

CONFÉDÉRATION SUISSE  
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

① CH 673 750 G A3

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>: G 04 C 3/14  
H 02 P 8/00

**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

<p>⑲ Numéro de la demande: 3556/88</p> <p>⑳ Date de dépôt: 23.09.1988</p> <p>㉔ Demande publiée le: 12.04.1990</p> <p>㉖ Fascicule de la demande publié le: 12.04.1990</p>	<p>㉑ Requêteur(s): Asulab S.A., Biel/Bienne</p> <p>㉒ Inventeur(s): Taghezout, Daho, Lausanne</p> <p>㉓ Mandataire: ICB Ingénieurs Conseils en Brevets SA, Neuchâtel</p> <p>㉕ Rapport de recherche au verso</p>
--	---

⑤④ **Procédé de détection des instants de passage du rotor d'un moteur pas à pas par une position prédéterminée.**

⑤⑦ Le procédé consiste à détecter, au moyen d'un circuit de coïncidence (11), le moment  $t(Z_i)$  où la tension induite de mouvement  $U(t)$  aux bornes de la bobine (3) du moteur passe par zéro. A l'aide d'un circuit intégrateur-comparateur (12), on détermine l'instant, correspondant à l'instant recherché, auquel la fonction du temps  $t$

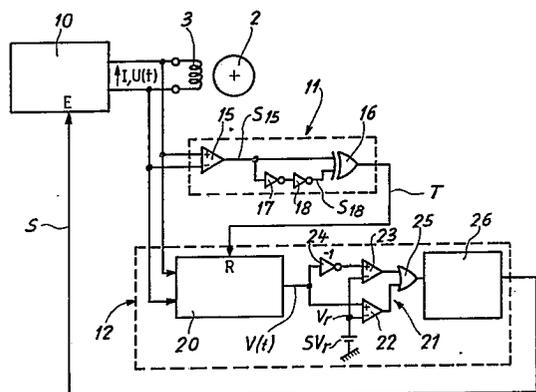
$$\int_{t(Z_i)}^t U(t) dt$$

atteint une valeur, représentée par une tension de référence ( $V_r$ ). Celle-ci est égale à la variation du flux dans la bobine produite par le passage du rotor (2) de la position où la tension induite de mouvement  $U(t)$  est nulle, à celle correspondant à un équilibre statique stable.

Cet instant est donné par une brève impulsion d'un signal (S) fourni par le circuit intégrateur-comparateur (12), et appliqué à l'entrée d'un circuit d'attaque (10) pour

déclencher une impulsion motrice aux bornes de la bobine (3) du moteur.

Application notamment aux moteurs pas à pas pour pièces d'horlogerie.





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

## RAPPORT DE RECHERCHE

Demande de brevet N°:

CH 3556/88

HO 15470

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée
A	US-A-4 550 279 (E. KLEIN) * Colonne 5, lignes 3-28; colonne 10, lignes 21-52; colonne 12, lignes 5-8; figures *	1-6
A	EP-A-0 024 737 (SSIH MANAGEMENT SERVICES SA) * Pages 1,2 *	1
A	GB-A-2 082 806 (E.T.A. SA FABRIQUES D'EBAUCHES) * Figures *	1
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
		G 04 C H 02 P
Date d'achèvement de la recherche		
07-06-1989		
<p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		

## REVENDECATIONS

1. Procédé de détection de l'instant de passage du rotor d'un moteur pas à pas, notamment de pièce d'horlogerie, par une position prédéterminée, ledit rotor comprenant un aimant permanent et présentant au moins une position d'équilibre statique stable, et le moteur comportant une bobine couplée magnétiquement au rotor, le flux magnétique produit par le rotor dans la bobine prenant une première valeur, égale à la valeur maximum du flux, lorsque le rotor est décalé d'un angle A par rapport à ladite position d'équilibre, et une deuxième valeur lorsque le rotor se trouve dans ladite position prédéterminée, caractérisé en ce qu'il consiste:

— à déterminer le moment où ledit flux (F) passe par ladite première valeur et qui correspond au moment (t(Zi)) du passage par zéro de la tension induite (U(t)) dans la bobine (3) par le mouvement du rotor (2); et

— à déterminer, à partir de ce moment, l'instant (t(Ri)) auquel ledit flux a varié d'une valeur donnée (Fm—Fo), égale à la différence entre ladite première et ladite deuxième valeur, cet instant correspondant audit instant de passage du rotor par ladite position prédéterminée.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite position prédéterminée (Ri) correspond à ladite position d'équilibre statique stable du rotor.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que ledit instant (t(Ri)) auquel le flux a varié d'une valeur donnée, correspond à l'instant auquel la fonction

$$\int_{t(Zi)}^t U(t) dt$$

atteint une valeur égale à ladite différence (Fm—Fo) entre la première et la deuxième valeur du flux, U(t) désignant ladite tension induite, t(Zi) ledit moment de passage par zéro de cette tension, et t la variable temps.

4. Procédé selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que, dans le cas où la variation du flux en fonction de la position angulaire du rotor est sensiblement sinusoïdale, ladite différence (Fm—Fo) entre ladite première valeur du flux et ladite deuxième valeur de ce flux est donnée par la relation:

$$Fm(1 - \cos A),$$

Fm désignant ladite première valeur.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le rotor est animé d'un mouvement de rotation continu.

6. Circuit électronique destiné à détecter l'instant de passage du rotor d'un moteur pas à pas par une position prédéterminée, le moteur comprenant:

— un rotor comportant un aimant permanent et présentant au moins une position d'équilibre statique stable; et

— une bobine couplée magnétiquement au rotor et connectée audit circuit, le flux magnétique produit par le rotor dans la bobine prenant une première valeur, égale à la valeur maximum du flux, lorsque le rotor est décalé d'un angle A par rapport à ladite position d'équilibre, et une deuxième valeur lorsque le rotor se trouve dans ladite position prédéterminée, le mouvement du rotor engendrant dans la bobine une tension induite U(t) variant en fonction du temps t, caractérisé en ce qu'il comporte:

— un premier circuit (11) recevant ladite tension induite U(t) et fournissant un signal à l'instant t(Zi) où cette tension s'annule; et

— un deuxième circuit (12) recevant ladite tension induite et le signal produit par le premier circuit et agencé pour fournir un signal à un instant auquel la fonction

$$\int_{t(Zi)}^t U(t) dt$$

atteint une valeur donnée représentative de la différence (Fm—Fo) entre ladite première et ladite deuxième valeur du flux, cet instant correspondant audit instant (t(Ri)) de passage du rotor par ladite position prédéterminée.

## DESCRIPTION

La présente invention concerne un procédé permettant de détecter dans un moteur pas à pas, notamment pour pièce d'horlogerie, les instants de passage du rotor par une position angulaire prédéterminée, ces instants pouvant servir à définir, par exemple, le début des impulsions motrices appliquées à ce moteur. L'invention concerne également un circuit mettant en œuvre ce procédé.

En fonctionnement normal, le rotor d'un moteur pas à pas s'arrête entre deux pas consécutifs. Les impulsions motrices sont donc nécessairement appliquées à la bobine du moteur alors que le rotor se trouve dans une position d'équilibre statique stable. Chaque pas est ainsi effectué dans des conditions identiques.

Dans certaines circonstances, il peut être intéressant de pouvoir faire tourner le rotor du moteur de façon continue à vitesse élevée, par exemple, s'il équipe une montre, pour mettre celle-ci à l'heure rapidement. A cet effet, l'énergie et la fréquence des impulsions motrices sont augmentées. Cependant, le rotor ne marquant alors aucun arrêt, l'instant d'application de ces impulsions doit être déterminé différemment, par exemple par l'instant où la tension induite dans la bobine par le mouvement du rotor atteint, par valeurs croissantes, une tension de référence. Cette manière de faire présente toutefois l'inconvénient que, suivant la vitesse du moteur, cet instant correspond à des positions angulaires différentes du rotor. L'application des impulsions motrices n'ayant plus lieu au moment du passage du rotor par une position bien définie, le moteur ne saurait fonctionner dans les meilleures conditions à tous les régimes.

Un but de la présente invention est de pallier cet inconvénient en proposant un procédé de détection de l'instant de passage du rotor d'un moteur pas à pas par une position prédéterminée, le rotor comprenant un aimant permanent et présentant au moins une position d'équilibre statique stable, et le moteur comportant une bobine couplée magnétiquement au rotor, le flux magnétique produit par le rotor dans la bobine prenant une première valeur, égale à la valeur maximum du flux, lorsque le rotor est décalé d'un angle A par rapport à la position d'équilibre, et une deuxième valeur lorsque le rotor se trouve dans la position prédéterminée, ce procédé étant particulièrement remarquable en ce qu'il consiste:

— à déterminer le moment où ledit flux dans la bobine passe par la première valeur et qui correspond au moment du passage par zéro de la tension induite dans la bobine par le mouvement du rotor; et

— à déterminer, à partir de ce moment, l'instant auquel le flux a varié d'une valeur donnée, égale à la différence entre la première et la deuxième valeur de ce flux, cet instant correspondant à l'instant de passage du rotor par la position prédéterminée.

Un avantage de l'invention est de permettre la détermination d'un instant qui, s'il est pris comme origine de l'impulsion motrice, assure au moteur des conditions de fonctionnement favorables quelle que soit sa vitesse de rotation.

Un autre but de l'invention est de fournir un circuit mettant en œuvre le présent procédé.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description qui va suivre, faite en regard des dessins annexés et représentant, à titre explicatif mais nullement limitatif, un exemple de circuit de commande d'un moteur pas à pas, ce circuit détectant le passage du rotor par une position angulaire donnée. Sur ces dessins, où les mêmes références se rapportent à des éléments analogues:

— la figure 1 représente un moteur pas à pas de type connu;

— la figure 2 est un diagramme montrant, en fonction de la position angulaire du rotor du moteur, les variations du couple de positionnement C, du flux magnétique F produit par l'aimant du rotor dans la bobine, et de la tension U induite dans cette bobine par la rotation du rotor.

— la figure 3 est un exemple de circuit de commande d'un moteur pas à pas dans lequel chaque impulsion motrice est déclenchée à l'instant où le rotor passe par une position angulaire donnée; et

— la figure 4 est un diagramme des principaux signaux apparaissant dans le circuit de commande.

Sur la figure 1 est représenté un moteur pas à pas pour montre. Ce moteur, du type Lavet bien connu, comprend un stator 1, un rotor 2, et une bobine 3. Le stator, qui forme le circuit magnétique du moteur, comporte un corps principal dans lequel est ménagée une ouverture circulaire 4 de centre 0, cette ouverture servant de logement au rotor, et une branche auxiliaire rectiligne 5 autour de laquelle est enroulé le fil formant la bobine. En outre, le stator 1 présente deux zones à réluctance élevée 1a et 1b situées sur un même diamètre de l'ouverture 4. Le rotor 2 est constitué par un aimant permanent circulaire pivotant autour du centre 0 et présentant au moins une paire de pôles Nord-Sud. Enfin, l'ouverture 4 comporte encore deux encoches 6 et 7 diamétralement opposées dont le rôle sera précisé plus loin.

Le rotor 2 crée dans la branche 5 un champ d'induction, ce champ produisant à son tour un flux magnétique F dans la bobine 3. Le flux F dépend de la position angulaire du rotor, position définie par l'angle X que fait l'axe Nord-Sud de l'aimant avec un axe de référence Ox. La variation de F en fonction de X est bien entendu périodique, et généralement quasi sinusoïdale. La valeur maximum du flux, désignée par Fm, est atteinte lorsque l'axe Nord-Sud coïncide avec un axe Oy sensiblement perpendiculaire au diamètre joignant les zones 1a et 1b. Cette position du rotor 2 aurait été une position d'équilibre statique stable, si les encoches 6 et 7 n'existaient pas.

La présence des encoches 6 et 7 a pour effet de décaler cette position d'équilibre statique stable vers une position définissant une direction de l'axe Nord-Sud qui est prise comme référence, et qui détermine celle de l'axe Ox. L'angle entre les axes Ox et Oy est désigné par A dans sa détermination inférieure à 90° pour un rotor ne comportant qu'une paire de pôles, et le flux magnétique correspondant à la position d'équilibre du rotor est désigné par Fo. L'angle A vaut typiquement 45°.

Pour écarter le rotor 2 de la position d'équilibre, un couple C doit être exercé sur son axe. Ce couple, dont la variation est sensiblement sinusoïdale en fonction de l'angle X, s'annule à 90°, 180°, 270° et 360°, les angles 180° et 360° correspondant à des positions d'équilibre statique stables, et les angles 90° et 270° à des positions d'équilibre instables. Comme les extrema de F sont décalés de l'angle A par rapport aux positions d'équilibre stables du rotor, ces extrema correspondent aux angles  $-A$  (ou  $360^\circ - A$ ) et  $180^\circ - A$ .

La figure 2 représente les variations de F et de C en fonction de l'angle X du rotor 2, celui-ci étant pourvu d'une seule paire de pôles. Sur un tour complet du rotor, le flux F effectue une période, alors que le couple C en effectue deux. La variation du flux F produit dans la bobine 3 une tension induite U, de même période que F, et qui est également représentée sur la figure 2. Cette tension n'est cependant produite que lorsque le rotor tourne, c'est-à-dire lorsque X et F varient avec le temps, désigné par t. Il en résulte que cette tension induite, qui sera appelée tension induite de mouvement dans la suite de cette description, est essentiellement une fonction de t, et pour le mettre en évidence elle sera notée U(t).

Il faut noter que cette tension U(t) dépend également de la vitesse de rotation du rotor, et qu'elle n'a donc généralement pas la variation sinusoïdale représentée à la figure 2. Mais, comme cela sera rendu évident par la suite de cette description la forme exacte de la variation de cette tension U(t) ne joue aucun rôle dans la présente invention.

L'entretien du mouvement du rotor 2 dans un tel moteur nécessite l'application d'un signal I aux bornes de la bobine 3, ce signal contenant des impulsions motrices, alternativement positives et négatives, désignées par I<sub>0</sub>, I<sub>1</sub> et I<sub>2</sub> sur la figure 2.

De ce qui précède, il ressort que le rotor 2 présente, lorsque le moteur fonctionne en pas à pas, deux séries de positions remarquables. D'abord les positions d'équilibre stables, ou de repos, dans lesquelles le moteur s'arrête en l'absence de courant dans la bobine, ensuite les positions, faciles à déterminer, dans lesquelles la tension induite de mouvement U(t) s'annule. Les premières positions seront désignées par la suite par R<sub>0</sub>, R<sub>1</sub>, ... R<sub>n</sub>, et les deuxièmes par Z<sub>0</sub>, Z<sub>1</sub>, ... Z<sub>n</sub>, R<sub>0</sub> étant pris comme origine de l'angle X. Etant donné que la tension U(t) est égale à la dérivée de F par rapport au temps, à chaque position Z<sub>0</sub>, ... Z<sub>n</sub> du rotor 2, correspond un extremum F<sub>m</sub> de F. Bien entendu, dans ce mode de fonctionnement du moteur, les impulsions motrices I<sub>0</sub>, I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> ... sont appliquées, avec la polarité adéquate, quand le rotor 2 se trouve approximativement dans les positions d'équilibre R<sub>0</sub>, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> ...

Par contre, lorsque le rotor 2 du moteur tourne de façon continue, c'est-à-dire sans s'arrêter sur une révolution complète, à vitesse moyenne constante ou variable, les positions d'équilibre stables R<sub>0</sub>, ... R<sub>n</sub> ne sont plus directement détectables. Ces positions sont pourtant particulièrement favorables pour déclencher les impulsions motrices. La détermination de ces positions, ou plus généralement de toute position angulaire prédéterminée, alors que le rotor tourne sans marquer d'arrêt, constitue l'objet principal de la présente invention.

Pour illustrer l'invention, on va maintenant décrire un circuit de commande pour moteur pas à pas dont une forme de réalisation est représentée sur la figure 3, étant entendu que la position prédéterminée à rechercher est, à titre d'exemple, la position d'équilibre stable du rotor. On verra par la suite que la détermination d'autres positions peut être faite très facilement à l'aide de ce même circuit de commande.

La référence 10 désigne sur cette figure un circuit d'attaque fournissant à la bobine 3 du moteur qui vient d'être décrit les impulsions motrices  $I_0, I_1, \dots, I_n$  nécessaires pour faire tourner le rotor 2 de façon continue. Dans le présent exemple, l'impédance de sortie de ce circuit 10 est par ailleurs rendue infinie entre les impulsions pour éviter que le rotor ne soit freiné. Chaque impulsion motrice dont la durée et la polarité sont déterminées de manière connue par le circuit 10, est déclenchée par une brève impulsion, notée  $S_0, S_1, \dots, S_n$ , d'un signal  $S$  appliqué sur une entrée  $E$  de ce circuit.

Les signaux  $I$  et  $S$  sont représentés en fonction de l'angle  $X$  sur la figure 4. Le moteur étant en rotation continue, à chaque position  $X_j$  du rotor correspond un instant noté  $t(X_j)$  sur un axe de temps  $t$ . Bien entendu, la relation entre les positions successives et les instants correspondants est parfaitement définie, mais ce n'est pas une fonction linéaire car la vitesse du rotor n'est pas constante.

Afin que les impulsions motrices  $I_0 \dots I_n$  soient appliquées à la bobine 3 lorsque le rotor 2 passe par ses positions d'équilibre stables,  $R_0 \dots R_n$ , il faut, bien entendu, que les impulsions  $S_0 \dots S_n$  soient produites aux instants  $t(R_0), \dots, t(R_n)$  correspondant à ces positions. Ceci est obtenu grâce à un circuit de coïncidence 11 et à un circuit intégrateur-comparateur 12, ces circuits faisant partie du circuit de commande représenté sur la figure 3.

Le circuit 11 reçoit sur son entrée la tension induite de mouvement  $U(t)$  et il fournit, à sa sortie, un signal  $T$  représenté sur la figure 4. Ce signal est formé d'une suite de brèves impulsions  $T_0, \dots, T_n$ , chaque impulsion étant produite à l'instant où la tension  $U(t)$  change de signe en passant par zéro, c'est-à-dire lorsque le rotor 2 passe par les positions  $Z_0, \dots, Z_n$  auxquelles correspondent respectivement les instants  $t(Z_0), \dots, t(Z_n)$ .

La tension  $U(t)$  n'est pas mesurable de manière simple durant les impulsions motrices  $I_0, \dots, I_n$ . Pour des raisons de rendement énergétique, ces impulsions motrices sont cependant interrompues avant que la tension  $U(t)$  ne s'annule. Comme par ailleurs, l'impédance de sortie du circuit 10 est alors infinie, la tension  $U(t)$  apparaît donc aux bornes de la bobine 3 entre ces impulsions motrices, c'est-à-dire pendant que le rotor se trouve au voisinage des positions  $Z_0, \dots, Z_n$ , positions pour lesquelles le flux  $F$  passe par un extremum  $F_m$ , ainsi que cela a déjà été relevé.

Dans la forme de réalisation représentée sur la figure 3, le circuit 11 comprend un amplificateur différentiel 15 de gain élevé, une porte OU EXCLUSIF 16, et deux inverseurs 17 et 18. La tension induite  $U(t)$  est appliquée à l'entrée de l'amplificateur 15 qui fournit à sa sortie un signal  $S_{15}$ . Ce signal, grâce au gain élevé de cet amplificateur, peut être assimilé à un signal logique, la transition de ce signal logique d'un niveau à l'autre se faisant au moment où la tension  $U(t)$  passe par zéro. Le signal  $S_{15}$  est appliqué à une entrée de la porte 16 et à l'entrée de l'inverseur 17 dont la sortie est connectée à l'entrée de l'inverseur 18. La sortie de ce dernier fournit un signal logique  $S_{18}$  à l'autre entrée de la porte 16. La sortie de cette porte, qui constitue la sortie du circuit 11, fournit le signal  $T$ .

Le fonctionnement du circuit 11 est le suivant. Aussi longtemps que la tension  $U(t)$  est différente de zéro, les signaux  $S_{15}$  et  $S_{18}$  se trouvent au même niveau logique, haut ou bas suivant le signe de  $U(t)$ . La sortie de la porte OU EXCLUSIF 16 est, dans ces conditions, au niveau logique bas. Par contre, lorsque la tension  $U(t)$  s'annule, le signal  $S_{15}$  change de niveau logique alors que le signal  $S_{18}$  ne suit la même transition qu'avec un léger retard résultant du temps de propagation du signal  $S_{15}$  à travers les inverseurs 17 et 18. Ainsi, à chaque passage du  $U(t)$  par zéro, les

signaux  $S_{15}$  et  $S_{18}$  se trouvent un court moment à des niveaux logiques différents, produisant à la sortie de la porte 16 de brefs signaux positifs correspondant aux impulsions  $T_0, \dots, T_n$  du signal  $T$ , ces impulsions déterminant les positions  $Z_0, \dots, Z_n$  auxquelles le flux  $F$  passe par un maximum  $F_m$ .

Connaissant  $Z_0, \dots, Z_n$ , la détermination de  $R_0, \dots, R_n$  repose sur la relation générale suivante existant entre la tension induite de mouvement  $U(t)$  et le flux  $F$  dans le circuit magnétique du moteur:

$$\int_{t(X_a)}^{t(X_b)} U(t) dt = F(X_b) - F(X_a).$$

Cette relation signifie que le déplacement du rotor 2 d'une position angulaire  $X_a$  à une position  $X_b$  entraîne une variation de flux  $F(X_b) - F(X_a)$  égale à la variation de l'intégrale de la tension induite de mouvement  $U(t)$  entre les instants  $t(X_a)$  et  $t(X_b)$ , ces instants correspondant respectivement aux moments de passage du rotor par les positions  $X_a$  et  $X_b$ .

En prenant  $X_a = Z_0$  et  $X_b = R_0$ , la variation du flux devient égale à  $F_m - F_0$ .  $F_m$  et  $F_0$  sont des flux caractéristiques du moteur qui ont déjà été définis et qui peuvent être calculés ou mesurés avec précision. La variation du flux est donc une grandeur connue. L'instant  $t(Z_0)$  est connu aussi, car il est donné par l'impulsion  $T_0$  du signal  $T$  fourni par le circuit 11 déjà décrit. La seule inconnue est l'instant  $t(R_0)$  de passage du rotor par la position d'équilibre.

Il y a lieu de remarquer qu'avec  $X_a = Z_1$  et  $X_b = R_1$ , on aurait abouti aux mêmes résultats qu'avec  $X_a = Z_0$  et  $X_b = R_0$ , sauf que la variation du flux aurait eu un signe opposé.

Pour se placer dans le cas général, on posera ainsi  $X_a = Z_i$ ,  $X_b = R_i$ , avec  $i = 0, 1, \dots, n$ , et on ne considérera que la valeur absolue  $F_m - F_0$  de la variation du flux. Bien entendu, l'indice  $i$  sera utilisé partout où se trouvent les indices  $0, 1, \dots, n$ .

L'instant inconnu s'écrit dans ces conditions  $t(R_i)$ , et il est déterminé par le circuit 12 qui comporte à cet effet un circuit intégrateur 20, un circuit comparateur 21, et avantagusement un circuit formateur d'impulsions 26.

Le circuit 20 est un intégrateur analogique de type connu, recevant sur son entrée la tension induite de mouvement  $U(t)$  et fournissant à sa sortie une tension  $V(t)$  fonction du temps, et représentative de la valeur de l'intégrale

$$\int_{t(Z_i)}^t U(t) dt$$

Le circuit 20 comporte en outre une entrée de remise à zéro  $R$  sur laquelle est appliqué le signal  $T$  produit par le circuit 11, de manière que l'impulsion  $T_i$  initialise le circuit intégrateur à l'instant  $t(Z_i)$  en annulant la valeur précédemment déterminée.

La tension  $V(t)$  atteint, à un instant donné, une valeur égale à celle d'une tension de référence  $V_r$  représentative de la variation du flux  $F_m - F_0$ . Il est évident que cet instant correspond à l'instant  $t(R_i)$  recherché du passage du rotor 2 par la position d'équilibre stable  $R_i$ .

Cet instant, où  $V(t)$  atteint la valeur  $V_r$ , est fourni par le circuit comparateur 21 du circuit 12 qui comporte, dans ce but, une source de tension  $SV_r$  fournissant la tension de référence  $V_r$ , deux amplificateurs différentiels 22, 23 de gain

élevés, un inverseur 24 ayant un gain de  $-1$ , et une porte OU 25 à deux entrées.

Les entrées inverseuses des amplificateurs 22 et 23 du circuit 21 sont reliées à la source  $SV_r$ , tandis que les sorties de ces amplificateurs sont connectées chacune à une entrée de la porte 25. La tension  $V(t)$  est appliquée sur l'entrée non inverseuse de l'amplificateur 22 et sur l'entrée de l'inverseur 24 dont la sortie est reliée à l'entrée non inverseuse de l'amplificateur 23. On suppose que le gain des amplificateurs 22 et 23 est suffisamment élevé pour que les signaux qu'ils fournissent puissent être considérés comme des signaux logiques ne pouvant se trouver qu'à un niveau bas ou à un niveau haut.

Si la tension  $V(t)$  est positive mais inférieure à  $V_r$ , les sorties des amplificateurs 22 et 23 se trouvent au niveau logique bas, de même que la sortie de la porte OU 25. A l'instant où  $V(t)$  atteint  $V_r$ , la sortie de l'amplificateur 22, et celle de la porte 25, passent au niveau logique haut. Cette transition détermine l'instant  $t(R_i)$  recherché. Si la tension  $V(t)$  était négative, c'est l'amplificateur 23, grâce à l'inverseur 24, qui aurait déterminé cet instant.

Ainsi, la sortie de la porte 25 passe du niveau logique bas au niveau logique haut à l'instant  $t(R_i)$  où la valeur absolue de la tension  $V(t)$  atteint la tension de référence  $V_r$ .

La porte 25 peut encore avantageusement être connectée à un circuit formateur d'impulsion 26, par exemple une bascule monostable, produisant, en réponse à ce changement de niveau logique, une brève impulsion  $S_i$ , cette impulsion faisant partie du signal  $S$  fourni par le circuit 12 au circuit 10 pour déclencher l'impulsion motrice  $I_i$ .

Le circuit de la figure 3 qui vient d'être décrit appelle plusieurs remarques. D'abord, si le flux  $F$  varie sinusoidalement avec l'angle  $X$ , la variation du flux  $F(X_b) - F(X_a)$  peut être exprimée en fonction de  $F_m$  et de  $A$ . En effet, en se référant à la figure 2, le flux  $F$  s'écrit  $F(X) = -F_m \cos(A + X)$ , ce qui donne

$$F(X_b) - F(X_a) = F_m \cos(A + X_a) - F_m \cos(A + X_b).$$

Dans le cas qui avait été considéré,  $X_a$  correspondait au point  $Z_o$  et  $X_b$  au point  $R_o$ , les abscisses de ces points étant

6

respectivement  $X_a = -A$  et  $X_b = 0$ . La variation du flux qui était notée  $F_m - F_o$ , devient ainsi

$$F_m - F_o = F_m (1 - \cos A).$$

5

Comme l'angle  $A$  vaut typiquement  $45^\circ$ , il vient finalement

$$F_m - F_o = 0.293 F_m.$$

10

Le même calcul fait pour les points  $Z_1$  et  $R_1$ , aurait donné une valeur identique, mais de signe opposé.

15 Il convient de remarquer ensuite que la position prédéterminée, qui, dans l'exemple décrit, était celle d'une position d'équilibre stable  $R_i$  du rotor 2, peut être choisie à volonté. Il suffit pour cela de modifier la valeur de la tension de référence  $V_r$  (figure 3) de manière qu'elle soit représentative  
20 de la variation du flux  $F$  dans la bobine 3 résultant du passage du rotor de la position  $Z_i$ , où la tension induite de mouvement  $U(t)$  s'annule, à la nouvelle position prédéterminée. A la place de la position  $Z_i$ , une autre position du rotor, choisie arbitrairement, pourrait aussi être prise comme  
25 position de départ de la mesure de la variation du flux  $F$ . Ceci suppose, bien entendu, que cette position puisse être détectée avec précision par des moyens appropriés, par exemple à l'aide d'un contact fixé sur l'axe du moteur.

Enfin, comme dernière remarque, il faut noter que toutes  
30 les fonctions réalisées par les circuits analogiques 11 et 12 de la figure 3 peuvent aussi être obtenues au moyen de circuits logiques câblés ou programmés dont la réalisation est à la portée de l'homme du métier. Cela nécessite évidemment une transformation préalable de la tension induite de mouvement  $U(t)$ , au moyen d'un convertisseur analogique/numérique, en un signal logique codé représentatif de cette tension.

Il va de soi que la présente invention englobe toute modification évidente à l'homme de l'art qui pourrait être  
40 apportée au circuit de détection des instants de passage du rotor par une position prédéterminée qui vient d'être décrite, et du procédé de détection qui en découle.

45

50

55

60

65

