CH 665 084 A3

(19) CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) CH 665 084 G A3

(51) Int. Cl.[4]: H 02 P 8/00
G 04 C 3/14

Demande de brevet déposée pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) FASCICULE DE LA DEMANDE A3

(21) Numéro de la demande: 2585/86

(22) Date de dépôt: 26.06.1986

(42) Demande publiée le: 29.04.1988

(44) Fascicule de la demande publié le: 29.04.1988

(71) Requérant(s):
Asulab S.A., Biel/Bienne

(72) Inventeur(s):
Taghezout, Daho, Peseux

(74) Mandataire:
ICB Ingénieurs Conseils en Brevets SA, Neuchâtel

(56) Rapport de recherche au verso

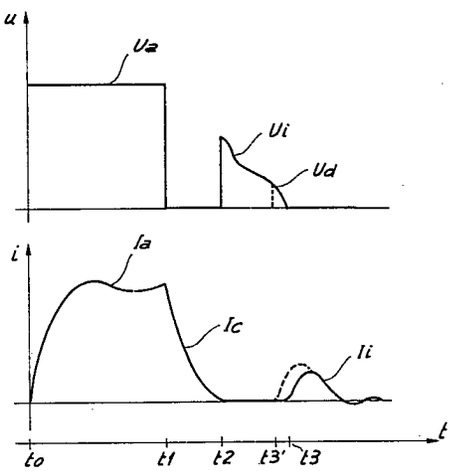
(54) Procédé et dispositif de commande d'un moteur pas à pas.

(57) Le procédé et le dispositif sont destinés à éviter la dissipation d'énergie électrique qui se produit dans la bobine d'un moteur pas à pas lorsque celle-ci est court-circuitée en permanence entre deux impulsions motrices.

Le procédé consiste à mettre la bobine en court-circuit dès la fin (t1) de l'impulsion motrice, à la mettre ensuite en circuit ouvert dès l'instant (t2) où le courant (Ic) qui la traverse pendant ce court-circuit devient égal à zéro, et à la remettre en court-circuit dès l'instant (t3) où la tension qui y est induite par la rotation du rotor pendant qu'elle est en circuit ouvert atteint zéro ou une valeur prédéterminée (Ud).

Le dispositif est agencé de manière à mettre en oeuvre le procédé.

L'invention s'applique à la commande de moteurs pas à pas du genre, par exemple, de ceux qui équipent les pièces d'horlogerie électroniques à affichage par aiguilles.



665 084 G

Bundesamt für geistiges Eigentum
Office fédéral de la propriété intellectuelle
Ufficio federale della proprietà intellectuale

RAPPORT DE RECHERCHE
RECHERCHENBERICHT

Demande de brevet No
Patentgesuch Nr
CH 2585/86

HO 15 182

Categorie Kategorie	DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes Kennzeichnung des Dokuments, mit Angabe, soweit erforderlich, der massgeblichen Teile	Revendications concernées Betrifft Anspruch Nr.
D,A	US-A-4 467 255 (M.T. XUAN) * Colonne 5, ligne 1 - colonne 6, ligne 30; figures 4,5 *	1-4,7-10
A	10ème CONGRES INTERNATIONAL DE CHRONOMETRIE, no. 3, septembre 1979, pages 53-59, Büren, CH; J.-L. BEGUIN: "Générateur de signaux programmables" * Figures 1,2 *	1
A	EP-A-0 128 865 (SOCIETE INDUSTRIELLE DE SONCEBOZ S.A.) * Page 5, ligne 33 - page 8, ligne 13 *	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 5, no. 51 (E-51)[723], 10 avril 1981; & JP-A-56 1799 (DAINI SEIKOSHA K.K.) 09-01-1981	1,6

Domaines techniques recherchés
Recherchierte Sachgebiete
(INT. CL[3])

G04C ,H02P

Date d'achèvement de la recherche/Abschlussdatum der Recherche
27-03-1987

Examinateur OEB/EPA Prüfer

REVENDICATIONS

1. Procédé de commande d'un moteur pas à pas ayant une bobine (1) et un rotor couplé mécaniquement à une charge mécanique et comportant un aimant permanent (2) couplé magnétiquement à la bobine (1), consistant:

– à appliquer une impulsion motrice à la bobine (1) chaque fois que le rotor doit tourner d'un pas;

– à mettre une première fois la bobine (1) en court-circuit à la fin de l'impulsion motrice;

– à mettre ensuite la bobine (1) en circuit ouvert; et

– à mettre ensuite une deuxième fois la bobine (1) en court-circuit jusqu'au début de l'impulsion motrice suivante;

caractérisé par le fait qu'il consiste en outre:

– à mettre la bobine (1) en circuit ouvert en réponse au passage par zéro du courant circulant dans la bobine (1) pendant que celle-ci est pour la première fois en court-circuit; et

– à mettre la bobine (1) pour la deuxième fois en court-circuit en dépendance de la tension (Ui) induite dans la bobine (1) par la rotation du rotor pendant que la bobine (1) est en circuit ouvert.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'il consiste à appliquer l'impulsion motrice à la bobine (1) pendant une durée fixe.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'il consiste à appliquer l'impulsion motrice à la bobine (1) pendant une durée dépendant de la charge mécanique entraînée par le rotor pendant ladite impulsion motrice.

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'il consiste à appliquer l'impulsion motrice à la bobine (1) pendant une durée dépendant de la charge mécanique entraînée par le rotor pendant une impulsion motrice précédente.

5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'il consiste à mettre pour la deuxième fois la bobine (1) en court-circuit en réponse au passage par une valeur prédéterminée de ladite tension induite (Ui).

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé par le fait que ladite valeur prédéterminée est la valeur zéro.

7. Dispositif de commande d'un moteur pas à pas ayant une bobine (1) et un rotor couplé mécaniquement à une charge mécanique et comportant un aimant permanent (2) couplé magnétiquement à la bobine (1), comprenant:

– des premiers moyens (4, 22, 23, 34, 35) pour provoquer l'application d'une impulsion motrice à la bobine (1) chaque fois que le rotor doit tourner d'un pas;

– des deuxièmes moyens (24) pour provoquer une première mise en court-circuit de la bobine (1) à la fin de l'impulsion motrice;

– des troisièmes moyens (9, 10, 25, 26, 30 à 32) pour provoquer une mise en circuit ouvert de la bobine (1) après la première mise en court-circuit; et

– des quatrièmes moyens (5 à 8, 27 à 29, 33; 5 à 8, 27 à 29, 33, 36, 37) pour provoquer une deuxième mise en court-circuit de la bobine (1) après la mise en circuit ouvert;

caractérisé par le fait que les troisièmes moyens (9, 10, 25, 26, 30–32) comportent des moyens (9, 10) pour détecter le passage par zéro du courant circulant dans la bobine (1) pendant ladite première mise en court-circuit et des moyens (25, 26, 30 à 32) pour provoquer ladite mise en circuit ouvert en réponse audit passage par zéro dudit courant, et que les quatrièmes moyens (5 à 8, 27 à 29, 33; 5 à 8, 27 à 29, 33, 36, 37) sont agencés de manière à provoquer ladite deuxième mise en court-circuit en dépendance de la valeur de la tension (Ui) induite dans la bobine (1) par la rotation du rotor pendant ladite mise en circuit ouvert.

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé par le fait que lesdits premiers moyens (4, 22, 23, 34, 35; 4a, 22, 23, 34, 35) comportent des moyens (4a) pour provoquer l'application de l'impulsion motrice avec une durée fixe.

9. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé par le fait que lesdits premiers moyens (4, 22, 23, 34, 35; 4a, 22, 23, 34, 35) comportent des moyens (4) pour provoquer l'application de l'impulsion motrice avec une durée dépendant de la charge mécanique entraînée par le rotor pendant ladite impulsion motrice.

10. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé par le fait que lesdits premiers moyens (4, 22, 23, 34, 35; 4a, 22, 23, 34, 35) comportent des moyens (4) pour provoquer l'application de l'impulsion motrice avec une durée dépendant de la charge mécanique entraînée par le rotor pendant une impulsion motrice précédente.

11. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé par le fait que lesdits quatrièmes moyens (5 à 8, 27 à 29, 33; 5 à 8, 27 à 29, 33, 36, 37) comportent des moyens (5 à 8; 5 à 8, 36, 37) pour détecter le passage de ladite tension induite (Ui) par une valeur déterminée, et des moyens (27 à 29, 33) pour provoquer ladite deuxième mise en court-circuit en réponse audit passage par ladite valeur déterminée de ladite tension induite (Ui).

12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé par le fait que ladite valeur déterminée de ladite tension induite (Ui) est zéro.

13. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé par le fait que lesdits moyens (5 à 8, 36, 37) pour détecter ledit passage de ladite tension induite (Ui) par ladite valeur déterminée comportent des moyens (36, 37) pour fixer ladite valeur déterminée à celle d'une tension différente de zéro.

DESCRIPTION

La présente invention a pour objets un procédé et un dispositif de commande d'un moteur pas à pas ayant une bobine et un rotor couplé mécaniquement à une charge mécanique et comportant un aimant permanent couplé magnétiquement à la bobine.

Le procédé consiste:

– à appliquer une impulsion motrice à la bobine chaque fois que le rotor doit tourner d'un pas;

– à mettre une première fois la bobine en court-circuit à la fin de l'impulsion motrice;

– à mettre ensuite la bobine en circuit ouvert; et

– à mettre ensuite une deuxième fois la bobine en court-circuit jusqu'au début de l'impulsion motrice suivante.

Le dispositif comprend:

– des premiers moyens pour provoquer l'application d'une impulsion motrice à la bobine chaque fois que le rotor doit tourner d'un pas;

– des deuxièmes moyens pour provoquer une première mise en court-circuit de la bobine à la fin de l'impulsion motrice;

– des troisièmes moyens pour provoquer une mise en circuit ouvert de la bobine après la première mise en court-circuit; et

– des quatrièmes moyens pour provoquer une deuxième mise en court circuit de la bobine après la mise en circuit ouvert.

Les moteurs pas à pas du genre mentionné ci-dessus sont bien connus. Ils équipent notamment la plupart des pièces d'horlogerie électroniques à affichage par aiguilles.

Dans ces pièces d'horlogerie, le rotor du moteur comporte généralement un aimant permanent bipolaire dont l'axe d'aimantation est perpendiculaire à l'axe de rotation du rotor. Cet aimant est couplé magnétiquement à la bobine du moteur par un stator qui comporte une ouverture sensiblement cylindrique dans laquelle tourne le rotor. Des encoches

ménagées dans la paroi de cette ouverture provoquent l'application au rotor d'un couple de positionnement qui tend à le maintenir ou à le ramener dans l'une ou l'autre de deux positions d'équilibre stable.

Un tel moteur, qui n'a pas été représenté car il est bien connu, sera utilisé à titre d'exemple non limitatif dans la suite de cette description.

Les circuits de commande de ces moteurs sont agencés de manière à appliquer à la bobine une impulsion motrice chaque fois que le rotor doit tourner d'un pas.

Dans les cas les plus simples, la durée de ces impulsions motrices est fixe, ce qui a comme conséquence que la quantité d'énergie électrique fournie au moteur pendant ces impulsions motrices est sensiblement indépendante de la charge mécanique qu'il entraîne. La durée des impulsions motrices doit être suffisante pour que le rotor tourne correctement même lorsque la charge mécanique qu'il entraîne a sa valeur maximum.

Mais comme cette charge n'a sa valeur maximum que rarement, une grande partie de l'énergie électrique est consommée inutilement.

Cette énergie électrique est généralement fournie, notamment dans les pièces d'horlogerie, par une source d'alimentation ayant une capacité limitée. De nombreux dispositifs ont donc été proposés pour diminuer la consommation du moteur.

Tous ces dispositifs comportent des moyens pour déterminer, d'une manière ou d'une autre, la valeur de la charge mécanique entraînée par le rotor, et pour ajuster la quantité d'énergie électrique fournie au moteur pendant les impulsions motrices à cette valeur de la charge mécanique.

Cet ajustement de la quantité d'énergie électrique fournie au moteur est généralement réalisé en modifiant la durée des impulsions motrices.

Cette durée peut être déterminée directement pendant chaque impulsion motrice, comme cela est décrit, par exemple, dans le brevet US-A-4 446 413. Dans un tel cas, un circuit mesure, pendant chaque impulsion motrice, une grandeur électrique dépendant de la charge mécanique entraînée par le rotor du moteur. Ce circuit produit un signal qui provoque l'interruption de l'impulsion motrice en cours lorsque certaines conditions sont remplies, ces conditions étant fixées par la constitution de ce circuit.

La durée des impulsions motrices peut également être déterminée indirectement, comme cela est décrit, par exemple, dans le brevet US-A-4 272 837. Dans un tel cas, un circuit mesure, après les impulsions motrices, une grandeur électrique caractéristique qui dépend de la charge mécanique qui a été entraînée par le rotor pendant ces impulsions motrices. Si le résultat de cette mesure remplit certaines conditions qui sont également fixées par la constitution du circuit, cela indique que le rotor n'a pas tourné correctement en réponse aux impulsions motrices précédentes, et le circuit de mesure produit un signal qui provoque la modification de la durée des impulsions motrices suivantes. Le cas échéant, le signal produit par ce circuit provoque également l'envoi au moteur d'une ou de plusieurs impulsions de correction destinées à faire exécuter au rotor le ou les pas qu'il n'a pas exécuté en réponse aux impulsions précédentes.

La plupart des dispositifs de commande mentionnés ci-dessus sont agencés de manière que la bobine du moteur soit mise en court-circuit depuis la fin de chaque impulsion motrice jusqu'au début de la suivante.

Cette mise en court-circuit de la bobine du moteur a notamment pour but d'éviter que le rotor tourne de plus d'un pas si, pour une raison quelconque, l'énergie électrique fournie au moteur pendant une impulsion motrice est beaucoup plus importante que nécessaire, et de provoquer l'application au rotor, entre les impulsions motrices, d'un couple de freinage électrique en réponse à toute rotation intempestive de ce rotor due, par exemple, à un choc. Ce couple de freinage électrique s'ajoute au couple de positionnement mentionné ci-dessus pour maintenir le rotor dans la position qu'il occupe.

La durée des impulsions motrices produites par les dispositifs mentionnés ci-dessus est généralement inférieure au temps mis par le rotor pour atteindre la position angulaire à partir de laquelle le couple de positionnement a un sens et une valeur tels qu'il peut provoquer, sans apport d'énergie extérieure, la rotation du rotor jusqu'à la prochaine de ses positions d'équilibre stable.

La position angulaire mentionnée ci-dessus sera appelée position angulaire limite dans la suite de cette description.

Cette position angulaire limite n'est pas fixe, car elle dépend des frottements qui s'opposent à la rotation du rotor et qui sont variables.

Entre la fin de l'impulsion motrice et l'instant où il atteint la position angulaire limite, le rotor continue à tourner en réponse, notamment, à son énergie cinétique et à celle des divers éléments qu'il entraîne.

En outre, le court-circuit de la bobine à partir de la fin de l'impulsion motrice permet au courant de continuer à circuler dans celle-ci. La plus grande partie de l'énergie magnétique présente dans la bobine à la fin de l'impulsion motrice peut donc être transformée en énergie mécanique qui coopère avec l'énergie cinétique du rotor et des éléments qu'il entraîne pour faire tourner ce rotor en direction de la position angulaire limite. Seule une partie de cette énergie magnétique est dissipée sous forme de chaleur par le passage du courant dans la bobine.

Cependant, le courant dans la bobine diminue rapidement après la fin de l'impulsion motrice. Après avoir passé par zéro, ce courant change de sens et le moteur commence à fonctionner en générateur.

L'énergie électrique qu'il produit alors, et qui est entièrement dissipée dans la bobine sous forme de chaleur, provient uniquement de la transformation d'une partie de l'énergie cinétique du rotor et des éléments qu'il entraîne. Le rotor est donc freiné, et son énergie cinétique doit vaincre la somme du couple de positionnement, de deux couples résistants dus respectivement au frottement de ces éléments mécaniques entre eux et de leurs pivots dans leurs paliers et aux phénomènes magnétiques dont le stator du moteur est le siège, et du couple provoqué par ce freinage électrique.

Le changement de sens du courant, et donc le début du freinage du rotor, se produit avant que ce rotor ait atteint la position angulaire limite définie ci-dessus. Il est donc nécessaire que la partie de l'énergie cinétique qui n'est pas transformée en énergie électrique soit suffisante pour que le rotor atteigne la position angulaire limite malgré ce freinage.

En d'autres termes, l'énergie électrique qui doit être fournie au moteur pour que le rotor tourne correctement se compose d'une partie utile, qui est convertie en énergie mécanique, et d'une partie qui peut être qualifiée d'inutile et qui est entièrement dissipée dans la bobine après que le courant dans celle-ci a changé de sens de la manière décrite ci-dessus.

Des calculs théoriques confirmés par des essais pratiques ont montré que, selon le type de moteur et le genre de circuit utilisé pour le commander, l'énergie électrique inutile mentionnée ci-dessus peut atteindre jusqu'à 25% de l'énergie électrique minimum qui doit être fournie au moteur pour que son rotor tourne correctement.

Les procédé et dispositifs de commande de moteurs pas à pas connus ont donc l'inconvénient de provoquer une diminution sensible du rendement du moteur. L'énergie dissipée inutilement dans le moteur doit bien entendu être fournie

par la source d'alimentation électrique du dispositif. Il en découle que, pour une capacité et donc un volume donnés de cette source, sa durée de vie est sensiblement diminuée ou, pour une durée de vie donnée de cette source, son volume est sensiblement augmenté.

Le brevet US-A-4 467 255 décrit un procédé de commande d'un moteur pas à pas selon lequel, contrairement à ce qui a été décrit ci-dessus, la bobine du moteur est mise en circuit ouvert pendant un temps fixe après la fin de chaque impulsion motrice puis mise en court-circuit jusqu'au début de l'impulsion motrice suivante. La variation de la tension induite dans la bobine par la rotation du rotor après la fin de l'impulsion motrice est utilisée pour déterminer si le rotor a tourné correctement en réponse aux impulsions motrices précédentes.

Ce procédé présente l'inconvénient que l'énergie magnétique présente dans la bobine à la fin de l'impulsion motrice ne peut pas être convertie en énergie mécanique puisque cette bobine est mise en circuit ouvert à ce moment.

Une variante de ce procédé permettant de supprimer partiellement ce inconvénient est également décrite dans le brevet US-A-4 467 255. Dans cette variante, la bobine du moteur est mise en court-circuit à la fin de chaque impulsion motrice pendant un temps fixe, prédéterminé, avant d'être mise en circuit ouvert pendant un autre temps fixe et d'être ensuite remise en court-circuit jusqu'au début de l'impulsion motrice suivante.

Cependant, la vitesse de décroissance du courant après que la bobine a été mise pour la première fois en court-circuit dépend non seulement des caractéristiques de la bobine, mais également de la vitesse que le rotor a atteinte à la fin de l'impulsion motrice et donc de la charge mécanique entraînée par le rotor. Cette vitesse de décroissance du courant est donc variable. Si la durée fixée pour le premier court-circuit est inférieure au temps mis par le courant pour s'annuler, une partie de l'énergie magnétique de la bobine n'est pas transformée en énergie mécanique et est donc perdue. Si au contraire la durée fixée pour le premier court-circuit est supérieure au temps mis par le courant pour s'annuler, ce dernier change de signe et cause la dissipation inutile d'énergie décrite ci-dessus.

En outre, dans le procédé décrit par le brevet US-A-4 467 255, la durée pendant laquelle la bobine est mise en circuit ouvert avant d'être remise en court-circuit est également fixe.

Comme la vitesse du rotor à la fin de l'impulsion motrice et après celle-ci dépend de la charge mécanique entraînée par ce rotor, la position angulaire de ce dernier au moment où la bobine est remise en court-circuit est variable.

Si cette position angulaire est située avant la position angulaire limite définie ci-dessus, le rotor est freiné par ce court-circuit, et à nouveau une partie de son énergie cinétique est dissipée inutilement.

Si la position angulaire du rotor au moment de ce court-circuit est proche de sa deuxième position d'équilibre stable, il peut arriver que son énergie cinétique soit suffisante pour lui faire dépasser cette deuxième position d'équilibre stable et lui faire atteindre la suivante. Dans un tel cas, le rotor fait donc deux pas au lieu d'un seul.

Le rendement et la sécurité de fonctionnement d'un moteur commandé selon le procédé décrit dans le brevet US-A-4 467 255 ne sont donc pas satisfaisants.

Un but de la présente invention est de proposer un procédé de commande d'un moteur pas à pas grâce auquel les inconvénients mentionnés ci-dessus sont éliminés, c'est-à-dire grâce auquel le rendement du moteur est plus élevé qu'avec les procédés connus, la durée de vie de la source d'alimentation du dispositif comprenant ce moteur étant donc plus longue pour un volume donné de cette source ou, pour une durée de vie donnée de cette source, son volume étant plus faible, sans pour autant que la sécurité de fonctionnement du moteur ne soit diminuée.

Un autre but de la présente invention est de proposer un dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé.

Ces buts sont atteints par le procédé et par le dispositif revendiqués.

La présente invention va être décrite à l'aide du dessin annexé dans lequel:

— la figure 1 représente la variation en fonction du temps t de la tension u aux bornes de la bobine d'un moteur commandé selon le procédé de l'invention et du courant i passant dans cette bobine;

— la figure 2 représente la variation en fonction de la position angulaire a du rotor de ce moteur, de son couple de positionnement Cp et du facteur de couplage G de son aimant permanent avec la bobine de ce moteur;

— la figure 3 est un schéma d'un dispositif mettant en œuvre le procédé selon l'invention; et

— la figure 4 est un diagramme représentant des signaux mesurés en divers points du circuit de la figure 3 et l'état de certains éléments de cette figure 3.

Il sera rendu évident par la suite de cette description que les circuits de commande mettant en œuvre le procédé selon l'invention peuvent être indifféremment du type dit à tension constante ou du type dit à courant constant.

Comme leur nom l'indique, les circuits à tension constante appliquent à la bobine du moteur une tension sensiblement constante pendant toute la durée de chaque impulsion motrice. Cette tension constante est généralement celle de la source d'alimentation du dispositif équipé de ce circuit. De même, les circuits à courant constant font passer dans la bobine du moteur un courant sensiblement constant pendant toute la durée de chaque impulsion motrice.

Il sera également rendu évident par la suite de cette description que les circuits mettant en œuvre le procédé selon l'invention peuvent indifféremment être du genre de ceux qui produisent des impulsions motrices de longueur fixe ou du genre de ceux qui ajustent la durée de ces impulsions motrices de n'importe laquelle des nombreuses manières connues.

Les figures 1 et 2 illustrent le procédé selon l'invention dans un cas, pris à titre d'exemple non limitatif, où il est mis en œuvre par un circuit du type dit à tension constante et qui comporte des moyens pour ajuster la durée de chaque impulsion motrice en dépendance de la charge mécanique entraînée par le rotor pendant cette même impulsion motrice.

Dans la figure 1, l'instant où le circuit de commande commence à appliquer l'impulsion motrice au moteur est désigné par t0, et la tension appliquée à la bobine pendant cette impulsion motrice est désignée par Ua.

On admettra que, à l'instant t0, le rotor est arrêté dans une de ses positions d'équilibre stable, qui est désignée par S1 à la figure 2, ou à proximité immédiate de celle-ci, et que la polarité de la tension Ua est celle qui provoque la rotation du rotor en direction de sa deuxième position d'équilibre stable, désignée par S2 à la figure 2.

A partir de l'instant t0, le courant i circulant dans la bobine en réponse à la tension Ua suit, de manière bien connue, une courbe semblable à celle qui est représentée à la figure 1 avec la référence Ia.

En outre, le rotor tourne en direction de sa deuxième position d'équilibre stable S2 en réponse au couple moteur produit par le passage du courant i dans la bobine.

On admettra que le circuit de commande du moteur interrompt l'impulsion motrice à un instant t1 en supprimant la liaison entre la source de la tension Ua et la bobine et en mettant cette dernière en court-circuit. Le circuit de com-

mande détermine cet instant t1 en dépendance de la charge mécanique entraînée par le rotor, d'une manière qui dépend de sa constitution.

A l'instant t1, le rotor occupe une position angulaire désignée par A1. L'expérience montre que cette position A1 est séparée de la position S1 par un angle qui est généralement inférieur à 60°.

A partir de l'instant t1, le courant i circulant dans la bobine commence à diminuer en suivant une courbe, désignée par Ic à la figure 1, dont la forme dépend des caractéristiques de la bobine, c'est-à-dire de sa résistance et de son inductivité, ainsi que de la tension induite dans la bobine par la rotation du rotor, c'est-à-dire de la vitesse de ce rotor et du facteur de couplage entre son aimant permanent et la bobine.

Comme dans les procédés connus, l'énergie magnétique contenue dans la bobine à l'instant t1 est transformée en énergie mécanique qui contribue à faire tourner le rotor en direction de sa position S2.

Dans le procédé selon l'invention, le courant i circulant dans la bobine est mesuré, au moins à partir de l'instant t1, et l'instant où il devient nul est détecté. Cet instant est désigné par t2 à la figure 1.

A l'instant t2, le circuit de commande supprime le court-circuit de la bobine et met celle-ci en circuit ouvert.

Le rotor, qui a atteint à l'instant t2 une position désignée par A2 à la figure 2, continue bien entendu à tourner en direction de la position S2.

A partir de cet instant t2, la tension aux bornes de la bobine, qui était nulle depuis l'instant t1, devient égale à la tension induite dans cette bobine par la rotation du rotor. Cette tension est désignée par Ui à la figure 1.

Après un certain temps, qui dépend également de la charge mécanique entraînée par le rotor, celui-ci atteint une position, désignée par A3 à la figure 2, à laquelle le facteur de couplage G de son aimant permanent avec la bobine du moteur s'annule. La tension Ui s'annule donc également.

Dans le procédé selon l'invention, cette tension Ui est mesurée, et l'instant où elle s'annule est détecté. Cet instant est désigné par t3 à la figure 1.

A l'instant t3, le circuit de commande met la bobine du moteur en court-circuit une deuxième fois. Le rotor du moteur a atteint, à cet instant t3, une position désignée par A3 qui est située entre sa position angulaire limite définie ci-dessus, désignée par Al à la figure 2, et sa deuxième position d'équilibre stable S2.

Le rotor termine donc sa rotation en réponse à son énergie cinétique et à celle des éléments qu'il entraîne et au couple de positionnement Cp.

Le courant induit dans la bobine par cette rotation, qui est désigné par I1 à la figure 1, provoque un freinage électrique du rotor.

Ce freinage ralentit le rotor qui atteint ainsi sa deuxième position d'équilibre stable S2 avec une vitesse relativement faible. Après quelques oscillations éventuelles, le rotor s'arrête à cette position S2 ou à proximité immédiate de celle-ci.

La bobine reste court-circuitée jusqu'au début de l'impulsion motrice suivante, à partir duquel le processus décrit ci-dessus se répète. Entre les impulsions motrices, le rotor est donc maintenu convenablement à la position d'équilibre stable où il se trouve, comme avec les procédés de commande connus, par l'effet conjugué du couple de positionnement Cp et du couple de freinage électrique dû au court-circuit de la bobine.

Il faut relever que, dans un moteur commandé selon le procédé de l'invention décrit ci-dessus, le courant i ne peut pas changer de sens après s'être annulé à l'instant t2, puisque la bobine est mise en circuit ouvert à cet instant.

Ceci est le contraire de ce qui se passe avec les procédés connus où la bobine est court-circuitée en permanence entre les impulsions motrices, ou avec le procédé décrit dans le brevet US-A-4 467 255 mentionnée ci-dessus dans le cas où le temps fixe pendant lequel la bobine est court-circuitée est plus long que le temps, variable, mis par le courant pour s'annuler.

Aucun couple de freinage électrique n'est appliqué au rotor du moteur commandé selon le procédé de l'invention entre les instants t2 et t3. L'énergie cinétique de ce rotor et des éléments qu'il entraîne ne doit donc vaincre que le couple de positionnement, qui s'oppose à sa rotation lorsqu'il se trouve à la position A2, et les couples résistants d'origine magnétique et mécanique mentionnés ci-dessus.

En outre, aucune énergie électrique n'est évidemment dissipée dans la bobine après l'instant t2. Le circuit de commande du moteur peut donc être dimensionné de manière que la quantité d'énergie électrique qui doit être fournie au moteur pendant l'impulsion motrice soit sensiblement diminuée par rapport à celle qui doit être fournie à un moteur commandé selon un des procédés connus.

Comme cela a déjà été mentionné, cette diminution peut atteindre 25% selon le genre de moteur et de circuit de commande de celui-ci.

Pour des dimensions, et donc une capacité données de la source d'alimentation du dispositif comprenant un moteur commandé selon le procédé de l'invention, la durée de vie de cette source est donc sensiblement augmentée, ou, pour une durée de vie donnée, ces dimensions sont donc sensiblement diminuées.

D'autre part, le procédé selon l'invention garantit que la bobine du moteur n'est mise en circuit ouvert que lorsque toute l'énergie magnétique présente dans la bobine à la fin de l'impulsion motrice, à l'instant t1, a été utilisée et transformée en énergie mécanique, aux pertes dues au passage du courant dans la bobine près.

Ceci est le contraire de ce qui se passe avec le procédé décrit dans le brevet US-A-4 467 255 dans le cas où le temps fixe pendant lequel la bobine est court-circuitée est plus court que le temps variable mis par le courant pour s'annuler.

Dans un tel cas, le procédé selon l'invention permet donc également une économie d'énergie électrique.

Enfin, le procédé selon l'invention garantit également que, à l'instant t3 où la bobine du moteur est remise en court-circuit, la position A3 occupée par le rotor est située entre sa position angulaire limite AL et sa deuxième position d'équilibre stable S2. Le rotor peut donc certainement terminer son pas uniquement en réponse à son couple de positionnement.

De même, la position A3 est certainement suffisamment éloignée de la position S2 pour que le rotor ne dépasse pas exagérément cette dernière et qu'il ne risque pas de faire un pas supplémentaire intempestif.

Le procédé selon l'invention améliore donc la sécurité de fonctionnement du moteur par rapport au procédé décrit dans le brevet US-A-4 467 255.

Les figures 1 et 2 illustrent également une variante du procédé selon l'invention. Selon cette variante, c'est l'instant t3′ où la tension induite Ui atteint une valeur prédéterminée Ud qui est détecté pendant que la bobine est en circuit ouvert, après l'instant t2, et non pas l'instant t3 où cette tension Ui devient égale à zéro, et la bobine est remise en court-circuit à cet instant t3′.

Les courbes dessinées en pointillé à la figure 1 indiquent la variation de la tension Ui et du courant Ii dans cette variante, et la position angulaire atteinte par le rotor à l'instant t3′ est désignée par A3′ à la figure 2.

On voit que cette variante ne diffère que peu du procédé selon l'invention décrit ci-dessus, et qu'elle présente les mêmes avantages que celui-ci par rapport aux procédés connus.

Par rapport au procédé selon l'invention, cette variante a l'avantage de réduire quelque peu le temps pendant lequel la bobine du moteur est en circuit ouvert, et pendant lequel le rotor est donc plus sensible à des accélérations angulaires accidentelles dues, par exemple, à des chocs.

La figure 3 représente, à titre d'exemple non limitatif, le schéma d'un circuit mettant en œuvre le procédé selon l'invention décrit ci-dessus.

Ce circuit fait partie d'une pièce d'horlogerie électronique dont les moyens d'affichage, non représentés, sont constitués par des aiguilles ou des disques et sont entraînés par un moteur pas à pas du type décrit ci-dessus, symbolisé par sa bobine 1 et l'aimant permanent 2 de son rotor.

Le circuit de la figure 3 comporte un formateur d'impulsions motrices classique comprenant quatre transistors MOS Tr1, Tr2, Tr3 et Tr4.

Les transistors Tr1 et Tr2 sont de type p, et leur source est reliée au pôle positif d'une source d'alimentation, non représentée. Ce pôle positif est symbolisé par le signe +.

Les transistors Tr3 et Tr4 sont de type n, et leur source est reliée, par l'intermédiaire d'une résistance 3 de faible valeur, au pôle négatif de la source d'alimentation symbolisé par le signe −. Le rôle de la résistance 3 sera décrit plus loin.

Les drains des transistors Tr1 et Tr3 sont reliés, ensemble, à l'une des bornes de la bobine 1, et les drains des transistors Tr2 et Tr4 sont reliés, ensemble, à l'autre borne de cette bobine 1.

Les circuits électroniques qui vont être décrits plus loin sont également alimentés par la source mentionnée ci-dessus. En concordance avec la convention généralement adoptée, les entrées et les sorties des portes logiques, des inverseurs et des flip-flops faisant partie de ces circuits électroniques seront désignées comme étant à l'état logique «0» lorsque leur potentiel sera sensiblement égal à celui du pôle négatif − de la source d'alimentation, et à l'état logique «1» lorsque leur potentiel sera sensiblement égal à celui du pôle positif + de cette source.

Il en découle que les transistors Tr3 et Tr4, ainsi que les autres transistors MOS de type n qui seront décrits ci-dessous, sont bloqués lorsque leur électrode de commande est à l'état logique «0» et conducteurs lorsque leur électrode de commande est à l'état «1». Les transistors Tr1 et Tr2, par contre, sont bloqués lorsque leur électrode de commande est à l'état logique «1» et conducteurs lorsque leur électrode de commande est à l'état logique «0».

Les sources des transistors Tr3 et Tr4 sont reliées à l'entrée d'un circuit 4 de détermination de la durée de chaque impulsion motrice en dépendance de la charge mécanique entraînée par le rotor du moteur pas à pas pendant cette impulsion motrice.

Ce circuit 4 est par exemple semblable à celui qui est décrit dans le brevet US-A-4 446 413 déjà mentionné. Ce dernier circuit calcule en permanence, pendant chaque impulsion motrice, la valeur de la tension induite dans la bobine 1 par la rotation de l'aimant 2 du rotor. Il réalise ce calcul à partir de la tension produite aux bornes de la résistance 3 par le courant circulant dans cette bobine 1. Ce circuit détermine la valeur de la charge mécanique entraînée par le rotor en mesurant le temps mis par cette tension induite pour atteindre une valeur prédéterminée. Il détermine ensuite l'instant optimum auquel l'impulsion motrice doit être interrompue en fonction de ce temps mesuré, et produit à sa sortie un signal qui prend l'état «1» à cet instant optimum.

Les bornes de la bobine 1 sont reliées à l'entrée non-inverseuse d'un amplificateur différentiel 5 par l'intermédiaire de deux portes de transmission 6 et 7. Cette entrée non-inverseuse est en outre reliée au pôle négatif − de la source d'alimentation par une résistance 8. L'entrée inverseuse de l'amplificateur 5 est reliée directement à ce pôle négatif −.

Les bornes de la bobine 1 sont également reliées aux drains de deux transistors MOS Tr5 et Tr6, de type n, dont les sources sont reliées, ensemble, à l'entrée non-inverseuse d'un amplificateur différentiel 9 et, par l'intermédiaire d'une résistance 10, au pôle négatif − de la source d'alimentation. L'entrée inverseuse de cet amplificateur 9 est reliée directement à ce pôle négatif −.

Les amplificateurs 5 et 9 ont tous deux une grande amplification, de sorte que leur sortie prend le potentiel du pôle positif + de la source d'alimentation, c'est-à-dire l'état logique «1», dès que leur entrée non-inverseuse a un potentiel positif par rapport au potentiel du pôle négatif − de cette source. La sortie de ces amplificateurs 5 et 9 est au potentiel du pôle négatif − de la source d'alimentation, c'est-à-dire à l'état logique «0», lorsque le potentiel de leur entrée non-inverseuse est égal au potentiel de leur entrée inverseuse, ou négatif par rapport à ce dernier.

Les portes de transmission 6 et 7 sont bloquées lorsque leur électrode de commande est à l'état logique «0», et conductrices lorsque leur électrode de commande est à l'état logique «1».

Les électrodes de commande des transistors Tr1 à Tr6 et des portes de transmission 6 et 7 sont reliées aux sorties d'un circuit logique L comprenant les portes OU 11 à 15 et les portes ET 16 à 21.

Les connexions des entrées et des sorties de ces portes 11 à 21 entre elles et avec les électrodes de commande des transistors Tr1 à Tr6 et des portes de transmission 6 et 7 ne seront pas décrites en détail car elles ressortent clairement du dessin. En outre, les fonctions réalisées par ces portes 11 à 21, qui seront décrites plus loin peuvent être également réalisées par d'autres circuits logiques comportant d'autres portes interconnectées différemment.

Les entrées des portes 15 à 21, qui constituent les entrées du circuit logique L, sont reliées aux sorties d'un circuit séquentiel S comprenant les flip-flops 22 à 27, les portes ET 28 à 31 et les inverseurs 32 et 33.

Les flip-flops 22 à 27 sont tous de type T, c'est-à-dire que leur sortie Q change d'état chaque fois que leur entrée d'horloge C passe de l'état logique «0» à l'état logique «1», à condition toutefois que leur entrée de remise à zéro R soit à l'état logique «0». Si cette entrée R est à l'état «1», leur sortie Q est maintenue à l'état «0» quel que soit l'état de leur entrée C.

Les liaisons entre les entrées du circuit logique L et les sorties du circuit séquentiel S, ainsi que les connexions des entrées et des sorties des composants de ce circuit séquentiel S ne seront pas non plus décrites en détail pour des raisons analogues à celles qui ont été données ci-dessus à propos du circuit logique L.

Enfin, les entrées du circuit séquentiel S sont reliées aux sorties du circuit 4 de détermination de la durée des impulsions motrices, des amplificateurs 5 et 9, et d'un diviseur de fréquence 34 qui forme, avec un oscillateur 35, la base de temps de la pièce d'horlogerie.

Le fonctionnement d'un circuit de la figure 3 va être décrit à l'aide des figures 1, 2 et 4.

Dans la figure 4, les diagrammes désignés par les références S34, S4, S5 et S9 représentent respectivement les états logiques des sorties du diviseur de fréquence 34, du circuit 4 et des amplificateurs 5 et 9. Les diagrammes désignés par Q22 à Q27 représentent respectivement les états logiques des sorties Q des flip-flops 22 à 27. Enfin, les diagrammes désignés par Tr1 à Tr6, 6 et 7 représentent respectivement l'état bloqué,

repéré par la référence b, ou l'état conducteur, repéré par la référence c, des transistors Tr1 à Tr6 et des portes de transmission 6 et 7.

Les instants t0 à t3 indiqués dans la figure 4 sont identiques aux instants t0 à t3 de la figure 1.

Il sera rendu évident par la suite de cette description que, immédiatement avant le début de chaque impulsion motrice, les sorties Q des flip-flops 23 à 26 sont à l'état logique «0» et la sortie Q du flip-flop 27 est à l'état «1».

On admettra que, au moment où commence cette description, la sortie Q du flip-flop 22 est à l'état «0».

Il est facile de voir que, dans ces conditions, les électrodes de commande des transistors Tr1 à Tr6 et des portes de transmission 6 et 7 sont à l'état «0». Les transistors Tr1 et Tr2 sont donc conducteurs, et les transistors Tr3 et Tr6 ainsi que les portes de transmission 6 et 7 sont bloqués.

La bobine 1 est donc court-circuitée à travers les transistors Tr1 et Tr2. Le freinage électrique dû à ce court-circuit s'ajoute à l'effet du couple de positionnement du rotor pour maintenir celui-ci dans la position d'équilibre stable qu'il occupe. On admettra que, au début de cette description, cette position est celle qui est désignée par S1 à la figure 2.

Les transistors Tr3 à Tr6 et les portes de transmission 6 et 7 étant bloqués, l'entrée du circuit 4 et les entrées non-inverseuses des amplificateurs 5 et 9 sont respectivement maintenues à l'état logique «0» par l'intermédiaire des résistances 3, 8 et 10. Les sorties de ce circuit 4 et des amplificateurs 5 et 9 sont donc également à l'état «0».

Le diviseur de fréquence 34 délivre une impulsion chaque fois que le rotor du moteur doit tourner d'un pas c'est-à-dire, par exemple, chaque seconde.

Une de ces impulsions est produite à l'instant t0 des figures 1 et 4. En réponse à cette impulsion, la sortie Q du flip-flop 27 passe à l'état «0», et les sorties Q des flip-flops 22 et 23 passent à l'état «1». En réponse à ces derniers états «1», le transistor Tr2 se bloque et le transistor Tr4 devient conducteur.

Une impulsion motrice est donc appliquée à la bobine 1 dont les bornes sont respectivement reliées du pôle positif + de la source d'alimentation à travers le transistor Tr1 et au pôle négatif − de cette source à travers le transistor Tr4 et la résistance 3.

Un courant commence à circuler dans la bobine 1 en réponse à cette impulsion motrice, dans les sens indiqué par la flèche désignée par I, et le rotor du moteur commence à tourner.

En outre, une tension proportionnelle à ce courant est appliquée à l'entrée du circuit 4 de détermination de la durée de l'impulsion motrice.

A l'instant t1, qui est séparé de l'instant t0 par un laps de temps dont la durée dépend de la valeur de la charge mécanique entraînée par le rotor du moteur, les conditions fixées par la constitution du circuit 4 sont remplies, et la sortie de ce circuit 4 passe à l'état «1», ce qui marque la fin de l'impulsion motrice.

La sortie Q du flip-flop 23 repasse à l'état «0» et la sortie Q du flip-flop 24 passe à l'état «1».

En réponse à cet état «1», les transistors Tr1 et Tr4 se bloquent, alors que les transistors Tr3 et Tr6 deviennent conducteurs. La bobine 1 est donc séparée du pôle positif + de la source d'alimentation, et mise en court-circuit à travers le transistor Tr6, les résistances 10 et 3 et le transistor Tr3.

Le courant qui circulait dans cette bobine peut donc continuer à circuler, mais passe maintenant, notamment, dans la résistence 10. Après un laps de temps très court, la sortie de l'amplificateur 9 passe à l'état logique «1», ce qui provoque le passage à l'état «1» de la sortie Q du flip-flop 25. La sortie de l'inverseur 32 passant simultanément à l'état «0», le circuit reste dans cet état.

Le courant qui circule encore dans la bobine 1 produit un couple moteur qui s'ajoute au couple dû à l'inertie du rotor et des éléments mécaniques qu'il entraîne pour continuer à faire tourner le rotor.

Ce courant circulant dans la bobine 1 diminue rapidement. Lorsqu'il devient égal à zéro, à l'instant t2, la sortie de l'amplificateur 9 passe à l'état «0», et donc la sortie de l'inverseur 32 passe à l'état «1», ce qui provoque le passage de la sortie Q du flip-flop 24 à l'état «0» et le passage de la sortie Q du flip-flop 26 à l'état «1».

En réponse à ce dernier état «1», les transistors Tr3 et Tr6 se bloquent. La bobine 1 est donc mise en circuit ouvert, et aucun courant ne peut plus circuler dans cette bobine 1.

Le rotor du moteur continue cependant à tourner en réponse à son énergie cinétique et à celle des éléments mécaniques qu'il entraîne, mais il n'est pas freiné électriquement puisqu'aucun courant ne circule plus dans la bobine 1 à partir de l'instant t2.

Entre la position angulaire A2 que le rotor occupe à l'instant t2 et la position angulaire limite AL définie ci-dessus, l'énergie cinétique de ce rotor et des éléments mécaniques qu'il entraîne ne doit donc vaincre que la somme du couple de positionnement Cp et des couples résistants d'origine magnétique et mécanique mentionnés ci-dessus. A partir de la position angulaire limite AL, le couple de positionnement, qui a changé de sens, s'ajoute à celui qui est produit par l'énergie cinétique restante pour faire tourner le rotor.

Le passage de la sortie Q du flip-flop 26 à l'état «1» à l'instant t2, entraîne le passage de la porte de transmission 7 à l'état conducteur. La tension induite dans la bobine 1 par la rotation du rotor est donc appliquée à l'entrée de l'amplificateur 5 dont la sortie passe à l'état logique «1» après un laps de temps très court. La sortie Q du flip-flop 27 passe donc à l'état «1». La sortie de l'inverseur 33 passant simultanément à l'état «0», les sorties Q des flip-flops 25 et 26 restent à l'état «1».

Lorsque le rotor atteint la position désignée par A3 à l'instant t3, le facteur de couplage de son aimant permanent 2 avec la bobine 1, et donc la tension induite dans cette bobine 1, deviennent égaux à zéro. La sortie de l'amplificateur 5 passe donc à l'état logique «0», et la sortie de l'inverseur 33 à l'état «1».

En réponse à ce dernier état «1», les sorties Q des flip-flops 25 et 26 passent à l'état «0».

Il en découle que la porte de transmission 7 est à nouveau bloquée, et que les transistors Tr1 et Tr2 redeviennent conducteurs, ce qui court-circuite à nouveau la bobine 1. Le rotor est donc à nouveau freiné électriquement. Mais le couple de positionnement Cp a maintenant un sens tel qu'il provoque la rotation du rotor jusqu'à la position d'équilibre stable désignée par S2 à la figure 2 sans aucun apport d'énergie. Le freinage électrique dû au court-circuit de la bobine 1 et le couple de positionnement Cp provoquent un amortissement rapide des oscillations du rotor autour de la position S2, ainsi que son maintien ultérieur dans cette position.

Après l'instant t3, le circuit de la figure 3 se retrouve exactement dans la même état qu'avant l'instant t0, à l'exception de la sortie Q du flip-flop 22 qui est maintenant à l'état «1». Le circuit de la figure 3 reste dans cet état jusqu'à ce que la sortie du diviseur de fréquence 34 produise une nouvelle impulsion.

Le fonctionnement du circuit de la figure 3 en réponse à cette nouvelle impulsion ne sera pas décrit en détail car il est très semblable à celui qui a été décrit ci-dessus.

On voit facilement que, en réponse à cette nouvelle impulsion, le transistor Tr1 se bloque et le transistor Tr3 de-

vient conducteur. L'impulsion motrice qui est ainsi appliquée à la bobine 1 a la polarité inverse de celle qui a été décrite ci-dessus, et le courant qui passe dans la bobine 1 en réponse à cette impulsion motrice a le sens inverse de celui de la flèche I.

La tension proportionnelle à ce courant a cependant la même polarité que ci-dessus.

L'état «1» produit par le circuit 4 en réponse à cette tension à l'instant où l'impulsion motrice en cours doit être interrompue provoque comme ci-dessus la mise en court-circuit de la bobine 1. Mais cette fois-ci, ce court-circuit est réalisé à travers le transistor Tr5, à nouveau les résistances 10 et 3, et le transistor Tr4.

Comme ci-dessus, la tension produite dans la résistance 10 par le courant qui continue à circuler dans la bobine est appliquée à l'entrée non-inverseuse de l'amplificateur 9.

Lorsque ce courant devient égal à zéro, la sortie de l'inverseur 32 passe à nouveau à l'état «1». Toujours comme ci-dessus, cet état «1» provoque la mise en circuit ouvert de la bobine 1 et l'application de la tension Ui induite dans cette bobine 1 à l'entrée non-inverseuse de l'amplificateur 5. Cette fois-ci, cependant, cette tension Ui est appliquée à cette entrée de l'amplificateur 5 par l'intermédiaire de la porte de transmission 6 qui est maintenant dans son état conducteur.

Lorsque la tension Ui devient égale à zéro, la sortie de l'inverseur 29 passe à nouveau à l'état «1». Toujours comme ci-dessus, cet état «1» provoque la remise des transistors Tr1 et Tr2 dans leur état conducteur, et donc le court-circuit de la bobine 1 à travers ces transistors Tr1 et Tr2.

Le circuit de la figure 3 se retrouve exactement dans l'état qu'il avait avant l'instant t0, et il reste dans cet état jusqu'à ce que le diviseur de fréquence 34 produise une nouvelle impulsion. Cette nouvelle impulsion a bien entendu le même effet que celle produite à l'instant t0.

Une variante du circuit décrit ci-dessus est également représentée dans la figure 3.

Dans cette variante, l'entrée inverseuse de l'amplificateur 5 n'est pas reliée au pôle négatif − de la source d'alimentation, mais à une source d'une tension de référence constituée, par exemple, par un diviseur de tension formé de deux résistances branchées en série entre les pôles positif + et négatif − de la source d'alimentation du dispositif. Ces résistances sont dessinées en pointillé à la figure 3, avec les références 36 et 37.

Ces résistances 36 et 37 ont une valeur telle que la tension qu'elles appliquent à l'entrée non-inverseuse de l'amplificateur 5 est la tension Ud mentionnée ci-dessus.

Il est facile de voir que cette variante du circuit de la figure 3 permet la mise en œuvre de la variante décrite ci-dessus du procédé selon l'invention. En effet, dans cette variante du circuit, la sortie de l'amplificateur 5 passe à l'état «0» à l'instant où la tension induite dans la bobine 1 pendant que celle-ci est en circuit ouvert atteint la valeur Ud, c'est-à-dire l'instant t3'.

Il faut relever que la présente invention s'applique également bien à la commande de n'importe quel genre de moteur pas à pas, que celui-ci comporte une ou plusieurs bobines et/ou un aimant permanent bipolaire ou multipolaire couplé à la bobine par un stator ou sans stator.

L'invention s'applique également bien quelle que soit la manière de commander ce moteur, c'est-à-dire par des impulsions motrices ayant toutes la même polarité ou ayant des polarités alternées.

De même, le circuit de commande du moteur peut comporter un circuit 4 de détermination de la longueur des impulsions motrices d'un genre différent de celui qui a été décrit.

Ce circuit 4 peut être du genre de ceux qui déterminent la charge mécanique entraînée par le rotor après la fin des impulsions motrices et qui ajustent la durée des impulsions motrices suivantes en dépendance de cette charge mécanique.

Ce circuit 4 peut également ne pas exister. L'entrée du circuit S qui est reliée dans l'exemple décrit ci-dessus à la sortie du circuit 4 peut alors, par exemple, être reliée à une sortie du diviseur de fréquence 34 délivrant un signal à des instants séparés de chaque instant t0 par un laps de temps de durée déterminée. Une telle liaison est représentée en pointillé à la figure 3, avec la référence 4a. Dans un tel cas, la durée des impulsions motrices est évidemment fixe et égale à la durée du laps de temps mentionné ci-dessus.

Enfin, le dispositif comprenant un moteur commandé selon la présente invention peut ne pas être une pièce d'horlogerie. Il peut être, par exemple, un dispositif mesurant une grandeur physique quelconque, telle qu'une température ou une pression, et affichant la valeur de cette grandeur physique à l'aide d'une ou plusieurs aiguilles entraînées en rotation par le moteur devant un cadran. Dans un tel cas, les impulsions provoquant l'application des impulsions motrices à la bobine du moteur ne sont évidemment pas forcément périodiques.

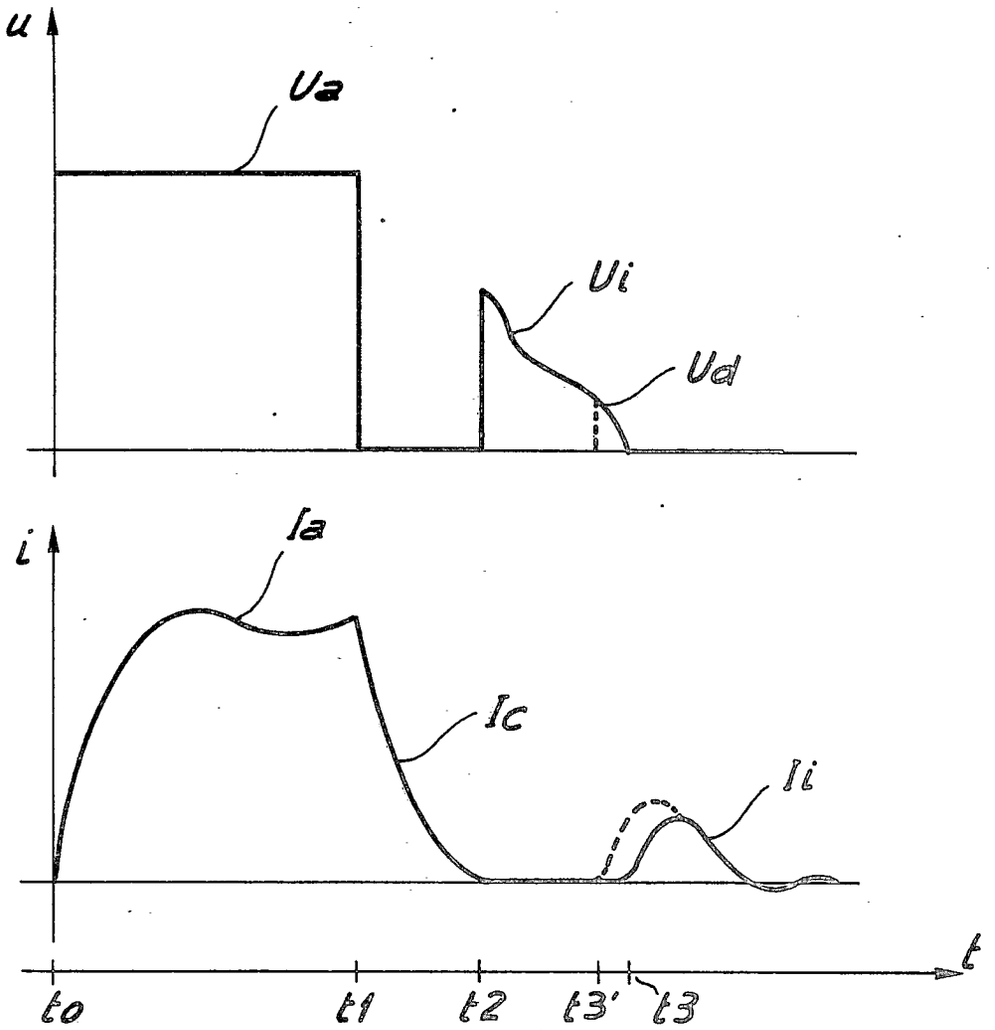


Fig. 1

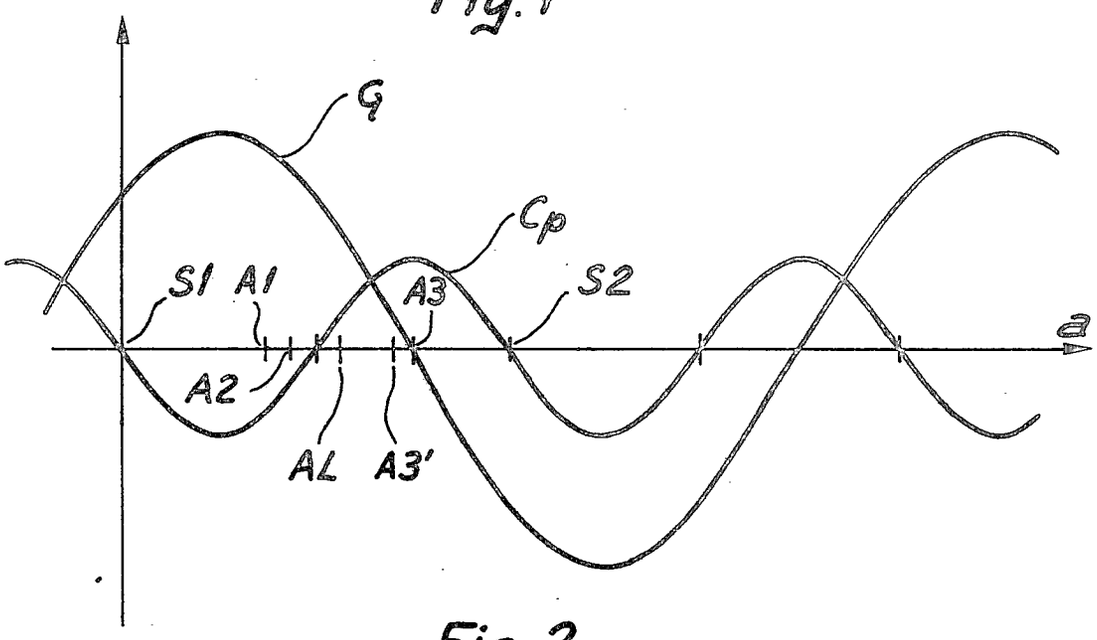


Fig. 2

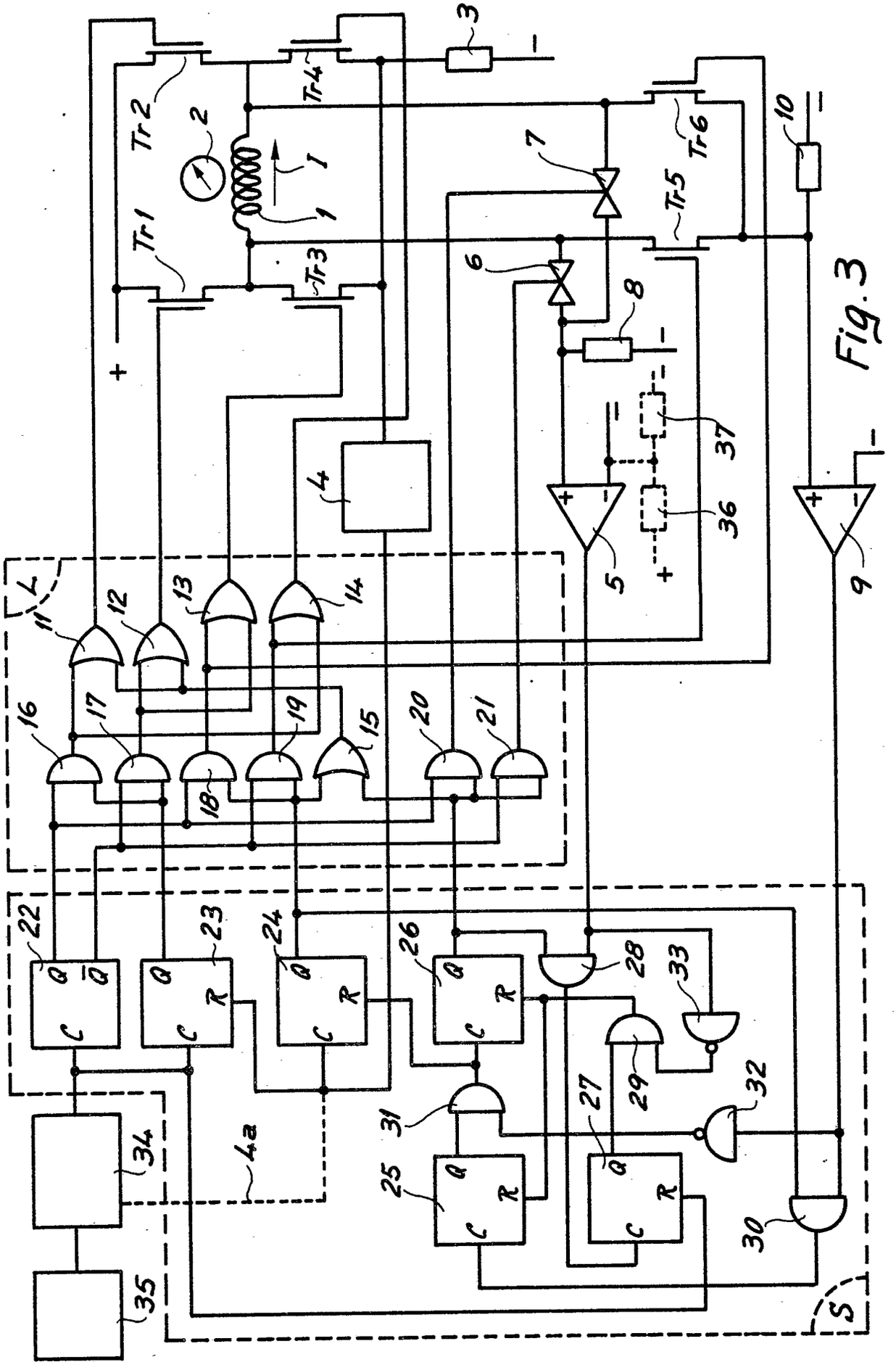

Tr1
Tr2
Tr3
Tr4
Tr5
Tr6
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
4a
L
S

Fig. 3

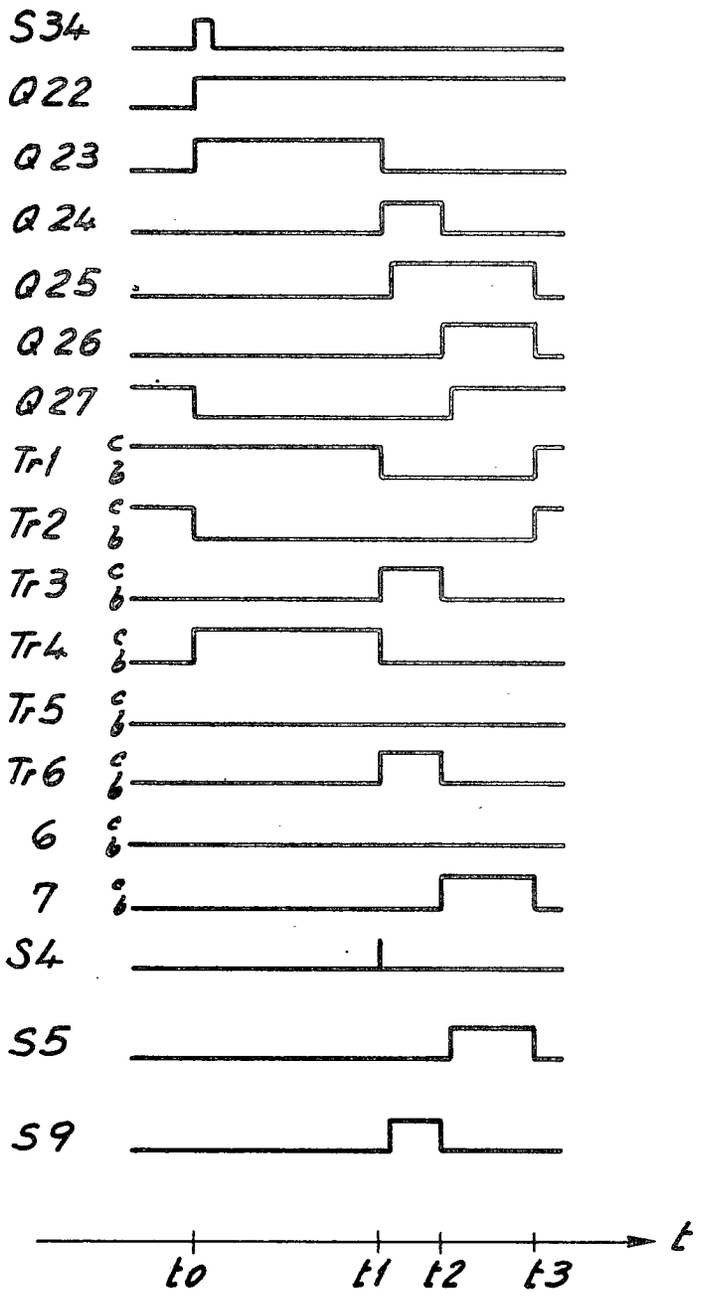

S34
Q22
Q23
Q24
Q25
Q26
Q27
Tr1
Tr2
Tr3
Tr4
Tr5
Tr6
6
7
S4
S5
S9
t
t0
t1
t2
t3

Fig. 4