

12

# DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: 82102626.7

51 Int. Cl.<sup>3</sup>: **G 04 C 3/14**

22 Date de dépôt: 29.03.82

30 Priorité: 31.03.81 CH 2165/81

71 Demandeur: **OMEGA Louis Brandt & Frère S.A.**, Rue Stämpfli 96, CH-2500 Bienne (CH)

43 Date de publication de la demande: 13.10.82  
Bulletin 82/41

72 Inventeur: **Tu Xuan, Mai**, Rue Blancherie 18, CH-1022 Chavannes (CH)  
 Inventeur: **Grosjean, Michel**, Chemin des Narcisses 1, CH-2504 Bienne (CH)

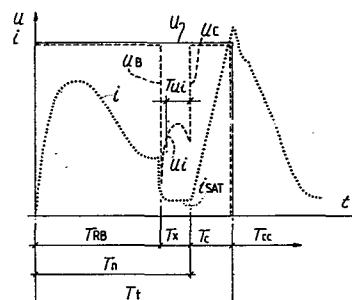
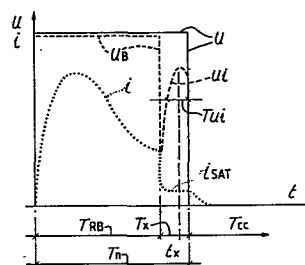
84 Etats contractants désignés: **DE FR GB IT**

74 Mandataire: **de Raemy, Jacques et al, SSIH Management Services S.A. Service des Brevets** Rue Stämpfli 96, CH-2500 Bienne (CH)

54 Procédé pour asservir un moteur pas à pas et dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé.

57 Le procédé pour asservir le moteur pas à pas propose plusieurs niveaux de largeur d'impulsions de commande  $U$  pour adapter le couple fourni par le moteur aux contraintes qui lui sont imposées. Le procédé consiste à mesurer la tension induite  $U_i$  dans un intervalle  $T_{ui}$  situé immédiatement avant la fin de l'impulsion de commande  $U$  si la durée de ladite impulsion ne dépasse pas une durée prédéterminée  $T_n$  (fig. 8) ou dans une fenêtre  $T_x$  ouverte dans l'impulsion de commande  $U$  si ladite impulsion dépasse ladite durée  $T_n$  (fig. 11).

Le procédé trouve son application pour asservir des moteurs pas à pas dont le stator présente des entrefers ou des zones saturables.



Procédé pour asservir un moteur pas à pas et dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé

La présente invention est relative à un procédé pour asservir un moteur pas à pas monophasé alimenté par un train d'impulsions bipolaires à la charge présentée par le mécanisme d'une pièce d'horlogerie. Elle propose diverses améliorations au système d'asservissement  
5 qui a été décrit dans la demande de brevet EP 0 022 270.

Dans la demande citée, il est exposé un dispositif d'alimentation permettant de détecter la position du rotor d'un moteur pas à pas par rapport à la polarité des impulsions motrices et d'envoyer audit moteur un train d'impulsions de longue durée si cette polarité  
10 est jugée incorrecte. En d'autres termes, si le rotor ne progresse pas d'un pas après que lui ait été envoyée une impulsion motrice de polarité correcte, il recevra un laps de temps prédéterminé plus tard (une seconde par exemple) une nouvelle impulsion de polarité incorrecte et c'est à partir de ce moment-là que le système entre en fonc-  
15 tion, la correction ou le rattrapage s'opérant en envoyant au moteur deux impulsions rapprochées de longue durée suivies d'un train d'impulsions de grande largeur. Aucun des documents cités comme antériorités dans la demande en question ne décrit une telle disposition.

On s'est rendu compte cependant que le détecteur exposé dans  
20 cette demande présente plusieurs inconvénients qui vont être passés en revue maintenant.

D'abord, le système proposé dans la demande citée n'envisage que deux types d'impulsions : des impulsions étroites quand le couple exercé sur le moteur est faible et des impulsions larges quand ce  
25 couple a augmenté au-delà d'une certaine limite. Dans la pratique, on constate cependant que ce couple peut prendre des valeurs très diverses dues, par exemple, à l'un des événements suivants ou la combinaison de certains de ces événements : changement du calendrier, frottement dans les paliers et leur usure, vieillissement des huiles, baisse de la température, influence d'un champ magnétique extérieur,  
30 chocs linéaires ou angulaires, tolérances de fabrication, etc.. Dans la demande citée, avec un choix limité à deux largeurs d'impulsions seulement, il faudra ou bien choisir un premier type d'impulsions à durée très faible avec le risque de voir l'asservissement fonctionner  
35 très souvent lorsque survient le moindre des événements cités ou bien

choisir un premier type d'impulsions à durée plus grande pour ne faire intervenir l'asservissement qu'occasionnellement lorsque survient un couple important, celui du changement de calendrier par exemple. Quelle que soit la solution choisie, on comprendra que le système  
5 proposé, bien que consommant moins d'énergie qu'un système sans asservissement, n'est pas apte à réagir finement, c'est-à-dire à adapter la consommation de courant à la charge réelle qui se présente sur le moteur de la montre.

Ensuite, si le système de la demande citée est bien adapté à un  
10 moteur pas à pas dont les pôles du stator sont séparés par un entrefer, il l'est beaucoup moins à un moteur dit à zones saturables dont les pôles se rejoignent par des isthmes de faible largeur. La figure 1 du présent exposé montre schématiquement un moteur dont les pôles du stator sont séparés par des entrefers 1. Dans ce cas, tout le flux  
15  $\Phi_{ab}$  issu du rotor aimanté 2 traverse le noyau de la bobine 3 pour produire aux bornes de cette bobine une tension induite  $U_i$  lorsque le rotor est en mouvement. Dans la demande EP 0 022 270, il est prévu de mesurer la tension induite  $U_i$  immédiatement après la fin de l'impulsion motrice, la bobine étant mise en circuit ouvert. Si le moteur à  
20 entrefers reçoit une impulsion de polarité correcte, la tension  $U_i$  recueillie aux bornes de sa bobine sera d'une amplitude suffisamment élevée pour décider qu'on doit continuer à l'alimenter avec des impulsions de faible largeur. Il en va autrement si l'on applique le système décrit dans la demande citée à un moteur à zones saturables.  
25 La figure 2 montre schématiquement un tel moteur où les pôles du stator sont réunis par des isthmes 4. Dans ce cas, on voit que le flux créé par l'aimant se partage en un flux  $\Phi_f$  passant par les isthmes et en un flux  $\Phi_{ab}$  passant par le noyau de la bobine. Il ressort de ceci que si l'on applique le système de la demande citée (c'est-à-  
30 dire qu'on mesure la tension  $U_i$  aux bornes d'une bobine mise à circuit ouvert) à un moteur à zones saturables, on recueillera une tension induite de faible amplitude, ce qui n'est évidemment pas favorable au bon fonctionnement de l'électronique de commande.

Enfin, puisque la demande citée n'envisage une détection de ten-  
35 sion induite qu'après les seules impulsions de faible largeur où on peut détecter une tension d'amplitude confortable, on ne sait rien du procédé qu'il faudrait mettre en oeuvre si l'on voulait détecter une

tension encore suffisante produite après une impulsion de plus longue durée, tant il est vrai, comme cela apparaîtra par la suite, que la tension induite diminue rapidement lorsque l'impulsion de commande s'allonge.

5 C'est le but de la présente invention de remédier aux inconvénients qui viennent d'être cités en proposant un procédé et un dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé qui apparaissent dans les revendications.

10 L'invention sera mieux comprise maintenant à la lumière de la description qui suit et pour l'intelligence de laquelle on se référera, à titre d'exemple, au dessin dans lequel :

La figure 1 est une représentation schématique d'un moteur connu dont les pôles du stator sont séparés par des entrefers.

15 La figure 2 est une représentation schématique d'un moteur connu dont les pôles du stator sont séparés par des isthmes.

La figure 3 est un diagramme représentant les diverses impulsions appliquées au moteur selon une première variante de l'invention.

20 La figure 4 est un diagramme représentant les diverses impulsions appliquées au moteur selon une seconde variante de l'invention.

La figure 5 est un graphique représentant les couples mutuel et de positionnement du moteur en fonction de la position  $\alpha$  de son rotor.

La figure 6 est un diagramme montrant comment est alimenté le moteur par des impulsions de sécurité selon l'invention.

25 La figure 7 montre le dispositif permettant de mettre en oeuvre le procédé selon l'invention.

La figure 8 est un graphique qui représente les diverses tensions que l'on trouve aux bornes de la bobine du moteur de même que le courant qui la traverse.

30 La figure 9 est une représentation schématique d'un moteur dont les pôles du stator sont séparés par des isthmes auquel est appliqué le dispositif selon l'invention.

La figure 10 est un graphique qui montre comment évolue l'amplitude de la tension induite quand l'impulsion motrice s'allonge.

35 La figure 11 est un graphique qui montre comment on procède pour mesurer la tension induite quand l'impulsion de commande dépasse une durée déterminée.

La figure 12 est un diagramme illustrant les diverses durées d'impulsion qui se présentent dans l'alimentation du moteur selon l'invention.

On se reportera d'abord au diagramme de la figure 3 pour com-  
5 prendre comment on procède pour asservir le moteur pas à pas selon une première variante de l'invention. Les impulsions référencées  $n - 2$  à  $n + 4$  sont les impulsions de commande que reçoit la bobine du mo-  
teur. Le début de chacune d'elles est séparé par un laps de temps constant, par exemple une seconde, ce qui fait progresser l'aiguille  
10 des secondes de la montre par pas de une seconde. Ce signal d'horloge provient de la sortie d'une chaîne de diviseurs de fréquence alimentée elle-même par un oscillateur formant base de temps selon une disposition désormais bien connue.

Dans les conditions de marche optimum, c'est-à-dire lorsque les  
15 événements contraignants dont il a été parlé plus haut ne se présentent pas, le moteur travaille pratiquement à vide et une impulsion de très faible largeur  $T_1$ , telle celle représentée en  $n - 2$  sur le diagramme, suffit à faire avancer normalement l'aiguille des secondes. On va supposer maintenant qu'après l'impulsion  $n - 2$ , à laquelle le  
20 moteur a encore répondu, le couple mécanique augmente subitement dû au concours conjugué de plusieurs événements contraignants. Le rotor ne réagira donc pas à l'impulsion  $n - 1$  et, lors de l'arrivée de la prochaine impulsion  $n$ , il ne réagira pas non plus puisque pour le faire progresser il lui faudrait recevoir à ce moment-là une impul-  
25 sion de signe négatif. Ainsi, le rotor a perdu deux pas qu'il s'agit de rattraper. Selon l'idée déjà exprimée dans la demande EP 0 022 270, on envoie au moteur pour rattraper ce retard deux impulsions de rattrapage de grande largeur  $T_a$  un court laps de temps après la fin de l'impulsion  $n$ . Comme on le voit sur la figure 3, la première impul-  
30 sion de rattrapage se présente dans le même sens que l'impulsion  $n - 1$  et la seconde dans le sens opposé de telle sorte que les impulsions de grande largeur  $T_a$  se substituent en quelque sorte aux impulsions de commande  $n - 1$  et  $n$  de largeur  $T_1$  qui n'ont pas été à même de faire progresser le rotor du moteur. La durée  $T_a$  est choisie naturelle-  
35 ment assez longue pour provoquer à coup sûr la progression du rotor dans les conditions de charge les plus défavorables. Le graphique de la figure 3 exagère cependant cette durée  $T_a$  par rapport à la durée

$T_1$  dans le but de bien faire ressortir le fonctionnement du système. L'invention présente l'originalité, par rapport à l'invention revendiquée dans la demande déjà citée, de ne pas poursuivre avec un train d'impulsions fixes de grande largeur sitôt après les impulsions de rattrapage, mais d'allonger quelque peu l'impulsion de commande de durée  $T_1$  en durée  $T_2$  et d'essayer si cette nouvelle impulsion pourrait être de durée suffisamment longue pour faire tourner le rotor. Si tel n'est pas le cas, on fait suivre les nouvelles impulsions  $n+1$  et  $n+2$  de durée  $T_2$  par deux nouvelles impulsions de rattrapage de durée  $T_a$  comme cela est illustré en figure 3. A leur tour, les impulsions de rattrapage sont suivies par de nouvelles impulsions de commande  $n+3$ ,  $n+4$  de durée  $T_3$  légèrement supérieure à la durée  $T_2$ . Si elles sont capables de mettre le moteur en rotation, on poursuit avec les impulsions de durée  $T_3$ , sinon on envoie les impulsions de rattrapage pour procéder ensuite avec des impulsions de largeur  $T_4$  ou  $T_3 < T_4$  et ainsi de suite.

Ainsi, le procédé qui vient d'être décrit montre qu'on adapte la durée des impulsions de commande à la charge imposée au moteur par niveaux successifs montants lorsque la charge augmente. Le procédé permet donc d'économiser de l'énergie et ceci dans des proportions encore plus importantes que si l'on n'avait à disposition que deux types d'impulsions seulement, comme cela était prévu dans la demande citée. Dans une réalisation particulière, on a choisi six impulsions différentes dont les durées motrices s'étendent de 3 à 9 ms par niveaux successifs montants de 0,5 ms pour les trois premières, de 1,5 ms pour les quatrième et cinquième et de 2 ms pour la sixième. Dans cette même réalisation, la durée de l'impulsion de rattrapage a été choisie à 8 ms. Ceci apparaîtra plus en détail lorsqu'on expliquera le diagramme représenté en figure 12.

On va supposer maintenant que, pour des impulsions  $n+3$ ,  $n+4$ , etc., de durée  $T_3$ , le moteur progresse normalement sans détection d'absence de pas. On peut penser qu'au bout d'une période prédéterminée les événements contraignants qui avaient fait passer la durée des impulsions de  $T_1$  à  $T_3$  ont cessé. On va donc faire descendre la durée des impulsions de commande de  $T_3$  à  $T_2$ . Si le résultat est satisfaisant pendant une même période prédéterminée, on pourra encore baisser d'un niveau et passer de la durée  $T_2$  à la durée  $T_1$ . Ladite période

prédéterminée sera choisie à la suite d'observations qui auront été conduites sur la marche de la pièce d'horlogerie en fonction des diverses circonstances qui peuvent se présenter. Elle a été choisie dans la réalisation particulière dont il a été question plus haut à  
5 512 secondes. En résumé, on adapte la durée des impulsions de commande à la charge imposée au moteur par niveaux successifs descendants lorsque la charge diminue.

La figure 4 présente une seconde variante du procédé selon l'invention où, après l'envoi de deux impulsions de rattrapage, on ali-  
10 mente encore le moteur par une paire d'impulsions de même durée que celle qui existait avant la correction. Dans la figure, les impulsions de commande  $n + 1$  et  $n + 2$  ont la même durée  $T_1$  que celle des impulsions  $n - 1$  et  $n$ . On peut penser en effet qu'en certaines cir-  
15 constances les événements contraignants ont un caractère fugitif tel qu'ils disparaissent très rapidement. Une tentative de réalimenter le moteur une seconde fois par des impulsions dont la durée n'a pas fait progresser son rotor une première fois peut être fructueuse car, si la tentative aboutit, on aura évité une augmentation de consommation due à un élargissement inutile des impulsions de commande. Si la tentati-  
20 ve n'aboutit pas, on alimente le moteur avec des impulsions de durée plus longue  $T_2$  après lui avoir envoyé les deux impulsions de rattrapage.

Cette seconde variante n'est pas limitée à l'envoi renouvelé d'une seule paire d'impulsions de même durée  $T_1$  et on comprendra que  
25 des moyens peuvent être mis en oeuvre pour continuer à alimenter le moteur avec les impulsions  $T_1$  tant qu'un nombre donné d'impulsions de rattrapage n'aura pas été compté dans un intervalle prédéterminé. Ainsi, par exemple, on peut décider que si le rotor a manqué quatre fois son pas pendant 60 secondes, ces pas manqués ayant été suivis  
30 par quatre impulsions de rattrapage, on alimente alors le moteur par des impulsions de durée  $T_2$ .

Puisque dans le procédé décrit, on fait en sorte que la durée des impulsions de commande soit juste suffisante pour entraîner le mécanisme, on s'est rendu compte que dans certains cas, assez rares  
35 il est vrai, le rotor, après avoir démarré normalement à la suite d'une impulsion de polarité correcte, s'arrête après avoir parcouru un demi-pas seulement.

La figure 5 montre l'évolution du couple de positionnement  $C_a$  et du couple mutuel  $C_{ab}$  tels qu'on les trouve dans un moteur pas à pas. Les positions angulaires  $S'_2$ ,  $S_1$  et  $S_2$  sont les positions d'équilibre stable du rotor et les positions  $I'_1$  et  $I_1$  sont les positions d'équilibre instable de ce rotor. Normalement si le rotor franchit son pas en réponse à une impulsion positive, il passe de la position  $S_1$  à la position  $S_2$ . Dans le cas particulier qui vient d'être évoqué, il se peut donc que le rotor s'arrête en position  $I_1$  qui ne représente qu'une course d'un demi-pas. Bien que cette position soit instable, 5 il est possible que le rotor s'y maintienne par les frottements qui agissent sur lui. Si avant que ne survienne la prochaine impulsion de commande une perturbation quelconque est appliquée à la montre, le rotor soit reculera en position  $S_1$ , soit avancera en position  $S_2$ . Dans le premier cas, la nouvelle impulsion de commande présentera 10 une polarité incorrecte et les impulsions de rattrapage  $T_a$  feront rattraper les deux pas perdus. Dans le second cas, le rotor aura rattrapé lui-même le pas perdu et aucune impulsion de rattrapage ne lui sera envoyée. La situation se présente différemment si le rotor reste fixé sur la position  $I_1$  quand survient la prochaine impulsion. En effet, cette prochaine impulsion négative développe le couple mutuel 15  $-C_{ab}$  qui se trouve être dans le même sens que le couple négatif de positionnement  $-C_a$ . Si le couple  $-C_{ab}$  est très élevé, il est possible alors que, conjugué au couple  $-C_a$ , il développe assez d'énergie pour déplacer le rotor de la position  $I_1$  à la position  $S'_2$  sans s'arrêter 20 à la position  $S_1$ , ce déplacement s'opérant sans qu'il y ait eu détection de polarité incorrecte. Le rotor se fixe de façon stable en position  $S'_2$ . A partir de ce moment-là, la prochaine impulsion, dirigée dans le sens positif, développera le couple mutuel  $C_{ab}$  dessiné en traits interrompus et le rotor progressera normalement. On tire de ce 25 raisonnement que le rotor a perdu définitivement deux pas qu'il ne sera pas possible de rattraper. 30

La figure 6 montre un arrangement qui palie l'inconvénient cité en proposant selon l'invention d'envoyer à la bobine du moteur un laps de temps prédéterminé après la fin de l'impulsion de commande de durée  $T_t$ , une impulsion de sécurité de durée  $T_s$ . Si l'on se reporte de 35 nouveau à la figure 5, on comprendra que, si le rotor est bloqué en position  $I_1$ , il suffira d'une impulsion de durée très courte pour le

faire parvenir soit en  $S_1$  soit en  $S_2$ . Une impulsion de sécurité négative le ramènera en  $S_1$  et la prochaine impulsion de commande normale se présentera comme incorrecte, ce qui déclenchera les deux impulsions de rattrapage comme cela a été expliqué plus haut. Une impulsion de sécurité positive amènera le rotor en  $S_2$ ; dans ce cas, la prochaine impulsion de commande se présentera comme correcte et aucun rattrapage n'aura lieu. Dans la pratique, on préférera une impulsion de sécurité négative car il faut moins d'énergie pour amener le rotor de la position  $I_1$  à la position  $S_1$  que de la position  $I_1$  à la position  $S_2$ . Dans un exemple de réalisation de l'invention, on choisit pour  $T_s$  une durée comprise entre 0,2 et 0,5 ms et pour le laps de temps séparant la fin de l'impulsion de commande de l'impulsion de sécurité une durée de l'ordre de 50 ms.

On vient d'expliquer comment les diverses impulsions de commande sont arrangées les unes par rapport aux autres, comment leurs durées s'adaptent à la charge présentée par le mécanisme et comment il convient de rattraper les pas perdus. Ceci présuppose naturellement qu'on dispose de moyens pour détecter les pas qui n'ont pas été franchis. Dans la demande EP 0 022 270, on base cette détection sur la polarité de l'impulsion de commande par rapport à la position du rotor et, si le moteur est du type à entrefer, on mesure la tension induite  $U_i$  recueillie aux bornes de la bobine, cette dernière étant mise en circuit ouvert. Si le moteur reçoit une impulsion dirigée dans le bon sens, on mesure une tension induite  $U_i$  de grande amplitude alors que cette tension est nulle, voire négative si l'impulsion est dirigée dans le mauvais sens. On a exposé dans le préambule l'inconvénient qu'il y avait à mesurer cette tension à circuit ouvert pour un moteur qui présente des zones saturables puisque l'amplitude de ladite tension est relativement faible.

La figure 7 montre le dispositif mis en oeuvre pour obtenir une tension  $U_i$  très confortable même si le moteur est du type à zones saturables. Le schéma présenté ne se distingue de l'état de la technique que par l'adjonction d'une résistance 40 branchée en série avec la bobine 15 du moteur, résistance qui peut être court-circuitée lorsqu'on ferme l'interrupteur 35. Dans ce schéma, on trouve entre les bornes référencées 41 et 42 des impulsions de commande alternées d'amplitude  $U$  en provenance de la source d'alimentation continue  $U_p$  livrée

par la pile lorsque les interrupteurs 31-32, respectivement 33-34 sont fermés. Si l'on définit par  $T_{RB}$  la durée pendant laquelle la seule bobine 15 est branchée aux bornes 41 et 42, par  $T_x$  la durée pendant laquelle l'ensemble bobine 15 - résistance 40 est branché auxdites bornes et par  $T_{CC}$  la durée pendant laquelle la bobine 15 est mise en court-circuit, la séquence de commande des interrupteurs s'établit selon le tableau ci-après pour une impulsion positive :

Période	Interrupteurs				
	31	32	33	34	35
$T_{RB}$	fermé	fermé	ouvert	ouvert	fermé
$T_x$	fermé	fermé	ouvert	ouvert	ouvert
$T_{CC}$	fermé	ouvert	fermé	ouvert	fermé

Dans les techniques actuelles, se sont des transistors qui jouent le rôle des interrupteurs. Ils reçoivent leurs signaux d'un circuit de mise en forme classique.

On se reportera maintenant à la figure 8 pour comprendre le rôle joué par la résistance additionnelle 40. Dans ce graphique, on a représenté en trait plein l'impulsion de commande  $U$  qu'on trouve aux bornes 41 et 42 (voir figure 7). Cette impulsion de commande est présente tant que les interrupteurs 31 et 32 sont fermés, c'est-à-dire pendant la période  $T_{RB}$  et la période  $T_x$  (voir tableau ci-dessus). On désigne la durée de cette impulsion par  $T_n$ . Pendant la période  $T_{RB}$ , la résistance 40 est court-circuitée et la bobine 15 reçoit une tension  $U_B$ , représentée en traits interrompus, identique à la tension  $U$  si l'on fait abstraction de la faible chute de tension qui existe aux bornes de l'interrupteur 35. Cette tension  $U_B$  est aussi à peu de chose près celle que l'on trouve aux bornes de la pile ( $U_p$ ).  $U_B$  est la tension motrice seule utile à entraîner le rotor. Pendant la période  $T_x$ , la résistance 40 est branchée en série avec la bobine 15, l'interrupteur 35 est ouvert. C'est la période de mesure destinée à prélever aux bornes de la bobine la tension induite  $U_i$  développée par le moteur.

La figure 9 représente le comportement du moteur pendant la période de mesure  $T_x$ . On s'y référerà en même temps qu'aux figures 7 et 8. On l'a déjà dit, dès le début de la période  $T_x$ , la tension de commande  $U$  est appliquée aux bornes 41 et 42 du circuit qui comprend la bobine 3 et la résistance 40 connectées en série. On choisit la valeur de la résistance 40 de manière à engendrer dans la bobine 3 un courant  $I_{SAT}$  qui, à son tour, va produire un flux  $\Phi_b$  suffisant pour saturer les isthmes 4 du stator. Dès l'instant où ces isthmes sont saturés, la quasi totalité du flux  $\Phi_{ab}$  créé par l'aimant passe par le noyau de la bobine 3. Le flux  $\Phi_{ab}$  produit aux bornes de la bobine une tension induite

$$U_i = N_b \cdot \frac{d\Phi_{ab}}{dt}$$

où  $N_b$  représente le nombre de spires de la bobine. On se retrouve ainsi dans des conditions semblables à celles qui ont été décrites dans la demande EP 0 022 270 dans laquelle à une tension  $U_i$  importante correspond l'application d'une impulsion de polarité correcte au moteur. Cette situation est illustrée sur la figure 8 qui montre qu'à un moment prédéterminé  $t_x$  de la période  $T_x$ , la tension  $U_i$ , représentée en traits interrompus, est de grande amplitude en suite de quoi on continuera à alimenter le moteur avec les mêmes impulsions de commande de largeur  $T_n$ . En pratique, on mesurera la tension induite  $U_i$  dans un intervalle  $T_{U_i}$  compris dans la période  $T_x$ , intervalle qui peut embrasser, par exemple, les deux derniers tiers de la période  $T_x$ . La figure 8 montre aussi que le courant  $I_{SAT}$  pendant la période de mesure  $T_x$  est de faible amplitude bien que suffisante cependant pour saturer les isthmes. Cet artifice qui consiste à brancher une résistance en série avec la bobine du moteur ne consomme donc qu'une énergie négligeable puisque le courant nécessaire est très faible et que la durée pendant laquelle ce courant est développé est réduite à une faible fraction de la durée totale de l'impulsion de commande. Enfin, pendant le temps qui sépare la fin de l'impulsion de commande et l'arrivée d'une nouvelle impulsion, la bobine est court-circuitée, comme c'est l'usage habituellement pour amortir le mouvement du rotor.

Comme on le verra plus loin, la méthode qui vient d'être décrite ne convient que pour des impulsions de commande dont la durée  $T_n$  est

relativement courte. Ceci étant, on peut résumer ce qui vient d'être dit en affirmant que, pour des impulsions de commande dont la largeur est égale ou inférieure à la durée  $T_n$ , on branche une résistance en série avec la bobine du moteur pendant une période  $T_x$  située immédiatement avant la fin de l'impulsion de commande  $U$  et qu'on mesure durant ladite période  $T_x$  pendant un intervalle prédéterminé  $T_{U_i}$  la tension induite aux bornes de la bobine du moteur.

Pour donner un exemple pratique, on choisit pour la période  $T_{RB}$  la plus courte une durée de 3 ms et pour la période  $T_x$  une durée de 1 ms tandis que la valeur de la résistance 40 est de 15 k $\Omega$  pour une résistance de la bobine de 3 k $\Omega$ .

Si le procédé qui vient d'être décrit a spécialement été développé pour un moteur à zones saturables, il pourrait aussi être appliqué à un moteur à entrefers bien que cela pourrait être ressenti comme un luxe inutile puisqu'il suffit, comme on l'a dit, de mesurer pour ce dernier type de moteur la tension  $U_i$  immédiatement après la fin de l'impulsion  $U_B$ , la bobine étant disposée à circuit ouvert. Cependant l'universalité du procédé permettrait d'utiliser le même circuit électronique de commande pour les deux types de moteur, ce qui irait dans le sens d'une simplification et d'une diminution de prix de revient.

On vient d'expliquer comment on mesure la tension induite  $U_i$  aux bornes de la bobine du moteur en saturant préalablement ses isthmes si l'on a affaire à un moteur à zones saturables. On a rappelé également l'enseignement de la demande EP 0 022 270 où cette tension induite est mesurée immédiatement après l'impulsion motrice, la bobine étant disposée à circuit ouvert. On a expliqué dans la demande citée que la tension  $U_i$  est égale à

$$U_i = \Omega \cdot \frac{C_{ab}}{i}$$

où  $\Omega$  est la vitesse angulaire du rotor et  $C_{ab}/i$  est le facteur de couplage. Si l'on se reporte encore une fois à la figure 5, on se rend compte qu'au-delà d'une certaine position angulaire correspondant à une durée d'impulsion limite la tension  $U_i$  se situera au-dessous d'une valeur exploitable puisque le facteur de couplage  $C_{ab}/i$  diminue. Or, comme il est nécessaire d'augmenter la durée des impulsions de commande si l'on désire augmenter le couple mécanique que

pourra fournir le moteur, il arrivera bien un moment où la durée de l'impulsion de commande sera trop longue pour que la bobine puisse fournir une tension de détection qui soit encore exploitable.

La figure 10 illustre le phénomène qui vient d'être expliqué et  
5 montre comment diminue l'amplitude de la tension  $U_i$  lorsque l'impul-  
sion  $U_B$  s'allonge. On constate qu'aux impulsions motrices de durée  
croissante  $U_{B1}$ ,  $U_{B2}$  et  $U_{B3}$  correspondent respectivement les tensions  
induites  $U_{i1}$ ,  $U_{i2}$  et  $U_{i3}$ , le maximum desdites tensions se situant sur  
une enveloppe dont l'allure est représentative du facteur de couplage  
10  $C_{ab/i}$ , à la vitesse près. Pour l'impulsion  $U_{B4}$ , la figure montre  
qu'aucune tension induite n'est détectée. Si l'on admet que la ten-  
sion induite  $U_{i3}$  suivant l'impulsion  $U_{B3}$  est déjà impropre à faire  
fonctionner correctement le circuit de réglage puisqu'elle présente  
une faible amplitude, il faudra avoir recours à un artifice qui per-  
15 mette une détection sûre pour toutes les impulsions de commande dont  
la largeur dépasse la durée limite  $T_n$ .

La figure 11 montre comment on procède selon l'invention pour  
palier l'inconvénient cité. Dans ce graphique, l'impulsion de comman-  
de  $U$  est composée de deux impulsions motrices  $U_B$  et  $U_C$  séparées par  
20 une période  $T_x$  pendant laquelle on mesure la tension induite selon le  
procédé qui a été expliqué plus haut. Ainsi, si la largeur  $T_t$  de l'im-  
pulsion de commande  $U$  est supérieure à la durée  $T_n$  à partir de la-  
quelle l'amplitude de la tension induite  $U_i$  serait insuffisante ou  
nulle, on mesure ladite tension induite  $U_i$  pendant un intervalle  $T_{U_i}$   
25 compris dans la période  $T_x$  précédant immédiatement la fin de la pé-  
riode  $T_n$ . En d'autres termes, si la durée  $T_t$  de l'impulsion  $U$  néces-  
saire à faire progresser le rotor est trop longue pour qu'on puisse  
détecter une tension induite d'amplitude suffisante, comme cela a été  
expliqué plus haut, on ouvre une fenêtre dans ladite impulsion  $U$  et  
30 on mesure dans cette fenêtre la tension induite. Il va de soi que  
l'emplacement de cette fenêtre est choisi en un endroit où l'amplitu-  
de de la tension induite est encore importante. Cette fenêtre est  
réalisée en branchant une résistance en série avec la bobine pendant  
la période  $T_x$  (résistance 40 de la figure 7) s'il s'agit d'un moteur à  
35 zones saturables (figure 2). Dans ce cas, la séquence de commande des in-  
terrupteurs montrés en figure 7 s'établit selon le tableau ci-dessous :

Période	Interrupteurs				
	31	32	33	34	35
$T_t = \left\{ \begin{array}{l} T_{RB} \\ T_x \\ T_c \\ T_{cc} \end{array} \right\} = T_n$	fermé	fermé	ouvert	ouvert	fermé
	fermé	fermé	ouvert	ouvert	ouvert
	fermé	fermé	ouvert	ouvert	fermé
	fermé	ouvert	fermé	ouvert	fermé

Il faut mentionner que la méthode avec fenêtre convient aussi parfaitement si on l'applique à un moteur avec entrefers (voir figure 1) où le phénomène d'extinction de la tension induite existe également quand l'impulsion de commande s'allonge. Dans ce cas, on peut très bien ne rien changer au schéma de la figure 7 et à la séquence du tableau ci-dessus si l'on veut utiliser une électronique de commande commune aux deux types de moteur. Mais on peut aussi disposer la bobine du moteur à circuit ouvert, comme cela est préconisé dans la demande EP 0 022 270, quand on veut mesurer la tension induite. Si tel est le cas, on supprimera la résistance 40 et l'interrupteur 35 représentés en figure 7 et on ouvrira tous les interrupteurs 31 à 34 pendant la fenêtre de mesure de durée  $T_x$ . Il faut dire encore que si on mesure la tension  $U_i$  à circuit ouvert dans le moteur à entrefers, le graphique de la figure 11 reste le même sauf en ce qui concerne le courant  $i$  qui s'annule pendant la période  $T_x$ .

La figure 12 illustre de façon exemplaire comment on adapte la largeur de l'impulsion de commande à la charge imposée au moteur et à quel moment on mesure la tension induite. Pour la construction donnée en exemple, il a été établi que cette tension induite est encore suffisante si on la mesure pendant une période  $T_x = 1$  ms précédant immédiatement la fin de l'impulsion de commande dont la durée est égale ou inférieure à  $T_n = 5$  ms. Du niveau 1 où la charge est la plus faible au niveau 3 où elle est légèrement plus élevée, la durée de l'impulsion de commande passe de 4 à 5 ms. La mesure de la tension induite se fait immédiatement avant la fin de l'impulsion de commande puisque la durée de ladite impulsion est égale (niveau 3) ou inférieure (niveaux 1 et 2) à la durée  $T_n$ . On voit que pour les mêmes niveaux, la durée  $T_{RB}$  de l'impulsion motrice  $U_B$  passe de 3 à 4 ms. A partir du

niveau 4 adapté à une charge plus importante et jusqu'au niveau 6 correspondant à la charge maximum que peuvent présenter toutes les contraintes réunies ensemble, la durée de l'impulsion de commande passe de 6,5 à 10 ms. La mesure de la tension induite doit se faire  
5 dans une fenêtre  $T_x$  car, à partir du niveau 4, la largeur de l'impulsion de commande est supérieure à la durée prédéterminée  $T_n$ . Dans ces trois derniers niveaux, la fenêtre sépare les deux impulsions motrices  $U_B$  et  $U_C$  dont la première est de durée constante  $T_{RB} = 4$  ms et dont la seconde  $T_C$  est de 1,5, 3 et 5 ms quand on passe du niveau 4  
10 au niveau 6. La figure 12 montre aussi l'impulsion de rattrapage de durée  $T_a$  dont la largeur est choisie à 8 ms.

L'invention qui vient d'être décrite poursuit le même but que celui qui a été expliqué dans la demande EP 0 022 270, à savoir proposer une méthode qui détecte un signal de tension induite de grande  
15 amplitude lorsque la bobine du moteur reçoit une impulsion de polarité correcte. Cette méthode conduit à un fonctionnement très sûr du système d'asservissement qui répond par oui ou non, comme c'est le cas dans un système logique.

Par ailleurs, comme cela a été exposé à propos de la demande citée, la tension  $U_i$  est comparée à une tension de référence dans un  
20 comparateur. Si  $U_i$  est plus grand que ladite référence, c'est une impulsion de polarité correcte qui a été envoyée au moteur et il n'apparaît aucun signal à la sortie du comparateur. Le circuit de commande continue à envoyer des impulsions de même durée. Si, au contraire,  
25  $U_i$  est plus petit que la référence, c'est une impulsion de polarité incorrecte qui a été envoyée au moteur et il apparaît un signal à la sortie du comparateur qui oblige le circuit de commande à envoyer deux impulsions de rattrapage puis un train d'impulsions de commande, comme cela a été expliqué ci-dessus.

## Revendications

1. Procédé pour asservir un moteur pas à pas alimenté par un train d'impulsions bipolaires à la charge présentée par le mécanisme d'une pièce d'horlogerie, caractérisé par le fait qu'on mesure aux bornes de la bobine du moteur la tension induite  $U_i$  engendrée par la  
5 rotation du rotor en réponse à une impulsion de commande  $n$  de durée  $T_1$ , que, si cette tension est inférieure à un seuil prédéterminé, on envoie au moteur, après ladite impulsion  $n$ , deux impulsions de rattrapage de grande largeur de durée  $T_a$ , après quoi on alimente le moteur dès l'impulsion  $n + 1$  par des impulsions de plus longue durée  $T_2$ ,  
10 qu'on mesure la tension induite  $U_i$  engendrée par la rotation du rotor en réponse à l'impulsion  $n + 2$ , que, si cette tension est inférieure audit seuil prédéterminé, on envoie au moteur, après ladite impulsion  $n + 2$ , deux impulsions de rattrapage de ladite durée  $T_a$ , après quoi on alimente le moteur dès l'impulsion  $n + 3$  par des impulsions de  
15 plus longue durée  $T_3$  et qu'on procède ainsi de suite, le début des impulsions de commande  $n$ ,  $n + 1$ ,  $n + 2$ ,  $n + 3$ , etc., étant séparé par un laps de temps constant et la durée des impulsions étant arrangée pour avoir  $T_1 < T_2 < T_3 < \text{etc.}$ .

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait  
20 qu'après les deux impulsions de rattrapage de durée  $T_a$  on alimente encore le moteur par des impulsions de commande de durée égale à celle qui existait avant l'application des deux impulsions de rattrapage tant qu'un nombre donné d'impulsions de rattrapage n'aura pas été compté dans un laps de temps prédéterminé.

25 3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que l'on envoie à la bobine du moteur, un laps de temps prédéterminé après la fin de l'impulsion de commande, une impulsion de sécurité de durée  $T_s$  qui, si le rotor s'est arrêté à mi-course sur une position d'équilibre instable, amène ledit rotor sur l'une de ses positions  
30 d'équilibre stable immédiatement voisine.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé par le fait que l'impulsion de sécurité de durée  $T_s$  est de polarité inverse à la polarité de l'impulsion de commande qui la précède.

5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que,  
35 si la largeur de l'impulsion de commande est égale ou inférieure à une durée prédéterminée  $T_n$ , on branche une résistance en série avec

la bobine du moteur pendant une période  $T_x$  située immédiatement avant la fin de ladite impulsion de commande et on mesure durant ladite période  $T_x$  pendant un intervalle prédéterminé  $T_{ij}$  la tension induite  $U_i$  aux bornes de la bobine du moteur.

5        6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que, si la largeur de l'impulsion de commande est supérieure à une durée prédéterminée  $T_n$ , on branche une résistance en série avec la bobine du moteur pendant une période  $T_x$  située immédiatement avant la fin de la période  $T_n$  et on mesure durant ladite période  $T_x$  pendant un intervalle prédéterminé  $T_{ij}$  la tension induite  $U_i$  aux bornes de la bobine du moteur.

7. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'on adapte la durée des impulsions de commande à la charge imposée au moteur par niveaux successifs montants lorsque la charge augmente  
15 et par niveaux successifs descendants lorsque la charge diminue.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé par le fait que, si, consécutivement à la présence d'une tension induite  $U_i$  supérieure au seuil prédéterminé, aucune absence de rotation du rotor n'est détectée pendant une période prédéterminée, on fait descendre la durée  
20 des impulsions de commande d'un niveau et ainsi de suite.

9. Dispositif d'alimentation d'un moteur pas à pas pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'il comporte une résistance branchée en série avec la bobine du moteur, que ladite résistance est  
25 pontée par un dispositif interrupteur et que des moyens sont mis en action pour ouvrir ledit dispositif interrupteur quand la tension induite  $U_i$  doit être mesurée aux bornes de la bobine du moteur.

Fig.1.

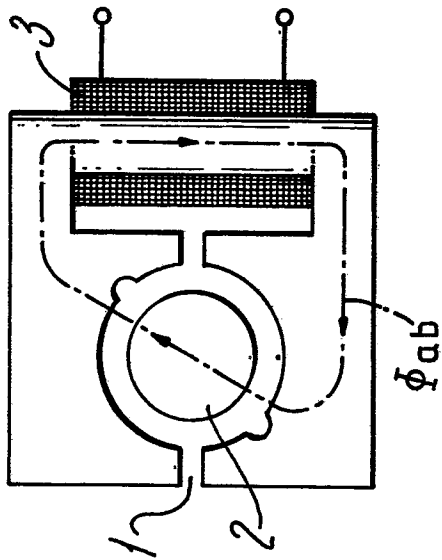


Fig.2.

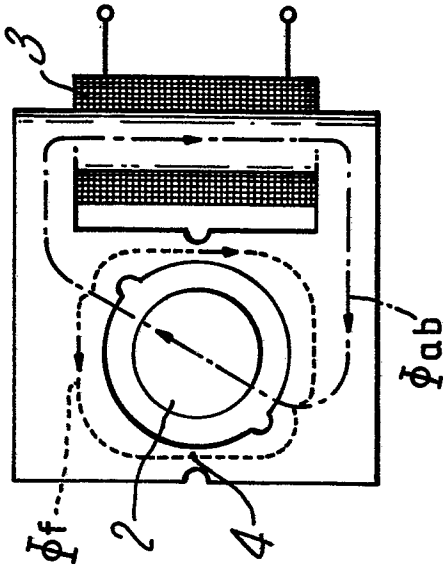
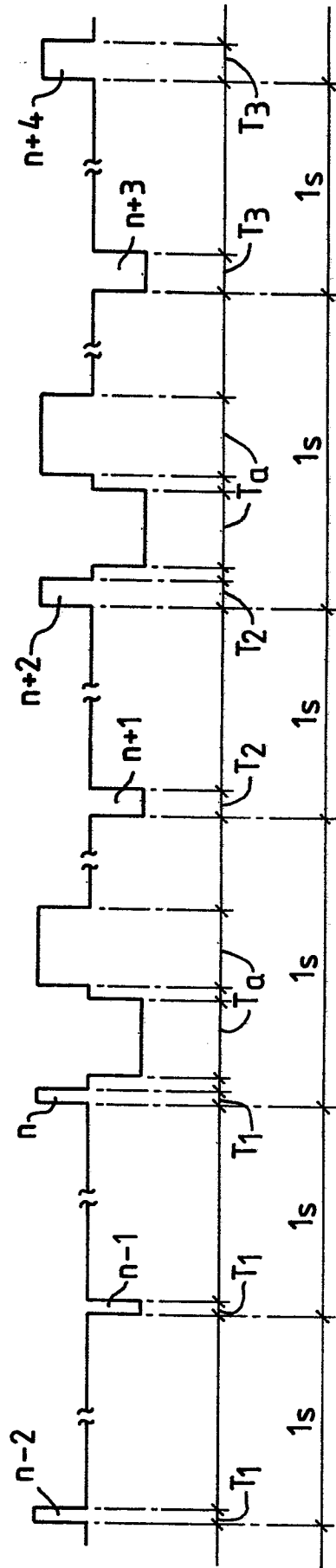


Fig.3.



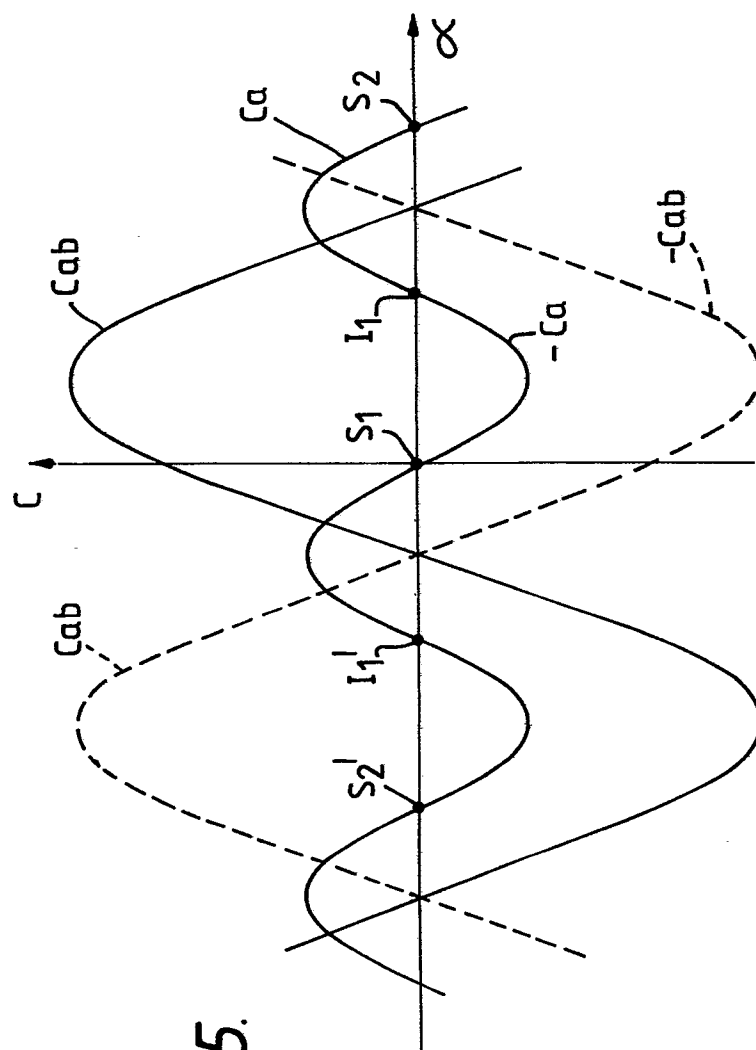
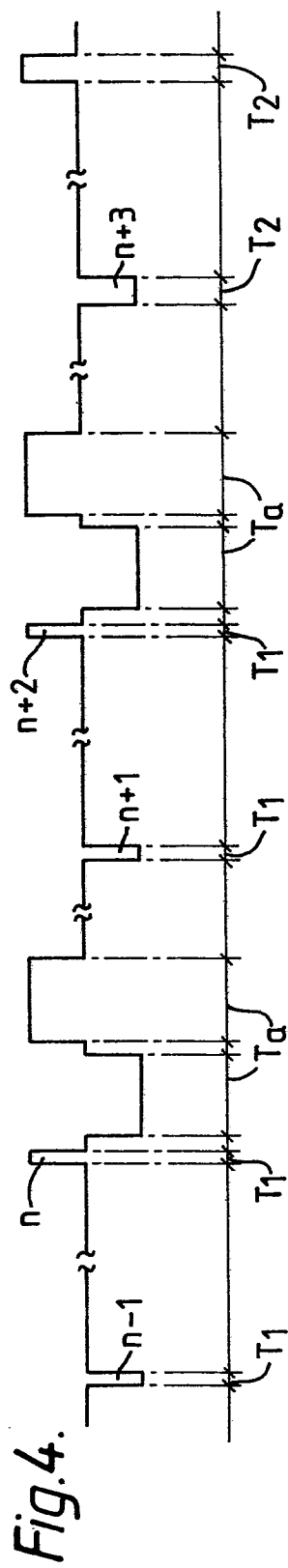


Fig.6.

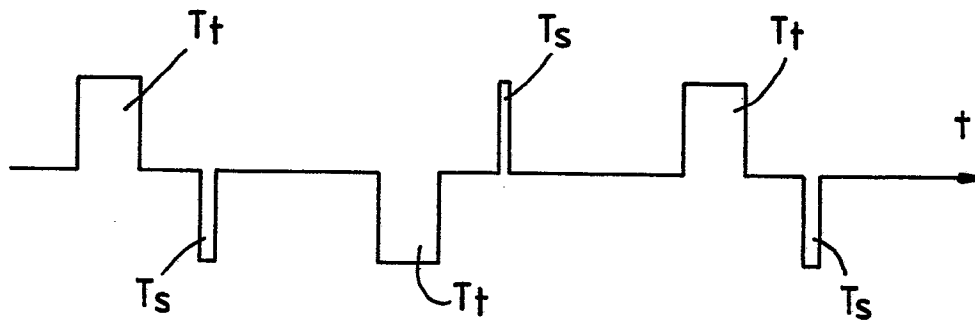
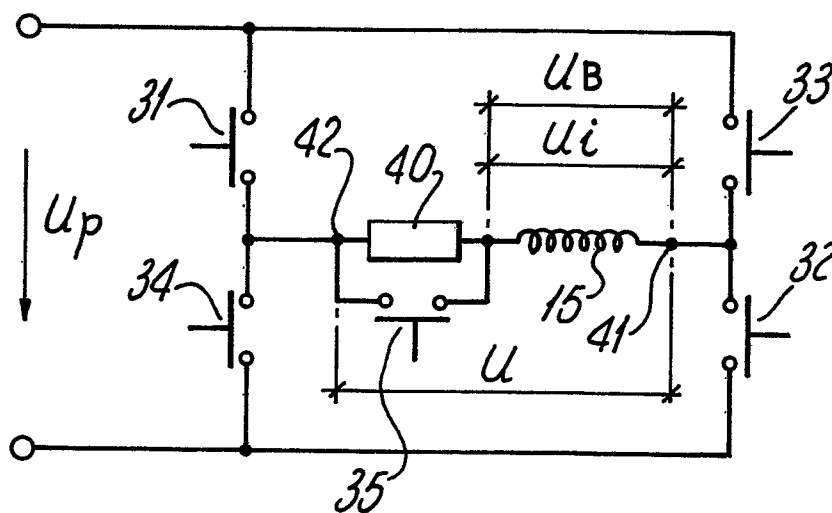
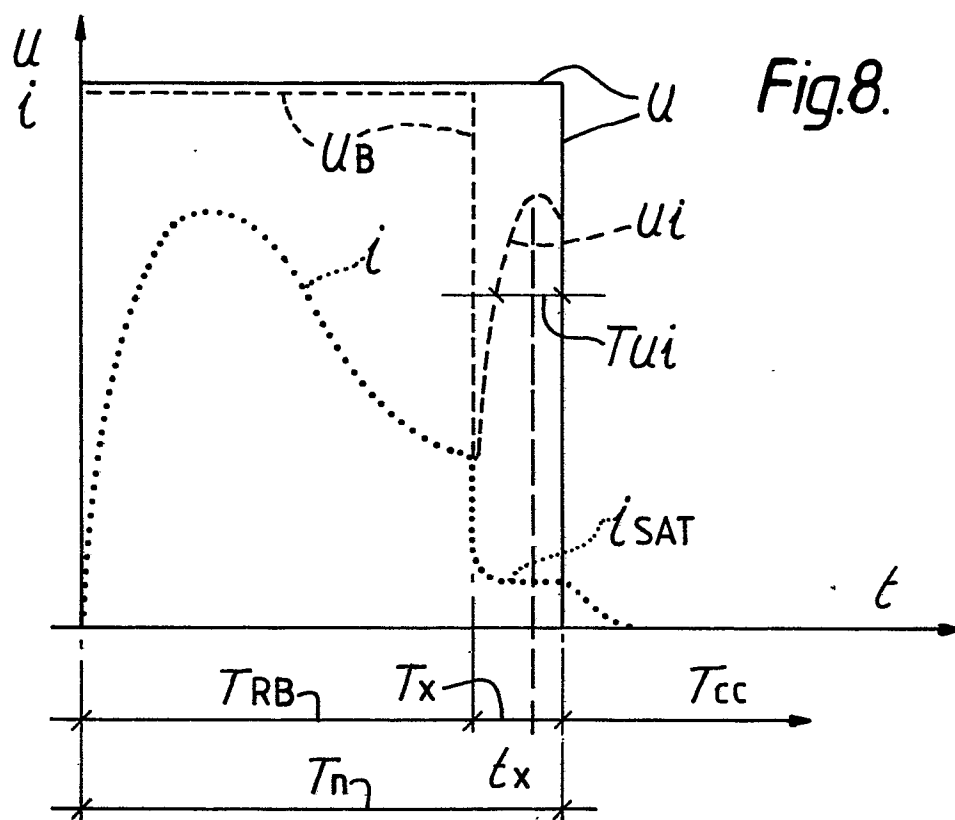


Fig.7.



4/6



**Fig.9.**

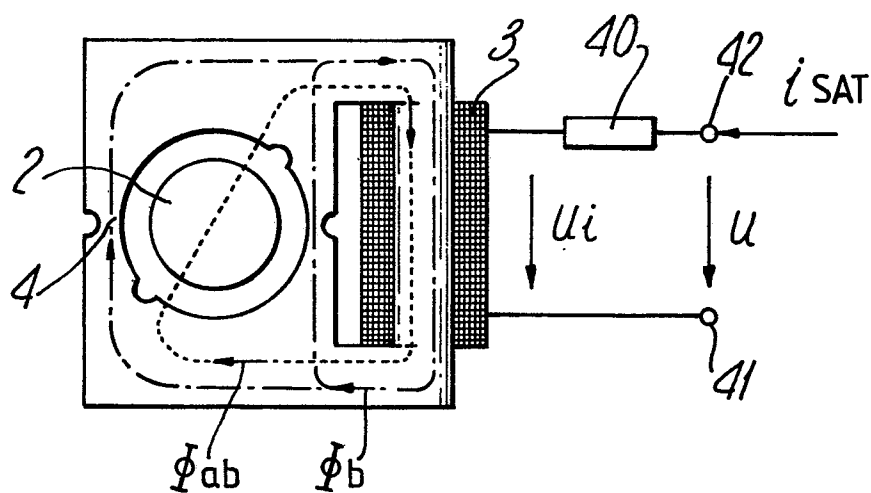


Fig.10.

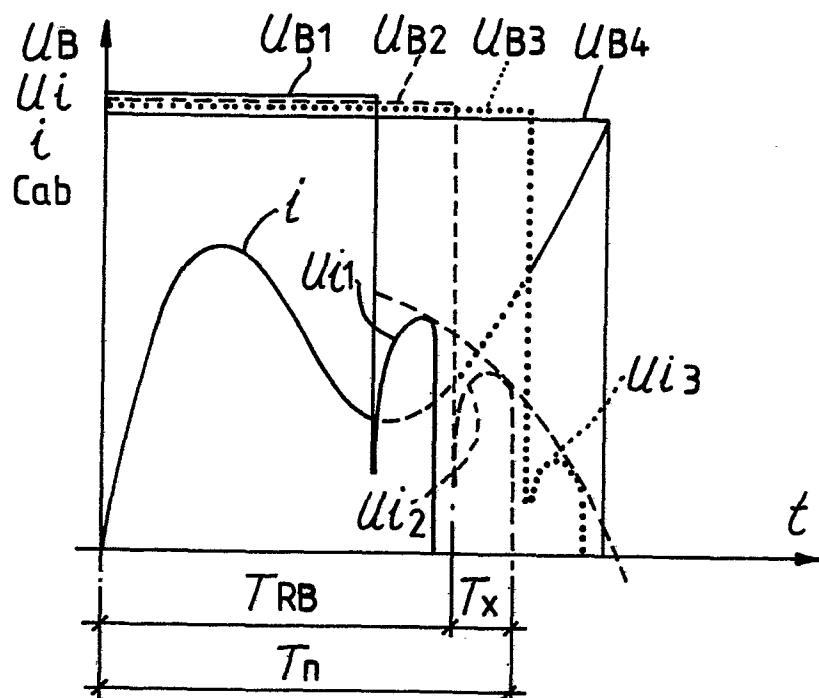


Fig.11.

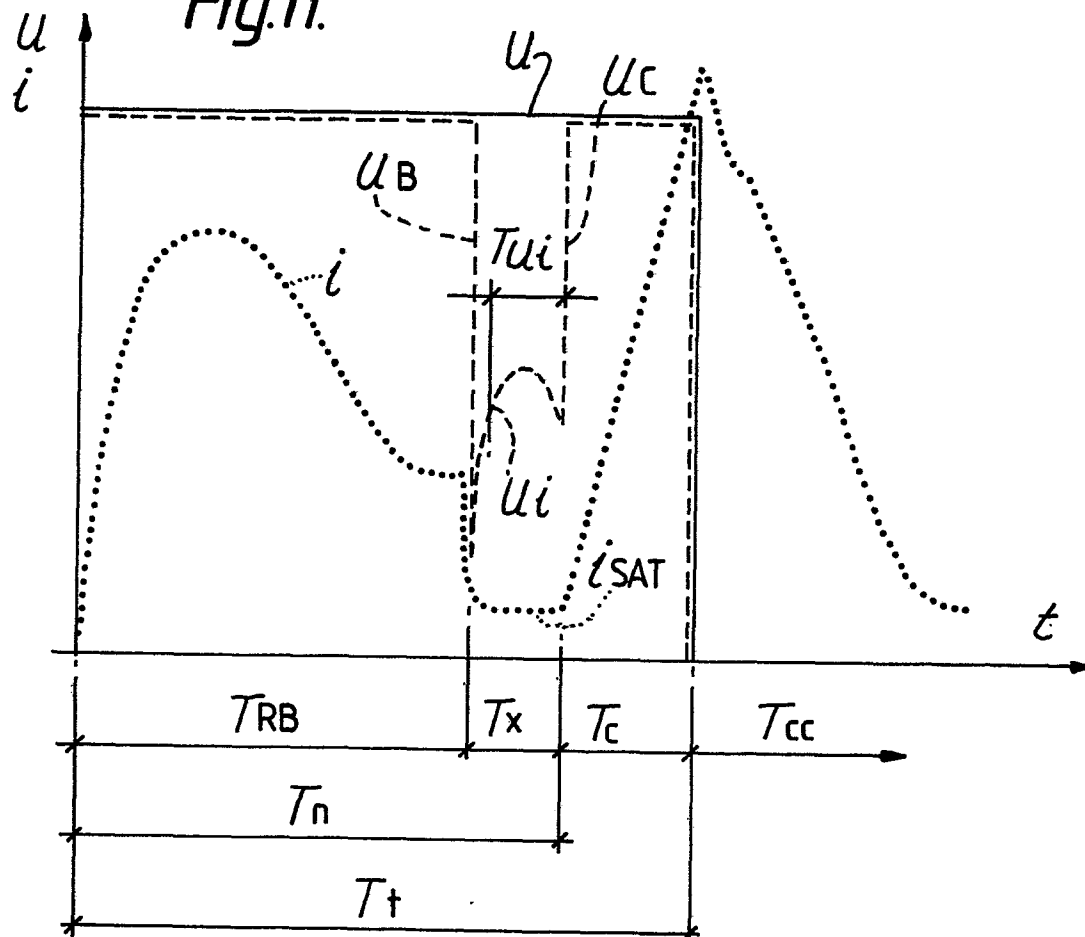
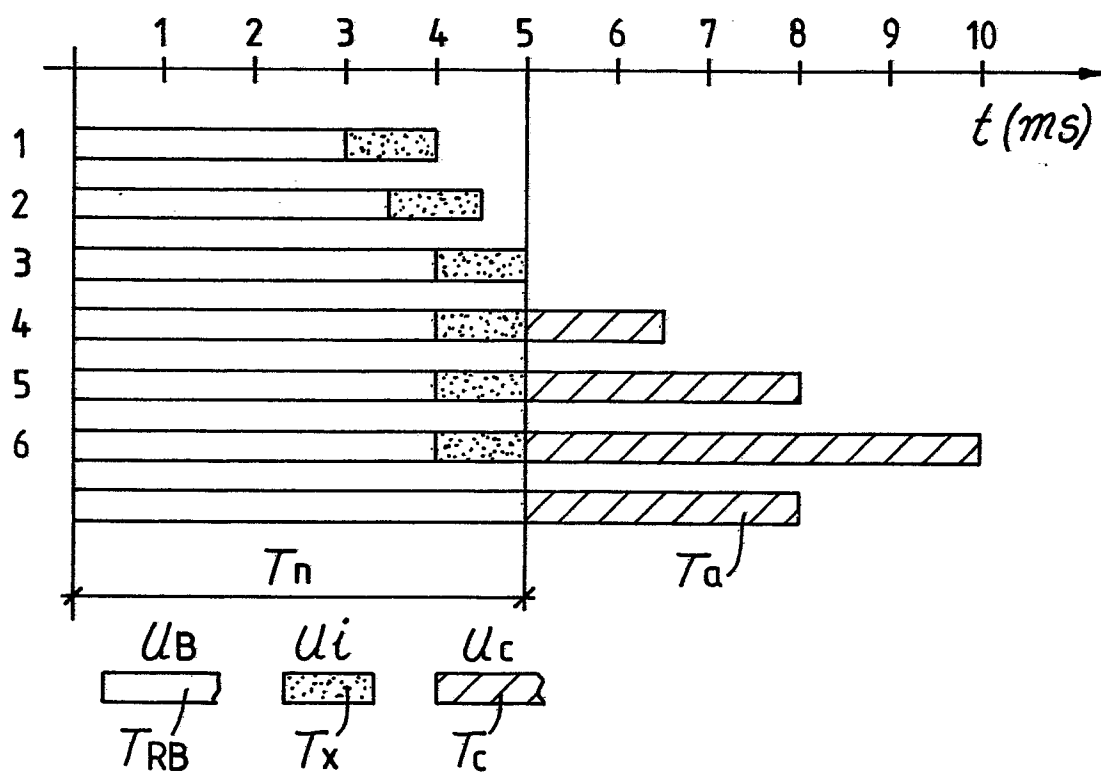


Fig.12.





Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0062273  
Numéro de la demande

EP 82 10 2626

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. <sup>3</sup> )
A	<u>FR - A - 2 410 843 (DAINI SEIKOSHA)</u> * Page 3, ligne 20 - page 4, ligne 27; page 7, ligne 21 - page 9, ligne 9; page 13, ligne 10 - page 16, ligne 18; page 18, ligne 31 - page 25, ligne 19; figures 4,9,10, 17-19,22,23 * --	1,3,4, 7-9	G 04 C 3/14
A	<u>FR - A - 2 388 326 (DAINI SEIKOSHA)</u> * Page 7, ligne 7 - page 11, ligne 5; figures 10-13 *	1-3,5, 6,9	
A	10e CONGRES INTERNATIONAL DE CHRONOMETRIE, no. 3, 11-14 sept. 1979 Geneve, CH M. UEDA et al.: "Adaptive controlled drive system of stepping motor for analog quartz watch", pages 67-72 * Page 68 - page 71; paragraphes 2.1-2.5, 3 * --	1,7-9	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. <sup>3</sup> ) G 04 C H 02 P
D,A	<u>EP - A - 0 022 270 (SOCIETE SUISSE)</u> * Page 5, ligne 1 - page 10, ligne 25; figures 2,6,7 * --	1,2,5, 6	
A	<u>DE - A - 2 854 084 (EBAUCHES)</u> * Page 8, ligne 16 - page 10, ligne 19; figures 9,10 * -- ./.	1	
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 05-07-1982	Examineur MEYL
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			



Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0062273  
Numéro de la demande

EP 82 10 2626 -2-

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 3)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendica- tion concernée	
A	US - A - 4 158 287 (I. NAKAJIMA et al.)  * Colonne 2, ligne 64 - colonne 4, ligne 66; figures 3-6 *  -----	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 3)