

CONFÉDÉRATION SUISSE  
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

① CH 660 108 G A3

⑤ Int. Cl. 4: G 04 C 3/14  
H 02 K 37/00  
H 02 P 8/00

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

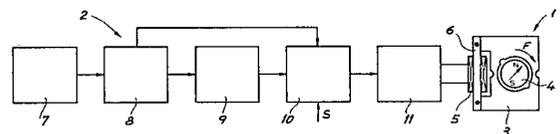
⑫ **FASCICULE DE LA DEMANDE** A3

<p>⑲ Numéro de la demande: 288/85</p> <p>⑳ Date de dépôt: 23.01.1985</p> <p>㉔ Demande publiée le: 31.03.1987</p> <p>㉖ Fascicule de la demande publié le: 31.03.1987</p>	<p>㉑ Requêteur(s): Eta S.A. Fabriques d'Ebauches, Grenchen</p> <p>㉒ Inventeur(s): Guérin, Yves, St-Louis (FR) Besson, René, Neuchâtel</p> <p>㉓ Mandataire: SMH Société Suisse de Microélectronique et d'Horlogerie S.A., Biel/Bienne</p> <p>㉗ Rapport de recherche au verso</p>
---	---

⑤④ **Ensemble moteur pouvant fonctionner à grande vitesse.**

⑤⑦ Pour augmenter la vitesse maximale de fonctionnement d'un moteur pas à pas (1) auquel est associé un circuit de commande (2), on l'équipe d'une bobine (5) dont la résistance et l'inductance propre ont des valeurs inférieures aux valeurs optimales qu'elles devraient avoir pour que le rendement de ce moteur ait une valeur maximale lorsqu'on l'alimente par des impulsions motrices continues de tension déterminée et d'une durée optimale qui correspond à cette tension et aux valeurs optimales de la résistance et de l'inductance de la bobine.

D'autre part, pour éviter que le rendement n'ait plus cette valeur maximale ou à peu près lorsque le moteur fonctionne à faible vitesse, on commande alors ce dernier par des impulsions motrices de même tension et de même durée que les impulsions continues mais hachées.





**RAPPORT DE RECHERCHE  
RECHERCHENBERICHT**

Demande de brevet No. Patentgesuch Nr CH 288/85
---

HO 14 993

Catégorie Kategorie	<p align="center"><b>DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE</b></p> <p align="center">Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes Kennzeichnung des Dokuments, mit Angabe, soweit erforderlich, der massgeblichen Teile</p>	Revendications con- cernées Betrifft Anspruch Nr.
A	INSTRUMENTS & CONTROL SYSTEMS, vol. 46, no. 2, février 1973, pages 60-65, Radnor, PA, US; T.E. BELING et al.: "Permanent magnet stepping motors; Part II, Drivers" * Page 62, colonne de gauche, paragraphe 2 - colonne de droite, paragraphe 1; page 63, colonne de gauche, paragraphe 2 - colonne de droite, avant-dernier paragraphe; page 65, colonne de gauche, avant-dernier paragraphe *  ---	1
A	B.C. KUO: "THEORY AND APPLICATIONS OF STEP MOTORS", 1974, pages 173-241, West Publishing Co., St. Paul, US; * Page 173, paragraphe 8.3 - page 180, paragraphe 8.4; page 232, avant-dernier alinéa - page 240, premier alinéa *  ---	1
A	PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 5, no. 171 (E-80)[843], 30 octobre 1981; & JP - A - 56 98 398 (SEIKOUSHIYA K.K.) 07-08-1981  -----	1
Domaines techniques recherchés      G04C                      , H02P Recherchierte Sachgebiete (INT. CL <sup>3</sup> )		
Date d'achèvement de la recherche 28.10.85		

## REVENDEICATIONS

1. Ensemble moteur comprenant un moteur pas à pas muni d'un rotor, d'un stator et d'une bobine couplée magnétiquement au stator et pour lequel il existe des valeurs optimales de la résistance et de l'inductance propre de la bobine et une durée optimale des impulsions motrices à appliquer à cette bobine pour le commander qui lui permettent d'avoir un rendement  $\eta$  de valeur maximale lorsqu'il est alimenté à une tension déterminée, ledit rendement étant défini par la relation:

$$\eta = 100 \frac{T_u \times 2 \pi / n}{V \times I_m}$$

où  $T_u$  est le couple utile maximal que peut fournir le moteur,  $n$  le nombre de pas par tour effectués par son rotor,  $V$  la tension à laquelle il est alimenté et  $I_m$  le courant moyen qui lui est appliqué pendant une seconde; et un circuit de commande pour faire fonctionner ledit moteur à petite et à grande vitesse en lui appliquant des impulsions motrices respectivement de fréquence basse et de fréquence élevée, caractérisé par le fait que les valeurs réelles de la résistance et de l'inductance propre de ladite bobine (5; 5'; 5'') sont inférieures aux dites valeurs optimales et que lesdites impulsions motrices de fréquence basse sont telles que le moteur (1; 1') ait un rendement de valeur sensiblement égale à ladite valeur maximale lorsqu'il fonctionne à petite vitesse.

2. Ensemble moteur selon la revendication 1, caractérisé par le fait que les impulsions motrices de fréquence basse sont des impulsions qui ont ladite durée optimale et ladite tension déterminée et qui sont formées par des trains d'impulsions élémentaires dont le rapport cyclique permet au rendement  $\eta$  du moteur (1; 1') d'avoir sensiblement ladite valeur maximale lorsque ledit moteur fonctionne à petite vitesse.

3. Ensemble moteur selon la revendication 1 ou 2, caractérisé par le fait que les impulsions motrices de fréquence élevée sont des impulsions qui ont ladite tension déterminée et une durée fixe, inférieure à ladite durée optimale.

4. Ensemble moteur selon la revendication 1 ou 2, caractérisé par le fait que les valeurs réelles de la résistance et de l'inductance propre de la bobine (5; 5'; 5'') sont sensiblement égales au quart desdites valeurs optimales.

5. Ensemble moteur selon la revendication 4, caractérisé par le fait que les impulsions motrices de fréquence élevée sont des impulsions qui ont ladite tension déterminée et une durée fixe, sensiblement égale à la moitié de ladite durée optimale.

6. Ensemble moteur selon la revendication 1 ou 2, caractérisé par le fait que les impulsions motrices de fréquence élevée sont des impulsions qui ont ladite tension déterminée et qui se succèdent sans discontinuer, le début d'une impulsion coïncidant avec la fin de la précédente et avec l'instant où un paramètre représentatif de la position instantanée du rotor (4; 4') du moteur (1; 1') qui est détecté en permanence par le circuit de commande (2; 2') lorsque ledit moteur fonctionne à grande vitesse atteint une valeur déterminée.

7. Ensemble moteur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le circuit de commande (2; 2') est conçu pour pouvoir brancher une résistance (33) en série avec la bobine (5; 5'; 5'') lorsque le moteur (1; 1') fonctionne à grande vitesse, pendant une période de freinage du rotor (4; 4') qui précède la fin de l'envoi d'impulsions motrices de fréquence élevée à ladite bobine.

La présente invention a pour objet un ensemble moteur capable de fonctionner à grande vitesse et utilisable, notamment mais non exclusivement, dans une montre électronique à affichage analogique.

5 Plus précisément, l'invention concerne un ensemble moteur comprenant un moteur pas à pas et son circuit de commande, qui permet d'obtenir une vitesse de rotation nettement accrue par rapport à celles que peuvent atteindre les moteurs pas à pas actuellement utilisés en horlogerie.

10 A noter qu'ici l'expression «pas à pas» signifie que le moteur est conçu pour que son rotor puisse se déplacer par à coups en s'arrêtant dans une ou plusieurs positions de repos bien déterminées. Cela n'exclut pas la possibilité de le faire tourner de façon continue, c'est-à-dire sans que le rotor mar-  
15 que un temps d'arrêt lorsqu'il passe par une position de repos et même sans qu'il soit freiné à cet endroit.

Dans le cas d'une montre qui comporte une aiguille de secondes entraînée par un moteur pas à pas et dans laquelle la correction se fait mécaniquement, il suffit de disposer d'un  
20 moteur qui fait un nombre de pas par seconde égal à celui que doit faire l'aiguille des secondes pour passer d'une division à la suivante. Ce nombre de pas est le plus souvent égal à un et parfois à deux ou à six. Cela signifie donc que le moteur doit seulement faire six pas au maximum par seconde,  
25 ce qui ne présente pas de difficulté.

En revanche, un problème se pose déjà lorsque, même dans une montre sans aiguille de secondes, on veut faire des corrections ou des changements de fuseau horaire en commandant directement le moteur. Dans ce cas, il est nécessaire  
30 de pouvoir faire tourner le moteur à une fréquence nettement plus élevée que 6 Hz, c'est-à-dire six pas par seconde. Or, actuellement, avec des moteurs pas à pas de type Lavet par exemple, commandés de façon classique, il est pratiquement impossible d'aller au-delà de 64 Hz et même de garantir  
35 un bon fonctionnement du moteur à plus de 50 Hz. Si l'on prend le cas d'une montre à aiguilles de minutes et d'heures dans laquelle il faut que le moteur fasse deux pas pour que l'aiguille des minutes progresse d'une division et si, de plus, on veut effectuer un changement de fuseau horaire de six  
40 heures, ce qui correspond à la correction la plus longue que l'on ait à faire si l'on s'arrange pour pouvoir faire tourner le moteur dans les deux sens, en utilisant par exemple la solution qui fait l'objet du brevet US 4 112 671 pour le commander, on voit que, même avec une fréquence de 64 Hz, il faudrait quinze secondes pour effectuer cette seule correction, ce qui est déjà très long.

Quant à la mise à l'heure électronique dans une montre avec aiguille de secondes, elle n'est envisageable que si l'on fait appel à au moins deux moteurs pour entraîner les aiguil-  
50 les, par exemple un pour l'aiguille des secondes et un pour celles des minutes et des heures ou un pour l'aiguille des secondes et celle des minutes et un autre pour l'aiguille des heures. L'emploi d'un seul moteur conduirait à des temps de correction exorbitants.

55 La demande de brevet EP 0 103 542 indique une solution intéressante qui permet de faire fonctionner un moteur de type Lavet en marche avant et en marche arrière à une vitesse beaucoup plus grande que 50 ou 64 pas par seconde. Cette solution consiste à appliquer au moteur d'abord une impulsion motrice de lancement en marche avant ou en marche arrière pour provoquer effectivement le démarrage du moteur dans le sens de rotation souhaité, puis un train d'impulsions  
60 simples d'entretien de polarité alternée et de durée plus courte que celle de l'impulsion de démarrage, et enfin une impulsion simple d'arrêt de polarité opposée à celle de la dernière impulsion d'entretien et plus longue que celle-ci. Dans le cas de la marche avant, l'impulsion de démarrage est, comme les autres, une impulsion simple alors que, pour la marche arrière-  
65

re, cette impulsion de démarrage est formée de trois impulsions élémentaires de polarité alternée, la polarité de la première impulsion dépendant de la position de repos occupée initialement par le rotor. La première impulsion élémentaire a pour rôle de lancer le moteur en marche avant de façon que le rotor acquiert une énergie suffisante pour pouvoir franchir le premier pas en marche arrière sous l'effet des deux impulsions suivantes.

Les instants d'application des impulsions d'entraînement et d'arrêt par rapport au début de l'impulsion de démarrage peuvent être soit déterminés à l'avance, compte tenu des caractéristiques du moteur, soit fixés en détectant une grandeur représentative du mouvement du rotor, comme par exemple la tension induite par ce dernier dans la bobine du moteur.

Cette façon de commander un moteur Lavet classique permet d'atteindre aussi bien pour la marche avant que pour la marche arrière une fréquence très proche de la fréquence théorique de synchronisme qui est de l'ordre de 200 Hz et conduit donc à des temps de correction raisonnables pour une montre indiquant seulement les minutes et les heures mais encore beaucoup trop longs pour une montre avec aiguille de secondes. De plus, elle nécessite un circuit de commande du moteur relativement compliqué.

Une autre solution pour augmenter la vitesse maximale de fonctionnement d'un moteur fait l'objet du brevet suisse 654 974. Il s'agit principalement de substituer à la bobine unique ou à chaque bobine d'un moteur pas à pas existant deux enroulements ou plus et de brancher ces enroulements en série pour faire fonctionner le moteur à petite vitesse et en parallèle pour le faire tourner à vitesse élevée. Naturellement, il y a le plus souvent intérêt à ce que le nombre total de spires des enroulements et la somme de leurs résistances soient égaux ou presque respectivement au nombre de spires et à la résistance de la bobine qu'ils remplacent, ceci afin que malgré la modification apportée à son bobinage le moteur continue à avoir pratiquement les mêmes caractéristiques et les mêmes performances lorsqu'il tourne lentement. D'autre part, il est clair que, lorsque les enroulements sont connectés en parallèle, la résistance et l'inductance propre de l'ensemble sont plus faibles que celles d'une seule bobine et que, par conséquent, le transfert d'énergie de la source de tension d'alimentation au rotor du moteur est augmenté et facilité. Il s'ensuit que la durée ou, plus généralement, l'énergie des impulsions motrices à appliquer au bobinage peut être réduite dans une large mesure et la vitesse maximale de fonctionnement du moteur nettement accrue.

Dans le cas d'un moteur de type Lavet, cette solution permet, à elle seule et comme celle de la demande de brevet EP 0 103 542, d'atteindre une fréquence proche de 200 Hz mais en ne nécessitant pas un circuit de commande aussi compliqué, même s'il est prévu de faire tourner le moteur dans les deux sens.

Elle présente par ailleurs au moins deux avantages. Le premier est qu'elle peut être appliquée à différents types de moteurs pas à pas, notamment parmi ceux qui servent actuellement à la fabrication de montres ou autres pièces d'horlogerie. Le deuxième est que, combinée à la technique bien connue de l'asservissement, elle permet d'atteindre effectivement la vitesse qu'il faut pour pouvoir munir une montre à aiguille de secondes d'un système de correction électronique et qui doit être au moins de 1000 pas par seconde.

Malheureusement, cette solution présente aussi des inconvénients. D'une part, elle complique la fabrication du moteur du point de vue du bobinage. D'autre part, elle augmente dans une large mesure à la fois le nombre de bornes de sortie et le nombre de transistors de puissance qu'il faut pré-

voir dans le circuit de commande pour alimenter le moteur. Par exemple, si l'on remplace la bobine d'un moteur Lavet classique par deux enroulements, le nombre de bornes de sortie passe de deux à au moins quatre et le nombre de transistors de quatre à au moins sept. Or, on sait que des transistors de puissance occupent une grande surface sur une plaque de circuit intégré et que plus ce circuit comporte de bornes moins il est fiable et plus il revient cher.

La présente invention a pour but de fournir une solution pour augmenter la vitesse maximale de fonctionnement d'un moteur pas à pas qui ne présente pas ces inconvénients.

Ce but est atteint grâce au fait que, dans un ensemble moteur selon l'invention qui comprend un moteur pas à pas muni d'un rotor, d'un stator et d'une bobine couplée magnétiquement au stator et pour lequel il existe des valeurs optimales de la résistance et de l'inductance propre de la bobine et une durée optimale des impulsions motrices à appliquer à cette bobine pour le commander qui lui permettent d'avoir un rendement  $\eta$  de valeur maximale lorsqu'il est alimenté à une tension déterminée, ce rendement étant défini par la relation

$$\eta = 100 \frac{T_u \times 2 \pi / n}{V \times I_m}$$

où  $T_u$  est le couple utile maximal que peut fournir le moteur,  $n$  le nombre de pas par tour effectués par son rotor,  $V$  la tension à laquelle il est alimenté et  $I_m$  le courant moyen qui lui est appliqué pendant une seconde; et un circuit de commande pour faire fonctionner ce moteur à petite et à grande vitesse en lui appliquant des impulsions motrices respectivement de fréquence basse et de fréquence élevée, les valeurs réelles de la résistance et de l'inductance propre de la bobine du moteur sont inférieures aux valeurs optimales et les impulsions motrices de fréquence basse sont telles que ce moteur ait un rendement de valeur sensiblement égale à la valeur maximale lorsqu'il fonctionne à petite vitesse.

De préférence, les impulsions motrices de fréquence basse sont des impulsions qui ont la durée optimale et la tension déterminée en question et qui sont formées par des trains d'impulsions élémentaires dont le rapport cyclique permet au rendement  $\eta$  du moteur d'avoir sensiblement la valeur maximale lorsque celui-ci fonctionne à petite vitesse.

Naturellement, la façon la plus simple et la plus économique de mettre en oeuvre l'invention est de faire comme pour la solution donnée dans le brevet CH 654 974, c'est-à-dire de partir d'un moteur pas à pas déjà mis au point et de substituer à la bobine unique ou à chaque bobine de ce moteur une autre bobine qui a un nombre de spires plus faible et qui est réalisée en un fil de même nature mais de diamètre plus grand.

D'ailleurs, les deux solutions, celle de la présente invention et celle du brevet suisse, relèvent en fait du même principe puisqu'il s'agit dans les deux cas de réduire la résistance et l'inductance propre du bobinage d'un moteur pour augmenter sa vitesse maximale de fonctionnement en évitant que cette diminution entraîne une baisse des performances de ce moteur lorsqu'il doit tourner lentement, ce qui, dans le cas d'une montre électronique, arrive le plus souvent.

Mais l'invention ne rend pas l'opération de bobinage plus compliquée et plus coûteuse. Au contraire, elle la raccourcit et elle la facilite puisqu'il y a besoin de moins de spires et que l'on peut utiliser un fil plus gros.

D'autre part, tant que l'on n'envise pas de faire tourner le moteur à une vitesse supérieure à une certaine limite au-delà de laquelle il n'est plus sûr que le rotor ne fasse pas plus de pas qu'il ne doit, le circuit de commande n'a pas be-

soin de comprendre plus de transistors de puissance ni de bornes de sortie que d'habitude. Comme cela apparaîtra par la suite, ce n'est que lorsqu'il devient nécessaire de prévoir des moyens de freinage que le nombre de transistors augmente mais il en faut encore moins que pour pouvoir brancher sélectivement deux enroulements en série ou en parallèle.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit de plusieurs modes d'exécution, description faite en référence au dessin annexé sur lequel:

- la figure 1 représente schématiquement une forme possible de réalisation de l'ensemble moteur selon l'invention;
- la figure 2 est un ensemble de trois diagrammes qui montrent la forme des impulsions motrices qui sont appliquées habituellement dans une montre à un moteur pas à pas monophasé bipolaire de type Lavet et de celles qui sont appliquées au moteur de l'ensemble moteur de la figure 1 pour le faire tourner à petite et à grande vitesse;
- la figure 3 est un autre diagramme qui montre comment varie l'énergie électrique minimale à fournir au moteur pour qu'il fonctionne, à vide et en charge, en fonction de la durée des impulsions motrices qui lui sont appliquées;
- la figure 4 est un schéma qui représente en détail un exemple de réalisation du circuit de contrôle et de hachage qui fait partie de l'ensemble moteur de la figure 1;
- la figure 5 représente schématiquement une autre forme possible d'exécution de l'ensemble moteur selon l'invention qui utilise la technique de l'asservissement;
- la figure 6 est un diagramme montrant comment le moteur de l'ensemble moteur de la figure 5 est alimenté lorsqu'il tourne à grande vitesse;
- la figure 7 est un schéma de détail qui montre sous quelle forme peut éventuellement se présenter le circuit de contrôle et de hachage qui fait partie de l'ensemble moteur de la figure 5;
- la figure 8 est un diagramme qui montre, avec deux exemples, comment varient la vitesse maximale de fonctionnement à vide et la consommation du moteur dans le cas d'un ensemble moteur comme celui de la figure 5, lorsqu'une résistance est branchée en série avec la bobine de ce moteur, en fonction de la valeur de cette résistance; et
- la figure 9 montre un détail sous quelle forme se présente le circuit d'alimentation du moteur dans un ensemble moteur semblable à celui de la figure 5, lorsqu'il est effectivement prévu de brancher une résistance en série avec la bobine pour contrôler la vitesse de ce moteur.

Il ressort déjà de ce qui précède que l'invention peut s'appliquer à toutes sortes de montres analogiques, des plus simples aux plus sophistiquées.

Par ailleurs, comme on pourra s'en rendre compte par la suite, il est souvent possible de partir non seulement d'un moteur existant mais aussi d'un circuit électronique de montre déjà connu et d'apporter à ce circuit quelques modifications pour aboutir à un ensemble moteur conforme à l'invention.

Le mieux est donc d'illustrer cette dernière par des exemples simples qui permettent de mettre en évidence ces modifications qui, dans leur principe, sont toujours les mêmes et qui restent toujours à la portée de l'homme de métier.

Pour cette raison, l'ensemble moteur qui est représenté schématiquement sur la figure 1 et dont les éléments pourraient appartenir à une montre sans aiguille de secondes se compose seulement d'un moteur pas à pas monophasé bipolaire 1, de type Lavet, et d'un circuit de commande 2 prévu pour faire tourner ce moteur dans un seul sens, celui indiqué par la flèche F, et à deux vitesses différentes, une vitesse faible lorsque la montre doit fonctionner normalement et une

vitesse élevée pour permettre de procéder à une mise à l'heure rapide.

Le moteur 1 comprend classiquement un stator 3 qui est représenté sur la figure comme étant en une seule pièce mais qui pourrait tout aussi bien être réalisé en deux parties, un rotor 4 comprenant un aimant permanent cylindrique à aimantation diamétrale, entouré par le stator, et une bobine 5 qui entoure un noyau 6 couplé magnétiquement au stator 3.

A l'exception de la bobine 5, les éléments du moteur 1 sont censés avoir exactement les mêmes caractéristiques géométriques et physiques que ceux d'un moteur du même genre, utilisé actuellement pour la fabrication de montres analogiques, et n'ont par conséquent pas besoin d'être décrits en détail ici. Il suffit de préciser que ces caractéristiques sont celles pour lesquelles on a généralement l'habitude d'alimenter le moteur par des impulsions motrices telles que celles qui sont représentées par le diagramme a de la figure 2, c'est-à-dire des impulsions continues, de polarité alternée et d'une durée de 7,8 ms, ceci lorsque la montre est prévue pour être équipée d'une source d'énergie électrique fournissant une tension de 1,55 V, par exemple d'une pile à l'argent, et lorsqu'elle est dépourvue de moyens pour adapter la durée des impulsions motrices à la charge momentanée du moteur.

Cette durée de 7,8 ms correspond à un rendement optimal ou quasi-optimal du moteur lorsqu'il fonctionne véritablement en pas à pas, dans son sens normal de rotation, compte tenu du couple maximal qu'il doit fournir.

Le rendement dont il est question ici est celui qui est défini par l'expression

$$\eta = 100 \frac{T_u \times 2 \pi / n}{V \times I_m}$$

dans laquelle  $T_u$  est le couple utile maximal que doit être capable de fournir le moteur,  $n$  le nombre de pas par tour effectué par son rotor,  $V$  la tension à laquelle il est alimenté et  $I_m$  le courant moyen qui traverse son bobinage pendant une seconde, à vide, c'est-à-dire lorsque son rotor n'est soumis à aucun couple résistant dû à des éléments extérieurs.

A noter que cette expression du rendement qui est couramment utilisée en horlogerie s'applique aussi bien à des moteurs à plusieurs bobines qu'à des moteurs qui n'en ont qu'une. D'autre part, elle n'est pas liée à la forme des impulsions motrices qui servent à commander le moteur.

Dans le cas d'un moteur monophasé bipolaire, lorsque l'on sait à quelle tension ce moteur sera alimenté et quel couple utile maximal il devra fournir il est facile de déterminer la durée d'impulsion qui correspond à un rendement maximal en faisant varier cette durée et en mesurant l'énergie minimale  $E_m$  à fournir au moteur qui est égale au produit de la tension inférieure de fonctionnement par la consommation qui est égale, elle, au produit du courant moyen  $I_m$  par la durée  $\tau$  des impulsions.

Comme le montre la courbe  $C_1$  du diagramme de la figure 3, cette énergie électrique minimale  $E_m$  commence par décroître rapidement lorsque la durée d'impulsion  $\tau$  augmente, puis passe par un minimum pour croître ensuite relativement lentement. La durée  $\tau_0$  qui correspond au minimum est précisément celle pour laquelle le rendement du moteur est maximal.

Naturellement cette durée  $\tau_0$  qui sera qualifiée par la suite de «normale» varie dans d'assez larges proportions selon la façon dont le moteur est réalisé, c'est-à-dire selon la forme et les dimensions des différents éléments, les matériaux qui les constituent, etc. Par exemple, pour beaucoup de moteurs du genre Lavet qui sont utilisés actuellement pour la fabrica-

tion de montres la durée  $\tau_0$  est de 7,8 ms mais il en existe également pour lesquels elle n'est que de 3,9 ms environ.

Par ailleurs, on voit, toujours sur la figure 3, que lorsque l'on soumet le moteur à une certaine charge on obtient pour l'énergie minimale de fonctionnement une autre courbe,  $C_2$ , sensiblement de même forme que la courbe  $C_1$  et dont le minimum a lieu pour la même durée d'impulsion  $\tau_0$  qui continue à correspondre à un rendement maximal du moteur.

Bien entendu, en ce qui concerne les moteurs pas à pas à plusieurs bobines, la détermination de la durée optimale des impulsions motrices est en général plus délicate car souvent il ne suffit pas d'appliquer une impulsion à l'une des bobines pour faire franchir un pas au rotor. Il faut au contraire alimenter simultanément ou consécutivement les différentes bobines et par des impulsions motrices qui ne sont pas forcément des impulsions simples. Certaines au moins de ces impulsions motrices peuvent en effet être formées de deux impulsions élémentaires ou plus, de polarité différente. D'autre part, certains moteurs peuvent fonctionner en étant commandés de plusieurs manières distinctes qui ne conduisent pas toujours aux mêmes performances.

Malgré cela, il est toujours possible, ne serait-ce que par approches successives, de trouver pour les impulsions motrices qui doivent être appliquées à chaque bobine d'un moteur donné une durée qui permet d'obtenir le meilleur rendement et ceci pour chacune des façons de commander ce moteur s'il en existe plusieurs.

Pour en revenir à l'ensemble moteur représenté sur la figure 1, l'originalité du moteur 1 est que sa bobine 5 est réalisée de façon à avoir une résistance et une inductance propre nettement inférieures à celles qui permettraient au moteur d'avoir effectivement un rendement maximal si on l'alimentait par des impulsions motrices continues de 1,55 V et de 7,8 ms.

Cette réduction de la résistance et de l'inductance propre par rapport aux valeurs qu'elles devraient avoir normalement peut être par exemple d'un facteur 4. Ceci peut être facilement obtenu en réalisant la bobine 5 avec deux fois moins de spires qu'elle ne devrait en comporter et en utilisant un fil dont le diamètre est  $\sqrt{2}$  fois supérieur à ce qu'il devrait être. Dans ce cas, la bobine du moteur est équivalente aux deux enroulements identiques du brevet CH 654 974 lorsque ceux-ci sont branchés en parallèle.

Le circuit de commande 2 comprend quant à lui un oscillateur 7, composé d'un résonateur à quartz et de son circuit d'entretien, qui délivre un signal de fréquence standard, de 32 768 Hz par exemple, à un circuit diviseur de fréquence 8 qui fournit à sa sortie un signal dont la fréquence est celle à laquelle doit tourner le moteur lorsque la montre fonctionne normalement. Cette fréquence peut être par exemple de  $1/30$  Hz pour que l'aiguille des minutes avance à raison de deux sauts par minute.

Le signal basse fréquence délivré par le diviseur 8 est transmis, avec d'autres signaux périodiques de différentes fréquences prélevés aux sorties d'étages intermédiaires de ce même diviseur, à un circuit convertisseur de forme d'onde 9 qui est chargé de produire en permanence, d'une part, des impulsions continues de 7,8 ms dont la fréquence est la même que celle du signal de sortie du diviseur et, d'autre part, des impulsions également continues mais plus courtes que les précédentes et dont la fréquence est sinon égale du moins très proche de la fréquence maximale à laquelle peut tourner le moteur. Dans le cas particulier envisagé précédemment où la résistance et l'inductance de la bobine du moteur sont quatre fois plus faibles qu'elles ne devraient, cette fréquence des impulsions courtes peut être par exemple de 128 Hz et leur durée de 3,9 ms.

Les impulsions des deux types générées par le circuit convertisseur 9 sont transmises séparément à un circuit de contrôle et de hachage 10 qui reçoit également le ou les signaux de sortie respectivement d'un ou de plusieurs étages intermédiaires du circuit diviseur de fréquence 8 et un signal binaire S provenant d'un contact actionnable par un organe de commande manuelle tel qu'un bouton-poussoir ou une tige de mise à l'heure, dont est munie la montre et qui n'est pas représenté sur la figure. Ce circuit 10 est par ailleurs relié à un circuit 11 d'alimentation du moteur constitué de manière classique par un pont de quatre transistors de puissance dans la diagonale duquel est branchée la bobine 5.

On supposera que lorsque le signal de commande S est au niveau logique «0» la montre fonctionne normalement et que, lorsqu'il est au niveau logique «1», la montre est en mode de correction rapide.

Dans le second cas, le plus simple, le circuit de contrôle et de hachage 10 se contente de transmettre telles quelles les impulsions courtes qui proviennent du circuit convertisseur de forme d'onde 9 au circuit d'alimentation 11, de façon que la bobine reçoive alors des impulsions motrices continues de fréquence élevée et de polarité alternée comme celles qui sont représentées par le diagramme b de la figure 2.

Par contre, dans le premier, le circuit 10 ne fait pas que transmettre les impulsions de 7,8 ms qui lui sont appliquées au circuit 11. Il les hache à un taux déterminé, en utilisant le ou les signaux qu'il reçoit du circuit diviseur de fréquence, afin que les impulsions motrices appliquées à la bobine ne soient plus continues mais formées de trains d'impulsions élémentaires comme ceux qui sont représentés par le diagramme c de la figure 2, les impulsions élémentaires de chaque train ayant une pluralité opposée à celle des impulsions qui composent le train précédent. A noter que le diagramme c ne montre que cinq impulsions élémentaires pour chaque impulsion motrice alors qu'il y en a en fait un très grand nombre.

Le taux auquel le circuit 10 hache les impulsions de 7,8 ms du circuit convertisseur 9 ou, ce qui revient au même, le rapport cyclique des trains d'impulsions élémentaires appliqués à la bobine, est celui qui permet au moteur 1 d'avoir à faible vitesse sinon exactement du moins très sensiblement le même rendement que si la résistance et l'inductance propre de sa bobine avaient leurs valeurs habituelles et si cette dernière était alimentée par des impulsions motrices normales, c'est-à-dire des impulsions de 7,8 ms continues.

Naturellement, plus la résistance et l'inductance propre de la bobine s'éloignent des valeurs qu'elles devraient normalement avoir, plus le rapport cyclique des trains d'impulsions élémentaires qui composent les impulsions motrices, c'est-à-dire le rapport entre la durée de ces impulsions élémentaires et leur période, doit être faible.

Dans l'exemple envisagé précédemment où la résistance et l'inductance sont réduites chacune au quart de leur valeur habituelle, ce rapport cyclique est égal à 0,5.

La figure 4 montre comment peut être réalisé le circuit de contrôle et de hachage 10 dans ce cas particulier.

Cette figure montre également la bobine 5 et le circuit d'alimentation 11 formé comme cela a déjà été indiqué d'un pont de quatre transistors. Dans chaque branche de ce pont se trouve un transistor de type p 12, respectivement 14, en série avec un transistor de type n 13, respectivement 15. Les sources des transistors de type p 12, 14 sont reliées à la borne positive + V de la source de tension d'alimentation de la montre et celles des transistors de type n 13, 15 à sa borne négative, la bobine 5 étant branchée entre le point commun des drains des transistors 12 et 13 et celui des drains des transistors 14 et 15.

Pour en revenir au circuit 10, celui-ci comprend deux portes ET 16 et 17 à deux entrées auxquelles sont appliquées respectivement les impulsions de 7,8 ms et les impulsions courtes, de 3,9 ms par exemple, produites par le circuit convertisseur de forme d'onde 9 (voir figure 1). La porte 17 reçoit également le signal de commande S et la porte 16 le signal S inversé.

Les sorties de ces deux portes ET sont reliées aux deux entrées d'une porte OU 18 dont la sortie est connectée, d'une part, à l'entrée d'une bascule de type T qui change d'état chaque fois que son entrée passe du niveau logique «0» au niveau «1» et, d'autre part, à des premières entrées de deux portes ET 20 et 21 qui en possèdent trois, les deuxième entrées de ces portes 20 et 21 étant reliées respectivement aux sorties Q et  $\bar{Q}$  de la bascule 19.

Comme les impulsions de 7,8 ms doivent être hachées à 50%, le circuit n'a besoin pour effectuer ce hachage que d'un signal périodique fourni par le circuit diviseur de fréquence 8. Ce signal dont la fréquence peut être par exemple de 1024 Hz est appliqué à une entrée d'une porte OU 22 qui reçoit sur une autre entrée le signal S et dont la sortie est connectée aux troisième entrées des portes ET 20 et 21, la sortie de la première, 20, de ces portes étant reliée aux grilles des transistors 12 et 13 du circuit d'alimentation 11 et celle de la deuxième, 21, aux grilles des transistors 14 et 15.

Lorsque la montre fonctionne normalement, le signal S étant au niveau logique «0», la porte ET 16 est ouverte aux impulsions de 7,8 ms qu'elle reçoit et la porte OU 22 transmet le signal périodique qui lui est appliqué aux troisième entrées des portes ET 20 et 21. Par contre, les impulsions courtes sont bloquées par la porte ET 17.

En dehors des périodes d'application des impulsions de 7,8 ms au circuit, la sortie de la porte OU 18 étant au niveau «0», les portes ET 20 et 21 demeurent bloquées de même que les deux transistors de type n 13 et 15 du circuit 11. Par contre, les transistors de type p 12 et 14 sont conducteurs et court-circuitent la bobine 5 du moteur. En ce qui concerne la bascule 19, sa sortie Q peut alors être soit au niveau «0», soit au niveau «1».

En admettant que l'on se trouve dans le premier cas, c'est-à-dire que la sortie Q est à «0», lorsqu'une impulsion apparaît ensuite à l'entrée de la porte ET 16, cette sortie Q de la bascule passe, en même temps que l'entrée T de cette dernière, au niveau «1». De ce fait, la porte ET 20 devient passante pour le signal périodique qu'elle reçoit sur sa troisième entrée. Par contre, la porte ET 21 reste bloquée du fait que les états logiques de ses première et deuxième entrées ont simplement été inversés.

Pendant 7,8 ms, chaque fois que la troisième entrée de la porte ET 20 et, par conséquent, sa sortie passent au niveau «1», le transistor 12 se bloque alors que le transistor 13 devient conducteur et un courant passe dans la bobine, dans le sens de la flèche F'. Au contraire, entre deux impulsions du signal périodique, le transistor 13 se bloque à nouveau tandis que le transistor 12 redevient conducteur et la bobine 5 est court-circuitée.

Au bout des 7,8 ms, l'entrée T de la bascule repasse à «0» et le signal périodique n'est plus transmis par la porte 20.

Lorsqu'une nouvelle impulsion apparaît à l'entrée de la porte 16, la sortie Q de la bascule 19 passe au niveau «0» tandis que sa sortie  $\bar{Q}$  passe au niveau «1» et c'est cette fois la porte ET 21 qui transmet le signal périodique provenant de la porte OU 22. Ce signal permet de commander les transistors 14 et 15 du circuit d'alimentation de façon que la bobine 5 soit alternativement parcourue par un courant dans le sens opposé à celui de la flèche F' et court-circuitée.

Après cette nouvelle impulsion de 7,8 ms, le circuit se retrouve dans la même situation qu'au début.

Si à un moment donné le signal S passe au niveau «1», la porte ET 16 bloque les impulsions de 7,8 ms qu'elle reçoit alors que la porte ET 17 laisse passer les impulsions courtes de fréquence élevée qui lui sont appliquées. Ces impulsions sont transmises alternativement par les portes ET 20 et 21, respectivement aux transistors 12 et 13 et aux transistors 14 et 15 qui commandent le passage du courant dans la bobine tantôt dans le sens de la flèche F', tantôt dans le sens opposé. Par ailleurs, étant donné que la sortie de la porte OU 22 reste au niveau «1» tant que le signal S y est aussi, les impulsions motrices appliquées à la bobine sont continues.

Tant que le signal S change de niveau logique en dehors des périodes où le moteur reçoit des impulsions motrices, ces dernières ont toujours la bonne polarité pour faire tourner le rotor car, vu la façon dont est réalisé le circuit 10, une impulsion motrice est toujours de polarité opposée à celle de la précédente.

Par contre, si le changement intervient pendant que la porte 16 ou la porte 17 est en train de transmettre une impulsion provenant du circuit convertisseur, suffisamment tôt pour que le rotor n'ait pas eu le temps de terminer un pas ou d'acquiescer une énergie suffisante pour cela, celui-ci revient en arrière et la première impulsion motrice qui suit ce changement n'a plus la bonne polarité pour le faire tourner. Il faut attendre la deuxième impulsion pour que le rotor fasse à nouveau un pas.

Apparemment, cette possibilité pour le rotor de rater un pas est surtout gênante pour le passage de la grande à la petite vitesse car cela signifie que, aussitôt après avoir été remise à l'heure, la montre peut retarder de, par exemple, une demi-minute si la fréquence des impulsions de 7,8 ms est de  $1/30$  Hz.

En fait, il ne s'agit pas véritablement d'un inconvénient car il est clair que l'ensemble moteur très simple qui a été décrit pourrait difficilement être utilisé tel quel dans une montre. La fréquence des impulsions courtes est en effet trop grande pour qu'il soit possible de n'en envoyer qu'un petit nombre, déterminé, au moteur ou d'interrompre une correction au moment exact où l'aiguille des minutes atteint la position voulue. Cet ensemble moteur qui permet seulement de procéder à des corrections importantes et de manière approchée devrait donc être complété par des moyens pour produire des impulsions de correction dont la fréquence basse pourrait être fixe ou variable en fonction de la vitesse d'actionnement du même organe de commande que celui qui permet d'effectuer les corrections rapides et grossières ou d'un autre et dont le nombre pourrait être parfaitement contrôlé. De plus, il faudrait modifier le circuit de contrôle et de hachage 10 qui recevrait également ces impulsions pour qu'il puisse les transmettre au moment voulu au circuit d'alimentation 11 du moteur.

Comme toute correction commencée à grande vitesse devrait être parachevée en faisant appel à ces moyens complémentaires, le fait que le rotor manque un pas lorsqu'il commence à tourner rapidement et/ou au moment où le moteur reçoit la première impulsion de correction basse fréquence serait sans importance.

Toutefois, si l'on voulait malgré tout éviter que des impulsions motrices puissent être appliquées inutilement au moteur, on pourrait sans difficulté ajouter au circuit de contrôle et de hachage modifié ou inclure dans un circuit de correction rajouté des moyens pour refuser un changement de niveau du signal de commande S pendant la durée de ces impulsions ou pour en retarder les effets, moyens qui deviendraient nécessaires si le fonctionnement à vitesse élevée du moteur était utilisé non seulement pour de simples mises à l'heure, mais également pour des changements de fuseau horaire ou pour faire indiquer par les aiguilles autre chose que

l'heure courante, par exemple une heure d'alarme mémorisée.

On a affirmé précédemment qu'il était pratiquement toujours possible de partir d'un circuit de commande déjà connu pour réaliser un ensemble moteur conforme à l'invention. Il est facile de le prouver.

Par exemple, on trouve dans le brevet US 3 901 022 un circuit qui permet d'appliquer au moteur monophasé et unidirectionnel d'une montre soit des impulsions motrices basse fréquence de 7,8 ms lorsque cette dernière fonctionne normalement, soit des impulsions de même durée et de 32 Hz lors d'une mise à l'heure. Globalement, le circuit qui a été décrit ne s'en distingue que par le fait que les impulsions basse fréquence sont hachées et que les impulsions de correction sont plus courtes et de fréquence nettement plus élevée. Etant donné que la formation d'impulsions de durée et de fréquence déterminées ne pose aucun problème et que la technique du hachage des impulsions pour la commande d'un moteur pas à pas est maintenant bien connue, en particulier dans le domaine de l'horlogerie, il est très facile pour l'homme du métier de modifier le circuit du brevet américain pour aboutir à un autre circuit qui ne sera peut être pas exactement celui de la figure 1 mais qui permettra de commander le moteur 1 de la même façon.

Autre exemple: il existe déjà beaucoup de montres avec lesquelles il est possible de faire avancer l'aiguille des minutes et, par contre-coup, celle des heures à grande vitesse ou lentement pour effectuer une mise à l'heure. Donc, plutôt que de compléter le circuit qui a été décrit par des moyens qui permettent de procéder à des corrections lentes mais précises, on pourrait très bien remplacer le circuit 2 par celui de l'une de ces montres connues en lui apportant les mêmes modifications que celles qui ont été indiquées précédemment à propos du brevet US 3 901 022. On aboutirait à un circuit équivalent.

De même, on pourrait partir de circuits de montres déjà commercialisées qui utilisent la technique dite du balancement, décrite dans le brevet US 4 112 671, pour faire tourner un moteur de type Lavet dans les deux sens si l'on voulait associer au moteur 1 un circuit de commande qui permette d'effectuer des corrections dans les deux sens, avance et retard.

Naturellement, on pourrait citer encore beaucoup d'autres exemples pour montrer que ce qui a été dit est vrai mais cela n'est pas nécessaire.

Toutefois, il faut quand même préciser que, dans certaines montres connues et notamment celles qui sont munies d'un système d'adaptation automatique de l'énergie des impulsions motrices à la charge du moteur, le hachage des impulsions existe déjà. Il n'y aurait donc pas à l'introduire pour aboutir à un ensemble moteur conforme à l'invention, il suffirait de changer le ou les rapports cycliques des impulsions élémentaires qui constituent les impulsions motrices.

Pour un moteur de type Lavet classique dont les caractéristiques mécaniques et électriques sont les suivantes:

Nombre de spires de la bobine:  $N = 26\ 600$

Résistance de la bobine:  $R = 7400\ \Omega$

Perméance du circuit:  $A = L/N^2 = 40\ \text{nH}$

( $L$ : inductance propre de la bobine)

Valeur maximale du coefficient de couplage:

$\gamma_0 = 0,25\ \mu\text{Nm}/\text{At}$

Moment d'inertie du rotor:  $J = 3,5 \cdot 10^{-12}\ \text{kgm}^2$

Couple de frottement sec:  $C_S = 3,5 \cdot 10^{-8}\ \text{Nm}$

Coefficient de frottement visqueux:  $f = 10^{-10}\ \text{Nm}/\text{rd}/\text{s}$

Valeur maximale du couple de positionnement:

$T_2 = 0,35\ \mu\text{Nm}$  on obtient habituellement, pour une tension d'alimentation de 1,55 V et des impulsions motrices continues de 7,8 ms, un couple utile maximal  $T_u$  de 0,22  $\mu\text{Nm}$  et

un courant moyen  $I_m$  d'environ 105  $\mu\text{A}$ , donc un rendement optimisé sensiblement égal à 42,4%. Dans ce cas, la fréquence maximale à laquelle le moteur peut être commandé est, comme on l'a déjà indiqué, de l'ordre de 50 ou 60 Hz.

Dans le cas particulier envisagé précédemment où l'on remplace la bobine de ce moteur par une autre qui présente une résistance et une inductance propre quatre fois plus faibles, on aboutit exactement aux mêmes résultats en alimentant le moteur par des impulsions hachées à 50%. Par contre, avec des impulsions continues de 3,9 ms, le couple utile passe à 0,30  $\mu\text{Nm}$ , le courant moyen à 518  $\mu\text{A}$  et la fréquence maximale de fonctionnement du moteur est multipliée par deux.

Comme en général et notamment dans le cas d'une montre il n'y a pas de raison d'avoir un couple utile plus important à vitesse élevée qu'à vitesse faible, il est encore possible de réduire la durée des impulsions continues jusqu'à ce que ce couple prenne à peu près la même valeur que pour les impulsions de 7,8 ms hachées, ce qui arrive pour une durée d'environ 3 ms. Ceci conduit à un accroissement supplémentaire d'à peu près 30% de la fréquence maximale et porte sa valeur à 130 ou 150 Hz.

Si l'on se reporte à l'exemple numérique donné dans le brevet CH 654 974, on peut constater que les valeurs qui viennent d'être indiquées sont les mêmes que celles qui sont obtenues lorsque l'on remplace la bobine de 26 600 spires et de 7400  $\Omega$  du moteur par deux enroulements identiques de 13 300 spires et de 3700  $\Omega$  chacun et lorsque l'on branche ces enroulements en série ou en parallèle pour faire tourner le moteur respectivement à petite et à grande vitesse.

Donc, là encore, on s'approche de la fréquence théorique de synchronisme du moteur classique dont on est parti, qui est à peu près de 200 Hz, et rien n'empêche de réduire davantage la résistance et l'inductance de la bobine pour obtenir une fréquence maximale encore plus élevée.

D'autre part, il est tout à fait possible de combiner la solution de l'invention avec celle qui est décrite dans la demande de brevet EP 0 103 542 et qui, comme on l'a déjà dit, permet elle aussi d'atteindre une fréquence maximale très proche de la fréquence de synchronisme.

Vu que cette dernière est donnée par la formule:

$$f_S = \left| \frac{U_i}{2 \pi N \gamma_0} \right|$$

où  $N$  désigne ici encore le nombre de spires de la bobine du moteur,  $\gamma_0$  la valeur maximale du coefficient de couplage et  $U_i$  la tension induite dans la bobine par le mouvement du rotor, il suffit de diviser par deux le nombre de spires pour la doubler.

L'utilisation simultanée des deux solutions permet donc d'atteindre une fréquence maximale de l'ordre de 400 Hz et même plus.

Malheureusement, cela est encore insuffisant pour une montre avec aiguille de secondes car une correction de six heures prendrait alors plus de 50 secondes.

Pour obtenir des temps de correction acceptables, il faut faire appel à la fois à l'invention et à la technique bien connue de l'asservissement.

La figure 5 montre schématiquement l'une des formes les plus simples sous lesquelles peut alors se présenter l'ensemble moteur selon l'invention. Cette forme possible d'exécution correspond à celle qui a été décrite précédemment, c'est-à-dire que l'ensemble moteur représenté sur la figure 5 se compose simplement d'un moteur de type Lavet 1' identique à celui de l'ensemble moteur de la figure 1 et sur lequel il

n'est, par conséquent, pas nécessaire de revenir et d'un circuit de commande 2' prévu pour ne faire tourner ce moteur que dans un seul sens, à petite et à grande vitesse.

Comme le circuit 2 de l'ensemble moteur de la figure 1, le circuit de commande 2' comprend, connectés l'un à la suite de l'autre, un oscillateur 7', un circuit diviseur de fréquence 8', un circuit convertisseur de forme d'onde 9', un circuit de contrôle et de hachage 10' qui reçoit un signal binaire de commande S' et un circuit d'alimentation 11' du moteur.

L'oscillateur 7' et le circuit d'alimentation 11' sont identiques à ceux du circuit 2. Par contre, le circuit diviseur 8' peut comporter moins d'étages que le circuit diviseur 8 et fournir un signal de sortie de fréquence plus élevée et égale à 1 Hz par exemple. D'autre part, le circuit convertisseur 9' est plus simple que le circuit 9 car il n'a plus à fournir au circuit de contrôle et de hachage 10' que des impulsions de 7,8 ms à la fréquence du signal de sortie du circuit diviseur 8', pour le fonctionnement du moteur 1' à petite vitesse.

En plus des éléments 7' à 11', le circuit de commande 2' comprend un circuit 30 pour détecter en permanence, lorsque le rotor 4' tourne, un paramètre représentatif de la position instantanée de celui-ci et pour appliquer une brève impulsion au circuit de contrôle et de hachage 10' chaque fois que ce rotor passe par une position angulaire bien déterminée ou par la position opposée. Ces positions peuvent être celles d'équilibre statique mais il est préférable qu'elles soient situées avant, c'est-à-dire que chacune d'elles se trouve entre une position d'équilibre statique et celle des deux positions d'équilibre avec courant qui est angulairement la plus proche ou soit confondue avec cette dernière. Quant au paramètre détecté, il peut s'agir de l'intensité du courant dans la bobine 5', de la tension induite dans cette dernière par le mouvement du rotor, de la variation de flux magnétique dans le stator 3', etc.

Le circuit 30 peut se présenter sous l'une des nombreuses formes qui ont été divulguées dans le cadre de systèmes d'adaptation de l'énergie des impulsions motrices appliquées à un moteur à la charge de celui-ci. Par exemple, pour la détection de la tension induite, on peut utiliser le circuit qui est décrit dans le brevet US 4 446 413 et pour la variation de flux celui qui figure dans le brevet US 4 430 007.

A noter que ce circuit de détection 30 a été représenté sur la figure comme étant connecté aux bornes de la bobine 5', mais il pourrait aussi être relié à un ou plusieurs points du circuit d'alimentation 11. Tout dépend en fait du paramètre choisi et de la façon dont le circuit est réalisé.

Lorsque le signal de commande S' est au niveau logique «0», le moteur tourne pas à pas à petite vitesse et le circuit de commande 2' fonctionne alors exactement de la même façon que le circuit 2 de la figure 1 sauf que les impulsions motrices hachées sont appliquées au moteur à une fréquence un peu plus élevée et que le circuit de contrôle et de hachage ne bloque plus des impulsions courtes de fréquence élevée provenant du circuit convertisseur de forme d'onde mais des impulsions de même fréquence que les impulsions motrices, produites par le circuit de détection 30.

Naturellement, il serait également possible de ne pas faire fonctionner ce circuit de détection tant que le moteur tourne à faible vitesse mais il faudrait prévoir alors, entre lui et la bobine 5' ou le circuit d'alimentation 11', un système de commutation commandé par le signal S'.

Comme on le verra par la suite, le fait que le signal S' puisse passer du niveau logique «0» au niveau «1» pendant qu'une impulsion motrice est appliquée au moteur aurait des conséquences beaucoup plus fâcheuses que dans le cas de l'ensemble moteur de la figure 1. On supposera donc que le circuit de commande 2' comprend des moyens non représentés qui permettent d'éviter cela.

Ainsi, lorsque le signal S' passe au niveau «1», le circuit de contrôle et de hachage 10' commande le circuit d'alimentation 11' de façon que la bobine 5' soit parcourue par un courant de sens opposé par rapport à celui qui l'a traversée pendant la durée de la dernière impulsion motrice et le rotor commence alors à tourner. Par ailleurs à partir de ce moment, le circuit 10' bloque les impulsions de 7,8 ms qu'il reçoit du circuit convertisseur 9'.

A l'instant où le rotor atteint l'une des positions de référence choisies, le circuit de détection 30 envoie une impulsion au circuit 10' qui agit sur le circuit d'alimentation pour inverser le sens du courant dans la bobine et continuer à faire tourner le rotor.

Lorsque ce dernier passe par l'autre position de référence, le circuit de détection applique une nouvelle impulsion au circuit de contre et de hachage qui fait à nouveau changer le sens du courant dans la bobine et ainsi de suite tant que le signal S' est au niveau «1».

En d'autres termes, la bobine 5' est alors alimentée par des impulsions motrices de tension V, de polarité alternée, qui se succèdent sans interruption, le début de l'une de ces impulsions étant confondu avec la fin de la précédente.

Ceci est illustré par le diagramme de la figure 6 qui représente, en valeur algébrique, la tension appliquée à la bobine en fonction de l'angle  $\alpha$  de rotation du rotor. Ce paramètre a été choisi de préférence au temps car, dans ce cas, la durée des impulsions motrices n'est pas constante. En effet, à partir du moment où le rotor commence à tourner, sa vitesse croît, ce qui fait que cette durée diminue, et elle ne devient constante qu'à partir du moment où la vitesse du rotor atteint une valeur maximale qu'elle conserve ensuite, ceci à condition bien entendu que le signal S' reste au niveau «1» suffisamment longtemps.

Lorsque le signal S' repasse au niveau «0», le circuit de contrôle et de hachage commande le circuit d'alimentation de façon que la bobine 5' soit court-circuitée comme elle l'était juste avant que le niveau du signal S' passe à «1» et, à partir de ce moment, il recommence à transmettre les impulsions basse fréquence de 7,8 ms en les hachant et à bloquer les impulsions provenant du circuit de détection.

Le fait de court-circuiter la bobine du moteur permet de freiner efficacement le rotor mais, vu la vitesse à laquelle celui-ci peut tourner, il y a peu de chance pour que cela soit suffisant pour l'empêcher de faire un ou plusieurs demi-tours supplémentaires après que le signal S' est revenu à «0». Par ailleurs, si une impulsion motrice de fréquence basse est appliquée à la bobine alors que le rotor continue à tourner, celle-ci peut, selon sa polarité et le moment où elle apparaît, contribuer à freiner le rotor ou, au contraire, retarder son immobilisation. De plus, il n'est pas du tout sûr que l'impulsion motrice qui vient après que le rotor s'est arrêté ait la bonne polarité pour faire faire un pas au moteur. L'ensemble moteur qui vient d'être décrit globalement ne peut donc convenir que pour des montres très simples et à condition d'être complété, comme celui de la figure 1, par des moyens permettant de procéder à des corrections lentes.

On indiquera par la suite une solution pour stopper le rotor au moment voulu.

La figure 7 montre en détail une manière de réaliser le circuit de contrôle et de hachage 10' dans le cas particulier où les impulsions motrices appliquées au moteur sont hachées avec un rapport cyclique égal à 0,5, ainsi que le circuit d'alimentation 11' avec ses quatre transistors de puissance 12', 13', 14' et 15' pour commander le passage du courant dans la bobine 5'.

Dans cet exemple particulier de réalisation, le circuit 10' comporte tous les éléments du circuit de la figure 4 qui sont désignés par les mêmes repères avec, en plus, le signal «>» et

qui sont connectés entre eux de la même façon à ceci près que la sortie de la porte OU 18' n'est pas reliée à des entrées des portes ET 20' et 21' directement mais par l'intermédiaire d'une porte OU 24 qui reçoit également le signal S'. Par ailleurs, cette porte OU 18' n'a pas seulement deux entrées mais trois, l'entrée supplémentaire étant reliée à la sortie Q d'un circuit monostable 23 dont l'entrée TR reçoit, elle aussi, le signal S'. Enfin, pour la porte ET 17', les impulsions courtes du circuit convertisseur de forme d'onde sont remplacées par les impulsions provenant du circuit de détection 30. A noter que si l'on avait prévu de ne faire fonctionner ce dernier que lorsque le moteur 1' doit tourner à grande vitesse, cette porte 17' n'aurait pas eu lieu d'exister.

Pour le fonctionnement du circuit, lorsque le signal S' est au niveau «0», il n'y a rien de changé par rapport au circuit de la figure 4 sinon que la porte ET 17' bloque maintenant les impulsions produites par le circuit de détection.

Au moment où le signal S' passe au niveau «1», la porte ET 16' qui reçoit les impulsions de 7,8 ms du circuit convertisseur se bloque tandis que le circuit monostable 23 produit une brève impulsion qui est transmise par la porte OU 18' à l'entrée de la bascule 19'. En supposant que, juste avant, les sorties Q et  $\bar{Q}$  étaient respectivement aux niveaux «0» et «1», celles-ci passent alors aux niveaux «1» et «0». A partir de cet instant, toutes les entrées de la porte ET 20' sont au niveau «1» et sa sortie l'est aussi. Par contre, la porte ET 21' reliée à la sortie  $\bar{Q}$  de la bascule est bloquée. Par conséquent, dès que le signal S' passe au niveau «1», un courant circule dans la bobine S' dans le sens de la flèche F'.

Lorsque la première impulsion provenant du circuit de détection est transmise par les portes 17' et 18' à l'entrée T de la bascule 19', les niveaux des sorties Q et  $\bar{Q}$  de celle-ci s'inversent de même que ceux des sorties des portes ET 20' et 21' et le sens du courant dans la bobine change.

A la deuxième impulsion fournie par le circuit de détection, c'est à nouveau la porte ET 20' qui a sa sortie au niveau «1», ce qui fait que le courant change encore de sens et ainsi de suite.

Au moment où le signal S' revient au niveau «0», le circuit monostable 23 n'émet aucune impulsion et tout se passe alors comme pour le circuit 10 de la figure 4.

On va voir maintenant ce qui aurait pu se produire avec pratiquement tous les circuits de détection utilisables, si la possibilité d'un passage au niveau «1» du signal S' pendant l'application d'une impulsion de 7,8 ms au circuit de contrôle et de hachage n'avait pas été supprimée.

Admettons, toujours en considérant le circuit 10' de la figure 7, d'une part, que le signal S' passe effectivement au niveau «1» pendant que la porte 16' est en train de transmettre une impulsion et, d'autre part, que cette porte 16' et le circuit monostable 23 réagissent tous les deux instantanément au flanc de montée du signal S' appliqué à leur entrée et que la bascule 19' ne perçoit pas l'inversion des niveaux des sorties de ces éléments. Dans cette éventualité, le courant qui a commencé à traverser la bobine S' dans un sens continue à le faire après que le niveau du signal S' est passé à «1» et si le rotor a déjà dépassé la position de référence au moment où ce changement survient, il vient se placer dans sa position d'équilibre avec courant et il y reste tant que le niveau du signal S' n'est pas ramené à «0». Naturellement, si le rotor n'a pas encore passé par la position de référence il n'y a pas de problème.

La même chose se passe dans le cas où la porte ET 16' réagit moins vite que le circuit monostable.

Par contre, si la sortie de la porte 16' passe à «0» avant que celle du circuit monostable passe à «1», les niveaux des sorties de la bascule 19' s'inversent de même que le sens du courant dans la bobine. Si, à l'instant où cela se produit, le

rotor n'a pas tourné de plus de 135° ou acquis une énergie cinétique suffisante pour le faire, il revient en arrière pour se stabiliser dans son autre position d'équilibre avec courant et rien ne change tant que le niveau du signal S' reste à «1».

Evidemment, l'utilisateur de la montre se rendrait très vite compte que les aiguilles n'avancent pas et répéterait sa manoeuvre. Les chances pour que la même chose se produise une deuxième fois étant minimes, le moteur se mettrait alors à tourner correctement. Malgré tout, il vaut mieux supprimer cet inconvénient, d'autant plus que cela peut être fait de manière très simple.

Pour un moteur dont les différents paramètres A,  $\gamma_0$ , J, C<sub>S</sub>, f et T<sub>2</sub> ont les valeurs qui ont été indiquées précédemment et dont la bobine a une résistance et une inductance propre quatre fois plus faibles que celles qu'elle devrait avoir normalement, le fait de faire tourner le rotor de façon continue en utilisant la technique de l'asservissement permet d'obtenir une vitesse maximale à vide, c'est-à-dire, pour un couple utile T<sub>u</sub> nul, d'environ 620 pas par seconde (en fait il serait plus juste de dire demi-tours plutôt que pas). Ceci est encore trop peu pour une montre à aiguille de secondes.

Par contre, avec un moteur dont les caractéristiques sont les suivantes:

N	=	4850
R	=	1400 Ω
A	=	40 nH
$\gamma_0$	=	0,4 μNm/At
J	=	3,5 · 10 <sup>-12</sup> kgm <sup>2</sup>
C <sub>S</sub>	=	4,0 · 10 <sup>-8</sup> Nm
f	=	10 <sup>-10</sup> Nm/rd/s
T <sub>2</sub>	=	0,35 μNm

on obtient, avec une tension non plus de 1,55 V mais de 6 V, une vitesse maximale à vide de 2075 pas par seconde. Pour un couple utile d'environ 0,20 μNm, cette vitesse est sensiblement égale à 1800 pas par seconde, ce qui est suffisant étant donné qu'une correction de six heures ne prend plus alors que douze secondes dont le même temps que pour une montre sans aiguille de secondes munie d'un moteur classique dont la vitesse maximale est, comme on l'a déjà indiqué, d'environ 60 pas par seconde et dans laquelle l'aiguille des minutes se déplace normalement à raison de deux sauts par minute.

D'autre part, on constate qu'avec l'asservissement la consommation moyenne par pas du moteur est légèrement plus faible que lorsque celui-ci fonctionne véritablement pas à pas.

Il est clair qu'un rotor tournant à de telles vitesses ne peut pas s'arrêter brusquement dès que le moteur cesse d'être alimenté. Donc pour pouvoir stopper ce rotor au moment voulu, il faut préalablement le freiner.

Une solution efficace pour réaliser ce freinage consiste à connecter une résistance de valeur adéquate en série avec la bobine pendant un certain temps avant d'interrompre l'alimentation du moteur.

Naturellement, le freinage est d'autant plus important que la valeur de la résistance est élevée et cette valeur doit être choisie en fonction des paramètres de la bobine, de la vitesse à laquelle il est prévu de faire tourner le rotor et du temps pendant lequel on envisage de brancher cette résistance. Elle sera en général du même ordre de grandeur que celle de la bobine et elle pourra être, par exemple, sensiblement égale à la différence entre la résistance que devrait avoir normalement la bobine pour obtenir un rendement optimal en fonctionnement pas à pas à petite vitesse et celle qu'elle a réellement.

Les courbes I et II du diagramme de la figure 8 représentent la variation de la vitesse maximale à vide v<sub>m</sub> du rotor en fonction de la valeur R' de la résistance qui est branchée en

série avec la bobine pour les deux moteurs qui ont été choisis comme exemples.

Dans le premier cas (courbe I), cette vitesse qui est de 624 pas par seconde en l'absence de résistance passe à 305 pas par seconde pour une résistance de 1400  $\Omega$ , c'est-à-dire qu'elle est à peu près réduite de moitié. Cela suffit déjà pour que le rotor s'arrête sans effectuer de pas supplémentaires après l'interruption de l'alimentation du moteur. Pour une résistance de 5000  $\Omega$ , ce qui correspond sensiblement à trois fois la résistance de la bobine, la vitesse n'est plus que de 118 pas par seconde.

Pour le second moteur (courbe II), la vitesse décroît de 2075 à 665 pas par seconde lorsque la valeur de la résistance passe de 0 à 5000  $\Omega$ . Cette diminution est importante mais pas tout à fait suffisante. Par contre, une résistance d'environ 7000  $\Omega$  pourrait convenir.

Ce même diagramme montre également comment varie, dans les deux cas, la consommation moyenne par pas C exprimée en nano-ampères. Lorsque R' croît de 0 à 5000  $\Omega$ , cette consommation passe en gros de 800 à 1765 nA pour le premier moteur (voir courbe III) et de 535 à 1000 nA pour le second (voir courbe IV). Elle est donc à peu près doublée. Toutefois, comme dans une montre le moteur n'est censé tourner à grande vitesse que très rarement et comme, en plus, la période de freinage ne représenterait souvent qu'une très faible partie du temps pendant lequel le moteur fonctionnerait ainsi, ceci ne constitue pas un inconvénient.

La figure 9 montre comment doit être réalisé le circuit d'alimentation d'un moteur tel que celui de la figure 1 ou de la figure 5 lorsque l'on fait effectivement appel à cette solution de la résistance additionnelle pour freiner le rotor. On peut d'ailleurs considérer que la résistance fait partie de ce circuit.

On voit qu'aux deux branches classiques formées chacune d'un transistor de type p 12'', respectivement 14'', et d'un transistor de type n 13'', respectivement 15'', et entre lesquelles est branchée la bobine 5'' du moteur, s'ajoute une troisième branche en parallèle avec les deux autres et constituée elle aussi d'un transistor de type p 31 et d'un transistor de type n 32 en série, la résistance additionnelle 33 de valeur R' étant branchée entre le point de jonction des drains de ces deux transistors supplémentaires 31 et 32 et celui des drains des transistors 14'' et 15''.

Lorsque cette résistance doit être connectée en série avec la bobine, les transistors 14'' et 15'' restent bloqués et ce sont alors les transistors 31 et 32 qui coopèrent avec les transistors 12'' et 13'' pour commander le passage du courant dans un sens ou dans l'autre, à la fois dans la bobine et dans la résistance. En dehors de ces périodes, les transistors 31 et 32 demeurent en permanence bloqués.

Du fait de la présence de six transistors au lieu de quatre dans le circuit d'alimentation et du fait aussi que le circuit de commande est pratiquement obligé de connaître le nombre de demi-tours que le rotor doit effectuer à grande vitesse pour pouvoir commencer à le freiner au bout d'un certain temps, le circuit de contrôle et de hachage ne peut plus avoir

une forme aussi simple que celle de la figure 7. Comme il peut être réalisé de nombreuses façons qui ne sont pas liées directement à l'invention et qui sont toutes largement à la portée de l'homme de métier, ce circuit ne sera pas décrit ici.

On peut imaginer par exemple qu'il soit conçu pour commander le circuit d'alimentation de la figure 9, de manière que le rotor fasse 1800 tours, c'est-à-dire que les aiguilles de la montre avancent exactement d'une heure chaque fois qu'il reçoit une impulsion de commande produite lorsque l'on exerce une action déterminée telle qu'une pression, une traction ou une rotation rapide, sur un organe de commande manuelle.

Par ailleurs, il est tout à fait possible d'utiliser la résistance additionnelle non seulement pour ralentir le moteur à la fin d'une période de fonctionnement à fréquence élevée, mais également pour réguler la vitesse du rotor pendant toute cette période. Dans ce cas, le circuit de commande du moteur doit comprendre en plus un dispositif pour détecter la vitesse momentanée du rotor et des moyens pour connecter la résistance en série avec la bobine pendant un temps déterminé lorsque cette vitesse dépasse un certain seuil ou mieux pour brancher la résistance lorsque la vitesse devient supérieure à une première valeur et la déconnecter dès que la vitesse tombe en-dessous d'une seconde valeur inférieure à la première. Bien entendu, ce système de régulation doit être rendu inopérant au moment de la phase de freinage finale.

On peut également prévoir plusieurs résistances additionnelles pour le freinage et/ou la régulation de la vitesse du rotor ainsi que des moyens pour sélectionner l'une ou l'autre de celles-ci, notamment lorsqu'il est question de faire fonctionner le moteur non seulement à une vitesse faible et à une vitesse élevée mais aussi à une ou plusieurs vitesses intermédiaires.

Enfin, il est évident que l'invention n'est pas limitée aux différents modes d'exécution qui ont été décrits ou envisagés.

Par exemple, plutôt que de hacher les impulsions motrices basse fréquence, on pourrait en réduire la hauteur, c'est-à-dire alimenter le moteur par une tension plus faible, ou la durée ou bien encore combiner ces différentes solutions. L'essentiel est que ces impulsions soient telles qu'elles permettent de compenser le mieux possible la baisse de rendement du moteur due au fait que la résistance de sa bobine ou de chacune de ses bobines ont des valeurs nettement plus faibles que celles qu'elles devraient normalement avoir.

Par ailleurs, comme on l'a déjà souligné à plusieurs reprises, l'invention peut être étendue à de nombreuses sortes de moteurs. En dehors des différents moteurs de type Lavet, on peut citer comme exemples d'applications possibles les moteurs normalement à une seule bobine mais véritablement bidirectionnels qui dérivent des moteurs du genre précité et qui font l'objet du brevet CH 616 302 et de la demande de brevet EP 0 085 648 ou le moteur biphasé dont plusieurs formes sont décrites dans les brevets CH 625 646 et CH 634 696.

De plus, elle peut être utilisée dans d'autres secteurs que l'horlogerie.

60

65

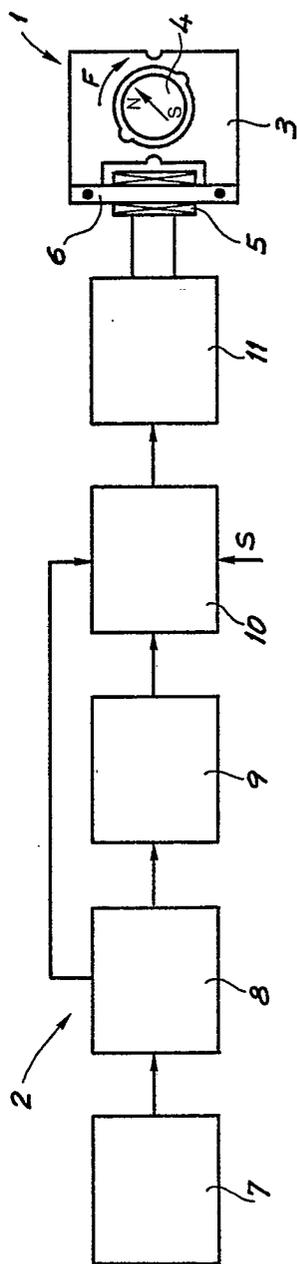


Fig. 1

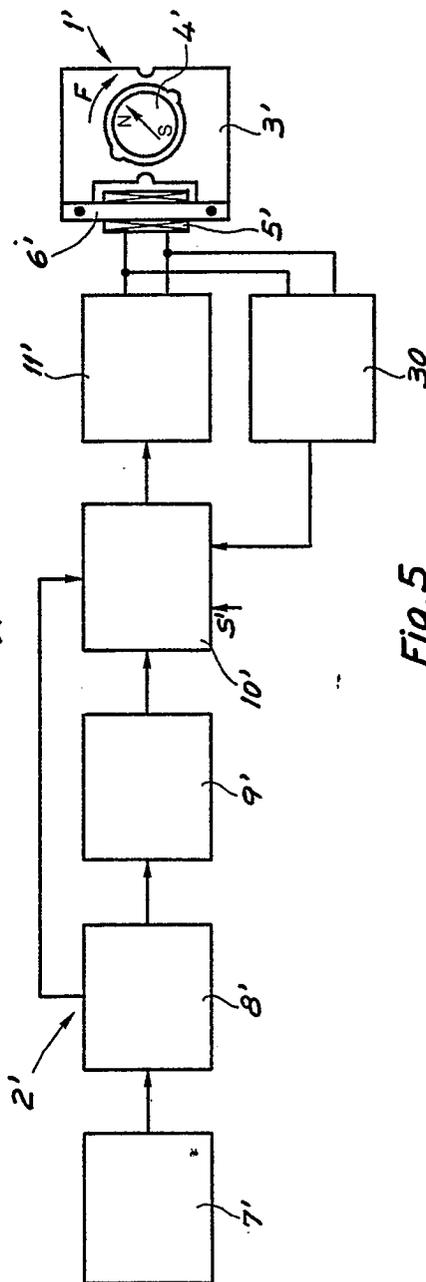


Fig. 5



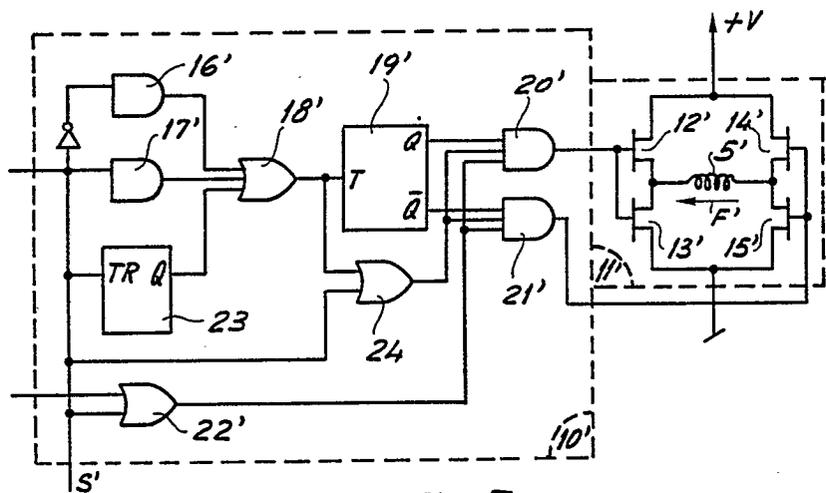


Fig. 7

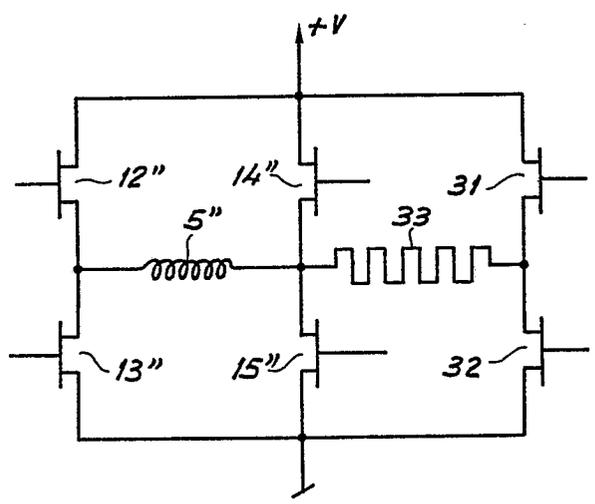


Fig. 9

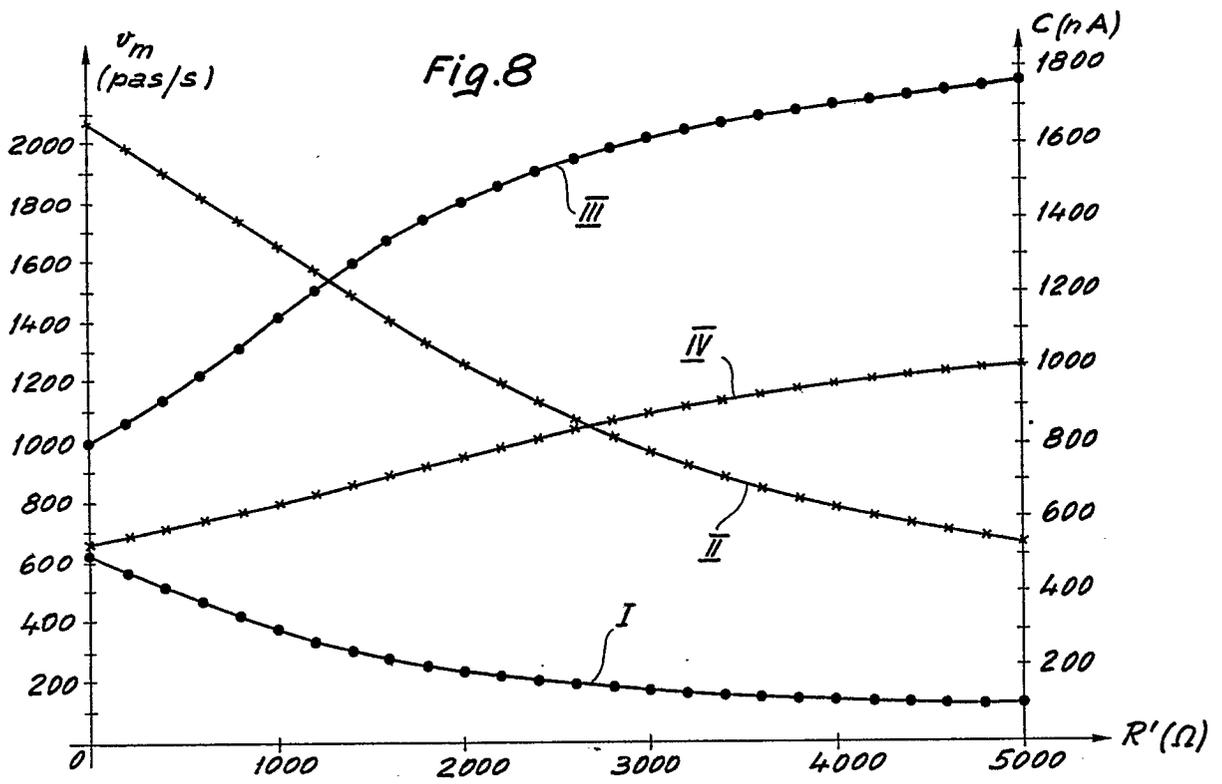


Fig. 8