

**CONFÉDÉRATION SUISSE**  
 INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

① **CH 691 634 A5**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>: **G 04 C 010/00**

**Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein**  
 Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

⑫ **FASCICULE DU BREVET A5**

⑲ Numéro de la demande: 01542/97

⑳ Date de dépôt: 25.06.1997

㉔ Brevet délivré le: 31.08.2001

④⑤ Fascicule du brevet publiée le: 31.08.2001

⑦③ Titulaire(s):  
 Asulab S.A., 6, faubourg du Lac,  
 2501 Biel/Bienne (CH)

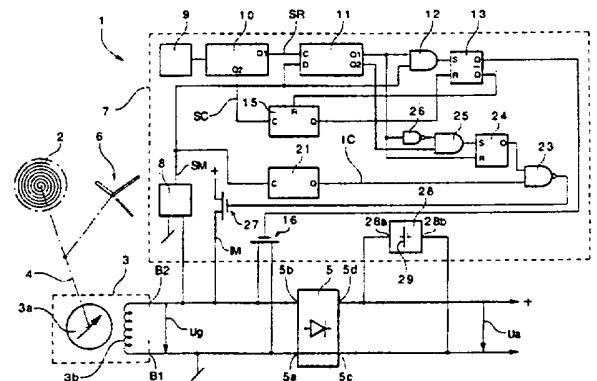
⑦② Inventeur(s):  
 Jean-Jacques Born, rue Louis-de-Savoie 59,  
 1110 Morges (CH)  
 Pierre-André Farine, Port-Roulant 12,  
 2003 Neuchâtel (CH)  
 Francis Chabloz, rue Louis d'Orléans 41,  
 2000 Neuchâtel (CH)

⑦④ Mandataire:  
 ICB Ingénieurs Conseils en Brevets SA,  
 Rue des Sors 7, 2074 Marin (CH)

⑤④ **Pièce d'horlogerie électronique alimentée par un générateur entraîné par une source d'énergie mécanique.**

⑤⑦ La pièce d'horlogerie (1) comporte un ressort de barillet (2) entraînant le rotor (3a) d'un convertisseur électromécanique (3) et des aiguilles (6) d'affichage de l'heure. Un circuit (7) d'asservissement de la position angulaire réelle du rotor (3a) à sa position angulaire de consigne est alimenté en énergie électrique par le convertisseur (3).

Pour augmenter l'autonomie de la pièce d'horlogerie (1), le circuit d'asservissement (7) comporte des moyens (28) qui stockent une partie de l'énergie électrique produite par le convertisseur (3) et des moyens (21, 23 à 27) qui utilisent cette énergie stockée pour appliquer au convertisseur (3) des impulsions motrices (IM) lorsque le rotor (3a) a, par rapport à sa position angulaire de consigne, un retard supérieur à un retard déterminé.



## Description

La présente invention a pour objet une pièce d'horlogerie comportant:

- un convertisseur électromécanique comprenant un rotor ayant au moins un aimant permanent et au moins une bobine couplée magnétiquement audit aimant pour produire une première énergie électrique en réponse à une rotation dudit rotor;
- une source d'énergie mécanique couplée mécaniquement audit rotor pour appliquer à ce rotor un premier couple moteur provoquant ladite rotation dudit rotor dans un sens déterminé et à une vitesse de rotation supérieure à une vitesse de consigne déterminée, ledit rotor ayant une position angulaire réelle qui varie en permanence pendant ladite rotation;
- des moyens d'affichage d'une information horaire couplés mécaniquement audit rotor et à ladite source d'énergie mécanique; et
- des moyens d'asservissement comprenant des moyens pour produire un signal de comparaison ayant une valeur représentative d'un écart entre ladite position angulaire réelle dudit rotor et une position angulaire de consigne variant régulièrement à ladite vitesse de consigne, et des moyens de freinage répondant audit signal de comparaison pour appliquer audit rotor un couple de freinage imposant audit rotor une vitesse de rotation inférieure à ladite vitesse de consigne lorsque ledit écart est une avance de ladite position angulaire réelle dudit rotor par rapport à ladite position angulaire de consigne.

De telles pièces d'horlogerie sont décrites, notamment dans les demandes de brevet EP 0 239 820 et EP 0 679 968. Dans ces pièces d'horlogerie connues, le convertisseur est utilisé simplement comme générateur pour fournir l'énergie électrique nécessaire à l'alimentation du circuit d'asservissement en réponse à l'énergie mécanique fournie par la source de cette dernière.

Les caractéristiques des divers composants de ces pièces d'horlogerie sont choisies de manière que la vitesse de rotation réelle du rotor du générateur ait normalement tendance à être supérieure à une vitesse de consigne qui est celle pour laquelle la marche de la pièce d'horlogerie est correcte, et le circuit d'asservissement est destiné à asservir cette vitesse de rotation réelle à cette vitesse de consigne.

On voit facilement que cet asservissement de la vitesse de rotation réelle du rotor à sa vitesse de consigne est équivalent à un asservissement de la position angulaire réelle de ce rotor à une position angulaire de consigne, qui est celle que ce rotor occuperait s'il avait tourné en permanence à sa vitesse de consigne depuis la mise en marche de la pièce d'horlogerie, et qui varie donc en permanence à la vitesse de rotation de consigne du rotor.

Dans la pièce d'horlogerie de ce genre qui est décrite par la demande de brevet EP 0 239 820 déjà mentionnée, cet asservissement est réalisé en freinant périodiquement le rotor pendant un laps de temps dont la durée dépend de l'avance ou du retard de ce rotor par rapport à sa position angulaire de consigne.

Dans la pièce d'horlogerie de ce genre qui est

décrite par la demande EP 0 679 968 déjà mentionnée, cet asservissement est réalisé en freinant le rotor pendant un laps de temps ayant une durée fixe chaque fois que ce rotor est en avance par rapport à sa position angulaire de consigne.

On comprendra aisément que, quelle que soit la manière dont la vitesse de rotation du rotor est asservie à la vitesse de consigne, la position angulaire réelle de ce rotor est presque toujours en avance ou en retard par rapport à sa position angulaire de consigne. Cette avance ou ce retard peuvent être plus grands que 360°, voire même atteindre plusieurs fois 360°, par exemple suite à un choc angulaire subi par la pièce d'horlogerie.

Pour simplifier la description qui va suivre, celle-ci sera faite dans un cas où la source d'énergie mécanique de la pièce d'horlogerie est un ressort de barillet classique tel que celui qui est couramment utilisé dans les montres-bracelets mécaniques. L'homme du métier verra cependant sans difficulté que l'invention qui sera décrite plus loin est utilisable quelle que soit la nature de cette source d'énergie mécanique.

Un exemple de la variation bien connue du couple mécanique C fourni par un ressort de barillet en fonction de son angle de désarmage A est représenté à la fig. 1 par la courbe B.

Pour qu'un tel ressort de barillet puisse être utilisé dans une pièce d'horlogerie du même genre que celles qui ont été décrites ci-dessus, il faut évidemment que, pendant une partie au moins de son désarmage, le couple moteur C qu'il fournit soit supérieur à un couple limite CL, qui est le couple pour lequel le rotor du générateur entraîné par ce ressort tourne juste à sa vitesse de consigne lorsqu'il n'est pas freiné par le circuit d'asservissement de sa vitesse de rotation.

La valeur de ce couple limite CL dépend évidemment des caractéristiques mécaniques des divers éléments entraînés par le ressort de barillet, ainsi que des caractéristiques électriques du générateur et du circuit alimenté par ce dernier. Un exemple d'un tel couple limite CL a été représenté dans la fig. 1 par une droite en traits interrompus D. Cette droite D coupe la courbe B en un point P pour lequel l'angle de désarmage du ressort de barillet a une valeur AL.

Il est bien connu que l'énergie mécanique E disponible dans le ressort de barillet dont le couple moteur est représenté par la courbe B de la fig. 1 est égale, lorsque ce ressort est complètement armé, à la surface délimitée par cette courbe B et par les axes C et A de cette fig. 1.

On peut considérer qu'une partie E1 de cette énergie E est utilisée, pendant le désarmage du ressort de barillet, pour faire tourner le rotor du générateur à sa vitesse de consigne et, après conversion en énergie électrique par ce générateur, pour alimenter le circuit d'asservissement de la vitesse de rotation de ce rotor.

Cette partie E1 de l'énergie mécanique E est égale à la surface délimitée par les axes A et C, par la droite D et par la droite verticale d'abscisse AL.

Une autre partie de l'énergie mécanique E, dé-

signée par E2, est utilisée pour accélérer le rotor du générateur et, après sa conversion en énergie électrique, pour freiner ce rotor lorsque cela est nécessaire. Cette énergie mécanique E2 est égale à la surface délimitée par l'axe C, la droite D et la courbe B.

On voit que l'autonomie des pièces d'horlogerie connues décrites succinctement ci-dessus, c'est-à-dire le laps de temps pendant lequel elles fonctionnent correctement après que leur ressort de barillet a été complètement armé pour la dernière fois, est limitée au temps qui s'écoule jusqu'à ce que le couple moteur fourni par ce ressort atteigne la valeur du couple limite CL.

Cette autonomie peut évidemment être augmentée en utilisant un ressort de barillet fournissant un couple plus élevé et/ou ayant un angle de désarmage total plus grand. Mais le volume occupé par un tel ressort de barillet augmente également, ce qui peut rendre son utilisation difficile, voire même impossible, dans une pièce d'horlogerie de faible volume telle qu'une montre-bracelet.

Un but de la présente invention est de proposer une pièce d'horlogerie du même genre que celles qui ont été décrites plus haut mais dont l'autonomie soit nettement plus élevée que celle de ces dernières, toutes autres choses étant égales.

Ce but est atteint par la pièce d'horlogerie revendiquée, qui comporte:

- un convertisseur électromécanique comprenant au moins un rotor ayant un aimant permanent et au moins une bobine couplée magnétiquement audit aimant pour produire une première énergie électrique en réponse à une rotation dudit rotor;
- une source d'énergie mécanique couplée mécaniquement audit rotor pour appliquer audit rotor un premier couple moteur provoquant ladite rotation dudit rotor dans un sens déterminé et à une vitesse de rotation supérieure à une vitesse de consigne déterminée, ledit rotor ayant une position angulaire réelle qui varie en permanence pendant ladite rotation;
- des moyens d'affichage d'une information horaire couplés mécaniquement audit rotor et à ladite source d'énergie mécanique; et
- des moyens d'asservissement comprenant des moyens pour produire un signal de comparaison ayant une valeur représentative d'un écart entre ladite position angulaire réelle dudit rotor et une position angulaire de consigne variant régulièrement à ladite vitesse de consigne, et des moyens de freinage répondant audit signal de comparaison pour appliquer audit rotor un couple de freinage imposant audit rotor une vitesse de rotation inférieure à ladite vitesse de consigne lorsque ledit écart est une avance de ladite position angulaire réelle dudit rotor par rapport à ladite position angulaire de consigne; et qui est caractérisée par le fait que lesdits moyens d'asservissement comprennent en outre des moyens de commande répondant audit signal de comparaison pour appliquer audit rotor un deuxième couple moteur provoquant également ladite rotation dudit rotor dans ledit sens déterminé et à une vitesse de rotation supérieure à ladite vitesse de consigne lorsque ledit écart est un retard de ladite position angulaire réelle dudit rotor par rapport à ladite position

angulaire de consigne et que ledit retard est supérieur à un retard déterminé.

Comme cela sera rendu évident par la description qui va suivre, ces caractéristiques permettent à une pièce d'horlogerie selon la présente invention d'avoir une autonomie beaucoup plus grande, toutes autres choses étant égales, que celle d'une pièce d'horlogerie connue du même genre.

D'autres buts et avantages de la présente invention seront rendus évidents par la description qui va suivre et qui sera faite à l'aide du dessin annexé dans lequel:

la fig. 1, déjà mentionnée, représente la variation du couple moteur fourni par un ressort de barillet en fonction de son angle de désarmage;

la fig. 2 représente schématiquement et partiellement une forme d'exécution d'une pièce d'horlogerie selon la présente invention; et

la fig. 3 représente schématiquement et partiellement une autre forme d'exécution d'une pièce d'horlogerie selon la présente invention.

Dans sa forme d'exécution représentée schématiquement et à titre d'exemple non limitatif à la fig. 2, la pièce d'horlogerie selon la présente invention, qui est désignée par la référence générale 1, comporte une source d'énergie mécanique constituée par un ressort de barillet. Ce ressort de barillet, désigné par la référence 2, n'a été représenté que très schématiquement car il peut être du même genre que n'importe lequel des ressorts de barillet bien connus qui sont utilisés dans les pièces d'horlogerie mécanique classiques. On admettra que la variation du couple moteur fourni par ce ressort de barillet 2 en fonction de son angle de désarmage est celle qui est représentée à la fig. 1.

Ce ressort de barillet 2 est couplé à un mécanisme de remontage manuel ou automatique qui n'a pas été représenté car il peut être semblable à n'importe lequel des mécanismes de remontage bien connus qui sont également utilisés dans les pièces d'horlogerie mécaniques classiques.

Le ressort de barillet 2 est couplé mécaniquement au rotor 3a d'un convertisseur électromécanique 3 par l'intermédiaire d'un train d'engrenages 4 symbolisé par un trait mixte. Ce convertisseur 3 comporte encore une bobine 3b, et il ne sera pas décrit en détail car il peut être réalisé de diverses manières bien connues des spécialistes.

On mentionnera simplement que, dans le présent exemple, le rotor 3a comporte un aimant bipolaire qui a été simplement symbolisé par une flèche représentant son axe d'aimantation.

On mentionnera également que la bobine 3b est couplée magnétiquement à l'aimant permanent du rotor 3a, par exemple par l'intermédiaire d'un stator qui n'a pas été représenté, de manière à produire entre ses bornes B1 et B2, en réponse à toute rotation du rotor 3a, une tension alternative Ug dont la période est égale à la période de rotation du rotor 3a, c'est-à-dire au temps mis par ce rotor 3a pour faire un tour. Les bornes B1 et B2 de la bobine 3b constituent évidemment les bornes du convertisseur 3.

La pièce d'horlogerie 1 comporte encore un circuit redresseur 5 dont les entrées 5a et 5b sont respectivement reliées aux bornes B1 et B2 du convertisseur 3 et dont les sorties 5c et 5d fournissent une tension  $U_a$  au moins sensiblement continue en réponse à la tension alternative  $U_g$  produite par le convertisseur 3. Cette tension  $U_a$  est destinée à alimenter les divers circuits électroniques qui seront décrits plus loin, par l'intermédiaire de conducteurs qui n'ont pas été représentés.

Le redresseur 5 ne sera pas décrit en détail car il peut être semblable à n'importe lequel des redresseurs bien connus des spécialistes. On mentionnera simplement que, pour une raison qui sera rendue évidente plus loin, ce redresseur 5 est agencé de manière que la tension continue  $U_a$  soit supérieure à la valeur de crête de la tension alternative  $U_g$ .

Dans le présent exemple, les bornes 5a et 5c du redresseur 5 sont reliées entre elles ainsi qu'à la borne B1 du convertisseur 3. En outre, le potentiel de ces trois bornes 5a, 5c et B1 a été choisi arbitrairement comme potentiel de référence, ou masse, et toutes les tensions qui seront mentionnées dans la suite de cette description seront des tensions mesurées par rapport à ce potentiel de référence.

Avec cette convention, la tension alternative  $U_g$  est donc symétrique par rapport à ce potentiel de référence lorsque le rotor 3a tourne à vitesse constante et que la bobine 3b n'est pas court-circuitée.

En outre, dans la suite de cette description, les divers signaux seront décrits comme étant à l'état logique «0» ou à l'état logique «1» selon que le potentiel des points où ils sont mesurés est sensiblement égal au potentiel de référence ou, respectivement, au potentiel de la borne 5d du redresseur 5. Dans la suite de cette description, ces états logiques seront simplement appelés état «0» et, respectivement, état «1».

La pièce d'horlogerie 1 comporte encore des moyens d'affichage de l'heure courante qui sont constitués dans cet exemple par des aiguilles classiques, désignées par la référence 6, mais qui peuvent aussi être constitués par d'autres éléments bien connus tels que des disques, des tambours ou autres. Elle peut également comporter un ou plusieurs dispositifs d'affichage annexes tels qu'un dispositif de calendrier, de phase de lune ou autre. Un tel dispositif annexe n'a pas été représenté.

Les aiguilles 6 et, le cas échéant, le ou les dispositifs annexes, sont reliés mécaniquement au ressort de barillet 2 et au rotor 3a du convertisseur 3 par l'intermédiaire d'un train d'engrenages dont une partie au moins peut être commune avec une partie du train d'engrenages 4. Dans la fig. 1, ce train d'engrenages relié aux aiguilles 6 n'a pas été référencé séparément, et il est également symbolisé par un trait mixte.

La pièce d'horlogerie 1 comporte aussi un mécanisme de mise à l'heure des aiguilles 6 et, le cas échéant, de correction du ou des dispositifs annexes, qui n'a pas été représenté car il peut être semblable à n'importe lequel des divers mécanismes de ce genre qui sont bien connus des spécialistes.

Dans la pièce d'horlogerie selon la présente invention représentée à la fig. 2, l'asservissement de la vitesse de rotation réelle du rotor 3a à sa vitesse de rotation de consigne  $V_c$ , et donc de la position angulaire réelle de ce rotor 3a à sa position angulaire de consigne, est assuré par un circuit d'asservissement 7 qui est alimenté par une partie de l'énergie mécanique contenue dans le ressort de barillet 2 après que celle-ci a été transformée en énergie électrique par le convertisseur 3 et que la tension alternative  $U_g$  produite par ce dernier a été convertie en une tension continue  $U_a$  par le redresseur 5.

Les éléments du circuit d'asservissement 7 qui déterminent la vitesse de rotation du rotor 3a et qui seront décrits plus loin, ainsi que le train d'engrenages 4, sont agencés de manière que les aiguilles 6 tournent à leurs vitesses normales lorsque le rotor 3a tourne à la vitesse de consigne  $V_c$ . On admettra que, dans le présent exemple, cette vitesse de consigne  $V_c$  a été fixée à 4 tours par seconde.

En outre, et pour une raison qui sera rendue évidente par la suite de cette description, les caractéristiques du ressort de barillet 2 et des divers éléments qu'il entraîne, ainsi que les caractéristiques du convertisseur 3, sont choisies de manière que la vitesse moyenne de rotation du rotor 3a soit supérieure à la vitesse de consigne  $V_c$  tant que le couple moteur fourni par le ressort de barillet 2 est plus élevé que le couple limite CL défini ci-dessus (fig. 1), à condition que la bobine 3b ne soit pas court-circuitée. De même, ces caractéristiques sont choisies de manière que cette vitesse moyenne de rotation soit inférieure à cette vitesse de consigne  $V_c$  si la bobine 3b est court-circuitée, dans des circonstances qui seront décrites plus loin, et ceci même lorsque le ressort de barillet 2 est complètement remonté et que le couple moteur qu'il fournit a donc sa valeur maximale.

Le circuit d'asservissement 7 mentionné ci-dessus comporte un comparateur 8 dont l'entrée directe est reliée à la borne B2 du convertisseur 3 et dont l'entrée inverse est reliée au potentiel de référence, de sorte que le signal produit par sa sortie, qui sera appelé signal SM dans la suite de cette description, est alternativement à l'état «0» et à l'état «1» selon que la tension  $U_g$  fournie par le convertisseur 3 est négative ou positive.

La période du signal SM est évidemment égale à celle de la tension  $U_g$  de sorte que, notamment, cette période du signal SM est de 250 millisecondes lorsque le rotor 3a du convertisseur 3 tourne à sa vitesse de consigne  $V_c$  qui est de 4 tours par seconde dans le présent exemple comme cela a été mentionné ci-dessus.

En outre, le signal SM passe de son état «0» à son état «1» chaque fois que le rotor 3a du convertisseur 3 passe par une position angulaire déterminée, qui est celle à laquelle la tension  $U_g$  passe par sa valeur nulle en croissant.

Le signal SM est donc à la fois un signal de mesure de la vitesse de rotation du rotor 3a et un signal de détection du passage de ce rotor 3a par la position angulaire déterminée définie ci-dessus.

Le circuit d'asservissement 7 comporte éga-

lement une source d'un signal de référence SR, constituée, dans cet exemple, par un oscillateur 9, qui peut être un oscillateur à quartz, et un circuit diviseur de fréquence 10 ayant une sortie Q1 qui fournit le signal SR en réponse au signal produit par l'oscillateur 9.

Cet oscillateur 9 et ce diviseur de fréquence 10 ne seront pas décrits en détail car ils peuvent être réalisés de diverses manières bien connues de l'homme du métier. On mentionnera simplement que cet oscillateur 9 et ce diviseur de fréquence 10 sont agencés de manière que la période du signal SR soit égale à celle du signal SM lorsque le rotor 3a du convertisseur 3 tourne à sa vitesse de consigne Vc, c'est-à-dire 250 millisecondes dans le présent exemple.

Ce résultat peut être obtenu, toujours par exemple, en utilisant pour l'oscillateur 9 un oscillateur semblable à celui qui est utilisé dans la grande majorité des pièces d'horlogerie électroniques et qui fournit un signal ayant une fréquence de 32.768 Hz, et en réalisant le diviseur de fréquence 10 sous la forme bien connue d'une série de 13 bascules bistables souvent appelées flips-flops.

On mentionnera aussi que le diviseur de fréquence 10 comporte une deuxième sortie, désignée par Q2, fournissant un signal SC ayant une période beaucoup plus courte, par exemple de l'ordre de cent fois plus courte, que celle du signal SR, et dont l'utilité sera rendue évidente plus loin. Dans le présent exemple, ce signal SC peut être fourni par la sortie de la sixième bascule bistable du diviseur de fréquence 10 et avoir ainsi une période égale à 1,95 millisecondes environ.

Le circuit d'asservissement 7 comporte encore un compteur réversible, ou compteur-décompteur, qui est désigné par la référence 11. L'entrée de comptage C de ce compteur 11 est reliée à la sortie Q du diviseur de fréquence 10 et reçoit donc le signal SR, et son entrée de décomptage D est reliée à la sortie du comparateur 8 et reçoit donc le signal SM.

Ce compteur réversible 11 ne sera pas décrit en détail car il peut être réalisé de diverses manières bien connues. On précisera simplement qu'il est sensible aux flancs montants des impulsions qu'il reçoit, c'est-à-dire aux passages de l'état «0» à l'état «1» des signaux SR et SM. En d'autres termes, le contenu de ce compteur 11, c'est-à-dire le nombre binaire formé par les états «0» ou «1» des sorties directes des diverses bascules bistables qui le forment, est augmenté d'une unité à chaque flanc montant des impulsions du signal SR et diminué d'une unité à chaque flanc montant des impulsions du signal SM. Ce compteur 11 comporte en outre des moyens bien connus qui permettent de lever toute ambiguïté due à une quelconque superposition dans le temps des impulsions qu'il reçoit sur ses entrées C et D.

Le compteur 11 comporte n bascules bistables. Les sorties directes de la dernière et de l'avant-dernière de ces bascules bistables sont respectivement désignées par Q1 et Q2.

On rappellera encore que, puisque le compteur 11 est constitué de n bascules bistables, son conte-

nu peut prendre n'importe quelle valeur supérieure ou égale à zéro et inférieure ou égale à  $2^{n-1}$ .

En outre, le fonctionnement du compteur 11 est cyclique, c'est-à-dire notamment que, lorsque son contenu est égal à zéro, ce contenu prend la valeur  $2^{n-1}$  en réponse à une impulsion appliquée sur son entrée de décomptage D et que, lorsque ce contenu est égal à  $2^{n-1}$ , il prend la valeur zéro en réponse à une impulsion appliquée à son entrée de comptage C.

L'homme du métier verra facilement que, lorsque le contenu du compteur 11 est supérieur ou égal à zéro et inférieur à  $2^{(n-1)}$ , la sortie Q1 de ce compteur 11 est à l'état «0», et que cette sortie Q1 est à l'état «1», lorsque ce contenu est supérieur ou égal à  $2^{(n-1)}$  et inférieur ou égal à  $2^{n-1}$ .

En outre, lorsque le contenu du compteur 11 est supérieur ou égal à zéro et inférieur à  $2^{(n-2)}$ , la sortie Q2 de ce compteur 11 est également à l'état «0», alors que cette sortie Q2 est à l'état «1» lorsque ce contenu est supérieur ou égal à  $2^{(n-2)}$  et inférieur à  $2^{(n-1)}$ .

La sortie Q1 du compteur réversible 11 est reliée à une première entrée d'une porte ET 12 dont la deuxième entrée est reliée à la sortie du comparateur 8.

La sortie de cette porte 12 est reliée à l'entrée S d'une bascule bistable 13 de type R-S dont l'entrée R est reliée à la sortie Q d'un compteur 15.

Comme le compteur réversible 11 décrit ci-dessus, la bascule bistable 13 est sensible aux flancs montants des impulsions qu'elle reçoit sur ses entrées S et R. En d'autres termes, la sortie directe Q et la sortie inverse  $\bar{Q}$  de cette bascule 13 prennent respectivement l'état «1» et l'état «0» en réponse à chaque flanc montant du signal appliqué à son entrée S, et prennent respectivement l'état «0» et l'état «1» en réponse à chaque flanc montant du signal appliqué à son entrée R.

Le compteur 15 est un compteur simple, non réversible, et il est constitué dans cet exemple de cinq bascules bistables branchées en série de manière classique de sorte que sa sortie Q, qui est la sortie directe de sa cinquième bascule, passe de l'état «0» à l'état «1» lorsque son contenu passe de la valeur quinze à la valeur seize.

L'entrée de comptage C du compteur 15 est reliée à la sortie Q2 du diviseur de fréquence 10 et reçoit donc le signal SC, et son entrée R de remise à zéro est reliée à la sortie inverse  $\bar{Q}$  de la bascule bistable 13.

A nouveau comme le compteur réversible 11, le compteur 15 est sensible aux flancs montants du signal appliqué à son entrée de comptage C. En outre, son contenu est maintenu à la valeur zéro tant que son entrée R est à l'état «1».

Le circuit d'asservissement 7 comporte encore un élément de freinage électrique du rotor 3a du convertisseur 3, qui est constitué dans le présent exemple par un transistor MOS de type n, désigné par la référence 16, dont la source et le drain sont respectivement reliés aux bornes B1 et B2 du convertisseur 3, et dont la grille est reliée à la sortie directe Q de la bascule bistable 13.

L'homme du métier verra facilement que le tran-

sistor 16 est bloqué ou conducteur selon que sa grille est à l'état «0» ou «1» puisqu'il est de type n et que sa source est au potentiel de référence.

Le circuit d'asservissement 7 comporte encore un circuit temporisateur 21 ayant une entrée de commande C reliée à la sortie du comparateur 8 et recevant donc le signal SM, ainsi qu'une sortie Q.

Ce circuit temporisateur 21 ne sera pas décrit en détail car l'homme du métier n'aura aucune peine à le réaliser sachant qu'il est destiné à fournir à sa sortie Q une impulsion IC de durée déterminée D, pendant laquelle cette sortie Q est à l'état «1», cette impulsion IC commençant après qu'un temps de retard T, également déterminé, se soit écoulé depuis que le signal SM a passé de l'état «0» à l'état «1». Cette durée D et ce retard T seront précisés plus loin.

La sortie Q du temporisateur 21 est reliée à une première entrée d'une porte ET inverse ayant une deuxième entrée qui est reliée à la sortie Q d'une bascule bistable de type R-S 24.

L'entrée S de la bascule 24 est reliée à la sortie d'une porte ET 25 dont une première entrée est reliée à la sortie Q2 du compteur réversible 11 et dont une deuxième entrée est reliée à la sortie Q1 de ce compteur 11 par l'intermédiaire d'un inverseur 26.

L'entrée R de la bascule 24 est reliée directement à la sortie Q1 du compteur 11.

Le circuit d'asservissement 7 comporte encore un élément de commande constitué dans le présent exemple par un transistor MOS de type p, désigné par la référence 27, dont la source est reliée au potentiel positif, désigné par le signe +, de la tension d'alimentation continue Ua, et dont le drain est relié à la borne B2 de la bobine 3b du convertisseur 3. La grille de ce transistor 27 est reliée à la sortie de la porte 23.

L'homme du métier verra facilement que le transistor 27 est bloqué au conducteur selon que sa grille est à l'état «1» ou, respectivement à l'état «0» puisqu'il est de type p et que sa source est au potentiel positif.

Le circuit d'asservissement 7 comporte encore un dispositif de stockage 28 destiné à emmagasiner et à restituer de l'énergie électrique dans des circonstances qui seront décrites plus loin.

Le dispositif 28, qui comporte une borne positive 28a et une borne négative 28b respectivement reliées aux bornes 5c et 5d du redresseur 5, ne sera pas décrit en détail car il peut être réalisé de diverses manières bien connues des spécialistes. On mentionnera simplement qu'il comporte dans le présent exemple un accumulateur classique 29, qui peut être du même genre que n'importe lequel des accumulateurs bien connus adaptés à cet usage. Le cas échéant, ce dispositif 28 peut encore comporter un circuit d'adaptation de la tension de service de cet accumulateur 29 à la tension Ua. Ce dispositif 28 peut aussi comporter un circuit de surveillance destiné à limiter le courant de charge de cet accumulateur 29, à empêcher une surcharge de ce dernier et/ou à empêcher que cet accumulateur 29 ne se décharge trop profondément.

Le circuit d'asservissement 7 comporte encore un circuit d'initialisation qui n'a pas été représenté pour

ne pas charger inutilement la fig. 2 et qui est un circuit bien connu des spécialistes. On mentionnera simplement qu'il est agencé de manière à produire une courte impulsion d'initialisation à l'instant où la tension Ua atteint en croissant une valeur de seuil déterminée, qui est égale ou légèrement supérieure à la valeur pour laquelle les divers composants du circuit d'asservissement 7 commencent à fonctionner correctement. Cet instant sera appelé instant d'initialisation t0 dans la suite de cette description. Ce circuit d'initialisation est relié au diviseur de fréquence 10, aux compteurs 11 et 15, au temporisateur 21 et aux bascules bistables 13 et 24 de manière que les sorties Q, Q1 ou Q2 de tous ces composants soient mises à l'état «0» à cet instant t0.

Lorsque le ressort de barillet 2 est complètement désarmé et que le rotor 3a du convertisseur 3 ne tourne pas, la tension Ug est évidemment nulle. Si en outre l'accumulateur 29 du dispositif de stockage 28 est déchargé, la tension Ua est également nulle, ou en tout cas insuffisante pour que la pièce d'horlogerie 1 fonctionne.

Si le ressort de barillet 2 est alors remonté, il arrive un moment où le rotor 3a commence à tourner, et où les tensions Ug et Ua commencent à augmenter.

A l'instant t0 défini ci-dessus, l'impulsion produite par le circuit d'initialisation a pour effet que les sorties Q1 et Q2 du diviseur de fréquence 10, les sorties Q1 et Q2 du compteur réversible 11 et les sorties Q du compteur 15 et du temporisateur 21 sont mises dans l'état «0».

La même impulsion d'initialisation a pour effet que les sorties Q et  $\bar{Q}$  de la bascule 13 prennent respectivement l'état «0» et l'état logique «1» et que la sortie Q de la bascule 24 prend l'état «0».

L'état «0» de la sortie Q de la bascule 13 met le transistor 16 dans son état de blocage, de sorte que la bobine 3b du convertisseur 3 n'est pas court-circuitée et que la vitesse de rotation du rotor 3a peut atteindre et dépasser la vitesse de consigne Vc. En outre, l'état «1» de la sortie  $\bar{Q}$  de la bascule 13 maintient le contenu du compteur 15 à zéro.

De plus, l'état «0» de la sortie Q de la bascule 24 maintient la sortie de la porte 23 à l'état «1», de sorte que le transistor 27 est mis dans son état de blocage.

Comme cela sera rendu évident plus loin, l'accumulateur 29 est complètement, ou au moins presque complètement déchargé lorsque la pièce d'horlogerie 1 est arrêtée. Lorsque le rotor 3a commence à tourner et que la tension Ua atteint une valeur suffisante, cet accumulateur 29 commence à se charger en absorbant une partie de l'énergie électrique fournie par le convertisseur 3, qui fonctionne alors en générateur. Ce surcroît d'énergie électrique est bien entendu fourni par le ressort de barillet 2 et provient de la conversion par le convertisseur 3 d'une partie au moins de l'énergie mécanique E2 définie ci-dessus.

Cette énergie électrique emmagasinée par l'accumulateur 29 est destinée à être utilisée dans des circonstances qui seront décrites plus loin.

Le fonctionnement de la pièce d'horlogerie 1 après l'instant  $t_0$  ne sera décrit ci-après que dans ses grandes lignes car l'homme du métier n'aura aucune peine à reconstituer tous ses détails à l'aide des explications déjà données.

Dans cette description du fonctionnement de la pièce d'horlogerie 1, on appellera instant de référence  $t_r$  chacun des instants où le signal de référence SR passe de son état «0» à son état «1» et où le contenu du compteur 11 est donc augmenté d'une unité. De même, on appellera instant de mesure  $t_m$  chacun des instants où le signal de mesure SM passe également de son état «0» à son état «1» et où le contenu du compteur 11 est donc diminué d'une unité.

On voit bien que le contenu du compteur réversible 11 est en permanence égal à la différence entre le nombre des impulsions du signal SR produites par le diviseur de fréquence 10 depuis l'instant  $t_0$  défini ci-dessus et le nombre des impulsions du signal SM produites par le comparateur 8, qui est le nombre des tours complets effectués par le rotor 3a du convertisseur 3, depuis le même instant  $t_0$ .

Ce contenu du compteur 11 est donc en permanence représentatif de l'écart entre la position angulaire réelle du rotor 3a et sa position angulaire de consigne. Selon le cas, cet écart est un retard ou une avance et peut être, le cas échéant, de plusieurs tours.

Plus précisément, lorsque cet écart est nul, c'est-à-dire lorsque la position angulaire du rotor 3a coïncide, à moins d'un tour près, avec sa position angulaire de consigne, le contenu du compteur 11 est également nul.

De même, lorsque cet écart est un retard du rotor 3a par rapport à sa position angulaire de consigne, le contenu du compteur 11 est supérieur à zéro et inférieur à  $2^{(n-1)}$ .

Dans ces deux cas, la sortie Q1 du compteur 11 est donc à l'état «0».

Enfin, lorsque cet écart est une avance du rotor 3a par rapport à sa position angulaire de consigne, le contenu du compteur 11 est inférieur ou égal à  $2^{n-1}$  et supérieur ou égal à  $2^{(n-1)}$ .

Dans ce dernier cas, la sortie Q1 du compteur 11 est à l'état «1».

Le fonctionnement de la pièce d'horlogerie 1 va être décrit maintenant en commençant arbitrairement juste après l'un des instants  $t_m$  définis ci-dessus et en admettant que le rotor 3a est alors en avance par rapport à sa position angulaire de consigne.

Comme on l'a vu ci-dessus, la sortie Q1 du compteur 11 est donc à l'état «1». Le signal SM étant alors également à l'état «1», la bascule bistable 13 prend l'état où ses sorties Q et  $\bar{Q}$  sont respectivement à l'état «1» et à l'état «0».

Il en résulte que le transistor 16 devient conducteur et court-circuite la bobine 3b du convertisseur 3. Le rotor 3a est donc freiné, et sa vitesse de rotation devient inférieure à la vitesse de consigne  $V_c$ .

Il en résulte également que, l'entrée R de remise à zéro du compteur 15 étant maintenant à l'état «0», le contenu de ce compteur 15 augmente d'une unité à chacune des impulsions du signal SC. Lors-

que, dans le présent exemple, ce contenu passe de la valeur quinze à la valeur seize, soit environ 31,25 millisecondes après que la bascule 13 a changé d'état, la sortie Q de ce compteur 15 passe à l'état «1».

La bascule 13 reprend alors l'état où ses sorties Q et  $\bar{Q}$  sont respectivement à l'état «0» et à l'état «1».

Le transistor 16 est donc à nouveau bloqué, de sorte que le rotor 3a n'est plus freiné et que sa vitesse de rotation peut à nouveau augmenter.

Si, juste après l'instant  $t_m$  suivant, la sortie Q1 du compteur réversible 11 est encore à l'état logique «1», le processus qui vient d'être décrit se déroule à nouveau. L'avance du rotor 3a par rapport à sa position angulaire de consigne, qui diminue évidemment chaque fois que ce rotor 3a est freiné, finit par s'annuler.

Lorsque cette avance devient nulle, la sortie Q1 du compteur réversible 11 prend l'état «0», et le rotor 3a n'est plus freiné jusqu'à ce qu'il prenne à nouveau de l'avance par rapport à sa position angulaire de consigne et que la sortie Q1 du compteur 11 repasse par conséquent à l'état «1».

Lorsque le rotor 3a est en retard par rapport à sa position angulaire de consigne juste après un des instants  $t_m$  définis ci-dessus, la sortie Q1 du compteur 11 est à l'état «0».

Tant que ce retard est suffisamment faible pour que le contenu du compteur 11 soit inférieur à  $2^{(n-2)}$ , la sortie Q2 de ce compteur 11 est également à l'état «0». Par conséquent, les sorties des portes 12 et 25 et les sorties Q des bascules 13 et 24 sont aussi à l'état «0». Il en découle que les transistors 16 et 27 restent dans leur état bloqué et, notamment, que la bobine 3b n'est court-circuitée à aucun moment.

Si en outre le couple moteur fourni par le ressort de barillet 2 est supérieur ou égal au couple limite CL défini ci-dessus, la vitesse de rotation du rotor 3a peut rester ou tendre à devenir supérieure à la vitesse de consigne  $V_c$ .

Le retard du rotor 3a par rapport à sa position angulaire de consigne tend donc à s'annuler.

Cette situation reste inchangée jusqu'à ce que ce retard s'annule et que le rotor 3a prenne de l'avance par rapport à sa position angulaire de consigne. La sortie Q1 du compteur 11 passe alors à l'état «1» et le processus de freinage décrit ci-dessus recommence.

Si le couple moteur fourni par le ressort de barillet 2 devient inférieur au couple limite CL défini ci-dessus, l'énergie électrique produite par le convertisseur 3 devient insuffisante pour alimenter correctement les divers composants du circuit d'asservissement 7.

Mais, comme mentionné ci-dessus, l'accumulateur 29 est alors au moins partiellement chargé, de sorte que le dispositif 28 maintient la tension  $U_a$  à une valeur telle que les composants du circuit 7 fonctionnent correctement. L'énergie électrique nécessaire à ce fonctionnement est alors fournie, au moins partiellement, par l'accumulateur 29 du dispositif 28.

Le couple moteur fourni par le ressort de barillet

2 étant devenu inférieur au couple limite CL, le ressort de barillet 2 ne peut plus non plus entraîner le rotor 3a à sa vitesse de rotation de consigne Vc et, a fortiori, à une vitesse supérieure à cette vitesse Vc. Le rotor 3a commence donc à prendre, par rapport à sa position angulaire de consigne, un retard qui ne peut plus être corrigé de la manière décrite ci-dessus.

Lorsque ce retard devient suffisamment grand pour que le contenu du compteur 11 atteigne la valeur de  $2^{(n-2)}$ , la sortie Q2 de ce compteur 11 prend l'état «1», alors que la sortie Q1 de ce dernier reste bien entendu à l'état «0».

Il en résulte que la sortie de la porte 25 passe à l'état «1», de même que la sortie Q de la bascule 24.

Le rotor 3a étant en retard par rapport à sa position de consigne, le signal SM est encore à l'état «0» à l'instant où cette sortie Q de la bascule 24 prend l'état «1». La sortie Q du temporisateur 21 reste donc à l'état «0», la sortie de la porte 23 reste à l'état «1» et le transistor 27 reste bloqué.

Lorsque, à l'instant  $t_m$  suivant, le rotor 3a atteint la position angulaire où la tension Ug passe par sa valeur nulle pour devenir ensuite positive et que le signal SM prend donc son état «1», le temporisateur 21 commence à fonctionner.

Comme cela a été mentionné ci-dessus, la sortie Q du temporisateur 21 produit une impulsion IC de durée D après qu'un temps de retard T s'est écoulé depuis l'instant  $t_m$  qui vient d'être mentionné.

Pendant cette impulsion IC, la sortie Q du temporisateur 21 est à l'état «1», de sorte que la sortie de la porte 23 est à l'état «0» et que le transistor 27 est conducteur.

Pendant cette impulsion IC, la bobine 3b reçoit donc une impulsion, qui sera désignée par IM, pendant laquelle elle est soumise à la tension d'alimentation Ua. Cette impulsion IM est synchrone avec l'impulsion IC, c'est-à-dire qu'elle commence avec le même retard T que cette dernière par rapport à l'instant  $t_m$  mentionné ci-dessus, et qu'elle a la même durée D que cette impulsion IC.

On a vu ci-dessus que la tension d'alimentation Ua est supérieure à la valeur de crête de la tension Ug fournie par le générateur 3. Quelle que soit la valeur de la tension Ug au moment où l'impulsion IM est appliquée à la bobine 3b, cette impulsion IM provoque donc le passage d'un courant dans cette bobine 3b, et donc l'application d'un champ magnétique à l'aimant permanent du rotor 3a. De manière bien connue, l'interaction de ce champ magnétique et de celui qui est produit par l'aimant permanent du rotor 3a provoque l'application à ce dernier d'un couple. Ce dernier sera appelé couple électro-magnétique dans la suite de cette description pour le distinguer du couple mécanique appliqué au rotor 3a par le ressort de barillet 2.

Pour une raison qui sera rendue évidente plus loin, ce couple électro-magnétique doit tendre à faire tourner le rotor 3a dans le même sens que le couple mécanique fourni par le ressort de barillet 2.

A cet effet, le temporisateur 21 est agencé de manière que le retard T de l'impulsion IC par rapport au passage de la tension Ug par sa valeur nul-

le à l'instant  $t_m$  défini ci-dessus soit inférieur à une demi-période de cette tension Ug. Cette tension Ug est ainsi positive lorsque l'impulsion IM est appliquée à la bobine 3b, et le couple électro-magnétique fourni au rotor 3a en réponse à cette impulsion IM a bien le sens désiré. Cette impulsion IM peut donc être qualifiée d'impulsion motrice.

De préférence, le temporisateur 21 est agencé de manière que le retard T soit sensiblement égal à un quart de la période de la tension Ug. L'impulsion motrice IM est ainsi appliquée à la bobine 3b alors que la tension Ug a une valeur proche de sa valeur de crête. L'homme du métier comprendra facilement que, dans ces conditions, l'énergie électrique fournie à la bobine 3b pendant l'impulsion motrice IM est utilisée de la manière la plus efficace, car le rotor 3a a alors une position angulaire telle que le couple électromagnétique auquel il est soumis à une valeur sensiblement égale à sa valeur maximale.

Pendant l'impulsion motrice IM, le convertisseur 3 fonctionne donc comme un moteur et convertit l'énergie électrique reçue par sa bobine 3b en énergie mécanique. Pour une raison qui sera rendue évidente plus loin, la durée D de cette impulsion IM, qui détermine la quantité d'énergie électrique reçue par la bobine 3b, est choisie de manière que la quantité d'énergie mécanique qui en résulte soit suffisante pour accélérer le rotor 3a jusqu'à une vitesse supérieure à sa vitesse de consigne Vc.

L'homme du métier comprendra qu'il n'est pas possible de mieux préciser la valeur de cette durée D, car cette valeur dépend des caractéristiques du convertisseur 3 et des éléments mécaniques qui sont reliés au rotor 3a, c'est-à-dire notamment le ressort de barillet 2 et les aiguilles d'affichage de l'heure 6. L'homme du métier n'aura cependant aucune peine à déterminer cette durée D dans chaque cas particulier, par exemple par des essais.

Dans un prototype réalisé par la déposante, où la période de la tension Ug était de 250 ms comme dans l'ensemble décrit ci-dessus, de très bons résultats ont été obtenus en réalisant le temporisateur 21 de manière que le retard T et la durée D soient respectivement égaux à 60 ms et 4 ms, l'impulsion IM étant ainsi toujours pratiquement symétrique, dans le temps, par rapport à l'instant où la tension Ug passe par sa valeur de crête positive.

Tant que la sortie Q de la bascule 24 reste à l'état «1», la bobine 3b reçoit une impulsion motrice IM à chaque période de la tension Ug ou, ce qui revient au même dans le présent exemple, à chaque tour du rotor 3a. Cette impulsion motrice IM ayant les caractéristiques mentionnées ci-dessus, la vitesse de rotation du rotor 3a devient, ou reste, supérieure à sa vitesse de consigne Vc.

Le retard du rotor 3a par rapport à sa position angulaire de consigne diminue donc, de même que le contenu du compteur 11.

Lorsque ce retard s'annule et que le rotor 3a commence à être en avance par rapport à sa position angulaire de consigne, la sortie Q1 du compteur 11 repasse à l'état «1» et la sortie Q de la bascule 24 repasse donc à l'état «0», de sorte que la bobine 3b ne reçoit plus d'impulsion IM.

Si le ressort de barillet 2 n'a pas été remonté entre-temps, le rotor 3a prend à nouveau du retard par rapport à sa position angulaire de consigne et le contenu du compteur 11 commence à nouveau à augmenter. Lorsque ce contenu devient égal ou supérieur à  $2^{(n-2)}$ , la sortie Q2 de ce compteur 11 repasse à l'état «1» et le processus décrit ci-dessus se déroule à nouveau.

A titre d'exemple non limitatif, le nombre n de bascules bistables du compteur 11 peut être égal à neuf, la capacité totale de ce compteur 11 étant alors égale à  $2^9$ , c'est-à-dire 512. Dans cet exemple, les impulsions motrices IM commencent donc à être produites lorsque le contenu du compteur 11 est égal à  $2^7$ , c'est-à-dire 128. Le rotor 3a a donc alors 128 tours de retard, ou  $128 \times 360^\circ$ , par rapport à sa position angulaire de consigne.

La vitesse de consigne Vc du rotor 3a étant, toujours dans cet exemple, de quatre tours par seconde, le retard de la pièce d'horlogerie 1 est alors de 32 secondes.

L'énergie mécanique fournie au rotor 3a pendant chaque impulsion IM provient bien entendu de l'accumulateur 29 du dispositif de stockage 28. Le processus de rattrapage du retard du rotor 3a qui vient d'être décrit peut donc se dérouler tant que cet accumulateur 29 est suffisamment chargé.

On voit que la pièce d'horlogerie 1 fonctionne encore correctement pendant un certain temps après que le couple mécanique fourni par le ressort de barillet 2 est devenu inférieur au couple limite CL défini ci-dessus.

L'homme du métier sait bien que, même lorsque le transistor 16 est bloqué et que la bobine 3b n'est donc pas court-circuitée, le rotor 3a est soumis à un couple de freinage qui est produit en réponse à la somme du courant consommé par les divers composants électroniques du circuit d'asservissement 7 et du courant de charge de l'accumulateur 29.

L'homme du métier sait également que ce couple de freinage a pour effet d'augmenter le temps d'accélération du rotor 3a, c'est-à-dire le temps mis par ce rotor 3a pour atteindre et dépasser sa vitesse de consigne Vc après la fin du processus de freinage décrit ci-dessus.

L'homme du métier comprendra donc facilement que, dans une pièce d'horlogerie telle que la pièce d'horlogerie 1 décrite ci-dessus, il est avantageux de concevoir le dispositif de stockage 28 de manière que le courant de charge de l'accumulateur 29 soit limité à une valeur aussi faible que possible, pour que le temps d'accélération du rotor 3a soit donc aussi court que possible.

Dans sa forme d'exécution représentée schématiquement et à titre d'exemple non limitatif à la fig. 3, la pièce d'horlogerie selon la présente invention est désignée par la référence 31.

Tout comme la pièce d'horlogerie 1 de la fig. 2, la pièce d'horlogerie 31 comporte un ressort de barillet couplé mécaniquement au rotor d'un convertisseur électromécanique et à des moyens d'affichage de l'heure courante, et la bobine de ce convertisseur est reliée à un circuit redresseur. Ces divers composants de la pièce d'horlogerie 31 sont dé-

signés par les mêmes références que les composants correspondants de la pièce d'horlogerie 1 et ne seront pas décrits à nouveau ici car ils peuvent être identiques à ces derniers.

5 La pièce d'horlogerie 31 comporte aussi un circuit d'asservissement de la vitesse de rotation réelle du rotor 3a à sa vitesse de consigne Vc, qui est désigné dans ce cas par la référence 32.

10 Chaque composant du circuit d'asservissement 32 qui est désigné par la même référence que l'un des composants du circuit d'asservissement 7 de la fig. 2 est identique à ce dernier et fonctionne comme lui. Ces composants du circuit 32 ne seront donc pas décrits à nouveau ici. En outre, tous ces composants du circuit 32 sont reliés entre eux comme les composants correspondants du circuit 7, à quelques exceptions près. Ces exceptions vont être décrites maintenant, en même temps que les quelques composants du circuit d'asservissement 32 qui n'existent pas dans le circuit d'asservissement 7.

15 Ainsi, dans le circuit d'asservissement 32, la grille du transistor 16 n'est pas reliée directement à la sortie Q de la bascule bistable 13 comme c'est le cas dans le circuit d'asservissement 7, mais elle est reliée à la sortie d'une porte ET 33 dont une entrée est, elle, reliée à cette sortie Q de la bascule 13.

20 Une deuxième entrée de la porte 33 est reliée à la sortie Q d'une bascule bistable 34 de type R-S dont l'entrée S est reliée à la sortie d'une porte ET 35 et dont l'entrée R est reliée à la sortie de l'inverseur 26.

25 Comme les autres bascules bistables 13 et 24 décrites ci-dessus, la bascule 34 est sensible aux flancs montants des signaux qu'elle reçoit sur ses entrées S et R, ce qui signifie que sa sortie Q prend l'état «1» et l'état «0» en réponse à chaque passage de son entrée S et, respectivement, de son entrée R de l'état «0» à l'état «1». En outre, la bascule 34 est également reliée au circuit d'initialisation mentionné dans la description de la pièce d'horlogerie 1, de sorte que sa sortie Q prend l'état «0» en réponse à l'impulsion d'initialisation produite par ce circuit.

30 La porte 35 comporte deux entrées qui sont respectivement reliées à la sortie Q1 du compteur 11 et, par l'intermédiaire d'un inverseur 36, à la sortie Q2 de ce même compteur 11.

35 Dans le circuit d'asservissement 32, la borne négative 28b du dispositif de stockage 28 n'est pas reliée directement à la borne 5c du redresseur 5, comme c'est le cas dans le circuit d'asservissement 7, mais elle est reliée au drain d'un transistor MOS 37, de type n, dont la source est, elle, reliée à cette borne 5c et donc au potentiel de référence.

40 La grille du transistor 37 est reliée à la sortie d'une porte OU 38 ayant deux entrées reliées respectivement à la sortie Q1 du compteur 11 et, par l'intermédiaire d'un inverseur 39, à la sortie de la porte 23.

45 Comme le transistor 16, le transistor 37 est bloqué ou conducteur selon que sa grille est à l'état «0» ou à l'état «1» puisqu'il est de type n et que sa source est reliée au potentiel de référence.

50 Le fonctionnement de la pièce d'horlogerie 31 est

en grande partie identique à celui de la pièce d'horlogerie 1 de la fig. 2. Les détails du fonctionnement de la pièce d'horlogerie 31 qui ne figurent pas dans la description qui va suivre peuvent donc être trouvés dans la description du fonctionnement de la pièce d'horlogerie 1 qui a été faite ci-dessus.

Comme dans le cas de la pièce d'horlogerie 1 de la fig. 2, les sorties Q1 et Q2 du compteur 11 de la pièce d'horlogerie 31 sont toutes deux à l'état «0» lorsque le rotor 3a du convertisseur 3 est en retard par rapport à sa position angulaire de consigne, et que ce retard est relativement faible puisque le contenu du compteur 11 est inférieur à  $2^{(n-2)}$ .

Dans ces conditions, la sortie de la porte 12, la sortie Q de la bascule 13 et la sortie de la porte 33 sont à l'état «0», de sorte que le transistor 16 est bloqué.

De même, la sortie de la porte 25 et la sortie Q de la bascule 24 sont à l'état «0», de sorte que la sortie de la porte 23 est à l'état «1» et que la sortie de l'inverseur 39 est à l'état «0». La sortie de la porte 38 est donc à l'état «0» puisque ses deux entrées sont à l'état «0», et le transistor 37 est bloqué.

Si en outre le couple moteur fourni par le ressort de barillet 2 est supérieur ou égal au couple limite CL, la vitesse de rotation du rotor 3a peut rester ou tendre à devenir supérieure à sa vitesse de consigne Vc, et le retard de ce rotor 3a par rapport à sa position angulaire de consigne tend à s'annuler.

On voit que, dans les conditions qui viennent d'être décrites et contrairement à ce qui se passe dans le cas de la pièce d'horlogerie 1 de la fig. 2, la liaison électrique entre le dispositif de stockage 28 et le redresseur 5 est interrompue. L'accumulateur 29 de ce dispositif de stockage 28 ne peut donc absorber aucun courant, quel que soit son état de charge. Le courant que doit fournir le convertisseur 3 est donc strictement limité à celui qui est absorbé, après le redressement effectué par le circuit redresseur 5, par les autres composants du circuit d'asservissement 32.

Il en résulte que le couple de freinage appliqué au rotor 3a en réponse au courant fourni par le convertisseur 3, et donc le temps qui est nécessaire pour que ce rotor 3a rattrape son retard par rapport à sa position angulaire de consigne, sont plus faibles dans le cas présent de la pièce d'horlogerie 31 que dans le cas de la pièce d'horlogerie 1 de la fig. 2, toutes autres choses étant égales.

Si par contre, toujours dans les conditions qui viennent d'être décrites, le couple moteur fourni par le ressort de barillet 2 est inférieur au couple limite CL, la vitesse de rotation du rotor 3a reste inférieure à sa vitesse de consigne Vc et le retard du rotor 3a par rapport à sa position angulaire de consigne augmente.

Lorsque ce retard devient tel que le contenu du compteur 11 atteint la valeur  $2^{(n-2)}$ , la sortie Q2 de ce compteur 11 passe à l'état «1».

La sortie Q1 du compteur 11 étant toujours à l'état «0», le transistor 16 reste bloqué.

Par contre, la sortie Q2 du compteur 11 étant maintenant à l'état «1», la sortie de la porte 25 passe à l'état «1», de même que la sortie Q de la bascule 24.

Pendant chaque impulsion IC fournie par la sortie du temporisateur 21, la sortie de la porte 23 passe à l'état «0», ce qui rend le transistor 27 conducteur. Simultanément, la sortie de l'inverseur 39 et, donc, la sortie de la porte 38 passent à l'état «1», de sorte que le transistor 37 devient conducteur.

Il en résulte que, pendant chaque impulsion IC, le dispositif de stockage 28 est à nouveau relié aux divers composants du circuit d'asservissement 32, et notamment au transistor 27.

Comme dans le cas de la pièce d'horlogerie 1 de la fig. 2, la bobine 3b du convertisseur 3 reçoit donc, en réponse à chaque impulsion IC, une impulsion motrice IM par l'intermédiaire du transistor 27, et l'énergie électrique fournie à cette bobine 3b pendant cette impulsion motrice IM est fournie par l'accumulateur 29.

De même, si l'accumulateur 29 contient suffisamment d'énergie électrique, chaque impulsion IM provoque une accélération du rotor 3a telle que la vitesse de rotation de ce dernier devient ou reste supérieure à sa vitesse de consigne Vc, et le retard du rotor 3a par rapport à sa position angulaire de consigne tend à s'annuler bien que le couple moteur fourni par le ressort de barillet 2 soit inférieur au couple limite CL.

Toujours comme dans le cas de la pièce d'horlogerie 1 de la fig. 2, la sortie Q1 du compteur 11 de la pièce d'horlogerie 31 est à l'état «1» lorsque le rotor 3a du convertisseur 3 est en avance par rapport à sa position angulaire de consigne. En outre, si cette avance est relativement faible et que le contenu du compteur 11 est supérieur ou égal à  $3.2^{(n-2)}$ , la sortie Q2 de ce compteur 11 est également à l'état «1».

Dans ces conditions, la sortie de l'inverseur 36 est à l'état «0», de sorte que la sortie de la porte 35, la sortie Q de la bascule 34 et la sortie de la porte 33 sont en permanence à l'état «0».

Contrairement à ce qui se passe dans la pièce d'horlogerie 1 de la fig. 2, le transistor 16 est donc bloqué en permanence dans ce cas, bien que le rotor 3a soit en avance par rapport à sa position angulaire de consigne.

Cependant, la sortie de la porte 38 est, elle, en permanence à l'état «1», de sorte que le transistor 37 est conducteur et que le dispositif de stockage 28 est relié, également en permanence, au redresseur 5 et, bien entendu, aux autres composants du circuit d'asservissement 32.

L'accumulateur 29 du dispositif de stockage 28 absorbe donc en permanence un courant de charge dont l'intensité est d'autant plus grande que la quantité d'énergie électrique contenue dans cet accumulateur 29 est faible et que la capacité maximale de ce dernier est élevée.

Ce courant de charge de l'accumulateur 29 est évidemment fourni par le convertisseur 3, par l'intermédiaire du redresseur 5, et contribue donc à la création du couple de freinage appliqué au rotor 3a.

On voit facilement que ce courant de charge de l'accumulateur 29 doit être supérieur à une certaine limite, qui est d'autant plus élevée que le couple moteur fourni par le ressort de barillet 2 est grand, pour que le couple de freinage appliqué au rotor 3a

impose à ce dernier une vitesse de rotation inférieure à sa vitesse de consigne  $V_c$ .

Si cette condition est remplie, l'avance du rotor 3a par rapport à sa position angulaire de consigne diminue bien que, dans ce cas, le transistor 16 ne soit pas conducteur et ne court-circuite donc pas la bobine 3b.

Cette situation ne change évidemment pas tant que le rotor 3a est en avance par rapport à sa position angulaire de consigne et que le courant de charge de l'accumulateur reste supérieur à la valeur limite définie ci-dessus.

Si cette avance du rotor 3a s'annule alors que ce courant de charge est encore supérieur à cette valeur limite, les sorties Q1 et Q2 du compteur 11 passent alors toutes deux à l'état «0», de même que la sortie de la porte 38. Il en découle que le transistor 37 se bloque à nouveau, de sorte que l'accumulateur 29 n'absorbe plus de courant. Le couple de freinage appliqué au rotor 3a n'est alors plus causé que par le courant absorbé par les autres composants du circuit d'asservissement 32 et la vitesse de rotation de ce rotor 3a peut à nouveau dépasser la vitesse de consigne  $V_c$ .

Si par contre le courant de charge de l'accumulateur 29 devient inférieur à la valeur limite définie ci-dessus avant que l'avance du rotor 3a ne s'annule, cette avance ne diminue plus, et même augmente, puisque le couple de freinage appliqué à ce rotor 3a ne peut plus imposer à ce dernier une vitesse inférieure à sa vitesse de consigne  $V_c$ .

Le contenu du compteur 11 diminue donc, dans un tel cas, et lorsque ce contenu devient inférieur à  $3.2^{(n-2)}$ , la sortie Q2 de ce compteur 11 passe à l'état «0», alors que la sortie Q1 de ce dernier reste évidemment à l'état «1».

La sortie de l'inverseur 36 et la sortie de la porte 35 passent donc à l'état «1», de même que la sortie Q de la bascule 34.

Lorsque la sortie Q de la bascule 13 passe à l'état «1» en réponse au passage du signal de mesure SM à l'état «1», la sortie de la porte 33 passe également à l'état «1», ce qui rend le transistor 16 conducteur, et ceci jusqu'à ce que la sortie Q du temporisateur 15 passe elle-même à l'état «1».

Lorsque le transistor 16 est conducteur, il court-circuite la bobine 3a et, comme dans le cas de la pièce d'horlogerie 1, le couple de freinage appliqué au rotor 3a impose à ce dernier une vitesse de rotation inférieure à sa vitesse de consigne  $V_c$ .

L'avance du rotor 3a par rapport à sa position angulaire de consigne diminue donc bien que le courant de charge de l'accumulateur 29 soit inférieur à la valeur limite définie ci-dessus.

Cette situation reste inchangée tant que le rotor 3a est en avance par rapport à sa position angulaire de consigne, le transistor 16 court-circuitant la bobine 3b à chaque tour de ce rotor 3a.

Lorsque l'avance du rotor 3a s'annule, les sorties Q1 et Q2 du compteur 11 passent toutes deux à l'état «0», de sorte que les transistors 16 et 37 sont à nouveau bloqués en permanence et que la vitesse de rotation du rotor 3a peut donc à nouveau dépasser la vitesse de consigne  $V_c$ .

On voit que, dans la pièce d'horlogerie 31 qui

vient d'être décrite, une partie au moins de l'énergie électrique produite par le convertisseur 3 lorsque le rotor 3a de ce dernier est en avance par rapport à sa position angulaire de consigne et que sa vitesse de rotation doit donc être réduite à une valeur inférieure à la vitesse de consigne de  $V_c$  est utilisée pour charger l'accumulateur 29 du dispositif de stockage 28. Dans la pièce d'horlogerie 1 de la fig. 2, par contre, cette même partie de l'énergie électrique produite dans ces conditions est dissipée par effet Joule, principalement dans la bobine 3b du convertisseur 3 et dans le transistor 16.

Il en découle que l'autonomie de la pièce d'horlogerie 31 est encore augmentée, toutes autres choses étant égales, par rapport à l'autonomie de la pièce d'horlogerie 1.

L'homme du métier comprendra facilement que, dans la pièce d'horlogerie 31, il est avantageux de concevoir le dispositif de stockage 28 de manière que le courant de charge de l'accumulateur 29 ne soit pas limité ou, le cas échéant, que ce courant de charge soit tout au plus limité à la valeur au-dessus de laquelle cet accumulateur 29 risque d'être endommagé.

De même, il est également avantageux de choisir l'accumulateur 29 de manière que sa capacité nominale soit aussi élevée que possible.

On voit que l'autonomie d'une pièce d'horlogerie selon la présente invention est nettement plus grande que l'autonomie d'une pièce d'horlogerie connue telle que celles qui sont décrites dans les demandes de brevet EP 0 239 820 et EP 0 679 968 déjà mentionnées.

Ceci est évidemment dû au fait qu'une pièce d'horlogerie selon la présente invention comporte un dispositif de stockage capable d'emmagasiner, sous forme d'énergie électrique, une partie de l'énergie mécanique contenue dans son ressort de barillet, ainsi que des moyens qui permettent d'utiliser cette énergie électrique pour faire fonctionner la pièce d'horlogerie après que ce ressort de barillet se soit complètement désarmé.

Il est évident que l'augmentation de l'autonomie d'une pièce d'horlogerie selon la présente invention ne peut pas être chiffrée d'une manière générale car elle dépend des caractéristiques de ses divers composants, et notamment de la capacité de l'accumulateur faisant partie de son dispositif de stockage.

On voit que si cette capacité est telle que la quantité d'énergie électrique que cet accumulateur peut emmagasiner est à peu près égale à celle qui correspond à la quantité d'énergie mécanique E2 définie ci-dessus, et que cette dernière est à peu près égale à la quantité d'énergie mécanique E1 également définie ci-dessus, l'autonomie de la pièce d'horlogerie est pratiquement doublée, toutes autres choses étant égales, par rapport à celle d'une pièce d'horlogerie connue du même genre.

Cependant, le ressort de barillet d'une pièce d'horlogerie, quelle qu'elle soit, est généralement remonté de nombreuses fois avant que le couple mécanique qu'il fournit ne devienne inférieur au couple limite CL. Il en découle que l'énergie mécanique qui est disponible, après conversion en énergie électrique, pour charger l'accumulateur du

dispositif de stockage d'une pièce d'horlogerie selon la présente invention est généralement très supérieure à l'énergie mécanique E2.

Il est donc possible, et même souhaitable, d'équiper le dispositif de stockage d'une pièce d'horlogerie selon la présente invention d'un accumulateur ayant une capacité telle qu'il peut emmagasiner une quantité d'énergie électrique supérieure à celle qui correspond à la quantité d'énergie mécanique E2 définie ci-dessus. Malgré sa capacité importante, cet accumulateur est généralement complètement chargé lorsque le couple moteur fourni par le ressort de barillet de cette pièce d'horlogerie devient inférieur au couple limite CL défini ci-dessus. Il en découle que l'autonomie d'une pièce d'horlogerie dont le dispositif de stockage comporte un tel accumulateur est encore augmentée.

Il est évident que de nombreuses modifications peuvent être apportées à la pièce d'horlogerie selon la présente invention dont deux formes d'exécution viennent d'être décrites sans que celle-ci sorte pour autant du cadre de cette invention. Seules quelques-unes de ces modifications seront mentionnées ci-dessous.

Ainsi, par exemple, l'homme du métier verra sans difficulté que le convertisseur d'une pièce d'horlogerie selon la présente invention peut comporter plus d'une bobine et/ou que son rotor peut comporter un aimant permanent multipolaire. Ce rotor peut également comporter plusieurs aimants bipolaires ou multipolaires.

Dans de tels cas, la période de la tension alternative produite par le convertisseur est évidemment un sous-multiple de la période de rotation du rotor de ce convertisseur. Le circuit d'asservissement de la pièce d'horlogerie est alors bien entendu de préférence agencé de manière à fournir une impulsion motrice, lorsque cela est nécessaire, à chaque période de cette tension.

D'autre part, l'asservissement de la position angulaire réelle du rotor du convertisseur d'une pièce d'horlogerie selon la présente invention à sa position angulaire de consigne peut être réalisé d'une manière différente de celle qui a été décrite ci-dessus, par exemple de la manière qui est décrite dans la demande de brevet EP 0 239 820 déjà mentionnée.

Les moyens qui produisent les impulsions motrices désignées par IM dans la description ci-dessus peuvent également être modifiés.

Par exemple, ces moyens peuvent être agencés de manière à produire, lorsque cela est nécessaire, deux impulsions motrices à chaque période de la tension produite par le convertisseur. Dans un tel cas, il est avantageux qu'une de ces impulsions motrices soit positive et soit appliquée à la bobine du convertisseur lorsque la tension alternative produite par ce dernier est proche de sa valeur de crête positive, comme dans les exemples décrits ci-dessus, et que l'autre de ces impulsions motrices soit appliquée à cette bobine lorsque cette tension est proche de sa valeur de crête négative. Cette dernière impulsion motrice doit évidemment être également négative, de manière à aussi accélérer le rotor du générateur.

Il faut noter que le nombre d'impulsions motrices appliquées à la bobine du convertisseur à chaque période de la tension produite par le convertisseur, lorsque cela est nécessaire, peut également être supérieur à deux.

Toujours par exemple, les moyens produisant les impulsions motrices peuvent aussi être modifiés de manière que ces dernières soient produites dans des conditions différentes de celles qui ont été décrites ci-dessus. Ainsi, ces moyens peuvent être agencés de manière que la production de ces impulsions motrices commence et/ou se termine plus tôt ou plus tard que ce qui a été décrit. Notamment, et encore par exemple, ces moyens peuvent être agencés de manière que cette production ne soit interrompue que lorsque la valeur du signal de comparaison entre la position angulaire réelle du rotor du convertisseur et sa position angulaire de consigne est représentative d'une certaine avance de ce rotor par rapport à cette position angulaire de consigne, et non pas dès que cette valeur indique que le retard du rotor s'est annulé comme dans les exemples décrits ci-dessus. De même, ces moyens peuvent être agencés de manière que la production des impulsions motrices commence aussitôt que la valeur du signal de comparaison est représentative d'un retard, aussi faible soit-il, de ce rotor par rapport à sa position angulaire de consigne.

De même, dans une pièce d'horlogerie selon la présente invention telle que celle qui est représentée à la fig. 3, le circuit d'asservissement peut être agencé de manière que le transistor de freinage, c'est-à-dire le transistor 16 de cette fig. 3, soit rendu conducteur ou bloqué pour des valeurs du signal de comparaison différentes de celles qui ont été mentionnées ci-dessus. Notamment, ce circuit d'asservissement peut être agencé de manière que ce transistor de freinage soit déjà rendu conducteur lorsque cette valeur est encore supérieure à  $3.2^{(n-2)}$ , l'avance que prend le rotor du convertisseur lorsque le courant de charge de l'accumulateur du dispositif de stockage devient inférieur à la limite définie ci-dessus pouvant ainsi être réduite.

## Revendications

### 1. Pièce d'horlogerie comportant:

- un convertisseur électromécanique (3) comprenant un rotor (3a) ayant au moins un aimant permanent et au moins une bobine (3b) couplée magnétiquement audit aimant pour produire une première énergie électrique en réponse à une rotation dudit rotor (3a);
- une source d'énergie mécanique (2) couplée mécaniquement audit rotor (3a) pour appliquer audit rotor (3a) un premier couple moteur provoquant ladite rotation dudit rotor (3a) dans un sens déterminé et à une vitesse de rotation supérieure à une vitesse de consigne déterminée ( $V_c$ ), ledit rotor (3a) ayant une position angulaire réelle qui varie en permanence pendant ladite rotation;
- des moyens d'affichage d'une information horaire (6) couplés mécaniquement audit rotor (3a) et à ladite source d'énergie mécanique (2); et
- des moyens d'asservissement (7; 32) comprenant

des moyens (8 à 11) pour produire un signal de comparaison ayant une valeur représentative d'un écart entre ladite position angulaire réelle dudit rotor (3a) et une position angulaire de consigne variant régulièrement à ladite vitesse de consigne (Vc), et des moyens de freinage (12, 13, 15, 16; 12, 13, 15, 16, 33 à 36) répondant audit signal de comparaison pour appliquer audit rotor (3a) un couple de freinage imposant audit rotor (3a) une vitesse de rotation inférieure à ladite vitesse de consigne (Vc) lorsque ledit écart est une avance de ladite position angulaire réelle dudit rotor (3a) par rapport à ladite position angulaire de consigne; caractérisée par le fait que lesdits moyens d'asservissement (7; 32) comprennent en outre des moyens de commande (21, 23 à 28; 21, 23 à 28, 37 à 39) répondant audit signal de comparaison pour appliquer audit rotor (3a) un deuxième couple moteur provoquant également ladite rotation dudit rotor (3a) dans ledit sens déterminé et à une vitesse de rotation supérieure à ladite vitesse de consigne (Vc) lorsque ledit écart est un retard de ladite position angulaire réelle dudit rotor (3a) par rapport à ladite position angulaire de consigne et que ledit retard est supérieur à un retard déterminé.

2. Pièce d'horlogerie selon la revendication 1, caractérisée par le fait que lesdits moyens de commande (21, 23 à 28; 21, 23 à 28, 37 à 39) répondent en outre audit signal de comparaison pour cesser d'appliquer ledit deuxième couple moteur audit rotor (3a) lorsque ledit écart est redevenu nul.

3. Pièce d'horlogerie selon la revendication 1, caractérisée par le fait que lesdits moyens de commande (21, 23 à 28; 21, 23 à 28, 37 à 39) répondent en outre audit signal de comparaison pour cesser d'appliquer ledit deuxième couple moteur audit rotor (3a) lorsque ledit écart est une avance de ladite position angulaire réelle dudit rotor (3a) par rapport à ladite position angulaire de consigne et que ladite avance est supérieure à une avance déterminée.

4. Pièce d'horlogerie selon la revendication 1, caractérisée par le fait que lesdits moyens de commande (21, 23 à 28; 21, 23 à 28, 37 à 39) comportent des moyens de stockage (28) pour emmagasiner une deuxième énergie électrique constituée par une partie de ladite première énergie électrique et sont agencés de manière à appliquer ledit deuxième couple moteur en réponse à ladite deuxième énergie électrique emmagasinée dans lesdits moyens de stockage (28).

5. Pièce d'horlogerie selon la revendication 4, caractérisée par le fait que ledit convertisseur (3) produit ladite première énergie électrique sous une tension alternative (Ug) ayant alternativement une première et une deuxième polarité, et que lesdits moyens de commande (21, 23 à 28; 21, 23 à 28, 37 à 39) sont agencés de manière à appliquer à ladite bobine (3b), lorsque ladite tension alternative (Ug) a ladite première polarité, une première impulsion motrice (IM) ayant également ladite première polarité, ledit deuxième couple moteur étant appliqué audit rotor (3a) en réponse à ladite première impulsion motrice (IM).

6. Pièce d'horlogerie selon la revendication 5, ca-

ractérisée par le fait que lesdits moyens de commande (21, 23 à 28; 21, 23 à 28, 37 à 39) sont agencés de manière à appliquer en outre à ladite bobine (3b), lorsque ladite tension alternative (Ug) a ladite deuxième polarité, une deuxième impulsion motrice ayant également ladite deuxième polarité, ledit deuxième couple moteur étant également appliqué audit rotor (3a) en réponse à ladite deuxième impulsion motrice.

7. Pièce d'horlogerie selon la revendication 4, caractérisée par le fait que lesdits moyens de commande (21, 23 à 28, 37 à 39) comportent des moyens de connexion (37 à 39) répondant audit signal de comparaison pour ne permettre auxdits moyens de stockage (28) d'emmagasiner ladite deuxième énergie électrique que lorsque ledit écart est une avance de ladite position angulaire réelle dudit rotor (3a) par rapport à ladite position angulaire de consigne, et par le fait que lesdits moyens de freinage sont agencés de manière à n'appliquer audit rotor (3a) ledit couple de freinage que lorsque ladite avance dudit rotor (3a) est supérieure à une avance déterminée.

Fig. 1

