



CONFÉDÉRATION SUISSE

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(51) Int. Cl.³: G 04 C 3/00
G 04 C 9/00
G 04 C 13/10

Demande de brevet déposée pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) FASCICULE DE LA DEMANDE A3

(11)

629 928 G

(21) Numéro de la demande: 1556/80

(22) Date de dépôt: 27.02.1980

(30) Priorité(s): 01.03.1979 FR 79 06030

(42) Demande publiée le: 28.05.1982

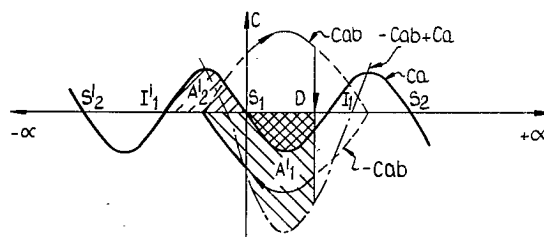
(44) Fascicule de la demande
publié le: 28.05.1982(71) Requêteur(s):
Société Suisse pour l'Industrie Horlogère
Management Services S.A., Biel/Bienne(72) Inventeur(s):
Mai Tu Xuan, Chavannes-près-Renens

(56) Rapport de recherche au verso

(54) Moteur pas à pas.

(57) Le moteur pas à pas monophasé bipolaire peut tourner dans les deux sens. Son rotor est dimensionné de telle façon que son moment d'inertie J , son volume V et son nombre de paires de pôles p sont combinés pour satisfaire à la relation $J / (V \cdot p^{1,4}) \geq 5 \cdot 10^{-3}$ kg/m. Le rotor ainsi réalisé progressera avec sûreté dans le sens opposé au sens préférentiel si la bobine du moteur reçoit une première impulsion de courte durée, puis une seconde impulsion de durée plus longue dont la polarité est inversée par rapport à la première.

L'invention s'applique principalement aux pièces d'horlogerie munies d'une aiguille des heures et d'une aiguille des minutes.



I.I.B. Nr.:

Examinateur I.I.B./I.I.B Prüfer

REVENDECATIONS

1. Moteur électromagnétique pas à pas à mouvement rotatif comprenant un stator réalisé en matériau ferromagnétique doux muni d'une seule bobine d'excitation, et un rotor constitué par un aimant ayant au moins une paire de pôles, le stator et le rotor du moteur se trouvant couplés magnétiquement pour conférer au rotor un sens préférentiel de marche en réponse à un premier type d'impulsions simples de polarité alternée appliqué à la bobine, caractérisé en ce que le moment d'inertie J , le volume V et le nombre de paires de pôles p du rotor sont combinés pour satisfaire à la relation

$$\frac{J}{V \cdot p^{1,4}} \geq 5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}$$

et que ledit rotor est entraîné dans un sens de rotation inverse au sens préférentiel de marche quand la bobine du moteur reçoit un second type d'impulsions doubles de polarité alternée composé d'une première impulsion dont la polarité fait tourner le rotor d'un angle inférieur à un pas dans le sens préférentiel, ladite première impulsion étant immédiatement suivie par une seconde impulsion dont la polarité est opposée à la première, ladite seconde impulsion faisant tourner le rotor d'un pas entier dans le sens opposé au sens préférentiel.

2. Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la première impulsion a une durée plus courte que la seconde impulsion.

3. Moteur selon la revendication 2, caractérisé en ce que la première impulsion a une durée comprise entre 2 et 5 ms et que la seconde impulsion a une durée comprise entre 4 et 10 ms.

4. Moteur selon les revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le rapport du couple moteur dans le sens préférentiel au couple moteur dans le sens opposé au sens préférentiel est inférieur à 1,5.

5. Moteur selon les revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il entraîne une pièce d'horlogerie à affichage analogique.

La présente invention a pour objet un moteur électromagnétique pas à pas à mouvement rotatif comprenant un stator réalisé en matériau ferromagnétique doux et muni d'une seule bobine d'excitation, et un rotor constitué par un aimant ayant au moins une paire de pôles, le stator et le rotor du moteur se trouvant couplés magnétiquement entre eux et arrangés pour conférer au rotor un sens préférentiel de marche en réponse à un premier type d'impulsions simples de polarité alternée appliqué à la bobine.

Des moteurs électromagnétiques pas à pas du type susmentionné sont connus. Le rotor d'un tel moteur est soumis à deux sortes de couples: un couple statique de maintien dû au flux de l'aimant permanent et qui définit les positions d'arrêt angulaires du rotor lorsque le moteur n'est pas alimenté en courant (appelé aussi couple réluctant) et un couple dynamique moteur dû à l'interaction entre le flux de l'aimant et le flux créé par la bobine lorsque celle-ci est alimentée par un courant (appelé aussi couple mutuel aimant/bobine). C'est le couple dynamique qui fournit au moteur l'énergie nécessaire à sa rotation. Pour l'emploi d'un tel moteur, par exemple dans une pièce d'horlogerie, il est nécessaire de le construire de telle façon qu'il tourne toujours dans un sens en réponse à des impulsions simples de polarité alternée appliquées à la bobine. C'est le cas du moteur décrit dans le brevet CH N° 604250 où le décalage angulaire du stator par rapport à la pièce annulaire fixe fait que le moteur tourne toujours dans un même sens préférentiel. Il ressort de ce qui précède que les signaux généralement utilisés pour mouvoir le moteur et qui se présentent sous la forme d'impulsions simples polarisées une fois dans un sens et une fois dans l'autre sont impropres à faire tourner le rotor dans le sens opposé au sens préférentiel.

Le but de la présente invention est d'entraîner le rotor du moteur dans un sens opposé au sens préférentiel, ce qui aura pour conséquence de faire tourner au moins une des aiguilles de la pièce d'horlogerie dans le sens opposé au sens normal. Ce mouvement inverse est souhaitable particulièrement si l'on désire, par exemple, remettre rapidement à l'heure un garde-temps muni d'un affichage analogique à aiguilles ou encore si, exploitant une invention récente utilisant momentanément l'aiguille des minutes en aiguille des secondes, on désire revenir à l'affichage de la minute. Pour ce faire, on fournira à la bobine du moteur un signal composite qui sera émis sur demande en actionnant un bouton de commande.

On connaît des moteurs électromagnétiques monophasés bipolaires auxquels un signal spécial est appliqué dans le but de changer le sens de leur rotation.

Dans la publication FR N° 2373817, on décrit un système où l'on applique à la bobine une impulsion en opposition de phase juste avant une impulsion normale, et des moyens de détection sont mis en œuvre pour détecter la position du rotor afin de passer d'une impulsion à l'autre au bon moment pour inverser le sens de rotation du rotor. Ce système présente au moins deux inconvénients: d'abord, il est réversible, c'est-à-dire que si, à la suite d'un choc, le rotor a avancé accidentellement d'un pas, l'impulsion composite suivante fera partir le rotor dans le sens préférentiel; ensuite, il nécessite un système sophistiqué de réglage commandant la commutation des impulsions.

Dans le brevet USA N° 4112671, on décrit d'autres moyens pour inverser le sens de rotation du rotor. Particulièrement, un groupe d'impulsions 10, 11 et 12, comme montré dans la fig. 5 du brevet cité, est arrangé pour inverser le sens de rotation du rotor. Ce système de commande est associé à un rotor à faible moment d'inertie par support au volume dudit rotor. Si le couple développé par le moteur est suffisant pour entraîner le mécanisme de la pièce d'horlogerie en marche avant, sa valeur se réduit de trois fois lors de la marche arrière et l'on peut en conclure que cette fonction n'est pas sûre et que des pas pourront être perdus. Si cela ne présente pas un inconvénient majeur lors d'une remise à l'heure, on appréciera que la perte d'un pas dans une montre où l'on utilise l'aiguille des minutes en aiguille des secondes amène à une perte de l'heure réelle lors du retour à l'affichage de la minute.

Dans les exposés d'invention DEOS N° 2808534 et DEOS N° 2628583 on décrit également un arrangement pour inverser le sens de rotation du moteur. Pour faire progresser le rotor du moteur dans le sens opposé au sens préférentiel, on envoie à la bobine une première impulsion dont la polarité fait tourner le rotor d'un angle inférieur à un pas dans le sens préférentiel, ladite première impulsion étant suivie par une seconde impulsion dont la polarité est opposée à la première et qui fait tourner le rotor d'un pas dans le sens opposé au sens préférentiel. Dans les deux exposés cités, il s'agit de permettre une remise à l'heure aisée de la montre. Si le premier exposé reconnaît qu'en marche arrière le moteur est moins énergique qu'en marche avant et que, partant, il peut perdre des pas, le second exposé est muet à ce sujet et ne donne pas de garantie sur une marche sûre dans les deux sens de rotation. Aucun des exposés cités ne cite ou ne revendique ce que propose la présente invention qui, on le verra, vise directement la construction du rotor du moteur.

C'est le but de l'invention d'éliminer les inconvénients ci-dessus et de réaliser un moteur pas à pas à fonctionnement très sûr en supprimant les dangers de la réversibilité et la perte d'un ou de plusieurs pas.

Le moteur électromagnétique selon l'invention est caractérisé en ce que le moment d'inertie J , le volume V et le nombre de paires de pôles p du rotor sont combinés pour satisfaire à la relation

$$\frac{J}{V \cdot p^{1,4}} \geq 5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}$$

et que ledit rotor est entraîné dans un sens de rotation inverse au sens préférentiel de marche quand la bobine du moteur reçoit un second type d'impulsions doubles de polarité alternée, composé d'une

première impulsion dont la polarité fait tourner le rotor d'un angle inférieur à un pas dans le sens préférentiel, ladite première impulsion étant immédiatement suivie par une seconde impulsion dont la polarité est opposée à la première, ladite seconde impulsion faisant tourner le rotor d'un pas entier dans le sens opposé au sens préférentiel.

L'invention sera mieux comprise à la lumière de la description qui suit et des dessins qui représentent le fonctionnement du moteur.

Les fig. 1a, 1b et 1c représentent respectivement une exécution de principe d'un moteur monophasé, le signal d'attaque de ce moteur et la valeur des couples en fonction de l'angle de rotation du rotor du moteur pour le sens préférentiel et selon l'art antérieur.

La fig. 2 représente la valeur des couples en fonction de l'angle de rotation du rotor du moteur si les impulsions d'attaque sont de polarité inverse à celle dessinée sous fig. 1b.

Les fig. 3a et 3b représentent respectivement le signal d'attaque de ce moteur et les valeurs des couples en fonction de l'angle de rotation du rotor du moteur pour le sens opposé au sens préférentiel de marche selon le mode d'exécution de l'invention.

La fig. 4 montre un schéma de réalisation possible pour alimenter le moteur dans le sens inverse.

La fig. 1a représente, très schématisée, une exécution de principe d'un moteur pas à pas monophasé bipolaire. Un aimant permanent cylindrique 1 à aimantation diamétrale SN constitue le rotor de ce moteur. Son stator est composé d'une bobine 2 qui, lorsqu'elle est excitée, produit un flux magnétique qui est reporté à l'entrefer au moyen de la culasse 3 et des pièces polaires 4a et 4b réalisées en matériau ferromagnétique doux. A l'arrêt, le rotor occupe la position de réluctance minimale telle qu'elle est montrée sur la fig. 1. Si une impulsion positive est envoyée à la bobine, le rotor tournera d'un pas, c'est-à-dire de 180° ; une seconde impulsion, mais négative, permettra au rotor de poursuivre sa course dans le même sens et de franchir ainsi un nouveau pas, et ainsi de suite. C'est ce qu'on appelle le sens préférentiel.

La fig. 1b représente, en fonction du temps, un premier type d'impulsions simples de polarité alternée qui font avancer le moteur dans le sens préférentiel. La durée de chaque impulsion est généralement de l'ordre de 8 ms.

La fig. 1c représente la valeur des couples C qui agissent sur le rotor en fonction de son angle de rotation α . Le sens préférentiel est celui des valeurs positives de l'angle de rotation α et le sens opposé au sens préférentiel est celui des valeurs négatives de l'angle de rotation α . Comme déjà mentionné plus haut, le rotor du moteur est soumis à deux sortes de couples: un couple statique de maintien C_a dû à l'aimant seul et un couple dynamique moteur C_{ab} dû à l'interaction du flux de l'aimant avec le flux de la bobine lorsque celle-ci est alimentée. De par la construction du moteur, ces couples sont déphasés de 45° environ l'un par rapport à l'autre. Si une impulsion positive alimente la bobine, le pôle 4a deviendra un pôle nord et le pôle 4b un pôle sud (voir fig. 1a) et le rotor tournera de 180° dans le sens des aiguilles d'une montre. Les points S'_2 , S_1 et S_2 sont des points d'équilibre stable en l'absence de courant (le point S_1 représentant la position du rotor telle que dessinée sur la fig. 1a), alors que les points I'_1 et I_1 sont des points d'équilibre instable. Dans le sens préférentiel, le rotor est amené du point S_1 au point I_1 par le couple mutuel C_{ab} , le reste du parcours, de I_1 à S_2 , se faisant grâce aux énergies cinétique et potentielle emmagasinées entre S_1 et I_1 . La surface A_1 représente l'énergie utile que l'on peut fournir au moteur dans le sens préférentiel. La surface A_2 représente l'énergie de maintien ou de positionnement (à laquelle il faut ajouter l'énergie due aux pertes par frottement). Comme ces deux énergies sont de sens opposés, il est nécessaire, pour que le rotor avance d'un pas, que A_1 soit supérieur à A_2 , ce qui est le cas pour les moteurs pas à pas du type connu.

La fig. 2 représente la valeur des couples en fonction de l'angle de rotation du rotor si les impulsions d'attaque sont de polarité inverse à celle dessinée à la fig. 1b. On peut se demander en effet si, dans le mode d'alimentation connu de la fig. 1b, il ne suffirait pas, pour

atteindre le but fixé ici, d'inverser la polarité du signal de commande pour inverser le sens de marche du moteur. La fig. 2 montre à nouveau le couple de maintien C_a dont la polarité et l'amplitude n'ont pas changé puisque dépendantes de l'aimant seulement.

L'amplitude du couple mutuel $-C_{ab}$ est également la même, puisque résultante d'une impulsion de même amplitude, mais sa polarité est inversée, puisque résultante d'une impulsion de polarité opposée. On remarque ici que l'énergie utile que l'on peut fournir au moteur, représentée par la surface A'_1 , est plus petite que l'énergie de maintien A'_2 . En conséquence, le rotor n'est pas capable de tourner d'un pas dans le sens opposé au sens préférentiel. On pourrait atteindre le but fixé en augmentant l'amplitude de l'impulsion, ce qui amènerait le couple $-C'_{ab}$, mais cela constituerait un inconvénient majeur pour la réalisation de l'alimentation de commande.

La fig. 3a représente un second type d'impulsions doubles de polarité alternée arrangé pour faire tourner le rotor du moteur dans un sens opposé au sens préférentiel selon l'invention. On verra cependant que cet arrangement n'est pas suffisant pour garantir un fonctionnement sûr en marche arrière, si le moment d'inertie, le volume et le nombre de paires de pôles du rotor ne satisfont pas en même temps à une condition nécessaire qui sera exposée plus loin. Le signal en question est composé d'une première impulsion positive ab qui fait tourner le rotor d'un angle inférieur à un pas dans le sens préférentiel, suivie immédiatement d'une seconde impulsion bc qui inverse le sens de marche et fait tourner d'un pas le rotor dans le sens opposé au sens préférentiel. La durée de la première impulsion est choisie entre 2 et 5 ms, et la durée de la seconde impulsion est choisie entre 4 et 10 ms. Pour une version préférée de l'invention, des durées respectives de 4 ms et 6 ms ont été choisies.

La fig. 3b illustre, par le graphique des couples en présence, le fonctionnement du moteur selon l'invention lorsque celui-ci est alimenté par le signal de la fig. 3a. Pour fournir une énergie suffisante dans le sens opposé au sens préférentiel, l'idée consiste à faire démarrer le moteur à partir d'une position différente de la position stable S_1 , comme cela est le cas pour la marche normale. Pour cela, le rotor est amené préalablement du point d'équilibre stable S_1 au point D par une impulsion de tension qui conduit ledit rotor dans le sens préférentiel. Lorsque le rotor se trouve au point D, on inverse la tension d'alimentation, ce qui permet au moteur de partir dans un sens opposé au sens préférentiel avec un grand couple d'accélération. La durée de chacune de ces impulsions dépendra des caractéristiques du moteur (constante de temps électrique et mécanique) et sera donc adaptée au moteur choisi. La surface A'_1 représente l'énergie utile que l'on peut fournir au moteur selon cette méthode d'alimentation. Elle est constituée, d'une part, par le couple mutuel $-C_{ab}$ et, d'autre part, par l'énergie potentielle accumulée lorsque le moteur se déplace dans le sens préférentiel de S_1 à D (surface doublement hachurée): On voit que la surface résultante A'_1 délimitée par la courbe $-C_{ab} + C_a$ est bien supérieure à la surface A'_2 qui représente l'énergie de maintien dans le sens opposé au sens préférentiel; en conséquence, l'impulsion décrite ici fera parcourir au rotor un pas dans le sens opposé au sens préférentiel pour l'arrêter à la position d'équilibre stable S'_2 . Si, par la suite, un même signal, mais de polarité inversée, est appliqué à la bobine, le rotor continuera sa course dans le même sens (signal a'b'c').

On va montrer maintenant que le signal décrit ci-dessus n'est pas applicable à n'importe quel moteur pour lancer son rotor dans le sens opposé au sens préférentiel. Si on désigne par ω la vitesse angulaire du rotor et par F le facteur de couplage ($=$ flux dû à l'aimant passant par la bobine \times nombre de spires \times nombre de paires de pôles), on définit la tension induite U_i recueillie aux bornes du moteur par $U_i = F \cdot \omega$. On a vu plus haut que l'effort conjugué de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle permet au rotor de parvenir à son nouveau point S'_2 . Le couple d'accélération en marche arrière se trouve être donc bien plus important que celui en marche avant et, par conséquent, si le moment d'inertie du rotor est faible, la vitesse angulaire peut devenir très grande, et partant, en accord avec l'équation ci-dessus, la tension induite U_i peut dépasser en valeur la

tension d'alimentation U ; le courant i dans la bobine qui répond à l'équation

$$i = \frac{U - U_i}{R}$$

peut alors devenir négatif (on néglige ici l'effet de self). Dans ces conditions, le couple d'accélération C_{acc} qui répond à la relation

$$C_{acc} = -F \cdot i + C_a$$

peut devenir positif, ce qui signifie en clair que ce couple devient un couple de décélération ou couple de freinage, puisque agissant dans le sens préférentiel $+\alpha$. Dans ces conditions, le rotor n'est pas assuré de parvenir au point S'_2 . Pour maintenir la vitesse angulaire dans des limites raisonnables et si l'on désigne par J le moment d'inertie du rotor et par t le temps, l'équation

$$\omega = \frac{C_{acc}}{J} \cdot t$$

montre qu'il faut augmenter la valeur de J . Cet artifice présente le grand avantage de fournir au rotor un couple en marche arrière presque aussi important qu'en marche avant. On maintient ainsi l'écart de sécurité (de 3 à 5) qui doit exister entre le couple fourni par le moteur et le couple mécanique résistant de la montre dans les deux sens de rotation du moteur. On rend également plus insensible le fonctionnement du moteur aux dispersions dues à sa fabrication.

L'augmentation du moment d'inertie du rotor peut être obtenue en augmentant sa masse et/ou en augmentant son rayon. D'autre part, pour obtenir une loi valable dans tous les cas qui peuvent se présenter, il faut rapporter ledit moment d'inertie J au volume V et au nombre de paires de pôles p du rotor. Pour chiffrer le facteur de qualité que doit posséder le rotor pour tourner dans les deux sens avec sûreté en réponse aux impulsions de commande, la relation $J/(V \cdot p^{1,4})$ a été trouvée comme caractérisant son aptitude au bon fonctionnement.

$$\text{Si } J = \frac{1}{2} M \cdot r^2 = \frac{1}{2} \gamma \cdot V \cdot r^2$$

alors

$$\frac{J}{V \cdot p^{1,4}} = \frac{\gamma \cdot r^2}{2 \cdot p^{1,4}}$$

où M représente la masse, r le rayon et γ la densité du rotor.

Dans un moteur de l'art antérieur, comme par exemple celui décrit dans le brevet USA N° 4112671 déjà cité, le rotor est fait d'un aimant au samarium/cobalt ($\gamma = 8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$). Son rayon est de $0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. Le nombre de paires de pôles est de 1. Le rapport $J/(V \cdot p^{1,4}) = 2,56 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}$. Pour cette valeur, le couple en marche avant est de $4,5 \cdot 10^{-7} \text{ Nm}$ et celui de marche arrière de seulement $1,5 \cdot 10^{-7} \text{ Nm}$. Ce dernier est insuffisant pour entraîner avec sûreté le mécanisme en marche arrière qui demande un couple minimum de $1 \cdot 10^{-7} \text{ Nm}$ (valeur d'expérience).

Dans un autre moteur de l'art antérieur, comme celui décrit dans le brevet CH N° 604250 déjà cité, le rotor est fait d'un aimant au platine/cobalt ($\gamma = 16 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$) possédant 6 paires de pôles. Son

rayon est de $2,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. Le rapport $J/(V \cdot p^{1,4}) = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}$. Des mesures entreprises sur ce moteur montrent qu'il ne fonctionne pas avec sûreté en marche arrière si on le soumet au train d'impulsions objet de l'invention.

Dans un moteur exécuté selon l'invention, le rotor est fait d'un aimant au platine/cobalt ($\gamma = 16 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$) ayant une paire de pôles. Son rayon est de $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. Le rapport $J/(V \cdot p^{1,4}) = 8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}$. Pour cette valeur, le couple en marche avant est de $5,5 \cdot 10^{-7} \text{ Nm}$ et celui en marche arrière de $4,5 \cdot 10^{-7} \text{ Nm}$. On voit immédiatement que le couple en marche arrière est peu différent de celui en marche avant (rapport 1,2 environ) et que le mécanisme sera entraîné avec sûreté dans les deux sens.

Il résulte de ce qui précède et de bien d'autres mesures faites sur d'autres moteurs que, pour des pièces d'horlogerie courantes, le facteur de qualité $J/(V \cdot p^{1,4})$ doit être égal ou supérieur à $5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}$ pour que le moteur puisse fonctionner avec sûreté en marche arrière, si on lui applique le signal objet de l'invention. Dans ces conditions, on observe également que le rapport du couple moteur dans le sens préférentiel au couple moteur dans le sens opposé au sens préférentiel est inférieur à 1,5.

L'alourdissement du rotor et partant la sûreté de marche dans les deux sens doit se payer naturellement par une augmentation de la consommation du moteur. Par conséquent, l'invention convient moins bien à une montre munie d'une aiguille des secondes où le moteur fait un pas par seconde. Elle s'applique par contre particulièrement bien à une montre munie d'une aiguille des heures et d'une aiguille des minutes seulement, où le moteur ne fait qu'un pas par minute et où le problème de la consommation est beaucoup moins important. Dans ce cas, la marche arrière peut être utilisée pour revenir à l'affichage de la minute quand on a utilisé l'aiguille des minutes momentanément en aiguille des secondes, comme déjà mentionné dans le préambule.

On remarquera enfin que le mode de fonctionnement selon l'invention n'est pas réversible. Supposons qu'un choc soit appliqué accidentellement à la montre. Celui-ci peut faire avancer d'un pas le rotor du moteur sans que sa bobine soit excitée. Si un signal a'b'c' se présente (à la place d'un signal abc), le rotor ne pourra pas franchir un pas ni en avant ni en arrière. Par contre, le signal suivant abc retrouvera le rotor en bonne position pour le faire démarrer en marche arrière.

Les diverses impulsions nécessaires à la réalisation de l'invention sont produites par un circuit électronique logique qui met à profit les multiples signaux qui sont à disposition à la sortie du diviseur de fréquence de la montre. La fig. 4 montre un schéma bloc de ce circuit. Les signaux prélevés du diviseur de fréquence 10 sont envoyés à un circuit de mise en forme des impulsions simples de marche avant 11 et à un circuit de mise en forme des impulsions doubles de marche arrière 12. La sortie de ces circuits est connectée à un aiguillage 13 à la sortie duquel apparaissent les trains d'impulsions simples ou doubles suivant la position de l'interrupteur 14. Le signal choisi attaque un dernier circuit 15 qui réalise à la fois la polarité alternée nécessaire et la commande de la bobine 2 du moteur.

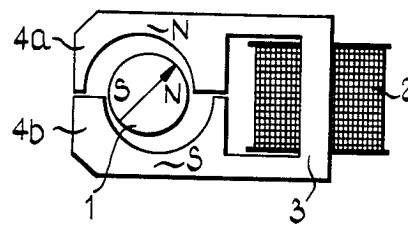


Fig. 1a

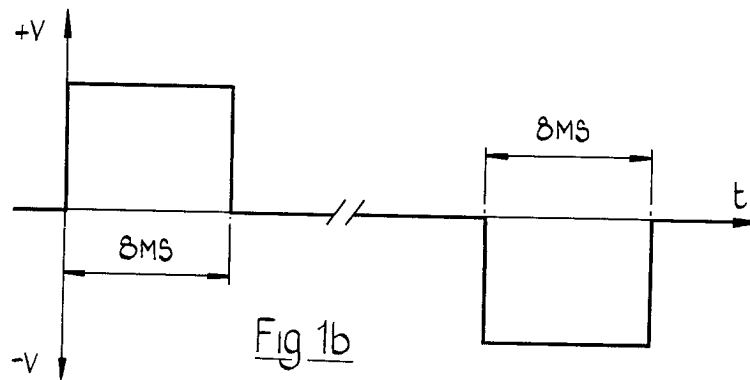


Fig 1b

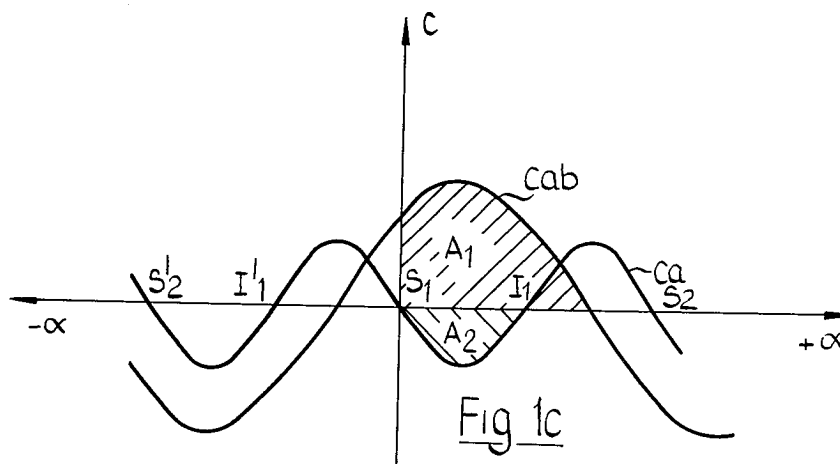


Fig 1c

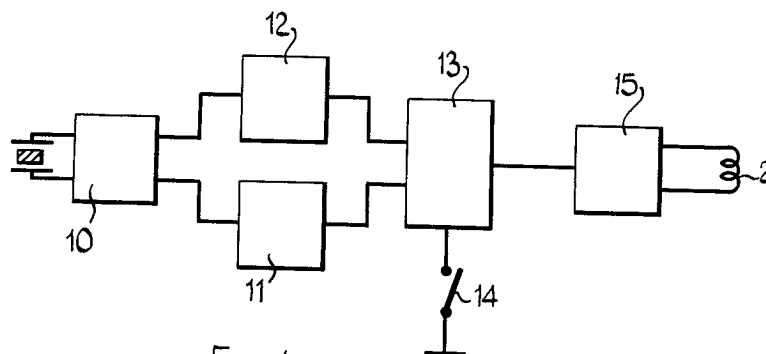


Fig 4.

