter de la montre par un utilisateur comme indiqué précédemment, on augmente son énergie globale et ainsi sa capacité de résister à des accélérations dus notamment à des mouvements brusques, ceci sans augmenter la consommation d'énergie mécanique. La précision de l'affichage de l'heure en est améliorée. En particulier, si le deuxième état principal de fonctionnement est garanti lors du porter de la montre concernée, l'invention permet de prévoir un rapport d'engrenage entre le barillet et la roue d'échappement qui peut être supérieur à celui des mouvements mécaniques classiques, et donc d'augmenter la réserve de marche, tout en assurant une oscillation fonctionnelle de l'oscillateur 10 au moins lors de conditions stables, notamment en l'absence d'accélération comme lorsque la montre n'est pas portée, de préférence pour toute orientation spatiale de cette montre et donc du mouvement horloger mais pour le moins pour

une orientation donnée.

[0026] En fonction de la configuration de l'échappement mécanique, du niveau d'armage du barillet et de la puissance électrique fournie à l'oscillateur électromécanique 10, deux variantes de fonctionnement peuvent intervenir dans le deuxième état principal de la montre 22 décrit ci-avant. Dans la première variante, notamment à cause de l'inertie du rouage (y compris la roue d'échappement), l'entretien du résonateur 12 et aussi le mouvement alternatif de l'ancre de l'échappement mécanique sont substantiellement ou totalement assurés par l'alimentation électrique du spiral piézoélectrique, notamment par des impulsions électriques motrices. Dans ce cas, la vitesse d'entraînement de l'ancre par le balancier du résonateur 12 est trop élevée pour que la roue d'échappement puisse, lors de chaque pas de cette roue d'échappement après le dégagement de l'ancre, fournir un couple de force significatif à cette ancre. Dans la seconde variante, l'entretien du résonateur et le mouvement alternatif de l'ancre sont assurés conjointement par le barillet 8 et la source d'énergie électrique 30. On peut envisager qu'une montre selon l'invention ne présente que l'une ou l'autre de ces deux variantes dans son fonctionnement lorsque le deuxième état principal est activé. Cependant, dans une autre montre selon l'invention, la première variante et la seconde variante de fonctionnement interviennent à des moments différents, notamment en fonction du niveau d'armage du barillet et éventuellement de l'orientation spatiale de cette autre montre, en particulier de son résonateur.

[0027] En référence à la Figure 7, on décrira ci-après un mode de réalisation préféré de l'invention, dans lequel le circuit électronique de commande 20 est agencé pour pouvoir commander l'application d'une tension électrique au spiral piézoélectrique de manière à maintenir, dans le deuxième état principal du fonctionnement du mouvement horloger, l'amplitude de l'oscillation du résonateur 12 / oscillateur 14 sensiblement constante notamment pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet.

[0028] Dans ce mode de réalisation préféré, le circuit électronique de commande 20 comprend un détecteur de tension de crête 46, lequel est agencé pour pouvoir détecter sensiblement l'amplitude de la tension induite dans le spiral piézoélectrique 16 lorsque le résonateur 12 oscille, et un circuit de régulation 20A qui reçoit du détecteur de tension de crête un signal S_A relatif à l'amplitude de la tension induite et qui est agencé pour gérer une tension d'alimentation V_A , fournie au spiral piézoélectrique au travers d'une boucle à verrouillage de phase 20B, en fonction d'une valeur de consigne Sc pour le signal S_A fourni par le détecteur de tension de crête, de sorte à obtenir une oscillation du résonateur avec une amplitude sensiblement constante. La valeur de consigne Sc correspond à une amplitude de consigne prévue pour l'oscillation du résonateur 12. Le circuit de régulation 20A comprend des parties de traitement P, I, D agencées en parallèle et bien connues de la personne du mé-

tier, lesquelles traitent une différence entre la valeur de consigne Sc et la valeur du signal d'amplitude S_A par une réponse proportionnelle, respectivement en fonction d'une intégration et d'une dérivation de cette différence au cours du temps. Le circuit de régulation reçoit également une tension de référence V_R qui est ajustée en fonction de la régulation effectuée par le circuit 20A. Finalement, pour isoler le spiral piézoélectrique du détecteur de tension de crête et du circuit de régulation et éviter de perturber son alimentation électrique, un élément tampon 44 (transistor à haute impédance d'entrée) est prévu en amont du détecteur de tension de crête.

[0029] Dans une variante principale, la boucle à verrouillage de phase 20B asservit la phase du signal d'alimentation périodique sur la phase du signal de tension induite, fournie notamment à la borne 71, pour que la tension d'alimentation contraigne le spiral piézoélectrique dans le sens de son mouvement, lequel est soit en contraction, soit en extension selon l'alternance en cours. Par exemple, le circuit 20B détecte les passages par zéro de la tension induite, notamment à la borne 71. Ainsi, pour que les impulsions soient motrices, la polarité de la tension d'alimentation est sélectionnée de manière à contraindre le spiral piézoélectrique dans le sens de son mouvement, lequel est alternativement en extension et en contraction au cours des alternances de l'oscillation du résonateur.

[0030] Dans un mode de réalisation particulier, un oscillateur à quartz est associé au circuit électronique de commande 20. Cet oscillateur à quartz peut être utilisé pour divers besoins. En particulier, la gestion de la tension d'alimentation V_A peut comprendre une modulation des impulsions motrices avec un rapport de cycle variable en fonction du signal d'amplitude S_A et de la valeur de consigne Sc , notamment de leur différence. Dans une variante avantageuse de ce mode de réalisation particulier, les impulsions électriques motrices sont déclenchées avec une fréquence de consigne F_c pour l'oscillateur 10 / le résonateur 12 qui est déterminée de manière très précise par l'oscillateur à quartz. Si la fréquence F_s du signal d'alimentation n'est pas trop éloignée de la fréquence de résonance du résonateur, à savoir de sa fréquence naturelle F_N , une telle alimentation du spiral piézoélectrique peut imposer la fréquence de consigne au résonateur 12 entretenu, en partie ou totalement, par les impulsions électriques motrices, de sorte que l'oscillateur électromécanique 10 va pouvoir osciller à la fréquence de consigne, avec la précision du quartz, et une amplitude supérieure à celle correspondante dans le premier état principal de fonctionnement, et notamment supérieure à une valeur limite donnée, quelle que soit l'orientation spatiale du mouvement horloger. L'oscillateur à quartz, plus généralement l'oscillateur électronique est dans ce système un oscillateur maître et l'oscillateur électromécanique est un oscillateur esclave. L'oscillateur électromécanique est asservi à l'oscillateur électronique de manière indirecte, au travers de la génération des impulsions électriques motrices fournies à l'oscilla-

teur électromécanique dont le déclenchement est commandé / déterminé par l'oscillateur électronique. De manière générale, pour pouvoir imposer la fréquence de consigne à l'oscillateur électromécanique via les impulsions électriques motrices, ces dernières sont fournies à la fréquence de consigne F_c , à une harmonique de cette fréquence de consigne, par exemple au double de la fréquence de consigne ($F_s = 2 \cdot F_c$), ou à une fréquence moindre $F_s = 2 \cdot F_c / N$ avec N égal à un nombre entier supérieur à deux ($N > 2$). Ce nombre N doit être prévu suffisamment petit, en fonction notamment de la plage de valeurs possibles pour la fréquence naturelle F_N de l'oscillateur électromécanique et aussi de la quantité d'énergie électrique à fournir à cet oscillateur électromécanique pour avoir une amplitude d'oscillation augmentée et avantageusement maintenue au-dessus d'une valeur limite prédéterminée.

[0031] La variante avantageuse décrite ci-dessus peut être aisément implémentée pour obtenir un gain en précision pour la marche du mouvement horloger dans le deuxième état principal de fonctionnement, et donc de la montre qui l'incorpore, quasi sans augmentation de la consommation électrique liée à l'entretien, partiel ou total, d'une oscillation à relativement grande amplitude. On notera que, dans cette variante avantageuse, le circuit d'alimentation n'a pas besoin de comprendre une boucle à verrouillage de phase pour la commande des impulsions motrices ; ce qui simplifie son design. Toutefois, dans le cas où l'entretien de l'oscillateur électromécanique est assuré conjointement par le barillet (via l'échappement mécanique) et par le circuit électronique de commande via les impulsions électriques appliquées au spiral piézoélectrique, une détection périodique de la phase de l'oscillateur électromécanique, en particulier de passages par zéro de la tension induite dans le spiral piézoélectrique par un circuit de détection de tels passages par zéro, peut s'avérer utile pour pouvoir gérer de manière efficace au moins une période de fonctionnement initiale, en diminuant notamment sa durée, avant une période de synchronisation où la fréquence et la phase des impulsions électriques périodiques s'imposent à l'oscillateur électromécanique, de sorte que des impulsions motrices interviennent sensiblement aux passages du résonateur par sa position de repos. De manière générale, dans la variante avantageuse, le circuit électronique de commande est donc associé à un oscillateur à quartz et agencé de manière à engendrer les impulsions électriques motrices avec une fréquence d'alimentation spécifique qui est déterminée par l'oscillateur à quartz et qui est fonction d'une fréquence de consigne pour l'oscillateur électromécanique, lequel est configuré de sorte que sa fréquence d'oscillation naturelle reste dans une plage de valeurs, pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet, suffisamment proche de la fréquence de consigne pour permettre aux impulsions électriques motrices d'imposer, au moins après une période de fonctionnement initiale et en l'absence de perturbations trop importantes, la fréquence de

consigne F_c à l'oscillateur électromécanique 10, en ayant une oscillation fonctionnelle de cet l'oscillateur électromécanique à la deuxième amplitude mentionnée précédemment, de préférence constante.

[0032] En combinant la variante avantageuse susmentionnée avec le mode de réalisation préféré du circuit électronique de commande 20 décrit précédemment, on a une sorte de double régulation de la fréquence d'oscillation de l'oscillateur électromécanique dans le deuxième état principal de fonctionnement, à savoir une première régulation en amplitude qui tend à maintenir constante l'amplitude d'oscillation, quelle que soit l'orientation spatiale du mouvement horloger, diminuant ainsi la variation de la fréquence naturelle du résonateur en lien avec l'orientation spatiale du mouvement horloger, de sorte que cette fréquence naturelle reste proche de la fréquence de consigne F_c pour toute orientation spatiale possible dès qu'un réglage initial est opéré correctement, et une seconde régulation obtenue par la génération d'impulsions électriques motrices à une fréquence d'alimentation F_s définie précédemment, de préférence $F_s = 2 \cdot F_c / N$ avec N égal à un nombre entier non nul, ou plus généralement avec des intervalles de temps entre les impulsions électriques motrices dont la valeur D_T est égale à un nombre entier N multiplié par la moitié de la période de consigne T_c ($T_c = 1 / F_c$), soit une relation mathématique $D_T = N \cdot T_c / 2$ avec N supérieur à zéro. Le nombre N , qui peut être variable, est sélectionné dans une plage de valeurs permettant d'imposer la fréquence de consigne F_c à l'oscillateur électromécanique, cette plage de valeurs étant fonction de la plage de fréquences naturelles possibles pour cet oscillateur, laquelle est maintenue suffisamment proche de la fréquence de consigne grâce à la première régulation susmentionnée.

[0033] Ainsi, comme la première régulation en amplitude permet de minimiser un écart maximal entre la fréquence naturelle F_N de l'oscillateur électromécanique et la fréquence de consigne F_c , quelle que soit l'orientation du mouvement horloger, la seconde régulation par un signal d'alimentation périodique déterminé par l'oscillateur à quartz, en particulier par des impulsions électriques motrices à la fréquence de consigne F_c , est garantie avec une amplitude fonctionnelle relativement grande, pour autant que le nombre N ne soit pas trop élevé. On a ainsi une précision de la marche du mouvement horloger qui est égale à celle de l'oscillateur à quartz pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet dans le deuxième état principal de fonctionnement.

[0034] La variante avantageuse du mode de réalisation particulier peut, dans une autre implémentation, ne pas être combinée au mode de réalisation préféré du circuit électronique de commande, de sorte que la régulation en amplitude n'est pas prévue et la fréquence de l'oscillateur électromécanique est imposée, au moins après une phase de fonctionnement initiale, par la génération d'impulsions électriques motrices à une fréquence d'alimentation F_s définie précédemment. Dans ce cas,

pour que la fréquence des impulsions électriques motrices permette d'imposer la fréquence de consigne F_c à l'oscillateur électromécanique, ces impulsions électriques motrices sont de préférence dimensionnées pour que leur fréquence corresponde à un nombre N petit, par exemple $N=1$ ou $N=2$. A noter qu'un nombre N pair est préférable car la tension d'alimentation peut alors conserver une même polarité. Dans une variante simplifiée, le circuit d'alimentation ne comprend pas de circuit de détection de passage par zéro de la tension induite.

Revendications

1. Mouvement horloger (2) comprenant un affichage analogique (4) de l'heure, un rouage (6), un barillet (8) en relation cinématique avec l'affichage analogique via le rouage, et un oscillateur (10) formé d'un résonateur (12), comprenant un balancier (14) et un spiral piézoélectrique (16), et d'un échappement mécanique (18) couplant le balancier au rouage, le spiral piézoélectrique étant formé au moins partiellement d'un matériau piézoélectrique (66) et comprenant au moins deux électrodes (68, 69) dont au moins une électrode est reliée à un circuit électronique de commande (20), le matériau piézoélectrique et ladite au moins une électrode étant agencés de manière à permettre l'application, gérée par le circuit électronique de commande, d'une contrainte électrique sur le spiral piézoélectrique, le mouvement horloger étant configuré de sorte que le barillet est capable d'entraîner l'affichage analogique et d'entretenir tout seul une oscillation fonctionnelle de l'oscillateur avec une première amplitude qui est notamment fonction de l'orientation spatiale du mouvement horloger ; le circuit électronique de commande (20) étant agencé pour pouvoir être relié à une source d'énergie électrique (30) ; **caractérisé en ce que** le circuit électronique de commande (20) est agencé pour pouvoir commander l'application d'une tension électrique à ladite au moins une électrode de manière à générer des impulsions électriques motrices pour l'oscillateur qui lui fournissent une énergie suffisante pour permettre une oscillation fonctionnelle de cet oscillateur, pour chaque orientation spatiale du mouvement horloger, avec une deuxième amplitude qui est supérieure à une valeur nominale maximale de la première amplitude pour cette orientation spatiale.
2. Mouvement horloger selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le circuit électronique de commande (20) est agencé pour commander ladite application d'une tension électrique de manière à maintenir la deuxième amplitude sensiblement constante pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet.

3. Mouvement horloger selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le circuit électronique de commande (20) comprend un détecteur de tension de crête (46), lequel est agencé pour pouvoir détecter sensiblement l'amplitude d'une tension induite dans le spiral piézoélectrique (16) lorsque le résonateur (12) oscille, et un circuit de régulation (20A) qui reçoit du détecteur de tension de crête un signal (S_A) relatif à l'amplitude de la tension induite et qui est agencé pour pouvoir gérer une tension d'alimentation (V_A) en fonction d'une valeur de consigne (Sc) pour ledit signal fourni par le détecteur de tension de crête, de sorte à obtenir une oscillation du résonateur avec une amplitude sensiblement constante.
4. Mouvement horloger selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le circuit électronique de commande est associé à un oscillateur à quartz que comprend ce mouvement horloger, le circuit électronique de commande étant agencé de manière à engendrer lesdites impulsions électriques motrices avec une fréquence d'alimentation spécifique qui est déterminée par l'oscillateur à quartz et fonction d'une fréquence de consigne pour l'oscillateur électromécanique (10), lequel est configuré de sorte que sa fréquence d'oscillation naturelle reste dans une plage de valeurs, pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet, suffisamment proche de la fréquence de consigne pour permettre aux impulsions électriques motrices d'imposer la fréquence de consigne à l'oscillateur électromécanique tout en ayant une oscillation fonctionnelle à ladite deuxième amplitude.
5. Mouvement horloger selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** le circuit électronique de commande est associé à un oscillateur à quartz que comprend ce mouvement horloger, le circuit électronique de commande étant agencé de manière à engendrer lesdites impulsions électriques motrices avec une fréquence d'alimentation spécifique qui est déterminée par l'oscillateur à quartz et fonction d'une fréquence de consigne pour l'oscillateur électromécanique (10), lequel est configuré de sorte que sa fréquence d'oscillation naturelle reste dans une plage de valeurs, pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet, suffisamment proche de la fréquence de consigne pour permettre aux impulsions électriques motrices d'imposer la fréquence de consigne à l'oscillateur électromécanique tout en ayant une oscillation fonctionnelle à ladite deuxième amplitude sensiblement constante.
6. Mouvement horloger selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ladite valeur nominale maximale est inférieure ou égale à 300° pour toute orientation spatiale du mouvement horlo-

ger, et ladite deuxième amplitude est supérieure à 300° pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet.

7. Mouvement horloger selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** ladite valeur nominale maximale est comprise entre 240° et 300° pour toute orientation spatiale du mouvement horloger, et ladite deuxième amplitude est prévue entre 305° et 330° pour toute orientation spatiale du mouvement horloger et tout niveau d'armage du barillet. 5 10
8. Montre (22) comprenant un mouvement horloger (2) selon une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la source d'énergie est incorporée dans cette montre et comprend un générateur d'électricité agencé pour pouvoir collecter une énergie externe et la transformer en énergie électrique, de manière à permettre une alimentation du circuit électronique de commande (20) et du spiral piézoélectrique (16). 15 20
9. Montre selon la revendication 8, **caractérisée en ce que** le générateur d'électricité comprend un capteur de lumière. 25
10. Montre selon la revendication 8, **caractérisée en ce que** le générateur d'électricité comprend une thermopile agencée de manière à pouvoir convertir de la chaleur du corps d'un utilisateur en électricité. 30

Patentansprüche

1. Uhrwerk (2) mit einer analogen Zeitanzeige (4), einem Räderwerk (6), einem über das Räderwerk kinematisch mit der analogen Anzeige verbundenen Federhaus (8) und einem aus einem Resonator (12) gebildeten Oszillator (10), der eine Unruh (14) und eine piezoelektrische Unruhfeder (16) sowie eine mechanische Hemmung (18) umfasst, die die Unruh mit dem Räderwerk verbindet, wobei die piezoelektrische Unruhspirale zumindest teilweise aus einem piezoelektrischen Material (66) und mindestens zwei Elektroden (68, 69) aufweist, von denen mindestens eine Elektrode mit einem elektronischen Steuerkreis (20) verbunden ist, wobei das piezoelektrische Material und die mindestens eine Elektrode so angeordnet sind, dass sie das Anlegen einer von dem elektronischen Steuerkreis gesteuerten elektrischen Spannung an die piezoelektrische Spiralfeder ermöglichen, wobei das Uhrwerk so konfiguriert ist, dass das Federhaus in der Lage ist, die analoge Anzeige zu steuern und allein eine funktionelle Schwingung des Oszillators mit einer ersten Amplitude aufrechtzuerhalten, die von der räumlichen Ausrichtung des Uhrwerks abhängt; der elektronische Steuerkreis (20) so beschaffen ist, dass sie mit einer elek- 35 40 45 50 55

trischen Energiequelle (30) verbunden werden kann; **dadurch gekennzeichnet, dass** der elektronische Steuerkreis (20) so beschaffen ist, dass sie das Anlegen einer elektrischen Spannung an die mindestens eine Elektrode steuern kann, um elektrische Antriebsimpulse für den Oszillator zu erzeugen, die ihn mit einer ausreichenden Energie versorgen, um eine funktionelle Schwingung dieses Oszillators für jede räumliche Ausrichtung des Uhrwerks mit einer zweiten Amplitude zu ermöglichen, die größer als ein maximaler Nennwert der ersten Amplitude für diese räumliche Ausrichtung ist.

2. Uhrwerk nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der elektronische Steuerkreis (20) so beschaffen ist, dass sie das Anlegen einer elektrischen Spannung so steuert, dass die zweite Amplitude für jede räumliche Ausrichtung des Uhrwerks und jede Aufzugshöhe des Federhauses im Wesentlichen konstant gehalten wird.
3. Uhrwerk nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der elektronische Steuerkreis (20) einen Spitzenspannungsdetektor (46) umfasst, der so beschaffen ist, dass er im Wesentlichen die Amplitude der induzierten Spannung in der piezoelektrischen Spiralfeder (16) erfassen kann, wenn der Resonator (12) schwingt, und eine Regelschaltung (20A), die von dem Spitzenspannungsdetektor ein Signal (S_A) empfängt, das sich auf die Amplitude der induzierten Spannung bezieht, und die so beschaffen ist, dass sie eine Versorgungsspannung (V_A) in Abhängigkeit von einem Sollwert (S_c) für das von dem Spitzenspannungsdetektor gelieferte Signal steuern kann, um eine Schwingung des Resonators mit einer im Wesentlichen konstanten Amplitude zu erhalten.
4. Uhrwerk nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die elektronische Steuerschaltung mit einem Quarzoszillator verbunden ist, der in diesem Uhrwerk enthalten ist, wobei die elektronische Steuerschaltung so eingerichtet ist, dass sie die elektrischen Antriebsimpulse mit einer spezifischen Versorgungsfrequenz erzeugt, die durch den Quarzoszillator bestimmt wird und von einer Sollfrequenz für den elektromagnetischen Oszillator (10) abhängt, die so konfiguriert ist, dass die Eigenschwingungsfrequenz somit für jede räumliche Ausrichtung des Uhrwerks und jede Aufzugshöhe des Federhauses in einem Wertebereich bleibt, der nahe genug an der Sollfrequenz liegt, um es den elektrischen Antriebsimpulsen zu ermöglichen, dem elektromechanischen Oszillator die Sollfrequenz aufzuzwingen und dabei eine funktionelle Schwingung mit der zweiten Amplitude zu haben.
5. Uhrwerk nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die elektronische Steuerschaltung

daher mit einem Quarzoszillator verbunden ist, der in diesem Uhrwerk enthalten ist, wobei die elektronische Steuerschaltung so angeordnet ist, dass sie die elektrischen Antriebsimpulse mit einer spezifischen Versorgungsfrequenz erzeugt, die durch den Quarzoszillator bestimmt wird und von einer Sollfrequenz für den elektromagnetischen Oszillator (10) abhängt, die so konfiguriert ist, dass die Eigenschwingungsfrequenz somit für jede räumliche Ausrichtung des Uhrwerks und jede Aufzugshöhe des Federhauses in einem Wertebereich bleibt, der nahe genug an der Sollfrequenz liegt, um es den elektrischen Antriebsimpulsen zu ermöglichen, dem elektromechanischen Oszillator die Sollfrequenz aufzuzwingen und dabei eine funktionelle Schwingung mit der im Wesentlichen konstanten zweiten Amplitude zu haben.

6. Uhrwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der maximale Nennwert für jede räumliche Ausrichtung des Uhrwerks kleiner oder gleich 300° ist und die zweite Amplitude für jede räumliche Ausrichtung des Uhrwerks und jede Aufzugshöhe des Federhauses größer als 300° ist.
7. Uhrwerk nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der maximale Sollwert zwischen 240° und 300° für eine beliebige räumliche Ausrichtung des Uhrwerks liegt und die zweite Amplitude zwischen 305° und 330° für eine beliebige räumliche Ausrichtung des Uhrwerks und eine beliebige Aufzugshöhe des Federhauses vorgesehen ist.
8. Uhr (22) mit einem Uhrwerk (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Energiequelle in diese Uhr eingebaut ist und einen Stromgenerator umfasst, der so beschaffen ist, dass er eine externe Energie aufnehmen und in Elektrizität umwandeln kann, um eine Energieversorgung des elektronischen Steuerkreises (20) und der piezoelektrischen Spiralfeder (16) zu ermöglichen.
9. Uhr nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stromgenerator einen Lichtsensor umfasst.
10. Uhr nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stromgenerator eine Thermosäule umfasst, die so angeordnet ist, dass sie die Körperwärme eines Benutzers in Strom umwandeln kann.

Claims

1. Horological movement (2) comprising an analogue time display (4), a geartrain (6), a barrel (8) kinemat-

ically linked with the analogue display via the geartrain, and an oscillator (10) formed of a resonator (12), comprising a balance (14) and a piezoelectric balance-spring (16), and a mechanical escapement (18) coupling the balance with the geartrain, the piezoelectric balance-spring being formed at least partially from a piezoelectric material (66) and comprising at least two electrodes (68, 69) of which at least one electrode is connected to an electronic control circuit (20), the piezoelectric material and said at least one electrode being arranged in such a way as to enable the application, managed by the electronic control circuit, of electrical stress on the piezoelectric balance-spring, the horological movement being configured such that the barrel is capable of driving the analogue display and maintaining on its own a functional oscillation of the oscillator with a first amplitude which is dependent on the spatial orientation of the horological movement; the electronic control circuit (20) being arranged to be able to be connected to an electrical energy source (30); **characterised in that** the electronic control circuit (20) is arranged to be able to control the application of an electrical voltage to said at least one electrode so as to generate driving electrical pulses for the oscillator which supply it with sufficient energy to enable a functional oscillation of this oscillator, for each spatial orientation of the horological movement, with a second amplitude which is greater than a maximum nominal value of the first amplitude for this spatial orientation.

2. Horological movement according to claim 1, **characterised in that** the electronic control circuit (20) is arranged to control said application of an electrical voltage in such a way as to keep the second amplitude substantially constant for any spatial orientation of the horological movement and any winding level of the barrel.
3. Horological movement according to claim 2, **characterised in that** the electronic control circuit (20) comprises a peak voltage detector (46), which is arranged to be able to detect substantially the amplitude of the induced voltage in the piezoelectric balance-spring (16) when the resonator (12) oscillates, and a regulation circuit (20A) which receives from the peak voltage detector a signal (S_A) relating to the amplitude of the induced voltage and which is arranged to be able to manage a power supply voltage (V_A) according to a setpoint value (S_c) for said signal supplied by the peak voltage detector, so as to obtain an oscillation of the resonator with a substantially constant amplitude.
4. Horological movement according to claim 1, **characterised in that** the electronic control circuit is associated with a quartz oscillator comprised in this

horological movement, the electronic control circuit being arranged so as to generate said driving electrical pulses with a specific power supply frequency which is determined by the quartz oscillator and dependent on a setpoint frequency for the electromagnetic oscillator (10), which is configured such that the natural oscillation frequency therefore remains within a range of values, for any spatial orientation of the horological movement and any winding level of the barrel, close enough to the setpoint frequency to enable the driving electrical pulses to impose the setpoint frequency on the electromechanical oscillator while having a functional oscillation at said second amplitude.

5. Horological movement according to claim 2 or 3, **characterised in that** the electronic control circuit is therefore associated with a quartz oscillator comprised in this horological movement, the electronic control circuit being arranged so as to generate said driving electrical pulses with a specific power supply frequency which is determined by the quartz oscillator and dependent on a setpoint frequency for the electromagnetic oscillator (10), which is configured such that the natural oscillation frequency therefore remains within a range of values, for any spatial orientation of the horological movement and any winding level of the barrel, close enough to the setpoint frequency to enable the driving electrical pulses to impose the setpoint frequency on the electromechanical oscillator while having a functional oscillation at said substantially constant second amplitude.
6. Horological movement according to one of the preceding claims, **characterised in that** said maximum nominal value is less than or equal to 300° for any spatial orientation of the horological movement and said second amplitude is greater than 300° for any spatial orientation of the horological movement and any winding level of the barrel.
7. Horological movement according to claim 6, **characterised in that** said maximum nominal value is between 240° and 300° for any spatial orientation of the horological movement, and said second amplitude is provided between 305° and 300° for any spatial orientation of the horological movement and any winding level of the barrel.
8. Watch (22) comprising a horological movement (2) according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the energy source is incorporated in this watch and comprises an electricity generator arranged to be able to collect an external energy and convert it into electricity, so as to enable a power supply of the electronic control circuit (20) and the piezoelectric balance-spring (16).

9. Watch according to claim 8, **characterised in that** the electricity generator comprises a light sensor.
10. Watch according to claims 8, **characterised in that** the electricity generator comprises a thermopile arranged so as to be able to convert a user's body heat into electricity.

Fig. 1

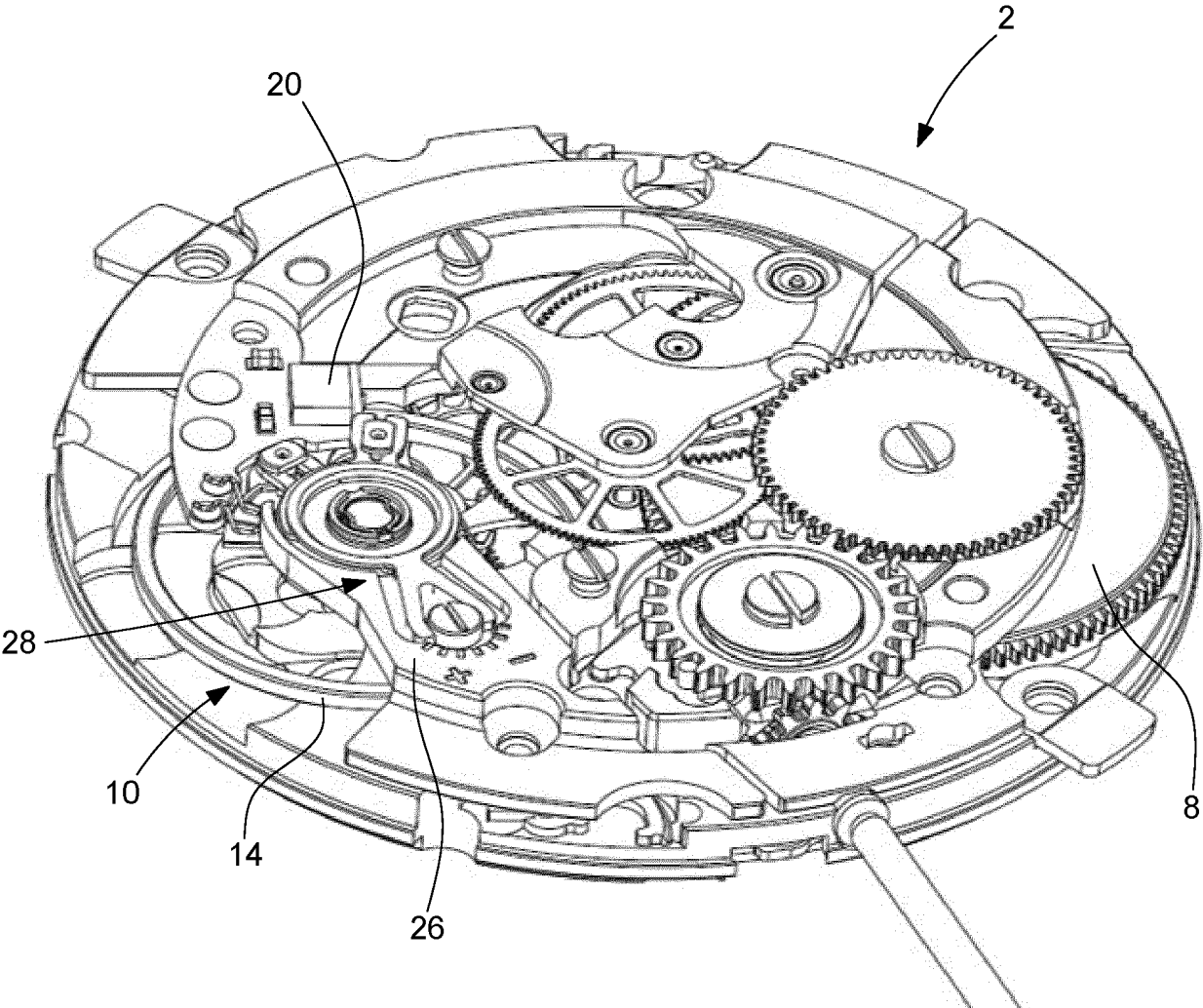


Fig. 2

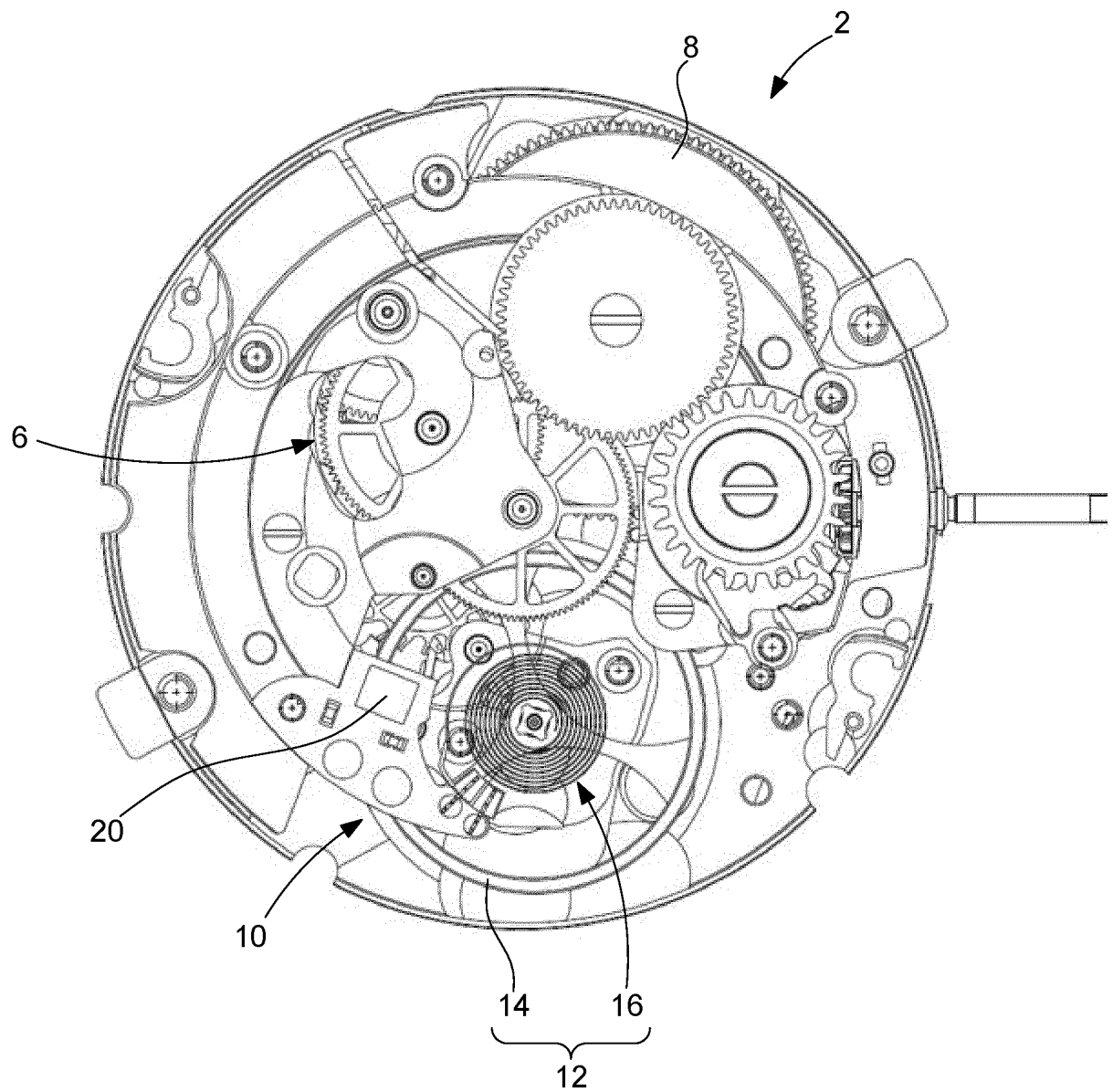


Fig. 3

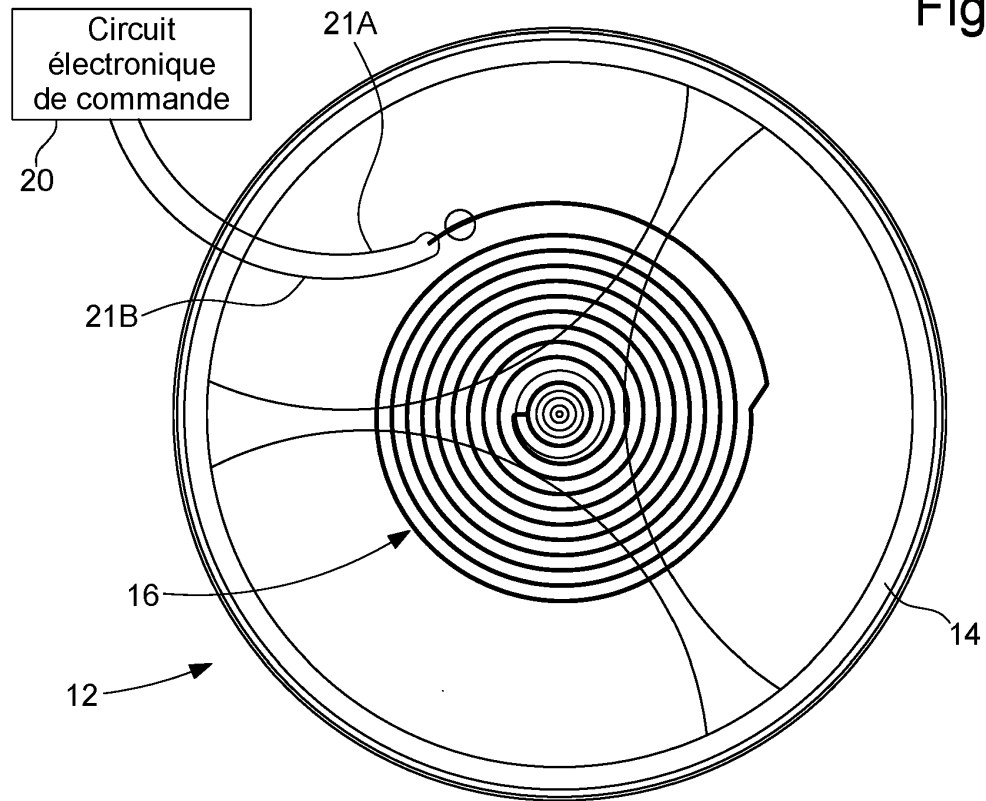


Fig. 4

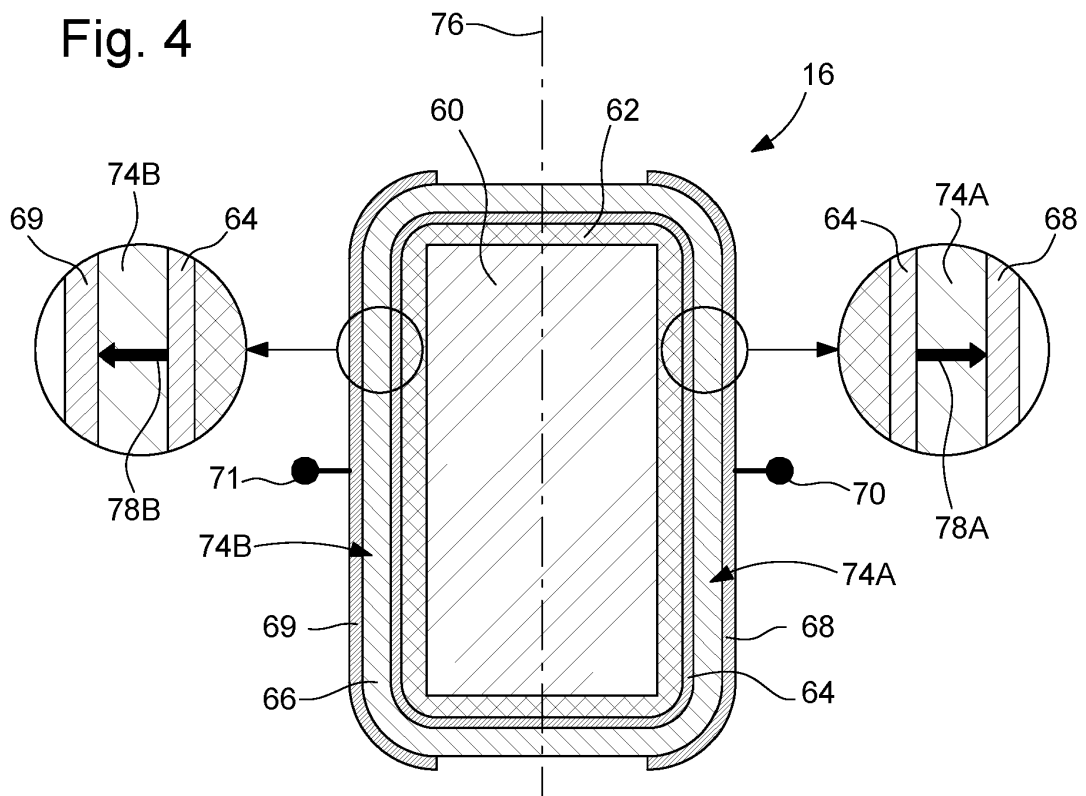


Fig. 5

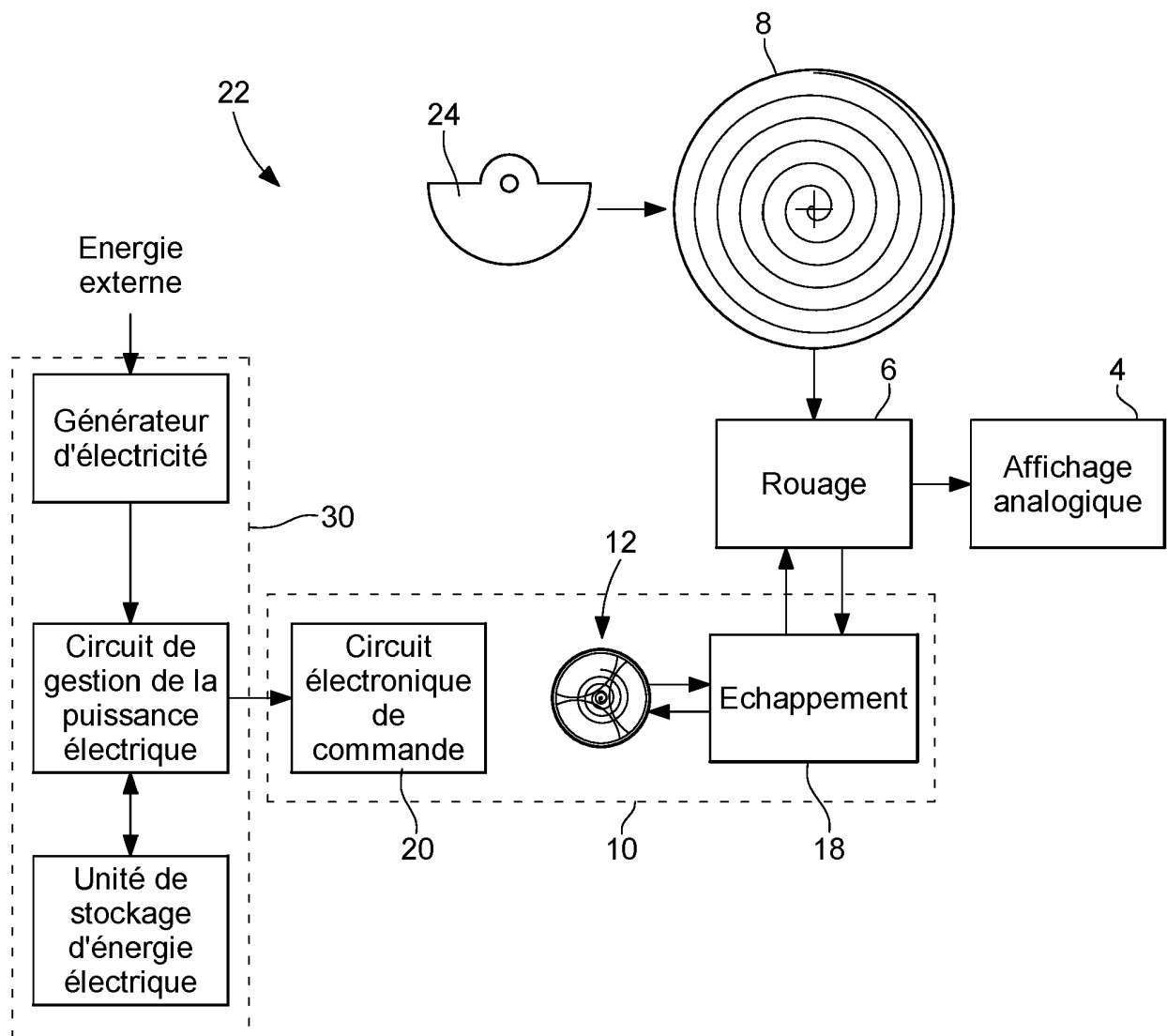


Fig. 6

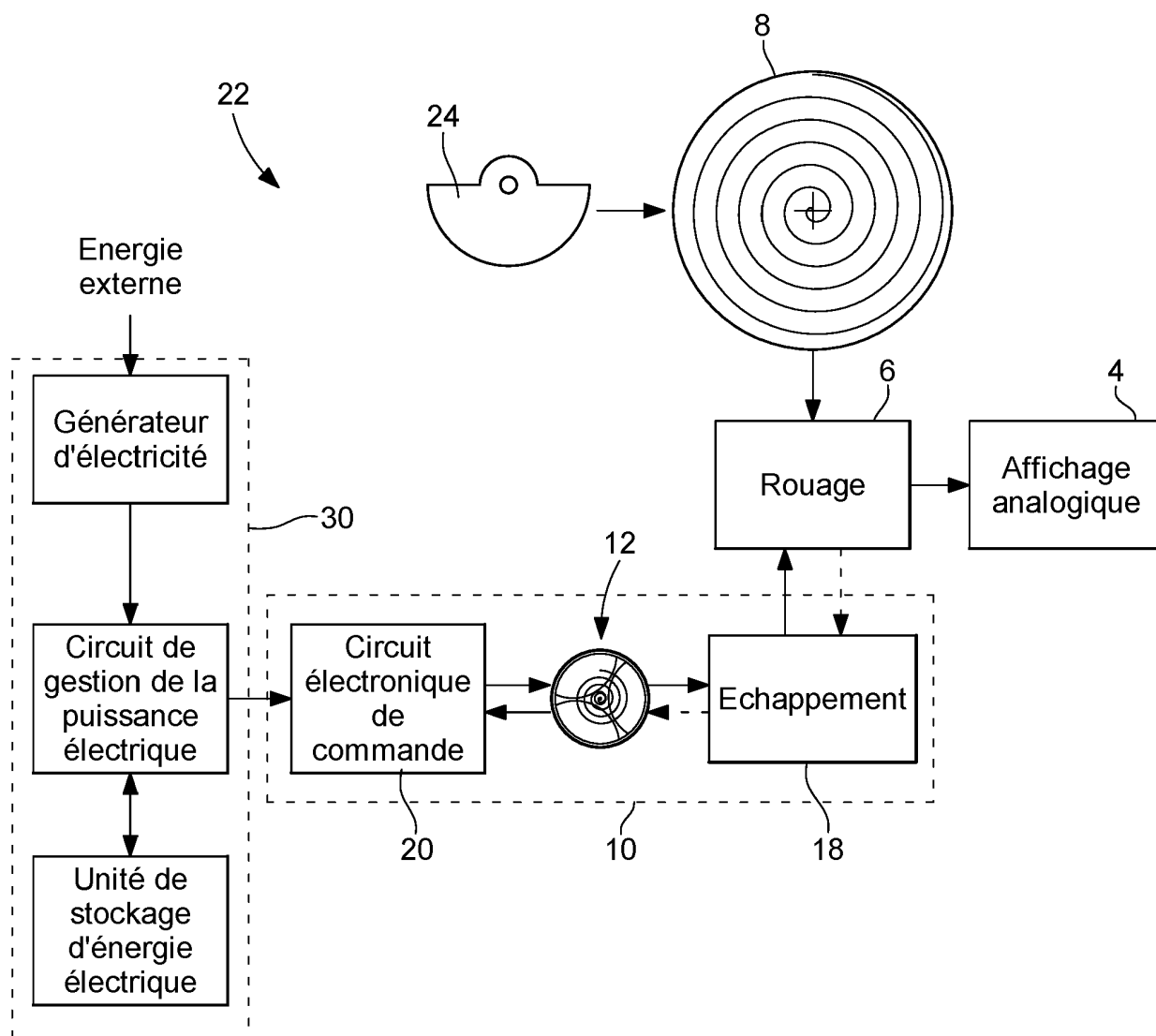
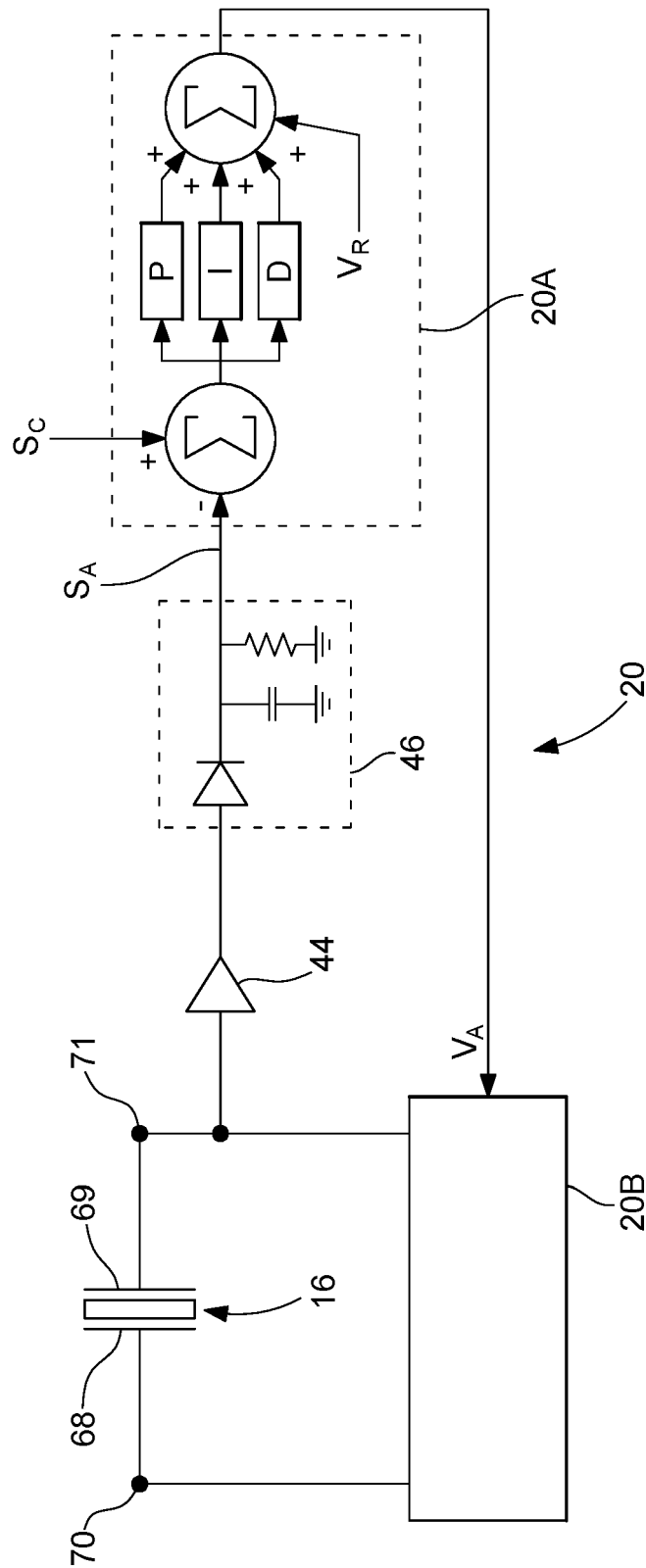


Fig. 7



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 8721169 B [0002]
- EP 3540528 A [0003]
- EP 3629103 A [0003]