

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11)

Numéro de publication:

0 062 273
B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPÉEN

(45)

Date de publication du fascicule du brevet:
23.07.86

(51)

Int. Cl.: **G 04 C 3/14**

(21)

Numéro de dépôt: **82102626.7**

(22)

Date de dépôt: **29.03.82**

(54)

Procédé pour asservir un moteur pas à pas.

(30)

Priorité: **31.03.81 CH 2165/81**

(43)

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

(45)

Mention de la délivrance du brevet:
23.07.86 Bulletin 86/30

(84)

Etats contractants désignés:
DE FR GB IT

(56)

Documents cités:
EP-A-0 022 270
DE-A-2 854 084
FR-A-2 388 326
FR-A-2 410 843
US-A-4 158 287

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

(73)

Titulaire: **Omega SA, Rue Stämpfli 96, CH- 2500**
Bienne (CH)

(72)

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

(74)

Mandataire: **de Raemy, Jacques, SMH Société**
Suisse de Microélectronique et d'Horlogerie
S.A. Département Brevets et Licences Faubourg
du Lac 6, CH- 2501 Bienne (CH)

EP 0 062 273 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

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

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 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 fonction, 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.

On s'est rendu compte cependant que le détecteur exposé dans 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 exerce sur le moteur est faible et des impulsions larges quand ce 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, 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 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 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 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 Φ_{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-A-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 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. 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 Φ_i passant par les isthmes et en un flux Φ_{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-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 tension 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.

On a cité dans le rapport de recherche l'exposé no 3 (pages 67-72) présenté par M. Ueda et al. au 10e Congrès international de chronométrie tenu à Genève du 11 au 14 septembre 1979 et ayant le titre "Adaptive controlled drive system of stepping motor for analog quartz watch". Dans cet exposé est divulgué un procédé pour asservir un moteur pas à pas alimenté par un train d'impulsions bipolaires de commande dans le but de réduire au minimum la consommation d'énergie. Ledit procédé envisage d'augmenter progressivement, c'est-à-dire par niveaux, la durée des impulsions de commande si une tension détectée indique que le moteur n'a pas progressé d'un pas. Si, par contre, aucune absence de rotation du rotor n'est détectée pendant une période prédéterminée, on fait diminuer la durée des impulsions motrices d'un niveau et ainsi de suite.

Ce procédé, bien qu'appliqué à un moteur à isthmes saturables, ne propose pas un système qui maintient la saturation des isthmes pendant la mesure de la tension induite et ceci dans le but d'obtenir un signal de grande amplitude, comme cela est le cas dans la présente invention. Ce procédé n'indique pas non plus comment il faudrait s'y prendre pour détecter une tension d'amplitude confortable quand la durée de l'impulsion de commande s'allonge.

C'est le but de la présente invention de remédier aux inconvénients qui viennent d'être cités en proposant des procédés selon les revendications 1 et 2.

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.

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.

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 α de son rotor.

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

La figure 7 montre le dispositif utilisé dans 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.

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 la figure 7.

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

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 comprendre 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 moteur. Le début de chacune d'elles est séparé par un laps de temps constant, par exemple une seconde, ce qui fait progresser l'aiguille 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 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 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 impulsion 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-A-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 impulsion 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 naturellement 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 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 alimente 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 circonstances 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 tentative 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 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 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 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, 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 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 $-C_{ab}$ 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 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 raisonnement que le rotor a perdu définitivement deux pas qu'il ne sera pas possible de rattraper.

La figure 6 montre un arrangement qui palie l'inconvénient cité en proposant selon un mode particulier de réalisation de 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_c , une impulsion de sécurité de durée T_s . Si l'on se reporte de 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-A-O 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. Un tel dispositif a été décrit dans le document FR-A-2 388 326 cité dans le rapport de recherche. Ce dispositif comprend un pont à quatre branches dont chacune comporte un interrupteur, la première diagonale du pont recevant une source d'alimentation continue et la seconde comportant la bobine du moteur. Une résistance est disposée en série avec cette bobine et est pontée par un dispositif interrupteur. Des moyens sont mis en action pour ouvrir ledit dispositif quand on doit détecter la rotation ou l'absence de rotation du rotor.

Le schéma de la figure 7 présente 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 référera 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 Φ_b suffisant pour saturer les isthmes 4 du stator. Dès l'instant où ces isthmes sont saturés, la quasi totalité du flux Φ_{ab} créé par l'aimant passe par le noyau de la bobine 3. Le flux Φ_{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-A-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 R_0 est de 15 k Ω pour une résistance de la bobine de 3 k Ω .

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-A-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 Ω 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 audessous 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 montre comment diminue l'amplitude de la tension U_i lorsque l'impulsion 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 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 tension 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 permette 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 un mode particulier de réalisation de l'invention pour palier l'inconvénient cité. Dans ce graphique, l'impulsion de commande U est composée de deux impulsions motrices U_B et U_C séparées par 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_i de l'impulsion de commande U est supérieure à la durée T_n à partir de laquelle 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} compris dans la période T_x précédant immédiatement la fin de la période T_n . En d'autres termes, si la durée T_i de l'impulsion U nécessaire 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 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'amplitude 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 R_0 de la figure 7) s'il s'agit d'un moteur à zones saturables (figure 2). Dans ce cas, la séquence de commande des interrupteurs montrés en figure 7 s'établit selon le tableau ci-dessous:

Période	Interrupteurs				
	31	32	33	34	35
5					
10	fermé	fermé	ouvert	ouvert	fermé
	fermé	fermé	ouvert	ouvert	ouvert
	fermé	fermé	ouvert	ouvert	fermé
15	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-A-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 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 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-A-0 022 270, à savoir proposer une méthode qui détecte un signal de tension induite de grande 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 EP-A-0 022 270, la tension U_i est comparée à une tension de référence dans un 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, 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.

55 Revendications

1. Procédé pour asservir un moteur pas à pas alimenté par un train d'impulsions bipolaires de commande à la charge présentée par le mécanisme d'une pièce d'horlogerie, le début de l'une desdites impulsions de commande étant séparé de l'impulsion de commande qui suit immédiatement par un premier laps de temps prédéterminé, procédé selon lequel on mesure aux bornes de la bobine du moteur la tension induite U_i engendrée par la rotation du rotor en réponse à une desdites impulsions 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 , un premier groupe de deux impulsions bipolaires de rattrapage de grande durée T_a , après quoi on alimente le moteur dès l'impulsion de commande $n + 1$ par des impulsions de commande de durée T_2 , avec T_2, T_1 , caractérisé par le fait qu'on adapte la durée des impulsions de commande à la charge par niveaux successifs montants lorsque la

charge augmente, de la manière suivante: on mesure la tension induite U_i en réponse à l'impulsion de commande $n + 2$ et si cette tension est inférieure audit seuil prédéterminé, on envoie au moteur, après ladite impulsion $n + 2$, un deuxième groupe desdites deux impulsions de rattrapage, après quoi on alimente le moteur dès l'impulsion de commande $n + 3$ par des impulsions de commande de durée T_3 avec T_3, T_2 , et on procède ainsi de suite; et par le fait que pour mesurer la tension induite U_i , on branche une résistance en série avec la bobine du moteur durant une période T_x , on mesure la tension induite U_i dans un intervalle prédéterminé T_{U_i} compris dans la période T_x , la dite période T_x se situant soit immédiatement avant la fin de l'impulsion de commande si la durée de celle-ci est égale ou inférieure à une durée prédéterminée T_n , soit dans une position précédant d'un certain intervalle la fin de la durée prédéterminée T_n si la durée de l'impulsion de commande est supérieure à ladite durée prédéterminée T_n .

2. Procédé pour asservir un moteur pas à pas alimenté par un train d'impulsions bipolaires de commande à la charge présentée par le mécanisme d'une pièce d'horlogerie, le début de l'une desdites impulsions de commande étant séparé de l'impulsion de commande qui suit immédiatement par un premier laps de temps prédéterminé, procédé selon lequel on mesure aux bornes de la bobine du moteur la tension induite U_i engendrée par la rotation du rotor en réponse à une desdites impulsions 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 , un premier groupe de deux impulsions bipolaires de rattrapage de grande durée T_a , après quoi on alimente le moteur dès l'impulsion de commande $n + 1$ par des impulsions de commande de durée T_2 , caractérisé par le fait qu'on mesure la tension induite U_i en réponse à l'impulsion de commande $n + 2$ et si cette tension est inférieure audit seuil prédéterminé, on envoie au moteur après ladite impulsion $n + 2$, un deuxième groupe desdites deux impulsions de rattrapage, après quoi on alimente le moteur dès l'impulsion de commande $n + 3$ par des impulsions de commande de durée T_3 et on procède ainsi de suite, les durées T_2, T_3 , etc., étant égales à T_1 tant qu'un nombre donné d'impulsions de rattrapage n'aura pas été compté dans un deuxième laps de temps prédéterminé, la durée des impulsions de commande augmentant par rapport à la durée des impulsions de commande précédentes dans les cas où l'on a détecté que le nombre donné d'impulsions de rattrapage a été atteint dans ledit deuxième laps de temps prédéterminé; et par le fait que pour mesurer la tension induite U_i , on branche une résistance en série avec la bobine du moteur durant une période T_x , on mesure la tension induite U_i dans un intervalle prédéterminé T_{U_i} compris dans la période T_x , la dite période T_x se situant soit immédiatement avant la fin de l'impulsion de commande si la durée de celle-ci est égale ou inférieure à une durée prédéterminée T_n , soit dans une position précédant d'un certain intervalle la fin de la durée prédéterminée T_n si la durée de l'impulsion de commande est supérieure à ladite durée prédéterminée T_n .

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé par le fait que l'on envoie à la bobine du moteur, un autre laps de temps prédéterminé après la fin de chaque impulsion de commande, une impulsion de sécurité de durée T_s telle que, si le rotor s'est arrêté à mi-course sur une position d'équilibre instable, amène ledit rotor sur l'une de ses positions d'équilibre stable immédiatement voisine.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé par le fait que l'impulsion de sécurité 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 qu'on adapte la durée des impulsions de commande à la charge par niveaux successifs descendants lorsque la charge diminue.

6. Procédé selon la revendication 5, 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 des impulsions de commande d'un niveau et ainsi de suite.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Regeln eines von einer Folge bipolarer Steuerimpulse gespeisten Schrittmotors entsprechend der von dem Mechanismus eines Uhrwerks dargestellten Belastung, wobei der Beginn eines der genannten Steuerimpulse von dem ihm unmittelbar folgenden Steuerimpuls einen ersten vorgegebenen zeitlichen Abstand aufweist, bei welchem Verfahren man an den Klemmen der Motorwicklung die induzierte Spannung U_i mißt, erzeugt durch die Drehung des Rotors im Ansprechen auf einen der genannten Steuerimpulse n der Dauer T_1 , man dem Motor, wenn diese Spannung unter einem vorgegebenen Schwellenwert liegt, nach dem genannten Impuls n eine erste Gruppe von zwei bipolaren Aufholimpulsen großer Dauer T_a zuführt, wonach man den Motor ab dem Steuerimpuls $n + 1$ mit Steuerimpulsen der Dauer T_2 speist, wobei T_2 größer ist als T_1 , dadurch gekennzeichnet, daß man die Dauer der Steuerimpulse an die Belastung mit allmählich ansteigenden Pegeln anpaßt, wenn die Belastung zunimmt, indem man die im Ansprechen auf den Steuerimpuls $n + 2$ induzierte Spannung U_i mißt und, wenn diese Spannung kleiner ist als der genannte vorgegebene Schwellenwert, dem Motor nach dem genannten Impuls $n + 2$ eine zweite Gruppe der genannten zwei Aufholimpulse zuführt, wonach man den Motor ab dem Steuerimpuls $n + 3$ mit Steuerimpulsen der Dauer T_3 speist, wobei T_3 größer ist als T_2 , und so weiter fortfährt, und daß man für die Messung der induzierten Spannung U_i einen Widerstand mit der Motorwicklung während einer Periode T_x in Serie schaltet, die induzierte Spannung U_i in einem vorgegebenen Intervall T_{U_i} , das in der Periode T_x enthalten ist, mißt, wobei die genannte Periode T_x sich entweder unmittelbar vor dem Ende des Steuerimpulses befindet, wenn die Dauer desselben gleich oder kleiner ist als eine vorgegebene Dauer T_n , oder in einer um ein bestimmtes Intervall dem Ende der

vorgegebenen Dauer T_n vorangehenden Position, wenn die Dauer des Steuerimpulses größer als die genannte vorgegebene Dauer T_n ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß man der Motorwicklung, einen anderen zeitlichen vorgegebenen Abstand nach dem Ende jedes Steuerimpulses, einen Sicherheitsimpuls der Dauer T_s zuführt derart, daß der Rotor, wenn er auf halbem Wege in einer Position labilen Gleichgewichts stehengeblieben ist, in eine seiner unmittelbar benachbarten stabilen Gleichgewichtspositionen gebracht wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Polarität des Sicherheitsimpulses invertiert ist gegenüber der Polarität des ihm vorangehenden Steuerimpulses.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man die Dauer der Steuerimpulse an die Belastung mit allmählich abnehmenden Pegeln anpaßt, wenn die Belastung abnimmt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß man, wenn während einer vorgegebenen Periode nach dem Vorhandensein einer induzierten Spannung U_i oberhalb des vorgegebenen Schwellenwertes keinerlei Ausfall der Rotordrehung festgestellt wird, die Dauer der Steuerimpulse um einen Pegel absinken läßt und so fortfährt.

Claims

1. Method for slaving a stepping motor driven by a train of bipolar control pulses to the load imposed by a timepiece mechanism, the beginning of one of said control pulses being separated from the next following control pulse by a predetermined time lapse in which method there is measured at the motor winding terminals the induced voltage U_i generated by rotation of the rotor in response to one of said control pulses n of duration T_1 whence if such voltage is less than a predetermined threshold there is applied to the motor following said pulse n a first group of two bipolar recovery pulses of long duration T_a following which the motor is driven from the control pulse $n + 1$ on by control pulses of duration T_2 where $T_2 > T_1$ characterized in that the duration of the control pulses is adjusted to the load by successive increasing levels when the load increases in the following manner: the voltage U_i induced in response to control pulse $n + 2$ is measured and if such voltage is less than said predetermined threshold there is applied to the motor following said pulse $n + 2$ a second group of said two recovery pulses following which the motor is driven from the control pulse $n + 3$ on by control pulses of duration T_3 where $T_3 < T_2$ the method being thus continued; and in that in order to measure the induced voltage U_i a resistance is connected in series with the motor winding during a period T_x , the voltage U_i induced in a predetermined interval T_{U_i} included in the period T_x is measured said period T_x being located either immediately before the end of the control pulse if the duration of the latter is equal to or less than a predetermined duration T_n , or in a position preceding by a certain interval the end of the predetermined duration T_n if the duration of the control pulse is greater than said predetermined duration T_n .

2. Method for slaving a stepping motor driven by a train of bipolar control pulses to the load imposed by a timepiece mechanism, the beginning of one of said control pulses being separated from the next following control pulse by a predetermined time lapse in which method there is measured at the motor winding terminals the induced voltage U_i generated by rotation of the rotor in response to one of said control pulses n of duration T_1 whence if such voltage is less than a predetermined threshold there is applied to the motor following said pulse n a first group of two bipolar recovery pulses of long duration T_a following which the motor is driven from the control pulse $n + 1$ on by control pulses of duration T_2 characterized in that the voltage U_i induced in response to the control pulse $n + 2$ is measured and if such voltage is less than said predetermined threshold, following said pulse $n + 2$, there is applied to the motor a second group of said two recovery pulses following which the motor is driven from the control pulse $n + 3$ on by control pulses of duration T_3 , the method being thus continued, the durations T_2 , T_3 etc. being equal to T_1 so long as a given number of recovery pulses has not been counted in a second predetermined lapse of time, the duration of the control pulses increasing relative to the duration of the preceding control pulses in the case where it has been detected that the given number of recovery pulses has been attained in said second predetermined lapse of time; and in that, in order to measure the induced voltage U_i , a resistance is connected in series with the motor winding during a period T_x , the voltage U_i induced in a predetermined interval T_{U_i} included in the period T_x is measured, said period T_x being located either immediately before the end of the control pulse if the duration of the latter is equal to or less than a predetermined duration T_n or in a position preceding by a certain interval the end of the predetermined duration T_n if the duration of the control pulse is greater than said predetermined duration T_n .

3. Method according to claim 1 or claim 2 characterized in that there is applied to the motor winding, another predetermined time lapse after the end of each control pulse, a security pulse of duration T_s such that if the rotor stalls in mid course at a position of unstable equilibrium it brings said rotor to one of its immediately neighbouring equilibrium positions.

4. Method according to claim 3 characterized in that said security pulse has its polarity inverted relative to the polarity of the preceding control pulse.

5. Method according to claim 1 characterized in that the duration of the control pulses is adjusted to the load by successive diminishing levels when the load decreases.

6. Method according to claim 5 characterized in that if, following the presence of an induced voltage U_i greater than the predetermined threshold no failure of rotation of the rotor is detected over a predetermined period the duration of the control pulses is lowered by a level the method being thus continued.

Fig.1.

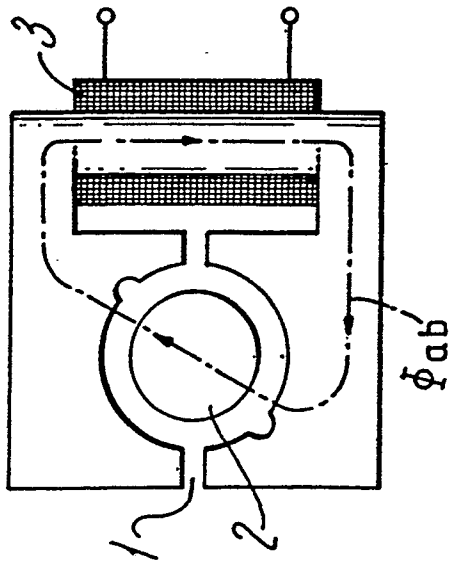


Fig.2.

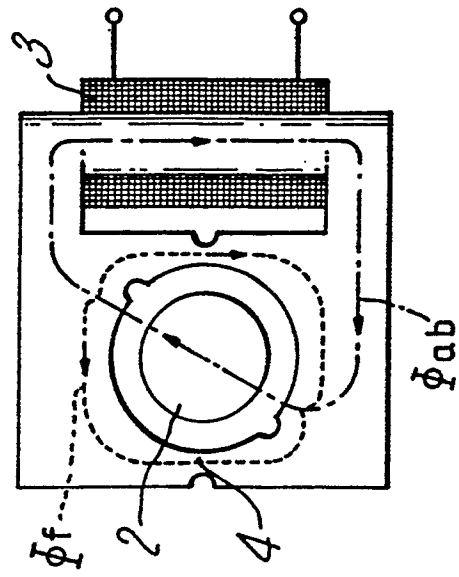


Fig.3.

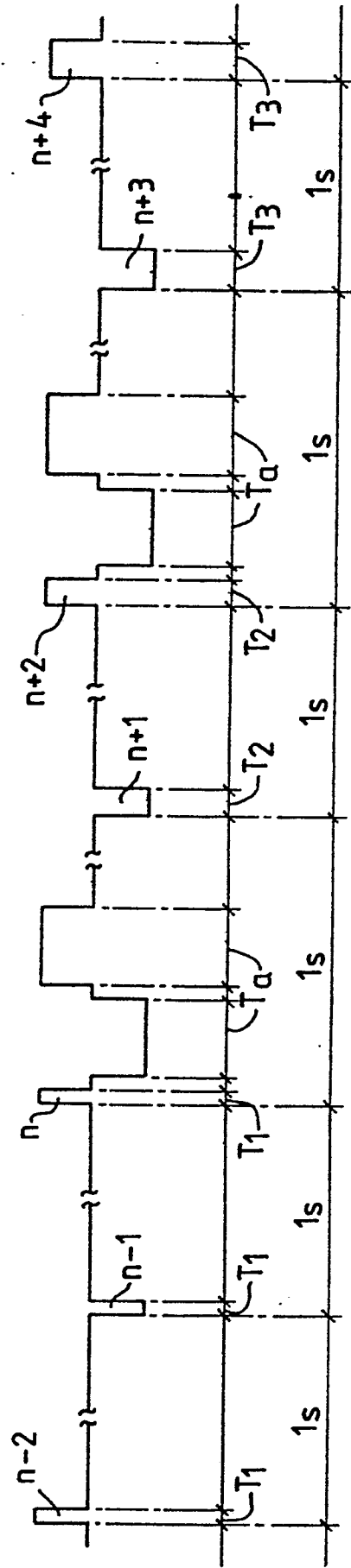


Fig.4.

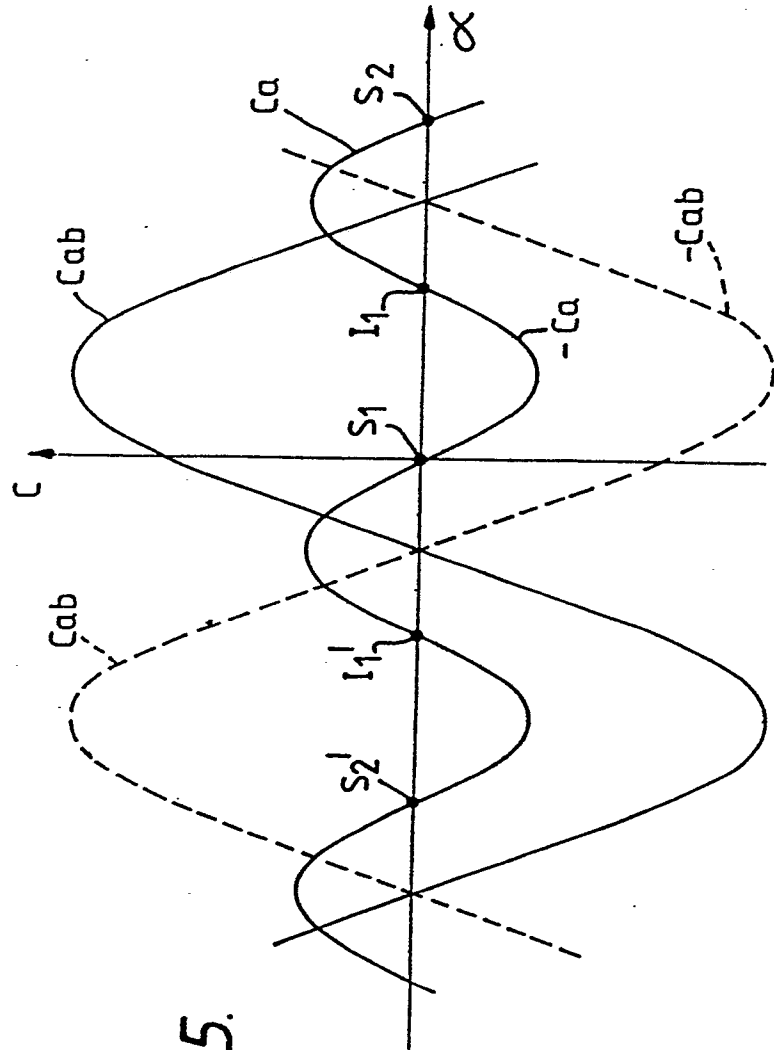
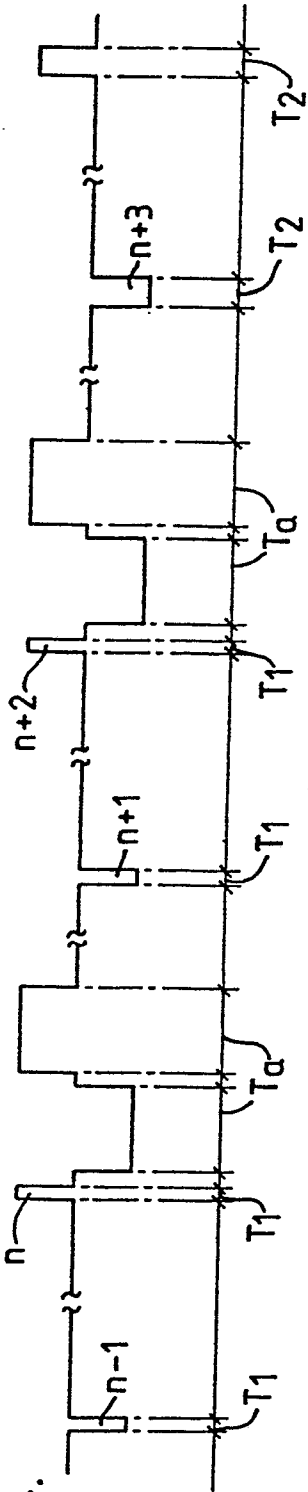


Fig.5.

Fig.6.

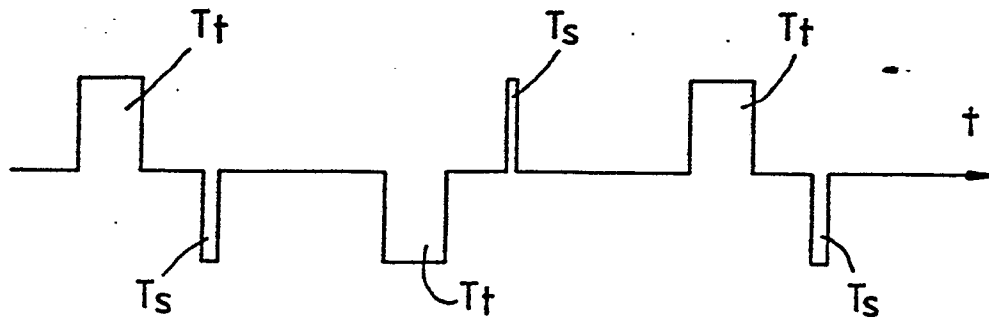
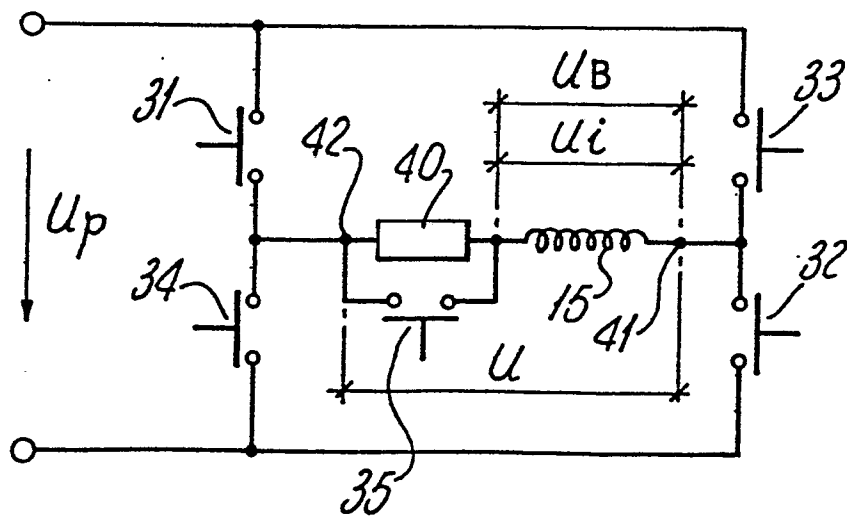


Fig.7.



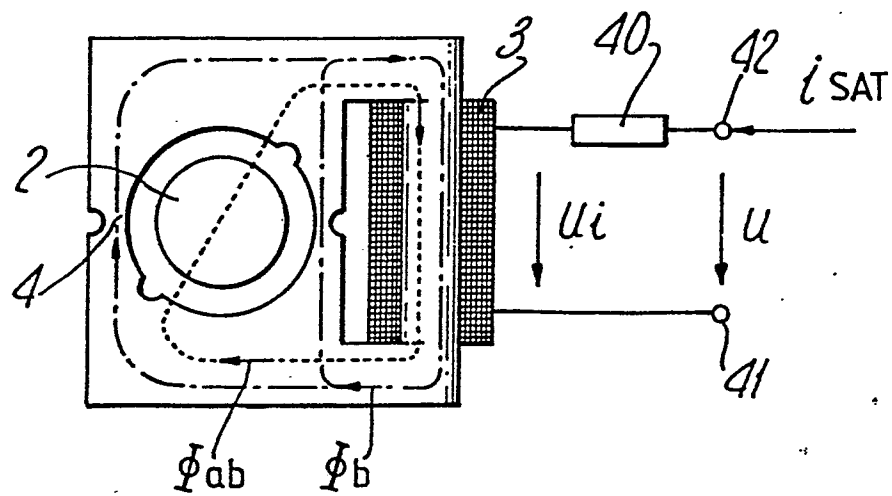
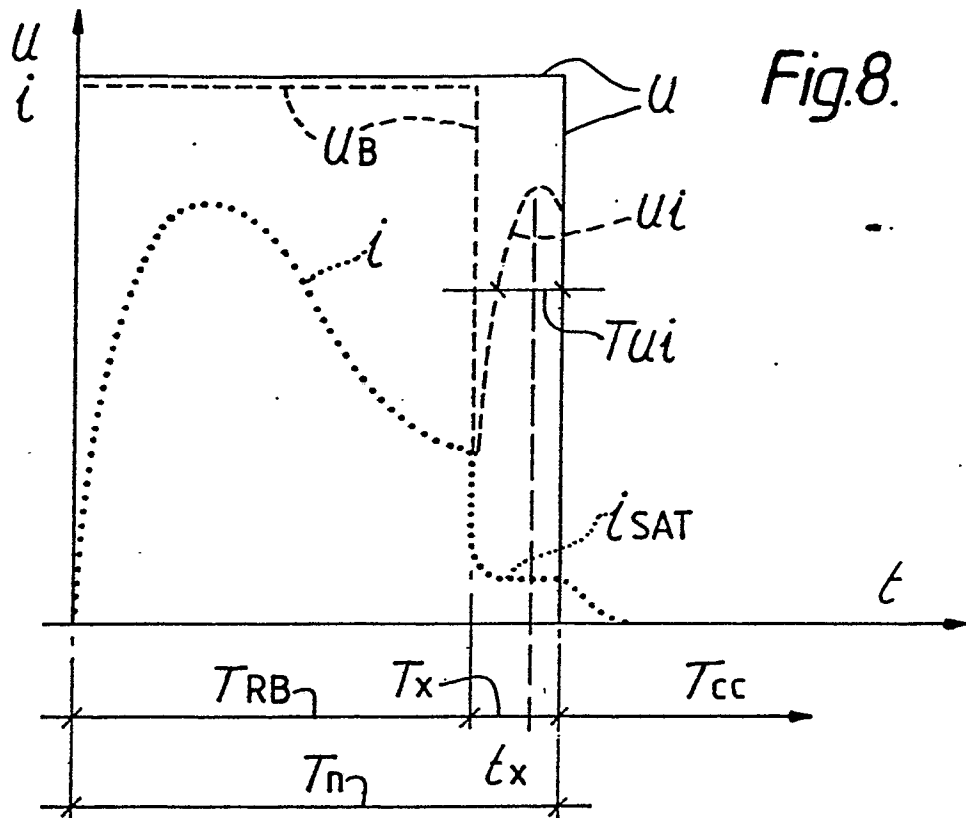


Fig.10.

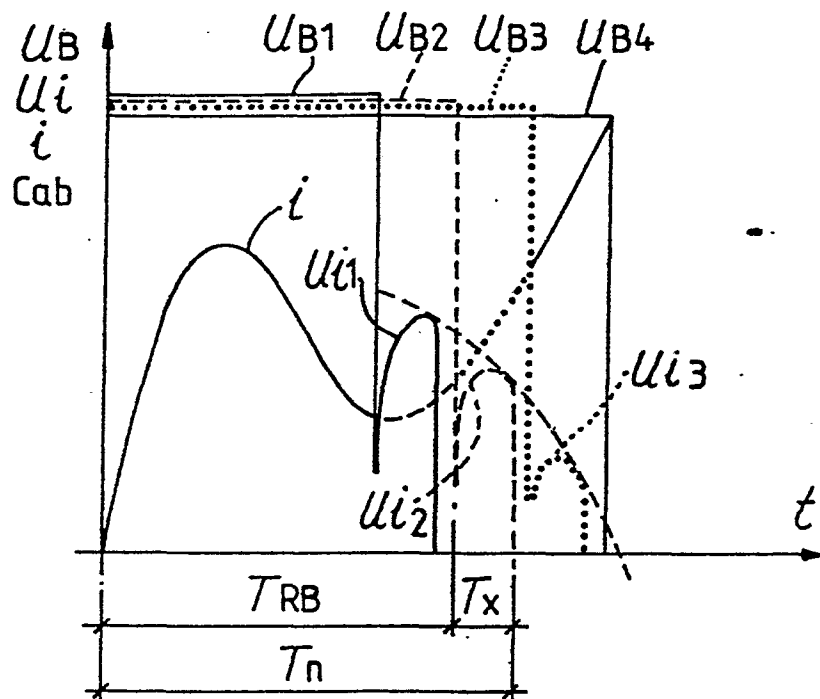


Fig.11.

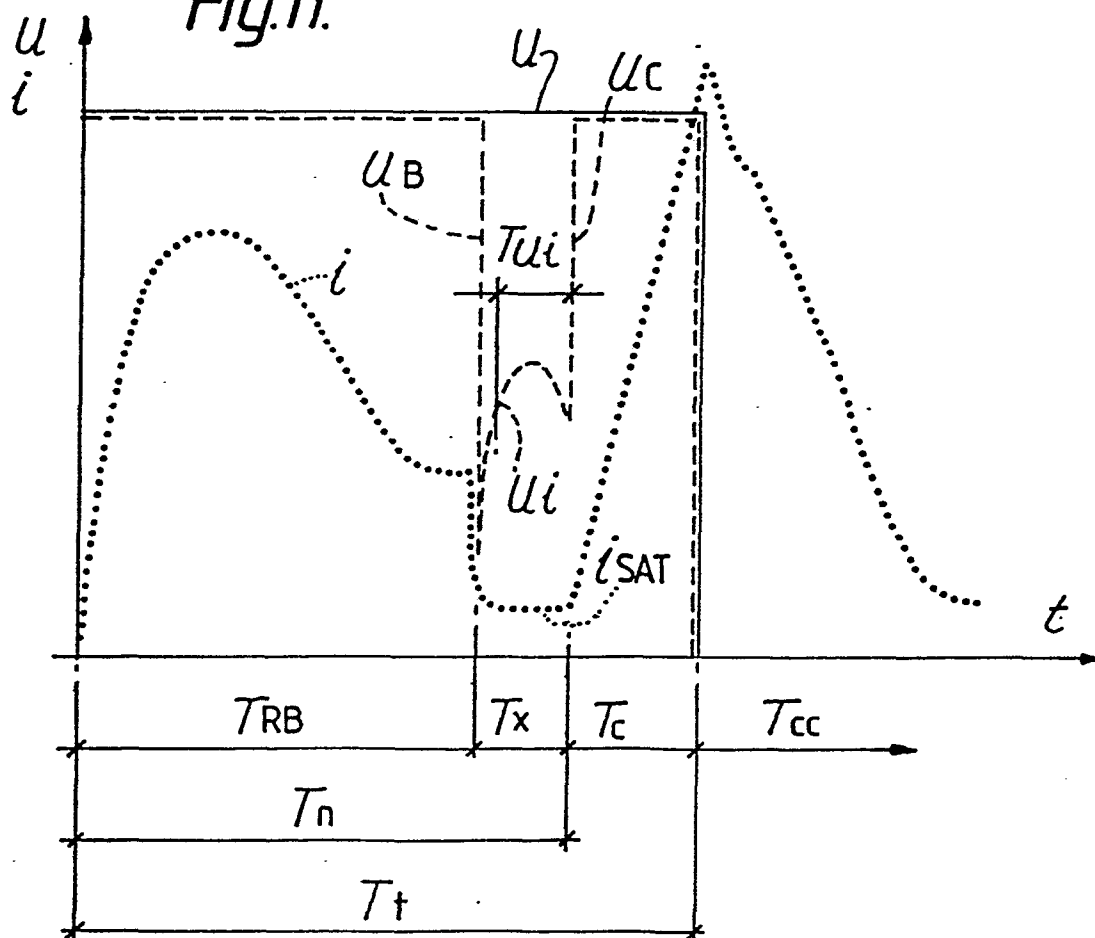


Fig.12.

