

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: 84110852.5

(51) Int. Cl.⁴: **G 04 C 3/14**

(22) Date de dépôt: 12.09.84

(30) Priorité: 16.09.83 CH 5050/83

(43) Date de publication de la demande:
08.05.85 Bulletin 85/19

(84) Etats contractants désignés:
DE FR GB

(71) Demandeur: **Omega SA**
Rue Stämpfli 96
CH-2500 Bienne(CH)

(72) Inventeur: **Mokdad, Mohamed**
Rue du Jura 48
CH-2503 Bienne(CH)

(72) Inventeur: **Tu Xuan, Mai**
Rue Blancherie 34
CH-1022 Chavannes(CH)

(74) Mandataire: **de Raemy, Jacques et al,**
ASUAG - SSIH Société pour l'Industrie Horlogère S.A.
Faubourg du Lac 6
CH-2501 Bienne(CH)

(54) Procédé d'alimentation d'un moteur pas à pas.

(57) Le procédé consiste à fournir au moteur pas à pas (8) une quantité d'énergie prédéterminée E_{io} d'où il résultera une adaptation automatique de la longueur d'impulsion de commande du moteur à la tension U_o à ses bornes et à la résistance R_i de la source d'alimentation. Au moment où l'énergie interne $E_i(t)$ fournie au moteur et définie par l'intégrale par rapport au temps du produit de $U_o - RI$ par le courant $I(t)$ circulant dans la bobine du moteur est égale à E_{io}

on coupe l'impulsion d'alimentation (R est la résistance de la bobine du moteur). Le circuit pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention comprend la mesure de la tension U_o et du courant d'alimentation $I(t)$, un dispositif (5) pour former la différence $U_o - RI$, un multiplicateur (6) pour former le produit $(U_o - RI)I(t)$ et un intégrateur (7) à la sortie duquel on recueille une tension proportionnelle à l'énergie interne $E_i(t)$.

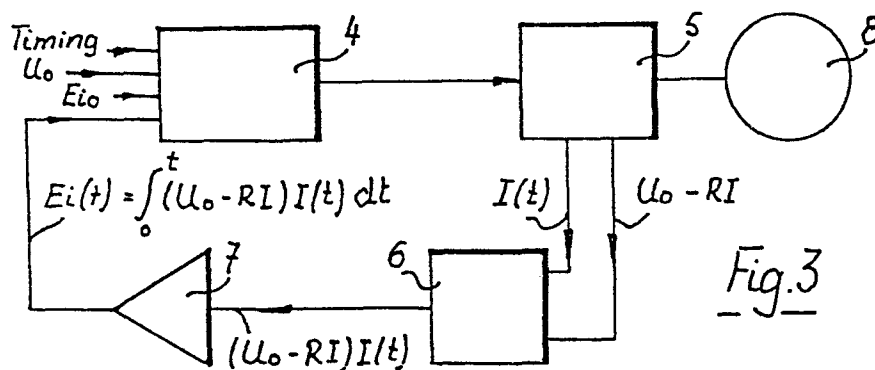


Fig. 3

Procédé d'alimentation d'un moteur pas à pas

La présente invention est relative à un procédé d'alimentation d'un moteur pas à pas, notamment pour pièce d'horlogerie.

Dans les pièces d'horlogerie électroniques que l'on trouve aujourd'hui sur le marché, il est d'usage courant de trouver un
5 moteur pas à pas pour convertir les impulsions électriques issues d'une base de temps à quartz en mouvement mécanique pour afficher l'heure. Le système est alimenté par une source d'énergie, généralement une pile de petites dimensions qu'il faudra remplacer périodiquement. Pour économiser l'énergie livrée par la pile et donc la
10 faire durer le plus longtemps possible, on a déjà proposé des systèmes de réglage qui asservissent la durée de l'impulsion qui meut le moteur à la charge qu'il doit entraîner; en d'autres termes, on allonge l'impulsion si la charge augmente et on la réduit si cette même charge diminue. De tels systèmes sont décrits par exemple dans
15 les documents US 4,323,834 et US 4,346,463.

On doit pourtant distinguer plusieurs sortes de charges agissant sur le rotor du moteur. Comme on veut une position angulaire bien déterminée du rotor entre les pas, il sera nécessaire d'exercer sur lui un couple de positionnement au repos qu'il faudra vaincre
20 chaque fois qu'on voudra le faire progresser d'un pas. Le rotor aura également à vaincre les divers couples de frottement qui existent dans les paliers. Enfin le rotor aura à fournir un couple utile pour entraîner le mécanisme d'affichage de l'heure. L'énergie à fournir au moteur pour vaincre ces différents couples est généralement bien
25 déterminée pour un type de montre donnée qui, lorsqu'elle marche normalement, consomme une énergie relativement constante. Toutefois, si la montre possède un calendrier, on comprendra qu'une fois par vingt-quatre heures le couple utile à fournir devra être plus important au changement de date. C'est alors que peut intervenir l'asservissement dont il a été question à l'alinéa ci-dessus et à condition
30 bien sûr que la montre soit pourvue d'un tel système.

Les systèmes d'asservissement réagissant à la charge imposée au rotor supposent généralement que le moteur est alimenté à tension constante et ne tiennent donc pas compte des écarts entre la tension

délivrée par la pile au début puis à la fin de sa durée de vie. A première vue, cette simplification pourrait paraître légitime pour une pile à l'argent dont les tensions de début et de fin de vie sont respectivement de l'ordre de 1,6 et 1,4 volts. Cependant, comme on
5 le verra, l'écart indiqué conduit déjà à une surconsommation du système si des mesures ne sont pas prises pour asservir la longueur de l'impulsion motrice à la tension délivrée par la source d'alimentation de même que la résistance présentée par ladite source. Il est évident, d'autre part, que si cet écart augmente encore, comme c'est
10 le cas par exemple dans les piles au lithium où les limites de fonctionnement peuvent être fixées entre 2,4 et 3,6 volts, la consommation en pure perte sera encore plus importante.

On a cité dans le rapport de recherche le document EP-A-0057663 (correspondant à US-A-4,439,717). Il s'agit d'un dispositif de com-
15 mande pour moteur pas à pas. Ce dispositif évite l'inconvénient que présentent les dispositifs connus et qui tient au fait que si la tension de la source d'alimentation varie, la puissance fournie au moteur varie également comme on l'a indiqué à l'alinéa ci-dessus. Pour palier cet inconvénient, le document cité propose des moyens
20 qui consistent, d'une part, à alimenter le moteur en maintenant constant le courant dans la bobine dudit moteur et, d'autre part, à analyser le signal en tension présent sur la bobine puis à fournir une information sur la tension induite provoquée par le mouvement du rotor. La démarche proposée par la présente invention est totalement
25 différente puisqu'elle ne fait pas appel à la tension induite pas plus qu'elle ne nécessite de maintenir constant le courant dans la bobine. On le verra plus bas, le procédé choisi ici se contente de mesurer la tension d'alimentation aux bornes du moteur et le courant qui circule dans sa bobine, d'intégrer le produit des deux mesures
30 par rapport au temps puis de couper l'alimentation quand l'énergie ainsi mesurée est égale à une quantité d'énergie prédéterminée.

C'est le but de la présente invention d'adapter automatiquement la longueur d'impulsion de commande à la tension et à la résistance de la source d'alimentation par les moyens qui apparaissent dans les
35 revendications.

L'invention sera mieux comprise maintenant à la lumière de la description qui suit et pour l'intelligence de laquelle on se réfère-

rera, à titre d'exemple, au dessin dans lequel :

La figure 1 est un graphique illustrant le principe d'alimentation du moteur pas à pas selon l'invention.

La figure 2 est un graphique qui montre plus en détail comment
5 varie la longueur d'impulsion d'alimentation du moteur quand la tension d'alimentation et la résistance de la source d'alimentation changent si l'on met à profit le procédé selon l'invention.

La figure 3 est un schéma bloc du circuit électronique de commande pour mettre en oeuvre le procédé selon l'invention.

10 La figure 4 est un exemple de réalisation possible du circuit électronique de principe donné en figure 3.

D'une manière générale, les courants et les tensions intervenant dans le fonctionnement du moteur sont donnés par l'équation électrique suivante :

$$15 \quad U_0 = R \cdot I(t) + L \frac{dI}{dt} + U_i(t) \quad [1]$$

dans laquelle :

U_0 = tension aux bornes du moteur;

U_i = tension induite de mouvement;

L = self de la bobine du moteur;

20 R = résistance de la bobine du moteur;

I = courant dans la bobine du moteur.

En multipliant l'équation [1] par le terme $I(t)dt$ et en intégrant par rapport au temps t , on obtient :

$$\int_0^t U_0 I(t) dt = \int_0^t R I^2(t) dt + \int_0^t L I(t) dI + \int_0^t U_i I(t) dt \quad [2]$$

25 Dans cette équation :

$$\int_0^t U_0 I(t) dt = E_t = \text{énergie totale fournie au système;}$$

$$\int_0^t R I^2(t) dt = E_{th} = \text{énergie dissipée par effet Joule;}$$

$$\int_0^t L I(t) dI = E_s = \text{énergie emmagasinée par la self;}$$

$$\int_0^t U_i I(t) dt = E_m = \text{énergie mécanique fournie par le moteur.}$$

On désire fournir au moteur une énergie mécanique constante. Etant donné que E_s est généralement plus petite que E_m et pratiquement constante, le fait d'imposer $E_m = \text{constante}$ revient à dire que $E_m + E_s = \text{constante}$. La somme $E_m + E_s$ est définie
 5 dans le cas présent comme représentant l'énergie interne E_i fournie au moteur. On peut donc écrire que :

$$E_i(t) = \int_0^t U_0 I(t) dt - \int_0^t RI^2(t) dt \quad [3]$$

ce qui signifie que l'énergie interne à fournir au moteur est égale à l'énergie totale fournie par le système (E_t) moins l'énergie dis-
 10 sipée par effet Joule (E_{th}).

De l'équation [3] ci-dessus, on conclut qu'il existe une valeur $E_i(t)$ pour laquelle on est assuré que le rotor fera son pas, cette valeur dépendant de la combinaison d'une certaine tension U_0 aux bornes du moteur, d'un certain courant I circulant dans la bo-
 15 bine et ceci pendant un certain temps déterminé T_i . Soit E_{i0} cette valeur qui s'exprime alors par l'équation :

$$E_{i0} = \int_0^{T_i} U_0 I dt - \int_0^{T_i} RI^2 dt \quad [4]$$

Cette quantité d'énergie E_{i0} peut être déterminée pour chaque calibre de montre auquel on a affaire et elle jouera le rôle de
 20 seuil pour limiter la durée de l'impulsion motrice envoyée au moteur. En d'autres termes, lorsque l'énergie interne $E_i(t)$ fournie au moteur atteint la valeur de seuil E_{i0} on coupe l'énergie. On aura ainsi envoyé au moteur une énergie juste suffisante pour que son rotor franchisse le pas en évitant une surconsommation inutile.

25 Le procédé qui vient d'être indiqué est illustré par le graphique de la figure 1. On a porté en abscisse le temps d'intégration t en secondes et, en ordonnée, l'énergie $E_i(t)$ en microjoules ainsi qu'une valeur d'énergie E_{i0} pour laquelle on est assuré que le rotor franchira son pas. Quand la valeur $E_i(t)$ atteint la valeur de seuil
 30 E_{i0} , on coupe l'impulsion ce qui donne une durée T_i pour cette impulsion. La figure 1 montre aussi la variation de courant I dans la bobine du moteur. On a dessiné sur l'axe des temps une valeur $t = T_i \text{ max}$. Il peut arriver en effet, pour des cas de charge anor-

malement élevés, que l'énergie $E_i(t)$ ne puisse jamais atteindre le seuil E_{i0} . Il est alors préférable de limiter dans le temps la durée de l'impulsion de commande, durée qu'on choisira élevée, par exemple 10 ms.

5 Si l'on se réfère à nouveau à l'équation [4], on se rend compte que si la tension U_0 aux bornes du moteur diminue (vieillessement de la pile) il faudra intégrer sur un temps T_i plus long pour atteindre la valeur de seuil E_{i0} , ce qui correspond à un allongement de l'impulsion motrice. De même, on constate qu'une augmenta-
10 tion de la résistance interne R_i de la pile occasionne une baisse de U_0 et entraîne une augmentation de la durée d'impulsion T_i . Ainsi le procédé selon l'invention amène à un réglage continu de la longueur d'impulsion en fonction des variations de U_0 et en conséquence de R_i .

15 La figure 2 montre un exemple de simulation de la réaction de cet asservissement lors d'une variation de la tension aux bornes du moteur ou lors d'une variation de la résistance interne de la pile d'alimentation. Dans cet exemple, on a supposé que l'énergie minimum nécessaire E_{i0} à entraîner le rotor était de 1 μ J. On retrouve dans
20 ce graphique les mêmes coordonnées que celles adoptées pour la figure 1.

Les courbes de courant I et d'énergie E_i référencées en 1 présentent un état dans lequel le moteur se trouve alimenté par une tension U_0 valant 1,7 V (pile neuve). La longueur d'impulsion de
25 commande est courte, soit environ 4,8 ms. L'état référencé 2 est celui pour lequel la pile se trouve à un niveau de décharge pour lequel la tension U_0 vaut 1,5 V. La coïncidence de E_i et de E_{i0} n'intervient que lorsque la durée de l'impulsion atteint 6,2 ms. Enfin l'état 3 est relevé pour une tension $U_0 = 1,5$ V et pour une
30 valeur de résistance R_i qui a passé de 100 Ω qu'elle avait pour les états 1 et 2 à 500 Ω . A ce moment, l'impulsion de commande a une durée de 6,8 ms.

En conclusion de ce qui précède et selon la présente invention, on voit qu'on fournit au moteur une quantité d'énergie prédéterminée
35 d'où il résultera une adaptation automatique de la longueur d'impulsion de commande T_i à la tension U_0 et à la résistance R_i de la source d'alimentation.

On va indiquer maintenant un moyen pour mettre en oeuvre le procédé selon l'invention.

Il s'agit en fait de mesurer l'énergie interne $E_i(t)$ fournie au moteur, de comparer cette énergie interne à une quantité d'énergie prédéterminée E_{i0} pour laquelle on est assuré que le moteur fera son pas dans tous les cas de charges normales qui peuvent se présenter et de couper l'alimentation du moteur dès que $E_i(t) = E_{i0}$. La valeur de l'énergie interne $E_i(t)$ est connue de l'équation [3] d'où il résulte que :

$$E_i(t) = \int_0^t (U_0 - RI) I dt \quad [5]$$

On mesurera donc la valeur $U_0 - RI$ et la valeur du courant $I(t)$ circulant dans la bobine. On fera le produit de ces deux valeurs qu'on intégrera par rapport au temps t .

Le schéma bloc de la figure 3 permet de réaliser toutes les opérations mentionnées ci-dessus. Le bloc de commande proprement dit 4 reçoit à son entrée les impulsions de commande (timing) de durée $T_i \max$ et dont il s'agira de régler la largeur, la tension d'alimentation U_0 , la quantité d'énergie prédéterminée E_{i0} et l'énergie fournie au moteur $E_i(t)$. Cette commande 4 satisfait aux conditions de fonctionnement suivantes : couper l'impulsion si $E_i(t)$ devient plus grand que E_{i0} ou la maintenir jusqu'à une valeur préalablement définie $T_i \max$ au cas où $E_i(t)$ reste toujours inférieur à E_{i0} . Le circuit 5 est un bloc capteur qui permet de lire la valeur du courant $I(t)$ dans la bobine du moteur 8 et la valeur de la tension U_0 à ses bornes et de faire la différence $U_0 - RI$. Le circuit 6 est un multiplicateur qui réalise l'opération [5] citée ci-dessus. Enfin, le circuit 7 est un intégrateur qui intègre dans l'espace temps le produit $(U_0 - RI)I(t)$ d'où il résulte la valeur de l'énergie interne $E_i(t)$.

Le schéma bloc de la figure 3 est un schéma de principe permettant la réalisation des opérations nécessaires à mettre en oeuvre le procédé selon l'invention. En pratique, il existe plusieurs façons de le réaliser et le schéma de la figure 4 décrit un mode de réalisation possible qui va être expliqué maintenant.

Le moteur M est alimenté à ses bornes par la tension U_0 . Les

impulsions de polarité alternées sont acheminées au moteur par un pont de transistors 31, 32, 33 et 34. Lorsque les transistors 31 et 32 sont conducteurs, le courant circule dans le sens de la flèche 35 alors qu'il circule dans le sens de la flèche 36 lorsque ce sont les transistors 33 et 34 qui conduisent. Entre la ligne 37 et la masse est intercalé un amplificateur opérationnel 38 à la sortie 42 duquel apparaît une tension proportionnelle au produit de la résistance R de la bobine et du courant I circulant dans cette bobine. Un second amplificateur opérationnel 39 combine par l'intermédiaire de trois résistances r d'égales valeurs la tension U_0 et la tension $R \cdot I$ pour fournir à sa sortie 40 une tension $U_0 - RI$. Les tensions formées sur les lignes 40 et 42 sont envoyées respectivement aux entrées X et Y d'un multiplicateur 43 qui, à sa sortie 44, livre une tension U proportionnelle à $(U_0 - RI)I(t)$ à un facteur d'échelle près. Cette tension U attaque à son tour un circuit intégrateur composé de l'amplificateur opérationnel 45 auquel est appliqué un réseau formé par la résistance R_M et le condensateur C . On trouve alors à la sortie de l'intégrateur, sur la ligne 46, une tension proportionnelle à la valeur de l'énergie interne $E_i(t)$. Il faut noter aussi qu'un transistor 47 est connecté en parallèle sur le condensateur C , ce qui permet de court-circuiter ledit condensateur dès que l'impulsion de commande a cessé (remise à zéro de l'intégrateur). La commande du transistor 47 est donc liée par la ligne 48 au flanc descendant de l'impulsion de commande.

La figure 4 montre encore deux flip-flops du type D, 49 et 50 qui reçoivent chacun sur leur entrée d'horloge CP les impulsions de commande (timing) en provenant du diviseur de fréquence (non représenté) dont est équipée la montre. Ces flip-flops basculent sur le flanc montant de l'impulsion et attaquent par leurs sorties Q et $\bar{Q}$ deux portes NOR 51 et 52 et deux inverseurs 53 et 54 pour fournir finalement les signaux A , B , C et D qui commandent les transistors 31, 33, 34 et 32 respectivement. On trouve à la sortie Q du flip-flop 49 l'impulsion de commande 55 qui commence avec le flanc montant (timing) et qui se termine dès que l'entrée reset du même flip-flop est actionnée. Sur la sortie $\bar{Q}$ du même flip-flop, on trouvera la même impulsion 55 mais inversée. Le flip-flop 50, quant à lui, a pour but d'assurer la polarité alternée des impulsions de commande.

L'entrée reset du flip-flop 49 reçoit par la ligne 60 et via une porte OU 56 le signal issu d'un comparateur 57. Les entrées + et - de ce comparateur reçoivent respectivement les signaux $E_i(t)$ dont il a été question plus haut et E_{i0} qui est une quantité d'énergie prédéterminée fixée une fois pour toute et qui dépend du type de montre à régler. E_{i0} se présente pratiquement sous la forme d'une tension stabilisée. Au moment où $E_i(t) = E_{i0}$, et selon l'invention, le comparateur 57 fournit un signal 1 qui au travers de la porte OU 56 remet à zéro le flip-flop 49 et interrompt ainsi l'impulsion moteur 55 (flanc descendant T_i).

Il peut cependant se présenter des situations où $E_i(t)$ n'atteint jamais E_{i0} , par exemple lorsqu'un couple extraordinairement élevé est appliqué au moteur. Dans ce cas, on comprendra qu'il est nécessaire de limiter dans le temps la durée de l'impulsion motrice. Dans le schéma de la figure 4, les impulsions de commande (timing) apparaissant aux entrées CP des flip-flops 49 et 50 sont limitées dans leur durée à une longueur T_i max. S'il n'apparaît aucun signal à la sortie du comparateur 57, c'est le flanc descendant de l'impulsion de commande qui, au temps T_i max, provoquera, via l'inverseur 58 et la porte 56, un signal de remise à zéro du flip-flop 49, entraînant l'interruption de l'impulsion de commande à la sortie Q du même flip-flop.

Le circuit de la figure 4 est réalisé au moyen d'éléments logiques classiques en ce qui concerne les portes 51, 52, 53, 54, 56 et 58 et les flip-flops 49 et 50. Le multiplicateur 43 peut être du type AD 534 du fabricant Analog Devices. On pourra choisir comme amplificateurs opérationnels 38, 39 et 45 ceux portant la référence LF 355 N du fabricant National Semiconductor. Le comparateur 57 pourra être du type LM 311 du même fabricant National Semiconductor.

On fera remarquer pour terminer que le procédé qui vient d'être décrit ne réagit pas à la variation de charge qui peut se présenter sur l'arbre du moteur. Il est par conséquent nécessaire de choisir une valeur E_{i0} qui soit suffisamment élevée pour que le moteur soit capable de faire son pas en toute circonstance. Ainsi, si l'asservissement de la longueur d'impulsion à l'énergie interne du moteur présente les avantages qui ont été décrits ici, on comprendra cependant que cet asservissement ne suffira pas si le moteur rate son pas

en raison d'une forte surcharge passagère ou encore perd un pas à la suite d'un choc. Il peut donc être indiqué de combiner le système d'asservissement selon l'invention avec un système qui détecte les pas ratés et qui rattrape le retard accumulé comme cela est décrit
5 par exemple dans la demande de brevet EP 0 022 270.

REVENDEICATIONS

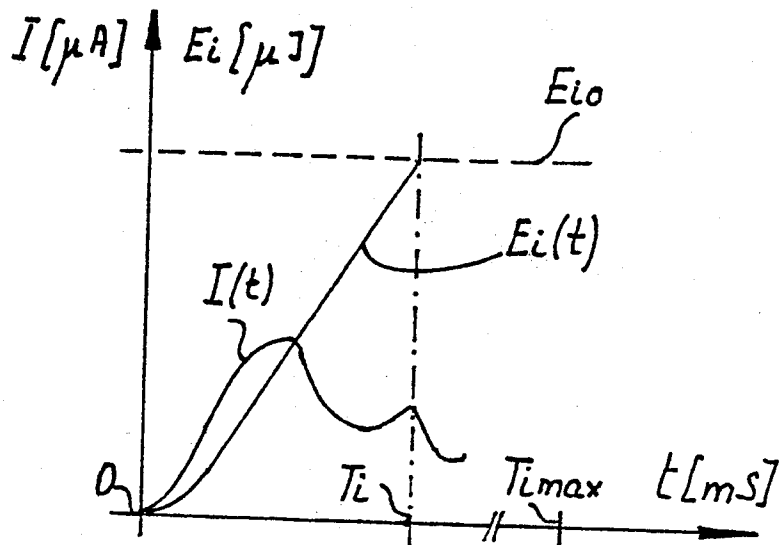
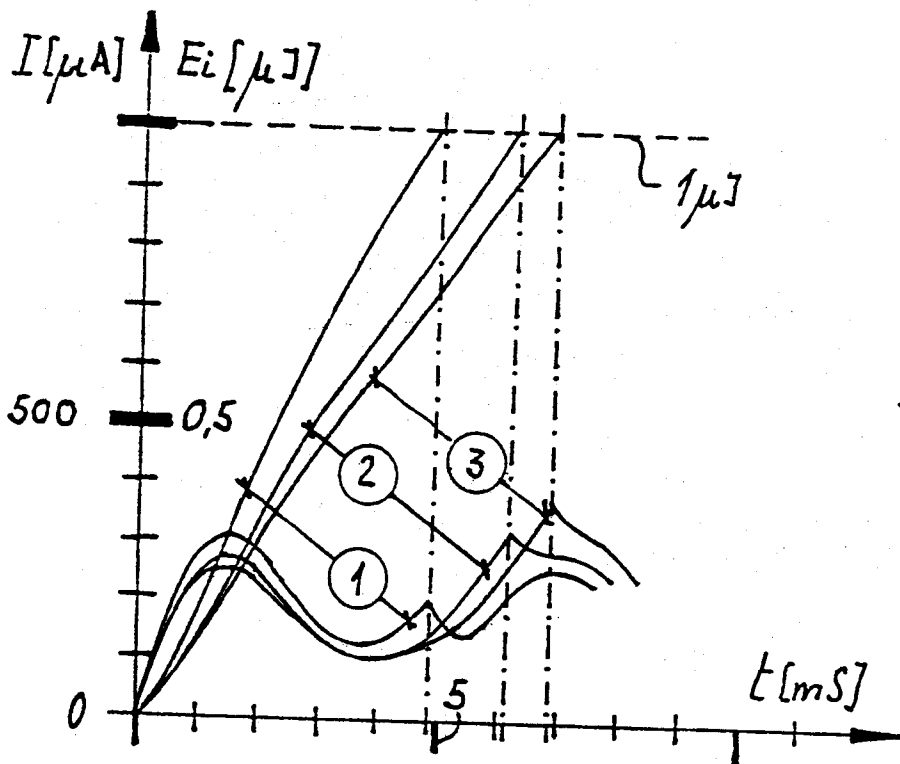
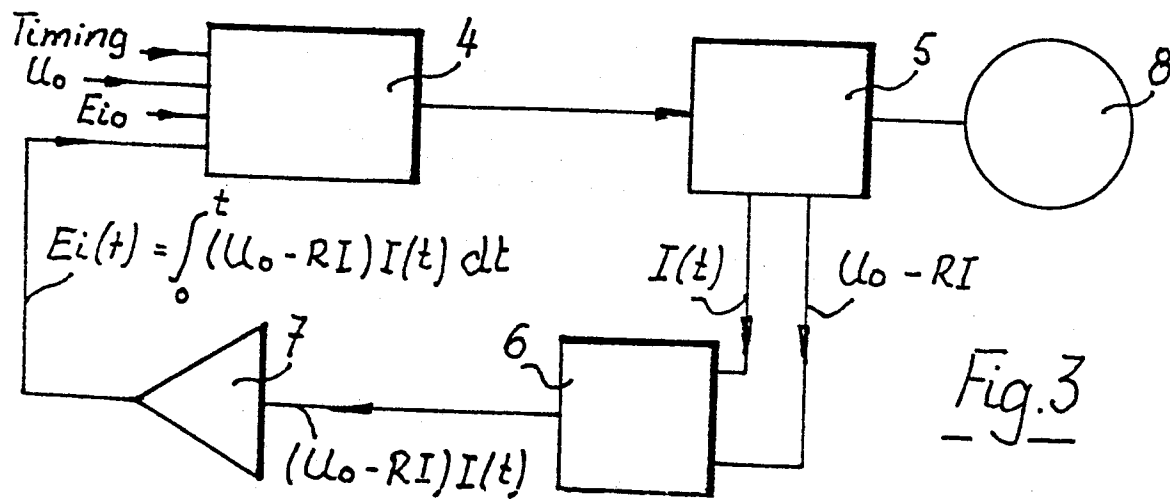
1. Procédé d'alimentation d'un moteur pas à pas, notamment pour pièce d'horlogerie, caractérisé par le fait qu'on fournit au moteur une quantité d'énergie prédéterminée E_{i0} d'où il résulte une adaptation automatique de la longueur d'impulsion de commande à la tension
5 U_0 et à la résistance R_i de la source d'alimentation.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'on vient en outre détecter les pas ratés par le moteur pour rattraper les retards accumulés.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait
10 qu'il comporte la succession des étapes suivantes :

- on détermine un seuil d'énergie E_{i0} à fournir au moteur pour lequel on est assuré qu'il franchira son pas dans tous les cas de charges normales qui peuvent se présenter,
- on mesure la tension U_0 aux bornes de la bobine du moteur
15 ainsi que le courant $I(t)$ qui circule dans ladite bobine,
- on forme la différence $U_0 - RI$, la valeur R représentant la résistance de la bobine,
- on forme le produit $(U_0 - RI)I(t)$,
- on intègre ledit produit par rapport au temps t , la valeur
20 de cette intégrale représentant l'énergie $E_i(t)$ fournie au moteur,
- on compare la valeur mesurée $E_i(t)$ à la valeur prédéterminée E_{i0} , et
- on coupe l'alimentation dès que $E_i(t) = E_{i0}$.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé par le fait
25 qu'on intègre le produit $(U_0 - RI)I(t)$ entre deux limites temporelles, une première pour laquelle $t = 0$ correspondant à l'enclenchement de l'impulsion motrice et une seconde pour laquelle $t = T_i \text{ max}$, $T_i \text{ max}$ représentant la longueur maximale de l'impulsion motrice dans le cas où l'énergie $E_i(t)$ fournie au moteur n'était pas suffisante
30 pour atteindre l'énergie prédéterminée.

Fig.1Fig.2Fig.3

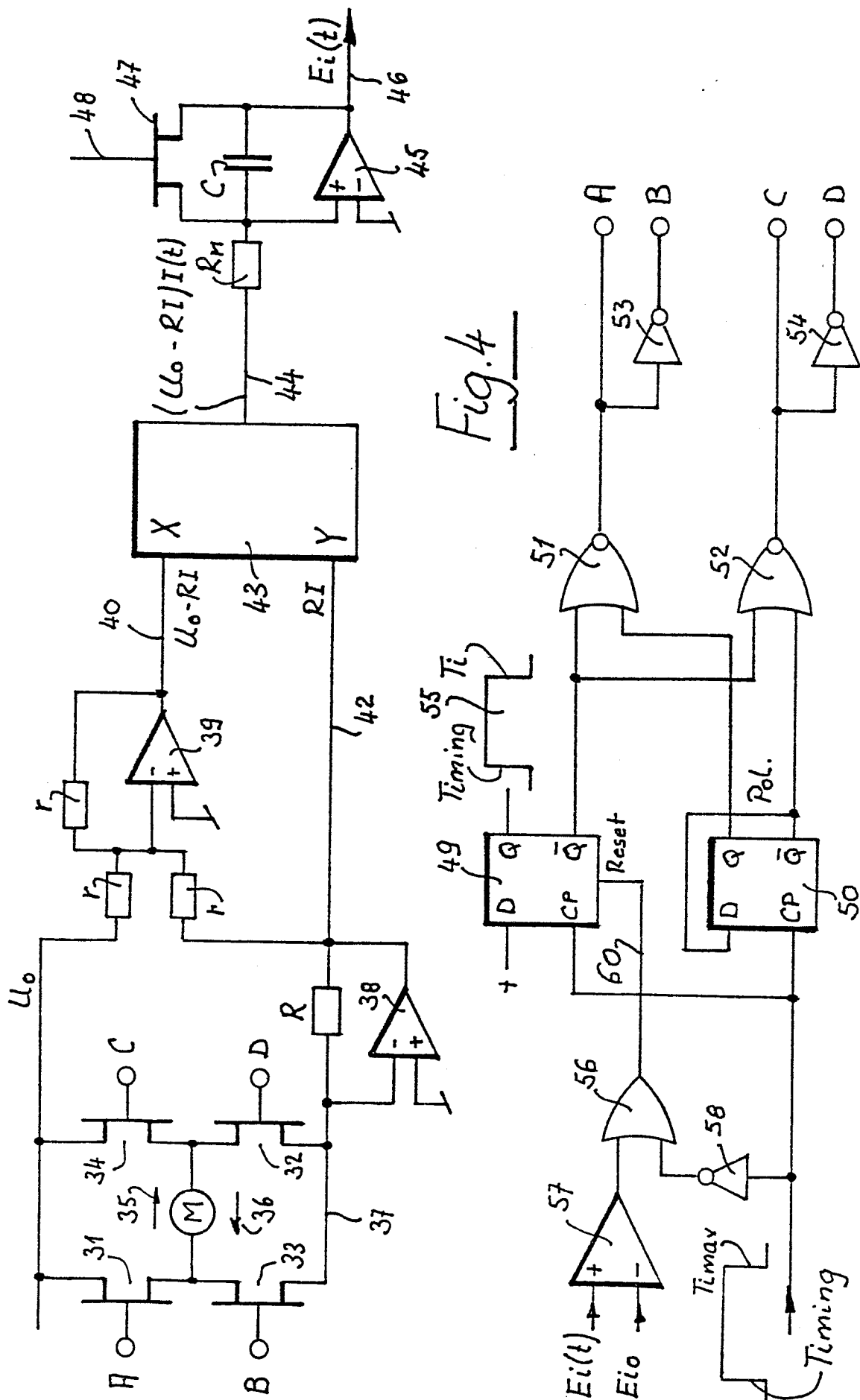


Fig.4



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 4)
X	EP-A-0 057 663 (J.-C. BERNEY S.A.) * Page 1, ligne 20 - page 4, ligne 9; page 25, ligne 25 - page 26, ligne 13 *	1-4	G 04 C 3/14
A	EP-A-0 077 293 (ASULAB S.A.) * Page 3, ligne 7 - page 4, ligne 3 *	1	
A	EP-A-0 060 806 (ASULAB S.A.) * Page 2, ligne 3 - page 5, ligne 2 *	1,2	
A	BULLETIN ANNUEL DE LA SOCIETE SUISSE DE CHRONOMETRIE, vol. 10, 1981, pages 185-188, Neuchatel, CH; J.-C. BERNEY: "Méthode particulière d'alimentation d'un moteur pas-à-pas de type Lavet" * En entier *	1,2	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 4)
			G 04 C H 02 P
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 20-12-1984	Examineur EXELMANS U.G.J.R.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	