

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication:

0 087 387
A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: 83810044.4

(51) Int. Cl.³: **G 04 C 3/14**
G 04 C 13/11

(22) Date de dépôt: 03.02.83

(30) Priorité: 15.02.82 CH 918/82

(43) Date de publication de la demande:
31.08.83 Bulletin 83/35

(84) Etats contractants désignés:
DE FR GB

(71) Demandeur: **ETA S.A., Fabriques d'Ebauches**
Schild-Rust-Strasse 17
CH-2540 Granges(CH)

(72) Inventeur: **Grandjean, Rémy**
Rue du Midi 13
CH-2052 Fontainemelon(CH)

(72) Inventeur: **Guerin, Yves**
Däderizstrasse 108
CH-2540 Granges(CH)

(74) Mandataire: **de Montmollin, Henri et al,**
c/o ASUAG - Société Générale de l'Horlogerie Suisse
S.A. 6, Faubourg du Lac
CH-2501 Bienne(CH)

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

(57) L'invention concerne un procédé de commande d'un moteur pas à pas bidirectionnel à deux bobines (9,10) et trois faces polaires.

Le procédé consiste à appliquer des impulsions de courant alternatives dans une seule des bobines du moteur pour le faire tourner dans un sens, et dans l'autre des bobines, seule, pour le faire tourner dans l'autre sens.

L'invention s'applique à la commande de moteurs bidirectionnels utilisés, notamment, dans les pièces d'horlogerie.

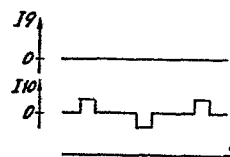


Fig. 4a

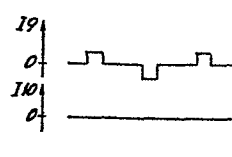


Fig. 4b

EP 0 087 387 A1

PROCEDE ET DISPOSITIF DE COMMANDE D'UN MOTEUR PAS A PAS
BIDIRECTIONNEL

La présente invention a pour objet un procédé et un dispositif de commande d'un moteur pas-à-pas bidirectionnel comportant un stator comprenant une armature qui présente une première, une deuxième et une troisième face polaire délimitant entre elles un
5 espace sensiblement cylindrique et qui comporte un premier et un deuxième circuit magnétique reliant respectivement la première face polaire à la deuxième face polaire et la première face polaire à la troisième face polaire, le stator comprenant en outre une première et une deuxième bobine couplées magnétiquement au premier, respec-
10 tivement au deuxième circuit magnétique, et le moteur comportant en outre un rotor comprenant un aimant permanent monté rotativement dans ledit espace.

Un moteur tel qu'il est défini ci-dessus est décrit dans la demande de brevet allemand no DE-OS 3.026.004. Selon cette demande
15 de brevet, il est commandé par des impulsions de courant qui sont envoyées simultanément dans les deux bobines chaque fois que le rotor doit tourner d'un pas, c'est-à-dire de 180°. La polarité du courant circulant dans l'une des bobines est inversée sensiblement au milieu de l'impulsion motrice.

20 La consommation d'un moteur commandé de cette manière est assez importante, puisqu'un courant circule simultanément dans les deux bobines. En outre, le fait que la polarité du courant dans l'une des

bobines change au milieu de l'impulsion motrice implique que le circuit de commande du moteur comporte huit transistors formant, de manière classique, deux ponts de quatre transistors reliés, chacun, à l'une des bobines. Ces huit transistors, qui doivent laisser
5 passer un courant assez intense, occupent une grande surface sur la plaquette de silicium dans laquelle sont intégrés tous les éléments du circuit électronique servant à élaborer les impulsions motrices.

Le but de la présente invention est de proposer un procédé et un dispositif de commande d'un moteur tel qu'il a été défini ci-dessus
10 qui permettent d'une part de diminuer la consommation de courant du moteur et, d'autre part, d'utiliser seulement six transistors de puissance dans le circuit de commande.

Ce but est atteint par le procédé et par le dispositif revendiqués, qui vont être décrits à l'aide du dessin dans lequel :

- 15 - les figures 1 et 2 représentent une forme d'exécution du moteur;
- la figure 3 est un tableau illustrant le procédé selon l'invention;
- les figures 4a et 4b représentent des diagrammes des impulsions de commande du moteur;
- 20 - la figure 5 est le schéma d'un exemple de circuit pour la mise en oeuvre du procédé;
- les figures 6a et 6b sont des diagrammes représentant des signaux mesurés en divers points du schéma de la figure 5 pendant une rotation du moteur en marche avant, respective-
25 ment en marche arrière;
- la figure 7 est un tableau illustrant une première variante du procédé selon l'invention;

- la figure 8 est le schéma d'un exemple de circuit pour la mise en oeuvre de cette première variante du procédé;
- les figure 9a et 9b sont des diagrammes représentant des signaux mesurés en divers points du circuit de la figure 8 pendant une rotation du moteur en marche avant, respectivement en marche arrière;
- la figure 10 est un tableau illustrant une deuxième variante du procédé selon l'invention;
- la figure 11 est le schéma d'un exemple de circuit pour la mise en oeuvre de cette deuxième variante;
- les figures 12a et 12b sont des diagrammes représentant des signaux mesurés en divers points du circuit de la figure 11 pendant une rotation du moteur en marche avant, respectivement en marche arrière;
- la figure 13 est un tableau illustrant une troisième variante du procédé selon l'invention;
- la figure 14 est le schéma d'un exemple de circuit pour la mise en oeuvre de cette troisième variante;
- les figures 15a et 15b sont des diagrammes représentant des signaux mesurés en divers points du circuit de la figure 14 pendant une rotation du moteur en marche avant, respectivement en marche arrière;
- la figure 16 est le schéma d'une variante du circuit de la figure 14; et
- la figure 17 est le schéma d'une exemple de circuit permettant d'asservir la durée des impulsions motrices à la charge mécanique entraînée par le moteur.

Les figures 1 et 2 représentent une forme d'exécution du moteur décrit dans la demande de brevet allemand no DE-OS 3.026.004 citée ci-dessus. Dans cette forme d'exécution, le moteur comprend un stator dont l'armature est formée de deux pièces en matériau magnétique doux dont l'une, désignée par 1, comporte trois branches désignées par 1a, 1b et 1c, respectivement, et dont l'autre, désignée par 2, a sensiblement la forme d'une barre rectiligne présentant trois saillies transversales dont deux, désignées par 2a et 2b, sont situées à ses extrémités, et dont la troisième, désignée par 2c, est située en son milieu. Ces deux pièces 1 et 2 de l'armature du stator sont disposées l'une par rapport à l'autre dans la position représentée au dessin, dans laquelle elles se font face, les branches 1a, 1b et 1c de la pièce 1 étant appliquées contre les saillies 2a, 2b et 2c, respectivement, de la pièce 2 du stator. L'assemblage est assuré par deux vis 3 dont l'une traverse la branche 1a pour se visser dans la saillie 2a et dont l'autre traverse la branche 1b pour se visser dans la saillie 2b.

Un trou circulaire 4 est ménagé dans la pièce 1, au droit de la naissance de la branche 1c, médiane, de celle-ci, ménageant ainsi trois parties amincies 1d, 1e et 1f, en forme d'isthmes, reliant les unes aux autres les trois faces polaires constituées l'une par la branche 1c et les deux autres par les portions du corps même de la pièce 1 situées entre les amincissements 1d et 1e, et 1e et 1f respectivement.

Le rotor du moteur comprend un arbre 5 qui pivote par exemple entre deux éléments 6 et 7 du bâti de l'appareil qui est équipé du présent moteur. L'arbre 5 porte un aimant permanent 8, bipolaire,

dont les pôles, diamétralement opposés, ont été indiqués par N et S à la figure 1.

Le stator du moteur comprend deux bobines 9 et 10 coaxiales enroulées sur les deux parties rectilignes 2d de la pièce 2 de l'armature situées l'une entre la saillie 2a et la saillie 2c de la pièce 2 et l'autre entre la saillie 2b et la saillie 2c de celle-ci. Le champ magnétique engendré par chacune de ces bobines dans l'espace 4 et dans l'aimant 8 lorsqu'elles sont parcourues par un courant a été schématiquement représenté à la figure 1 où il est désigné par C9, respectivement C10.

Il faut noter que, en l'absence de courant dans les bobines 9 et 10, le rotor est soumis à un couple de positionnement qui tend à le maintenir dans l'une ou l'autre de deux positions de repos. L'une de ces positions est celle qui est représentée à la figure 1, l'autre est celle que le rotor occupe après avoir tourné de 180° . La variation de ce couple de positionnement en fonction de l'angle de rotation du rotor est telle que le rotor revient à la position qu'il occupait s'il est laissé libre après avoir été déplacé, dans un sens ou dans l'autre, d'un angle inférieur à 90° environ, et qu'il tourne jusqu'à l'autre position de repos s'il est laissé libre après avoir été déplacé d'un angle supérieur à 90° environ.

Dans la figure 1, les directions des champs C9 et C10 forment des angles de 45° environ avec la direction de l'axe d'aimantation N - S de l'aimant 8. En pratique, ces angles peuvent être compris entre 30° et 60° environ, selon la forme donnée aux différentes parties du stator.

Dans la suite de cette description, les courants circulant dans les bobines 9 et 10 dans un sens tel que le champ magnétique a le

sens indiqué par les flèches C9 et C10 seront arbitrairement qualifiés de positifs. De même, le sens de rotation indiqué par la flèche 11 sera appelé arbitrairement sens de rotation positif.

Le tableau de la figure 3 illustre le procédé selon l'invention
5 de commande de ce moteur. Les signes + ou - dans les colonnes désignées par I9 et I10 indiquent qu'un courant positif, respectivement négatif est envoyé dans la bobine 9, respectivement 10, dans le cas illustré par la ligne où ils se trouvent. Les flèches dans les colonnes désignées par C9 et C10 indiquent le sens du champ créé par
10 ces courants. Les flèches dans les trois dernières colonnes désignées par Ra, Rb et Rc indiquent respectivement la position de départ du rotor, la position qu'il atteindrait sous l'influence du champ créé par les bobines 9 ou 10 si le courant était maintenu dans ces bobines, et la position qu'il atteint sous l'influence du couple
15 de positionnement lorsque ce courant est interrompu. Ces diverses positions sont indiquées par des flèches allant du pôle sud de l'aimant 8 à son pôle nord.

La ligne A du tableau de la figure 3 illustre la manière de commander le moteur pour que le rotor tourne d'un pas, c'est-à-dire
20 de 180°, dans le sens positif à partir de la position qu'il occupe dans la figure 1. Cette position est rappelée dans la colonne Ra de cette ligne A. Une impulsion de courant positif est envoyée dans la bobine 10. Le champ qui résulte de cette impulsion a sensiblement la direction et le sens de la flèche C10 de la figure 1. Aucun courant
25 n'est envoyé dans la bobine 9. Le rotor est soumis à un couple tel que, si l'intensité du courant est suffisante, il tourne dans le sens positif jusqu'à ce qu'il atteigne une position où la direction du champ de l'aimant 8 est parallèle à la direction de la flèche C10

(colonne Rb). Si le courant dans la bobine 10 est interrompu lorsque le rotor atteint cette position, il termine son pas sous l'influence du couple de positionnement. Il se trouve alors dans la position où le champ de l'aimant 8 a une direction opposée à celle qu'il avait avant que le courant soit appliqué à la bobine 10 (colonne Rc).

La ligne B du tableau de la figure 3 illustre la manière de commander le moteur pour que le rotor tourne à nouveau d'un pas dans le sens positif à partir de la position qu'il a atteinte à la suite de ce premier pas. Cette position est symbolisée dans la colonne Ra de cette ligne B. Une impulsion de courant de même intensité que celui de la ligne A du tableau est envoyée dans la bobine 10, mais dans le sens négatif. Le champ magnétique qui en résulte a donc la même direction que celle de la flèche C10, mais le sens opposé. Le couple qui s'exerce sur le rotor a donc le même sens que dans le cas précédent, et le rotor tourne à nouveau dans le sens positif jusqu'à ce que le champ de l'aimant 8 ait une direction parallèle à celle du champ créé par le courant circulant dans la bobine 10 (colonne Rb). A nouveau, lorsque ce courant est interrompu, le rotor termine son pas sous l'influence du couple de positionnement. Il se retrouve dans la position qu'il occupe dans la figure 1, après avoir fait un tour complet dans le sens positif (colonne Rc).

Il est évident que si une impulsion de courant positif est alors à nouveau envoyée dans la bobine 10, le rotor recommence un pas, comme dans le cas de la ligne A du tableau de la figure 3.

La ligne C de ce tableau illustre la manière de commander le moteur pour que son rotor tourne d'un pas dans le sens négatif à partir de la position qu'il occupe à la figure 1 (colonne Ra).

Dans ce cas, une impulsion de courant positif est envoyée dans la bobine 9, et aucun courant n'est envoyé dans la bobine 10. Le champ qui résulte de cette impulsion a sensiblement la direction et le sens de la flèche C9. Le rotor est soumis à un couple tel qu'il
5 tourne dans le sens négatif jusqu'à ce que la direction du champ de l'aimant 8 devienne parallèle à la direction de la flèche C9 (colonne Rb). Lorsque ce courant est interrompu, le rotor termine son pas sous l'influence du couple de positionnement (colonne Rc). Il a donc tourné d'un demi-tour dans le sens négatif.

10 Si une impulsion de courant négatif est maintenant envoyée dans la bobine 9 (ligne D du tableau de la figure 3), le champ qui en résulte a la même direction que la flèche C9, mais le sens inverse. Le rotor tourne donc, toujours dans le sens négatif, jusqu'à ce que le champ de l'aimant 8 ait une direction parallèle à celle de ce
15 champ créé par le courant négatif dans la bobine 9 (colonne Rb). A nouveau, lorsque ce courant est interrompu, le rotor termine son pas sous l'influence du couple de positionnement (colonne Rc).

Le rotor a alors effectué un tour complet dans le sens négatif. Si un courant positif est à nouveau envoyé dans la bobine 9, le
20 rotor recommence un pas comme dans le cas de la ligne C.

Il est clair que, dans la pratique, le courant doit être interrompu au plus tard lorsque le rotor atteint la position illustrée par la colonne Rb du tableau de la figure 3, ou même auparavant. La durée des impulsions de courant envoyées dans la bobine 10 ou dans
25 la bobine 9 est choisie en fonction des caractéristiques du moteur et/ou de la charge qu'il entraîne.

Il est facile de voir que le sens de rotation du rotor peut être choisi librement, quelle que soit sa position. Lorsque le rotor est

dans la position qu'il occupe à la figure 1, une impulsion de courant positif appliquée à la bobine 10 provoque une rotation dans le sens positif, et une impulsion de courant positif appliquée à la bobine 9 provoque une rotation dans le sens négatif. Lorsque le rotor est dans la position inverse de celle de la figure 1, une impulsion de courant négatif appliquée à la bobine 10 provoque une rotation dans le sens positif, et une impulsion de courant négatif appliquée à la bobine 9 provoque une rotation dans le sens négatif.

En résumé, des premières impulsions de courant sont appliquées alternativement dans un sens et dans l'autre uniquement à l'une des bobines pour provoquer la rotation du rotor dans un sens, et des deuxièmes impulsions de courant sont appliquées alternativement dans un sens et dans l'autre uniquement à l'autre bobine pour provoquer la rotation du rotor dans l'autre sens.

La figure 4a illustre les impulsions de courant envoyées à la bobine 10 pour faire tourner le rotor dans le sens positif, et la figure 4b illustre les impulsions envoyées à la bobine 9 pour faire tourner le rotor dans le sens négatif.

Pour que le rotor tourne d'un demi-pas en réponse à une de ces impulsions, il faut qu'il se trouve dans la position voulue, c'est-à-dire qu'il doit se trouver dans la position qu'il occupe à la figure 1, au moment où une impulsion de courant positif est envoyée à la bobine 9 ou à la bobine 10 et qu'il doit se trouver dans son autre position de repos au moment où une impulsion de courant négatif est envoyée à l'une ou à l'autre de ces bobines.

Si, pour une raison quelconque, cette condition n'est pas remplie, c'est-à-dire que le rotor se trouve dans la position de la figure 1 et qu'une impulsion négative est envoyée à l'une des

bobines, ou qu'il se trouve dans son autre position de repos et qu'une impulsion positive est envoyée à cette bobine, le rotor commence à tourner dans le sens inverse de celui qui correspond à la bobine dans laquelle le courant est envoyé. Il ne tourne cependant
5 que d'un angle faible, inférieur à l'angle correspondant à un demi-pas. Le couple de positionnement auquel il est soumis ne change donc pas de signe et le rotor revient à sa position de départ à la fin de l'impulsion.

L'impulsion suivante aura donc la polarité correcte pour le
10 faire tourner d'un pas, dans le sens voulu. Le sens de rotation n'est donc pas inversé lorsque le rotor n'a pas la position qu'il devrait avoir au moment où une impulsion est envoyée à une des bobines.

La figure 5 montre le schéma d'un exemple de circuit pour la
15 mise en oeuvre du procédé selon l'invention, et les figures 6a et 6b illustrent quelques signaux mesurés en divers points de ce circuit.

Dans cet exemple, ainsi que dans les exemples qui seront décrits plus loin, le moteur est utilisé dans une montre électronique pour entraîner des aiguilles d'affichage de l'heure, de la minute et de
20 la seconde, non représentées, à l'aide d'un train d'engrenage également non représenté. Il est évident que ces exemples ne sont pas limitatifs et que l'invention est utilisable quel que soit le dispositif ou l'appareil auquel le moteur est incorporé.

Les bobines 9 et 10 du moteur sont branchées dans un double pont
25 formé de six transistors MOS désignés par T1 à T6. Les transistors T1, T3 et T5 sont de type p et ont leur source reliée au pôle positif de la source d'alimentation. Les transistors T2, T4 et T6 sont de type n et ont leur source reliée au pôle négatif de la

source d'alimentation. Les drains des transistors T1 et T2, T3 et T4, T5 et T6 sont respectivement reliés à une première borne de la bobine 10, à la deuxième borne de la bobine 10 et à une première borne de la bobine 9, et à la deuxième borne de la bobine 9.

5 Les grilles G1 à G6 des transistors T1 à T6 sont reliées à un circuit logique formé de six portes ET 21 à 26, de deux portes OU 27 et 28, de quatre inverseurs 29 à 32 et de deux flip-flops de type D 33 et 34, reliés les uns aux autres de la manière représentée. Ce circuit logique ne sera pas décrit plus en détail ici, car son
10 fonctionnement, qui est illustré par les diagrammes des figures 6a et 6b, est facile à comprendre.

Ce circuit logique reçoit deux signaux périodiques ayant des fréquences respectives de 1 Hz et de 64 Hz fournies par des sorties 35a et 35b d'un diviseur de fréquence 35. Ce diviseur 35 reçoit
15 d'un oscillateur à quartz 36 un signal ayant une fréquence de, par exemple, 32768 Hz. Il délivre en outre sur des sorties désignées par 35c, 35d et 35e d'autres signaux périodiques ayant respectivement des fréquences de 128, 256 et 2048 Hz qui seront utilisés dans des circuits décrits plus loin.

20 Le circuit logique reçoit en outre un signal AR de détermination du sens de rotation du moteur, qui est fourni, par exemple, par un circuit de mise à l'heure 38 qui peut être quelconque et qui ne sera pas décrit ici.

Dans cet exemple, ce signal AR est à l'état logique "0" lorsque
25 le rotor doit tourner dans le sens positif, et à l'état logique "1" lorsque le rotor doit tourner dans le sens négatif.

Il est facile de voir que la sortie Q du flip-flop 33 délivre des impulsions de commande qui sont à l'état "1" pendant environ

7,8 millisecondes, avec une période de une seconde. Entre ces impulsions de commande, les grilles des transistors T1, T3 et T5 sont à l'état logique "1" et les grilles des transistors T2, T4 et T6 sont à l'état logique "0". Comme ces états "1" et "0" sont
5 représentés respectivement par la tension de la borne positive et par la tension de la borne négative de la source d'alimentation, les six transistors T1 à T6 sont bloqués.

A la fin de chaque impulsion de commande délivrée par la sortie Q du flip-flop 33, le flip-flop 34 change d'état. Sa sortie Q
10 reste donc alternativement à l'état "0" et à l'état "1" pendant une seconde.

On admettra pour commencer que la sortie Q du flip-flop 34 est à l'état "0" et que sa sortie $\bar{Q}$ est donc à l'état "1".

Dans le cas où le moteur doit tourner dans le sens positif, le
15 signal AR est à "0" (figure 6a). Dans ces conditions, une impulsion de commande délivrée par la sortie Q du flip-flop 33 passe la porte 21 et atteint la grille G1 du transistor T1 à travers la porte 23 et l'inverseur 30, et la grille G4 du transistor T4 à travers la porte 28. Pendant la durée de cette impulsion, la grille
20 le G4 passe donc à "1" et la grille G1 passe à "0". Les transistors T1 et T4 deviennent donc conducteurs, et une impulsion de courant traverse la bobine 10 dans le sens indiqué par la flèche 36. Si le sens de l'enroulement du fil formant la bobine 10 est choisi convenablement, cette impulsion crée un champ magnétique dans le
25 sens de la flèche C10 de la figure 1. Ce cas correspond donc au cas de la ligne A du tableau de la figure 3. Si, en outre, le rotor se trouve, avant le début de l'impulsion, dans la position représentée à la figure 1, il tourne d'un demi-tour dans le sens positif.

La fin de l'impulsion de commande délivrée par la sortie Q du flip-flop 33 provoque le basculement du flip-flop 34 dont la sortie Q passe à l'état "1". Une seconde plus tard, la sortie Q du flip-flop 33 délivre une nouvelle impulsion de commande qui traverse également la porte 21 et atteint, cette fois, la grille G2 du transistor T2 à travers la porte 24, et la grille G3 du transistor T3 à travers la porte 27 et l'inverseur 31. Ces deux transistors deviennent donc conducteurs, et une impulsion de courant traverse la bobine 10 dans le sens inverse de celui de la flèche 36.

10 Le rotor tourne donc à nouveau d'un pas dans le sens positif. Ce cas correspond à celui de la ligne B du tableau de la figure 3.

Ce processus se répète à chaque impulsion de commande délivrée par la sortie Q du flip-flop 33, tant que le signal AR reste à "0".

Si ce signal AR est à l'état "1" (figure 6b), les impulsions de commande délivrées par la sortie Q du flip-flop 33 passent par la porte 22. Lorsque la sortie Q du flip-flop 34 est à "0", ces impulsions passent par la porte 26 et atteignent la grille G4 du transistor T4 à travers la porte 28, et la grille G5 du transistor T5 à travers l'inverseur 32. Ces deux transistors deviennent donc conducteurs, et une impulsion de courant passe dans la bobine 9 dans le sens de la flèche 37. Cette impulsion crée un champ magnétique dans le sens de la flèche C9 de la figure 1, et le rotor tourne d'un pas dans le sens négatif. Ce cas correspond à celui de la ligne C du tableau de la figure 3.

25 L'impulsion de commande suivante, délivrée une seconde plus tard par la sortie Q du flip-flop 33, passe également par la porte 22. Comme la sortie Q du flip-flop 34 est maintenant à l'état "1", cette impulsion passe par la porte 25 et atteint la grille G6 du

transistor T6. Cette impulsion atteint également la grille G3 du transistor T3 à travers la porte 27 et l'inverseur 31. Ces transistors T3 et T6 deviennent donc conducteurs et une impulsion de courant traverse la bobine 9 dans le sens inverse de celui de la flèche 37. Ce cas correspond à celui de la quatrième ligne du tableau de la figure 3, et le rotor tourne donc à nouveau d'un pas dans le sens négatif.

En résumé, le dispositif applique, en réponse à un signal de commande, une première impulsion de courant à une première bobine, alternativement dans un sens et dans l'autre, lorsque le signal de détermination du sens de rotation du rotor est dans son premier état, et une deuxième impulsion de courant à la deuxième bobine, alternativement dans un sens et dans l'autre, lorsque le signal de détermination du sens de rotation du rotor est dans son deuxième état. Dans l'exemple décrit, le signal de commande est constitué par les impulsions fournies par la sortie Q du flip-flop 33.

Le couple fourni par le moteur lorsqu'il est commandé selon le procédé décrit ci-dessus est suffisant dans la plupart des cas. Il est cependant possible d'augmenter ce couple, si nécessaire, en utilisant une variante de ce procédé.

Le tableau de la figure 7 résume cette première variante du procédé selon l'invention.

Pour faire tourner le rotor d'un pas dans le sens positif, à partir de la position qu'il occupe à la figure 1, une impulsion de courant de sens positif est tout d'abord appliquée à la bobine 10, comme dans le procédé décrit ci-dessus (voir la ligne A1 du tableau de la figure 7). Aucun courant n'est envoyé dans la bobine 9. Le

champ C10 créé par ce courant amène le rotor dans la position indiquée à la colonne Rb1 de cette ligne A1.

Le courant dans la bobine 10 est alors interrompu, et une impulsion de courant de sens également positif est appliquée à la bobine 9 (ligne A2 du tableau de la figure 7). Le champ C9 résultant de ce courant amène le rotor dans la position indiquée à la colonne Rb2.

Lorsque le courant dans la bobine 9 est interrompu, le couple de positionnement amène le rotor dans la position indiquée à la colonne Rc de la ligne A2 du tableau de la figure 7.

Pour faire tourner le rotor d'un deuxième pas, toujours dans le sens positif, une impulsion de courant de sens négatif est appliquée à la bobine 10, puis une impulsion de courant de sens négatif est envoyée dans la bobine 9. Les lignes B1 et B2 du tableau de la figure 7 indiquent ces différents courants, les champs qui en résultent et les positions atteintes par le rotor en réponse à ces champs et sous l'influence du couple de positionnement.

Pour faire tourner le rotor d'un pas dans le sens négatif, à partir de la position indiquée à la figure 1, une impulsion de courant de sens positif est envoyée dans la bobine 9. Une impulsion de courant de sens également positif est ensuite envoyée dans la bobine 10 et, enfin, le couple de positionnement amène le rotor dans sa deuxième position de repos. Les lignes C1 et C2 du tableau de la figure 7 indiquent ces différents courants, les champs qui en résultent et les positions atteintes par le rotor en réponse à ces champs et sous l'influence du couple de positionnement.

Pour faire tourner le rotor d'un nouveau pas dans le sens négatif, une impulsion de courant de sens négatif est envoyée dans la

bobine 9, puis une impulsion de courant de sens négatif est envoyée dans la bobine 10. Les lignes D1 et D2 du tableau de la figure 7 indiquent ces différents courants, les champs qui en résultent et les positions atteintes par le rotor en réponse à ces champs.

- 5 Ainsi, dans cette variante, comme dans le procédé décrit ci-dessus, des premières impulsions de courant sont appliquées à une première bobine alternativement dans un premier sens et dans le deuxième sens pour provoquer la rotation du rotor dans un premier sens, et des deuxième impulsions de courant sont appliquées à la deuxième
- 10 bobine alternativement dans le premier et dans le deuxième sens pour provoquer la rotation du rotor dans le deuxième sens.

- En outre, une troisième impulsion est appliquée à la deuxième bobine après chaque première impulsion, et une quatrième impulsion est appliquée à la première bobine après chaque deuxième impulsion.
- 15 Le sens de la troisième ou de la quatrième impulsion est chaque fois le même que celui de la première ou, respectivement, de la deuxième impulsion immédiatement précédente.

- De cette manière, le couple fourni par le moteur est notablement augmenté, sans que sa consommation augmente dans les mêmes proportions. En outre, il est toujours possible de commander le moteur à
- 20 l'aide d'un circuit ne comportant que six transistors de puissance.

- La figure 8 montre le schéma d'un exemple de circuit destiné à mettre en oeuvre cette variante du procédé selon l'invention et les figures 9a et 9b sont des diagrammes représentant des signaux mesurés en quelques points de ce circuit.
- 25

Le circuit de cette figure 8 comporte un flip-flop de type D 41, dont la sortie Q passe à "1" chaque fois que la sortie 35a du diviseur de fréquence 35, non représenté dans cette figure, passe à

l'état "1". L'entrée R de remise à zéro de ce flip-flop 41 est reliée à la sortie 35c du diviseur de fréquence 35, non représenté, qui fournit un signal à une fréquence de 128 Hz. Cette sortie Q du flip-flop 41 repasse donc à "0" 3,9 millisecondes après avoir passé
5 à "1".

A cet instant, la sortie Q d'un deuxième flip-flop de type D 42 passe à l'état "1". L'entrée R de remise à zéro de ce flip-flop 42 étant reliée à la sortie 35c du diviseur 35 qui fournit le signal à 128 Hz, à travers un inverseur 43, sa sortie Q repasse à l'état "0"
10 également 3,9 millisecondes après avoir passé à "1".

Un troisième flip-flop de type D 44 bascule à la fin de chaque impulsion fournie par la sortie Q du flip-flop 42. La sortie Q de ce flip-flop 44 reste donc alternativement à l'état "0" et à l'état "1" pendant une seconde.

15 Les deux impulsions de commande consécutives fournies chaque seconde par les sorties Q des deux flip-flops 41 et 42 sont transmises aux grilles G1 à G6 des transistors T1 à T6, identiques à ceux de la figure 5 et non représentés dans cette figure 8, par un circuit logique comprenant des portes ET 45 à 52, des portes OU 53 à 56
20 et des inverseurs 57 à 60, reliés les uns aux autres de la manière représentée. Ce circuit logique ne sera pas décrit plus en détail ici, car son fonctionnement, qui est illustré par les diagrammes des figures 9a et 9b, est facile à comprendre.

Lorsque le signal AR, qui est identique au signal AR de la
25 figure 5, est à l'état "0" (figure 9a), et que la sortie Q du flip-flop 44 est également à l'état "0", chaque première impulsion de commande fournie par la sortie Q du flip-flop 41 rend les transistors T1 et T4 conducteurs. Une impulsion de courant passe donc

dans le sens positif dans la bobine 10 (ligne A1, figure 7). Dans les mêmes conditions, chaque deuxième impulsion de commande fournie par la sortie Q du flip-flop 42 rend les transistors T4 et T5 conducteurs, ce qui provoque le passage d'une impulsion de courant
5 dans la bobine 9, dans le sens positif également (ligne A2, figure 7).

Lorsque le signal AR est à l'état "0" et que la sortie Q du flip-flop 44 est à l'état "1", chaque première impulsion de commande fournie par la sortie Q du flip-flop 41 rend les transistors T2
10 et T3 conducteurs. Une impulsion de courant passe donc dans la bobine 10 dans le sens négatif (ligne B1, figure 7). Chaque deuxième impulsion de commande fournie par la sortie Q du flip-flop 42 rend les transistors T3 et T6 conducteurs. Une impulsion de courant passe donc dans la bobine 9 également dans le sens négatif (ligne B2, fi-
15 gure 7).

Lorsque le signal AR est à l'état "1" (figure 9b) et que la sortie Q du flip-flop 44 est à l'état "0", chaque première impulsion de commande fournie par la sortie Q du flip-flop 41 provoque le passage d'une impulsion de courant positif dans la bobine 9 (li-
20 gne C1, figure 7), et chaque deuxième impulsion de commande fournie par la sortie Q du flip-flop 42 provoque le passage d'une impulsion de courant également positif dans la bobine 10 (ligne C2, figure 7).

Lorsque le signal AR est à l'état "1", et que la sortie Q du flip-flop 44 est également à l'état "1", chaque première impulsion
25 de commande fournie par la sortie Q du flip-flop 41 provoque le passage d'une impulsion de courant négatif dans la bobine 9 (ligne D1, figure 7), et chaque deuxième impulsion de commande fournie par la sortie Q du flip-flop 42 provoque le passage d'une impulsion

de courant, également négatif, dans la bobine 10 (ligne D2, figure 7).

En résumé, le dispositif de la figure 8 délivre aux bobines du moteur, en réponse à un signal de commande, les mêmes premières et
5 deuxièmes impulsions que le dispositif de la figure 5. En outre, il applique une troisième impulsion de courant à la deuxième bobine après chaque première impulsion et une quatrième impulsion de courant à la première bobine après chaque deuxième impulsion. Cette
10 troisième et cette quatrième impulsion ont le même sens que la première, respectivement la deuxième impulsion immédiatement précédente.

Dans cet exemple, le signal de commande est constitué par les impulsions fournies par les sorties Q des flip-flops 41 et 42.

Dans l'exemple de cette figure 8, les impulsions de commande
15 délivrées par les sorties Q des flip-flops 41 et 42 se suivent sans intervalle, et elles ont des durées égales, chacune, à la moitié de la durée des impulsions fournies par la sortie Q du flip-flop 33 dans le cas de la figure 5. Ceci n'est cependant pas obligatoire, et il est possible de choisir pour ces impulsions de commande des
20 durées différentes, pour les adapter aux caractéristiques du moteur et/ou de la charge qu'il entraîne. Il est également possible de laisser un petit intervalle entre elles.

Le tableau de la figure 10 résume une deuxième variante du procédé selon l'invention.

25 Pour faire tourner le rotor d'un pas dans le sens positif, à partir de la position qu'il occupe à la figure 1, une impulsion de courant de sens négatif est tout d'abord appliquée à la bobine 9 (ligne A1 du tableau de la figure 10). Aucun courant n'est envoyé

dans la bobine 10. Le champ C9 créé par cette impulsion amène le rotor dans la position indiquée à la colonne Rb1 de cette ligne A1.

Le courant dans la bobine 9 est interrompu, et une impulsion de courant de sens positif est appliquée à la bobine 10 (ligne A2 du tableau de la figure 10). Aucun courant n'est envoyé dans la bobine 9. Le champ C10 résultant de cette impulsion amène le rotor dans la position indiquée à la colonne Rb2. Lorsque le courant dans la bobine 10 est interrompu, le couple de positionnement amène le rotor dans la position indiquée à la colonne Rc de la ligne A2.

10 Pour faire tourner le rotor d'un deuxième pas, toujours dans le sens positif, une impulsion de courant de sens positif est appliquée à la bobine 9, puis une impulsion de courant de sens négatif est envoyée dans la bobine 10. Les lignes B1 et B2 du tableau de la figure 10 indiquent ces différents courants, les champs qui en
15 résultent et les positions atteintes par le rotor en réponse à ces champs et sous l'influence du couple de positionnement.

Pour faire tourner le rotor d'un pas dans le sens négatif, à partir de la position indiquée à la figure 1, une impulsion de courant de sens négatif est envoyée dans la bobine 10. Une impulsion
20 de courant de sens positif est ensuite envoyée dans la bobine 9 et, enfin, le couple de positionnement amène le rotor dans sa deuxième position de repos. Les lignes C1 et C2 du tableau de la figure 10 indiquent ces différents courants, les champs qui en résultent et les positions atteintes par le rotor en réponse à ces champs et sous
25 l'influence du couple de positionnement.

Pour faire tourner le rotor d'un nouveau pas dans le sens négatif, une impulsion de courant de sens positif est envoyée dans la bobine 10, puis une impulsion de courant de sens négatif est envoyée

dans la bobine 9. Les lignes D1 et D2 du tableau de la figure 10 indiquent ces différents courants, les champs qui en résultent et les positions atteintes par le rotor en réponse à ces champs et au couple de positionnement.

5 Ainsi, dans cette deuxième variante, comme dans le procédé et dans la première variante décrits ci-dessus, des premières impulsions de courant sont appliquées à une première bobine, alternativement dans un premier sens et dans le deuxième sens pour provoquer la rotation du rotor dans un premier sens, et des deuxièmes impulsions de courant sont appliquées à la deuxième bobine, alternativement dans le premier et dans le deuxième sens pour provoquer la rotation du rotor dans le deuxième sens. Comme dans la première variante, une troisième impulsion est appliquée à la deuxième bobine après chaque première impulsion, et une quatrième impulsion est
10 appliquée à la première bobine après chaque deuxième impulsion.
15

Il faut noter cependant que, dans cette deuxième variante, la bobine à laquelle les premières impulsions sont appliquées est celle à laquelle les deuxièmes impulsions sont appliquées dans le procédé et dans la première variante, et vice versa. De même, le sens du
20 courant qui doit être appliqué pour provoquer la rotation du rotor dans un sens déterminé à partir d'une position déterminée est chaque fois l'inverse du sens du courant qui est appliqué dans les mêmes conditions dans le procédé et dans sa première variante. En outre, contrairement à ce qui se passe dans la première variante, le sens
25 de cette troisième et de cette quatrième impulsion est chaque fois le sens inverse du sens de la première ou, respectivement, de la deuxième impulsion immédiatement précédente.

La figure 11 illustre un exemple de circuit permettant la mise en oeuvre de cette variante du procédé, et les figures 12a et 12b sont des diagrammes représentant des signaux mesurés en quelques points de ce circuit lorsque le rotor tourne respectivement dans le sens positif et dans le sens négatif.

Les flip-flops 41, 42 et 44 et l'inverseur 43 représentés à la figure 11 sont exactement les mêmes et fonctionnent de la même façon que ceux de la figure 8.

Les deux impulsions de commande fournies par les sorties des flip-flops 41 et 42 sont transmises aux grilles G1 à G6 des transistors T1 à T6, identiques à ceux de la figure 5 et non représentés dans cette figure 11, par un circuit logique comportant les portes ET 71 à 82, les portes OU 83 à 88, et les inverseurs 89 à 92, reliés les uns aux autres de la manière représentée.

15 Ce circuit ne sera pas décrit plus en détail, car il est facile de voir, à l'aide des figures 12a et 12b, que les premières impulsions de commande fournies par la sortie Q du flip-flop 41 provoquent le passage des premières impulsions de courant dans la bobine 9 ou le passage des deuxièmes impulsions de courant dans la bobine 10 selon l'état du signal AR, et que les deuxièmes impulsions de commande fournies par la sortie Q du flip-flop 42 provoquent le passage des troisièmes impulsions de courant dans la bobine 10 ou des quatrièmes impulsions de courant dans la bobine 9, toujours selon l'état du signal AR. Le sens de ces impulsions de courant est
20 en outre déterminé par l'état des sorties Q et $\bar{Q}$ du flip-flop 44. Cet état change à la fin de chaque impulsion fournie par la sortie Q du flip-flop 42, c'est-à-dire à la fin de chaque pas du rotor.

La commande du moteur selon une troisième variante du procédé permet d'augmenter le couple fourni par ce moteur, par rapport à celui qu'il fournit lorsqu'il est commandé selon la deuxième variante, sans augmenter sa consommation dans une trop grande mesure.

5 Le tableau de la figure 13 résume cette troisième variante. Les lignes A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1 et D2 de ce tableau sont identiques aux lignes correspondantes du tableau de la figure 10.

Pour faire tourner le rotor d'un pas dans le sens positif, à partir de la position qu'il occupe à la figure 1, une impulsion de
10 courant de sens négatif est appliquée à la bobine 9, puis une impulsion de courant de sens positif est appliquée à la bobine 10, comme dans la deuxième variante décrite ci-dessus (lignes A1 et A2 de la figure 13).

Ensuite, une impulsion de courant est envoyée à nouveau dans la
15 bobine 9, dans le sens positif cette fois, sans que le courant soit interrompu dans la bobine 10. Les champs C9 et C10 qui résultent de ces courants se combinent pour exercer sur le rotor un couple qui s'ajoute au couple de positionnement pour amener le rotor à sa deuxième position de repos (ligne A3 de la figure 13).

20 Pour faire tourner le rotor d'un nouveau pas dans le sens positif, une impulsion de courant positif est envoyée à la bobine 9, puis une impulsion de sens négatif est envoyée à la bobine 10 (lignes B1 et B2 de la figure 13).

Ensuite, une impulsion de sens négatif est envoyée à nouveau
25 dans la bobine 9, sans que le courant soit interrompu dans la bobine 10. Les champs C9 et C10 qui résultent de ces courants se combinent à nouveau pour exercer un couple qui s'ajoute au couple de

positionnement pour ramener le rotor à la position qu'il occupe à la figure 1 (ligne B3 de la figure 13).

De manière analogue, pour faire tourner d'un pas le rotor dans le sens négatif à partir de la position qu'il occupe à la figure 1, les mêmes impulsions de courant que dans la deuxième variante sont appliquées aux bobines 9 et 10 (lignes C1 et C2 de la figure 13), puis une impulsion de courant positif est envoyée à la bobine 10 sans que le courant soit interrompu dans la bobine 9 (ligne C3 de la figure 13).

10 Pour faire tourner le rotor d'un nouveau pas dans le sens négatif, les mêmes impulsions de courant que dans la deuxième variante sont appliquées aux bobines 9 et 10 (lignes D1 et D2 de la figure 13), puis une impulsion de courant négatif est envoyée à la bobine 10 sans que le courant soit interrompu dans la bobine 9
15 (ligne D3 de la figure 13).

En résumé, dans cette troisième variante, les premières, deuxièmes, troisièmes et quatrièmes impulsions de courant sont appliquées comme dans la deuxième variante. En outre, une cinquième impulsion de courant est appliquée à la première bobine après le début de chaque troisième impulsion et une sixième impulsion de courant est appliquée à la deuxième bobine après le début de chaque quatrième impulsion, sans que cette troisième ou cette quatrième impulsion soit interrompue. Le sens de la cinquième ou de la sixième impulsion de courant est le sens inverse du sens de la première ou de la
20 deuxième impulsion immédiatement précédente.
25

La figure 14 illustre un exemple de circuit permettant la mise en oeuvre de cette troisième variante du procédé, et la figure 15

est un diagramme représentant des signaux mesurés en quelques points de ce circuit.

Le circuit de la figure 14 comporte un flip-flop de type D 101 dont l'entrée d'horloge Ck reçoit le signal ayant une fréquence de 1 Hz de la sortie 35a du diviseur 35, non représenté dans cette figure (voir la fig. 5). La sortie $\bar{Q}$ de ce flip-flop 101 est reliée à son entrée D, de sorte que sa sortie Q passe à l'état "1" chaque fois que le signal ayant une fréquence de 1 Hz passe lui-même à l'état "1". L'entrée R de remise à zéro du flip-flop 101 reçoit de la sortie 35d du diviseur 35 un signal ayant une fréquence de 256 Hz. La sortie Q du flip-flop 101 repasse donc à l'état "0" environ 1,9 milliseconde après avoir passé à l'état "1". A cet instant, la sortie Q d'un flip-flop 102, également de type D, dont l'entrée Ck est reliée à la sortie $\bar{Q}$ du flip-flop 101, passe à l'état "1". Comme l'entrée R de remise à zéro de ce flip-flop 102 reçoit, à travers un inverseur 103, le signal ayant une fréquence de 256 Hz fourni par la sortie 35d du diviseur 35, la sortie Q de ce flip-flop 102 repasse à l'état "0" environ 1,9 milliseconde après avoir passé à l'état "1". A cet instant, la sortie Q d'un flip-flop 104 également de type D, dont l'entrée Ck est reliée à la sortie $\bar{Q}$ du flip-flop 102, passe à l'état "1". L'entrée R de ce flip-flop 104 recevant également le signal ayant une fréquence de 256 Hz, sa sortie Q repasse à l'état "0" également 1,9 milliseconde environ après avoir passé à l'état "1".

Les sorties Q des flip-flops 101, 102 et 104 délivrent donc chaque seconde trois impulsions successives.

Chaque fois que la sortie $\bar{Q}$ du flip-flop 104 passe à l'état "1", un flip-flop 105, également de type D, bascule. Sa sortie Q reste

donc alternativement à l'état "0" et à l'état "1" pendant une seconde.

Les trois impulsions de commande fournies respectivement par les sorties Q des flip-flops 101, 102 et 104 sont transmises aux grilles G1 à G6 des transistors T1 à T6, identiques à ceux de la figure 5 et non représentés dans cette figure 14, par un circuit logique comprenant les portes ET 106 à 117, les portes OU 118 à 125 et les inverseurs 126 à 129, reliés les uns aux autres de la manière représentée.

10 Ce circuit logique ne sera pas décrit plus en détail, car il est facile de voir, à l'aide des figures 15a et 15b, que, comme dans la deuxième variante décrite ci-dessus, les premières impulsions de commande fournies par la sortie Q du flip-flop 101 provoquent le passage des premières impulsions de courant dans la bobine 9 ou le
15 passage des deuxièmes impulsions de courant dans la bobine 10 selon l'état logique du signal AR, et que les deuxièmes impulsions de commande fournies par la sortie Q du flip-flop 102 provoquent le passage des troisièmes impulsions de courant dans la bobine 10 ou des quatrièmes impulsions de courant dans la bobine 9, toujours
20 selon l'état du signal AR. En outre, les troisièmes impulsions de commande fournies par la sortie Q du flip-flop 104 maintiennent les troisièmes ou les quatrièmes impulsions de courant, et provoquent en même temps le passage des cinquièmes impulsions de courant dans la bobine 9, dans le sens inverse de celui de la première impulsion
25 immédiatement précédente, ou le passage des sixièmes impulsions de courant dans la bobine 10, dans le sens inverse de celui de la deuxième impulsion immédiatement précédente.

Ces trois impulsions de commande fournies par les sorties Q des flip-flops 101, 102 et 104 ont des durées égales dans l'exemple décrit ci-dessus. Il est évident que ces impulsions pourraient avoir des durées différentes, adaptées aux caractéristiques du moteur et/ou de la charge qu'il entraîne.

Dans la troisième variante du procédé décrite ci-dessus, un courant circule dans les deux bobines du moteur pendant les cinquièmes ou les sixièmes impulsions. La source d'alimentation du dispositif doit donc fournir, pendant ces cinquièmes ou sixièmes impulsions, deux fois plus de courant que pendant les autres impulsions. Ceci peut conduire à une diminution momentanée de la tension de cette source, avec tous les inconvénients qui sont liés à une telle diminution.

Pour éviter ces inconvénients, il est possible d'interrompre le courant alternativement dans l'une et dans l'autre des bobines pendant les cinquièmes, respectivement les sixièmes impulsions. De cette manière, la source d'alimentation du dispositif doit fournir le même courant dans tous les cas.

Le circuit de la figure 16, qui est un complément au circuit de la figure 14, permet de réaliser cette interruption du courant alternativement dans l'une et dans l'autre bobine pendant ces cinquièmes, respectivement sixièmes impulsions. Ce circuit comporte quatre portés ET 131 à 134 ayant chacune une première entrée reliée, respectivement, à la sortie d'une des portes 120 à 123 de la figure 14. Les sorties de ces portes 131 à 134 sont reliées respectivement à l'entrée de l'inverseur 127, à la grille G2, à l'entrée de l'inverseur 129, et à la grille G6.

Une porte ET 135 a sa première entrée reliée à la sortie Q du flip-flop 104 de la figure 14, et sa deuxième entrée reliée à la sortie 35e du diviseur 35 de la figure 5, non représenté dans cette figure 16. Cette sortie délivre un signal ayant une fréquence de, 5 par exemple, 2048 Hz. La sortie de la porte 135 est reliée aux deuxièmes entrées des portes 133 et 134 et, à travers un inverseur 136, aux deuxièmes entrées des portes 131 et 132. Le reste du circuit de la figure 14 n'est pas modifié.

Lorsque, pendant une troisième impulsion de commande fournie par 10 la sortie Q du flip-flop 104, les deux bobines doivent être parcourues par des courants positifs (cas des lignes A3 et C3 du tableau de la figure 13), les sorties des portes OU 120 et 122 passent à l'état "1". La figure 16 montre que, dans ce cas, la grille G5 du transistor T5 n'est mise à l'état "0" que lorsque le signal à 15 2048 Hz est à l'état "1". De même, la grille G1 du transistor T1 n'est mise à l'état "0" que lorsque ce signal à 2048 Hz est à l'état "0". Le transistor T1 est donc bloqué lorsque le transistor T5 est conducteur, et réciproquement. Le transistor T4, par contre, reste en permanence conducteur. Il en résulte que les deux 20 bobines sont parcourues alternativement par le courant.

Lorsque les deux bobines doivent être parcourues par des courants négatifs (cas des lignes B3 et D3 du tableau de la figure 13), ce sont les sorties des portes OU 121 et 123 qui passent à l'état "1". Dans ce cas, la grille G6 du transistor T6 n'est mise à 25 l'état "1" que lorsque le signal à 2048 Hz est également à l'état "1", et la grille G2 du transistor T2 n'est mise à l'état "1" que lorsque ce signal est à l'état "0". Le transistor T2 est donc bloqué lorsque le transistor T6 est conducteur, et réciproquement.

Le transistor T3, par contre, reste conducteur en permanence. Il en résulte que les deux bobines sont également parcourues alternativement par un courant.

Dans le procédé et ses variantes décrits ci-dessus, les durées
5 des diverses impulsions sont prédéterminées. Il est bien entendu possible d'ajuster la durée de ces impulsions à la grandeur de la charge réellement entraînée par le moteur, pour diminuer autant que possible la consommation d'énergie électrique du système.

Les circuits permettant de réaliser cet ajustement, qui sont
10 bien connus et qui ne seront pas décrits ici, mesurent en général la valeur d'une grandeur électrique dépendante du courant qui circule dans la bobine, comparent cette valeur mesurée avec une valeur de référence et utilisent le résultat de cette comparaison pour asservir la durée des impulsions motrices à la charge entraînée par le
15 moteur.

Ces circuits comportent généralement une résistance branchée en série avec la bobine du moteur. La chute de tension dans cette résistance, qui est proportionnelle au courant circulant dans la bobine, est utilisée comme grandeur d'entrée du circuit d'asservissement.
20 vissement. La présence de cette résistance entraîne une diminution de la tension appliquée au moteur et une augmentation de la consommation du système.

Dans le procédé selon l'invention et dans ses deux premières variantes, une seule des deux bobines est parcourue à chaque instant
25 par un courant. Il en est de même, dans la troisième variante, pendant la première et la deuxième impulsion de commande.

Cette particularité permet de réaliser un asservissement de la durée des premières, deuxième, troisième et quatrième impulsions

de courant à la charge entraînée par le moteur sans avoir à brancher une résistance en série avec les bobines. Il suffit pour cela, par exemple, de mesurer pendant chaque impulsion de courant appliquée à l'une des bobines la tension induite dans l'autre bobine, qui n'est pas parcourue par le courant. Cette mesure peut être utilisée pour
5 ajuster la durée des impulsions de courant.

La figure 17 illustre un exemple de circuit mettant en oeuvre ce procédé d'asservissement, appliqué au cas de la figure 5.

Tous les éléments décrits dans cette figure 5, à l'exception du
10 diviseur de fréquence 35 et de l'oscillateur 36, sont reproduits dans cette figure 17, avec les mêmes références.

Le circuit de la figure 17 comporte un circuit de mesure 141 qui peut être de n'importe quel type et qui ne sera pas décrit en détail ici. Le circuit de la figure 17 comporte en outre six portes de
15 transmission 142 à 147 et une porte OU 148. La sortie de cette porte 148 est reliée à l'entrée R de remise à zéro du flip-flop 33. L'une des entrées de la porte 148 est reliée à la sortie 35b du diviseur 35, non représenté, et l'autre de ses entrées est reliée à la sortie du circuit 141. Les premières bornes des portes de trans-
20 mission 142 et 143 sont reliées, ensemble, au drain des transistors T1 et T2, et donc à une des bornes de la bobine 10. Les premières bornes des portes de transmission 144 et 145 sont reliées, ensemble, au drain des transistors T3 et T4, c'est-à-dire à l'autre borne de la bobine 10 et à une des bornes de la bobine 9. Les
25 premières bornes des portes de transmission 146 et 147 sont reliées, ensemble, au drain des transistors T5 et T6, c'est-à-dire à l'autre borne de la bobine 9. Les deuxièmes bornes des portes 142, 144 et 146 sont reliées, ensemble, à l'une des entrées du circuit de

mesure 141, et les deuxièmes bornes des portes 143, 145 et 147 sont reliées, ensemble, à l'autre entrée de ce circuit de mesure 141.

Les électrodes de commande des portes de transmission 142 à 147 sont reliées, respectivement, aux sorties des portes
5 26, 25, 27, 28, 23 et 24. De cette manière, lorsqu'un courant positif passe dans la bobine 10, les portes de transmission 145 et 146 sont conductrices, et le circuit de mesure 141 est relié aux bornes de la bobine 9. Lorsqu'un courant négatif passe dans cette bobine 10, les portes de transmission 144 et 147 sont conductrices,
10 et le circuit de mesure 141 est également relié aux bornes de la bobine 9, mais dans le sens inverse du sens précédent. La polarité du signal appliqué aux entrées du circuit 141 est donc la même dans les deux cas.

Lorsqu'un courant positif passe dans la bobine 9, les portes de
15 transmission 142 et 145 sont conductrices, et c'est la bobine 10 qui est reliée aux entrées du circuit 141. Lorsqu'un courant négatif passe dans la bobine 9, les portes de transmission 143 et 144 sont conductrices et la bobine 10 est également reliée aux entrées du circuit 141, en sens inverse du précédent. La polarité du signal
20 appliqué à ces entrées est donc la même dans ces deux cas.

Quelle que soit la bobine parcourue par un courant, la sortie du circuit 114 délivre un signal "1" lorsque, par exemple, la tension appliquée à ses entrées dépasse une valeur déterminée. Ce signal "1" remet la sortie Q du flip-flop 33 à "0", ce qui interrompt le cou-
25 rant circulant dans la bobine utilisée.

Si, pour une raison ou une autre, la sortie du circuit 141 ne passe pas à l'état "1", la sortie Q du flip-flop 33 est néanmoins remise à l'état "0" par le signal provenant de la sortie 35b du

diviseur 35, comme dans le cas de la figure 5. Cette disposition évite que le flip-flop 33 ne reste indéfiniment enclenché, et donc que du courant ne circule en permanence dans une des bobines.

D'autres circuits pourraient être prévus, notamment un circuit
5 dans lequel la mesure de la tension induite dans la bobine non parcourue par le courant ne serait pas réalisée pendant chaque impulsion, mais à intervalles plus longs. Cette mesure servirait à déterminer une durée d'impulsions qui serait alors mémorisée et qui serait utilisée pour les impulsions suivantes.

10 Le circuit 141 pourrait être aussi réalisé sous la forme d'un circuit détectant uniquement la rotation ou la non-rotation du rotor. Les impulsions de courant auraient normalement toutes la même durée. Lorsque le circuit 141 détecterait que le rotor n'a pas tourné en réponse à une de ces impulsions normales, une impulsion de
15 rattrapage, de plus grande durée que la durée normale, serait alors envoyée au moteur par son circuit de commande.

Il est évident que le même genre de circuit pourrait être adapté sans difficulté au cas des figures 8 et 11.

20

25

REVENDEICATIONS

1. Procédé de commande d'un moteur pas à pas bidirectionnel comportant un stator comprenant une armature qui présente une première, une deuxième et une troisième face polaire délimitant entre elles un espace sensiblement cylindrique et qui comporte un premier et un
5 deuxième circuit magnétique reliant respectivement la première face polaire à la deuxième face polaire et la première face polaire à la troisième face polaire, le stator comprenant en outre une première et une deuxième bobine couplées magnétiquement au premier, respectivement au deuxième circuit magnétique, et le moteur comportant en
10 outre un rotor comprenant un aimant permanent monté rotativement dans ledit espace, caractérisé par le fait qu'il consiste à appliquer au moins des premières impulsions de courant à la première bobine, alternativement dans un premier sens et dans le deuxième sens, pour provoquer la rotation du rotor dans un premier sens, et à
15 appliquer au moins des deuxièmes impulsions de courant à la deuxième bobine, alternativement dans le premier sens et dans le deuxième sens, pour provoquer la rotation du rotor dans le deuxième sens, aucun courant n'étant appliqué à la deuxième bobine pendant la durée des premières impulsions et aucun courant n'étant appliqué à la
20 première bobine pendant la durée des deuxièmes impulsions.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'il consiste à appliquer à la deuxième bobine, après chaque première impulsion, une troisième impulsion de courant ayant le même sens que la première impulsion immédiatement précédente, et à ap-
25 pliquer à la première bobine, après chaque deuxième impulsion, une

quatrième impulsion de courant ayant le même sens que la deuxième impulsion immédiatement précédente.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'il consiste à appliquer à la deuxième bobine, après chaque première impulsion, une troisième impulsion de courant ayant le sens inverse du sens de la première impulsion immédiatement précédente, et à appliquer à la première bobine, après chaque deuxième impulsion, une quatrième impulsion de courant ayant le sens inverse du sens de la deuxième impulsion immédiatement précédente.

10 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé par le fait qu'il consiste à appliquer à la première bobine, après le début de chaque troisième impulsion, une cinquième impulsion ayant le sens inverse du sens de la première impulsion immédiatement précédente, et à appliquer à la deuxième bobine, après le début de chaque qua-
15 trième impulsion, une sixième impulsion ayant le sens inverse du sens de la deuxième impulsion immédiatement précédente.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé par le fait qu'il consiste à interrompre alternativement la troisième et la cinquième impulsion pendant la durée de la cinquième impulsion, et à
20 interrompre alternativement la quatrième et la sixième impulsion pendant la durée de la sixième impulsion.

6. Procédé selon l'une des revendications 1, 2 ou 3, caractérisé par le fait qu'il consiste à mesurer, au moins pendant une impulsion appliquée à une des bobines, la tension induite dans
25 l'autre bobine, et à ajuster la durée desdites impulsions en réponse à la mesure de cette tension induite.

7. Dispositif de commande d'un moteur pas-à-pas bidirectionnel comportant un stator comprenant une armature qui présente une

première, une deuxième et une troisième face polaire délimitant entre elles un espace sensiblement cylindrique et qui comporte un premier et un deuxième circuit magnétique reliant respectivement la première face polaire à la deuxième face polaire et la première face polaire à la troisième face polaire, le stator comprenant en outre
5 une première et une deuxième bobine couplées magnétiquement au premier, respectivement au deuxième circuit magnétique, et le moteur comportant en outre un rotor comprenant un aimant permanent monté rotativement dans ledit espace, caractérisé par le fait qu'il
10 comporte des moyens pour fournir un signal de détermination du sens de rotation du rotor ayant un premier et un deuxième état, des moyens pour fournir un signal de commande chaque fois que le rotor doit tourner d'un pas, et des moyens de commande pour fournir, en réponse au signal de commande, au moins une première impulsion de
15 courant exclusivement à la première bobine, alternativement dans un premier sens et dans le deuxième sens, lorsque le signal de détermination du sens de rotation est dans son premier état, et pour fournir au moins une deuxième impulsion exclusivement à la deuxième bobine, alternativement dans le premier et dans le deuxième sens,
20 lorsque le signal de détermination du sens de rotation est dans son deuxième état.

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé par le fait que les moyens de commande comportent des moyens pour fournir, en réponse au signal de commande, une troisième impulsion de courant à
25 la deuxième bobine après chaque première impulsion et une quatrième impulsion de courant à la première bobine après chaque deuxième impulsion, la troisième et la quatrième impulsion de courant ayant

le même sens que la première, respectivement, la deuxième impulsion immédiatement précédente.

9. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé par le fait que les moyens de commande comportent des moyens pour fournir, en
5 réponse au signal de commande, une troisième impulsion de courant à la deuxième bobine après chaque première impulsion et une quatrième impulsion de courant à la première bobine après chaque deuxième impulsion, la troisième et la quatrième impulsion de courant ayant
le sens inverse du sens de la première, respectivement, la deuxième
10 impulsion immédiatement précédente.

10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé par le fait que les moyens de commande comportent des moyens pour fournir, en réponse au signal de commande, une cinquième impulsion de courant à la première bobine après le début de chaque troisième impulsion et
15 une sixième impulsion de courant à la deuxième bobine après le début de chaque quatrième impulsion, la cinquième et la sixième impulsion de courant ayant le sens inverse du sens de la première, respectivement de la deuxième impulsion immédiatement précédente.

11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé par le
20 fait qu'il comporte en outre des moyens pour interrompre alternativement la troisième et la cinquième impulsion pendant la durée de la cinquième impulsion, et pour interrompre alternativement la quatrième et la sixième impulsion pendant la durée de la sixième impulsion.

25 12. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé par le fait qu'il comporte en outre des moyens pour mesurer, au moins pendant une impulsion fournie à une bobine, la tension induite dans l'autre bobine, des moyens pour relier sélectivement les moyens de mesure à

ladite autre bobine en réponse au signal de détermination du sens de rotation et au signal de commande, et des moyens pour ajuster la durée des impulsions en réponse à la tension induite mesurée.

13. Dispositif selon l'une des revendications 8 ou 9, caracté-
5 risé par le fait qu'il comporte en outre des moyens pour mesurer, au moins pendant une impulsion fournie à une bobine, la tension induite dans l'autre bobine, des moyens pour relier sélectivement les moyens de mesures à ladite autre bobine en réponse au signal de détermina-
tion du sens de rotation et au signal de commande, et des moyens
10 pour ajuster la durée des impulsions en réponse à la tension induite mesurée.

15

20

25

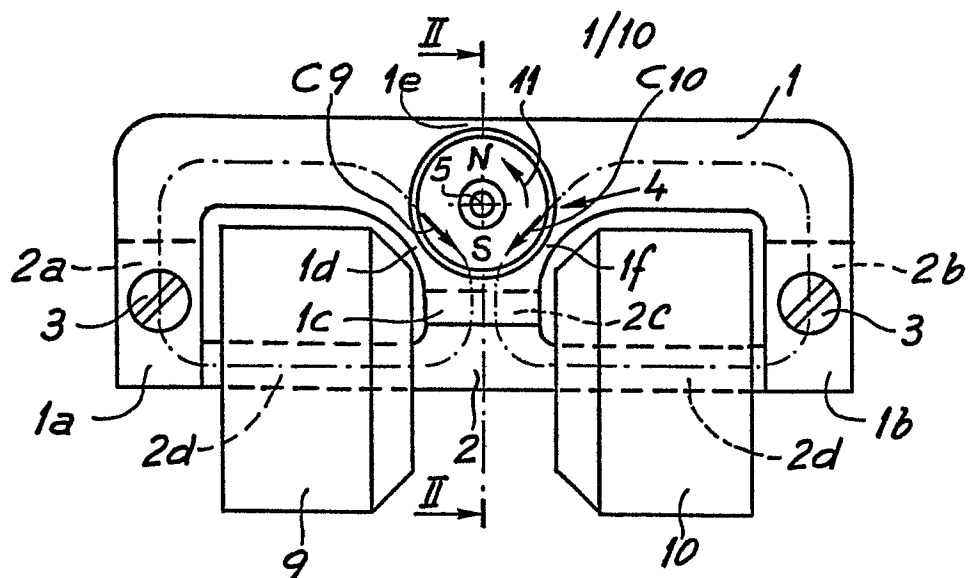


Fig. 1

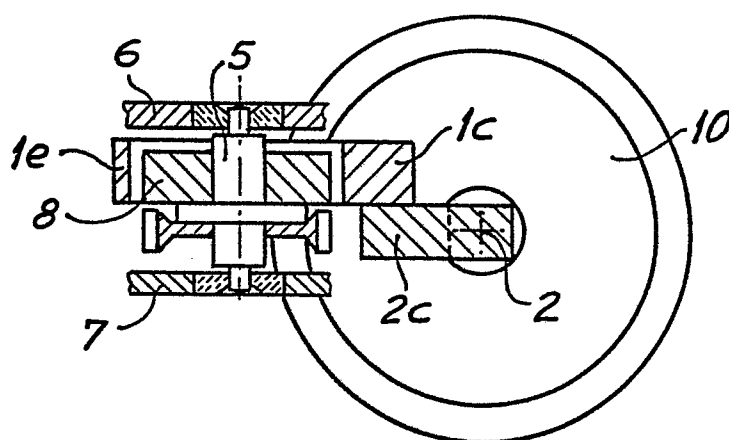


Fig. 2

	I_9	I_{10}	C_9	C_{10}	R_a	R_b	R_c
A		+		↙	↑	↙	↓
B		-		↗	↓	↗	↑
C	+		↘		↑	↘	↓
D	-		↗		↓	↗	↑

Fig. 3

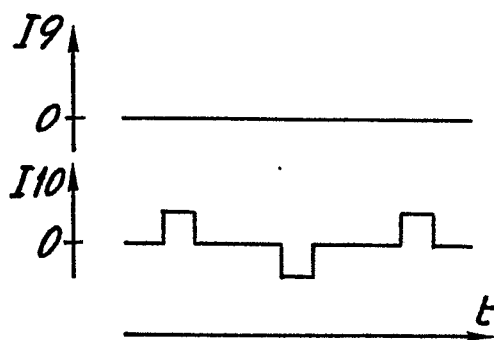


Fig. 4a

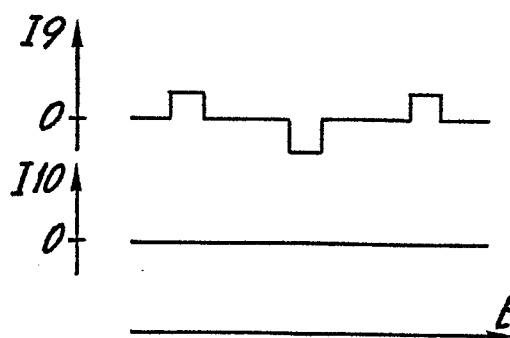
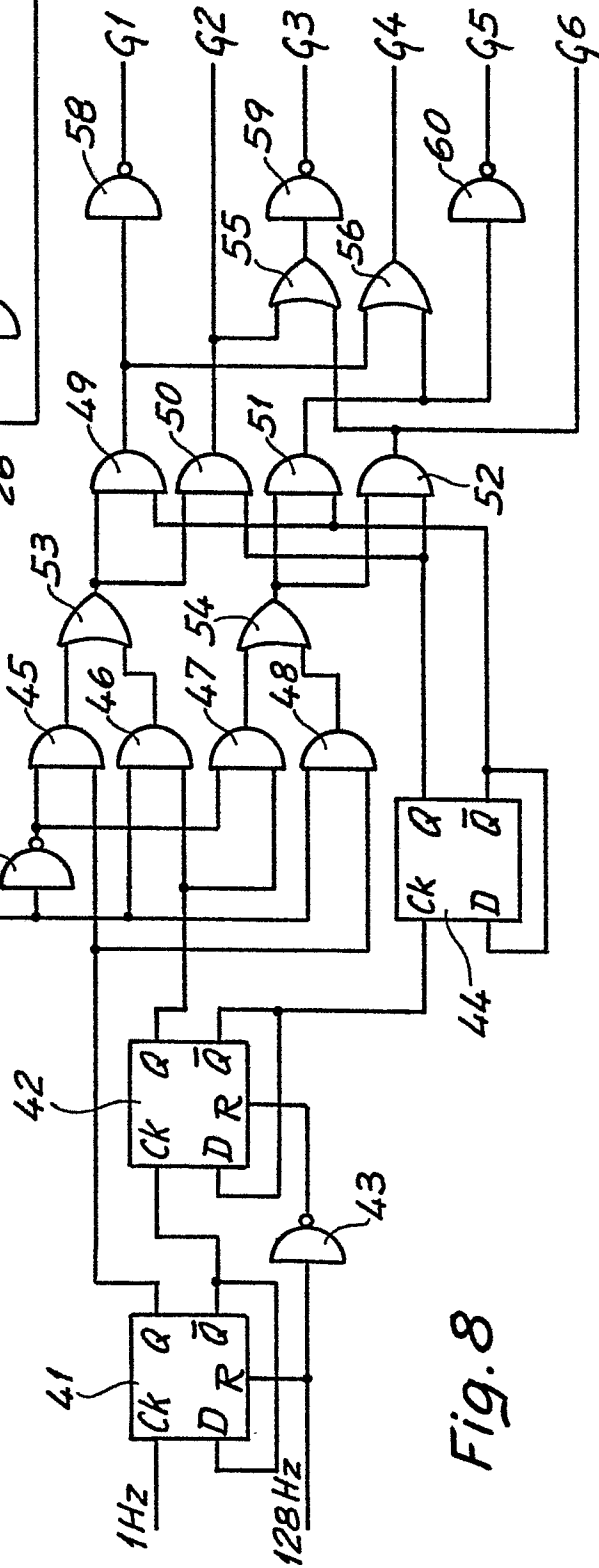
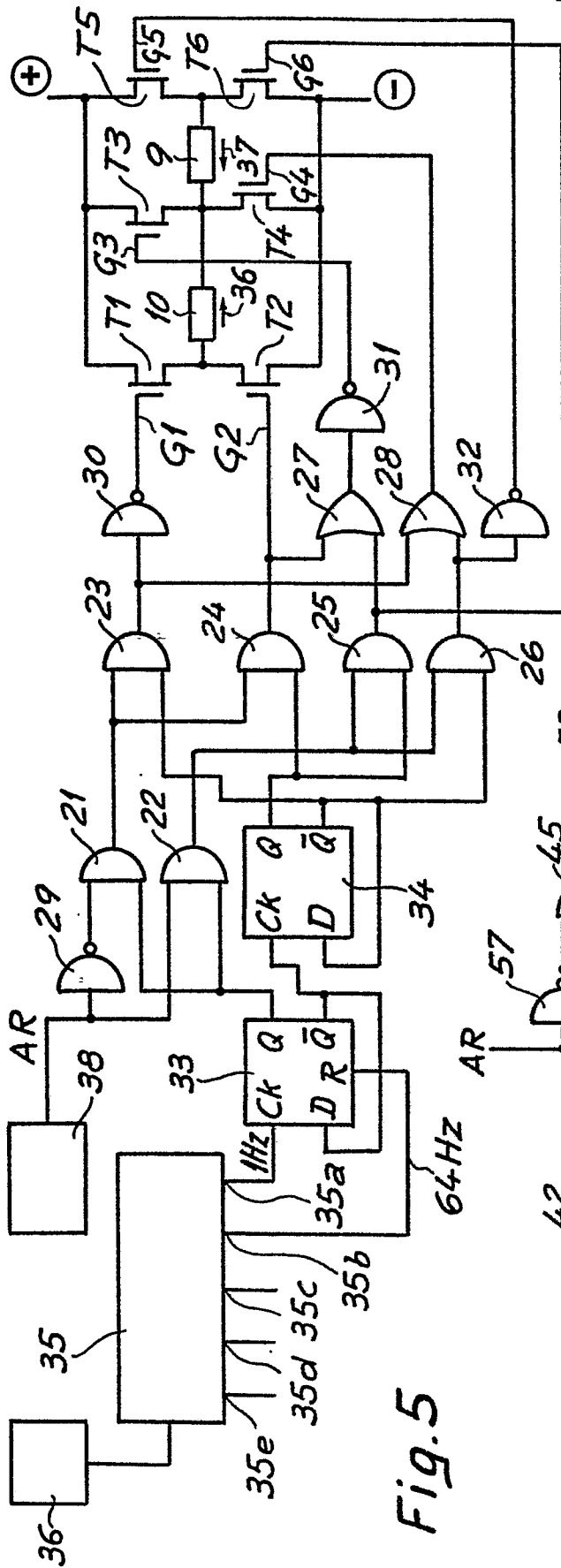
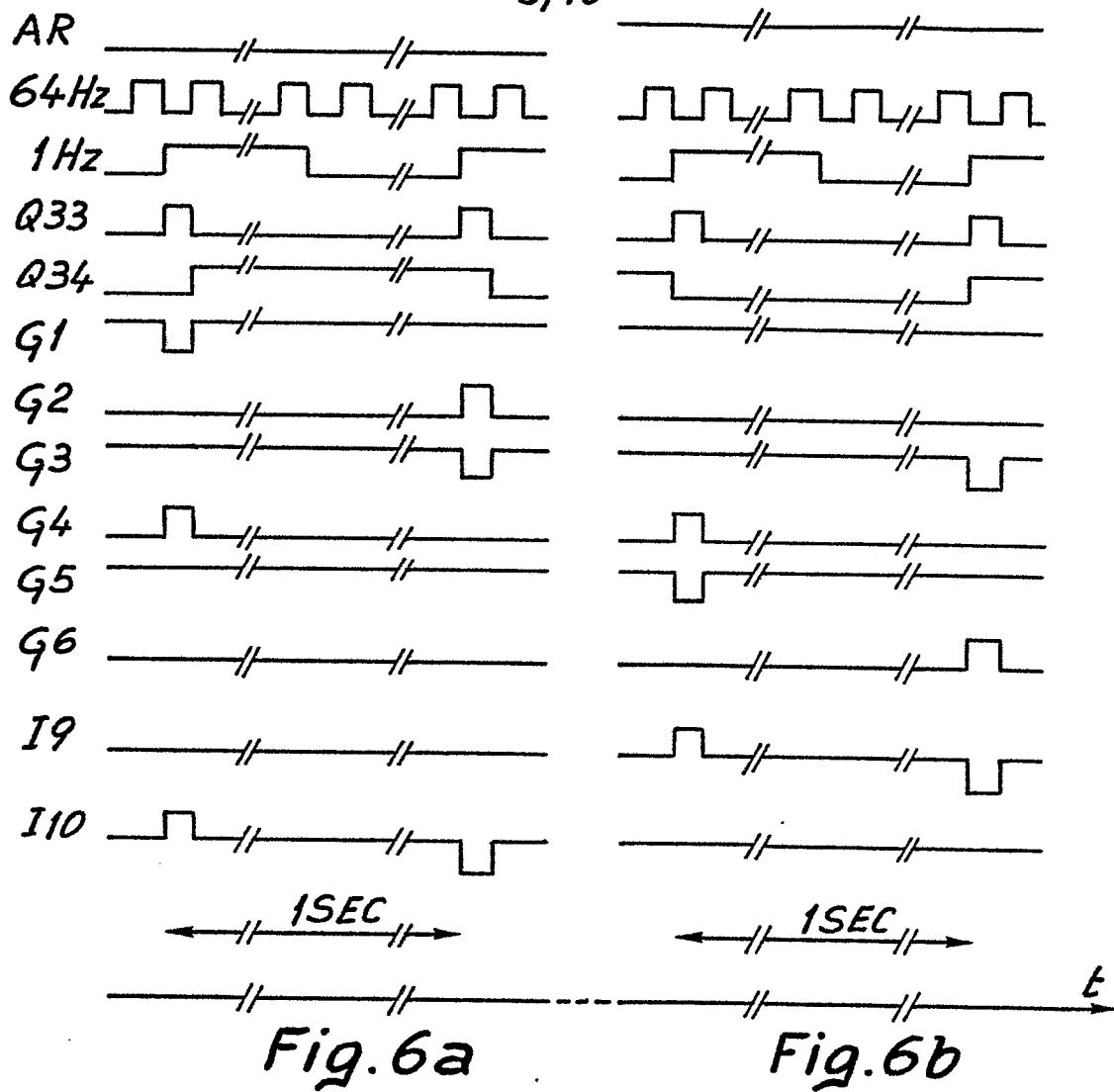


Fig. 4b



3/10



	I9	I10	C9	C10	Ra	Rb1	Rb2	Rc
A1		+		↙	↑	↙		
A2	+		↘				↘	↓
B1		-		↗	↓	↗		
B2	-		↘				↘	↑
C1	+		↘		↑	↘		
C2		+		↙			↙	↓
D1	-		↘		↓	↘		
D2		-		↗			↗	↑

Fig. 7

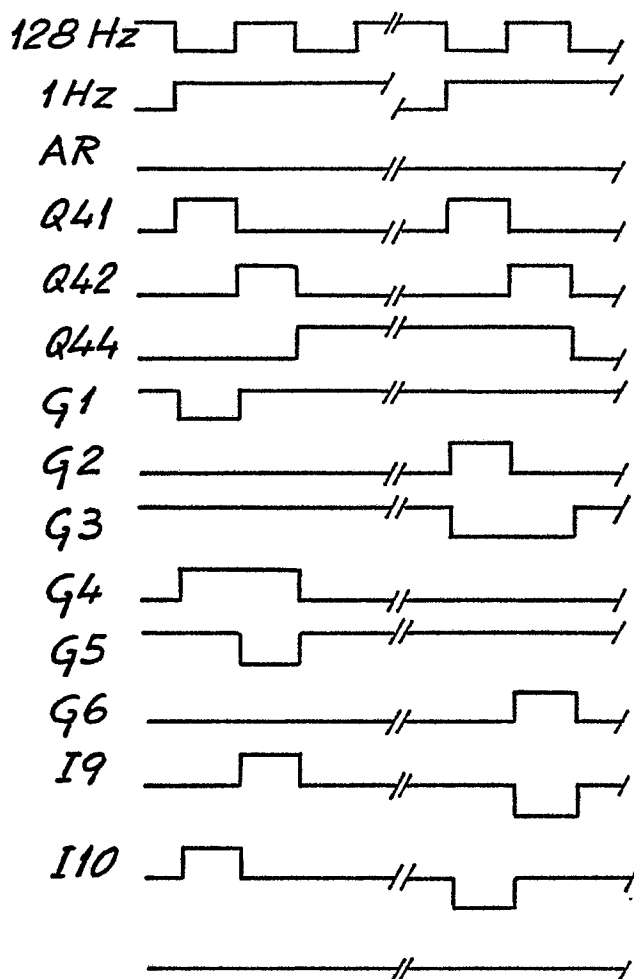


Fig. 9a

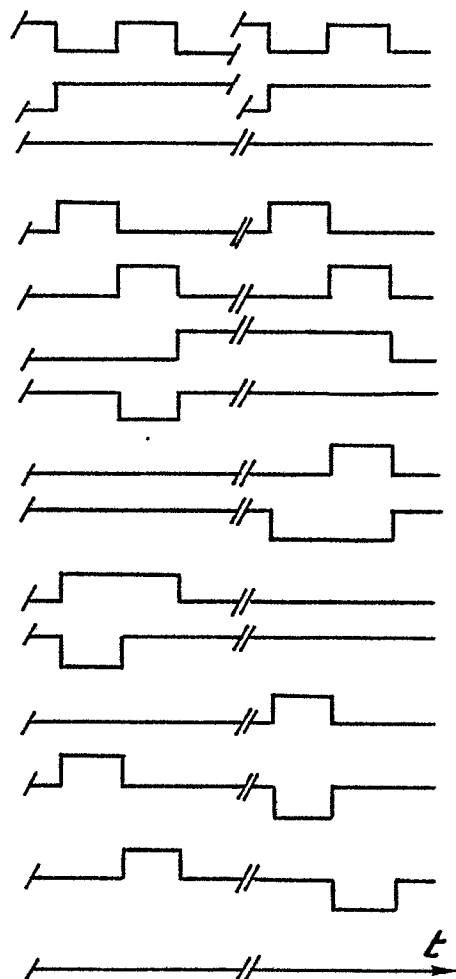


Fig. 9b

5/10

	I9	I10	C9	C10	Ra	Rb1	Rb2	Rc
A1	-		↘		↑	↘		
A2		+		↙			↙	↓
B1	+		↘		↓	↘		
B2		-		↗			↗	↑
C1		-		↗	↑	↗		
C2	+		↘				↘	↓
D1		+		↙	↓	↙		
D2	-		↘				↘	↑

Fig. 10

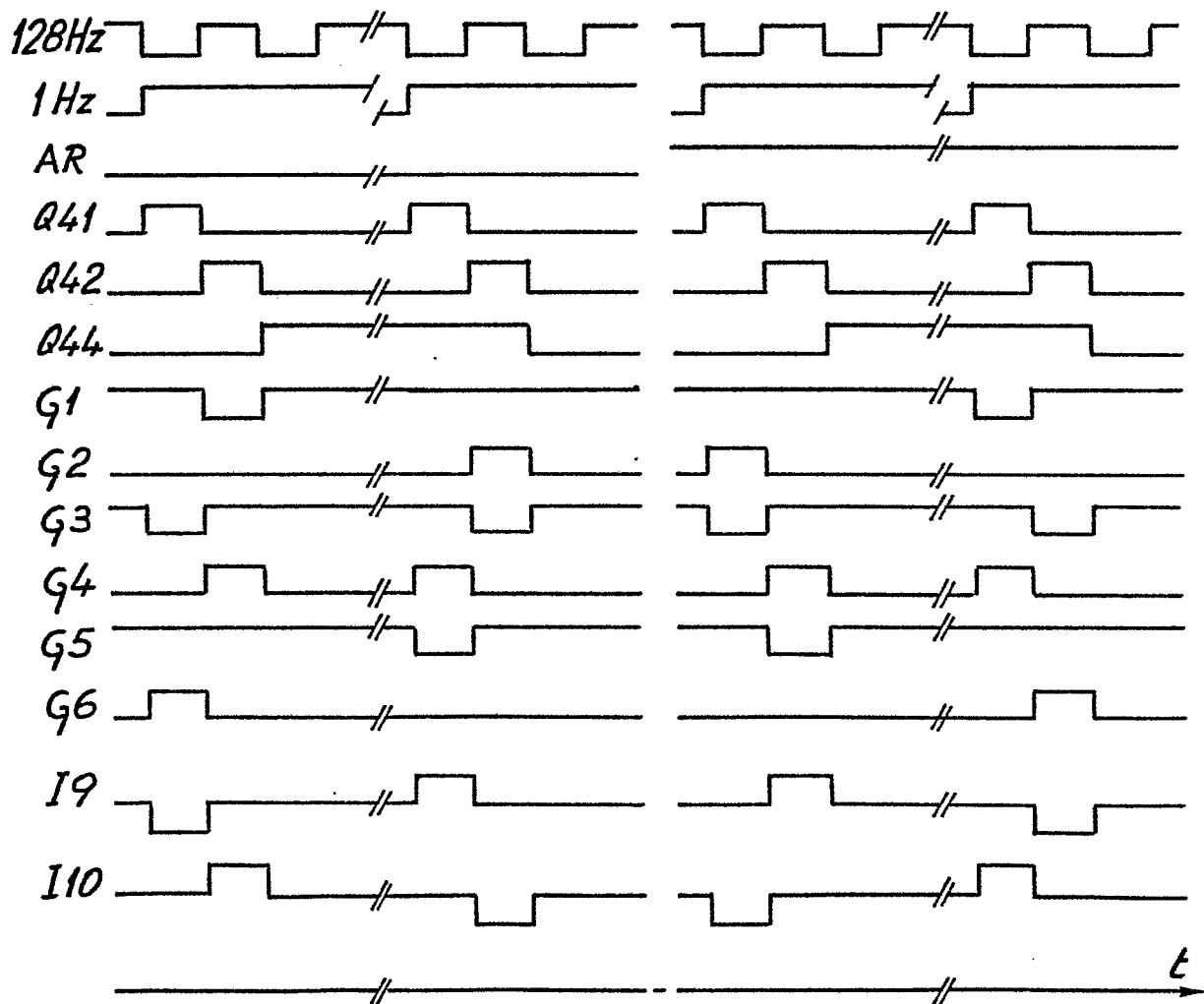


Fig. 12a

Fig. 12b

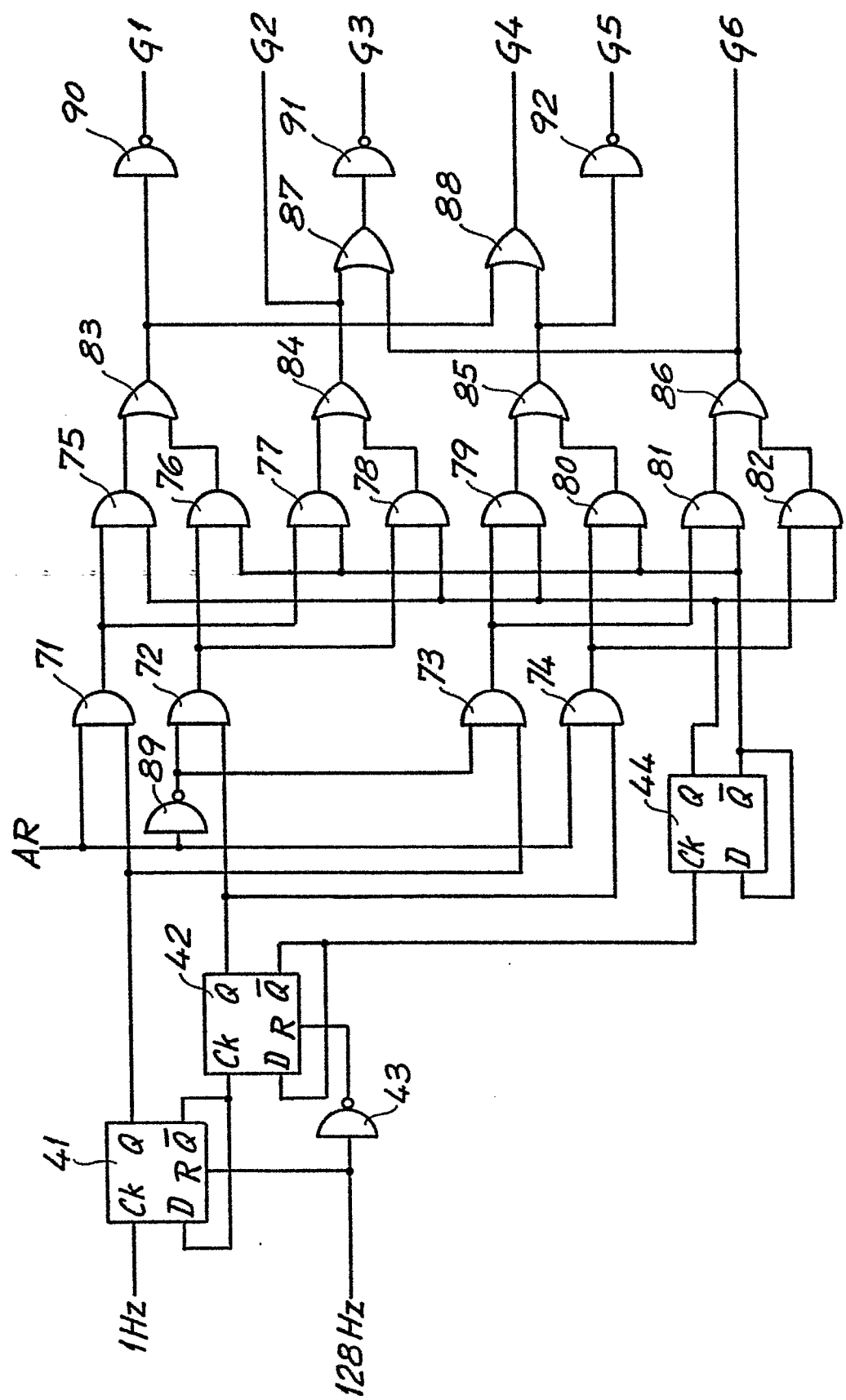


Fig. 11

7/10

	<i>I9</i>	<i>I10</i>	<i>C9</i>	<i>C10</i>	<i>Ra</i>	<i>Rb1</i>	<i>Rb2</i>	<i>Rc</i>
<i>A1</i>	-		↘		↑	↘		
<i>A2</i>		+		↙			↙	
<i>A3</i>	+	+	↘	↙				↓
<i>B1</i>	+		↘		↓	↘		
<i>B2</i>		-		↗			↗	
<i>B3</i>	-	-	↘	↗				↑
<i>C1</i>		-		↗	↑	↗		
<i>C2</i>	+		↘				↘	
<i>C3</i>	+	+	↘	↙				↓
<i>D1</i>		+		↙	↓	↙		
<i>D2</i>	-		↘				↘	
<i>D3</i>	-	-	↘	↗				↑

Fig. 13

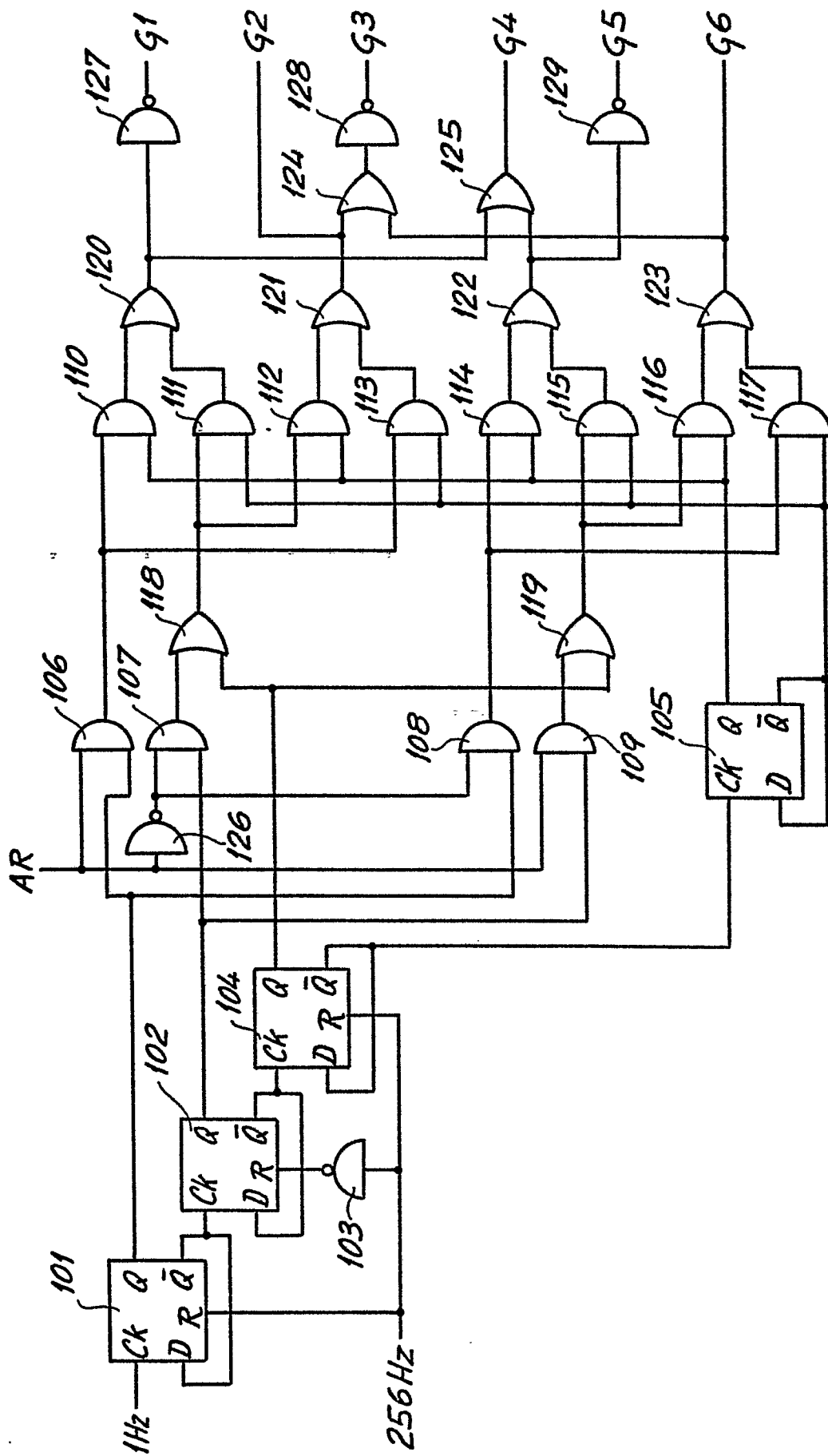


Fig.14

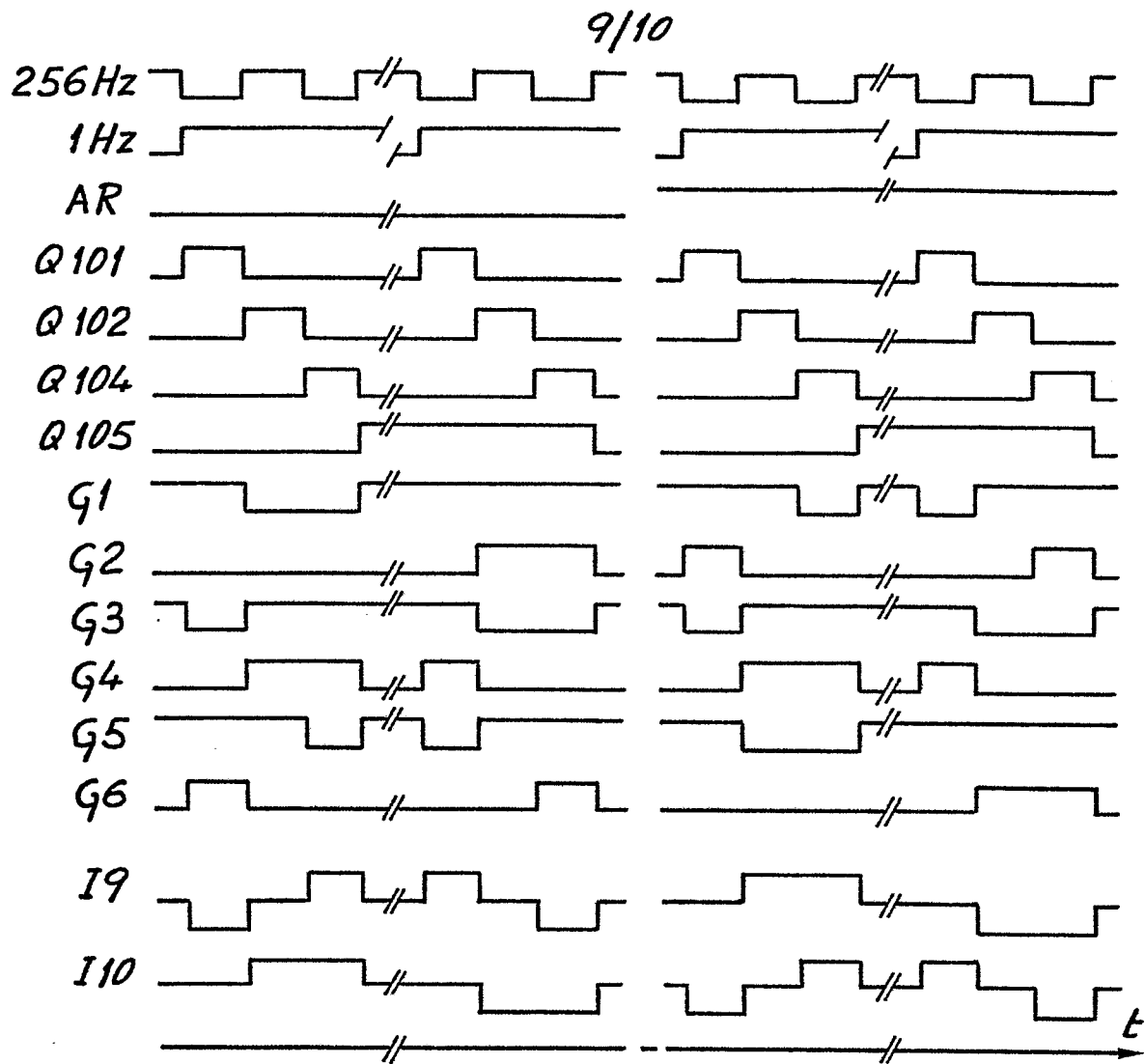


Fig. 15a

Fig. 15b

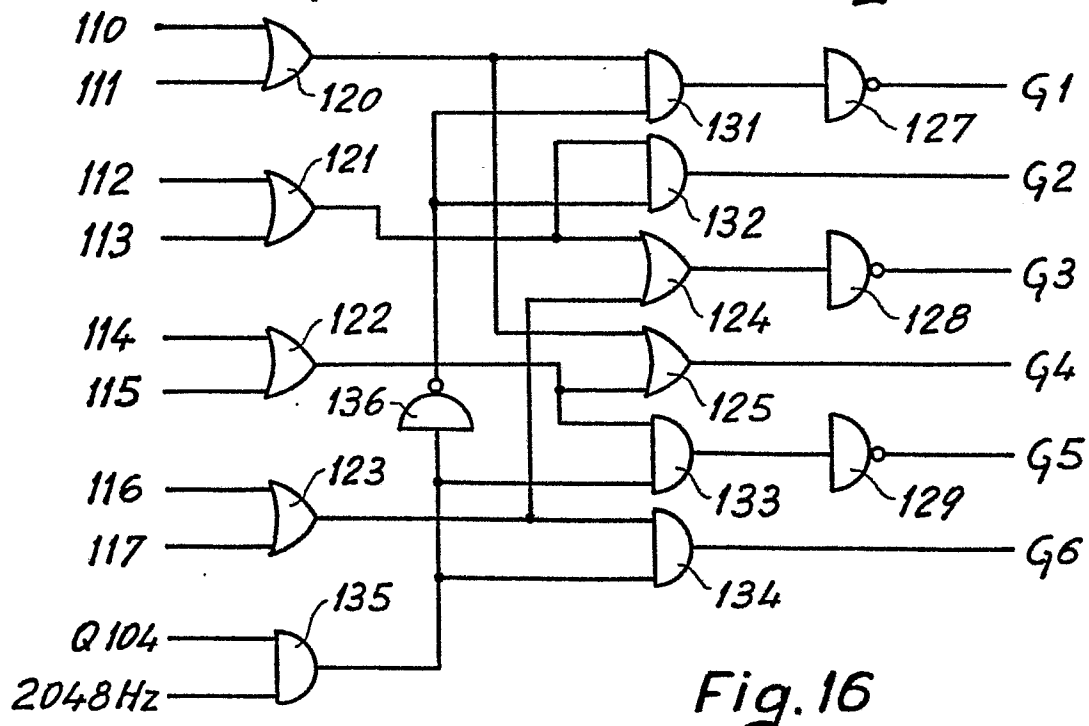


Fig. 16

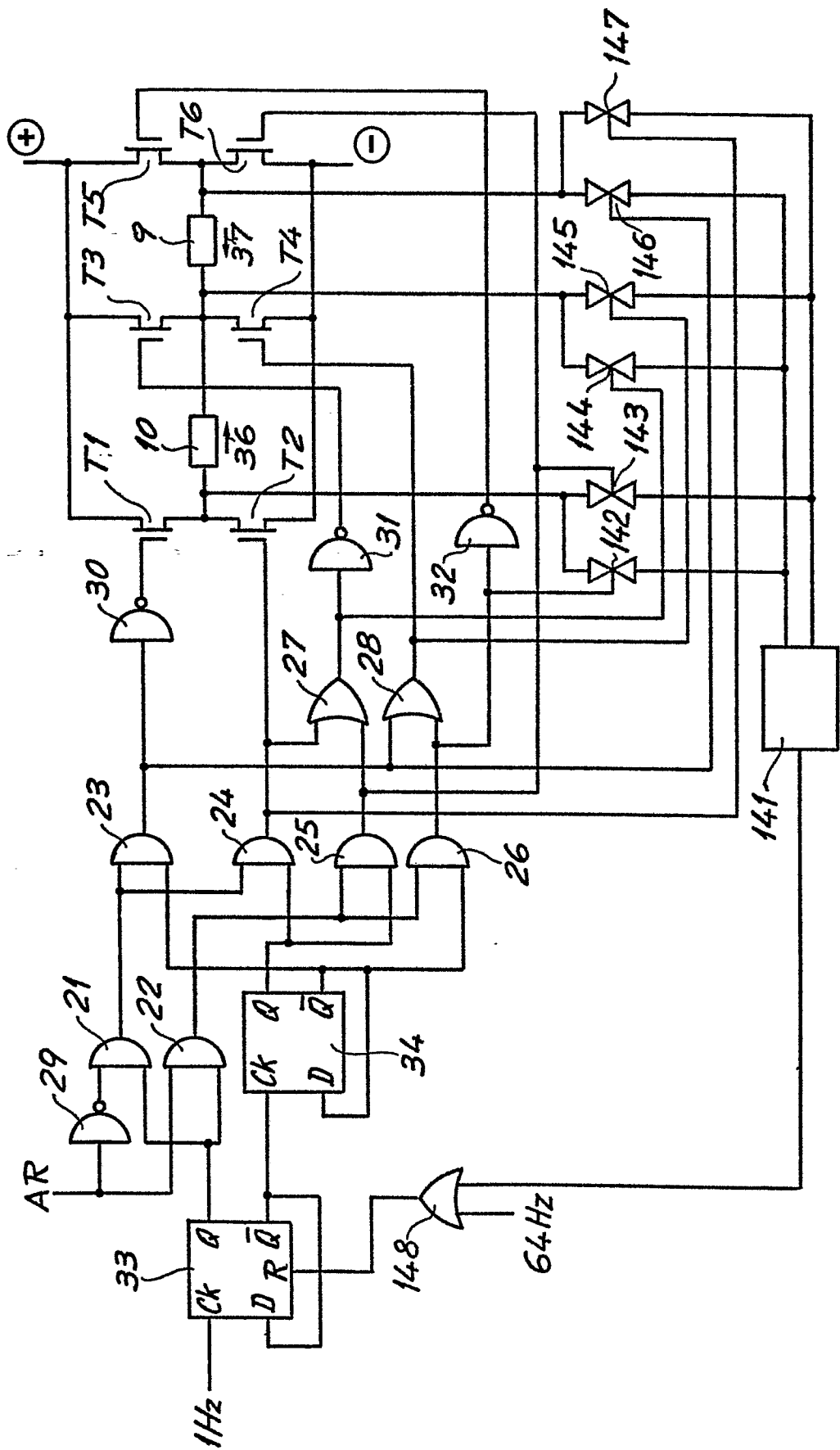


Fig. 17



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 3)
A	GB-A-1 451 359 (CITIZEN WATCH CO LTD) *Page 10, ligne 41 - page 11, ligne 52; figures 11-13*	1,2	G 04 C 3/14 G 04 C 13/11
A	WO-A-8 102 207 (PORTESCAP) *Page 1, dernier paragraphe - page 3, avant dernier paragraphe; figures*	1-3,6- 9,12, 13	
A	EP-A-0 030 611 (BRAUN AG) *Page 12, ligne 14 - page 18, ligne 25; figures 1-6*	1-3,6, 8,9,12	
A	GB-A- 917 236 (BENDIX CORP) *Figures*	1,2	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 3) G 04 C H 02 P
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 26-05-1983	Examineur EXELMANS U.G.J.R.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			