

## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>3</sup> :  G04C 3/14		A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 81/02207  (43) Date de publication internationale: 6 août 1981 (06.08.81)
<p>(21) Numéro de la demande internationale:PCT/CH81/00011          (22) Date de dépôt international: 30 janvier 1981 (30.01.81)</p> <p>(31) Numéro de la demande prioritaire: 732/80          (32) Date de priorité: 30 janvier 1980 (30.01.80)          (33) Pays de priorité: CH</p> <p>(71) Déposant (<i>pour tous les Etats désignés sauf US</i>): PORTES-CAP [CH/CH]; 165 Rue Numa-Droz, CH-2300 La Chaux-de-Fonds (CH).</p> <p>(72) Inventeur; et          (75) Inventeur/Déposant (<i>US seulement</i>): OUDET, Claude [FR/FR]; 12 Rue du Capitaine Arrachart, F-25000 Besançon (FR).</p>		<p>(74) Mandataire: WILLIAM BLANC &amp; CIE; 5 Place du Molard, CH-1204 Genève (CH).</p> <p>(81) Etats désignés: CH, DE, DE (modèle d'utilité auxiliaire), GB, JP, US.</p> <p><b>Publiée</b>  <i>Avec rapport de recherche internationale</i></p>	
<p>(54) Title: ELECTRIC MOTOR CONTROL DEVICE</p> <p>(54) Titre: DISPOSITIF DE COMMANDE D'UN MOTEUR ELECTRIQUE</p> <p>(57) Abstract</p> <p>This control device is used in connection with a motor comprising a magnetic rotor and at least two magnetic stator circuits coupled with respective coils (b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>). A logic circuit (21) is arranged to alternatively feed drive pulses to both coils and to connect the coil which is not fed to a detection circuit (24, 25) the output of which is connected to the logic circuit in order to determine the duration of a feed pulse or to trigger a new feed pulse. This control device allows the current consumption of the motor as well as the locking torque to be reduced, since the servo control obtained insures the rotor positionning in case an important disturbance should occur.</p>			
<p>(57) Abrégé</p> <p>Le dispositif de commande est utilisé en rapport avec un moteur comportant un rotor aimanté et au moins deux circuits magnétiques de stator couplés avec des bobines respectives b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>. Un circuit logique (21) est agencé pour alimenter alternativement l'une et l'autre des bobines en impulsions d'entraînement et pour brancher la bobine non alimentée sur un circuit de détection (24, 25) dont la sortie est reliée au circuit logique pour déterminer la durée d'une impulsion d'alimentation ou pour déclencher une nouvelle impulsion d'alimentation. Ce dispositif de commande permet de réduire la consommation en courant du moteur ainsi que le couple de verrouillage, l'asservissement réalisé assurant le positionnement du rotor en cas de perturbation importante.</p>			

***UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION***

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publient des demandes internationales en vertu du PCT.

AT	Autriche	KP	République populaire démocratique de Corée
AU	Australie	LI	Liechtenstein
BR	Brésil	LU	Luxembourg
CF	République Centrafricaine	MC	Monaco
CG	Congo	MG	Madagascar
CH	Suisse	MW	Malawi
CM	Cameroun	NL	Pays-Bas
DE	Allemagne, République fédérale d'	NO	Norvège
DK	Danemark	RO	Roumanie
FI	Finlande	SE	Suède
FR	France	SN	Sénégal
GA	Gabon	SU	Union soviétique
GB	Royaume-Uni	TD	Tchad
HU	Hongrie	TG	Togo
JP	Japon	US	Etats-Unis d'Amérique

DISPOSITIF DE COMMANDE D'UN MOTEUR ELECTRIQUE

La présente invention concerne un dispositif de commande d'un moteur électrique du type comportant un rotor aimanté et au moins deux circuits magnétiques de stator séparés, couplés chacun avec au moins une bobine électrique et disposés de façon à former entre eux un angle électrique de  $2 k \pi \pm \pi/2$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ). Un dispositif connu du genre concerné par l'invention comporte une source d'énergie électrique, un circuit générateur d'impulsions commandé par une source de signaux d'horloge pour fournir des impulsions d'entraînement du rotor à au moins une des bobines de l'un des circuits magnétiques de stator, et comporte un circuit intégrateur agencé pour recevoir les signaux induits par le rotor dans au moins une des bobines d'un autre desdits circuits magnétiques de stator pour déterminer la durée d'une impulsion d'entraînement du rotor.

Dans ce dispositif de commande connu l'un des circuits magnétiques de stator est réservé en cours de fonctionnement du moteur pour la fonction de détection du flux induit par le rotor et il ne contribue donc pas à l'entraînement proprement dit. Ce dispositif est en outre conçu pour fonctionner en rotation continue, dans un sens de marche donné.

La présente invention vise à fournir un dispositif de commande permettant de faire travailler un moteur du type susmentionné en mode diphasé, pas à pas, dans l'un ou l'autre sens de marche, tout en permettant un asservissement de la position du rotor et un réglage automatique de la durée des impulsions d'entraînement. L'invention vise plus particulièrement à fournir un dispositif simple et efficace utilisable



- 2 -

notamment dans le domaine de l'horlogerie.

A cet effet, le dispositif selon l'invention est caractérisé en ce qu'il comporte un circuit logique de commande connecté, par ses entrées, d'une part à la source de signaux d'horloge et, d'autre part, à la sortie du circuit intégrateur, et, par ses sorties, aux entrées de commande d'un circuit de commutation, le circuit de commutation étant branché à la source d'énergie électrique, aux différentes bobines et à l'entrée du circuit intégrateur, le circuit logique de commande et le circuit de commutation étant agencés pour pouvoir connecter les bobines couplées avec chacun desdits circuits magnétiques du stator à la source d'énergie électrique ou à l'entrée dudit circuit intégrateur de telle façon que le moteur travaille en mode diphasé, pas à pas, sous l'effet d'impulsions d'entraînement fournies alternativement aux bobines associées à l'une et à l'autre phase, au moins une des bobines associées à la phase non alimentée par une impulsion d'entraînement étant connectée, au moins temporairement, au circuit intégrateur.

Selon une forme de réalisation préférée, le dispositif de commande comporte un détecteur de niveau associé au circuit intégrateur, le circuit logique étant agencé pour interrompre une impulsion d'entraînement et/ou pour déclencher une nouvelle impulsion d'entraînement en fonction de la présence d'un signal de sortie d'un des détecteurs de niveau et de l'instant de l'apparition de ce signal par rapport aux signaux d'horloge, ainsi que pour remettre l'intégrateur à zéro au début et à la fin de chaque période d'intégration prévue.



- 3 -

D'autre part, le circuit logique peut être agencé pour court-circuiter temporairement au moins une bobine, de façon à amortir le rotor en mouvement au voisinage de la position d'équilibre et/ou à tendre à le maintenir dans celle-ci par un tel circuit.

Le dispositif de commande selon l'invention permet non seulement de réduire la consommation d'énergie du moteur en limitant la durée des impulsions électriques d'entraînement à la valeur nécessaire pour une charge donnée du moteur et en permettant de réduire par construction le couple de verrouillage du moteur nécessaire au fonctionnement pas à pas, tout en assurant un fonctionnement amélioré, quasiment insensible à des perturbations extérieures.

En effet, dans le présent dispositif de commande, la position du rotor est asservie au moyen d'une boucle d'asservissement comportant un détecteur du flux induit par le rotor, un intégrateur de ce flux associé à un comparateur de niveau, un circuit logique de traitement de l'information temps-amplitude et une bobine d'entraînement du rotor commandé à partir du circuit logique. Ce dispositif n'implique d'ailleurs aucun élément constructif supplémentaire dans un moteur diphasé.

Ces propriétés ainsi que d'autres caractéristiques et propriétés du dispositif de commande selon la présente invention ressortiront plus clairement de la description, donnée à titre d'exemple, de différentes formes d'exécution de l'invention, illustrées par les dessins annexés.

Dans les dessins :



- 4 -

La figure 1 est une vue de dessus d'un moteur à rotor aimanté tel qu'il peut être utilisé en rapport avec le dispositif de commande selon l'invention;

La figure 2 est une vue en coupe du moteur de la figure 1, selon la ligne brisée II - II;

La figure 3 est un schéma de principe d'un dispositif de commande selon l'invention ;

La figure 4 est un diagramme des flux et des couples, en fonction de la position angulaire du rotor, apparaissant lors du fonctionnement du moteur en mode diphasé;

La figure 5 est un schéma détaillé d'un dispositif de commande selon l'invention permettant de limiter la durée de l'impulsion d'entraînement et d'amortir le rotor au voisinage de sa position d'équilibre;

La figure 6 est un diagramme des signaux apparaissant dans le circuit de la figure 5, et

La figure 7 est un schéma simplifié d'un dispositif de commande illustrant le traitement d'une perturbation dans le fonctionnement du moteur.

Le moteur représenté aux figures 1 et 2 comporte un rotor en forme de disque 1, aimanté axialement de façon à présenter sur chacune de ces surfaces des pôles magnétiques alternativement positifs et négatifs. Les parties délimitées par des traits pointillés et désignés par N et S représentent les pôles apparaissant sur la surface supérieure de l'aimant



- 5 -

multipolaire, soit dans le présent exemple  $N = 10$  paires de pôles. La figure 1 montre en outre deux éléments de stator 2 et 3 formant des circuits magnétiques de stator séparés et comportant chacun une pièce 4, 5 en forme de U, en matériau hautement perméable, dont les extrémités libres forment les parties polaires du circuit magnétique correspondant. Des bobines 6, 7 sont enfilées sur une des branches de chaque pièce en forme de U et sont reliées à un circuit de commande non représenté aux figures 1 et 2.

L'axe 8 du rotor et les éléments de stator sont fixés sur une partie de support 9, les pièces en forme de U s'engageant dans des rainures de cette platine et étant maintenues par une partie annulaire 10, moulée avec la platine 9.

Les éléments de stator représentés sont orientés radialement et disposés de façon que les pôles du rotor passent entre les parties polaires de ces éléments. La distance angulaire entre ces éléments est de  $\bar{\alpha} = 117^\circ$  et l'angle électrique correspondant  $N\bar{\alpha} = 1170^\circ = 3 \times 360^\circ + 90^\circ$ .

Le dispositif de commande selon l'invention alimente un moteur du type mentionné plus haut, par exemple tel que décrit aux figures 1 et 2, en fournissant des impulsions d'entraînement alternativement aux bobines des circuits magnétiques associés aux deux phases selon un mode de fonctionnement diphasé. Ces deux phases sont désignées ci-après par phase 1 et phase 2 et les bobines correspondantes par  $b_1$  et  $b_2$  (6 et 7 dans la figure 1) étant entendu que  $b_1$  et  $b_2$  peuvent représenter, d'une façon générale, plusieurs bobines réparties sur un nombre correspondant ou inférieur de circuits magnétiques de stator.



- 6 -

La figure 3 montre schématiquement, essentiellement sous forme de blocs, l'agencement de principe du dispositif de commande selon l'invention.

Les bobines  $b_1$  et  $b_2$  sont connectées, par l'intermédiaire d'un commutateur 20, représenté schématiquement par des contacts, d'une part à des bornes de sortie d'un circuit 21 appelé ci-après circuit logique, et, d'autre part, aux entrées d'un amplificateur opérationnel 20 dont la sortie est couplée à une des entrées par l'intermédiaire d'un condensateur 25. Le commutateur 20 est commandé à partir du circuit logique 21, cette commande étant représentée schématiquement par la ligne pointillée 29, et le condensateur 25 peut être court-circuité, également sous la commande du circuit logique 21, ce qui est représenté dans la figure 3 par un contact 26 et une ligne de commande pointillée 28.

Le circuit 21 est commandé d'une part par des signaux d'horloge fournis par une source 22 et, d'autre part, par les signaux de sortie de l'amplificateur opérationnel 24 apparaissant sur une ligne 27 qui marque schématiquement la liaison entre ce circuit 24 et le circuit 21. Ce dernier présente en outre une connection de commande reliée à un interrupteur 30 permettant de déterminer le sens de rotation du moteur par la séquence des impulsions d'entraînement définie par le circuit logique. Une source d'énergie électrique est représentée schématiquement par un bloc 23 connecté au circuit 21. Des connections secondaires ne sont pas représentés dans le schéma de principe de la figure 3.

Le fonctionnement de ce dispositif sera décrit en rapport avec



- 7 -

la figure 4 qui montre les variations de flux et de couples relatives aux deux phases 1 et 2 du moteur concerné, en fonction de l'angle de rotation  $\alpha$  du rotor. La position de départ du rotor a été désignée par  $\alpha_0$  et correspond à un extrémum du couple dû au courant dans la phase 1. Soit  $C_{ni1}$  ce couple produit par  $ni_1$  ampère-tours supposés constants, résultants d'un courant  $i_1$  appliqué à la bobine  $b_1$  par l'intermédiaire du circuit 21. Dans la position correspondante du commutateur 20, la bobine  $b_2$  est connectée aux entrées du circuit 24, 25 formant un circuit intégrateur.

Au voisinage du point  $\alpha_0$ , le flux induit par le rotor dans le noyau de la bobine  $b_2$  est maximal et il suit la courbe  $\Phi_{a2}$ . Le rotor avance et se stabilise en un point  $\alpha_0 + \pi/2N$ , position d'équilibre définie par le couple de vérrouillage  $C_{04}$  représenté à la figure 4. Ce couple de vérrouillage est le couple statique agissant sur le rotor en absence de courant et il a une fréquence quadruple de celle du couple dû au courant, par exemple  $C_{ni1}$ . On suppose que le courant  $i_1$  soit coupé lorsque le rotor atteint sa position d'équilibre et que l'intégrateur ait été mis à zéro par la fermeture du contact 26 puis de nouveau mis en action. Le flux  $\Phi_{a2}$  est normalement sensiblement nul. Toute variation accidentelle de position  $\Delta\alpha$  se traduit par une variation  $\Delta\Phi$  du flux  $\Phi_{a2}$ , donc par un signal apparaissant à la sortie de l'intégrateur sur la ligne 27. Le circuit logique 21 comporte des moyens pour comparer le signal de sortie de l'intégrateur avec une valeur de référence et, si un écart de position  $\Delta\alpha$  dépassant une valeur prédéterminée est ainsi détecté, le circuit 21 provoque une nouvelle application du courant dans la phase 1 de façon à annuler  $\Delta\alpha$ . La nouvelle application de



- 8 -

courant a lieu pendant un temps limité suffisant pour permettre l'annulation de  $\Delta\alpha$ , l'intégrateur est remis à zéro puis de nouveau rendu opérationnel avec les mêmes conséquences que précédemment. Le rotor est donc astreint à rester au voisinage de  $\alpha_0 + \pi/2N$ . Cette position étant plus maintenue par le couple de verrouillage d'origine magnétique  $C_{04}$  ainsi que, le cas échéant, par d'autres moyens connus.

Pour avancer d'un nouveau pas, le circuit 21 est branché sur la bobine  $b_2$  et la bobine  $b_1$  est branché sur l'intégrateur 24, 25. En appliquant  $n_{i2}$  ampère-tours à la phase 2, le rotor est soumis à un couple  $C_{ni2}$  et il avance de nouveau de  $\pi/2N$  pour arriver en  $\alpha_0 + \pi/N$ . Dans cette position, la phase 1 est utilisée pour détecter le flux  $\Phi_{al}$  induit par le rotor et devant être sensiblement nul dans la nouvelle position d'équilibre. Toute déviation de la position d'équilibre du rotor dépassant une certaine valeur se traduit comme précédemment par une nouvelle application de courant dans la bobine de la phase 2.

Il est à noter que si les positions d'équilibre considérées précédemment ne sont pas exactement celles attendues, cela n'a pas de conséquence sur le couple de démarrage puisque  $C_{ni1}$  et  $C_{ni2}$  correspondent, en début de pas, à l'extrémum d'une sinusoïde. Il n'est donc pas nécessaire de rechercher une grande précision de réalisation pour assurer la fiabilité du système, il suffit que les positions d'équilibre soient conservées approximativement, par exemple à  $\pm \pi/6 N$ , ce qui correspondrait à un tiers de pas.

Bien entendu, les pas suivants sont effectués en appliquant alternativement les courants correspondant à la phase 1 et la phase 2.



- 9 -

En cas d'inversion du sens de la marche, l'asservissement décrit ci-dessus fonctionne tout aussi bien, puisque l'inversion du sens de marche ne consiste qu'à redonner le même courant à la bobine qui vient d'être alimentée.

Le dispositif de commande fonctionnant selon le principe décrit plus haut, peut être utilisé également pour créer une autolimitation de la durée d'impulsion, c'est-à-dire une détermination de la durée de l'impulsion en fonction de la charge du moteur. Pour la fonction qui vient d'être décrit dans son principe, l'intégrateur n'était utilisé que de la fin d'une impulsion jusqu'au début de l'impulsion suivante. Pour la détermination de la durée de l'impulsion, l'intégrateur est utilisé pendant l'application du courant. A cet effet, on effectue une remise à zéro de l'intégrateur au début de l'application du courant, lorsque le rotor ne s'est pratiquement pas encore déplacé. Lorsque le niveau de sortie de l'intégrateur, branché comme précédemment à la bobine non alimentée, atteint une valeur prédéterminée, correspondant à la variation de flux attendue à la fin d'un pas ou un peu avant, il commande avec ou sans retard l'arrêt du courant dans la phase alimentée. S'il existe un couple de verrouillage notable, obtenu par exemple par un couple  $C_{O4}$  suffisamment grand ou par un courant résiduel, le retard n'est pas nécessaire. Par contre, si le couple de verrouillage est insuffisant, on coupe le courant avec un retard permettant au rotor de s'arrêter dans la position d'équilibre stable définie par le couple  $C_{ni_1}$  lui-même.

Le fonctionnement se répète de façon analogue pour l'alimentation de la deuxième phase et la coupure du courant dans celle-ci. L'intégrateur est ensuite de nouveau disponible pour la fonction de commande d'une compensation d'une perturbation de la position d'équilibre. L'intégrateur peut



- 10 -

également commandera sans retard le déclenchement d'une impulsion d'entraînement suivante, de manière à obtenir une rotation pratiquement continue du rotor.

La figure 5 est un schéma détaillé d'un dispositif de commande selon le principe général de la figure 3, montrant la réalisation pratique du circuit de commutation et du circuit logique dans un cas donné. Plus particulièrement, le dispositif de la figure 5, permet de limiter la durée des impulsions d'entraînement et d'amortir le rotor au voisinage de sa position d'équilibre.

Dans la figure 5 les éléments analogues à ceux déjà représentés dans la figure 3 ont été désignés par les mêmes chiffres de référence. Les signaux apparaissant en certains points du circuit de la figure 5 sont représentés en fonction du temps à la figure 6 et les mêmes signes de référence ont été utilisés dans les deux figures pour désigner ces signaux.

Une source de signaux d'horloge 22, constituée par exemple par un circuit intégré Motorola MC14451 muni d'un résonateur à quartz, délivre des impulsions unipolaires calibrés  $M_0$  d'une durée de 7,8 ms et d'une période de 1s, dans cet exemple, à une entrée d'un circuit générateur de séquence d'états 31. Dans l'exemple représenté, il s'agit d'un circuit intégré SANYO PMM 8713, dont les sorties marquées 10, 11, 12 et 13 délivrent respectivement des signaux  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  et  $S_4$  tels que représentés à la figure 6. Ces signaux sont appliqués respectivement à une entrée de circuits logiques OU 32, 33, 34, et 35 qui reçoivent, sur une deuxième entrée, des signaux d'horloge  $M_0$ . À la sortie de ces circuits OU apparaissent ainsi les signaux  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  et  $C_4$ , respectivement, dont la forme est représentée dans les lignes correspondantes de la figure 6. Les signaux  $C_1$  à  $C_4$  sont appliqués de la manière montrée à la figure 5, à des circuits logiques ET 36, 37, 38,



- 11 -

à des circuits logiques OU 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45 et 46 ainsi qu'à des circuits inverseurs 47, 48, 49, 50. Comme le montre la figure 5, certains de ces circuits reçoivent des combinaisons logiques de certains signaux  $C_1$  à  $C_4$  formées dans un étage précédent. D'autre part, il ressort également de la figure 5, que les circuits 39 à 46 reçoivent à une entrée un signal A formé à partir de l'intégrateur 24, 25 de la façon décrite plus loin.

A la sortie des circuits logiques 39 à 46 apparaissent ainsi des signaux  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_6$ ,  $D_7$ ,  $D_3$ ,  $D_4$ ,  $D_8$  et  $D_9$ , respectivement, dont la forme est montrée aux lignes de même nom de la figure 6. Ces signaux sont appliqués respectivement aux électrodes de commande de 8 transistors  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_6$ ,  $M_7$ ,  $M_3$ ,  $M_4$ ,  $M_8$  et  $M_9$  qui font partie du circuit de commutation mentionné en rapport avec la figure 3. A cet effet, ces transistors sont connectés en série 2 par 2 entre une borne V et la masse d'une source d'énergie électrique 23, et le point de connection commun des chemins de conduction de chaque paire de transistors est connecté à une extrémité respective des bobines  $b_1$  et  $b_2$  représentant les deux phases du moteur. Ainsi, chaque bobine peut être alimentée par la mise en état de conduction de deux transistors par un courant de signe voulu à partir de la source d'énergie. Par exemple, la conduction simultanée des transistors  $M_1$  et  $M_4$  produit un courant à travers la bobine  $b_1$  dans le sens V à masse. D'autre part, la conduction simultanée des transistors  $M_2$  et  $M_4$  court-circuite la bobine  $b_1$  à travers ces transistors.

Les signaux de sortie des inverseurs 47 à 50, à savoir  $D_5$ ,  $D_{10}$ ,  $D_{12}$  et  $D_{13}$ , respectivement, sont appliqués aux électrodes de commande respectives de transistors  $M_5$ ,  $M_{10}$ ,  $M_{12}$  et  $M_{13}$  faisant également partie du circuit de commutation. Les



- 12 -

chemins de conduction de ces transistors sont connectés en série deux par deux et leurs points de connexion communs sont reliés à une entrée de circuit intégrateur 24, 25. Les autres extrémités des chemins de conduction des transistors  $M_5$ ,  $M_{10}$ ,  $M_{12}$  et  $M_{13}$  sont connectés aux extrémités des bobines  $b_1$  et  $b_2$  comme le montre la figure 5. Ceci permet de brancher l'une ou l'autre des bobines à l'entrée du circuit intégrateur, conformément au programme déterminé par l'agencement du circuit logique décrit.

La sortie de l'intégrateur 24, 25 est connectée à une entrée d'un amplificateur différentiel 51, dont l'autre entrée reçoit une tension de référence REF appropriée. Un signal A apparaît ainsi à la sortie du circuit 51 lorsque la tension de sortie de l'intégrateur dépasse une valeur prédéterminée. Le condensateur 25 est connecté en parallèle aux chemins de conduction d'un transistor  $M_{11}$  dont l'électrode de commande est reliée par une ligne 28 à la source de signaux d'horloge  $M_0$ . Ainsi, dans ce cas, l'intégrateur est mis à zéro dans l'intervalle entre les signaux d'horloge  $M_0$ .

La séquence de commande du moteur, en fonctionnement diphasé, comporte quatre états. Pour chacun de ces états le processus d'alimentation et de limitation de la durée de l'alimentation de la bobine motrice se déroule de la même façon. Soit par exemple  $\alpha_0$  le point de départ conformément à la figure 4. On applique à la bobine  $b_1$  un courant  $i_1$  correspondant au couple  $Cni_1$ , en rendant les transistors  $M_1$  et  $M_4$ , conducteurs,  $M_2$  et  $M_3$  étant bloqués. Ceci résulte de l'état des signaux de commande  $D_1$  à  $D_4$  de ces transistors  $M_1$  à  $M_4$ . La bobine  $b_2$  est branché sur l'intégrateur pour mesurer l'évolution du flux  $\Phi$  à  $a_2$  grâce notamment à la commande des transistors



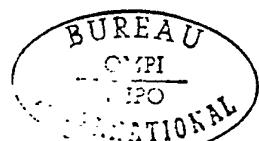
- 13 -

reliés à cette bobine, les transistors  $M_7$  et  $M_{13}$  étant conducteurs.

Lorsque le rotor tourne, le potentiel à la sortie de l'intégrateur, initialement à zéro, croît et déclenche pour une position angulaire déterminée, correspondant par exemple à la moitié de la tension de l'alimentation des circuits logiques, le comparateur 51. L'apparition du signal A à la sortie du comparateur a pour effet d'inverser les niveaux de commande des transistors  $M_1$  et  $M_2$  et la bobine  $b_1$  se retrouve ainsi déconnectée de la source 23 et court-circuitée à travers les transistors  $M_4$  et  $M_2$ . Le niveau de commande du transistor  $M_9$  est également inversé ce qui met aussi en court-circuit la bobine  $b_2$  à travers les transistors  $M_7$  et  $M_9$ . A la fin de l'impulsion  $M_0$ , l'intégrateur est remis à zéro par  $M_{11}$  tel que mentionné plus haut.

L'impulsion d'entraînement est ainsi limitée dans sa durée par l'apparition d'un signal A avant la fin de l'impulsion calibrée  $M_0$  qui représente la durée maximale nécessaire pour amener le rotor dans la position d'équilibre suivante dans le sens de sa rotation. L'apparition du signal A correspond à une position intermédiaire du rotor à parti de laquelle il atteint ladite position d'équilibre sans qu'il ait encore besoin du courant dans la phase alimentée.

La mise en court-circuit de la bobine  $b_1$  permet de laisser écouler l'énergie de selfinductance, qui est ainsi récupérée, puis de freiner le mouvement du rotor. Toutefois, à l'approche de la position d'équilibre  $\alpha_0 + \pi/2 N$ , le freinage par la bobine  $b_1$  disparaît et c'est essentiellement le court-circuit de la bobine  $b_2$  qui produit un couple de freinage. Dans le mode de fonctionnement décrit ici, on n'attend donc pas que le

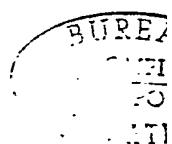


- 14 -

rotor soit stabilisé en  $\alpha_0 + \pi/2N$  par le couple  $C_{ni_1}$  pour couper le courant  $i_1$ . Il faut que le couple de verrouillage  $C_{o4}$  d'origine purement magnétique soit d'amplitude suffisamment grande et la vitesse du rotor suffisamment petite pour que le rotor s'arrête au voisinage de cette position d'équilibre. Une grande précision dans cette position finale n'est pas nécessaire, car, ainsi que mentionné plus haut, le couple de démarrage du pas suivant, donné par  $C_{ni_2}$ , dépend peu de cette position, de même que le flux  $\Phi_{a_1}$ . L'amplitude de  $C_{o4}$  peut donc rester relativement faible puisque les erreurs angulaires dues à la faible raideur résultant de ce couple et de l'effet du couple de frottement de rouage sont acceptables. Pour le pas suivant, la bobine  $b_2$  est alimentée par la source d'énergie électrique 23 et la bobine  $b_1$  sert de bobine caprice. Les signaux de la figure 6 montrent que les états des transistors  $M_6$  et  $M_7$  s'inversent, permettant le passage du courant dans  $b_2$  par l'intermédiaire de  $M_6$  et  $M_9$ . Les états de  $M_2$  et  $M_5$  s'inversent également ce qui relie à l'intégrateur l'extrémité de  $b_1$  reliée à  $M_5$ , l'autre extrémité de cette bobine restant à la masse, en même temps que  $M_{11}$  remet en fonction l'intégrateur avec une valeur initiale nulle à sa sortie.

Pour le troisième pas du cycle on fait passer un courant dans  $b_1$  fournissant le couple  $C_{ni_1}$  selon la figure 4 et on intègre les variations du flux décroissant  $\Phi_{a_2}$  induit dans la bobine  $b_2$ . Les états de  $M_3$  et  $M_4$  s'inversent et le courant passe donc dans la bobine  $b_1$  à travers  $M_2$  et  $M_3$ . Les transistors  $M_7$  et  $M_{10}$  changent d'état, de sorte que l'extrémité de la bobine  $b_2$  connectée à ces transistors est reliée à l'intégrateur.

Pour le quatrième pas et dernier état du cycle, on fait passer un courant dans la bobine  $b_2$  qui fournit un couple  $C_{ni_2}$  et l'on intègre les variations du flux croissant  $\Phi_{a_1}$  capté par



- 15 -

la bobine  $b_1$ . Les états de  $M_8$  et  $M_9$  s'inversent de sorte que le courant passe dans  $b_2$  à travers  $M_7$  et  $M_8$ . L'extrémité de la bobine  $b_1$  reliée aux transistors  $M_4$  et  $M_{12}$  est reliée à l'intégrateur par changement d'état de ces transistors.

La figure 7 montre le schéma simplifié d'un dispositif de commande permettant de compenser des perturbations extérieures sur le rotor, mais dans lequel le circuit de permutation des bobines  $b_1$  et  $b_2$  ainsi que le circuit de commande de l'intégrateur ont été volontairement omis.

La source 22 de signaux d'horloge  $M_0$  alimente de nouveau le circuit générateur de séquence à quatre états, 31, fournissant à sa sortie les signaux  $S_1$  à  $S_4$ . Ces signaux commandent un circuit d'alimentation 31' (par exemple un circuit SGS type L293) relié à la source d'énergie électrique et auquel est branché momentanément par exemple la bobine  $b_1$ , servant de bobine motrice.

La bobine  $b_2$  se trouve branchée au même moment à l'entrée du circuit intégrateur 24, 25 dont la sortie est connectée parallèlement aux entrées positive et négative de deux amplificateurs opérationnels similaires 61 et 62. L'intégrateur 24 utilise par exemple un circuit intégré FAIRCHILD ICL 7611 et les amplificateurs opérationnels 61 et 62 peuvent être des circuits ICL 7612. Les deuxièmes entrées de ces amplificateurs sont connectées à des sources de tension de référence respectives  $REF_1$  et  $REF_2$ . Les sorties des circuits 61 et 62 auxquels apparaissent des signaux  $I_1$  et  $I_2$  respectivement sont connectées aux entrées d'un circuit logique OU désigné par 63 dont la sortie est reliée à son tour, comme le montre la figure 7, à un inverseur 64 et à une entrée d'un circuit



- 16 -

logique ET, 68.

Le circuit de la figure 7 comporte en outre un circuit monostable 70, par exemple un circuit intégré SEFCOSEM SFC 4121E qui fournit des impulsions de commande de durée fixe  $t_2$  à une entrée d'un circuit logique OU désigné par 69, l'autre entrée de ce circuit recevant les impulsions  $M_0$  de durée  $t_1$ . A la sortie du circuit 69 apparaît un signal  $P_1$  qui est appliqué par l'intermédiaire d'un inverseur 67 à la deuxième entrée du circuit logique 68, ainsi que, directement à une entrée d'un circuit logique ET, 65 dont l'autre entrée est connectée à la sortie de l'inverseur 64. A la sortie du circuit 68 apparaît un signal  $U_2$  qui est appliqué d'une part à l'entrée de déclenchement du circuit 70 et d'autre part à une entrée d'un circuit logique OU désigné par 66 et dont l'autre entrée est connectée à la sortie du circuit logique 65. Le signal de sortie  $U_1$  du circuit 66 est appliqué à une entrée de commande du circuit 31' de façon à commander le passage d'un courant d'entraînement correspondant à ce signal  $U_1$  dans la bobine  $b_1$ .

La table de vérité suivante indique les états des différents signaux apparaissant en certains points de la figure 7 et illustre le fonctionnement du circuit.

	$P_1$	$I_1$	$I_2$	$U_1$	$U_2$
REPOS	0	0	0	0	0
DEBUT D'IMPULSION $M_0$	1	0	0	1	0
COUPURE DE COURANT PAR L'INTEGRATEUR	1	ou <sub>0</sub> <sup>1</sup>	0	0	0
APRES L'IMPULSION $M_0$	0	0	0	0	0
PRESENCE D'UNE FORTE PERTURBATION DECLENCHEMENT DE $t_2$	0	ou <sub>0</sub> <sup>1</sup>	0	1	1
REMISE A Ø DE L'INTEGRATEUR ET REALIMENTATION DE LA BOBINE $b_1$	1	0	0	1	0



- 17 -

Lors de l'apparition d'un signal d'horloge  $M_0$  la sortie  $S_1$  déclenche la circulation du courant d'entraînement dans la bobine  $b_1$ . L'interrupteur 26 est fermé par un circuit non représenté, pendant un durée très courte, de l'ordre de 100  $\mu$ s puis réouvert. Le rotor ne s'est pratiquement pas encore déplacé pendant ce temps.

Le signal de sortie de l'intégrateur croît lorsque le rotor se dirige de la position initiale  $\alpha_0$  selon la figure 4 vers la position d'équilibre  $\alpha_0 + \pi / 2N$ ; lorsque le signal atteint le niveau de référence correspondant dans une position intermédiaire du rotor, un état logique 1 apparaît à la sortie du comparateur correspondant 61 ou 62. Le signal  $U_1$  passe ainsi au niveau zéro, ce qui coupe le courant dans la bobine  $b_1$ .

Si, pour une raison indéterminée, l'intégrateur n'a pas encore commandé l'arrêt du courant à la fin de l'impulsion  $M_0$  de durée  $t_1$ , le niveau  $P_1$  passe à zéro et le courant est coupé. L'intégrateur est remis à zéro par l'intermédiaire d'un circuit non représenté dès que le courant est coupé, et il n'est ouvert qu'après écoulement d'un temps de, par exemple 20 ms, suffisant pour permettre au rotor de s'arrêter totalement. La mise en court-circuit de la bobine  $b_2$  peut aider à cette fonction.

Lorsque l'intégrateur est de nouveau ouvert, il est prêt pour détecter une perturbation extérieure. Le rotor se trouve dans la position  $\alpha_0 + \pi / 2N$  et le potentiel zéro à la sortie de l'intégrateur correspond au passage par zéro de la courbe  $\Phi_a 2$  de la figure 4. C'est la position dans laquelle une variation de position angulaire engendre la plus grande variation de flux. Dès qu'une perturbation extérieure telle



- 18 -

qu'un choc linéaire ou angulaire décale le rotor d'une valeur telle que le signal de sortie de l'intégrateur ait un niveau suffisant pour déclencher l'un ou l'autre des comparateurs 61 ou 62, la table de vérité montre que les signaux  $U_1$  et  $U_2$  sont égals à 1, ce qui déclenche une impulsion  $t_2$  dans la bobine  $b_1$ . Cette impulsion est de même signe que l'impulsion précédente et ramène le rotor dans la position  $\alpha_0 + \pi/2$  N. L'interrupteur 26 est remis à zéro et maintenu à zéro pendant la nouvelle impulsion, puis il est de nouveau ouvert pour déceler une éventuelle perturbation ultérieure.

Selon une forme d'exécution de l'invention, le dispositif est utilisé pour vérifier que le rotor a effectivement atteint la position d'équilibre suivante après son lancement. Le dispositif est alors agencé pour comparer le niveau de sortie de l'intégrateur à un niveau de référence correspondant à la valeur du flux lorsque le rotor a atteint une position au voisinage de la position d'équilibre. Si le flux est plus faible, le rotor est revenu à sa position initiale et le comparateur déclenche par conséquent une impulsion de même signe dans la même bobine, cette impulsion ayant une durée fixe telle que  $t_2$ , permettant au rotor de franchir le pas. Si le flux est plus fort, le moteur a fait un double pas sur sa lancée et le dispositif commande donc également le déclenchement d'une impulsion d'entraînement d'une durée  $t_2$ .

Le présent dispositif permet ainsi de réaliser l'asservissement de la position du rotor en tenant compte des différentes perturbations possibles du mouvement, tout en limitant, dans le cas normal, la durée des impulsions motrices à un minimum par une détection d'une grandeur dépendant uniquement de la position du rotor.



- 19 -

REVENDICATIONS

1. Dispositif de commande d'un moteur électrique du type comportant un rotor aimanté et au moins deux circuits magnétiques de stator séparés, couplés chacun avec au moins une bobine électrique et disposés de façon à former entre eux un angle électrique de  $2 k \pi \pm \pi/2$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ), ce dispositif de commande comportant une source d'énergie électrique, un circuit générateur d'impulsions commandé par une source de signaux d'horloge pour fournir des impulsions d'entraînement du rotor au moins à une des bobines de l'un des circuits magnétiques stationnaires et comportant un circuit intégrateur agencé pour recevoir les signaux induits par le rotor dans au moins une des bobines d'un autre desdits circuits magnétiques de stator pour déterminer la durée d'une impulsion d'entraînement du rotor, caractérisé en ce qu'il comporte un circuit logique de commande connecté, par ses entrées, d'une part à la source de signaux d'horloge et, d'autre part, à la sortie du circuit intégrateur, et, par ses sorties aux entrées de commande d'un circuit de commutation, le circuit de commutation étant branché à la source d'énergie électrique, aux différentes bobines et à l'entrée du circuit intégrateur, le circuit logique de commande et le circuit de commutation étant agencés pour pouvoir connecter les bobines couplées avec chacun desdits circuits magnétiques du stator à la source d'énergie électrique ou à l'entrée dudit circuit intégrateur de telle façon que le moteur travaille en mode diphasé, pas à pas, sous l'effet d'impulsions d'entraînement fournies alternativement aux bobines associées à l'une et à l'autre phase, au moins une des bobines associées à la phase non alimentée par une



- 20 -

impulsion d'entraînement étant connectées au moins temporairement au circuit intégrateur.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte au moins un détecteur de niveau associé au circuit intégrateur, le circuit logique étant agencé pour interrompre une impulsion d'entraînement et/ou pour déclencher une nouvelle impulsion d'entraînement en fonction de la présence d'un signal de sortie d'un des détecteurs de niveau et de l'instant de l'apparition de ce signal par rapport aux signaux d'horloge, ainsi que pour remettre l'intégrateur à zéro au début et à la fin de chaque période d'intégration prévue.

3. Dispositif selon les revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le circuit logique est agencé pour court-circuiter temporairement au moins une bobine, de façon à amortir le rotor en mouvement au voisinage de la position d'équilibre et/ou à tendre à le maintenir dans celle-ci par un tel court-circuit.



1/5

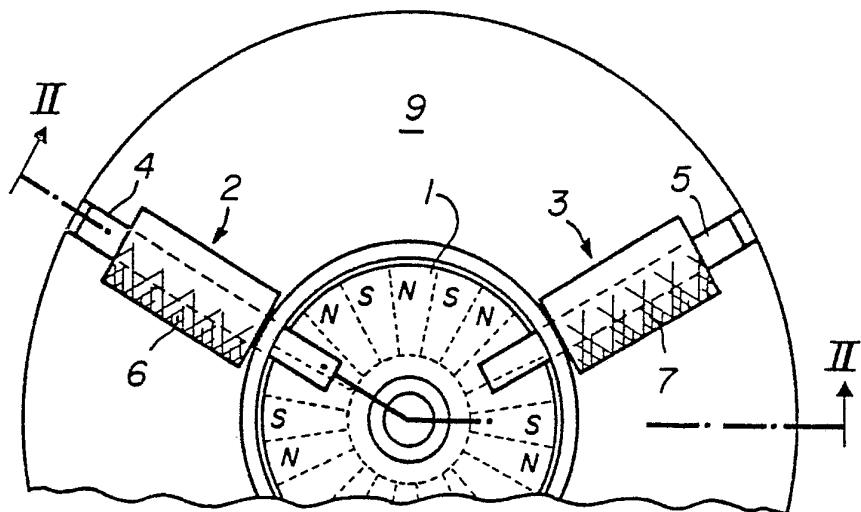


FIG. 1

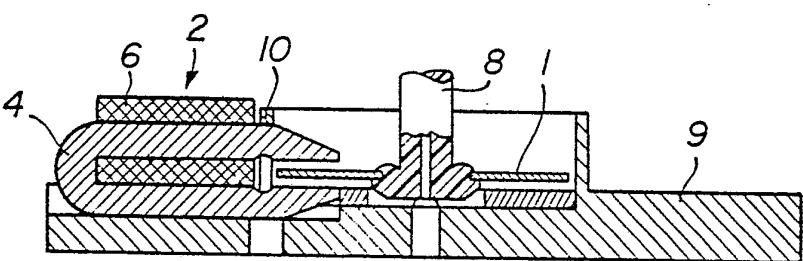


FIG. 2

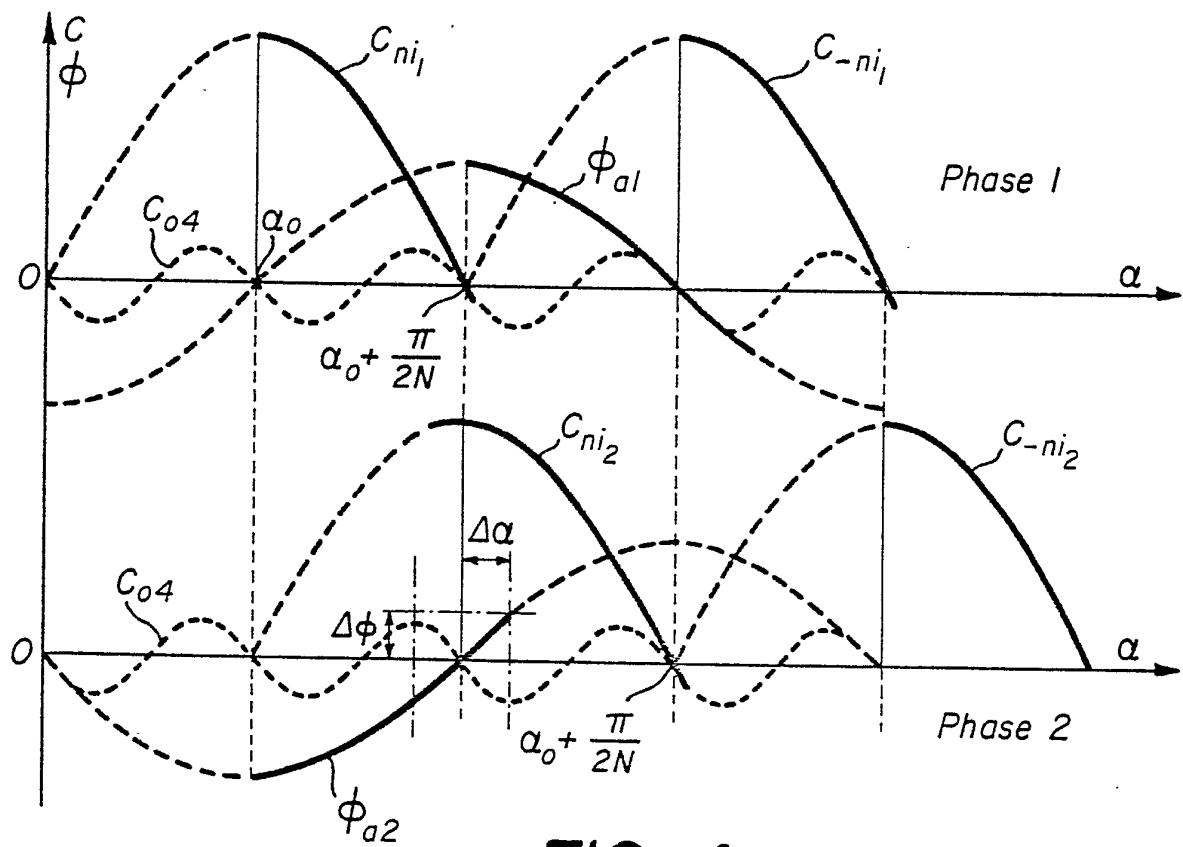


FIG. 4

2/5

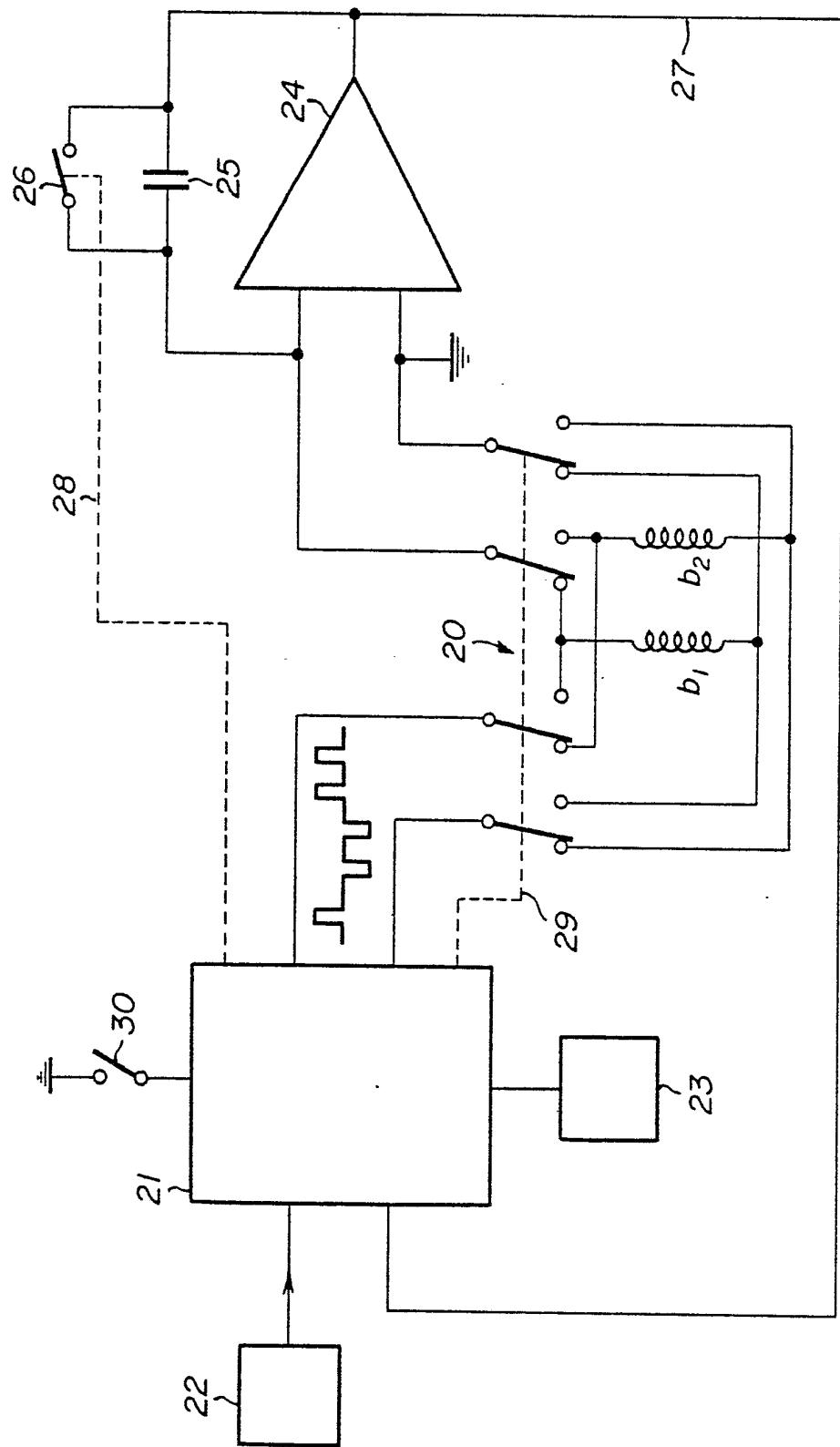
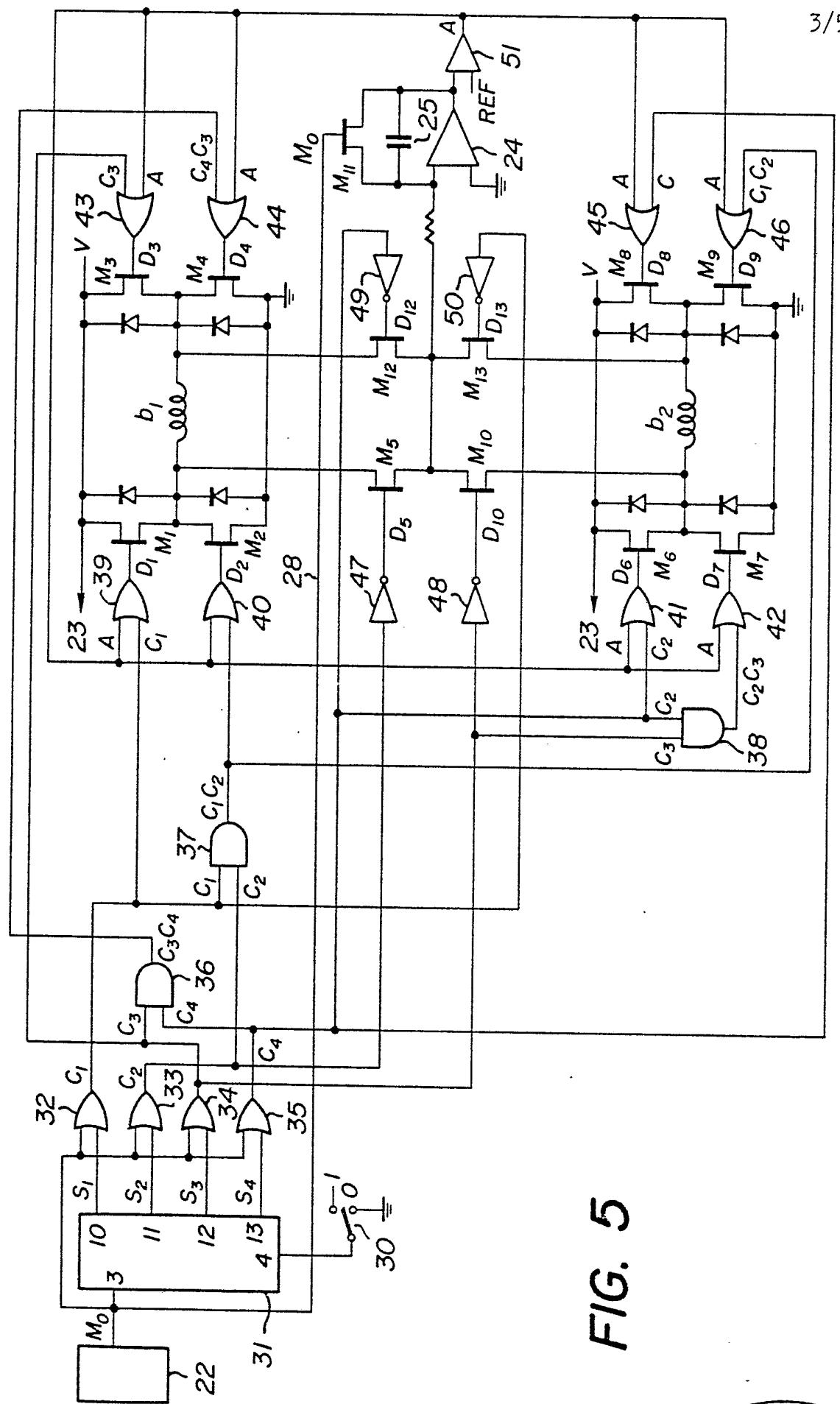


FIG. 3



3/5

FIG. 5

4/5

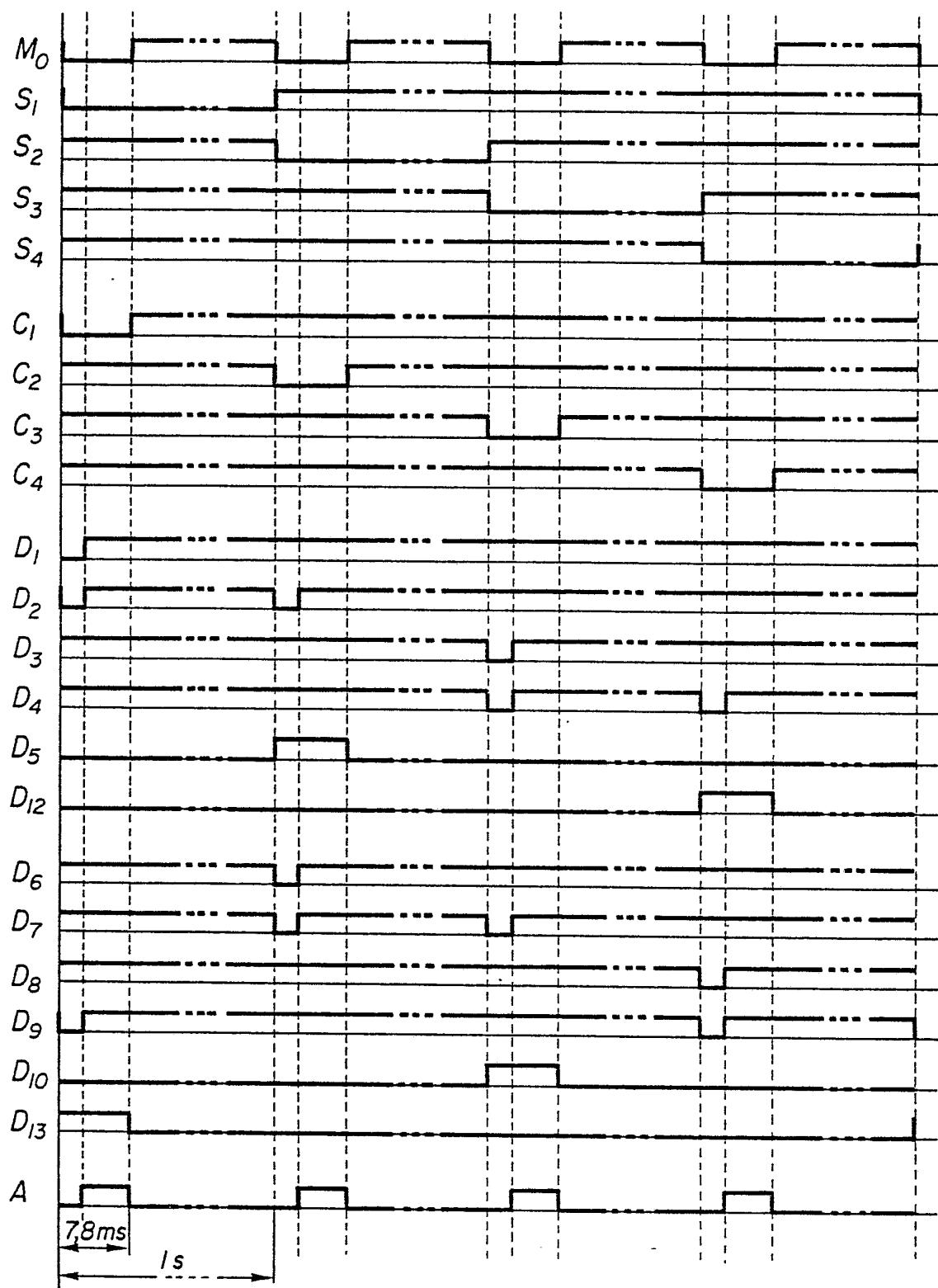
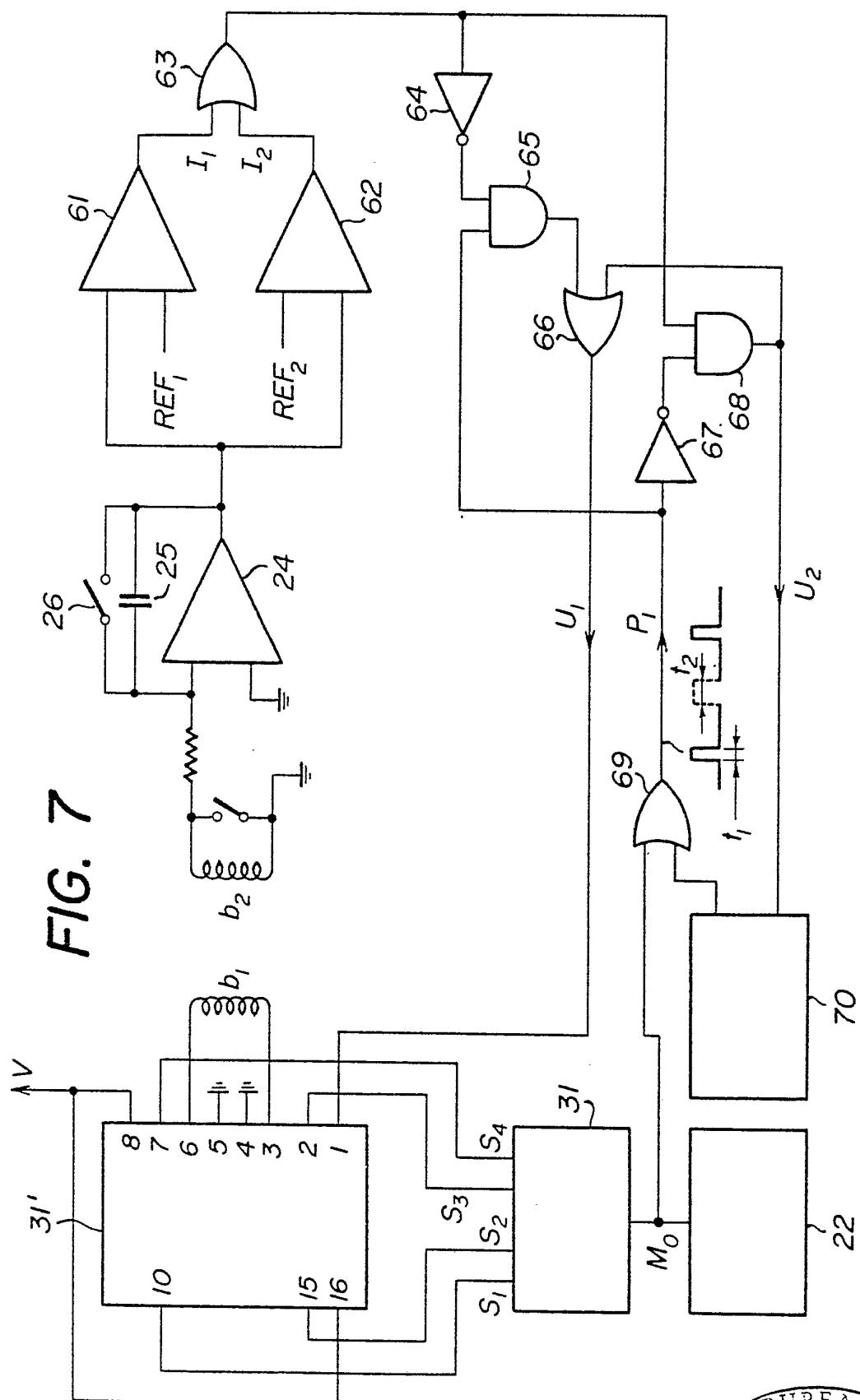


FIG. 6

5/5



# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale N° PCT/CH 81/00011

## I. CLASSEMENT DE L'INVENTION (si plusieurs symboles de classification sont applicables, les indiquer tous) <sup>3</sup>

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

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

## II. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTÉ

Documentation minimale consultée <sup>4</sup>

Système de classification	Symboles de classification
Int.Cl. <sup>3</sup>	G 04 C 3/14; H 02 P 8/00; H 02 P 6/00

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où de tels documents font partie des domaines sur lesquels la recherche a porté <sup>5</sup>

## III. DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS <sup>14</sup>

Catégorie <sup>6</sup>	Identification des documents cités, <sup>16</sup> avec indication, si nécessaire, des passages pertinents <sup>17</sup>	N° des revendications visées <sup>18</sup>
	US, A, 3855781, publié le 24 décembre 1974, voir colonne 3, ligne 46 à colonne 4, ligne 54; figures 4,6 à 9, Kabushiki Kaisha Suwa Seikosha --	1,2
	FR, A, 2112679, publié le 23 juin 1972, voir page 2, ligne 24 à page 5, ligne 15; figures 1,3,4; Société d'Applications Générales d'Electricité et Mécanique	1,2
A	US, A, 2814769, publié le 26 novembre 1957, voir colonne 3, lignes 33 à 65; figure 1; General Electric Company	1
A	FR, A, 1373415, publié le 17 août 1964, voir page 2, colonne de gauche, lignes 11 à 29; figure 2, Matsushita Electric Industrial Co.Ltd.	1
	-----	

\* Catégories spéciales de documents cités: <sup>16</sup>

«A» document définissant l'état général de la technique

«E» document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

«L» document cité pour raison spéciale autre que celles qui sont mentionnées dans les autres catégories

«O» document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

«P» document publié avant la date de dépôt international mais à la date de priorité revendiquée ou après celle-ci

«T» document ultérieur publié à la date de dépôt international ou à la date de priorité, ou après, et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

«X» document particulièrement pertinent

## IV. CERTIFICATION

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée <sup>1</sup>  23 avril 1981	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale <sup>2</sup>  7 mai 1981
Administration chargée de la recherche internationale <sup>1</sup>  OFFICE EUROPÉEN DES BREVETS	Signature du fonctionnaire autorisé <sup>2</sup>  G. L. M. KRUJDENBERG

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/CH81/00011

## I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (if several classification symbols apply, indicate all) <sup>3</sup>

According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC  
**Int.Cl.3: G 04 C 3/14**

## II. FIELDS SEARCHED

Minimum Documentation Searched <sup>4</sup>

Classification System	Classification Symbols
<b>Int.Cl.3</b>	<b>G 04 C 3/14; H 02 P 8/00; H 02 P 6/00</b>

Documentation Searched other than Minimum Documentation  
to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched <sup>5</sup>

## III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <sup>14</sup>

Category *	Citation of Document, <sup>16</sup> with indication, where appropriate, of the relevant passages <sup>17</sup>	Relevant to Claim No. <sup>18</sup>
A	US, A, 3855781, published on 24 December 1974, see column 3, line 46 to column 4, line 54; figures 4,6, to 9, Kabushiki Kaisha Suwa Seikosha	1,2
	FR, A, 2112679, published on 23 June 1972, see page 2, line 24 to page 5, line 15; figures 1,3,4; Société D'Applications Générales d'Electricités et Mécanique	1,2
	US, A, 2814769, published on 26 November 1957, see column 3, lines 33 to 65; figure 1; General Electric Company	1
	FR, A, 1373415, published on 17 August 1964, see page 2, left-hand column lines 11 to 29; figure 2, Matsushita Electric Industrial Co. TLtd.	1

\* Special categories of cited documents: <sup>15</sup>

"A" document defining the general state of the art

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document cited for special reason other than those referred to in the other categories

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but on or after the priority date claimed

"T" later document published on or after the international filing date or priority date and not in conflict with the application, but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance

## IV. CERTIFICATION

Date of the Actual Completion of the International Search <sup>2</sup>  
**23 April 1981 (23.04.81)**

Date of Mailing of this International Search Report <sup>2</sup>  
**7 May 1981 (07.05.81)**

International Searching Authority <sup>1</sup>  
**European Patent Office**

Signature of Authorized Officer <sup>20</sup>