



(11) **EP 3 748 438 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
12.01.2022 Bulletin 2022/02

(51) Int Cl.:
G04C 3/16 (2006.01) **G04C 11/00** (2006.01)
G04C 10/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **19178785.2**

(22) Date de dépôt: **06.06.2019**

(54) **MESURE DE LA PRECISION D'UNE PIECE D'HORLOGERIE COMPRENANT UN
TRANSDUCTEUR ELECTROMECHANIQUE A ROTATION CONTINUE DANS SON DISPOSITIF
D'AFFICHAGE ANALOGIQUE DE L'HEURE**

MESSUNG DER PRÄZISION EINER UHR, DIE EINEN KONTINUIERLICH DREHENDEN
ELEKTROMECHANISCHEN TRANSDUCER IN IHRER ANALOGEN
UHRZEITANZEIGEVORRICHTUNG UMFASST

MEASUREMENT OF THE PRECISION OF A TIMEPIECE COMPRISING AN ELECTROMECHANICAL
TRANSDUCER WITH CONTINUOUS ROTATION IN ITS DEVICE FOR ANALOGUE DISPLAY OF
THE TIME

(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**

(43) Date de publication de la demande:
09.12.2020 Bulletin 2020/50

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

(72) Inventeurs:
• **BORN, Jean-Jacques
1110 Morges (CH)**
• **NAGY, M. Laurent
3097 Liebefeld (CH)**

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

(56) Documents cités:
**EP-A1- 0 679 968 EP-A1- 0 806 710
EP-A1- 0 822 470**

- **Witschi Electronic Ltd: "Analyzer Twin", , 31 mai 2011 (2011-05-31), XP055636846, Extrait de l'Internet:
URL:https://www.witschi.com/assets/files/sheets/leaflet_analyzer-Twin.pdf [extrait le 2019-10-29]**
- **Witschi Electronic Ltd: "Analyzer Twin", , 1 May 2011 (2011-05-01), XP055636846, Retrieved from the Internet:
URL:https://www.witschi.com/assets/files/sheets/leaflet_analyzer-Twin.pdf [retrieved on 2019-10-29]**

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).

EP 3 748 438 B1

Description

Domaine technique

[0001] L'invention concerne le domaine de la mesure de la précision d'une pièce d'horlogerie comprenant un mouvement horloger qui incorpore un transducteur électromécanique à rotation continue, lequel est soit agencé dans la chaîne cinématique reliant une source d'énergie à un affichage analogique de l'heure, soit en liaison cinématique avec une telle chaîne cinématique. En particulier, l'invention concerne la mesure de la marche d'un tel mouvement horloger, respectivement d'une telle montre, et elle concerne également la mesure de la précision d'un oscillateur à quartz formant une base de temps électronique interne qui permet de réguler la vitesse de rotation du rotor du transducteur électromécanique.

[0002] Par marche, on comprend dans ce texte la dérive temporelle journalière de l'heure affichée par la pièce d'horlogerie. La précision de l'oscillateur à quartz peut aussi être donnée sous la forme d'une dérive temporelle journalière. Une dérive temporelle journalière est mesurée relativement à une base de temps externe très précise qui permet de mesurer avec une très grande précision des intervalles de temps.

[0003] Selon deux modes de réalisation principaux de l'invention, le transducteur électromécanique est formé respectivement par une petite génératrice en liaison avec la chaîne cinématique reliant un barillet, formant une source d'énergie mécanique, à un affichage analogique de l'heure et par un moteur à rotation continue qui est alimenté par une source d'énergie électrique et qui entraîne, via une chaîne cinématique, un affichage analogique de l'heure.

Arrière-plan technologique

[0004] Les transducteurs électromécaniques considérés dans le cadre de l'invention sont généralement réversibles, de sorte qu'ils peuvent soit produire de l'énergie électrique à partir d'une source d'énergie mécanique tout en permettant une régulation de la vitesse de rotation du rotor en freinant de manière contrôlée ce rotor, soit produire une énergie mécanique, plus particulièrement un couple moteur, à partir d'une alimentation électrique. Dans ce dernier cas, des impulsions électriques motrices peuvent être fournies au stator de manière à assurer soit un certain couple de force, soit une certaine vitesse de rotation, notamment une vitesse de rotation nominale dans un mouvement horloger. De tels transducteurs sont aussi parfois nommés 'transducteurs électromagnétiques', étant donné que le couplage rotor-stator est du type électromagnétique. En effet, en mode moteur, pour passer d'un courant électrique à une force d'entraînement mécanique d'un mécanisme d'affichage de l'heure, il est prévu qu'un tel courant électrique circule dans au moins une bobine de manière à générer un champ magnétique qui est couplé à des aimants permanents portés par le rotor. En mode génératrice, pour passer d'une force d'entraînement mécanique du rotor de la génératrice à un courant électrique, lequel peut alimenter un circuit électronique de régulation de la vitesse de rotation moyenne du rotor, un couple de force entraîne en rotation le rotor dont les aimants induisent alors un courant électrique dans la bobine du stator.

[0005] Pour ce qui concerne des constructions de génératrices horlogères et de fonctionnements possibles de telles génératrices, on peut se référer en particulier aux documents EP 0 679 968, EP 0 822 470, EP 0 935 177, EP 1 099 990, et WO 00/63749. Concernant des constructions de moteurs horlogers à rotation continue et de fonctionnements possibles de tels moteurs à rotation continue, on peut se référer en particulier aux documents FR 2.076.493, CH 714 041 et EP 0 887 913. Le document "Analyzer Twin" du 31 Mai 2011 de Witschi Electronic Ltd (http://www.witschi.com/assets/files/sheets/leaflet_analyzer-Twin.pdf, XP055636846) divulgue un dispositif et une méthode de mesure de la fréquence moyenne d'un signal du oscillateur quartz d'une montre. Le dispositif de mesure comprend une bobine de détection capable de détecter une variation d'un champ magnétique provenant de la pièce d'horlogerie. En effet, une variation du champ magnétique engendre une tension induite dans la bobine de détection.

[0006] Pour des montres classiques du type électromécanique, c'est-à-dire des montres comprenant un mouvement électronique à quartz associé à un moteur pas-à-pas, il est connu de pouvoir mesurer précisément la marche de telles montres une fois qu'elles sont emboîtées et prêtes à être utilisées, sans devoir ouvrir un fond ou une trappe de pile. Pour ce faire, il existe des appareils de mesure agencés pour effectuer des mesures temporelles précises entre les pas du moteur, en utilisant un capteur magnétique capable de détecter précisément un certain instant relatif à chacune des impulsions électriques fournies aux moteurs pas-à-pas pour l'entraîner. Les impulsions électriques engendrent des impulsions magnétiques dans le stator du moteur pour entraîner en rotation son rotor qui est muni d'au moins un aimant permanent. Les impulsions magnétiques se propagent partiellement hors du stator et elles peuvent être détectées par un capteur magnétique à l'extérieur de la montre. De tels appareils de mesure peuvent déterminer précisément la marche de la montre électromécanique étant donné que les impulsions motrices sont engendrées à intervalles de temps réguliers, notamment chaque seconde, ces intervalles de temps étant déterminés par la base de temps électronique interne, c'est-à-dire par l'oscillateur à quartz qui est inhibé de manière connue pour ajuster la fréquence moyenne de cette base de temps.

[0007] Contrairement aux montres classiques du type électromécanique qui comprennent un moteur pas-à-pas, les

pièces d'horlogerie comprenant un transducteur électromécanique à rotation continue dans leur mouvement, comme exposées précédemment, ne présentent pas un événement parfaitement périodique qui soit détectable depuis l'extérieur de la pièce d'horlogerie par un dispositif de mesure du type décrit précédemment. En effet, malgré une régulation prévue pour asservir la vitesse de rotation moyenne du transducteur électromécanique à rotation continue de sorte que l'heure affichée soit en moyenne correcte et qu'il n'y ait pas de dérive temporelle à long terme, la vitesse de rotation instantanée variant autour de la vitesse de rotation nominale. Ainsi, dans le cas particulier d'une montre à génératrice subissant une impulsion de freinage dans chaque alternance du signal de tension induite engendré dans les bobines de cette génératrice, si on mesure les durées entre ces impulsions de freinage avec des moyens appropriés et qu'on effectue, comme pour la montre électromécanique avec un moteur pas-à-pas, une moyenne de ces mesures pour obtenir une vitesse moyenne, il faut alors une période de mesure très longue, par exemple un jour, pour obtenir la marche de la pièce d'horlogerie avec une précision suffisante alors que pour la montre électromécanique susmentionnée, il suffit par exemple de deux minutes pour obtenir la marche avec une précision semblable. La même problématique se pose dans le cas particulier d'une montre équipée d'un moteur à rotation continue qui recevrait une impulsion motrice à chaque période du signal de tension induite susmentionné. Ensuite, dans le cas où les impulsions de freinage ou les impulsions motrices ne sont pas prévues régulièrement dans chaque alternance ou chaque période du signal de tension induite, la mesure devient encore plus problématique. On comprend donc qu'il y a un besoin réel de trouver une méthode de mesure de la marche d'une montre terminée dont le mécanisme d'affichage de l'heure est en liaison cinématique avec un transducteur électromécanique à rotation continue. Par 'montre terminée', on comprend une montre dont la boîte de montre est fermée avec le mouvement monté à l'intérieur.

Résumé de l'invention

[0008] Le but de la présente invention est de fournir une méthode de mesure de la marche d'une pièce d'horlogerie dont le mécanisme d'affichage de l'heure comprend une chaîne cinématique entre un dispositif moteur et l'affichage de l'heure qui incorpore un transducteur électromécanique à rotation continue ou qui est en liaison cinématique avec un tel transducteur électromécanique à rotation continue, en tenant compte du fait que la vitesse de rotation de son rotor est généralement variable même si elle est régulée pour être en moyenne égale à une vitesse de rotation nominale.

[0009] A cet effet, l'invention concerne une méthode de mesure de la fréquence moyenne d'un signal digital qui est dérivé d'un signal périodique de référence engendré par un oscillateur formant une base de temps électronique d'une pièce d'horlogerie. La pièce d'horlogerie comprend un mouvement incorporant un mécanisme formé par une chaîne cinématique qui est agencée entre un dispositif moteur du mouvement et un dispositif d'affichage analogique de l'heure, cette chaîne cinématique comprenant ou étant reliée cinématiquement à un transducteur électromécanique à rotation continue dont la vitesse de rotation moyenne est régulée par un dispositif de régulation, associé à la base de temps électronique, en fonction d'une vitesse de rotation nominale. Dans le cas d'un moteur à rotation continue, on comprend qu'il forme le dispositif moteur susmentionné. Le dispositif de régulation est agencé pour fournir au transducteur électromécanique successivement des impulsions de régulation pour réguler sa vitesse de rotation moyenne, ces impulsions de régulation définissant respectivement de mêmes événements qui sont synchronisés sur les flancs montants ou sur les flancs descendants dudit signal digital et qui sont détectables, par un dispositif de mesure sans contact galvanique avec le mouvement, à des instants de détection respectifs présentant un même déphasage temporel avec lesdits mêmes événements.

[0010] La méthode de mesure comprend les étapes suivantes :

A) Mesure, sans contact galvanique avec le mouvement, d'une pluralité d'intervalles de temps successifs intervenant chacun entre deux instants de détection qui sont détectés pour deux impulsions de régulation respectives parmi les impulsions de régulation;

B) Détermination, pour chaque intervalle de temps de la pluralité d'intervalles de temps, d'un nombre entier correspondant qui est égal à l'arrondi, à l'entier le plus proche, du résultat de la division de cet intervalle de temps par la période moyenne théorique;

C) Somme des nombres entiers déterminés à l'étape B) pour la pluralité d'intervalles de temps, pour obtenir ainsi un nombre total de périodes dudit signal digital;

D) Somme des intervalles de temps mesurés de la pluralité d'intervalles de temps, pour obtenir ainsi une durée totale de mesure correspondant au nombre total de périodes;

E) Calcul de la fréquence moyenne dudit signal digital en divisant le nombre total de périodes par la durée totale de mesure.

[0011] Pour une pièce d'horlogerie ayant un oscillateur à quartz formant sa base de temps électronique interne, on notera que cet oscillateur à quartz est normalement fabriqué de manière que sa propre erreur journalière soit positive, c'est-à-dire que sa fréquence naturelle soit légèrement supérieure à une fréquence de référence théorique, sans toutefois

dépasser une erreur journalière maximale, par exemple quinze secondes par jour.

[0012] Selon un mode de mise en œuvre principal de la méthode de mesure, le signal digital est un signal digital inhibé qui présente des périodes de durées variables en fonction d'une inhibition d'un certain nombre de périodes du signal périodique de référence au cours de cycles d'inhibition successifs. De manière classique, le mouvement est agencé de sorte que la fréquence moyenne du signal digital inhibé détermine une avance des organes indicateurs du dispositif d'affichage analogique de l'heure.

[0013] Selon une variante préférée du mode de mise en œuvre principal, l'inhibition est effectuée selon un procédé qui répartit l'inhibition du certain nombre de périodes du signal périodique de référence au cours de chaque cycle d'inhibition. De plus, la pluralité d'intervalles de temps successifs est prévue de manière que l'augmentation de la durée d'un intervalle de temps quelconque parmi cette pluralité, résultant de l'inhibition d'une ou plusieurs période(s) du signal périodique de référence au cours de cet intervalle de temps, soit au maximum égale à la moitié de la période moyenne théorique du signal digital inhibé.

[0014] Ensuite, la précision du dispositif d'affichage analogique de l'heure est déterminée en calculant une erreur relative donnée par le résultat de la division de la différence entre la fréquence moyenne du signal digital inhibé, obtenue à l'étape E) susmentionnée, et la fréquence moyenne théorique, pour ce signal digital inhibé, par cette fréquence moyenne théorique.

[0015] Finalement, la marche de la pièce d'horlogerie est obtenue en multipliant l'erreur relative susmentionnée par le nombre de secondes dans un jour.

[0016] La méthode de mesure de l'invention s'applique à une pièce d'horlogerie dont le transducteur électromécanique est soit une génératrice, soit un moteur à rotation continue.

Brève description des figures

[0017] L'invention sera décrite ci-après de manière détaillée à l'aide des dessins annexés, donnés à titre d'exemples nullement limitatifs, dans lesquels :

- La Figure 1 montre partiellement une pièce d'horlogerie comprenant dans son mouvement une génératrice électromécanique à rotation continue et pour laquelle la méthode de mesure selon l'invention peut s'appliquer,
- La Figure 2 est une vue en coupe partielle du mouvement de la Figure 1, avec en plus divers éléments de ce mouvement représentés schématiquement,
- La Figure 3 montre schématiquement un mode de réalisation d'un circuit électronique formant le mouvement de la Figure 1,
- La Figure 4 est une vue schématique en perspective d'un dispositif de mesure permettant de mettre en œuvre la méthode de mesure selon l'invention,
- Les Figures 5A et 5B montrent un signal de tension aux deux bornes du stator de la génératrice du mouvement de la Figure 1 et la détection d'impulsions de champ magnétique reçus par le dispositif de mesure de la Figure 4 pour respectivement deux modes de régulation de la vitesse de rotation du rotor de la génératrice,
- La Figure 6 montre partiellement, de manière agrandie, le signal de tension représenté aux Figures 5A et 5B ainsi que divers signaux digitaux intervenant dans le circuit électronique du mouvement pour rythmer l'avance des organes de l'affichage de l'heure et pour permettre la régulation de la vitesse de rotation du rotor du transducteur électromécanique, et
- La Figure 7 est un tableau donnant un exemple d'un certain nombre d'intervalles de temps, mesurés au cours d'une période de mesure légèrement supérieure à un cycle d'inhibition, et divers nombres dérivés de ces intervalles de temps dans le cadre de la méthode de mesure selon l'invention.

Description détaillée de l'invention

[0018] On décrira à l'aide des figures annexées un mode de mise en œuvre de la méthode de mesure selon l'invention appliquée à une pièce d'horlogerie 2 comprenant dans son mouvement 4 une génératrice électromécanique 6 à rotation continue (ci-après 'la génératrice'), laquelle présente une liaison cinématique 9 avec une chaîne cinématique 8 qui est agencée entre un barillet 10, définissant une source d'énergie mécanique et formant un dispositif moteur, et un affichage de l'heure 12. La chaîne cinématique 8 comprend, dans la variante représentée, un mobile 8A et un rouage 8B, représenté schématiquement, en prise avec le dispositif d'affichage de l'heure 12 comprenant les aiguilles 14A, 14B, 14C.

[0019] De manière générale, la génératrice 6 est formée par un rotor muni d'aimants permanents et un stator comprenant au moins une bobine au travers de laquelle passe un flux magnétique variable qui est engendré par les aimants du rotor lorsque ce dernier est en rotation. Dans la variante représentée, le stator 16 comprend un support 20 portant trois bobines 22A, 22B et 22C agencées régulièrement autour de l'axe de rotation 19 du rotor et reliées à un circuit électronique 24. Le rotor 18 comprend un arbre central 32 portant deux flasques 28A, 28B, de préférence en matériau

ferromagnétique, sur chacun desquels sont agencés régulièrement, autour de l'axe de rotation, six aimants permanents 30A et 30B présentant des polarités alternées. En d'autres termes, deux aimants adjacents 30A et 30B d'un même flasque présentent des polarités inversées, alors que deux aimants 30A tout comme deux aimants 30B, portés respectivement par les deux flasques et alignés selon la direction de l'axe de rotation 19, présentent une même polarité. L'arbre 32 du rotor porte un pignon 34 en prise avec la roue du mobile 8A. Ainsi, dans la variante représentée, la liaison cinématique 9 est formée par l'engrènement du pignon 34 avec la roue du mobile 8A.

[0020] Le mouvement 4 comprend encore une platine 36 et un pont 38 dans lesquels sont respectivement agencés deux paliers 40A et 40B munis chacun d'un dispositif antichoc et dans lesquels est pivoté le rotor 18.

[0021] A la Figure 3, le circuit électronique 24 est relié aux bornes 44A et 44B des bobines du stator 16. Lorsque le rotor 18 est entraîné en rotation, un flux magnétique variable, engendré par les aimants du rotor, passe au travers des bobines et engendre dans chacune d'elles une tension induite alternative. Etant donné que les bobines sont au nombre de trois, que les aimants portés par chaque flasque sont au nombre de six avec des polarités alternées, et que ces aimants et ces bobines sont agencés régulièrement autour de l'axe de rotation du rotor, les trois tensions induites respectivement dans les trois bobines sont sensiblement en phase. Dans une première variante, les trois bobines sont agencées en série et les tensions de crête s'additionnent sensiblement. On notera que dans une seconde variante les trois bobines peuvent être agencées en parallèle. Les trois bobines délivrent ensemble, lorsque le rotor est entraîné en rotation, une tension alternative U_1 au circuit électronique 24 qui comprend un redresseur 46, lequel fournit une tension U_1^* sensiblement continue à un régulateur de tension 48. Le régulateur de tension fournit une tension d'alimentation U_2 au circuit électronique, en particulier à un circuit 50 de régulation de la vitesse de rotation moyenne du rotor 18.

[0022] Le circuit de régulation 50 comprend un interrupteur 52, formé par un transistor, qui est commandé par une unité de commande 54. L'interrupteur 52 est agencé entre les deux bornes 44A et 44B du stator 16, de sorte que lorsque cet interrupteur est fermé, c'est-à-dire passant, ces deux bornes sont reliées électriquement et la tension U_1 est nulle, les bobines 22A - 22C du stator étant alors en court-circuit. Lorsque l'interrupteur est ouvert, c'est-à-dire non passant, la tension U_1 est proportionnelle à la tension induite dans les trois bobines par les aimants du rotor tournant. La vitesse de rotation moyenne de la génératrice 6 est régulée, en fonction d'une vitesse de rotation nominale, par un dispositif de régulation formé par le circuit de régulation 50. Le circuit de régulation est associé à une base de temps électronique 25 qui est formée par : - un oscillateur à quartz 26 qui engendre un signal périodique de référence S_{PR} , - un premier diviseur de fréquence 60 qui reçoit le signal périodique de référence S_{PR} et qui fournit un signal digital périodique S_{DP} dont la fréquence F_{DP} est égale à la fréquence naturelle F_{NR} du signal périodique de référence S_{PR} divisée par un nombre entier donné, par exemple deux, et - un deuxième diviseur de fréquence 62 qui reçoit le signal S_{DP} et qui fournit un signal digital inhibé S_{DI} à une unité logique 64, laquelle traite ce signal digital inhibé pour générer un signal d'horloge S_{HO} . Le signal digital inhibé S_{DI} est aussi fourni à l'unité de commande 54. On remarquera que le premier diviseur et le deuxième diviseur forment généralement les deux premiers étages d'une unité de division qui forme aussi au moins une première partie de l'unité logique 64.

[0023] En général, étant donné que la fabrication des oscillateurs à quartz ne permet pas d'obtenir une fréquence naturelle très précise, il est prévu de produire des oscillateurs à quartz ayant une fréquence naturelle supérieure à une fréquence de référence théorique F_{RT} , dans une certaine plage de valeurs de fréquence donnée. En général, la fréquence de référence théorique F_{RT} est égale à 32'768 Hz. Dans la variante décrite, le diviseur de fréquence 60 est un diviseur par deux, de sorte que la fréquence théorique F_{TDP} du signal digital S_{DP} est égale à 16'384 Hz et la période théorique PT_{DP} correspondante vaut 1 / 16'384 seconde. Par exemple, l'erreur journalière d'oscillateurs à quartz non inhibés est prévue entre une et vingt secondes.

[0024] Le deuxième diviseur de fréquence est associé à une unité d'inhibition 66 qui, de manière classique, inhibe un nombre déterminé d'impulsions dans le signal digital S_{DP} pour corriger une erreur prédéterminée de l'oscillateur à quartz 26 résultant des tolérances de fabrication et du fait que, comme déjà indiqué, les quartz sont produits de manière à présenter une fréquence naturelle trop élevée dans une certaine plage de fréquences au-dessus d'une fréquence de référence théorique F_{RT} . Ensuite, pour chaque oscillateur à quartz produit, on détermine sa fréquence naturelle F_{NR} et on calcule un nombre d'inhibitions par cycle d'inhibition, ce nombre d'inhibitions étant introduit dans l'unité d'inhibition 66. En général, les inhibitions sont réparties sur chacun des cycles d'inhibition successifs. Dans une variante connue, un cycle d'inhibition dure 64 secondes et le nombre d'inhibitions déterminé est divisé par ce nombre de secondes pour obtenir un nombre d'inhibition unitaire par seconde. Ce dernier nombre est un nombre réel. A chaque seconde au cours d'un cycle d'inhibition on ajoute le nombre d'inhibition unitaire dans un compteur et on inhibe la partie entière du résultat de l'addition effectuée par ce compteur, en ne conservant ensuite dans le compteur que la partie fractionnaire restante. Prenons deux exemples simples : a) le nombre d'inhibition déterminé est 32 et le nombre d'inhibition unitaire est donc 0.5, de sorte qu'il est prévu l'inhibition d'une période du signal digital périodique toutes les deux secondes ; b) le nombre d'inhibition déterminé est 96 et le nombre d'inhibition unitaire est 1.5, de sorte qu'il est prévu alternativement une inhibition et deux inhibitions au cours des secondes successives d'un cycle d'inhibition. On notera que, de manière avantageuse, lorsque le nombre d'inhibition unitaire est supérieur à un, des inhibitions effectuées au cours d'une même seconde ne sont pas cumulées dans une même période du signal digital inhibé, mais sont distantes d'un certain intervalle de temps

unitaire, par exemple de sensiblement 125 ms (1/8 seconde).

[0025] On remarquera que l'inhibition de périodes du signal de référence engendré par le quartz, pour ajuster la précision d'une montre électronique et diminuer ainsi sa marche, est une technique bien connue par la personne du métier qui connaît diverses manières de l'implémenter. La présente invention ne se limite donc pas à une seule implémentation possible, mais à plusieurs variantes connues dans la mesure où certaines conditions restent valides, comme exposé par la suite.

[0026] Pour réguler la vitesse de la génératrice, le signal d'horloge S_{Ho} détermine une valeur de consigne pour la fréquence de la tension induite dans les bobines, laquelle correspond à la fréquence du signal de tension U_1 . Cette valeur de consigne est une fonction de la vitesse de rotation nominale de la génératrice et elle est déterminée par la base de temps 25, de sorte qu'elle est entachée d'une erreur correspondant à celle de la base de temps. Un comparateur de tension 58, dont une entrée est reliée à une des bornes 44A, 44B et l'autre entrée à une tension de référence 59, génère un signal F_{UG} qui est fourni à un compteur réversible 56 et à l'unité de commande 54. Plus particulièrement, le signal F_{UG} est un signal digital dont la période correspond à la période électrique de la génératrice, c'est-à-dire à la période de la tension induite dans son stator et donc de la tension U_1 . Ce signal F_{UG} décrémente le compteur réversible 56 à chaque période électrique détectée alors que l'unité logique 64 incrémente ce compteur réversible à chaque période du signal d'horloge S_{Ho} . Ainsi, le compteur réversible intègre, depuis un instant initial, une dérive temporelle de la génératrice et donc de l'affichage analogique de l'heure relativement à une avance de consigne déterminée par la valeur de consigne qui est dérivée du signal digital inhibé fourni par la base de temps interne 25. L'état du compteur réversible est fourni à l'unité de commande 54 qui gère la vitesse de rotation moyenne de la génératrice selon une méthode donnée.

[0027] Le circuit de régulation 50 est agencé pour fournir à la génératrice successivement des impulsions de régulation pour réguler sa vitesse de rotation moyenne de sorte qu'elle soit au plus proche d'une vitesse de rotation nominale prévue pour le rotor de la génératrice. Les impulsions de régulation sont formées ici par des impulsions de freinage du rotor de la génératrice qui sont engendrées chacune par un court-circuit momentané de la bobine ou des bobines formant le stator de cette génératrice. La vitesse de rotation nominale est déterminée par la construction du mouvement 4, en particulier par la chaîne cinématique 8 et la liaison cinématique 9. Dans la variante décrite ici, la vitesse de rotation nominale est égale à $64 / 9 = 7,1111$ tours par seconde. Pour la génératrice décrite précédemment, la fréquence électrique nominale du signal de tension alternative U_1 est celle de la tension induite dans ses trois bobines. Elle vaut le triple de la vitesse de rotation nominale, soit $64 / 3 = 21,3333$ Hz. Ainsi, la période électrique nominale vaut 46,875 ms et la durée nominale d'une alternance du signal U_1 est égale exactement à 23,4375 ms.

[0028] A la Figure 4 est montré schématiquement un dispositif de mesure 70 susceptible de mettre en œuvre la méthode de mesure selon l'invention, moyennant un logiciel approprié dont le contenu deviendra évident à la lecture de la description détaillée de cette méthode de mesure. Le dispositif de mesure 70 comprend une bobine de détection 72 capable de détecter une variation d'un champ magnétique provenant de la pièce d'horlogerie 2. En effet, une variation du champ magnétique engendre une tension induite dans la bobine de détection. A titre d'exemple, le dispositif de mesure 70 peut être matériellement un appareil nommé 'Analyzer Twin' de la société Witschi Electronic SA à Büren en Suisse, dans lequel on implémente un logiciel spécifique pour la mise en œuvre de la méthode de mesure selon l'invention. D'autres appareils de mesure similaires pour montres électroniques peuvent aussi être utilisés. En effet, il n'est pas utile que l'appareil de mesure puisse aussi être utilisé pour des montres mécaniques, comme c'est le cas du modèle 'Analyser Twin'.

[0029] De manière générale, la méthode de mesure selon l'invention prévoit de mesurer, en particulier pour une pièce d'horlogerie 2 comme une montre-bracelet ou pour un mouvement 4 prêt à être emboîté, la fréquence moyenne d'un signal digital interne au circuit électronique du mouvement 4, ce signal digital étant dérivé du signal périodique de référence S_{PR} engendré par l'oscillateur à quartz 26 formant la base de temps électronique 25 de ce mouvement 4. Il est prévu que la vitesse de rotation moyenne de la génératrice 6 soit régulée par un circuit de régulation, associé à la base de temps électronique, en fonction d'une vitesse de rotation nominale. Le dispositif de régulation est agencé pour pouvoir fournir à la génératrice successivement des impulsions de freinage en court-circuitant les bornes 44A et 44B des bobines du stator 16 de la génératrice pour réguler sa vitesse de rotation moyenne. L'unité de commande 54 du dispositif de régulation génère chacune des impulsions de freinage de la manière suivante : Lorsqu'il est prévu de générer une impulsion de freinage en vue de réguler la vitesse de rotation de la génératrice, notamment en fonction de l'état du compteur réversible 56 ou éventuellement aussi d'autres événements détectés, l'unité de commande attend de détecter dans le signal digital F_{UG} provenant du comparateur 58, selon la variante, soit un prochain flanc montant, soit un flanc suivant parmi les flancs montants et descendants ; puis elle déclenche directement ou après un délai donné l'impulsion de freinage, via le signal de commande S_{com} qu'elle fournit à l'interrupteur 52, en fermant cet interrupteur à un instant td_n , $n = 1, 2, 3, \dots$. Dans une variante spécifique, comme montré à la Figure 6, le signal de commande S_{com} passe de son état logique '0' (interrupteur ouvert) à son état logique '1' (interrupteur fermé et donc passant) au premier flanc montant du signal digital inhibé S_{DI} , reçu par l'unité de commande pour gérer temporellement les impulsions de freinage, suite au flanc considéré du signal F_{UG} . Dans une autre variante spécifique, il est prévu de commencer une impulsion de freinage au premier flanc détecté, montant ou descendant, du signal S_{DI} suite à la détection du passage

par zéro considéré du signal de tension U_1 .

[0030] Dans le cadre de l'invention, les impulsions de régulation définissent respectivement de mêmes événements qui sont synchronisés sur les flancs montants ou sur les flancs descendants du signal digital inhibé S_{DI} et qui sont détectables, par un dispositif de mesure sans contact galvanique avec le mouvement et de préférence par un capteur de champ magnétique 72, à des instants de détection correspondant. Dans un mode de mise en œuvre principal de la méthode de mesure de l'invention décrit à l'aide des figures, cet événement est la fin de chaque impulsion de freinage. Comme montré à la Figure 6, les fins respectives tf_n , $n = 1, 2, 3, \dots$, des impulsions de freinage BP_n sont synchronisées et de plus en phase avec des flancs montants du signal digital inhibé S_{DI} et également avec des flancs montants du signal digital périodique S_{DP} . On notera que, de par la génération du signal S_{DI} , les flancs montants de ce signal S_{DI} sont en phase avec des flancs montants correspondants du signal digital périodique S_{DP} . Les impulsions de freinage BP_n sont identifiées aux figures soit par des impulsions de commande correspondantes du signal de commande S_{Com} (Figures 5A et 5B), soit par les zones étendues (c'est-à-dire non ponctuelles) de la tension U_1 où cette dernière présente une valeur nulle (Figure 6), résultant des impulsions de commande. Les impulsions de freinage BP_n ont des durées de freinage T_{BPn} .

[0031] Dans la variante représentée, le signal S_{DI} a une fréquence moyenne FM_{DI} qui est, sur un cycle d'inhibition, légèrement inférieure au quart de la fréquence moyenne FM_{DP} du signal digital périodique S_{DP} . Le signal digital inhibé S_{DI} est dérivé du signal S_{DP} avec l'application de l'inhibition prévue pour corriger l'erreur relative de l'oscillateur à quartz. Pour générer le signal digital inhibé S_{DI} , on divise le signal digital périodique S_{DP} deux fois par deux dans le diviseur 62 en appliquant l'inhibition lors de la première de ces deux divisions par deux successives. Pour expliquer comment intervient l'inhibition, on a introduit à la Figure 6 un signal fictif inhibé S_{FI} ayant, en dehors des périodes subissant une inhibition, la fréquence du signal S_{DP} . Sans inhibition, la période P_{DI} du signal S_{DI} vaut exactement quatre fois la période P_{DP} du signal S_{DP} . Par contre, lorsqu'intervient une inhibition 'Inh' lors de la première division par deux du signal S_{DP} , une période P_{DP} de ce signal est inhibée, c'est-à-dire qu'elle est ignorée et donc pas prise en compte, de sorte que la période P_{DI}^* du signal S_{DI} générée lors de cette inhibition est supérieure à celle de la période P_{DI} , puisque la période P_{DI}^* a de fait une durée égale à cinq fois la période P_{DP} . On comprend donc que $P_{DI}^* = 1.25 \cdot P_{DI}$ (+25%). Le signal digital inhibé S_{DI} est donc caractérisé par une fréquence moyenne FM_{DI} et une période moyenne PM_{DI} . Comme le signal d'horloge S_{Ho} est déterminé par le signal S_{DI} et que ce signal d'horloge détermine une valeur de consigne pour la fréquence de la tension induite dans les bobines de la génératrice, il est prévu pour le signal S_{DI} une fréquence moyenne théorique FMT_{DI} et une période moyenne théorique PMT_{DI} correspondante qui sont fonctions respectivement de la fréquence électrique nominale et de la période électrique nominale de la tension U_1 (lesquelles sont égales à celles de la tension induite). Sur un cycle d'inhibition, la fréquence F_{DP} du signal digital périodique S_{DP} peut aussi légèrement varier, de sorte que sur un cycle d'inhibition C_{Inh} et également sur la durée totale de mesure T_{Mes} le signal S_{DP} présente une fréquence moyenne FM_{DP} et une période moyenne PM_{DP} correspondante. Ensuite, à la période P_{DP} du signal S_{DP} et à la période moyenne PM_{DP} correspond une même période théorique PT_{DP} , aussi nommée période moyenne théorique PT_{DP} , et une même fréquence théorique FT_{DP} correspondante, aussi nommée fréquence moyenne théorique. La fréquence théorique FT_{DP} est, par construction de l'oscillateur de la base de temps, inférieure à la fréquence moyenne FM_{DP} .

[0032] Dans la variante décrite aux figures, la fréquence théorique $FT_{DP} = 16'384$ Hz et la période théorique $PT_{DP} = 1/16'384$ seconde. Ensuite, la fréquence moyenne théorique FMT_{DI} vaut $FT_{DP}/4$, soit $FMT_{DI} = 4'096$ Hz, et la période moyenne théorique $PMT_{DI} = 1/4'096$ seconde. Finalement, on remarquera que la fréquence naturelle F_{NR} du signal périodique de référence S_{PR} présente également, sur un cycle d'inhibition ou une durée totale de mesure, une fréquence naturelle moyenne FM_{NR} qui vaut le double de la fréquence moyenne FM_{DP} du signal S_{DP} . A ces fréquences F_{NR} et FM_{NR} correspond la fréquence de référence théorique $F_{RT} = 32'768$ Hz, laquelle est, par construction de l'oscillateur, inférieure à la fréquence naturelle F_{NR} .

[0033] A l'aide des Figures 4, 5A, 6 et 7, on décrira plus en détails la méthode de mesure selon l'invention pour un premier mode de régulation de la vitesse de rotation moyenne du transducteur électromécanique dans lequel le dispositif de régulation est agencé pour engendrer les impulsions de régulation de manière que, en fonctionnement normal, deux impulsions de régulation successives quelconques présentent entre leurs débuts respectifs td_n approximativement un même nombre entier positif d'alternances du signal de tension induite qui est généré par les aimants du rotor dans la ou les bobine(s) du stator lorsque ce rotor est en rotation. Dans ce premier mode de régulation, la régulation de la vitesse de rotation moyenne du rotor est obtenue par une variation de la durée T_{BPn} des impulsions de régulation. Dans la variante décrite ici pour une génératrice dont la vitesse de rotation moyenne est régulée par des impulsions de freinage, il est prévu de générer une impulsion de freinage à chaque alternance. La méthode de mesure comprend les étapes suivantes :

A) Mesure par le dispositif de mesure 70, qui comprend ou est associé à une base de temps externe très précise, d'une pluralité d'intervalles de temps successifs TI_n , $n = 1, 2, 3, \dots, N$, intervenant chacun entre deux instants de détection correspondant respectivement à deux instants finaux tf_{n-1} et tf_n de deux impulsions de freinage successives BP_{n-1} et BP_n ;

B) Détermination, pour chaque intervalle de temps TI_n de la pluralité d'intervalles de temps TI_n , $n = 1, 2, 3, \dots, N$, d'un nombre entier $M_n(S_{DP})$ qui est égal à l'arrondi, à l'entier le plus proche, du résultat $NR_n(S_{DP})$ de la division de cet intervalle de temps TI_n par la période théorique PT_{DP} du signal digital périodique S_{DP} , soit $NR_n(S_{DP}) = TI_n / PT_{DP} = TI_n \cdot FT_{DP}$, ou/et d'un nombre entier $M_n(S_{DI})$ qui est égal à l'arrondi, à l'entier le plus proche, du résultat $NR_n(S_{DI})$ de la division de l'intervalle de temps TI_n par la période moyenne théorique PMT_{DI} du signal digital inhibé S_{DI} , soit $NR_n(S_{DI}) = TI_n / PMT_{DI} = TI_n \cdot FMT_{DI}$;

C) Sommation des nombres entiers $M_n(S_{DP})$, respectivement $M_n(S_{DI})$ déterminés à l'étape B) pour la pluralité d'intervalles de temps TI_n , $n = 1, 2, 3, \dots, N$, pour obtenir ainsi un nombre total de périodes TNP (S_{DP}), respectivement TNP (S_{DI}) du signal digital périodique S_{DP} , respectivement du signal digital inhibé S_{DI} ;

D) Sommation des intervalles de temps TI_n de la pluralité d'intervalles de temps mesurés à l'étape A), pour obtenir ainsi une durée totale de mesure T_{Mes} correspondant au nombre total de périodes TNP (S_{DP}), respectivement TNP (S_{DI}) ;

E) Calcul de la fréquence moyenne FM_{DP} , respectivement FM_{DI} du signal S_{DP} ou/et du signal S_{DI} en divisant le nombre total de périodes TNP (S_{DP}), respectivement TNP (S_{DI}) par la durée totale de mesure T_{Mes} , soit $FM_{DP} = TNP(S_{DP}) / T_{Mes}$ et $FM_{DI} = TNP(S_{DI}) / T_{Mes}$.

[0034] A l'étape A), les instants finaux sont détectés ici par un capteur magnétique 72 du dispositif de mesure qui est agencé pour pouvoir détecter de courtes impulsions de tension induite DE_n , $n = 1, 2, 3, \dots$, intervenant en fin des impulsions de freinage BP_n étant donné la brusque chute du courant induit dans les bobines du stator de la génératrice lorsque l'interrupteur 52 est ouvert (rendu non passant) à la fin de chaque impulsion de freinage. Pour détecter précisément un même instant spécifique des impulsions de tension induite DE_n , il est prévu deux comparateurs en parallèle qui détectent, sur le flanc montant de ces impulsions, l'instant où la tension induite atteint une tension de seuil U_s ou $-U_s$ respectivement pour les impulsions positives et négatives qui se succèdent alternativement, étant donné que les impulsions de freinage sont effectuées à chaque alternance de la tension U_1 aux bornes du stator 16 de la génératrice 6. On remarquera que les instants de détection présentent un même petit déphasage temporel avec les fins respectives des impulsions de freinage correspondantes.

[0035] Comme indiqué ci-avant, dans le cadre de l'invention, il est prévu de mesurer soit la fréquence moyenne FM_{DI} du signal digital inhibé S_{DI} , de manière à pouvoir finalement déterminer la marche de la pièce d'horlogerie, soit la fréquence moyenne FM_{DP} du signal digital périodique S_{DP} de manière à pouvoir déterminer la précision de l'oscillateur 26 (généralement un oscillateur à quartz) fournissant le signal périodique de référence S_{PR} . Ainsi, dans une première variante, le signal digital est le signal digital périodique S_{DP} dont la fréquence moyenne FM_{DP} est égale à la fréquence naturelle moyenne FM_{NR} , sur la durée totale de mesure T_{Mes} , du signal périodique de référence S_{PR} divisée par un nombre entier donné, par exemple par deux. La précision de l'oscillateur est déterminée en calculant une erreur relative $ER(S_{DP})$ donnée par le résultat de la division de la différence entre la fréquence moyenne FM_{DP} du signal S_{DP} , obtenue à l'étape E), et la fréquence théorique FT_{DP} de ce signal S_{DP} par cette fréquence théorique, soit $ER(S_{DP}) = (FM_{DP} - FT_{DP}) / FT_{DP}$. On remarquera que l'erreur relative du signal périodique de référence S_{PR} généré par l'oscillateur 26 est identique, soit $ER(S_{PR}) = ER(S_{DP})$. Dans une deuxième variante, le signal digital est donc le signal digital inhibé S_{DI} qui présente des périodes P_{DI} et P_{DI}^* de durées variables en fonction d'une inhibition d'un certain nombre de périodes du signal périodique de référence au cours de cycles d'inhibition successifs. La fréquence moyenne FM_{DI} du signal digital inhibé déterminant une avance des organes indicateurs 14A à 14C du dispositif 12 d'affichage analogique de l'heure, la précision du dispositif d'affichage analogique de l'heure est déterminée en calculant une erreur relative $ER(S_{DI})$ donnée par le résultat de la division de la différence entre la fréquence moyenne FM_{DI} du signal digital inhibé S_{DI} , obtenue à l'étape E), et la fréquence moyenne théorique FMT_{DI} de ce signal S_{DI} par cette fréquence moyenne théorique, soit $ER(S_{DI}) = (FM_{DI} - FMT_{DI}) / FMT_{DI}$. La marche de la pièce d'horlogerie est obtenue en multipliant l'erreur relative $ER(S_{DI})$ par le nombre de secondes dans un jour, soit $Marche = ER(S_{DI}) \cdot 86400$ [s/jour].

[0036] A titre d'exemple, en prenant les résultats de mesure donnés dans le tableau de la Figure 7, on a une durée totale de mesure $T_{Mes} = 64.007533$ secondes, le nombre total de périodes TNP (S_{DP}) = 1'048'810 et le total de périodes TNP (S_{DI}) = 262'175. On obtient :

$$FM_{DP} = 16'385.7276, \text{ et } FM_{DI} = 4'096.002263.$$

Avec $FT_{DP} = 16'384$ Hz et $FMT_{DI} = 4'096$ Hz, on obtient :

$$ER(S_{PR}) = ER(S_{DP}) = 105 \cdot 10^{-6} = 105 \text{ ppm}, \text{ et } ER(S_{DI}) = 0.5525 \text{ ppm}.$$

$ER(S_{PR})$ correspond ici environ à 9 s/jour alors que $ER(S_{DI})$ correspond à une Marche = 0.0477 [s/jour], et donc à une

erreur annuelle d'environ 17.5 s pour une fréquence de référence moyenne annuelle qui correspondrait à la fréquence de référence moyenne FM_{NR} donnée par le double de FM_{DP} , soit $FM_{NR} = 32'771.5$ Hz.

[0037] On remarquera que les intervalles de temps TI_n se suivent sans interruption. Ainsi, la durée totale de mesure T_{Mes} est constituée d'une pluralité d'intervalles de temps TI_n , $n = 1, 2, 3, \dots, N$, qui sont contigus, ces intervalles de temps étant mesurés par le dispositif de mesure de manière très précise. La durée totale de mesure T_{Mes} correspond donc à une période de temps sans interruption entre un instant initial t_{fo} et un instant terminal t_{fN} . Cette variante avantageuse est facultative pour la mesure de la fréquence moyenne du signal digital périodique S_{DP} , mais elle est préférable pour le signal digital inhibé S_{DI} car les inhibitions n'interviennent généralement pas à chaque intervalle de temps TI_n et ces inhibitions ne sont pas distribuées nécessairement de manière parfaitement homogène au cours du temps.

[0038] On remarquera que la durée totale de mesure T_{Mes} est prévue très légèrement supérieure à la durée d'un cycle d'inhibition C_{Inh} qui vaut ici théoriquement 64 secondes. De fait, le dernier intervalle de temps TI_N correspond à l'intervalle de temps, entre deux fins t_{fN-1} et t_{fN} d'impulsions de freinage, au cours duquel intervient la fin d'une mesure temporelle d'un cycle d'inhibition C_{Inh} depuis l'instant final t_{fo} d'une impulsion de freinage initiale BP_0 , cet instant t_{fo} étant sélectionné comme début de la mesure. La mesure temporelle d'un cycle d'inhibition est effectuée aussi par le dispositif de mesure qui comprend ou est associé à une base de temps externe très précise, par exemple une base de temps atomique. Dans la variante représentée, le nombre total N d'intervalles de temps contigus mesurés est égal à 2731, soit $N = 2731$. La fréquence électrique nominale du signal de tension U_1 est égale à 64/3 Hz. La période électrique nominale vaut donc 46.8750 millisecondes. Ainsi, la durée nominale d'une alternance du signal de tension U_1 vaut 23.4375 ms. 2731 alternances à cette durée nominale donne une durée totale légèrement supérieure à 64 s, soit 64.0078125 s. On notera que la durée nominale d'une alternance correspond exactement à 96 périodes moyennes théoriques $PMT_{DI} = 1/4'096$ s du signal S_{DI} et à 384 périodes théoriques $PT_{DP} = 1/16'384$ s du signal S_{DP} .

[0039] Le tableau de la Figure 7 donne la pluralité d'intervalles temps TI_n , $n = 1, 2, 3, \dots, N = 2731$, obtenus à l'étape A) de la méthode de mesure, ainsi que les nombres réels $NR_n(S_{DP})$ et $NR_n(S_{DI})$ et les nombres entiers arrondis correspondants $M_n(S_{DP})$ et $M_n(S_{DI})$ obtenus à l'étape B) de cette méthode de mesure. Etant donné que la vitesse de rotation de la génératrice varie, on observe que les nombres entiers $M_n(S_{DP})$ et $M_n(S_{DI})$ sont variables autour des nombres entiers nominaux respectifs 384 et 96. Comme un facteur '4' est prévu entre les nombres entiers nominaux 96 et 384, et étant donné que les événements détectés DE_n sont synchrones avec des flancs montants du signal digital inhibé S_{DI} , les nombres entiers nominaux $M_n(S_{DP})$ sont des nombres pairs en l'absence d'inhibition durant des intervalles de temps correspondants TI_n et des nombres impairs lorsqu'une inhibition intervient au cours des intervalles de temps correspondants (au plus une inhibition par intervalle de temps est prévue dans la variante décrite ici). Ainsi, on peut aisément déterminer sur le tableau de la Figure 7 les intervalles de temps au cours desquels interviennent des inhibitions.

[0040] Le nombre total d'inhibitions dans la variante décrite est égal à 110. Ce nombre est égal à la différence entre le nombre total de périodes $TNP(S_{DP}) = 1'048'810$ et le total de périodes $TNP(S_{DI}) = 262'175$ multiplié par le facteur '4' susmentionné. Grâce aux arrondis effectués dans la méthode de mesure selon l'invention, on peut déterminer aussi bien le nombre effectif de périodes du signal digital périodique S_{DP} , lequel est non inhibé, que le nombre effectif de périodes du signal digital inhibé S_{DI} , lequel est dérivé du signal S_{DP} avec l'application du procédé d'inhibition pour corriger l'erreur de ce signal S_{DP} . L'arrondi effectué sur les nombres réels $NR_n(S_{DI})$ pour obtenir les nombres entiers $M_n(S_{DI})$ a pour conséquence que ces nombres entiers $M_n(S_{DI})$ sont indépendants du fait qu'une inhibition ait lieu ou non au cours de l'intervalle de temps TI_n correspondant. Ainsi, grâce à la méthode de mesure selon l'invention, malgré le fait que le transducteur électromécanique a une vitesse de rotation variable, on détermine les nombres effectifs de périodes du signal digital inhibé S_{DI} au cours des intervalles de temps TI_n qui sont fonction des impulsions de régulation appliquées au transducteur électromécanique, ces impulsions de régulation pouvant intervenir ou non au cours de chacun de ces intervalles de temps. De plus, dans le cadre de la méthode de mesure selon l'invention, on peut déterminer les nombres effectifs de périodes du signal digital périodique S_{DP} , lequel est non inhibé, au cours des intervalles de temps TI_n et déterminer ainsi, outre la précision de l'oscillateur interne, le nombre d'inhibitions par cycle d'inhibition qui a été prévu pour la pièce d'horlogerie considérée et qui est stocké, au moment de la mesure, dans une mémoire de l'unité d'inhibition 66 ou une mémoire interne accessible à cette unité d'inhibition. On remarquera que ce nombre d'inhibitions peut généralement être remplacé ou corrigé, notamment suite à une constatation que la marche de la pièce d'horlogerie n'est pas optimale ou hors d'une plage spécifique prévue pour la pièce d'horlogerie en question. Le nombre réel théorique NT_{IC} d'inhibitions par cycle d'inhibition à prévoir se calcule aisément en multipliant la durée d'un cycle d'inhibition C_{Inh} par l'erreur relative $ER(S_{PR})$ de la fréquence de référence et en divisant le résultat par la période moyenne PM_{DP} du signal digital périodique S_{DP} sur lequel on effectue les inhibitions, soit $NT_{IC} = C_{Inh} \cdot ER(S_{DP}) / PM_{DP}$ car $ER(S_{PR}) = ER(S_{DP})$. Pour la variante décrite, on obtient $NT_{IC} = 110.112$.

[0041] Dans une autre variante, il est prévu une impulsion de freinage à chaque période de la tension U_1 , de sorte que seules les impulsions de tension induite positives DE_{2n-1} ou seules les impulsions de tension induites négatives DE_{2n} apparaissent (voir Figure 5A), selon que les impulsions de freinage sont appliquées lors des flancs montants ou des flancs descendants du signal de tension U_1 , et elles sont détectées à l'aide d'un seul comparateur de tension avec

la tension de seuil U_S , respectivement $-U_S$. La durée moyenne théorique des intervalles de temps est alors égale à 46.8750 ms.

[0042] Pour garantir une haute précision de la méthode de mesure selon l'invention, trois conditions exposées ci-après sont avantageusement à respecter.

[0043] La première condition impose une durée maximale aux intervalles de temps mesurés T_{I_n} . La mesure de la pluralité d'intervalles de temps successifs T_{I_n} à l'étape A) est effectuée de manière que chacun soit inférieur à une durée maximale $T_{I_{Max}}$ qui est égale à la période moyenne théorique pour le signal digital considéré divisée par le double de l'erreur relative maximale ER_{Max} pour la fréquence naturelle F_{NR} du signal périodique de référence S_{PR} relativement à la fréquence de référence théorique F_{RT} , soit $T_{I_{Max}}(S_{DP}) = PT_{DP}/2 \cdot ER_{Max}(F_{NR})$ pour la mesure de la fréquence moyenne FM_{DP} du signal digital périodique S_{DP} , soit $T_{I_{Max}}(S_{DI}) = PMT_{DI}/2 \cdot ER_{Max}(F_{NR})$ pour la mesure de la fréquence moyenne FM_{DI} du signal digital inhibé S_{DI} . Comme la méthode de mesure repose sur un arrondi à la valeur entière la plus proche, pour obtenir un nombre entier de périodes $M_n(S_{DP})$, respectivement $M_n(S_{DI})$ du signal digital considéré qui corresponde pour chaque intervalle de temps T_{I_n} au nombre entier effectif de périodes du signal digital considéré, il faut que chaque nombre réel obtenu $NR_n(S_{DP})$, respectivement $NR_n(S_{DI})$ s'écarte au maximum d'une demi-période du signal digital considéré relativement au nombre entier $M_n(S_{DP})$, respectivement $M_n(S_{DI})$. Comme $PMT_{DI} = 4 \cdot PT_{DP}$, on comprend que la condition est plus stricte pour la mesure de la fréquence moyenne FM_{DP} du signal S_{DP} et donc de la précision de l'oscillateur de la base de temps interne. De plus, pour le signal S_{DI} , comme il y a des inhibitions prévues pour corriger l'erreur de l'oscillateur et que ces inhibitions sont généralement réparties au cours des cycles d'inhibition, la première condition discutée ici n'est pas nécessaire pour garantir une haute précision de mesure mais elle permet d'assurer dans tous les cas une haute précision. A titre d'exemple numérique, si on prend comme erreur maximale pour l'oscillateur vingt secondes /jour, $ER_{Max}(F_{NR})$ vaut approximativement 230 ppm (0.00023), $T_{I_{Max}}(S_{DP}) = 132.7$ ms et $T_{I_{Max}}(S_{DI}) = 530.8$ ms. Dans la variante considérée, la durée théorique d'une alternance du signal U_1 est égale à 23.4375 ms, de sorte qu'il faut au moins une impulsion de freinage toutes les cinq alternances pour mesurer précisément la fréquence moyenne de l'oscillateur, respectivement au moins une impulsion de freinage toutes les vingt-deux alternances pour mesurer précisément, en l'absence d'inhibition au cours d'au moins un des intervalles de temps T_{I_n} , la fréquence moyenne du signal digital inhibé et donc la marche de la pièce d'horlogerie.

[0044] La deuxième condition concerne le nombre maximum d'inhibitions qui peuvent intervenir au cours de chaque intervalle de temps T_{I_n} . Dans le but d'obtenir un nombre entier de périodes $M_n(S_{DI})$ du signal digital inhibé S_{DI} qui corresponde, pour chacun des intervalles de temps T_{I_n} , au nombre entier effectif de périodes de ce signal digital inhibé, la pluralité d'intervalles de temps successifs est prévue de manière que l'augmentation de la durée d'un intervalle de temps quelconque parmi cette pluralité, résultant de l'inhibition d'une ou plusieurs période(s) du signal périodique de référence au cours de cet intervalle de temps, soit au maximum égale à la moitié de la période moyenne théorique PMT_{DI} du signal digital inhibé (étant entendu qu'un nombre valant un entier et demi est arrondi à cet entier). Dans la variante décrite, ce sont des périodes du signal digital périodique S_{DP} qui sont inhibées. Comme le rapport entre la période moyenne théorique PMT_{DI} du signal digital inhibé et la période théorique PT_{DP} du signal S_{DP} vaut quatre, soit $PMT_{DI} = PT_{DP}/4$, cette deuxième condition implique pour cette variante qu'il y ait au plus deux inhibitions par intervalle de temps T_{I_n} . Comme la période P_{DP} du signal S_{DP} est pratiquement inférieure à la période théorique PT_{DP} , on a une certaine marge en limitant les inhibitions par intervalle de temps mesuré à deux inhibitions.

[0045] On remarquera que la deuxième condition est avantageuse pour assurer dans tous les cas une haute précision de mesure, mais elle n'est pas nécessaire dans tous les cas. En effet, dans un mode du procédé d'inhibition qui répartit les inhibitions au cours d'un cycle d'inhibition selon un schéma sensiblement uniforme, par exemple en répartissant au mieux le nombre d'inhibitions dans des sous-périodes des cycles d'inhibition et en évitant d'effectuer dans ces sous-périodes plus de deux impulsions dans un court laps de temps, on pourrait avoir plus de deux inhibitions par intervalle de temps si les intervalles de temps T_{I_n} sont, dans une variante, assez longs. Avec une impulsion de freinage toutes les alternances, comme dans la variante décrite précédemment, on observe que le nombre maximum d'inhibitions au cours de chaque alternance est bien égal à deux. Au tableau de la Figure 7, prenons l'intervalle de temps $T_{I_{233}}$ où intervient déjà une inhibition, on a $NR_{233}(S_{DI}) = 94.240$. Si on ajoutait encore une inhibition, on obtiendrait approximativement $NR(S_{DI}) = 94.490$ qui s'arrondit correctement à $M(S_{DI}) = 94$. Avec trois inhibitions, on aurait un $NR(S_{DI})$ supérieur à 94.50, ce qui engendrerait une erreur dans la comptabilité du nombre effectif de périodes du signal digital inhibé. Par contre, si l'intervalle de temps T_{I_n} avait une durée suffisamment longue pour que l'erreur engendrée par l'oscillateur soit supérieure à une période théorique PT_{DP} du signal S_{DP} , alors on pourrait avoir trois inhibitions au cours d'un tel intervalle de temps et toujours avoir un arrondi correct au nombre de périodes effectives du signal S_{DI} . Selon les calculs et résultats donnés en lien avec la première condition exposée précédemment, on peut donc conclure qu'on pourrait avoir trois inhibitions au cours d'un intervalle de temps supérieur à 22 alternances du signal de tension U_1 , soit au moins 23 alternances entre deux impulsions de freinage déterminant l'intervalle de temps considéré et de préférence au moins 24 alternances, soit 12 périodes électriques. Ainsi, la personne du métier peut comprendre qu'il y a un certain lien entre les intervalles de temps qui sont mesurés lors de la mise en œuvre de la méthode de mesure de l'invention et le procédé d'inhibition à prévoir, et donc qu'il existe une certaine relation entre le nombre d'impulsions de régulation

par unité de temps, lors de la mise en œuvre de la méthode de mesure de l'invention, et le mode de répartition des inhibitions au cours des cycles d'inhibition.

[0046] La troisième condition pour garantir une haute précision de mesure concerne la durée totale de mesure T_{Mes} pour mesurer la fréquence moyenne du signal digital inhibé et la marche de la pièce d'horlogerie. Comme indiqué, les procédés d'inhibition classiques prévoient de répartir les inhibitions au cours de chaque cycle d'inhibition. Dans un mode de mise en œuvre particulier, les inhibitions, dont le nombre entier maximum par cycle d'inhibition est 255 ou 511, sont réparties par seconde. Un cycle d'inhibition dure théoriquement 64 [s]. Comme déjà exposé précédemment, dans chaque sous-période d'une seconde, on effectue un nombre entier d'inhibitions, correspondant à la valeur entière du nombre total d'inhibitions prévues divisé par 64, et on ajoute périodiquement une inhibition additionnelle correspondant à la sommation des parties fractionnaires au cours des secondes, chaque fois que cette sommation dépasse l'unité. Dans chaque sous-période d'une seconde, il est prévu d'effectuer les inhibitions toutes les $TU = 125$ ms en commençant au début de la sous-période. Ainsi, si trois impulsions sont prévues dans une sous-période donnée, la première intervient au temps zéro de cette sous-période, la deuxième après 125 ms et la troisième après 250 ms ($= 2 \cdot TU$). Ensuite, il n'y a plus d'inhibition dans cette sous-période, à savoir durant un peu moins de 750 ms.

[0047] Comme on ne sait pas à quel instant d'un cycle d'inhibition on débute le premier intervalle de temps TI_1 de la méthode de mesure, il est avantageusement prévu que la durée totale de mesure T_{Mes} englobe au plus près entièrement un cycle d'inhibition pour être sûr que toutes les inhibitions prévues pour un cycle d'inhibition soient intervenues durant la pluralité d'intervalles de temps TI_n mesurés. Cependant, comme les intervalles de temps sont déterminés par les impulsions de freinage qui dépendent notamment de la vitesse de rotation variable de la génératrice, il n'est pratiquement pas possible d'obtenir une durée totale de mesure T_{Mes} égale exactement à un cycle d'inhibition. Par conséquent, dans une variante préférée, on prévoit de terminer les mesures des intervalles de temps à la première impulsion de freinage suivant une période de temps correspondant à un cycle d'inhibition. Ainsi, $T_{Mes} = C_{Inh} + T_{add}$. On remarquera que la probabilité qu'une impulsion d'inhibition soit comptabilisée en trop est élevée, voire même plus d'une inhibition si la durée additionnelle T_{add} devait dépasser $TU = 125$ ms. Pour éviter ceci, dans une variante préférée, on prévoit que les intervalles de temps TI_n soient inférieurs à $TU/2$. Dans la variante considérée, ceci veut dire qu'il faut une impulsion de freinage au minimum à chaque période électrique du signal de tension U_1 . De plus, il est prévu de débiter le premier intervalle de temps TI_1 à la fin de l'impulsion de freinage qui suit directement la détection d'une inhibition. Ainsi, on assure ne pas compter une inhibition en trop relativement au nombre total d'inhibition prévue dans un cycle d'inhibition. Dans la variante préférée ici exposée, il est donc prévu d'effectuer des mesures d'intervalles de temps entre des impulsions de freinage et d'effectuer les calculs exposés en relation avec le tableau de la Figure 7 avant de débiter la méthode de mesure pour la pluralité d'intervalles de temps TI_n déterminant la durée totale de mesure T_{Mes} .

[0048] A la Figure 5B sont représentés le signal de commande S_{com} , le signal de tension U_1 et le signal de tension U_{Det} détecté par le dispositif de mesure dans une mise en œuvre de la méthode de mesure selon l'invention pour un deuxième mode de régulation de la vitesse de rotation moyenne du transducteur électromécanique dans lequel le dispositif de régulation est agencé pour engendrer les impulsions de régulation BP_n de manière que deux impulsions de régulation successives quelconques présentent entre leurs débuts respectifs td_n approximativement un nombre entier positif d'alternances d'un signal de tension induite généré par le flux magnétique variable dans le stator, formé par au moins une bobine, lorsque le rotor du transducteur électromécanique est en rotation. Dans le deuxième mode de régulation, les impulsions de régulation présentent, au moins sur une certaine période de régulation, sensiblement une même durée et la régulation de la vitesse de rotation moyenne du rotor au cours de cette période de régulation est obtenue par une variation du nombre entier positif d'alternances susmentionnés entre les impulsions de régulation. Sinon, la méthode de mesure reste similaire à celle exposée précédemment pour le premier mode de régulation et les trois conditions exposées précédemment s'appliquent également. Dans le cas d'une pièce d'horlogerie munie d'une génératrice, on comprend qu'il est préférable de mettre en œuvre la méthode de mesure lorsque le barillet qui entraîne cette génératrice est remonté, de manière que le couple de force soit relativement élevé et qu'il soit alors nécessaire d'effectuer suffisamment d'impulsions de freinage pour réguler la vitesse de rotation de la génératrice.

[0049] Finalement, tout l'enseignement donné dans la présente description de l'invention en relation avec une pièce d'horlogerie munie d'une génératrice s'applique également, par analogie, à une pièce d'horlogerie munie d'un moteur à rotation continue et d'une alimentation électrique pour alimenter ce moteur par des impulsions électriques motrices. Dans un tel mode de réalisation, le transducteur électromécanique est ainsi un moteur à rotation continue formant le dispositif moteur du mouvement horloger. Ce moteur est formé par un rotor muni d'aimants permanents et un stator comprenant au moins une bobine au travers de laquelle passe un flux magnétique variable qui est engendré par les aimants du rotor lorsque ce dernier est en rotation. Dans ce cas, les impulsions de régulation sont des impulsions motrices qui sont engendrées chacune par une alimentation électrique momentanée de ladite au moins une bobine du stator. Pour ce faire, l'interrupteur 52 du circuit de régulation est alors agencé entre une borne électrique du stator et une borne de l'alimentation électrique susceptible de délivrer un certain courant d'alimentation à la bobine.

Revendications

1. Méthode de mesure de la fréquence moyenne d'un signal digital (S_{DP} , S_{DI}) qui est dérivé d'un signal périodique de référence (S_{PR}) engendré par un oscillateur (26) formant une base de temps électronique (25) d'une pièce d'horlogerie (2), cette pièce d'horlogerie comprenant un mouvement (4) incorporant un mécanisme formé par une chaîne cinématique (8) qui est agencée entre un dispositif moteur (10) du mouvement et un dispositif (12) d'affichage analogique de l'heure, cette chaîne cinématique comprenant ou étant reliée cinématiquement à un transducteur électromécanique à rotation continue (6) dont la vitesse de rotation moyenne est régulée par un dispositif de régulation (50), associé à la base de temps électronique, en fonction d'une vitesse de rotation nominale, ce dispositif de régulation étant agencé pour fournir au transducteur électromécanique successivement des impulsions de régulation (BP_n) pour réguler sa vitesse de rotation moyenne, ces impulsions de régulation définissant respectivement de mêmes événements (tf_n) qui sont synchronisés sur les flancs montants ou sur les flancs descendants dudit signal digital et qui sont détectables, par un dispositif de mesure (70) sans contact galvanique avec le mouvement, à des instants de détection ayant un même déphasage temporel avec lesdits mêmes événements ;
la méthode de mesure comprenant les étapes suivantes :
 - A) Mesure, sans contact galvanique avec le mouvement, d'une pluralité d'intervalles de temps successifs (TI_n) intervenant chacun entre deux instants de détection qui sont détectés pour deux impulsions de régulation respectives parmi lesdites impulsions de régulation ;
 - B) Détermination, pour chaque intervalle de temps de ladite pluralité d'intervalles de temps, d'un nombre entier ($M_n(S_{DP})$, $M_n(S_{DI})$) correspondant qui est égal à l'arrondi, à l'entier le plus proche, du résultat ($NR_n(S_{DP})$, $NR_n(S_{DI})$) de la division de cet intervalle de temps par une période moyenne théorique (PT_{DP} , PMT_{DI}) donnée pour ledit signal digital ;
 - C) Sommation des nombres entiers déterminés à l'étape B) pour ladite pluralité d'intervalles de temps, pour obtenir ainsi un nombre total de périodes dudit signal digital ;
 - D) Sommation des intervalles de temps mesurés de ladite pluralité d'intervalles de temps, pour obtenir ainsi une durée totale de mesure (T_{Mes}) correspondant audit nombre total de périodes ;
 - E) Calcul de la fréquence moyenne dudit signal digital en divisant ledit nombre total de périodes par ladite durée totale de mesure.
2. Méthode de mesure selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la mesure d'une pluralité d'intervalles de temps successifs à l'étape A) est effectuée de manière que chaque intervalle de temps mesuré soit inférieur à une durée maximale qui est égale à la période moyenne théorique pour ledit signal digital divisée par le double de l'erreur relative maximale pour la fréquence naturelle (F_{NR}) du signal périodique de référence relativement à une fréquence de référence théorique (F_{RT}).
3. Méthode de mesure selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** ledit signal digital est un signal digital périodique (S_{DP}) dont la fréquence moyenne est égale à la fréquence naturelle moyenne, sur ladite durée totale de mesure, du signal périodique de référence divisée par un nombre entier donné.
4. Méthode de mesure selon la revendication 3, **caractérisée en ce que** la précision dudit oscillateur est déterminée en calculant une erreur relative donnée par le résultat de la division de la différence entre ladite fréquence moyenne du signal digital périodique obtenue à l'étape E) et une fréquence moyenne théorique, égale à l'inverse de ladite période moyenne théorique (PT_{DP}), par cette fréquence moyenne théorique.
5. Méthode de mesure selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** ledit signal digital est un signal digital inhibé (S_{DI}) qui présente des périodes de durées variables (P_{DI} , P_{DI}^*) en fonction d'une inhibition d'un certain nombre de périodes du signal périodique de référence au cours de cycles d'inhibition successifs ; et **en ce que** la fréquence moyenne du signal digital inhibé détermine une avance des organes indicateurs du dispositif d'affichage analogique de l'heure.
6. Méthode de mesure selon la revendication 5, **caractérisée en ce que** la précision du dispositif d'affichage analogique de l'heure est déterminée en calculant une erreur relative donnée par le résultat de la division de la différence entre ladite fréquence moyenne du signal digital inhibé, obtenue à l'étape E), et une fréquence moyenne théorique, égale à l'inverse de ladite période moyenne théorique (PMT_{DI}), par cette fréquence moyenne théorique.
7. Méthode de mesure selon la revendication 6, **caractérisée en ce que** la marche de la pièce d'horlogerie est obtenue en multipliant ladite erreur relative par le nombre de secondes dans un jour.

8. Méthode de mesure selon une quelconque des revendications 5 à 7, **caractérisée en ce que** ladite inhibition est effectuée selon un procédé qui répartit l'inhibition du certain nombre de périodes du signal périodique de référence au cours de chaque cycle d'inhibition ; et **en ce que** la pluralité d'intervalles de temps successifs est prévue de manière que l'augmentation de la durée d'un intervalle de temps quelconque parmi cette pluralité, résultant de l'inhibition d'une ou plusieurs période(s) du signal périodique de référence au cours de cet intervalle de temps, soit au maximum égale à la moitié d'une / de ladite période moyenne théorique du signal digital inhibé.
9. Méthode de mesure selon une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** ledit transducteur électromécanique est une génératrice (6) formée par un rotor (18) muni d'aimants permanents et un stator (16) comprenant au moins une bobine (22A,22B,22C) au travers de laquelle passe un flux magnétique variable qui est engendré par les aimants du rotor lorsque ce dernier est en rotation ; et **en ce que** lesdites impulsions de régulation sont des impulsions de freinage du rotor engendrées chacune par un court-circuit momentané de ladite au moins une bobine.
10. Méthode de mesure selon une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisée en ce que** ledit transducteur électromécanique est un moteur à rotation continue formé par un rotor muni d'aimants permanents et un stator comprenant au moins une bobine au travers de laquelle passe un flux magnétique variable qui est engendré par les aimants du rotor lorsque ce dernier est en rotation, le moteur à rotation continue formant ledit dispositif moteur ; et **en ce que** lesdites impulsions de régulation sont des impulsions électriques motrices qui sont engendrées chacune par une alimentation électrique momentanée de ladite au moins une bobine.
11. Méthode de mesure selon la revendication 9 ou 10, **caractérisée en ce que** ledit dispositif de régulation est agencé pour engendrer les impulsions de régulation de manière que, en fonctionnement normal, deux impulsions de régulation successives quelconques présentent entre leurs débuts respectifs (td_n) un même nombre entier positif d'alternances d'un signal de tension induite généré par ledit flux magnétique variable dans ladite au moins une bobine lorsque le rotor est en rotation ; et **en ce que** la régulation de la vitesse de rotation moyenne du rotor est obtenue par une variation de la durée des impulsions de régulation.
12. Méthode de mesure selon la revendication 9 ou 10, **caractérisée en ce que** ledit dispositif de régulation est agencé pour engendrer les impulsions de régulation de manière que deux impulsions de régulation successives quelconques présentent entre leurs débuts respectifs (td_n) un nombre entier positif d'alternances d'un signal de tension induite généré par ledit flux magnétique variable dans ladite au moins une bobine lorsque le rotor est en rotation ; **en ce que** les impulsions de régulation présentent, au moins sur une certaine période de régulation, sensiblement une même durée ; et **en ce que** la régulation de la vitesse de rotation moyenne du rotor au cours de ladite période de régulation est obtenue par une variation dudit nombre entier positif.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der mittleren Frequenz eines digitalen Signals (S_{DP} , S_{DI}), das von einem periodischen Referenzsignal (S_{PR}) abgeleitet ist, das von einem Oszillator (26) erzeugt wird, der eine elektronische Zeitbasis (25) eines Zeitmessers (2) bildet, wobei dieser Zeitmesser ein Uhrwerk (4) umfasst, das einen Mechanismus integriert, der von einer kinematischen Kette (8) gebildet wird, die zwischen einer Motorvorrichtung (10) des Uhrwerks und einer Vorrichtung (12) zur Analoganzeige der Uhrzeit eingerichtet ist, wobei diese kinematische Kette einen sich kontinuierlich drehenden elektromechanischen Wandler (6) umfasst oder kinematisch damit verbunden ist, dessen mittlere Drehzahl von einer Reguliervorrichtung (50), die mit der elektronischen Zeitbasis assoziiert ist, in Abhängigkeit von einer Solldrehzahl reguliert wird, wobei diese Reguliervorrichtung zum sukzessiven Versorgen des elektromechanischen Wandlers mit Regulierimpulsen (BP_n) zum Regulieren seiner mittleren Drehzahl eingerichtet ist, wobei diese Regulierimpulse jeweils dieselben Ereignisse (tf_n) definieren, die an den ansteigenden Flanken oder an den abfallenden Flanken des digitalen Signals synchronisiert werden und die durch eine Messvorrichtung (70) ohne galvanischen Kontakt mit dem Uhrwerk zu Erfassungszeitpunkten mit derselben zeitlichen Phasenverschiebung mit denselben Ereignissen erfassbar sind; wobei das Messverfahren die folgenden Schritte umfasst:
- A) Messen einer Vielzahl von sukzessiven Zeitintervallen (TI_n), die jeweils zwischen zwei Erfassungszeitpunkten eintreten und die für zwei jeweilige Regulierimpulse aus den Regulierimpulsen erfasst werden, ohne galvanischen Kontakt mit dem Uhrwerk;
- B) für jedes Zeitintervall der Vielzahl von Zeitintervallen Bestimmen einer entsprechenden ganzen Zahl ($M_n(S_{DP})$),

$M_n(S_{DI}))$, die gleich der Rundung auf die nächste ganze Zahl des Ergebnisses ($NR_n(S_{DP})$, $NR_n(S_{DI})$) der Division dieses Zeitintervalls durch eine theoretische mittlere Periode (PT_{DP} , PMT_{DI}) ist, die von dem digitalen Signal gegeben wird;

C) Summieren der im Schritt B) bestimmten ganzen Zahlen für die Vielzahl von Zeitintervallen, um so eine Gesamtanzahl von Perioden des digitalen Signals zu erhalten;

D) Summieren von gemessenen Zeitintervallen der Vielzahl von Zeitintervallen, um so eine Gesamtmessdauer (T_{Mes}) zu erhalten, die der Gesamtanzahl von Perioden entspricht;

E) Berechnen der mittleren Frequenz des digitalen Signals durch Dividieren der Gesamtanzahl von Perioden durch die Gesamtmessdauer.

2. Messverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Messen der Vielzahl von sukzessiven Zeitintervallen im Schritt A) so durchgeführt wird, dass jedes gemessene Zeitintervall kürzer als eine maximale Dauer ist, die gleich der theoretischen mittleren Periode für das digitale Signal dividiert durch das Doppelte des maximalen relativen Fehlers für die natürliche Frequenz (F_{NR}) des periodischen Referenzsignals relativ zu einer theoretischen Referenzfrequenz (F_{RT}) ist.

3. Messverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das digitale Signal ein periodisches digitales Signal (S_{DP}) ist, dessen mittlere Frequenz gleich der mittleren natürlichen Frequenz über die Gesamtmessdauer des periodischen Referenzsignals dividiert durch eine gegebene ganze Zahl ist.

4. Messverfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Präzision des Oszillators durch Berechnen eines relativen Fehlers, der durch das Ergebnis der Division der Differenz zwischen der mittleren Frequenz des periodischen digitalen Signals, die im Schritt E) erhalten wurde, und einer theoretischen mittleren Frequenz, die gleich dem Kehrwert der theoretischen mittleren Periode (PT_{DP}) ist, gegeben wird, für diese theoretische mittlere Frequenz bestimmt wird.

5. Messverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das digitale Signal ein inhibiertes digitales Signal (S_{DI}) ist, das Perioden von variablen Dauern (P_{DI} , P_{DI}^*) in Abhängigkeit von einer Inhibition einer bestimmten Anzahl von Perioden des periodischen Referenzsignals im Verlauf von sukzessiven Inhibitionszyklen aufweist; und dass die mittlere Frequenz des inhibierten digitalen Signals einen Vorgang von Anzeigerorganen der Vorrichtung zur Analoganzeige der Uhrzeit bestimmt.

6. Messverfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Präzision der Vorrichtung zur Analoganzeige der Uhrzeit durch Berechnen eines relativen Fehlers, der durch das Ergebnis der Division der Differenz zwischen der mittleren Frequenz des inhibierten digitalen Signals, die im Schritt E) erhalten wurde, und einer theoretischen mittleren Frequenz, die gleich dem Kehrwert der theoretischen mittleren Periode (PMT_{DI}) ist, gegeben wird, für diese theoretische mittlere Frequenz bestimmt wird.

7. Messverfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Gang des Zeitmessers durch Multiplizieren des relativen Fehlers mit der Anzahl von Sekunden in einem Tag erhalten wird.

8. Messverfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Inhibition gemäß einem Verfahren durchgeführt wird, das die Inhibition der bestimmten Anzahl von Perioden des periodischen Referenzsignals im Verlauf jedes Inhibitionszyklus aufteilt; und dass die Vielzahl von sukzessiven Zeitintervallen vorgesehen wird, so dass die Verlängerung der Dauer eines beliebigen Zeitintervalls aus dieser Vielzahl, die aus der Inhibition von einer oder mehreren Perioden des periodischen Referenzsignals im Verlauf dieses Zeitintervalls resultiert, maximal gleich der Hälfte von einer/der theoretischen mittleren Periode des inhibierten digitalen Signals ist.

9. Messverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der elektromechanische Wandler ein Generator (6) ist, der von einem Rotor (18), der mit Permanentmagneten ausgestattet ist, und einem Stator (16), der mindestens eine Spule (22A, 22B, 22C) umfasst, durch die ein variabler Magnetfluss, der von den Magneten des Rotors erzeugt wird, wenn dieser letztere sich in Drehung befindet, hindurchströmt, gebildet wird; und dass die Regulierimpulse Impulse zur Bremsung des Rotors sind, die jeweils durch einen momentanen Kurzschluss der mindestens einen Spule erzeugt werden.

10. Messverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der elektromechanische Wandler ein sich kontinuierlich drehender Motor ist, der von einem Rotor, der mit Permanentmagneten ausgestattet ist, und einem Stator, der mindestens eine Spule umfasst, durch die ein variabler Magnetfluss, der von den Magneten

des Rotors erzeugt wird, wenn dieser letztere sich in Drehung befindet, hindurchströmt, gebildet wird, wobei der sich kontinuierlich drehende Motor die Motorvorrichtung bildet; und dass die Regulierimpulse elektrische motorische Impulse sind, die jeweils durch eine momentane Stromversorgung der mindestens einen Spule erzeugt werden.

- 5 11. Messverfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reguliervorrichtung zum Erzeugen der Regulierimpulse eingerichtet ist, so dass im Normalbetrieb beliebige zwei sukzessive Regulierimpulse zwischen ihren jeweiligen Anfängen (td_n) dieselbe positive ganze Zahl von Halbwellen eines induzierten Spannungssignals aufweisen, das von dem variablen Magnetfluss in der mindestens einen Spule erzeugt wird, wenn der Rotor sich in Drehung befindet; und dass die Regulierung der mittleren Drehzahl des Rotors durch eine Variation der Dauer von Regulierimpulsen erhalten wird.
- 10 12. Messverfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reguliervorrichtung zum Erzeugen der Regulierimpulse eingerichtet ist, so dass im Normalbetrieb beliebige zwei sukzessive Regulierimpulse zwischen ihren jeweiligen Anfängen (td_n) eine positive ganze Zahl von Halbwellen eines induzierten Spannungssignals aufweisen, das von dem variablen Magnetfluss in der mindestens einen Spule erzeugt wird, wenn der Rotor sich in Drehung befindet; dass die Regulierimpulse mindestens über eine bestimmte Regulierperiode im Wesentlichen dieselbe Dauer aufweisen und dass die Regulierung der mittleren Drehzahl des Rotors im Verlauf der Regulierperiode durch eine Variation der positiven ganzen Zahl erhalten wird.

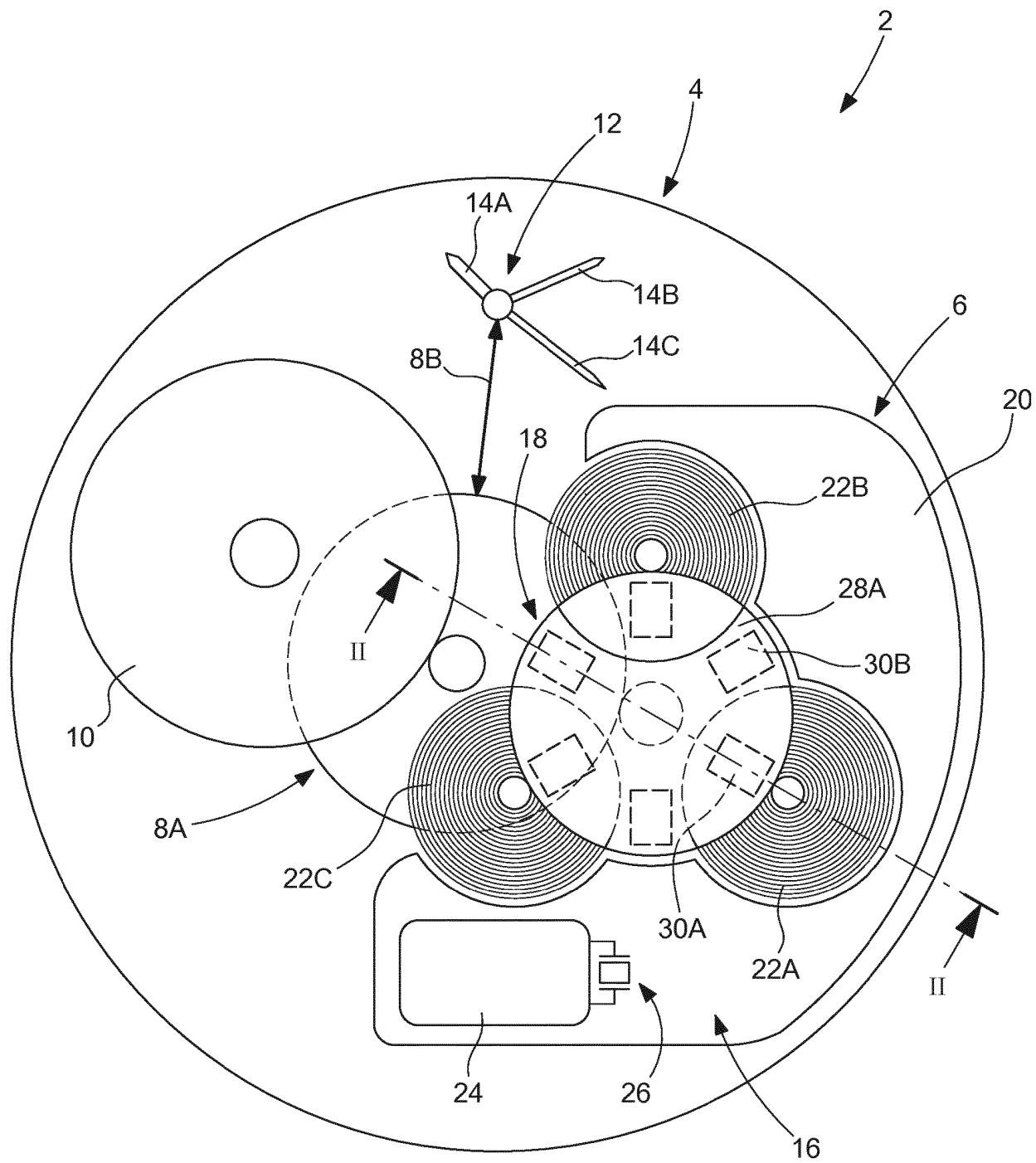
Claims

1. Method for measuring the mean frequency of a digital signal (S_{DP} , S_{DI}) which is derived from a reference periodic signal (S_{PR}) generated by an oscillator (26) forming an electronic time base (25) of a timepiece (2), this timepiece comprising a movement (4) incorporating a mechanism formed by a kinematic chain (8) which is arranged between a motor device (10) of the movement and an analogue time display device (12), this kinematic chain comprising or being kinematically linked to a continuous rotation electromagnetic transducer (6) whose mean rotational speed is regulated by a regulation device (50), associated with the electronic time base, according to a nominal rotational speed, this regulation device being arranged to successively supply the electromagnetic transducer with regulation impulses (BP_n) to regulate the mean rotational speed thereof, these regulation impulses defining respectively same events (tf_n) which are synchronised on the rising edges or on the falling edges of said digital signal and which are detectable, by a measurement device (70) without galvanic contact with the movement, at respective detection times having the same time phase-shift with said same events; the measurement method comprising the following steps:
- 35 A) Measurement, without galvanic contact with the movement, of a plurality of successive time intervals (TI_n) each occurring between two detection times which are detected for two respective regulation impulses among said regulation impulses;
- B) Determination, for each time interval of the plurality of time intervals, of a corresponding whole number ($M_n(S_{DP})$, $M_n(S_{DI})$) which is equal to the rounded result ($NR_n(S_{DP})$, $NR_n(S_{DI})$), to the nearest integer, of the division of this time interval by the theoretical mean period (PT_{DP} , PMT_{DI}) given by said digital signal;
- 40 C) Summation of the whole numbers determined in step B) for the plurality of time intervals, to thus obtain a total number of periods of said digital signal;
- D) Summation of the measured time intervals of the plurality of time intervals, to thus obtain a total measurement duration (T_{Mes}) corresponding to said total number of periods;
- 45 E) Calculation of the mean frequency of said digital signal by dividing the total number of periods by said total measurement duration.
2. Measurement method according to claim 1, **characterised in that** the measurement of a plurality of successive time intervals in step A) is performed such that each is less than a maximum duration which is equal to the theoretical mean period for said digital signal divided by double the maximum relative error for the natural frequency (F_{NR}) of the reference periodic signal relative to a theoretical reference frequency (F_{RT}).
3. Measurement method according to claim 1 or 2, **characterised in that** said digital signal is a periodic digital signal (S_{DP}) wherein the mean frequency is equal to the mean natural frequency, over said total measurement duration, of the reference periodic signal divided by a given whole number.
- 55 4. Measurement method according to claim 3, **characterised in that** the precision of said oscillator is determined by

calculating a relative error given by the result of the division of the difference between said mean frequency of the periodic digital signal obtained in step E) and a theoretical mean frequency, equal to the inverse of said theoretical mean period (PT_{DP}), by this theoretical mean frequency.

- 5 **5.** Measurement method according to claim 1 or 2, **characterised in that** said digital signal is an inhibited digital signal (S_{DI}) which has periods (P_{DI} , P_{DI}^*) of variable durations according to an inhibition of a certain number of periods of the reference periodic signal during successive inhibition cycles; and **in that** the mean frequency of the inhibited digital signal determines a gain of the indicator organs of the analogue time display device.
- 10 **6.** Measurement method according to claim 5, **characterised in that** the precision of the analogue time display device is determined by calculating a relative error given by the result of the division of the difference between the mean frequency of the inhibited digital signal, obtained in step E), and a theoretical mean frequency, equal to the inverse of said theoretical mean period (PMT_{DI}), by this theoretical mean frequency.
- 15 **7.** Measurement method according to claim 6, **characterised in that** the rate of the timepiece is obtained by multiplying said relative error by the number of seconds in one day.
- 20 **8.** Measurement method according to any one of claims 5 to 7, **characterised in that** said inhibition is performed according to a process which distributes the inhibition of the certain number of periods of the reference periodic signal using each inhibition cycle; and **in that** the plurality of successive time intervals is envisaged such that the increase of the duration of any time interval among this plurality, resulting from the inhibition of one or more period(s) of the reference periodic signal during this time interval, is at most equal to half of one / said theoretical mean period of the inhibited digital signal.
- 25 **9.** Measurement method according to any one of the preceding claims, **characterised in that** said electromechanical transducer is a generator (6) formed by a rotor (18) equipped with permanent magnets and a stator (16) comprising at least one coil (22A, 22B, 22C) through which a variable magnetic flux, which is generated by the magnets of the rotor when the latter is rotating, passes; and **in that** said regulation impulses are braking impulses of the rotor each generated by a momentary short-circuit of said at least one coil.
- 30 **10.** Measurement method according to any one of claims 1 to 8, **characterised in that** said electromechanical transducer is a continuous rotation motor formed by a rotor equipped with permanent magnets and a stator comprising at least one coil through which a variable magnetic flux, which is generated by the magnets of the rotor when the latter is rotating, passes, the continuous rotation motor forming said motor device; and **in that** said regulation impulses are motor electrical impulses which are each generated by a momentary electrical power supply of said at least one coil.
- 35 **11.** Measurement method according to claim 9 or 10, **characterised in that** said regulation device is arranged to generate regulation impulses in such a way that, in normal operation, any two successive regulation impulses have between the respective starts (td_n) thereof the same positive whole number of alternations of an induced voltage signal generated by said variable magnetic flux in said at least one coil when the rotor is rotating; and **in that** the regulation of the mean rotational speed of the rotor is obtained by a variation of the duration of the regulation impulses.
- 40 **12.** Measurement method according to claim 9 or 10, **characterised in that** said regulation device is arranged to generate regulation impulses in such a way that, in normal operation, any two successive regulation impulses have between the respective starts (td_n) thereof the same positive whole number of alternations of an induced voltage signal generated by said variable magnetic flux in said at least one coil when the rotor is rotating; **in that** the regulation impulses have, at least over a certain regulation period, substantially the same duration; and **in that** the regulation of the mean rotational speed of the rotor during said regulation period is obtained by a variation of said positive whole number.
- 45
- 50
- 55

Fig. 1



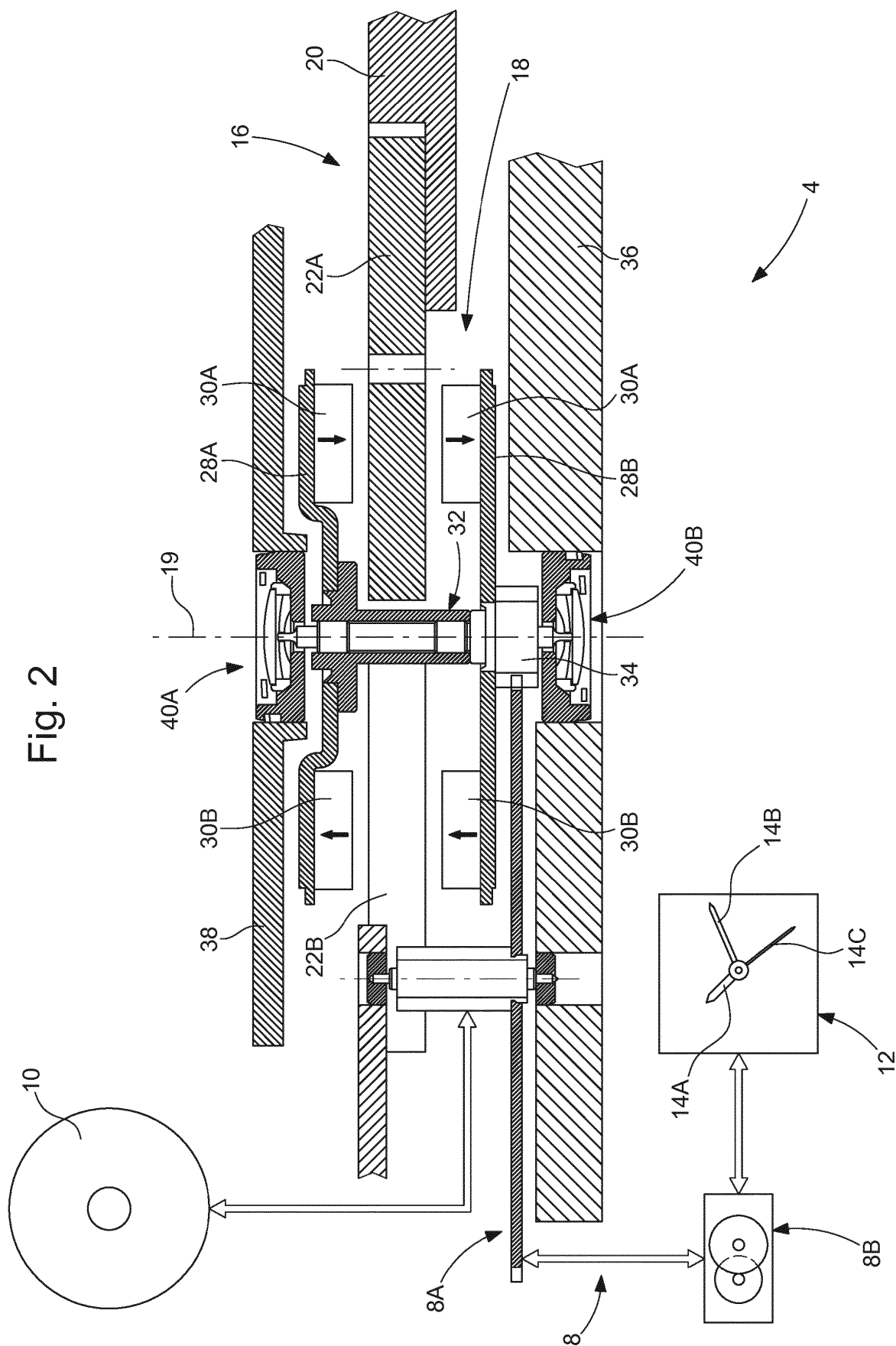


Fig. 3

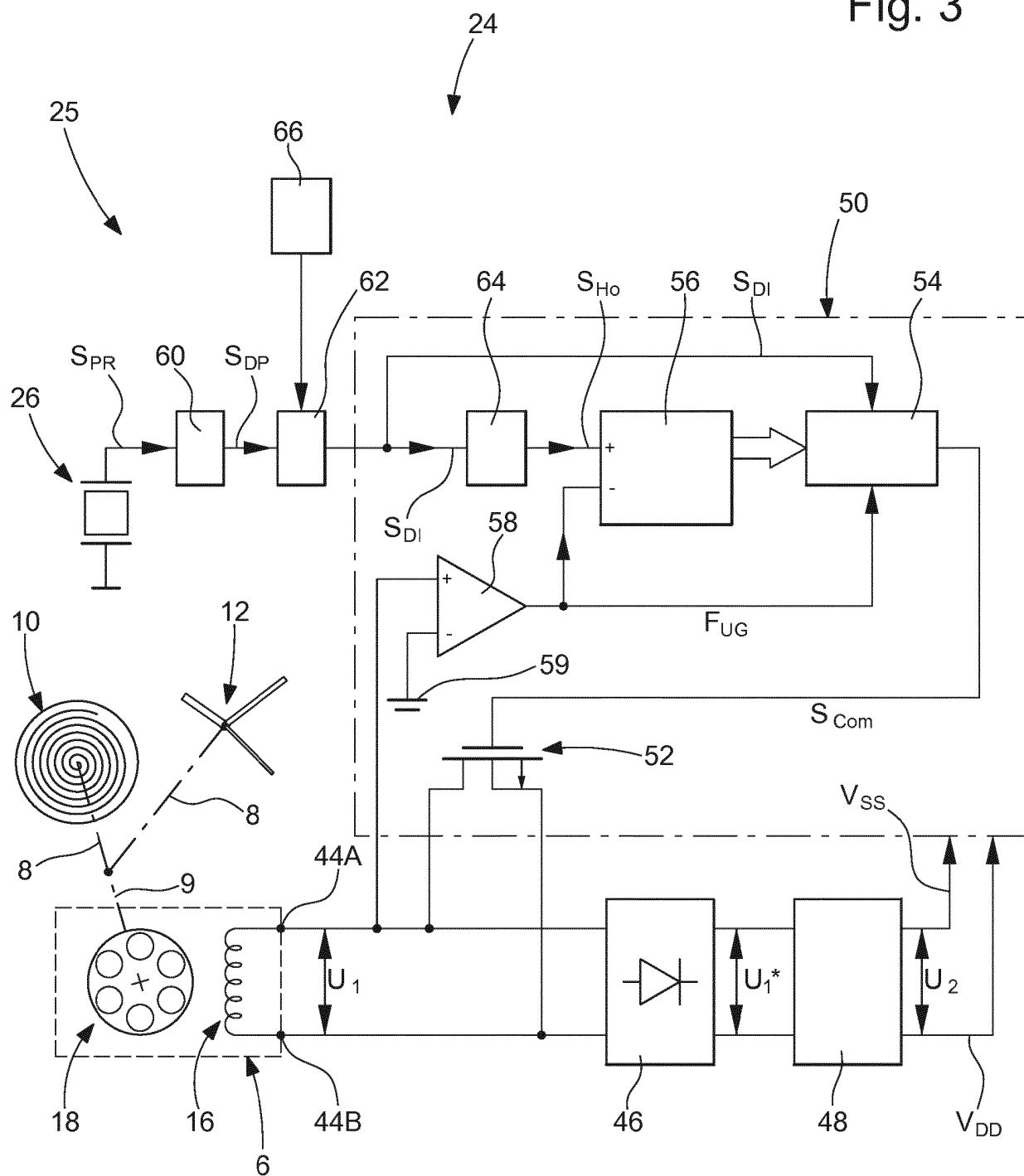


Fig. 4

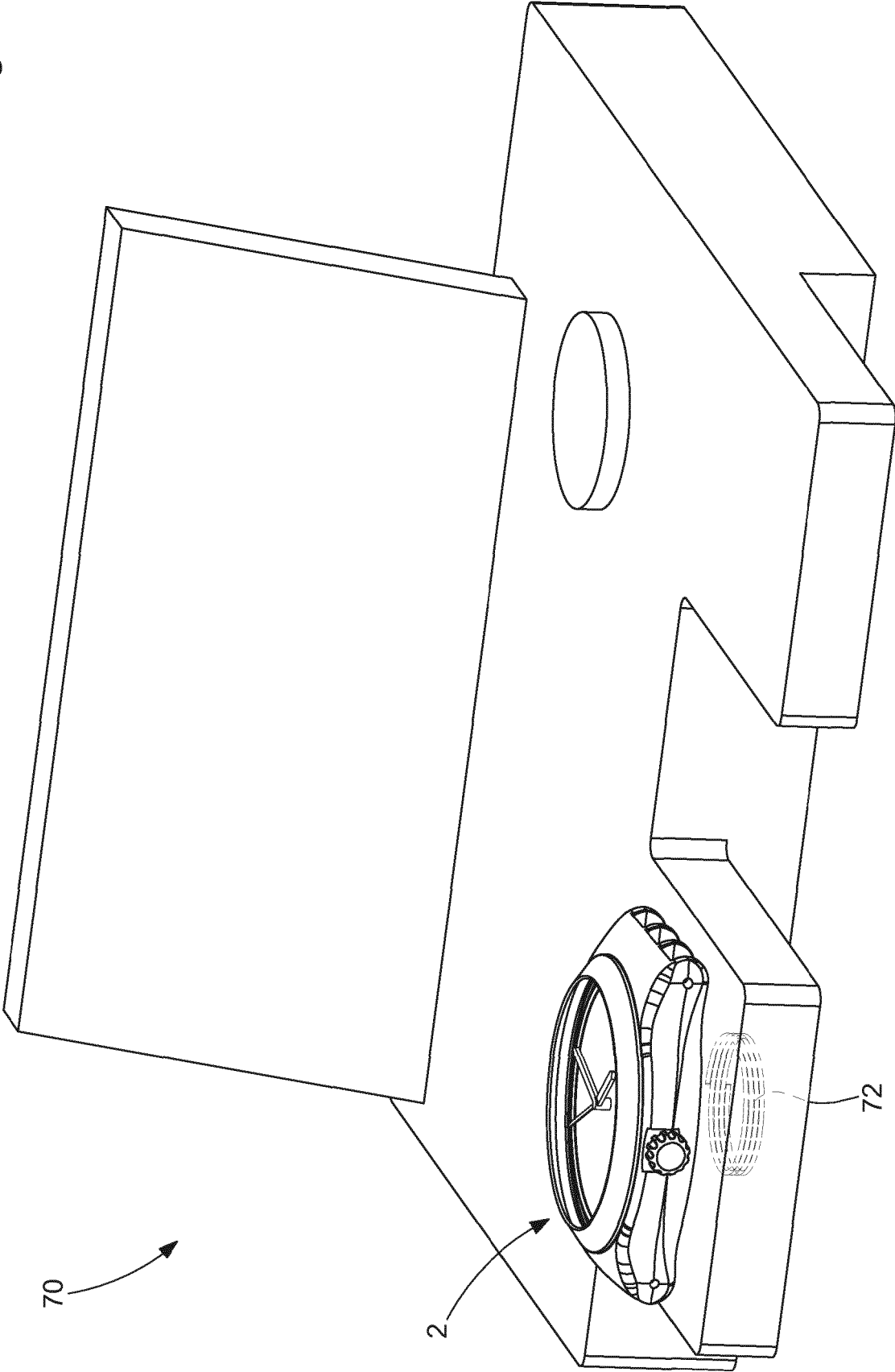


Fig. 5A

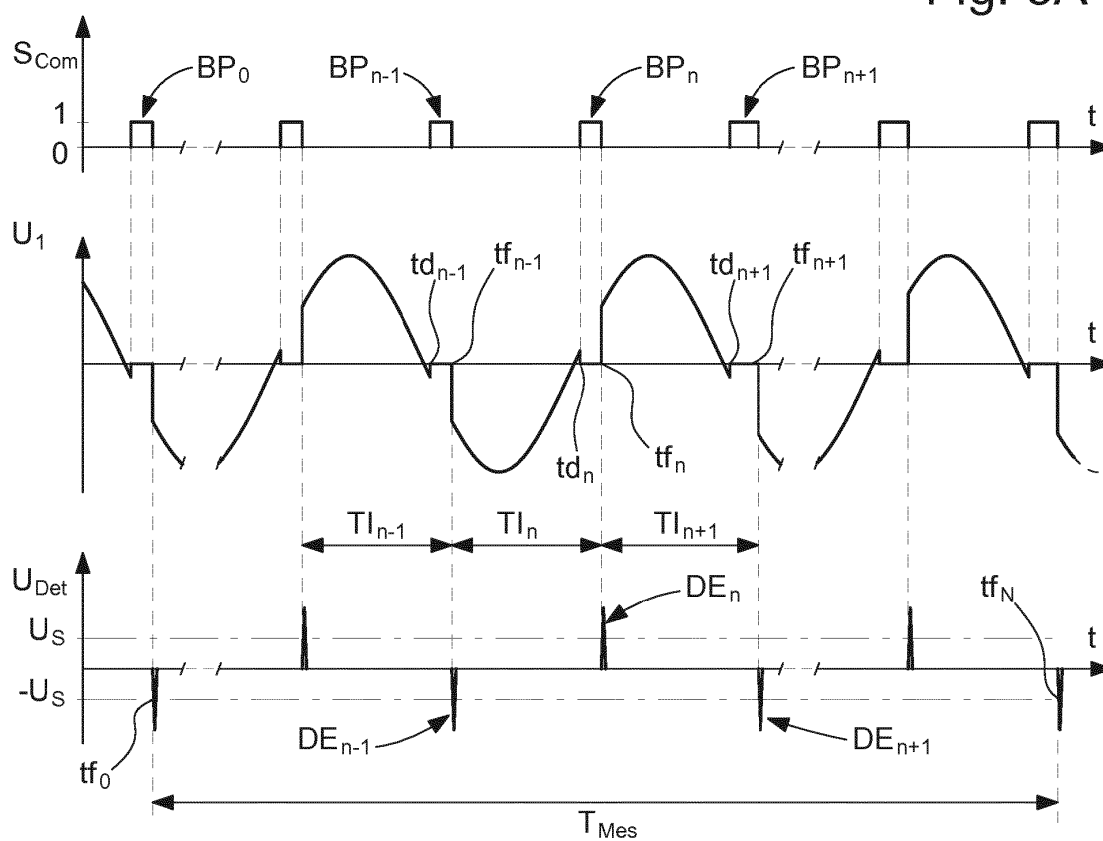


Fig. 5B

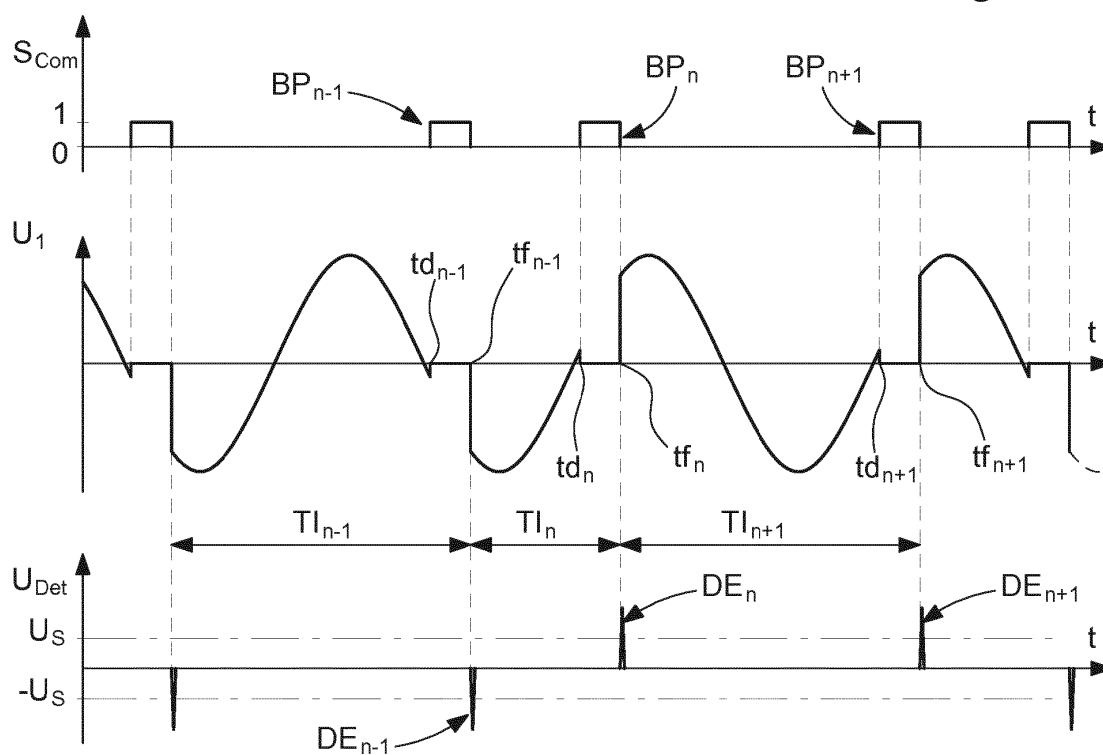


Fig. 6

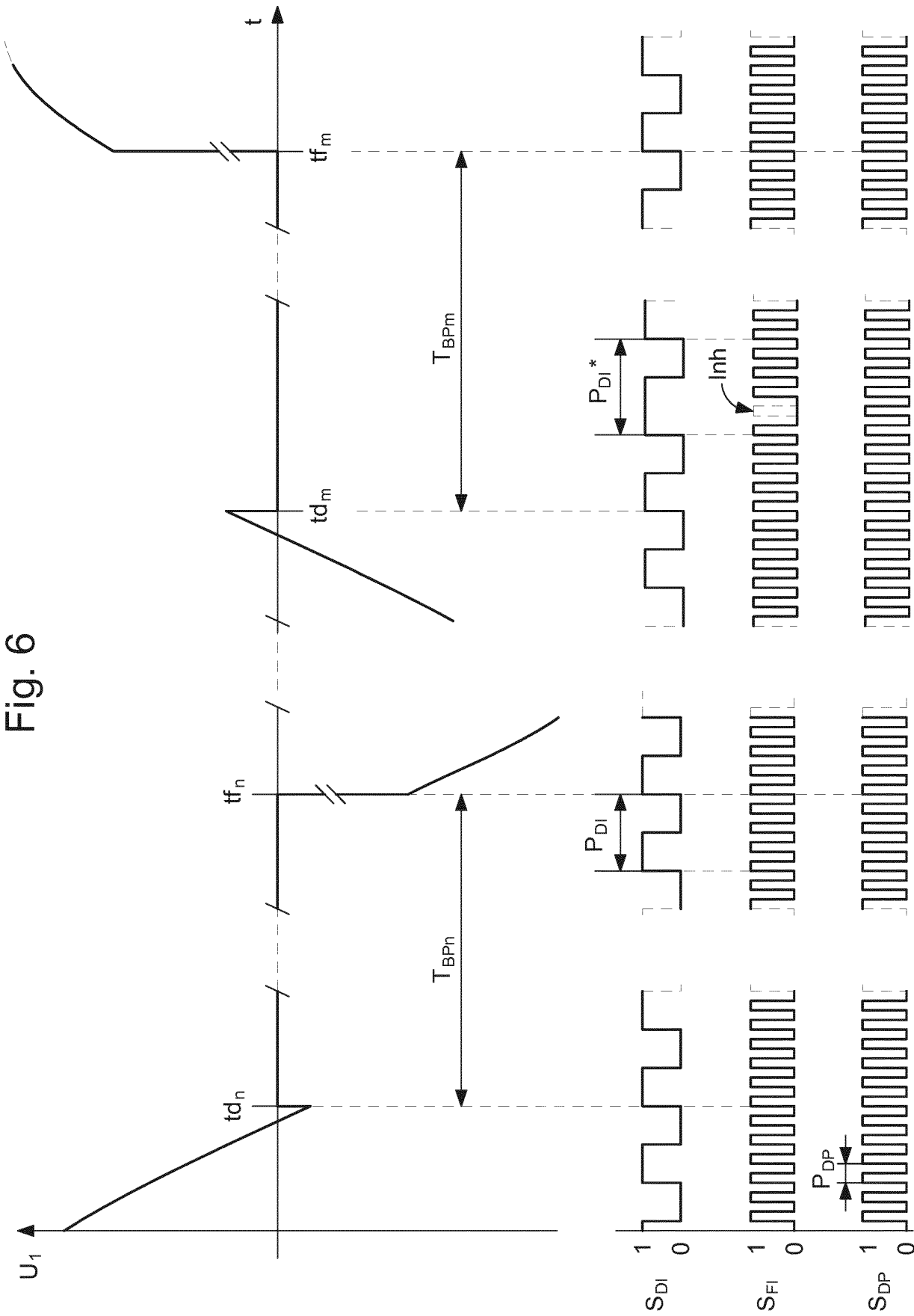


Fig. 7

n	TIn [ms]	NRn (SDP)	Mn (SDP)	NRn (SDI)	Mn (SDI)	Inh
1	23.435	383.958	384	95.989	96	
2	23.679	387.963	388	96.991	97	
3	23.191	379.960	380	94.990	95	
....						
232	22.947	375.963	376	93.991	94	
233	23.008	376.960	377	94.240	94	1
234	23.191	379.961	380	94.990	95	
....						
848	23.435	383.964	384	95.991	96	
849	23.496	384.962	385	96.241	96	1
850	23.191	379.960	380	94.990	95	
851	23.947	375.957	376	93.989	94	
852	23.191	379.961	380	94.990	95	
....						
1314	23.435	383.961	384	95.990	96	
1315	23.191	379.960	380	94.989	95	
1316	23.252	380.964	381	95.241	95	1
1317	23.679	387.958	388	96.989	97	
....						
2142	23.679	387.959	388	96.990	97	
2143	23.923	391.962	392	97.991	98	
....						
2729	23.984	392.963	393	98.241	98	1
2730	23.679	387.960	388	96.990	97	
2731	23.435	383.959	384	95.990	96	
Total	T _{Mes} = 64'007.533		TNP(SDP) = 1'048'810		TNP(SDI) = 262'175	110

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

- EP 0679968 A [0005]
- EP 0822470 A [0005]
- EP 0935177 A [0005]
- EP 1099990 A [0005]
- WO 0063749 A [0005]
- FR 2076493 [0005]
- CH 714041 [0005]
- EP 0887913 A [0005]

Littérature non-brevet citée dans la description

- Analyzer Twin. Witschi Electronic Ltd, 31 Mai 2011 [0005]